



وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز (علمی)



پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

ISSN 2251-6174

سال یازدهم، شماره ۲۲، پاییز و زمستان ۱۳۹۹

مدرجات

- ۱ پتانسیل یابی خطر آب گرفتگی شهری با استفاده از مدل تابع شواهد قطعی (EBF) (مطالعه موردی: شهرک امام علی (ع) شهر مشهد)
محمد رستمی خلج، امید رحمتی، مصطفی رشیدیپور و حسین سلمانی
- ۱۱ تحلیل روند تغییرات جریان در ایستگاههای بالادست و پایین دست رودخانه لیقوان
رضا کتمانی، احمد فاخری فرد، محمدعلی قربانی و یعقوب دین پزوه
- ۲۰ پیش بینی میزان رواناب رودخانه زرنه رود در شرایط تغییر اقلیم با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی
مینا آقاچانزاده سراسکانرود، جواد بهمنش، حسین رضایی و نسرین آزاد
- ۳۱ شبیه سازی جریان رودخانه بر پایه مدل فیزیکی SWAT در حوزه آبخیز باراندوزچای دریاچه ارومیه
سیدامین خسروی و میرحسن میریعقوبزاده
- ۳۳ ارزیابی جریان سطحی رودخانه کوبال و پتانسیل تولید رواناب محدوده کانون تولید گرد و غبار جنوب شرق اهواز به منظور مرطوب سازی
سکینه لطفی نسب اصل، محمد خسروشاهی، آزاده گوهردوست، فرهاد خاکساریان و حمیدرضا عباسی
- ۵۸ بررسی تاثیر عملیات آبخیزداری در حوزه های بالادست مناطق شهری (مطالعه موردی: حوزه های آبخیز مشرف به مناطق ۵ و ۲۲ تهران)
امید بهمنی، حسن احمدی، محمد جعفری و غلامرضا زهتابیان
- ۷۶ چارچوب مشارکت کنشگران در فرایند تصمیم سازی مدیریت آب (مطالعه موردی: حوزه آبریز کشف رود)
محمد سالاریان، کامران دآوری، امین علیزاده، محمد لگزبان و محمد قاضی
- ۹۶ بررسی کارایی روش های نمونه برداری داده های مشاهداتی بر پهنه بندی قابلیت نفوذ آب در خاک با روش ماکزیمم انتروپی
مریم سادات جعفرزاده، ناصر طهماسبی پور، علی حقی زاده، حمیدرضا پورقاسمی و حامد روحانی
- ۱۱۱ بررسی کارایی مدل SWAT در شبیه سازی کمی و کیفی رواناب و اقدامات آبخیزداری در حوزه زرنه رود
ساحره گلزاری، حمید زارع ایبانه، مجید دلاور و نغمه میرقی دینان
- ۱۳۱ شناسایی و اولویت بندی عوامل موثر بر عدم مشارکت جوامع روستایی در طرح های آبخیزداری حوزه آبخیز نیریز
جمال مصفايي، امین صالح پورچم و محمدجعفر سلطانی
- ۱۳۲ اولویت بندی اقتصادی پروژه های آبخیزداری بر اساس میزان تاثیر بر منابع آب، خاک و گیاه
مینا جعفری، محمدرضا اختصاصی و احمد فتاحی اردکانی
- ۱۳۲ شناسایی مناطق بحرانی و ارزیابی بهترین راهکارهای مدیریتی در راستای کنترل بار مواد مغذی حوزه رودخانه ای دز با استفاده از مدل SWAT
هادی بابایی، محمد ذاکر مشفق و مجید دلاور
- ۱۵۵ برآورد هدایت هیدرولیکی اشیاع خاک به روش برنامه ریزی بیان ژن و مقایسه آن با توابع انتقالی
مهتوش فرزادمهر، مهدی دستورانی، عباس خاتمی سیوکی و وحیدرضا جلالی موخر
- ۱۶۵ شبیه سازی دوبعدی هیدرولیکی جریان سیل با استفاده از مدل مبتنی بر رستر LISFLOOD-FP (مطالعه موردی: حوزه آبخیز شمشک، استان تهران)
کاظم صادقیان، عبدالرضا بهرمنند و امیر عبدالعزیز
- ۱۷۵ ارزیابی شاخص خشکسالی SPEI و تحلیل روند با استفاده از روش های ناپارامتریک در ایستگاه های منتخب حوزه آبریز دریاچه ارومیه
ایوب میرزایی حسنیو، هیراد عیقری و مهدی عرفانیان
- ۱۸۸ راهبردهای مدیریتی کاهش پیامدهای مخاطرات سیل با روش تحلیلی SWAT (مطالعه موردی: دشت همدان-بهار)
پیام یدالهی، نعمت حسینی، حمیدرضا جعفری، بابک ظهرايي و علی اصغر مرتضوی
- ۱۹۹ ارزیابی روش های مختلف محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع در مقیاس سالانه در شمال شرق ایران
زهرا شیرمحمدی علی اکبرخانی، سید فرهاد صابریعلی و منصوره کوهی
- ۲۱۰ مقایسه عملکرد مدل های RF، GLM، DL در برآورد تبخیر-تعرق گیاه مرجع در ایستگاه سینوپتیک زابل
هادی سیاسر و توحه هنر
- ۲۲۰ پیش بینی میزان بارندگی با استفاده از مدل ریزمقیاس نمایی آماری SDSM و خروجی مدل های HadCM3 و CanESM2 (مطالعه موردی: ایستگاه همدیدی تبریز)
صدیقه محمدی، محمدصادق غضنفری مقدم و علیجان ابیکار
- ۲۳۳ واکنش هیدرولوژیکی به فعالیت های انسانی و تغییر اقلیم در حوزه آبخیز قلعه شاهرخ
علیرضا شریفی کرمدرد، رسول میرعباسی نجف آبادی، محمدعلی نصرآصفهانی و روح اله فتاحی نافجی
- ۲۳۳ اثر پوشش سنگ و سنگ ریزه سطحی خاک بر متغیرهای رواناب در کرت های صحرائی تحت شبیه سازی باران
هیرو محمدامینی، عبدالواحد خالدی درویشان و سیدجلیل علوی
- ۲۵۴ تأثیر پذیری رواناب و هدررفت خاک اندازه گیری شده از تغییر طول و جهت دامنه تحت بارش های طبیعی در یک منطقه خشک
حمزه نور و محمود عرب خدری
- ۲۶۳ بررسی پیامدهای مثبت و منفی طرح های انتقال آب بین حوضه ای
حمید امینزاد، ساره حسینی و مصطفی صابری
- ۲۷۲ پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی دشت اردبیل با استفاده از مدل های شاخص انتروپی و نایو بیز
وحید کریمی، محمدعلی قربانی و صابره دربندی
- گزارش فنی
- ۲۸۷ شبیه سازی هیدروگراف سیلاب با استفاده از مدل HEC-HMS در حوزه آبخیز سرباز استان سیستان و بلوچستان
سکینه دامادی، عبدالحمید دهواری، محمدرضا دهمرده قلعه نو و محبوبه ابرهیمیان

«بسمه تعالی»

براساس مصوبه کمیسیون بررسی نشریات علمی کشور در جلسه مورخه ۱۳۸۹/۱۲/۲۴ که طی نامه شماره ۹۰/۳/۱۱/۹۷۴۵ مورخه ۱۳۹۰/۱/۲۹ ابلاغ شد با اعطای اعتبار علمی- پژوهشی به نشریه پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز (از سال اول شماره ۱ بهار و تابستان ۱۳۸۹) موافقت به عمل آمد.

«فراخوان»

با توجه به اخذ اعتبار علمی- پژوهشی "پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز" از متخصصان و محققان ارجمند دعوت به عمل می‌آید، مقالات مرتبط با عناوین مدیریت حوزه آبخیز را برای انتشار به آدرس پایگاه مجلات دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری (<http://jwmr.sanru.ac.ir>) ارسال نمایند.

با تشکر
مدیر مسوول



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

سال دوازدهم، شماره ۲۳ بهار و تابستان ۱۴۰۰

مندرجات

- ۱ مقایسه نسخه درجه روز و تابشی مدل SRM در تخمین رواناب ناشی از ذوب برف
محمدباقر رئیسی، مهدی وفاخواه و حمیدرضا مرادی
- ۱۲ ارزیابی کارایی مدل بیابان‌زایی IMDPA در تعیین فرسایش‌های آبی و بادی
مسعود مسعودی و سمیه شیرگیر
- ۲۶ تعیین کانال‌های بحرانی با استفاده از تلفیق مدل (Civil Storm) ASSA و GIS در دوره‌های بازگشت مختلف (مطالعه موردی: منطقه ۹ شهرداری مشهد)
فاطمه رضایی، عبدالرضا بهره‌مند، واحد بردی شیخ، محمد تقی دستورانی و سید محمد تاج‌بخش
- ۴۲ ارزیابی عدم قطعیت مدل‌های منطقه‌ای تغییر اقلیم و روش‌های تصحیح خطا و پیش‌بینی تغییرات اقلیمی شهرستان بیرجند
مرتضی دهقانی، عطالله کاویان، محمود حبیب نژاد روشن، محمد قربانی و زینب جعفریان جلودار
- ۵۴ اثر تغییر اندازه کرت در عملکرد کود آلی بر تغییر مولفه‌های رواناب و هدررفت خاک در شرایط آزمایشگاهی
بهزاد زارعی، لیلا غلامی، عطالله کاویان و کاکا شاهدی
- ۶۵ بررسی ارتباط تغییرات آب‌های زیرزمینی و خشکسالی با استفاده از شاخص‌های SPI و GRI در دشت لردگان
سیدعبدالرضا موسوی سردشتی، کریم سلیمانی، فاطمه شکران و سیدحسین روشن
- ۷۵ ارزیابی حساسیت‌پذیری فرونشست زمین در دشت سمنان با استفاده از مدل آنتروپی
مجید محمدی، حمیدرضا پورقاسمی و مجتبی امیری
- ۸۶ سنجش ظرفیت سازگاری نظام اجتماعی-اگولوژیک در مواجهه با افت سفره‌های آب زیرزمینی (منطقه مورد مطالعه: دشت کازرون)
نجمه گنجی، مهدی قربانی، حسن خسروی و امیر علم‌پیگی
- ۹۵ پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی در دوره آبی بر پایه مدل HadCM3 با استفاده از مدل ریزمقیاس‌نمایی SDSM در حوزه آبخیز آق‌چای (آذربایجان غربی)
لیلا همتی و میرحسن میریعقوب‌زاده
- ۱۰۸ بررسی وضعیت برخی شاخص‌های ارزیابی حوزه‌های آبخیز و اولویت‌بندی زیر حوضه‌ها از منظر کاهش فرسایش (مطالعه موردی: حوزه آبخیز کرخه)
رضا بیات، زهرا گرامی، محمود عرب‌خدری، حمیدرضایپروان و رحیم کاظمی
- ۱۱۹ ارائه مدل مدیریت جامع منابع آب و خاک حوضه رودخانه حبله‌رود با استفاده از رویکرد پویایی سامانه
ابراهیم کریمی سنگچینی، مجید اونق، امیر سعدالدین، مهدی ضرغامی و ایرج ویسکرمی
- ۱۳۰ شبیه‌سازی پتانسیل آب‌های زیرزمینی حوضه کهورستان با بهره‌گیری از رویکرد ترکیبی مدل‌های داده‌کاوی
علیرضا نرفزادگان، علی‌اکبر محمدی‌فر، فریبرز محمدی و محمد کاظمی
- ۱۴۴ برآورد نفوذ آب به خاک در کاربری‌های مختلف در حوزه آبخیز مرغملک و شهرکرد
سمیرا مصری، شجاع قربانی دشتکی، حسین شیرانی، ابوالقاسم کامکار روحانی و حمیدرضا متقیان
- ۱۵۵ تعیین الگوی کشت بهینه در حوضه آبریز تجن با استفاده از مدل‌سازی سیستمی
سیده فاطمه هاشمی، علی شاهنظری، محمود رابیننی، محمدرضا شهبازبگیان و یان فرانکلین آداموسکی
- ۱۶۹ بهینه‌سازی کاربری اراضی با استفاده از رویکرد ارزیابی چندمعیاره و تحلیل اقتصادی اراضی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز چهل‌چای استان گلستان)
فرشته رحیمی، علی نجفی‌نژاد، واحد بردی شیخ و آرش زارع کاریزی
- ۱۸۰ بررسی کارایی مدل SWAT در شبیه‌سازی رواناب و رطوبت موجود در خاک در حوضه دوبرج استان ایلام
فاطمه بالویی، سعید سلطانی کوپائی و محسن توکلی
- ۱۹۱ اثر بتونیت و پساب فاضلاب شهری بر برخی ویژگی‌های خاک و گیاه یونجه و شبدر
عاطفه خانلری، رضا تمرتاش، کاکا شاهدی و محمدرضا طاطیان
- ۲۰۲ اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر موانع مشارکت پایدار جوامع روستایی در طرح‌های آبخوان‌داری از دیدگاه بهره‌برداران در حوزه‌ی آبخیز بیشه‌زرد استان فارس
غلامرضا قهاری، سید مسعود سلیمان‌پور، امین صالح‌پور جم، علی‌اکبر نوروزی و غلامعلی نکوئیان
- ۲۱۲ بررسی روش‌های آماری و زمین‌آماری در تهیه نقشه هم‌بارش استان مازندران
علیرضا یوسفی کبریا، مهدی نادری و مژده جامعی
- ۲۲۴ شبیه‌سازی بارش-رواناب با استفاده از ماشین آموزش نوین در حوضه رودخانه شهرچای
امیر عزیزاده، احمد رجبی، سعید شعبانلو، بهروز یعقوبی و فریبرز یوسفوند
- ۲۳۸ بهره‌برداری از مخزن سد گلستان در شرایط تغییر اقلیم با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفه نهندگ بهبودیافته
علیرضا دنیائی، امیرپویا صراف و حسن احمدی
- ۲۵۱ ارزیابی عملکرد مدیریت بهره‌وری آب در شبکه‌های آبیاری (مطالعه موردی: شبکه آبیاری دوستی-خراسان رضوی)
حسن ساقی، رضا جاوید صباغیان و مصطفی رضائی‌مقدم
- ۲۶۰ ارزیابی حساسیت تبخیر و تعرق گیاه مرجع به پارامترهای هواشناسی در استان خراسان رضوی
زهرا شیرمحمدی علی‌اکبر خانی و سید فرهاد صابری‌علی
- ۲۷۳ پهنه‌بندی خطر زمین لغزش به روش تراکم سطح و تحلیل سلسله مراتبی جهت ارزیابی مسیرجاده طراحی شده سری چلیز جنگل خیرود
امیرحسین خطکه، سید عطالله حسینی، احسان عبدی، خالد احمدآلی و شاهین کوهی
- ۲۸۵ حالت‌های مختلف بهینه‌یابی پارامترهای روش‌های روندیابی هیدرولوژیکی با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) برای روندیابی سیل در رودخانه کارون
هادی نوروزی، وحید کریمی، جلال بازرگان و حیدر همتی

پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

سال دوازدهم / شماره ۲۳

بهار و تابستان ۱۴۰۰

اسامی داوران مقالات در این شماره:

دکتر علیجان ابکار

استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی کرمان

دکتر افشین جهاننهای

دکتری آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

دکتر مهدی جعفری

دکتری مهندسی آب

دکتر مجتبی چراغی زاده

دکتری مهندسی آب

دکتر محمود حبیب نژاد روشن

استاد دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

دکتر خبهات خسروی

دکتری آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

دکتر عبدالله درزی

دانشیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

دکتر شفق رستگار

استادیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

دکتر محمد جواد روستا

دانشیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس

دکتر سیدحسین روشان

دکتری آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

دکتر صلاح الدین زاهدی

عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کردستان

دکتر کریم سلیمانی

استاد دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

دکتر علی شاهنظری

استاد دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

دکتر کاکا شاهدهی

دانشیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

دکتر فاطمه شکریان

استادیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

دکتر واحدپوری شیخ

دانشیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

دکتر سمیه شبیرزادی

استادیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

دکتر محمودرضا طباطبایی

استادیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران

دکتر علیرضا عرب عامری

دکتری ژئومورفولوژی دانشگاه تربیت مدرس

دکتر لیلا غلامی

استادیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

دکتر فرزانه فتوحی فیروزآباد

استادیار دانشگاه اردکان یزد

دکتر رامین فضل اولی

دانشیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

دکتر محمدعلی قربانی

دانشیار دانشگاه تبریز

دکتر باقر قرمزچشمه

استادیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

دکتر کامی کاپوسی

دانشیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد گرگان

دکتر ابراهیم کریمی سنگ جینی

استادیار سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی لرستان، خرم آباد

دکتر والی الله کریمی

استادیار مرکز ترویج و توسعه تکنولوژی هراز

دکتر صدیقه محمدی

استادیار دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته

دکتر قاسم مرتضایی فریزهندی

استاد پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

دکتر رنوف مصطفی زاده

استادیار دانشگاه محقق اردبیلی

دکتر جمال مصفايي

استادیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

دکتر آرش ملکیان

دانشیار دانشگاه تهران

دکتر هادی معماریان

استادیار دانشگاه بیرجند

دکتر میرحسین میریعقوب زاده

استادیار دانشگاه ارومیه

دکتر مهدی نادى

استادیار علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

دکتر هادی نظری بویا

استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی

دکتر رضا نوروز ولاشدى

استادیار علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

دکتر سید آرمان هانسی منفرد

دانشیار دانشگاه سیستان و بلوچستان

دکتر حسین یوسفی

استادیار دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران

پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

صاحب امتیاز: معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

مدیر مسوول: اصغر فلاح

سرمدیر: محمود حبیب نژاد روشن

مدیر اجرایی مجلات علمی - پژوهشی دانشگاه: رحمت عباسی

هیئت تحریریه:

دکتر اونق، مجید

استاد دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

دکتر حبیب نژاد روشن، محمود

استاد دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

دکتر رائینی، محمود

دانشیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

دکتر سلیمانی، کریم

استاد دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

دکتر شاهدهی، کاکا

دانشیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

دکتر شیخ، واحد بردی

دانشیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

دکتر محسنی ساروی، محسن

استاد دانشگاه تهران

دکتر وفاخواه، مهدی

دانشیار دانشگاه تربیت مدرس

ویراستار علمی: محمود حبیب نژاد روشن

صفحه آرای: دفتر پژوهشنامه - فاطمه اسماعیلی

تیراژ: ۱۰۰ نسخه

قیمت: ۱۰۰۰۰۰ ریال

نشانی: ساری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ص - پ ۵۷۸

تلفن و دورنگار: ۰۱۱-۳۳۶۸۷۴۳۷

آدرس الکترونیکی: journal@sanru.ac.ir

آدرس پایگاه: http://jwmr.sanru.ac.ir

این نشریه دارای مجوز انتشار از وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی به شماره ۸۶۰۲۳ تاریخ ۱۳۹۸/۱۰/۲ است.
این پژوهشنامه مسوول آرا و نظریات مندرج در مقالات نیست.
مقالات دریافت شده برگردانده نمی شود.

پژوهشنامه در ویرایش مطالب آزاد است.

۱- اهداف

(۱) اشاعه و نشر نتایج تحقیقات و پژوهش‌های انجام شده در زمینه مدیریت حوزه آبخیز، (۲) کمک به توسعه و اعتلای دانش در زمینه مدیریت حوزه آبخیز و (۳) فراهم نمودن زمینه مناسب تبادل افکار و اطلاعات بین مراکز دانشگاهی و تحقیقاتی کشور در زمینه مدیریت حوزه آبخیز

۲- موضوع مقالات

مدیریت حوزه‌های آبخیز، حفاظت آب و خاک، هیدرولوژی، سنجش از دور و سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی، بلایای طبیعی (سیل، خشکسالی و حرکت‌های توده‌ای)، هواشناسی، فرسایش خاک و تولید رسوب، تغییر کاربری اراضی، ژئومورفولوژی و زمین‌شناسی و سایر موضوعات وابسته به مدیریت حوزه آبخیز

۳- شرایط بررسی مقالات

این نشریه مقالات دریافتی با ویژگی‌های زیر را برای چاپ مورد بررسی قرار می‌دهد:

- در راستای موضوعات تعیین شده بالا باشد.
- حاصل مطالعات، تجربه‌ها و پژوهش‌های نویسنده(گان) باشد.
- نتیجه مرور گسترده و تحلیل یافته‌های پیشین باشد.
- مقاله قبلاً در نشریه دیگری چاپ نشده و یا زیر چاپ نباشد. حق چاپ پس از پذیرش مقاله برای نشریه محفوظ است و نویسنده(گان) نباید مقالات خود را به مجلات علمی-پژوهشی یا ترویجی دیگری (چه به زبان فارسی یا سایر زبان‌ها) ارسال نمایند.
- مقاله‌های ارسالی مطابق با راهنمای نگارش مجله آماده شده باشد. در صورت عدم رعایت راهنمای نگارش مقاله به داوران جهت ارزیابی علمی ارسال نخواهد شد.

۴- راهنمای نگارش

هیأت تحریریه پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، رعایت دقیق دستورالعمل زیر را به عنوان شرایط پذیرش مقاله ضروری می‌داند:

بخش‌های مختلف مقاله به ترتیب شامل ۱- عنوان، ۲- چکیده فارسی، ۳- واژه‌های کلیدی، ۴- مقدمه، ۵- مواد و روش‌ها، ۶- نتایج و بحث، ۷- تشکر و قدردانی، ۸- منابع و ۹- چکیده به زبان انگلیسی می‌باشد.

۴-۱- عنوان

عنوان مقاله باید خلاصه و گویا بوده و از ۲۵ کلمه تجاوز نکند.

۴-۲- چکیده

چکیده فارسی و انگلیسی مجموعه فشرده و گویایی از مقاله با تأکید بر هدف، روش تحقیق و نتایج بوده و در یک پاراگراف پیوسته و حداکثر ۳۰۰ کلمه باشد. چکیده انگلیسی برگردان جامعی از چکیده فارسی باشد.

۴-۳- واژه‌های کلیدی

واژه‌های کلیدی شامل حداقل پنج و حداکثر هشت کلمه مجزا درباره موضوع پژوهش بوده که در صورت امکان شامل کلمات موجود در عنوان نباشد. واژه‌های کلیدی انگلیسی در زیر چکیده انگلیسی و به ترتیب الفبایی معادل واژه‌های کلیدی فارسی آورده شود.

۴-۴- مقدمه

مقدمه در برگزیده بیان مسأله، معرفی و ضرورت تحقیق و اشاره به پژوهش‌های پیشین باشد و در آخر آن در یک جمله یا پاراگراف به هدف یا اهداف پژوهش انجام شده، اشاره شود.

۴-۵- مواد و روش‌ها

به شرح کامل منطقه، محل و زمان اجرا، روش‌های نمونه‌گیری، مواد و وسایل بکار رفته، طرح آزمایش و روش‌های اندازه‌گیری و تجزیه و تحلیل آماری پرداخته شود.

۴-۶- نتایج و بحث

تمام نتایج کمی و کیفی تحقیق با استناد به جدول و شکل (منحنی، نمودار، تصویر یا عکس، نقشه) در این بخش ارائه شود. در همین قسمت نتایج به دست آمده با توجه به اهداف تحقیق و یافته‌های دیگران مورد بحث قرار گیرد. توصیه و پیشنهادها، تحقیقاتی نیز در این بخش گنجانده شود.

۴-۷- تشکر و قدردانی

نویسنده(گان) مقاله می‌توانند در این بخش از تأمین‌کنندگان بودجه و کمک‌کنندگان به انجام تحقیق سپاسگزاری نمایند (این بخش اختیاری است).

۴-۸- منابع

– منابع مورد استفاده به صورت لاتین و به ترتیب حروف الفبای نام خانوادگی اولین نویسنده شماره‌گذاری شده و در انتهای مقاله آورده شود.

– در صورت وجود چند نویسنده، پس از نوشتن نام خانوادگی و حرف اول نام نویسنده اول، برای سایر نویسندگان ابتدا حرف اول نام و سپس نام خانوادگی هر یک از آنان آورده شود.

– به نام کامل مجلات اشاره شود. همچنین حرف اول هر کلمه در نام مجله به صورت بزرگ (Capital) باشد.

– مکان مناسب نقطه، ویرگول، دو نقطه و فاصله مانند مثال‌های زیر مورد توجه قرار گیرد.

– تنها حرف اول نخستین کلمه در عنوان منابع به صورت حرف بزرگ (Capital) باشد.

– در متن مقاله، منابع مورد استفاده با ذکر شماره در داخل پرانتز معرفی شوند. بین شماره‌های منابع فاصله نباشد و فقط از ویرگول استفاده شود (۱۸،۴۲).

– به هنگام استناد به نام نویسنده(گان) در متن مقاله، شماره منبع در داخل پرانتز جلو نام نویسنده(گان) آورده شود و از اشاره به سال خودداری شود (ابراهیمی و همکاران (۴) در تحقیقی دریافتند که ...)

– اگر نویسندگان منابع مورد استناد بیش از دو نفر باشند، در متن نام خانوادگی نویسنده اول را آورده و از کلمه " و همکاران" استفاده شود.

– برای کتاب‌های ترجمه شده، نوشتن منبع بر اساس نام خانوادگی و نام مترجمین باشد.

– در مورد کتاب به ترتیب: مؤلفین (مترجمین)، سال انتشار، عنوان کامل کتاب، شماره جلد، شماره ویرایش، ناشر، شهر و کشور ناشر و تعداد صفحات کتاب.

Dingman, S.L. 2002. Physical hydrology, 2nd edn., Waveland Press, Illinois, USA, 646 pp.

– اگر فصلی از کتاب ویراستاری شده مورد استفاده قرار گرفت به ترتیب: نویسنده(گان) فصل، سال انتشار کتاب، عنوان فصل، رجوع به کتاب اصلی با کلمه In؛ ویراستار (ویراستاران) کتاب با ed. یا eds. داخل پرانتز، عنوان کتاب، شماره صفحات فصل، ناشر، شهر و کشور ناشر.

Zhang, J., H. Wang and V.P. Singh. 2011. Information entropy of a rainfall network in China. In: Wu, D.D. and Y. Zhu (eds.) Modelling risk management for resources and development. 11-20 pp., Springer, Berlin, Germany.

– در مورد مقاله به ترتیب: نویسنده(گان)، سال انتشار مقاله، عنوان مقاله، عنوان مجله، شماره جلد، شماره مجله در داخل پرانتز و اولین و آخرین صفحات مقاله در مجله.

Ratnayaka, H.H., W.T. Molin and T.M. Sterling. 2003. Physiological and antioxidant responses of cotton and spurred anoda under interference and mild drought. Journal of Experimental Botany, 54(391): 2293-2305.

– در مورد مقالات کنفرانسی به ترتیب: نویسنده(گان)، سال انتشار، عنوان مقاله، عنوان کنفرانس، شماره صفحات، محل (شهر و کشور) برگزاری.

Schumann, S., A. Herrmann and D. Duncker. 2008. Trends in runoff characteristics and hydrological regime changes in the Lange Bramke Basin, Harz Mountains, Germany. Proceedings of the 12th Biennial International Conference of the Euro-Mediterranean Network of Experimental and Representative Basins (ERB), 111-116 pp., Krakow, Poland.

- در مورد پایان نامه به ترتیب: نویسنده، سال، عنوان، مقطع پایان نامه (B.Sc., M.Sc., Ph.D.)، دانشگاه، شهر، کشور، تعداد صفحات.

Nazamedjad, H. 2013. Investigation of land use change impacts on runoff and sediment processes using AGWA model (case study: Boustan Dam Watershed, Golestan Province). Ph.D. Thesis, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. 156 pp (In Persian).

- تمام منابعی که به فارسی چاپ شده‌اند با نوشتن (In Persian) در انتها از منابع غیر فارسی متمایز شوند.

Barkhordari, J. and M. Khosroshahi. 2008. Investigation of effects of land cover and climate change on river flow (case study: Minab Watershed). Pajouhesh and Sazandegi, 77: 191-199 (In Persian).

- برای منابعی که توسط مؤسسه یا سازمان بدون ذکر نام افراد به چاپ رسیده می‌توان نام مؤسسه یا سازمان در ابتدا آورده شود یا این که از کلمه بی‌نام (Anonymous) استفاده شود.

- برای منابع اینترنتی آدرس کامل اینترنتی آن در انتهای منبع آورده شود.

- در صورت استفاده از منابعی که زیر چاپ هستند پس از نام نویسنده (گان) در داخل پرانتز از (In press) استفاده شود.

۴-۹- شیوه نگارش

- مقاله حداکثر در ۱۲ صفحه یا یک خط فاصله (یک سانتی‌متر) به صورت دو ستونه (روزنامه‌ای با پهنای هر ستون هفت سانتی‌متر) و حاشیه سه سانتی‌متر در نرم افزار Word 2007 آماده شود. قلم 2 Mitra 12 برای متن فارسی و برای کلمات انگلیسی داخل متن از قلم Times New Roman 10 استفاده گردد.

- برای سایر بخش‌های مقاله نوع و اندازه قلم‌های زیر استفاده شود: (۱) عنوان فارسی 2 Mitra 14 و برجسته (Bold)، (۲) نام نویسنده (گان) 2 Mitra 11 و برجسته (Bold)، (۳) وابستگی سازمانی نویسنده (گان) 2 Mitra 9، (۴) متن چکیده فارسی 2 Mitra 10 و برجسته (Bold) و کلمات انگلیسی داخل متن چکیده 8 Times New Roman و برجسته (Bold)، (۵) سرتیتر بخش‌ها 2 Mitra 12 و برجسته (Bold) و زیر تیتر هر بخش 2 Mitra 11 و برجسته (Bold) که شماره‌گذاری نشده باشد، (۶) در بخش چکیده انگلیسی عنوان مقاله 12 Times New Roman و برجسته (Bold)، اسامی نویسنده (گان) Times New Roman 11 و برجسته (Bold)، وابستگی سازمانی افراد Times New Roman 10. متن چکیده انگلیسی Times New Roman 11، تیتر چکیده و واژه‌های کلیدی 11 Times New Roman و برجسته (Bold).

- جداول و شکل‌ها بعد از توضیحات مربوطه بصورت **غیرستونی** در متن آورده شود و عناوین فارسی جداول با اندازه قلم 2 Mitra 11 در بالای آنها و عناوین انگلیسی جداول با اندازه قلم 9 Times New Roman و هم چنین عناوین فارسی شکل‌ها با اندازه قلم 2 Mitra 11 و عناوین انگلیسی شکل‌ها با اندازه قلم 9 Times New Roman در پائین آنها ذکر شود. ذکر واحد (در سیستم

متریک) و مقیاس برای جداول و شکل‌ها به زبان فارسی و انگلیسی ضروری است. جداول به صورت باز (تنها خطوط بالا و پایین آشکار باشند) طراحی شده و برای شکل‌ها کادر اطراف آن آورده نشود. تأکید می‌شود که مقیاس‌های عددی در محور افقی و عمودی شکل‌ها انگلیسی باشند.

- نام علمی گیاهان یا جانوران هم در متن و هم در منابع به صورت مورب (ایتالیک) باشد.

- معادل انگلیسی کلمات تخصصی به صورت زیرنویس در هر صفحه آورده شود.

۵- ارسال مقاله

- مقاله باید در دو نسخه مجزا یکی با نام نویسنده (گان) و دیگری بدون نام نویسنده (گان) از طریق پایگاه اینترنتی نشریه (<http://jwmr.sanru.ac.ir>) ارسال شود. برای ارسال مقاله نخست فرم ثبت‌نام پایگاه تکمیل و سپس به بخش ارسال مقاله مراجعه گردد. همچنین فرم تعهدنامه را از سایت مجله دریافت و نسبت به تکمیل و ارسال آن اقدام فرمایید.

- ثبت نام و ارسال مقاله باید توسط مسوول مکاتبه مقاله انجام شود. مجله فقط به مسوول مکاتبه پاسخ‌گو خواهد بود.

- مشخصات مقاله شامل عنوان مقاله، نام نویسنده (گان)، مرتبه علمی و وابستگی سازمانی آنها به همراه پست الکترونیکی و شماره تماس نویسنده مسوول باشد.

- پس از ارسال مقاله به مجله هر گونه تغییر در تعداد نویسندگان آن باید توسط نویسنده مسوول کتباً به مجله اعلام شود.

- مقالات دریافت شده ابتدا توسط هیأت تحریریه مورد بررسی کمی و کیفی قرار می‌گیرد و در صورتی که مناسب تشخیص داده شود (به شرط رعایت نکاتی که در این راهنمای نگارش آمده است)، برای ارزیابی به حداقل سه نفر از داوران صاحب‌نظر و ناشناس برای نویسنده (گان) در رشته مربوطه ارسال می‌شود.

- پذیرش و چاپ مقاله منوط به انجام تمام ویرایش‌های خواسته شده از طرف دفتر مجله می‌باشد.

۶- هزینه چاپ

- صدور نامه پذیرش نهایی مقاله و چاپ آن منوط به واریز مبلغ یک میلیون ریال (۱۰۰۰۰۰۰ ریال) از طریق سامانه پرداخت الکترونیکی مجله به شماره حساب ۸۳۲۸۷ نزد بانک تجارت شعبه بلوار خزر ساری (کد شعبه ۹۶۸۰) بنام حساب درآمد پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری و ارسال کد رهگیری دریافتی از سامانه به آدرس ایمیل مجله (journal_sanru@yahoo.com) می‌باشد.

۷- اشتراک مجله

- بهای اشتراک یک ساله جهت دو شماره از مجله با احتساب هزینه پستی ۲۰۰۰۰۰ ریال می‌باشد. وجه اشتراک را به شماره حساب اشاره شده در بالا واریز و فیش واریزی را به آدرس ایمیل مجله که در بند شش ذکر شده است، ارسال نمایید.



"مقاله پژوهشی"

مقایسه نسخه درجه روز و تابشی مدل SRM در تخمین رواناب ناشی از ذوب برف

محمدباقر رئیسی^۱، مهدی وفاخواه^۲ و حمیدرضا مرادی^۳

۱- دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس
۲- استاد گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، (نویسنده مسول: vafakhah@modares.ac.ir)
۳- استاد گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس
تاریخ ارسال: ۹۵/۰۷/۰۷ تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۱/۱۵
صفحه: ۱ تا ۱۱

چکیده

در حوزه‌های کوهستانی و برف‌گیر، رواناب ناشی از ذوب برف عامل مهمی در تغییرات رژیم جریان به‌شمار می‌آید و سهم مهمی در تولید جریان و منابع آب دارد. حال آن‌که در چنین حوزه‌هایی آمار و اطلاعات هواشناسی و هیدرولوژی مورد نیاز در شبیه‌سازی جریان، به‌ویژه آمار و اطلاعات برف‌سنجی معمولاً در دسترس نیست. بنابراین، شبیه‌سازی و یا پیش‌بینی رواناب و سیلاب حاصل از ذوب برف با مشکلات فراوانی مواجه است. در این تحقیق برای برآورد رواناب در حوزه آبخیز بهشت‌آباد از مدل SRM کلاسیک و تابشی استفاده شد. هدف از این تحقیق ارزیابی نسخه درجه-روز و تابشی این مدل در شبیه‌سازی رواناب ناشی از ذوب برف می‌باشد. بنابراین ابتدا متغیرهای لازم برای مدل SRM کلاسیک و تابشی از ایستگاه‌های هواشناسی تهیه و سطح پوشش برف از تصاویر ماهواره‌ای MODIS به‌دست آمد. سپس مدل‌ها برای سال‌های ۹۲-۱۳۹۱ و ۹۳-۱۳۹۲ به ترتیب برای واسنجی و آزمون اجرا و مقادیر تخمینی با داده‌های مشاهده‌ای ایستگاه هیدرومتری بهشت‌آباد مقایسه گردید. نتایج این بررسی نشان داد برای دوره آزمون مقدار ضریب کارایی (R^2) در مدل تابشی SRM (۰/۷۱) نسبت به مدل کلاسیک (۰/۵۸) به میزان ۱۳ درصد و میزان اختلاف حجم کل رواناب در مدل تابشی SRM نسبت به مدل کلاسیک ۷ درصد بهبود یافته است.

واژه‌های کلیدی: آب معادل برف، پیش‌بینی خشکسالی، شبیه‌سازی، مدل ذوب برف

مقدمه

پیش‌بینی‌های هیدرولوژیکی در این منطقه برخوردار است. علاوه بر آن حوزه آبخیز بهشت‌آباد به دلیل کوهستانی بودن بسیار سیل‌خیز بوده و معمولاً در اوایل فصل بهار با گرم شدن زمین و ذوب شدن برف‌ها، بستر لازم برای ایجاد سیل در این منطقه فراهم می‌آید.

بنابراین اطلاع از مشارکت ذوب برف در جریان رودخانه بسیار مهم می‌باشد، با این حال اندازه‌گیری مستقیم مشخصات برف و ذوب آن در یک سطح وسیع امکان‌پذیر نیست زیرا نقاط مرتفع که بیش‌تر در معرض بارش برف هستند، از امکانات دسترسی کم‌تری برخوردارند. با توجه به اینکه داده‌های برف‌سنجی مورد نیاز در شبیه‌سازی رواناب حاصل از ذوب برف و یا مشارکت باران و برف در بسیاری از حوزه‌های آبخیز به‌ویژه حوزه‌های آبخیز کوهستانی مرتفع (از جمله حوزه آبخیز بهشت‌آباد) در دسترس نیست، می‌توان با فرمول‌بندی عوامل مؤثر بر ذوب و انرژی محیط مورد نیاز ذوب برف، میزان ذوب را در این حوضه‌ها محاسبه نمود. هدف اساسی مدل‌سازی هیدرولوژیکی در حوزه‌های آبخیز، درک بهتر از روند چرخه آب می‌باشد (۲۸).

در این زمینه تحقیقات زیادی برای بررسی چگونگی تولید رواناب انجام شده است. مدل‌های شبیه‌سازی به‌عنوان ابزاری قدرتمند برای بررسی تولید جریان یا چگونگی پاسخ رواناب به تغییرات استفاده شده است. برخی محققین از روش سری‌های زمانی برای برآورد تابع انتقال بارش و جریان استفاده کرده‌اند (۱۱). با این حال سری‌های زمانی رواناب نمی‌توانند اطلاعات زیادی در مورد اثر متقابل عوامل بیرونی و اجزای داخلی سیستم حوزه آبخیز دارا باشند. به این ترتیب مدل‌های بسیار پیچیده رواناب برای روندیابی آب در کاربری‌های مختلف و

برف یکی از اشکال مهم بارش در چرخه هیدرولوژی مناطق کوهستانی بوده که در تأمین منابع آب شرب و کشاورزی به‌صورت جریان‌های تاخیری در فصول پرآبی و جریان‌های حداقل در فصول کم آبی نقش ارزنده ایفا می‌کند. از سوی دیگر رواناب حاصل از ذوب برف به دلیل نقش تاخیری آن منبع اصلی تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی و در برخی از موارد به دلیل همزمانی با بارش‌های بهاره منشاء بروز سیلاب‌های مخرب با حجم جریان بیش از ظرفیت رودخانه‌ها می‌گردد (۸). بنابراین در حوزه‌های آبخیز کوهستانی و برف‌گیر، ذوب برف و رواناب ناشی از آن عامل مهم تغییرات رژیم جریان محسوب می‌شود و سهم عمده‌ای را در تولید جریان، سیلاب و منابع آب داراست (۲۸). به‌طوری‌که براساس بررسی‌های انجام گرفته حدود ۶۰ درصد آب‌های سطحی و ۵۷ درصد آب‌های زیرزمینی کشور در مناطق برف‌گیر قرار داشته و از آب حاصل از ذوب برف تغذیه می‌کنند (۲۴). از این‌رو پیش‌بینی رواناب ناشی از ذوب برف با توجه به وضعیت حاکم بر کشور در عرصه‌های گوناگون از جمله تأمین آب شرب، کشاورزی و صنعت، مدیریت مخازن تولید برقی، پیش‌بینی خشکسالی، کنترل و هشدار سیل، کیفیت آب و غیره کاربرد دارد (۱۹، ۲۲).

بخش قابل توجهی از بارش‌ها در حوزه آبخیز بهشت‌آباد (واقع در استان چهارمحال و بختیاری) به‌صورت برف می‌باشد و در نتیجه آب حاصل از ذوب برف نقش مهمی را در ایجاد رواناب‌های سطحی در این منطقه ایفا می‌کند. پوشش برف معرف میزان آب ذخیره‌شده می‌باشد و لذا پایش مکانی و زمانی رواناب ناشی از ذوب برف از اهمیت بسیار بالایی در

مدل با مقدار ضریب کارایی ۰/۸۷ و اختلاف حجم ۰/۹ درصد اجرا شد. استوارت و همکاران (۲۵) زمان جریان رواناب ناشی از ذوب برف در شمال غربی آمریکا را در شرایط تغییر اقلیم پیش‌بینی کردند. نتایج نشان داد که با استفاده از مدل‌های اقلیمی و با توجه به تغییر دما و بارش در قرن ۲۱ در مناطق مورد بررسی، رواناب ناشی از ذوب برف حدود ۳۰ تا ۴۰ روز زودتر جاری می‌شود. نبی و همکاران (۱۸) رواناب ناشی از ذوب برف را با نسخه درجه-روز مدل SRM در آبخیز Astor در کشور پاکستان با ضریب کارایی ۰/۹۱ و اختلاف حجم ۹/۰۱ درصد شبیه‌سازی کردند. بیگز و ویتاکر (۲) با استفاده از تصاویر MODIS، سطح پوشش برف را به‌صورت روزانه در حوزه آبخیز کوهستانی در کالیفرنیا استخراج نمودند و ارتفاع بحرانی منطقه را برای ذوب برف در زمان دبی اوج مشخص نمودند. نتایج نشان داد که بین ۶۰ تا ۸۰ درصد حجم ذوب در یک محدوده ارتفاعی شامل ۲۲ تا ۳۸ درصد کل حوزه آبخیز اتفاق افتاده و ارتفاع بحرانی ذوب برف در طول فصل ذوب افزایش یافته است. در ادامه وفاخواه و همکاران (۲۷) با شبیه‌سازی رواناب ناشی از ذوب برف در حوزه آبخیز طالقان در طی سال‌های ۲۰۱۰-۲۰۰۸ و با استفاده از مدل SRM دقت بالای مدل در شبیه‌سازی رواناب را تأیید کردند. خادکا و همکاران (۱۲) در حوزه Tamakoshi نپال دقت مدل SRM را (پس از واسنجی) با ضریب کارایی ۰/۸۶ و اختلاف حجم ۲ درصد مناسب ارزیابی کردند.

در مستندات داخلی نیز نجف‌زاده و همکاران (۲۱) در شبیه‌سازی رواناب حوزه آبخیز پلاسجان، مدل SRM و داده‌های ماهواره‌ای NOAA را به کار برده و رواناب حاصل از ذوب برف را با ضریب همبستگی ۰/۹۵ و اختلاف حجمی ۰/۲۵ درصد شبیه‌سازی نمودند. همچنین پرهمت و همکاران (۲۲) در پژوهشی کاربرد مدل SRM در شبیه‌سازی رواناب حاصل از ذوب برف با بهره‌گیری از داده‌های ماهواره‌ای در حوزه آبخیز خرسان را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که بیشترین ناهمخوانی هیدروگراف‌های مشاهده‌ای و برآوردشده در زمان اوج سیلاب‌ها است. ضریب تبیین دبی‌های برآوردشده و مشاهده‌ای و اختلاف حجم آنها به‌ترتیب معادل ۰/۷۷۴ و ۱/۰۳ درصد شد. نجفی ایگدیر و همکاران (۲۰) رواناب حاصل از ذوب برف را با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در حوزه آبخیز شهرچای ارومیه شبیه‌سازی کردند. در این پژوهش سطح پوشش برف منطقه به‌عنوان مهم‌ترین متغیر هیدرولوژیکی لازم با استفاده از تصاویر سنجنده NOAA استخراج شد. سپس از مدل SRM برای محاسبه رواناب ناشی از ذوب برف استفاده گردید. در این بررسی داده‌ها و پارامترهای مذکور به‌صورت روزانه و برای سال ۱۹۹۷-۱۹۹۶ وارد مدل شدند. برای ارزیابی دقت مدل مقادیر مشاهده‌ای و برآوردی مقایسه شدند که شبیه‌سازی موفق و قابل قبولی با ضریب تبیین ۰/۸۱ و اختلاف حجمی ۲/۷۵ درصد به‌دست آمد. فتح‌زاده و همکاران (۷) نسخه‌های کلاسیک و تابشی مدل SRM را در حوزه آبخیز کرج مورد مقایسه قرار دادند. نتایج نشان داد که ضریب تبیین داده‌های مشاهده‌ای و برآوردشده در مدل تابشی

سطوح مختلف خاک و فرآیندهای تبخیر و تعرق خاص توسعه یافتند (۴،۱۳). در مورد شبیه‌سازی رواناب ذوب برف از مدل‌های مختلفی از جمله MIKE^۱، SLURP^۲ و HBV^۳ استفاده می‌شود که نیازمند اطلاعات زیادی در مورد اقلیم و شرایط خاک می‌باشند. در این میان مدل شبیه‌سازی رواناب حاصل از ذوب برف (SRM^۴) از جمله مدل‌های هیدرولوژیکی است که به‌منظور پیش‌بینی جریان روزانه ناشی از ذوب برف طراحی شده است. این مدل براساس شاخص درجه-روز عمل می‌کند و برای نخستین بار در سال ۱۹۷۵ برای حوزه‌های آبخیز کوچک اروپا توسط مارتین ارائه شد و با پیشرفت فنون سنجش از دور در تعیین سطح پوشش برف برای حوزه‌های آبخیز بزرگ‌تر مورد بهره‌برداری قرار گرفت (۲۷). این مدل که از سوی سازمان جهانی هواشناسی در مقایسه با سایر مدل‌ها با داشتن حداقل خطا دقیق‌ترین مدل برای شبیه‌سازی ذوب برف تشخیص داده شده است تاکنون در حوزه‌های آبخیز با محدوده ارتفاعی و مساحت‌های مختلف از ۰/۷۶ تا ۹۱۷۴۴۴ کیلومتر مربع برای برآورد رواناب روزانه استفاده شده است (۱۶). در این مدل بارش برف و باران با استفاده از دمای آستانه تفکیک می‌شود و پوشش برفی حوضه با استفاده از برداشت زمینی و یا استفاده از روش‌های سنجش از دور و تصاویر ماهواره‌ای تعیین می‌گردد.

آب معادل برف (SWE) به‌عنوان پارامتر اصلی نشان‌دهنده ذخیره برفی، در مدل‌های پیش‌بینی جریان‌های رودخانه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این پارامتر به‌صورت نقطه‌ای در ایستگاه‌های برف‌سنجی اندازه‌گیری می‌شود ولی این داده‌ها معمولاً دارای تراکم مناسب نبوده و کل حوضه را پوشش نمی‌دهند. بنابراین برای داده‌برداری از روش‌های جدید استفاده می‌شود. امروزه تکنولوژی سنجش از راه دور و تصاویر ماهواره‌ای انقلابی را در عرصه مطالعه سطح پوشش برف بوجود آورده است. به‌طوری که اندازه‌گیری‌های سطح گستره برفی در طول زمان به‌صورت چشم‌گیری دقیق‌تر شده و هر چه بر طول ثبت داده‌های ماهواره‌ای افزوده می‌گردد، تعیین روندهای آماری که به‌لحاظ اقلیمی اهمیت دارند آسان‌تر می‌شود. استفاده از تصاویر نوری داده‌های ماهواره‌ای NOAA) برای پهنه‌بندی پوشش برف از سال ۱۶۹۱ در ایالات متحده آغاز شده و تا به امروز و همزمان با افزایش دقت مکانی و زمانی تصاویر ماهواره‌ای (با شروع به‌کار سنجنده MODIS) ادامه دارد (۳).

با توجه به اهمیت رواناب حاصل از ذوب برف و سهم آن در منابع آب، پژوهش‌های متعددی در این زمینه انجام شده است به‌طوری که مالچر و هیدینگر با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای MODIS سطح پوشش برف چهار زیرآبخیز در شرق اتریش را به‌دست آورده و با مدل SRM رواناب ناشی از ذوب برف را شبیه‌سازی کردند. مدل رواناب چهارزیرآبخیز را به‌ترتیب با اختلاف حجم ۲/۳۵، ۵/۵۶، ۰/۴۴ و ۰/۴۹ درصد و با ضریب تعیین ۰/۹۳، ۰/۹۲، ۰/۸۷ و ۰/۸۸ شبیه‌سازی کرده است.

هونگ و چنگ (۱۰) برای شبیه‌سازی رواناب روزانه حوزه آبخیز Gongnaisi در چین از مدل SRM استفاده کردند.

1- Semi-Distributed Land Use-based Runoff Processes
3- Snowmelt Runoff Model

2- Hydrologiska Byrans Vattenbalansavdelning Model
4- Snow Water Equivalent

حوزه آبخیز بهشت‌آباد با مساحت ۳۸۶۰ کیلومتر مربع در شمال و شمال شرقی حوزه آبخیز کارون شمالی (شامل ۲۷ درصد حوزه آبخیز) در استان چهارمحال و بختیاری واقع شده است. متوسط بارش درازمدت سالانه در این حوضه ۴۷۱ میلی‌متر است. کمترین ارتفاع این حوضه ۱۶۶۰ متر در محل خروجی و بیشترین ارتفاع آن ۳۶۲۰ متر در کوه سالداران بوده و از کل مساحت حوضه بهشت‌آباد، ۷۹ درصد در ارتفاع ۲۰۰۰ تا ۲۵۰۰ متر از سطح دریا قرار دارد که میانگین شیب حوضه ۲۷ درصد برآورد شده است. متوسط بارش درازمدت سالانه در این حوضه ۴۷۱ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه حدود ۱۱ درجه سانتی‌گراد است (۲۳).

روش پژوهش

داده‌های ضروری برای اجرای مدل کلاسیک SRM شامل ویژگی‌های حوزه آبخیز و متغیرهای هواشناسی و هیدرومتری و پارامترهای مدل می‌باشند. اطلاعات مورد نیاز برای اجرای مدل برای هر طبقه ارتفاعی به‌دست آمد و دبی روزانه در هر طبقه ارتفاعی بر طبق رابطه (۱) محاسبه گردید.

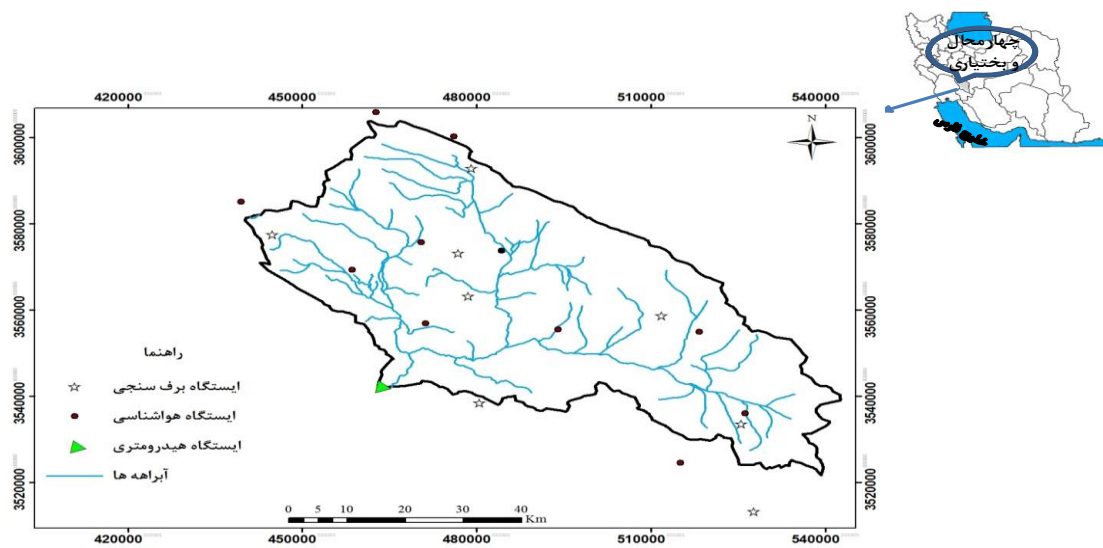
$$Q_{n+1} = [C_{sn}a_n(T_n)S_n + C_{Rn}P_n] \frac{10000}{86400} (1 - K_{n+1})A + Q_n K_{n+1} \quad (1)$$

در این رابطه، Q دبی روزانه (متر مکعب بر ثانیه)، C_s ضریب رواناب برف، C_R ضریب رواناب باران، a فاکتور درجه-روز (سانتی‌متر بر درجه سانتی‌گراد بر روز)، T درجه‌حرارت درون‌بایی شده (درجه سانتی‌گراد)، S نسبت مساحت پوشش برف به مساحت کل حوزه آبخیز، P بارش مولد رواناب (سانتی‌متر)، A مساحت حوزه یا ناحیه انتخابی (کیلومتر مربع)، n توالی روزها در طی دوره پیش‌بینی یا شبیه‌سازی، K ضریب فروکش جریان می‌باشد. ویژگی‌های حوضه شامل مساحت حوضه و مساحت نواحی ارتفاعی می‌باشد. برای به‌دست‌آوردن ویژگی‌های حوضه ابتدا مدل ارتفاعی رقومی (DEM) منطقه تهیه شد و در محیط ArcGIS با استفاده از DEM موجود، داده‌های لازم استخراج گردید. شکل ۱ حوزه آبخیز بهشت‌آباد و ایستگاه‌های موجود را نشان می‌دهد.

SRM معادل ۰/۶۸ و اختلاف حجم دبی‌ها برابر ۵/۵۸- درصد بوده و مدل تابشی SRM همبستگی‌های دبی‌های مشاهده‌شده و شبیه‌سازی‌شده را نسبت به مدل کلاسیک SRM به‌میزان ۳/۹ درصد بهبود بخشید. سیدی علم‌آباد و همکاران (۲۴) دقت برآورد رواناب ذوب برف با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای IRS و کاربرد مدل‌های آماری (رگرسیون دو و چندمتغیره) در حوزه آبخیز زربینه‌رود را مناسب دانسته و مشخص نمودند که مدل چندمتغیره در برآورد رواناب روزانه ناشی از ذوب برف براساس شاخص درجه-روز، میانگین درجه حرارت روزانه و سطح پوشش برف (از تصاویر ماهواره‌ای) از دقت بالایی برخوردار است. همچنین میریعقوب‌زاده و همکاران (۱۷) با مدل‌سازی جریان ناشی از ذوب برف با استفاده از مدل SRM، ضمن تأیید کارایی مدل در مدل‌سازی رواناب ناشی از ذوب برف (ضریب تبیین تا ۰/۹۴)، نشان دادند که عمده بودجه آبی حوزه آبخیز سد کرج از ذوب برف تأمین می‌شود.

اگرچه نسخه درجه-روز مدل SRM تاکنون توسط محققان در حوزه‌های آبخیز متعدد با موفقیت اجرا شده و می‌توان اذعان داشت که درجه حرارت شاخص مناسبی از جریان انرژی در مناطق جنگلی است ولی در مناطق باز این شاخص نسبت به تابش طول موج کوتاه یا سرعت باد نقش کمتری در فرآیند ذوب برف دارد (۱۴) و مطالعات نشان می‌دهد که با وارد کردن تابش خورشیدی با طول موج کوتاه به مدل ذوب بر پایه درجه حرارت، مدل‌سازی ذوب برف بهبود داشته و در واقع به یک مدل بیلان انرژی ساده تبدیل می‌شود (۵،۲۶). بنابراین هدف تحقیق حاضر تخمین دبی رواناب ناشی از ذوب برف با استفاده از سطوح پوشش برف استخراج شده از تصاویر MODIS و بررسی دقت نسخه درجه روز و تابشی مدل SRM در پیش‌بینی رواناب ناشی از ذوب برف در حوزه آبخیز بهشت‌آباد به‌عنوان یک منطقه کوهستانی و برف‌گیر می‌باشد.

مواد و روش‌ها خصوصیات منطقه تحقیق



شکل ۱- محل ایستگاه‌های برف‌سنجی، هواشناسی (سینوپتیک و باران‌سنجی) و هیدرومتری در حوزه آبخیز بهشت‌آباد
Figure 1. Location of Snow Survey, Climatological (Synoptic and Rainguage Stations) and Hydrometric Station in the Beheshtabad Watershed

استخراج سطح پوشش برف از تصاویر زمین مرجع شده سایت NASA و نرم‌افزارهای سامانه پردازشگر ENVI نسخه ۴/۲ و ArcGIS نسخه ۹/۲ استفاده شد. با توجه به این که برف در طول موج مرئی (۰/۵ تا ۰/۷ میکرومتر) دارای انعکاس زیاد و در طول موج کوتاه مادون قرمز (۱ تا ۴ میکرومتر) دارای انعکاس کم است از باندهای ۴ و ۶ برای استخراج نمایه برفی تفاضلی نرمال شده (رابطه ۲) استفاده شد (۹).

$$\left[NDSI = \frac{MODIS_{Band4} - MODIS_{Band6}}{MODIS_{Band4} + MODIS_{Band6}} \right] \quad (2)$$

در این رابطه NDSI نمایه برفی تفاضلی نرمال‌شده، MODIS_{Band4} تصویر باند چهارم سنجنده MODIS پس از انجام تصحیحات رادیومتریک و MODIS_{Band6} تصویر باند شش سنجنده MODIS پس از انجام تصحیحات رادیومتریک است.

از آنجا که تهیه تصاویر ماهواره‌ای برای هر روز امکان‌پذیر نیست، سطح پوشش برف را برای چند روز در طول فصل ذوب برف تهیه و برای روزهای دیگر درون‌یابی می‌شود. در این تحقیق از روش ماچلر و همکاران (۱۵) برای درون‌یابی استفاده گردید. در واقع تغییرات سطح پوشش برف از عمق ذوب برف تجمعی به‌دست می‌آید و عمق ذوب برف تابعی از فاکتور درجه-روز (α) و تعداد درجه-روز بالای درجه حرارت بحرانی (T^+) است که در بازه زمانی t_1 و t_2 از رابطه ۳ به‌دست می‌آید.

$$\Delta M(t_1, t_2) = \sum_{t_1}^{t_2} \alpha T^+ \quad t_1 < t_x < t_2 \quad (3)$$

فرض کنیم دو تصویر ماهواره‌ای در زمان‌های t_1 و t_2 موجود است و سطح پوشش برف استخراج‌شده با استفاده از این دو تصویر به‌ترتیب $SCA(t_1)$ و $SCA(t_2)$ بوده و فاصله زمانی بین t_A و t_E درجه حرارت پایین‌تر از درجه حرارت

متغیرهای هواشناسی و هیدرومتری مورد نیاز برای مدل، شامل درجه حرارت، بارندگی، سطح پوشش برفی و دبی روزانه می‌باشد. این داده‌ها از ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری و نیز تصاویر ماهواره‌ای تهیه می‌شود. شکل ۲ نمودار جریانی برآورد رواناب با مدل تابشی SRM را نمایش می‌دهد. در مدل SRM درجه حرارت به‌صورت متوسط روزانه متناظر با طبقات هیپسومتریک و بر اساس نرخ کاهش درجه حرارت روزانه محاسبه می‌شود. که می‌توان از مقادیر حداقل و حداکثر دمای روزانه نیز استفاده کرد و مدل این قابلیت را دارد که مقدار متوسط دمای روزانه را محاسبه کند. در این تحقیق از داده‌های میانگین سالانه دمای ایستگاه‌های موجود در منطقه استفاده و معادله گرادیان به ازاء هر ۱۰۰ متر محاسبه گردید. سپس با استفاده از داده‌های روزانه ایستگاه مبنا (ایستگاه شهرکرد) در ارتفاع میانگین هر طبقه ارتفاعی، داده‌های روزانه برای طبقات ارتفاعی به‌دست آمد. بر اساس خصوصیات نوسانات روزانه رواناب حاصل از ذوب برف می‌توان زمان تأخیر را به‌طور مستقیم از هیدروگراف جریان سال‌های گذشته تعیین نمود. به‌عنوان مثال، اگر دبی هر روز در حوالی ظهر شروع به افزایش نماید، تأخیر دبی نسبت به درجه حرارت حدود شش ساعت می‌باشد. ولی به هر حال، به‌طور معمولی دبی در دوره زمانی نیمه‌شب تا نیمه‌شب گزارش می‌شود و برای مقادیر شبیه‌سازی شده نیاز به تطبیق دارد. سطح فعال بارش باران در تبدیل بارش به رواناب مهم می‌باشد. در مدل SRM فرض بر آن است که میزان بارش و نوع آن (از نظر برف یا باران) در هر طبقه ارتفاعی یا واحد هیدرولوژیک یکنواخت است.

سطح پوشش برف

سطح پوشش برف به‌صورت روزانه مورد نیاز است که از پردازش تصاویر ماهواره‌ای به‌دست می‌آید. در این پژوهش تعداد ۷۰ گذر از تصاویر MODIS در منطقه مورد تحقیق (مربوط به سال‌های ۲۰۱۲ و ۲۰۱۳) استفاده شد. برای

که در آن M ذوب روزانه به سانتی‌متر، a شاخص درجه-روز به سانتی‌متر بر درجه سانتی‌گراد بر روز و T تعداد درجه-روز است که از تفاضل درجه‌حرارت میانگین روزانه و درجه‌حرارت بحرانی به‌دست می‌آید. در صورت نبود داده، فاکتور ذوب می‌تواند با استفاده از رابطه تجربی (۶) به‌دست آید.

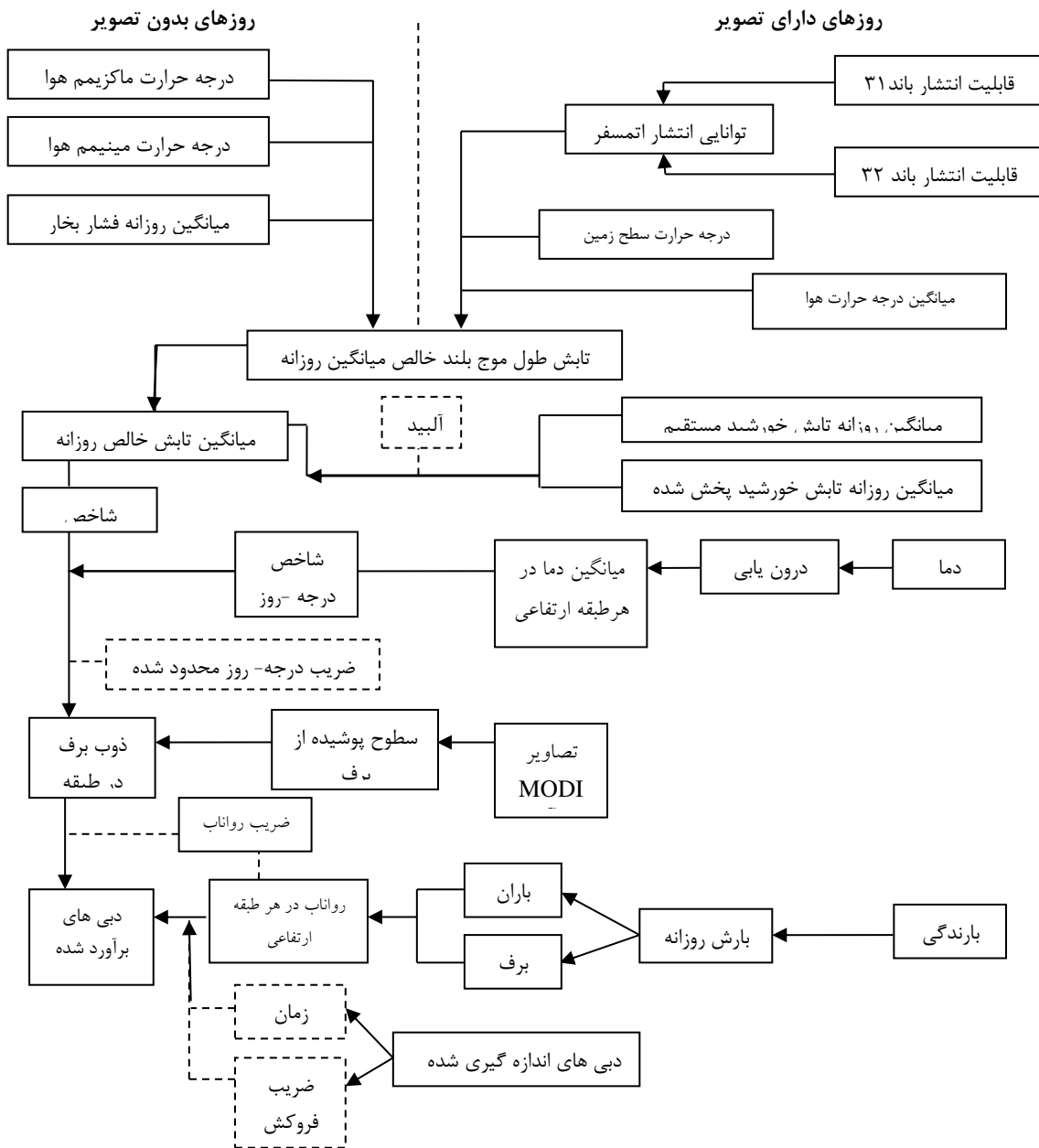
$$a = \frac{1.1 \rho_s}{\rho_w} \quad (6)$$

در این رابطه ρ_s چگالی برف و ρ_w چگالی آب است.

بحرانی باشد (t_A و t_E دو زمان فرضی بین بازه زمانی t_1 تا t_2 می‌باشد). سطح پوشش برف در t_x از رابطه ۴ به‌دست می‌آید.

$$SCA(t_x) = SCA(t_{x-1}) - \frac{SCA(t_1) - SCA(t_2)}{\Delta M(t_1, t_A) + \Delta M(t_E, t_2)} \Delta M(t_{x-1}, t_x) \quad (4)$$

فاکتور درجه-روز (M) به‌صورت مقدار عمق ذوب‌شده به تعداد درجه-روز بوده و به‌صورت معادله ۵ تعریف می‌گردد.

$$M = a \cdot T \quad (5)$$


شکل ۲- نمودار جریان برآورد رواناب با مدل تابشی SRM
Figure 2. Flowchart of Runoff Estimation Using Radiation SRM Model

مقایسه دبی شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده با دو مشخصه ضریب کارایی ناش-ساتکلیف (رابطه ۹) و اختلاف حجم ارقام دبی (رابطه ۱۰) مورد ارزیابی قرار گرفت. معیار تفاضل حجمی که اختلاف بین رواناب مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده است نیز برای ارزیابی دقت مدل استفاده می‌شود.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - \hat{Q}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2} \quad (9)$$

$$D_V[\%] = \frac{V_R - \hat{V}_R}{V_R} \times 100 \quad (10)$$

که در این روابط Q_i و \hat{Q}_i به ترتیب دبی‌های روزانه اندازه‌گیری شده و محاسبه شده، \bar{Q} دبی میانگین در طی یک سال آبی یا فصل ذوب برف، n عبارت است از شمار روزهای اندازه‌گیری دبی، V_R و \hat{V}_R به ترتیب حجم رواناب سالانه یا فصلی اندازه‌گیری شده و محاسبه شده می‌باشند.

نتایج و بحث

جدول ۱ مساحت و درصد طبقات ارتفاعی این حوضه را نشان می‌دهد. Martinec و همکاران (۱۶) فواصل مناسب برای طبقات ارتفاعی را ۵۰۰ متر عنوان کرده‌اند ولی در حوزه آبخیز مورد مطالعه درصد مساحت واقع در طبقه ۲۵۰۰-۲۰۰۰ بیش از ۷۰ درصد سطح کل را شامل می‌شود. بنابراین فواصل طبقاتی مختلفی در نظر گرفته شد. طبقه ارتفاعی ۲۴۰۰-۲۱۰۰ با ۵۴ درصد بیشترین سطح حوضه را شامل می‌شود. این امر نشان‌گر کوهستانی و مرتفع بودن حوزه آبخیز بهشت‌آباد می‌باشد. همچنین شکل ۳ سطح پوشش برف در طبقات ارتفاعی مختلف حوزه آبخیز بهشت‌آباد را نشان می‌دهد.

دبی روزانه اندازه‌گیری شده در ایستگاه هیدرومتری بهشت‌آباد و شبیه‌سازی شده با دو روش کلاسیک و تابشی مدل SRM برای دوره آزمون (۹۳-۱۳۹۲) به صورت آب‌نمودهای شکل‌های ۴ و ۵ نشان داده شده است.

ضریب رواناب به دلیل کمبود داده‌های مشاهده‌ای زمینی بخصوص ناکافی بودن داده‌ها در ارتفاعات برای مدل به صورت سعی و خطا تعیین می‌شود. سپس مدل SRM میزان سهم ذوب برف را با بارش مستقیم باران در هر واحد هیدرولوژیکی ترکیب کرده و برآیند به دست آمده در خروجی حوزه نمایش داده می‌شود.

در مدل تابشی SRM میزان ذوب برف از حاصل ضرب شاخص درجه-روز (T_d) با ضریب درجه-روز محدود شده (a_r) به اضافه میزان ذوب ناشی از شاخص تابش مطابق معادله (۶) به دست می‌آید.

$$M = m_Q R_d + a_r T_d \quad (7)$$

در این معادله m_Q ثابت فیزیکی مربوط به تبدیل انرژی به عمق آب (معادل ۰/۰۲۶ سانتی‌متر در روز در وات بر متر مربع) است. a_r نیز ضریب درجه-روز محدود شده (سانتی‌متر در روز درجه سلسیوس) می‌باشد. شاخص درجه روز (T_d) برای هر دو مدل یکسان است.

تابش خالص روزانه با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی و تصاویر MODIS بر اساس روابط ارائه شده توسط FAO محاسبه می‌گردد (۶). در این تحقیق از داده‌های ایستگاه شهرکرد برای تهیه داده‌های لازم طبقات ارتفاعی استفاده گردید. تابش خالص (R_n) در سطح زمین با استفاده از معادله (۷) به دست می‌آید.

$$R_n = R_s^{\downarrow} - R_s^{\uparrow} + R_l^{\downarrow} - R_l^{\uparrow} \quad (8)$$

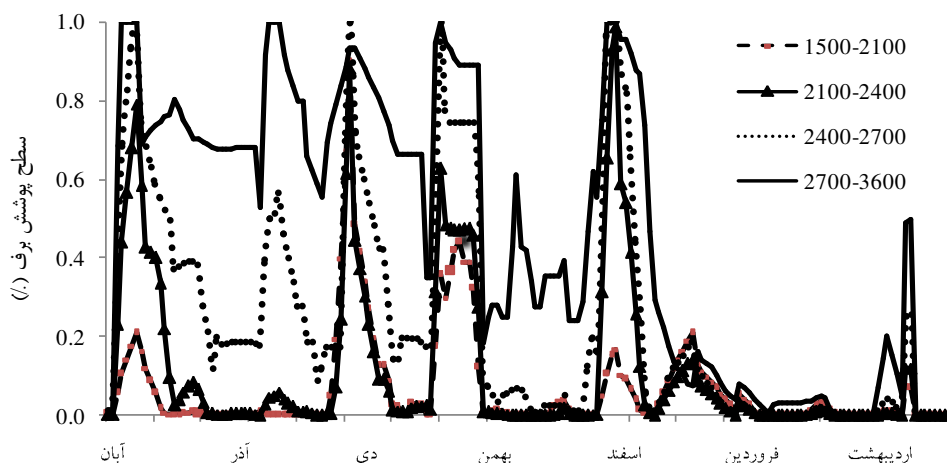
در این رابطه R_s^{\downarrow} تابش ورودی با طول موج کوتاه (وات بر مترمربع)، R_s^{\uparrow} تابش خروجی با طول موج کوتاه، R_l^{\downarrow} تابش ورودی با طول موج بلند و R_l^{\uparrow} تابش با طول موج بلند انعکاس یافته از سطح می‌باشد.

هر یک از پارامترهای مدل SRM می‌توانند با اندازه‌گیری و یا بر اساس نظرات کارشناسی و با استفاده از خصوصیات حوضه، روابط فیزیکی، تجربی و روابط همبستگی برآورد گردد (۱۹). در نهایت می‌توان از واسنجی مدل برای این پارامترها نیز استفاده کرد. جدول ۲ فواصل جستجو و محدوده بهینه پارامترهای مدل SRM را نشان می‌دهد.

جدول ۱- مساحت و درصد طبقات ارتفاعی حوزه آبخیز بهشت‌آباد

Table 1. Elevation Zones (Area and Percent) in the Beheshtabad Watershed

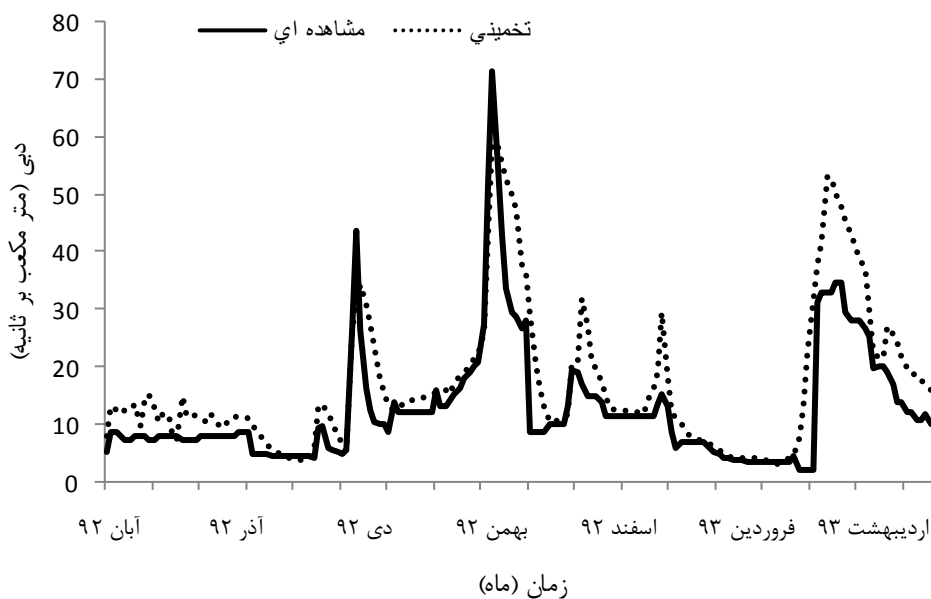
درصد	مساحت (کیلومتر مربع)	طبقه ارتفاعی
۱۶/۸۰	۶۵۲/۲۶	۱۵۰۰-۲۱۰۰
۵۴/۰۵	۲۰۹۷/۸۵	۲۱۰۰-۲۴۰۰
۲۱/۳۱	۸۲۷/۲۹	۲۴۰۰-۲۷۰۰
۷/۸۱	۳۰۳/۴۰	۲۷۰۰-۳۶۰۰



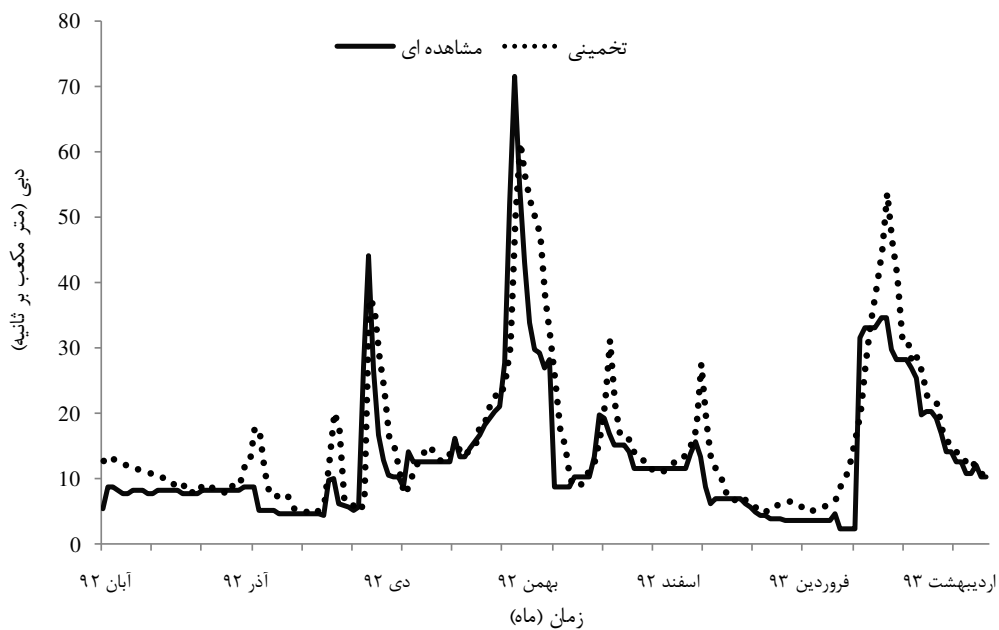
شکل ۳- نسبت سطح پوشش برف در طبقات ارتفاعی مختلف حوزه آبخیز بهشت آباد
Figure 3. Snow Cover Area Ratio in Different Elevation Zones of the Beheshtabad Watershed

جدول ۲- فواصل جستجو برای واسنجی و محدوده بهینه پارامترهای مدل SRM
Table 2. Interval Search for Calibration and Optimal Interval Parameters of SRM Model

محدوده بهینه	مقادیر			علامت	پارامتر
	فاصله	حداکثر	حداقل		
۱/۰۲-۱/۱	۰/۰۱	۱/۵	۰/۱	x	ضریب فروکش
۰/۰۶-۰/۱	۰/۰۱	۰/۱	۰/۰۱	y	ضریب رواناب باران
۰/۷-۰/۷۶	۰/۰۲	۰/۹۹	۰/۰۱	C_f	ضریب رواناب برف
۰/۶۸-۰/۷۸	۰/۰۲	۰/۹۹	۰/۰۱	C_s	ضریب درجه-روز
۰/۲-۰/۳۵	۰/۰۵	۱	۰/۰۵	(a)	ضریب درجه-روز محدود شده
۰/۲-۰/۴۰	۰/۰۱	۱	۰/۰۵	(ar)	درجه حرارت بحرانی
۲	۰/۲	۴	.	T_{crit} (°C)	



شکل ۴- آبنمود روزانه اندازه گیری شده و برآورد شده با مدل کلاسیک SRM
Figure 4. Daily Observed and Estimated Hydrographs Using Classic SRM Model



شکل ۵- آب‌نمود روزانه اندازه‌گیری شده و برآورد شده با مدل تابشی SRM
Figure 5. Daily Observed and Estimated Hydrographs Using Radiation SRM Model

منطقه ضروری به‌نظر می‌رسد. همچنین مقایسه چشمی نتایج دبی روزانه شبیه‌سازی شده با دبی اندازه‌گیری شده (شکل‌های ۴ و ۵) انطباق خوب دبی روزانه اندازه‌گیری شده و دبی شبیه‌سازی شده را نشان می‌دهد. در هر دو مدل در ابتدای فصل بارندگی دقت دبی‌های تخمینی بسیار کم بوده و در ادامه دقت مدل‌ها بیشتر شده است. همچنین در اکثر مواقع دبی تخمینی بیشتر از دبی مشاهده‌ای می‌باشد. جدول ۳ نتایج کمی مقایسه را نشان می‌دهد.

نتایج واسنجی متغیرها (جدول ۲) نشان داد که ضریب فروکش جریان موثرترین متغیر مدل در هماهنگی بین رواناب شبیه‌سازی شده و مشاهداتی است که تعیین سهم تولید ذوب برف روزانه که به‌سرعت به رواناب اضافه می‌شود را به‌خصوص در حوزه‌های آبخیز بزرگ، به‌عهده دارد و در نتیجه لازم است تا به‌دقت مورد واسنجی قرار گیرد. متغیر درجه-روز به تراکم برف وابسته است. بنابراین برای تخمین دقیق این فاکتور، در اختیار داشتن اطلاعات نسبتاً دقیقی از تراکم برفی

جدول ۳- نتایج شبیه‌سازی رواناب ذوب برف با مدل کلاسیک و تابشی SRM در ایستگاه بهشت‌آباد

Table 3. Results of Snowmelt-Runoff Simulation Using Classic and Radiation SRM Models in the Beheshtabad Station

دوره	NSE		Dv (%)	
	تابشی	کلاسیک	تابشی	کلاسیک
واسنجی	۰/۷۶	۰/۶۰	-۹/۳۳	-۱۴/۷۳
آزمون	۰/۷۱	۰/۵۸	-۲۱/۰۶	-۲۸/۳۱

همان‌گونه که در جدول ۳ مشاهده می‌شود مقدار R^2 در مدل تابشی SRM (۰/۷۱) نسبت به مدل کلاسیک (۰/۵۸) به‌میزان ۱۳ درصد بهبود یافته است. همچنین میزان اختلاف حجم کل رواناب در مدل کلاسیک و تابشی SRM به‌ترتیب برابر با $-۲۸/۳۱$ و $-۲۱/۰۶$ می‌باشد. یعنی در نسخه کلاسیک و تابشی مقدار حجم رواناب برآوردی به‌ترتیب ۲۸ و ۲۱ درصد بیش از مقدار مشاهده‌ای است.

با توجه به آب‌نمود مشاهده‌ای مشخص می‌شود که مقادیر اوج رواناب در فروردین و اواخر اسفند و به‌دنبال بارش باران و نیز گرم‌شدن نسبی هوا و در نتیجه ذوب سریع برف به وقوع پیوسته است. زیرا غالباً در ارتفاعات برف‌گیر ذوب برف در اثر بارش باران بیشتر شده و اوج رواناب در زمان بارش شدید باران رخ خواهد داد. بنابراین برف انباشته شده در فصل بارش برف می‌تواند هنگام ذوب در فصل بهار سیلاب‌های

سهمگینی را ایجاد نماید. بنابراین مدیریت حریم رودخانه می‌تواند روند سیل را کاهش داده و از بروز خسارت جلوگیری نماید. از سوی دیگر با توجه به ذوب عمده ذخیره برف در ماه‌های اسفند و فروردین و به‌دنبال آن کاهش شدید ذخیره برف، کاهش دبی در اواخر فصل بهار و به‌خصوص تابستان کاملاً منطقی می‌باشد. بنابراین به‌نظر می‌رسد مدیریت مناسب تاریخ کاشت برای تعدیل اثرات منفی کاهش شدید دبی بر عملکرد محصولات زراعی، به‌عنوان یک راهکار مناسب در نظر گرفته شود. در هر دو نسخه SRM بیشترین عدم انطباق در زمان سیلابی و هم‌زمان با ذوب برف می‌باشد که دبی را بیش از مقدار واقعی برآورد کرده‌اند. پرهت و همکاران (۲۲) نیز در تحقیق خود به این نکته اشاره نموده‌اند که بیشترین ناهمخوانی آب‌نمودها مربوط به زمان سیلابی است. همچنین

سطح پوشش برف MODIS می‌تواند برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی رواناب برف در حوزه آبخیز بهشت‌آباد به‌کار رود. کارایی بالای مدل در برآورد دبی را می‌توان به استفاده از داده‌های سنجش از دور به‌عنوان ورودی‌های مدل (سطح پوشش برف، توپوگرافی منطقه) نسبت داد. بنابراین در حوزه‌هایی که فاقد داده‌های اندازه‌گیری زمینی برف‌سنجی می‌باشند، با استفاده از سطح پوشش برف که از تصاویر ماهواره‌ای به‌دست می‌آید و استفاده از مدل SRM می‌توان جریان حوزه آبخیز را پیش‌بینی کرد. از نتایج به‌دست آمده استنباط می‌شود که با استفاده از مدل تابشی و درجه-روز SRM به آسانی و دقت قابل قبول می‌توان رواناب حاصل از ذوب برف را برآورد نمود. همچنین نتیجه‌گیری می‌شود که افزودن تابش به مدل SRM باعث بهبود برآورد رواناب ناشی از ذوب برف در حوزه آبخیز بهشت‌آباد شده است.

در اوایل دوره بارندگی با توجه به اینکه ظرفیت جذب و نفوذ آب در خاک زیاد می‌باشد، مقدار رواناب مشاهده‌ای کمتر از مقدار تخمینی است که این به‌دلیل عدم لحاظ رطوبت خاک و قابلیت نفوذ آب در مدل SRM می‌باشد. دلیل دیگر وجود اختلاف بین مقادیر برآوردی و مشاهده‌ای وجود ایستگاه‌های هواشناسی محدود در سطح این حوزه آبخیز می‌باشد که با توجه به سطح وسیع حوزه، کوهستانی‌بودن و گوناگونی مشخصه‌های اقلیمی در سرتاسر حوزه، استفاده از گردان‌های دمایی و بارندگی چندان پاسخگوی نیازهای مدل نبوده که این امر خود باعث کاهش دقت مدل می‌گردد.

به‌طور کلی دقت مدل تابشی بیش از مدل کلاسیک می‌باشد که با مطالعات فتح زاده و همکاران (۷) و Vafakhah و همکاران (۲۷) مطابقت دارد. در نهایت نتایج مدل نشان می‌دهد که مدل SRM با استفاده از داده‌های

منابع

1. Arp, P.A. and X. Yin. 1992. Predicting water fluxes through forests from monthly precipitation and mean monthly air temperature records. *Canadian Journal of Forest Research*, 22(6): 864-877.
2. Biggs, T.W. and T.M. Whitaker. 2012. Critical elevation zones of snowmelt during peak discharges in a mountain river basin. *Journal of Hydrology*, 438(9): 52-65.
3. Bisht, G., V. Venturini, S. Islam and L. Jiang. 2005. Estimation of the net radiation using MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) data for clear sky days. *Remote Sensing of Environment*, 97: 52-67.
4. Bobba, A.G. and D.C.L. Lam. 1990. Hydrological modeling of acidified Canadian watersheds. *Ecological Modeling*, 50(3): 5-32.
5. Brubaker, K., A. Rango and W. Kustas. 1996. Incorporating radiation inputs into the Snowmelt Runoff Model. *Hydrological Processes*, 10(10): 1329-1343.
6. FAO. 1998. *Crop Evapotranspiration (Guidelines for Computing Crop Water Requirements)*, FAO 56, Roma.
7. Fathzadeh, A., M. Mahdavi, R.C. Bales, A.A. Abkar and A. Askari Shirazi. 2009. A comparison of degree-day and radiation base of Snowmelt Runoff Model (SRM). *Journal of Range and Watershed Management*, 62: 99-110 (In Persian).
8. Ghanbarpour, M.R., B. Saghafian, M. Mohseni Saravi and K.C. Abbaspour. 2007. Evaluation of spatial and temporal variability of snow cover in a large mountainous basin in Iran. *Nordic Hydrology*, 38(1): 45-58.
9. Hall, D.K., G.A. Riggs, V.V. Salomonson, N.E. DiGirolamo and K.J. Bayr. 2002. MODIS snow cover products. *Remote Sensing of Environment*, 83: 181-194.
10. Hong, M. and G. Cheng. 2003. A test of snowmelt runoff model (SRM) for the Gongnaisi river basin in the western tianshan mountains, China. *Chinese Science Bulletin*, 48(20): 2253-2259.
11. Jakeman, A.J. and G.M. Hornberger. 1993. How much complexity is warranted in a rainfall-runoff model? *Water Resources Research*, 29(8): 2637-2649.
12. Khadka, D., B. Mukand, S. Shrestha and N. Tripathi. 2014. Climate change impact on glacier and snow melt and runoff in Tamakoshi basin in the Hindu Kush Himalayan (HKH) region. *Journal of Hydrology*, 511: 49-60.
13. Kite, G.W., A. Dalton and K. Dion. 1994. Simulation of streamflow in a macro scale watershed using general circulation model data. *Water Resources Research*, 30(5): 1547-1559.
14. Li, X. and M.W. Williams. 2008. Snowmelt runoff modelling in an arid mountain watershed, Tarim basin, China. *Hydrological Processes*, 22(19): 3931-3940.
15. Malcher, P., M. Heidinger, T. Nagler and H. Rott. 2004. Processing and data assimilation scheme for satellite snow cover products in the hydrological model. Institute for Meteorology and Geophysics, University of Innsbruck. Envisnow EVG1-CT-2001-00052. www.itek.norut.no/EnviSnow.
16. Martinec, J., A. Rango and R.T. Roberts. 2008. Snowmelt runoff model (SRM) user's manual. New Mexico, New Mexico State University Press, 177 pp.
17. Miryaghoozbadeh, M., M.R. Ghanbarpour and M. Habibnejad Roshan. 2011. Snowmelt river flow modeling using SRM model (case study: Karaj dam basin). *Iran Water Resources Research*, 7(3): 40-52 (In Persian).
18. Nabi, G., M. Latif, H. Rahman and A. Hussain Azhar. 2011. The role of environmental parameter (degree day) of snowmelt runoff simulation. *Soil and Environment*, 30(1): 82-87.

19. Najafi, M.R., J. Sheikhiwand and G. Porhemmat. 2004. Estimation of runoff in a snow cover mountainous basin by using SRM model (A case study of Mahabad basin). *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 43: 111-121 (In Persian).
20. Najafi Eigdir, A., J. Ghodoosi, B. Saghafian and J. Porhemmat. 2007. Snowmelt runoff estimation by using RS and GIS (A case study in Shahar-chi watershed- Orumiyeh). *Watershed Management Research (Pajouhesh & Sazandegi)*, 76: 177-185 (In Persian).
21. Najafzadeh, R., A. Abrishamchi and M. Tajrishi. 2005. Stream Flow with Snowmelt Runoff Modeling Using RS and GIS (Case Study: Pelasjan sub Basin). *Water and Wastewater Consulting Engineers*, 15(52): 48-55 (In Persian).
22. Porhemmat, J., B. Saghafian and H. Sedghi. 2005. Application of SRM model in snowmelt runoff simulation using NOAA images in ungaged basins. *Iran Water Resources Research*, 1(1): 1-11 (In Persian).
23. Rostamian, R., S.F. Mousavi, M. Heidarpour, M. Afyuni and K. Abaspour. 2008. Application of SWAT2000 model for estimating runoff and sediment in Beheshtabad watershed, a sub-basin of northern Karun. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 12(46): 531-517 (In Persian).
24. Sayedi Elmabad, M., H.R. Moradi and M.Reza. Ghanbarpour. 2009. Estimation of snowmelt runoff using IRS satellite data and statistical models (the case study: Zarinerood basin). *Iranian Journal of Watershed Management Science*, 3(9): 35-44 (In Persian).
25. Stewart, I.T., D.R. Cayan and M.D. Dettinger. 2004. Changes in snowmelt runoff timing in Western North America under a business as usual climate change scenario. *Climate Change*, 62(1-3): 217-232.
26. Stroeve, J.C., J.E. Box and T. Haran. 2006. Evaluation of the Modis (MOD10A1) daily snow albedo product over the greenland ice sheet. *Remote Sensing of Environment*, 105: 155-171.
27. Vafakhah, M., A. Nouri and S.K. Alavipanah. 2015. Snowmelt-runoff estimation using radiation SRM model in Taleghan watershed. *Environment Earth Science*, 73(3): 993-1003.
28. Vafakhah, M., M. Mohseni Saravi, M. Mahdavi and S.K. Alavipanah. 2011. Comparison of snow cover area (SCA) in NOAA and MODIS Images (A case study: Taleghsn Watershed). *Watershed Management Research (Pajouhesh Sazandegi)*, 92: 80-94 (In Persian).

Comparison of Degree-Day and Radiation base of Snowmelt Runoff Model (SRM) for Estimating Runoff from Snow Melting

Mohammad Bagher Raeisi¹, Mehdi Vafakhah² and Hamid Reza Moradi³

1- PhD Student, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Mazandaran, Noor, Iran

2- Professor, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Mazandaran, Noor, Iran (Corresponding author: vafakhah@modares.ac.ir)

3- Professor, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Mazandaran, Noor, Iran

Received: September 28, 2016

Accepted: April 4, 2017

Abstract

In mountainous and snowy watersheds, runoff generated by snow melting is an important factor in changes in flow regime and plays an important role in stream water Supply and water resources. However, in such watersheds, hydrological and meteorological required data for simulation, especially snow survey data are usually not available. Therefore, there are many problems for simulation and forecasting runoff generated by snow melting. In this study, were used the degree-day and radiation base of SRM to estimate the runoff in the Beheshtabad watershed. The aim of this study was to evaluate the degree-day and radiation version of the model for estimating runoff from snow melting. Therefore, prepared the variables of classical and radiation SRM and snow cover was obtained from MODIS satellite images and then models were run for calibration period (2012-13) and validation period (2013-14). The efficiency factor (R^2) in the validation period for SRM radiation model (0.71) is 13% more than the classic model (0.58) and the difference between total runoff volumes in the radiation SRM improved 7% compared to the classical model.

Keywords: Drought forecasting, Simulation, Snowmelt runoff model, Snow water equivalent



"مقاله پژوهشی"

ارزیابی کارایی مدل بیابان‌زایی IMDPA در تعیین فرسایش‌های آبی و بادی

مسعود مسعودی^۱ و سمیه شیرگیر^۲

۱- دانشیار گروه مهندسی منابع طبیعی و محیط زیست، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز (نویسنده مسوول: masoudi@shirazu.ac.ir)

۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی منابع طبیعی و محیط زیست، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز

تاریخ ارسال: ۹۶/۰۳/۲۵ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۴/۰۷

صفحه: ۱۲ تا ۲۵

چکیده

برای بررسی و تهیه نقشه‌های بیابان‌زایی و فرسایش، مدل‌ها و روش‌های گوناگونی از جمله IMDPA، PSIAC و IRIFR ارائه شده است. در این پژوهش از مدل IMDPA که مدل ارزیابی پتانسیل بیابان‌زایی می‌باشد و مدل PSIAC که ویژه ارزیابی فرسایش آبی و همچنین مدل IRIFR که اختصاص به ارزیابی فرسایش بادی دارد، برای منطقه چاه گوجی مه ولات در استان خراسان رضوی استفاده شده است. هدف از مطالعه و ارزیابی این منطقه، تهیه نقشه‌های فرسایش آبی و بادی با استفاده از روش IMDPA به دو صورت تلفیقی میانگین هندسی و حداکثر محدودیت و سپس مقایسه کارایی دو نقشه با شاخص وضعیت فعلی تخریب و همچنین مقایسه آنها با مدل‌های PSIAC و IRIFR است. با توجه به بررسی آماری صورت گرفته بین نقشه‌های تولیدی نتایج نشان می‌دهد که مدل پیشنهادی IMDPA بر اساس دیدگاه حداکثر محدودیت نسبت به نقشه فرسایش حاصله از تلفیق دو مدل PSIAC و IRIFR از همبستگی بیشتری با وضعیت فعلی تخریب برخوردار است، اگرچه هر دو همبستگی معنی‌دار خوبی با شاخص فوق دارند. همچنین نتایج نشان می‌دهد که نقشه فرسایش IMDPA با روش میانگین هندسی فاقد همبستگی معنی‌دار (R=+۰/۲۹۸) با شاخص وضعیت فعلی تخریب می‌باشد که نشان‌دهنده نامناسب بودن مدل فعلی IMDPA است. برعکس مدل پیشنهادی IMDPA بر اساس تلفیق حداکثر محدودیت با توجه به نتایج حاصله (R=+۰/۹۲۵**) مناسب‌ترین روش برای تهیه نقشه فرسایش در مناطق خشک و بیابانی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: فرسایش، حداکثر محدودیت، میانگین هندسی، IMDPA، IRIFR، PSIAC

مقدمه

فرسایش خاک به شکل بادی و آبی یکی از مهمترین مصدق تخریب سرزمین یا بیابان‌زایی در ایران است که ناشی از عوامل محیطی و انسانی می‌باشد. بهره‌برداری بی‌رویه از منابع اراضی، نبود یک استراتژی مناسب در جهت حفاظت خاک، عدم اولویت بخشی به شیوه‌های اصلاحی و غیره موجب شده تا فرسایش خاک به عنوان یک معضل ملی مطرح شود (۱۱). پیامدهای فرسایش خاک توسط برخی از پژوهشگران به حدی خطرناک قلمداد شده است که شکوفائی و نابودی تمدن‌های پیشین را به این پدیده نسبت داده‌اند (۸). به‌طور کلی عوامل اصلی فرسایش در کشور ایران را می‌توان به دو دسته عوامل طبیعی و انسانی تقسیم‌بندی نمود. از عمده‌ترین عوامل طبیعی فرسایش می‌توان به اقلیم اشاره کرد. بخش عمده‌ای از سرزمین ایران شرایط خشک، نیمه‌خشک دارند که دارای وضعیت اکولوژیکی شکننده و بسیار حساس نسبت به بهره‌برداری بی‌رویه هستند. این شرایط وضعیت را برای فرسایش خاک به‌ویژه فرسایش بادی در این منطقه فراهم می‌کند. فرسایش بادی در مناطقی با بارندگی کمتر از ۱۵۰ میلی‌متر اهمیت ویژه‌ای دارد هر چند که فرسایش بادی به دلیل گستره وسیع فعالیت خود به‌طور معمول عملکرد تخریبی خفیف‌تری نسبت به فرسایش آبی دارد ولی به‌علت تداوم و گستره فرساینده‌گی در زمان و مکان، بیابان‌جابه‌جایی خاک توسط این نوع فرسایش در مناطق خشک به مراتب بیشتر از فرسایش آبی می‌باشد. در مقیاس جهانی اهمیت و خطر فرسایش بادی کمتر از فرسایش آبی است ولی گاهی

ابعاد و عظمت آن بیش از فرسایش آبی می‌باشد (۱۰). فرسایش بادی از مهمترین عوامل تخریب و هدررفت خاک در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌شمار می‌رود (۲۴).

یک سری مدل‌های فرسایشی برای تخمین و برآورد فرسایش خاک پیشنهاد گردیده است که این مدل‌ها به‌عنوان ابزارهای پیش‌بینی برای فرسایش و فرآیندها و اثرات آنها می‌باشد. مدل‌های فرسایش به سه دسته تقسیم می‌شوند. تمایز این مدل‌ها ذهنی است و هیچ اختلاف واضح و روشنی بین آنها وجود ندارد (۱۹).

۱- مدل‌های تجربی (آماری): اساسا بر روی مشاهدات پایه‌گذاری شده‌اند و معمولا آماری هستند. این مدل‌ها بیشتر برای پیش‌بینی متوسط فرسایش به‌کار می‌روند، اگرچه گاهی اوقات برای پیش‌بینی میزان رسوب هم استفاده می‌شوند. در این مدل می‌توان به مدل جهانی خاک USLE و مدل تخمین هدررفت برای آفریقا SLEMSA اشاره کرد.

۲- مدل‌های مفهومی: بر اساس معادلات پیوستگی آب و رسوب پایه‌گذاری شده‌اند. این مدل‌ها بدون توجه به جزئیات شرح کلی از فرآیندهای حوزه را فراهم می‌کنند این مدل‌ها به‌عنوان واسطه‌ای بین مدل‌های تجربی و مدل‌های فیزیک-پایه عمل می‌کنند. از جمله این مدل‌ها می‌توان به AGNPS، ACUR، HSPF و SWRRB اشاره کرد.

۳- مدل‌های فیزیک-پایه: این مدل‌ها بر اساس معادلات فیزیکی پایه‌گذاری شده‌اند. این مدل‌ها به‌منظور بررسی توزیع مکانی رواناب و رسوب در طی دوره بارندگی و همچنین برای پیش‌بینی کل رواناب و اتلاف خاک توسعه داده شده‌اند. از

PSIAC و IRIFR در حوضه آبخیز بردخون (۳)، ارزیابی کمی شدت فرسایش آبی با استفاده از مدل منطقه‌ای برآورد فرسایش و تولید رسوب در حوزه آبخیز نیر اردبیل (۴) و حوزه آبخیز دره مرید کرمان (۹)، ارزیابی شدت فرسایش بادی با بهره‌گیری از مدل IRIFR در منطقه ابوزیدآباد کاشان (۱۴)، ارزیابی فرسایش و رسوبات بادی با استفاده از مدل IRIFR در منطقه زهک دشت سیستان (۱۶). در تحقیقات فوق به نوعی کارایی دو مدل اشاره شده در تعیین فرسایش آبی و بادی در مناطق ذکر شده را مناسب دانستند.

اما نکته ای در اینجا بایست اشاره شود این است که سه مدل اشاره شده IMDPA، PSIAC و IRIFR مبتنی بر دیدگاه میان‌گیری یا جمع‌بندی می‌باشند و در مقوله فرسایش خاک و خیلی از مدل‌های طبقه‌بندی خاکشناسی دیدگاه ارزیابی بر اساس منطق حداکثر محدودیت است که چنانچه این دیدگاه در نحوه ارزیابی مورد استفاده قرار گیرد می‌تواند نتایج دقیق‌تری را به همراه داشته باشد. لذا هدف از مطالعه و ارزیابی این منطقه، تهیه نقشه‌های فرسایش آبی و بادی با روش IMDPA به دو صورت تلفیقی میانگین هندسی و حداکثر محدودیت و مقایسه کارایی دو نقشه با شاخص وضعیت فعلی تخریب و همچنین مقایسه نقشه‌های فرسایش ایجاد شده با نقشه‌های فرسایش به‌دست‌آمده از مدل‌های PSIAC و IRIFR می‌باشد.

مواد و روش‌ها

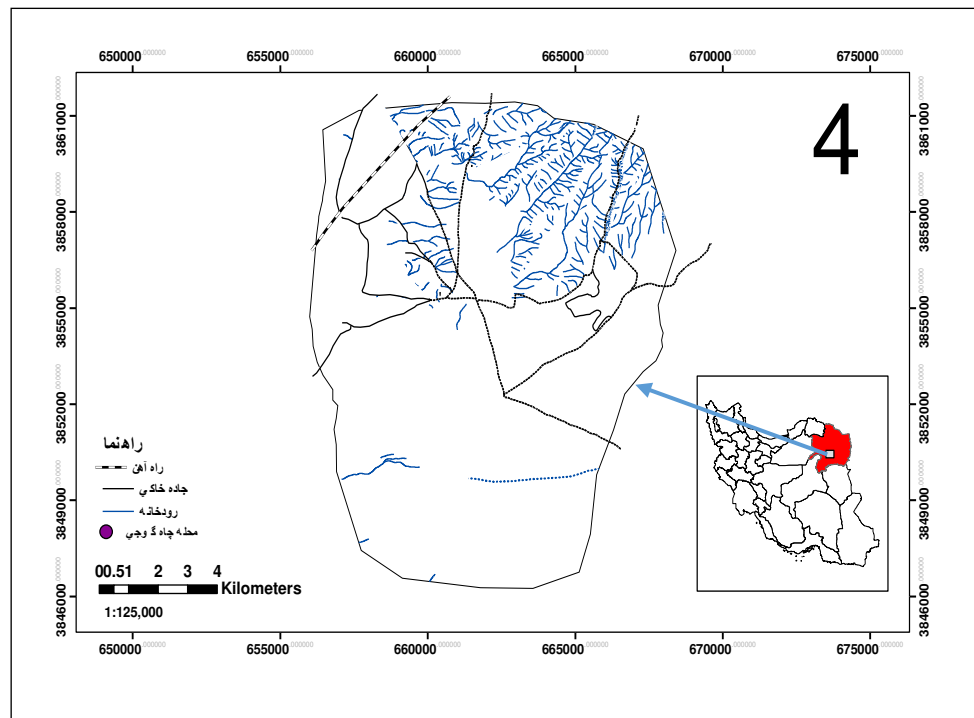
منطقه مورد مطالعه

منطقه چاه گوجی مه ولات در قسمت جنوبی دهستان مه ولات از بخش مرکزی شهرستان مه ولات در استان خراسان رضوی قرار دارد و تا شهر فیض آباد ۲۵ کیلومتر فاصله دارد. منطقه مورد مطالعه با مساحت ۱۵۰۰۵/۲ هکتار در محدوده جغرافیایی بین ۵۸ درجه و ۴۲ دقیقه تا ۵۸ درجه و ۵۰ دقیقه طول جغرافیایی و ۳۴ درجه و ۴۴ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۵۳ دقیقه عرض جغرافیایی واقع گردیده است. متوسط بارندگی سالانه منطقه ۱۵۰ میلی‌متر و متوسط درجه حرارت سالانه ۲۰/۴ درجه سانتی‌گراد است (شکل ۱). اقلیم منطقه در روش آمبرژه بیابانی معتدل و در روش دومارتون اصلاح شده فراخشک و در روش ایوانف، صحرایی می‌باشد.

انواع این مدل می‌توان به ANSWERES و WEPP اشاره کرد.

مدل (Iranian Model Of Desertification) IMDPA (Potential Assessment) جدیدترین مدل ایرانی ارزیابی پتانسیل بیابان‌زایی است و از این مدل برای مطالعات فرسایشی در ایران استفاده شده است. از جمله مطالعات انجام شده با مدل IMDPA در ایران می‌توان به موارد فوق اشاره داشت: ارزیابی شدت بیابان‌زایی دشت سگزی در شرق اصفهان (۱۵)، ارزیابی شدت بیابان‌زایی دشت سیستان (۱۶)، بررسی وضعیت فعلی بیابان‌زایی (با تأکید بر معیارهای آب، خاک و پوشش گیاهی) منطقه جرقویه اصفهان (۲۱)، اولویت‌بندی مکانی تخریب اراضی با تأکید بر فرسایش بادی و اقلیم در منطقه بردخون بوشهر (۳)، ارزیابی وضعیت فعلی بیابان‌زایی در مناطق بیابانی ساحلی با استفاده از معیارهای بیوفیزیک در منطقه کهیر کنارک چابهار (۱۷)، پهنه‌بندی وضعیت بیابان‌زایی منطقه خضرآباد-الله‌آباد دشت یزد و تأکید بر معیارهای آب و خاک (۲۲)، واسنجی مدل IMDPA با توجه به معیارهای زمین به‌منظور ارائه یک مدل منطقه‌ای برآورد شدت بیابان‌زایی در منطقه ابوزیدآباد کاشان (۱۴)، ارزیابی خطر بیابان‌زایی منطقه نیمه‌خشک آق‌بند، گلستان (۱)، مقایسه کارایی مدل‌های ایرانی ارزیابی خطر بیابان‌زایی IMDPA و MICD در منطقه سبزوار (۲۳)، ارزیابی گسترش بیابان با استفاده از مدل‌های MEDALUS و IMDPA در منطقه شرق شهرستان خمین (۶)، ارزیابی شدت بیابان‌زایی در منطقه سریشه حسین‌آباد (۲۰)، بررسی اثرات بیابان‌زایی با در نظر گرفتن معیارهای آب و باد در منطقه بهاباد یزد (۷)، ارزیابی خطر فرسایش خاک در منطقه مزایجان فارس (۱۳) و ارزیابی تخریب سرزمین و بیابان‌زایی در منطقه چاه هاشم ایران (۲). به نوعی در اکثر تحقیقات فوق از کارایی مدل فوق در تعیین ارزیابی بیابان‌زایی با توجه به در نظرگیری طیف وسیعی از معیارهای بیابان‌زایی اشاره شده است.

مدل‌های (Pacific Southwest Inter Agency) PSIAC و (Iran Research Institute of) IRIFR (Committee Forests and Rangelands) به ترتیب برای ارزیابی فرسایش آبی و بادی می‌باشند که از جمله تحقیقات با این مدل‌ها می‌توان به نمونه‌های ذیل اشاره کرد؛ پهنه‌بندی پتانسیل رسوب‌دهی فرسایش آبی و بادی با استفاده از مدل‌های



شکل ۱- نقشه موقعیت منطقه در استان خراسان رضوی و ایران
Figure 1. Map of the location of the area in the Khorasan Razavi province and Iran

الف) بررسی وضعیت فرسایش آبی منطقه بر اساس

مدل IMDPA

در IMDPA شدت بیابان‌زایی به کمک ۹ معیار؛ خاک، فرسایش بادی، فرسایش آبی، اقلیم، آب، پوشش گیاهی، کشاورزی، توسعه تکنولوژی و مدیریت مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. برای تلفیق داده‌ها همانند روش مدالوس از میانگین هندسی وزنی بین ۱ تا ۴ استفاده می‌شود. شاخص‌های تعریف‌شده برای هر یک از معیارها بر حسب وضعیت فعلی شاخص مورد نظر در چهار کلاس بیابان‌زایی کم و ناچیز، متوسط، شدید و بسیار شدید از نظر شدت بیابان‌زایی قرار داده می‌شوند. معیار فرسایش آبی در این مدل با استفاده از ۴ شاخص نوع و تراکم فرسایش آبی، تراکم شبکه زهکشی، درصد تاج پوشش گیاهی و استفاده غالب اراضی تعیین می‌شود (جدول ۱). مقدار کمی هر شاخص با استفاده از میانگین وزنی مقادیر اخذشده در رخصاره‌های ژئومورفولوژی به‌دست آمد. همچنین ارزش عددی معیار فرسایش آبی از ریشه چهارم حاصلضرب چهار شاخص مربوطه در هر واحد کاری به‌دست آمد (معادله ۱).

روش کار

در پژوهش حاضر نقشه رخصاره‌های ژئومورفولوژی به عنوان واحد کاری مد نظر قرار گرفت سپس با استفاده از این نقشه پایه و نقشه توپوگرافی منطقه و دستگاه GPS موقعیت این واحدهای کاری با مراجعه به منطقه (مطالعه صحرایی) شناسایی شد. منطقه مورد مطالعه در محدوده واحد دشت سر قرار دارد. این واحد در منطقه چاه گوجی شامل یک تپه ژئومورفولوژی دشت سرپوشیده و ۱۰ نوع رخصاره می‌باشد. وجود شرایط خشک و کم‌آبی در منطقه چاه گوجی سبب شده است که رخصاره‌های مربوط به فرسایش آبی بسیار کم و قابل اغماض باشد. اما از سوی دیگر وجود فرسایش بادی سبب به‌وجود آمدن رخصاره‌های مختلف این نوع فرسایش شده است. هرچند که رخصاره‌های فرسایش بادی نیز به‌دلیل عملیات بیولوژیک و... در منطقه دارای تنوع چندانی نمی‌باشد. اما به‌دلیل بهره‌برداری‌های بی‌رویه از عرصه‌های منابع طبیعی و سفره‌های آب زیرزمینی روند بیابان‌زایی و فرسایش بادی در این منطقه در حال افزایش بوده و این خود زنگ خطری برای مسوولین و ساکنین این منطقه است.

۱- بررسی وضعیت فرسایش منطقه بر اساس مدل IMDPA

$$\text{معادله ۱} \quad \left(\text{تاج پوشش} \times \text{نوع کاربری} \times \text{تراکم زهکشی} \times \text{نوع و تراکم فرسایش آبی} \right)^{\frac{1}{4}} = \text{معیار فرسایش آبی}$$

جدول ۱- شاخص‌های وضعیت فرسایش آبی در مدل IMDPA

Table 1. Indicators of water erosion status in the IMDPA model

شاخص		کلاس و درجه خطر			
		کم (۱)	متوسط (۲)	شدید (۳)	بسیار شدید (۴)
نوع و تراکم فرسایش آبی	فرسایش سطحی همراه با فرسایش شیبی با تراکم کمتر از ۶۰ درصد در هر واحد کاری	فرسایش خندقی همراه با آبراهه‌های پراکنده با تراکم کمتر از ۵۰ درصد	فرسایش آبراهه‌های همراه با توده‌ای پراکنده با تراکم کمتر از ۴۰ درصد	فرسایش آبراهه‌های همراه با فرسایش خندقی، سطحی و توده‌ای پراکنده با تراکم کمتر از ۳۰ درصد	فرسایش انحرافی همراه با فرسایش توده‌ای یا فرسایش خندقی شدید و هزار دره با تراکم کمتر از ۲۰ درصد
تراکم شبکه زهکشی	کمتر از ۱۰ کیلومتر در کیلومتر مربع	۱۰-۲۰ کیلومتر در کیلومتر مربع	۲۰-۳۰ کیلومتر در کیلومتر مربع	۳۰-۴۰ کیلومتر در کیلومتر مربع	بیشتر از ۳۰ کیلومتر در کیلومتر مربع
درصد تاج پوشش گیاهی	بیشتر از ۵۰ درصد	۳۰-۵۰ درصد	۲۰-۳۰ درصد	۳۰-۴۰ درصد	کمتر از ۲۰ درصد
استفاده غالب اراضی	مرتع و علفزار خوب	مرتع با وضعیت متوسط	مرتع با وضعیت فقیر	مرتع با وضعیت خیلی فقیر	

مقدار کمی هر شاخص با استفاده از میانگین وزنی مقادیر اخذ شده در رخساره‌های ژئومورفولوژی به دست آمد. ارزش عددی معیار فرسایش بادی از ریشه سوم حاصلضرب شاخص‌های مربوطه به دست آمد (معادله ۲).

ب) بررسی وضعیت فرسایش بادی منطقه بر اساس مدل IMDPA:

معیار فرسایش بادی در این مدل با استفاده از ۳ شاخص؛ ظهور رخساره فرسایشی، درصد پوشش غیرزنده در سطح خاک و درصد تاج پوشش گیاهی تعیین می‌شود (جدول ۲).

$$\text{معادله ۲} = \left(\text{درصد تاج پوشش} \times \text{درصد پوشش غیرزنده} \times \text{ظهور رخساره فرسایشی} \right)^{\frac{1}{3}} = \text{معیار فرسایش بادی}$$

جدول ۲- شاخص‌های وضعیت فرسایش بادی بر اساس مدل IMDPA

Table 2. Indicators of wind erosion status in the IMDPA model

شاخص		کلاس و درجه خطر			
		کم (۱)	متوسط (۲)	شدید (۳)	بسیار شدید (۴)
ظهور رخساره فرسایشی	بدون آثار و اشکال فرسایش بادی و آشفته‌گی خاک در طول سال	دارای آثار بادبردگی محدود در سطح خاک، سطوح شلجی پراکنده و تشکیل سنگفرش بیابان	پهنه ماسه ای، کلوتک پراکنده، شلجی متراکم تشکیل سنگفرش کم تراکم	تپه ماسه ای فعال کلوتک های متراکم و نزدیک به هم	
درصد پوشش غیر زنده در سطح خاک	>۸۰	۴۰-۸۰	۲۰-۴۰	<۲۰	
درصد تاج پوشش گیاهی	>۴۰	۲۰-۴۰	۱۰-۲۰	<۱۰	

حاصلضرب فرسایش آبی و بادی به دست می‌آید (معادله ۳) بر اساس طبقه‌بندی نهایی در ۴ کلاس بیابان‌زایی طبقه‌بندی می‌شود (جدول ۳).

ج) تعیین وضعیت نهایی فرسایش منطقه مورد مطالعه بر اساس مدل IMDPA:

بدین منظور از دو نقشه وضعیت فرسایش آبی و بادی به دست آمده در مراحل قبل استفاده می‌شود. نقشه نهایی که از میانگین هندسی معیارهای مورد بررسی یا ریشه دوم

$$\text{معادله ۳} = \left(\text{فرسایش آبی} \times \text{فرسایش بادی} \right)^{\frac{1}{2}} = \text{وضعیت نهایی فرسایش منطقه}$$

جدول ۳- طبقه‌بندی شدت فرسایش در نقشه‌های فرسایش آبی، بادی و نهایی در مدل IMDPA

Table 3. Classification of erosion severity in water erosion, wind erosion and final erosion in the IMDPA model

دامنه ارزش عددی	وضعیت فرسایش	کلاس شدت فرسایش
۱-۱/۵	کم و ناچیز	۱
۱/۶-۲/۵	متوسط	۲
۲/۶-۳/۵	شدید	۳
۳/۶-۴	بسیار شدید	۴

انتخاب کنیم (۱۰). بنابراین در این مطالعه تعیین کلاس نهایی خطر را بر اساس حداکثر محدودیت انجام و با روش میانگین‌گیری مقایسه شد.

البته لازم به ذکر است که با توجه به اینکه تخریب سرزمین تابع نوع غالب تخریب است. لذا ارزیابی بر اساس روش میانگین‌گیری می‌تواند نادرست باشد و شاید مناسب‌تر باشد کلاس نهایی خطر را بر اساس بالاترین محدودیت

نظرگرفتن شاخص‌های مختلف برای مدل تکمیل گردید. در این مدل که از نوع تجربی است ۹ عامل موثر در برآورد فرسایش آبی مورد بررسی قرار گرفته (جدول ۴) و نهایتاً با جمع امتیازهای ۹ گانه در هر رخساره، کلاس فرسایش تعیین می‌شود (جدول ۵).

۲- تعیین وضعیت فرسایش آبی و بادی بر اساس مدل‌های PSIAC و IRIFR:
الف) مدل PSIAC:
برای تعیین شدت فرسایش آبی با این روش در بازدید صحرائی از منطقه فرم‌های پسیاک در هر واحد کاری با در

جدول ۴- عوامل موثر در فرسایش خاک و تولید رسوب در روش PSIAC

عوامل فرسایش خاک و تولید رسوب	حدود نمرات عوامل فرسایش خاک
سنگ‌شناسی	۰-۱۰
خاک	۰-۱۰
آب و هوا	۰-۱۰
رواناب	۰-۱۰
پستی و بلندی	۰-۲۰
پوشش سطح زمین	۱۰ تا +۱۰
استفاده از زمین	۱۰ تا +۱۰
وضعیت فعلی فرسایش	۰-۲۵
فرسایش رودخانه‌ای	۰-۲۵

جدول ۵- طبقه‌بندی کیفی فرسایش آبی در مدل PSIAC

کلاس فرسایش	طبقه‌بندی کیفی فرسایش	مجموع اعداد به دست آمده از ۹ عامل موثر در فرسایش
۱	خیلی زیاد	>۱۰۰
۲	زیاد	۷۵-۱۰۰
۳	متوسط	۵۰-۷۵
۴	کم	۲۵-۵۰
۵	ناچیز	۰-۲۵

داده می‌شود. مجموعه اعداد به دست آمده برای فاکتورهای مختلف نشان‌دهنده شدت فرسایش بادی خواهد بود که شبیه طبقه‌بندی ارائه شده برای روش PSIAC می‌باشد (جدول ۵).

ب) مدل IRIFR:
در روش اریفر همانند مدل پسیاک نقش و تاثیر ۹ عامل موثر (جدول ۶) در فرسایش بادی مورد ارزیابی و امتیازدهی قرار گرفته و بسته به شدت و ضعف هر عامل، امتیازی به آن

جدول ۶- عوامل موثر در تولید رسوب در روش IRIFR

عوامل فرسایش خاک و تولید رسوب	حدود نمرات عوامل فرسایش خاک
سنگ‌شناسی	۰-۱۰
شکل اراضی و پستی و بلندی	۰-۱۰
سرعت و وضعیت باد	۰-۲۰
خاک و پوشش سطح آن	۱۵ تا -۵
انبوهی پوشش گیاهی	۱۵ تا -۵
آثار فرسایشی سطح خاک	۰-۲۰
رطوبت خاک	۰-۱۰
نوع و پراکنش نهشته‌های بادی	۰-۱۰
مدیریت و استفاده از زمین	۰-۲۰

است، جهت رسیدن به نتیجه‌ای مطلوب برای بهترین مدل منطبق بر منطقه از مقایسه نقشه فرسایش حاصل از مدل‌های پسیاک-اریفر و مدل ایرانی IMDPA با نقشه درصد تولید فعلی به پتانسیل (وضعیت فعلی تخریب) استفاده گردید.

۳- وضعیت فعلی تخریب سرزمین یا بیابان‌زایی:
از آنجایی که تخریب سرزمین را معادل کاهش تولید بیولوژیک در نظر می‌گیرند (۵) و در مدل‌هایی مثل اسود و گلاسود بیشترین تأکیدشان بر روی بررسی کاهش تولید

تولید علوفه قابل مصرف بالقوه بر حسب کیلوگرم در هکتار
 $CDM =$

میزان بارندگی بر حسب میلی متر = R

همچنین از آنجایی که تنها بارندگی نمی تواند میزان علوفه را برآورد کند و شرایط خاک منطقه نیز از عوامل موثر می باشد؛ لازم است بر اساس نقشه تناسب اراضی حاصله اصلاح گردد. این اصلاحات به شرح ذیل روی نقشه مزبور اعمال گردیده است (۵، ۱۰): چنانچه خاک منطقه کلاس تناسب اراضی S1 باشد یعنی تمام شرایط خاک مطلوب و فاقد محدودیت بوده، به میزان ۲۵ درصد عدد به دست آمده به تولید اضافه می شود. چنانچه خاک منطقه کلاس تناسب اراضی S2 باشد یعنی دارای کمی محدودیت بوده و به میزان ۲۵ درصد عدد به دست آمده از تولید کسر می شود. چنانچه خاک منطقه کلاس تناسب اراضی S3 باشد یعنی دارای محدودیت شدید بوده به میزان ۵۰ درصد عدد به دست آمده از تولید کسر می شود. چنانچه خاک منطقه تناسب اراضی N1 و N2 باشد یعنی فاقد تناسب باشد به میزان ۷۵ درصد عدد به دست آمده از تولید کسر می شود (۵، ۱۰). برای محاسبه حدود کلاس های وضعیت فعلی تخریب (درصد تولید فعلی به بالقوه) از جدول ۷ استفاده شده است.

بدین منظور در عملیات صحرایی در هر یک از واحدهای کاری ابتدا بر اساس روش قطع و توزین میزان علوفه خشک قابل مصرف فعلی بر حسب کیلوگرم در هکتار تهیه گردید. روش نمونه برداری شامل مراحل زیر بود:

- مشخص شدن بهترین مکان برای نمونه برداری در هر یک از واحدهای کاری در عملیات صحرایی بعد از بازدید از منطقه در فصل بهار و آشنایی کامل با واحدهای کاری.
 - استفاده از حداقل دو ترانسکت ۱۰۰ متری عمود بر هم و انتخاب پنج پلات در چهار سر و مرکز برخورد دو ترانسکت به اندازه یک در یک متر مربع در هر واحد کاری برای انجام نمونه برداری.

- قطع اندام های بالای سطح زمین گیاهان علفی و رشد سال جاری گیاهان بوته ای و درختچه ای، انتقال نمونه ها به داخل آن جهت تعیین وزن خشک علوفه.
 - در نهایت محاسبه تولید بر اساس میانگین پنج پلات و بر حسب کیلوگرم در هکتار.

سیس بر اساس فرمول ارائه شده توسط فائو (معادله ۴) میزان علوفه خشک قابل مصرف بالقوه محاسبه گردید (۵).

$$CDM = 2.17R - 103.7$$

معادله ۴

جدول ۷- حدود کلاس های وضعیت فعلی تخریب

Table 7. Limits of the classes of current status of degradation

عمل ارزیابی	ناچیز	متوسط	شدید	خیلی شدید
تولید فعلی (درصد تولید بالقوه)	>۸۵	۶۵-۸۵	۲۵-۶۵	<۲۵

بیابان زایی و فرسایش بادی در این منطقه در حال افزایش بوده و این خود زنگ خطری برای مسوولین و ساکنین این منطقه است.

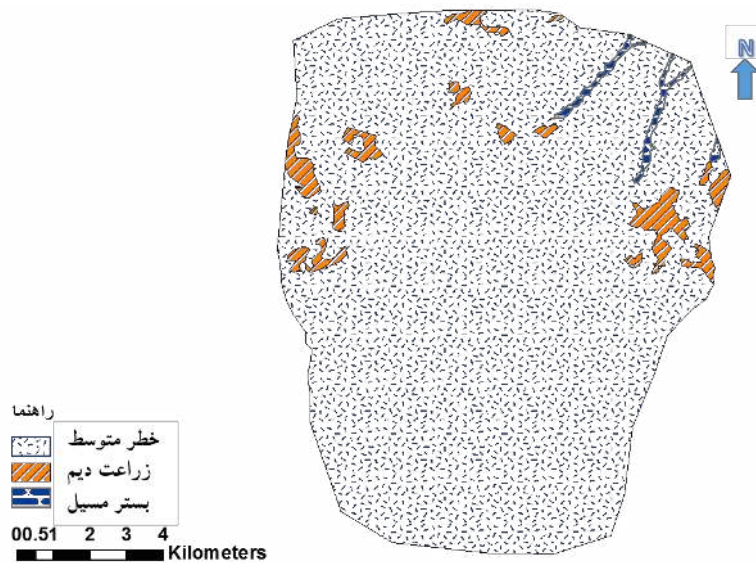
۱) نقشه وضعیت فرسایش منطقه بر اساس مدل IMDPA

الف) فرسایش آبی: نقشه نهایی که بیانگر وضعیت فرسایش آبی منطقه می باشد نشان می دهد که کل منطقه در کلاس II (متوسط) از نظر شدت فرسایش قرار دارد. بیشترین امتیاز خطر مربوط به بخش های شمالی منطقه می باشد. نوع سازند زمین شناسی، نوع خاک، نوع استفاده از زمین، وضعیت پوشش گیاهی از عوامل موثر در فرسایش آبی می باشند. همه این عوامل در منطقه چاه گوجی به گونه ای می باشند که میزان شدت و نوع فرسایش را می توانند به طور قابل توجهی افزایش دهند. خاک حساس رسی، پوشش گیاهی ضعیف و چرای بیش از حد، اراضی بایر فراوان و... همگی دلایلی از توان بالای فرسایشی منطقه می باشند. اما با وجود همه این عوامل میزان فرسایش آبی در سطح بالایی قرار ندارد. از دلایل این امر می توان به شیب پایین منطقه (۱/۸ درصد)، پستی و بلندی کم و از همه مهم تر میزان بارندگی پایین منطقه (۱۵۰ میلی متر) اشاره کرد.

بر اساس نقشه تولید فعلی به پتانسیل مناطقی که شرایط تولید علوفه به شرایط پتانسیل نزدیک است دارای شدت بیابان زایی کمتری است. به عبارت دیگر هر چه درصد تولید پتانسیل کمتر باشد کلاس وضعیت فعلی بیابان زایی بالاتر یا شدیدتر است (۱۰).

نتایج و بحث

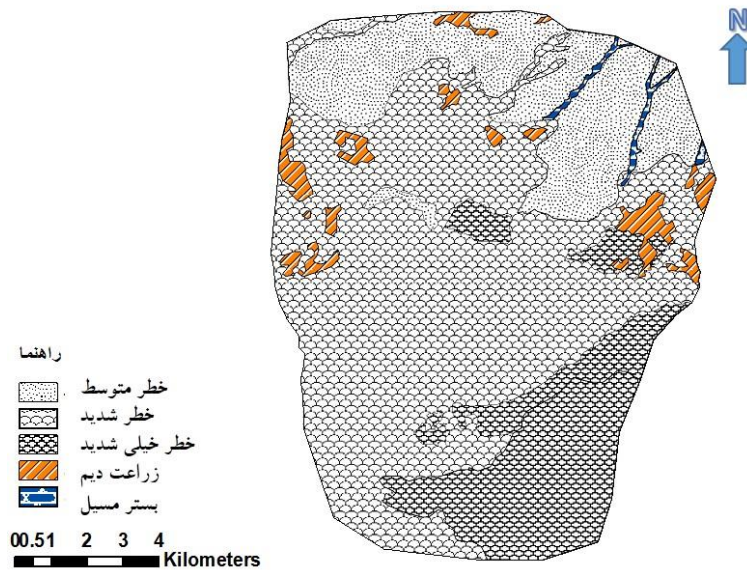
منطقه مورد مطالعه در جنوب خراسان رضوی به دلیل همجواری با کویر نمک و شرایط اقلیمی گرم و خشک، سالیان متمادی است که با پدیده بیابان زایی و هجوم شن های روان مواجه است. خشکسالی یک دهه اخیر، کاهش نزولات جوی و قرارداشتن بخشی از آن در مسیر بادهای ۱۲۰ روزه سیستان عامل اصلی گسترش بیابان ها و افزایش اراضی کویری در این منطقه است. وجود شرایط خشک و کم آبی در منطقه چاه گوجی سبب شده است که رخساره های مربوط به فرسایش آبی کم و قابل اغماض است. اما از سوی دیگر وجود فرسایش بادی سبب به وجود آمدن رخساره های مختلف این نوع فرسایش شده است، هر چند که رخساره های فرسایش بادی نیز به دلیل عملیات بیولوژیک و... در منطقه دارای تنوع چندانی نمی باشد. اما به دلیل بهره برداری های بی رویه از عرصه های منابع طبیعی و سفره های آب زیرزمینی روند



شکل ۲- نقشه وضعیت فرسایش آبی منطقه بر اساس مدل IMDPA
Figure 2. Water erosion map based on IMDPA model

منطقه در کلاس شدید و ۱۷/۰۲ درصد از مساحت منطقه در کلاس بسیار شدید قرار دارند.

ب) فرسایش بادی: نقشه نهایی که بیانگر وضعیت منطقه از نظر معیار فرسایش بادی نشان می‌دهد که ۲۱/۸۴ درصد از مساحت منطقه در کلاس متوسط و ۶۱/۱۴ درصد از مساحت



شکل ۳- وضعیت فرسایش بادی منطقه بر اساس مدل IMDPA
Figure 3. Wind erosion situation in the region based on IMDPA model

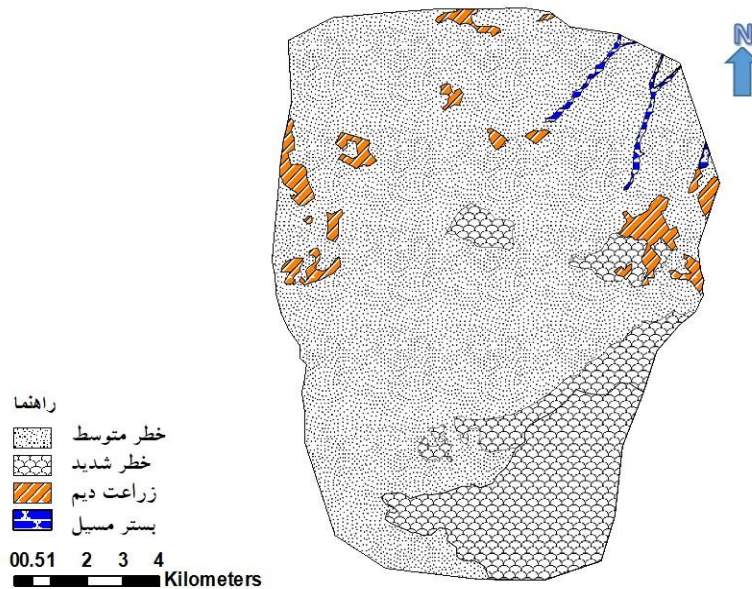
سرزمین تابع نوع غالب تخریب است. کسب امتیاز ۲/۴۰ و به‌عبارتی کلاس نهایی متوسط برای کل منطقه با استفاده از مدل IMDPA بر اساس روش میانگین‌گیری می‌تواند نادرست باشد و شاید مناسب‌تر باشد کلاس نهایی خطر را بر اساس بالاترین محدودیت انتخاب کنیم. به‌عبارتی در هر یک از رخساره‌های منطقه کلاس خطر نهایی فرسایش در مدل IMDPA بر اساس بالاترین شدت کلاس (دیدگاه حداکثر محدودیت) در میان دو فرسایش آبی و بادی انتخاب گردد.

ج) نقشه وضعیت فرسایش منطقه بر اساس مدل IMDPA

بر اساس ارزیابی و بررسی انجام‌شده میانگین وزنی ارزش کمی شدت فرسایش آبی ۲/۰۲ (غالباً متوسط) و فرسایش بادی برابر ۲/۸۶ (غالباً شدید) می‌باشد که از میانگین هندسی دو معیار فوق شدت فرسایش کل منطقه برابر با ۲/۴۰ می‌شود که بیانگر متوسط بودن شدت وضعیت فرسایش منطقه می‌باشد. البته لازم به ذکر است که با توجه به اینکه تخریب

متوسط (۸۳٪) و شدید (۱۷٪) مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده گسترش بیشتر خطر متوسط می‌باشد.

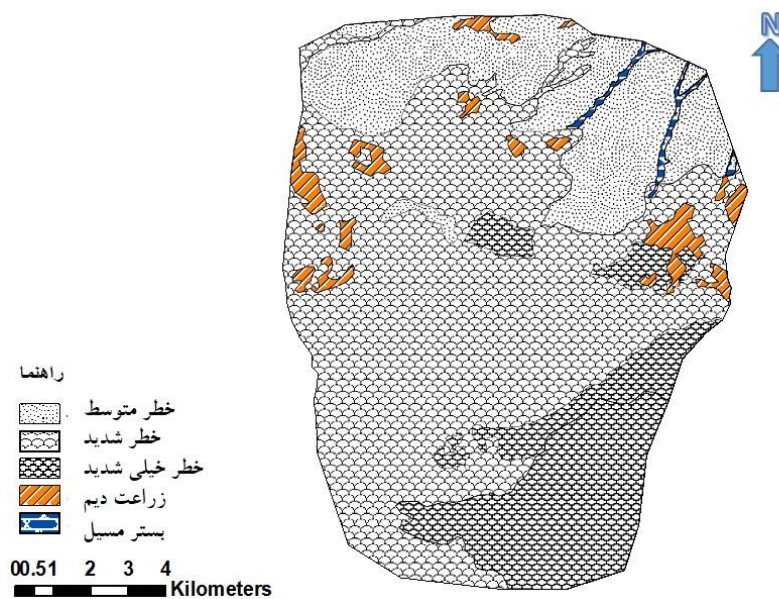
شکل ۴ نقشه نهایی فرسایش که از میانگین هندسی نقشه‌های فرسایش آبی و بادی به دست می‌آید را نشان می‌دهد. بر اساس طبقه‌بندی نهایی منطقه در دو کلاس شدت



شکل ۴- وضعیت فرسایش منطقه بر اساس مدل IMDPA با روش میانگین هندسی
Figure 4. The erosion status in region based on the IMDPA model with geometric mean method

خیلی شدید (۱۷٪) مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده گسترش بیشتر خطر شدید می‌باشد. با توجه به غالب بودن خطر فرسایش بادی بر آبی در منطقه مطالعاتی نقشه تولیدی کاملاً معادل نقشه تولیدی فرسایش بادی می‌باشد.

شکل ۵ نقشه نهایی فرسایش که با روش حداکثر محدودیت کلاس‌ها از نقشه‌های فرسایش آبی و بادی به دست می‌آید را نشان می‌دهد. بر اساس طبقه‌بندی نهایی منطقه در سه کلاس شدت متوسط (۲۲٪) و شدید (۶۱٪) و

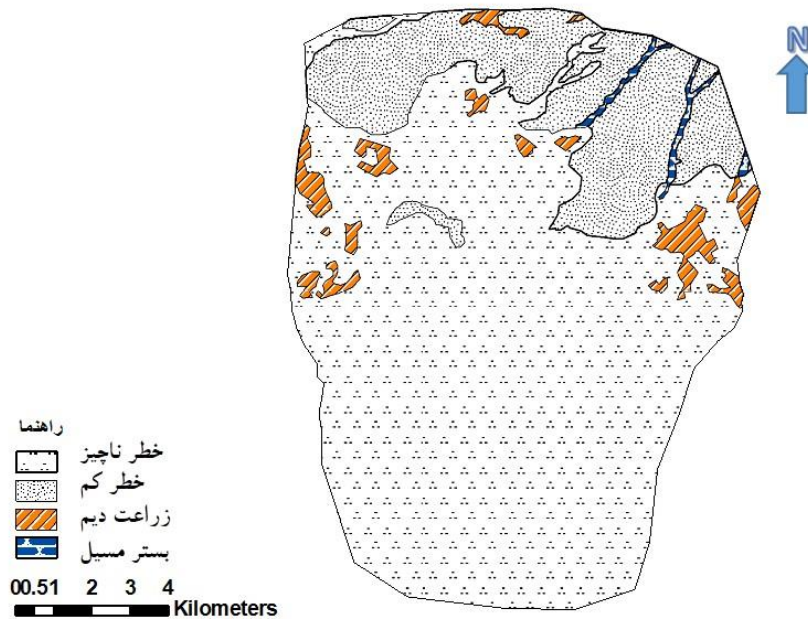


شکل ۵- وضعیت فرسایش منطقه بر اساس مدل IMDPA با روش حداکثر محدودیت کلاس‌ها
Figure 5. Erosion status in region based on the IMDPA model with the maximum limitation method

قسمت‌های شمالی منطقه کلاس کم فرسایش آبی را مشاهده می‌کنیم (شکل ۶). البته در مدل IMDPA در کل منطقه کلاس شدت فرسایشی متوسط مشاهده شد، لذا کاربرد دو روش PSIAC و IMDPA در تعیین فرسایش آبی، نتایج یکسانی را ارائه نمی‌دهند که این می‌تواند ناشی از شاخص‌های متفاوت و همچنین نحوه بررسی دو مدل است.

۲ نقشه وضعیت فرسایش منطقه بر اساس مدل‌های PSIAC و IRIFR

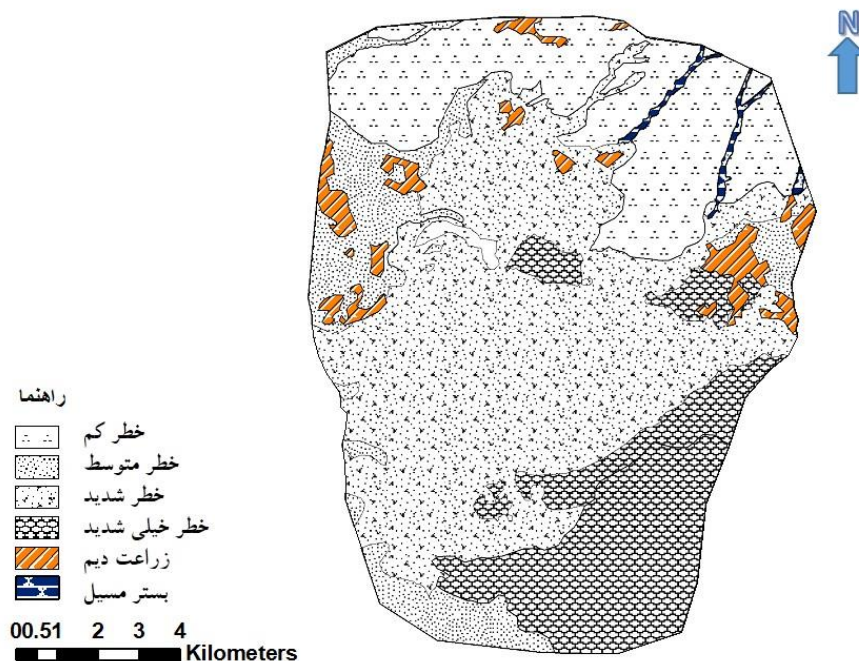
بر اساس نتایج به‌دست‌آمده در منطقه مورد مطالعه با حاکمیت اقلیم گرم و خشک، با توجه به عدم گسترش اشکال فرسایش آبی در منطقه کلاس شدت فرسایش آبی در اکثر منطقه بر اساس مدل PSIAC ناچیز (۷۸٪) است و فقط در



شکل ۶- وضعیت فرسایش آبی منطقه با مدل PSIAC
Figure 6. Status of the water erosion in region with the PSIAC model

حدودی وضعیت فرسایش بادی یکسانی را نشان می‌دهند. دلیل این امر می‌تواند بهره‌گیری از شاخص‌های تقریباً مشابه با اریفر در مدل IMDPA باشد.

همچنین بررسی فرسایش بادی در روش IRIFR (شکل ۷) نشان می‌دهد که عمده منطقه در کلاس‌های شدید و خیلی‌شدید (۷۱٪) قرار دارند که با نتایج روش IMDPA مطابقت دارد. در مجموع به نظر می‌رسد هر دو مدل تا



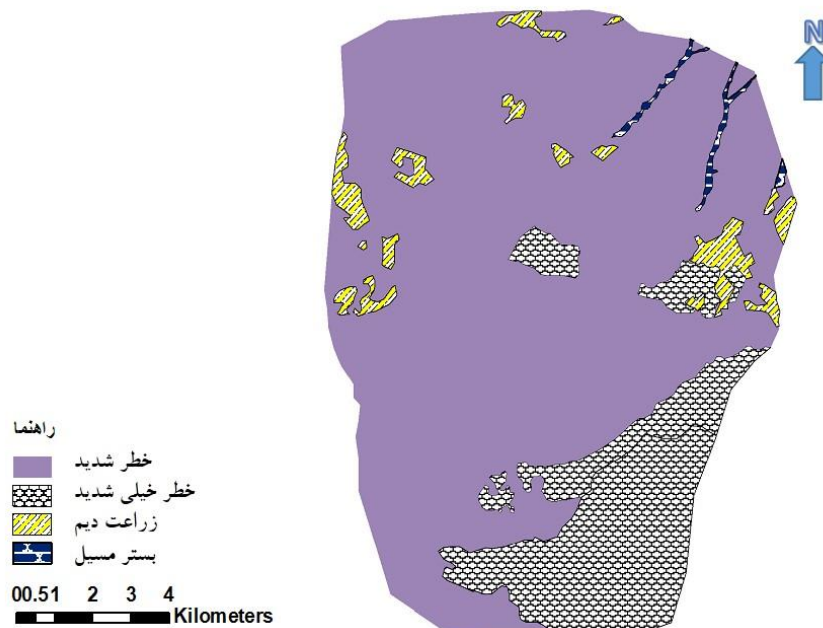
شکل ۷- وضعیت فرسایش بادی منطقه با مدل IRIFR
Figure 7. Status of Wind erosion with IRIFR model

فلات مرکزی کشور ما شاهد خطر بیشتر فرسایش بادی نسبت به فرسایش آبی هستیم (۱۰).

۳ نقشه تولید فعلی به پتانسیل یا وضعیت فعلی تخریب منطقه مطالعاتی

بر اساس نقشه تولید فعلی به پتانسیل مناطقی که شرایط تولید علوفه به شرایط پتانسیل نزدیک است دارای شدت بیابان‌زایی کمتری است. به عبارت دیگر هرچه تولید فعلی نسبت به تولید پتانسیل کمتر باشد کلاس بیابان‌زایی بالاتر یا شدیدتر است (۲۵). شکل ۸ نقشه نهایی وضعیت فعلی تخریب را نشان می‌دهد. بر اساس طبقه‌بندی صورت‌گرفته منطقه در دو کلاس شدت شدید (۸۳٪) و خیلی شدید (۱۷٪) مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده گسترش بیشتر خطر شدید می‌باشد.

به منظور تعیین وضعیت نهایی فرسایش منطقه مورد مطالعه بر اساس دو مدل پسیاک و اریفر، از آنجاییکه روش خاصی همچون میانگین هندسی دو معیار فرسایش آبی و بادی در مدل IMDPA تعریف نشده بود، فرسایش نهایی بر اساس روش حداکثر محدودیت تعیین شد. بدین ترتیب که در هر یک از رخصاره‌های منطقه کلاس خطر نهایی فرسایش بر اساس بالاترین شدت کلاس در میان دو معیار فرسایش آبی و بادی انتخاب شد که نقشه به دست آمده با توجه به غالب بودن خطر فرسایش بادی بر فرسایش آبی در رخصاره‌های منطقه معادل با نقشه فرسایش بادی با روش اریفر می‌باشد. البته معمولاً در غالب دشت‌های با اقلیم خشک و خیلی خشک کشور بالاخص



شکل ۸- نقشه وضعیت فعلی تخریب منطقه مطالعاتی
Figure 8. Map of Current degradation status in the study area

با توجه به عدم همبستگی معنی‌دار فرسایش تعیین شده در مدل IMDPA (بر حسب میانگین هندسی) با شاخص درصد تولید فعلی به بالقوه، به نظر می‌رسد مدل فوق‌الذکر روشی مناسب برای تعیین وضعیت فرسایش در منطقه مورد مطالعه نمی‌باشد و با توجه به سطح معنی‌داری مدل IMDPA بر اساس حداکثر محدودیت، مناسب است از مدل اخیر استفاده گردد.

لذا از آنجاییکه روش تعیین وضعیت فرسایش بر اساس بیشترین محدودیت در مدل IMDPA از میزان ضریب همبستگی و بالطبع سطح معنی‌داری مناسب‌تری نسبت به مدل تعیین فرسایش برگرفته از پسیاک-اریفر برخوردار است، می‌توان برای منطقه مطالعاتی و مناطق نظیر آن به‌جای تعیین فرسایش از مدل‌های پسیاک-اریفر، از مدل IMDPA که از شاخص‌های کمتری برخوردار و ارزیابی آن ساده‌تر است استفاده نمود. قابل ذکر است که این دو مدل با همبستگی معنی‌دار ۰/۹۲۲ اختلاف چندانی با هم ندارند.

۴) تحلیل نتایج حاصل از ماتریس همبستگی بین نقشه‌های فرسایش حاصله و وضعیت فعلی تخریب:

براساس نتایج حاصل از ماتریس همبستگی بین شاخص تولید (وضعیت فعلی تخریب) و وضعیت نهایی فرسایش بر اساس بیشترین محدودیت در مدل IMDPA و وضعیت نهایی فرسایش در مدل‌های IRIFR-PSIAC به ترتیب در سطح خطای ۰/۰۱ درصد و ۰/۰۵ درصد یک همبستگی معنی‌دار معکوس وجود دارد (جدول ۸). به‌طوریکه با کاهش شاخص تولید و افزایش کلاس خطر حاصل از آن، کلاس خطر فرسایش در مدل‌های فوق‌الذکر افزایش یافته و بدین ترتیب تخریب سرزمین افزایش می‌یابد. این نتایج با تحقیقات اخیر که در استان‌های فارس (۱۸) و خوزستان (۱۲) صورت گرفته و وضعیت فعلی تخریب سرزمین را صرفاً می‌توان بر اساس تولید فعلی به تولید پتانسیل و با کمک تصاویر ماهواره‌ای برآورد کرد مطابقت دارد.

جدول ۸- تحلیل نتایج حاصل از ماتریس همبستگی بین نقشه‌های فرسایش حاصله و وضعیت فعلی تخریب

	وضعیت نهایی فرسایش در مدل‌های		
	وضعیت نهایی فرسایش بر اساس حداکثر محدودیت در مدل IMDPA	وضعیت نهایی فرسایش بر اساس حداکثر محدودیت در مدل IMDPA	وضعیت نهایی فرسایش بر اساس میانگین هندسی در مدل IRIFR-PSIAC
شاخص تولید فعلی به پتانسیل (وضعیت فعلی تخریب)	Pearson Correlation	-۰/۲۹۸	-۰/۷۱۹*
	Sig. (2-tailed)	۰/۴۷۴	۰/۰۴۴

منابع

1. Arami, A.H., M. Ownegh and V.B. Sheikh. 2014. Assessment of desertification hazard by using the 9 criteria IMDPA model in semi-arid Agh-Band region, Golestan Province. *Journal of Water and Soil Conservation*, 21(2): 153-172 (In Persian).
2. Aslinezhad, N., A. Pahlavanravi, M. Ebrahimi and R. Kharazmi. 2014. Assessment of land degradation and desertification with use of IMDPA model, Chah Hashem plain, Iran. *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, 2(10): 2644-2650.
3. Bahreini, F. and A. Pahlavanravi. 2012. Zonation of water and wind erosion sedimentation Potential by MPSIAC and IRIFR.E.A Models (Case study: Bordekhun watershed in Bousheher). *Journal of Conservation and Utilization of Natural Resources*, 1(3): 41-58 (In Persian).
4. Esmali, A. 2014. Quantitative assessment of water erosion intensity using the regional model of estimation of erosion and sedimentation in the watershed area Ardebil Nir. *Journal of Range and Watershed*, 67(3): 407-417 (In Persian).
5. FAO/UNEP. 1984. Provisional methodology for assessment and mapping of desertification. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 84 pp.
6. Gholampour, D., H. Toranj and A. Ahmadi. 2014. Assessing desertification using MEDALUS and IMDPA models in east of Khomeyn city. The Second National Conference of Science and New Technologies in Agriculture, Natural Resources and Environment. Meybod Yazd, Azad University, 19 pp. (In Persian).
7. Habibipoor, A., H. Akbari and A. Talebi. 2014. Investigation of desertification status using IMDPA model considering wind and water criteria (Case study: Bahabad region, Yazd Province). *Geography and Environmental Planning Journal*, 25(2): 151-168 (In Persian).
8. Khojeh, N., J. Ghoddosi and R. Esmaili. 2017. Investigation of the effect of earth environmental factors on initiation and expansion of gully erosion by using Geographical Information System (Case Study in Temer Ghareh Khozi, Kalaleh, Golestan Province). *Journal of Watershed Management Research*, 8(15): 202-212 (In Persian).
9. Madanchi, P., M. Arab Khedri and M. Habibnejad Roshan. 2019. Determination of best sediment estimation model in semi-arid rangelands by using small reservoirs dams sedimentation (Case study: Daremorid watershed in Kerman Province). *Journal of Watershed Management Research*, 9(18): 233-240 (In Persian).
10. Masoudi, M. 2010. Risk assessment and remedial measures of land degradation in part of southern Iran. LAMBERT Academic Publishing, Germany.
11. Masoudi, M. and P. Jokar. 2017. A new model for desertification assessment using Geographic Information System (GIS)-a case study, Runiz Basin, Iran. *Polish Journal of Ecology*, 65: 236-246.
12. Masoudi, M., P. Jokar and B. Pradhan. 2018. A new approach for land degradation and desertification assessment using geospatial techniques. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 18: 1133-1140.
13. Masoudi, M. and R. Zakeri Nejad. 2011. A new model for assessment of erosion using desertification model of IMDPA in Mazayjan plain. Fars Province, Iran, *Ecology, Environment and Conservation*, 17(3): 1-6.
14. Mesbahzadeh, T., H. Ahmadi, Gh. Zehtabian and F. Sarmadian. 2010. Assessment of wind erosion intensity by IRIFR. E.A model (case study: Abuzeidabad, Kashan). *Iranian Journal of Range and Watershed Management*, 63(3): 399-415 (In Persian).
15. Nateghi, S., Gh. Zehtabian and H. Ahmadi. 2009. Desertification intensity assessment in Segsi plain using IMDPA. *Iranian Journal of Natural Resources*, 62(3): 419-430 (In Persian).
16. Pahlavanravi, A. 2012. Evaluation and zoning of severity and danger of desertification in the some parts of Sistan plain and Hamoon Lake bed using IRIFR model. *Journal of Geography and Development*, 10(27): 127-140 (In Persian).
17. Raeesi, A., Gh. Zehtabian, H. Ahmadi, H. Khosravi and M. Dastourani. 2012. Evaluation of current desertification status in shore deserts using biophysical criteria of IMDPA model (case study: Kahire Konarak, Chabahar). *Watershed Management Researches (Pajouhesh and Sazandegi)*, 25(4): 43-51 (In Persian).
18. Salehi, M. 2017. Evaluation and modelling of the current state of land degradation in Fars Province using remote sensing and GIS. MSc thesis, Shiraz University (In Persian).
19. Salehi, M., A. Esfandiarpour borujeni, R. Mohajer and M. Bagheri. 2011. Supplementary soil and water conservation. Payam Noor University (In Persian).
20. Shahriari, A.R. and A. Pahlavanravi. 2011. Assessment of desertification intensity using IMDPA model in Sarbishe Hosseinabad region. MSc thesis, University of Zabol (In Persian).
21. Shakerian, N., Gh. Zehtabian, H. Azarnivand and H. Khosravi. 2011. Evaluation of current desertification using IMDPA model in Jrqvyh area (with emphasis on the criteria of water, soil, vegetation). *Iranian Journal of Natural Resources*, 64(4): 411-421 (In Persian).

22. Shokoohi, E.S., Gh. Zehtabian and A. Tavili. 2013. Study of desertification status using IMDPA model with emphasis on water and soil criteria (case study: Khezr Abad - Elah Abad of Yazd - plain). *Iranian Journal of Natural Resources*, 65(4): 517-528 (In Persian).
23. Silakhori, E., M. Ownegh, A. Sadoddin and E. Filekesh. 2014. Comparing efficiency of Iranian desert hazard assessment models, namely MICD and IMDPA (Case study: Sabzevar region). *Water and Soil Conservation Researches*, 21(4): 1-28 (In Persian).
24. Visser, S., S. Keesstra, G. Maas and M. De Cleen. 2019. Soil as a basis to create enabling conditions for transitions towards sustainable land management as a key to achieve the SDGs by 2030. *Sustainability*, 11(23): 6792.
25. Zakerinejad, R. and M. Masoudi. 2019. Quantitative mapping of desertification risk using the modified MEDALUS model: a case study in the Mazayejan plain, southwest Iran. *AUC Geographica*, 54(2): 232-239.

Efficiency Assessment of Desertification Model of IMDPA for Evaluating of Water and Wind Erosions

Masoud Masoudi¹ and Somayeh Shirghir²

1- Associate Prof., Department of Natural Resources and Environmental Engineering, School of Agriculture, Shiraz University, Shiraz (Corresponding author: masoudi@shirazu.ac.ir)

2- Graduated M.Sc. Student, Department of Natural Resources and Environmental Engineering, School of Agriculture, Shiraz University, Shiraz

Received: June 15, 2017

Accepted: June 27, 2020

Abstract

For the assessment and mapping of desertification and erosion models and methods were provided including, IMDPA, PSIAC and IRIFR. In this study, IMDPA model (as evaluation model of desertification potential) and PSIAC model (as evaluation model of water erosion) and IRIFR model (as also dedicated to wind erosion) has been used. Purpose of study is evaluation the water and wind erosion by IMDPA model and base on integration methods of geometric mean and maximum limitation. Then these models were compared to current state of degradation and IRIFR, MPSIAC models. Results show that proposed IMDPA model by maximum limitation has higher correlation to current state of degradation than IRIFR, MPSIAC models. Although both are significantly correlated well with the above criteria. The results also show that erosion map conducted by IMDPA model base on geometric limitation doesn't have significant correlation ($R=-0.298$) with current state of degradation, showing current method of IMDPA is not suitable. In verse, the result of the proposed model of IMDPA by maximum limitation ($R=-0.925^{**}$) is the most suitable method for mapping of erosion in desert and arid regions.

Keyword: Erosion, Geometric Mean, IMDPA, IRIFR, Maximum Limitation, PSIAC



"مقاله پژوهشی"

تعیین کانال‌های بحرانی با استفاده از تلفیق مدل (Civil Storm) ASSA و GIS در دوره‌های بازگشت مختلف (مطالعه موردی: منطقه ۹ شهرداری مشهد)

فاطمه رضایی^۱، عبدالرضا بهره‌مند^۲، واحد بردی شیخ^۳، محمد تقی دستورانی^۳ و سید محمد تاج‌بخش^۴

۱- دانشجوی دکترای آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گلستان، ایران، (نویسنده مسوول: frezayi25@yahoo.com)

۲- دانشیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، گرگان، گلستان، ایران

۳- استادیار دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، خراسان رضوی

۴- استادیار دانشگاه بیرجند، بیرجند، خراسان جنوبی

تاریخ ارسال: ۹۶/۱۲/۰۵ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۲/۱۸

صفحه: ۲۶ تا ۴۱

چکیده

مدیریت کمی و کیفی رواناب‌های شهری (سیلاب شهری) کار پیچیده‌ای است. صرف نظر از تأثیرات اقتصادی و اجتماعی، مهندسی آب همواره نیاز دارند تا از نحوه پاسخ سیستم زهکشی شهری در برابر شرایط آب و هوایی مختلف اطلاع داشته باشند. در این تحقیق جهت تعیین نقاط آب گرفتگی منطقه ۹ شهرداری مشهد از تلفیق مدل (Civil Storm) ASSA و GIS در دوره‌های بازگشت ۲، ۵ و ۱۰ ساله استفاده شد. به این ترتیب که ابتدا نقشه مرز حوزه‌های آبخیز، کانال‌ها و گره‌ها در محیط جی آی اس مشخص شد سپس مدل ASSA برای بارش طرح یک‌ساعته برای دوره بازگشت‌های مختلف شبیه‌سازی شد و سپس خروجی‌های مدل در محیط نرم‌افزار جی آی اس تجزیه و تحلیل شد. نتایج نشان داد با افزایش دوره بازگشت بارندگی، از تعداد ۲۸۰۶ گره موجود در شبکه مجاری زیرزمینی و سطحی ۱۱۴، ۱۷۸ و ۲۲۶ گره به ترتیب در دوره‌های بازگشت ۲، ۵ و ۱۰ ساله دچار سیلاب شدند. بررسی‌های میدانی، نقشه‌های موجود رقومی ارتفاعی شبکه جمع‌آوری رواناب شهری و شبیه‌سازی‌های انجام گرفته، حاکی از آن است که علت اصلی آبگرفتگی‌ها، کوچک‌بودن سطح مقطع مجاری آبرو و همچنین شیب کم و زیاد در برخی نقاط شبکه بوده است. مطابقت نتایج شبیه‌سازی آبگرفتگی‌های ناشی از بارندگی‌های طرح در منطقه مورد مطالعه با آنچه که هر ساله در آنجا روی می‌دهد، موید صحت شبیه‌سازی‌های مدل می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: دوره بازگشت، شبیه‌سازی رواناب، مدل ASSA، GIS، نقاط آبگرفتگی

مقدمه

دوره سی یا چهل ساله امکان سیلخیزی در منطقه وجود دارد. علاوه بر آن شهر مشهد در نیمه جنوب غرب دشت کشف رود به‌علت گسترش بر سطح دشت و مخروطه افکنه‌های آبرفتی تحت تأثیر شرایط توپوگرافی، شیب تند و زهکشی ضعیف همیشه در اثنای بارش‌های شدید با سیلاب‌های ناگهانی و آبگرفتگی مواجه بوده است. گسترش شهر به سمت جنوب و غرب و تسخیر اراضی شیب‌دار پایکوه ضمن آسیب‌پذیری بیشتر شهر در برابر سیلاب‌های دوره‌ای، بر حجم سیلاب حاصل از سطوح مذکور نیز افزوده است، (۱۴). در این تحقیق از مدل ASSA که یک بسته مدل‌سازی پیشرفته، قدرتمند، و جامع برای تحلیل و طراحی سیستم‌های زهکشی شهری، رواناب شهری و فاضلاب‌های بهداشتی است. همچنین دارای این قابلیت است، که می‌تواند به‌طور همزمان از مدل‌های هیدرولوژیکی، هیدرولیکی و مدل‌های کیفیت آب در دو سیستم انگلیسی و متریک پشتیبانی کند، به‌منظور تعیین کانال‌های بحرانی منطقه ۹ شهرداری مشهد استفاده شد. ناگفته نماند این مدل برای مدل‌سازی شبکه زهکشی شامل لوله‌ها، کانال‌ها، جانکشن‌ها، اطلاعات مورد نیاز خود را به‌طور مستقیم از جی آی اس دریافت می‌کند، و با همان پارامترها و روش مدل SWMM شبیه‌سازی را انجام می‌دهد، به‌عبارتی می‌توان گفت که مدل (Civil Storm) ASSA، نسخه جدید و با کاربری آسان‌تری، از مدل SWMM می‌باشد. که حاصل پژوهش بخش منابع آب از آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا^۱ می‌باشد.

سیل یکی از مخرب‌ترین و پیچیده‌ترین رویدادهای طبیعی در حوزه‌های آبخیز است که بیش از هر بلای طبیعی دیگری جان و مال انسان و شرایط اقتصادی و اجتماعی جوامع را به خطر می‌اندازد، به‌خصوص این که اگر این پدیده در مناطق شهری مانند سیلاب گلابدره تهران در سال ۱۳۶۶ رخ دهد. از طرفی جاذبه شهرنشینی و رشد سریع آن و تمایل به سکونت و سرمایه‌گذاری در شهرها و مناطق اطراف آن، باعث دگرگون شدن سیمای طبیعی یک منطقه و در نتیجه تغییر شکل حوزه‌ها از حالت طبیعی به شهری شده است. این تغییر در ادامه خود، برهم‌خوردن مسیل‌ها و زهکش‌های طبیعی و تغییر کاربری اراضی را به‌دنبال داشته است که در نتیجه آن سطوح غیرقابل نفوذ و یا با نفوذپذیری کم، افزایش یافته است. این رویداد به‌نوبه خود در افزایش سیلاب‌ها و به‌وجود آمدن تندسیل‌های شهری حائز اهمیت است. از این رو لازم است تا با مدیریت صحیح، اصولی و کارشناسی‌شده، در کاهش خسارات سیلاب‌های شهری و به‌خصوص تندسیل‌ها اهتمام ورزید. یکی از لازمه‌های مدیریت صحیح سیلاب در حوزه‌های شهری برآورد صحیح میزان رواناب ناشی از یک بارش در منطقه شهری مورد نظر است. چرا که با پی‌بردن به این مهم می‌توان تصمیمات لازم و صحیح را در جهت آمادگی رویارویی با سیلاب‌های شهری و همچنین برنامه‌ریزی جهت مهار و هدایت آن در پایین‌دست اتخاذ نمود (۲).

شهر مشهد نیز، با توجه به موقعیت جغرافیایی خود در مسیر حرکت سیلاب‌ها و تند آب‌ها قرار گرفته و معمولاً در یک

دلیبر (۸)، جهت شبیه‌سازی جریان غیردائمی متغیر تدریجی در قسمتی از شبکه فاضلاب شهر مشهد از تلفیق مدل SWMM MIKE و ARC VIEW استفاده نمود. پس از روندیابی جریان مشخص شد که ظرفیت فاضلاب‌بروهای موجود به ازای ورود فاضلاب نفوذی که در سطح شهر مشهد دو درصد رواناب با دوره بازگشت دو سال برآورد شده است، کافی بوده است.

بدیعی‌زاده و همکاران (۵، ۶)، در تحقیق خود ابعاد بهینه شبکه زهکشی نسبت به بارش طرح با دوره بازگشت ۲، ۵ و ۱۰ ساله را از طریق شبیه‌سازی رواناب سطحی با استفاده از مدل SWMM در شهر گرگان تعیین کردند و به این نتایج رسیدند که مدل SWMM برآورد نسبتاً خوبی از مولفه‌های جریان داشته است و همچنین در تعیین ابعاد بهینه کانال‌های زهکشی قابلیت خوبی دارد به طوری که برای دوره بازگشت‌های ۲، ۵ و ۱۰ ساله به ترتیب ۱۲/۴۸، ۳۰/۵۸ و ۴۰/۱۱ درصد از طول شبکه زهکشی در شرایط بحرانی وجود داشته و سایر قسمت‌ها در دوره بازگشت‌های منتخب از عملکرد خوبی برخوردار است.

دوونگکو و همکاران (۹)، برای شبیه‌سازی بارش و رواناب در حوزه شهری Macau از مدل SWMM و GIS استفاده کردند. نتایج نشان داد که استفاده از GIS در به‌دست‌آوردن برخی از پارامترهای مهم مدل SWMM بسیار مفید است و مدل SWMM انعطاف‌پذیری قابل‌ملاحظه‌ای را وقتی پارامترهای کافی در دسترس باشد دارد.

قاسمی و مغربی (۱۶)، طی مطالعه‌ای با استفاده از مدل ASSA به بررسی میزان تاثیر حوضچه‌های تاخیری بر کاهش رواناب پرداختند. نتایج نشان داد، استفاده از حوضچه‌های تاخیری، در منطقه مورد مطالعه آب و برق مشهد با وجود مساحت محدود کارگشا بوده و موجب کاهش دبی اوج هیدروگراف، افزایش رخداد زمان پیک سیلاب و در نتیجه کنترل و مدیریت بهینه سیلاب می‌گردد. به‌همین منظور در طی دو مرحله مدل‌سازی، جانمایی برای دو و سه مکان مناسب جهت احداث حوضچه‌های کنترل سیلاب شناسایی گردید که در صورت استفاده از دو مخزن، دبی پیک ۳۱ درصد و در صورت استفاده از سه مخزن، دبی پیک ۳۸ درصد کاهش می‌یابد.

جولین و همکاران (۱۰)، تحقیقی را با هدف بهینه‌سازی طراحی سیستم بهینه رواناب شهری با استفاده از مدل مدیریت آب باران (SWMM) انجام دادند، برای این منظور از ۱۰ رویداد بارنگی از جولای ۲۰۱۰ تا جولای ۲۰۱۳ استفاده کردند و کاربرد مدل مدیریت رواناب شهری را در طراحی، سازه‌های استاندارد برای جمع‌آوری آب باران و کاهش رواناب بررسی کردند، نتایج آنها نشان داد که کاهش حجم رواناب شبکه زهکشی نسبت مستقیم با افزایش سطح ذخیره‌سازی منطقه دارد، با این حال این نیز به مقدار بارنگی در یک رویداد بستگی دارد. و همچنین برای عملکرد بهتر سطح ذخیره، تخلیه رسوب موجود پیشنهاد دادند. در نهایت، ابعاد فیزیکی سیستم زهکشی نیز به نسبت حجم رواناب به سطح ذخیره مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند و به نتیجه رسیدند که رابطه مستقیم بین سطح ذخیره‌سازی با کاهش حجم رواناب منطقه وجود دارد.

رضایی و همکاران (۲۲)، به‌منظور تعیین مهمترین پارامترهای تاثیرگذار بر رواناب شهری منطقه ۹ شهرداری مشهد از مدل SWMM استفاده کردند ضمن اینکه به نتیجه رسیدند مدل مذکور توانایی شبیه‌سازی رواناب شهری را دارد، به نتیجه رسیدند از بین ۸ پارامتر (درصد اراضی نفوذناپذیر، ضریب زبری مانینگ مناطق نفوذناپذیر، عرض معادل، ارتفاع ذخیره مناطق نفوذناپذیر، ارتفاع ذخیره مناطق نفوذپذیر، شیب زیرحوزه و درصد مناطق نفوذناپذیر بدون ذخیره سطحی) استفاده شده، بیشترین تاثیر را درصد مناطق نفوذناپذیر روی میزان دبی اوج دارد بعد از این به ترتیب پارامتر ضریب زبری مانینگ در مناطق نفوذپذیر، عرض معادل، شیب، ارتفاع ذخیره در مناطق نفوذناپذیر و مناطق نفوذناپذیر بدون ذخیره سطحی در رتبه بعدی قرار داشتند که به خصوصیات فیزیکی منطقه مورد مطالعه بستگی دارد.

این تحقیق در منطقه نه شهرداری مشهد، به‌دلایلی از جمله ۱- حساسیت به سیل‌خیزی از سمت حوزه‌های بالادست از جمله حوزه‌های آبخیز حصار، گلستان، زشک، جاغرق ۲- دارای سابقه سیل‌خیزی کمتر از ۴۰ سال ۳- داشتن کانال‌های تقریباً منظم ۴- داشتن ایستگاه هیدرومتری، با استفاده از تلفیق مدل ASSA^۱ و GIS با هدف تعیین تعیین نقاط آبرگرفتی و کانال‌های سیلابی در دوره بازگشت‌های ۲، ۵ و ۱۰ ساله انجام شد.

هاشمی و همکاران (۱۳)، از مدل CivilStorm جهت برآورد رواناب شهری به‌منظور استفاده در فضای سبز شهر نجف‌آباد استفاده کردند، برای این منظور از روش استدلالی برای محاسبه رواناب استفاده گردید. همچنین میزان نیاز آبی فضای

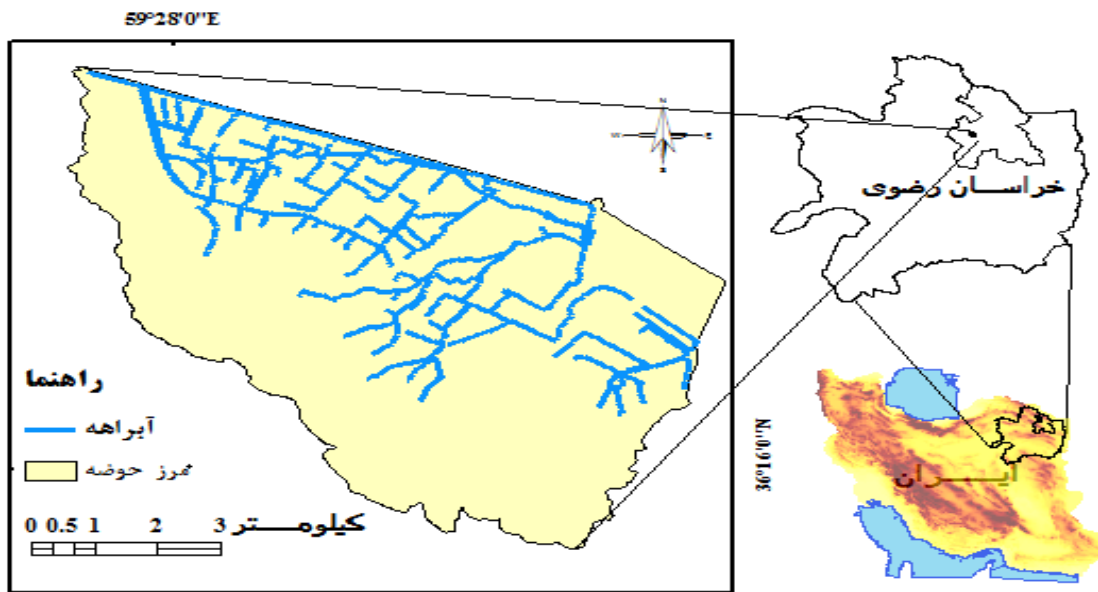
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

شهر مشهد با آب و هوای معتدل و متمایل به سرد و خشک، در شمال شرق ایران واقع شده است و از سمت شمال،

جهت مسیل‌های زهکشی (با شیب تند) عمود بر جهت خیابان‌ها می‌باشد، بنابراین کانال‌های موجود ظرفیت عبور جریان را ندارند و هدایت جریان بیشتر توسط المان‌های شهری مانند خیابان‌ها و کوچه‌ها انجام می‌شود، لذا صدمات شهری اگرچه محلی است اما هزینه‌های زیادی را بر تاسیسات شهری تحمیل می‌کند که ایجاب می‌کند از روش‌های مدیریتی مطلوب بهره گرفت. بنابراین شبیه‌سازی رواناب منطقه ۹ شهرداری مشهد به‌منظور تعیین کانال بحرانی و نقاط آبگرفتگی، دارای اهمیت می‌باشد. که در شکل یک مختصات جغرافیایی منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است.

مشرق و مغرب به دشت توس و در جنوب به ارتفاعات بینالود منتهی می‌گردد که به ۱۳ منطقه شهرداری تقسیم‌شده که از بین آنها مناطق ۷، ۸ و ۹ همجوار ارتفاعات جنوبی می‌باشند یک‌چهارم مساحت منطقه ۹ واقع در جنوب غربی مشهد، در دامنه ارتفاعات قرار گرفته و از شیب نسبتاً تندی برخوردار است و همچنین دارای سه نوع بافت شنی لومی، لوم رسی و سیلت می‌باشد. در هنگام بارندگی، رواناب حاصل از بارش در این منطقه، از سطح حوزه‌های آبریز بالادست به سمت شهر جاری شده و از طریق مسیل‌های طبیعی دفع می‌شود، از طرف دیگر در قسمت‌هایی از سطح منطقه مورد مطالعه (آب و برق)،



شکل ۱- نقشه منطقه مورد مطالعه
Figure 1. Map of the study area

- ۴- بهینه‌سازی و طراحی اندازه حوضچه‌های ذخیره و خروجی‌ها
 - ۵- طراحی پل‌ها و کالورت‌ها
 - ۶- مطالعات کیفیت آب
- داده‌های مورد نیاز مدل ASSA:** ورودی‌های مورد نیاز مدل عبارتند از: خصوصیات فیزیکی زیرحوضه‌ها، مشخصات شبکه زهکشی و داده‌های هواشناسی و هیدرولوژی منطقه مورد مطالعه، که به شرح زیر می‌باشند.
- تعیین مرز حوزه و زیرحوضه‌ها:** برای تعیین مرز زیرحوضه‌های شهری از نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۰۰۰، نقشه مسیر کانال‌ها، مسیل‌های زهکشی و نقشه بلوک‌های ساختمانی که از اداره کل راه و شهرسازی و شهرداری مشهد تهیه شد استفاده گردید. سپس بر اساس جهت حرکت رواناب روی کلیه معابر (مسیرهای اصلی و فرعی کانال‌ها و جوی‌های آب)، زیرحوضه‌ها تعیین گردید که در نهایت ۱۱۳ زیر حوزه برای منطقه مطالعاتی در نظر گرفته شد.

روش تحقیق

در این تحقیق ابتدا مرز زیرحوضه‌ها، کانال‌ها و گره‌ها در محیط جی ای اس بسته شد که به‌عنوان عناصر فیزیکی ورودی به مدل ASSA محسوب می‌شوند سپس خروجی‌های مدل ASSA در محیط نرم‌افزار جی ای اس تجزیه و تحلیل شد.

مدل ASSA

مدل (ASSA) یک بسته مدل‌سازی پیشرفته، قدرتمند، و جامع برای تحلیل و طراحی سیستم‌های زهکشی شهری، رواناب شهری و فاضلاب‌های بهداشتی است. از قابلیت‌های این نرم‌افزار این است که می‌توان به‌طور همزمان از مدل‌های هیدرولوژیکی، هیدرولیکی و مدل‌های کیفیت آب در دو واحد آمریکایی و متریک پشتیبانی کند. مواردی که می‌توان از این مدل برای طراحی و تجزیه و تحلیل آنها استفاده کرد عبارتند از:

- ۱- طراحی سیستم‌های زهکشی بزرگراه‌ها
- ۲- طراحی سیستم زهکشی شهری و حوضچه‌های ذخیره مرتبط
- ۳- سیستم زهکشی زیر سطحی

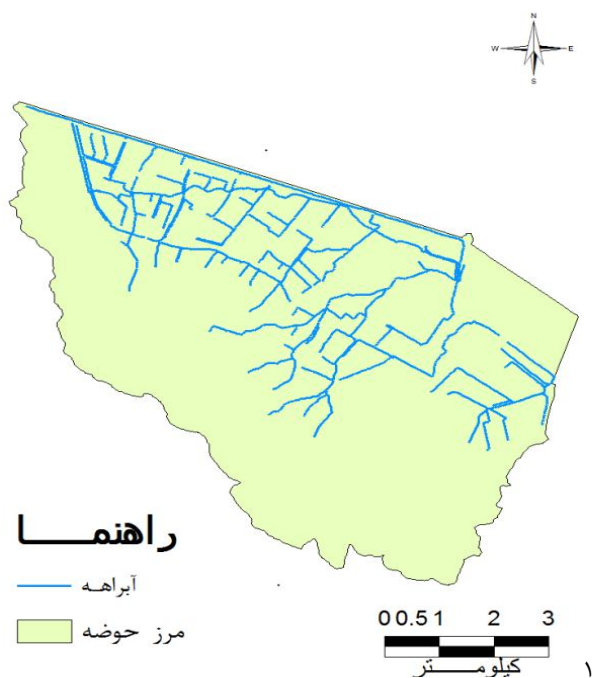


شکل ۲- نقشه منطقه مورد مطالعه و مرز زیرحوزه‌ها
Figure 2. Map of the study area and the Sub catchmentborder

بالادست و پایین‌دست، طول کانال، عمق کانال، عرض بالای کانال، شکل و ضریب زبری مانینگ می‌باشد.

اطلاعات مربوط به کانال‌ها

در منطقه مورد مطالعه ۲۸۰۵ کانال وجود دارد (شکل ۳). اطلاعات مربوط به آن‌ها شامل شماره کانال، شماره گره



شکل ۳- نقشه شبکه آبراهه منطقه مورد مطالعه
Figure 3. Map of the study area drainage

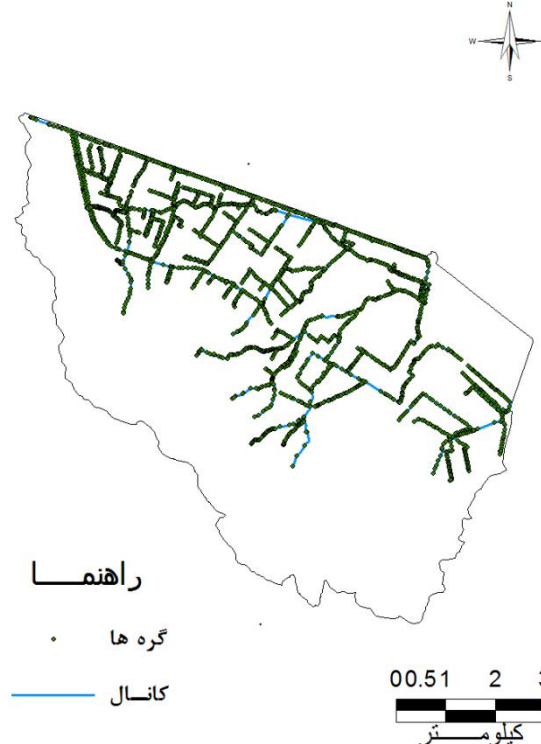
عرض جغرافیایی و حداکثر عمق اتصالات با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) مشخص گردید.

اطلاعات مورد نیاز اتصالات: مشخصات اتصالات و محل ورود رواناب هر زیرحوزه به مجاری شبکه زهکشی از طریق بازید میدانی و مشخصات آنها از قبیل رقم کف، طول و

تراز گره می‌باشد. شکل ۴ موقعیت گره‌ها بر روی نقشه ارائه شده است.

اطلاعات مربوط به گره‌ها

در کل شبکه زهکشی منطقه تعداد ۲۸۰۶ گره مشخص شد که اطلاعات مربوط به آن شامل شماره گره، حداکثر عمق و



شکل ۴- موقعیت گره‌ها
Figure 4. The position of the nodes

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{sim} - Q_{obs})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{obs} - Q_{av})^2} \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_{sim} - Q_{obs})^2} \quad (2)$$

$$BIAS \% = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{sim} - Q_{obs})}{\sum_{i=1}^n Q_{obs}} \quad (3)$$

در اینجا Q_{sim} دبی شبیه‌سازی شده و Q_{obs} دبی مشاهداتی در زمان t_{am} ، Q_{av} میانگین دبی مشاهداتی و n تعداد داده‌ها می‌باشد. مقدار NS می‌تواند مثبت یا منفی باشد بهترین حالت زمانی است که مقدار آن برابر یک باشد. در صورتی که مقدار NS مثبت باشد نشان‌دهنده این است که داده‌های شبیه‌سازی شده بهتر از میانگین داده‌های مشاهداتی است و در صورتی که منفی باشد نشان می‌دهد که خروجی مدل با ماهیت سیستم متناظر نیست (۲۰). همچنین هرچه مقدار مجذور میانگین مربعات خطا کوچک‌تر باشد، تفاوت داده‌های

اطلاعات هواشناسی و هیدرولوژی: این اطلاعات شامل مقادیر بارش (تک‌واقع یا پیوسته)، تبخیر ماهانه، سرعت باد و همچنین اطلاعات و پارامترهای برف می‌باشد. با توجه به فرضیات استفاده از مدل در واقعه رگباری اطلاعات فوق‌الذکر تأثیر عمده‌ای بر نتایج مدل نداشته و حساسیت چندانی ندارند، با این احوال این اطلاعات با فرض واقعه رگباری و به شکل زیر در مدل جایگزینی شده است. با توجه به فرضیات و امکانات مدل در خصوص دما از انتخاب عدم وجود اطلاعات استفاده شده است. در خصوص تبخیر با توجه به این که زمان وقوع رگبارهای اندازه‌گیری شده در فصلی بوده که هواد سرده است، میزان تبخیر برابر صفر در نظر گرفته شد. از آنجا که برآورد رواناب در مدل ASSA و سایر مدل‌های جمع‌آوری رواناب شهری براساس مقادیر بارش می‌باشد. بنابراین این اطلاعات از مهم‌ترین و اساسی‌ترین اطلاعات مورد استفاده مدل هستند. که در این تحقیق از بارش طرح با دوره بازگشت‌های ۲، ۵ و ۱۰ ساله استفاده شد.

شاخص‌های ارزیابی کارایی مدل SWMM: در این مطالعه از چهار معیار ضریب ناش سلتکلیف، کلینگ گوپتا، $RMSE$ و $BIAS$ برای بررسی صحت واسنجی و اعتبارسنجی مدل استفاده گردید. که معیارها با شماره‌های ۱ تا ۴ مشخص شده‌اند.

در سال‌های اخیر استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و ترکیب آن با مدل‌های هیدرولوژیکی (۲۶، ۲۷) و هیدرولوژیکی در حوزه‌های پیچیده شهری جهت به‌دست‌آوردن نتایج دقیق‌تر افزایش روز افزونی داشته و باعث شده تا GIS نقش کلیدی در مطالعات بارش-رواناب در حوزه‌های شهری داشته باشد. علاوه بر این گسترش تکنیک‌های GIS و استفاده از ابزارهایی چون نقشه کاربری اراضی، نقشه مناطق نفوذناپذیر، مدل رقمی ارتفاع (DEM)، عکس‌های هوایی دیجیتال، نقشه خطوط ارتفاعی و نقشه شبکه زهکشی می‌توانند پارامترهای ورودی برای مدل‌های هیدرولوژیکی و هیدرولوژیکی را فراهم کنند (۲۴). در مطالعه حاضر نیز به‌منظور مدل‌سازی بارش-رواناب از مدل ASSA بهره گرفته شد. نتایج به‌دست‌آمده حاکی از این بود مدل ASSA قابلیت انتقال مستقیم داده‌ها و اطلاعات را از سیستم اطلاعات جغرافیایی را دارا می‌باشد، یعنی اطلاعات مورد نیاز مدل با فرمتی که هستند قابلیت انتقال را دارا می‌باشند و بالعکس خروجی‌های مدل را می‌توان در محیط جی‌آی‌اس تجزیه و تحلیل کرد و سرعت محاسبات و شبیه‌سازی را افزایش داد. در این تحقیق نقشه زیرحوزه‌ها، کانال‌ها و گره‌ها به‌عنوان عناصر اصلی مدل به‌طور مستقیم از GIS وارد محیط مدل شدند و با توجه به زمان تمرکز حوزه، که با استفاده از خط‌کش رود کالیبره شده برابر یک ساعت به‌دست آمد، هایتوگراف‌های بارندگی با زمان تداومی برابر زمان تمرکز حوزه محاسبه شد به این ترتیب که ابتدا در دوره بازگشت‌های مورد نظر، شدت بارندگی با تداوم یک ساعته به‌دست آمد و سپس مقدار بارش تجمعی و سپس مقدار بارش جزئی محاسبه شد و از روی مقدار بارش جزئی، هایتوگراف بارندگی شکل ۵ ترسیم گردید. و مدل برای بارش طرح با دوره بازگشت ۲، ۵، و ۱۰ ساله شبیه‌سازی شد.

مشاهده‌ای و برآورد شده کمتر بوده و دقت پیش‌بینی مدل بیشتر خواهد بود. خطای کل در حجم جریان بوده، مقادیر مثبت و منفی این ضریب نشان‌دهنده بیش‌تر یا کم‌تر بودن متوسط حجم جریان شبیه‌سازی شده توسط مدل نسبت به جریان مشاهداتی است (۹).

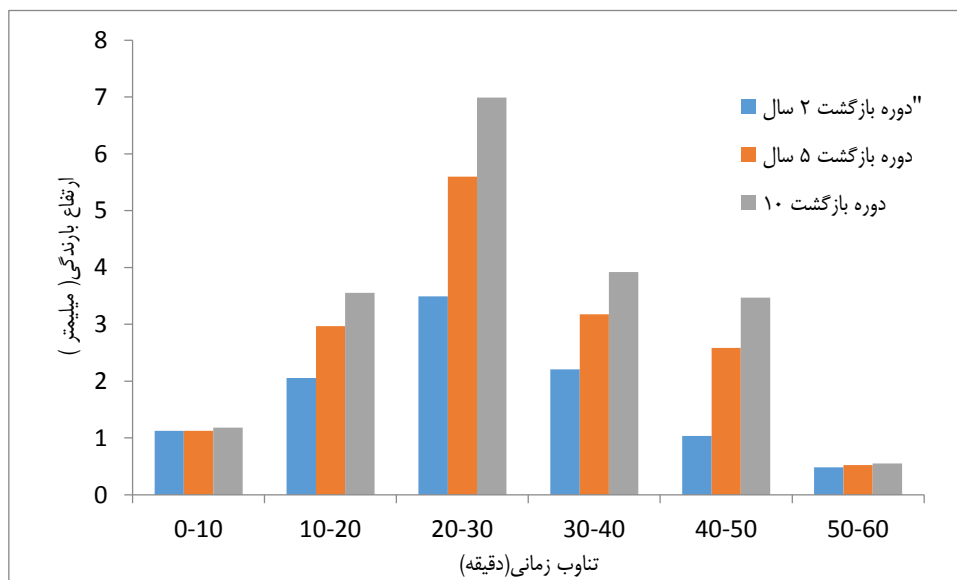
معیار ارزیابی کلینگ-گوپتا

این معیار جدیدترین معیار ارزیابی برای مقایسه هیدروگراف‌های شبیه‌سازی شده و مشاهده شده می‌باشد. گوپتا و همکاران (۱۲) ضمن معرفی این شاخص به مقایسه و بررسی مزیت‌های آن با معیار معروف ناش-ساتکلیف پرداخته‌اند. این معیار در سال ۲۰۱۲ توسط کلینگ و همکاران (۱۹) به‌صورت بازبینی شده (KGE²) به‌کار گرفته شد.

$$KGE = \sqrt{(r-1)^2 + (\alpha-1)^2 + (\beta-1)^2} \quad (4)$$

در فرمول مذکور r ضریب همبستگی بین داده‌های شبیه‌سازی و اندازه‌گیری می‌باشد. α نسبت انحراف معیار مقادیر شبیه‌سازی به انحراف معیار مقادیر اندازه‌گیری است. β نسبت میانگین مقادیر شبیه‌سازی به میانگین مقادیر اندازه‌گیری (مشاهداتی) است. بهترین مقدار برای معیار ارزیابی کلینگ-گوپتا عدد یک می‌باشد که نشان‌دهنده تطابق کامل هیدروگراف‌ها می‌باشد. در معیار بازبینی شده کلینگ-گوپتا به‌جای α از γ استفاده می‌شود که نسبت ضریب تغییرات مقادیر شبیه‌سازی به ضریب تغییرات مقادیر مشاهداتی می‌باشد (۱۹).

نتایج و بحث



شکل ۵- هایتوگراف‌های بارندگی برای بارش طرح با دوره بازگشت ۲، ۵ و ۱۰ ساله
 Figure 5. Rainfall Hytographs for Precipitation With a Return Period of 2, 5 and 10 years

نتایج آماری حاصل از فرآیند واسنجی در جدول ۱ و نتایج خروجی دبی جریان وقایع در شکل‌های ۶ تا ۱۱ قابل اعتبارسنجی در جدول ۲ ارائه شده است و هیدروگراف مشاهده است.

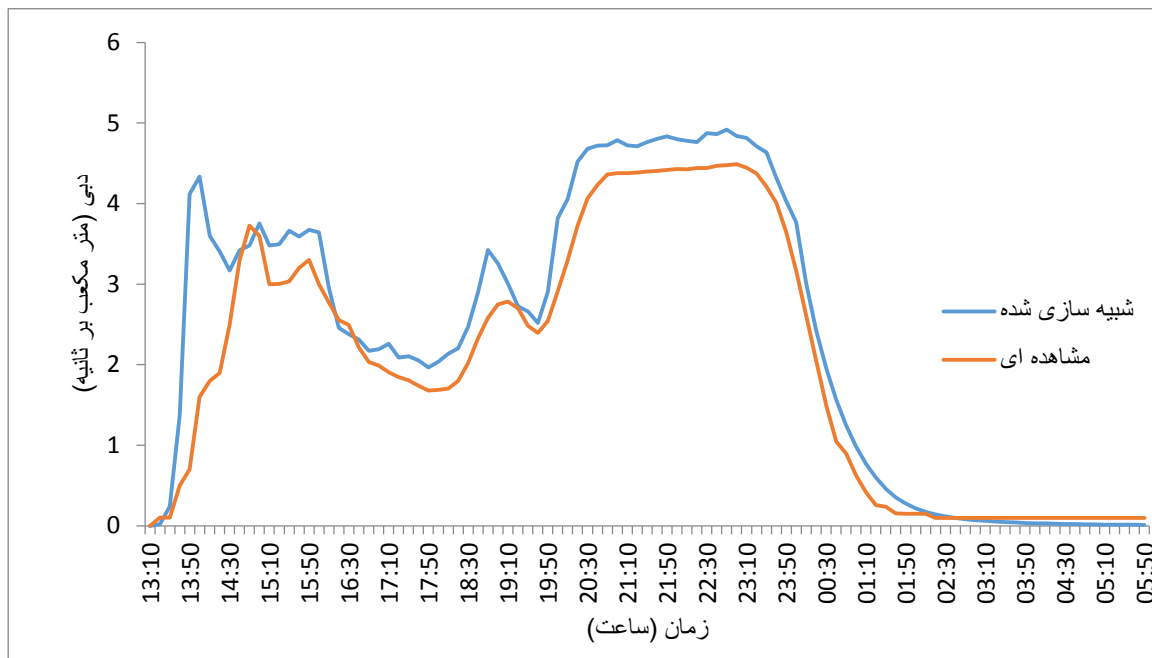
جدول ۱- نتایج واسنجی مدل ASSA

KGE	BIAS %	RMSE	معيار Nash	تاریخ بارندگی
۰/۷۶۷	-۱۶/۷۳	۰/۶	۰/۸۵	۱۳۹۳/۱۰/۲۰
۰/۸۵۵	۸/۵۶	۰/۶۵	۰/۸۷	۱۳۹۳/۱۱/۲۶
۰/۷۶	-۲۵/۵	۰/۵۸	۰/۸	۱۳۹۳/۱۲/۲
۰/۶۱	-۱۲/۵	۰/۹۱	۰/۶۳	۱۳۹۳/۱۲/۱۵

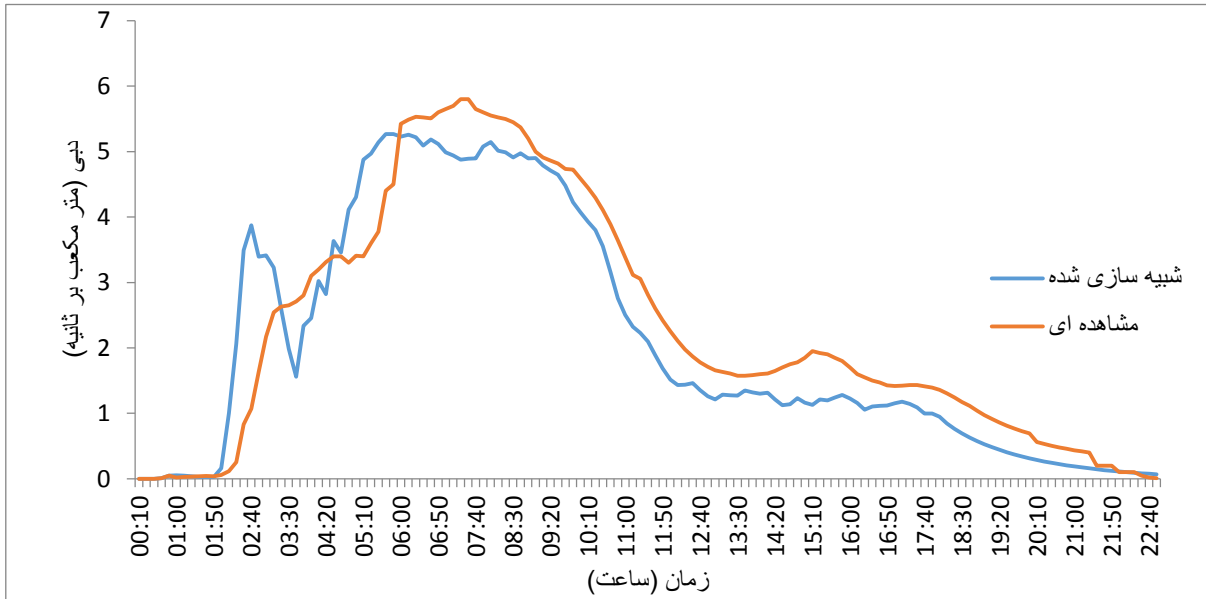
جدول ۲- نتایج اعتبارسنجی مدل ASSA

KGE	BIAS %	RMSE	معيار Nash	تاریخ بارندگی
۰/۷۷	۲۱/۶۵	۰/۶۱	۰/۶	۱۳۹۴/۱/۷
۰/۷۴	۱۲/۴۳	۱/۱۴	۰/۶۱	۱۳۹۴/۱/۱۱

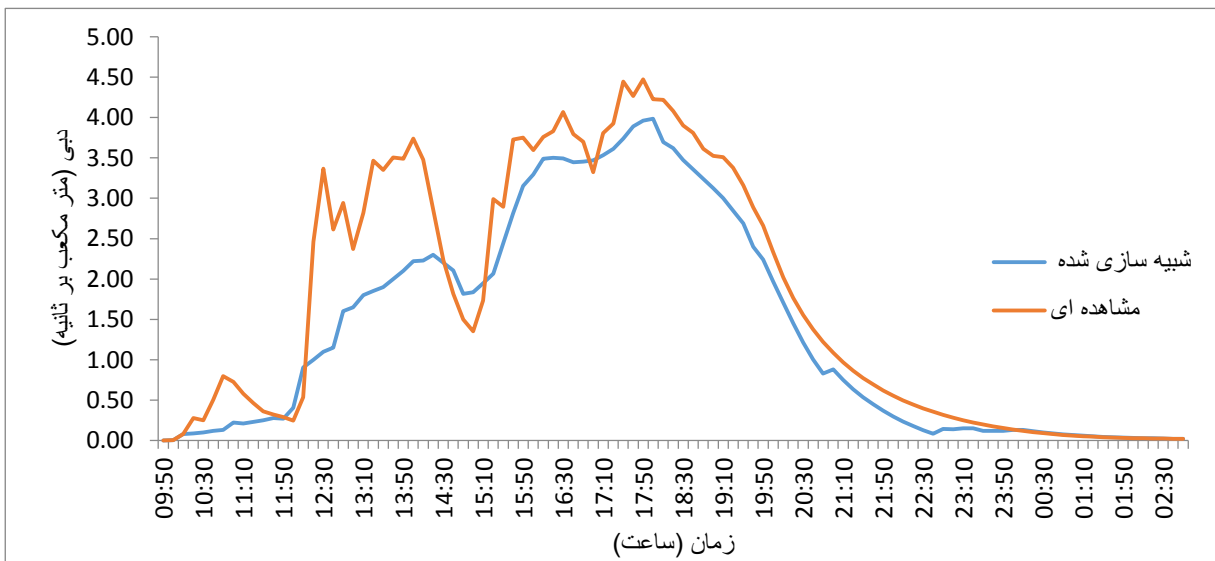
هیدروگراف‌های شبیه‌سازی رگبارهای مرحله واسنجی و اعتبارسنجی در مقابل دبی‌های مشاهداتی در اشکال شماره ۶ تا ۱۲ ارائه شده است. که با توجه با اشکال ۶ تا ۱۲، شبیه‌سازی دبی در وقایع بررسی شده انطباق خوبی با داده‌های مشاهداتی دارد.



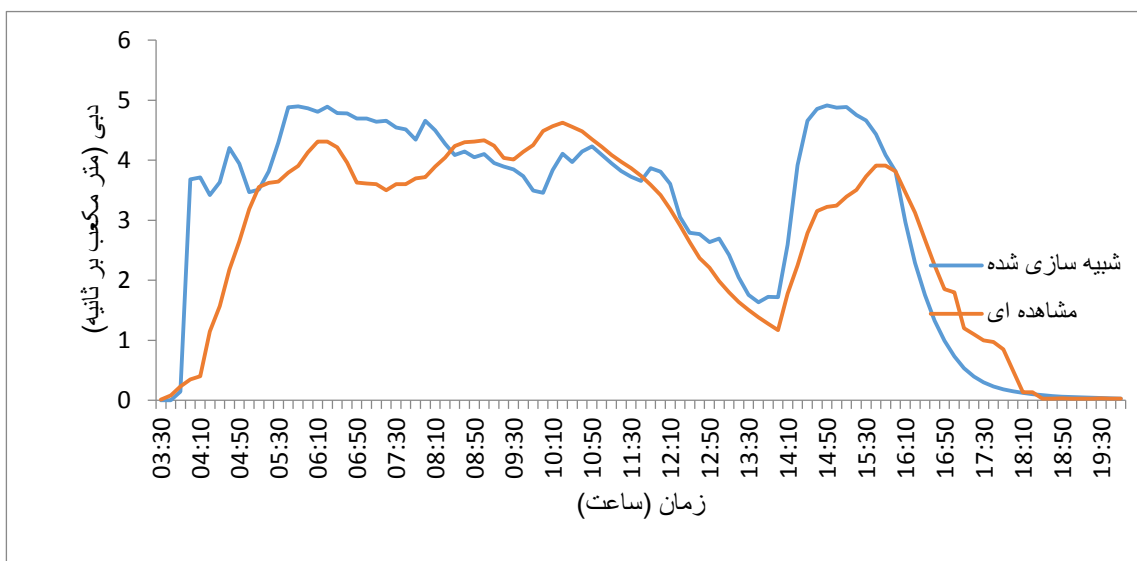
شکل ۶- نتایج واسنجی هیدروگراف‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده دبی برای واقعه ۱۳۹۳/۱۰/۲۰
Figure 6. Calibration Results of the Observed and Simulated Hydrographs of Run Off for The first Event 2015/1/10



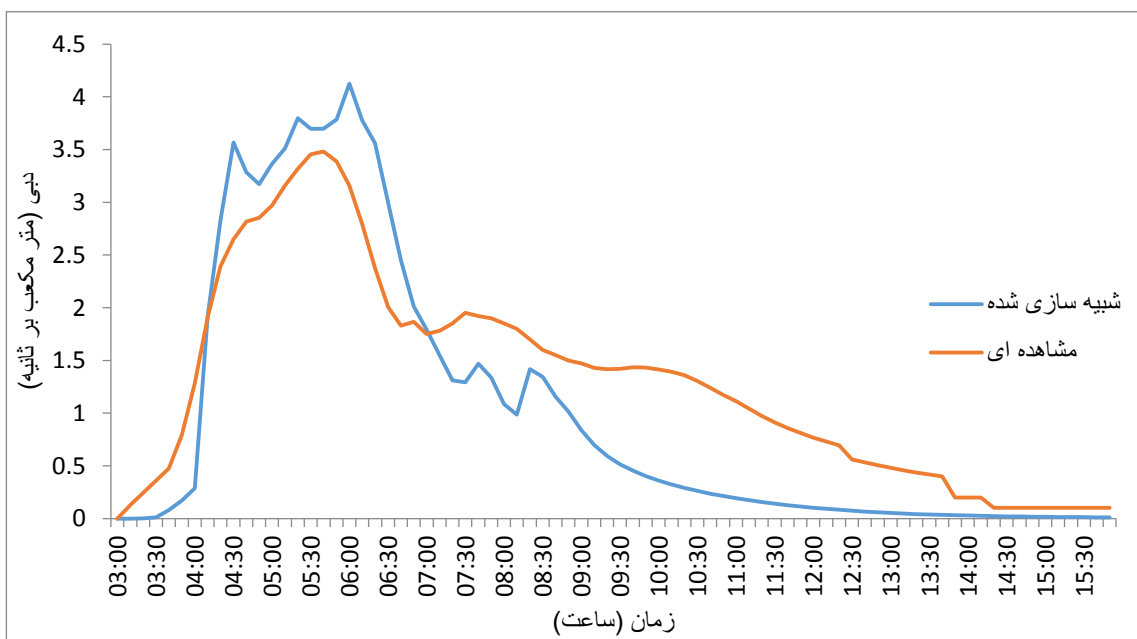
شکل ۷- نتایج واسنجی هیدروگراف‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده دبی جریان برای واقعه ۱۳۹۳/۱۱/۲۶
 Figure 7. Calibration Results of the Observed and Simulated Hydrographs of Run Off for the Second Event 2015/2/15



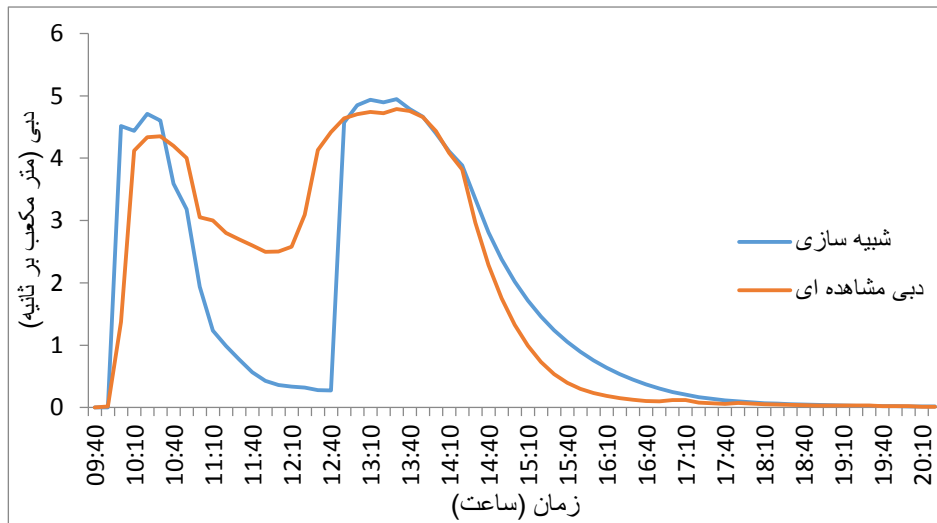
شکل ۸- نتایج واسنجی هیدروگراف‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده دبی جریان برای واقعه ۱۳۹۳/۱۲/۲
 Figure 8. Calibration Results of the Observed and Simulated Hydrographs of Run Off for the Third Event 2015/2/21



شکل ۹- نتایج واسنجی هیدروگراف‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده دبی برای واقعه ۱۳۹۳/۱۲/۱۵
Figure 9. Calibration Results of the Observed and Simulated Hydrographs of Run Off for The Fourth Event 2015/3/6



شکل ۱۰- نتایج ارزیابی هیدروگراف‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده دبی برای واقعه ۱۳۹۴/۱/۷
Figure 10. Calibration Results of the Observed and Simulated Hydrographs of Run Off for the Fifth Event 2015/3/27



شکل ۱۱- نتایج ارزیابی هیدروگراف‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده دبی برای واقعه ۱۳۹۴/۱/۱۱
Figure 11. Calibration Results of the Observed and Simulated Hydrographs of RunOff for The Sixth Event 2015/3/31

که به نتیجه رسیدند شبیه‌سازی آبرفتگی‌های ناشی از بارندگی‌های طرح در منطقه مورد مطالعه با استفاده از مدل SWMM با آنچه که هر ساله در آنجا روی می‌دهد، موید صحت شبیه‌سازی‌های مدل می‌باشد، مطابقت دارد. در ادامه پس از حصول اطمینان از عملکرد مدل، به منظور کاربردی شدن تحقیق حاضر مدل برای ۳ دوره بازگشت ۲، ۵ و ۱۰ سال اجرا خواهد شد، پژوهشگران دوره بازگشت‌های مناسب برای طراحی در مناطق شهری را بین ۲ تا ۱۰ سال برآورد کرده‌اند (۲۳). در ادامه پس از اجرای مدل با ۲ دوره بازگشت مد نظر کانال‌های سیلابی و حساس به آبرفتگی مشخص و راهکارهای مناسب برای رفع آن پیشنهاد خواهد شد. که نتایج حاصل از شبیه‌سازی مدل در جدول ۳ ارائه شده است.

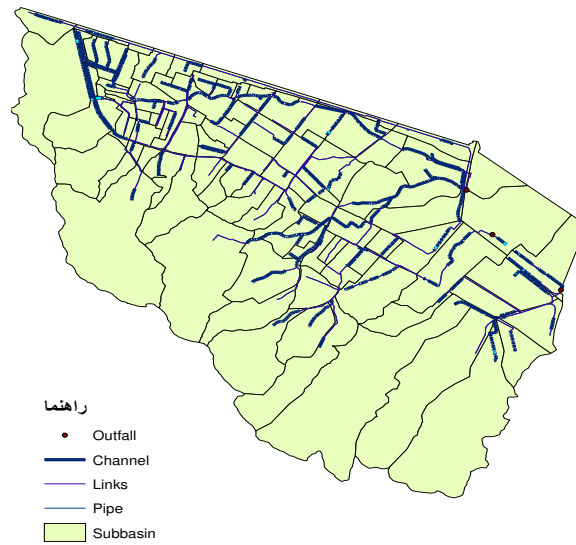
در شکل‌های ۵ تا ۱۰ نتایج تعیین کانال‌های بحرانی به‌عنوان خروجی‌های مدل ASSA در محیط نرم‌افزار جی‌آی‌اس را برای منطقه مورد مطالعه به ازای رگبار یک‌ساعته در دوره بازگشت‌های ۲، ۵ و ۱۰ سال ارائه شده است.

نتایج حاصل از واسنجی مدل نشان داد که شبیه‌سازی دبی در وقایع بررسی شده انطباق خوبی با داده‌های مشاهداتی دارد. که مقدار NS برای وقایع بیشتر از ۰/۵ می‌باشد. نتایج ارزیابی مدل ASSA جدول (۱) کارایی و دقت مدل را با مقدار NS بالاتر از ۰/۵ تایید می‌کند. همچنین مقادیر RMSE برای وقایع شبیه‌سازی حاصل از واسنجی و ارزیابی مدل ASSA به ترتیب برابر ۰/۶، ۰/۶۵، ۰/۵۸، ۰/۹۱ و ۰/۶۱ و ۱/۱۴ و مقدار ضریب کلینگ گوپتا برای وقایع شبیه‌سازی حاصل از واسنجی و ارزیابی مدل ASSA به ترتیب برابر ۰/۷۶، ۰/۸۵، ۰/۷۶ و ۰/۶۱ و ۰/۷۷ و ۰/۷۴ شد، که نشان‌دهنده نتایج قابل قبول مدل است و همچنین نشان می‌دهد که مدل مذکور قابلیت شبیه‌سازی رواناب سطحی را دارا می‌باشد که با یافته‌های بدیعی‌زاده و همکاران (۵) که از مدل مذکور در شبیه‌سازی رواناب شهر گرگان استفاده کردند و به نتیجه رسیدند مدل SWMM دقت مورد نیاز برای شبیه‌سازی رواناب سطحی را دارا می‌باشد و همچنین با یافته‌های کریمی و همکاران (۱۷)، در شبیه‌سازی کمی سیلاب ناشی از بارندگی در بخش‌های از حوزه شهری بابلسر

جدول ۳- طول و درصد آبرفتی منطقه مطالعاتی

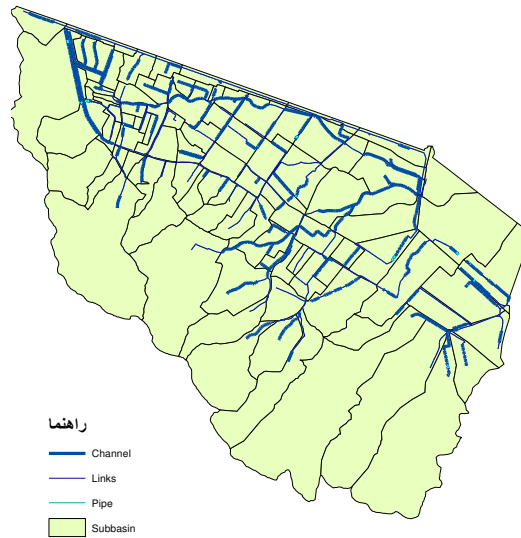
Table 3. Length and Percentage of Flooding in The Study Area		دوره بازگشت
درصد	طول	حالت سیلابی و آبرفتگی
۱/۸۱	۹۵۰/۷۴	۲ ساله
۲/۹۱	۱۵۳۲	۵ ساله
۴/۳۳	۲۲۷۷/۶۵	۱۰ ساله
۵/۱۵	۲۷۰۶/۸۸	۲۵ ساله
۵/۲۸	۲۷۴/۴۷	۵۰ ساله
۵/۵۵	۲۹۱۷/۵۷	۱۰۰ ساله
۵/۹۶	۳۱۳۱/۹۲	۲۰۰ ساله

2



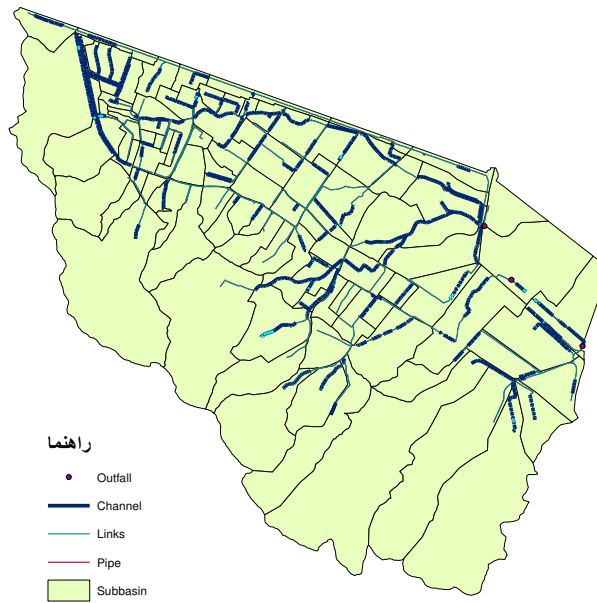
شکل ۱۲- تعیین کانال‌های بحرانی، با دوره بازگشت ۲ سال در محیط جی ای اس با توجه به خروجی‌های مدل ASSA
Figure 12. Determine the Critical Channel with a Return Period of 2 years in the GIS Environment According to the Outputs of the ASSA Model

2

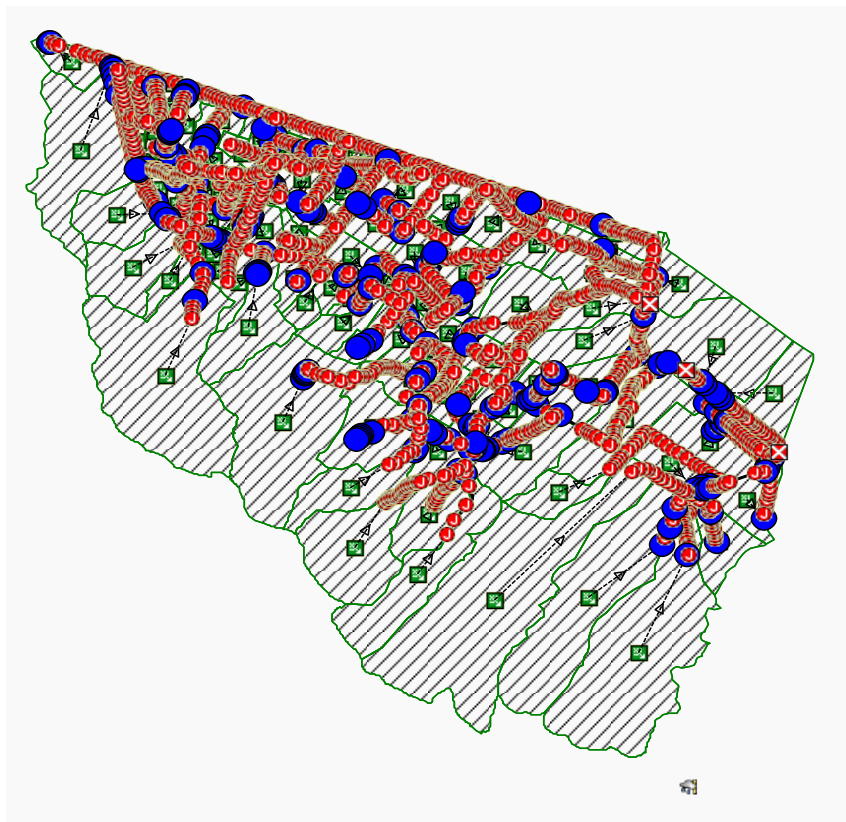


شکل ۱۳- تعیین کانال‌های بحرانی، با دوره بازگشت ۵ سال در محیط جی ای اس با توجه به خروجی‌های مدل ASSA
Figure 13. Determine the Critical Channel with a Return Period of 5 years in the GIS Environment According to the Outputs of The ASSA Model

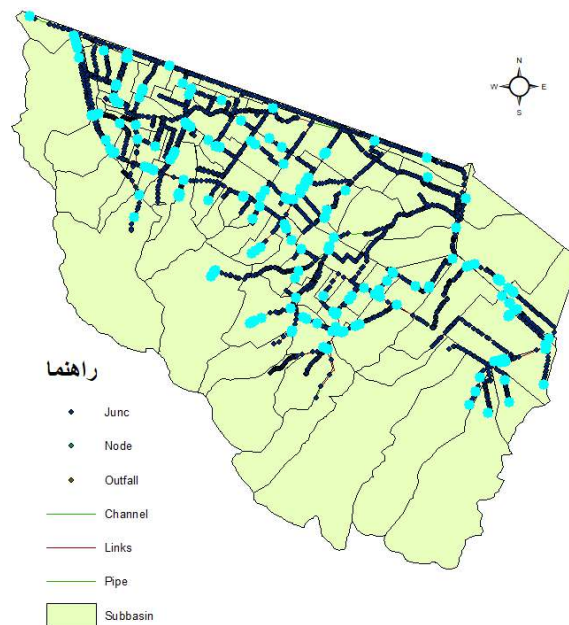
2



شکل ۱۴- تعیین کانال‌های بحرانی، با دوره بازگشت ۱۰ سال در محیط جی‌ای‌اس با توجه به خروجی‌های مدل ASSA
Figure 14. Determine the Critical Channel with a Return Period of 10 years in the GIS Environment According to the Outputs of the ASSA Model



شکل ۱۵- نقاط آبگرفتگی (رنگ آبی) توسط مدل ASSA با دوره بازگشت ۱۰ سال
Figure 15. Flooding Points with the Return Period of 10 Years by the ASSA Model



شکل ۱۶- نقاط آبرگرفتنی با دوره بازگشت ۱۰ سال در محیط جی آی اس با توجه به خروجی‌های مدل
Figure 16. Flooding Points with the Return Period of 10 Years in the GIS Environment
According to the Model Outputs

شهری خط‌الراس و خط‌القدر مشخصی جهت تعیین مرز حوزه وجود ندارد بسیار مشکل است اما در کل از یک اصل کلی تبعیت می‌کند که آن تعیین مرز بر اساس خط تقسیم آب است. در این مطالعه به دلیل اینکه DEM دقیقی از منطقه در دسترس نبود بعد از بررسی میدانی و استفاده از نقاط ارتفاعی نقشه کاربری اراضی مرز زیر حوزه‌ها بسته شد. همچنین از سیستم اطلاعات جغرافیایی جهت به‌دست‌آوردن سایر پارامترهای ورودی به مدل‌های بارش-رواناب از جمله مساحت، عرض معادل زیرحوزه‌ها و شیب متوسط و درصد مناطق نفوذپذیر استفاده گردید که نتایج قابل‌قبولی بدست آمد و نتایج به‌دست‌آمده با نتایج (۲۴،۱۳،۷) از نظر انعطاف‌پذیری مدل مذکور، مطابقت دارد.

زمان تمرکز حوزه به‌عنوان مهم‌ترین عامل برای انتخاب رگبارهای طرح از منحنی‌های شدت-مدت-فرآوانی هر منطقه بوده و در نتیجه از عوامل موثر بر رواناب حداکثر می‌باشد. با توجه به اهمیت زمان تمرکز در برآورد سیلاب و شکل هیدروگراف سیلاب و نقشی که سیلاب‌ها در تخریب تأسیسات، اینیه آبی و اماکن مسکونی دارند محاسبه زمان تمرکز در پروژه‌های آبخیزداری، سدسازی و هیدرولوژی شهری امری جدی محسوب می‌شود. از طرف دیگر توسعه شهرها و مناطق مسکونی و افزایش مناطق نفوذناپذیر باعث کاهش زمان تمرکز در حوزه‌های شهری شده است اما در بعضی مواقع کاهش شیب و ناکارآمدی سیستم زهکشی باعث افزایش زمان تمرکز گردیده است. از بین روش‌های مختلف برآورد زمان تمرکز از روش صحرائی با استفاده از خط‌کش Rod کالیبره‌شده بهره گرفته شد، که در نهایت با توجه به محاسبات انجام‌شده زمان تمرکز حوزه برابر با یک ساعت محاسبه شد.

همانطور که از جدول ۳ و شکل‌های شبیه‌سازی‌های ۱۲ تا ۱۴ معلوم است برای دوره بازگشت ۲ساله، ۱/۸۱ درصد شبکه زهکشی دارای شرایط بحرانی می‌باشد و برای دوره بازگشت‌های به‌ترتیب ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ سال به‌ترتیب ۲/۹۱، ۴/۳۳، ۵/۱۵، ۵/۲۸، ۵/۵۵ و ۵/۹۶ درصد شبکه در شرایط بحرانی و سیلابی قرار دارند و علاوه‌براین همانطور که در جدول فوق مشخص است، کانال‌هایی هم وجود دارند که دارای مشکل آبرگرفتنی می‌باشند که با نتایج بدیعی‌زاده و همکاران (۶) مطابقت دارد. همچنین علاوه‌بر کانال‌های بحرانی، نقاط یا گره‌های آبرگرفتنی با دوره بازگشت‌های مختلف در محیط مدل و نهایتاً خروجی‌های آن در نرم افزار جی آی اس برآورد گردیده است و نتایج نشان داد که با افزایش دوره بازگشت بارندگی، از تعداد ۲۸۰۶ گره موجود در شبکه مجاری زیرزمینی و سطحی ۱۱۴، ۱۷۸ و ۲۲۶ گره به‌ترتیب در دوره بازگشت‌های ۲، ۵ و ۱۰ساله دچار سیلاب و آبرگرفتنی شدند. بررسی‌های میدانی، نقشه‌های موجود رقوم ارتفاعی شبکه جمع‌آوری رواناب شهری و شبیه‌سازی‌های انجام‌گرفته، حاکی از آن است که، علت اصلی آبرگرفتنی‌ها، کوچک‌بودن سطح مقطع مجاری آبرو و همچنین شیب کم و زیاد در برخی نقاط شبکه بوده است. مطابقت نتایج شبیه‌سازی آبرگرفتنی‌های ناشی از بارندگی‌های طرح در منطقه مورد مطالعه با آنچه که هر ساله در آنجا روی می‌دهد، موید صحت شبیه‌سازی‌های مدل می‌باشد.

به‌طور کلی نتایج نشان داد، اولین موضوعی که در مدل‌های هیدرولوژیکی مطرح است تعیین دقیق مرز حوزه و زیر حوزه‌های منطقه مورد مطالعه است. تعیین مرز در حوزه‌های کوهستانی و شهری، با توجه به اینکه در حوزه‌های

کلینگ-گوپتا به ترتیب برای وقایع مورد بررسی حدود ۰/۷۲ و ۰/۷۵ می‌باشد. نتایج ارزیابی مدل ASSA کارایی و دقت مدل را تایید می‌کند که مقدار معیارهای مذکور بالاتر از ۰/۵ اندازه‌گیری شد. همچنین میانگین مقدار مجذور میانگین مربعات خطا برای واقعه‌های موجود برابر ۰/۷۴ شد، که نشان‌دهنده نتایج قابل قبول مدل است. در نتیجه می‌توان گفت انطباق خوبی بین رواناب شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای وجود دارد و این می‌تواند نشان‌دهنده‌ی این باشد که مدل ASSA دقت مورد نیاز برای شبیه‌سازی رواناب شهری را دارد و می‌توان از این مدل برای طرح‌های مدیریت رواناب شهری و طراحی شبکه زهکشی رواناب شهری در منطقه مورد مطالعه استفاده نمود که با یافته‌های کریمی و همکاران و بدیعی‌زاده و همکاران (۱۷،۵) مطابقت دارد.

در این تحقیق مشخص شد مدل ASSA قابلیت انتقال مستقیم داده‌ها و اطلاعات را از سیستم اطلاعات جغرافیایی را دارا می‌باشد، یعنی اطلاعات مورد نیاز مدل با فرمتی که هستند قابلیت انتقال را دارا می‌باشند. در غیر اینصورت هر کدام از اطلاعات مربوط به زیرحوزه‌ها، کانال‌ها، گره‌ها باید به صورت دستی وارد گردد که کار بسیار وقت‌گیر و هزینه‌بری است. این موضوع مهم‌ترین شاخصه مدل می‌باشد که مدل مذکور بسیار کاربرپسندتر، کم‌هزینه‌تر و دقیق‌تر از مدل می‌باشد و قابلیت انعطاف‌پذیری بالایی با مدل‌های دیگر دارد که با یافته‌های دونگکوا و همکاران (۹)، مطابقت دارد. همچنین، نتایج حاصل از واسنجی و ارزیابی مدل نشان داد که شبیه‌سازی شش واقعه بررسی شده انطباق خوبی دارد که میانگین مقدار ضریب ناش-ساتکلیف و معیار ارزیابی

منابع

- Ahmadian, M. 2012. Evaluation of Urban Runoff With Using The SWMM Model to Reduce Flood Hazard (Case Study: Hashgrd New Town). Master's Thesis, Science and Research Islamic Azad University, 150 pp (In Persian).
- Ainluo, F. 1393. The Effect of Land use Changes and Urban Development on Runoff (Case Study: Zanjan City). Master's Thesis, Department of Natural Resources, Tehran University, 18 pp (In Persian).
- Akart, J. 2005. Applications Quaternary Geological. Department of Publications (SID), First Edition, Tehran, 466 pp (In Persian).
- Asghari Moghaddam, R. 1999. Hydrology and The City Flood Hazard. First Edition, Masei, Publications, Tehran, (In Persian).
- Badeiizadeh, S. A.R., Bahremand, A.A. Dehghani, and N. Nora. 2015. Urban Flood Management Through Surface Runoff Simulation to Use SWMM Model in Gorgan City, Golestan province. Journal of Soil and Water Conservation, 22(4): 1-16 pp (In Persian).
- Badeiizadeh, S. A.R. Bahremand and A.A. Dehghani. 2016. Calibration and Evaluation of The Hydrologic- Hydraulic Model SWMM to Simulate Runoff (Case Study: Gorgan). Journal of Watershed Management Research, 7(14): 1-10 pp (In Persian).
- Chen, A.S., M.H. Hsu, C.J. Huang and W.Y. Lien. 2010. Analysis of The Sanchunginundation During Typhoon Aere, 2004. Nat Hazards.
- Dalir, A. 2009. Simulation of Sewage Network Performance during rain fall using of MIKE SWMM and Arc View Model Combination (Case Study partial of Mashhad Sewage Network). Master's Thesis, Water trend, Ferdowsi University of Mashhad, 195 pp.
- Dongquan, Z., C. Jining, W. Haozheng, T. Qingyuan, C. Shangbing and S. Zheng. 2009. GIS-based urban rainfall-runoff modeling using an automatic catchment-discretization approach, (case study in Macau). Environ Earth Science, 59: 465-472 pp.
- Jevelyn Ann S. Tobio, Marla C. Maniquiz-Redillas and Lee-Hyung Kim 2015. Optimization of The Design of Urban Runoff Treatment System using Storm Water Management Model (SWMM). Journal of Desalination and Water Treatment, 53(11): 1-8.
- Fewtrell, T.J., A. Duncan, C.C. Sampson, J.C. Neal and P.D. Bates. 2011. Benchmarking Urban Flood Models of Varying Complexity and Scale Using High Resolution Terrestrial LIDAR data Original Research Article Physics and Chemistry of the Earth. Parts A/B/C, 36 (7-8): 281-291.
- Gupta, H.V., H. Kling, K. Koray, Y. Guillermo and F. Martinez. 2009. Decomposition of the mean squared error and NSE performance criteria: Implications for improving hydrological modelling. Journal of Hydrology, 377(1-2): 80-91. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2009.08.003.
- Hashemi, N.S. and G. Abedi Kupayi. 2016. Use of Urban Runoff in Green Space to Reduce Pressure on Drinking Water and Health. Resources Case Study: Najaf Abad City. First National Conference on Drinking Water Supply and Demand, Challenges and Solutions, Isfahan, Isfahan of Technology University.
- Hosein Zadeh, S.R. and M. Jahadi Toroughi. 2007. The Mashhad city Preceding Effects of the Natural Drainage Pattern and Urban Flooding Intensify. Geographic Studies, 61: 145-159 (In Persian).
- Hojjat Marvost, A. 2011. Presentation of Water Balance Model for Studying Urban Runoff in Part of Tehran. Master Thesis, Yazd University, 61 pp.

16. Ghasemi, S. and M. Maghrebi. 2015. Delay Ponds as Solution for Development and Urban Sustainable Management. *Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems*, 3(6): 1-14 pp (In Persian).
17. Karimi, V.A., K. Solimani, M. Habib NeJad Roshan and K. Shahehdi. 2015. Simulation of Flow in Open and Closed Conduits by EPA-SWMM Model. *Case and Water Conservation*, 22(4): 1-16 pp (In Persian).
18. Karami, M., A. Ardeshir and C. Behzadian. 2015. The Flooding Risk Management and pollution caused by Urban Flood Using Modern and Modern Optimal Solutions. *Iranian Water Resources Research Journal*, 11(11): 162-170 (In Persian).
19. Kling, H., M. Fuchs and M. Paulin. 2012. Runoff conditions in the upper Danube basin under an ensemble of climate change scenarios. *Journal of Hydrology*, 6(424-425): 264-277 DOI:10.1016/j.jhydrol.2012.01.011.
20. Nash, J.E. and J.V. Sutcliffe. 1970. River flow forecasting though conceptual models. Part 1-A discussion of principles. *Journal of Hydrology*, 10: 282-290.
21. Misgana, K., P.F. Muleta, C. Orr and J. JeRo. 2005. Using Genetic Algorithms and Particle Swarm Optimization for Optimal Design and Calibration of Large and Complex UUrban Storm Water Management Models. *Proceedings of World Environmental and Water Resource Congress*.
22. Rezayi, F., A.R. Bahremand, V.B. Shaikh, M.T. Dasturani and M. Tajbakssh. 2018. Determination of the Most Important Parameters Affecting the Urban Runoff using SWMM Model (Case Study: Mashhad City, District). *Journal of Watershed Management Research*, 10(18): 135-145 (In Persian).
23. Shad, R. and A.R. Hoveidafard. 2015. Comparison Of Rational, SCS and SWMM Models for Analysis of Urban Pathway Inundation Using GIS (Case Study: Zone 9 Of Mashhad). *Journal of Soil and Water Science*, 4: 285-301.
24. Seth, I., P. Soonthornnonda and E.R. Christensen. 2006. Use of GIS in Urban Storm-Water Modeling. *Journal of Environmental Engineering*, 132(12): 1550-1552.
25. Scott, A. 2006. *Sanitary Sewer Design Using EPA Storm Water Management Model (SWMM)*. Department of Civil and Environmental Engineering. Manhattan College, Parkway, Riverdale, New York, 10471.
26. Todini, E. 1999. An Operational Decision Support System for Flood Risk Mapping. *Forecasting and Management, Urban Water*, 1: 131-143.
27. Wang, X., X. Gu, Z. Wu and C. Wang. 2008. Simulation of Flood Inundation of Guiyang City Using Remote Sensing, GIS and hydrologic model. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. XXXVII: 775-778.

Determination of Critical Channel Using Combination of ASSA and GIS Models in Different Return Periods (Case Study: Mashhad Municipality 9 District)

Fatemeh Rezayi¹, Abdolreza Bahremand², Vahed Berdi Shaikh³, Mohammad Taghi Dasturani⁴ and Saiid Mohmmad Tajbakhsh⁵

1- PhD Student Gorgan Agricultural Sciences and Natural Resources University of Golestan Province, Iran (Corresponding author: frezayi25@yahoo.com)

2- Associate Professor Gorgan Agricultural Sciences and Natural Resources University of Golestan Province, Iran

3- Associate Professor Gorgan Agricultural Sciences and Natural Resources University of Golestan Province, Iran

4- Professor Mashhad Ferdosi University, Khorasan Razavi Province

5- Assistant Professor, Birjand University, Khorasan Gonobi Province, IRAN Birjand University

Received: 24 February, 2018

Accepted: 8 May, 2019

Abstract

The quantitative and qualitative management of urban runoff is a very complicated. Regardless of the economic and social impacts, water engineers always need to know how to respond to a city's drainage system against different climatic conditions. In this research, the combination of ASSA and GIS models in the returns periods of 2, 5, 10 and 50 years were used to determine the flooding points in the 9th district of Mashhad municipality. First, the watershed boundaries, canals and nodes maps was extracted from the GIS environment. Then the ASSA model was simulated for a One-hour design for a different return period. Then, the outputs of the model were analyzed in the GIS software environment. The results showed that with increasing rainfall return period, 2806 nodes in underground and superficial networks of 114, 178 and 226 nodes were flooded and inundation during the return periods of 2, 5, 50 and 50 years, respectively. Field surveys, existing elevation digital maps of the urban runoff network and simulations have shown that the main cause of inundation is the small size of the cross section of the duct, as well as the low slope in some parts of the network. Adaptation of the results of the simulation of rainfall-induced waterlogging in the study area with what happens every year confirms indicates the correctness of the simulations of the model. Moreover, simulation results of the model also showed that there is a good agreement between the simulated results and the measurement.

Keywords: ASSA Models, Flooding Point, GIS, Return Periods, Runoff Simulation



"مقاله پژوهشی"

ارزیابی عدم قطعیت مدل‌های منطقه‌ای تغییر اقلیم و روش‌های تصحیح
خطا و پیش‌بینی تغییرات اقلیمی شهرستان بیرجندمرتضی دهقانی^۱، عطاله کاویان^۲، محمود حبیب نژاد روشن^۳، محمد قربانی^۴ و زینب جعفریان جلودار^۵

۱- دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
 ۲- استاد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، (نویسنده مسول: a.kavian@sanru.ac.ir)
 ۳- استاد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
 ۴- استاد گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
 ۵- استاد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
 تاریخ دریافت: ۹۷/۶/۲۵ تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۰/۹
 صفحه: ۴۲ تا ۵۳

چکیده

از مهم‌ترین پیامدهای افزایش واداشت تابشی ناشی از فعالیت‌های انسانی، گرمایش جهانی می‌باشد که دگرگونی‌های متنوع و چالش‌برانگیزی از جمله تغییرات اقلیمی را بر اکوسیستم‌های مختلف تحمیل کرده و پیش‌بینی‌های مختلف نیز نشان‌دهنده شدت بیشتر آن در آینده است. با توجه به این که مدل‌های اقلیمی و روش‌های تصحیح خطای متنوعی برای شناخت شرایط آینده ارائه شده، انتخاب مدل اقلیمی و روش تصحیح خطا مناسب، یکی از چالش‌های کلیدی مرتبط با آینده‌نگری تغییرات اقلیمی در مقیاس محلی و حوزه‌ای می‌باشد. در این مطالعه صحت و کارایی مدل‌های اقلیمی منطقه‌ای شامل: CanESM2، CSIRO Mk3، EARTH، IPSL، MIROC51، MPI-HadGEM2، NorESM1، GFDL و روش‌های آماری تصحیح خطا شامل: LS، DC، LI، DM، PT و VS با استفاده از آزمون‌های T و F، دیاگرام تیلور و ده شاخص آماری در دو دوره کنترل (۲۰۰۵-۱۹۵۶) و اعتبارسنجی (۲۰۱۵-۲۰۰۶) در ایستگاه بیرجند مورد ارزیابی قرار گرفته است. یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد شاخص متوسط ماهیانه دوره، کارایی مدل‌ها و روش‌ها را به صورت اعراف آمیزی افزایش می‌دهد و مدل برتر متناسب با نوع نمایه آماری و دوره مورد نظر متفاوت است. پیش‌بینی‌های روش ریزمقیاس‌نمایی فاکتور تغییر (CF) در دوره اعتبارسنجی دقت لازم را ندارد و روش ریزمقیاس‌نمایی خطی و واریانس به ترتیب برای پارامتر بارش و دما مناسب می‌باشند همچنین متوسط مقادیر شبیه‌سازی شده دما و بارش همه مدل‌های مورد استفاده نسبت به یک مدل از دقت بیشتری برخوردار بوده و مقادیر برآوردی مدل‌های اقلیمی EARTH و MPI دقت بیشتری دارد.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی، بیرجند، تغییر اقلیم، ریزمقیاس‌نمایی، متغیرهای اقلیمی، مدل‌های اقلیمی منطقه‌ای

مقدمه

اساس آمار منتشر شده از سال ۱۹۷۰ متوسط دمای زمین در هر دهه ۰/۱۵ درجه سانتیگراد افزایش داشته و در مجموع دمای زمین نسبت به اوایل قرن بیستم حدود ۰/۶ درجه گرمتر شده است (۱۶، ۱۲، ۱۷). تحقیقات نشان می‌دهد تغییر اقلیم در دامنه متنوعی زمانی- مکانی بر پارامترهای هیدرواقلیمی، سیکل کربن، تولیدات اکوسیستم‌های مختلف، فرسایش خاک، امنیت غذایی و انرژی اثر گذاشته و ضمن تحمیل آسیب‌ها و چالش‌های جدی بر لایه‌های مختلف اقتصادی-اجتماعی و رفاه جوامع انسانی، هزینه پایداری اکوسیستم‌ها را به شدت بالا برده است (۳۷، ۳۳، ۲۶، ۲۹، ۲۵، ۲۰، ۱۶، ۱۵، ۴، ۷). به‌عنوان نمونه تغییرات اقلیمی هزینه سالیانه کنترل سیلاب انگلیس را ۲۰۰ میلیون پوند افزایش داده است (۱۲). بنابراین بررسی و آینده‌نگری وضعیت اقلیمی هر منطقه یک ضرورت انکارناپذیر است (۲۱، ۸).

بر این اساس عکس‌العمل اقلیمی فعالیت‌های انسانی از جمله انتشار گازهای گلخانه‌ای تا افق ۲۱۰۰ تحت سناریوهای مختلف توسط مدل‌های تغییر اقلیم در سه تقسیم‌بندی مدل‌های گردش عمومی اتمسفر، هیدروسفر و جوی- اقیانوسی^۳ با تفکیک مکانی ۱۰۰ تا ۵۰۰ کیلومتری جهت آینده‌نگری و مدیریت بحران‌های مرتبط شبیه‌سازی شده (۳۸، ۳، ۱۱) و همواره در حال توسعه و تکامل است به طوری که از سال ۱۹۸۸ تاکنون مدل‌های گردش عمومی^۴ متنوعی

رشد روزافزون جمعیت و صنایع آلاینده، تغییر کاربری اراضی، نگاه اقتصادی و عدم توجه به توسعه پایدار به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه، گازهای گلخانه‌ای از جمله دی‌اکسید کربن را به‌خصوص بعد از انقلاب صنعتی افزایش داده است (۱۶). از جمله تبعات افزایش گازهای گلخانه‌ای تغییر در بیلان انرژی کره زمین به دلیل واداشت تابشی^۱ است به طوری که بر اساس گزارش پنجم هیئت بین دول تغییر اقلیم^۲ مجموع واداشت تابشی ناشی از فعالیت‌های انسانی در سال ۲۰۱۱ در بهترین حالت ۴۳ درصد بیشتر از میزان پیش‌بینی شده گزارش چهارم بوده و این عدد نسبت به سال ۱۷۵۰ به‌طور متوسط ۲/۲۹ وات بر متر مربع افزایش داشته است (۲۰، ۱۶، ۱۵). این وضعیت متناسب با سطح تکنولوژی، وضعیت اقتصادی و اجتماعی و رشد جمعیت ادامه خواهد داشت (۱۶، ۸) محاسبات تئوری و تغییرات مشاهده شده قویا نشان می‌دهد تغییرات اقلیمی قرن ۲۱ حتی در خوشبینانه‌ترین حالت از قرن گذشته بیشتر خواهد بود (۲۱) به طوری که بر اساس گزارش پنجم هیئت بین دول تغییر اقلیم واداشت تابشی در سال ۲۱۰۰ در خوشبینانه و بدبینانه‌ترین حالات به ترتیب ۲/۶ و ۸/۵ وات بر مترمربع افزایش خواهد داشت (۱۶) گرمایش جهانی^۳ و تغییر اقلیم^۴ از جمله شواهد غیر قابل انکار افزایش واداشت تابشی، است (۳۲) به طوری که بر

1- Radiative Forcing (RF)

3 -Global Warming

5- Atmospheric-Ocean General Circulation Models (AOGCM)

2- Intergovernmental panel on Climate Change (IPCC)

4 -Climate Change

6- General Circulation Models (GCM)

توسط پژوهشکده‌های مختلف تولید و IPCC نیز ۵ گزارش با سناریوهای مختلف منتشر کرده است (۱۶) و در سال‌های اخیر مدل‌های منطقه‌ای با تفکیک مکانی ۱۰ تا ۵۰ کیلومتر توسعه یافته که به دلیل کوچک‌تر شدن منطقه و ورود جزئیات پوشش سطح زمین، تصحیح شرایط مرزی و قدرت تفکیک بالاتر نسبت به مدل‌های جهانی دقت بهتری دارد (۳۸،۵،۱۹،۳۲) با این وجود عدم قطعیت مدل‌های تغییر اقلیم بدلیل تعدد متغیرهای مرتبط همچنان یکی از چالش‌های کلیدی علوم اقلیمی است (۳۸،۵،۱۰،۱۹). تحقیقات نشان می‌دهد بدون تصحیح خطای مدل‌های اقلیمی (مخصوصاً در مناطق کوهستانی، جنگلی و ابری) خطا اجتناب‌ناپذیر بوده (۲۱،۲۰،۳) و این موضوع در الگوهای روزانه و به خصوص بارش آشکارتر است (۲۴،۲۲) به طور کلی برآورد اثرات تغییر اقلیم ناشی از فعالیت‌های انسانی وابسته به پیش‌بینی‌های مدل‌های اقلیمی بوده و عدم قطعیت آنها به خصوص در مقیاس‌های کوچک و محلی مهم‌ترین محدودیت برنامه‌ریزی‌های مرتبط محسوب می‌گردد (۲۱). در تحقیقات مختلفی مدل‌های اقلیمی و روش‌های ریزمقیاس‌نمایی^۱ بررسی شده که می‌توان به مطالعات زیر اشاره کرد. نوتی و همکاران (۲۱) با بررسی واداشت تابشی زمین نشان دادند به احتمال ۴۰ درصد، متوسط دمای آینده زمین گرمتر از پیش‌بینی‌های گزارش پنجم هیئت بین دول تغییر اقلیم در افق ۲۱۰۰ خواهد شد. تباتلی و همکاران (۳۴) برای تصحیح خطای مدل‌های گردش عمومی از یک روش آماری با تئوری بیزین استفاده کردند و آن‌را مناسب ارزیابی کردند. ماین‌ویل و همکاران (۲۴) برای تصحیح خطای مدل‌های جهانی تغییر اقلیم مورد استفاده در حوزه نوردیک کانادا از روش ریزمقیاس‌نمایی فاکتور تغییر استفاده و نشان دادند که بر اساس مدل‌های مختلف مورد استفاده دما در سال ۲۰۲۰ بین ۱ تا ۴ و در سال ۲۰۸۰ بین ۴ تا ۱۴ درجه و بارش در این سال‌ها به ترتیب ۲۰ و ۵۵ درصد افزایش خواهد داشت. توسچوبین و سیرت (۳۵) دقت روش‌های ریزمقیاس‌نمایی خطی^۲ (LS)، فاکتور تغییر^۳ (CF)، توزیع نقشه‌ای^۴ (DM)، تراکمی^۵ (LI)، نمایی^۶ (PT) و روش واریانس^۷ (VS) را در دوره ۱۹۹۰-۱۹۶۱ برای خروجی یازده مدل منطقه‌ای گزارش چهارم در ۵ حوزه آبخیز سوئد را بررسی و نشان دادند که دقت روش ریزمقیاس‌نمایی فاکتور تغییر غیر قابل بررسی است و روش ریزمقیاس‌نمایی توزیع نقشه‌ای با میانگین مطلق خطا ماهانه ۰/۰۸۷ میلی‌متر و ۰/۱۶۳ درجه سانتی‌گراد بهترین عملکرد را در بین روش‌های مورد استفاده داشته است. بسته به موقعیت مکانی حوزه (ایستگاه مشاهداتی) دقت و قابلیت مدل‌ها متفاوت است و دقت مدل‌ها و روش‌های ریزمقیاس‌نمایی در پارامتر دما بیش از بارش است. سو و همکاران (۳۱) با ارزیابی ۲۴ مدل GCM گزارش پنجم با استفاده از ۱۷۶ ایستگاه هواشناسی منطقه فلات تبت در دوره ۲۰۰۵-۱۹۶۱ نشان دادند که ۱- دقت مدل‌ها در برآورد پارامتر دما بیشتر از بارش است، ۲- بر اساس شاخص آماری و سری زمانی (سالانه، فصلی و ماهانه) مورد استفاده دقت مدل‌ها متفاوت است، ۳- مدل

انتخابی پارامتر دما متفاوت از بارش است، ۴- موقعیت جغرافیایی و وضعیت توپوگرافی منطقه در دقت مدل‌ها موثر است، ۵- دقت دما در ماه‌های گرم بیش‌تر از سایر ماه‌ها است و ۶- همبستگی بین نوسانات زمانی درون یک سری زمانی کم است. کراس‌من و همکاران (۵) و استل دون و همکاران (۳۰) نشان دادند اثرات تغییرات آب و هوایی حوزه رودخانه سیاه (کانادا) و ایرلند در جهت افزایش بارش زمستان و دمای تابستان و زمستان خواهد بود. قهرمان و همکاران (۱۳) مقادیر دما و بارش ۳۷ مدل تغییر اقلیم گزارش پنجم را با داده‌های مشاهداتی ۳۷ ایستگاه سینوپتیک ایران در دوره ۲۰۰۰-۱۹۶۰ بررسی و نشان دادند بر اساس شاخص RMSE^۸ و اریبی^۹ مدل MPI برای بارش و مدل‌های CESM1، MPI و CCSM4 برای دما دقت بیش‌تری دارند. رسولی و همکاران (۲۸) داده‌های گزارش چهارم مدل HadCM3 با ابعاد شبکه ۳/۷۵ × ۲/۵ درجه را با استفاده از برنامه LARS-WG برای ایستگاه‌های شمال غرب ایران ریزمقیاس کردند. نتایج نشان داد بر اساس شاخص آماری میانگین خطای مطلق ماهانه دوره ۱- بسته به موقعیت جغرافیایی ایستگاه مشاهداتی دقت مدل متفاوت است به طوری که ایستگاه پارس آباد بیش‌ترین و اردبیل کم‌ترین دقت را دارد، ۲- دقت مدل در دمای حداقل بیش‌تر از دمای حداکثر و بارش است، ۳- دقت بارش کمتر از ۵۰ درصد است و ۴- دقت بارش در ماه‌های پر بارش و دما در ماه‌های گرم بیش‌تر است. کاظمی‌راد و محمدی (۱۸) برای ارزیابی اثرات تغییر اقلیم استان گیلان، داده‌های دما و بارش سناریوهای A2 و B1 مدل‌های HadCM3 و MPEH5 را با استفاده از برنامه LARS-WG ریزمقیاس کردند. در این تحقیق برای ارزیابی دقت خروجی مدل از آزمون T و همبستگی پیرسون استفاده شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

خشکسالی‌های شدید و متوالی چند دهه اخیر، تمرکز جمعیت و صنایع و وابستگی آب مورد نیاز بخش‌های مختلف کشاورزی، شرب و صنعت شهرستان بیرجند به منابع آب زیرزمینی باعث شده آبخوان بیرجند با جمعیت ۲۶۱۳۲۴ نفر (سرشماری ۱۳۹۵) در شرایط بحرانی قرار گیرد. به طوری که

1- Downscaling

4- Distribution Mapping (DM)

7- Variance Scaling (VS)

2- Linear Scaling (LS)

5- Local Intensity Scaling (LI)

8- Root Mean of Square Error (RMSE)

3- Delta Change or Change Factor (DC or CF)

6- Power Transformation (PT)

9- Bias

منطقه‌ای آفریقا^۲ (AFR) از مجموعه مدل‌های تولید شده Cordex^۳ انتخاب و آمار روزانه بارش و دمای مدل‌های اقلیمی مورد نظر بر اساس گزارش پنجم^۴ IPCC تحت مسیر انتشار آینده گازهای گلخانه‌ای^۵ (RCP) و سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 از سال ۱۹۵۵ تا ۲۱۰۰ دریافت گردید. پهنه منطقه آفریقا (شکل ۱ راست) یک ماتریس تو در توی ۱۹۴×۲۰۱ بین عرض جغرافیایی ۷۶°- تا ۱۴°+ و طول جغرافیایی ۳۸°- تا ۱۷°+ می‌باشد که در سال ۲۰۱۵ اصلاح و به‌روزرسانی شده است. در جدول (۱) لیست مدل‌های اقلیمی مورد استفاده با دقت مکانی ۰/۴۴ درجه (تقریباً ۵۰ کیلومتر) نشان داده شده است.

تصحیح خطا (ریزمقیاس‌نمایی)

مدل‌های اقلیمی به دلایل مختلف از جمله ساختار مدل‌ها، خطای اندازه‌گیری داده‌های مشاهداتی، تغییرپذیری متغیرهای اقلیمی، متغیرهای داخلی غیر قابل پیش‌بینی، اختلاف انتظار در واداشت تابشی، کمبود اطلاعات و جزئیات محلی و تفکیک‌پذیری پایین زمانی- مکانی، با عدم قطعیت همراه هستند و استفاده مستقیم از خروجی آن‌ها در مقیاس حوزه مخصوصا در مناطق کوهستانی امکان‌پذیر نیست (۳۶، ۲۹، ۲۸، ۱۱، ۳۸) نیاز به پیش‌بینی‌های آب و هوایی واضح، دقیق و مناسب (۸) و عدم قطعیت مدل‌های تغییر اقلیم باعث شده محققین راه‌کارهای مختلفی از جمله روش‌های ریزمقیاس‌نمایی را به‌عنوان رابط افزایش دقت و صحت خروجی مدل‌های اقلیمی در مقیاس محلی و حوزه ارائه دهند (۳۵، ۳۱، ۲۹، ۱۱، ۱۰، ۴۶، ۳۸). این روش‌ها با تصحیح خطای مدل‌های تغییر اقلیم، پشتیبان و حامی مدل‌های اقلیمی در مقیاس محلی بوده (۲، ۱) و عموماً به دو گروه دینامیکی و آماری^۷ تقسیم می‌شوند روش‌های دینامیکی با استفاده از حل عددی معادلات حاکم بر اتمسفر و روش‌های آماری با مقایسه میانگین و واریانس دوره مشترک و برقراری یک رابطه تجربی بین داده‌های مدل و مقادیر مشاهداتی دقت مدل‌های اقلیمی در مقیاس محلی را افزایش می‌دهند (۲۸، ۱۲، ۲۹). با توجه به اینکه روش‌های ریزمقیاس‌نمایی آماری در عین سادگی و ارزانی دقت لازم برای کاهش خطا را دارند (۳۶، ۲، ۳). در این تحقیق برای تصحیح خطای مدل‌های اقلیمی مورد استفاده به مقیاس آبخوان بیرجند از روش‌های آماری: خطی (LS)، فاکتور تغییر (CF)، توزیع نقشه‌ای (DM)، تراکمی (LI) و نمایی (PT) برای بارش و روش‌های: خطی (LS)، فاکتور تغییر (CF)، توزیع نقشه‌ای (DM) و روش واریانس (VS) برای دما به شرح مرجع ۳۵ استفاده شده است.

بر اساس آمار مشاهداتی پیرومترهای موجود در حوزه طی دوره ۱۳۹۵-۱۳۶۵ سطح آب زیرزمینی به‌طور متوسط سالانه ۰/۴۴ و مجموعاً ۱۲/۷۸ متر افت داشته است. با توجه به اثرپذیری شدید اقتصادی، اجتماعی و رفاهی جوامع به خصوص دامداران و عشایر شهرستان بیرجند از شرایط هیدروکلیما تولوژی، شناخت وضعیت آینده برای اتخاذ تصمیم به موقع و مناسب امری اجتناب‌ناپذیر است. لذا در این تحقیق مدل‌های تغییر اقلیم منطقه‌ای آفریقا^۲ به‌عنوان مدل‌های اقلیمی و ایستگاه سینوپتیک بیرجند (مشاهداتی) به‌عنوان قدیمی‌ترین و کامل‌ترین ایستگاه استان خراسان جنوبی و دشت بیرجند در مختصات ۱۷° ۵۹ طول شرقی و ۳۲° ۵۳ عرض شمالی برای اهداف تحقیق انتخاب گردید. شکل ۱ (راست) موقعیت ایستگاه مورد استفاده در شهرستان بیرجند، استان خراسان جنوبی و گستره مدل تغییر اقلیم منطقه‌ای آفریقا و اشکال ۱ (چپ) نمودار باکس پلات بارش و دمای سالانه ۶ دهه اخیر این ایستگاه نشان شده است.

روش تحقیق

این تحقیق در ۵ مرحله به صورت زیر انجام شده است

۱- داده‌های مشاهداتی و کنترل کیفیت آن

داده‌های مشاهداتی این تحقیق شامل بارش و دمای روزانه ایستگاه سینوپتیک بیرجند در دوره آماری ۷ می ۱۹۵۵ تا پایان ۲۰۱۵ می‌باشد که از اداره کل هواشناسی استان خراسان جنوبی اخذ گردید.

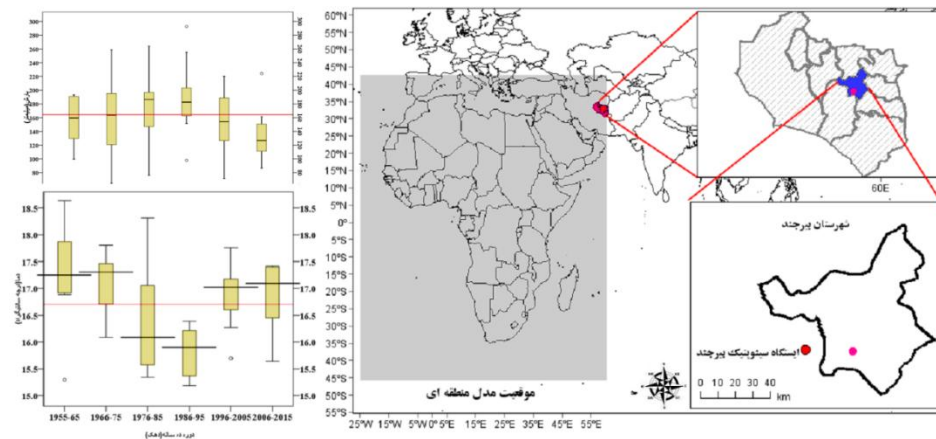
در این تحقیق برای کنترل صحت و همگنی داده‌ها و شناسایی داده‌ها پرت به ترتیب از منحنی جرم مضاعف، آزمون مشاهدات استثنایی و منحنی باکس پلات (شکل ۱ چپ) در سطح ۵ درصد استفاده شده است. با توجه به اینکه در ایستگاه‌های سینوپتیک داده‌ها توسط دستگاه ثبت و ذخیره می‌شود، برای جلوگیری از حذف عجزلانه، وقایع پرت شناسایی شده در سری زمانی (شکل ۱ چپ) با وقایع همزمان ایستگاه‌های مجاور مورد مقایسه قرار گرفت و مشخص گردید وقایع شناسایی شده واقعی است و بر این اساس این داده‌ها از سری داده‌ها حذف نشده است. اشکال ۱ (چپ) نشان می‌دهد بارش متوسط دو دهه اخیر نسبت به میانگین ۶۰ ساله به ترتیب ۳۱ و ۱۵ میلی‌متر کاهش و دمای متوسط ۰/۳۶ و ۰/۱۴ درجه افزایش داشته که می‌تواند ناشی از تغییرات اقلیمی باشد.

۲- داده‌های اقلیمی

با توجه به اینکه یک راه موثر افزایش دقت خروجی مدل‌های تغییر اقلیم استفاده از مدل‌های منطقه‌ای با قدرت تفکیک بالاست (۳۷، ۳۶، ۱۷) در این تحقیق بر اساس موقعیت جغرافیایی ایران و شهرستان بیرجند (شکل ۱)، گستره مدل

1- Africa Regional Climate Models (RCM)
3- COordinated Regional Climate Downscaling Experiment (CORDEX)
5- Representative Concentration Pathway Scenarios (RCP)
7- Statistical Downscaling

2- Africa Climate Models (AfrCM)
4- Fifth Assessment Report (AR5)
6- Dynamical Downscaling



شکل ۱- موقعیت ایستگاه بیرجند در گستره مدل منطقه‌ای آفریقا (راست) و نوسانات بارش و دما در ۶ دهه گذشته (چپ)
Figure 1. Location of Birjand Station in Africa RCM Area (Right) and Variation annual Temperature and Precipitation in lasted 6 decade (Left)

جدول ۱- مدل‌های اقلیمی مورد استفاده در مطالعه

Table 1. List of the GCM Used in this Study

مدل	کشور	سازمان
CanESM2	کانادا	Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis
MPI-ESM-LR	آلمان	Max-Planck-Institute for Meteorology
EC-EARTH	سوئد	Meteorological Institution at Stockholm University
CSIRO-MK3	استرالیا	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization
GFDL-ESM2M	امریکا	NOAA Geophysical Fluid Dynamics Laboratory
HadGEM2	انگلیس	Met Office Hadley Centre
IPSL-CM5A-LR	فرانسه	Institute Pierre Simon Laplace
MIROC5	ژاپن	National Institute for Environmental Studies
NorESM1-M	نروژ	Norwegian Climate Centre

با توجه به اینکه داده‌های مدل‌های منطقه‌ای مورد استفاده دارای دو نوع داده گذشته یا دوره پایه (۲۰۰۵-۱۹۵۱) و داده آینده یا دوره پیش‌بینی (۲۰۰۵-۲۱۰۰) می‌باشد در این تحقیق برای ارزیابی کارایی مدل‌های اقلیمی و روش‌های ریزمقیاس با توجه به داده‌های مشاهداتی ایستگاه بیرجند دو دوره کنترل (۲۰۰۵-۱۹۵۵) و اعتبارسنجی (۲۰۱۵-۲۰۰۶) در نظر گرفته شد و بر این اساس صحت و اعتبار مدل‌ها و روش‌های ریزمقیاس‌نمایی به صورت روزانه، ماهانه، فصلی و سالانه (۸) مورد ارزیابی قرار گرفت.

۴- شاخص‌های آماری مورد استفاده

ارزیابی صحت و کارایی مدل‌های اقلیمی و روش‌های ریزمقیاس‌نمایی عمده تحقیقات با آزمون مقایسه میانگین (T) و شاخص‌های آماری اریبی و مجذور میانگین مربع خطا انجام شده است. در این تحقیق به منظور بررسی و ارزیابی دقت و صحت مدل‌های تغییر اقلیم و روش‌های ریزمقیاس‌نمایی با توجه به نقاط قوت و ضعف نمایه‌های مختلف آماری از آزمون‌های T و F، دیاگرام تیلور^۳ و ۱۰ نمایه آماری شامل: انحراف معیار، ضریب تغییرات، شیب^۴، ضریب تعیین^۵، اریبی (دما)، درصد میانگین اریبی خطا^۶ (بارش)، مجذور میانگین مربع خطا، شاخص توافق^۷، شاخص کارایی^۸ و میانگین مطلق خطا^۹ استفاده شده است.

۳- کنترل و اعتبارسنجی

با توجه به اینکه مدل‌ها یک ساده‌سازی از طبیعت پیچیده و واقعی آن می‌باشد خروجی آنها دقیقاً منطبق با مقادیر مشاهداتی و واقعی نیست و بایستی توافق بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل‌ها با اعتبارسنجی^۱ مورد ارزیابی قرار گیرد تا درصد اعتماد به خروجی مدل و تصمیم‌گیری در استفاده یا عدم استفاده از آن انجام گیرد (۱۹۸۸).

در اکثر پژوهش‌های انجام شده از جمله استیل‌دون و همکاران (۲۰۰۸)، ماین‌ویل و همکاران (۲۰۰۸)، تتوسچوبین و سبیرت (۲۰۱۲)، سو و همکاران (۲۰۱۳)، قهرمان و همکاران (۲۰۱۵) و فن و شیباتا (۲۰۱۵) فرض شده دقت مناسب گذشته یک مدل در آینده نیز برقرار خواهد بود و بر این اساس صحت نتایج خروجی روش‌های ریزمقیاس‌نمایی یا مدل‌های تغییر اقلیم اعتبارسنجی نشده است علاوه بر این میانگین ماهانه دوره آماری معیار ارزیابی عملکرد مدل‌ها یا روش‌های ریزمقیاس‌نمایی قرار گرفته که منعکس‌کننده نوسانات و ناهنجاری‌های داخل سری‌های زمانی نبوده و مقایسه این پارامتر انحرافات و ناهنجاری‌های سری زمانی را به صورت غیر واقعی کاهش می‌دهد.

1- Validation
4- Slope
7- Index Agreement (IA)

2- Anomaly
5- Coefficient of Determination (R²)
8- Efficiency Coefficient

3- Taylor Diagram
6- Mean Bias Error (MBE)
9- Mean of Absolute Error (MAE)

۵- پیش‌بینی وضعیت آینده

با توجه به اثرگذاری تغییرات اقلیمی در بخش‌های مختلف اقتصادی، اجتماعی، سیاسی و حتی امنیتی، پیش‌بینی شرایط آینده برای ارزیابی اثرات و آسیب‌های سیستم‌های تأثیرپذیر برای مدیریت ریسک و کاهش اثرات نامطلوب و یافتن راه‌کارهای پایدار و مقرون به صرفه امری ضروری و اجتناب ناپذیر است (۱۰). در این راستا به منظور مدیریت ریسک به جای مدیریت بحران وضعیت اقلیم شهرستان بیرجند بر اساس پیش‌بینی‌های مدل‌های مورد استفاده تا افق ۲۱۰۰ تعیین شده است.

نتایج و بحث

در این تحقیق سری‌های زمانی روزانه، میانگین ماهانه دوره، ماهانه، فصلی و سالانه با استفاده از آزمون‌ها و شاخص‌های آماری در دو دوره کنترل (۲۰۰۵-۱۹۵۶) و اعتبارسنجی (۲۰۱۵-۲۰۰۵) مورد بررسی قرار گرفت.

۱- مقایسه روزانه سری زمانی: نتایج نشان می‌دهد ارتباط آماری مقادیر شبیه‌سازی شده مدل‌های اقلیمی و روش‌های ریزمقیاس‌نمایی با مقادیر مشاهداتی در هر دو دوره کنترل و اعتبارسنجی بسیار ضعیف و غیر قابل بررسی است که از این نظر با تحقیق نوتی و همکاران (۲۱) و ماین‌ویل و همکاران (۲۴) مطابقت دارد.

۲- مقایسه میانگین دوره آماری سری‌های زمانی: سری‌های زمانی ماهانه، فصلی و سالانه بارش دوره ۲۰۰۵-۱۹۵۶ همه مدل‌های اقلیمی و روش‌های ریزمقیاس‌نمایی بر اساس آزمون T جفتی در سطح ۵ درصد برابر است. بررسی این شاخص در دوره ۲۰۱۵-۱۹۵۶ نیز نشان می‌دهد به جز روش ریزمقیاس‌نمایی PT مدل HadGEM در مقیاس ماهانه و روش DM مدل MIROC در مقیاس فصلی، سایر سری‌های زمانی میانگین برابری در سطح ۵ درصد دارند. اختلافی در انحراف معیار سری زمانی ماهانه، فصلی و سالانه بارش دوره آماری (۲۰۰۵-۱۹۵۶) دیده نشده و در دوره اعتبارسنجی نیز به جز روش PT و LI مدل HadGEM و روش DM مدل MIROC و LI مدل CanESM در سایر سری‌های زمانی تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ مشاهده نشده است.

میانگین دمای شبیه‌سازی شده اکثر سری‌های زمانی در دوره کنترل و اعتبارسنجی با مقادیر مشاهداتی اختلاف معنی‌دار دارد ولی انحراف معیار تمام روش‌های ریزمقیاس و مدل‌های اقلیمی در سطح ۵ درصد با مقادیر مشاهداتی برابر است.

شاخص توافق و کارایی بارش سری‌های مختلف زمانی در دوره ۲۰۰۵-۱۹۵۶ بیش‌تر از ۰/۹۸ بوده است. در دوره ۲۰۱۵-۲۰۰۵ بجز روش خطی (۰/۱۳) و فاکتور تغییر (۰/۴۳) مدل CanESM در سایر روش‌ها و مدل‌ها، شاخص توافق بیش‌تر از ۰/۵۴ بوده است. شاخص کارایی در مدل‌های MIROC و HadGEM (با همه روش‌های ریزمقیاس‌نمایی) و مدل CanESM (با روش‌های ریزمقیاس‌نمایی خطی و فاکتور تغییر) منفی و در سایر سری‌های زمانی بیش‌تر از

۰/۲۲ و در مدل‌های Earth، MPI، NorESM و IPSL بزرگ‌تر از ۰/۷۵ بوده است. شاخص توافق و کارایی دما همه روش‌های ریزمقیاس‌نمایی و همه مدل‌های اقلیمی در هر دو دوره ۲۰۰۵-۱۹۵۶ و ۲۰۱۵-۲۰۰۵ بیش‌تر از ۰/۹۴ محاسبه شده است.

۳- مقایسه ماهانه سری زمانی: نتایج نشان داده است بجز مقادیر شبیه‌سازی شده مدل HadGEM (با همه روش‌های ریزمقیاس‌نمایی)، مدل NorESM (روش ریزمقیاس‌نمایی LI) و مدل MIROC (روش‌های DM و LI) در دوره ۲۰۱۵-۲۰۰۵ سایر مدل‌های اقلیمی و روش‌های ریزمقیاس‌نمایی در هر دو دوره میانگین بارش یکسانی در سطح ۵ درصد دارند.

انحراف معیار مقادیر بارش شبیه‌سازی شده روش‌های LS و LI و PT مدل‌های Earth، MPI، MIROC و GFDL در دوره ۲۰۰۵-۱۹۵۶ و روش‌های LS و LI مدل Earth و روش LI مدل MPI با مقادیر مشاهداتی در سطح ۵ درصد برابر و سایر سری‌های زمانی انحراف معیار متفاوتی دارند. فرض صفر (برابری) مقادیر شبیه‌سازی و مشاهداتی انحراف معیار دما در سطح ۵ درصد تأیید شده ولی این فرض در مقادیر میانگین رد شده است. شاخص کارایی برای پارامتر بارش در سری‌های مختلف زمانی و هر دو دوره کنترل و اعتبارسنجی منفی و نزدیک به صفر و شاخص توافق در دوره کنترل و اعتبارسنجی به ترتیب بین ۰/۶۹-۰/۵۲ و ۰/۷-۰/۵۱ محاسبه شده است. روند کلی پارامترهای دما و بارش در دوره ۲۰۱۵-۲۰۰۵ مشابه دوره ۲۰۰۵-۱۹۵۶ بوده ولی تعداد سری‌های زمانی با میانگین برابر (در سطح ۵ درصد) در دوره ۲۰۱۵-۲۰۰۵ کمتر است. به‌طور کلی دقت مقادیر شبیه‌سازی شده دمای ماه‌های گرم و بارش ماه‌های پر باران مدل HadGEM بیش‌تر از سایر ماه‌ها است ولی این نظم در سایر مدل‌ها دیده نشده است.

با توجه به قابلیت‌های خوب دیاگرام تیلور در انتخاب مدل مناسب (۳، ۳)، این دیاگرام برای سری‌های مختلف مورد بررسی با برنامه ارائه شده توسط خلیقی ترسیم گردید که به‌عنوان نمونه در شکل ۲ (چپ) موقعیت مدل‌های اقلیمی و در شکل ۲ (راست) روش‌های مختلف ریزمقیاس‌نمایی مدل Earth پارامتر بارش در دوره ۲۰۱۵-۲۰۰۵ ارائه شده است. در جدول ۲ و ۳ اولویت نسبی مدل‌های اقلیمی و روش‌های ریزمقیاس‌نمایی پارامترهای بارش و دما بر اساس شاخص‌های مورد استفاده نشان داده شده است. میزان انحراف روش‌های مختلف ریزمقیاس‌نمایی بارش و دمای ۹ مدل اقلیمی مورد استفاده در مقیاس ماهانه در شکل ۳ نشان داده شده است. شکل الف و ب به ترتیب درصد انحراف ماهانه بارش دوره کنترل و اعتبارسنجی و شکل ج و د به ترتیب مقادیر انحراف برای دما در دوره کنترل و اعتبارسنجی می‌باشد. در شکل ۴ مجموع میانگین مربعات خطای بارش فصول مختلف مدل‌های اقلیمی در دوره کنترل (الف) و اعتبارسنجی (ب) نشان داده شده است.

۴- مقایسه فصلی سری زمانی:

رفتار فصلی مدل‌های اقلیمی در شبیه‌سازی پارامترهای دما و بارش پیچیده و نامنظم است. بر اساس شاخص کارایی، دقت دمای شبیه‌سازی شده مدل‌های اقلیمی در بهار برای مدل HadGEM برابر ۰/۲۴ و برای سایر مدل‌ها بین ۰/۵۷ تا ۰/۶۲، در فصل پاییز برای مدل HadGEM برابر ۰/۱۱- و برای سایر مدل‌ها بین ۰/۴۴ تا ۰/۵۸ و در فصل تابستان برای مدل HadGEM برابر ۰/۱۷ و برای سایر مدل‌ها بین ۰/۳۵ تا ۰/۴۴ بوده است. مقادیر این شاخص در فصل زمستان برای مدل‌های HadGEM، CanESM، NorESM و IPSL منفی و برای سایر مدل‌ها بین ۰/۰۳ تا ۰/۲۴ متغیر است. بر اساس سایر شاخص‌های مورد استفاده دقت مدل‌ها در دامنه مطلوب‌تری قرار دارد.

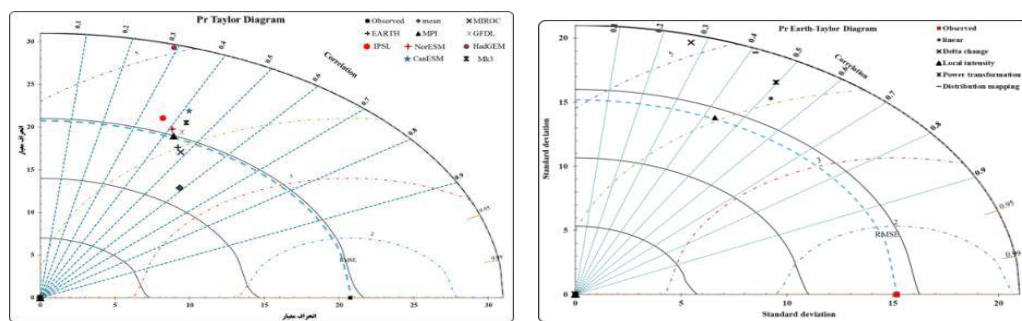
مقدار ضریب کارایی بارش فصلی برای مدل‌های MIROC، EARTH، MPI و GFDL به ترتیب ۰/۳۹، ۰/۳۵، ۰/۲۴ و ۰/۱۹ و شاخص توافق (ضریب همبستگی) بین ۰/۶۳ (۰/۴۰) (HadGEM) تا ۰/۸۱ (۰/۶۷) (EARTH) متغیر است. ارتباط درون فصلی این سری زمانی بر اساس ضریب کارایی ضعیف ولی بر اساس سایر شاخص‌های مورد بررسی مناسب بوده است.

۵- مقایسه سالانه سری زمانی:

نتایج نشان می‌دهد شاخص کارایی برای پارامتر بارش و دمای همه مدل‌ها منفی است. مقادیر شاخص‌های توافق (ضریب همبستگی) حداقل ۰/۲۳ (۰/۲۴) برای مدل‌های MIROC و MK3 تا حداکثر ۰/۴۴ (۰/۲۱) برای مدل‌های EARTH و MIROC برای بارش و حداقل ۰/۳ (۰/۰۳) برای مدل‌های CanESM و GFDL تا حداکثر ۰/۴۲ (۰/۲۸) برای مدل‌های NorESM و CanESM برای دما متغیر می‌باشد. حداقل مقدار انحراف دما ۰/۰۸۴ (CanESM) و حداکثر آن ۰/۳۴ (HadGEM) درجه سانتی‌گراد و انحراف بارش بین ۰/۰۶ (MIROC) تا ۰/۵۲ (HadGEM) درصد متغیر بوده است.

۶- مقایسه میانگین همه مدل‌ها:

بر اساس دیاگرام تیلور متوسط بارش (شکل ۲ چپ) و دمای مدل‌های اقلیمی مورد استفاده مناسب‌ترین گزینه است. سایر شاخص‌های آماری مورد استفاده نیز این سری زمانی را در وضعیت مطلوبی نشان می‌دهد به طوری که مقادیر محاسبه شده شاخص‌های کارایی (توافق) پارامتر بارش در دوره کنترل برای سری زمانی ماهانه ۰/۳۱ (۰/۷۴)، فصلی ۰/۵۲ (۰/۸۵) و سالانه ۰/۱۷- (۰/۴۶) بوده و این مقادیر برای پارامتر دمای دوره اعتبارسنجی به ترتیب ۰/۹۱ (۰/۹۷)، ۰/۹۵ (۰/۹۹) و ۰/۲۷- (۰/۵۷) برآورد شده است.



شکل ۲- دیاگرام تیلور برای مقایسه روش‌های ریزمقیاس‌نمایی بارش مدل EARTH (راست) و مدل‌های تغییر اقلیم (چپ) Figure 2. Taylor diagram for compare precipitation Downscaling Methods of EC-EARTH (Right) and all RCM Used (Left)

جدول ۲- سه اولویت برتر مدل‌های اقلیمی و روش‌های ریزمقیاس‌نمایی پارامتر بارش

Table 2. Top 3 RCM and Downscaling Methods of precipitation in terms of different statistical indicators

آماره	اولویت انتخابی دوره کنترل ۱۹۵۵-۲۰۰۵						اولویت انتخابی دوره اعتبارسنجی ۲۰۰۶-۲۰۱۵					
	مدل اقلیمی			روش ریزمقیاس‌نمایی			مدل اقلیمی			روش ریزمقیاس‌نمایی		
	۱	۲	۳	۱	۲	۳	۱	۲	۳	۱	۲	۳
Ttest(5%)	MIROC	NorESM	GFDL	LS	LI	PT	MPI	IPSL	GFDL	PT	PT	DM
Ftest(5%)	MIROC	MPI	EARTH	PT	LS	PT	EARTH	MPI	NorESM	LI	DC	No Sig
CV	MIROC	EARTH	MPI	LS	LS	LS	HadGEM	EARTH	CanESM	PT	LS	DC
slope	MIROC	EARTH	MPI	LS	LS	LS	EARTH	MPI	Mk3	LS	LS	PT
R ²	MIROC	EARTH	CanESM	LS	LS	PT	EARTH	MPI	Mk3	LS	LS	PT
RMSE	MIROC	EARTH	MPI	LS	LS	LS	EARTH	MPI	NorESM	LS	LI	PT
IA	MIROC	EARTH	CanESM	LS	LS	PT	EARTH	MPI	Mk3	LS	LS	PT
EF	MIROC	EARTH	MPI	LS	LS	LS	EARTH	MPI	NorESM	LS	LI	PT
MAE	MIROC	EARTH	GFDL	LS	LS	LS	EARTH	MPI	NorESM	LS	LI	PT
MBE	NorESM	MIROC	GFDL	LI	LI	PT	MPI	IPSL	GFDL	PT	PT	DM

جدول ۳- سه اولویت برتر مدل‌های اقلیمی و روش‌های ریزمقیاس‌نمایی پارامتر دما
Table 3. Top 3 RCM and Downscaling Methods of Temperature in terms of different statistical indicators

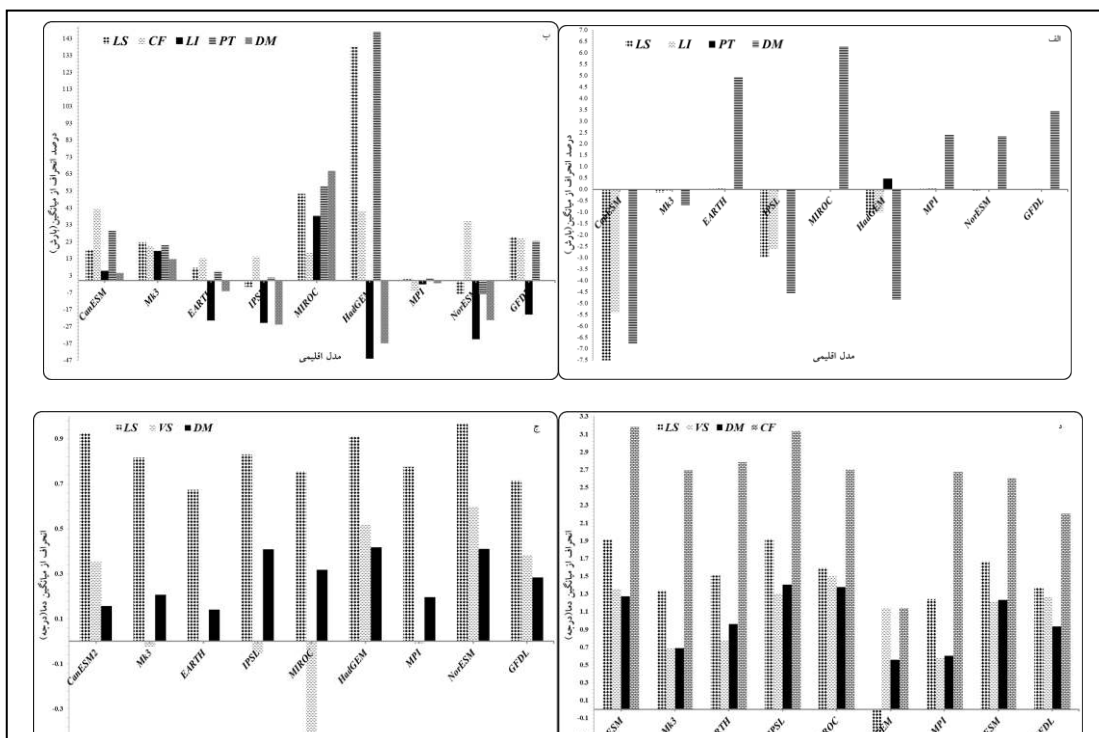
آماره	اولویت انتخابی دوره کنترل ۱۹۵۵-۲۰۰۵						اولویت انتخابی دوره اعتبارسنجی ۲۰۰۶-۲۰۱۵					
	مدل اقلیمی			روش ریزمقیاس‌نمایی			مدل اقلیمی			روش ریزمقیاس‌نمایی		
	۱	۲	۳	۱	۲	۳	۱	۲	۳	۱	۲	۳
Ttest(5%)	EARTH	CanESM	IPSL	DM	DM	VS	HadGEM	GFDL	NorESM	DC	DC	DC
Ftest(5%)	MIROC	EARTH	Mk3	DM	VS	VS	Mk3	MIROC	IPSL	DM	DC	DC
CV	IPSL	MIROC	CanESM	LS	LS	LS	CanESM	IPSL	EARTH	LS	LS	DM
slope	MIROC	IPSL	CanESM	LS	LS	LS	EARTH	HadGEM	MIROC	DC	VS	LS
R2	EARTH	MPI	Mk3	VS	VS	VS	IPSL	MPI	MIROC	LS	VS	LS
Bias	EARTH	MPI	Mk3	VS	VS	VS	HadGEM	MPI	Mk3	LS	VS	VS
RMSE	EARTH	MPI	Mk3	VS	VS	VS	MPI	Mk3	EARTH	VS	VS	VS
IA	EARTH	MPI	Mk3	VS	VS	VS	MPI	Mk3	IPSL	VS	VS	LS
EF	EARTH	MPI	Mk3	VS	VS	VS	MPI	Mk3	CanESM	VS	VS	VS
MAE	EARTH	Mk3	MPI	VS	VS	VS	EARTH	MPI	Mk3	VS	DM	VS

بر اساس سناریوی RCP4.5 متوسط سالانه دمای هوا بیرجند در آینده نزدیک (۲۰۳۰-۲۰۶۰) بین ۰/۵- تا ۴/۲ درجه و به‌طور میانگین ۲/۱ درجه افزایش خواهد داشت. این روند در آینده دور (۲۰۷۰-۲۱۰۰) بین ۰/۹ تا ۶/۹ و به‌طور میانگین ۲/۹ درجه خواهد بود. بر اساس سناریوی RCP8.5 متوسط سالانه دمای هوا بیرجند در آینده نزدیک (۲۰۳۰-۲۰۶۰) بین ۰/۱ تا ۶/۷ درجه و به‌طور میانگین ۲/۷ درجه افزایش خواهد داشت این روند در آینده دور (۲۰۷۰-۲۱۰۰) بین ۱/۹ تا ۱۰ درجه و به‌طور میانگین ۵/۱ درجه خواهد بود. بارش نظم دما را نداشته و بر اساس سناریوی RCP4.5 بارش سالانه بیرجند در آینده نزدیک (۲۰۳۰-۲۰۶۰) ۲۸/۷ میلی‌متر و در آینده دور (۲۰۷۰-۲۱۰۰) ۱۵/۲ میلی‌متر نسبت به میانگین بلند مدت کاهش خواهد داشت. بر اساس سناریوی RCP8.5 این اعداد به‌ترتیب ۲۳/۵ و ۳۰ میلی‌متر خواهد بود. نوسانات بارش و دمای دو دهه اخیر (شکل ۱ راست) ایستگاه بیرجند (کاهش ۳۱ و ۱۵ میلی‌متر بارش و افزایش ۰/۳۶ و ۰/۱۴ درجه دما در دو دهه اخیر بوده) و پیش‌بینی‌های این دو پارامتر تا افق ۲۱۰۰ (اشکال ۵ و ۶) نشان می‌دهد اثرات جهانی تغییر اقلیم در شهرستان بیرجند در جهت خشکسالی خواهد بود. که نشانه‌های آن در کاهش بارش و افزایش دمای ۲۰ سال اخیر دیده می‌شود (شکل ۱ چپ).

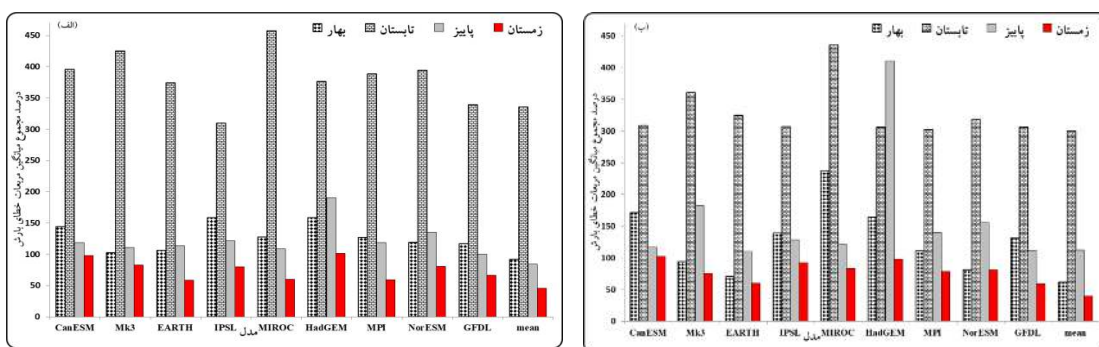
پیش‌بینی شرایط آینده:

در شکل (۵) مقادیر مشاهداتی (۱۹۵۶-۲۰۱۵) و پیش‌بینی (۲۰۱۶-۲۱۰۰) شده دما (چپ) و بارش (راست) با یک انحراف معیار نشان داده شده است که نشان می‌دهد به‌طور کاملاً واضح و مشخصی روند دما افزایشی است. آزمون مقایسه میانگین نشان می‌دهد مقادیر مشاهداتی و پیش‌بینی شده دما و بارش در سطح ۵ درصد با هم اختلاف معنی‌داری ندارند. نمودار باکس پلات میانگین دمای سالانه بیرجند نشان می‌دهد تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 دما از ۱۶/۷ دوره ۱۹۵۶-۲۰۱۵ به‌ترتیب به ۱۹ و ۲۰/۱ درجه در سال ۲۱۰۰ خواهد رسید (شکل ۵ چپ و بالا). متوسط تغییرات بارش تحت دو سناریوی مورد بررسی تقریباً مشابه است و پیش‌بینی می‌شود بر اساس مدل‌های مختلف بارش بین ۴۹ تا ۷۲ درصد کاهش داشته باشد (شکل ۵ راست و بالا).

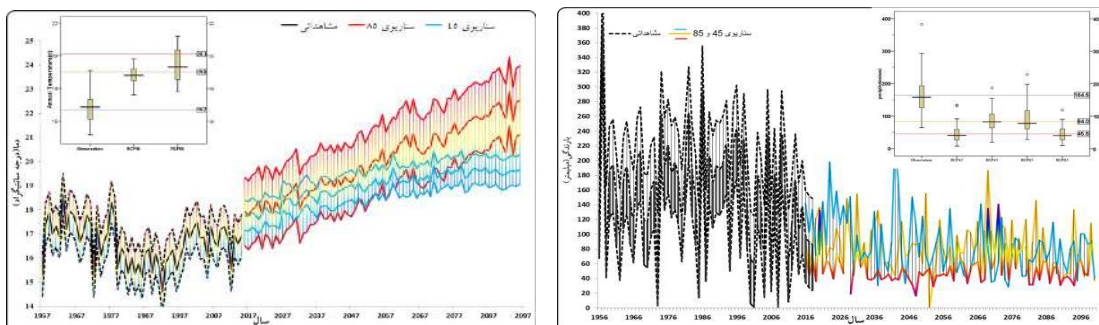
از آنجا که بررسی اثرات تغییر اقلیم با آینده دامنه وسیعی از سناریوها، ارزیابی بهتری از اثرات تغییر اقلیم فراهم می‌کند (۳۹). مقادیر حداکثر و متوسط مقادیر مشاهداتی (۱۹۵۶-۲۰۱۵) و شبیه‌سازی شده (۲۱۰۰-۱۹۵۶) دما و بارش مدل‌های مختلف و خط روند مرتبط بر اساس دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 مشخص شده که در اشکال ۶ و ۷ ارائه شده است.



شکل ۳- انحراف بارش (الف و ب) و دما (ج و د) ماهانه برای روش‌های ریزمقیاس‌نمایی در هر مدل در دوره کنترل و اعتبارسنجی
 Figure 3. The Temperature and precipitation monthly Bias for each Downscaling Methods and all RCM models during control and validation period



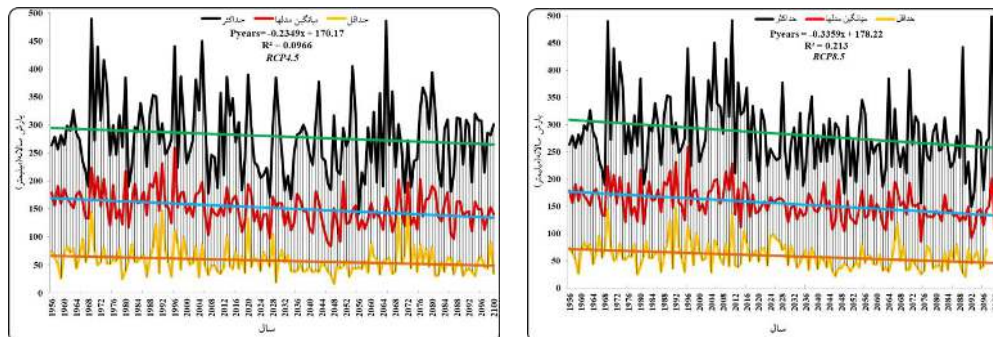
شکل ۴- مجموع میانگین مربعات خطای بارش فصلی دوره کنترل (الف) و اعتبارسنجی (ب)
 Figure 4. The Seasonal RMSE of precipitation for all RCM models in control (left) and validation (Right) period



شکل ۵- مقادیر مشاهداتی و پیش‌بینی شده دما (چپ) و بارش (راست) با یک انحراف معیار و اختلاف میانگین (بالا) تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5
 Figure 5. Precipitation (Right) and temperature (Left) change (mean and one standard deviation as shading) and box plots (Top) (mean and minimum to maximum range) and mean periods are given for 2020–2099 in RCP4.5 and RCP8.5

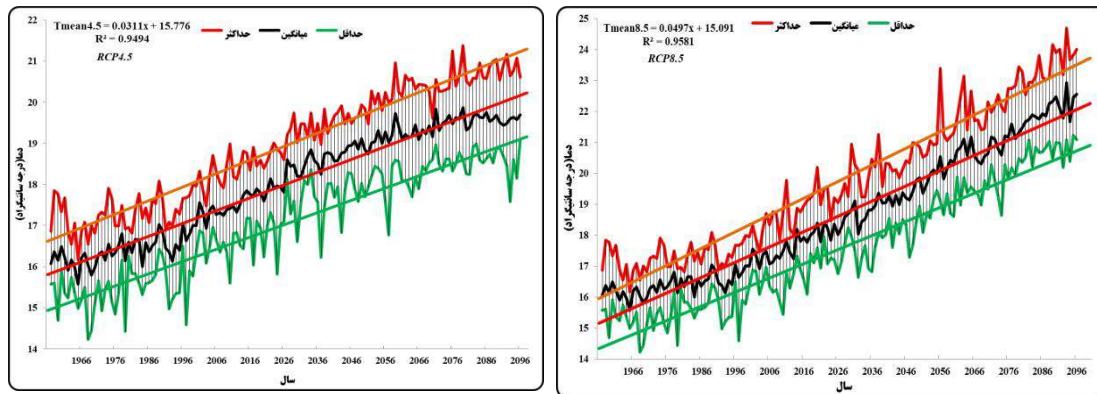
نامناسب‌ترین روش ریزمقیاس‌نمایی بوده که با نتایج تئوسجویین و سیبرت مطابقت دارد. ۷- جدول (۲ و ۳) و اشکال (۲ تا ۴) نشان می‌دهد مدل‌های اقلیمی EARTH و MPI در شبیه‌سازی دما و بارش نتوانند است که مطابق نتایج قهرمان و همکاران در مناسب بودن مدل MPI در شبیه‌سازی دما و بارش است. با وجود اینکه مدل اقلیمی MIROC مناسب‌ترین مدل شبیه‌سازی پارامتر بارش در دوره کنترل محسوب می‌گردد این مدل در دوره اعتبارسنجی جزء مدل‌های برتر انتخاب نشده است بنابراین دقت بالای یک مدل در گذشته تضمین کننده توانمندی آینده نیست ۸- میانگین چند مدل سازگارتر و معتبرتر از یک مدل است. ۹- بررسی ارتباط درون‌گروهی سری‌های زمانی در ماه‌های مختلف نشان‌دهنده پیچیدگی مدل‌های مختلف بوده و می‌توان گفت که هیچ‌گونه روند یا نظم خاصی در دقت مقادیر بارش و دمای شبیه‌سازی شده مدل‌ها در ماه‌های مختلف دیده نمی‌شود. ۱۰- مدل HadGEM در ماه‌های پر باران دقت بیشتری دارد ولی این نظم در سایر مدل‌ها و همچنین پارامتر دما دیده نشده است که با نتایج سو و همکاران (۳۱) هم‌خوانی ندارد. ۱۱- در دوره کنترل مدل‌های MPI, IPSL MK3 و در دوره اعتبارسنجی مدل هوا را سردتر و سایر مدل‌ها هوا را گرم‌تر شبیه‌سازی کرده است همچنین مدل‌های MIROC, GFDL, NorESM در دوره اعتبارسنجی بارش را کمتر از واقعی و سایر مدل‌ها بیش‌تر از واقعی محاسبه کرده‌اند. ۱۲- رفتار بارش و دما از نظر مقایسه میانگین و انحراف معیار تقریباً برعکس همدیگر بوده است. ۱۳- مقایسه آماری رفتار مدل‌های اقلیمی و روش‌های ریزمقیاس در دوره ۲۰۱۵-۱۹۵۶ تا حدودی گزینه‌های انتخابی را تغییر می‌دهد. ۱۴- مدل برتر بر اساس شاخص آماری مورد استفاده متفاوت است و ۱۵- در مجموع اثرات تغییرات آب و هوایی در بیرجند متناسب با مدل و سناریوهای مورد استفاده متفاوت بوده که از این نظر با تحقیقات یون و همکاران (۳۹) مطابقت دارد.

به‌طور کلی نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که: ۱- بر اساس تمامی شاخص‌های آماری مورد استفاده توانمندی یک روش ریزمقیاس در مدل‌های اقلیمی و سری‌های زمانی مختلف متفاوت و در اکثر موارد اختلاف مقادیر شبیه‌سازی شده در سطح ۵ درصد معنی‌دار است به‌عنوان نمونه میزان خطای روش ریزمقیاس خطی مدل EARTH در دوره کنترل و اعتبارسنجی بارش ماهانه به‌ترتیب ۰/۰۳ و ۷/۶ درصد بوده در حالی که خطای مدل HadGEM به‌ترتیب ۱- و ۱۳۸ درصد و میزان خطای روش ریزمقیاس خطی مدل EARTH (HadGEM) در دوره کنترل و اعتبارسنجی دمای ماهانه به‌ترتیب ۰/۶۷ (۰/۹۱) و ۱/۵ (۰/۴۱) درجه سانتی‌گراد محاسبه شده است. ۲- به‌طور کلی بر خلاف تصور در همگنی بهتر داده‌های دما نسبت به بارش مقایسه مقادیر مشاهداتی و برآوردی مدل‌ها و روش‌های مختلف ریزمقیاس‌نمایی با آزمون T و F نشان می‌دهد با وجود یکسانی مقادیر انحراف معیار اکثر سری‌های زمانی میانگین متفاوتی نسبت به مقادیر مشاهداتی دارند رفتار بارش و دما از نظر مقایسه میانگین و انحراف معیار تقریباً برعکس همدیگر بوده است. ۳- مدل اقلیمی و ریزمقیاس‌نمایی انتخابی برای بارش و دما متفاوت است. ۴- کارایی مدل‌ها و روش‌های ریزمقیاس در دوره کنترل و اعتبارسنجی متفاوت و عمدتاً در دوره اعتبارسنجی کمتر است. ۵- روش ریزمقیاس‌نمایی خطی و واریانس در هر دو دوره کنترل و اعتبارسنجی به‌ترتیب برای پارامتر بارش و دما در همه مدل‌های اقلیمی یک انتخاب مناسب می‌باشد که از این نظر با تحقیق تئوسجویین و سیبرت متفاوت است. ۶- با وجود کاربرد وسیع روش فاکتور تغییر (۳۵،۳۲) امکان ارزیابی این روش در دوره کنترل به‌دلیل ماهیت مقادیر شبیه‌سازی وجود ندارد ولی دقت این روش در دوره اعتبارسنجی بسیار کم بوده به‌طوری که مقدار RMSE بارش و دمای ماهانه این روش به‌ترتیب ۱/۲ و ۴/۴ برابر متوسط سایر روش‌های ریزمقیاس‌نمایی است. دیاگرام تیلور نیز نشان می‌دهد روش ریزمقیاس‌نمایی خطی بهترین و روش فاکتور تغییر



شکل ۶- مقادیر حداقل، حداکثر و میانگین بارش و خط روند همه مدل‌های اقلیمی تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 در دوره ۲۰۱۰-۱۹۵۶

Figure 6. minimum, maximum and mean of annual precipitation value and trend line from all RCM simulation in RCP4.5 and RCP8.5 in 1956-2100 period



شکل ۷- مقادیر حداقل، حداکثر و میانگین دما و خط روند همه مدل‌های اقلیمی تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 در دوره ۲۱۰۰-۱۹۵۶
Figure 6. Minimum, maximum and mean of annual temperature value and trend line from all RCM simulation in RCP4.5 and RCP8.5 in 1956-2100 periods

منابع

- Boé, J., L. Terray, F. Habets and E. Martin. 2007. Statistical and dynamical downscaling of the Seine basin climate for hydro meteorological studies. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 27(12): 1643-1655.
- Chen, H., C.Y. Xu and S. Guo. 2012. Comparison and evaluation of multiple GCMs, statistical downscaling and hydrological models in the study of climate change impacts on runoff. *Journal of hydrology*, 434: 36-45.
- Chisanga, C.B., E. Phiri and V.R. Chinene. 2017. Climate change impact on maize (*Zea mays L.*) yield using crop simulation and statistical downscaling models: A review. *Scientific Research and Essays*, 12(18): 167-187.
- Conti, F.L., K.L. Hsu, L.V. Noto and S. Sorooshian. 2014. Evaluation and comparison of satellite precipitation estimates with reference to a local area in the Mediterranean Sea. *Atmospheric Research*, 138: 189-204.
- Crossman, J., M.N. Futter, S.K. Oni, P.G. Whitehead, L. Jin, D. Butterfield and P.J. Dillon. 2013. Impacts of climate change on hydrology and water quality: future proofing management strategies in the Lake Simcoe watershed, Canada. *Journal of Great Lakes Research*, 39(1): 19-32.
- De Amorim, P., K. Barfus, H. Weissand C. Bernhofer. 2014. Trend analysis and uncertainties of mean surface air temperature, precipitation and extreme indices in CMIP3 GCMs in Distrito Federal, Brazil. *Environmental earth sciences*, 72(12): 4817-33.
- De Amorim, P.B. 2014. Development of regional climate change projections for hydrological impact assessments in distrito federal, Brazil.
- Déqué, M. 2007. Frequency of precipitation and temperature extremes over France in an anthropogenic scenario: Model results and statistical correction according to observed values. *Global and Planetary Change*, 57(1-2): 16-26.
- Di Piazza, A., F.L. Conti, L.V. Noto, F. Viola and G. La Loggia. 2011. Comparative analysis of different techniques for spatial interpolation of rainfall data to create a serially complete monthly time series of precipitation for Sicily, Italy. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 13(3): 396-408.
- Farmanbar, Z., M. Delavar and S. Imani Amirabadi. 2018. The Effects of Climate Change on Water Resources and Agricultural Systems in the Context of Regional Risk Assessment (Case Study: Lake Zarebar Basin). *Journal of Iran-Water Resources Research*, 13(4): 74-88.
- Fowler, H.J., S. Blenkinsop and C. Tebaldi. 2007. Linking climate change modelling to impacts studies: recent advances in downscaling techniques for hydrological modelling. *International journal of climatology*, 27(12): 1547-1578.
- Fowler, H.J., M. Ekström, C.G. Kilsby and P.D. Jones. 2005. New estimates of future changes in extreme rainfall across the UK using regional climate model integrations. 1. Assessment of control climate. *Journal of Hydrology*, 300(1-4): 212-233.
- Ghahreman, N., M. Tabatabaei and I. Babaeian. 2015. Investigation of Uncertainty in the IPCC AR5 Precipitation and Temperature Projection over Iran under RCP Scenarios. Poster on COP21-CMP11, Paris.
- Hewitson, B.C., J. Daron, R.G. Crane, M.F. Zermoglio and C. Jack. 2014. Interrogating empirical-statistical downscaling. *Climatic change*, 122(4): 539-554.
- Immerzeel, W., L.P.H. Van Beek, M. Konz, A.B. Shrestha and M.F.P. Bierkens. 2012. Hydrological response to climate change in a glacierized catchment in the Himalayas. *Climatic change*, 110(3-4): 721-736.

- ارزیابی عدم قطعیت مدل‌های منطقه‌ای تغییر اقلیم و روش‌های تصحیح خطا و پیش‌بینی تغییرات اقلیمی شهرستان بیرجند ۵۲
16. IPCC Climate Change. 2013. The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press. 1535 pp.
 17. Jones, P.D. and P.A. Reid. 2001. Assessing future changes in extreme precipitation over Britain using regional climate model integrations. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 21(11): 1337-1356.
 18. Kazemi Rad, L. and H. Mohammadi. 2016. Climate Change Assessment by using LARS-WG Model in Gilan Province (Iran), 4(16): 55-74.
 19. Kendon, E.J., N.M. Roberts, H.J. Fowler, M.J. Roberts, S.C. Chan and C.A. Senior. 2014. Heavier summer downpours with climate change revealed by weather forecast resolution model. *Nature Climate Change*, 4(7): 570.
 20. Khadka, D. and D. Pathak. 2016. Climate change projection for the marsyangdi river basin, Nepal using statistical downscaling of GCM and its implications in geodisasters. *Geoenvironmental Disasters*, 3(1): 15.
 21. Knutti, R. and J. Sedláček. 2013. Robustness and uncertainties in the new CMIP5 climate model projections. *Nature Climate Change*, 3(4): 369.
 22. Knutti, R., T.F. Stocker, F. Joos and G.K. Plattner. 2002. Constraints on radiative forcing and future climate change from observations and climate model ensembles. *Nature*, 416(6882): 719.
 23. Marino, R., A.S. Atzori, M. D'Andrea, G. Iovane, M. Trabalza-Marinucci and L. Rinaldi. 2016. Climate change: Production performance, health issues, greenhouse gas emissions and mitigation strategies in sheep and goat farming. *Small Ruminant Research*, 135: 50-59.
 24. Minville, M., F. Brissette and R. Leconte. 2008. Uncertainty of the impact of climate change on the hydrology of a nordic watershed. *Journal of hydrology*, 358(1-2): 70-83.
 25. Mo, X. G., S. Hu, Z.H. Lin, S.X. Liu and J. Xia. 2017. Impacts of climate change on agricultural water resources and adaptation on the North China Plain. *Advances in Climate Change Research*, 8(2): 93-98.
 26. Pachauri, R.K., M.R. Allen, V.R. Barros, J. Broome, W. Cramer, R. Christ and N.K. Dubash. 2014. Climate change 2014: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC, 151 pp.
 27. Piao, S., P. Ciais, Y. Huang, Z. Shen, S. Peng, J. Li and P. Friedlingstein. 2010. The impacts of climate change on water resources and agriculture in China. *Nature*, 467(7311): 43.
 28. Rasuli, A.M., A.R. Rezaei-Banafsheh, A.M. Massah, K. Khorshiddoust and B. Ghermezcheshmeh. 2014. Investigation Impact of Morpho-Climatic Parameters on Accuracy of LARS-WG Model. *Journal of Watershed Management Science*, 8(24): 8-18.
 29. Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt and H.L. Miller. 2007. Climate change 2007: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
 30. Steele-Dunne, S., P. Lynch, R. McGrath, T. Semmler, S. Wang, J. Hanafin and P. Nolan. 2008. The impacts of climate change on hydrology in Ireland. *Journal of hydrology*, 356(1-2): 28-45.
 31. Su, F., X. Duan, D. Chen, Z. Hao and L. Cuo. 2013. Evaluation of the global climate models in the CMIP5 over the Tibetan Plateau. *Journal of Climate*, 26(10): 3187-3208.
 32. Takhsha, M., O. Nikiéma, P. Lucas-Picher, R. Laprise, L. Hernández-Díaz and K. Winger. 2018. Dynamical downscaling with the fifth-generation Canadian regional climate model (CRCM5) over the CORDEX Arctic domain: effect of large-scale spectral nudging and of empirical correction of sea-surface temperature. *Climate Dynamics*, 51(1-2): 161-186.
 33. Taylor, K.E. 2001. Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram. *Journal of Geophysical Research*, 106: 7183-7192.
 34. Tebaldi, C., R.L. Smith, D. Nychka and L.O. Mearns. 2005. Quantifying uncertainty in projections of regional climate change: A Bayesian approach to the analysis of multi model ensembles. *Journal of Climate*, 18(10): 1524-1540.
 35. Teutschbein, C. and J. Seibert. 2012. Bias correction of regional climate model simulations for hydrological climate-change impact studies: Review and evaluation of different methods. *Journal of Hydrology*, 456: 12-29.
 36. Themeßl, M.J., A. Gobiet and G. Heinrich. 2012. Empirical-statistical downscaling and error correction of regional climate models and its impact on the climate change signal. *Climatic Change*, 112(2): 449-468.
 37. Thoai, T.Q., R.F. Rañola, L.D. Camacho and E. Simelton. 2018. Determinants of farmers' adaptation to climate change in agricultural production in the central region of Vietnam. *Land Use Policy*, 70: 224-231.
 38. Towler, E., D. Pai Mazumder and G. Holland. 2017. A framework for investigating large-scale patterns as an alternative to precipitation for downscaling to local drought. *Climate Dynamics*, 48(3-4): 881-892.
 39. Yan, D., S.E. Werners and F. Ludwig. 2015. Hydrological response to climate change: The Pearl River, China under different RCP scenarios, 4: 228-245.

An Assessment of Uncertainty of Regional Climate Change Models, Error Correction Methods and Forecasting Climate Change in Birjand Township

**Morteza Dehghani¹, Ataollah Kavian², Mahmud Habibnejad Roshan³,
Mohamad Ghorbani⁴ and Zaynab Jafarian Jelodar⁵**

1- PhD Student, Faculty of Natural Resources, Department of Watershed Management, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University

2- Professor, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, (Corresponding author: a.kavian@sanru.ac.ir)

3- Professor, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University

4- Professor, Department of Agricultural Economics, Ferdowsi University of Mashhad

5- Associate Professor, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University

Received: September 16, 2018

Accepted: December 30, 2018

Abstract

One of the most important consequences increased radiative forcing due to anthropogenic activities is global warming, that created varied and challenging changes such as climate change on ecosystems. Predictions show that the increased radiative forcing will continue. Regarding to the existence of several climate models and error correction methods, selection of the right model is one of the key challenges. In this study, the accuracy and efficiency of the fifth report on regional climate models including CanESM2, CSIRO Mk3, EC- EARTH, IPSL, MIROC51, HadGEM2, MPI, NorESM1 and GFDL and statistical downscaling error correction methods including Linear Scaling (LS), Change Factor (CF), Distribution Mapping (DM), Local Intensity Scaling(LI), Power Transformation (PT) and Variance Scaling (VS) Using T and F tests, the Taylor diagram and 10 statistical indices during two control (1956-2005) and validation (2006-2015) periods were assessed in Birjand station. The results show that; comparing the average of monthly period increases the efficiency of models and methods exaggeratedly. The best model is different based on statistical indicators and time series period. CF downscaling method is not accurate in validation period. LS and VS downscaling methods are appropriate selection for precipitation and temperature parameters respectively. Also, average accuracy of all models for both precipitation and temperature parameters is better than a single model. MPI and Earth climate models have good performance in simulating precipitation and temperature data.

Keywords: Climate variables, Climate change, Regional climate model, Evaluation, Downscaling, Birjand



"مقاله پژوهشی"

اثر تغییر اندازه کرت در عملکرد کود آلی بر تغییر مولفه‌های رواناب و هدررفت خاک در شرایط آزمایشگاهی

بهزاد زارعی^۱، لیلا غلامی^۲، عطاله کاویان^۳ و کاکا شاهی^۴

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۲- استادیار گروه مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، (نویسنده مسوول: l.gholami@sanru.ac.ir)
۳- استاد گروه مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۴- دانشیار گروه مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
تاریخ دریافت: ۹۷/۱۱/۹ تاریخ پذیرش: ۹۸/۵/۱۹
صفحه: ۵۴ تا ۶۴

چکیده

تغییرات در اندازه کرت می‌تواند مشخص کننده تاثیرات آن بر تغییرات مولفه‌های رواناب و هدررفت خاک باشد. از سویی نیز رواناب تولید شده در خاک‌های فرسایش یافته یکی از مهم‌ترین موانع و چالش‌های بشر در حفاظت از منابع آب و خاک بوده و نیز تهدیدی برای رفاه و حیات می‌باشد. یکی از مهم‌ترین عوامل کنترل‌کننده رواناب سطحی و افزایش نفوذ خاک، کاربرد افزودنی‌ها یا مواد اصلاح‌کننده به خاک می‌باشد. اما بایستی توجه داشت که تغییر اندازه کرت نیز می‌تواند تغییرات رواناب و هدررفت خاک را کنترل نماید. بنابراین پژوهش حاضر به منظور بررسی اثر تغییر اندازه کرت در کرت‌های آزمایشگاهی در دو اندازه $0/5 \times 0/5$ و $0/5 \times 1$ مترمربع با استفاده از کود آلی با مقدار صفر (تیمار شاهد) $62/5$ و 125 (تیمار حفاظتی) گرم بر مترمربع بر تغییرات زمان شروع، ضریب رواناب، هدررفت خاک و غلظت رسوب انجام گرفت. نتایج به دست آمده نشان داد در کرت‌هایی با اندازه $0/5 \times 0/5$ مترمربع و کاربرد کود آلی با مقدار $62/5$ گرم بر مترمربع تاثیر اندکی بر افزایش زمان شروع رواناب نسبت به تیمار شاهد داشت. اما با افزایش اندازه کرت و همچنین میزان کود آلی زمان شروع رواناب افزایش یافت. تاثیر اندازه کرت روی مولفه‌های ضریب رواناب، هدررفت خاک و غلظت رسوب، کود آلی بر مولفه‌های زمان شروع رواناب، ضریب رواناب و هدررفت خاک و اثر متقابل تغییر اندازه و تیمار کود آلی برای مولفه هدررفت خاک در سطح 99 درصد معنی دار بود. همچنین در کرت با مساحت $0/5 \times 1/0$ مترمربع تغییرات مولفه‌های زمان شروع و ضریب رواناب، هدررفت خاک و غلظت رسوب برای کود آلی با مقدار 125 گرم بر مترمربع نسبت به مقدار $62/5$ گرم بر مترمربع به ترتیب $72/83$ ، $53/52$ ، $212/27$ - و $142/92$ - درصد بود. در حالی که تغییرات مولفه‌های بررسی شده برای کرت $0/5 \times 0/25$ مترمربع به ترتیب $594/24$ ، $212/63$ ، $4/06$ و $137/0$ درصد بود.

واژه‌های کلیدی: تغییر اندازه کرت، تولید رسوب، حفاظت آب و خاک، خاک فرسایش یافته، مهار فرسایش خاک

مقدمه

می‌پذیرد که در این زمینه اهداف مطالعه و امکانات موجود یکی از عوامل اصلی تعیین کننده اندازه مطالعه در این گونه تحقیقات می‌باشد. پژوهشگران نشان داده‌اند که کرت‌های فرسایش به دلیل اینکه اغلب ابعاد کوچکی داشته و قابلیت کنترل شرایط در آن‌ها بهتر است، یکی از پرکاربردترین ابزارهای مورد استفاده در تحقیقات حفاظت خاک و آب می‌باشد (۶). نتایج بسیاری از پژوهش‌ها نشان داده است که تعمیم مقادیر فرسایش حاصل از اندازه‌های مکانی مختلف به یکدیگر دارای مشکلات و محدودیت‌های فراوانی است که این امر لزوم توجه به اثر اندازه مکانی و یا ابعاد محیط آزمایشی در هر پژوهش می‌باشد (۴۶). همچنین نتایج اندازه‌گیری‌های متعدد نشان داده که غالباً با تغییرات اندازه مکانی حجم رواناب و هدررفت خاک ناشی از آن اندازه‌گیری شده در واحد سطح تغییر می‌یابد که در منابع مختلف از این پدیده به عنوان اثر اندازه یاد می‌شود (۵۲، ۵). از طرفی تعیین ابعاد مناسب کرت با توجه به اهداف مورد بررسی و سایر شرایط حاکم بر تصمیم‌گیری بسیار مهم بوده و زمینه‌ساز دستیابی به نتایج قابل اعتماد خواهد شد. در زمینه کاربرد ابعاد کرت پژوهش‌هایی توسط فرناندز و همکاران (۱۳)، گراسیائورن و همکاران (۲۱)، لیسکووسکی و کندرسی (۳۲) و رابینچارد و همکاران (۴۸) انجام شده است. به همین دلیل

خاک عامل اصلی در تولید مواد غذایی بوده، اما این منبع خدادادی همواره تحت تاثیر تخریب قرار داشته، بنابراین مبارزه با تخریب و هدررفت این منبع در سطح جهان از توجه ویژه‌ای برخوردار است و علی‌رغم مطالعات زیاد انجام شده در این زمینه برای درک کامل این پدیده، راهی طولانی در پیش است (۴۴). یکی از مهم‌ترین عوامل ایجاد فرسایش خاک، رواناب سطحی ایجاد شده پس از بارندگی می‌باشد (۱۵). بررسی تولید رواناب یکی از فرآیندهای اصلی و مهم فرسایش و هدررفت خاک بوده که آگاهی از ویژگی‌های مؤثر بر آن امری ضروری به نظر می‌رسد و در صورت کنترل و یا کاهش آن می‌توان هدررفت خاک را کنترل و یا کاهش داد. ویژگی‌های باران و به تبع آن رواناب ایجاد شده روی عواملی همچون بافت خاک، ساختمان و نفوذپذیری خاک تاثیر می‌گذارد. متاسفانه در طی سالیان گذشته به دلیل عدم مدیریت کارآمد و در نتیجه تخریب زمین و ایجاد باران‌های سیل‌آسا فرآیند ایجاد فرسایش خاک به صورت فرآیندهای افزایش یافته است (۲۵، ۱). اندازه‌گیری میزان رواناب در واحد سطح به منظور ارزیابی وضعیت فرسایش آبی در مناطق مختلف بسیار حائز اهمیت است. تحقیقات مربوط به حفاظت خاک و آب در دامنه وسیعی از اندازه‌های مکانی صورت

بیش‌تر از رواناب بود. شارپلی و کلینمان (۵۳) با استفاده از کرت‌های ۱×۲ و ۳×۱۰/۷ متر در مقایسه با سطح حوزه آبخیز در منطقه پنیسلوانیا به این نتیجه رسیدند که با افزایش مساحت، میزان رواناب در واحد سطح کاهش یافت. راموس و مارتینز-کاساسنوواس (۴۳) با کاربرد کود گاوی مایع اسپری شده بر سطح خاک، در مقیاس کرت‌های آزمایشگاهی ۲/۵ مترمربع، خاک شنی- لومی و شیب ۵ درصد در انگلستان نشان دادند که این افزودنی حجم رواناب را حدود ۳۰ درصد افزایش داد. اسمتس و همکاران (۵۵) به بررسی تاثیر طول کرت روی اثربخشی پوشش‌های مختلف خاک نشان داد که برای طول کرت کم‌تر از ۱۱ متر، بسته به عوامل مختلف، تغییرات زیادی در رواناب در هر نوع پوشش خاک وجود داشت. اسدزاده و همکاران (۳) در تحلیل آماری رواناب واحد سطح نشان دادند که هیچ تفاوت معنی‌داری برای کرت‌هایی با طول ۱۵ متر و بزرگ‌تر وجود ندارد، اما در کرت‌هایی با طول ۱۰ متر و کوچک‌تر به‌طور معنی‌داری تفاوت مشاهده شد. صادقی و همکاران (۵۱) با بررسی نقش اندازه و کاه و کلش برنج در دو اندازه ۰/۵ × ۰/۵ و ۱ × ۶ مترمربع و شدت‌های بارندگی ۵۰ و ۹۰ میلی‌متر در ساعت نشان دادند که ضریب رواناب و غلظت رسوب در کرت ۰/۲۵ مترمربع و شدت بارندگی ۹۰ میلی‌متر در ساعت بیش‌ترین کاهش را داشته است. لثما و همکاران (۳۴) اثر اندازه کرت ۱۵×۱۲ متر و سه حوزه آبخیز بر تغییرات ضریب رواناب را در اتیوپی ارزیابی نمودند. ایشان بیان نمودند که رواناب ایجاد شده دارای تغییرات زیادی در اندازه‌های متفاوت بود. اسدزاده و همکاران (۴) به بررسی اثر اندازه کرت بر میزان رواناب و رسوب اندازه‌گیری شده ناشی از رگبارهای طبیعی در ایستگاه پلدشت، استان آذربایجان غربی پرداختند. ایشان نشان داد رواناب و رسوب تولید شده در واحد سطح با افزایش مساحت و یا طول کرت به صورت توانی کاهش می‌یابد. مقایسه آماری عملکرد کرت‌های با ابعاد مختلف نشان داد که در اغلب رخدادهای بین کرت‌های با طول کم‌تر از ۱۰ متر و کرت‌های بزرگ‌تر تفاوتی معنی‌دار وجود دارد، در حالی که اختلاف عملکرد کرت‌های با طول بیش از ۱۵ متر تفاوت معنی‌داری را نشان نداد. پرهیزگار و همکاران (۴۰) شش کرت آزمایشی با طول ۳ تا ۶۰ متر و عرض یک تا شش متر در یک دامنه در منطقه سراوان رشت در استان گیلان احداث کردند. میزان رواناب در ۱۴ رخداد طبیعی باران از مهر سال ۱۳۹۴ تا اردیبهشت ۱۳۹۵ جمع‌آوری و سپس مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. نتایج نشان داد رواناب در واحد سطح با افزایش طول کرت به صورت غیرخطی کاهش یافت. مقایسه میانگین بین کرت‌ها نشان داد که کرت‌های با طول بیش‌تر از ۱۰ متر اختلاف معنی‌داری از نظر تولید رواناب با هم نداشتند. هم‌چنین برخی پژوهش‌گران اثر کود دامی را بر تغییرات پاشمان (۱۶)، نفوذ، رواناب (۱۶) و (۴۸)، هدررفت خاک از (۱۶) و آب‌نمود و رسوب‌نمود (۱۸) در مقیاس کرت‌های آزمایشگاهی بررسی نمودند، این پژوهش‌گران نشان دادند که کودهای مورد استفاده تاثیرات معنی‌داری بر مولفه‌های مورد بررسی داشت. به دلیل تنوع نتایج گزارش شده و دخالت فرآیندهای مختلف در تعیین نقش

برخی پژوهش‌گران از جمله صادقی و همکاران (۵۲) به مقایسه ابعاد مختلف کرت‌ها در بررسی برآورد تولید رواناب و هدررفت خاک پرداخته‌اند. مروری بر مطالعات نشان می‌دهد که دامنه اندازه مکانی در کرت‌های فرسایش خاک نسبتاً وسیع بوده و از کرت‌هایی با مساحت کم‌تر از یک مترمربع تا کرت‌هایی با مساحت بیش از یک هکتار را شامل می‌شود (۲۳). بررسی پژوهش‌های صورت گرفته در مورد رابطه اندازه کرت و مقدار رواناب و هدررفت خاک نشان‌دهنده روند کاهش میزان رواناب در واحد سطح با افزایش ابعاد کرت، در اغلب شرایط می‌باشد (۵۵ و ۶۲). در این زمینه دلایلی نظیر نگهداشت سطحی بیش‌تر در کرت‌های بزرگ، افزایش تغییرات مکانی خصوصیات خاک موثر در تولید رواناب و هم‌چنین اختلاف مربوط به دینامیک فرآیندهای تشکیل رواناب و هدررفت خاک در کرت‌ها مورد تأکید پژوهش‌گران قرار گرفته است. البته برخی از پژوهش‌گران نیز به افزایش و یا عدم تغییرات رواناب و یا هدررفت خاک با افزایش ابعاد کرت اشاره نموده‌اند که این مشاهدات به عواملی نظیر عدم توانایی سطح خاک در نگهداشت رواناب به دلیل شیب زیاد و یا وجود شبکه متراکم شیارها، نسبت داده شده است (۳۷، ۵۵). در رابطه با پژوهش‌های صورت گرفته در کشور نکته حائز اهمیت این است که نقش اندازه در اغلب این مطالعات نادیده گرفته شده است.

برخی پژوهش‌گران از جمله دندی و بولتن (۱۱) در پژوهشی کرت‌های آزمایشی به سطح ۸۰ مترمربع را با حوزه آبخیز سه هکتاری مقایسه نمودند و رواناب حوزه آبخیز را دو برابر کرت‌ها به دست آوردند. در پژوهش دیگری که توسط لیبسوننایس و همکاران (۳۳) تأکید کردند که تأثیر طول کرت بر تولید رواناب به میزان بسیار زیادی بستگی به شرایط سطحی و تغییرپذیری مکانی ویژگی‌های خاک دارد. پوزن و همکاران (۴۱) با بررسی اثرات تغییر اندازه قطعات سنگی بر تغییرات رواناب و هدررفت خاک بیان کردند که تغییر اندازه اثر مهمی بر تغییرات رواناب دارد. پولیاکوو (۴۲) کرت‌هایی با ابعاد ۴×۴ متر را با نتایج حوزه آبخیز محاط بر آن در ایالات متحده مقایسه کرد و هدررفت خاک در کرت را بسیار بالاتر از سطح حوزه آبخیز برآورد نمود. جونل و همکاران (۲۶) در پژوهشی در منطقه مرکزی شیلی به این نتیجه رسیدند که با افزایش ابعاد کرت از ۰/۲۵ به ۵۰ مترمربع و شرایط آزمایشگاهی، ضریب رواناب کاهش می‌یابد. سردا و همکاران (۷) به بررسی تأثیر اندازه کرت روی رواناب در مناطق کشاورزی نرماندی فرانسه پرداختند. آن‌ها در این پژوهش از داده‌های کرت‌های ۴۵۰ مترمربع، دو حوضه ۹۰ و ۱۱۰۰ هکتاری برای بررسی مولفه رواناب و هدررفت خاک استفاده کردند. نتایج به‌دست بین این سه اندازه نشان داد با افزایش سطح، ضریب رواناب و هدررفت خاک کاهش قابل توجهی را ارائه نمود. مینگوو و همکاران (۳۸) در اندازه کرت و حوزه آبخیز اثرات پوشش گیاهی بر نسبت تولید رواناب و رسوب در لس‌های شمال چین را بررسی نمودند. ایشان بیان نمودند که پوشش گیاهی توانست رواناب و هدررفت خاک را هر دو اندازه مورد مطالعه کاهش داد و هم‌چنین در اندازه کرت مقادیر کاهش رسوب

باران و شدت بارندگی ۵۰ میلی‌متر بر ساعت در سه تکرار انجام شد.

– مشخصات شبیه‌ساز باران و شدت بارندگی

شبیه‌ساز بارانی که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفت از قسمت‌های مختلفی شامل صفحه کنترلی، سامانه آبرسانی، صفحه بارش شامل دو نازل نوسانی از نوع ویجت ۸۰۱۰۰ با قطر روزنه ۴/۵ میلی‌متر و سامانه جمع‌آوری آب مازاد تشکیل شده است که روی پایه‌هایی متحرک با قابلیت تنظیم تا ارتفاع ۲۷۰ سانتی‌متر تشکیل شده است (۲۷، ۲۸ و ۲۹). با توجه به داده‌های باران‌نگار نزدیک‌ترین ایستگاه سینوپتیک (ایستگاه ساری) و در نهایت بررسی منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی تهیه شده برای آن، شدت بارندگی ۵۰ میلی‌متر در ساعت با دوره بازگشت ۲۰ ساله به‌عنوان شدت انتخابی برای پژوهش حاضر مد نظر قرار گرفت (۱۷ و ۱۸). شکل ۱ نمایی از شبیه‌ساز باران مورد استفاده را نشان می‌دهد.

اندازه کرت‌ها، بررسی نقش اندازه بر تغییرات مولفه‌های رواناب و هدررفت خاک در شرایط مختلف نیاز به بررسی دارد. از طرفی نیز کاربرد افزودنی‌های خاک می‌تواند نقش مهمی در مهار مولفه‌های رواناب و هدررفت خاک داشته و نیز نقش آنها را در مقایسه با شرایط بدون استفاده از آنها نشان دهد. بنابراین پژوهش حاضر به‌منظور بررسی تغییر اندازه با استفاده از دو اندازه ۰/۲۵ × ۰/۵ و ۰/۵ × ۰/۵ مترمربع و نیز نقش کود آلی با دو مقدار ۶۲/۵ و ۱۲۵ گرم بر مترمربع در تغییرات رواناب و هدررفت خاک برای شرایط آزمایشگاهی انجام شد.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در شرایط آزمایشگاهی به‌منظور مطالعه اثر دو اندازه ۰/۲۵ × ۰/۵ و ۰/۵ × ۰/۵ مترمربع (به‌ترتیب ۲۲ و ۲۹) و با استفاده از کود آلی با مقادیر ۶۲/۵ و ۱۲۵ گرم بر مترمربع (به‌ترتیب ۵۷ و ۱۲۵) روی مولفه‌های زمان شروع، ضریب رواناب، هدررفت خاک و غلظت رسوب با استفاده از شبیه‌ساز



شکل ۱- نمایی از شبیه‌ساز باران در شرایط آزمایشگاهی

Figure 1. View of rainfall simulator in laboratory conditions

کاهش وزن در کف کرت‌ها از سه لایه پوکه معدنی با اندازه‌های مختلف و ضخامت ۱۵ سانتی‌متر استفاده شد (۸ و ۱۰) (شکل ۲ بالا). سپس از گونی کتفی در زیر خاک و دیواره‌های کرت‌ها به‌منظور افزایش اصطکاک در بین دیواره کرت و خاک و همچنین جداسازی خاک و پوکه استفاده شد (۸) (شکل ۲ پایین). در نهایت خاک آماده شده در درون کرت‌ها قرار داده شد و برای دستیابی به جرم مخصوص ظاهری با توجه به اهمیت آن در برابر قطرات باران و رواناب (۳۵) از غلظت استفاده شد (۵۰).

انتخاب تیمار کود

برای انجام پژوهش حاضر از تیمار کود آلی هوا خشک شده (۴۴) به‌عنوان یک افزودنی آلی خاک و موجود در شرایط منطقه و همچنین ارزان استفاده شد. کود آلی با مقادیر صفر (تیمار شاهد)، ۶۲/۵ (۵۷) و ۱۲۵ (۳۱) گرم بر مترمربع (تیمارهای حفاظتی) به مدت پنج روز (میانگین حداقل تعداد روزهای ممتد بدون بارندگی در منطقه مادری) (۱۶) قبل از اجرای تیمار روی سطح خاک مستقیماً به‌صورت یکنواخت و

ویژگی خاک

خاک مورد استفاده، خاک سطحی اراضی مرتعی بوده که پس از انتقال به آزمایشگاه به منظور حفظ پایداری نسبی خاکدانه‌ها با در نظر گرفتن مقادیر و دانه‌بندی خاکدانه‌ها، برای افزایش تشابه با شرایط طبیعی، خاک پس از خشک کردن تا حد رطوبت بهینه از الک چهار میلی‌متر عبور داده شد (۱۰ و ۱۴). اندازه‌گیری بافت خاک با روش هیدرومتری نشان داد که خاک دارای بافت لومی-رسی با درصد رس، شن و سیلت به‌ترتیب ۳۷/۰۸ درصد، ۲۶/۹۸ درصد، ۳۵/۹۴ درصد بود. سایر ویژگی‌های اندازه‌گیری شده خاک نشان داد درصد مواد آلی (به روش والکلی و یلاک)، pH (روش پتانسیومتری) و هدایت الکتریکی آن نیز به‌ترتیب ۰/۴ درصد، ۷/۳۶، ۵۷۴ میکروزیمنس بر سانتی‌متر اندازه‌گیری شد (۲۵).

مراحل آماده‌سازی کرت‌ها

در این پژوهش به منظور اندازه‌گیری مقدار رواناب و در رفت خاک از دو سری کرت به ابعاد ۰/۲۵ × ۰/۵ مترمربع و ۰/۵ × ۰/۵ مترمربع استفاده شد. برای ایجاد لایه‌ای نفوذپذیر و

شبهه‌ساز باران برای شدت ۵۰ میلی‌متر در ساعت و در شیب ۲۰ درصد (شیب متوسط منطقه برداشت خاک) برای جمع‌آوری رواناب و رسوب شبیه‌سازی شد.

با دست پخش گردید (۴۳). سپس آزمایش‌ها در تیمار شاهد و تیمارهای حفاظت شده با کود با سه تکرار (۱۶، ۳۹، ۴۳ و ۴۷) انجام شد. کرت‌های شاهد (بدون کاربرد کود) و کرت‌های تیمار شده (بعد از کاربرد کود در سطح خاک) با استفاده از



شکل ۲- نمایی از قرارگیری پوکه معدنی (بالا) و گونی کفنی (پایین) در کرت‌ها
Figure 2. View from placement of pumice (up) and porous jute in plots

خروجی از کرت‌ها به‌طور کامل به‌مدت ۲۴ ساعت به حالت سکون قرار داده شدند. پس از طی مدت زمان مذکور مقدار آب اضافی نمونه‌ها تا حد امکان با استفاده از روش تخلیه از نمونه‌ها حذف شده و مابقی آب و رسوب تغلیظ‌شده به داخل ظروف تهیه شده از ورقه‌های نازک آلومینیومی با وزن مشخص تخلیه و سپس به آون منتقل گردید. در این روش دما و مدت زمان خشک کردن نمونه‌ها به ترتیب ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد و ۲۴ ساعت در نظر گرفته شد (۵۲). تعداد نهایی تیمارهای ترکیبی برابر با حاصل ضرب سطوح تیمارهای مورد بررسی و به عبارت دیگر دو مقدار کود آلی به اضافه دو اندازه

- اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی

برای تیمار شاهد و تیمار کود آلی در دو مقدار ۶۲/۵ و ۱۲۵ گرم بر مترمربع و نیز دو اندازه ۰/۲۵ × ۰/۵ و ۱ × ۰/۵ مترمربع زمان رواناب شروع رواناب ثبت شد و سپس حجم رواناب در فواصل زمانی دو دقیقه‌ای (۵۱) در خروجی هر کرت اندازه‌گیری شد. سپس حجم رواناب در هر یک از بازه‌های زمانی ۲ دقیقه، با اندازه‌گیری حجم کل رواناب خروجی از کرت‌ها اندازه‌گیری شد. برای محاسبه رواناب با ضخامت یکی میلی‌متر (۰/۱ سانتی‌متر) در سطح هر مترمربع (۱۰۰۰۰ سانتی‌مترمربع) برابر با ۱۰۰۰ سانتی‌مترمکعب بوده که در واقع معادل یک میلی‌متر بر مترمربع می‌باشد. نمونه‌های رواناب

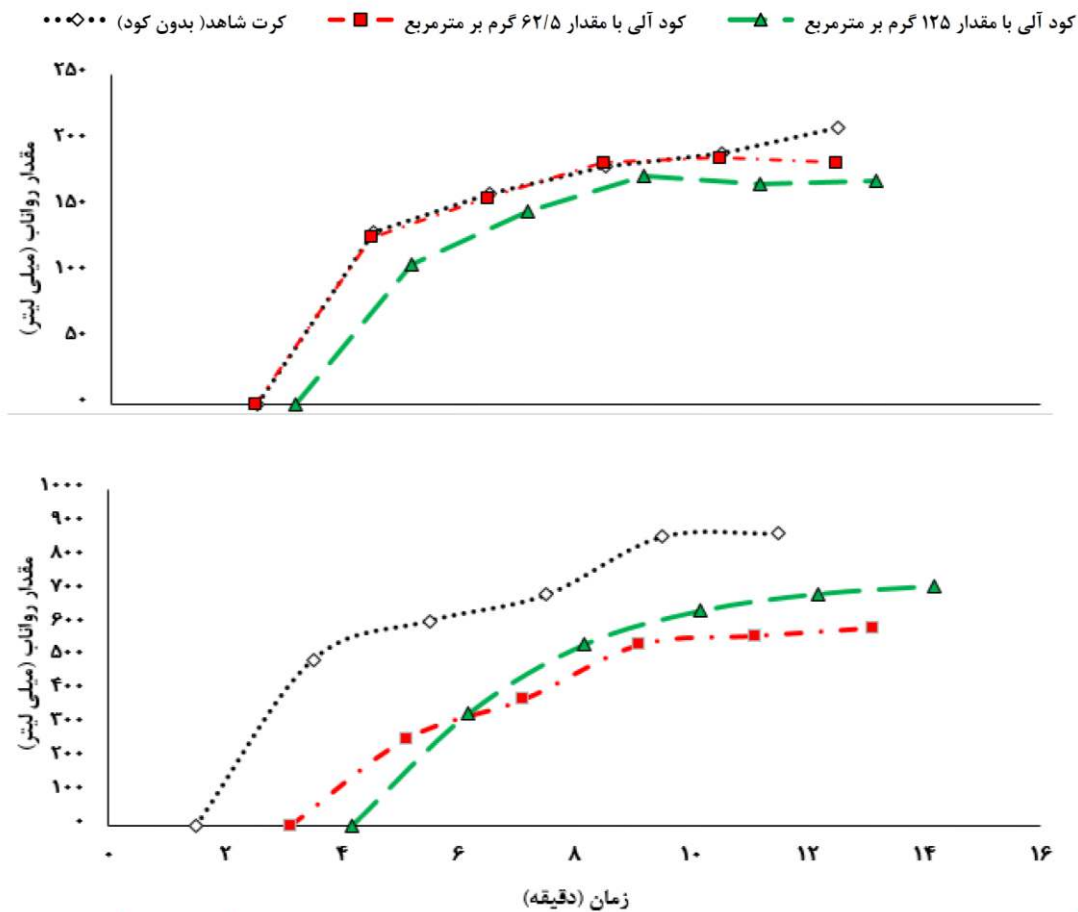
شکل ۳ آب نمود در تیمار حفاظتی کود آلی با دو مقدار پنج و ۱۰ تن بر هکتار و تیمار شاهد برای دو اندازه استفاده شده را نشان می دهد. نتایج مقادیر زمان شروع رواناب، حجم و ضریب رواناب، هدررفت خاک و غلظت رسوب در تیمار شاهد و تیمار کود آلی در دو مقدار ۶۲/۵ و ۱۲۵ گرم بر مترمربع و برای هر دو اندازه $۰/۵ \times ۱/۰$ و $۰/۲۵ \times ۰/۵$ مترمربع در جدول ۱ ارائه شده است. نتایج آزمون GLM تیمار حفاظتی کود آلی و اندازه روی زمان شروع رواناب، حجم رواناب، ضریب رواناب، هدررفت خاک و غلظت رسوب در جدول ۲ خلاصه شده است. تفکیک و همگن بندی سطوح تیمار شاهد و کود آلی بر زمان شروع رواناب به گروه های همگن با استفاده از آزمون دانکن نیز در جدول ۳ ارائه شده است.

به اضافه تیمار شاهد (۱۰ و ۱۲) و با احتساب سه تکرار (۴۳ و ۴۷) برای هر تیمار، برابر با ۱۵ نمونه به دست آمد.

آزمون آماری

برای ارزیابی های مقایسه ای و کمی عمل کرد تیمارها، ابتدا نرمال بودن داده ها با استفاده از آزمون به روش کولموگروف - اسمیرنوف و در سطح معنی داری $۰/۰۵$ بررسی شد و سپس ضریب همبستگی پیرسون برای تعیین همبستگی بین متغیرها در هر دو سطح اعتماد ۹۵ و ۹۹ درصد محاسبه شد (۵۱). سپس آزمون های F (۲) برای بررسی ارتباطات مقدارهای کود آلی و اندازه های کرت بر مجموعه داده های به دست آمده در نرم افزار SPSS23 انجام شد.

نتایج و بحث



شکل ۳- مقدار رواناب در تیمار شاهد و حفاظتی برای دو اندازه $۰/۵ \times ۰/۲۵$ مترمربع (بالا) و $۱/۰ \times ۰/۵$ مترمربع (پایین)
Figure 3. Hydrograph in control and conservation treatment for two sizes of $0.5 \times 0.25 \text{ m}^2$ (Up) and $1.0 \times 0.5 \text{ m}^2$ (Down)

جدول ۱- میانگین، ضریب تغییرات، درصد حفاظت مولفه‌های مورد بررسی در تیمار شاهد و حفاظتی برای مقادیر کود آلی استفاده شده و اندازه‌های ۰/۲۵ × ۰/۵ مترمربع و ۱/۰ × ۰/۵ مترمربع

Table 1. Average, coefficient of variation, conservation percent of the studied parameters in conservation and control treatment for rates of used organic manure and sizes of 0.25 × 0.5 m² and 0.5 × 1.0 m²

یمار	پارامتر	زمان شروع رواناب (ثانیه)	مقدار رواناب (میلی متر بر مترمربع)	ضریب رواناب (درصد)	هدررفت خاک (گرم بر مترمربع)	غلظت رسوب (گرم بر لیتر)
اندازه ۰/۲۵ × ۰/۵ مترمربع						
شاهد	میانگین سه تکرار	۱۷۳/۱	۶/۹۷	۸۳/۹۶	۱۱۳۲/۲۹	۱۶۲/۵۰
	ضریب تغییرات	۰/۰۶	۰/۱۱	۰/۰۷	۲/۷۴	۲/۷۲
کود با مقدار پنج تن بر هکتار	میانگین سه تکرار	۱۶۸/۰۰	۶/۶۹	۸۰/۶۳	۴۷۲/۰۰	۷۲/۸۵
	ضریب تغییرات	۱۴/۰۷	۱۲/۸۵	۱۳/۸۷	۲۴/۵۲	۳۴/۷۸
کود با مقدار ۱۰ تن بر هکتار	ضریب تغییرات	-۲/۹۵	-۳/۹۴	-۳/۹۶	-۵۸/۳۱	-۵۵/۱۷
	درصد حفاظتی	۱۹۸/۳۳	۶/۱۱	۷۳/۵۷	۴۹۸/۹۳	۸۵/۱۳
کود با مقدار ۱۰ تن بر هکتار	میانگین	۱۸/۶۱	۱۲/۱۷	۱۲/۱۹	۳۶/۳۸	۴۹/۶۱
	ضریب تغییرات	۱۴/۵۷	-۱۲/۳۶	-۱۲/۳۷	-۵۵/۹۴	-۴۷/۶۱
اندازه ۱/۰ × ۰/۵ مترمربع						
شاهد	میانگین سه تکرار	۱۱۲/۶۷	۶/۸۵	۸۲/۵۷	۲۷/۹۶	۴/۰۸
	ضریب تغییرات	۶/۶۶	۶/۶۶	۶/۸۴	۸/۷۴	۱۵/۲۳
کود با مقدار پنج تن بر هکتار	میانگین	۱۹۷/۲۳	۴/۶۵	۵۶/۰۳	۲۵/۵۷	۵/۴۹
	ضریب تغییرات	۲۸/۶۷	۱۸/۶۸	۱۸/۶۷	۸/۰۱	۴۲/۸۷۸
کود با مقدار ۱۰ تن بر هکتار	ضریب تغییرات	+۷۵/۱۲	-۳۲/۱۰	-۳۲/۱۴	-۸/۵۶	-۳۴/۶۷
	درصد حفاظتی	۲۵۹/۰۰	۵/۸۳	۷۰/۲۳	۲۰/۴۹	۳/۵۱
کود با مقدار ۱۰ تن بر هکتار	میانگین	۱۶/۴۱	۱۴/۳۸	۱۴/۴۱	۹/۶۳	۶۷/۰۱
	ضریب تغییرات	+۱۲۹/۸۸	-۱۴/۸۸	-۱۴/۹۴	-۲۶/۷۳	-۱۳/۹۲

جدول ۲- نتایج آزمون GLM در تیمار حفاظتی کود آلی و اندازه‌های مختلف روی زمان شروع رواناب، حجم رواناب و ضریب رواناب، هدررفت خاک و غلظت رسوب

Table 2. Results of GLM in conservation treatment of organic manure and various scales on time to runoff, runoff volume, runoff coefficient, soil loss and sediment concentration

منبع	متغیر وابسته	میانگین مربعات	مقدار F	سطح معنی داری
اندازه	زمان شروع رواناب (ثانیه)	۴۳۹/۷۶	۰/۳۸	۰/۵۵
	حجم رواناب (لیتر بر مترمربع)	۲/۹۵	۵/۷۳	۰/۰۳
	ضریب رواناب (درصد)	۱۵۶۲/۵۹	۲۲/۰۶	۰/۰۰
	هدررفت خاک (گرم بر مترمربع)	۲۵۵۸۵۳/۷۱	۲۶۱/۱۱	۰/۰۰
	غلظت رسوب (گرم بر لیتر)	۵۶۸۸۵/۶۶	۲۵/۹۰	۰/۰۰
مقدار کود	زمان شروع رواناب (ثانیه)	۱۱۰۶۸/۸۰	۹/۵۱	۰/۰۰
	حجم رواناب (لیتر بر مترمربع)	۵/۰۲	۴/۸۷	۰/۰۳
	ضریب رواناب (درصد)	۹۴۲/۸۷	۱۳/۳۱	۰/۰۰
	هدررفت خاک (گرم بر مترمربع)	۴۲۵۱۴۹/۲۷	۲۶/۹۶	۰/۰۰
	غلظت رسوب (گرم بر لیتر)	۸۰۴۷/۹۵	۳/۶۶	۰/۰۶
اندازه × مقدار کود	زمان شروع رواناب (ثانیه)	۵۹۱۶/۷۸	۵/۰۸	۰/۰۳
	حجم رواناب (لیتر بر مترمربع)	۳/۴۲	۳/۲۲	۰/۰۷
	ضریب رواناب (درصد)	۲۶۷/۶۵	۳/۷۸	۰/۰۵
	هدررفت خاک (گرم بر مترمربع)	۴۱۲۱۹۵/۶۹	۲۶/۱۸	۰/۰۰
	غلظت رسوب (گرم بر لیتر)	۷۶۸۱/۵۲	۳/۵۰	۰/۰۶

جدول ۳- تفکیک و همگن‌بندی تیمارهای شاهد و کود آلی بر مولفه‌های مختلف با استفاده از آزمون دانکن در سطح معنی داری پنج درصد
Table 3. Separation and homogenization of control and organic manure treatments on various parameters using Duncan's test at P<0.05

متغیر	۱	۲
زمان شروع رواناب (ثانیه)	شاهد و کود آلی با مقدار ۵ تن در هکتار	کود آلی با مقدار ۱۰ تن هکتار
مقدار رواناب (لیتر)	کود آلی با مقدار ۵ و ۱۰ تن در هکتار	شاهد و کود آلی با مقدار ۱۰ تن در هکتار
ضریب رواناب (درصد)	شاهد	کود آلی با مقدار ۵ و ۱۰ تن در هکتار
هدررفت خاک (گرم)	کود آلی با مقدار ۵ و ۱۰ تن در هکتار	شاهد
غلظت رسوب (گرم بر لیتر)	شاهد و کود آلی با مقدار ۵ تن در هکتار	کود آلی با مقدار ۵ و ۱۰ تن در هکتار

به ترتیب ۵۸/۳۱- و ۵۵/۹۴- درصد و غلظت رسوب به ترتیب ۵۵/۱۷- و ۴۷/۶۱- درصد می‌باشد. همچنین در اندازه ۰/۵ × ۱/۰ متر در تیمار کود آلی با مقادیر استفاده شده درصد حفاظتی زمان شروع رواناب به ترتیب ۳۷/۹۶- و ۱۲۹/۸۸+ و

نتایج نشان می‌دهد برای اندازه ۰/۲۵ × ۰/۵ متر در تیمار کود آلی با مقدار ۶۲/۵ و ۱۲۵ گرم بر مترمربع، درصد حفاظتی زمان شروع رواناب به ترتیب ۲/۹۵- و ۱۴/۵۷ درصد، ضریب رواناب به ترتیب ۳۷/۹۶- و ۱۲۹/۸۸+ درصد، هدررفت خاک

نفوذ در خاک خواهد داشت. در حالی که صادقی و همکاران (۵۲) بیان کردند که اثر اندازه کرت کوچک تر بر تغییرات ضریب رواناب بیش تر است که با نتایج حاصل از پژوهش حاضر مغایرت دارد. همچنین اثر اندازه کرت، کود آلی و اثرات متقابل آنها بر تغییرات ضریب رواناب در سطح به ترتیب ۹۹، ۹۵ و ۹۹ درصد معنی دار بود (جدول ۲). تغییرات هدررفت خاک در اندازه بزرگ تر و مقدار بیش تر کود آلی نسبت به سایر تیمارها بیش تر بود به طوری که مقدار ۱۲۵ گرم بر مترمربع در مقایسه با مقدار ۶۲/۵ گرم بر مترمربع در کرت بزرگ تر توانست هدررفت خاک را ۲۱۲/۲۶ درصد بیش تر کاهش دهد. چرا که با افزایش مقدار کود آلی، ذرات خاک حاصل از پاشمان کاهش یافته و کود به عنوان یک عامل حفاظتی اجازه برخورد قطرات باران را به خاک سطحی نمی دهد (۱۵ و ۱۶). اثر اندازه کرت، کود آلی و اثرات متقابل آنها بر تغییرات هدررفت خاک در سطح ۹۵ درصد معنی دار بود. همچنین تغییرات غلظت رسوب نیز نشان داد که با کاهش اندازه کرت و مقدار افزودنی مورد نظر تغییرات آن بیش تر می شود. به طوری که در کرت با اندازه ۰/۵ × ۱/۰ متر و با مقدار کود آلی ۶۲/۵ گرم بر مترمربع مقدار تغییرات غلظت رسوب روند افزایشی را نسبت به تیمار شاهد نشان داد. که در مورد افزایش غلظت رسوب بعد از کاربرد کود آلی می توان به نتایج مارتینز و همکاران (۳۶) اشاره نمود که ایشان نیز بیان نمودند که کود نتوانست تاثیری در کاهش غلظت رسوب داشته باشد. نتایج با نتایج گیلی و آقبال (۱۹)، گوسین و همکاران (۲۰) و راموس و مارتینز-کاساسنوواس (۴۳) مبنی بر تاثیر مثبت کود دامی بر تغییرات غلظت رسوب همخوانی دارد. همچنین اثر اندازه کرت، کود آلی و اثرات متقابل آنها بر تغییرات غلظت رسوب رواناب در سطح به ترتیب ۹۹، ۹۵ و ۹۵ درصد معنی دار بود (۷، ۳۴، ۴۲) (جدول ۲).

نتایج ارائه شده در جدول ۳ نشان داد که برای پارامتر زمان شروع رواناب تیمار شاهد و تیمار کود آلی با مقدار پنج تن بر هکتار در زیرگروه اول اما تیمار حفاظتی با مقدار ۱۰ تن بر هکتار در زیر گروه دوم قرار گرفت. همچنین در بررسی زیرگروه بندی ضریب رواناب مشخص شد که تیمار شاهد در زیر گروه اول و کود آلی با مقدار ۶۲/۵ و ۱۲۵ گرم بر مترمربع در زیر گروه دوم قرار گرفتند. همچنین در زیرگروه بندی متغیر هدررفت خاک کود آلی با هر دو مقدار در زیرگروه اول و تیمار شاهد در زیرگروه دوم قرار گرفت. در حالی که برای متغیر غلظت رسوب تیمار شاهد و تیمار کود آلی با مقدار ۶۲/۵ گرم بر مترمربع در زیرگروه اول و همچنین تیمار کود آلی با دو مقدار ۶۲/۵ و ۱۲۵ گرم بر مترمربع در زیرگروه دوم قرار گرفتند. با توجه به نتایج این بخش می توان بیان نمود که متغیرهایی که در یک زیرگروه قرار گرفتند می توانند تاثیر مشابهی بر تغییرات متغیر مورد نظر (۱۶) داشته باشند. بنابراین بایستی توجه داشت که طول کرت یا اندازه آن می تواند در تغییرات متغیرهای مورد بررسی بسیار مهم باشد (۶، ۷، ۳۸، ۴۱، ۵۴). با افزایش اندازه کرت تغییرات کاهش حجم رواناب در فاصله های زمانی اندازه گیری شده بسیار زیاد بود به طوری که در تمامی فاصله های جمع آوری رواناب حجم

درصد، ضریب رواناب به ترتیب ۳۲/۱۴- و ۱۴/۹۴- درصد، هدررفت خاک به ترتیب ۸/۵۶- و ۲۶/۷۳ درصد و غلظت رسوب به ترتیب ۳۴/۶۷- و ۱۳/۹۲- درصد می باشد (جدول ۱). این نتایج بیانگر این است که در کرت های با اندازه ۰/۲۵ × ۰/۵ متر تیمار حفاظتی کود آلی با مقدار ۶۲/۵ گرم بر مترمربع، زمان شروع رواناب را به مقدار ۲/۹۵- درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش داده است و نتوانست در این مقدار نقش مثبتی در افزایش زمان شروع رواناب داشته باشد. اما با افزایش مقدار کود (۱۲۵ گرم بر مترمربع) نتوانست مقدار زمان شروع رواناب را افزایش دهد. اما با افزایش اندازه کرت به ۰/۵ × ۱/۰ متر و همچنین افزایش مقدار در این اندازه زمان شروع رواناب افزایش بیش تری را نشان داد (۹، ۱۶ و ۳۶). بنابراین می توان این گونه بیان نمود که افزایش اندازه می توان نقش مثبتی را در افزایش زمان شروع رواناب داشته باشد چرا که با افزایش اندازه بارندگی فرصت کافی را در فرآیند نفوذ داشته (۴۴) و در نتیجه رواناب ایجاد شده زمان بیش تری را نیاز داشته، تا در سطح مورد نظر تشکیل شود (۴، ۲۶، ۳۸، ۴۰ و ۵۲). در حالی که نتایج حاصل با نتایج راموس و مارتینز-کاساسنوواس (۴۳) همخوانی نداشت چرا که ایشان بیان نمودند که کاربرد کود گاوی مایع اسپری شده بر سطح خاک، حجم رواناب را حدود ۳۰ درصد افزایش داد. نتایج همچنین نشان داد که اثر اندازه کرت غیرمعنی دار و اثر تیمار حفاظتی و همچنین اثر متقابل آنها در سطح ۹۹ درصد معنی دار بود (جدول ۲). اسدزاده و همکاران (۳) نیز نشان دادند که بین کرت های کم تر از ۱۰ متر اختلاف معنی داری در برآورد رواناب وجود داشت. ضریب رواناب در هر دو اندازه به کار برده شده روند کاهشی داشت اما کود آلی با مقدار ۱۲۵ گرم بر مترمربع در اندازه ۰/۵ × ۱/۰ متر ۶۲/۵ گرم بر مترمربع، نتوانست ضریب رواناب را بیش تر کاهش دهد. اما در دو اندازه ۰/۵ × ۰/۵ متر و ۰/۵ × ۱/۰ متر به ترتیب مقدار کود آلی ۱۲۵ و ۶۲/۵ گرم بر مترمربع، بر کاهش ضریب رواناب بیش تر بود. بنابراین تغییرات مقدار کود آلی می تواند تاثیر معنی داری را در تغییرات رواناب و هدررفت خاک اعمال نماید (۲۸). درصد تغییرات ضریب رواناب در هر دو اندازه و برای مقدار ۱۲۵ گرم بر مترمربع نسبت به مقدار ۶۲/۵ گرم بر مترمربع به ترتیب ۲۱۲/۴۲ درصد (کاهش) و ۵۳/۵۲ درصد (افزایش) داشت. با افزایش اندازه کرت اثر کود آلی بر تغییرات ضریب رواناب بیش تر بود چرا که کود زمان کافی را در جذب بارندگی داشته و با گذشت زمان آن را به داخل خاک نفوذ می دهد. در این زمینه سردان و همکاران (۷)، جوئل و همکاران (۲۶)، پرهیزگار و همکاران (۴۰)، پوزن و همکاران (۴۱)، پولیاکوو (۴۲)، شارپلی و کلینمان (۵۳) و اسمتس و همکاران (۵۱) بیان نمودند که با افزایش اندازه کرت ضریب رواناب کاهش می یابد و نتایج حاصل از این پژوهش، با نتایج ایشان مطابقت دارد. اما بایستی توجه داشت که با مقدار کود آلی و افزایش اندازه کرت این مقدار کاهش ضریب رواناب روند کم تری داشت که دلیل آن می تواند این باشد که در مقادیر بیش تر کود سطح خاک کاملاً پوشیده شده (۲۷) و اجازه نفوذ در خاک داده نمی شود و آن بخشی از بارندگی که توسط کود آلی جذب می شود زمان لازم را برای

فرسایش نیافته در تمام مدت نمونه برداری مقدار رواناب در کرت بدون کود دامی بیش تر بود. تاکنون بررسی اثرات تغییر اندازه و نیز کاربرد اثر افزودنی های خاک با این مولفه در پژوهش های مختلف کم تر مورد توجه پژوهش گران بوده است. حال آن که اندازه می تواند تاثیر عملکرد افزودنی ها را تحت تاثیر قرار دهد. با توجه به نتایج پژوهش حاضر می توان بیان نمود که با کوچک شدن اندازه کرت، میزان کاهش در مولفه های هدررفت خاک و غلظت رسوب برای مقادیر به کار برده شده کود آلی بیش تر بود. بنابراین بایستی به این نکته توجه داشت که برای کاربرد افزودنی ها و پیشنهاد آنها در سطح حوزه های آبخیز و یا سطح دامنه بایستی بحث اندازه و حتی نوع و مقدار افزودنی بسیار مهم می باشد. چرا که با کاهش و یا افزایش اندازه کرت و یا مقدار افزودنی مورد استفاده در جهت تغییرات مولفه های مختلف هدررفت خاک، علاوه بر بحث اندازه و بحث نوع و مقدار افزودنی نیز می تواند تغییرات زیادی در مولفه های اندازه گیری شده ایجاد نمایند.

رواناب دارای کاهش بود. اما اثر کود آلی در مقدار ۶۲/۵ گرم بر مترمربع نسبت به مقدار ۱۲۵ گرم بر مترمربع در برداشت های آخر بیش تر بود. برای اندازه کرت ۰/۵ × ۱/۰ متر، کود آلی با مقدار ۶۲/۵ گرم بر مترمربع در فواصل زمانی مختلف (به جز فاصله زمانی آخر نمونه برداری) اثری مشابه با تیمار شاهد در تغییرات حجم رواناب داشت. اما در همین اندازه اما با کود آلی ۱۲۵ گرم بر مترمربع اثر کاهش حجم رواناب به شدت افزایش یافت و توانست تاثیر معنی دارتری را نسبت به مقدار پنج تن بر هکتار نشان دهد (شکل ۲). غلامی و همکاران (۱۸) نشان دادند که با کاربرد کود دامی در اندازه کرت شش مترمربعی حجم رواناب در فواصل زمانی مختلف روند کاهش داشت. راموس و مارتینز-کاساسنوواس (۴۳) نشان دادند که در شدت ۸۰ میلی متر بر ساعت برای کرت فرسایش یافته در دقایق اولیه، مقدار رواناب قبل از حفاظت کم تر از بعد از حفاظت است. اما در دقیقه های بعد از شبیه سازی این مقدار بیش تر بود. در حالی که در کرت

منابع

- Ahmadi, H. 2012. Applied geomorphology, water erosion. 4th edn., Tehran University Press, Iran, 688 pp (In Persian).
- Arnaez, J., T. Lasanta, P. Ruiz-Flaño and L. Ortigosa. 2007. Factors affecting runoff and erosion under simulated rainfall in Mediterranean vineyards. *Soil and Tillage Research*, 93(2): 324-334.
- Asadzadeh, F., M. Gorgi, A. Vaezi, R. Sokouti and M. Shorafa. 2012. Scale effect on runoff from filed plots under natural rainfall. *Journal of Agriculture and Environmental. Sciences*, 12(9): 1148-1152.
- Asadzadeh, F., M. Gorji, A. Vaezi, R. Sokouti and S. Mirzaee. 2013. Effect of plot size on measured runoff and sediment yield from natural rain-storms. *Journal of Water and Soil Resources Conservation*, 2(4): 69-80 (In Persian).
- Bagarello, V. and V. Ferro. 2010. Analysis of soil loss data from plots of differing length for the Sparacia experimental area, Sicily, Italy. *Biosystems Engineering*, 105(3): 411-422.
- Boix-Fayos, C., M. Mena, E. Rosalén, A. Cases and V. Castillo. 2006. Measuring soil erosion by field plots: Understanding the sources of variation. *Earth Science Reviews*, 78(3-4): 267-285.
- Cerdan, O., Y. L. Bissonnais, V. Souchère, P. Martin and V. Lecomte. 2002. Sediment concentration in interrill flow: interactions between soil surface conditions, vegetation and rainfall. *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group*, 27(2): 193-205.
- Darboux, F., Ph. Davy, C. Gascuel Odoux and C. Hung. 2001. Evolution of soil surface roughness and flow path connectivity in overland flow experiments. *Catena*, 46: 125-139.
- Daverede, I.C., A.N. Kravchenko, R.G. Hoefl, E.D. Nafziger, D.G. Bullock, J.J. Warren and L.C. Gonzini. 2004. Phosphorus runoff from incorporated and surface-applied liquid swine manure and phosphorus fertilizer. *Journal of Environmental Quality*, 33: 1535-1544.
- Defersha, M.B., S. Quraishi and A. Mellese. 2011. The effect of slope steepness and antecedent moisture content on interrill erosion, runoff and sediment size distribution in the highlands of Ethiopia. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15: 2367-2375.
- Dendy, F.E. and G.C. Bolton. 1976. Sediment yield runoff drainage area relationship in the United States. *Journal of Soil and Water Conservation*, 31: 264-266.
- Ekwue, E.I. 1991. The effects of soil organic matter content, rainfall duration and aggregate size on soil detachment. *Soil Technology*, 4(3): 197-207.
- Fernández, C., J.A. Vega, E. Jiménez, D.C.S. Vieira, A. Merino, A. Ferreira and T. Fonturbel. 2012. Seeding and mulching+seeding effects on post-fire runoff, soil erosion and species diversity in Galicia (NW Spain), *Land Degradation and Development*, 23: 150-156.
- Gholami, L., K. Banasik, S.H.R. Sadeghi, A. Khaledi Darvishan and L. Hejduk. 2014. Effectiveness of straw mulch on infiltration, splash erosion, runoff and sediment in laboratory conditions. *Journal of Water and Land Development*, 22 (VII-IX): 51-60.
- Gholami, L., S.H.R. Sadeghi and M. Homae. 2013. Straw mulching effect on splash erosion, runoff and sediment yield from eroded plots. *Soil Science Society of American Journal*, 77: 268-278.

- ۶۲ اثر تغییر اندازه کرت در عملکرد کود آلی بر تغییر مولفه‌های رواناب و هدررفت خاک در شرایط آزمایشگاهی
16. Gholami, L., S.H.R. Sadeghi and M. Homae. 2016. Different effects of sheep manure conditioner on runoff and soil loss components in eroded soil. *Catena*, 139: 99-104.
 17. Gholami, L., S.H.R. Sadeghi and M. Homae. 2017a. Splash Erosion Control using Sheep Manure. Organizing Committee of 14th International Symposium on the Interactions between Sediments and Water - Taormina, Italy 17-22 June, 2017. 16 pp.
 18. Gholami, L., S.H.R. Sadeghi and M. Homai. 2017b. Effect of soil amendments on hydrograph and sediment graph changes in the laboratory conditions. *Journal of Watershed Management Research*, 8(16): 100-112 (In Persian).
 19. Gilley, J.E. and B. Eghball. 1998. Runoff and erosion following field application of beef cattle manure and compost. *American Society of Agricultural and Engineers*, 41(5): 1289-1294.
 20. Gossin, C., G.J. Teichmeier, G.E. Erickson, T.J. Klopfenstein and D.T. Walters. 2003. Impact of manure application on phosphorus in surface runoff and soil erosion. *Nebraska Beef Cattle Reports 2003 (Paper 228)*, 51-54 pp.
 21. García-Orenes, F., A. Roldán, J. Mataix-Solera, A. Cerdà, M. Campoy, V. Arcenegui and F. Caravaca. 2012. Soil structural stability and erosion rates influenced by agricultural management practices in a semi-arid Mediterranean agro-ecosystem. *Soil Use Management*, 28: 571-579.
 22. Hasanzadeh, N., L. Gholami, A. Khaledi Darvishan and H. Yonesi. 2018. Nanoclay effect on runoff and sediment in laboratory small plots. The 13th National Conference on Watershed Management Science and Engineering of Iran and the 3rd National Conference on Conservation of Natural Resources and Environment, 5 pp (In Persian).
 23. Hudson, N.W. 1993. Field measurement of soil erosion and runoff. *FAO Soils Bulletin*, vol. 68. FAO, Rome, 20-35 pp.
 24. Homauonfar, V., A. Khaledi Darvishan and S.H.R. Sadeghi. 2016. Effects of soil preparation for laboratorial erosion studies on surface runoff. *Journal of Watershed Management Research*, 7(14): 60-68.
 25. Jafari Haghghi, M. 2004. Methods of soil decomposition: Sampling and importance decomposition of physical and chemical with emphasis on theoretical and applied principles. *Nadai Zoha Press*, Iran, 236 pp (In Persian).
 26. Joel, A., I. Messing, O. Seguel and M. Casanova. 2002. Measurement of surface water runoff from plots of two different sizes. *Hydrological Process*, 16: 1467-1478.
 27. Kavian, A., L. Gholami, M. Mohammadi, V. Spalevic and M. Falah Soraki. 2018. Impact of wheat residue on soil erosion processes. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 46(2): 553-562.
 28. Kavian, A., M. Mohammadi, M. Falah Soraki and L. Gholami. 2016. Effect of wheat straw on changing time to runoff and runoff coefficient in laboratory plots under rainfall simulation. *Journal of Soil and Water Resources Conservation*, 5(2): 73-82 (In Persian).
 29. Karimi, N., L. Gholami and A. Kavian. 2018. Hydrograph and sediment graph changes of small experimental plots affected by application of biochar treatment in different soil moisture. *Iranian Journal of Watershed Management Science*, 12(43): 98-107 (In Persian).
 30. Kavian, A., L. Gholami, M. Mohammadi, V. Spalvic and M. Falah. 2018. Impact of wheat residue on soil erosion processes. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 46(2): 553-562.
 31. Khadem, A., A. Golchin and E. Zaree. 2014. Effects of manure and sulfur on nutrients uptake by corn (*Zea mays* L.). *Applied Field Crops Research*, 27(103): 2-11 (In Persian).
 32. Lieskovský, J. and P. Kenderessy. 2014. Modelling the effect of vegetation cover and different tillage practices on soil erosion in vineyards: a case study in Vráble (Slovakia) using watem/sedem. *Land Degradation and Development*, 25: 288-296.
 33. Le Bissonnais, Y., H. Benkhadra, V. Chaplot, D. Fox, D. King, and J. Daroussin. 1998. Crusting, runoff and sheet erosion on silty loamy soils at various scales and up scaling from m² to small catchments. *Soil Tillage Research*, 46(1): 69-80.
 34. Lemma, T.M., G. Desta, A.K. Kassa, D.Ch. Edossa. 2018. Effect of spatial scale on runoff coefficient: evidence from the Ethiopian highlands. *International Soil and Water Conservation Research*, 6: 289-296.
 35. Luk, S.H. 1985. Effect of antecedent soil moisture content on rainwash erosion. *Catena*, 12(1): 129-139.
 36. Martínez, I.A., M.C. Ramos and J.A. Martínez-Casanovas. 2004. Effects of composted cattle manure on erosion rates and nutrient losses, *EUROSOIL*. Publication on CD-ROM, Session 12: Soil Erosion, 8 pp.
 37. Moreno L.H., J.M. Nicolau, L. Merino-Martín and B.P. Wilcox. 2010. Plot-scale effects on runoff and erosion along a slope degradation gradient. *Water Resources Research*, 46, W04503. doi: 10.1029/2009WR007875.
 38. Mingguo, Z., C. Qiangguo and C. Hao. 2007. Effect of Vegetation on runoff-sediment yield relationship at different spatial scales in hilly areas of the Loess Plateau, North China, *Acta Ecology Sinica*, 27: 3572-3581.
 39. Nyamangara, J., J. Gotosa and S.E. Mpofu. 2001. Cattle manure effects on structural stability and water retention capacity of a granitic sandy soil in Zimbabwe. *Soil and Tillage Research*, 62: 157-162.

40. Parhizgar, M., A. Hossein and S.A. Mousavi. 2018. Effect of plot scale on runoff under natural rainfall (Case study; Saravan region, Rasht). *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 48(5): 1133-1144 (In Persian).
41. Poesen, J.W., D. Torri and K. Bunte. 1994. Effects of rock fragments on soil erosion by water at different spatial scales: a review. *Catena*, 23(1-2):141-166.
42. Polyakov, V.O. 2002. Use of rare earth elements to trace soil erosion and sediment movement, PhD Thesis, Purdue University, Online at: <http://docs.lib.edu>.
43. Ramos, M.C. and J.A. Marti'nez-Casasnovas. 2006. Erosion rates and nutrient losses affected by composted cattle manure application in vineyard soils of NE Spain. *Catena*, 68: 177-185.
44. Rasoulzadeh, A. and A. Yaghoubi. 2010. Effect of cattle manure on soil physical properties on a sandy clay loam soil in North-West Iran. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 8(2 part 2): 976-979.
45. Refahi, H.Gh. 2006. Soil erosion and conservation. 5th edn. Tehran University Press, Iran, 671 pp (In Persian).
46. Rickson, R.J. 2006. Management of sediment production and prevention in river catchments: a Matter of Scale. P228-238, In: Owens, P.N and A.J. Collins (eds.), *Soil Erosion and Sediment Redistribution in River Catchments*. CAB International.
47. Ritchey, K.D., L.D. Norton, A. Hass, J.M. Gonzalez and D.J. Snuffer. 2012. Effect of selected soil conditioners on soil properties, erosion, runoff and rye growth in nonfertile acid soil. *Journal of Soil and Water Conservation*, 67(4): 264-274.
48. Robichaud, P.R., S.A. Lewis, J.W. Wagenbrenner, L.E. Ashmun and R.E. Brown. 2013. Post-fire mulching for runoff and erosion mitigation – Part I: Effectiveness at reducing hillslope erosion rates, *Catena*, 105: 75-92.
49. Rohith, K.G., L.S. Michelle and M. Saied. 2012. A comparison of nutrient losses from two simulated pastureland management scenarios. *Journal of Environmental Monitoring*, 14(9): 2421-2429.
50. Romkens, M.J., K. Helming and S.N. Prasad. 2002. Soil erosion under different rainfall intensities, surface roughness, and soil water regimes. *Catena*, 46(2-3): 103-123.
51. Ruiz-Sinoga, J.D., A. Romero-Diaz, E. Ferre-Bueno and J.F. Martinez-Murillo. 2010. The role of soil surface conditions in regulating runoff and erosion processes on a metamorphic hillslope (Southern Spain) soil surface conditions, runoff and erosion in Southern Spain. *Catena*, 80: 131-139.
52. Sadeghi, S.H.R., L. Gholami, M. Homaei and A. Darvishan. 2015. Scale effect on runoff and soil loss control using rice straw mulch under laboratory conditions. *Solid Earth*, 6(2): 445.
53. Sharpley, A. and P. Kleinman. 2003. Effect of rainfall simulator and plot scale on overland flow and phosphorus transport. *J. Environ. Quality*, 32: 2172- 2179.
54. Smets, T., J. Poesen and E. Bochet. 2008. Impact of plot length on the effectiveness of different soil-surface covers in reducing runoff and soil loss by water. *Progress in Physical Geography*, 32(6): 654-677.
55. Thomaz, E.L. and L.R. Vestena. 2012. Measurement of runoff and soil loss from two differently sized plots in a subtropical environment (Brazil). *Earth Surface Processes and Landforms*, 37: 363-373.
56. Van de Giessen, N.C., T.J. Stomph, A.E. Ajayi and Z.F. Bagayoko. 2011. Scale effects in Hortonian surface runoff on agricultural slopes in West Africa: Field data and models. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 142: 95-101.
57. Yazdanpanah, A. and R. Motalebifard. 2016. The effects of poultry manure and potassium fertilizer on yield and nitrogen, phosphorus, potassium, zinc and copper uptake of potato. *Applied Soil Research*, 4(2): 60-71 (In Persian).

Effect of Change in Plot Size on Performance of Organic Manure on Changing Runoff and Soil Loss Components under Laboratory Conditions

Behzad Zareii¹, Leila Gholami², Ataollah Kavian³ and Kaka Shahedi⁴

1- Graduated M.Sc., Department of Watershed Management Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University,

2- Assistant Professor, Department of Watershed Management Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, (Corresponding Author: l.gholami@sanru.ac.ir)

3- Professor, Department of Watershed Management Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University

4- Associate Professor, Department of Watershed Management Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University

Revised: January 29, 2019

Accepted: August 10, 2019

Abstract

Changes in plot size can be determine its effects on parameters changes of runoff and soil loss. On the other hand, the generated runoff in eroded soils is one of the most important obstacles and challenges of human in conservation of water and soil resources and it is also a threat to well-being and life. One of the most important of controlled factors of surface runoff and increasing soil infiltration is the application of conditioners or amendment materials on soil. But it should be noted that the size change can also control the runoff and soil loss variations. Therefore, the present study was carried for the effect investigating of size change in laboratory plots in two sizes of 0.5×0.25 and 1×0.5 m² using application of organic manure with rates of zero (control treatment) and 62.5 and 125 g m⁻² (conservation treatment) on changing time to runoff, runoff coefficient, soil loss and sediment concentration. The obtained results showed that the plots with size of 0.5×0.25 m² and the application of organic manure with rate of 62.5 g m⁻² had the little effect on the increasing time to runoff compared to control treatment. But, time to runoff increased with increasing plot size and also rate of organic manure. The effect of plot size on parameters of runoff coefficient, soil loss and sediment concentration, organic manure on parameters of time to runoff, runoff coefficient and soil loss and interaction effect of size change and organic manure on parameter of soil loss was significant at level of 99 percent. Also, in plot with area of 1.0×0.5 m², the changes of time to runoff and runoff coefficient, soil loss and sediment concentration for organic manure with rate of 125 g m⁻² toward 62.5 g m⁻² were 72.83, 53.52, -212.27 and -142.92 2.12 percent, respectively. While, the changes of studied parameters for plot of 0.5×0.25 m² were 594.24, -212.63, 4.06 and 13.70 percent, respectively.

Keywords: Change of Plot Size, Control of Soil Erosion, Eroded Soil, Sediment Yield, Soil and Water Conservation



"مقاله پژوهشی"

بررسی ارتباط تغییرات آب‌های زیرزمینی و خشکسالی با استفاده از شاخص‌های SPI و GRI در دشت لردگان

سیدعبدالرضا موسوی سردشتی^۱، کریم سلیمانی^۲، فاطمه شکریان^۳ و سیدحسین روشن^۴

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آبخیزداری، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۲- استاد گروه مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۳- استادیار گروه مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری (نویسنده مسوول: f.shokrian@sanru.ac.ir)

۴- دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

تاریخ دریافت: ۹۷/۱۱/۲۷ تاریخ پذیرش: ۹۸/۸/۲۰

صفحه: ۶۵ تا ۷۴

چکیده

منابع آب زیرزمینی به عنوان یکی از مهم‌ترین منابع تأمین آب مورد نیاز برای بخش‌های کشاورزی، شرب و صنعت در کشورمان از اهمیت زیادی برخوردار است. فعالیت‌های کشاورزی سهم بسیار بالایی در برداشت از سفره‌های آب زیرزمینی را به خود اختصاص داده است، به طوری که امروزه با برداشت بی‌رویه از این منابع آبخوان‌ها دچار تغییرات کمی و کیفی شده‌اند. هدف این مطالعه بررسی اثر خشکسالی هواشناسی بر روی تغییرات آب زیرزمینی در دشت لردگان واقع در استان چهارمحال و بختیاری می‌باشد. به این منظور ابتدا داده‌های مربوط به آب‌های زیرزمینی (۲۰ حلقه چاه پیژومتري) و داده‌های مربوط به بارش (۷ ایستگاه باران‌سنجی) این دشت از شرکت آب منطقه‌ای استان تهیه گردید. سپس با استفاده از آزمون‌های ران تست و کلواموگروف-اسمیرنوف، همگنی و نرمال بودن داده‌ها بررسی شد. در ادامه به منظور برآورد شاخص بارش استاندارد (SPI) و شاخص منبع آب زیرزمینی (GRI) به ترتیب از نرم‌افزار DIP و فرمول نویسی در نرم‌افزار Excel استفاده گردید. نتایج این پژوهش نشان داد که شاخص منبع آب زیرزمینی (GRI) در اکثر سال‌ها در طبقه ملایم و متوسط بوده و کمتر شاهد خشکسالی‌های شدید و بسیار شدید هستیم. همچنین بر اساس شاخص بارندگی استاندارد شده (SPI) بیشتر خشکسالی‌ها نیز در طبقه ملایم و متوسط بوده است. بنابراین با توجه به دو شاخص SPI و GRI دشت مورد مطالعه خشکسالی هواشناسی و آب‌های زیرزمینی را تجربه کرده است. نقشه‌های مکانی خشکسالی هواشناسی و آب زیرزمینی به ترتیب نشان‌دهنده وقوع خشکسالی در قسمت‌های مرکزی و شرقی و همچنین شرق و شمال شرق دشت می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: استان چهارمحال و بختیاری، دشت لردگان، خشکسالی هواشناسی، شاخص منبع آب زیرزمینی، منابع آب زیرزمینی

مقدمه

می‌دهند، اهمیت شناخت و بهره‌برداری بهینه و کارآمد از این منابع بیش از پیش روشن است. وضعیت جوی و زمین ساختی مناطق خشک، ساکنان این مناطق را مجبور به افزایش بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی کرده است و اساس بسیاری از جوامع بشری بر آن استوار است و این منابع آبی از عوامل توسعه اقتصادی و اجتماعی مناطق خشک و نیمه خشک به حساب می‌آید (۱۵). آرینه و همکاران (۱۰) در مطالعه‌ای در منطقه نیمه خشک مدیترانه برای بررسی خشکسالی هواشناسی و کشاورزی از شاخص‌های خشکسالی SPI، SWI و SVI در بازه زمانی ۱۵ سال (۱۹۹۸-۲۰۱۲) استفاده کردند. آنها با اعتبارسنجی این شاخص‌ها دریافتند که شاخص‌های SWI و SVI برای سه فصل دارای همبستگی هستند و ارتباط بین SPI و SWI بیشتر از ارتباط بین SPI و SVI در فصل پاییز و زمستان است. همچنین نتایج اعتبارسنجی نشان می‌دهد که منطقه آسیب دیده از نظر خشکسالی بر اساس شاخص SWI با تولیدات غلات در این منطقه مرتبط است. اکرامی و همکاران (۹) ضمن بررسی دوره‌های متوالی خشکسالی هواشناسی و آب و زمین شناسی با استفاده از دو شاخص GRI و SPI در دشت یزد-اردکان، تأخیر زمانی بین رخداد خشکسالی هواشناسی و به دنبال آن خشکسالی آب و زمین شناسی را بررسی کردند. نتایج پژوهش آنها نشان دهنده

آب نقش مهمی در توسعه اجتماعی، اقتصادی و معیشت مردم دارد، به‌ویژه برای کشور ما که به دلیل قرار داشتن در ناحیه خشک و نیمه خشک، جزء کشورهایی است که مشکل کمبود منابع آب دارد. منابع آب زیرزمینی به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین منابع تأمین آب مورد نیاز برای بخش‌های شرب، کشاورزی و صنعت، از اهمیت فراوانی برخوردار است که با خطرات متفاوتی نظیر افت سطح، کاهش میزان تغذیه به سبب کاهش بارندگی و خطر آلودگی توسط آلاینده‌های طبیعی و غیرطبیعی مواجه است (۶). کمبود منابع آب، تجربه خشکسالی‌های اخیر، افزایش جمعیت، آلودگی‌ها و بهره برداری بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی باعث شده که نه تنها در زمینه کمیت بلکه در زمینه کیفیت هم اثرات منفی بسیار نگران‌کننده‌ی را ایجاد کند (۴). افزایش فعالیت‌های کشاورزی و صنعت باعث کاهش سطح آب‌های زیرزمینی و باعث بروز مشکلاتی مانند تغییر در کیفیت آب زیرزمینی، نشست زمین و افزایش هزینه‌های پمپاژ آب می‌باشد. مدیریت بهینه منابع آبی و حفظ و ارتقای کیفیت و کمیت آن‌ها نیازمند وجود داده‌هایی در زمینه موقعیت، مقدار و پراکنش آب در یک منطقه جغرافیایی معین می‌باشد (۱۶). با توجه به اینکه منابع آب زیرزمینی ۹۹ درصد از منابع آب‌های شیرین را تشکیل

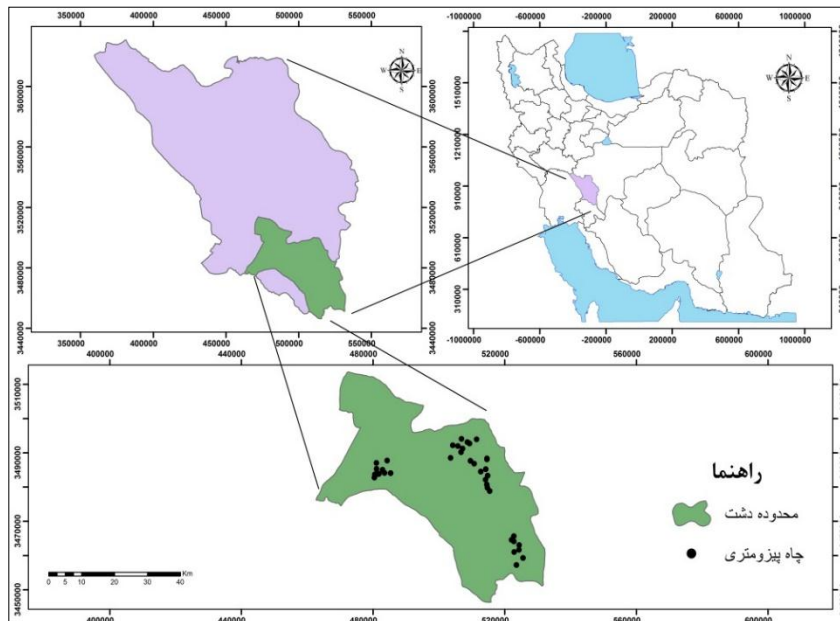
خشکسالی هواشناسی و تأثیر آن بر آبدهی قنوات دشتی و کوهپایه‌ای بوده است. عزیزی (۵) به بررسی ارتباط بین همچنین افزایش میزان SAR در چاه شماره ۴ به ۲۷/۲۱ رسید. به لحاظ درجه سدیمی آب آبیاری کیفیت بسیار عالی داشت. بویان و همکاران (۷) در پژوهش خود به نظارت و پایش خشکسالی با شاخص‌های SPI و SWI و به کمک RS در آراوالی هند پرداختند و نتایج این پژوهش با استفاده از نقشه‌ی خشکسالی با SWI نشان داد که موقعیت تنش سفره‌ها از مکانی به مکان دیگر متفاوت است و تغییرات از سمت شرق به غرب و بالعکس بوده است. ساگریس و همکاران (۲۷) به ارزیابی خصوصیات شدت، مدت و بزرگی خشکسالی در یونان با سه شاخص RDI، SPI و DI پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد RDI رفتاری مانند SPI و گستردگی کمتری نسبت به شاخص DI دارد. در کل شاخص RDI به عنوان شاخص کارآمدی در ارزیابی خشکسالی معرفی شد. مندیسنو و همکاران (۱۸) در پژوهش خود به بررسی پیش‌بینی خشکسالی در مناطق مدیترانه با استفاده از شاخص SPI و شاخص GRI^۲ برای نظارت این دو شاخص از نظر همبستگی بین تراز آب زیرزمینی و بارش در ماه‌های مختلف پرداختند نتایج نشان داد برای پیش‌بینی تراز آب زیرزمینی شاخص GRI نسبت به شاخص SPI مناسب‌تر بوده است. خان و همکاران (۱۲) با استفاده از شاخص بارش استاندارد SPI برای مطالعه اثرات خشکسالی و بارندگی روی تراز آب زیرزمینی در ۳ ناحیه زیر آبیاری در حوزه ماری‌دارلین استرالیا استفاده کردند که نتایج نشان داد، همبستگی زیادی بین شاخص SPI و تغییرات تراز آب زیرزمینی در منطقه وجود دارد و به واسطه آن می‌توان در استرالیا الگوی خشکسالی‌های اصلی را تعیین نمود. کیم و همکاران (۱۴) در پژوهش خود به ارزیابی شدت خشکسالی با استفاده از شاخص‌های EDI و SPI بر اساس داده‌های بیش از ۲۰۰ سال (۲۰۰۶-۱۸۰۷) در پایتخت کشور کره جنوبی پرداختند. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که EDI کارآمدتر از SPI در برآورد میزان خشکسالی کوتاه مدت و بلند مدت است. ژانگ و همکاران (۲۹) در پژوهشی با عنوان اثرات خشکسالی بر دریاچه پویانگ و یانگ تسه در حوزه پویانگ با استفاده از روش SPI و EOF^۳ در بازه زمانی ۲۰۰۹ تا ۱۹۵۶ پرداختند. نتایج بررسی‌ها نشان داد که خشکسالی‌های شدید در حوزه در طول ۶۰ سال گذشته باعث کاهش دبی ۵ شاخه‌ی پایین دست رودخانه به دریاچه پویانگ شده است و مدت خشکسالی‌های شدید در دریاچه پویانگ و یانگ تسه همزمان با آبیگری سد تریجورج علت اصلی کاهش حجم آب در حوزه دریاچه پویانگ بوده است. در شهرستان لردگان خشک شدن منابع آب زیرزمینی مانند چاه‌ها، چشمه‌ها و قنات‌ها، آب را در این شهرستان به یک بحران تبدیل کرده است بطوری‌که سطح آب‌های زیرزمینی در ۱۰ سال گذشته در این شهرستان ۱۵ متر افت کرده است. بر همین اساس با توجه به عوامل ذکر شده، هدف این پژوهش بررسی ارتباط تغییرات کیفیت و کمیت آب زیرزمینی و خشکسالی در دشت لردگان با استفاده از شاخص SPI و GRI می‌باشد.

شدت و تداوم خشکسالی‌ها بویژه خشکسالی آب و زمین شناسی در سال‌های اخیر و وجود تأخیر زمانی بین وقوع خشکسالی‌های اخیر و منابع آب زیرزمینی از داده‌های بارش و آب‌های زیرزمینی در دشت قزوین پرداخت. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که در آب‌های زیرزمینی با دو تا سه ماه تأخیر خشکسالی نسبت به خشکسالی‌های اقلیمی خود را نشان داده است. اکبری و همکاران (۳) افت سطح ایستایی آبخوان در دشت مشهد را با استفاده از GIS مورد مطالعه قرار دادند. نتایج پژوهش نشان داد که سطح ایستایی آب زیرزمینی در قسمت‌های مرکزی و غربی آبخوان به مقدار ۳۰ متر افت داشته است. عوامل کاهش آب زیرزمینی برداشت بی‌رویه، افزایش سطح زیرکشت، خشکسالی و افزایش جمعیت ذکر گردید. شکیبا و همکاران (۲۵) به بررسی اثر خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی در قسمت شرقی استان کرمانشاه با استفاده از شاخص SPI پرداختند. نتایج حاکی از آن بود که تمام ایستگاه‌های مورد استفاده در منطقه با خشکسالی روبرو شده بودند و از بین معیارهای مورد توجه شاخص SPI شاخص مناسب‌تری جهت نشان دادن وضعیت خشکسالی در بخش شرقی کرمانشاه و شاخص تقریباً مناسبی برای بررسی اثر خشکسالی بر منابع آبی زیرزمینی بود. محمدی و همکاران (۲۰) به بررسی توزیع مکانی خشکسالی با دو شاخص استاندارد بارش SPI و SWI در دشت اراک پرداختند و نتایج نشان داد که خشکسالی در مناطق شرق و خشکسالی آب‌های زیرزمینی در غرب منطقه اتفاق افتاده و نیز خشکسالی هواشناسی دارای روند مشخص نبوده در صورتی که خشکسالی آب‌های زیرزمینی در بعضی نواحی با تنش بارشی و یا به فعالیت‌های انسانی وابسته بوده است. بهشتی راد (۶) در پژوهش خود با عنوان پیش‌بینی خشکسالی با استفاده از شاخص DI و پهنه‌بندی با روش‌های زمین‌آمار در استان کرمان پرداخت. نتایج این پژوهش نشان داد که شدیدترین خشکسالی‌ها بر اساس شاخص دهک‌ها در سال‌های ۷۹ و ۷۸ رخ داد و در تعیین وضعیت خشکسالی منطقه شاخص دهک‌ها کارایی بالایی داشت. روشن و حبیب‌نژاد روشن (۲۴) در ناحیه دشت ساری به نکا با به کارگیری شاخص‌های سطح آب استاندارد SWI و منبع آب زیرزمینی GRI به بررسی تغییرات مکانی و زمانی خشکسالی آب‌های زیرزمینی پرداختند. نتایج نشان داد که در شاخص GRI شدیدترین مقدار خشکسالی مربوط به بازه‌ی زمانی ۳ ماهه در شهریور ماه ۱۳۹۴ که مقدارش ۳/۹۳- و در شاخص SWI مهرماه ۱۳۹۴ با مقدار ۴/۸۶ بود. به لحاظ تغییرات مکانی خشکسالی در قسمت‌های شمالی رخ داده که مربوط به مرداد ۱۳۸۴ بوده است. براساس نقشه‌های پهنه‌بندی مرداد ماه بیشترین مقدار و بهمن ماه کمترین میزان پهنه خشکسالی را دارا بودند، که عامل آن برداشت افراطی از ذخایر آب زیرزمینی می‌باشد. قره محمودلو و همکاران (۱۱) به بررسی پهنه‌بندی بعضی از پارامترهای کیفیت آب زیرزمینی در جهت مصارف کشاورزی در دشت سیدان فاروق پرداختند و ۱۲ حلقه چاه را مورد آنالیز شیمیایی قرار دادند. نتایج به این صورت بود که در اکثر دشت، به لحاظ کشاورزی آب دارای شوری اندک و کیفیت مطلوبی می‌باشد.

مواد و روش‌ها منطقه مورد مطالعه

شهرستان لردگان با مساحت ۳۴۲۰ کیلومتر مربع معادل ۸/۲۰ درصد از وسعت استان چهارمحال و بختیاری را شامل می‌شود و از نظر موقعیت جغرافیایی این منطقه در طول شرقی ۴۹° ۵۵' تا ۳۴° ۵۰' و عرض شمالی ۳۰° ۵۵' تا ۲۶° ۳۱' قرار گرفته است. این منطقه با ارتفاع متوسط ۱۷۰۰ متر از سطح آزاد دریا در رشته کوه زاگرس قرار دارد و از لحاظ

توپوگرافی قسمت‌های شمالی این منطقه با ارتفاع کمتر از ۲۰۰۰ متر می‌باشد و مناطق مرتفع آن بیش از ۳۰۰۰ متر در جهت شمال غربی - جنوب شرقی است. شکل (۱) موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. میانگین دمای سالانه شهرستان ۱۵ درجه سانتی‌گراد و متوسط بارندگی سالانه ۵۵۰ میلی‌متر است و در روش طبقه‌بندی اقلیمی دماترن نوع اقلیم لردگان نیمه مرطوب معتدل با زمستان‌های نیمه سرد است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در استان چهارمحال و بختیاری و کشور ایران

Figure 1. Geographical location of the case study in Chaharmahal and Bakhtiari province and Iran country

اساس بهترین و جامع‌ترین روش میانبایی انتخاب و با به کارگیری سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، نقشه‌های پهنه‌بندی خشکسالی هیدرولوژیکی و هواشناسی ترسیم گردید. شاخص منبع آب زیرزمینی

در سال ۲۰۰۸ شاخص GRI با ویژگی‌های انعطاف‌پذیر و دارای اعتماد برای پایش، پیش‌بینی وضعیت خشکسالی و مدل‌سازی برای منطقه مدیترانه توسط مندسینو و همکاران ارائه شد. از قابلیت مهم این شاخص همبستگی بالا با متوسط رواناب در بعضی از رودخانه‌های حوضه برای پیش‌بینی خشکسالی‌های رخ داده در فصل تابستان می‌باشد. برای محاسبه این شاخص از رابطه‌ی ذیل بهره گرفته می‌شود (۱۸). رابطه (۱):

$$GRI_{y,m} = \frac{D_{y,m} - \mu_{D,m}}{\sigma_{D,m}}$$

$GRI_{y,m}$: ارزش شاخص در ماه m از سال y : $D_{y,m}$ ارزش سطح ایستابی در ماه m از سال y : $\mu_{D,m}$ میانگین داده‌های سطح ایستابی ماه m برای D سال، $\sigma_{D,m}$ انحراف معیار داده‌های سطح ایستابی ماه m برای D سال

برای بررسی خشکسالی هواشناسی از داده‌های بارش مربوط به ۷ ایستگاه باران‌سنجی در طول دوره‌ی آماری مشترک ۱۳۷۹-۱۳۹۵ و برای بررسی خشکسالی هیدرولوژیکی از داده‌های مربوط به ۲۰ حلقه چاه پیزومتری در مقیاس زمانی ماهانه، سالانه در طول دوره‌ی آماری مشترک ۱۳۹۴-۱۳۷۱ استفاده شد. همچنین برای بررسی خشکسالی آب زیرزمینی از ۹ مقیاس زمانی ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه و سالانه استفاده شد و ضرایب شاخص منابع آب زیرزمینی با استفاده از نرم‌افزار Excel تعیین شد. به‌منظور آزمون همگنی داده‌ها و رفع نواقص آماری از آزمون ران تست و آزمون کلموگروف-اسمیرنوف در محیط نرم‌افزار SPSS استفاده شد. در ادامه از نرم‌افزار DIP برای برآورد شاخص بارش استاندارد (SPI) استفاده گردید. شاخص منبع آب زیرزمینی (GRI) نیز با استفاده از فرمول نویسی در نرم‌افزار Excel محاسبه شد. همچنین برای پهنه‌بندی خشکسالی هیدرولوژیکی و هواشناسی در ابتدا نرمال‌سازی داده‌ها صورت گرفت و سپس با روش میان‌یابی وزنی فاصله معکوس (IDW) و کریجینگ درون‌یابی پارامترها انجام شد. برای ارزیابی روش‌ها از آزمون ارزیابی متقابل استفاده شد. بر این

جدول ۱- طبقه‌بندی حالت‌های خشکسالی هیدرولوژیک به روش شاخص GRI (۱۸)

Table 1. Hydrological drought states classification by GRI index method

مقادیر شاخص	طبقات خشکسالی
> ۰	بدون خشکسالی
۰ تا -۰/۹۹	خشکسالی ملایم
-۱ تا -۱/۴۹	خشکسالی متوسط
-۱/۵ تا -۱/۹۹	خشکسالی شدید
≤ -۲	خشکسالی بسیار شدید

شاخص بارش استاندارد^۱

گاما کمک گرفته می‌شود. SPI اگر مثبت باشد نشان دهنده آن است که بارندگی از بارش متوسط بیشتر و اگر منفی باشد عکس آن می‌باشد. همانطور که گفته شد خشکسالی هنگامی رخ می‌دهد که SPI به طور مداوم منفی و مقدارش -۱ یا کمتر باشد و زمانی تمام می‌شود که SPI مثبت شود. رابطه (۲):

شاخص SPI توسط مکی و همکاران (۱۷) در دانشگاه ایالتی کلرادو تدوین و ثبت شد. پایه‌ی آن احتمالات بارندگی برای مقیاس‌های زمانی مختلف است. محاسبه این شاخص در هر منطقه برحسب بارندگی‌های طولانی مدت صورت می‌گیرد. در ابتدای کار توزیع آماری مناسب، بر روی داده‌های طولانی مدت بارندگی برازش داده می‌شود بعد از آن تابع تجمعی توزیع با بکارگیری احتمالات مساوی به توزیع نرمال تبدیل می‌شود. بدین گونه مقادیر استاندارد شده و متوسط آن برای هر منطقه و دوره صفر شده و در این صورت از توزیع

$$SPI = \frac{X_{i,j} - X_{i,m}}{\sigma}$$

$X_{i,j}$ بارندگی ماه j در ایستگاه i ، $X_{i,m}$ میانگین ۳۰ ساله بارندگی ماه‌های سال و σ انحراف معیار می باشد.

جدول ۲- طبقه‌بندی حالت‌های خشکسالی هواشناسی به روش شاخص SPI (۲۳)

Table 2. meteorological drought states classification by SPI index method

وضعیت خشکسالی	محدوده	حالت
خیلی خیلی مرطوب	$SPI \leq 2$	۰
خیلی مرطوب	$1/5 \leq SPI < 2$	۱
مرطوب متوسط	$1 \leq SPI < 1/5$	۲
نزدیک به نرمال	$-1 \leq SPI < 1$	۳
خشکسالی متوسط	$-1/5 \leq SPI < -1$	۴
خیلی خشک	$-2 \leq SPI < -1/5$	۵
خیلی خیلی خشک	$SPI < -2$	۶

نتایج و بحث

تحلیل خشکسالی آب زیرزمینی با استفاده از شاخص GRI

مختلف است. بدین صورت در مقیاس‌های زمانی مختلف ۱۲، ۳، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه و سالانه شاخص GRI دارای بیشترین مقدار در چاه شن‌شویی بوده و در مقیاس زمانی ۳ ماهه بیشترین مقدار در چاه شن‌شویی بوده است.

برای بررسی خشکسالی آب زیرزمینی از ۹ مقیاس زمانی ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه و سالانه استفاده شد. مقیاس‌ها، نشان‌دهنده تفاوت شدت خشکسالی در چاه‌های

جدول ۳- شدیدترین مقادیر GRI در چاه‌های مورد مطالعه

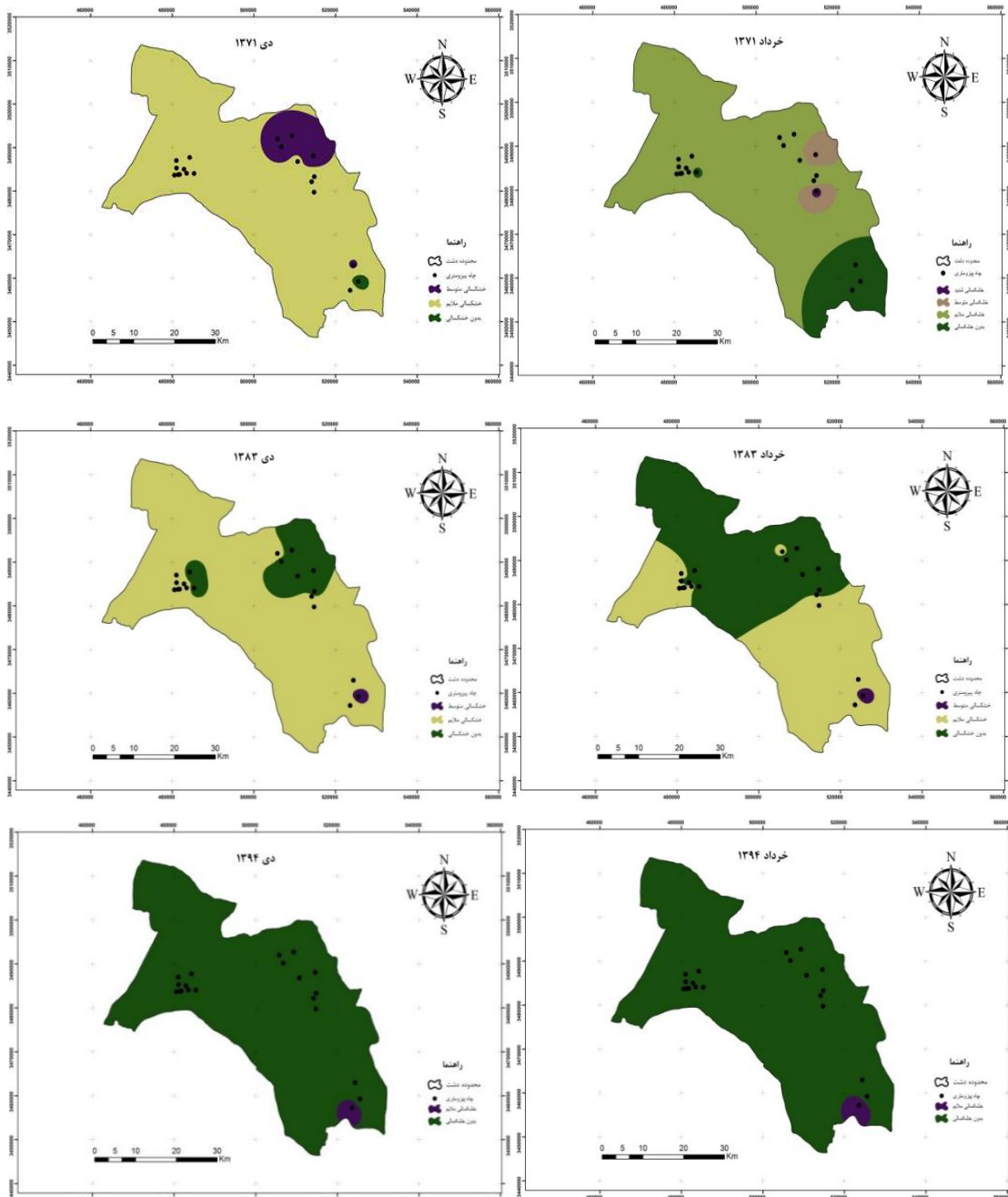
Table 3. The most severe GRI values in studied wells

نام چاه	مقیاس زمانی						
	۳ ماهه	۶ ماهه	۹ ماهه	۱۲ ماهه	۱۸ ماهه	۲۴ ماهه	۴۸ ماهه سالانه
	(ماه، سال)	(ماه، سال)	(ماه، سال)	(ماه، سال)	(ماه، سال)	(ماه، سال)	(سال)
ابواسحاق	-۳/۳ (مهر ۱۳۸۵)	-۲/۸۷ (دی ۱۳۸۵)	-۲/۶۷ (خرداد ۱۳۸۶)	-۲/۸۱ (تیر ۱۳۸۶)	-۲/۷۲ (تیر ۱۳۸۶)	-۲/۶۳ (آبان ۱۳۸۶)	-۲/۴۵ (آذر ۱۳۸۶)
آلونی	-۱/۸۹ (مرداد ۱۳۷۲)	-۱/۷۹ (آبان ۱۳۷۲)	-۱/۷۲ (دی ۱۳۷۲)	-۱/۶۶ (دی ۱۳۷۲)	-۱/۵۳ (اسفند ۱۳۷۲)	-۱/۴۶ (فروردین ۱۳۷۳)	-۱/۳۶ (مرداد ۱۳۷۴)
بابا احمد	-۲/۱۷ (دی ۱۳۷۲)	-۲/۰۶ (اسفند ۱۳۷۲)	-۲ (بهمن ۱۳۷۲)	-۱/۹۴ (بهمن ۱۳۷۲)	-۱/۹۳ (اسفند ۱۳۷۲)	-۱/۸ (اسفند ۱۳۷۲)	-۱/۴۷ (تیر ۱۳۷۵)
برآفتاب	-۲/۸ (اسفند ۱۳۷۸)	-۲/۴۸ (فروردین ۱۳۷۹)	-۱/۹۹ (آبان ۱۳۷۲)	-۲/۰۶ (خرداد ۱۳۷۲)	-۱/۹۶ (شهریور ۱۳۷۲)	-۱/۸۱ (بهمن ۱۳۷۲)	-۱/۵۷ (مهر ۱۳۸۶)
برجویی	-۲/۳۱ (خرداد ۱۳۷۲)	-۲/۱۸ (مرداد ۱۳۷۲)	-۲ (آبان ۱۳۷۲)	-۱/۹۱ (بهمن ۱۳۷۲)	-۱/۷ (فروردین ۱۳۷۳)	-۱/۵۸ (فروردین ۱۳۷۳)	-۱/۲۲ (مرداد ۱۳۷۴)
ده علی ده رشید	-۱/۷۵ (تیر ۱۳۷۲)	-۱/۷۲ (مهر ۱۳۷۲)	(دی ۱۳۷۲)	-۱/۷ (اسفند ۱۳۷۲)	-۱/۶۱ (تیر ۱۳۷۳)	-۱/۶ (بهمن ۱۳۷۳)	-۱/۵۹ (دی ۱۳۷۵)
نزدیک گاوداری	-۱/۹۴ (آبان ۱۳۷۲)	-۱/۹۱ (دی ۱۳۷۲)	-۱/۸۷ (دی ۱۳۷۲)	-۱/۸۶ (بهمن ۱۳۷۲)	-۱/۶۸ (تیر ۱۳۷۳)	-۱/۶۴ (بهمن ۱۳۷۳)	-۱/۵۲ (دی ۱۳۷۵)
جاده ده ترکان	-۲/۲۸ (دی ۱۳۷۲)	-۲/۲۸ (آذر ۱۳۷۲)	-۲/۲۷ (بهمن ۱۳۷۲)	-۲/۲۲ (بهمن ۱۳۷۲)	-۲/۰۲ (تیر ۱۳۷۳)	-۱/۷۷ (مرداد ۱۳۷۳)	-۱/۴۵ (خرداد ۱۳۷۵)
خسروآباد	-۲/۸۴ (آبان ۱۳۷۲)	-۲/۶۷ (آذر ۱۳۷۲)	-۲/۴۷ (آذر ۱۳۷۲)	-۲/۲۵ (اسفند ۱۳۷۲)	-۱/۹۴ (بهمن ۱۳۸۶)	-۱/۹۴ (دی ۱۳۸۶)	-۱/۶۸ (اسفند ۱۳۷۵)
هلو ده صحرا	-۱/۶۳ (بهمن ۱۳۷۳)	-۱/۳۵ (بهمن ۱۳۶۶)	-۱/۳ (فروردین ۱۳۶۷)	-۱/۲۴ (خرداد ۱۳۶۷)	-۱/۲۸ (بهمن ۱۳۶۶)	-۱/۲۶ (مرداد ۱۳۶۷)	-۱/۲۵ (خرداد ۱۳۶۹)
مردان	-۱/۴۳ (مهر ۱۳۷۱)	-۱/۳۶ (آبان ۱۳۷۲)	-۱/۳۴ (دی ۱۳۷۲)	-۱/۳۱ (بهمن ۱۳۷۲)	-۱/۳ (دی ۱۳۷۲)	-۱/۲۶ (اردیبهشت ۱۳۷۳)	-۱/۱۱ (فروردین ۱۳۷۵)
نادری	-۲/۵۳ (دی ۱۳۷۲)	-۲/۴۶ (بهمن ۱۳۷۲)	-۲/۴ (بهمن ۱۳۷۲)	-۲/۳۴ (بهمن ۱۳۷۲)	-۲/۱۲ (تیر ۱۳۷۳)	-۱/۹ (دی ۱۳۷۳)	-۱/۵۷ (بهمن ۱۳۷۵)
شمال لردگان	-۱/۹ (تیر ۱۳۷۲)	-۱/۸۳ (مهر ۱۳۷۲)	-۱/۸۵ (دی ۱۳۷۲)	-۱/۸۱ (بهمن ۱۳۷۲)	-۱/۶۹ (آذر ۱۳۷۴)	-۱/۷۱ (بهمن ۱۳۷۳)	-۱/۶۶ (دی ۱۳۷۵)
مشاهده ای لردگان	-۲/۵۴ (مهر ۱۳۷۲)	-۲/۴۶ (آذر ۱۳۷۲)	-۲/۳۵ (آذر ۱۳۷۲)	-۲/۲۷ (بهمن ۱۳۷۲)	-۲/۰۱ (مرداد ۱۳۷۳)	-۱/۹۱ (بهمن ۱۳۷۳)	-۱/۶ (شهریور ۱۳۷۵)
قرح	-۲/۷۶ (بهمن ۱۳۷۲)	-۲/۱۳ (اسفند ۱۳۷۲)	-۲/۱۸ (اسفند ۱۳۹۱)	-۲/۰۶ (شهریور ۱۳۹۳)	-۱/۹۵ (آبان ۱۳۹۲)	-۲/۰۱ (شهریور ۱۳۹۳)	-۲/۰۱ (خرداد ۱۳۹۵)
سلح چین	-۱/۸ (شهریور ۱۳۷۲)	-۱/۷۸ (آبان ۱۳۷۲)	-۱/۷۸ (بهمن ۱۳۷۲)	-۱/۷۴ (اسفند ۱۳۷۲)	-۱/۶۳ (مرداد ۱۳۷۳)	-۱/۵۱ (آذر ۱۳۷۳)	-۱/۳۱ (اردیبهشت ۱۳۷۵)
سه راهی میلادس	-۲/۳۹ (مهر ۱۳۷۲)	-۲/۳۱ (آذر ۱۳۷۲)	-۲/۲۴ (آذر ۱۳۷۲)	-۲/۱۶ (اسفند ۱۳۷۲)	-۱/۸۸ (تیر ۱۳۷۳)	-۱/۶۸ (مهر ۱۳۷۳)	-۱/۳۸ (مهر ۱۳۷۵)
شن شویی	-۳/۶۲ (دی ۱۳۷۲)	-۳/۵۲ (بهمن ۱۳۷۲)	-۳/۴ (اسفند ۱۳۷۲)	-۳/۲ (اردیبهشت ۱۳۷۳)	-۲/۸۷ (مهر ۱۳۷۳)	-۲/۶۲ (فروردین ۱۳۷۴)	-۲/۳۹ (آبان ۱۳۷۵)
شش بهره	-۲/۲۶ (اردیبهشت ۱۳۷۲)	-۱/۸۵ (مرداد ۱۳۷۲)	-۱/۸۳ (آبان ۱۳۷۲)	-۱/۶۷ (دی ۱۳۷۲)	-۱/۵۲ (تیر ۱۳۷۳)	-۱/۵۴ (دی ۱۳۷۳)	-۱/۵ (آبان ۱۳۷۵)
تل ماران	-۲/۱۹ (شهریور ۱۳۷۲)	-۲/۱۴ (آبان ۱۳۷۲)	-۲/۰۶ (آذر ۱۳۷۲)	-۱/۹۳ (بهمن ۱۳۷۲)	-۱/۷ (بهمن ۱۳۷۲)	-۱/۵۳ (خرداد ۱۳۷۳)	-۱/۲۷ (شهریور ۱۳۷۵)

رسم گردید. در ابتدای دوره‌ی آماری (۱۳۷۱) خشکسالی شدید و متوسط در بخش شرق و شمال شرق دشت دیده شد در دوره‌ی میانی (۱۳۸۳) خشکسالی شدید در منطقه وجود نداشت فقط بخش کوچکی نزدیک به چاه ابواسحاق دارای خشکسالی متوسط می‌باشد و در انتهای دوره‌ی آماری (۱۳۹۴) خشکسالی شدید و متوسط در منطقه دیده نمی‌شود. گستره شدت خشکسالی در دوره‌ها و سال‌های مشخص شده در شکل (۲) ارائه شد.

توزیع مکانی خشکسالی آب زیرزمینی با استفاده از شاخص GRI در محیط ArcGIS

پهنه‌بندی خشکسالی آب زیرزمینی با به کارگیری شاخص GRI و همچنین با توجه به کمترین ضریب خطا از طریق وزن‌دهی عکس فاصله (IDW) استفاده شد. برای اجرا از داده‌های مقیاس ۱۲ ماهه شاخص GRI در مقیاس‌های زمانی خرداد و دی ماه سال‌های ۱۳۷۱، ۱۳۸۳، ۱۳۹۴ استفاده شد. داده‌ها به محیط ArcGIS وارد شد سپس نقشه‌های پهنه‌بندی



شکل ۲- توزیع مکانی خشکسالی آب زیرزمینی با استفاده از شاخص GRI
 Figure 2. Spatial distribution of groundwater droughts using GRI index

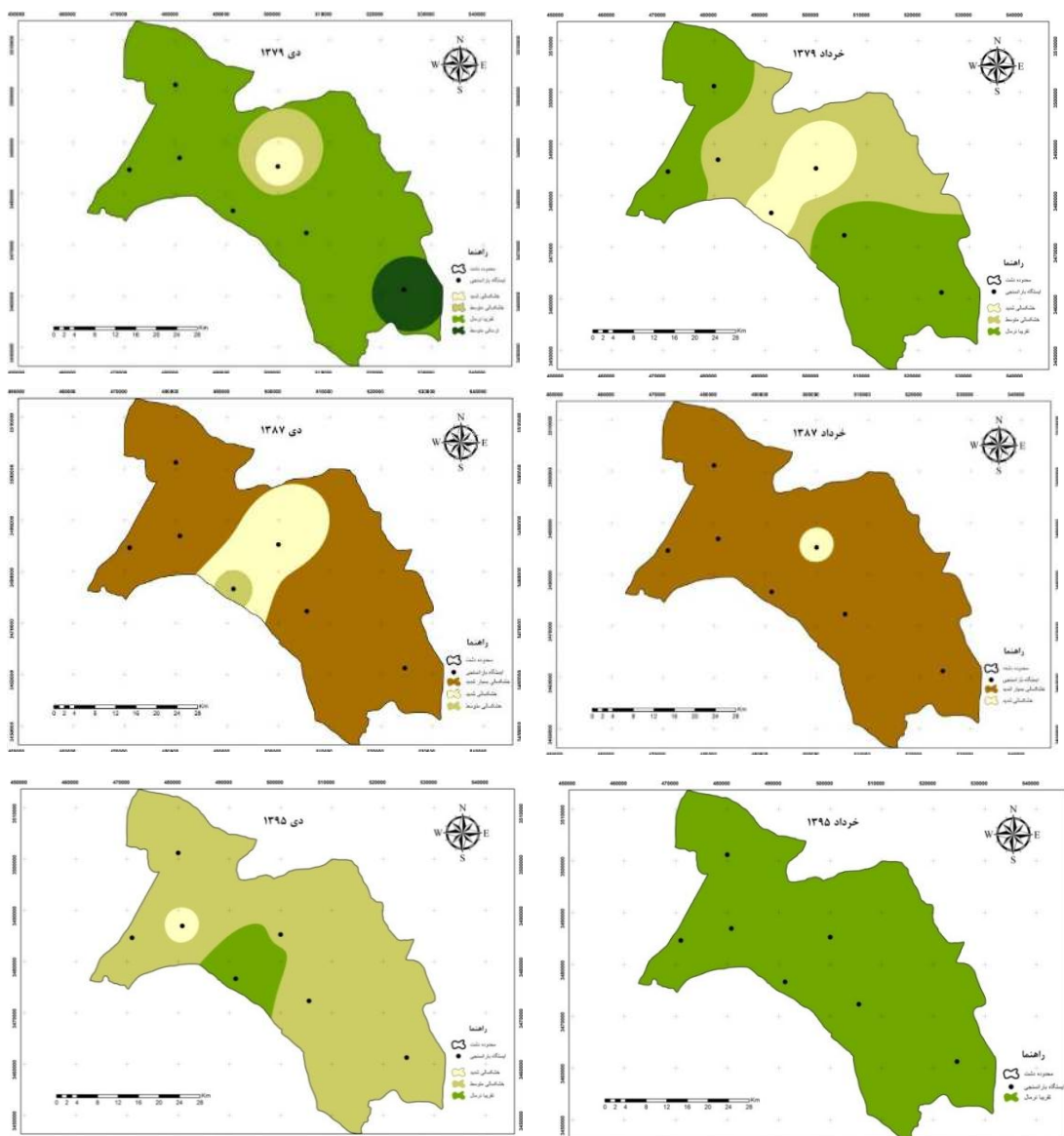
استفاده قرار گرفت و از شاخص SPI در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه استفاده شد. ماه‌های خرداد و دی سال‌های ۱۳۷۹، ۱۳۸۷ و ۱۳۹۵ به عنوان ماه‌ها و سال‌های مورد نظر برای پهنه‌بندی انتخاب شدند.

توزیع مکانی خشکسالی هواشناسی با استفاده از شاخص SPI در منطقه مورد مطالعه
 با توجه به جدول (۴) روش‌های kriging و IDW برای پهنه‌بندی خشکسالی هواشناسی با هم مقایسه شدند و روش IDW به دلیل ضریب خطای کمتر ME^1 و $RMSE^2$ مورد

جدول ۴- ضریب خطا ME و RMSE در روش‌های kriging و IDW برای شاخص SPI

Table 4. ME and RMSE error coefficient in kriging and IDW methods using SPI index

۱۳۹۵		۱۳۸۷		۱۳۷۹		ضریب	روش پهنه‌بندی
دی	خرداد	دی	خرداد	دی	خرداد		
۰/۶۵	۰/۵۴	۱/۱۹	۰/۶۸	۰/۴۶	۰/۲۸	ME	kriging
۱/۰۳	۰/۸۶	۱/۴۱	۱/۳۹	۰/۶۹	۱/۹۳	RMSE	
۰/۴۱	۰/۰۳۴	۰/۳۵	۰/۰۸۷	۰/۲۲	۰/۱۴	ME	IDW
۰/۸۱	۰/۰۷۲	۱/۱۶	۰/۷۳	۰/۳۸	۱/۲۱	RMSE	



شکل ۳- توزیع مکانی خشکسالی هواشناسی با استفاده از شاخص SPI
 Figure 3. Spatial distribution of meteorological droughts using SPI Index

با طبقه‌بندی شدید را تجربه کردند. بر اساس نتایج حاصل شده از شاخص SPI اکثر خشکسالی از طبقه ملایم و متوسط بوده و کمتر شاهد خشکسالی شدید و بسیار شدید بودیم که با مطالعات (۲۵، ۵) مطابقت دارد. ایستگاه دهنوگرگ الله با ۱۰ مرتبه خشکسالی بسیار شدید بیشترین مرتبه را در بین دیگر ایستگاه‌ها دارا می‌باشد. با تعیین بزرگی خشکسالی با استفاده از دو شاخص GRI و SPI، چاه‌های پیرومتری و ایستگاه‌های هواشناسی اکثراً با رخداد بزرگی خشکسالی روبه‌رو شدند که با نتایج (۱، ۲۵) مطابقت دارد. در جدول ۳ مشاهده می‌شود که چاه شمال لردگان با مقدار $۸۶/۷۱$ بیشترین بزرگی خشکسالی مربوط به شاخص GRI و همچنین ایستگاه سردشت با مقدار $۴۲/۶۹$ بیشترین مقادیر را از نظر بزرگی در بین ایستگاه‌های دیگر دارا می‌باشد. نتایج مربوط به بررسی شاخص‌های GRI و SPI نشان‌دهنده‌ی این دستاورد است که عمده چاه‌ها و ایستگاه‌ها خشکسالی را تجربه کردند که با نتایج (۱، ۲۳، ۲۵) مطابقت دارد. جهت بررسی نظم زمانی در رابطه با خشکسالی هیدرولوژیک و هواشناسی بین شاخص‌های GRI و SPI همبستگی گرفته شد. بیشترین همبستگی مربوط به دوره زمانی ۳ ماهه بوده که با نتایج (۱۹) مطابقت داشت و با نتایج (۲۲، ۱) مغایرت دارد. همچنین (۲۲، ۱) در یافته‌های خود مقیاس ۹ و ۱۲ ماهه را به عنوان بیشترین همبستگی به دست آوردند. می‌توان دلیل مغایرت این پژوهش با نتایج آن‌ها را تفاوت در شرایط پوشش گیاهی، زمین‌شناسی، آب و هوا و ویژگی خاک منطقه بیان کرد. براساس نتایج حاصل شده از پهنه‌بندی شاخص GRI با استفاده از روش IDW (شکل ۲) در ابتدای دوره‌ی آماری (۱۳۷۱) خشکسالی شدید و متوسط در بخش شرق و شمال شرق، در دوره‌ی میانی (۱۳۸۳) نزدیک به چاه ابواسحاق خشکسالی متوسط (قسمت جنوبی دشت) و در انتهای دوره‌ی آماری (۱۳۹۴) خشکسالی شدید و متوسط در منطقه رخ نداد که با نتایج احمدی (۲) مطابقت دارد. براساس نتایج حاصل شده از پهنه‌بندی شاخص SPI با استفاده از روش IDW (شکل ۳) در ابتدای دوره‌ی آماری خشکسالی شدید و متوسط در قسمت‌های شرقی و مرکزی بروز پیدا کرده و در پی آن به کل منطقه گسترش یافته است و در نهایت به قسمت شمال غربی رسید که با نتایج (۱۳) مطابقت دارد.

در سال ۱۳۷۹ چیزی که مشخص گردید طبقه تقریباً نرمال بود اما در بخش میانی دشت (قسمت بردبر و قسمت سردشت) دارای خشکسالی شدید، در بخش لردگان خشکسالی متوسط و در قسمت مالخلیفه ترسالی متوسط دیده شد. در سال ۱۳۸۷ دشت مورد مطالعه در بخش‌های وسیعی دچار خشکسالی بسیار شدید شد و در قسمت میانی دشت (بردبر) نیز خشکسالی شدید و در محدوده سردشت خشکسالی متوسط قابل مشاهده می‌باشد. در خرداد ماه سال ۱۳۹۵ کل دشت دارای خشکسالی تقریباً نرمال بود اما در دی ماه ۱۳۹۵ بخش لردگان دچار خشکسالی شدید و بخش (سردشت) دارای شرایط خشکسالی نرمال بود و بقیه‌ی دشت نیز خشکسالی متوسط را نشان می‌دهد. همانطور که در نقشه‌های گستره‌ی شدت خشکسالی مشاهده شد دشت مورد مطالعه طی دوره‌ی آماری انواع خشکسالی‌ها را تجربه کرد که در ابتدای دوره (سال ۱۳۷۹) خشکسالی در قسمت‌های میانی دشت گسترش پیدا کرد و به مرور در قسمت‌های دیگر پدیدار شد و در اواسط دوره (سال ۱۳۸۷) اکثر دشت دچار خشکسالی بسیار شدید شد و در انتهای دوره‌ی آماری (سال ۱۳۹۵) از شدت خشکسالی کاسته شد و در مدتی که مشخص است (خرداد ۹۵) دشت کاملاً نزدیک به نرمال بود و بعد از آن دچار خشکسالی متوسط شد. شکل (۳).

نتایج و بحث

در این پژوهش به منظور بررسی خشکسالی هواشناسی از ۷ ایستگاه باران‌سنجی دارای دوره‌های بارندگی ماهانه جهت برآورد شاخص SPI و برای بررسی خشکسالی هیدرولوژیکی از داده‌های تراز ۲۰ حلقه چاه به صورت ماهانه جهت برآورد شاخص GRI استفاده گردید. براساس نتایج حاصل از شاخص GRI اکثر خشکسالی‌ها در طبقه ملایم و متوسط بوده و کمتر شاهد خشکسالی شدید و بسیار شدید بودیم که این بخش از نتایج با مطالعات (۲۸، ۱۸، ۱) مطابقت دارد. بر اساس جدول ۳ مشاهده شد که در چاه‌های ابواسحاق، برآفتاب، جاده ده ترکان، خسروآباد، چاه نادری، مشاهده‌ای لردگان، قرح، سه‌راهی میلاس، شن‌شویی خشکسالی با طبقه بسیار شدید رخ داده و به جز چاه هلو ده صحرا و مرادان بقیه چاه‌ها خشکسالی

منابع

1. Aghchekandi, A., K. Solaimani, M. Habibnejad and K. Shahedi. 2016. Investigation of Groundwater drought using GRI index in downstream of Haraz watershed in Mazanaran province. 2nd International Congress on the Development of Agricultural Sciences and Natural Resources. Farhangian University, Gorgan. 1-10 pp (In Persian).
2. Ahmadi Akhoorme, M., A. Nohegar, M. Soleimani Motlagh and M. Taie Semiromi. 2015. Groundwater drought investigating using SWI and GRI Indices (Case Study: Marvdasht Kharameh Aquifer). Iranian irrigation and water engineering, 6(21): 105-118 (In Persian).
3. Akbari, M. M.R. Jarge and H. Madani Sadat. 2009. Assessment of decreasing of groundwater-table using Geographic Information System (GIS) (Case study: Mashhad Plain Aquifer). Journal of Water and Soil Conservation, 16(4): 63-78 (In Persian).
4. Askari, M., A. Mosaedi, A.A. Dehghani and M. Meftah halghi. 2009. Application of geostatistics and GIS analysis, in study of groundwater quality spatial variability, case study: Qazvin Plain. First International Conference on Water Resources Management, Industrial University of Shahrood. Shahrood. 1-6 pp (In Persian).
5. Azizi, Gh. 2003. The relationship between recent droughts and groundwater resources in Qazvin plain. Geographic Research Journal, 46: 131-143 (In Persian).
6. Beheshtirad, M. 2014. Drought monitoring in Kerman province using DI index and its zoning with statistical methods. Journal Management System, 16: 149-158 (In Persian).

7. Bhuiyan, C. 2004. Various Drought indices for monitoring drought condition in aravalli terrain of india. Proceedings of the XXth ISPRS Conference, 907-912 pp., Istanbul.
8. Choi, M., M.J. Jacobs, M.C. Anderson and D.D. Bosch. 2013. Evaluation of drought indices via remotely sensed data with hydrological variables. Journal of Hydrology, 465: 265-273.
9. Ekrami, M. Z.A Sharifi, H. Malekinezhad and M.R Ekhtesasi. 2011. Investigating the groundwater quality and quantity variations trend case study: Yazd-Ardakan Plain, 2000_s. Health Sunrise, 10(3-4): 82-91 (In Persian).
10. Ezzine, H., A. Bouziane and D. Ouazar. 2014. Seasonal comparisons of meteorological and agricultural drought indices in Morocco using open short time-series data. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 26: 36-48.
11. Ghremohammadloo, M and A. Zare. 2018. Study of Groundwater Quality of Saydan Farooq Plain for Agricultural Use. 2st National Conference on Knowledge and Technology of Agricultural Sciences, Natural Resources and Environment of Iran. Institute for the Development of Knowledge and Technology Iranian Sam. Tehran. 1-9 pp (In Persian).
12. Khan, S., H.F. Gabriele and T. Rana. 2008. Standard precipitation index to track drought and assess impact of rainfall on water tables in irrigation areas. Irrigation Drainage System, 22(2): 159-177.
13. Kiakianian, M., H. Hajimohammadi and F. Rasooli. 2014. Monitoring and zoning of drought condition in Kashan using standardized Precipitation Index (SPI). 1st National Conference on Sustainable Management of Soil and Environmental Resources, Shahid Bahonar University, Kerman. 1-9 pp (In Persian).
14. Kim, D.W., H.R Byun and K. Seonchoi. 2009. Evaluation, Modification and application of the effective drought index to 200- year drought climatology of seoul, korea. Journal of Hydrology, 37 (1-2): 1-12
15. Mahdavi, R., J. Abedi Koupaee, M. Rezaee and M. Abdolhasani. Site selection for artificial feeding of groundwater using GIS and RS. 2004. 2nd Students Conference on Soil and Water Resources. Shiraz University. Iran. 1-11 pp (In Persian).
16. Masoudi, M. and S. Barzegar. 2004. Assessment and Mapping of Qualitative and Quantitative Severity Degradation of Groundwater Resources using the Modified IMDPA Desertification Model and GIS. A Case Study: Firuz-abad Plain of Fars province. Iran irrigation and water engineering, 5(20): 86-95 (In Persian).
17. Mckee, T.B., N.J. Doesken and J. Kleist. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. 8th Conference of Applied Climatology, 179-184. Anaheim.
18. Mendicino, G., A. Senatore and P. Versace. 2008. A groundwater resource index (GRI) for drought monitoring and forecasting in a mediterranean climate. Journal of Hydrology, 282-302.
19. Mofidipoor, N., V. Sheikh, M. Ownegh and A. Sadodin. The Analysis of Relationship between Meteorological and Hydrological Droughts in Atrak Watershed. Journal of Watershed Management Research, 3(5): 16-26 (In Persian).
20. Mohammadi, M., H. Moradi and M. Vafakhah. 2012. Spatial Distribution and Relationship between Meteorological Droughts and Groundwater in Arak Plain. Natural Geographic Quarterly, 5(15): 77-84 (In Persian).
21. Mohammadi, S., F. Naseri and H. Nazaripour. 2018. Investigating the temporal variation and meteorological drought effect on groundwater resources in Kerman plain using SPI and GRI indices. Ecohydrology, 5(1): 11-22 (In Persian).
22. Moradi, H., A. Sepahvand and M. Khazayi. 2009. Assessment of meteorological and hydrological drought by using the modified SPI index and SDI (Case study: Khorramabad watershed). 5th National Conference on Science and Engineering Iranian Watershed. 1-10 pp., Karaj, Iran.
23. Nalbantis, I. 2008. Evaluation of a Hydrological Drought index. European Water, 23(24): 67-77.
24. Roshun, H. and M. Habibnejad Roshan. 2018. Monitoring of Temporal and Spatial Variation of Groundwater Drought using GRI and SWI Indices (Case Study: Sari-Neka Plain). Journal of Watershed Management Research, 9(17): 269-279 (In Persian).
25. Shakiba, A., B. Mirbagheri and A. Kheiri. 2010. Drought and its impact on groundwater resources in the East Kermanshah province. Geography (Journal of Geographical Society of Iran), 105-124 (In Persian).
26. Tabatabaefar, M., Gh. Zehtabian. M. Rahimi and Sh. Nikoo. 2014. Study of temporal and spatial variations of groundwater quality and quantity in Garmsar Plain. Journal of Desert Ecosystem Engineering, 3(4): 91-102 (In Persian).
27. Tsakiris, G., D. Pangalou and H. Vangelis. 2007. Regional Drought Assessment based on the Reconnaissance Drought index (RDI). Water Resources Management, 21: 821-833.
28. Yasamani, S., H. Mohammadzadeh and A. Mosaedi. 2012. Investigation of drought effect on groundwater table changes in Torbat Jah Fariman Plain using SPI and GRI indices. 16th Symposium of Geological Society of Iran, Shiraz University, Shiraz, 1-7 pp (In Persian).
29. Zhang, Z., X. Chen, Y.X. Chong, Y. Hong, J. Hardy and Z. Sun. 2015. Examining the influence of river-lake interaction on the drought and water resources in Poyang Lake basin. Journal of hydrology, 522: 510-521.

Investigation of the Relationship between Groundwater Variations and Drought Using SPI and GRI Indices in Lordegan Plain

Sayed Abdoulreza Musavi¹, Karim Solaimani², Fatemeh Shokrian³ and Sayed Hussein Roshun⁴

1- Graduated M.Sc. Student, Watershed Management Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University

2- Professor, Watershed Management Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University

3- Assistant Professor, Watershed Management Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University (Corresponding author: shokrian.f@gmail.com)

4- Ph.D. Student, Watershed Management Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University

Received: February 16, 2019 Accepted: November 11, 2019

Abstract

Groundwater resources as one of the most important sources of water supply for agricultural, drinking and industrial sectors are very emphasis in our country. Agricultural activities have a very high contribution in harvesting of groundwater aquifers. So, today, irregular extraction of these sources caused to decrease the quantitative and qualitative aquifers characteristics. The aim of this study was to investigate the effect of meteorological drought on groundwater quality and quantity in Lordegan plain in Chaharmahal and Bakhtiari province. For this purpose, quantity and quality of groundwater data (20 piezometric wells) and precipitation data (7 rain gauge stations) from the regional water supply company of the Chaharmahal and Bakhtiari province was obtained. Then, using Run-Test and Kolmogorov-Smirnov tests, homogeneity and normality of the data were tested. In the following, the DIP software was used to estimate the standardized precipitation index (SPI). Groundwater Resource Index (GRI) was calculated using Excel formulation software. The results of this study showed that the Groundwater Resource Index (GRI) for most years was mild and moderate, and less severe and very severe droughts. Also, based on the standardized precipitation index (SPI), most droughts were mild to moderate. Thus, according to SPI and GRI indices, the plain experienced meteorological and groundwater droughts. Spatial meteorological and groundwater drought maps indicate that drought has been occurred in central and eastern, also in eastern and northeast part of plain, respectively.

Keywords: Chaharmahal and Bakhtiari Province, Groundwater Resources, groundwater Resources Index, Lordegan Plain, Meteorological Drought



"مقاله پژوهشی"

ارزیابی حساسیت پذیری فرونشست زمین در دشت سمنان با استفاده از مدل آنتروپی

مجید محمدی^۱، حمیدرضا پورقاسمی^۲ و مجتبی امیری^۳

۱- استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران، (نویسنده مسوول: majid.mohammady@semnan.ac.ir)

۲- استادیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

۳- استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

تاریخ ارسال: ۹۷/۱۲/۲۱ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۹/۱۳

صفحه: ۷۵ تا ۸۵

چکیده

فرونشست زمین یک خطر زمین‌شناسی است که منجر به کاهش ارتفاع سطح زمین به صورت آرام و یا ناگهانی می‌شود و یک خطر همیشگی برای امنیت و سلامت زیرساخت‌ها مانند راه آهن، خطوط انتقال نیرو و راه‌های ارتباطی است. از آنجا که فاکتورهای مؤثر بر فرونشست زمین بسیار پیچیده هستند، سطح اثر و میزان توسعه این پدیده در زمان و مکان متغیر است. فرونشست در بیش از ۳۰۰ دشت در ایران اتفاق افتاده است و دشت سمنان یکی از مهم‌ترین مناطقی است که با این پدیده روبه‌رو می‌باشد. هدف این پژوهش تهیه نقشه حساسیت فرونشست زمین با استفاده از مدل آنتروپی می‌باشد. در اولین گام، اطلاعات ۶۵ فرونشستی که در گذشته رخ داده جمع‌آوری شد. دوازده عامل مؤثر از لایه‌های پایه توپوگرافی، زمین‌شناسی، کاربری اراضی و تراز آب زیرزمینی برای مدل‌سازی حساسیت فرونشست در نظر گرفته شد. بعد از اجرای مدل آنتروپی در نرم‌افزار R، وزن‌های به‌دست‌آمده به نرم‌افزار ArcGIS10.3 وارد شده و نقشه حساسیت فرونشست تهیه گردید. منحنی تشخیص عملکرد نسبی و سطح زیر این منحنی برای ارزیابی دقت مدل آنتروپی مورد استفاده قرار گرفت. دامنه سطح زیر منحنی بین ۰/۵ تا ۱ بوده و عدد بالاتر بیان‌گر دقت بیشتر در ارزیابی حساسیت فرونشست خواهد بود. پمپاژ بیش از حد از آب‌های زیرزمینی یک از مهم‌ترین فاکتورهای مؤثر بر وقوع فرونشست در دشت سمنان است. به دلیل اقلیم خشک، میزان جریان سطحی در دشت سمنان بسیار محدود است. بنابراین آب زیرزمینی به‌عنوان مهم‌ترین منبع آب در منطقه مورد مطالعه شناخته می‌شود. سطح زیرمنحنی برای مدل آنتروپی ۰/۷۱۵ به‌دست آمد که نشان داد این مدل‌ها برای تهیه نقشه حساسیت فرونشست در دشت سمنان قابل قبول است. نقشه حساسیت فرونشست می‌تواند به برنامه‌ریزان کاربری اراضی و مدیران منابع طبیعی، محیط‌زیست و منابع آب در منطقه مورد مطالعه کمک کند.

واژه‌های کلیدی: آب زیرزمینی، دشت سمنان، شاخص آنتروپی، فرونشست زمین

مقدمه

مهندسی، احداث جاده، فعالیت‌های معدن، وضعیت بهره‌برداری از سفره‌های آب زیرزمینی و افزایش وزن بر سطح زمین مهم‌ترین عوامل مؤثر بر فرونشست است (۶). در بسیاری از مناطق مشخص شده است که فشرده شدن آبخوان‌ها^۱ به‌ویژه در صورت وجود رس‌های اشباع مهم‌ترین دلیل فرونشست زمین بوده است. با برداشت بیش از حد آب زیرزمینی، سطح ایستابی^۲ لایه آبدار پایین رفته و فشار هیدرواستاتیک کاهش می‌یابد که در نتیجه امکان نشست زمین را به‌صورت تدریجی فراهم می‌نماید. فرونشست ماندگار دشت‌ها عمدتاً در اثر همین عامل یعنی برداشت بیش از حد مجاز آب و فشرده شدن لایه‌های رسی و سیلتی میان آبخوان صورت می‌گیرد. در این صورت حتی اگر سطح ایستابی مجدداً بالاتر آید، امکان بازگشت زمین به تراز اولیه خود وجود ندارد. فرونشست در دشت‌ها، مناطق شهری و یا هر جای دیگر منجر به ایجاد خسارت و تلفات انسانی می‌شود. فرونشست زمین در نقاط مختلف دنیا گزارش شده است. به‌عنوان مثال شهر ونیز در ایتالیا در فاصله سال‌های ۱۹۳۰ تا ۱۹۷۳ حدود ۱۵ سانتی‌متر نشست داشته است (۹).

با توجه به اهمیت موضوع فرونشست زمین تحقیقات زیادی در سرتاسر دنیا انجام شده که به‌عنوان نمونه می‌توان به تحقیقات ژوو و همکاران در چین (۳۴)، اوریتز زامورا و اورتگا گوئرو در مکزیکوسیتی (۲۱)، آنوپات و همکاران در تایلند (۳)،

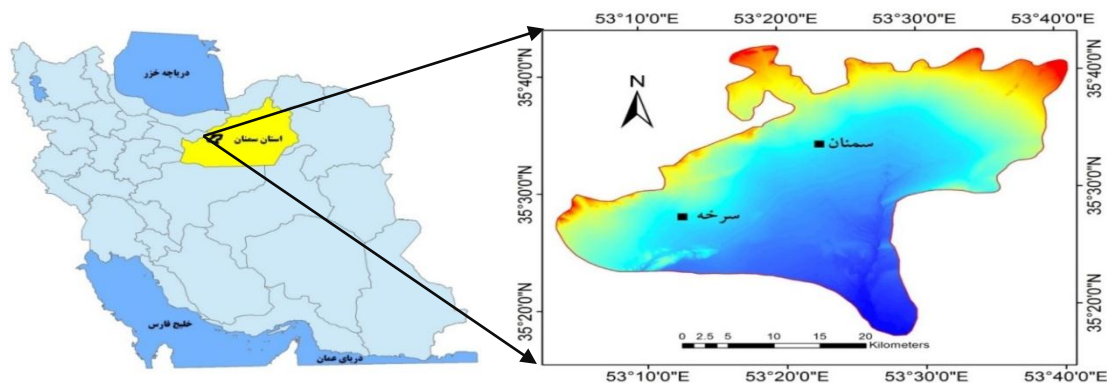
فرونشست زمین یک خطر زمین‌شناسی بوده که منجر به کاهش ارتفاع سطح زمین به صورت آرام یا سریع می‌شود. فرونشست زمین باعث تغییرات ماندگار در سطح زمین می‌شود که این می‌تواند منجر به برخی خطرات دیگر مانند سیل از طریق تغییر مسیر جریان آب، کاهش ذخیره آب زیرزمینی و تغییر شیب کانال‌های آب گردد (۱۰). فرونشست زمین یک خطر جدی برای زیرساخت‌ها بوده و می‌تواند به بزرگ‌راه‌ها، خطوط راه‌آهن، دکل‌های انتقال برق و غیره خسارت وارد کند. از آنجایی که فاکتورهای مؤثر بر فرونشست زمین بسیار پیچیده هستند، سطح اثر و میزان توسعه این پدیده در زمان و مکان متغیر است. به‌طور کلی فرونشست پدیده‌ای پرهزینه است، به‌عنوان نمونه در سال ۱۹۹۱ میزان خسارت ناشی از فرونشست زمین در آمریکا ۱۲۵ میلیون دلار تخمین زده شد و این در صورتی است که برخی خسارات غیرمستقیم مانند کاهش ذخیره منابع آب در نظر گرفته نشده است (۸). با توجه به اینکه فرونشست زمین خطرات زیادی به دنبال دارد، لذا توجه دولت‌ها، مراکز صنعتی و آموزشی را به‌خود جلب کرده است (۲۵، ۳۴). عوامل مؤثر بر فرونشست از دو منظر مشخصات طبیعی^۱ و مهندسی^۲ قابل تشریح است. از دیدگاه طبیعی عواملی مانند گسل، زلزله، خصوصیات خاک و ساختار رودخانه‌ها بر ایجاد فرونشست مؤثر است (۳۰). از دیدگاه

پژوهش تهیه نقشه حساسیت فرونشست زمین در دشت سمنان با استفاده از مدل آنتروپی است. مدل مذکور در مطالعات مربوط به آب‌های زیرزمینی و همچنین مطالعات دیگر مانند پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش^۱ استفاده شده و دقت آن‌ها تایید شده است. در واقع این مدل‌ها ترکیبی از روش‌های مدیریتی و آماری بوده که خطای طبقه‌بندی را به حداقل می‌رسانند (۱۷).

مواد و روش‌ها منطقه مورد مطالعه

دشت سمنان با مساحتی در حدود ۱۲۰۰ کیلومتر مربع بین عرض‌های ۱۸° ۳۵' تا ۳۳° ۴۳' شمالی و طول‌های ۰۴' ۵۳° تا ۴۱' ۵۳° شرقی در شمال شهرستان سمنان قرار گرفته است (شکل ۱). ارتفاع از سطح دریا در منطقه از ۸۷۰ تا ۱۸۵۰ متر متغیر بوده و شهرهای سمنان و سرخه در آن واقع شده است. بارش متوسط سالانه ۱۲۰ میلی‌متر بوده و به دلیل کمبود بارش و مقدار زیاد تبخیر بخش زیادی از آب از منابع آب‌های زیرزمینی تامین می‌شود. کاربری اراضی منطقه شامل زمین‌های کشاورزی، مرتع، مسکونی و اراضی بایر است (۱۷).

کین و همکاران در چین (۲۵) و محمدی و همکاران در ایران (۱۷) اشاره نمود. کشورهایی مانند ایران که در مناطق خشک و نیمه‌خشک واقع شده‌اند مستعد فرونشست زمین هستند. در این مناطق نسبت بارندگی و تغذیه طبیعی نسبتاً پایین‌تر از میانگین جهانی است. این موضوع اهمیت آب‌های زیرزمینی برای مصارف کشاورزی و صنعتی را بیش‌تر می‌کند. تمایل ایرانیان به بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی مربوط به هزاران سال قبل است که قنات را برای بهره‌برداری از آب زیرزمینی احداث کردند (۱۲). در ایران آب زیرزمینی منبع اصلی تامین آب در بسیاری از مناطق است، به‌علاوه روش‌های قدیمی و نادرست کشاورزی نیاز به منابع آب را بیش‌تر کرده است که این موضوع منجر به بهره‌برداری بیش از حد از منابع آب زیرزمینی و در نتیجه نشست سطح آب می‌شود. افزایش تنش و فشار منجر به فشردگی و در نتیجه فرونشست زمین می‌شود (۲۳). فرونشست زمین در بیش از ۳۰۰ دشت کشور اتفاق افتاده است. دشت سمنان یکی از مهم‌ترین دشت‌های کشور است که با این پدیده روبه‌رو می‌باشد. به‌دلیل اهمیت موضوع فرونشست زمین، مطالعات زیادی با استفاده از مدل‌های مختلف در سراسر جهان انجام شده است. هدف از این



شکل ۱- موقعیت دشت سمنان در ایران
Figure 1. Location of Semnan plain in Iran

رطوبت خاک دارد. نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه از سازمان زمین‌شناسی کشور در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ تهیه و رقومی شد. بعد از استخراج نقشه گسل از نقشه زمین‌شناسی نقشه فاصله از گسل نیز در محیط ArcGIS 10.3 تهیه شد. نقشه شبکه آبراهه‌ها و جاده‌ها نیز از نقشه توپوگرافی استخراج و نقشه فاصله از این عوارض به‌دست آمد. کاربری اراضی منطقه نیز از روی تصاویر ماهواره‌ای سال ۲۰۱۶ لندست ۸ و با استفاده از روش ترکیبی تهیه شد. در روش ترکیبی به‌طور هم‌زمان از روش‌های نظارت‌نشده، نظارت‌شده و خصوصیات توپوگرافی استفاده می‌شود. جزئیات بیشتر در مورد روش تلفیقی در تحقیق محمدی و همکاران (۱۶) ارائه شده است. اطلاعات ۲۶ چاه پیژومتریک از شرکت آب منطقه‌ای استان سمنان تهیه، موقعیت آن‌ها رقومی و به محیط GIS وارد شد. سطح آب چاه‌ها با استفاده از روش عکس فاصله وزنی^۶ (IDW) میان‌یابی شده و نقشه ارتفاع پیژومتریک در منطقه

تهیه داده‌های مورد نیاز

در تحقیق حاضر عوامل مؤثر با استفاده از مرور منابع و به‌ویژه تحقیقات انجام شده در کشور و همچنین موجودیت داده‌ها انتخاب شد. نقشه توپوگرافی از سازمان نقشه‌برداری کشور در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ تهیه و نقاط و خطوط ارتفاعی از آن استخراج شد. نقشه مدل رقومی ارتفاع^۲ (DEM)، درجه شیب، جهت شیب، انحناء سطح، انحناء نیم‌رخ^۳ و شاخص رطوبت توپوگرافی^۵ (TWI) از ترکیب نقشه‌های نقاط ارتفاعی و خطوط تراز مستخرج از نقشه پایه توپوگرافی و با استفاده از نرم‌افزارهای ArcGIS 10.3 و SAGA-GIS محاسبه و تهیه شد. نقشه شاخص رطوبت توپوگرافی نیز با استفاده از رابطه ۱ به‌دست آمد (۱۸):

$$TWI = \ln(A / \tan \beta) \quad (1)$$

که در آن، A مساحت حوضه آبخیز بالادست و β مقدار شیب بر حسب درجه است. این شاخص نقش به‌سزایی در تغییرات شرایط هیدرولوژیکی از قبیل جریان آب زیرزمینی و

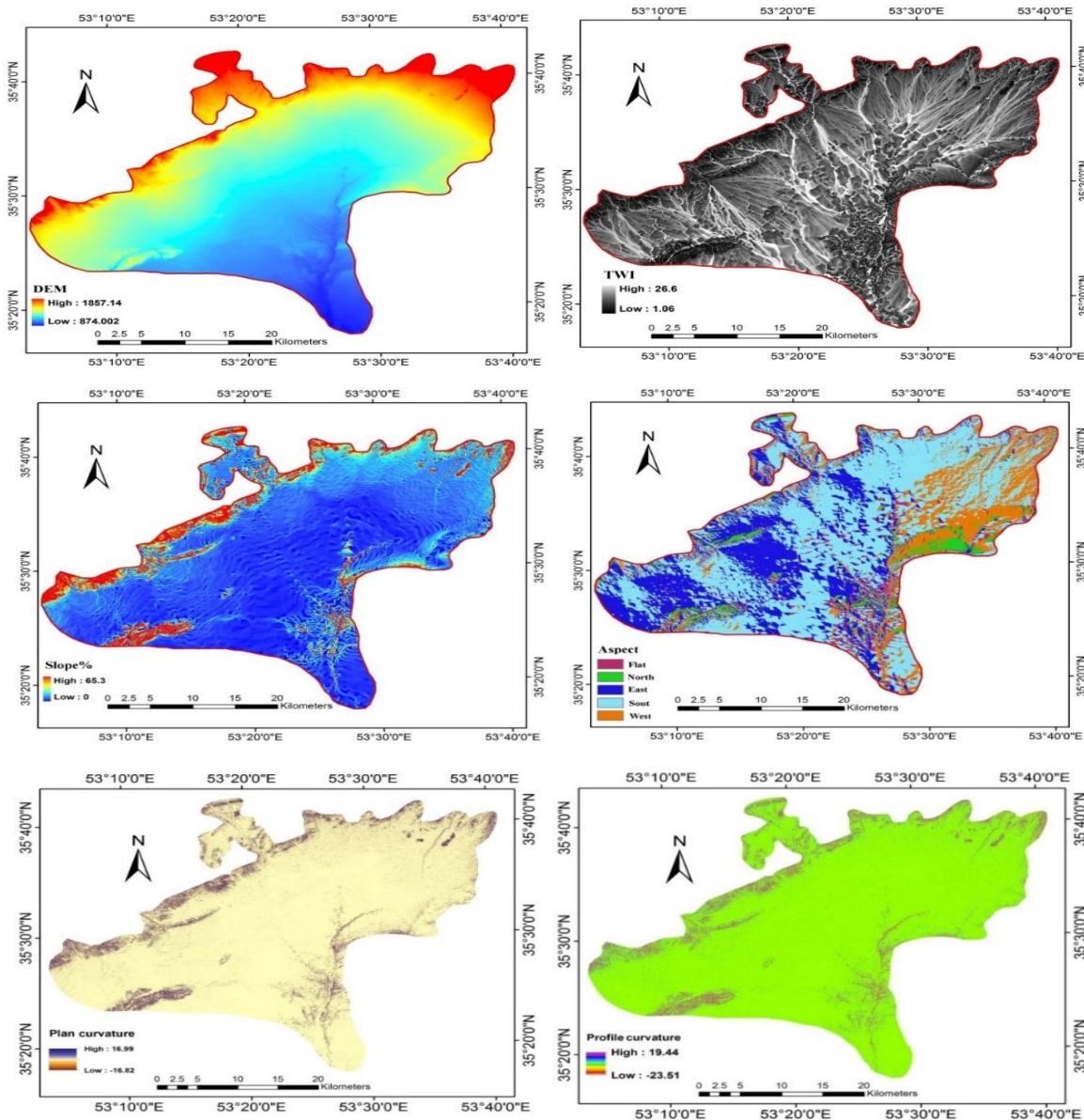
1- Landslide hazard zoning
4- Profile curvature

2- Digital Elevation Model (DEM)
5- Topographic Wetness Index (TWI)

3- Plan curvature
6- Inverse Distance Weight (IDW)

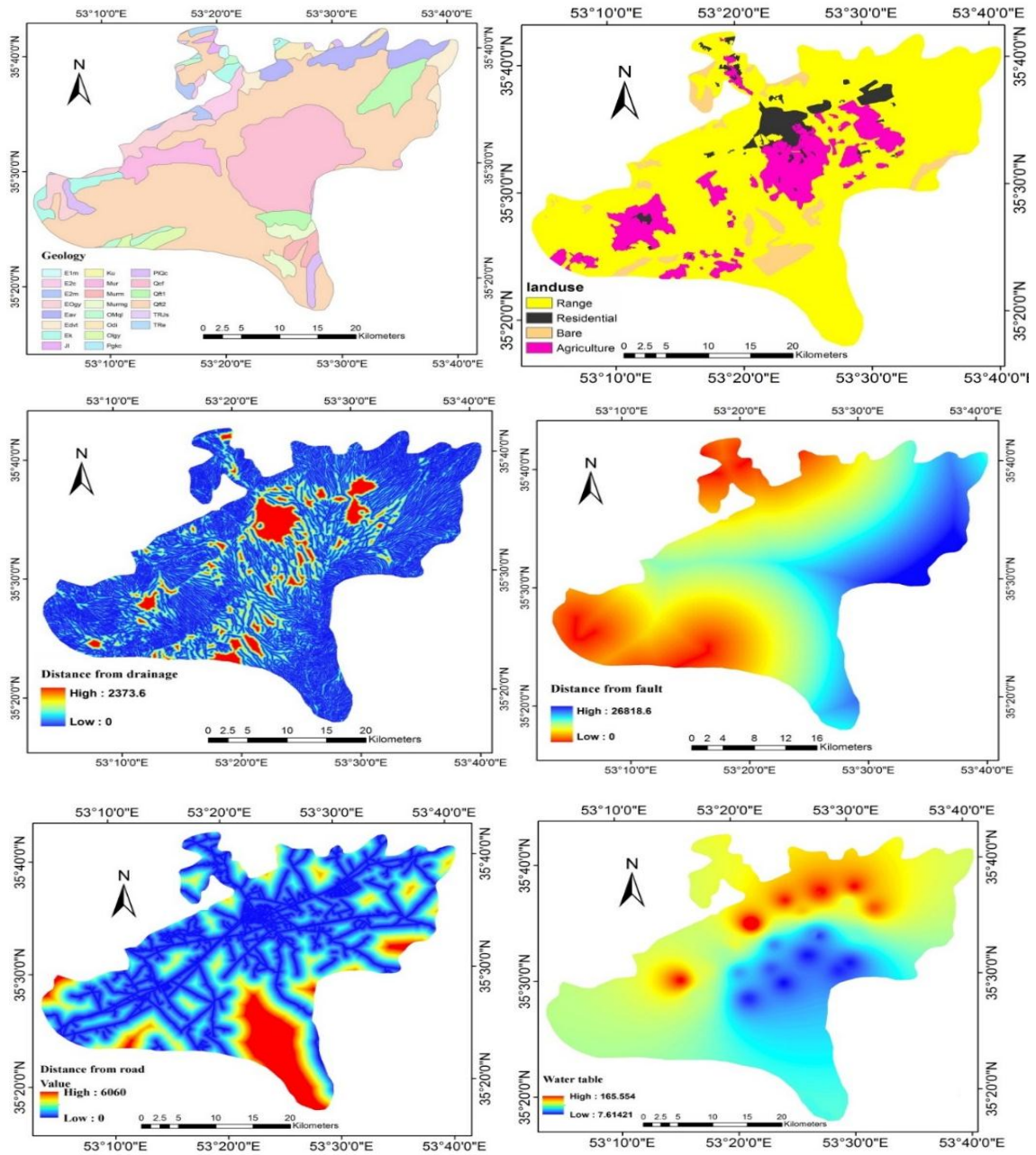
ارث قابل تشخیص است، هرچند برای اطمینان بیشتر این مناطق روی زمین نیز مشخص شده و موقعیت آنها ثبت شد. در نهایت موقعیت ۶۵ فرونشست با استفاده از سامانه موقعیت‌یاب جهانی^۱ (GPS) ثبت و در محیط ArcGIS 10.3 به نقشه تبدیل شد (شکل ۳). حدود ۷۰ درصد از فرونشست‌ها برای تهیه نقشه حساسیت و بقیه برای اعتبارسنجی مدل استفاده شد. در شکل ۴ نیز نمونه‌ای از فرونشست‌های منطقه نشان داده شده است.

مورد مطالعه تهیه شد (۴). شکل ۲ نقشه‌های مربوط به عوامل مؤثر بر فرونشست زمین در دشت سمنان را نشان می‌دهد. به‌منظور تهیه نقشه پراکنش فرونشست‌ها، در منطقه مورد مطالعه پیمایش زمینی انجام شد. به این منظور با کمک ساکنان محلی و همراهی آن‌ها، کل منطقه پیمایش شد تا کلیه فرونشست‌های رخ داده در منطقه ثبت شود. هم‌چنین در پژوهش حاضر تلاش گردید تا از تصاویر گوگل ارث نیز در شناسایی فرونشست‌ها استفاده گردد. با توجه به اینکه پوشش گیاهی منطقه کم است فرونشست‌های بزرگ در روی گوگل

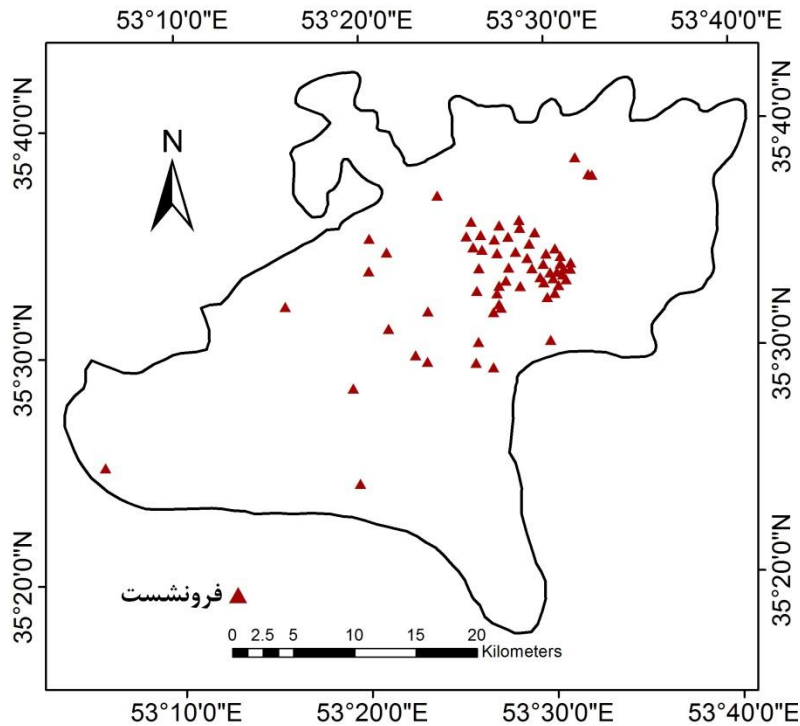


شکل ۲- نقشه‌های عوامل مؤثر بر فرونشست زمین در دشت سمنان
Figure 2. Conditioning factors of land subsidence in Semnan plain

1- Global Positioning System (GPS)



ادامه شکل ۲- نقشه‌های عوامل مؤثر بر فرورانشست زمین در دشت سمنان
Continued figure 2. Conditioning factors of land subsidence in Semnan plain



شکل ۳- نقشه پراکنش فرونشست‌ها در دشت سمنان
Figure 3. Land subsidence distribution map in Semnan plain



شکل ۴- نمونه‌ای از فرونشست‌های منطقه مورد مطالعه (دشت سمنان)
Figure 4. some examples of subsidence in the study area (Semnan plain)

می‌نماید (۵). از آنجایی که در تهیه نقشه خطر فرونشست، بسته به شرایط منطقه معمولاً عوامل مختلفی تاثیرگذار بوده و همچنین در تعیین میزان حساسیت با استفاده از مدل‌های آماری دومتغیره و احتمالاتی نظیر بیزین، تمامی عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش وزن یکسانی دارند. لذا چنانچه یکی از عوامل تاثیر بیش‌تری داشته باشد میزان اثر آن نادیده گرفته می‌شود (۲۷). بنابراین تئوری مذکور می‌تواند به‌عنوان یک

تهیه نقشه خطر فرونشست زمین با استفاده از مدل آنتروپی

آنتروپی یکی از رویکردهای مدیریتی است که به‌منظور برخورد با بی‌نظمی، بی‌ثباتی و عدم قطعیت‌های موجود در یک سیستم استفاده می‌شود (۳۷). آنتروپی در حقیقت بیان‌گر آن است که چگونه از بین عوامل مؤثر یک هدف، می‌توان مهم‌ترین عوامل را تخمین زد یا به‌عبارتی متغیرهایی که بیش‌ترین تاثیر را در رخداد یک واقعه دارند برای ما مشخص

نرم‌افزار SPSS فراخوانی شده و سپس به نرم‌افزار ArcGIS 10.3 منتقل شد. در مرحله بعد مدل ارائه شده و وزن‌های به‌دست‌آمده از مدل در سطح پیکسل به پیکسل برای کل منطقه مورد مطالعه اعمال شد. در نهایت نقشه تهیه‌شده برای اساس روش شکست طبیعی منحنی به چهار طبقه حساسیت خیلی زیاد، زیاد، متوسط و کم تقسیم شد (۱).

ارزیابی نقشه‌های حساسیت فرونشست در دشت سمنان

به‌منظور ارزیابی نقشه‌های تهیه‌شده، از منحنی تشخیص عملکرد نسبی (ROC) استفاده شد (۲۰). منحنی ROC یک نمایش ترسیمی از موازنه بین میزان خطای منفی و مثبت برای هر مقدار احتمالی از برش‌هاست. سطح زیر منحنی ROC، بیان‌گر مقدار پیش‌بینی سامانه از طریق توصیف توانایی آن در تخمین درست وقایع رخ‌داده (رخ‌داد فرونشست) و عدم وقوع رخ‌داد (عدم رخ‌داد فرونشست) آن است. ایده‌آل‌ترین مدل، بیش‌ترین سطح زیر منحنی را دارد و مقادیر آن از ۰/۵ تا ۱ متغیر است. هرچه سطح زیر منحنی به یک نزدیک‌تر باشد، بیان‌گر بهترین دقت از نقشه پهنه‌بندی تهیه شده است. طبقه‌بندی میزان سطح زیرمنحنی به‌صورت عالی (۰/۹-۱)، خیلی خوب (۰/۸-۰/۹)، خوب (۰/۷-۰/۸)، متوسط (۰/۶-۰/۷) و ضعیف (۰/۵-۰/۶) است (۳۶).

نتایج و بحث

همانطور که بیان شد از مدل آنتروپی به‌منظور تهیه نقشه فرونشست زمین استفاده شد. بعد از محاسبه وزن‌ها در محیط نرم‌افزار R، وزن‌ها به محیط ArcGIS 10.3 وارد شده و نقشه حساسیت فرونشست تهیه شد. نقشه تهیه‌شده به چهار طبقه حساسیت خیلی زیاد، زیاد، متوسط و کم تقسیم شد (شکل ۵).

رویکرد مدیریتی تاثیر به‌سزایی در شناسایی عوامل مؤثر و میزان تاثیرگذاری آن‌ها داشته باشد (۱۹، ۲۴، ۳۹).

مدل بیشینه آنتروپی شبکه ارتباطات بین متغیرهای مستقل و وابسته را تعیین کرده که بر اساس نقش هر متغیر مستقل و وزن تاثیر و منحنی پاسخ به‌دست می‌آید. این مدل قادر است توزیع احتمالاتی داده‌های هر یک از لایه رستری مربوط به عوامل مؤثر بر وقوع فرونشست زمین را استخراج نماید. آنتروپی این توزیع‌ها بر اساس رابطه ۲ قابل محاسبه است (۲۲):

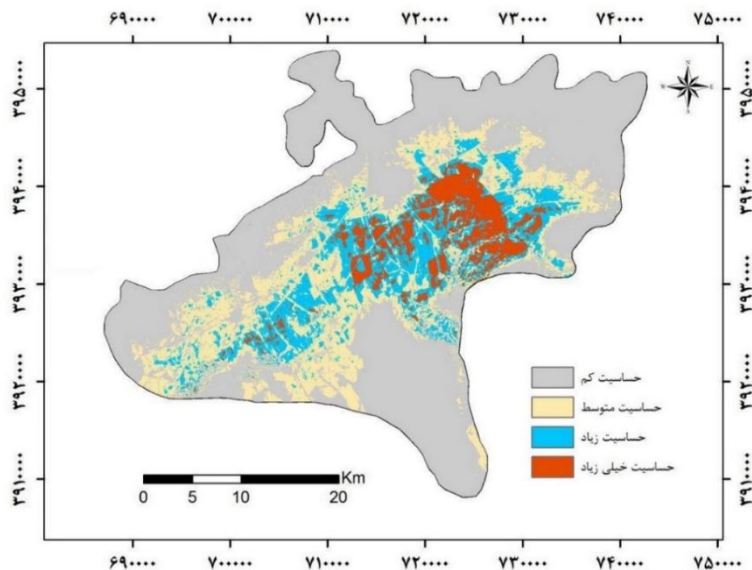
$$H(\hat{\theta}) = - \sum x \in X \hat{\theta}(x) \ln \hat{\theta}(x) \quad (2)$$

که در آن: $H(\hat{\theta})$ مقدار آنتروپی توزیع احتمالاتی متغیر موردنظر، \ln لگاریتم طبیعی، x مقدار ارزش هر پیکسل و X مجموعه‌ای از داده‌های یک لایه رستری است. توزیع احتمالاتی Gibbs برای هر یک از متغیرهای مستقل نیز از رابطه ۳ محاسبه می‌شود (۷):

$$Q_{\gamma}(x) = \frac{e^{\gamma * f(x)}}{Z_{\gamma}} \quad (3)$$

که در آن: $Q_{\gamma}(x)$ تابع توزیع Gibbs، γ وزن متغیر موردنظر و Z_{γ} ثابت نرمال‌کننده تابع Gibbs است.

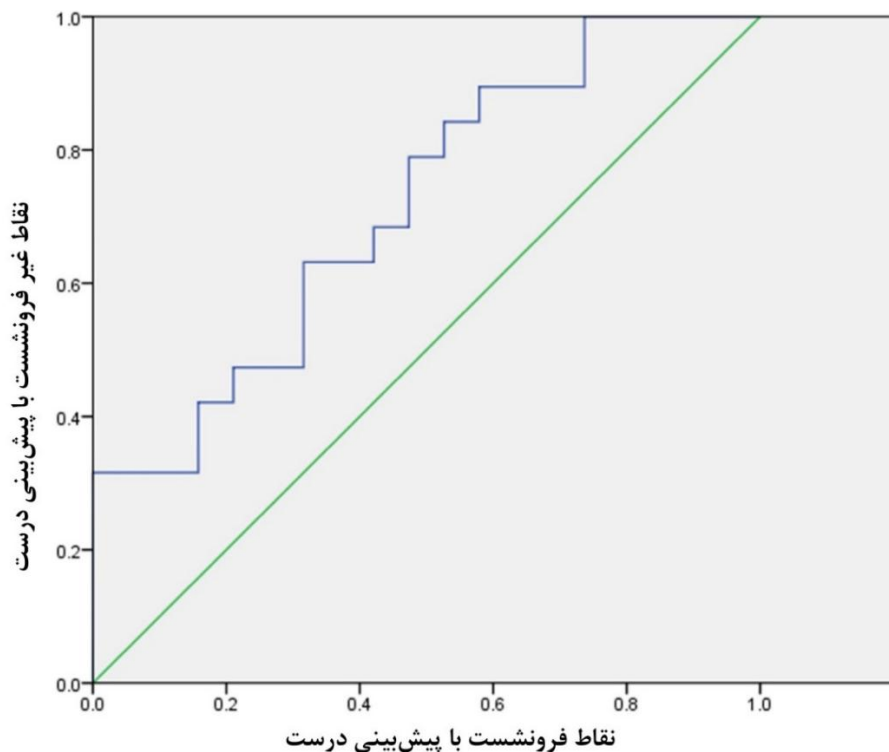
پس از آماده‌سازی عوامل مؤثر و شناسایی مناطق فرونشست در منطقه مورد مطالعه، ارتباط مکانی هر یک از لایه‌ها (متغیرهای مستقل) و نقاط فرونشست (متغیر وابسته) یک به یک بررسی و سپس در قالب فایل Excel وارد نرم‌افزار R شد. به این صورت که برای هر فرونشست وزن مربوط به هر یک از عوامل استخراج شده و پس از وارد کردن آنها در فایل Excel وارد نرم‌افزار R می‌شود. پس از تعیین وزن‌های خروجی در محیط نرم‌افزار R با استفاده از مدل آنتروپی، رابطه نهایی مدل ارائه گردید. مدل در فرمت متنی در



شکل ۵- نقشه خطر فرونشست زمین تهیه شده با مدل آنتروپی در دشت سمنان
Figure 5. Land subsidence susceptibility map created using entropy in Semnan plain

منطقه‌ای و جهاد کشاورزی تایید می‌شود. با توجه به اینکه بسیاری از پارامترهای مؤثر بر وقوع فرونشست در سالیان گذشته ثابت بوده است، می‌توان افزایش فرونشست در سال‌های اخیر در دشت سمنان را به بهره‌برداری بیش از حد از منابع آب زیرزمینی در سال‌های اخیر نسبت داد. محققین زیادی در گذشته نیز به تأثیر بهره‌برداری بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی اشاره نموده‌اند. به‌عنوان مثال در فلوریدا آب زیرزمینی به‌عنوان مهم‌ترین عامل مؤثر در ایجاد و گسترش فرونشست زمین معرفی شده است (۳۲). هم‌چنین ژو و همکاران (۳۴) فرونشست‌های رخ داده در چین را قبل از سال ۲۰۰۵ مورد بررسی قرار داده، توزیع و گسترش فرونشست‌ها را ناشی از برداشت بیش از حد آب زیرزمینی بیان کردند. سانتوس و همکاران (۲۸) نیز به تأثیر بهره‌برداری بیش از حد بر فرونشست به‌ویژه در آبخوان‌های رسوبی اشاره نمودند. طبق نظریه و همکاران (۳۵) بهره‌برداری بی‌رویه از آب‌های زیرزمین دلیل اصلی فرونشست در بسیاری از مناطق دنیاست. سوگانتی و همکاران (۳۱) نیز به تأثیر پمپاژ زیاد آب بر وقوع فرونشست در هندوستان اشاره کرده است. میراثی و رهنما (۱۵) و ملکی و رضایی (۱۴) به‌ترتیب در دشت مرودشت و کرمانشاه افت سطح آب زیرزمینی را به‌عنوان عامل فرونشست معرفی نمودند. از نمونه‌های دیگر می‌توان به تأثیر آب زیرزمینی بر افزایش فرونشست در بانکوک تایلند (۳)، مکزیکوسیتی (۲۱)، چین (۳۳، ۱۱) و منطقه گالوستون در امریکا (۲۶) اشاره نمود. یکی دیگر از عوامل مهم و مؤثر بر فرونشست زمین خصوصیات زمین‌شناسی بوده و بیش‌تر فرونشست‌های منطقه در سازندهای رسی و تراس‌های ریزدانه رخ داده است. خرسندی و عبدالی (۱۳) نیز به این موضوع اشاره کرده، وجود و انتقال ذرات ریز در آبخوان را به‌عنوان عامل مهمی در فرونشست‌های دشت همدان معرفی نمودند. با استفاده از منحنی ROC و محاسبه سطح زیر منحنی دقت مدل آنتروپی ۰/۷۱۵ به‌دست آمد (شکل ۶).

عوامل مختلف طبیعی و انسانی در وقوع فرونشست در دشت سمنان مؤثر است. گسل باعث تحریک و جابجایی پوسته زمین و در نتیجه فرونشست می‌شود. البته برای شروع فرونشست باید شرایط دیگری مانند فعالیت‌های معدنی و تخلیه بیش از حد سفره‌های آب زیرزمینی فراهم باشد تا گسل قادر به تحریک و وقوع این پدیده باشد. شیب و ارتفاع پارامترهای فیزیوگرافی بوده که وضعیت هیدرولوژیکی و میزان رطوبت خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد. شیب زمین روی میزان نفوذ و سرعت آب سطحی تأثیرگذار است. هم‌چنین شیب و ارتفاع بر وضعیت کاربری اراضی تأثیر مستقیم دارند. کاربری کشاورزی و مسکونی که دارای بیش‌ترین استفاده از آب زیرزمین هستند، بیش‌تر در ارتفاعات کم و شیب ملایم وجود دارند. از طرفی کاربری‌های مسکونی و کشاورزی در منطقه مورد مطالعه به‌شدت وابسته به آب زیرزمینی بوده و از دلایل اصلی برداشت بی‌رویه آب هستند. بخش‌های زیادی از ایران در شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک قرار دارند که میزان بارش و در نتیجه رواناب سطحی محدود است. در چنین شرایطی آب‌های زیرزمینی مهم‌ترین منبع آب برای مصارف مختلف مانند شرب و کشاورزی است که منجر به برداشت بی‌رویه از منابع آب و در نتیجه فرونشست زمین می‌شود (۲۳). در منطقه مورد مطالعه میزان بارش کم بوده و سفره‌های زیرزمینی به‌عنوان مهم‌ترین منبع اصلی تامین آب به‌شدت در حال کاهش هستند. با توجه به صنعتی‌شدن استان سمنان در سال‌های اخیر، مهاجرت از استان‌های دیگر به این منطقه نیز افزایش یافته است. صنعتی‌شدن از یک طرف افزایش مصرف آب در واحدهای صنعتی و مسکونی را افزایش داده و از طرفی منجر به افزایش مناطق کشاورزی برای تامین غذا و در نتیجه نیاز به آب بیش‌تر می‌شود. علاوه بر بهره‌برداری‌های قانونی در منطقه چاه‌های غیرقانونی زیادی وجود دارد که در اراضی کشاورزی قرار گرفته و نظارت چندانی بر میزان برداشت آن‌ها نیست. البته آمار دقیقی از تعداد چاه‌های غیرقانونی و میزان برداشت آن‌ها وجود ندارد ولی این موضوع توسط کارشناسان شرکت آب



شکل ۶- منحنی ROC برای نقشه حساسیت فرونشست تهیه شده با مدل آنتروپی در دشت سمنان
Figure 6. ROC curve for entropy model in Semnan plain

زیست و منابع طبیعی در منطقه مورد مطالعه کمک می‌کند. فرونشست همچنین عامل تأثیرگذاری در توسعه شهری خواهد بود. فرونشست زمین فعالیت‌های اقتصادی و سازه‌ای را تحت تأثیر قرار داده و ممکن است پدیده‌های زمین‌شناسی دیگر را تشدید نماید. بنابراین این پدیده باید در منطقه مورد مطالعه مهار و مدیریت شود. دوری از مناطق پرخطر، جلوگیری از تغییرات کاربری و کاهش برداشت بیش از حد آب‌های زیرزمینی از جمله اقدامات مدیریتی مرتبط با فرونشست زمین است. اولین گام در مدیریت فرونشست تهیه نقشه حساسیت منطقه به وقوع آن است که در این پژوهش به آن پرداخته شد. توسعه یک نقشه رقمی از حساسیت‌پذیری فرونشست در منطقه مورد مطالعه بر پایه GIS نقش زیادی در مهار و کاهش خطرات فرونشست دارد.

بر اساس استاندارد ارائه شده برای میزان سطح زیر منحنی، دقت مدل آنتروپی در طبقه خوب قرار گرفت. با توجه به وضعیت موجودیت داده‌ها در کشور و همچنین عدم دسترسی به داده‌های ورودی با دقت بالا وجود مقداری خطا در نقشه تهیه شده منطقی به نظر می‌رسد. محققین دیگری نیز به کارایی مدل مذکور اشاره نموده‌اند. به‌عنوان مثال یوفنگ و فنجیان (۳۷) در تحلیل خطر زمین‌لغزش، شارما و همکاران (۲۹) در بررسی آسیب‌پذیری زمین‌لغزش، پورقاسمی و همکاران (۲۴) در تهیه نقشه حساسیت‌پذیری زمین‌لغزش و نقیعی و همکاران (۱۹) در تحلیل پتانسیل آب‌های زیرزمینی روش آنتروپی را به کار برده و دقت آن را تایید نموده‌اند. ارزیابی حساسیت فرونشست زمین به‌عنوان ابزاری سودمند به برنامه‌ریزان کاربری اراضی، مدیران منابع آب، محیط

منابع

1. Abdollahi, S., H.R. Pourghasemi, G. Ghanbarian and R. Safaeian. 2018. Spatial Simulation and Land-Subsidence Susceptibility Mapping Using Maximum Entropy Model. *Journal of Watershed Management Research*, 10(20): 133-144.
2. Alesheikh, A.A., A. Ghorbanali and N. Nouri. 2007. Coastline change detection using remote sensing. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 4(1): 61-66.
3. Aobpaet, A., M.C. Cuenca, A. Hooper and I. Trisirisatawong. 2013. In SAR time-series analysis of land subsidence in Bangkok, Thailand. *International Journal of Remote Sensing*, 34: 2969-2982.
4. Amiri, M., H.R. Pourghasemi, G.A. Ghanbariana and S.F. Afzali. 2019. Assessment of the importance of gully erosion effective factors using Boruta algorithm and its spatial modeling and mapping using three machine learning algorithms. *Geoderma*, 340: 55-69.
5. Arabameri, A., K. Rezaei, K. Shirani and M. Yamani. 2017. Identify Areas Susceptible to Landslides using new Synthetic Method Shannon's Entropy Index-Information Value (Case Study: Karoon Sarkhon Watershed). *Watershed Management Research*, 9(17): 132-144.
6. Chen, C., S. Pei and J. Jiao. 2003. Land subsidence caused by groundwater exploitation in Suzhou City, China. *Hydrogeology Journal*, 11(2): 275-287.
7. Elith, J., S. Phillips, T. Hastie, M. Dudík, Y. Chee and C. Yates. 2010. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and Distributions*, 17(1): 43-57.
8. Galloway, D.L., D.R. Jones and S.E. Ingebritsen. 1999. Land subsidence in the United States. *United States Geological Survey Circular*, 1182, 175 pp.
9. Gambolati, G., P. Gatto, and R.A. Freeze. 1974. Mathematical simulation of the subsidence of Venice: 2. Results. *Water Resources Research*, 10: 563-577.
10. Holzer, T.L. 1989. State and local response to damaging land subsidence in United States urban areas. *Engineering Geology*, 27: 449-466.
11. Hu, R.L., Z.Q. Yue, L.C. Wang and S.J. Wang. 2004. Review on Current Status and Challenging Issues of Land Subsidence in China. *Engineering Geology*, 76: 65-77.
12. Karimzadeh, S. 2016. Characterization of land subsidence in Tabriz basin (NW Iran) using InSAR and watershed analyses. *Acta Geodaetica et Geophysica*, 51(2): 181-195. DOI 10.1007/s40328-015-0118-4.
13. Khorsandi, A. and M. Abdali. 2009. Sinkhole formation hazards, case study: Sinkholes hazard in Hamadan Plain and Lar Valley of Iran; Proceeding of the 6th Euregeo Congress, Munich, Germany, 359-362 pp.
14. Maleki, A. and P. Rezaee. 2016. Forecast locations at risk of subsidence plain Kermanshah. *The journal of spatial planning*, 20(1): 235-251 (In Persian).
15. Mirassi, S. and H. Rahnema. 2016. Analysis and evaluate the effective parameters on land subsidence. *Modares civil engineering journal*, 16(1): 45-54 (In Persian).
16. Mohammady, M., H.R. Morady, H. Zeinivand and A.J.A.M. Temme. 2015. A Comparison of Supervised, Unsupervised and Synthetic Land Use Classification Methods in the North of Iran. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 12(5): 1515-1526
17. Mohammady, M., H.R. Pourghasemi and M. Amiri. 2019. Assessment of land subsidence susceptibility in Semnan plain (Iran): a comparison of support vector machine and weights of evidence data mining algorithms. *Natural Hazards*, 99: 951-971.
18. Moore, I.D., R.B. Grayson and A. Ladson. 1991. Digital terrain modeling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications. *Hydrological Process*, 5: 3-30.
19. Naghibi, S.A., H.R. Pourghasemi, Z.S. Pourtaghie and A. Rezaei. 2015. Groundwater qanat potential mapping using frequency ratio and Shannon's entropy models in the Moghan Watershed, Iran. *Earth Science Informatics*, 8(1): 171-186.
20. Nefeslioglu, H.A., T.Y. Duman and S. Durmaz. 2008. Landslide susceptibility mapping for a part of tectonic Kelkit Valley (Easten Black Sea Region of Turkey). *Geomorphology*, 94: 401-418.
21. Ortiz-Zamora, D. and A. Ortega-Guerrero. 2010. Evolution of long-term land subsidence near Mexico City: review, field investigations, and predictive simulations. *Water Resources Research*, 46: 183-186.
22. Phillips, S., R. Anderson and R. Schapire. 2006. Maximum entropy modelling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190: 231-259.
23. Pirouzi, A. and A. Eslami. 2017. Ground subsidence in plains around Tehran: site survey, records compilation and analysis. *International Journal of Geo-Engineering*, 8(30): 1-21.
24. Pourghasemi, H.R., M. Mohammady and B. Pradhan. 2012. Landslide susceptibility mapping using index of entropy and conditional probability models in GIS: Safarood Basin, Iran. *Catena*, 97: 71-84.
25. Qin, H., C.B. Andrews, F. Tian, G. Cao, Y. Luo and J. Liu. 2018. Groundwater-pumping optimization for land-subsidence control in Beijing plain, China. *Hydrogeology Journal*, 26: 1061-1081.

26. Qu, F.F., Z. Lu, Q. Zhang, G.W. Bawden, J.W. Kim, C.Y. Zhao and W. Qu. 2015. Mapping ground deformation over Houston- Galveston, Texas using multi-temporal InSAR. *Remote Sensing of Environment*, 169: 290-306.
27. Ramakrishna, D., M.K. Ghose, R. Vinu Chandra and A. Jeyaram. 2005. Probabilistic techniques, GIS and remote sensing in landslide hazard mitigation: a case study from Sikkim Himalayas, India. *Geocarto International*, 20(4): 53-58.
28. Santos, S.M., J.J.S.P. Cabral and I.D.S. Pontes Filho. 2012. Monitoring of soil subsidence in urban and coastal areas due to groundwater overexploitation using GPS. *Natural Hazards*, 64: 421-439.
29. Sharma, L.P., P. Nilanchal, M.K. Ghose and P. Debnath. 2010. Influence of Shannon's entropy on landslide-causing parameters for vulnerability study and zonation-a case study in Sikkim, India. *Arabian Journal of Geoscience*, 5(3): 421-431.
30. Shi, X.Q., J.C. Wu, S.J. Ye, Y. Zhang, Y.Q. Xue, Z.X. Wei, Q.F. Li and J. Yu. 2008. Regional land subsidence simulation in Su-xi-Chang area and Shanghai City, China. *Engineering Geology*, 100(1): 27-42.
31. Suganthi, S., L. Elango and S.K. Subramanian. 2017. Microwave D-InSAR technique for assessment of land subsidence in Kolkata city, India. *Arabian Journal of Geoscience*, 10(458): 1-10.
32. Wilson, W.L. and B.F. Beck. 1992. Hydrogeologic factors in affecting new sinkhole development in the Orlando area, Florida. *Ground Water*, 30(6): 918-930.
33. Xu, Y.S., Y. Yuan, S.L. Shen, Z.Y. Yin, H.N. Wu and L. Ma. 2015. Investigation into subsidence hazards due to groundwater pumping from aquifer II in Changzhou, China. *Natural Hazards*, 78(1): 281-296.
34. Xue, Y.Q., Y. Zhang, S.J. Ye, J.C. Wu and Q.F. Li. 2005. Land subsidence in China. *Environmental Geology*, 48(6): 713-720.
35. Ye, S., Y. Xue, J. Wu, X. Yan and J. Yu. 2016. Progression and mitigation of land subsidence in China. *Hydrogeology Journal*, 24: 685-693.
36. Yesilnacar, E.K. 2005. The application of computational intelligence to landslide susceptibility mapping in Turkey. PhD Thesis, Department of Geomatics the University of Melbourne, p. 423.
37. Yufeng, S. and J. Fengxiang. 2009. Landslide stability analysis based on generalized information entropy. *International Conference on Environmental Science and Information Application Technology*, 83-85.

Investigation of Subsidence Susceptibility in the Semnan Plain Using Entropy Model

Majid Mohammady¹, Hamid Reza Pourghasemi² and Mojtaba Amiri³

-
- 1- Assistant Professor, Faculty of Natural Resources, Semnan University, Semnan, Iran,
(Corresponding author: majid.mohammady@semnan.ac.ir)
2- Assistant Professor, Faculty of Agriculture, Shiraz University
3- Assistant Professor, Faculty of Natural Resources, Semnan University, Semnan, Iran
Received: March 12, 2019 Accepted: December 3, 2020
-

Abstract

Land subsidence is a geo hazard that leads to slow or rapid decrease of ground level. Land subsidence presents a constant threat to the safety of surface infrastructures such as motorways, railways, power lines, and telecommunication cables. Arid and semi-arid countries like Iran are very susceptible to land subsidence phenomenon. Land subsidence has occurred in more of 300 plains of Iran, and Semnan Plain is one of the most important areas that face to this phenomenon. The purpose of this research was land subsidence susceptibility assessment using entropy model. In the first step, acquiring information about sixty-five land subsidence in the past was done. Twelve conditioning factors from different basic layers including topography, geology, land use, and ground water table were considered for modeling aims. The receiver operating characteristic (ROC) curve and area under the curve (AUC) were used to assess accuracy of the Entropy model. The AUC for the entropy model was 0.715 that showed this model is acceptable for land subsidence susceptibility mapping in the Semnan Plain. Results of this research can help to policy makers and planners for environment and urban management and planning.

Keywords: Entropy Index, Groundwater, Land subsidence, Semnan Plain



"مقاله پژوهشی"

سنجش ظرفیت سازگاری نظام اجتماعی - اکولوژیک در مواجهه با افت
سفره‌های آب زیرزمینی (منطقه مورد مطالعه: دشت کازرون)

نجمه گنجی^۱، مهدی قربانی^۲، حسن خسروی^۳ و امیر علم‌پیگی^۴

۱- کارشناس ارشد بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران
۲- دانشیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، (نویسنده مسول: mehghorbani@ut.ac.ir)
۳- دانشیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران
۴- استادیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران
تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۲/۰۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۳/۱۲
صفحه: ۸۶ تا ۹۴

چکیده

جوامع انسانی با خطرات طبیعی از قبیل افت آب‌های زیرزمینی و همچنین تأثیرات ناشی از آن مواجه هستند. افت آب‌های زیرزمینی به طرق مختلف و به‌طور مستقیم و غیرمستقیم جوامع انسانی را متأثر می‌سازد، لیکن در این میان جوامع محلی به‌ویژه بخش کشاورزی وابسته‌ترین بخش به آب زیرزمینی بوده که در این تحقیق محور اصلی سنجش ظرفیت سازگاری را دربر می‌گیرد. ظرفیت سازگاری یک ویژگی اساسی برای مقابله با چالش‌های موجود در نظام‌های پیچیده اجتماعی - اکولوژیک محسوب می‌شود. در این تحقیق با استفاده از مشاهده میدانی و ابزار پرسشنامه، ظرفیت سازگاری در مناطق هدف در دشت کازرون در بین ۱۵۰ کشاورز سنجش و تحلیل شده است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که میزان ظرفیت سازگاری جوامع محلی در مواجهه با افت آب‌های زیرزمینی در روستاهای مهنجان ۳/۸۰، مشتان ۳/۷۴ و جام‌بزرگی ۲/۸۱ می‌باشد. به‌طور کلی ظرفیت سازگاری در کل روستاهای مورد مطالعه، در حد متوسط (۳/۴۴) است. همچنین نتایج بیانگر این است که شاخص مدیریت سازگار بیشترین و شاخص اعتماد به دولت کمترین تأثیر بر میزان ظرفیت سازگاری جامعه هدف در مواجهه با افت آب‌های زیرزمینی دارند. یافته‌ها نشان داد که بیشتر مردم در این منطقه به‌دنبال مدیریت سازگار در شرایط افت آب زیرزمینی می‌باشند که این یافته‌ها برای بینش سیاست‌گذاران منابع آب زیرزمینی و ارائه‌دهندگان خدمات، جهت توسعه روستایی ضروری است.

واژه‌های کلیدی: آب‌های زیرزمینی، جامعه محلی، دشت کازرون، ظرفیت سازگاری

مقدمه

می‌باشد. ظرفیت سازگاری در یک نظام اجتماعی - اکولوژیک، ابعاد مختلفی را شامل می‌گردد که سازمان‌ها و روابط بین آن‌ها و نحوه برخورد با عدم قطعیت‌های سیستم مربوط از آن جمله هستند. این ابعاد نهایتاً می‌توانند ظرفیت یک سیستم را برای سازگاری با یک پدیده مشخص کنند، ظرفیت سازگاری در برابر تغییرات اقلیمی به عوامل اجتماعی، اقتصادی، نهادی، فنی و سیاسی بستگی دارد و ارتباط ویژه‌ای که این عوامل به یکدیگر دارند بستگی زیادی به مقیاس مطالعه و تحلیل دارد، بنابراین ظرفیت سازگاری یک مفهوم چندبعدی است (۲۴). سازگاری یا انطباق با تغییرات اقلیمی، به‌طور فزاینده‌ای از طرف سازمان‌ها و کارشناسان به‌عنوان پاسخ مهم و ضروری به چالش‌های تغییرات اقلیمی در سراسر جهان مطرح شده است (۱۷). به‌طور کلی بهره‌بردارانی که آگاهی و درک بیشتری در مورد بحران پیش رو دارند، ظرفیت بیشتری نیز برای سازگاری را دارا هستند (۱۴).

سازگاری^۱ یعنی انطباق با تغییرات آب و هوایی به‌معنای کاهش خطر و آسیب‌پذیری^۲ از طریق اقدامات، تنظیم شیوه‌ها و فرایندها در برابر تهدیدها و آسیب‌ها می‌باشد (۲۲). تعیین معیار و شاخص برای ظرفیت سازگاری مشکل است (۷). شاخص‌های محیط‌زیستی، اقتصادی و اجتماعی در سراسر جهان برای نشان دادن شرایط انسان و اکوسیستم‌های طبیعی استفاده می‌شوند. ساختار شاخص بسته به اندازه‌گیری و نیاز گزارش در نظر گرفته شده متفاوت است. دو نوع ساختار برای شاخص‌ها شناسایی شده‌اند: دسته اول، ساختارهایی که شرایط سیستم را اندازه‌گیری می‌کنند و دسته دوم، روابط علت و

در سال‌های اخیر تغییر اقلیم و برخی فعالیت‌های انسانی موجب افت آب‌های زیرزمینی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک شده است؛ عوامل مختلف طبیعی و انسانی در چند دهه اخیر باعث ایجاد شرایط بحرانی و افت سطح آب‌های زیرزمینی در بیشتر مناطق کشور شده است (۲۰). مدیریت منابع آب در کشور به‌دلیل افزایش تقاضا از یک‌سو و کاهش سرانه آب تجدیدپذیر از سوی دیگر، به‌ویژه در سال‌های اخیر با مناقشات روبه‌رو شده است (۱۶)؛ همچنین اعمال مدیریت نامناسب در حوزه‌های آبخیز موجب به‌هم خوردن تعادل طبیعی منابع آب زیرزمینی شده و مشکلات ناشی از افت سطح آب و یا پیامدهای ناشی از استفاده غیر بهینه از این منابع را موجب می‌شود (۱۰)؛ بنابراین مدیریت منابع آب‌های زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه‌خشک از اهمیت خاصی برخوردار است. با توجه به اثرات افت آب‌های زیرزمینی از جمله اثرات اجتماعی، اقتصادی و زیرساختی ضرورت دارد در تحقیقات به تحلیل اثرات این پدیده از نگاه انسانی و محیطی پرداخته شود. یکی از مفاهیمی که در الگو پایداری نظام‌های انسانی - محیطی مطرح شده، مفهوم ظرفیت سازگاری است. مفهوم ظرفیت سازگاری توانایی نظام‌ها، نهادها، انسان‌ها و دیگر موجودات برای تنظیم خود در برابر خطرات بالقوه از طریق استفاده از فرصت‌ها یا پاسخ به پیامدهای موجود است (۹).

ظرفیت سازگاری یک ویژگی اساسی برای برخورد با چالش‌های موجود در نظام‌های پیچیده اجتماعی - اکولوژیک

است. روستای مشتان در طول ۵۱ درجه و ۳۸ دقیقه شرقی و عرض ۲۹ درجه و ۳۴ دقیقه شمالی واقع شده است؛ و روستای مهرنجان نیز در طول ۵۱ درجه و ۳۹ دقیقه شرقی و عرض ۲۹ درجه و ۳۳ دقیقه شمالی قرار گرفته است (شکل ۱). اقتصاد روستاها بر پایه کشاورزی و دامپروری استوار است که منبع آب مورد استفاده در این بخش‌ها از آب زیرزمینی می‌باشد. همچنین متوسط بارندگی سالیانه این شهرستان ۳۶۰ میلی‌متر است (۸).

سنجش ظرفیت سازگاری نظام اجتماعی - اکولوژیک در مواجهه با افت آب‌های زیرزمینی منطقه مورد مطالعه

روش شاخص برای اندازه‌گیری ظرفیت سازگاری بر اساس انتخاب برخی شاخص‌ها از کل مجموعه‌ی شاخص‌های بالقوه می‌باشد؛ که به‌طور سیستماتیک ترکیب شاخص‌های انتخاب‌شده برای نشان دادن سطح آن‌ها می‌باشد. Maiti و همکاران (۱۳) از روش مبتنی بر شاخص برای تحلیل مسائل اجتماعی نسبت به تغییرات آب و هوایی در منطقه مورد مطالعه خود استفاده کردند در این پژوهش نیز از این روش برای تحلیل ظرفیت سازگاری در مواجهه با افت آب‌های زیرزمینی مورد استفاده قرار گرفت. شاخص‌های مورد بررسی در این مطالعه شامل شبکه‌های اجتماعی، اعتماد به دولت، تعامل و روابط متقابل، تلاش و زمان، مالی و زیرساخت، ابتکار و نوآوری، مدیریت سازگار، خطرپذیری، حکمرانی و اطلاعات و آگاهی بر اساس وضعیت جوامع هدف طراحی و سپس گویه‌های پرسشنامه ظرفیت سازگاری با توجه به شاخص‌های مذکور در سطح جوامع شهرستان کازرون و بر اساس مرور منابع و مطالعات انجام‌شده در این زمینه، تهیه و تنظیم گردید.

جامعه آماری

جامعه آماری در این پژوهش شامل ۲۱۶ خانوار روستایی در دشت کازرون است که کشاورزی آن‌ها متکی به آب زیرزمینی می‌باشد، به‌دلیل وسعت دشت و تعدد دهستان‌های آن از روش نمونه‌گیری تصادفی-سیستماتیک برای انتخاب روستاها استفاده گردید. به‌طوری‌که ابتدا دشت کازرون از لحاظ افت آب پهنه‌بندی و شبکه‌بندی شده است و دهستان‌هایی که با افت شدید مواجه بودند؛ انتخاب و از بین آن‌ها سه روستا انتخاب گردید؛ که در نهایت پرسشنامه‌های موردنظر در این روستاها جمع‌آوری گردید. همچنین به‌منظور برآورد حجم نمونه با استفاده از فرمول کوکران ۱۳۸ خانوار تعیین گردید؛ به‌منظور افزایش دقت نتایج پژوهش تعداد ۱۵۰ پرسشنامه در میان روستاهای مورد مطالعه تکمیل و سپس مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

ابزار جمع‌آوری داده‌ها

در این تحقیق از پرسشنامه به‌عنوان ابزار اصلی جمع‌آوری اطلاعات استفاده شد که دربردارنده‌ی ده عامل ظرفیت سازگاری در مواجهه با افت آب‌های زیرزمینی (شبکه محلی، اعتماد به دولت، تعامل و روابط متقابل، تلاش و زمان، مالی و زیرساخت، ابتکار و نوآوری، مدیریت سازگار، خطرپذیری، حکمرانی و اطلاعات و آگاهی) می‌باشد (۵).

در این پرسشنامه برای پاسخگویی از مقیاس درجه‌بندی پنج‌گزینه‌ای لیکرت استفاده شده است. ابزاری که برای

معلولی را اندازه می‌گیرند. بسیاری از شاخص‌های امروزی ترکیبی از دو دسته فوق هستند که شرایط کنونی و عواملی که وضعیت را تشدید می‌کنند را مورد شناسایی قرار می‌دهند (۱۸).

Brandt و همکاران (۴) در پژوهشی ظرفیت سازگاری را به‌عنوان اقدامات عمومی نهادی، سیستمی و فردی برای تعدیل خطرات تغییرات اقلیمی، یا تشخیص منافع، از طریق تغییرات در متغیرها و رفتارها تعریف کردند. با دقت در مطالعات سازگاری، عوامل تهدیدکننده محیطی می‌توانند به فرصت‌های مناسب مدیریتی تبدیل شوند؛ بنابراین آگاهی و درک اینکه چه عواملی بر ظرفیت سازگاری کشاورزان نسبت به تغییرات اقلیمی تأثیر می‌گذارند، ضروری است. به‌منظور تدوین برنامه‌های منطقی و همچنین تخصیص بهینه اعتبارات به مناطق روستایی، شناخت ظرفیت سازگاری برای سیاست‌گذاران ضروری است و از طریق آن می‌توان منابع محدود را به‌صورت واقعی و علمی اولویت‌بندی کرد (۱۲).

محققان معتقدند، ظرفیت سازگاری، درواقع پتانسیل نظام‌های اجتماعی - اکولوژیک برای تبدیل منابع موجود به استراتژی‌های سازگار موفق است. نظام‌های اجتماعی دارای توان سازگاری متفاوتی در مواجهه با بلایای طبیعی هستند و میزان آسیب‌پذیری آن‌ها نیز در برابر بلایای طبیعی یکسان نیست، ضمن توجه به میزان سازگاری فعلی در آن‌ها، می‌توان توانایی آنان را نیز جهت مقابله با این بحران‌ها افزایش داد. همچنین، آنان پی بردند که یکی از راه‌های افزایش سازگاری در جوامع محلی، استفاده درست از منابع موجود و فرصت‌های بالقوه است (۱). با توجه به آنچه بیان شد بررسی ظرفیت سازگاری در مواجهه با افت آب‌های زیرزمینی امری ضروری است. کاربرد این پژوهش سنجش میزان ظرفیت سازگاری جوامع محلی شهرستان کازرون در مواجهه با افت آب‌های زیرزمینی کمک به سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان در به‌کارگیری راهکارهای توانمندسازی جوامع محلی برای سازگاری و مقابله با تغییرات اقلیمی و کاهش زیان‌های احتمالی این پدیده است. پژوهش حاضر ظرفیت سازگاری در مواجهه با افت آب‌های زیرزمینی را در سه روستای مهرنجان، مشتان و جام‌بزرگی در شهرستان کازرون بررسی و مقایسه می‌نماید.

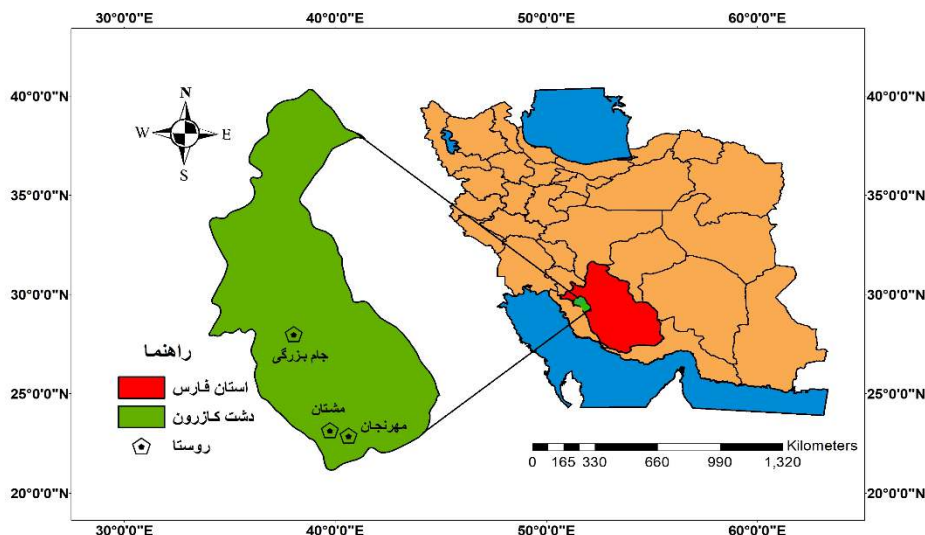
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

دشت کازرون واقع در استان فارس است؛ وسعت این منطقه حدود ۴۱۱۹ کیلومتر مربع می‌باشد و از مشرق به شهرستان شیراز، از جنوب شرقی به شهرستان فراهین، از غرب و جنوب به استان بوشهر و از شمال به شهرستان ممسنی محدود است. دشت کازرون در طول ۵۱ درجه و ۴۰ دقیقه شرقی و عرض ۲۹ درجه و ۳۷ دقیقه شمالی واقع شده است. نزدیک‌ترین شهرستان به آن شیراز است. ارتفاع آن از سطح دریا ۸۰۰ متر است. جهت انجام این پژوهش ۳ روستا در دشت کازرون انتخاب گردیده است. روستای جام‌بزرگی در طول ۵۱ درجه و ۳۵ دقیقه شرقی و عرض ۲۹ درجه و ۴۱ دقیقه شمالی می‌باشد؛ که در بخش مرکزی دشت قرار گرفته

قابلیت اعتماد استفاده شده است. سپس به گردآوری اطلاعات پرداخته شد. مقدار ضریب آلفای کروناخ هریک از مؤلفه‌ها ظرفیت سازگاری در جدول (۱) ارائه شده است. به علاوه، در این پژوهش برای تجزیه و تحلیل آماری، از آزمون تحلیل واریانس، آزمون لوین و آزمون F در نرم‌افزار SPSS25 استفاده شد.

جمع‌آوری داده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد، در گام اول باید از اعتبار لازم برخوردار باشد. جهت بررسی سازگاری سؤالات این پرسشنامه با جوامع محلی، روایی آن توسط پژوهشگران و کارشناسان مربوطه بررسی و مورد تأیید قرار گرفت. همچنین برای سنجش هماهنگی درونی بین شاخص‌های مختلف از ضریب آلفای کروناخ به‌عنوان یکی از ضرایب پایایی یا



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه
Figure 1. Geographic location of the studied area

سازگاری سنجه‌های خطرپذیری، آگاهی و اطلاعات، اعتماد به دولت به ترتیب با مقدار عددی ۱/۲۷۷، ۲/۷۷۰ و ۱/۱۰۱ کم‌تر از میانگین ظرفیت سازگاری می‌باشند؛ در نتیجه فرض صفر مبتنی بر یکسانی توزیع پذیرفته می‌شود. همچنین میانگین سایر سنجه‌های ظرفیت سازگاری شامل شبکه‌های اجتماعی، تعامل و روابط متقابل، مالی و زیرساخت‌ها، تلاش و زمان، ابتکار و نوآوری، مدیریت سازگار و حکمرانی بالاتر از میانگین ظرفیت سازگاری می‌باشند؛ بنابراین، فرض صفر مبتنی بر یکسانی توزیع رد می‌شود. می‌توان استنباط نمود که مقدار میانگین متفاوت از مقدار متوسط است.

نتایج و بحث

تحلیل سنجه‌های ظرفیت سازگاری در مواجهه با افت سفره‌های آب زیرزمینی

بررسی توزیع میانگین متغیرهای ظرفیت سازگاری به کمک آزمون تحلیل واریانس صورت پذیرفت. نتایج جدول (۲) میزان ظرفیت سازگاری هر یک از سنجه‌های ظرفیت سازگاری در جوامع هدف در مواجهه با افت آب‌های زیرزمینی را نشان می‌دهد. میزان ظرفیت سازگاری مؤلفه‌ها در ۳ روستای مورد بررسی می‌باشد. با توجه به میانگین ظرفیت سازگاری مؤلفه‌ها در منطقه مورد بررسی، میزان ظرفیت

جدول ۱- پایایی شاخص‌های ظرفیت سازگاری

Table 1. Reliability of adaptive capacity indicators

الفای کرون باخ	گویه	متغیر
۰/۷۶	در نتیجه ایجاد ارتباط با گروه‌های محلی من توانایی بیشتری برای دستیابی به مصرف بهینه آب زیرزمینی دارم. در نتیجه برقراری ارتباط با گروه‌های محلی من بهتر می‌دانم که چگونه در شرایط خشک‌سالی بهره‌برداری از آب زیرزمینی را مدیریت کنم. در نتیجه برقراری ارتباط با گروه‌های محلی، من بهتر متوجه می‌شوم که عوامل اجتماعی، اقتصادی و محیطی بر منافع من تأثیر می‌گذارد. در نتیجه ارتباط m با گروه‌های محلی، بهتر متوجه می‌شوم که روش آبیاری من چه تأثیری برافت آب‌های زیرزمینی می‌گذارد. در نتیجه ارتباط با گروه‌های محلی، بهتر می‌توانم از مصرف بی‌رویه آب و در نتیجه آن افت سطح آب‌های زیرزمینی جلوگیری کنم.	شبکه‌های اجتماعی
۰/۷۱	در نتیجه ارتباط با گروه‌های محلی، اعتماد بیشتری به کارشناسان دولتی (اعتماد نهادی) ایجاد می‌شود. برای کنترل سطح آب‌های زیرزمینی، باور دارم که می‌توان به سازمان‌های دولتی اعتماد کرد که بیشتر اوقات فعالیت‌های مناسبی را انجام می‌دهند. برای کنترل سطح آب‌های زیرزمینی، باور دارم که مشارکت یا برنامه‌های دولتی اشتباه است چراکه آن‌ها همیشه تغییر می‌کنند.	اعتماد به دولت
۰/۹۰	اگر یک مشکل جدی در این جامعه وجود داشته باشد، مردم باهم متحد شوند تا آن را حل کنند. من احساس مسئولیت می‌کنم برای کمک به جامعه‌ای که در آن زندگی می‌کنم. مردم در این روستا به‌طور کلی از یکدیگر حمایت می‌کنند.	تعامل و روابط متقابل
۰/۸۳	با وجود آنکه زمان زیادی ندارم ولی مدیریت مسائل آب در روستا برایم اولویت دارد. من وقت آزاد ندارم و عملاً نمی‌توانم در زمینه مسائل آب در منطقه کمکی کنم. من زمان کافی برای مدیریت آب زیرزمینی در منطقه دارم.	تلاش و زمان
۰/۸۶	من تجهیزات و زیرساخت‌های مورد نیاز برای مدیریت روش‌های آبیاری را دارم. به خاطر مشکلات مالی تصمیم‌گیری در مورد مسائل آبیاری برایم سخت است. من علاقه‌مندم که چیزهای جدید را تجربه کنم، ولی پیدا کردن پول برای به انجام رساندن آن‌ها مشکل است.	مالی و زیرساخت‌ها
۰/۸۵	من پذیرای ایده‌های تازه روش‌های نوین آبیاری هستم. دوست ندارم چیزهای تازه را آزمایش کنم. آگاهی از فناوری‌ها و روش‌های جدید برای من مهم است	ابتکار و نوآوری
۰/۷۹	برای مدیریت بهینه آب زیرزمینی به‌درستی برنامه‌ریزی کرده‌ام. در ذهنم می‌توانم تصور کنم که چگونه می‌توانم به جاییکه برای مدیریت مزرعه هدف گذاشته‌ام برسم. من از تجربه‌های خود در گذشته برای برنامه‌ریزی در آینده استفاده می‌کنم.	مدیریت سازگار
۰/۷۳	من قادرم تا خطرات اقتصادی را مدیریت کنم. از نظر اقتصادی من می‌توانم ریسک کنم و ایده‌های جدید را امتحان کنم. من قادرم تا خطرات زیست‌محیطی را مدیریت کنم.	خطرپذیری
۰/۸۴	من معتقدم که سازمان‌های دولتی به نیازها و نگرانی‌های جامعه محلی پاسخ نمی‌دهند. من معتقدم که برنامه‌های زیست‌محیطی دولت برای همه در زمینه استفاده از آب‌های زیرزمینی (چاه‌ها) عادلانه نیست. من اعتقاد دارم که من فرصت برای تصمیم‌گیری درباره برنامه‌های زیست‌محیطی دولت را دارم. معتقدم که دولت در بخش بیمه محصولات کشاورزی همکاری خوبی داشته است. به اعتقاد من، سازمان‌های دولتی، سازمان‌های غیردولتی و گروه‌های محلی باید دیدگاه مشترک داشته باشند. من اعتقاد دارم که هماهنگی خوبی میان سازمان‌های دولتی، غیردولتی و گروه‌های محلی وجود ندارد. برای مدیریت روش‌های آبیاری و کنترل سطح آب‌های زیرزمینی، باور دارم که دستگاه‌های دولتی، سازمان‌های غیر-دولتی و روستاییان دیدگاه مشترکی دارند.	حکمرانی
۰/۷۰	در طی ۵ سال گذشته، روزنامه‌های مربوط به استفاده بهینه از آب زیرزمینی در کشاورزی را مطالعه کرده‌ام. در طی ۵ سال گذشته شما از یک مشاور و یا کارشناس منابع آب استفاده کمک گرفته‌ام. در طی ۵ سال گذشته از یک مشاور و یا کارشناس کشاورزی خصوصی مشورت گرفته‌ام. در طی ۵ سال گذشته در کارگاه‌های آموزشی مربوط به روش‌های نوین کشاورزی شرکت نموده‌ام.	اطلاعات و آگاهی

جدول ۲- میانگین سنجه‌های ظرفیت سازگاری بهره‌برداران محلی در مواجهه با افت آب‌های زیرزمینی

Table 2. Mean of local operators compatibility capacity measures in the face of groundwater depletion

سنجه	روستا	میانگین	انحراف معیار	خطای استاندارد	کمینه	بیشینه
شبکه‌های اجتماعی	جام‌بزرگی	۳/۸۶	۰/۶۹	۰/۱۶۱	۳/۶۰	۴/۰۹
	مهرنجان	۳/۸۱	۰/۶۳	۰/۱۴۳	۳/۳۸	۴/۰۴
	مشتان	۴/۱۶	۰/۵۳	۰/۰۹۸	۳/۹۶	۴/۳۶
	کل	۳/۱۷	۰/۶۴	۰/۰۸۹	۳/۶۱	۰/۳۶
تعامل و روابط متقابل	جام‌بزرگی	۳/۵۶	۰/۶۲	۰/۱۱۴	۳/۳۳	۳/۰۸
	مهرنجان	۴/۰۳	۰/۶۵	۰/۱۶۱	۲/۶۰	۳/۳۶
	مشتان	۳/۶۱	۱/۰۳	۰/۱۸۳	۳/۲۲	۳/۹۶
	کل	۳/۶۲	۰/۷۵	۰/۰۸۹	۳/۲۶	۰/۶۸
مالی و زیرساخت‌ها	جام‌بزرگی	۳/۶۰	۰/۸۶	۰/۱۸۸	۳/۰۳	۳/۶۶
	مهرنجان	۳/۳۶	۰/۸۸	۰/۱۸۱	-/۱۸۸	۳/۶۴
	مشتان	۳/۰۳	۱/۰۷	۰/۱۳۱	-/۵۵	۳/۵۰
	کل	۳/۲۰	۰/۸۱	۰/۰۸۶	۳/۰۵	۳/۶۳
تلاش و زمان	جام‌بزرگی	۳/۴۰	۰/۸۷	۰/۰۸۱	۳/۰۱	۳/۵۸
	مهرنجان	۳/۵۳	۰/۸۰	۰/۰۵۱	۳/۴۳	۳/۶۳
	مشتان	۳/۸۶	۱/۱۰	۰/۰۶۸	۱/۴۵	-/۰۸
	کل	۳/۶۰	۱/۰۳	-/۱۳	۱/۶۶	۰/۱۶
خطرپذیری	جام‌بزرگی	۲/۴۱	۱/۰۵	۰/۱۸۰	۳/۰۰	۳/۸۰
	مهرنجان	۲/۱۰	۰/۸۳	۰/۸۶۳	-/۵۷	۳/۰۸۳
	مشتان	۲/۰۵	۱/۰۱	۰/۱۸۶	۰/۶۶	۳/۴۳
	کل	۲/۲۷	۰/۷۶	۰/۰۸۱	۰/۰۱	۰/۵۷
ابتکار و نوآوری	جام‌بزرگی	۴/۳۸	۰/۸۶	۰/۱۴۸	-/۶۰	۳/۰۵
	مهرنجان	۴/۱۶	۰/۸۳	۰/۱۸۱	۳/۰۱	۳/۵۷
	مشتان	۳/۵۴	۰/۸۸	۰/۰۸۳	-/۰۵	۰/۸۴
	کل	۳/۵۴	۰/۸۸	۰/۰۸۳	-/۰۵	۰/۸۵
اعتماد به دولت	جام‌بزرگی	۱/۶۰	۱/۱۶	۰/۰۱۳	-/۴۳	۳/۳۰
	مهرنجان	۱/۶۰	۱/۱۳	۰/۱۰۸	-/۲۱	۳/۰۰
	مشتان	۰/۶۶	۱/۰۶	۰/۰۳۰	-/۱۸	۳/۱۴
	کل	۱/۱۰	۱/۰۴	-/۱۱	-/۰۸	-/۵۱
مدیریت سازگار	جام‌بزرگی	۴/۱۰	۰/۳۰	۰/۰۵۵۷	۳/۸۸	۴/۰۱۳
	مهرنجان	۴/۰۰	۰/۵۰	۰/۰۵۷	۳/۸۱	۴/۱۴
	مشتان	۳/۸۳	۰/۵۰	۰/۰۸۵	۳/۷۳	۴/۱۰
	کل	۳/۱۴	۰/۵۸	۰/۱۰۷	۳/۷۸	۴/۰۱
حکمرانی	جام‌بزرگی	۳/۰۴	۰/۸۷	۰/۰۸۰	۳/۰۱	۳/۵۸
	مهرنجان	۳/۸۸	۰/۸۴	۰/۰۸۸	۳/۷۱	-/۰۶
	مشتان	۳/۵۳	۰/۸۶	۰/۱۴۸	۳/۰۱	۳/۸۵
	کل	۳/۳۵	۰/۷۷	۰/۱۴۰	۳/۱۷	۳/۷۵
اطلاعات و آگاهی	جام‌بزرگی	۲/۸۶	۱/۰۶	۰/۰۱۳	-/۴۳	۳/۳۰
	مهرنجان	۳/۶۷	۱/۱۳	۰/۰۱۸	-/۰۱	۳/۰۰
	مشتان	۳/۶۶	۱/۰۶	۰/۰۳۰	-/۱۸	۳/۱۴
	کل	۲/۷۷	۰/۸۱	۰/۱۶۸	۱/۸۵	۰/۶۴

طبق نتایج ارائه‌شده جدول (۳) با توجه به سطح معناداری واریانس سنجه‌های شبکه‌های اجتماعی، تعامل و روابط متقابل، مالی و زیرساخت‌ها، تلاش و زمان، ابتکار و نوآوری، مدیریت سازگار و حکمرانی، می‌توان بیان نمود که این مؤلفه‌ها در روستاهای منطقه دارای اختلاف معنادار می‌باشند.

سطح معناداری در سایر مؤلفه‌های اعتماد به دولت، آگاهی و اطلاعات، خطرپذیری بیشتر از ۰/۰۵ می‌باشد؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در واریانس مؤلفه‌ها اختلاف معناداری وجود ندارد و همگن می‌باشد.

جدول ۳- آزمون برابری واریانس سنجه‌های ظرفیت سازگاری بهره‌برداران محلی در مواجهه با افت آب‌های زیرزمینی

Table 3. Equality of variance of the variance of local operators capacity measures in the face of the degradation of groundwater

سنجه‌ها	آماره لوین	درجه آزادی	سطح معنی‌داری
شبکه‌های اجتماعی	۶/۶۶۸	۱۴۹	۰/۰۰۰**
تعامل و روابط متقابل	۳/۵۰۷	۱۴۹	۰/۰۳۴**
مالی و زیرساخت‌ها	۳/۱۸۳	۱۴۹	۰/۰۴۶**
تلاش و زمان	۳۰/۳۰۰	۱۴۹	۰/۰۰۰**
خطرپذیری	۰/۸۰۶	۱۴۹	۰/۰۶۵ ^{ns}
ابتکار و نوآوری	۵/۳۰۸	۱۴۹	۰/۰۱۳**
اعتماد به دولت	۰/۵۷۰	۱۴۹	۰/۵۶۶ ^{ns}
مدیریت سازگار	۶/۳۸۸	۱۴۹	۰/۰۰۳**
حکمرانی	۴/۰۷۸	۱۴۹	۰/۰۰۰**
اطلاعات و آگاهی	۰/۶۸۳	۱۴۹	۰/۵۰۸ ^{ns}

*: ۰/۰۵، **: ۰/۰۱، ns: عدم معنی‌داری

سنجه‌ها نیز سطح معناداری کم‌تر از ۰/۰۵ می‌باشد به‌طوری‌که می‌توان نتیجه گرفت اختلاف بین روستاها معنادار و مؤلفه‌ها ناهمگن می‌باشد.

با توجه به نتایج جدول ۴، سطح معناداری محاسبه شده در سطح خطای ۰/۰۵ می‌توان گفت که سنجه‌های ظرفیت سازگاری شامل اعتماد به دولت، خطرپذیری و اطلاعات و آگاهی بین روستاها دارای اختلاف معنادار نمی‌باشند. در سایر

جدول ۴- تحلیل واریانس میانگین سنجه‌های ظرفیت سازگاری بهره‌برداران محلی در مواجهه با افت آب‌های زیرزمینی
Table 4. Variance analysis mean measures of the consistency capacity of local operators in the face of the degradation of groundwater.

سنجه	ظرفیت سازگاری	درجه آزادی	میانگین مربعات	آماره F	معنی‌داری
شبکه‌های اجتماعی	بین روستاها	۲	۳/۰۳۳	۴/۰۸۸	۰/۰۱۷**
	درون روستاها	۱۴۷	۰/۷۰۷		
	کل	۱۴۹			
تعامل و روابط متقابل	بین روستاها	۲	۰/۱۳۱	۳/۱۸۸	۰/۰۴۰**
	درون روستاها	۱۴۷	۰/۶۶۶		
	کل	۱۴۹			
مالی و زیرساخت‌ها	بین روستاها	۲	۸/۰۸۵	۷/۴۸۸	۰/۰۰۱**
	درون روستاها	۱۴۷	۱/۰۷۸		
	کل	۱۴۹			
تلاش و زمان	بین روستاها	۲	۳۱/۴۱۳	۰/۱۸۸۸	۰/۰۰۰**
	درون روستاها	۱۴۷	۱/۴۳۵		
	کل	۱۴۹			
خطرپذیری	بین روستاها	۲	۱/۰۸۴	۰/۰۶۸	۰/۱۰۶ ^{ns}
	درون روستاها	۱۴۷	۰/۵۶۶		
	کل	۱۴۹			
ابتکار و نوآوری	بین روستاها	۲	۷/۰۷۰	۷/۴۴۶	۰/۰۰۱**
	درون روستاها	۱۴۷	۰/۸۷۷		
	کل	۱۴۹			
اعتماد به دولت	بین روستاها	۲	۴/۴۶۶	۳/۸۴۷	۰/۰۰۳ ^{ns}
	درون روستاها	۱۴۷	۱/۱۶۱		
	کل	۱۴۹			
مدیریت سازگار	بین روستاها	۲	۳/۰۴۴	۴/۱۶۷	۰/۰۱۸**
	درون روستاها	۱۴۷	۰/۷۷۸		
	کل	۱۴۹			
حکمرانی	بین روستاها	۲	۱۴/۴۳۳	۱۱/۶۷۷	۰/۰۰**
	درون روستاها	۱۴۷	۱/۰۳۶		
	کل	۱۴۹			
اطلاعات و آگاهی	بین روستاها	۲	۰/۸۵۸	۰/۸۸۵	۰/۴۱۴ ^{ns}
	درون روستاها	۱۴۷	۱/۰۸۳		
	کل	۱۴۹			

*۰/۸۵، **۰/۸۸، NS عدم معنی‌داری

میانگین ۲/۸۱ دارای کمترین ظرفیت سازگاری در بین روستاها می‌باشد. همچنین میانگین کل ظرفیت سازگاری بهره‌برداران منابع آب زیرزمینی در سه منطقه مذکور ۳/۴۴ می‌باشد می‌توان بیان نمود که میزان ظرفیت سازگاری بهره‌برداران در این مناطق در مواجهه با پدیده افت آب زیرزمینی در حد متوسط می‌باشد.

بر اساس اطلاعات جدول (۵)، نتایج سنجش میزان ظرفیت سازگاری جوامع محلی در مواجهه با افت آب‌های زیرزمینی در سه روستا موردبررسی متفاوت می‌باشد. روستای مهرنجان و مشتان به ترتیب با میانگین ۳/۸۰ و ۳/۷۴؛ ظرفیت سازگاری بیشتری را دارا بوده و نسبت به روستای جام‌بزرگی از وضعیت بهتری برخوردار هستند، روستای جام‌بزرگی با

جدول ۵- میانگین ظرفیت سازگاری بهره‌برداران محلی در مواجهه با افت آب‌های زیرزمینی
Table 5. Mean local operators' compatibility capacity in the face of groundwater loss

روستا	تعداد	میانگین	انحراف معیار	خطای استاندارد	کمینه	بیشینه
جام‌بزرگی	۵۰	۲/۸۱	۰/۸۱۷	۰/۰۷۷	۰/۷۲۰	۲/۹۰۴
مهرنجان	۵۰	۳/۸	۰/۸۱۷	۰/۰۶۶	۰/۷۳۰	۳/۱۴۴
مشتان	۵۰	۳/۷۴	۰/۸۵۳	۰/۰۵۳	۳/۰۳۰	۳/۰۴۱
کل	۱۵۰	۳/۴۴	۰/۹۵۳	۰/۰۴۳	۳/۶۳۰	۳/۰۸۱

یعنی ظرفیت سازگاری در بین مناطق مورد مطالعه همگن نمی‌باشند.

با توجه به نتایج جدول (۶)، مقدار به‌دست‌آمده در سطح خطای یک درصد ۰/۰۰۶ می‌باشد. می‌توان بیان نمود که از لحاظ ظرفیت سازگاری، بین روستاها اختلاف معنادار می‌باشد؛

جدول ۶- تحلیل واریانس میانگین ظرفیت سازگاری بهره‌برداران محلی در مواجهه افت آب‌های زیرزمینی
Table 6. Mean variance analysis of local operators compatibility capacity in the face of groundwater loss

ظرفیت سازگاری	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	آماره F	سطح معنی‌داری
بین روستایی	۱۴/۵۴	۲	۷/۴۴	۵/۰۰۰	۰/۰۰۶**
درون روستایی	۲۴۹/۰۵	۱۴۷	۱/۶۹		
کل	۲۶۳/۶۰	۱۴۹			

است بنابراین جوامع روستایی این منطقه باید در زمینه فناوری و اطلاعات تقویت گردد (۵۶).

نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که بعدهای انسانی و اجتماعی در ارتقا ظرفیت سازگاری بهره‌برداران اهمیت بسیاری دارد که با پژوهش‌های تقی‌پور (۲۳) که در ارتباط با سرمایه‌های مؤثر در ظرفیت سازگاری می‌باشد، مطابقت داشت. نتایج ایشان نشان داد که سرمایه انسانی بیش‌ترین ارتباط را با ظرفیت سازگاری دارد و به‌ترتیب بعد از آن سرمایه‌های فیزیکی، اجتماعی، مالی و طبیعی اثرگذار هستند. به‌طورکلی می‌توان گفت ظرفیت سازگاری در مواجهه با افت سفره‌های آب زیرزمینی یک پدیده چندبعدی می‌باشد. تحلیل ظرفیت سازگاری نظام‌های اجتماعی- اکولوژیک واقع در عرصه‌های خطر، اقدامی علمی برای فراهم‌سازی زیرساخت اطلاعاتی مناسب از درجه و میزان خطرپذیری ناشی از رخداد مخاطره طبیعی است؛ بنابراین تحلیل و تبیین ظرفیت سازگاری با فراهم آوردن زیرساخت مناسب اطلاعاتی به‌منظور تعدیل و کنترل، می‌تواند بر درجه و گستره خسارت ناشی از رویداد سانحه، اثر مستقیم بگذارد و مانع تبدیل آن به فاجعه شود (۲۰).

همچنین با اشتغال‌زایی و ایجاد فرصت‌های شغلی جدید در روستاها و هماهنگی ساختاری و نهادی در توزیع وظایف مرتبط با سازگاری در بخش کشاورزی بین دستگاه‌ها و وزارتخانه‌های مرتبط می‌توان ظرفیت سازگاری نظام‌های اجتماعی- اکولوژیک را در برابر مخاطرات طبیعی افزایش داد. علاوه بر این، یکی از موفق‌ترین رویکردها در مدیریت منابع طبیعی، رویکرد مدیریت مشارکتی مبتنی بر سازگاری است؛ که سرمایه اجتماعی یکی از مهم‌ترین سنجه‌ها در استقرار مدیریت مشارکتی مبتنی بر سازگاری شناخته‌شده است. از سویی دیگر در هر سه روستا، ارتباطات روستایی قدرت بیشتری دارد و شبکه‌های اجتماعی کشاورزی و حکمرانی آب هم در این روستاها از مقدار قابل توجهی برخوردار می‌باشد که در تقویت ظرفیت سازگاری نظام‌های اجتماعی بسیار مؤثر است بنابراین سرمایه اجتماعی (مشارکت در سازوکارهای بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی) مهم‌ترین و اساسی‌ترین معیار در ارتقاء ظرفیت سازگاری نظام اجتماعی- اکولوژیک در مواجهه با تهدیدات محیط زیستی ازجمله افت آب‌های زیرزمینی و خشک‌سالی است. همچنین در این رویکرد بر جلب مشارکت بهره‌بردار محلی در فرآیند تصمیم‌گیری، برنامه‌ریزی و اجرای پروژه‌های مدیریتی تأکید شده که در هر منطقه با توجه به بافت اجتماعی و اکولوژیکی آن، این فرآیند اجرایی می‌گردد (۹،۳).

نظام‌های اجتماعی اکولوژیک همواره در معرض خطرات طبیعی و همچنین اثرات ناشی از آن می‌باشند. با این حال، توان مقابله و میزان سازگاری، در بخش‌های مختلف متفاوت می‌باشد، ظرفیت سازگاری یک ویژگی اساسی برای برخورد با چالش‌های موجود در نظام‌های پیچیده اجتماعی- اکولوژیک می‌باشد؛ بنابراین تلاش برای شناسایی و سنجش سنجه‌های ظرفیت سازگاری با تغییرات محیط‌زیستی و ذهنیت بهره‌برداران نسبت به افت سفره‌های آب زیرزمینی جهت برنامه‌ریزی سیاست‌گذاران منابع آب زیرزمینی و ارائه‌دهندگان خدمات توسعه روستایی ضروری است.

نتایج حاصل از سنجش میزان ظرفیت سازگاری جوامع محلی در مواجهه با افت سفره‌های آب زیرزمینی در سه روستای مهرنجان، مشتان و جام‌بزرگی به‌ترتیب ۳/۸، ۳/۷۴ و ۲/۸۱ می‌باشد و با توجه به میانگین ظرفیت سازگاری مؤلفه‌ها در منطقه موردبررسی، میزان ظرفیت سازگاری مؤلفه‌های خطرپذیری، آگاهی و اطلاعات، اعتماد به دولت به‌ترتیب با مقدار عددی ۱/۲۷۷۰، ۲/۷۷۰ و ۱/۱۰۱ کمتر از میانگین کل (حد متوسط) ظرفیت سازگاری می‌باشند؛ و سایر مؤلفه‌های شبکه‌های اجتماعی، تعامل و روابط متقابل، مالی و زیرساخت‌ها، تلاش و زمان، ابتکار و نوآوری، مدیریت سازگار و حکمرانی از میانگین ظرفیت سازگاری بالاتر می‌باشند و نشان‌دهنده‌ی این است که در این روستا بهره‌برداران محلی تمایل به کار گروهی و مشارکت در زمینه مدیریت بهینه آب‌های زیرزمینی را دارند و در مواجهه با افت آب‌های زیرزمینی سازگاران عمل می‌کنند.

در روستای جام‌بزرگی ظرفیت سازگاری با مقدار ۲/۸۱ نشان می‌دهد که بیشترین آسیب‌پذیری محیطی را دارا می‌باشد. آسیب‌پذیرترین جوامع آن‌هایی هستند که پس از وقوع یک فاجعه به‌سختی می‌توانند شرایط و وسایل معاش خود را احیا و نوسازی کنند احیا و نوسازی در مناطق محروم زمان زیادی طول می‌کشد و به‌شدت بر اقتصاد و معیشت منطقه اثر می‌گذارد علاوه بر این گروه‌های جمعیتی فقیرتر همیشه جایی را برای مکان‌گزینی ندارند بنابراین مجبورند در مناطق خطرپذیر زندگی کنند (۱۹،۲).

مؤلفه‌ی مالی و زیرساخت‌ها در روستای جام‌بزرگی در سطح پایین‌تری قرار داشت و اینکه بعضی از خانوارهای روستایی به دلیل مشکل اقتصادی و زیرساختی دارای ظرفیت سازگاری بسیار محدودی بوده‌اند که نتایج تحقیقات مختلف نیز مشابه این مطلب می‌باشد (۱۵،۲۱). در همین راستا پژوهشگرانی در پژوهش خود تعیین کردند که در جوامع روستایی استرالیایی بیشترین نقطه‌ضعفی که برای ظرفیت سازگاری روستاییان وجود دارد نقطه‌ضعف اطلاعاتی و فناوری

منابع

1. Anderson, M.B. and P.J. Woodrow. 1991. Reducing vulnerability to drought and famine: Developmental approaches to relief. *Disasters*, 15(1): 43-54.
2. Blaikie, P., T.D.L. Cannon and B. Wisner. 1994. Disaster pressure and release model. *At Risk: Natural Hazards People's Vulnerability and Disasters*, 21-45.
3. Bodin, O., C. Prell. 2011. *Social network in natural resources management*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 560 pp.
4. Brandt, L., A.D. Lewis, R. Fahey, L. Scott, L. Darling and C. Swanston. 2016. A framework for adapting urban forests to climate change. *Environmental Science and Policy*, 66: 393-402.
5. Brown, P.R., K.L. Bridle and S.J. Crimp. 2016. Assessing the capacity of Australian broadacre mixed farmers to adapt to climate change: Identifying constraints and opportunities. *Agricultural Systems*, 146: 129-141.
6. Brown, P.R., R. Nelson, B. Jacobs, P. Kokic, J. Tracey, M. Ahmed and P. DeVoil. 2010. Enabling natural resource managers to self-assess their adaptive capacity. *Agricultural Systems*, 103(8): 562-568.
7. Ericksen, S., P. Aldunce, C.S. Bahinipati, R.D. Martins, J.I. Molefe, C. Nhemachena, K. O'Brien, F. Olorunfem, J. Park, L. Sygna and K. Ulsrud. 2011. When not every response to climate change is a good one: Identifying principles for sustainable adaptation. *Climate and Development*, 3(1): 7-20.
8. Ganji, N. 2018. Presenting an optimal groundwater use model by integrating human environmental systems to combat desertification (Case Study: Kazeroon plain-Fars province), M.Sc. Thesis. University of Tehran, Tehran, Iran, 133 pp (In Persian).
9. Ghorbani, M. 2018. *Adapting Institutions*, 2nd edn, Tehran University Press. Tehran. Iran, 274 pp (In Persian).
10. Ghorbani Sarhangi, Z., A. Shahnazari, M.A. Gholami Sefidkahi and S. Jannat Rostami. 2018. Simulation of groundwater from qaemshahr- juibar catchment under performance of Alborz irrigation and drainage network. *journal of watershed management research*, 9(17): 246-257 (In Persian).
11. Juhola, S., L. Peltonen and P. Niemi. 2012. The ability of Nordic countries to adapt to climate change: assessing adaptive capacity at the regional level. *Local Environment*, 17(6-7): 717-734.
12. Khaledi, F., K. Zarafshani, A. Mirakzadeh, L. Sharafi. 2016. Assessment of adaptive capacity of wheat growers to climate change in sarpolezahab township, *Sciences for the promotion and Education of Agriculture*, 12(2): 169-182 (In Persian).
13. Maiti, S., S.K. Jha, S. Garai, A. Nag, A.K. Bera, V. Paul and S.M. Deb. 2017. An assessment of social vulnerability to climate change among the districts of Arunachal Pradesh, India. *Ecological Indicators*, 77: 105-113
14. Marshall, N.A., S. Park, S.M. Howden, A.B. Dowd and E.S. Jakku. 2013. Climate change awareness is associated with enhanced adaptive capacity. *Agricultural Systems*, 117: 30-34.
15. Mohammadkhani, M. and S. Jamali. 2015. Iran's vulnerability assessment to climate change. *Dam and Hydroelectric Powerplant*, 2(4): 54-65 (In Persian).
16. Morteza pour, M.R., A. Shahnazari and M.R. Khaledian. 2019. Water governance in the sefidrud basin using the theory of games approach. *Journal of Watershed Management Research*, 10(19): 13-21 (In Persian).
17. Nielsen, J. and A. Reenberg. 2010. Cultural barriers to climate change adaptation: A case study from Northern Burkina Faso. *Global Environmental Change*, 20: 142-152.
18. Paavola, J. 2008. Livelihoods, vulnerability and adaptation to climate change in Morogoro, Tanzania. *Environmental Science & Policy*, 11(7): 642-654.
19. Ramesht, M. and M. Entezary. 2015. Why is risk knowledge? (The need to address human vulnerability), *Risk Knowledge*, 2(4): 371-375 (In Persian).
20. Ranjbar, F., M. Bashk, F. Mirahidari, M. Najib. 2013. Investigation of hydraulic properties and causes of groundwater subsidence Alviai towf of the northern slopes of Sahand, The 5th Iranian Water Resources Management Conference, Tehran, Iran Water Resources Sciences and Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran (In Persian).
21. Senapati, S. and V. Gupta. 2017. Socio-economic vulnerability due to climate change: Deriving indicators for fishing communities in Mumbai. *Marine Policy*, 76: 90-97.
22. Shisanya, S. and P. Mafongoya. 2016. Adaptation to climate change and the impacts on household food security among rural farmers in uMzinyathi District of Kwazulu-Natal, South Africa. *Food Security*, 8(3): 597-608.
23. Taghipour, M. 2017. Measuring stakeholder's adaptive capacity against climate change- case Study: gonabad District, khorasan Razavi province. MSc Thesis. University of Tehran, Tehran, Iran 132 pp (In Persian).
24. Vincent, K. 2007. Uncertainty in adaptive capacity and the importance of scale. *Global Environmental Change*, 17(1): 12- .

Measuring and Analyzing Adaptive Capacity of Socio-Ecological System in the Face of Declining Groundwater Aquifers (Studied Area: Kazerun Plain)

Najmeh Ganji¹, Mehdi Ghorbani², Hassan Khosravi³ and Amir Alamobigi⁴

1- Master of Desertification, Faculty of Natural Resources, University of Tehran

2- Associate Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran

(Corresponding author: mehghorbani@ut.ac.ir)

3- Associate Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran

4- Assistant Professor, Faculty of Agriculture, University of Tehran

Received: April 29, 2019

Accepted: June 1, 2020

Abstract

Human societies face natural hazards, such as groundwater drainage as well as its effects. Underground water losses in various ways, directly and indirectly, affect human societies, but local communities, especially the agricultural sector, are the most dependent part of underground water, which in this study is the main focus of measuring adaptive capacity. Adaptation capacity is an essential characteristic for coping with challenges in complex socio-ecological systems. In this research, by field observation and questionnaire compatibility capacity in target areas in the Kazerun Plain was measured and analyzed in 150 farmers. The results of the research show that the compatibility capacity of local communities in the face of subsidence of groundwater in the Mehrjian villages is 3.80, Mashtan, 3.74 and Jambozorgi, 2.81. In general, the adaptive capacity of the villages surveyed is moderate (3.44). The results also indicate that the most consistent index of governance and the trust index to the government have the least impact on the level of capacity of the target community in meeting groundwater scarcity. The findings showed that most people in the area are looking for adaptive management in underground waterlogging situations, which are essential for the understanding of groundwater policy planners and service providers for rural development.

Keywords: Adaptive Capacity, Groundwater, Local Community, Kazerun Plain



"مقاله پژوهشی"

پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی در دوره آبی بر پایه مدل HadCM3 با استفاده از مدل ریزمقیاس‌نمایی SDSM در حوزه آبخیز آق‌چای (آذربایجان غربی)

لیلا همتی^۱ و میرحسین میریعقوب‌زاده^۲

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه

۲- استادیار و عضو هیات علمی دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، (نویسنده مسوول: m.miryaghoubzadeh@urmia.ac.ir)

تاریخ ارسال: ۹۸/۰۳/۰۱ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۸/۲۶

صفحه: ۹۵ تا ۱۰۷

چکیده

صنعتی‌شدن جوامع و افزایش گازهای گلخانه‌ای موجب افزایش دمای کره زمین و تغییر دیگر متغیرهای اقلیمی شده است. این پدیده مهم‌ترین معضل کره زمین در قرن حاضر می‌باشد از این رو ارزیابی میزان روند شکل‌گیری آن در مقیاس جهانی و منطقه‌ای از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. تاکنون مدل‌های گردش عمومی متعددی برای پیش‌بینی وضعیت اقلیم در آینده طراحی شده است، اما خروجی حاصل از این مدل‌ها به دلیل محدودیت در تفکیک مکانی در مقیاس محلی، قابل استفاده نمی‌باشد. بنابراین روش‌های مختلفی به منظور استفاده از خروجی این مدل‌ها در مقیاس منطقه‌ای و محلی ابداع شده است. در این پژوهش برای بررسی تغییرات متغیرهای اقلیمی در حوزه آبخیز آق‌چای واقع در شمالغرب کشور از مدل ریزمقیاس‌نمایی SDSM استفاده شده است بدین منظور ابتدا میزان کارایی این مدل برای ریزمقیاس‌نمایی متغیرهای اقلیمی در ایستگاه سینوپتیک خوی مورد ارزیابی قرار گرفت، سپس شاخص‌های مذکور تا سال ۲۱۰۰ شبیه‌سازی شد. مدل SDSM با استفاده از داده‌های مشاهده‌ای ایستگاه سینوپتیک خوی و داده‌های NCEP کالیبره و واسنجی شد. به منظور ارزیابی مدل از معیار میانگین خطای مطلق و مجذور میانگین مربعات خطا استفاده شد و پس از حصول اطمینان از کارایی مدل، خروجی‌های مدل HadCM3 در دوره‌های زمانی ۲۰۲۰-۲۰۵۰ و ۲۱۰۰-۲۰۷۰ حوزه آبخیز آق‌چای، تحت سناریوهای A2 و B2 توسط مدل آماری SDSM ریزمقیاس‌نمایی شد. نتایج نشان‌دهنده افزایش دمای کمینه و بیشینه منطقه مطالعاتی در اکثر ماه‌های سال می‌باشد. به طوریکه افزایش ۳/۴۸ درجه سانتیگراد دمای بیشینه در دوره ۲۰۲۰-۲۰۵۰ و ۲۰۷۰-۲۱۰۰ و ۵/۶ سانتیگراد در دوره ۲۰۷۰-۲۱۰۰ و دمای کمینه به میزان ۳/۴۵ برای دوره ۲۰۲۰-۲۰۵۰ و ۵/۵۱ برای دوره ۲۰۷۰-۲۱۰۰ قابل مشاهده بود. همچنین نتایج نشان‌دهنده افزایش بارش در اکثر ماه‌های سال برای دوره ۲۰۲۰-۲۰۵۰ (در محدوده ۰/۱ تا ۹۵/۷۴) می‌باشد. تغییرات بارش برای دوره ۲۰۷۰-۲۱۰۰ نیز به صورت افزایش در اکثر ماه‌های سال با حداکثر مقدار ۹۴/۶۴ و حداقل مقدار ۱/۳۴ درصد می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آق‌چای، ریزمقیاس‌نمایی، متغیرهای اقلیمی، مدل‌های گردش عمومی جو، مدل SDSM

مقدمه

(۱۹). مهم‌ترین تبعات تغییر اقلیم تأثیرگذاری آن بر پدیده‌های حدی جوی^۱ و اقلیمی نظیر طوفان، سیل، تگرگ، خشکسالی، امواج گرمایی و سرماهای ناهنگام خواهد بود، به طوری که انتظار می‌رود پدیده‌های حدی جو در طی دهه‌های آینده روند افزایشی داشته باشند (۵). برای درک ماهیت پیچیده جو و پیش‌بینی تغییرات آن در آینده بایستی از روابط کمی بین متغیرهای موثر استفاده شود. به علت پیچیدگی معادلات از نظر ریاضی و تعدد آنها و نیز پیچیده بودن شرایط مرزی، حل این معادلات به روش تحلیلی امکان‌پذیر نیست، بنابراین متخصصان از روش‌های عددی برای حل این معادلات استفاده می‌کنند (۳). در حال حاضر مدل‌های گردش عمومی جو (GCM)^۲ تنها ابزاری هستند که اثر تغییر اقلیم در سطح جهانی را برای عناصر جوی در شبکه‌های بزرگ مکانی شبیه‌سازی می‌کنند. با توجه به قدرت تفکیک این مدل‌ها که حدود ۴۰۰ کیلومتر مربع می‌باشد، خروجی این مدل‌ها از نظر مقیاس مکانی و زمانی برای مطالعات محلی و کاربردی نظیر هیدرولوژیکی مناسب نمی‌باشند (۶). با توجه به اینکه اکثر مطالعات کاربردی و

ایران دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک بوده و مدیریت صحیح منابع آب و در نظر گرفتن تغییرات آب و هوایی در برای استفاده بهینه از ذخایر محدود آب کشور اهمیت ویژه‌ای دارد. دو متغیر مهم در هیدرولوژی و منابع آب، درجه حرارت و بارش می‌باشند که با استفاده از درجه حرارت می‌توان تبخیر از آب‌های سطحی و تعرق از گیاهان و با استفاده از بارش می‌توان حجم مخزن، میزان رواناب را محاسبه و الگوی مصرف آب را تعیین کرد (۱۴). تغییر مشخص در الگوهای مورد انتظار برای وضعیت میانگین آب و هوایی، که در طولانی‌مدت در یک منطقه خاص یا برای کل اقلیم جهانی، رخ بدهد تغییر اقلیم نامیده می‌شود؛ در واقع تغییر اقلیم نشان‌دهنده تغییرات غیرعادی در اقلیم در اتمسفر و پیامدهای ناشی از آن در قسمت‌های مختلف کره زمین می‌باشد. افزایش و تشدید تغییرات متغیرهای اقلیمی ناشی از آن، می‌تواند تأثیرات منفی زیادی را بر سیستم‌های مختلف از جمله منابع آب، محیط‌زیست، صنعت، بهداشت، کشاورزی و کلیه سیستم‌هایی که در کنش با سیستم اقلیمی می‌باشند، بگذارد

در نظر گرفتن سناریوی A2، ۲/۴۸ و با در نظر گرفتن سناریوی A1B، ۲/۴۳ درجه افزایش خواهد یافت. رضایی و همکاران (۱۴) با بررسی کارایی مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری SDSM در پیش‌بینی متغیرهای دمایی در دو اقلیم خشک و فراخشک کرمان و بهم شاهد افزایش دما در تمامی ماه‌ها برای این منطقه بودند.

شیداییان و همکاران (۱۸) با مقایسه دو مدل شبکه عصبی مصنوعی و SDSM در کوچک مقیاس‌سازی متغیرهای اقلیمی نشان دادند که مدل SDSM از کارایی مناسب‌تری برای کوچک مقیاس‌سازی متغیرهای اقلیمی نسبت به مدل شبکه عصبی مصنوعی برخوردار است و نتایج نشان‌دهنده افزایش دما در سال‌های آینده بود.

سلاجقه و همکاران (۱۵) با پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی توسط مدل چندگانه خطی SDSM در دوره آینده بر پایه سناریو A2 به این نتیجه رسیدند که بر پایه سناریوی A2 در ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه، مقدار بارش میانگین در دوره‌های ۲۰۴۰-۲۰۶۵ و ۲۰۶۵-۲۰۹۰، نسبت به دوره پایه کاهش و دمای متوسط کمینه و دمای متوسط بیشینه نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد.

زارعی و همکاران (۲۴) به پیش‌بینی عناصر اقلیمی سناریوهای RCP در ایستگاه سینوپتیک گرگان توسط مدل ریزمقیاس‌نمایی SDSM پرداخته‌اند. ایشان به این نتیجه رسیدند که میزان بارش در دوره نزدیک از ماه فرویه تا آگوست و در دوره دور از ماه دسامبر تا آگوست کاهش خواهد داشت. تغییرات اقلیمی در سرتاسر جهان با شدت‌های متفاوت در حال رخ‌دادن است، با توجه به تأثیر آن در نحوه زندگی و فعالیت‌های بشری، برای درک ماهیت پیچیده جو و پیش‌بینی تغییرات آن در آینده باید آن را مدلسازی نمود. هدف از این پژوهش پیش‌بینی تغییرات متغیرهای اقلیمی برای دوره‌های آتی در حوزه آبخیز آق‌چای می‌باشد. به دلیل اینکه تنها ایستگاه سینوپتیک و دارای آمار طولانی مدت به این حوضه ایستگاه خوی می‌باشد لذا پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی در این ایستگاه برای حوضه مذکور انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

حوزه آبخیز آق‌چای به مساحت ۱۴۴۰/۹ کیلومتر مربع و ارتفاع متوسط ۲۰۹۵/۶ متر بین عرض‌های شمالی ۳۳°-۴۰° تا ۳۸°-۳۰° و طول‌های شرقی ۳۹°-۳۰° و ۳۹°-۱۰°-۴۴° تا ۳۷°-۵۷° در شمال شهرستان خوی و جنوب شهرستان سیه‌چشمه در استان آذربایجان غربی واقع شده است. متوسط دمای سالانه این حوضه ۶/۱ درجه سانتی‌گراد و کمینه دمای سالانه در این حوضه به مقدار ۲/۲ درجه سانتی‌گراد و بیشینه دما به مقدار ۹/۹ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. با بررسی‌های صورت گرفته اقلیم غالب منطقه با توجه به اقلیم‌نمای آمبرژه نیمه‌مرطوب سرد می‌باشد. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز آق‌چای را در ایران و استان آذربایجان غربی نشان می‌دهد.

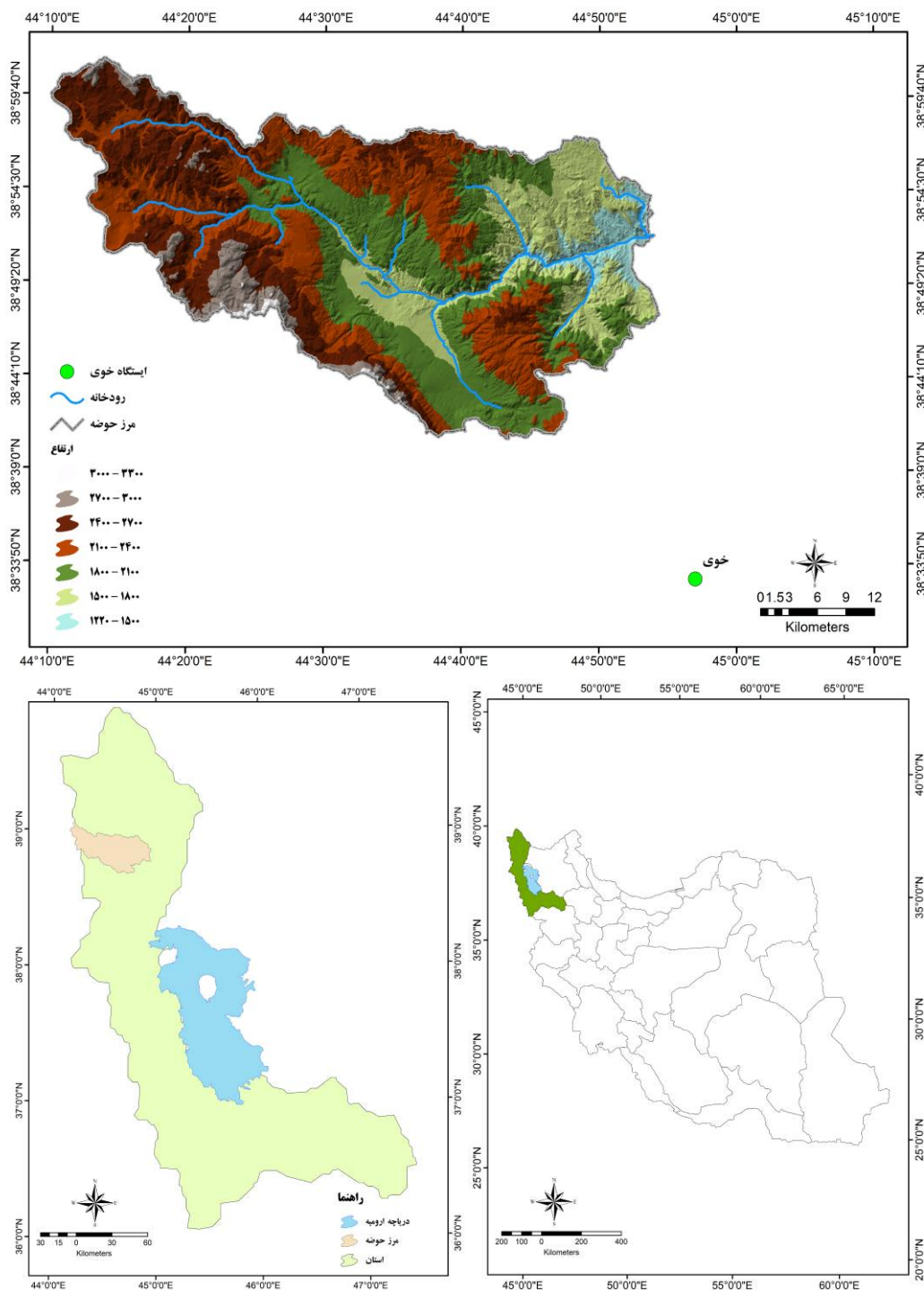
پروژه‌های اجرایی اکوسیستم‌های زمینی در مقیاس حوزه آبخیز صورت می‌گیرد، لذا برای استفاده از داده‌های مدل گردش عمومی جو به ابزاری نیاز هست که بتوان داده‌های مدل‌های گردش عمومی جو را به مقیاس محلی و سطح حوزه آبخیز تبدیل کرد، به همین منظور دانشمندان روش‌های مختلفی برای ریزمقیاس‌نمایی مدل‌های مذکور ابداع نموده‌اند. اساس کلیه روش‌های ریزمقیاس‌نمایی بر پایه ایجاد ارتباط بین متغیرهای مدل‌های گردش عمومی جو به‌عنوان متغیرهای مستقل (مانند فشار هوا، رطوبت، باد و...) و متغیرهای اقلیمی به‌عنوان متغیرهای وابسته (مانند بارش، دما و...) در مقیاس منطقه‌ای، محلی و حتی نقطه‌ای استوار می‌باشد (۸) و (۲۳). کلیه روش‌های ریزمقیاس‌نمایی را در چهار گروه دینامیکی، سینوپتیکی، آماری و تابع انتقالی طبقه‌بندی کردند. از آنجا که مدل‌های دینامیکی و سینوپتیکی برای شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی نیاز به کامپیوتر و ابزار پیچیده دارند، امروزه مدل‌های آماری خصوصاً تابع انتقالی بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرند. این گروه برحسب اینکه بر پایه روابط آماری یا ریاضی استوار باشند، به دو دسته مدل‌های آماری و ریاضی تقسیم‌بندی می‌شوند.

با توجه به اهمیت تغییرات متغیرهای اقلیمی و اثرات آن بر سایر متغیرهای اقلیمی مطالعات متعددی در این خصوص در داخل کشور صورت گرفته است:

تمام مدل‌های AOGCM افزایش دما در سطح زمین بر اثر افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای را در قرن حاضر پیش‌بینی می‌کنند (۱۰).

لیو و همکاران (۱۳) میزان دما را در دوره (۲۰۹۹-۱۹۶۱) در چین پیش‌بینی نمودند. نتایج نشان از افزایش پنج درجه سانتیگراد در دمای بیشینه و کمینه دارد. سیاری و همکاران (۲۰) با پیش‌بینی تغییرات اقلیمی در حوضه کشف رود استان خراسان طی سه دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰، ۲۰۶۹-۲۰۴۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی آماری ASD خروجی مدل HadCM3 نشان دادند که تغییرات دمای کمینه و بیشینه در دوره‌های آتی نسبت به دوره پایه روند افزایشی دارند. عباسی و اثمیری (۱) با استفاده از خروجی دو الگوی گردش عمومی جو (ECHAM4 و HadCM2) و لحاظ نمودن ۱۸ سناریوی انتشار، شرایط اقلیم ایران را در دهه‌های ۲۰۰۰، ۲۰۲۵، ۲۰۵۰، ۲۰۷۵ و ۲۱۰۰ الگوسازی نمودند. بر اساس بررسی‌های به‌عمل‌آمده نتایج هر دو الگو بیانگر افزایش دمای تمامی استان‌های کشورمان در دهه‌های آینده هستند. این دو الگو به‌طور میانگین، افزایش ۳ تا ۳/۶ درجه سانتیگراد را تا سال ۲۱۰۰ پیش‌بینی می‌کنند. آبکار و همکاران (۲) با شبیه‌سازی شاخص‌های دمایی در مناطق خشک و نیمه‌خشک با استفاده از مدل SDSM به این نتیجه رسیدند میانگین درجه حرارت سالانه برای دوره‌های آتی نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت.

دوستی و همکاران (۱۶) با بررسی شاخص‌های اقلیمی حوضه آبخیز تهر استان گلستان در شرایط تغییر اقلیم با استفاده از مدل LARS-WG نشان دادند که میانگین دما با



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز آق چای در ایران و استان آذربایجان غربی
 Figure 1. Geographical Location of AghChai Watershed in Iran and West Azarbaijan

ایستگاه در جدول ۱ آورده شده است.

در این پژوهش از داده‌های بیشینه و کمینه دما و بارش روزانه ایستگاه سینوپتیک خوی استفاده شده است. مشخصات

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی ایستگاه سینوپتیک خوی

Table 1. Geographic specifications of Khoy synoptic station

مشخصات جغرافیایی		ارتفاع	نوع ایستگاه	نام ایستگاه
عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	۱۱۰۳	سینوپتیک	خوی
۳۳° ۳۸'	۴۵°			

روش تحقیق

بدون هیچ تغییری و به‌طور مستقیم قابل استفاده در مدل SDSM می‌باشد. در این پژوهش از داده‌های ۴۰ ساله NCEP از سال ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۱، برای واسنجی و ارزیابی مدل و از داده‌های مدل HadCM3 تحت دو سناریو A2 و B2 برای شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی در دوره پایه (۲۰۰۷-۱۹۸۲) و دو دوره آینده سی‌ساله (۲۰۷۰-۲۰۲۰ و ۲۰۲۰-۲۰۵۰) استفاده شد. متغیرهای NCEP شامل ۲۶ متغیر مستقل اتمسفری می‌باشد که از بین آنها، متغیرهای مستقلی که دارای بالاترین ضریب همبستگی و کمترین واریانس خطا با داده‌های پیش‌بینی‌شونده می‌باشند، انتخاب می‌شوند (۲۱). برای انتخاب متغیر مستقل غالب از مدل SDSM استفاده شد که از میان متغیرها، ژئوپتانسیل در ارتفاع فشاری ۵۰۰ و ۵ هکتوپاسکال و رطوبت نسبی سطحی، بالاترین همبستگی را با متغیرهای وابسته (متغیرهای اقلیمی) دارا بودند. فهرست متغیرهای NCEP به‌شرح جدول ۲ می‌باشد.

در این پژوهش، برای ریزمقیاس‌نمایی آماری متغیرهای اقلیمی، از داده‌های مدل HadCM3 استفاده شد. داده‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل داده‌های ایستگاه سینوپتیک خوی، داده‌های مرکز ملی پیش‌بینی متغیرهای محیطی کانادا (NCEP) و داده‌های مدل HadCM3، تحت دو سناریو A2 و B2 که با فرمت dat، وارد مدل می‌شوند، می‌باشد. داده‌های ایستگاه سینوپتیک خوی شامل بیشینه و کمینه دمای روزانه و بارش روزانه از اول ژانویه ۱۹۸۲ تا پایان دسامبر ۲۰۰۷ برای اعتبارسنجی و واسنجی مدل مورد استفاده قرار گرفتند که برای این منظور ابتدا داده‌ها به فرمت قابل قبول مدل SDSM تبدیل شده و سپس وارد مدل شدند. داده‌های مدل HadCM3 دارای شبکه‌هایی به ابعاد ۲/۵ در ۳/۷۵ درجه (به‌ترتیب شرقی و شمالی) می‌باشند که توسط گوردون و همکاران (۹) ارائه شده است. خروجی این مدل‌ها

جدول ۲- متغیرهای NCEP

Table 2. NCEP variables

متغیر	ردیف	متغیر	ردیف
سرعت مداری سطحی	۱۴	فشار سطح صفر	۱
واگرایی سطحی	۱۵	قدرت جریان هوای سطحی	۲
حالت گردابی سطحی	۱۶	سرعت نصف النهاری سطحی	۳
سرعت مداری در ارتفاع فشاری ۵۰۰ هکتوپاسکال	۱۷	سرعت نصف النهاری در ارتفاع فشاری ۵۰۰ هکتوپاسکال	۴
حالت گردابی در ارتفاع فشاری ۵۰۰ هکتوپاسکال	۱۸	قدرت جریان هوا در ارتفاع فشاری ۵۰۰ هکتوپاسکال	۵
جهت باد در ارتفاع فشاری ۵۰۰ هکتوپاسکال	۱۹	جهت باد سطحی در ارتفاع فشاری ۵۰۰ هکتوپاسکال	۶
واگرایی در ارتفاع فشاری ۵۰۰ هکتوپاسکال	۲۰	ژئوپتانسیل در ارتفاع فشاری ۵۰۰ هکتوپاسکال	۷
سرعت مداری در ارتفاع فشاری ۸۵۰ هکتوپاسکال	۲۱	سرعت نصف النهاری در ارتفاع فشاری ۸۵۰ هکتوپاسکال	۸
حالت گردابی در ارتفاع فشاری ۸۵۰ هکتوپاسکال	۲۲	قدرت جریان هوا در ارتفاع فشاری ۸۵۰ هکتوپاسکال	۹
جهت باد در ارتفاع فشاری ۸۵۰ هکتوپاسکال	۲۳	ژئوپتانسیل در ارتفاع فشاری ۸۵۰ هکتوپاسکال	۱۰
رطوبت نسبی در ارتفاع فشاری ۸۵۰ هکتوپاسکال	۲۴	واگرایی در ارتفاع فشاری ۸۵۰ هکتوپاسکال	۱۱
رطوبت نسبی سطحی	۲۵	رطوبت نسبی در ارتفاع فشاری ۸۵۰ هکتوپاسکال	۱۲
میانگین دما در ارتفاع دو متری	۲۶	رطوبت ویژه سطحی	۱۳

جدول ۳- مشخصات مدل جوی - اقیانوسی HadCM3 (IPCC, 1999)

Table 3. Atmospheric and Oceanic HadCM3 model properties

مدل	AGCM Resolution	OGCM Resolution	GHG Simulation	دوره شبیه‌سازی	سناریوهای شبیه‌سازی SRES
HadCM3	۲/۵ × ۳/۷۵	۲/۵ × ۳/۷۵	CO2: ۱۹۸۹-۱۸۶۰ SO4: ۱۹۸۹-۱۸۶۰	SRES Scenarios: ۲۰۹۹ - ۱۹۵۰	A1, A2, B1, B2

تشریح مدل SDSM

اتمسفری (فشار سطح دریا، نیروی جریان هوا در سطح زمین و...) و متغیرهای وابسته زمینی نظیر بارش، دما و... استوار است. در این مورد انتخاب متغیرهای مستقل که ارتباط منطقی و مناسبی با متغیرهای وابسته داشته باشند، از اهمیت خاصی برخوردار است (۲۰).

این مدل برای شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی در یک ایستگاه خاص در شرایط حاضر و در شرایط آینده تحت تاثیر پدیده تغییر اقلیم به‌کار می‌رود و داده‌های آن به‌صورت سری‌های

مدل SDSM اولین بار در سال ۲۰۰۲ توسط ویلی و همکاران (۲۳) تحت عنوان نسخه ۲/۱ ارائه شد. این مدل از نوع مدل‌های تابع انتقالی آماری است درواقع بهترین مدل هیبریدی از مدل‌های رگرسیونی و مدل‌های آماری به حساب می‌آید.

اساس کار مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی آماری تابع انتقالی نظیر مدل SDSM بر پایه ارتباط بین متغیرهای مستقل

و RMSE کمتر باشد، نشان‌دهنده کارایی بیشتر مدل در برآورد متغیرهای اقلیمی می‌باشد.

نتایج و بحث

ارزیابی مدل

بیشترین میزان همبستگی پیش‌بینی‌کننده‌های NCEP با شاخص‌های دمایی شامل: فشار متوسط سطح دریا، واگرایی سطحی، قدرت جریان هوا در ارتفاع فشاری ۵۰۰ هکتوپاسکال، جهت باد سطحی در ارتفاع فشاری ۵۰۰ هکتوپاسکال، ژئوپتانسیل در ارتفاع فشاری ۵۰۰ هکتوپاسکال، میانگین دما در ارتفاع دو متری و بیشترین میزان همبستگی پیش‌بینی‌کننده‌های NCEP با شاخص بارش شامل: فشار متوسط سطح دریا، حالت گردابی سطحی، جهت باد سطحی در ارتفاع فشاری ۵۰۰ هکتوپاسکال، ژئوپتانسیل در ارتفاع فشاری ۵۰۰ هکتوپاسکال، میانگین دما در ارتفاع دو متری ریزمقیاس‌نمایی داده‌های بارش و دما در دوره پایه مورد ارزیابی قرار گرفت. بدین منظور داده‌های NCEP مورد استفاده قرار گرفت. در این پژوهش به منظور بررسی میزان کارایی مدل از معیار میانگین خطای مطلق و مجذور میانگین مربعات خطا استفاده شد. با توجه به مقادیر جدول ۳ نتایج حاصل از محاسبات معیار میانگین خطای مطلق و مجذور میانگین مربعات خطا برای متغیر دما نشان از توانایی مدل SDSM در ریزمقیاس‌نمایی آماری داده‌های بزرگ مقیاس دارد. شکل ۲ و ۳ مقایسه میانگین ماهانه دمای کمینه و بیشینه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده توسط مدل SDSM را نشان می‌دهد.

زمانی روزانه برای یک سری از متغیرهای اقلیمی مانند دما، بارندگی و سایر متغیرهای جوی استفاده می‌شود. مراحل کار مدل شامل هفت مرحله می‌باشد که عبارتند از: کنترل کیفیت و تبدیل داده‌ها، انتخاب متغیرهای مستقل مناسب، واسنجی مدل، تولید داده‌های هواشناسی زمان حاضر با استفاده از متغیرهای مستقل مشاهده‌ای، تحلیل آماری داده‌های مشاهده‌شده، نمایش هندسی خروجی مدل، تولید داده‌های هواشناسی آینده با استفاده از متغیرهای مستقل ویلی و همکاران (۲۳) ارزیابی و واسنجی مدل با استفاده از داده‌های NCEP صورت می‌گیرد و با استفاده از داده‌های HadCM3، میزان دمای بیشینه و کمینه برای ایستگاه خوی برای دو دوره ۲۰۲۰-۲۰۵۰ و ۲۰۷۰-۲۱۰۰ پیش‌بینی و با دوره پایه مقایسه می‌گردد. به منظور ارزیابی و مقایسه دقت روش‌ها و سناریوهای مدل استفاده شده و شناسایی بهترین روش برای پیش‌بینی دما، از معیار میانگین خطای مطلق (MAE) و مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) که روابط آن‌ها به شرح زیر می‌باشد، استفاده شده است.

$$MAE = \sum_{i=1}^n \left| \frac{p_i - o_i}{n} \right| \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (p_i - o_i)^2}{n}} \quad (2)$$

که در آن o و p به ترتیب مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده و n تعداد داده‌ها می‌باشد. هرچه میزان MAE

جدول ۴- مقادیر میانگین خطای مطلق و مجذور میانگین مربعات خطا

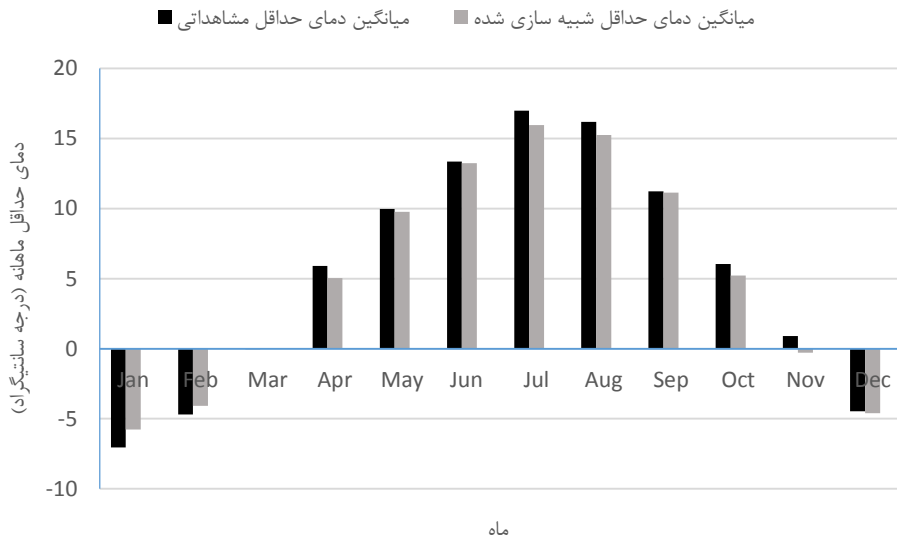
Table 4. Mean absolute error and Root mean squared error

متغیر	بارش	دمای بیشینه	دمای کمینه
میانگین خطای مطلق	۰/۰۳۹	۰/۹۷۲	۰/۲۷۸
مجذور میانگین مربعات خطا	۰/۱۹۸	۰/۹۸۶	۰/۵۲۷

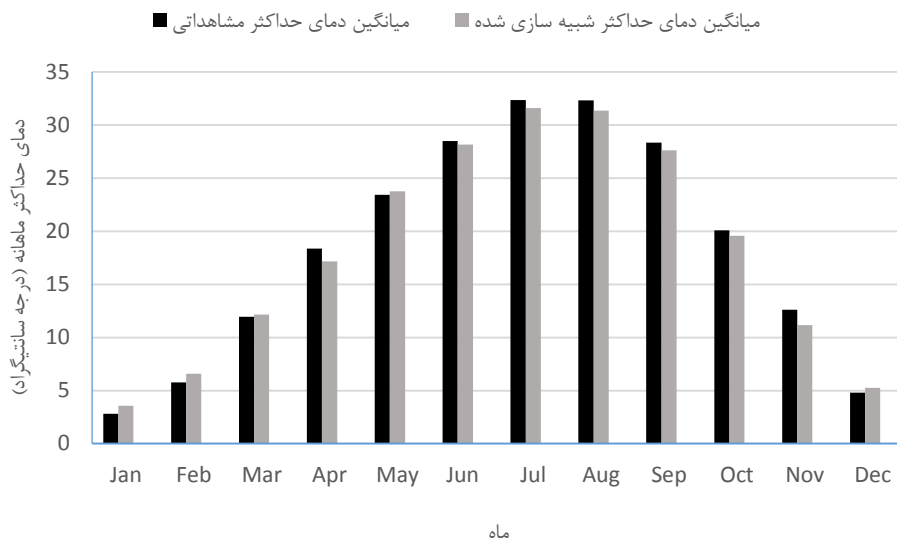
جدول ۵- میانگین و واریانس داده‌ها در دوره پایه

Table 5. Mean and Variance of the data in base period

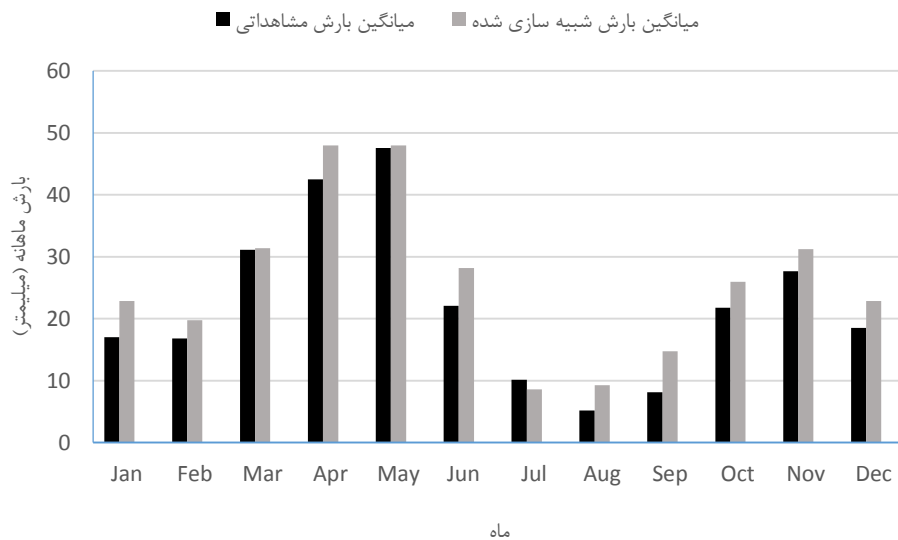
فصل	بارش		دمای بیشینه		دمای کمینه	
	میانگین (میلیمتر)	واریانس	میانگین (درجه سانتیگراد)	واریانس	میانگین (درجه سانتیگراد)	واریانس
بهار	۰/۸۱	۷/۱۴	۹/۷۴	۵۸/۹۳	-۱/۵۰	۴۳/۸۴
تابستان	۱/۰۰	۹/۶۷	۲۴/۹۸	۴۴/۶۱	۱۰/۶۳	۲۷/۱۱
پاییز	۰/۴۹	۵/۸۶	۲۸/۱۷	۴۰/۹۳	۱۲/۴۸	۲۸/۴۱
زمستان	۰/۶۷	۵/۵۱	۱۱/۰۱	۹۳/۹۹	-۰/۵۰	۵۳/۰۲
سالانه	۰/۷۴	۷/۰۸	۱۸/۴۷	۱۲۶/۷۴	۵/۲۸	۷۸/۰۸



شکل ۲- میانگین ماهانه دمای کمینه مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده در دوره پایه
 Figure 2. Average monthly observed and simulated minimum temperature during the base period



شکل ۳- میانگین ماهانه دمای بیشینه مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده در دوره پایه
 Figure 3. Average monthly observed and simulated maximum temperature during the base period



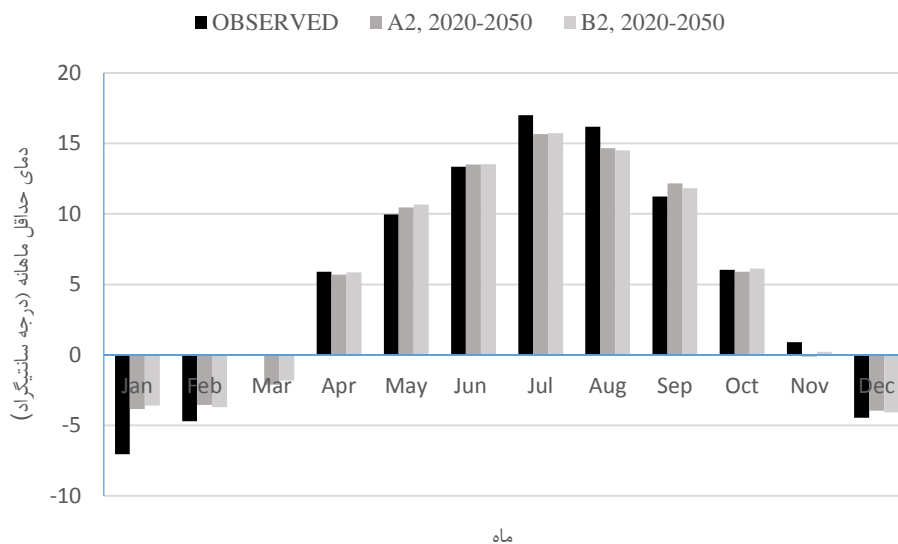
شکل ۴- میانگین ماهانه بارش مشاهده شده و شبیه سازی شده در دوره پایه (۱۹۸۲-۲۰۰۰)
Figure 4. Average monthly observed and simulated maximum precipitation during the base period

با توجه به شکل ۵ مدل HadCM3 تحت هر دو سناریوی A2 و B2 در ماه های مارس، آوریل، جولای، اگوست و نوامبر کاهش دما و در ماه های ژانویه، فوریه، می، ژوئن، سپتامبر و دسامبر افزایش دما را پیش بینی کرده است. تنها در ماه اکتبر سناریوی A2، کاهش و سناریوی B2، افزایش دما را نسبت به دوره مشاهده شده پیش بینی کرده است. بیشترین افزایش دما مربوط به ماه ژانویه سناریوی B2 و به میزان ۳/۴۵ درجه سانتیگراد و بیشترین کاهش دما مربوط به ماه مارس و به میزان ۲/۰۸ در سناریوی A2 می باشد.

شبیه سازی متغیرهای اقلیمی

پس از اطمینان از صحت و کارایی مدل SDSM در شبیه سازی شاخص های دما و بارش حوزه آبخیز آق چای، خروجی های مدل HadCM3 تحت سناریوهای A2 و B2 برای دوره های ۲۰۲۰-۲۰۵۰ و ۲۰۷۰-۲۱۰۰ ریزمقیاس شده و مقادیر بارش و دمای کمینه و دمای بیشینه پیش بینی شده و با مقادیر آنها در دوره پایه مورد مقایسه قرار گرفت.

تغییرات دمای کمینه
دوره ۲۰۲۰-۲۰۵۰ (آینده نزدیک)

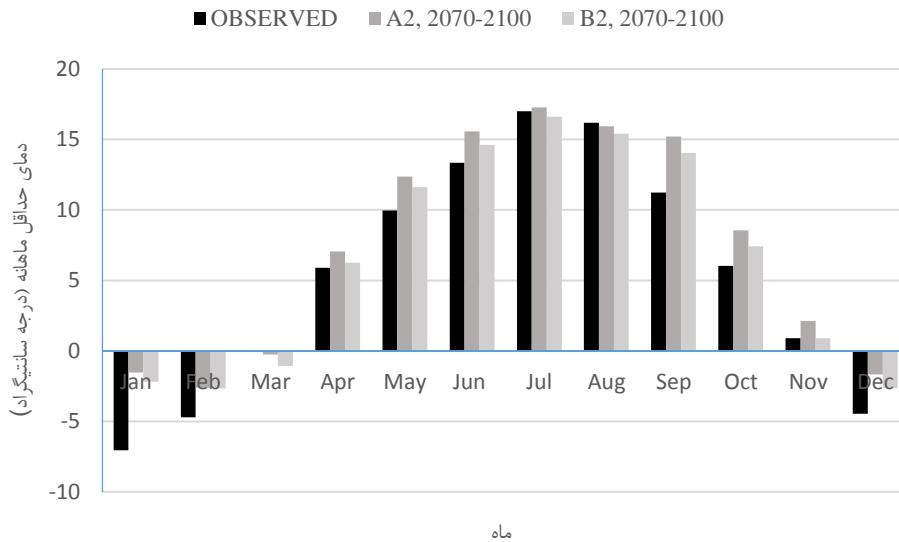


شکل ۵- میانگین دمای کمینه ماهانه مشاهده شده و شبیه سازی شده دوره ۲۰۲۰-۲۰۵۰ تحت دو سناریوی A2 و B2
Figure 5. Average monthly observed and simulated minimum temperature in 2020-2050 period under A2 and B2 scenarios

بیشترین افزایش دما مربوط به ماه ژانویه در سناریوی A2 و بیشترین کاهش دما در ماه مارس سناریوی B2 به میزان ۱/۰۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

دوره ۲۰۷۰-۲۱۰۰ (آینده دور)

با توجه به شکل ۶ میانگین دمای کمینه ماهانه در دوره ۲۰۷۰-۲۱۰۰ برای حوضه آبخیز آق‌چای نسبت به دوره مشاهداتی در تمام ماه‌ها به جز ماه مارس افزایش خواهد یافت.



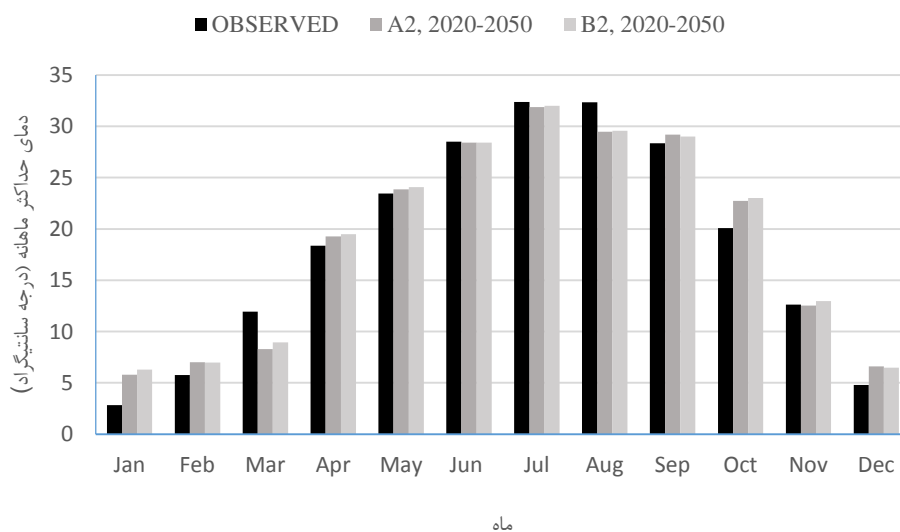
شکل ۶- میانگین دمای کمینه ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده دوره ۲۰۷۰-۲۱۰۰ تحت دو سناریوی A2 و B2
Figure 6. Average monthly observed and simulated minimum temperature in 2070-2100 period under A2 and B2 scenarios

اگوست هر دو سناریو کاهش دمای بیشینه را نشان می‌دهند. تنها در ماه ژوئن هر دو سناریو تغییرات دمایی نشان نمی‌دهند. و در بقیه ماه‌ها هر دو سناریو افزایش دما را نشان می‌دهند. بیشترین افزایش هم مربوط به ماه ژانویه سناریوی B2 به میزان ۳/۴۸ درجه سانتیگراد است.

تغییرات دمای بیشینه

دوره ۲۰۲۰-۲۰۵۰ (آینده نزدیک)

در شکل ۷ نمودار تغییرات دمای بیشینه منطقه مطالعاتی دوره ۲۰۲۰-۲۰۵۰ نسبت به دوره مشاهداتی ارائه شده است. هر دو سناریوی A2 و B2 افزایش دما را در بیشتر ماه‌های سال پیش‌بینی می‌کنند. تنها در ماه‌های مارس، جولای و

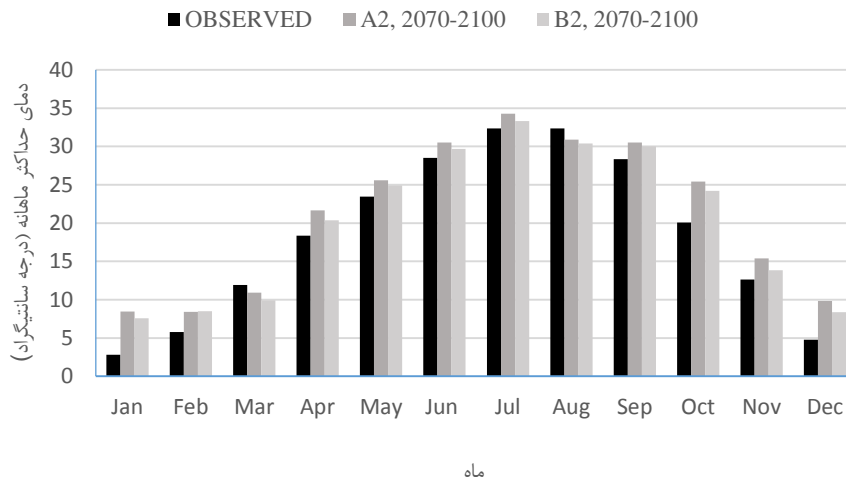


شکل ۷- میانگین دمای بیشینه ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده دوره ۲۰۲۰-۲۰۵۰ تحت دو سناریوی A2 و B2
Figure 7. Average monthly observed and simulated maximum temperature in 2020-2050 period under A2 and B2 scenarios

دوره ۲۰۷۰-۲۱۰۰ (آینده دور)

در هر دو سناریوی A2 و B2 کاهش دما نسبت به دوره مشاهداتی پیش‌بینی شده است. بیشترین مقدار افزایش دما مربوط به ماه ژانویه و اکتبر سناریوی A2 و به میزان ۵/۶ و ۵/۳ درجه سانتیگراد می‌باشد.

شکل ۸ تغییرات میانگین دمای بیشینه ماهانه دوره ۲۰۷۰-۲۱۰۰ را نسبت به دوره مشاهداتی نشان می‌دهد. بررسی دمای بیشینه ماهانه این دوره حاکی از افزایش دما در بیشتر ماه‌های سال می‌باشد. فقط در ماه‌های مارس و آگوست

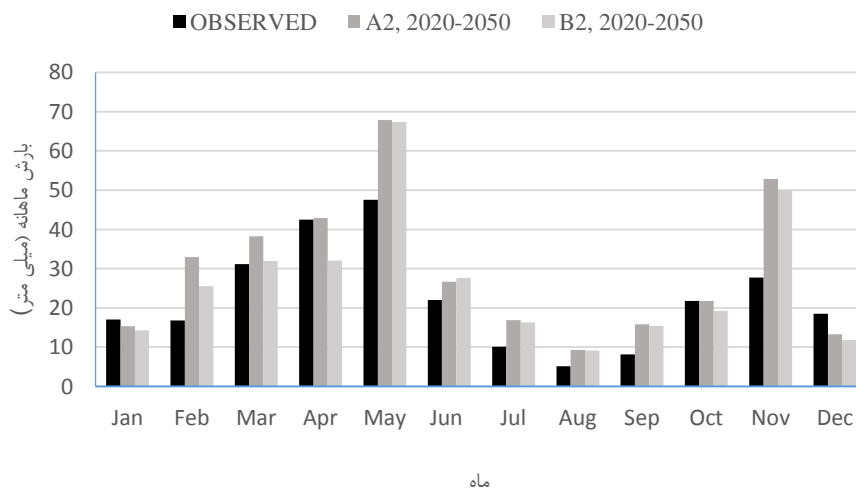


شکل ۸- میانگین دمای بیشینه ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده دوره ۲۰۷۰-۲۱۰۰ تحت دو سناریوی A2 و B2
Figure 8. Average monthly observed and simulated maximum temperature in 2070-2100 period under A2 and B2 scenarios

اکتبر و دسامبر کاهش بارندگی و در سایر ماه‌ها افزایش بارندگی را پیش‌بینی نموده‌اند. به جز ماه آوریل که در آن سناریوی A2 افزایش و سناریوی B2 کاهش بارندگی را نشان می‌دهند. بیشترین افزایش بارندگی مربوط به ماه فوریه‌ی سناریوی A2 به میزان ۹۵/۷۴ درصد می‌باشد و کمترین میزان افزایش بارش مربوط به ماه آوریل سناریوی A2 به میزان ۰/۹ درصد می‌باشد.

تغییرات بارش**دوره ۲۰۲۰-۲۰۵۰ (آینده نزدیک)**

شکل ۹ نتایج میزان اختلاف میانگین بارش ماهانه مشاهداتی و پیش‌بینی شده ارائه شده است. میزان تغییرات بارش دوره ۲۰۲۰-۲۰۵۰ نسبت به دوره پایه از روند یکنواختی برخوردار نمی‌باشد. مدل HadCM3 در برخی از ماه‌ها میزان بارش را بیشتر و در برخی ماه‌ها نیز کمتر پیش‌بینی می‌کند. هر دو سناریوی A2 و B2 در ماه ژانویه،

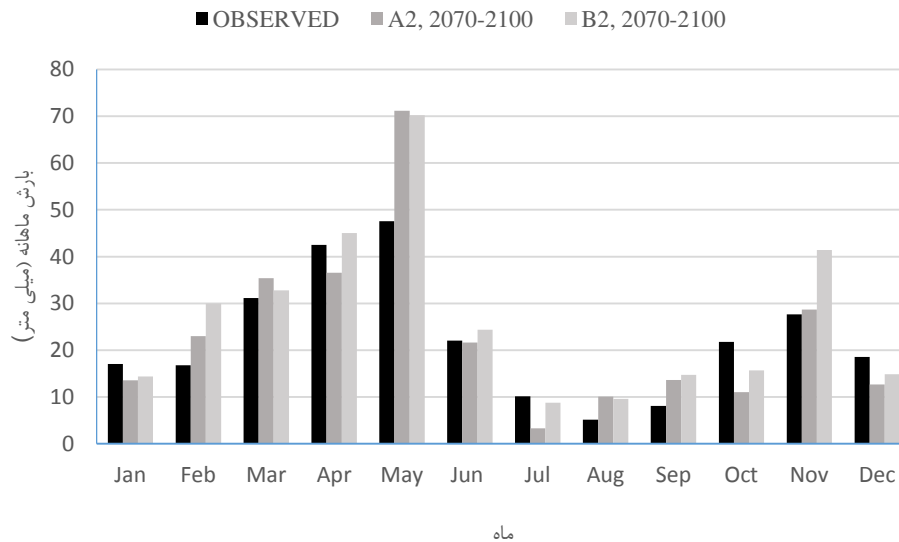


شکل ۹- میانگین بارش ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده دوره ۲۰۲۰-۲۰۵۰ تحت دو سناریوی A2 و B2
Figure 9. Average monthly observed and simulated precipitation in 2020-2050 period under A2 and B2 scenarios

دوره ۲۰۷۰-۲۱۰۰ (آینده دور)

سناریوی A2، کاهش و سناریوی B2، افزایش بارندگی را نشان می‌دهند. بیشترین افزایش بارندگی در این دوره مربوط به ماه آگوست سناریوی A2 به میزان ۹۴/۶۴ درصد می‌باشد. نمودار مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده در شکل ۱۰ ارائه شده است.

در دوره ۲۰۷۰-۲۱۰۰ هر دو سناریوی A2 و B2 برای ماه‌های ژانویه، جولای، اکتبر و دسامبر کاهش بارندگی و برای ماه‌های فوریه، مارس، می، آگوست، سپتامبر و نوامبر افزایش بارندگی را پیش‌بینی کردند. در ماه‌های آوریل و ژوئن،



شکل ۱۰- میانگین بارش مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده دوره ۲۰۷۰-۲۱۰۰ تحت سناریوهای A2 و B2
Figure 10. Average monthly observed and simulated precipitation in 2070-2100 period under A2 and B2 scenarios

بیشترین افزایش در دوره ۲۰۵۰-۲۰۷۰ به میزان ۳،۴۸ و در دوره ۲۰۷۰-۲۱۰۰ به میزان ۵/۶ می‌باشد. دمای کمینه نیز برای هر دو دوره افزایش دما در اکثر ماه‌های سال را پیش‌بینی می‌کند. بیشترین افزایش دمای کمینه در دوره ۲۰۵۰-۲۰۷۰ به میزان ۳/۴۵ و در دوره ۲۰۷۰-۲۱۰۰ به میزان ۵/۵۱ می‌باشد که نشان از افزایش اختلاف در آینده دور نسبت به آینده نزدیک در هر دو دوره می‌باشد. همچنین نتایج نشان‌دهنده افزایش بارش در اکثر ماه‌های سال برای دوره ۲۰۵۰-۲۰۷۰ (در محدوده ۰/۱ تا ۹۵/۷۴) می‌باشد. تغییرات بارش برای دوره ۲۰۷۰-۲۱۰۰ نیز به صورت افزایش در اکثر ماه‌های سال با حداکثر مقدار ۹۴/۶۴ و حداقل مقدار ۱/۳۴ درصد می‌باشد. نتایج این تحقیق با یافته‌های کار صمدی و همکاران (۱۶)، دوستی و همکاران (۷) و رضایی و همکاران (۱۴) مطابقت دارد. با توجه به نتایج اکثر پژوهشگران اکثریت مدل‌های گردش عمومی جو افزایش دما و شدت بارش و مقدار آن را پیش‌بینی می‌کنند و نیز با توجه به نتایج حاصل و با توجه به تغییراتی که در شاخص‌های اقلیمی موجود رخ خواهد داد و تاثیر این تغییرات متغیرها در سایر پرامترهای اقلیمی، پیشنهاد می‌شود که مسوولان و برنامه‌ریزان منطقه مورد بررسی در بخش‌های کشاورزی، منابع آب، محیط زیست، صنعت و اقتصاد راهکارهای لازم را برای کاهش پیامدها و سازگاری با شرایط جدید آب و هوایی اتخاذ کنند.

در این مطالعه به بررسی تغییرات متغیرهای اقلیمی در حوزه آبخیز آق‌چای پرداخته شد. برای بررسی تغییرات متغیرهای اقلیمی از مدل SDSM استفاده شد، برای ارزیابی مدل داده مشاهداتی و داده‌های NCEP مورد مقایسه قرار گرفتند. که نتایج حاصل نشان‌دهنده توانایی مدل در ریزمقیاس‌نمایی آماری داده‌های بزرگ مقیاس بود. خان و همکاران (۱۲) و آبکار و همکاران (۲) نیز در مطالعات خود به نتیجه مذکور دست یافتند. پس از تایید مدل SDSM در شبیه‌سازی شاخص‌های اقلیمی در حوزه آبخیز آق‌چای، خروجی‌های مدل HadCM3 تحت سناریوهای A2 و B2 توسط مدل آماری SDSM ریزمقیاس‌شد نتایج حاصل حاکی از توانمندی بالای مدل مولد داده‌های هواشناسی SDSM برای تولید داده‌های روزانه متغیرهای اقلیمی می‌باشد. تحقیقات صورت‌گرفته توسط محمد الهشمی (۱۱)، بابائیان و نجفی نیک (۵) نیز موید این نتیجه می‌باشد. متغیرهای اقلیمی در دو دوره ۲۰۵۰-۲۰۷۰ و ۲۰۷۰-۲۱۰۰ شبیه‌سازی شوند. با مقایسه داده‌های دمای پیش‌بینی‌شده و دوره مشاهداتی (۲۰۰۷-۱۹۸۲) تغییرات اقلیمی دوره‌های آتی مورد بررسی قرار گرفت. بررسی دمای بیشینه در هر دو دوره نشان‌دهنده افزایش دما در اکثر ماه‌های سال‌های آتی می‌باشد. به‌طوریکه در ماه‌های ژانویه، فوریه، می، سپتامبر و دسامبر دمای بیشینه در هر دو سناریو در هر دو دوره مطالعاتی افزایش یافته است.

منابع

1. Abbasi, F. and M. Asmari. 2010. Forecasting and assessment of climate change over Iran during future decades by using MAGICC-SCENGEN model. *Journal of Water and Soil*, 25(1): 70-83.
2. Abkar, A., M. Habibnenajad, K. Solaimani, H. Naghavi. 2013. Investigation efficiency SDSM model to simulate temperature indexes in arid and semi -arid regions. *Journal of Irrigation and Water Engineering*, 4(14): 17 pp.
3. Ahmadi, A. 2008. Evaluation of statistical decline in northern Iran. MS. Thesis, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
4. Athansion, L. and M. Quick. 1996. Effect of climate change on hydrologic regime of two climatically different watersheds. *Journal of Hydrologic Engineering*, 22(1): 77-78.
5. Babaeian, I. and Z. Najafi Nik. 2006. Introducing and evaluation of LARS-WG model for modeling meteorological parameters of Khorasan province 1961-2003. *Journal of Nivar*, 62 and 63: 49-65.
6. Babaeian, I., Z. Najafi Nik, F. Zabol Abbasi, M. Habibi Nokhandan and Sh. Mabousi. 2009. Climate change assessment over iran during 2010-2039 by using statistical downscaling of ECHO-G model. *Geography and Development Iranian Journal*, 16: 135-152.
7. Dousti, M., M. Habibnezhad, K. Shahedi and M.H. Miryaghoubzadeh. 2013. Study of climate indices of Tamar River basin Golestan Province in terms of climate change using by LARS-WG model. *Journal of Earth Space Physics*, 39(4): 177-189.
8. Fung, F., A.L. Lopez and M. New. 2011. Modeling the impact of climate change on water resources. *Wiley-Blackwell*, (187): 43-62.
9. Gordon, C., C. Cooper, C.A. Senior, H. Banks, J.M. Gregory, T.C. Johns, J.F.B. Mitchell and R.A. Wood. 2000. The simulation of SST, sea ice extents and ocean heat transports in a version of the Hadley Center coupled model without flux adjustments. *Journal of Climate Dynamics*, 16: 147-168.
10. Hamlet, A.F. and D.P. Lettenmaier. 2007. Effects of 20th century warming and climate variability on flood risk in the western U.S. *Water Resource Research*, 43(6): p. W06427.
11. Hashmi, M.Z., A.Y. Shamseldin and B.W. Melville. 2011. Comparison of SDSM and LARS-WG for simulation and downscaling of extreme precipitation events in a watershed. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 25(4): 475-484.
12. Khan, M.S., P. Coulibaly and Y.B. Bibike. 2006. Uncertainty analysis of statistical downscaling methods. *Journal of Hydrology*, 319: 357-382.
13. Liu, L., Z. Liu, X. Ren, T. Fischer and Y. Xu. 2011. Hydrological impacts of climate change in the yellow river basin for the 21-century using hydrological model and statistical downscaling model. *Journal of Hydrology*, 244: 211-220.
14. Rezaei, M., M. Nohtani, A. Abkar, M. Rezaei and R.M. Mirkazehi. 2014. Performance evaluation of Statistical Downscaling Model (SDSM) in Forecasting Temperature Indexes in Two Arid and Hyper Arid Regions (Case study: Kerman and Bam). *Journal of Watershed Management Research*, 10(5): 117-131.
15. Salalajegheh, A., E. Rafiei Sardooei, A. Moghadamnia, A. Malekian, Sh. Araghinejad, Sh. Khalighi Sigaroodi and A. Salehpourjam. 2016. Prediction of climatic variable using statistical downscaling model (SDSM) in future under scenario A2. *Desert Management*, 4 (7): 12-25.
16. Samadi, Z., A. Massah Bavani and M. Mahdavi. 2009. Selection of predictive variable for downscaling of temperature and precipitation data in karkhe watershed. *Fifth National Conference on Watershed Management Sciences and Engineering (sustainable disaster management)*, Gorgan university of agricultural sciences and natural resources.
17. Sayari, N., A. Alizadeh, M. Bannayan, M.R. Hessami Kermani and A. Faridi Hosseini. 2010. Climate change prediction of Kashaf rood watershed during 2010-2039, 2040-2069, 2070-2099 by using statistical downscaling of HadCM3 output. *The first international conference on plant, water, soil and weather modelling*, International center for science, high technology and environmental sciences shahid bahonar university of kerman, 19 pp.
18. Sheidaei. M., M.Kh. Ziatabar Ahmadi and R. Fazloulou. 2015. Comparison of artificial neural network (ANN) and SDSM model to downscaling of temperature. *Irrigation sciences and engineering*, 40: 59-73.
19. Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (Eds.); *The physical science basis, contribution of working group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental panel on climate change*. IPCC. 2007, Cambridge University Press, UK, 1-8 pp.
20. Kermani, R.M. and N. Tourin. 2012. Maximum, minimum and average temperature prediction using Nero fuzzy algorithm at Kerman station. *5th National Conference of Watershed Management and Soil and Water Resources Management*, 13 pp.
21. Van, T. and N. Van. 2005. Downscaling methods for evaluating the impact of climate change and variability on hydrological regim at basin scale. *Role of Water Sciences in Transboundary River basin Management*. Thailand: 1-8.

22. Watson, R.T., M.C. Zinyowera, R.H. Moss and D.J. Dokken. 2001. (Eds.); Special report on the regional impacts of climate change, an assessment of vulnerability. IPCC. 2001. Cambridge University Press, UK, 68 pp.
23. Wilby, R.L. and C. Dawson. 2007. SDSM 4.2- A decision support tool for the assessment of regional climate change impacts, SDSM manual version 4.2, Environment Agency of England and Wales, 94 pp (In Persian).
24. Zarei, K., H. Mohammadi and S. Bazgir. 2020. Simulation of Gorgan synoptic station temperature and precipitation climates with RCP scenarios. Journal of natural geography research, 51(4): 563-579.

Forecasting of Climate Variables in Future Periods Based on HadCM3 Data using Statistical Downscaling Model (SDSM) in Agh-Chay Basin (West Azarbayjan)

Leila Hemmati¹ and Mirhassan Miryaghoubzadeh²

1- Graduated M.Sc. Student, in Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran

2- Assistant Professor, Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran. (Corresponding Author: m.miryaghoubzadeh@urmia.ac.ir)

Received: May 22, 2019

Accepted: November 16, 2020

Abstract

The industrialization of communities and the rise of greenhouse gases are causing an increase in the temperature of the earth and other climate parameters. This phenomenon is the most important problem of the planet in the present century, hence the assessment of the extent of its formation on a global and regional scale is of particular importance. So far, several General Circulation Model (GCM) has been designed to predict future climate change, but the outputs from these models cannot be used because of the localization on a local scale. So various methods have been developed to use the outputs of these models on a regional and local scale. In this research Statistical Downscaling Model (SDSM) was used to evaluate the changes in temperature indices in the Agh-Chay watershed. In order to, the efficiency of this model was evaluated for downscaling of the temperature indices in Khoy synoptic station and the indices were simulated until 2100. The SDSM model was calibrated and validated by using Khoy station observation temperature and national center environmental prediction data. For evaluating the model, mean absolute error and root mean squared error was used and after obtaining the efficiency of the model the outputs of the HadCM3 model, the duration of 2020-2050, and 2070-2100 under the A2 and B2 scenarios were downscaled with SDSM statistical model respectively. The results show the increasing of the minimum and maximum temperature in the study area in most of the months. The maximum temperature was up to 3.48 ° C in the period 2020-2050 and up to 5.6 ° C during the period 2070-2100 and the minimum temperature up to 3.45 ° C for the period 2020-2050 and up to 5.51 for the period 2070-2100. The results also show an increase in precipitation in most months of the year from 2050 to 2020 period (in the range of 0.1 to 95.74). Rainfall changes from 2100 to 2070 period are in the form of an increase in most months of the year with a maximum of 94.64 and a minimum of 1.34 percent.

Keywords: Agh-Chay basin, Climate indices, Down Scaling, General Circulation Model, SDSM model



"مقاله پژوهشی"

بررسی وضعیت برخی شاخص‌های ارزیابی حوزه‌های آبخیز و اولویت‌بندی زیر حوضه‌ها از منظر کاهش فرسایش (مطالعه موردی: حوزه آبخیز کرخه)

رضا بیات^۱، زهرا گرامی^۲، محمود عرب‌خداری^۳، حمیدرضا پیروان^۴ و رحیم کاظمی^۴

۱- استادیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی (نویسنده مسول: bayat52@gmail.com)
۲- دانشجوی دکتری مدیریت منابع خاک، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد
۳ و ۴- دانشیار و استادیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
تاریخ دریافت: ۹۸/۳/۱۹ تاریخ پذیرش: ۹۸/۸/۱
صفحه: ۱۰۸ تا ۱۱۸

چکیده

چالش‌های زیست‌محیطی در نتیجه افزایش جمعیت انسانی و افزایش تقاضا برای بهره‌برداری از منابع طبیعی روز به روز افزایش می‌یابد و سوء مدیریت منابع طبیعی باعث ظهور ناپایداری در شاخص‌های محیطی می‌شود. تخریب حوزه‌های آبخیز با فرسایش خاک و تولید رسوب، یکی از مهم‌ترین مسائل زیست‌محیطی در ایران است. از این رو تهیه و تکمیل اطلاعات مکانی ویژگی‌های طبیعی حوزه‌های آبخیز و اولویت‌بندی آن‌ها برای استفاده در مدیریت جامع حوزه آبخیز ضروری است. در این پژوهش با هدف بررسی وضعیت برخی شاخص‌ها و اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها در حوزه آبخیز کرخه، شاخص‌های حساسیت واحدهای سنگی به فرسایش، شاخص فرسایش‌دهی فورنیه اصلاح‌شده، شدت فرسایش حوضه از مدل تجربی EPM و رسوب‌دهی حوضه از نسبت تحویل رسوب لگاریتمی استخراج و تحلیل شدند. پس از استانداردسازی و مقایسه شاخص‌ها اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها انجام شد. همچنین از روش خوشه‌بندی نیز برای گروه‌بندی زیرحوضه‌ها و شاخص‌های فوق‌الذکر و شاخص‌های توپوگرافی استفاده شد. نتایج بررسی حساسیت سازندها به فرسایش نشان داد که طبقه حساس به فرسایش، با ۶۰ درصد بیش‌ترین فراوانی را در این حوضه دارند. بزرگ‌ترین گروه همگن شامل نه زیرحوضه با کدهای ۲۲۱۳، ۲۲۱۴، ۲۲۲۱، ۲۲۲۲، ۲۲۲۳، ۲۲۲۵، ۲۲۲۶، ۲۲۲۷ و ۲۲۲۸ است و شاخص‌های مساحت و طول جریان بیشترین شباهت را با هم نشان دادند. نتایج بررسی فرسایش‌دهی باران و میانگین فرسایش نیز نشان‌دهنده آن است که طبقه فرسایش‌دهی "خیلی زیاد" و طبقه فرسایش "زیاد"، بیش‌ترین مساحت (به ترتیب ۴۹ و ۵۲ درصد) را در این حوضه دارند که میانگین فرسایش‌دهی و فرسایش کل حوضه، به ترتیب ۶۰/۶ میلی‌متر و ۷۲۷ مترمکعب بر کیلومترمربع در سال به‌دست آمد. نتایج رتبه‌بندی میانگین شاخص‌های حساسیت سازندهای زمین‌شناسی، فرسایش‌دهی باران و فرسایش هر زیرحوضه نشان می‌دهد که زیرحوضه‌هایی مانند ۲۲۱۵ (کرخه بالا) و ۲۲۲۴ (خرم آباد) از نظر برنامه‌ریزی و اقدام‌های عملی در سطوح مدیریتی در اولویت هستند و زیرحوضه‌هایی مانند ۲۲۱۱ (پایاب کرخه) و ۲۲۲۷ (آب الشتر) در اولویت کمتری نسبت به سایر زیرحوضه‌های حوزه آبخیز کرخه قرار دارند.

واژه‌های کلیدی: حساسیت سازندها، رسوب‌دهی، شاخص‌های توپوگرافی، فرسایش‌دهی، مدیریت جامع حوزه آبخیز

مقدمه

است (۲) که در ادامه، تحقیقات مرتبط با هر شاخص به تفکیک بیان می‌شود.

یکی از عوامل مؤثر در شناخت فرسایش خاک، شاخص حساسیت سازندهای حوضه به فرسایش (فرسایش‌پذیری) است که نتایج پژوهش‌ها (۱۹، ۴۲، ۲۶، ۳۶، ۳۹، ۱۷ و ۴۰) بر روی شاخص فرسایش‌پذیری سازندهای حوضه، نشان داد که علاوه بر عوامل ذاتی سازندها، عوامل محیطی از جمله اقلیم و پوشش گیاهی نیز بر آن مؤثر است. در این راستا گلکاریان و همکاران (۲۴) برای اولویت‌بندی زیرحوضه‌های آبخیز در بیان سمنان جهت اقدامات آبخیزداری از شش معیار جمعیت، متوسط تولید پوشش گیاهی، منابع آب، سطح اراضی کشاورزی، فرسایش و استحکام سازندها استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که برخی زیرحوضه‌ها به دلیل بالاتر بودن رتبه‌ی معیارهای جمعیت، منابع آب و سطح اراضی کشاورزی که دارای بالاترین وزن در بین معیارهای انتخابی هستند، در اولویت بالاتری قرار گرفتند و برخی دیگر از زیرحوضه‌ها به جهت پایین بودن معیارهای مذکور کمترین اولویت را به خود اختصاص دادند.

فرسایش‌دهی باران یکی دیگر از عوامل مؤثر بر فرسایش خاک در حوزه‌های آبخیز است که ویشمایر و اسمیت (۴۳)

چالش مدیریت محیط‌زیست در نتیجه گسترش جمعیت انسانی و افزایش تقاضا برای منابع طبیعی روزبه‌روز افزایش می‌یابد و تجربیات جهانی نشان داده است که ظهور ناپایداری در شاخص‌های محیطی باعث تخریب منابع طبیعی و آثار زیان‌بار بر پیکره محیط‌زیست می‌شود (۲۲). مطالعه پیرامون خاک، به‌عنوان بستر زیستی بشر، امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر برای رسیدن به توسعه پایدار منابع زیستی و محیطی است (۳۰). فرسایش خاک به علت جدا کردن و انتقال ذرات خاک از بستر اصلی، باعث کاهش پایداری منابع خاک می‌گردد (۱۳) که تخریب حوزه‌های آبخیز نیز به جهت فرسایش خاک و تولید رسوب یکی از مهم‌ترین مسائل محیطی در ایران است (۳۷).

مطالعات مختلف نشان داده است که شاخص‌های محیطی متعددی در شدت فرسایش خاک در حوزه‌های آبخیز دخالت دارند که فرسایش‌دهی باران، پوشش گیاهی، پستی‌وبلندی، ویژگی‌های خاک، جنس سازندها و ویژگی‌های حوضه از جمله این عوامل هستند. بنابراین شناسایی این شاخص‌ها و بررسی ارتباط میان آن‌ها و تأثیرشان بر میزان فرسایش و رسوب در هر حوزه آبخیز یکی از راه‌های کنترل تخریب محیط‌زیست

کل حوضه، بیشترین میزان فرسایش و رسوب‌دهی ویژه را به خود اختصاص می‌دهند. حاصلی و جلالیان (۲۵) در ارزیابی و پهنه‌بندی مخاطره‌ی فرسایش خاک در حوزه آبخیز الشتر که یکی از زیرحوضه‌های حوزه آبخیز کرخه است، از مدل PSIAC^۱ استفاده کردند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که فرسایش در سطح حوضه نسبتاً فراوان است. به‌طوری‌که حداقل بیش از ۶۲ درصد از حوضه را طبقه فرسایشی زیاد و فوق‌العاده شدید و حدود ۳۷ درصد حوضه را طبقه‌های فرسایشی کم تا متوسط در بر گرفته و در نگاه کلی استفاده از اراضی در این حوضه با محدودیت فرسایش روبه‌رو بوده و نیازمند انجام اقدامات کنترل فرسایش است.

بررسی خصوصیات مورفومتری حوزه‌های آبخیز یکی دیگر از روش‌های مؤثر برای اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها بدون نیاز به بررسی نقشه‌ی خاک منطقه، از نظر بیان وضعیت حوضه و میزان مساعد بودن شرایط برای فرسایش‌پذیری و تعیین شدت فرسایش در منطقه است. به‌طوری‌که شکل حوضه بیان‌کننده سیل‌خیزی و زمان تمرکز و الگوی زهکشی نشان‌دهنده وضعیت زمین‌شناسی و نوع خاک منطقه‌ی مورد مطالعه است (۲۷ و ۳۴). در این زمینه سید و همکاران (۴۱) به اولویت‌بندی زیرحوضه‌های پارک ملی Karakoram مرکزی کشور پاکستان برای پیش‌بینی خطر سیل با آنالیز مورفومتری به کمک روش‌های سنجش از دور و GIS پرداختند. در این مطالعه از تجزیه و تحلیل چند معیاره برای محاسبه فاکتور خطر سیل استفاده شد و نقشه اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها با استفاده از فاکتور خطر استاندارد شده (WSRF)^۵ به دست آمد. این نقشه کمک می‌کند تا حساسیت سیلاب‌های فرساینده در زیرحوضه‌های مختلف منطقه مورد مطالعه را شناسایی کنند و منجر به مدیریت بهتر مناطق کوهستانی در چشم‌انداز سیلاب‌های فرساینده شود. مکرم و همکاران (۳۳) در مطالعه‌ای به بررسی ارتباط ویژگی‌های مورفومتری حوزه آبخیز نازلوچای در شمال غرب ایران و فرسایش‌پذیری در سطوح مختلف ارتفاعی با استفاده از شاخص موقعیت توپوگرافی (TPI)^۶ پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که با توجه به تعداد آبراهه‌ها (۴۸۹ آبراهه)، وجود آبراهه‌های درجه اول، دوم و سوم، زیاد بودن طول آبراهه‌ها، بالا بودن نسبت طول آبراهه‌ها نسبت به مساحت حوضه، ضریب پستی‌و بلندی بالا که نشان‌دهنده وجود ارتفاعات و شیب زیاد، منطقه فرسایش‌پذیر بوده و نیاز به مدیریت بیشتر دارد. همچنین افزایش تعداد آبراهه‌ها و طول آن در حوزه آبخیز نشان‌دهنده افزایش فرسایش است. همچنین نتایج نشان داد که لندفرم‌های طبقه ۴ (دره‌های U شکل) و لندفرم‌های طبقه ۳ (زهکش‌های مرتفع) دارای بیشترین فرسایش‌پذیری هستند.

در مطالعات بسیاری نیز اولویت‌بندی زیرحوضه‌های آبخیز توسط روش‌های جدید تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره انجام شد (۳۲، ۱۴، ۲۹ و ۶). در این راستا محمدی (۳۲) به اولویت‌بندی زیرحوضه‌های حوزه آبخیز آسیاب جفته در استان کرمان به‌منظور اجرای پروژه‌های آبخیزداری با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (TOPSIS^۷ و VIKOR^۸) و روش متداول با استفاده از ۵ معیار فرسایش و رسوب، خشک‌سالی،

مفهوم عبارت فرساینده‌ی باران را به‌منظور لحاظ تأثیر اقلیم بر فرسایش ارائه کردند. اگر سایر خصوصیات مؤثر بر فرسایش ثابت در نظر گرفته شود، میزان تلفات خاک مستقیماً متناسب با میزان فرساینده‌ی باران خواهد بود. گرامی و همکاران (۲۰) پژوهشی با هدف بررسی وضعیت شاخص فرساینده‌ی باران در حوضه، تأثیر نوسانات زمانی فرساینده‌ی باران بر تغییرات فصلی رسوب‌دهی معلق و تعیین زمان‌های بحرانی از نقطه‌نظر خطر فرسایش در حوضه کسلیان انجام دادند که به این منظور فرساینده‌ی ماهانه حوضه را از ارتباط بین شاخص EI₃₀ با شاخص‌های سهل‌الوصول به دست آوردند. موسوی کیاسری (۳۵) با توجه به همبستگی معنی‌دار و خوب بین شاخص EI₃₀ با مقادیر رسوب در سه مجموعه پلات‌های فرسایش واقع در استان‌های اصفهان، خراسان رضوی و سمنان از داده‌های مربوط به این شاخص برای تهیه نقشه شاخص فرساینده‌ی باران استفاده کرد.

در بررسی میزان تولید رسوب و برآورد شاخص فرسایش حوزه‌های آبخیز مطالعات متعددی شده است که میزان فرسایش و رسوب را به روش‌های متفاوت به دست آورده‌اند (۲۱، ۱۱، ۷، ۳۱، ۲۵، ۸، ۴۴، ۱۵، ۱۸، ۲۳ و ۳۸). در این راستا گرامی و همکاران (۲۱) برای برآورد شاخص رسوب‌دهی حوزه آبخیز سرخاب کشور از تلفیق منحنی سنج رسوب حد وسط دست‌ها و آمار جریان روزانه ایستگاه خروجی حوضه استفاده کردند. در این حوضه متوسط رسوب‌دهی سالانه و رسوب‌دهی ویژه به ترتیب ۳۱۶۸۸ تن و ۲۱۲۷ تن بر کیلومتر مربع برآورد شده است. آیلی و همکاران (۷) نیز به پیش‌بینی رسوب‌دهی و جریان رودخانه‌ای برای اولویت‌بندی حوضه در حوزه آبخیز رودخانه Blue Nile در اتیوپی با کمک نرم‌افزار SWAT^۹ پرداختند. نتایج اولویت‌بندی حوضه‌ها نشان داد که بیش از ۸۵ درصد از رسوب به نواحی پایین (دامنه شیب صفر تا ۸ درصد) مربوط است و تغییرات تولید رسوب بیشتر به کاربری اراضی و نوع خاک غالب منطقه، بدون در نظر گرفتن شیب زمین، حساس بود. صفری و همکاران (۳۸) زیرحوضه‌های بابل‌رود در استان مازندران را از نظر مقدار فرسایش حاصل از مدل EPM^{۱۰} و شناسایی بازه‌های حساس آبراهه‌ها به فرسایش با استفاده از بازده‌های میدانی و عملیات صحرائی اولویت‌بندی کردند. نتایج نشان داد که زیرحوضه بابلک به دلیل شرایط توپوگرافی و سازندهای حساس و خاک‌های با نفوذپذیری کم دارای بیش‌ترین مقدار فرسایش و تولید رسوب و بیشترین تعداد بازه‌های حساس است.

اولویت‌بندی حوزه آبخیز ارو در استان تهران بر مبنای وضعیت فرسایش با استفاده از مدل‌های تجربی EPM و MPSIAC^{۱۱} توسط بیات و رستمی (۸) انجام شد. نتایج آن‌ها نشان داد که در مدل MPSIAC میزان فرسایش ویژه ۴۵۱ و رسوب ویژه ۲۳۳ مترمکعب بر کیلومتر مربع در سال برآورد گردید. در حالی که میزان فرسایش و رسوب ویژه کل حوزه آبخیز در مدل EPM به ترتیب ۳۷۸ و ۲۰۰ مترمکعب بر کیلومتر مربع برآورد شد. اولویت‌بندی واحدهای هیدرولوژیک موجود در این حوضه نشان داد که در مدل EPM واحد A4 با داشتن ۱/۱ درصد از مساحت کل حوضه و در مدل MPSIAC واحد A-1-4-3 با سهم ۹/۸ درصدی مساحت

1- Soil & Water Assessment Tool

3- Modified Pacific Southwest Inter-Agency Committee

5- Weighted Standardized Risk Factor

7- Technique for Order- Preference by Similarity to Ideal Solution

2- Erosion Potential Method

4- Pacific Southwest Inter-Agency Committee

6- Topographic Position and Landforms

8- VlseKriterijuska Optimizacija I Komoromisno Resenje

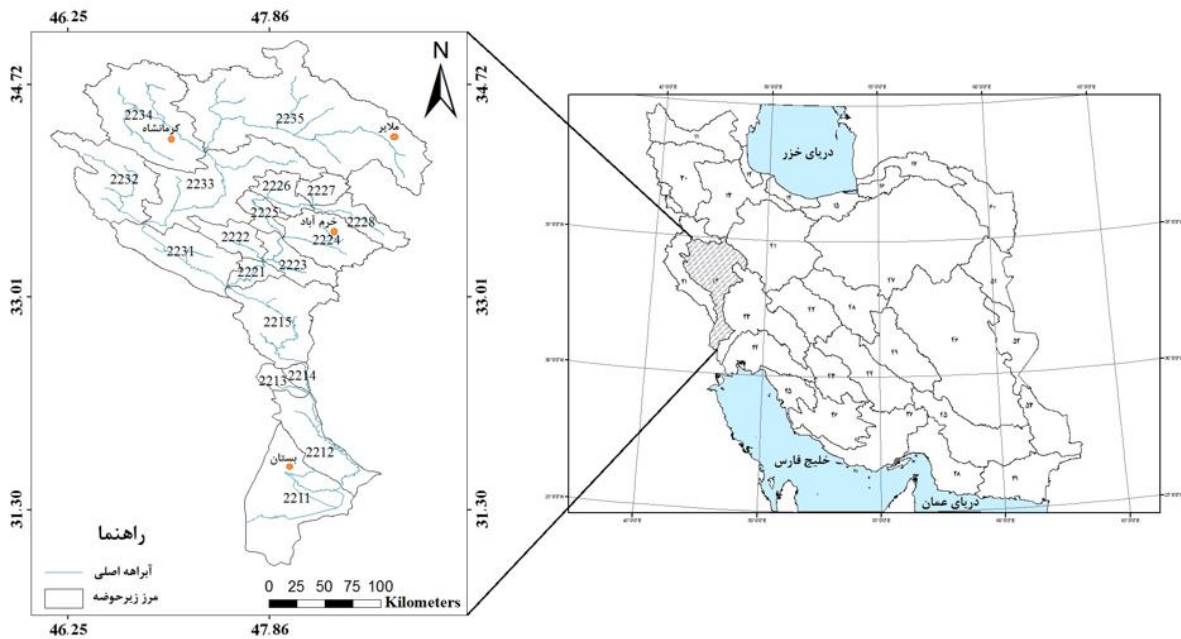
و سیمای حوزه آبخیز کرخه را بر اساس شاخص‌های مختلفی چون فرسایش‌پذیری سازندهای زمین‌شناسی، فرسایش‌پذیری باران، شدت فرسایش و رسوب‌دهی حوضه بررسی نماید. به‌علاوه تلاش خواهد شد با مشخص کردن جایگاه زیرحوضه‌ها در داخل حوضه، به اولویت‌بندی آن‌ها برای به‌کارگیری در برنامه‌ریزی و اقدام‌های عملی در سطوح مدیریتی پایین، میانی و کلان کمک کند.

مواد و روش‌ها مشخصات منطقه

حوزه آبخیز کرخه در جنوب غرب کشور در بین رشته کوه‌های زاگرس واقع شده و به‌عنوان یکی از حوضه‌های رتبه ۲ در ابرحوضه حاشیه خلیج فارس محسوب می‌شود که از سمت شمال به حوضه سفیدرود، از سمت شرق به حوضه کویر مرکزی، از غرب و شمال غرب به حوضه مرزی غرب و از جنوب به حوضه کارون محدود می‌شود. حوضه کرخه بین مختصات جغرافیایی ۳۴'، ۳۴° تا ۴۳'، ۴۹° طول شرقی و ۴۷'، ۳۰° تا ۷'، ۳۵° عرض شمالی واقع و مساحت آن ۵۱۸۴۳۲۲ هکتار است (شکل ۱). عموماً کوهستانی بوده و ۳۸ درصد آن را عرصه‌های دشتی تشکیل می‌دهد. بیشترین نوع کاربری در این حوضه به ترتیب مربوط به اراضی کشاورزی آبی مختلط با کشاورزی دیم با ۱۳/۷۰ درصد، مرتع متوسط با ۱۱/۵۷ درصد و جنگل نیمه متراکم با ۱۰/۶۲ درصد است. بخش اعظم منطقه دارای سازندهایی حساس به فرسایش با ۶۰ درصد فراوانی است و از رودخانه‌های مهم حوضه می‌توان به کرخه، سیمره، قره‌سو، خرم‌آباد، کشکان و گاماسیاب اشاره کرد.

سیل، کم‌آبی و اقتصادی-اجتماعی پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که هر سه روش ذکر شده در تعیین زیرحوضه‌های دارای اولویت و فاقد اولویت مشابه هم عمل کرده‌اند و در انتخاب زیرحوضه‌های با وضعیت متوسط از نظر مشکل، دارای نتایج متفاوتی هستند. چوبین و همکاران (۱۴) نیز حوزه آبخیز کرخه را بر اساس شاخص‌های فیزیکی-مکانی (مورفولوژیکی، کاربری اراضی و خاک) با استفاده از رویکرد فازی گروه‌بندی کردند که نتایج آن‌ها نشان داد که تفکیک یک حوضه به زیرحوضه‌ها و گروه‌بندی آن‌ها در دسته‌های مشابه از نظر خصوصیات مشابه می‌تواند به‌عنوان روشی در جهت اجرای عملیات آبخیزداری، کنترل سیلاب و اولویت قائل شدن برای زیرحوضه‌های بحرانی به کار گرفته شود.

از آنجاکه داده‌های رسوب در زیرحوضه‌های کوچک در دسترس نیست، لذا اولویت‌بندی زیرحوضه‌های واقع در مناطق بالادست حوزه‌های آبخیز برای اهداف مدیریتی دشوار است. اجرای اقدامات حفاظت آب و خاک جهت جلوگیری از تخریب مناطق پایین‌دست، نفوذ آب و نیز حفاظت خاک، معمولاً در زیرحوضه‌های بالادست آبخیز انجام می‌شود. از طرفی به دلیل گستردگی آبخیزهای متأثر از اثرات فرسایش خاک و همچنین اختصاص اعتبارات بخش اجرا در حوزه‌های زمانی مختلف، امکان انجام اقدامات آبخیزداری در همه مناطق میسر نیست. همچنین بررسی منابع و تحقیقات مرتبط با بررسی شاخص‌های وضعیت حوزه‌های آبخیز و اولویت‌بندی آن‌ها نشان داد که عمده تحقیقاتی در این زمینه، مبتنی بر یک یا دو شاخص بوده است که در نهایت منجر به عملیات حفاظتی و آبخیزداری در زیرحوضه‌های حساس و دارای اولویت‌های بالا می‌شود. در حالی که پژوهش پیش‌رو در نظر دارد، وضعیت



شکل ۱- موقعیت حوزه آبخیز کرخه در ایران
Figure 1. Location of Karkheh watershed in Iran

تعداد سدهای مخزنی در سطح کشور و هزینه‌بر و زمان‌بر بودن انجام این اندازه‌گیری‌ها و بررسی‌ها کاری مشکل است (۵). در نتیجه برای دستیابی به اطلاعات قابل استناد از وضعیت شدت فرسایش حوزه و با توجه به امکان فراهم نمودن داده‌های موردنیاز از مدل تجربی EPM (۱۰) استفاده شد. همچنین در این مطالعه برای برآورد رسوب‌دهی با کمک رابطه ۱ که نسبت تحویل رسوب لگاریتمی (۹) است مقدار رسوب‌دهی ویژه هر یک از زیرحوضه‌های رتبه چهار محاسبه شد که در زیرحوضه‌های وابسته نیز با در نظر گرفتن میانگین فرسایش زیرحوضه موردنظر و زیرحوضه‌های وابسته به آن و با استفاده از نسبت تحویل رسوب لگاریتمی، رسوبدهی در حوضه وابسته با در نظر گرفتن زیرحوضه‌های مرتبط با آن به‌دست آمد.

$$\text{Log (SDR)} = 1.8768 - 0.14191 \text{ Log (25.9 A)} \quad (\text{رابطه ۱})$$

برای مقایسه و با توجه به تفاوت دامنه اعداد شاخص‌های مختلف، با قرار دادن مقادیر شاخص‌ها در دامنه صفر تا یک، استاندارد شدند (۱) و میانگین شاخص‌های استاندارد شده در هر زیرحوضه با میانگین شاخص‌های استاندارد شده کل حوضه مقایسه و زیرحوضه‌ها از نظر میانگین شاخص‌های حساسیت سازندهای حساس به فرسایش، فرسایش، فرسایندهای باران اولویت‌بندی شدند. همچنین برای خوشه‌بندی و خصوصیات مورد استفاده برای اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها، از روش وارد^۲ استفاده شد (۲۸) که ویژگی‌های مذکور به همراه کد آن در جدول ۱ فهرست شده است.

روش تحقیق

حساسیت واحدهای سنگی به فرسایش (فرسایش‌پذیری) با در نظر گرفتن شاخص‌های فیزیکی، مقاومتی، شرایط تشکیل، بافت و ساختار سنگ، مورد بررسی قرار گرفته‌اند (۳۹، ۱۹). از آنجایی که اکثر طبقه‌بندی‌های موجود و رایج نظیر PSIAC و BLM^۱ سنگ‌ها را در ۱۰ گروه طبقه‌بندی کرده‌اند. لذا تمامی گروه‌های سنگی شامل توده‌های آذرین، سنگ‌های دگرگونی و لایه‌های رسوبی در ۱۰ گروه بر اساس مقاومت سازندها به فرسایش شامل فوق‌العاده مقاوم، بسیار مقاوم، مقاوم، مقاوم تا متوسط، متوسط، متوسط تا ضعیف، ضعیف، بسیار ضعیف، فوق‌العاده ضعیف و بالاخره، کاملاً ضعیف-سست و منفصل طبقه‌بندی شدند (۳۹) اما برای نمایش بهتر نتایج در ۵ گروه شامل خیلی مقاوم، مقاوم، متوسط، حساس، خیلی حساس (سست و منفصل) ادغام شدند (۱۲).

برای مطالعه فرسایندهای باران در این حوضه از مجموع ایستگاه‌های باران‌سنجی وزارت نیرو و سازمان هواشناسی، برای ۵۲ ایستگاه واجد شرایط، شاخص فرسایندهای فورنیه اصلاح‌شده با آماری بیش از ۲۰ سال محاسبه و با استفاده از روش میان‌یابی TPSS، نسبت به تهیه نقشه فرسایندهای باران برای این حوضه و اندازه‌گیری میانگین فرسایندهای هر زیرحوضه، اقدام شد (۱۲).

اندازه‌گیری فرسایش و رسوب با استفاده از روش‌های پین، پلات فرسایشی و اندازه‌گیری رسوب در ایستگاه‌های هیدرومتری، با توجه به محدود بودن تعداد ایستگاه‌های رسوب‌سنجی، ناک‌افی بودن آمار این ایستگاه‌ها، محدود بودن

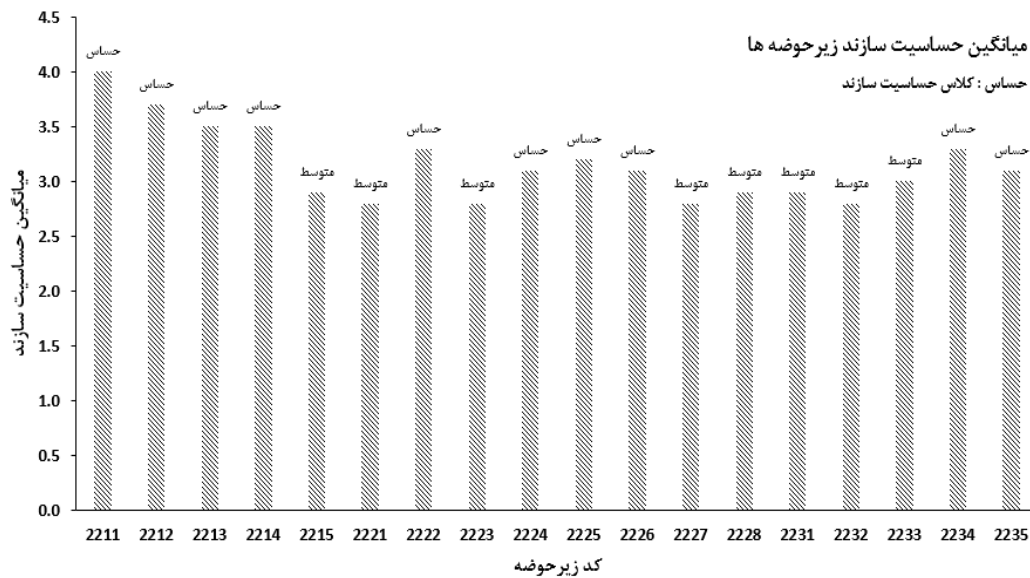
جدول ۱- ویژگی‌های مورد استفاده در خوشه‌بندی و کدهای مورد استفاده

ویژگی	نام اختصاری	ویژگی	نام اختصاری
تراکم زهکشی	C1	مساحت	C6
طول جریان	C2	فرساینده‌گی	C7
طول جریان سطحی	C3	حساسیت سازندها	C8
متوسط ارتفاع زیرحوضه	C4	فرسایش	C9
متوسط شیب زیرحوضه	C5		

نتایج و بحث

نتایج بررسی حساسیت سازندهای زمین‌شناسی به فرسایش (فرسایش‌پذیری) (شکل ۲) نشان می‌دهد، رده سه (طبقه متوسط) و چهار (طبقه حساس)، بیش‌ترین فراوانی را

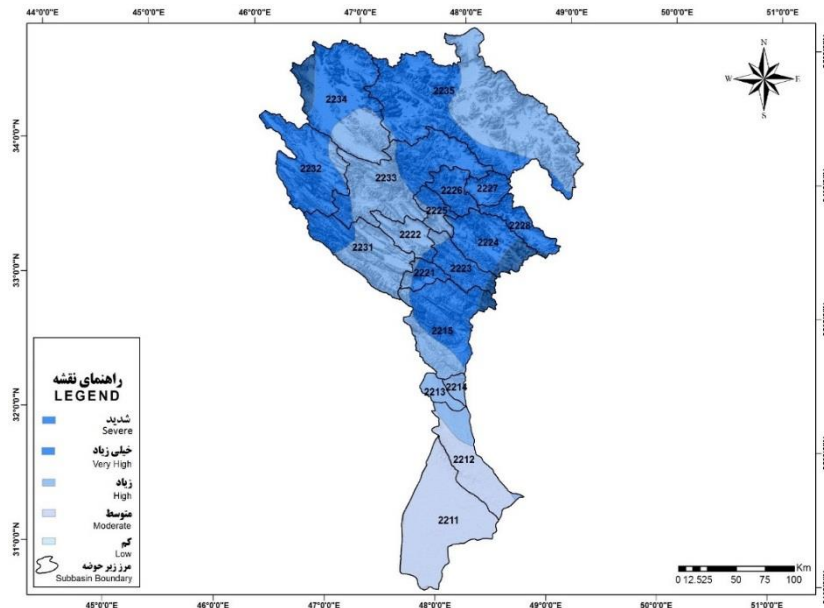
در بین پنج رده موجود در زیرحوضه‌ها دارند. میانگین حساسیت سازندها در زیرحوضه‌ها نیز نشان می‌دهد که در اغلب زیرحوضه‌ها رده چهار حساسیت‌پذیری سازند (سازندهای حساس) بیش‌ترین فراوانی را نسبت به سایر رده‌ها داراست.



شکل ۲- حساسیت سازندهای زمین‌شناسی در زیرحوضه‌های کرخه
Figure 2. The geological formations erodibility in Karkheh sub-catchments

فراوانی را در زیرحوضه‌ها داراست و طبقه فرساینده‌گی خیلی زیاد در هیچ یک از زیرحوضه‌ها وجود ندارد.

در خصوص شاخص فرساینده‌گی باران، مساحت طبقات و فراوانی آن‌ها برای تمامی زیرحوضه‌های رتبه چهار در شکل ۳ آورده شده است که طبقه با شدت زیاد بیش‌ترین مساحت و



شکل ۳- وضعیت شاخص فرسایش باران در زیرحوضه‌های حوزه آبخیز کرخه
Figure 3. The status of rainfall erosivity index in sub-catchment of Karkheh watershed

۲۲۱۱ (پایاب کرخه) به دلیل مقدار کم باران و شیب، دارای کمترین فرسایش ویژه است. همچنین مطابق جدول ۲، در زیرحوضه‌های رتبه ۴، زیر حوضه‌های ۲۲۲۵ (کشکان میانی) و ۲۲۲۳ (کرخه بالا) نسبت به سایر زیر حوضه‌ها، از رسوبدهی ویژه بیشتری برخوردار است. همچنین میانگین رسوبدهی ویژه حوزه آبخیز کرخه ۱۴۶ تن بر کیلومتر مربع بوده که حوضه را در وضعیت کم طبقه‌بندی می‌نماید.

نتایج مقادیر فرسایش و رسوبدهی به همراه مشخصات کلی زیرحوضه‌های رتبه چهار در جدول ۲ آورده شده است. نتایج نشان می‌دهد که بیشترین میزان فرسایش ویژه در زیر حوضه‌های رتبه ۴، مربوط به زیر حوضه ۲۲۱۵ (کرخه بالا) است که ۱۴۶۶ مترمکعب در کیلومتر مربع در سال رسوب تولید می‌کند. علت آن را می‌توان به مقادیر بالای شیب و ضریب فرسایش در این زیر حوضه نسبت داد. زیرحوضه

جدول ۲- مقادیر فرسایش و رسوبدهی در زیر حوضه‌های کرخه

Table 2. Estimated erosion and sediment yield in Karkheh sub-catchment

کد زیرحوضه	نام زیرحوضه	مساحت (هکتار)	متوسط شیب (درصد)	نوع زیر حوضه	رسوبدهی ویژه (Gsp) مترمکعب بر کیلومتر مربع در سال	فرسایش ویژه (Wsp)	طبقه فرسایش ویژه
۲۲۱۱	پایاب کرخه	۵۳۳۳۸/۳	۱/۳	وابسته	۱۰۸/۱	۱۳۹/۲	کم
۲۲۱۲	کرخه میانی ۱	۲۶۴۰۳۹/۲	۲/۰	وابسته	۱۱۵/۱	۵۸۵/۲	زیاد
۲۲۱۳	رقابیه	۵۳۲۱۰/۶	۲/۱	مستقل	۱۵۹/۵	۶۲۵/۵	زیاد
۲۲۱۴	کرخه میانی ۲	۳۲۵۹۳/۰	۴/۰	وابسته	۱۵۱/۵	۶۴۷/۸	زیاد
۲۲۱۵	کرخه بالا	۳۹۹۱۴۴/۱	۲۰/۳	وابسته	۱۲۸/۸	۱۴۶۶/۰	خیلی زیاد
۲۲۲۱	پایاب کشکان	۶۵۸۵۱/۹	۲۳/۶	وابسته	۱۱۸/۹	۱۰۳۳/۲	زیاد
۲۲۲۲	مادیان رود	۱۱۲۸۰۲/۸	۱۳/۸	مستقل	۱۵۰/۹	۶۵۸/۳	زیاد
۲۲۲۳	چولپول	۱۳۷۰۹۹/۲	۲۳/۲	وابسته	۱۶۰/۵	۱۲۱۲/۰	زیاد
۲۲۲۴	خرم‌آباد	۲۴۹۸۸۵/۵	۲۱/۲	مستقل	۲۲۳/۰	۱۰۸۹/۲	زیاد
۲۲۲۵	کشکان میانی	۷۸۸۳۷/۶	۲۵/۴	وابسته	۱۷۳/۶	۱۲۳۵/۱	زیاد
۲۲۲۶	چم ذکریا	۱۰۵۱۶۸/۸	۲۳/۸	وابسته	۱۵۷/۱	۱۰۴۲/۶	زیاد
۲۲۲۷	آب الشتر	۷۹۴۸۴/۷	۲۷/۳	مستقل	۱۳۶/۹	۵۶۷/۳	زیاد
۲۲۲۸	هررود	۱۱۸۴۳۴/۶	۲۳/۹	مستقل	۱۷۲/۰	۷۵۵/۱	زیاد
۲۲۳۱	پایاب سیمره	۳۲۳۸۶۲/۹	۲۳/۰	وابسته	۱۰۲/۶	۹۷۸/۰	زیاد
۲۲۳۲	چرداول	۳۵۸۱۷۵۶/۴	۱۶/۶	وابسته	۹۴/۵	۵۳۲/۷	زیاد
۲۲۳۳	سیمره میانی	۵۴۳۳۳۲/۹	۲۱/۱	وابسته	۱۱۵/۱	۹۱۳/۱	زیاد
۲۲۳۴	قره سو	۵۴۸۸۱۷/۶	۱۴/۳	وابسته	۸۸/۲	۵۶۸/۴	زیاد
۲۲۳۵	گاماسیاب	۱۱۷۹۶۶۲/۰	۱۷/۵	مستقل	۹۲/۸	۵۶۴/۷	زیاد

جدول ۳ میزان و درصد گسترش طبقات حساسیت سازندهای زمین‌شناسی (فرسایش‌پذیری)، شدت فرسایش و فرسایندهای باران حوضه کرخه را نشان می‌دهد. برای کل حوضه کرخه میانگین ۵ طبقه‌ی حساسیت سازندهای زمین‌شناسی در هر زیر حوضه گرفته شد، به همین علت درصد فراوانی سه طبقه‌ی خیلی مقاوم، مقاوم و خیلی حساس، صفر است. درصد فراوانی طبقه شدت فرسایش زیاد در حوضه کرخه بیش‌ترین فراوانی را در بین طبقات شدت فرسایش دارد. همچنین طبقه خیلی زیاد فرسایندهای باران در حوضه کرخه بیش‌ترین درصد فراوانی را نسبت به طبقات دیگر دارند. این نتایج حاکی از آن است که در این حوضه سازندهای حساس به فرسایش و طبقه فرسایندهای خیلی زیاد سهم بالایی را به خود اختصاص داده‌اند و به تبع آن میزان شدت فرسایش در حوضه زیاد شده است (جدول ۳).

جدول ۳ - میزان گسترش طبقات حساسیت سازندهای زمین‌شناسی، شدت فرسایش و فرسایندهای باران در حوضه کرخه

Table 3. Amount of extent in terms of geological formations erodibility, erosion severity and rainfall erosivity classes in Karkheh watershed.

ردیف	طبقه حساسیت	درصد فراوانی هر طبقه	طبقه شدت فرسایش	درصد فراوانی هر طبقه	طبقه فرسایندهای باران	درصد فراوانی هر طبقه
۱	I / خیلی مقاوم	۰	خیلی کم	۰/۵	کم	-
۲	II / مقاوم	۰	کم	۸/۸	متوسط	۱۴/۰
۳	III / متوسط	۴۰/۲۶	متوسط	۲۳/۴	زیاد	۳۴/۵
۴	IV / حساس	۵۹/۷۴	زیاد	۵۱/۷	خیلی زیاد	۴۸/۷
۵	V / خیلی حساس Lake/دریاچه‌ها	۰	شدید	۱۱/۱	شدید	۲/۸
		۱۰۰		۱۰۰		۱۰۰

جدول ۴ رتبه‌بندی میانگین شاخص‌های حساسیت سازندهای زمین‌شناسی، فرسایندهای باران، فرسایش هر زیرحوضه نسبت به مقدار حوضه کرخه را نشان می‌دهد. میانگین امتیازات شاخص‌های حساسیت سازندهای زمین‌شناسی، فرسایندهای باران و فرسایش در حوضه کرخه ۰/۶۷ است که میانگین امتیاز برخی زیرحوضه‌ها از این مقدار بیش‌تر و برخی کم‌تر هستند. زیرحوضه‌هایی مانند ۲۲۱۵

جدول ۴ - اولویت بندی زیر حوضه‌ها براساس میانگین شاخص‌های حساسیت سازندها، فرسایندهای باران و فرسایش

Table 4. Prioritization of sub- catchment based on the geological formations erodibility, rainfall erosivity and erosion severity

کد زیرحوضه	شاخص حساسیت	شاخص فرسایندهای (نرمال شده)	شاخص فرسایش	میانگین نرمال شاخص‌ها (وضعیت)	اولویت	وضعیت نسبت به حوضه
کرخه	۰/۷۹	۰/۷۳	۰/۵۰	۰/۶۷	-	-
۲۲۱۵	۰/۷۲	۰/۸۱	۱	۰/۸۴	۱	+
۲۲۲۴	۰/۷۸	۰/۹۵	۰/۷۸	۰/۸۳	۲	+
۲۲۲۳	۰/۷۰	۰/۸۷	۰/۸۳	۰/۸۰	۳	+
۲۲۲۵	۰/۸۱	۰/۷۳	۰/۸۴	۰/۷۹	۴	+
۲۲۲۶	۰/۷۷	۰/۹۰	۰/۷۱	۰/۷۹	۵	+
۲۲۲۸	۰/۷۲	۱	۰/۵۲	۰/۷۴	۶	+
۲۲۲۱	۰/۷۰	۰/۷۶	۰/۷۰	۰/۷۲	۷	+
۲۲۳۳	۰/۷۴	۰/۷۵	۰/۶۲	۰/۷۱	۸	+
۲۲۳۱	۰/۷۳	۰/۷۱	۰/۶۷	۰/۷۰	۹	+
۲۲۳۴	۰/۸۲	۰/۸۷	۰/۳۹	۰/۶۹	۱۰	+
۲۲۲۲	۰/۸۲	۰/۶۸	۰/۴۵	۰/۶۵	۱۱	-
۲۲۳۲	۰/۷۰	۰/۸۶	۰/۳۶	۰/۶۴	۱۲	-
۲۲۱۴	۰/۸۷	۰/۵۹	۰/۴۴	۰/۶۴	۱۳	-
۲۲۲۵	۰/۷۷	۰/۷۰	۰/۳۹	۰/۶۳	۱۴	-
۲۲۱۳	۰/۸۸	۰/۵۲	۰/۴۲	۰/۶۱	۱۵	-
۲۲۱۲	۰/۹۴	۰/۴۶	۰/۴۰	۰/۶۰	۱۶	-
۲۲۲۷	۰	۰/۹۷	۰/۳۹	۰/۴۵	۱۷	-
۲۲۱۱	۱	۰	۰	۰/۳۳	۱۸	-

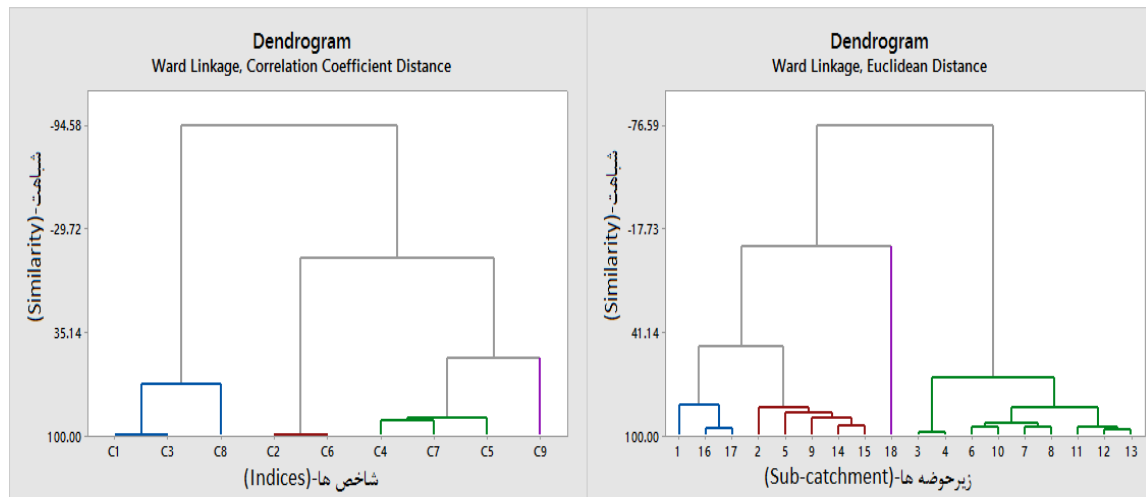
*: وضعیت زیرحوضه‌ها در مقایسه با کل حوضه نسبت به شاخص‌های حساسیت سازندها، فرسایندهای باران و فرسایش - کمتر و + بیشتر از

خوشه‌ی دوم، یک زیرحوضه (۲۲۳۵) در خوشه‌ی سوم، نه زیرحوضه (۲۲۱۳، ۲۲۱۴، ۲۲۲۱، ۲۲۲۲، ۲۲۲۳، ۲۲۲۵، ۲۲۲۶، ۲۲۲۷ و ۲۲۲۸) در خوشه‌ی چهارم بر اساس بیشترین شباهت

دندروگرام حاصل از خوشه‌بندی زیرحوضه‌ها (شکل ۴) نشان می‌دهد که سه زیرحوضه (۲۲۱۱، ۲۲۳۳ و ۲۲۳۴) در خوشه‌ی اول، پنج زیرحوضه (۲۲۱۲، ۲۲۱۵، ۲۲۲۴، ۲۲۳۱ و ۲۲۳۲) در

جریان سطحی، حساسیت سازندها در گروه اول و شاخص‌های مساحت و طول جریان در گروه دوم (با درصد شباهت بسیار بالا)، شاخص‌های فرسایندهی باران، ارتفاع و شیب متوسط هر زیرحوضه در گروه سوم، فرسایش زیرحوضه‌ها نیز در گروه چهارم قرار گرفته است.

گروه‌بندی شده‌اند. همچنین نتیجه‌ی خوشه‌بندی شاخص‌های حساسیت سازندهای زمین‌شناسی، فرسایندهی باران، فرسایش، و توپوگرافی شامل تراکم زهکشی، طول جریان، طول جریان سطحی، مساحت، متوسط شیب و ارتفاع در هر زیرحوضه در شکل ۴ نشان می‌دهد که شاخص‌های تراکم زهکشی، طول



شکل ۴- دندروگرام خوشه‌بندی زیرحوضه‌های حوزه آبخیز کرخه (الف) و شاخص‌های استفاده‌شده (ب)
Figure 4. Dendrogram of clustering of sub-catchment of Karkheh watershed (A) and used indices (B)

نتایج جدول ۵ نشان داد که شاخص فرسایندهی باران در زیرحوضه‌ها با داشتن بیشترین وزن و رتبه در زیرحوضه‌های دارای اولویت بالا، به‌عنوان مهم‌ترین عامل فرسایش و تخریب در زیرحوضه‌ها بوده است که نتایج خوشه‌بندی (شکل ۴) نیز نشان داد که شاخص‌های فرسایندهی باران، ارتفاع و شیب متوسط هر زیرحوضه در یک خوشه قرار گرفته‌اند. تلفیق نتایج فرسایش‌پذیری سازندهای زمین‌شناسی، فرسایندهی باران، شدت فرسایش، رسوب‌دهی و توپوگرافی یک روش مفید برای اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها در جهت انجام عملیات حفاظت خاک و مدیریت حوزه‌ی آبخیز کرخه است که این یافته با یافته‌های آمانی و نجفی نژاد (۲)، آمانی و صفویان (۳) و مصطفی‌زاده و همکاران (۳۴) منطبق بر توجه به زیرحوضه‌های دارای شرایط بحرانی بر اساس شرایط توپوگرافی (شیب و ارتفاع) و همچنین عوامل فرسایش طبیعی و انسانی می‌تواند به عنوان توصیه مدیریتی در برنامه‌ریزی و جلوگیری از هدررفت منابع آب‌و خاک و پیامدهای فرسایش مؤثر واقع شود. همچنین گروه‌بندی زیرحوضه‌ها با توجه به شاخص‌های ذکر شده، کمک می‌کند که عملیات حفاظت خاک و آب به‌عنوان روشی هماهنگ در بین زیرحوضه‌ها انجام شود و زیرحوضه‌هایی که در یک خوشه قرار می‌گیرند، در زیرحوضه‌ای که شرایط بدتری نسبت به دیگر زیرحوضه‌ها دارد، عملیات حفاظت خاک و آب انجام شود و در نهایت عملیات حفاظتی انجام‌شده به دیگر زیرحوضه‌های هم‌گروهی آن توصیه شود که این کار موجب صرفه‌جویی در هزینه و زمان عملیات مدیریت آبخیزداری در حوضه خواهد شد.

این پژوهش با هدف بررسی برخی شاخص‌های وضعیت منابع طبیعی از قبیل حساسیت سازندهای زمین‌شناسی، فرسایندهی باران، شدت فرسایش، رسوب‌دهی، خصوصیات توپوگرافی برای اولویت‌بندی مدیریتی، عملیات کنترلی و حفاظتی زیرحوضه‌ها در حوزه آبخیز کرخه انجام شد. میانگین رسوبدهی حوضه کرخه با استفاده از میانگین شدت فرسایش زیرحوضه‌های حاصل از مدل EPM و ضرب آن در نسبت تحویل رسوب لگاریتمی، ۱۴۳ تن بر کیلومتر مربع (ton/km^2) برآورد شد. در صورتیکه عرب‌خدری (۴) با بررسی ۱۵ ایستگاه رسوب‌سنجی که ۵۱ درصد مساحت کل حوضه کرخه را شامل می‌شوند، میانگین رسوبدهی حوضه کرخه را ۲۵۰ تن بر کیلومتر مربع به دست‌آورده است که برآورد پژوهش حاضر نسبت به پژوهش عرب‌خدری (۴) از دقت مناسب و حجم محاسباتی و عملیاتی کمتری برخوردار است و از طرفی برای کل زیرحوضه‌ها محاسبه شده است. همچنین نتایج رتبه‌بندی شاخص‌های ذکر شده در جدول ۵ نشان داد که زیرحوضه‌هایی مانند ۲۲۱۵ (کرخه بالا) و ۲۲۲۴ (خرم‌آباد) از نظر برنامه‌ریزی و اقدام‌های عملی در سطح این حوضه در سطوح مدیریتی پایین، میانی و کلان در اولویت هستند تا به هدف این مطالعه که کاهش فرسایش در حوضه و نه رفع خطر سیل است، دست یابیم و زیرحوضه‌هایی مانند ۲۲۱۱ (پایاب کرخه) و ۲۲۲۷ (آب‌الشر) در اولویت کمتری نسبت به سایر زیرحوضه‌ها در حوزه آبخیز کرخه هستند که نتایج خوشه‌بندی زیرحوضه‌ها (شکل ۴) نیز نشان داد که زیرحوضه‌های کرخه بالا و خرم‌آباد در یک گروه خوشه‌بندی شده‌اند که نشان از تأیید نتایج روش میانگین‌گیری شاخص‌های ذکر شده دارد. همچنین

منابع

1. Alizadeh, A. 2013. Soil physics. Imam Reza University Press, 568 pp (In Persian).
2. Amani, M. and A. Najafinejad. 2014. Prioritization of sub-watersheds based on morphometric analysis, GIS and RS techniques: Lohandar watershed, Golestan Province. *Journal of Watershed Management Research*, 5(9): 1-15 (In Persian).
3. Amani, M. and A. Safaviyan. 2015. Sub-basins prioritization using morphometric analysis-remote sensing technique and GIS-Golestan-Iran. *International Letters of Natural Sciences*, 38, 56-65.
4. Arabkhedri, M. 2005. A study on the suspended sediment yield in river basins of Iran. *Iranian Journal of Water Resources Research*, 1(2): 51-60 (In Persian).
5. Arabkhedri, M., S. Hakimkhani and J. Varvani. 2004. The validity of extrapolation methods in estimation of annual mean suspended sediment yield (17 Hydrometric stations). *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 11(3), 123-131 (In Persian).
6. Asadi Nalivan, O., M. Rostami Khalaj, M. Mohseni Saravi and A. Sour. 2015. Prioritizing of watershed management planning using TOPSIS. *Journal of Watershed Management Research*, 6(12): 98-107 (In Persian).
7. Ayele, G.T., E.Z. Teshale, B. Yu, I.D. Rutherford and J. Jeong. 2017. Streamflow and sediment yield prediction for watershed prioritization in the upper Blue Nile River basin, Ethiopia. *Water*, 9(782):1-29.
8. Bayat, R. and M. Rostami. 2016. Prioritizing watersheds based on erosion condition using experimental models of EPM and MPSIAC. *Journal of Natural Ecosystems of Iran*, 7(1): 19-32 (In Persian).
9. Bayat, R. and Sh. Moradi. 2014. Review of research conducted on the sediment delivery ratio. *Iran-Watershed Management Science and Engineering*, 2(5): 27-36 (In Persian).
10. Bayat, R., A. Sarshetdari, A. Jafari Ardekani and R. Sokuti Oskuee. 2012. Simulation of land use management effect on soil erosion of Orumiye lake watershed. *Journal of Watershed Engineering and Management*, 4(3): 118-126 (In Persian).
11. Bayat, R., H. Refahi, A.A. Darvishsefat and F. Sarmadian. 2001. An investigating of EPM and MPSIAC model efficiencies in estimating erosion and sediment yield of Taleghan. *Iranian Journal of Agriculture Science*, 32(1): 203- 217 (In Persian).
12. Bayat, R., M. Arabkhedri, B. Ghermezcheshmeh, A. Jafari Ardakani, M. Shariat Jafari, H.R. Peyrovan and A.A. Nourozi. 2014. Revision, completion and publishing of erosion and flood atlas for river basins of Iran (Karkheh Watershed). Soil Conservation and Watershed Management Institute, Tehran, Iran, 161pp (In Persian).
13. Chaplot, V., G. Jewitt, S. Lorentz, P. Dlamini, L. Titshall and C. Orchard. 2011. Controlling factors of sheet erosion under degraded grasslands in the sloping lands of Kwazulu-Natal, South Africa. *Agricultural Water Management*, 98, 1711-1718.
14. Chobin, B., K. Soleimani, M. Habib Nejad Roshan and A. Malekiyan. 2017. Grouping of Karkheh watershed based on physical-spatial indices using fuzzy approach. *Scientific-Research Quarterly of Geographical Data (Sepehr)*, 27(107): 85-98 (In Persian).
15. Daramola, J., T.M. Ekhwan, J. Mokhtar, K.C. Lam and G.A. Adeogun. 2019. Estimating sediment yield at Kaduna watershed, Nigeria using soil and water assessment tool (SWAT) model. *Heliyon*, 5: 1-8.
16. Emmanouloudis, D. A., O. P. Christou and E. Filippidis. 2003. Quantitative estimation of degradation in the Aliakmon river basin using GIS. In: De Boer, D. Froehlich, W. Mizuyama, T. Pietroniro, A. (Eds.), *Erosion prediction in Ungauged Basin: Integrating methods and Techniques*. IAHS Publication, 279: 234-240.
17. Fathizad, H., H. Karimi and M. Tavakoli. 2016. Role of Ssensitivity of erosion the geological formations at erosion rate and sediment yield (case study: sub-basins of Doviraj river, Ilam province). *Journal of Watershed Management Research*, 7(13): 193-208 (In Persian).
18. Fayas, C.M., N.S. Abeysingha, K.G.S. Nirmanee, D. Samaratunga and A. Mallawatantri. 2019. Soil loss estimation using rusle model to prioritize erosion control in KELANI river basin in Sri Lanka. *International Soil and Water Conservation Research*, 7: 130-137.
19. Feiznia, S. and M. Zare-Khosh Eghbal. 2004. Sensitivity of Rocks and Formations to Erosion and Sediment Yield in Latian Drainage Basin Area. *Iranian Journal Natural Resources*, 56(4): 365-383 (In Persian).
20. Gerami, Z., M. Arabkhedri, H. Asadi and R. Bayat. 2015. The influence of rainfall erosivity temporal variation on suspended sediment load seasonality (Case study: Kasiliyan basin). *Journal of Watershed Management Research*, 7 (14): 167-176 (In Persian).
21. Gerami, Z., M. Arabkhedri, H. Asadi and R. Bayat. 2017. Suspended sediment changes under the influence of rainfall erosivity cycle in Sorkhab watershed. *Iran-Watershed Management Science and Engineering*, 11(38): 61-71 (In Persian).
22. Ghazizadeh, M., A. Nohegar and F. Abdinejad. 2014. Exploring relation between environmental indices and Soil erosion for sustainable development. *Journal of Environmental Erosion Research*, 3(15): 1-8 (In Persian).
23. Gia Pham, T., J. Degener and M. Kappas. 2018. Integrated universal soil loss equation (USLE) and Geographical Information System (GIS) for soil erosion estimation in A Sap basin:Central Vietnam. *International Soil and Water Conservation Research*, 6: 99-110.

24. Golkariyan, A., A.A. Mohammadiyan and A. Abdolahi. 2017. Prioritizing sub-basins for watershed management. *Journal of Range and Watershed Management*, 70(3): 777-789 (In Persian).
25. Haseli, M. and H. Jalaliyan. 2014. Assessment and zoning of soil erosion risk in Aleshtar watershed. *Journal of Spatioal Analysis Environmental Hazarts*, 1(4): 91-104 (In Persian).
26. Hovius, N. 1998. Controls on sediment supply by large rivers, in Shanley. K.W., ed., *Relative role of eustasy, climate, and tectonism in continental rocks*. Society for Sedimentary Geology, Special Publication, 59: 3-16.
27. Javed, A., M.Y. Khanday and R. Ahmed. 2009. Prioritization of watersheds based on morphometric and landuse analysis using RS and GIS techniques. *Journal of the Indian society of Remote Sensing*, 37: 261-274.
28. Kazemi, R. and J. Porhemat. 2018. Investigating the effect of hierarchical clustering methods on accurately modeling of runoff coefficient in Karkkeh Basin. *Journal of Watershed Engineering and Management*, 10(1): 81-94 (In Persian).
29. Keshtkar, A.R., B. Asefjeh, Y. Erfanifard and A. Afzali. 2016. Using fuzzy topsis technique to prioritize biological management options for basin resources (case study: Nari valley watershed in Sarvestan Fars). *Journal of Range and Watershed Management*, 69(1): 211-228 (In Persian).
30. Khademi, H., M. Nael, N. Hajabbasi. 2004. Response of soil quality indicators and their spatial variability to land degradation in central Iran. *Applied Soil Ecology*, 27(3): 221-232.
31. Mohammadi, A.A. and H. Ahmadi. 2011. Prioritizing sub-basins to provide watershed rehabilitation programs (case study: Marof watershed). *Quarterly Geographical Journal of Territory (Sarzamin)*, 8(29): 69-77 (In Persian).
32. Mohammadi, S. 2018. Prioritization of sub-catchments for operation of watershed management projects via multi-criteria decision making techniques (Case Study: Asyabjofeth Watershed). *Journal of Watershed Management Research*, 10(18): 36-46 (In Persian).
33. Mokaram, M., A. Darvishi Blorani and S. Negahban. 2017. Relationship between morphometric characteristics of watersheds and erodibility in different altitudinal levels using topographic position index (TPI) Case study: Nazlouchai watershed. *Scientific-Research Quarterly of Geographical Data (Sepehr)*, 26 (101): 131-142 (In Persian).
34. Mostafazadeh, R., K. Haji, A. Esmali-Ouri and H. Nazarnejad. 2017. Prioritization the critical subwatersheds based on soil erosion and sediment using watershed erosion response model (WERM) and morphometric analysis (case study: Rozechai watershed, West Azerbaijan Province). *Journal of Watershed Management Research*, 8(16): 142-156 (In Persian).
35. Mousavi Kiassari, E., D. Nikkami, M.H. Mahdian and E. Pazira. 2012. Investigating rainfall erosivity indices in arid and semi-arid climates of Iran. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 36(3): 365-378 (In Persian).
36. Riebe, C.S., J.W. Kirchner, D.E. Granger and R.C. Finkel. 2001. Minimal climatic control on erosion rates in the Sierra Nevada, California. *Geological Survey of America, Geology*, 29(5): 447-450.
37. Safamanesh, R., N. Sulaiman and M. Ramli. 2006. Erosion risk assessment using an empirical model of Pasific southwest Inter Agency Committee Method for Zargeh watershed, Iran. *Journal of Spatial Hydrology*, 6(2): 105-120.
38. Safari, A., F. Soleimani and M. Habib Nejad Roshan. 2017. Prioritization of sub-basins in terms of erosion value derived from EPM model and identification of sensitive water courses to erosion using field observations and field operations (Case study: Babolrood watershed, Mazandaran province). *Journal of Geographical Space*, 17(57): 31-48 (In Persian).
39. Shariat Jafari, M., Ghayoumian, J. and H.R. Peyrovan. 2006. Intrinsic susceptibility of geological formations to weathering and erosion in watersheds located in the sedimentary-structural zone of central Iran subcontinent. *Journal of Science Kharazmi University*, 6(2):709-722 (In Persian).
40. Summerfield, M.A. and N.J. Hulton. 1994. Natural controls on uvial denudation rates in major world drainage basins. *Journal of Geophysical Research, Solid Earth*, 99: 13871-13883.
41. Syed, N.H., A.A. Rehman, D. Hussain, S. Ishaq and A.A. Khan. 2017. Morphometric analysis to prioritize sub-watershed for flood risk assessment in Central Karakoram National Park using GIS/RS approach. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 4th International GeoAdvances Workshop, 14-15 October, Safranbolu, Karabuk, Turkey.
42. Walling, D.E. and B.W. Webb. 1983. Patterns of sediment yield. In: Gregory, K.J. (Ed.), *Background to Palaeohydrology*. John Wiley & Sons Ltd, 69-100 pp.
43. Wichmeier, W.H. and D.D. Smith. 1978. Predicting rainfall losses—a guide to conservation planning. *Agriculture Handbook*, No. 537, US Department of Agriculture, Washington, DC.
44. Zare Khosh Eghbal, M. and M. Oromiyeh. 2005. Estimation of water erosion in watersheds of the country using geographic information systems. 3rd Erosion and Sediment National Conference, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Tehran, Iran (In Persian).

Investigating the Status of Some Indicators of Assessment of Watersheds and Prioritizing Sub-Catchments in Terms of Erosion Reduction (Case Study of Karkheh Watershed)

Reza Bayat¹, Zahra Gerami², Mahmood Arabkhedri³, Hamid Reza Peyrowan³
and Rahim Kazemi⁴

1- Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Institute, Agricultural Research, Education and extension Organization (Corresponding author: bayat52@gmail.com)

2- PhD Candidate, Shahrekord University

3 and 4- Associate Professor and Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Institute, Agricultural Research, Education and extension Organization

Resived: June 9, 2019

accepted: October 23, 2019

Abstract

Environmental challenges are increasing day by day which this is a result of the increasing human population and demand for natural resources. Mismanagement of natural resources causes instability in environmental indicators. Degradation of watersheds with soil erosion and sediment yield is one of the most important environmental issues in Iran. Therefore, it is necessary to prepare and complete the spatial information of the natural characteristics of the watersheds and their prioritization. Because it is used in comprehensive watershed management. The purpose of this study was to investigate the status of some indicators and prioritize sub-catchments in Karkheh watershed. So indices of sensitivity of rock units to erosion, modified founrier erosivity index, erosion intensity from EPM experimental model and sedimentation through logarithmic sediment delivery ratio and discharge data were extracted and analyzed. After calculating mentioned indices in the sub-catchments of Karkheh watershed, the values of each indicator in the basin and sub basins were examined, standardized and compared and then sub-catchments prioritization were performed. The clustering method was also used to group the sub-catchments and the above mentioned indices and topographic indices. Investigation of the susceptibility of formations to erosion of Karkheh watershed showed that sensitive class to erosion is the most frequent in this basin (60 %). The largest similar category in sub-catchments includes nine ones with codes 2213, 2214, 2221, 2222, 2223, 2225, 2226, 2227 and 2228 and the coefficients of area and length of flow had the most similarity. The results of rainfall erosivity and average erosion also indicate that very high erosivity class and high erosion class have the largest area (49% and 52% respectively) in this basin which the average erosivity and erosion of the basin were 60.6 mm and 727 m³ / km, respectively. The results of the average ranking of the indicators of geological formation sensitivity, rainfall erosivity and erosion of each sub basin show that sub basins such as 2215 (Karkheh Bala) and 2224 (Khoramabad) are prioritized in terms of planning and practical measurments at the level of the basin at managerial levels and sub-catchments such as 2211 (Karkheh Payab) and 2227 (Ab Aleshtar) are less priority than other sub-catchments in the Karkheh watershed.

Keywords: Geological Formation Erodibility, Integrated Watershed Management, Rainfall Erosivity, Sedimentation, Topographic Indices



"مقاله پژوهشی"

ارائه مدل مدیریت جامع منابع آب و خاک حوضه رودخانه حبله رود با استفاده از رویکرد پویایی سامانه

ابراهیم کریمی سنگچینی^۱، مجید اونق^۲، امیر سعدالدین^۲، مهدی ضرغامی^۳ و ایرج ویسکرمی^۴

۱- استادیار، بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، خرم آباد، ایران (نویسنده مسؤل: E.karimi64@gmail.com)

۲- استاد و دانشیار گروه آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۳- استاد دانشکده مهندسی عمران و پژوهشکده محیط زیست، دانشگاه تبریز

۴- مربی بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، خرم آباد، ایران

تاریخ ارسال: ۹۸/۰۴/۳۱ تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۱/۲۶

صفحه: ۱۱۹ تا ۱۲۹

چکیده

در این تحقیق، مدل پویایی سامانه به منظور افزایش سطح ادراک سامانه آبخیز و تسهیل مدیریت جامع و پایدار منابع آب و خاک در حوضه رودخانه حبله رود ارائه داده شد. مدل مفهومی شامل زیرسامانه‌های فیزیکی، اقتصادی و اجتماعی بر مبنای روابط علی - معلولی و بازخوردها ترسیم شد. نمودار ذخیره - جریان در نرم افزار Vensim اجرا شد. صحت‌سنجی مدل با آزمون‌های حدی و آزمون‌های ارزیابی عملکرد مدل انجام گرفت. مدل پویایی سامانه با ضریب نش - ساتکلیف و ضریب تبیین به ترتیب بیش تر از ۰/۶۲ و ۰/۶۳ برای همه متغیرها صحت قابل قبولی داشته‌اند. سناریوهای مدیریت پوشش گیاهی، اقلیمی، مدیریت منابع آب و الگوی کشت با وضعیت موجود مقایسه شدند. نتایج حاصل از تحلیل سناریوهای مورد بررسی در یک دوره ۳۰ ساله نشان داد که سناریوی مدیریت کارایی آب کشاورزی به عنوان سناریوی برتر به ترتیب ۱۴/۳ و ۱۱/۱ درصد حجم آب زیرزمینی و نفوذ آب را نسبت به وضع موجود بهبود می‌بخشد. از نظر متغیرهای فرسایش و رسوب، سناریوی فعالیت‌های اصلاح مراتع به ترتیب با ۷/۶ و ۵/۳ درصد کاهش نسبت به وضع موجود به عنوان سناریوی برتر شناخته شدند. بیش‌ترین کاهش در هدررفت‌های نیتروژن و فسفر به ترتیب با ۸ و ۶/۴ درصد نسبت به وضع موجود، با اجرای سناریوی اصلاح مراتع حاصل شد. سناریوی پرداخت ۵۰ درصد درآمد خدمات زیست‌بومی با بهبود وضعیت در حدود ۴۶ درصد در یک دوره ۳۰ ساله نسبت به وضع موجود به عنوان سناریوی برتر شناخته شد. ذینفعان تمایل بیش‌تر خود را برای مشارکت در پروژه‌های مربوط به مدیریت مزرعه (امتیاز جمعی شاخص پذیرش مردمی ۸۵/۶) نشان دادند. مدل پویایی سامانه برای افزایش ادراک ذینفعان از روابط علی و معلولی و بازخوردهای سامانه سودمند است.

واژه‌های کلیدی: زنجیره‌های بازخوردی، سناریوهای پیشنهادی، مدل مفهومی، نمودار علی-معلولی، Vensim

مقدمه

(پایین رفتن سطح آب‌های زیرزمینی، کاهش کیفیت آب، کاهش کیفیت خاک زراعی و شوری اراضی، بروز سیلاب، بیابان‌زایی، افزایش برداشت از آب، خشکسالی‌های پی‌درپی، تصرفات اراضی ملی در عرصه‌های بالادست رودخانه، چرای بیش‌ازحد دام‌ها، تبدیل مراتع به دیمزارهای کم‌بازده، تخریب جنگل، توسعه شهرنشینی و صنعتی) است (۱۲). شاروات و همکاران (۱۹)، رویکرد پویایی سامانه را برای مدیریت یکپارچه منابع آب در شهری در شمال هند به کار بردند. هدف از این مطالعه، بررسی سناریوهای سیاستی مدیریت مصرف آب و دفع فاضلاب برای شهرهای درحال رشد بود. نتایج نشان داد که در صورت ادامه روش‌های فعلی آبرسانی، تقاضای آب در ۲۵ سال ۶۹ درصد افزایش می‌یابد. هم‌چنین اقدامات کاهش رشد جمعیت و استفاده مجدد از آب پس از تصفیه به عنوان سناریوهای برتر برای کاهش تقاضای آب و کاهش تولید فاضلاب انتخاب شدند. سان و همکاران (۲۴)، کاربرد پویایی سامانه را در مدیریت پایدار منابع آب کشور چین ارزیابی نمودند. پنج زیرسامانه اصلی اقتصادی، جمعیت، عرضه و تقاضای آب، منابع زمینی، آلودگی آب و مدیریت بررسی شد. نتایج نشان داد که تغییرات عرضه و تقاضا به صرفه‌جویی

منابع آب و خاک، زیرساخت‌های توسعه کشاورزی و منابع طبیعی در سراسر جهان هستند. مدیریت و استفاده مناسب از منابع آب و خاک زیرساخت توسعه پایدار اقتصادی می‌باشند (۵). مدیریت منابع آب و خاک نیازمند تصمیم‌گیری آینده‌نگر با رویکردی جامع است. علم پویایی سامانه، یک ابزار مدیریتی بر اساس این نگرش می‌باشد. (۱۷ و ۲۲). به کمک این شبیه‌سازی پیامدهای نامشخص تصمیم‌گیری‌ها آشکار می‌شود. هدف عمده این روش شبیه‌سازی، تسریع و تسهیل یادگیری رفتار سامانه‌ها در شرایط فعلی و آینده است (۱، ۸، ۱۴، ۱۶، ۲۵ و ۲۶). رویکرد پویایی سامانه به ارزیابی تصمیمات و سیاست‌های مختلف کمک می‌کند و هم‌چنین می‌تواند به سؤالات زیادی در باره استفاده از آب، محیط زیست، اهداف جریان، طراحی و سیاست‌های برداشت و تخصیص آب پاسخ گوید (۷، ۱۰، ۱۶، ۲۳ و ۲۹). رودخانه حبله‌رود تنها رودخانه دائمی استان سمنان و شهرستان گرمسار می‌باشد. این رودخانه مهم‌ترین منبع آب کشاورزی و شرب مردم گرمسار است. آبخیز حبله‌رود دارای مشکلات طبیعی و انسان‌ساخت زیادی در زمینه منابع آب و خاک

بخش‌های دشتی آن عمدتاً در استان سمنان واقع شده است. بارندگی متوسط سالیانه این حوضه ۲۱۱ میلی‌متر و دمای متوسط سالیانه ۷/۸ درجه سانتیگراد می‌باشد. ارتفاع بلندترین نقطه این محدوده ۴۰۵۳ متر و پست‌ترین نقطه آن ۷۳۹ متر از سطح دریا می‌باشد. سازندهای حوضه مربوط به دوران سنوزوئیک، کواترنر و ترشیاری می‌باشد. عمده‌ترین کاربری‌های اراضی به‌صورت عمده شامل مراتع و چراگاه‌های فصلی، اراضی کشاورزی دیم، باغات و اراضی بایر هستند. فرسایش غالب در منطقه مورد مطالعه از نوع فرسایش آبی می‌باشد (۱۲).

۲- تعریف زیرسامانه‌ها

زیرسامانه‌های فیزیکی، اجتماعی و اقتصادی به‌عنوان ارکان مدیریت جامع منابع آب و خاک در حوضه حبله‌رود انتخاب شدند.

۱-۲- زیرسامانه فیزیکی

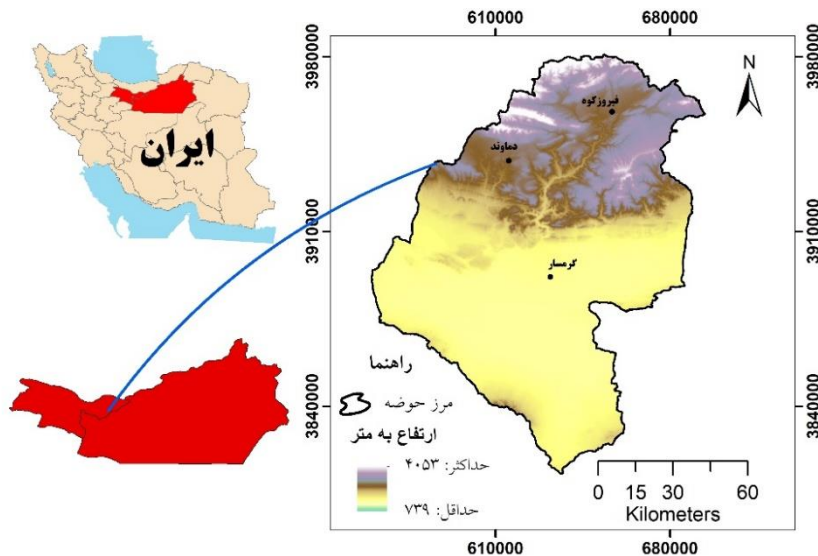
بهبود الگوی کاربری اراضی در اثر اجرای فعالیت‌های مدیریتی، بر روی افزایش رواناب تأثیر کاهشی دارد. افزایش رواناب تأثیر تشدید بر روی کاهش کیفیت، بهبود بیابان آب و افزایش فرسایش خاک و تولید و انتقال رسوب دارد. که اثر تشدید بر کاهش کیفیت آب دارد (شکل ۳). روش شماره منحنی انجمن حفاظت خاک آمریکا برای محاسبه رواناب استفاده شد. از مدل ارزیابی اثرات آب‌ساختی بلندمدت (L-THIA) برای ارزیابی کیفیت آب استفاده شده است (۲۸). با استفاده از معادله تورک تبخیر و ترقق واقعی سالانه تخمین شد. جهت پیش‌بینی فرسایش از مدل EPM استفاده شد. این مدل‌ها با استفاده از شاخص‌های R^2 و نش-ساتکلیف صحت سنجی شدند (۲۱ و ۲۷).

در مصرف آب بسیار وابسته هستند. زارع و همکاران (۲۹)، مدل‌سازی یکپارچه منابع آب را با استفاده از ترکیب محرک-فشار-حالت-تأثیر-پاسخ (DPSIR) و مدل‌سازی مفهومی پویایی سامانه در حوزه آبخیز گرگانرود انجام دادند. از چارچوب DPSIR برای تعریف مشکل و از نمودارهای علی-معلولی و الگوهای سامانه‌ای برای تهیه مدل مفهومی استفاده کردند. نتیجه‌گیری شد که ترکیبی از چندین مدل مفهومی، به‌عنوان مبنایی برای توسعه مدل پویایی سامانه، بینش متقابل را به مرزهای مشکل و ساختار مدل می‌دهد. با بررسی تحقیقات صورت‌گرفته، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که مدل پویایی سامانه، رویکردی جامع برای بررسی مدیریت منابع طبیعی و محیط زیست است. همچنین قابلیت آزمون سناریوهای مختلف را دارا می‌باشد. به‌همین دلیل، در این تحقیق سعی شد مدلی جامع برای مدیریت منابع آب و خاک با استفاده از رویکرد پویایی سامانه در حوضه حبله‌رود ارائه داده شود. همچنین به‌منظور رفع مشکلات و در نظرگرفتن همه عوامل مؤثر در این حوضه، می‌توان برنامه مدیریت جامع منابع آب و خاک را به‌عنوان زیربنای اقدامات در جهت توسعه پایدار گسترش داد.

مواد و روش‌ها

۱- معرفی حوضه مورد تحقیق

منطقه مورد مطالعه با مختصات 35° تا 36° عرض شمالی و $51^{\circ}39'$ تا $53^{\circ}8'$ طول شرقی و با مساحت ۱۱۶۰۰ کیلومتر مربع در دو استان سمنان و تهران واقع شده است (شکل ۱). بخش شمالی حوضه عمدتاً کوهستان‌ها و تپه‌ها و همچنین دشت‌های میان‌کوهی در محدوده استان تهران و



شکل ۱- موقعیت حوضه رودخانه حبله‌رود در استان‌های تهران و سمنان و ایران
Figure 1. Location of the Habel-Rood basin in the provinces of Tehran and Semnan and in Iran

هزینه‌های فرسایش خاک، تولید رسوب، آلودگی آب و هزینه اجرا و نگهداری کاربری‌ها و فعالیت‌های مدیریتی اثر تشدید بر روی هزینه کل دارند. درآمد حاصل از کاربری‌ها و

۲-۲- زیرسامانه اقتصادی

زیرسامانه اقتصادی از هزینه کل و درآمد کل تشکیل می‌شود که هزینه کل اثر منفی بر روی درآمد کل دارد.

دامنه تغییرات معیار نش-ساتکلیف از منفی بی-نهایت تا ۱ است. مقادیر بزرگ‌تر از ۰/۰۵ حاکی از عملکرد قابل قبول مدل می‌باشد.

$$NSE=1-\frac{\sum (y_{m,i}-\bar{y}_{s,i})^2}{\sum (y_{s,i}-\bar{y}_{s,i})^2}$$

در روابط بالا $y_{m,i}$ مقدار داده محاسباتی و $y_{s,i}$ نمایانگر داده‌های مشاهده‌ای و $\bar{y}_{s,i}$ و $\bar{y}_{m,i}$ مقدار میانگین داده‌های محاسباتی و مشاهده‌ای می‌باشند (۱۳).

۶- طراحی سناریوها

سناریوهای مدیریت پوشش گیاهی، اقلیمی، مدیریت منابع آب و تغییر الگوی کشت جهت تحلیل و بررسی اثر فعالیت‌های مدیریتی بر وضعیت فیزیکی، اقتصادی، اجتماعی و زیست‌بومی منابع آب و خاک تعریف شدند (جدول ۱).

نتایج و بحث

۱- حلقه‌های بازخوردی

حلقه جمعیت-اقتصاد از الگوی "محدودیت‌های رشد" تبعیت دارد (شکل ۳). حلقه بیلان آب-جمعیت از الگوی "تراژدی منابع مشترک" تبعیت کرد (شکل ۴). حلقه اقتصاد-فرسایش و رسوب از الگوی "صعود" پیروی کرد (شکل ۶). حلقه اقتصاد-کمیت و کیفیت آب، از الگوی "تراژدی منابع مشترک" تبعیت کرد (شکل ۵). حلقه اقتصاد-بیلان آب از الگوی "تراژدی منابع مشترک" تبعیت کرد (شکل ۷).

۲- نمودار ذخیره و جریان

به منظور کمی کردن مدل، نمودارهای ذخیره-جریان در محیط نرم‌افزار Vensim ترسیم شد قسمتی از این نمودار در شکل ۸ نمایش داده شده است.

۳- آزمون‌های صحت سنجی مدل

صحت‌سنجی مدل با آزمون‌های حدی و ارزیابی عملکرد مدل بررسی شد. آزمون‌های حدی با فرض‌های صفر نمودن و افزایش دوبرابری میزان خروجی‌های آب زیرزمینی، صفر نمودن و افزایش دوبرابری میزان استفاده از آب در متغیر حالت بیلان آب، عدم افزایش جمعیتی در حوضه در ۲۰۰ سال آینده، عدم در نظر گیری هزینه و خسارت و افزایش دو برابری برای حوضه، افزایش دو برابری و عدم رخداد فرسایش و رسوب و بهبود شرایط حوضه روی شاخص‌های مشارکت مردمی و ساختار و عملکرد زیست‌بوم ارزیابی شد.

ارزیابی عملکرد مدل برای دبی متوسط سالیانه (۲۵ سال آمار مشاهده‌ای)، کیفیت آب (۸ سال آمار مشاهده‌ای)، رسوب (۱۰ سال آمار مشاهده‌ای) و آب زیرزمینی (۳۰ سال آمار مشاهده‌ای) بررسی و نتایج آن در جدول (۲) آورده شده است.

فعالیت‌های موجود و درآمد حاصل از اجرای فعالیت‌های مدیریتی اثرات تشدیددی بر درآمد کل دارند (۱۱).

۲-۳- زیرسامانه اجتماعی

پذیرش سناریوها اثر مثبتی بر سطح مشارکت در طرح‌ها دارند و برعکس. عوامل امکانات و تسهیلات دولت، نقش دولت و سیاست‌گذاری، فعال کردن افراد تأثیرگذار و نقش NGOها اثرات مثبت بر وضعیت مشارکت مردم در طرح‌ها دارند (۶، ۴ و ۱۵). برای ارزیابی مشارکت در طرح‌ها از شاخص درصد افراد شرکت‌کننده در طرح‌ها تحت تأثیر عوامل اثرگذار بر آن‌ها استفاده شد (شکل ۳). این اطلاعات از طریق پرسشنامه و مصاحبه حضوری برداشت شدند. پذیرش مردمی سناریوهای مدیریتی با روش توزیع دوجمله‌ای تجزیه و تحلیل شد.

۳- حلقه‌های بازخوردی

حلقه‌های بازخوردی شامل متغیرهای کمیت و کیفیت آب، حجم آب زیرزمینی، بیلان آب، جمعیت و اقتصاد می‌باشند. معمولاً ده الگو به‌عنوان به وجود آورنده مجموعه‌ای از الگوهای رفتاری در سامانه‌ها شناخته شده است: محدودیت‌های رشد^۱، تعویض بار مسئولیت^۲، اهداف در حال فرسایش^۳، صعود^۴، موفقیت برای موفق^۵، تراژدی منابع مشترک^۶، راه‌حلی‌هایی که شکست می‌خورند^۷، رشد و شکست در سرمایه‌گذاری^۸، مخالفان تصادفی^۹ و اصل جاذبیت^{۱۰} (۲).

۴- مدل مفهومی، نمودار ذخیره و جریان و اجرای مدل

پس از تعریف حلقه‌های بازخوردی، مدل مفهومی تهیه شد. برای کمی کردن این مدل، از نمودارهای ذخیره-جریان استفاده گردید. در مرحله بعد، این مدل در نرم‌افزار Vensim اجرا و سپس نتایج آن بررسی شد.

۵- آزمون‌های صحت سنجی مدل

برای بررسی صحت سنجی مدل تهیه‌شده از آزمون‌های شرایط حدی و آزمون عملکرد مدل استفاده شد. (۲۲).

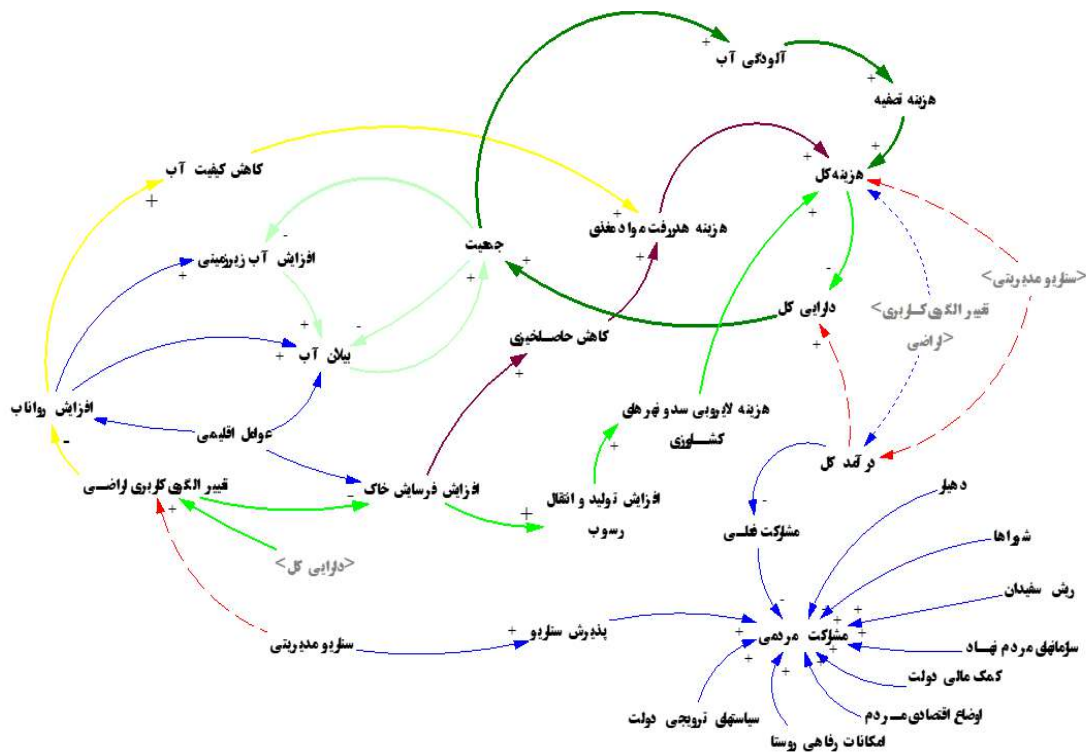
۵-۱- آزمون شرایط حدی

آزمون شرایط حدی با اعمال شرایط حدی و بررسی نتایج حاصل از مدل انجام می‌شود. آزمون شرایط حدی، بر مقاوم بودن مدل در شرایط حدی تأکید دارد، یعنی تحت هر شرایطی با تغییر یافتن سیاست‌ها و یا مقادیر ورودی‌ها، مدل باید رفتار مورد انتظار را از خود نشان دهد (۲۰).

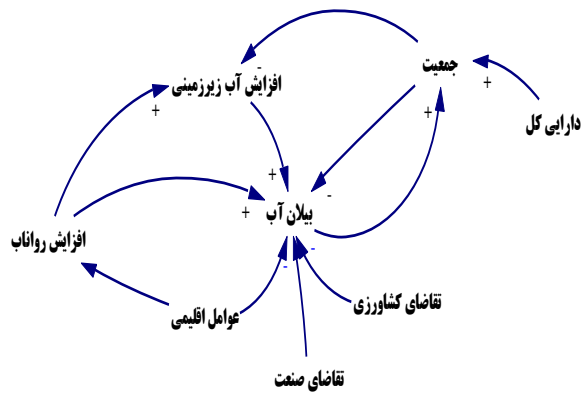
۵-۲- آزمون‌های رفتار (عملکرد) مدل

انجام این آزمون توانایی مدل در ایجاد نتایج صحیح و قابلیت اطمینان آن را نشان می‌دهد (۲۲). ضریب تعیین R^2 (متغیر بین صفر و یک) بیانگر میزان احتمال همبستگی میان دو دسته داده می‌باشد.

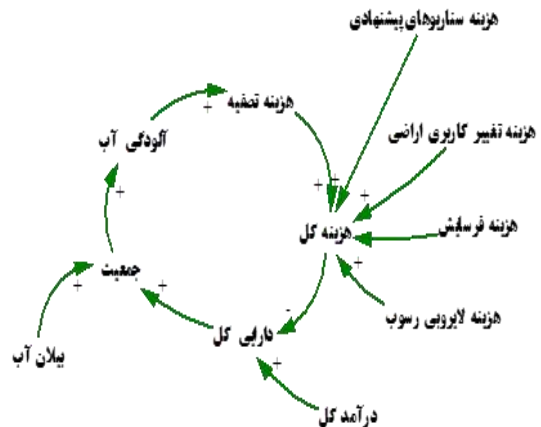
$$R^2 = \frac{[\sum (y_{m,i} - \bar{y}_{m,i})(y_{s,i} - \bar{y}_{s,i})]^2}{\sum (y_{m,i} - \bar{y}_{m,i})^2 \sum (y_{s,i} - \bar{y}_{s,i})^2}$$



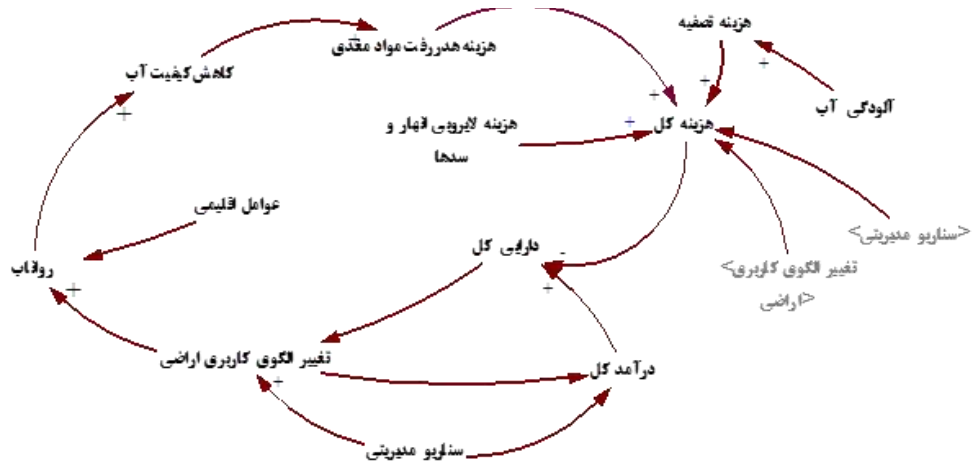
شکل ۲- نمودار مفهومی حاکم بر مدل
Figure 2. The conceptual flowchart of the model



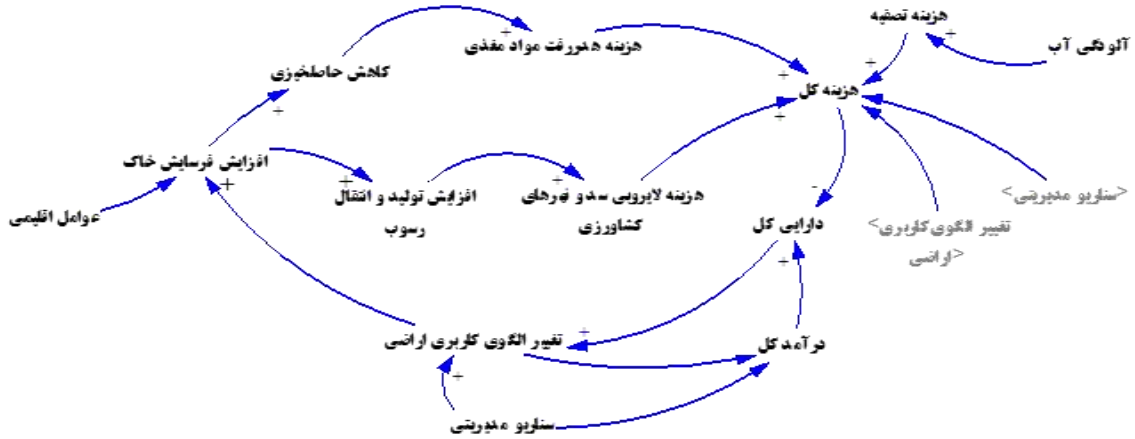
شکل ۴- توالی و اجزای حلقه بازخوردی جمعیت-بیان آب
Figure 4. The sequence and components of the population-water balance loop



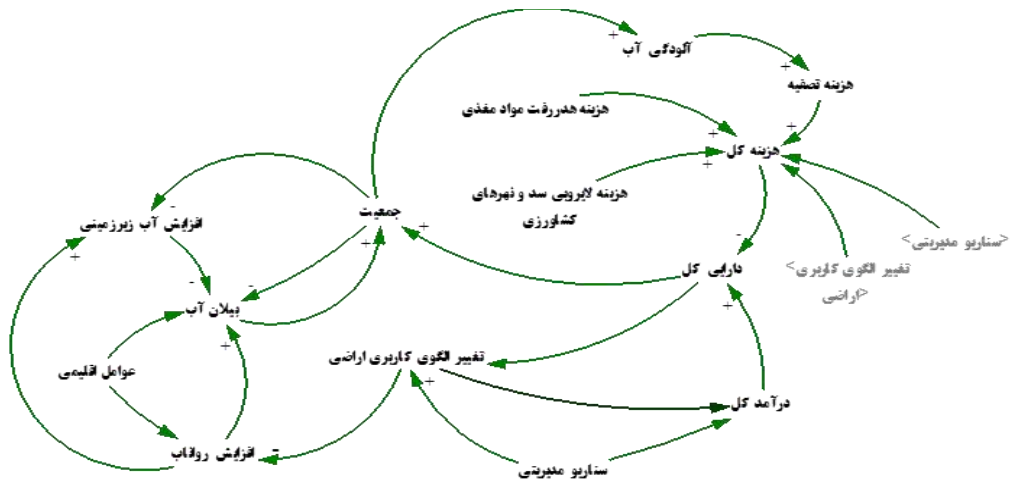
شکل ۳- توالی و اجزای حلقه بازخوردی اقتصاد-جمعیت
Figure 3. The sequence and components of the economic-population loop



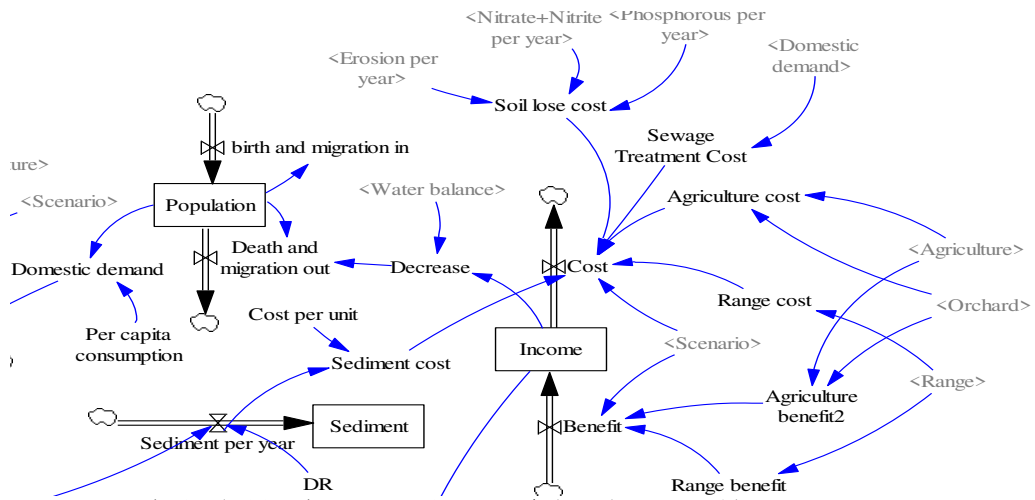
شکل ۵- توالی و اجزای حلقه اقتصاد- کمیت و کیفیت آب
Figure 5. The sequence and components of the economic - quantity and quality of water loop



شکل ۶- توالی و اجزای حلقه اقتصاد- فرسایش و رسوب
Figure 6. The sequence and components of the economic erosion and sedimentation loop



شکل ۷- توالی و اجزای حلقه بازخوردی اقتصاد- بیلان آب
Figure 7. The sequence and components of the economic - water balance loop



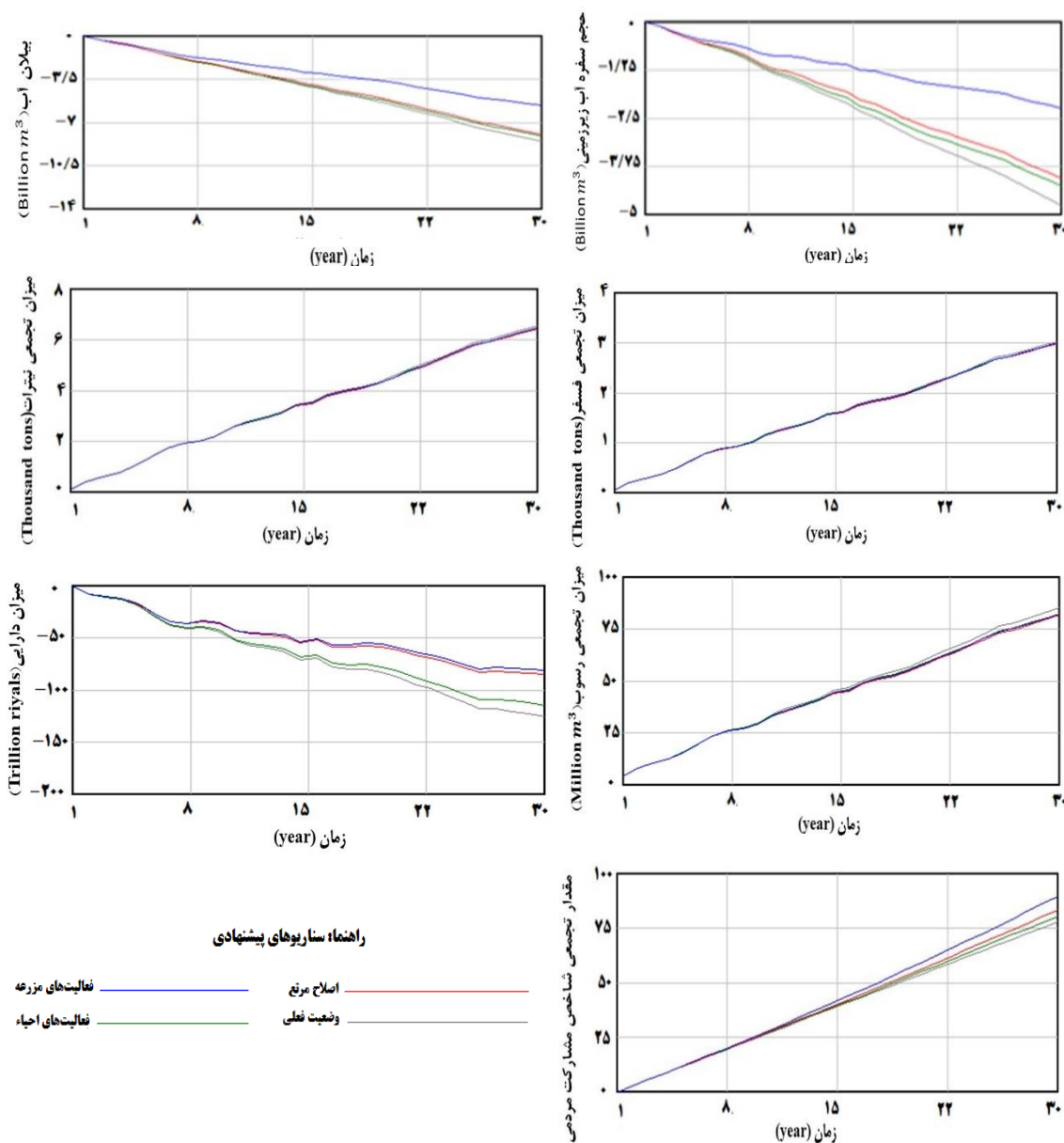
شکل ۸- بخشی از نمودار ذخیره - جریان ترسیم شده (زیرسامانه اقتصادی)
Figure 8. Part of the stocks and flows diagram (Economic Subsystem)

جدول ۱- قواعد ایجاد سناریوهای مدیریت پوشش گیاهی، مدیریت آب و تغییر اقلیم حوضه جبله رود (اقتباس از ۹، ۳ و ۱۸)
Table 1. Principle for creating covert management scenarios, water management and climate change in Hableh-Rud River Basin

ردیف	عنوان سناریو	عنوان فعالیت	شرایط اجرا
۱	اصلاح منابع	بذرکاری و اعمال روش‌های چرای چرخشی	مراعات با بارندگی بیش از ۳۵۰ میلی‌متر، پوشش گیاهی فقیر و خیلی فقیر، با خاک عاری از سنگ و نیمه عمیق تا عمیق با بافت متوسط، شیب صفر تا ۱۰ درصد
۲		بذرپاشی همراه با اعمال روش‌های چرای چرخشی	مراعات با بارندگی بیش از ۳۵۰ میلی‌متر، با خاک متوسط و عمیق، پوشش گیاهی فقیر و خیلی فقیر، شیب ۱۰ تا ۲۰ درصد
۳		کپه کاری همراه با روش‌های چرای چرخشی	مراعات با بارندگی بالای ۳۵۰ میلی‌متر، خاک ضعیف و کم عمق، سنگلاخی، پوشش گیاهی فقیر و خیلی فقیر، شیب ۲۰ تا ۳۰ درصد
۴		قرق	مراعات با بارندگی بالای ۲۰۰ میلی‌متر، دارای صخره سنگی و برون زدگی سنگی، ضعیف تا متوسط، شیب بالای ۶۵ درصد
۵		ایجاد کنتور فارو همراه با کشت گیاهان مرتعی	مراعات با بارندگی ۳۰۰ تا ۳۵۰ میلی‌متر، پوشش گیاهی فقیر و خیلی فقیر، با خاک عاری از سنگ و نیمه عمیق تا عمیق با بافت متوسط، شیب صفر تا ۱۰ درصد
۶	جنگل	بهبود جوامع کنار رودخانه‌ای	فقط در نواحی کنار رودخانه‌ای که مستعد (بارندگی بیش از ۲۵۰ میلی‌متر) باشند
۷		درختکاری	کشت درختان بومی مناطق با سابقه جنگلی و جنگلی کم تراکم با شیب صفر تا ۴۵ درصد، بارش بیش از ۴۰۰ میلی‌متر، خاک عمیق - نیمه عمیق و ارتفاع تا ۲۶۰۰ متر
۸		تاغ کاری	مناطق با سابقه تاغ زار و بایر، خاک عمیق - نیمه عمیق، شیب صفر تا ۴۵ درصد، با بارش کم‌تر از ۱۲۰ میلی‌متر
۹	مدیریت مرتع	تراس‌بندی	مناطق زارعی، شیب ۱۰ تا ۳۰ درصد، خاک عمیق، بارش بالای ۲۵۰ میلی‌متر، ارتفاع زیر ۳۰۰۰ متر و مناطق خطر فرسایش
۱۰		اگروفارستری	مناطق زارعی، شیب ۱۰ تا ۳۰ درصد، بارش بیش از ۲۵۰ میلی‌متر، خاک نیمه عمیق
۱۱		احداث باغ	مناطق زارعی، شیب بیش‌تر از ۴۵ درصد، خاک عمیق و نیمه عمیق، بارش بیش از ۲۵۰ میلی‌متر، ارتفاع بدون محدودیت
۱۲		علوفه کاری روی خطوط تراز	مناطق زارعی، شیب بیش‌تر از ۴۵ درصد، خاک عمیق و نیمه عمیق، بارش بیش از ۲۵۰ میلی‌متر، ارتفاع بدون محدودیت
۱	مدیریت آب و خاک	وضعیت موجود	فرض شود که هیچ گونه تغییری در وضعیت موجود اعمال نشود.
۲		مدیریت الگوی کشت کشاورزی	فرض شود، الگوی کشت کشاورزی به الگوی کشت ایده آل براساس مدل آمایش سرزمین تدوین شده تغییر نماید.
۳		مدیریت نامناسب آب کشاورزی	فرض شود، کارایی آب کشاورزی ۲۰ درصد کاهش یابد.
۴		مدیریت کارایی آب کشاورزی	فرض شود، کارایی آب کشاورزی ۲۰ درصد بهبود یابد.
۵		تغییرات اقلیمی	فرض شود، کاهش ۱۰ درصدی در بارش و افزایش ۱ درجه‌ای در دما اتفاق افتد.
۶		پرداخت ۲۵ درصد از درآمد خدمات زیست‌بومی برای ذینفعان	به منظور ایجاد انگیزه برای مدیریت بهتر مراتع، ۲۵ درصد از خدمات زیست‌بومی به ذینفعان پرداخت شود.
۷		پرداخت ۵۰ درصد از درآمد خدمات زیست‌بومی برای ذینفعان	به منظور ایجاد انگیزه برای مدیریت بهتر مراتع، ۵۰ درصد از خدمات زیست‌بومی به ذینفعان پرداخت شود.

جدول ۲- مقادیر معیارهای ضریب تبیین و ناش- ساتکلیف برای متغیرهای بررسی شده در حوضه رودخانه حبله رود
Table 2. Values of Coefficient of determination and Nash-Sutcliffe Factors for Variables Investigated in Hableh-Rud River Basin

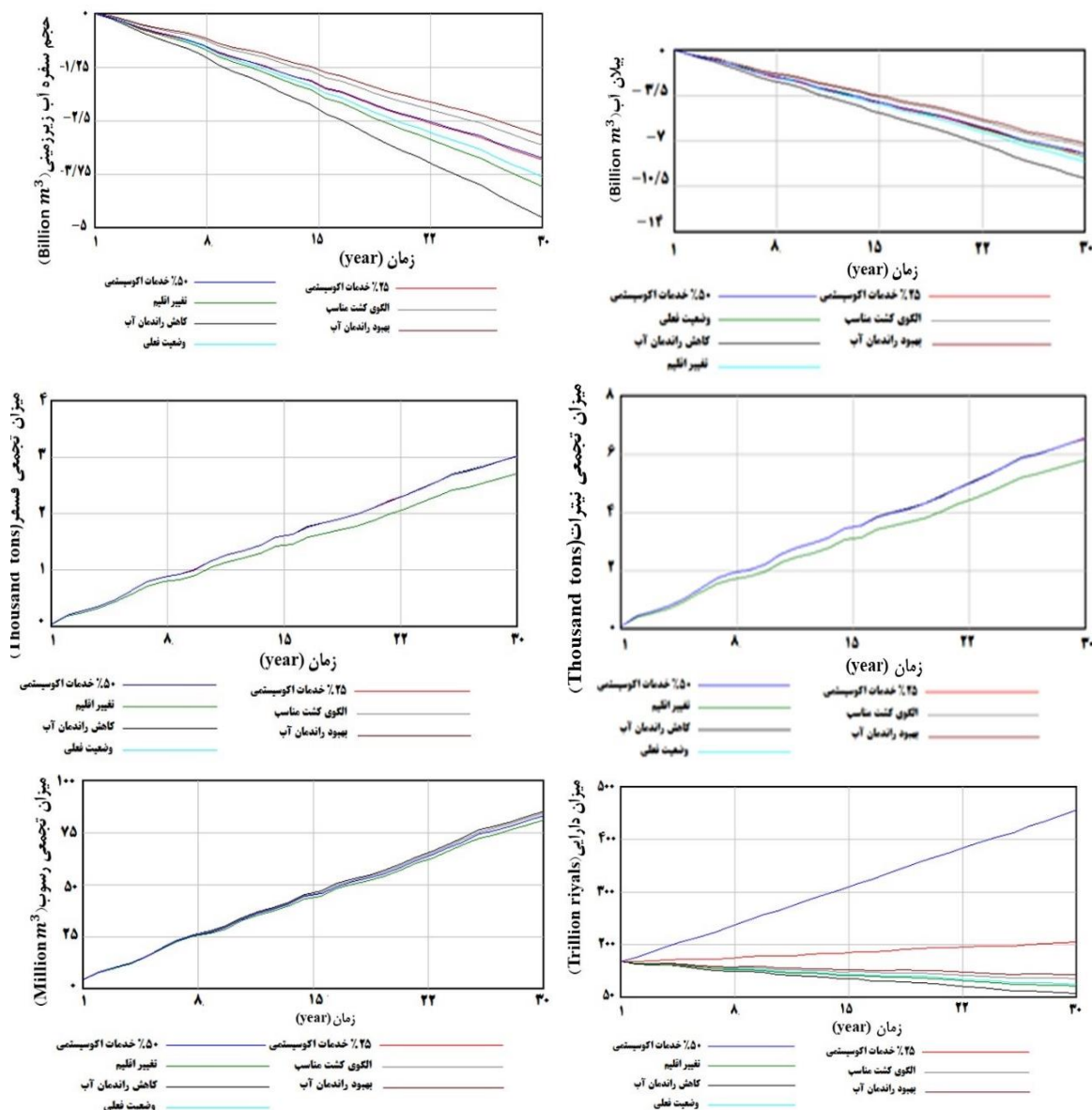
معیار	متغیر	دبی	نیترات + نیتريت	فسفر	رسوب	آب زیرزمینی
ضریب تبیین (R^2)		۰/۶۸	۰/۶۳	۰/۷	۰/۷	۰/۸۹
ناش - ساتکلیف		۰/۶۷	۰/۶۲	۰/۶۲	۰/۷۹	۰/۸۶



شکل ۹- اثر سناریوهای مدیریت پوشش گیاهی بر وضعیت فیزیکی، اقتصادی و اجتماعی حوضه حبله رود
Figure 9. Effect of vegetation-based management scenarios on the Physical, Economic, and Social Conditions of the Hableh-Rud River Basin

جدول ۳- وضعیت رتبه‌بندی سناریوهای مدیریت پوشش گیاهی بر اساس پارامترهای مورد بررسی در حوضه حبله رود
Table 3. Status of the ranking of vegetation-based management scenarios based on the parameters studied in the Hableh-Rud River Basin

نام سناریو	رتبه سناریو						
	بیان آب	آب زیرزمینی	نیترات و نیتريت	فسفر	دارایی (خسارت)	رسوب	مشارکت مردمی
وضعیت موجود	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴
اصلاح مراتع	۲	۲	۱	۱	۲	۱	۲
فعالیت مزرعه	۱	۱	۳	۳	۱	۳	۱
سناریوهای احیاء	۳	۳	۲	۲	۳	۲	۳



شکل ۱۰- اثر سناریوهای پیشنهادی بر وضعیت بیان آب و حجم سفره آب زیرزمینی، کیفیت آب (فسفر، نیترات)، رسوب و اقتصادی حوضه رودخانه حبله رود

Figure 10. Effect of proposed scenarios on water balance and volume of groundwater table, water quality (phosphorus, nitrate), sediment and economics of the Hableh-Rud River Basin

زیرزمینی خواهند داشت. یعنی بیش‌ترین هدررفت را کاربری کشاورزی در حوضه رودخانه حبله رود دارد. گوهری و همکاران (۹) نیز در تحقیق خود در ارتباط با مدیریت منابع آب حوضه آبخیز زاینده رود نیز به این نکته دست یافتند که با

با بررسی متغیرهای آب زیرزمینی و بیان آب نتیجه گیری می‌شود که اگر سناریوهای مدیریت کارایی آب کشاورزی (به‌صورت مکانیزه) و تغییر الگوی کشت مناسب اجرا شوند، بیش‌ترین تأثیر را روی بهبود منابع آب سطحی و

پس سناریوهای پیشنهادی بر روی اصلاح این کاربری نیز بااهمیت هستند. یه و همکاران (۲۷) و سلیمانی و همکاران (۲۱) در تحقیقات خود به نقش پررنگ مدیریت الگوی کشت بر کاهش میزان فرسایش و رسوب اشاره نمودند. با مکانیزه کردن آبیاری، می‌توان به کاهش فرسایش و رسوب و به تبع آن حفظ حاصلخیزی خاک کمک نمود.

مدیریت تقاضای آب کشاورزی می‌توان به مدیریت پایدار در حوضه آبخیز دست یافت. با اجرای فعالیت‌های اصلاح مرتع، پرداخت خدمات زیست‌بومی مرتع به ذینفعان و مدیریت الگوی کشت بیش‌ترین کاهش در فرسایش و رسوب و هدررفت نیترات، نیتريت و فسفر مشاهده خواهد شد. بیش‌ترین مساحت حوضه حبله رود را مرتع پوشانده است،

جدول ۴- وضعیت تغییر سناریوهای مدیریت منابع آب، تغییر الگوی کشت و تغییر اقلیم بر اساس پارامترهای ارزیابی حوضه حبله رود
Table 4. Status of the proposed scenarios for water resources management, changing the pattern of cultivation and climate change based on the Parameters evaluated of the Hableh-Rud River Basin

نام سناریو	بیان آب (میلیارد مترمکعب) Billion m ³	آب زیرزمینی (میلیارد مترمکعب) Billion m ³	نیترات و نیتريت تجمعی (هزار تن) Thousand tons	فسفر تجمعی (هزار تن) Thousand tons	دارایی (هزار میلیارد ریال) Trillion Rials	فرسایش تجمعی (میلیون متر مکعب) Million m ³	رسوب تجمعی (میلیون متر مکعب) Million m ³
وضعیت موجود	-۹/۲۱	-۳/۸۲	۶/۵۱	۳/۱۳	۱۲۵/۸۱	۱۳۳/۸۷	۸۵/۳۱
مدیریت الگوی کشت کشاورزی	-۷/۶	-۳/۱۴	۶/۲۸	۳/۰۳	۱۳۷/۶۷	۱۲۷/۳۲	۸۰/۳۲
مدیریت نامناسب آب کشاورزی	-۱۰/۱۵	-۴/۱۶	۶/۵۳	۳/۱۳	۷۰/۶	۱۳۴/۶	۸۵/۵۴
مدیریت کارایی آب کشاورزی	-۷/۲۸	-۲/۸۹	۶/۴۷	۳/۱۱	۱۸۰/۱۲	۱۲۸/۷۱	۸۰/۶۸
تغییرات اقلیمی	-۹/۶۹	-۳/۹۵	۴/۴۸	۲/۸	۹۳/۵	۱۳۱/۴۹	۸۱/۰۵
پرداخت ۲۵ درصد درآمد خدمات بیوسیستمی	-۸/۴۳	-۳/۶۴	۶/۴	۳/۱	۲۱۵/۷۵	۱۳۲/۴۳	۸۲/۹۶
پرداخت ۵۰ درصد درآمد خدمات بیوسیستمی	-۸/۳۷	-۳/۵	۶/۳۴	۳/۰۴	۴۶۶/۴۱	۱۳۰/۲۶	۸۰/۷۳

همکاران (۶)، بلوملی (۴) و رویمالن و همکاران (۱۵) در تحقیقات خود این عوامل را به‌عنوان عوامل مؤثر در مشارکت مردمی معرفی کردند. با توسعه مدل پویایی سامانه‌ای بر پایه زیرسامانه‌های چندمعیاره، می‌توان به مدیریت پایدار منابع آب و خاک حوضه رودخانه حبله‌رود نزدیک‌تر شد. مدل تهیه‌شده در این تحقیق می‌تواند برای افزایش ادراک ذینفعان از روابط علی و معلولی و بازخوردهای سامانه مفید باشد. همچنین این مدل، امکان پیش‌بینی نتایج سناریوهای مختلف را برای مدیران و تصمیم‌گیران در طی زمان فراهم می‌کند.

نتایج بخش اقتصادی نشان داد که سناریوهای پرداخت خدمات زیست‌بومی مرتع به ذینفعان، مدیریت کارایی آب کشاورزی و تغییر الگوی کشت مناسب بالاترین کارایی را در اقتصاد ذینفعان خواهند داشت و می‌توانند هم‌چنین بیش‌ترین انگیزه اقتصادی را در ذینفعان برای اجرای این فعالیت‌ها داشته باشند. در تحقیق گوهری و همکاران (۹)، نیز مدیریت کارایی آب کشاورزی و تغییر الگوی کشت بااهمیت بوده‌اند. از نظر اجتماعی، هر فعالیتی (ازجمله آگروفارستری، احداث باغ و ترانس‌بندی) که به‌طور مستقیم بر اقتصاد ذینفعان تأثیرگذار باشد، طبیعتاً بیش‌ترین پذیرش مردمی را خواهد داشت. چن و

منابع

- Barati, A.K., H. Azadi and J. Scheffran. 2019. A system dynamics model of smart groundwater governance. *Agricultural Water Management*, 221: 502-518.
- Baron, J.S., N.L. Poff, P.L. Angermeier, C.N. Dahm, P.H. Gleick, R.B. Jackson, C.A. Johnston, B.D. Richter and A.D. Steinman. 2002. Meeting ecological and social needs for fresh water. *Applied Ecology*, 12(5): 1260-1274.
- Bastin, G., P. Thomas, P. Novelty, M. Fleming and C. Baulderstone. 2008. ACRIS landscape function update 2006-2010 Updated information to that provided in rangelands 2008 – Taking the pulse. Published on behalf of the ACRIS Management Committee by the National Land and Water Resources Audit, Canberra. <http://www.environment.gov.au/land/rangelands/acris/index.html>
- Blomley, T. 2006. Mainstreaming participatory forestry within the local government reform process in Tanzania. International institute for Environmental and Development. Gatekeeper series, 26 p.
- Brooks, K.N. and M. Tayaa. 2002. Planning and managing soil and water resources in dry lands: role of watershed management. IALC Conference published in the Arid Lands Newsletter. International Arid Lands Consortium, 18 p.

6. Chen, Y., D. Zhang, Y. Sun, X. Liu, N. Wang and H.G. Savenije. 2005. Water demand management: A case study of the Heihe River Basin in China. *Physics and Chemistry of the Earth*, 30: 408-419.
7. Elmahdi, A., H. Malano and T. Etchells. 2007. Using system dynamics to model water -reallocation. *Environmentalist*, 27: 3-12.
8. Gastelum, J.R., G. Krishnamurthy, N. Ochoa, S. Sibbett, M. Armstrong and P. Kalaria. 2018. The Use of System Dynamics Model to Enhance Integrated Resources Planning Implementation. *Water Resources Management*, 32: 2247-2260.
9. Gohari, A., S. Eslamian, A. Mirchi, J. Abedi-Koupaei, A. Massah Bavani and K. Madani. 2013. Water transfer as a solution to water shortage: A fix that can backfire. *Journal of Hydrology*, 491: 23-39.
10. Hassanzadeh, E., M. Zarghami and Y. Hassanzadeh. 2012. Determining the main factors in declining the Urmia lake level by using system dynamics modeling. *Water Resource Management*, 26:129-145.
11. Karimi Sangchini, E., M. Ownegh and A. Sadoddin. 2016. Landslide Hazard Management for Two Normal and Critical Scenarios in the Chehel - Chay Watershed. Golestan Province. *Journal of Wound Management and Research*, 7(13): 181-173.
12. Mahini, A.R. 2013. Capability evaluation and land use planning of integrated watershed management in Hablerud River Basin. Pooneh publication, Tehran, 368 pp (In persian).
13. McCuen, R., Z. Knight and A. Cutter. 2006. Evaluation of the Nash–Sutcliffe Efficiency Index. *Journal of Hydrologic Engineering*, 10.1061/(ASCE)1084-0699(2006)11:6(597): 597-602.
14. Papachristos, G. 2019. System dynamics modelling and simulation for sociotechnical transitions research. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 31: 248-261.
15. Ruiz-Malle'n, I., E. Corbera, D. Calvo-Boyero and V. Reyes-García. 2015. Participatory scenarios to explore local adaptation to global change in biosphere reserves: Experiences from Bolivia and Mexico. *Environmental Science and Policy*, 54: 398-408.
16. Sabbaghi, M., A. Shahnazari and A.N. Ziaei. 2018. Simulation and operation evaluation of Shahid Yaghoobi dam by using system dynamic. *Journal of Watershed Management Research*, 8(16):188-199.
17. Sadoddin, A., E. Alvandi, and V.B. Sheikh. 2015. Developing a Decision Support System for Participatory and Integrated Management of the Chel-Chai Watershed, Golestan Province. *Journal of Watershed Management Research*, 6(11): 124-136.
18. Sadoddin, A., R.A. Letcher, A.J. Jakeman and L.T.H. Newhamb. 2005. A Bayesian decision network approach for assessing the ecological impacts of salinity management. *Journal of Mathematics and Computers in Simulation*, 69: 162-176.
19. Sharawat, I., R. Dahiya, R.P. Dahiya, T.R. Sreekrishnan and S. Kumari. 2019. Policy options for managing the water resources in rapidly expanding cities: a system dynamics approach Sustain. *Water Resource Management*, 5(3): 1201-1215.
20. Simonovic, S.P. and S. Ahmad. 2000. System dynamics modeling of reservoir operation for flood management. *Journal of computing in Civil Engineering*, 14(3): 190-199.
21. Solaimani, K., S. Modallaldoust and S. Lotfi. 2009. Investigation of land use changes on soil erosion process using geographical information system. *International Journal of Environmental Science Technology*, 6(3): 415-424.
22. Sterman, J. 2000. *Business dynamics: systems thinking for a complex world*. Irwin/McGraw-Hill, 1008 pp.
23. Stojkovic, M. and S.P. Simonovic. 2019. System Dynamics Approach for Assessing the Behaviour of the Lim Reservoir System (Serbia) under Changing Climate Conditions. *Water*, 11, 1620; doi:10.3390/w11081620.
24. Sun, Y., N. Liu, J. Shang and J. Zhang. 2016. Sustainable utilization of water resources in China: A system dynamics model. *Journal of Cleaner Production*, 142. 10.1016/j.jclepro.2016.07.110.
25. Tseng, C.H., I.H. Lee and Y.C. Chen. 2019. Evaluation of hexavalent chromium concentration in water and its health risk with a system dynamics model. *Science of the Total Environment*, 669: 103-111.
26. Weng, S.Q., G.H. Huang and Y.P. Li. 2010. An integrated scenario-based multi-criteria decision support system for water resources management and planning – A case study in the Haihe River Basin. *Expert Systems with Applications*, 37: 8242-8254.
27. Yeh, S.C., C.A. Wang and H.C. Yu. 2006. Simulation of soil erosion and nutrient impact using an integrated system dynamics model in a watershed in Taiwan. *Environmental Modeling and Software*, 21: 937-948.
28. Youa, Y.Y., W.B. Jin, Q.X. Xiong, L. Xu, T.C. Ai and B.L. Li. 2012. Simulation and validation of on-point source nitrogen and phosphorus loads under different land uses in Sihou Basin, Hubei Province. China. The 18th Biennial Conference of International Society for Ecological Modelling *Procedia Environmental Sciences*, 13: 1781.
29. Zare, F., E. Sondoss, A. Bagheri, E. Nabavi and A.J. Jakeman. 2019. Improved integrated water resource modelling by combining DPSIR and system dynamics conceptual modelling techniques. *Journal of Environmental Management*, 246: 27-41.

Developing a Model for the Integrated Management of Water and Soil Resources in the Hableh-Rud River Basin Using the System Dynamics Approach

Ebrahim Karimi Sangchini¹, Majid Ownegh², Amir Sadoddin², Mahdi Zarghami³ and Iraj Vayskarami⁴

1- Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Lorestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Khorramabad, Iran,
(Corresponding Author: E.karimi64@gmail.com)

2- Professor and Associate Professor of Watershed Management Department, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

3- Professor of Faculty of Civil Engineering and Institute of Environment, University of Tabriz

4- Research Assistant of Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Lorestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Khorramabad, Iran.

Received: 22 July, 2019

Accepted: 15 February, 2020

Abstract

In this research, System Dynamics (SD) modeling was developed for facilitates the integrated and sustainable management of water and soil resources and improving the understanding of watershed systems in the Hableh-Rud River Basin. Reference diagrams were created to represent causal relationships and feedbacks. The conceptual model, included physical, economic, and social sub-systems, was created based by causal relationships and feedbacks. The model of stocks and flows run in the Vensim software environment. The model is comprised of Model verification was carried out through extreme condition tests and behavior reproduction test. Having the Nash-Sutcliffe and R^2 coefficients with greater values than 0.62 and 0.63, respectively, the SD model satisfactorily simulates all variables. Different scenarios of vegetation management, climate, water resources management, and cropping patterns were compared to the outputs of the existing condition. The results of scenario analyses for a 30-year period show that the agricultural water use efficiency scenario, as the best scenario, increases groundwater and water infiltration volume by 14.3 and 11.1 percent, respectively. With regard to the erosion and sedimentation variables, rangeland restoration activities were chosen as the best scenario, with 7.12 and 5.24 percent reduction. The greatest reduction in nitrogen and phosphorous loss, 8% and 6.4% reduction could be achieved by implementing the rangeland restoration scenario. From an economic perspective, payment for 50% of the ecosystem services, with about 46 percent improvement compared to the current condition, was determined as the best scenario. Stakeholders expressed their highest willingness to participate in the farm management activities with the accumulated score of 85.6 for public acceptance index. The SD model is a beneficial approach for stakeholders understanding of the causal relationships and feedbacks in the system.

Key words: Conceptual model, Cause–effect diagram, Feedback loops, Suggested scenarios, Vensim



"مقاله پژوهشی"

شبیه‌سازی پتانسیل آب‌های زیرزمینی حوزه کهورستان با بهره‌گیری از رویکرد ترکیبی مدل‌های داده‌کاوی

علیرضا نفرزادگان^۱، علی‌اکبر محمدی‌فر^۲، فریبرز محمدی^۳ و محمد کاظمی^۴

۱- استادیار گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، (نویسنده مسوول: a.r.nafarzadegan@gmail.com)

۲- دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان

۳- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، مجتمع آموزش عالی میناب، دانشگاه هرمزگان

۴- استادیار مرکز مطالعات و تحقیقات هرمز، دانشگاه هرمزگان

تاریخ دریافت: ۹۸/۵/۳ تاریخ پذیرش: ۹۹/۲/۴

صفحه: ۱۳۰ تا ۱۴۳

چکیده

آب زیرزمینی به‌عنوان یکی از منابع قابل توجه برای آب شیرین در نظر گرفته می‌شود. هدف از این پژوهش، به کار بردن چهار مدل یادگیری ماشین شامل جنگل تصادفی، ماشین بردار پشتیبان، Bioclim و Domain به منظور تهیه نقشه پتانسیل آب زیرزمینی در حوزه آبخیز کهورستان استان هرمزگان است. نوآوری این پژوهش استفاده از الگوریتم‌های Bioclim و Domain به‌منظور شبیه‌سازی پتانسیل آب زیرزمینی و مقایسه آن با دو تکنیک جنگل تصادفی و ماشین بردار پشتیبان و همچنین ترکیب این چهار مدل بر اساس یک رابطه ابتکاری و جدید می‌باشد. برای این منظور، ۱۱ معیار شامل درصد شیب، جهت شیب، انحنای سطح، انحنای مقطع، شاخص پوشش گیاهی تعدیل شده بر حسب خاک (SAVI)، شاخص اصلاح‌شده نرمال تفاضل آب (MNDWI)، فاکتور طول و تندی شیب (LS)، شاخص قدرت جریان (SPI)، شاخص رطوبت توپوگرافیک (TWI)، کاربری اراضی و فاصله از آبراهه‌ها در نظر گرفته شد. همچنین از داده‌های ۱۱۳ چاه که دارای دبی پمپاژ بالا بودند برای فرآیندهای شبیه‌سازی (۷۰ درصد) و اعتبارسنجی (۳۰ درصد) استفاده شد. قبل از مدل‌سازی آزمون هم‌خطی بر روی معیارها انجام شد و مشاهده گردید هیچ‌نوع هم‌خطی بین متغیرها وجود ندارد. ارزیابی کارایی مدل‌سازی با منحنی ROC نشان داد که هر چهار روش استفاده شده دارای دقت خیلی خوب و AUC بالای ۹۰ درصد جهت پیش‌بینی می‌باشند. بررسی وزن معیارها بر اساس روش جنگل تصادفی نشان داد که معیار کاربری و پوشش اراضی و فاصله از آبراهه دارای بالاترین وزن می‌باشند. در ادامه نتایج چهار روش با یک رابطه پیشنهادی ترکیب گردید. نقشه نهایی نشان داد که ۲۱/۴ درصد از منطقه مورد مطالعه دارای پتانسیل خوب از نظر آب زیرزمینی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آنالیز مکانی، الگوریتم Bioclim، الگوریتم Domain، جنگل تصادفی، ماشین بردار پشتیبان

مقدمه

با توان آبخوان‌ها یکی از شیوه‌های حل چالش ناشی از کمبود منابع آب به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک است. از این نظر ارائه روش‌هایی به‌منظور مدیریت آب‌های زیرزمینی در مقیاس‌های ملی، منطقه‌ای و محلی (۱۷) و همچنین تهیه نقشه پتانسیل آب‌های زیرزمینی ضروری می‌باشد و می‌تواند به عنوان اقدامات اولیه در زمینه مدیریت منابع آب‌های زیرزمینی در نظر گرفته شود. سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، در مقایسه با روش‌های سنتی در زمینه ارزیابی پتانسیل آب‌های زیرزمینی که بسیار وقت‌گیر، کم‌دقت و پرهزینه هستند، دارای کارایی بالایی بوده و باعث افزایش دقت و سرعت پژوهش‌ها در زمینه ارزیابی آب‌های زیرزمینی شده‌اند (۱۱).

به‌منظور تعیین پتانسیل آب‌های زیرزمینی پارامترهای زمین‌محیطی متعددی نقش حیاتی بازی می‌کنند که شامل فاکتورهای اقلیمی (بارندگی)، فاکتورهای توپوگرافیک (ارتفاع، شیب، جهت شیب، شکل شیب و انحنای توپوگرافیک)، فاکتورهای هیدرولوژیک (شاخص خیزی توپوگرافی، شاخص قدرت حمل رسوب، فاصله از آبراهه و تراکم آبراهه، فاکتورهای زمین‌شناسی (سنگ‌شناسی و فاصله از گسل) و فاکتورهای اکولوژیک (کاربری اراضی، شاخص نرمال شده تفاضل پوشش گیاهی، فاصله از جاده، عمق خاک، نفوذپذیری، بافت خاک و نوع خاک) می‌باشند (۳۳، ۳۲).

افزایش جمعیت و روند رو به رشد صنعتی، نیاز آبی در زمینه‌های مختلف را افزایش داده است. بنابراین امروزه منابع آب زیرزمینی از ارزش‌ترین منابع جهت تامین آب به شمار می‌روند (۹). امروزه برداشت از آب‌های زیرزمینی بسیار بیشتر از میزان تغذیه طبیعی آن‌ها می‌باشد و اگر میزان آب در دسترس کمتر از تقاضای آب در یک حوزه آبخیز باشد، آن‌گاه بحران آبی اتفاق می‌افتد. لذا این واقعیت می‌تواند مبین این موضوع باشد که وضع سفره‌های آب‌های زیرزمینی در بسیاری از مناطق کشور، بحرانی است (۲۶). آب‌های زیرزمینی در کشور به عنوان یکی از منابع مهم تامین آب مورد نیاز در بخش‌های کشاورزی، شرب و صنعت، اهمیت زیادی دارند. آب زیرزمینی از یک سو به دلیل شیرین‌بودن، ترکیبات ثابت شیمیایی، دمای ثابت، ضریب آلودگی کمتر و سطح اطمینان بیشتر یک منبع قابل اتکا به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود و از سوی دیگر با تأثیر بر توان اکولوژیک سرزمین پدیده‌ای مهم و مؤثر در توسعه اقتصادی، تنوع اکولوژیکی و سلامت جامعه به حساب می‌آید (۱۴).

آبخوان‌ها به دلیل افت تراز آبی، کاهش کیفیت، تأثیرپذیری از تغییرات اقلیمی ناشی از گرمایش جهانی و تغییر نظام بارش (۳۴) و رخداد خشکسالی‌های ممتد و متوالی (۳۰) از چالش‌های مهم توسعه هستند. بنابراین احیا و بهره‌برداری بهینه‌ی متناسب

از مدل‌های جنگل تصادفی، ماشین بردار پشتیبان، Bioclim و Domain می‌باشد. نوآوری این پژوهش نسبت به پژوهش‌های صورت‌گرفته در این زمینه استفاده از ترکیب چهار روش یادگیری ماشین در زمینه ارزیابی پتانسیل منابع آب زیرزمینی می‌باشد. همچنین طبق بررسی منابع صورت گرفته دو الگوریتم Bioclim و Domain تاکنون جهت ارزیابی پتانسیل منابع آب زیرزمینی مورد استفاده قرار نگرفته است. بررسی هم‌خطی عوامل استفاده شده نیز از دیگر نوآوری‌های پژوهش پیش‌رو می‌باشد.

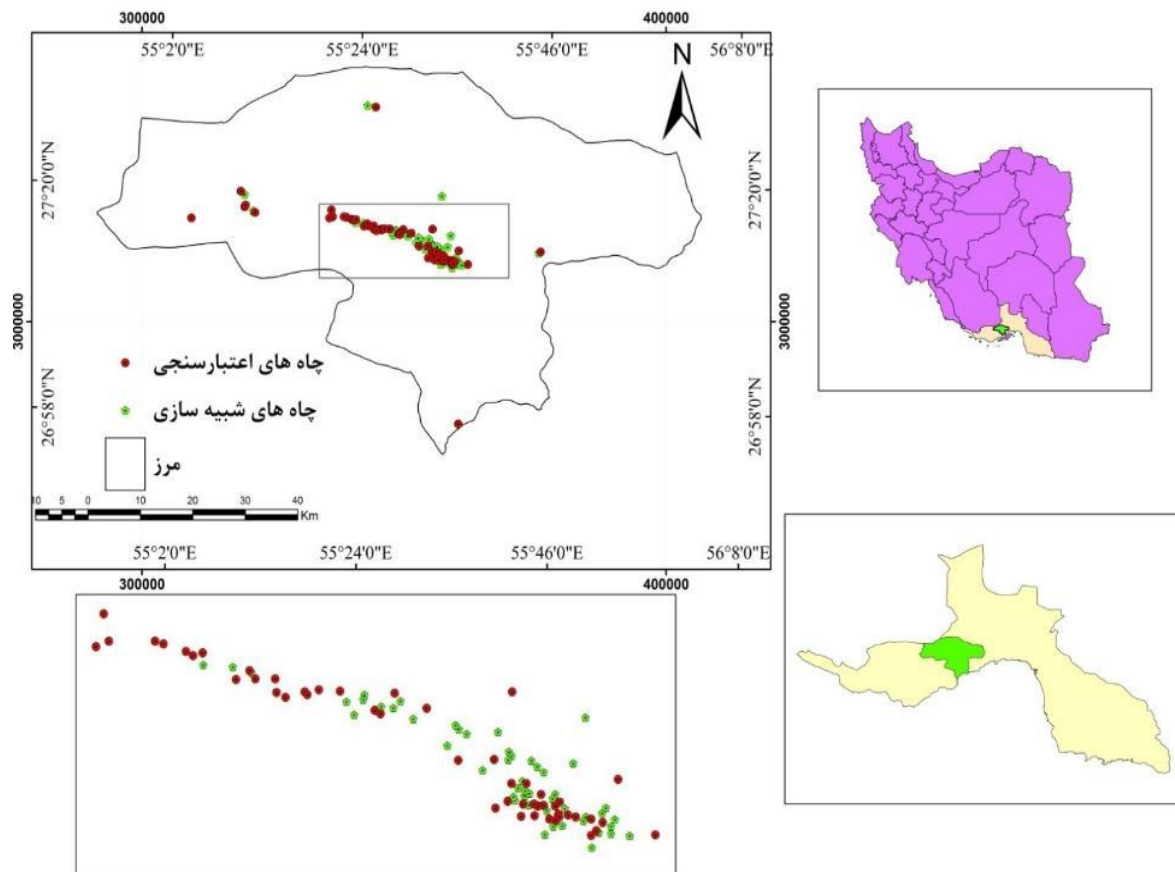
مواد و روش‌ها منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز کهورستان در استان هرمزگان و در ۷۷ کیلومتری غرب شهر بندرعباس واقع شده است. این حوزه از نظر تقسیمات کشوری، بخشی از دهستان کهورستان از بخش مرکزی شهرستان خمیر می‌باشد. مساحت این حوزه ۳۹۳۰۷۵ هکتار می‌باشد. حوضه کهورستان بخشی از زیرحوضه اصلی رود کل می‌باشد که در نهایت جزو حوزه اصلی خلیج فارس و دریای عمان می‌باشد. ارتفاع این منطقه از ۱۵- تا ۲۶۴۳ متر متغیر می‌باشد. بارش متوسط منطقه مورد مطالعه با توجه به آمار ۲۷ساله (۹۶-۶۹) ایستگاه کهورستان که تنها ایستگاه باران‌سنجی در داخل حوزه می‌باشد، ۱۵۷/۵ میلی‌متر در سال و حجم سالانه آب کشاورزی قابل برنامه‌ریزی برای محدوده مطالعاتی کهورستان ۱۴/۸۸ میلیون مترمکعب برآورد گردیده است (۲۹).

اطلاعات مربوط به چاه‌های آب زیرزمینی از سازمان آب منطقه‌ای استان هرمزگان و اداره کشاورزی و منابع طبیعی استان هرمزگان تهیه گردید. بر اساس پژوهش‌های پیشین تنها چاه‌های آب زیرزمینی با پتانسیل آبدی بالا (بیش از ۸ لیتر در ثانیه) در مدل‌سازی مورد استفاده قرار گرفت (۲۰ و ۲۵). داده‌های مورد استفاده (۱۱۳ موقعیت چاه) به‌طور تصادفی به دو گروه شبیه‌سازی (۷۹ موقعیت چاه) و اعتبارسنجی (۳۴ موقعیت چاه) تقسیم‌بندی گردید. در شکل ۱ موقعیت چاه‌های شبیه‌سازی و اعتبارسنجی در حوزه آبخیز کهورستان نشان داده شده است.

تاکنون روش‌های مختلفی در زمینه تهیه نقشه پتانسیل آب‌های زیرزمینی توسط پژوهشگران مختلف استفاده شده است که می‌توان به روش‌های نسبت فراوانی (۲۸)، تصمیم‌گیری چندمعیاره (فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی و تحلیل شبکه) (۳۱، ۱۵ و ۱)، شبکه عصبی مصنوعی (۱۶)، وزن واقعه و رگرسیون لجستیک (۲۴)، جنگل تصادفی و آنتروپی بیشینه (۲۵)، تابع شواهد قطعی (۲۰) و شاخص همپوشانی وزنی (۱۲) اشاره نمود. نقیبه و همکاران (۱۹) به‌منظور تهیه نقشه پتانسیل آب‌های زیرزمینی در حوزه آبخیز مغان در خراسان رضوی از روش‌های نسبت فراوانی و آنتروپی شانون استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که مدل آنتروپی شانون با سطح زیرمنحنی برابر با ۹۱/۲۱ درصد دارای توانایی بالایی در شناسایی مناطق دارای پتانسیل آب‌های زیرزمینی می‌باشد. رزندی و همکاران (۲۷) پتانسیل منابع آب زیرزمینی دشت ورامین را با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی و قابلیت‌های سامانه اطلاعات جغرافیایی ارزیابی نمودند. نتایج نشان داد پهنه با پتانسیل بالا، بیشتر منطق بر رسوبات آبرفتی درشت‌دانه دوران کواترن است. پورقاسمی و بهشتی‌راد (۲۳) به ارزیابی روش داده‌محور شواهد وزن قطعی به‌منظور تهیه نقشه پتانسیل آب زیرزمینی در حوزه کوهرنگ با استفاده از پارامترهای ارتفاع، شیب، جهت شیب، طول شیب، شاخص خیسی توپوگرافی، انحناى سطح، کاربری اراضی، فاصله از آبراهه، تراکم آبراهه، فاصله از غسل و تراکم آبراهه پرداخته‌اند و به این نتیجه رسیدند که این روش شواهد وزن قطعی با مساحت زیر منحنی ۷۲/۸۱ درصد دارای کارایی مناسب در تهیه نقشه پتانسیل آب زیرزمینی می‌باشد. نمپاک و همکاران (۲۰) از روش داده‌محور شواهد وزن قطعی به‌منظور تهیه نقشه پتانسیل آب زیرزمینی در حوزه لانگات^۱ در مالزی استفاده کردند و بدین‌منظور از ۱۲ پارامتر ارتفاع، شیب، انحناى سطح، شاخص قدرت جریان، شاخص خیسی توپوگرافی، تراکم آبراهه، لیتولوژی، تراکم غسل، کاربری اراضی، خاک، بارندگی و شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که مدل شواهد وزن قطعی دارای کارایی بالایی در تهیه نقشه پتانسیل آب زیرزمینی می‌باشد.

هدف اصلی در این پژوهش ارزیابی پتانسیل آب‌های زیرزمینی حوزه آبخیز کهورستان در استان هرمزگان با استفاده



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز کهورستان و چاه های انتخاب شده برای فرآیندهای شبیه سازی و اعتبارسنجی.
Figure 1. Geographical location of Kahurestan watershed and the wells selected for simulation and validation processes

گردید. جهت شیب وابسته به جهت عمده بارش و روند فیزیوگرافیک می باشد و بر روی میزان دریافت بارش و نوع پوشش گیاهی تأثیرگذار می باشد (۸). نقشه جهت شیب از مدل رقومی ارتفاعی استخراج گردید. شیب عمدتاً فرآیند تغذیه آب های زیرزمینی، نفوذ و رواناب را کنترل می کند، بنابراین یک فاکتور موثر جهت پیش بینی فضایی پتانسیل آب های زیرزمینی می باشد. نقشه شیب بر اساس انحنای سطح بر روی همگرایی و واگرایی جریان تأثیر می گذارد و انحنای مقطع مطابق با جهت حداکثر شیب می باشد و عمدتاً بر روی سرعت جریان در سطح تأثیرگذار است (۲). نقشه انحنای توپوگرافیک و انحنای مقطع با استفاده از مدل رقومی و در محیط نرم افزار SAGA-GIS تهیه گردید. انحنای توپوگرافیک به ۳ کلاس مقعر، هموار و محدب تقسیم بندی می گردد. مقادیر منفی انحنای توپوگرافیک بیانگر تفرق و مقادیر مثبت آن بیانگر تحدب سطح می باشد. مقادیر صفر نشان دهنده همواربودن سطح می باشد (۱۹). انحنای مقطع نیز به ۳ کلاس تقسیم بندی می گردد.

برای تهیه لایه شاخص SAVI و MNDWI از تصاویر ماهواره ای لندست استفاده گردید. برای این هدف، پس از تهیه و دانلود تصاویر لندست OLI اقدام به تصحیح رادیومتریک و تصحیح اتمسفری تصاویر مورد نظر شد، که تصحیح اتمسفری

در این پژوهش با توجه به هدف آن، یعنی پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی، تلاش شده است تا عوامل موثر بر نفوذپذیری خاک و تغذیه سفره های آب زیرزمینی بررسی شود. به همین منظور نخست با بررسی منابع داخلی و خارجی مرتبط با موضوع تحقیق، عوامل موثر در پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی شناسایی شد. بنابراین در پژوهش حاضر ۱۱ متغیر از مهم ترین عوامل موثر در پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی شامل لایه های درصد شیب، جهت شیب، انحنای سطح^۱ و انحنای مقطع^۲، شاخص پوشش گیاهی تعدیل شده خاک یا SAVI^۳، شاخص تفاضل نرمال شده آب اصلاح شده یا MNDWI^۴، فاکتور طول و تندی شیب یا LS^۵، شاخص قدرت جریان یا SPI^۶، شاخص رطوبت توپوگرافیک یا TWI^۷، کاربری اراضی و فاصله از آبراه ها با توجه به استفاده از تجربیات کارشناسان و پژوهشگران در بررسی های صورت گرفته، در منطقه مطالعه شده استفاده شده است.

داده های ماهواره ای SRTM با قدرت تفکیک ۹۰ متر به منظور تهیه مدل رقومی ارتفاعی در منطقه مطالعاتی مورد استفاده قرار گرفت. طبقات ارتفاعی مختلف باعث ایجاد شرایط اقلیمی متفاوت شده و در نتیجه باعث ایجاد خاک و نوع پوشش گیاهی متفاوت می گردد (۱۵). مدل رقومی ارتفاعی با استفاده از ابزار Spatial Analysis در محیط نرم افزار ArcGIS 10.3 تهیه

1- Plan Curvature

2- Profile Curvature

3- Soil Adjusted Vegetation Index

4- Modified Normalized Difference Water Index

5- Slope Length and Steepness Factor

6- Stream Power Index

7- Topographic Wetness Index

پیش‌بینی مدل کاهش می‌یابد، در نتیجه بررسی آزمون هم‌خطی بین پارامترهای مؤثر ضروری می‌باشد. در مرحله بعد از چهار روش جنگل تصادفی، ماشین پشتیبان بردار، الگوریتم‌های Bioclim و Domain جهت مدل‌سازی و پیش‌بینی بهره گرفته شد، که در ادامه به معرفی مختصر این روش‌ها پرداخته می‌شود.

الگوریتم‌های Bioclim و Domain

این دو روش به طور گسترده‌ای برای مدل‌سازی توزیع مطلوبیت زیستگاهی گونه‌ها مورد استفاده قرار گرفته‌اند (۵) و به ندرت جهت پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی استفاده شده است (۷). اساس آنها محاسبه فاصله بین عوامل مؤثر در هر مکان با مکان‌هایی که دارای پتانسیل بالای آب زیرزمینی (نقاط آموزش) هستند، می‌باشد. برای هر متغیر حداقل فاصله بین یک مکان و هر نقطه آموزش (Train) در نظر گرفته می‌شود و سپس نتیجه جهت مدل‌سازی با تمام عوامل مؤثر ادغام می‌شود (۱۳). الگوریتم Bioclim از قدرت خوبی برای مدل‌سازی مکانی با تعداد نسبتاً کم متغیرهای ورودی برخوردار است (۴). اما شایان ذکر است که الگوریتم Domain از یک تابع شباهت پیوسته بهره می‌برد که می‌تواند در بعضی شرایط باعث انعطاف‌پذیری بیشتر در شبیه‌سازی مکانی نسبت به الگوریتم Bioclim شود (۵).

الگوریتم جنگل تصادفی (RF)

این روش مبتنی بر دسته‌ای از درخت‌های تصمیم است. این روش در حال حاضر یکی از بهترین الگوریتم‌های یادگیری است. مدل پیش‌بینی‌کننده RF بر اساس میانگین‌گیری از نتایج حاصل از تمامی درخت‌های تصمیم مربوطه استوار است و برای بسیاری از مجموعه داده‌ها، طبقه‌بندی با صحت بالایی را انجام می‌دهد (۱۰). درختان تصادفی با در نظر گرفتن بردار ورودی، آن را با هر درخت در جنگل طبقه‌بندی می‌کند. الگوریتم جنگل تصادفی در نهایت، می‌تواند با استفاده از رای‌گیری، آن طبقه‌ای را که بیشترین رای را آورده است انتخاب کند و به عنوان طبقه‌ی نهایی جهت انجام عملیات طبقه‌بندی قرار دهد. مهم‌ترین پارامتر قابل تنظیم در این روش، تعداد درخت‌ها است که در این پژوهش بعد از سعی و خطا، مقدار آن ۱۰۰۰ انتخاب شد و برای سایر پارامترها، مقادیر پیش‌فرض قرار داده شد. شایان ذکر است که در این روش از دو عامل میانگین‌کاهشی دقت و میانگین‌کاهشی جینی برای تعیین اولویت تاثیر هر یک از عوامل مؤثر استفاده می‌شود (۲۱).

الگوریتم ماشین بردار پشتیبان (SVM)

این روش بر پایه تئوری یادگیری آماری^۶ است که از حداقل ریسک ساختاری^۷ تبعیت می‌کند و برای ارزیابی و آزمون مجموعه‌ای از داده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد (۳۷). بر اساس این نظریه یادگیری آماری، می‌توان کران نرخ خطای ماشین یادگیری را برای داده‌های طبقه‌بندی نشده، به عنوان نرخ خطای تصمیم‌یافته، در نظر گرفت. این کران‌ها به عنوان تابعی از مجموعه نرخ خطاهای آموزش هستند که میزان پیچیدگی طبقه‌بندی‌کننده‌ها را نشان می‌دهند (۳۵). این الگوریتم در سال‌های اخیر، توجه زیادی را به دلیل عملکرد خوب طبقه‌بندی و قابلیت تعمیم مناسب به خود جلب کرده است. در این پژوهش از مدل SVM با تابع کرنل خطی استفاده شده

با استفاده از الگوریتم FLAASH انجام گردید. در مرحله بعد با استفاده از روابط زیر شاخص‌های مورد نظر محاسبه گردید. که در این روابط L فاکتور تصحیح برای تراکم‌های مختلف پوشش گیاهی، NIR میزان انعکاس تصویر در باند مادون قرمز نزدیک، Red میزان انعکاس تصویر در باند قرمز، Green میزان انعکاس تصویر در باند سبز و MIR میزان انعکاس تصویر در باند مادون قرمز میانی می‌باشد.

$$SAVI = \frac{(1 + L)(NIR - Red)}{(NIR + Red + L)} \quad (۱)$$

$$MNDWI = \frac{Green - MIR}{Green + MIR} \quad (۲)$$

برای محاسبه فاکتور LS ابتدا نقشه شیب حوزه بر حسب درجه تهیه شد. سپس مدل رقومی توسط ابزار پرکننده گودی‌ها^۲ اصلاح شد و از مدل رقومی اصلاح‌شده نقشه رستری جهت جریان^۳ استخراج و در نهایت از آن نقشه رستری تجمع جریان^۳ برای کل حوزه به دست آمد. رابطه ۳ برای محاسبه عامل LS در نرم‌افزار ArcGIS استفاده شد (۲۲).

$$L = (1.4) [Fac * 10/a_0]^{0.4} [\sin \beta(r) / \sin \beta_0]^{1.4} \quad (۳)$$

که در آن Fac نقشه رستری جریان تجمعی حوزه، $\beta(r)$ زاویه شیب بر حسب درجه، a_0 طول کرت استاندارد (که برابر با ۲۲/۱۳ متر می‌باشد)، β_0 شیب کرت استاندارد (که برابر با ۵/۱۴۳ درجه) می‌باشد.

شاخص قدرت جریان (SPI) گویای میزان قدرت فرساینده‌ی جریان آب است. براین اساس، آگذری متناسب است با مساحت ویژه حوضه و شیب، که با استفاده از رابطه ۴ و توسط نرم‌افزار SAGA-GIS محاسبه گردید.

$$SPI = B_s * \tan \alpha \quad (۴)$$

که در آن B_s مساحت حوزه به مترمربع و $\tan \alpha$ شیب محلی به درجه می‌باشد.

شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI) تعیین‌کننده تاثیر توپوگرافی بر روی میزان سطوح اشباع جهت تولید رواناب است که توسط رابطه زیر محاسبه می‌شود (۱۸).

$$TWI = \ln(As/\tan \phi) \quad (۵)$$

که در آن AS مساحت ویژه حوضه - که بیانگر سطح تجمعی منطقه بالادست است - و ϕ درجه شیب می‌باشد.

برای تهیه لایه کاربری و نقشه فاصله از آبراهه نیز از نقشه‌های سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری استفاده گردید.

بعد از آماده‌سازی لایه‌های مؤثر بر پتانسیل آب زیرزمینی و نیز لایه نقطه‌ای چاه‌ها، ابتدا برای تعیین هم‌خطی از پارامترهای ضریب تحمل یا Tolerance و عامل تورم واریانس یا VIF استفاده شد. هم‌خطی زمانی رخ می‌دهد که متغیرهای پیش‌بین با یکدیگر ضریب همبستگی بالایی داشته باشند، در این صورت واریانس یکسانی از متغیر وابسته را تبیین می‌کنند. لذا در تعیین پتانسیل منابع آب زیرزمینی، اگر در فرآیند شبیه‌سازی بین پارامترهای ورودی، هم‌خطی وجود داشته باشد، دقت

1- Fill sinks

2- Flow direction

3- Flow accumulation

4- Random Forest

5- Support Vector Machine

6- Statistical Learning Theory

7- Structure Risk Minimization

فاکتور LS، شاخص قدرت جریان یا SPI، شاخص رطوبت توپوگرافیک یا TWI، کاربری و فاصله از آبراهه در نظر گرفته شد و لایه GIS مربوط به این عوامل به وسیله روش‌های گفته‌شده در قسمت‌های قبل تهیه گردید. شایان یادآوری است که نقشه شیب، به صورت رستری تهیه شد. برای نقشه کاربری اراضی، برای هر کاربری یک کد عددی در نظر گرفته شد. به عنوان مثال برای اراضی کشاورزی کد ۱، برای اراضی مرتعی کد ۲ و الی آخر، برای سایر نقشه‌هایی که بصورت کلاس‌بندی بود نیز همین گونه عمل شد. نقشه‌های تهیه‌شده مربوط به عوامل موثر بر پتانسیل آب زیرزمینی حوضه آبخیز کهورستان در شکل ۲ ارائه شده است.

آزمون هم‌خطی متغیرهای موثر

در این پژوهش برای تعیین هم‌خطی بین متغیرهای موثر (پیش‌بین) از پارامترهای Tolerance یا ضریب تحمل و VIF یا عامل تورم واریانس استفاده شده است. اگر مقدار ضریب تحمل کمتر از ۰/۱ و مقدار عامل تورم واریانس بزرگ‌تر از ۱۰ باشد، بین پارامترها هم‌خطی وجود دارد (۶). برای محاسبه آزمون هم‌خطی مقادیر عددی هر یک از پارامترها در مناطق چاه‌های آب زیرزمینی و مناطق فاقد چاه استخراج گردید و در محیط SPSS آزمون هم‌خطی محاسبه گردید. نتایج حاصل از این آزمون در جدول ۱ ارائه شده است. بیش‌ترین مقدار عامل تورم واریانس ۲/۸۶۰ و کم‌ترین مقدار ضریب تحمل ۰/۳۸۶ می‌باشد، بنابراین هیچ هم‌خطی بین متغیرهای مستقل مشاهده نشد.

است. پارامتر قابل تنظیم در این مدل مقدار تابع هزینه می‌باشد که به صورت پیش‌فرض قرار داده شد.

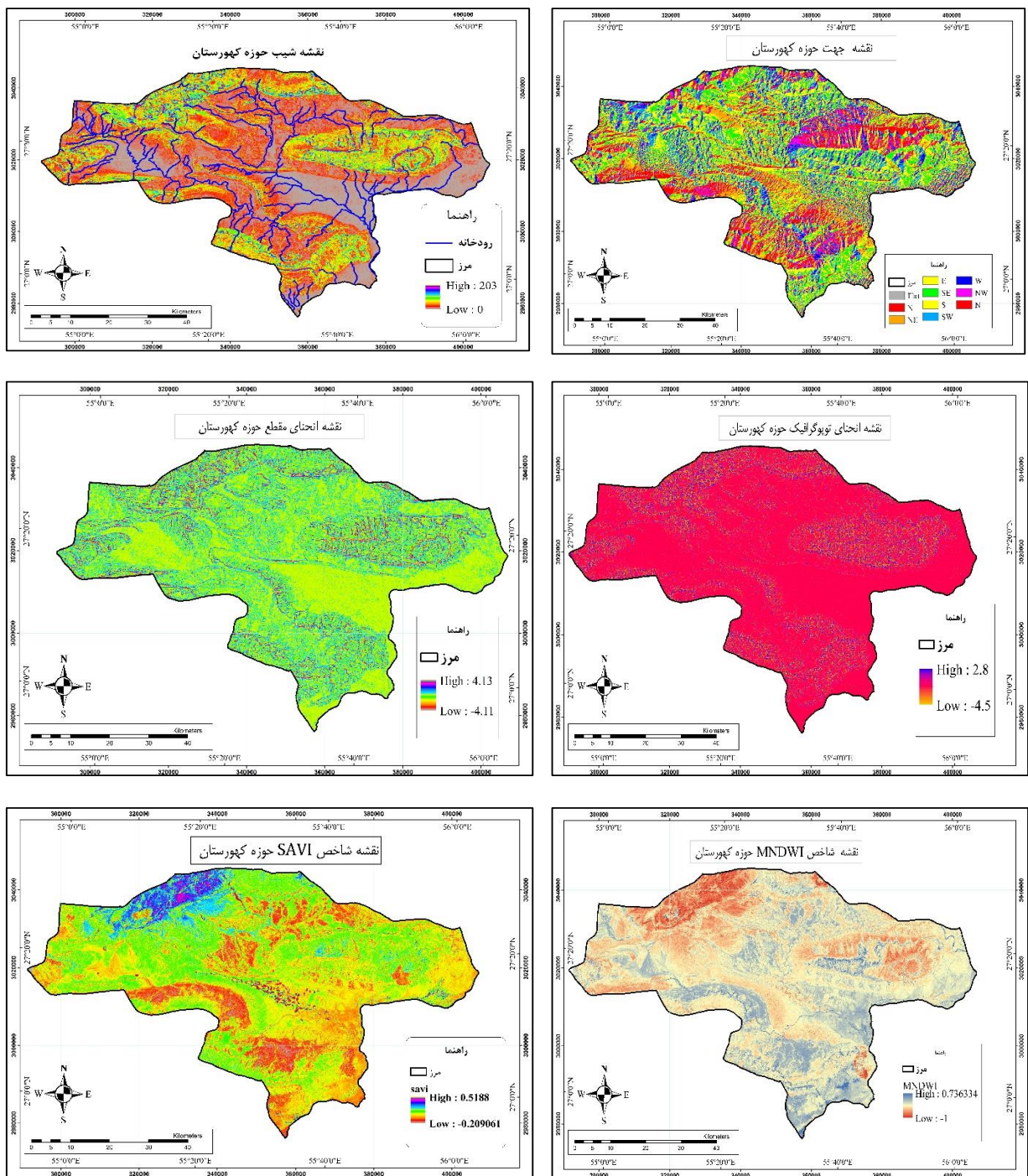
اعتبارسنجی شبیه‌سازی

به‌منظور ارزیابی مدل با استفاده از مساحت زیرمنحنی (AUC) در منحنی ویژگی عملگر نسبی (ROC) قدرت پیش‌بینی مدل مورد بررسی و تأیید قرار گرفت. در مساحت زیرمنحنی، درصد چاه‌های آب زیرزمینی که به درستی به‌وسیله مدل پیش‌بینی شده است در مقابل درصد چاه‌هایی که به درستی پیش‌بینی نشده است ترسیم می‌گردد. رابطه کمی-کیفی بین AUC و دقت پیش‌بینی که دامنه بین ۰/۵ تا ۱ را شامل می‌شود به شرح ذیل می‌باشد: ۰/۹-۱ دقت عالی، ۰/۹-۰/۸ دقت خیلی خوب، ۰/۸-۰/۷ دقت خوب، ۰/۷-۰/۶ دقت متوسط و ۰/۶-۰/۵ دقت ضعیف (۳۸). با توجه به این که برای ارزیابی مدل نمی‌توان از موقعیت چاه‌های شبیه‌سازی استفاده نمود، از بین موقعیت چاه‌ها، ۷۰ درصد برای اجرای مدل و ۳۰ درصد برای ارزیابی مدل مورد استفاده قرار گرفت.

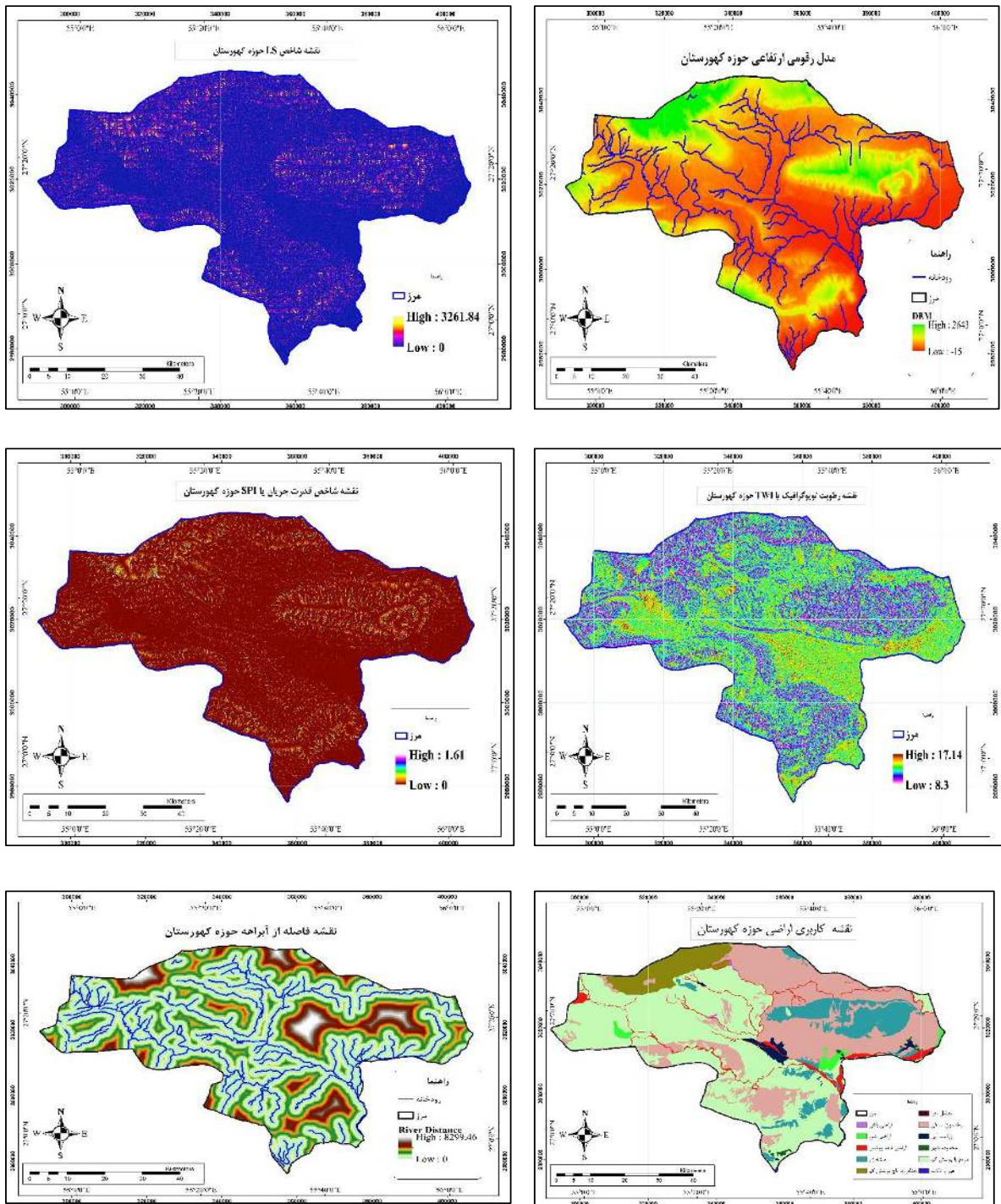
نتایج و بحث

تهیه لایه‌های موثر بر پتانسیل آب زیرزمینی

همان‌طور که در مراحل قبل نیز گفته شد در این پژوهش ۱۱ متغیر از مهم‌ترین عوامل موثر در پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی شامل لایه‌های درصد شیب، جهت شیب، انحنای مقطع و انحنای توپوگرافی، شاخص پوشش گیاهی تعدیل شده بر حسب خاک، شاخص تفاضل نرمال شده آب اصلاح‌شده،



شکل ۲- نقشه‌های عوامل موثر بر پتانسیل آب زیرزمینی حوزه آبخیز کهورستان
 Figure 2. Maps of the effective factors in groundwater potential at Kahurestan watershed



ادامه شکل ۲
Figure 2. Continued

جدول ۱- مقادیر ضریب تحمل و تورم واریانس برای هر یک از عوامل موثر

Table 1. Tolerance and VIF values for each of the effective factors

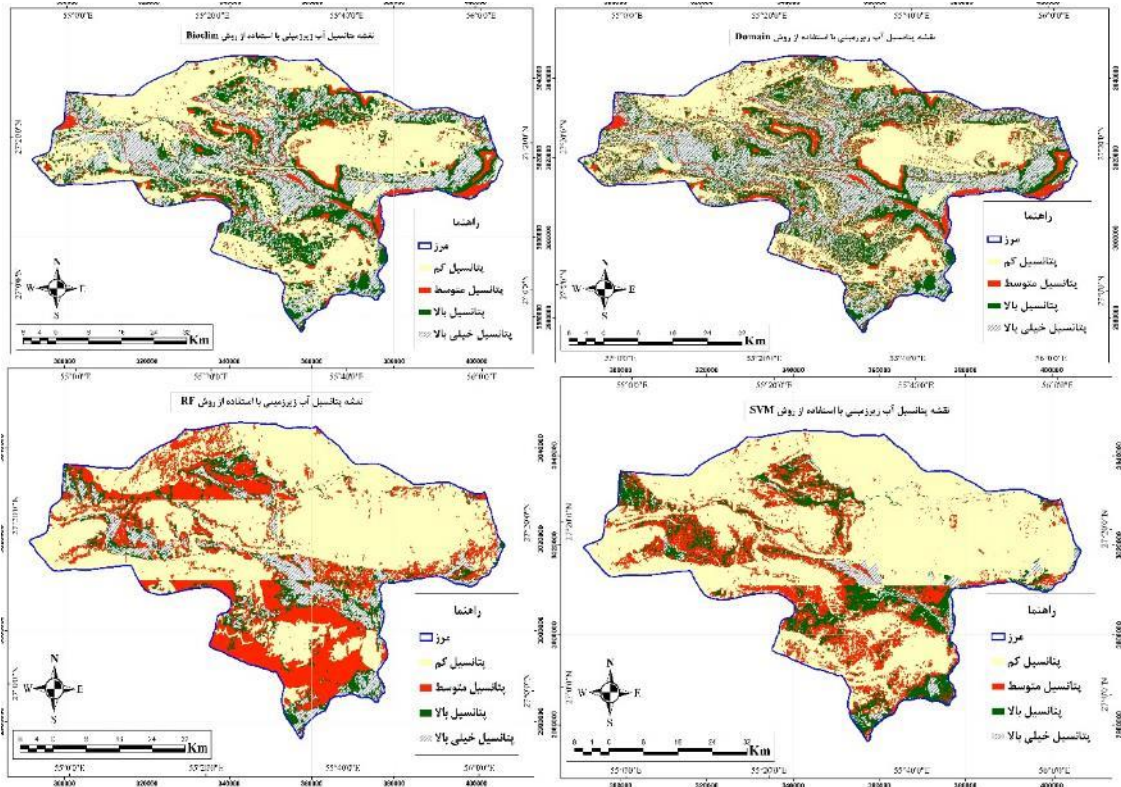
عامل	ضریب تحمل (Tolerance)	تورم واریانس (VIF)
درصد شیب	۰/۷۱۰	۱/۴۵۳
جهت شیب	۰/۸۹۱	۱/۴۲۰
انحنای مقطع	۰/۶۳۳	۱/۳۹۴
انحنای توپوگرافیک	۰/۵۸۵	۲/۳۷۶
شاخص SAVI	۰/۷۱۸	۱/۳۰۴
شاخص MNDWI	۰/۷۰۵	۱/۳۶۰
فاکتور LS	۰/۶۰۴	۱/۴۱۳
شاخص قدرت جریان	۰/۳۸۶	۲/۲۶۷
شاخص رطوبت توپوگرافیک	۰/۷۲۹	۱/۲۷۹
کاربری	۰/۴۰۹	۲/۸۶۰
فاصله از آبراهه	۰/۸۱۵	۱/۲۰۳

اجرای مدل‌ها

حداکثر ارتفاعات به دلیل شیب زیاد و به علت نفوذپذیری خیلی کم می‌باشد که این یافته با نتایج رزندی و همکاران (۲۷) و یمانی و علی‌زاده (۳۶) هماهنگی دارد. روی هم‌گذاری نقشه‌های پتانسیل و نقشه‌های پوشش گیاهی نشان می‌دهد که مناطق دارای پتانسیل بالا منطبق بر جاهایی است که دارای تراکم پوشش گیاهی بالا می‌باشد که این امر به دلیل نگهداری رواناب و سیلاب توسط پوشش گیاهی می‌باشد که باعث افزایش میزان نفوذپذیری و تغذیه آبخوان‌ها می‌شود. از دیگر نتایج هم‌پوشانی نقشه‌های پتانسیل با عوامل موثر می‌توان به تاثیر نزدیکی یا دوری از آبراهه‌ها اشاره کرد، که پهنه‌های دارای پتانسیل بالا در فواصل نزدیک آبراهه‌ها قرار دارند. انطباق نقشه‌های پتانسیل با نقشه انحنای توپوگرافیک و انحنای مقطع نشان می‌دهد که پهنه‌های دارای پتانسیل خوب و خیلی خوب بیشتر در پهنه‌های مقعر می‌باشد که به دلیل شرایط مناسب توپوگرافیک محدوده‌های مقعر می‌باشد که این نتیجه نیز با نتایج عرب‌عامری و همکاران (۳) مطابقت دارد.

بعد از آماده‌سازی لایه‌ها و اطلاعات اولیه از ۷۰ درصد چاه‌ها جهت آموزش مدل‌ها استفاده شد و نقشه‌های پتانسیل آب زیرزمینی تهیه گردید. شایان ذکر است که تمامی مراحل مدل‌سازی در نرم‌افزار R و با استفاده از بسته‌های dismo و SDM انجام گرفت. پس از مدل‌سازی نقشه‌های رستری تولید شده وارد نرم‌افزار ArcMap شده و با استفاده از روش Natural Breaks (Jenks) یا شکست‌های طبیعی به ۴ کلاس (۳)، پتانسیل کم (۰/۲۵ - ۰)، پتانسیل متوسط (۰/۵ - ۰/۲۵)، پتانسیل بالا (۰/۷۵ - ۰/۵) و پتانسیل خیلی بالا (۱ - ۰/۷۵) تقسیم‌بندی گردید که نتایج آن در شکل ۳ ارائه شده است. همچنین در جدول ۲ میزان مساحت هر کلاس در مدل‌های استفاده شده ارائه شده است.

انطباق و هم‌پوشانی نقشه‌های پتانسیل آب زیرزمینی با نقشه‌های شیب و مدل رقومی ارتفاع نشان می‌دهد که پهنه‌های پتانسیل بالا و خوب بیشتر منطبق بر مخروط‌افکنه‌ها و اراضی کم شیب می‌باشد و پهنه‌های کم‌پتانسیل منطبق بر



شکل ۳- نقشه‌های حاصل از چهار مدل داده‌کاوی استفاده‌شده برای پتانسیل آب زیرزمینی
Figure 3. Resulted maps by the four applied data-mining models for groundwater potential

جدول ۲- مساحت (هکتار) و درصد مساحت طبقات مختلف برای پتانسیل آب زیرزمینی حاصل از مدل‌های استفاده‌شده.
Table 2. Area (ha) and area percentage for different groundwater potential classes obtained by the applied models

پتانسیل خیلی بالا		پتانسیل بالا		پتانسیل متوسط		پتانسیل کم		مدل شبهه‌سازی
درصد مساحت	مساحت	درصد مساحت	مساحت	درصد مساحت	مساحت	درصد مساحت	مساحت	
۹/۴۹	۳۷۰۸۳/۲۲	۷/۹۴	۳۱۰۴۷/۳۴	۲۶/۳۳	۱۰۲۹۳۷/۸۸	۵۶/۲۴	۲۱۹۸۷۴/۱۲	RF
۳/۳۷	۱۳۱۶۷/۶۴	۱۰/۴۹	۴۱۰۱۱/۱۷	۱۸/۲۵	۷۱۳۴۸/۰۰	۶۷/۸۹	۲۶۵۴۱۲/۲۶	SVM
۲۶/۵۴	۱۰۳۷۵۵/۹۱	۲۱/۵۰	۸۴۰۵۶/۶۳	۱۴/۶۹	۵۷۴۲۱/۳۵	۳۷/۲۷	۱۴۵۶۹۵/۷۱	Domain
۲۴/۱۷	۹۴۵۰۵/۹۳	۲۰/۱۳	۷۸۶۷۶/۵۷	۱۰/۰۷	۳۹۳۴۷/۷۱	۴۵/۶۴	۱۷۸۴۰۲/۶۱	Bioclim

استخراج گردید و جهت تهیه منحنی ROC به نرم‌افزار SPSS منتقل شد که منحنی‌های ROC در شکل شماره ۴ ارائه شده است. هم‌چنین مساحت زیرمنحنی (AUC) و سایر اطلاعات منحنی‌های ROC در جدول شماره ۳ آورده شده است.

ارزیابی مدل‌ها

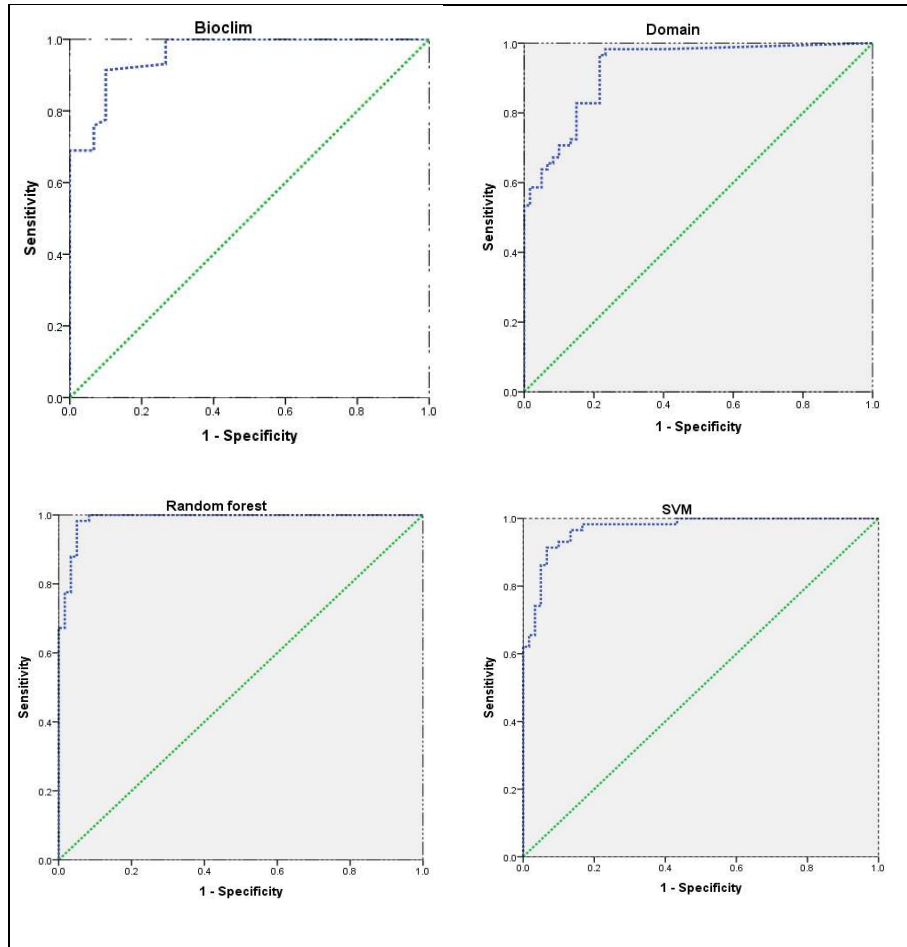
پس از تهیه لایه‌های پتانسیل آب زیرزمینی حاصل از مدل‌های استفاده شده از ۳۰ درصد چاه‌ها جهت اعتبارسنجی و ارزیابی استفاده شد. جهت این امر چاه‌های اعتبارسنجی را روی لایه‌های پتانسیل آب زیرزمینی انداخته و مقادیر ارزش هر لایه

جدول ۳- مقادیر سطح زیر منحنی (AUC) برای مدل‌های استفاده‌شده
Table 3. Values for the area under curve (AUC) of the applied models

سطح معنی‌داری	فاصله اطمینان ۹۵ درصد		خطای معیار	مساحت زیر منحنی (AUC)	مدل شبهه‌سازی
	حد پایین	حد بالا			
۰/۰۰۰	۰/۹۷۴	۱	۰/۰۰۷	۰/۹۸۸	RF
۰/۰۰۰	۰/۹۴۵	۰/۹۹۶	۰/۰۱۳	۰/۹۷	SVM
۰/۰۰۰	۰/۹۲۹	۰/۹۸۸	۰/۰۱۵	۰/۹۵۹	Bioclim
۰/۰۰۰	۰/۸۸۲	۰/۹۷۲	۰/۰۲۳	۰/۹۲۷	Domain

همان‌طور که از جدول ۳ مشخص است هر ۴ مدل استفاده شده دارای عملکرد عالی در پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی می‌باشند و انتخاب مدل بهتر قدری مشکل است، با این وجود مدل‌های جنگل تصادفی و ماشین بردار پشتیبان براساس مقدار

AUC و خطای معیار، اندکی بهتر عمل کرده‌اند. در بین این دو مدل هم، جنگل تصادفی دارای نتایج بهتری نسبت به ماشین بردار پشتیبان می‌باشد.

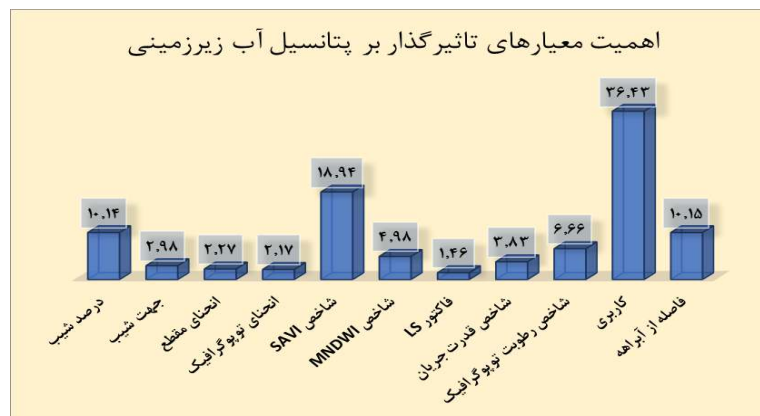


شکل ۴- منحنی‌های ROC مربوط به مدل‌های استفاده شده.

Figure 4. ROC curves for the applied models.

تاثیر را روی پتانسیل آب زیرزمینی دارند. همچنین معیارهای فاکتور LS، انحنا، توپوگرافیک و انحنا، مقطع به ترتیب با وزن‌های ۰/۰۱۴۶، ۰/۰۲۱۷ و ۰/۰۲۲۷ کم‌ترین تاثیر را روی پتانسیل آب زیرزمینی دارند.

بنابراین میزان اهمیت هر کدام از عوامل تاثیرگذار استفاده شده توسط مدل جنگل تصادفی مشخص گردید که نتایج در شکل ۵ ارائه گردیده است. همان‌طور که از شکل مشخص است معیارهای کاربری اراضی، شاخص SAVI و فاصله از آبراهه به ترتیب با وزن‌های ۰/۳۶، ۰/۱۸ و ۰/۱۰۱ بالاترین



شکل ۵- درصد اهمیت عوامل تاثیرگذار بر پتانسیل آب زیرزمینی

Figure 5. The importance percentage of factors influencing groundwater potential

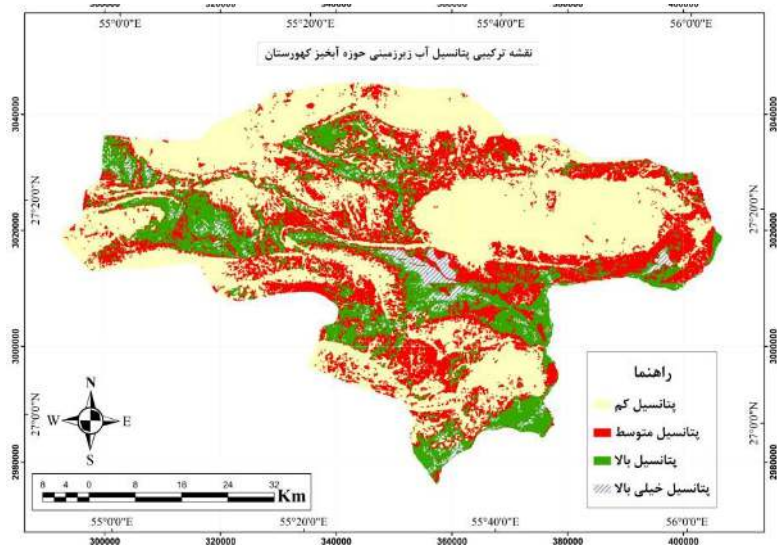
$$F = \frac{\sum_{i=1}^4 (Auc_i * m_i)}{\sum_{i=1}^4 Auc_i} \quad \text{رابطه (۶)}$$

که در این رابطه F مقادیر لایه رستری حاصل از ترکیب ۴ مدل و Auc_i میزان مساحت زیر منحنی ROC هر کدام از روش‌ها می‌باشد، همچنین m_i لایه رستری پتانسیل یابی هر کدام از مدل‌ها می‌باشد. عدد ۴ نیز نشان‌دهنده استفاده از چهار روش در این تحقیق می‌باشد. مقادیر مساحت زیرمنحنی و خطای معیار مدل ترکیبی به ترتیب ۰/۹۸ و ۰/۰۱ می‌باشد. نقشه نهایی پتانسیل یابی در شکل ۶ آورده شده است.

نتایج وزن معیارها و اولویت بالای معیارهای کاربری اراضی و پوشش اراضی با نتایج تحقیقات دیگر از جمله ال-آبادی و همکاران (۳)، عرب‌عامری و همکاران (۳) و نیز تافا و همکاران (۳۳) هم‌خوانی دارد.

ترکیب مدل‌ها و پتانسیل‌یابی نهایی

با توجه به اینکه هر چهار روش استفاده شده دارای عملکرد بسیار خوبی بوده در انتها جهت ارائه یک نقشه نهایی این چهار مدل بر اساس میزان AUC خود، از طریق یک روش ابتکاری و جدید با استفاده از رابطه ۶ ترکیب شدند.



شکل ۶- نقشه پتانسیل آب زیرزمینی حاصل از ترکیب چهار مدل داده‌کاوی.

Figure 6. Groundwater potential map obtained by the combination of four data-mining models

ماشین بردار پشتیبان، Bioclim و Domain در تهیه نقشه پتانسیل منابع آب زیرزمینی در حوضه آبخیز کهورستان در استان هرمزگان پرداخته شده است. نتایج حاصل از پژوهش نشان داد که هر چهار روش استفاده شده به همراه تکنیک‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی ابزار قوی به منظور ارزیابی پتانسیل منابع آب زیرزمینی فراهم می‌آورند. همچنین بررسی اعتبارسنجی این چهار روش براساس مساحت زیر منحنی (AUC) و خطای معیار مشخص کرد که مدل جنگل تصادفی دارای دقت نسبتاً بهتری نسبت به مدل ماشین بردار پشتیبان و الگوریتم‌های Bioclim و Domain است. اما تفاوت مشاهده‌شده در میزان کارایی این ۴ مدل داده‌کاوی، آنچنان قابل توجه نیست.

وزن‌های به‌دست آمده با استفاده از مدل جنگل تصادفی نشان داد که پارامترهای کاربری اراضی، پوشش اراضی و فاصله از آبراه به ترتیب با کسب وزن‌های ۰/۳۶، ۰/۱۸ و ۰/۱۰۱ بالاترین تاثیر را روی پتانسیل آب زیرزمینی دارند. همچنین معیارهای فاکتور LS، انحنای توپوگرافیک و انحنای مقطع به ترتیب با وزن‌های ۰/۱۴۶، ۰/۰۲۱۷ و ۰/۰۲۲۷ کم‌ترین تاثیر را روی پتانسیل آب زیرزمینی دارند. در انتها از آنجایی که هر چهار روش استفاده شده دارای دقت عالی در پیش‌بینی بوده‌اند و با توجه به اینکه انتخاب روش کارآمدتر قدری مشکل بود، با

بر اساس نقشه نهایی پتانسیل‌یابی ۱۸/۲ درصد از مساحت حوضه کهورستان که معادل با ۷۱۲۳۳ هکتار می‌باشد دارای پتانسیل بالا، ۳/۲ درصد از اراضی حوضه که برابر با ۱۲۵۵۳ هکتار می‌باشد دارای پتانسیل خیلی بالا می‌باشد. همچنین ۲۸/۴ و ۵۰/۲ درصد از سطح حوضه به ترتیب دارای پتانسیل متوسط و کم در بحث آب زیرزمینی می‌باشد. عمدتاً قسمت‌های مرکزی منطقه مطالعاتی به سمت شرق و غرب دارای پتانسیل زیاد و خیلی‌زیاد می‌باشند که از مهمترین علل آن می‌توان به نفوذپذیری و عمق خاک مناسب، تراکم آبراهه پایین، و شیب ملایم این مناطق اشاره نمود. مناطق با پتانسیل بالا عمدتاً در زمین‌های کشاورزی قرار گرفته‌اند. طبق شکل ۶ نحوه پراکنش کلاس‌های پتانسیل در سطح منطقه در مدل ترکیبی و مدل‌های انفرادی متفاوت می‌باشد که این موضوع را می‌توان به ساختار مدل‌های مورد استفاده و عدم قطعیت‌های موجود در شبیه‌سازی نسبت داد.

نتایج و بحث

ارزیابی پتانسیل منابع آب زیرزمینی یکی از پرکاربردترین زمینه‌های پژوهش در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد و پژوهشگران متعددی در این زمینه به پژوهش پرداخته‌اند. در این پژوهش به ارزیابی کارایی چهار روش جنگل تصادفی،

منابع آب زیرزمینی در حوزه کهورستان می‌باشد. نتایج حاصل از این پژوهش می‌تواند به‌عنوان اطلاعات پایه به برنامه‌ریزان و مسئولان محلی به‌منظور ارزیابی، برنامه‌ریزی، مدیریت، استفاده پایدار و تغذیه مصنوعی منابع آب زیرزمینی در آینده کمک نماید. با توجه به هزینه‌بر بودن آزمایش‌های اکتشافی منابع آب زیرزمینی، تهیه نقشه پتانسیل آب زیرزمینی با استفاده از روش‌های مذکور در مناطق دیگر پیشنهاد می‌گردد.

استفاده از یک رابطه پیشنهادی و جدید، نقشه‌های هر ۴ مدل بر اساس میزان AUC خود با یکدیگر ترکیب شده و یک نقشه نهایی تولید شد. بر اساس نقشه نهایی پتانسیل‌یابی ۱۸/۲ درصد از مساحت حوزه کهورستان دارای پتانسیل بالا، ۳/۲ درصد از اراضی حوزه دارای پتانسیل خیلی بالا می‌باشد. همچنین ۲۸/۴ و ۵۰/۲ درصد از سطح حوزه به ترتیب دارای پتانسیل متوسط و کم در بحث پتانسیل آب زیرزمینی می‌باشد. نتایج حاصل از این پژوهش بیانگر وضعیت پتانسیلی متوسط

منابع

1. Agarwal, E., R. Agarwal, R.D. Garg and P.K. Garg. 2013. Delineation of groundwater potential zone: An AHP/ANP approach. *Journal of Earth System Science*, 122(3): 887-98.
2. Al-Abadi, A.M., A.A. Al-Temmeme and M.A. Al-Ghanimy. 2016. A GIS-based combining of frequency ratio and index of entropy approaches for mapping groundwater availability zones at Badra–Al Al-Gharbi–Teeb areas, Iraq. *Sustainable Water Resources Management*, 2(3): 265-283.
3. Arab-Ameri A.R., KH. Rezaei, M. Yamani and K. Shirani. 2018. Modeling and groundwater potential mapping using data driven ensemble model EBF-Index of entropy (case study: Najaf Abad aquifer). *Journal of Water and Soil Conservation*, 25(2): 25-48 (In Persian).
4. Booth, T.H. 2018. Why understanding the pioneering and continuing contributions of BIOCLIM to species distribution modelling is important. *Austral ecology*, 43(8): 852-60.
5. Carpenter, G., A.N. Gillison, and J. Winter. 1993. DOMAIN: a flexible modelling procedure for mapping potential distributions of plants and animals. *Biodiversity & Conservation*, 2(6): 667-80.
6. Chen, W., H.R. Pourghasemi and S.A. Naghibi. 2018. Prioritization of landslide conditioning factors and its spatial modeling in Shangnan County, China using GIS-based data mining algorithms. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 77(2): 611-629.
7. Elith, J., H. Graham, C.P. Anderson, R. Dudík, M. Ferrier, S. Guisan, A.J. Hijmans, R. Huettmann, F.R. Leathwick, J. Lehmann and J. Li. 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*, 29(2): 129-151.
8. Ercanoglu, M. and C. Gokceoglu. 2002. Assessment of landslide susceptibility for a landslide-prone area (north of Yenice, NW Turkey) by fuzzy approach. *Environmental Geology*, 41(6): 720-730.
9. Fallah, F., M. Daneshfar and S. Ghorbaninejad. 2017. Application of the statistical index model in groundwater potential mapping in Khorramabad plain. *Water and Sustainable Development*, 4(1): 89-98 (In Persian).
10. Gholami, H., A. Mohamadifar, and A.L. Collins. 2020. Spatial mapping of the provenance of storm dust: Application of data mining and ensemble modelling. *Atmospheric Research*, 233: 104716.
11. Glenn, C. R., R. B. Whittier, M.L. Dailer, H. Dulaiova, A.I. El-Kadi, J. Fackrell, J.L. Kelly, and C. A. Waters. 2012. Lahaina groundwater tracer study–Lahaina, Maui, Hawai 'i. Final Interim Report. Prepared for the State of Hawai 'i Department of Health, the US Environmental Protection Agency, and the US Army Engineer Research and Development Center, 463 pp.
12. Haghizadeh, A. and H. Mirzapour. 2016. Delineation of Groundwater Potential of MadianRoud watershed in Lorestan using weighted index overlay analysis (WIOA). *Iranian Journal of Hydrogeology*, 1(2): 83-98 (In Persian).
13. Hijmans, R.J. and C.H. Graham. 2006. The ability of climate envelope models to predict the effect of climate change on species distributions. *Global Change Biology*, 12(12): 2272-2281.
14. Jha, Madan K., Y. Kamii, and K. Chikamori. 2009. Cost-effective approaches for sustainable groundwater management in alluvial aquifer systems. *Water Resources Management*, 23(2): 219.
15. Jothibasu, A. and S. Anbazhagan. 2016. Modeling groundwater probability index in Ponnaiyar River basin of South India using analytic hierarchy process. *Modeling Earth Systems and Environment*, 2(3): 109.
16. Lee, S., K-Y. Song, Y. Kim and I. Park. 2012. Regional groundwater productivity potential mapping using a geographic information system (GIS) based artificial neural network model. *Hydrogeology Journal*, 20(8): 1511-27.
17. Le Page, M., B. Berjamy, Y. Fakir, F. Bourgin, Lionel Jarlan, A. Abourida, M. Benrhanem et al. 2012. An integrated DSS for groundwater management based on remote sensing. The case of a semi-arid aquifer in Morocco. *Water Resources Management*, 26(11): 3209-30.
18. Moore, I.D., R.B. Grayson and A.R. Ladson. 1991. Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications. *Hydrological Processes*, 5(1): 3-30.
19. Naghibi, S.A., H.R. Pourghasemi, Z.S. Pourtaghi and A. Rezaei. 2015. Groundwater qanat potential mapping using frequency ratio and Shannon's entropy models in the Moghan watershed, Iran. *Earth Science Informatics*, 8(1): 171-186.

20. Nampak, H., B. Pradhan and M.A. Manap. 2014. Application of GIS based data driven evidential belief function model to predict groundwater potential zonation. *Journal of Hydrology*, 513: 283-300.
21. Nicodemus, K.K. 2011. Letter to the editor: On the stability and ranking of predictors from random forest variable importance measures. *Briefings in Bioinformatics*, 12(4): 369-373.
22. Patriche, C.V., V. Capatana and D.L. Stoica. 2006. Aspects regarding soil erosion spatial modeling using the USLE/RUSLE within GIS. *Geographia Technica*, 2: 87-97.
23. Pourghasemi, H.R. and M. Beheshtirad. 2015. Assessment of a data-driven evidential belief function model and GIS for groundwater potential mapping in the Koohrang Watershed, Iran. *Geocarto International*, 30(6): 662-85.
24. Pourtaghi, Z.S. and H.R. Pourghasemi. 2014. GIS-based groundwater spring potential assessment and mapping in the Birjand Township, southern Khorasan Province, Iran. *Hydrogeology Journal*, 22(3): 643-62.
25. Rahmati, O., H.R. Pourghasemi and A.M. Melesse. 2016. Application of GIS-based data driven random forest and maximum entropy models for groundwater potential mapping: a case study at Mehran Region, Iran. *Catena*, 137: 360-72.
26. Ranjbarmanesh, N., M. Entezari and M.H. Ramesht. 2013. The crisis of groundwater level drop caused by the effect of active tectonic in Mahidasht plain. *Iran Applied Geomorphology*, 1(2): 1-18 (In Persian).
27. Razandi Y., A. Malekian, Sh. Khalighi Sigaroodi and B. Farrokh Zadeh. 2016. Potential detection of groundwater using composite analytical hierarchy process and fuzzy logic (case study: Varamin plain). *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 9(31): 41-50 (In Persian).
28. Razandi, Y., H.R. Pourghasemi, N. Samani Neisani, and O. Rahmati. 2015. Application of analytical hierarchy process, frequency ratio, and certainty factor models for groundwater potential mapping using GIS. *Earth Science Informatics*, 8(4): 867-883.
30. Regional Water Company of Hormozgan. 2018. Reclamation and balancing plan for groundwater resources of Kahurestan plain. 2018 Mar 6; 33 pp (In Persian).
31. Robins, N.S., H.K. Jones and J. Ellis. 1999. An aquifer management case study—the Chalk of the English South Downs. *Water Resources Management*, 13(3): 205-18.
32. Shekhar, S. and A.C. Pandey. 2015. Delineation of groundwater potential zone in hard rock terrain of India using remote sensing, geographical information system (GIS) and analytic hierarchy process (AHP) techniques. *Geocarto International*, 30(4): 402-21.
33. Singh, P., A. Gupta and M. Singh. 2014. Hydrological inferences from watershed analysis for water resource management using remote sensing and GIS techniques. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 17(2): 111-121.
34. Thapa, R., S. Gupta, S. Guin and H. Kaur. 2017. Assessment of groundwater potential zones using multi-influencing factor (MIF) and GIS: a case study from Birbhum district, West Bengal. *Applied Water Science*, 7(7): 4117-4131.
35. United Nations. 2003. Water for people, water for life. The UN World Water Development Report, UNESCO Publishing and Berghahn Books, 34 pp.
36. Yamani, M., A. Ahmadabadi and GH. Zare. 2013. The Zonation of landslide occurrence Using of Support Vector Machines algorithm (case study: Darakeh basin). *Geography and Environmental Hazards*, 1(3): 125-142 (In Persian).
37. Yamani, M. and Sh. Alizadeh. 2015. Finding potential ground water sources by using analytical hierarchy processes (AHP), case study: Abadeh-Eghlid basin of Fars. *Hydrogeomorphology*, 1(1): 131-144 (In Persian).
38. Yao, X., L.G. Tham and F.C. Dai. 2008. Landslide susceptibility mapping based on support vector machine: a case study on natural slopes of Hong Kong, China. *Geomorphology*, 101(4): 572-582.
39. Yesilnacar, E.K. 2005. The application of computational intelligence to landslide susceptibility mapping in Turkey. Ph.D. Thesis, Department of Geomatics the University of Melbourne, 423 pp.

Simulating Groundwater Potential in Kahurestan Watershed by Utilizing a Combined Approach of Data-Mining Models

Ali Reza Nafarzadegan¹, Ali Akbar Mohammadifar², Fariborz Mohammadi^{3,4} and Mohamad Kazemi⁴

1- Assistant Professor, Department of Natural Resources Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Hormozgan, (Corresponding author e-mail address: a.r.nafarzadegan@gmail.com)

2- PhD Candidate in Watershed Sciences & Engineering, Department of Natural Resources Engineering, University of Hormozgan

3- Assistant Professor, Department of Water Sciences & Engineering, Minab Higher Education Center, University of Hormozgan

4- Assistant Professor, Hormoz Studies and Research Center, University of Hormozgan

Received: July 25, 2019

Accepted: April 23, 2020

Abstract

Groundwater is considered as one of the most remarkable sources of fresh water. The aim of the current research is to apply four machine learning models of Random Forest (RF), Support Vector Machine (SVM), Bioclim, and Domain to groundwater potential mapping in Kahurestan watershed, Hormozgan province. The innovation of the research is to employ Bioclim and Domain algorithms to groundwater potential simulation, to compare them with the two techniques of RF and SVM and to combine these four models by an innovative and new equation. For this purpose, 11 criteria including slope percent, slope aspect, plan curvature, profile curvature, soil adjusted vegetation index (SAVI), modified normalized difference water index (MNDWI), slope length and steepness factor (LS), stream power index (SPI), topographic wetness index (TWI), land use, and distance to streams were considered. Also, the data of 113 high-discharge wells were used for simulation (70%) and validation (30%) processes. The collinearity test was performed prior to modeling which indicated that there was no relationship between the variables. Evaluation of the modeling performance with the ROC curve showed that all four methods used had very good accuracies and AUC values higher than 90% for prediction. The survey on the weight of the criteria based on the RF method demonstrated that the land use/cover and distance to streams criteria has the highest weight. The final map revealed that 21.4% of the area under study has good groundwater potential.

Keywords: Bioclim Algorithm, Domain Algorithm, Random Forest, Spatial Analysis, Support Vector Machine



"مقاله پژوهشی"

برآورد نفوذ آب به خاک در کاربری‌های مختلف در حوزه آبخیز مرغملک و شهرکرد

سمیرا مصری^۱، شجاع قربانی دشتکی^۲، حسین شیرانی^۳، ابوالقاسم کامکار روحانی^۴ و حمیدرضا متقیان^۵

۱- دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد (نویسنده مسؤل: dorsa_mesry@yahoo.com)

۲- استاد گروه علوم و مهندسی خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

۳- استاد گروه علوم و مهندسی خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه رفسنجان

۴- دانشیار دانشکده مهندسی معدن، ژئوفیزیک و نفت، دانشگاه صنعتی شاهرود

۵- استادیار گروه علوم و مهندسی خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

تاریخ دریافت: ۹۸/۵/۲۶ تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۰/۲۳

صفحه: ۱۴۴ تا ۱۵۴

چکیده

از مهم‌ترین پارامترهای هیدرولیکی موثر بر کیفیت خاک، نفوذ آب به خاک است که اندازه‌گیری آن دشوار، زمان‌بر و پرهزینه می‌باشد. مدل‌های نفوذپذیری، نقش مهمی در مدیریت حوزه آبخیز دارند. بنابراین، بررسی مدل‌های مختلف نفوذ به منظور مقایسه و دستیابی به برترین مدل نفوذ در منطقه امری ضروری است. این تحقیق با هدف یافتن مناسب‌ترین مدل برآورد نفوذ، با استفاده از روش تک استوانه (به قطر داخلی ۳۵ سانتی‌متر) در کاربری مرتع، باغ و کشاورزی (در دو بافت سیلتی کلی لوم و کلی لوم) در استان چهارمحال و بختیاری (حوزه آبخیز مرغملک و شهرستان شهرکرد) انجام شد. رطوبت اولیه اندازه‌گیری شده در کاربری مرتع در بافت‌های سیلتی کلی لوم و کلی لوم به ترتیب (۳/۷۱، ۴/۲۷)؛ کاربری باغ (۲/۱۸، ۳/۴۶) و در کاربری کشاورزی (۱، ۲/۲۵) بودند. مدل‌های فیلیپ، کوستیاکوف و سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS) با استفاده از شاخص‌های ضریب تبیین، ضریب کارایی نش-ساتکلیف و جذر میانگین مربعات خطا مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که در کاربری مرتع، تمام پارامترهای نفوذ (نفوذ تجمعی، سرعت نفوذ نهایی و متوسط سرعت نفوذ)، کمتر از کاربری‌های باغ و زراعت است. همچنین در مورد مقایسه مدل‌ها، در کاربری‌های کشاورزی، مرتع و باغ هر سه مدل دارای ضریب تبیین و ضریب کارایی بالا بوده‌اند، اما کوستیاکوف با ضریب کارایی نش ساتکلیف ۰/۹۹ و ضریب تبیین ۰/۹۹ و خطای کمتر نسبت به سایر مدل‌ها، به‌عنوان مدل مناسب در کاربری باغ و مرتع و کشاورزی (در هر دو بافت) مورد پذیرش واقع شد، پس از آن مدل فیلیپ با ضریب نش ساتکلیف و ضریب تبیین ۰/۹۹ و خطای (۰/۱۵) در کاربری باغ در بافت سیلتی کلی لوم (SCL) و مدل سازمان حفاظت آمریکا در کاربری مرتع (بافت SCL) با خطای (۰/۱۸) دارای کارایی بالایی بودند.

واژه‌های کلیدی: تک استوانه، سازمان حفاظت آمریکا، فیلیپ، کاربری اراضی، کوستیاکوف، نفوذ

مقدمه

این است که بر اساس قوانین فیزیکی وضع شده‌اند و با دانستن برخی خصوصیات فیزیکی خاک، معادله نفوذ قابل تعیین می‌باشد. شیوه دوم استفاده از روابط تجربی از قبیل کوستیاکوف (۱۳) و هورتون (۱۱) است. تأثیر گرفتن از شرایط زمانی، مکانی و نارسایی پارامترهای معادلات در تبیین مفاهیم فیزیکی از نقص‌های عمده این گونه معادلات است (۱۹). در مقایسه بین مدل‌های فیزیک-پایه و تجربی مشخص شده که معادلات فیزیکی جزئیات نفوذ را نسبت به معادلات تجربی بهتر نشان می‌دهند (۱۶). در زمینه فرآیند نفوذپذیری در ایران و سایر نقاط جهان، پژوهش‌های مختلفی انجام گرفته است که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره نمود: لشنی زند و همکاران (۱۴)، به‌منظور مدیریت اراضی مرتع و جنگل در استان لرستان مدل‌های نفوذ را مقایسه و بیان نمودند که در کاربری مرتع، مدل سازمان حفاظت خاک آمریکا و در کاربری جنگل، مدل فیلیپ، برترین مدل‌ها برای برآورد نفوذپذیری می‌باشند. در مطالعه‌ای دیگر، قربانی دشتکی و همکاران (۸)، مدل‌های کوستیاکوف و فیلیپ را در تیمارهای مختلف مورد ارزیابی قرار دادند و نتیجه گرفتند، مدل فیلیپ با ضریب تبیین ۹۹ درصد در زمین‌های پوشیده از گراس، نسبت به مدل کوستیاکوف با ضریب تبیین ۹۷ درصد مدل برتری بوده، همچنین در زمین‌هایی تحت کودهای آلی، مدل فیلیپ با ضریب تبیین ۹۹ درصد در مقایسه با مدل کوستیاکوف با

مهم‌ترین منبع تامین‌کننده آب برای ادامه حیات گیاهان نفوذ آب به خاک است که همچنین نقشی بسیار مهم در چرخه آبی در طبیعت ایفا می‌نماید (۳۲). کمی کردن پدیده نفوذ آب به خاک در مدیریت حوزه‌های آبخیز همواره مورد توجه بوده است (۲۰). به منظور کمی کردن نفوذ آب به خاک از نفوذ تجمعی و سرعت نفوذ متوسط و لحظه‌ای استفاده می‌شود. مقدار آبی که در یک دوره زمانی مشخص در خاک نفوذ می‌کند نفوذ تجمعی و میانگین سرعت وارد شدن آب به داخل خاک را طی یک دوره زمانی، متوسط سرعت نفوذ آب به داخل خاک در یک لحظه معین از زمان را سرعت نفوذ لحظه‌ای گویند (۲۱). میزان نفوذ آب به خاک تابع عوامل مختلفی از جمله رطوبت خاک (۱۸)، اندازه و میزان خلل و فرج خاک (۳۵) و خصوصیات لایه‌های خاک و سازندهای زمین‌شناسی هستند که میزان رواناب و مولفه‌های بیلان آب حوزه را تحت‌تأثیر قرار می‌دهند (۱). اهمیت فرآیند نفوذ سبب گردیده است، مدل‌های فیزیک-پایه و تجربی گوناگونی به منظور کمی نمودن آن ارائه گردد (۳۳، ۲). مدل‌های فیزیک-پایه با استفاده از قوانین و روابط اثبات شده مانند قانون بقای جرم و قانون بقای انرژی و تلفیق آن‌ها و دستیابی به یک سری معادلات ریاضی مانند فیلیپ (۲۲) و گرین آمپت (۹) به‌دست آمده‌اند. مهم‌ترین حسن این معادلات

روش نمونه‌های دست‌نخورده در آزمایشگاه اندازه گرفتند. مصری و همکاران (۱۸) هدایت هیدرولیکی اشباع خاک را با استفاده از تک‌استوانه در ۶ بافت برآورد و بیان نمودند هدایت هیدرولیکی به‌دست آمده در مناطق مختلف متفاوت و با ویژگی‌های ساختاری و ژئوفیزیکی ارتباط نزدیک‌تری دارد. ایشان با حذف برخی ویژگی‌های شیمیایی نظیر اسیدیته، شوری و جایگزینی آن‌ها با مقاومت نفوذ به ریشه و برخی ویژگی‌های ژئوفیزیکی تخمین مناسب‌تر با درصد خطای کمتری از هدایت هیدرولیکی ارائه دادند. باگارلو و اسگوری (۳) هدایت آبی اشباع را با دو روش بار افتان ساده‌سازی شده و تک‌استوانه در یک خاک لوم شنی اندازه‌گیری نمودند. نتایج مطالعات آن‌ها نشان داد که هدایت آبی اشباع به‌دست آمده از روش بار افتان ساده‌سازی شده مشابه روش تک‌استوانه می‌باشد.

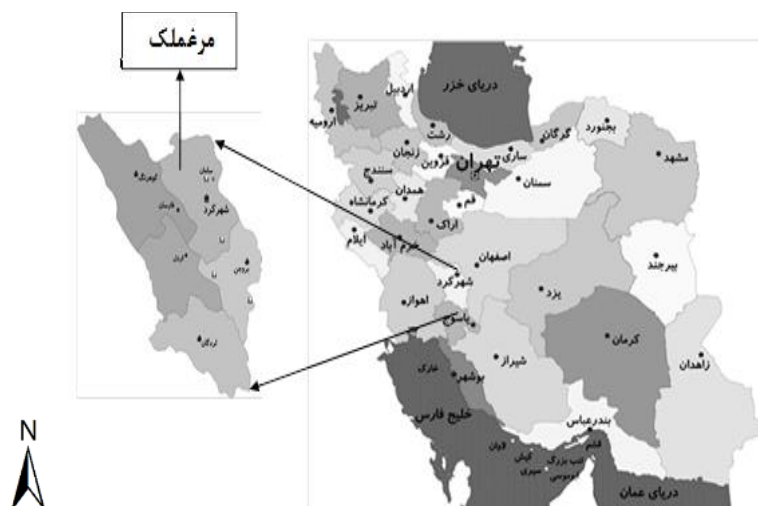
نتایج تحقیقات انجام شده با روش‌ها و در مکان‌های مختلف نشان می‌دهد که مدل‌های نفوذ برگزیده شده در پژوهش‌های مختلف با توجه به مکان و شرایط متفاوت می‌باشد. حاتمی گل‌مکانی و همکاران (۱۰) بیان نمودند که نتایج اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی بسته به هدف پژوهش، بافت و ساختمان خاک، شرایط منطقه مورد مطالعه، امکانات در دسترس و روش‌های مختلف تحلیل داده‌های به‌دست آمده بسیار متفاوت خواهد بود. بنابراین با توجه به ضرورت تعیین نفوذ در مطالعات هیدرولوژی و برنامه‌ریزی مدیریت آب و از آنجایی که هر مدل در شرایط خاص بهترین برآزش را با داده‌های تجربی دارد، در این پژوهش، ارزیابی مدل‌های نفوذ کوستیاکوف، سازمان حفاظت خاک آمریکا و فیلپ به‌منظور انتخاب مدل مناسب در برآورد نفوذ جمعی به‌عنوان هدف اصلی، مدنظر قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در حوزه آبخیز مرغملک و شهرستان شهرکرد، واقع در استان چهارمحال و بختیاری انجام شد. زیرحوضه مرغملک از زیر حوضه‌های زاینده‌رود با مساحت ۹۷ کیلومترمربع در ۵۵ کیلومتری شمال غرب شهرستان شهرکرد (مرکز استان چهارمحال و بختیاری) قرار دارد. زیرحوضه مرغملک در محدوده جغرافیایی، عرض $30^{\circ} 22' 32''$ و طول $50^{\circ} 22' 30''$ تا $50^{\circ} 34' 30''$ شهرکرد قرار دارد. بارش متوسط سالیانه ۴۰۰ میلی‌متر است که بیشتر در زمستان و بهار اتفاق می‌افتد. دمای متوسط سالانه ۲۳ درجه سانتی‌گراد با میانگین حداقل ۳/۸ و میانگین حداکثر ۳۰/۷ درجه سانتی‌گراد است. شهرستان شهرکرد نیز دارای اقلیم نیمه‌مرطوب معتدل با تابستان‌های معتدل و زمستان‌های بسیار سرد است. میانگین دمای هوا در شهرکرد ۱۱/۵ درجه سانتی‌گراد است (مطالعه فرسایش و خاکشناسی حوزه مرغملک، ۱۳۷۲).

ضریب تبیین ۹۷ درصد، کارایی بهتری داشته است. برای خاک‌های لخت نیز مدل فیلپ با ضریب تبیین ۹۴ درصد نسبت به مدل کوستیاکوف با ضریب تبیین هفت درصد عملکرد بهتری داشته است. ملکی و همکاران (۱۷) با مقایسه مدل‌های نفوذ کوستیاکوف، فیلپ و سازمان حفاظت خاک در اراضی اهواز بیان نمودند که مدل سازمان حفاظت خاک با خطای متوسط ۱۱/۶ درصد در محاسبه حجم آب نفوذی از کارایی بیشتری نسبت به سایر مدل‌های نفوذ در منطقه مورد مطالعه برخوردار بوده است.

از روش‌های صحرایی معمول برای اندازه‌گیری هدایت آبی خاک می‌توان به روش‌های استوانه‌های چندگانه، تک‌استوانه، نفوذ سنج گلف و قرص یا نفوذسنج مکشی اشاره کرد (۲۱). پایه‌ی این روش‌ها، رسیدن به سرعت نفوذ شبه ماندگار آب در خاک می‌باشد (۲۵). یکی از روش‌های معمول در اندازه‌گیری نفوذ روش تک‌استوانه است. در این روش، فرض بر آن است که نفوذ آب به خاک از درون استوانه به‌صورت سه‌بعدی است و بر این اساس، جریان آب درون استوانه بر مبنای معادله ریچاردز حل شده و با حل آن بر اساس شرایط مرزی و اولیه‌ی اعمال شده، جریان یک بعدی شبیه‌سازی شده و سپس هدایت آبی اشباع عمودی خاک تعیین می‌گردد (۲۸). قربانی دشتکی و همکاران (۷) نفوذ آب به خاک را در منطقه تنگ نثار بن واقع در استان چهارمحال و بختیاری که دارای مراتع حفاظت شده و مراتع تخریب شده بود به‌روش تک‌استوانه‌ای (قطر ۳۰ سانتی‌متر) اندازه‌گیری کردند، نتایج نشان داد که میانگین نفوذ جمعی آب به خاک در مرتع حفاظت‌شده بیشتر از مقدار آن در مراتع تخریب شده بود. ایشان همچنین بیان نمودند که عملیات شخم و شیار و تخریب مرتع، یکی از دلایل کاهش نفوذ آب به خاک در مراتع تخریب شده نسبت به مراتع حفاظت شده باشد. زیرا در اثر عملیات شخم و شیار، ماده‌الی خاک برای تجزیه میکروبی سهل‌الوصول‌تر شده و در نتیجه ساختمان خاک تخریب و همچنین سخت لایه‌ای با نفوذپذیری کم در خاک‌رخ ایجاد می‌گردد. یمین مشرفی و همکاران (۳۶) با استفاده از دو روش استوانه‌های دوگانه و تک‌استوانه در سه قطعه زمین آزمایشی، و سه نمونه برای هر روش، نفوذ آب به خاک را اندازه‌گیری و مقایسه نمودند نتایج نشان دادند که بین این دو روش در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. لین و همکاران (۱۵) هدایت آبی اشباع را با استفاده از روش‌های تک‌استوانه، استوانه‌های دوگانه، نفوذسنج مکشی و نفوذسنج گلف اندازه‌گیری کردند. نتایج نشان داد که هدایت آبی اشباع اندازه‌گیری شده با استفاده از روش تک‌استوانه نسبت به سایر روش‌ها اختلاف معنی‌داری نداشته و می‌تواند به‌عنوان یک روش مناسب در اندازه‌گیری هدایت آبی خاک استفاده شود. رینولدز و همکاران (۲۷) هدایت آبی اشباع را در سه نوع خاک با بافت‌های شنی، متوسط و متوسط رسی با استفاده از روش‌های نفوذسنج قرص، نفوذسنج تک‌استوانه و



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه
Figure 1. Location of study area

درجه به مدت ۲۴ ساعت، بودند.

اندازه‌گیری نفوذ آب به خاک

در این تحقیق به منظور اندازه‌گیری نفوذ آب به خاک از روش تک‌استوانه استفاده شد. در روش تک‌استوانه، استوانه‌ای به قطر داخلی ۳۵ سانتی‌متر تا عمق ۱۵ سانتی‌متر در خاک مستقر گردید و عمقی معادل ۱۲ سانتی‌متر آب ریخته شد. سپس سرعت ورود آب به خاک در استوانه تعیین گردید (۵). در این روش افت سطح آب در استوانه نسبت به زمان در یک تکرار سنجش می‌گردد و هرگاه تغییرات سطح آب در استوانه در واحد زمان در اندازه‌گیری‌های متوالی، مقادیر تقریباً یکسانی شد، به‌عنوان نفوذ پایه (q_s) در نظر گرفته می‌شود و زمان رسیدن به نفوذ پایه محاسبه می‌شود (۲۲). در این پژوهش نفوذ آب به خاک در هر ۳ کاربری در دو بافت سیلتی‌کلی لوم (SCL) و کلی لوم (CL) با سه تکرار اندازه‌گیری شد (۱۸ بار نفوذ اندازه‌گیری گردید).

روش نمونه‌برداری

ابتدا نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ تهیه شد. نقاط نمونه‌برداری به‌طور تصادفی بر روی محدوده مطالعاتی تعیین گردید. پس از تعیین مختصات جغرافیایی نقاط، موقعیت نقاط توسط دستگاه GPS در صحرا مشخص شد. سپس ۱۸ نمونه خاک از سه کاربری کشاورزی، باغ و مرتع با بافت‌های (سیلتی‌کلی لوم و کلی لوم) از عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متر با استفاده از بیلچه برداشته و به آزمایشگاه منتقل شد. نمونه‌ها پس از هوا خشک شدن و عبور از الک ۲ میلی‌متری برای انجام آزمایش‌های خاک آماده شدند. آزمایش‌های انجام شده شامل بافت خاک به روش هیدرومتر (۶)، کربن آلی با اکسیداسیون توسط دی‌کرومات پتاسیم (۳۴)، جرم مخصوص ظاهری نمونه‌ها با روش سیلندر با ابعاد معین و رطوبت خاک پس از وزن خاک بلافاصله پس از نمونه‌برداری و مقایسه آن با وزن خاک پس خشک‌کردن در آون ۱۰۵



شکل ۲- اندازه‌گیری برخی ویژگی‌های آزمایشگاهی و نفوذ آب به خاک با استفاده از تک‌استوانه

Figure 2. Measurement of some laboratory characteristics and water infiltration into the soil using single ring

مدل‌های نفوذ

به مدل سازمان حفاظت خاک آمریکا معروف است. طبق معادله ۳ رابطه سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS) بدین صورت می‌باشد:

$$I(t) = at^b + c \quad \text{رابطه (۳)}$$

در این رابطه I مقدار نفوذ تجمعی از زمان شروع نفوذ (سانتی‌متر)، c عدد ثابت و برابر ۰/۶۹۸۵، t زمان از لحظه شروع نفوذ (دقیقه) و ضرایب a و b تابعی از شماره منحنی نفوذ هستند. مدل فیلیپ: یکی دیگر از مدل‌های نفوذپذیری، مدل فیلیپ است. در این مدل، مقدار نفوذ تجمعی و سرعت نفوذ از رابطه ۴ محاسبه می‌گردد:

$$F(t) = St^{1/2} + Kt \quad \text{رابطه (۴)}$$

در این معادله، S: ضریب جذبی خاک، K: هدایت هیدرولیکی بر حسب سانتی‌متر بر ساعت. و دو متغیر S و K در معادله فیلیپ به ترتیب نشانگر مکش خاک و اثر جاذبه می‌باشند. مدل‌های نفوذ آب به خاک و ضرایب آن‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است.

مدل کوستیاکوف: کوستیاکوف در سال ۱۹۳۲ رابطه تجربی (۱) را برای تعیین مقدار نفوذ تجمعی پیشنهاد کرد. اگر از این رابطه مشتق گرفته شود رابطه بعدی که مشتق می‌شود رابطه (۲)، برای محاسبه نفوذ لحظه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد.

$$I(t) = ct - a \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$i = (c/I - a) t^{1-a} \quad \text{رابطه (۲)}$$

در این روابط c و a ضرایب مختلفی برای خاک‌های مختلف بوده و مقدار c و a به ترتیب بزرگ‌تر از صفر و بین صفر تا یک می‌باشد و به روش تجربی تعیین می‌شود، t زمان و I میزان نفوذ در زمان t، I نفوذ تجمعی و i نفوذ لحظه‌ای است.

روش سازمان حفاظت خاک آمریکا:

کارشناسان سازمان حفاظت خاک آمریکا در سال ۱۹۸۹ بر اساس مدل کوستیاکوف، آزمایش‌های زیادی در مزارع انجام داده اند که نهایتاً منجر به روشی در محاسبه نفوذ گردید که

جدول ۱- مدل‌های نفوذ آب به خاک و ضرایب آن‌ها

Table 1. Models of water infiltration into soil and their coefficients

نام مدل	معادله نفوذ	ضرایب
کوستیاکوف	$I = ct^a$	c و a
سازمان حفاظت آمریکا (SCS)	$I = at^b + c$	c b و a
فیلیپ	$I = St^{1/2} + kt$	K و S

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (Q_o - Q_s)^2} \quad \text{رابطه (۵)}$$

$$Nash = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_o^2 - Q_s^2)}{\sum_{i=1}^n (Q_o^2 - Q_o)} \quad \text{رابطه (۶)}$$

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_o - Q_s)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_o - Q_s)^2} \quad \text{رابطه (۷)}$$

در این روابط Q_s مقدار برآورد شده، Q_o مقدار مشاهده شده و Q میانگین مقادیر مشاهده شده و N تعداد داده‌های اندازه‌گیری نفوذ می‌باشد.

نتایج و بحث

برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی اندازه‌گیری شده در کاربری‌های مختلف در دو بافت (سیلتی کلی لوم و کلی لوم) در جدول ۲ آمده است.

نفوذ تجمعی توسط مدل‌های ارائه شده در جدول ۱ در نرم‌افزار curve expert (۲۴) به دست آمد و با مقدار واقعی به دست آمده در صحرا مقایسه گردید. سپس برای ارزیابی دقت مدل‌های نفوذ و انتخاب مدل مناسب در کاربری‌های کشاورزی، باغ و مرتع از پارامترهای آماری ضریب کارایی نش-ساتکلیف (Nash)، RMSE ریشه میانگین مربعات خطا و ضریب تبیین استفاده شد. ریشه میانگین مربعات خطا، نشان‌دهنده اختلاف کلی بین مقادیر اندازه‌گیری شده و مقادیر تخمینی می‌باشد رابطه (۵). از بین مدل‌های مذکور مدلی که از ضریب کارایی نش-ساتکلیف بالاتر و ریشه میانگین مربعات خطا کمتر برخوردار باشد به صورت مناسب‌ترین مدل انتخاب شد. مقدار کارایی مدل نیز نشان‌دهنده صحت برازش داده است و از منفی بی‌نهایت در بدترین حالت، تا یک در زمان برازش کامل داده‌ها تغییر می‌کند رابطه (۶).

جدول ۲- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی در کاربری و بافت‌های مختلف

Table 2. Some physical and chemical properties in different land uses and textures

کاربری‌ها	بافت‌ها	درصد رس	درصد شن	درصد سیلت	جرم مخصوص ظاهری (gr/kg)	درصد ماده‌الی	رطوبت جرمی اولیه خاک
کشاورزی	سیلتی کلی لوم (SCL)	۲۸	۲۰	۵۲	۰/۹۶	۲/۴۵	۱
	کلی لوم (CL)	۳۰	۲۴	۴۶	۱	۲/۰۳	۲/۲۵
باغ	سیلتی کلی لوم (SCL)	۳۰	۲۰	۵۰	۱/۱۴	۱/۸۴	۲/۱۸
	کلی لوم (CL)	۳۲	۲۲	۴۲	۱/۲۵	۱/۱۲	۳/۴۶
مرتع	سیلتی کلی لوم (SCL)	۳۲	۱۸	۵۰	۱/۵۸	۱/۲۴	۳/۷۱
	کلی لوم (CL)	۳۶	۲۲	۴۶	۱/۸۳	۱/۰۵	۴/۲۷

سرعت نفوذ نهایی و زمان تا لحظه تثبیت نفوذ، در کاربری‌ها در بافت‌های سیلتی کلی لوم (SCL) و کلی لوم (CL) محاسبه گردید که نتایج حاصل از آن در جدول ۳ آمده است.

به دلیل متفاوت بودن بسیاری از ویژگی‌های فرایند نفوذپذیری در کاربری و بافت‌های مختلف، برخی پارامترها از قبیل نفوذ تجمعی، متوسط سرعت نفوذ، حداکثر سرعت نفوذ،

جدول ۳- پارامترهای اندازه‌گیری نفوذ در کاربری‌های مختلف در دو بافت

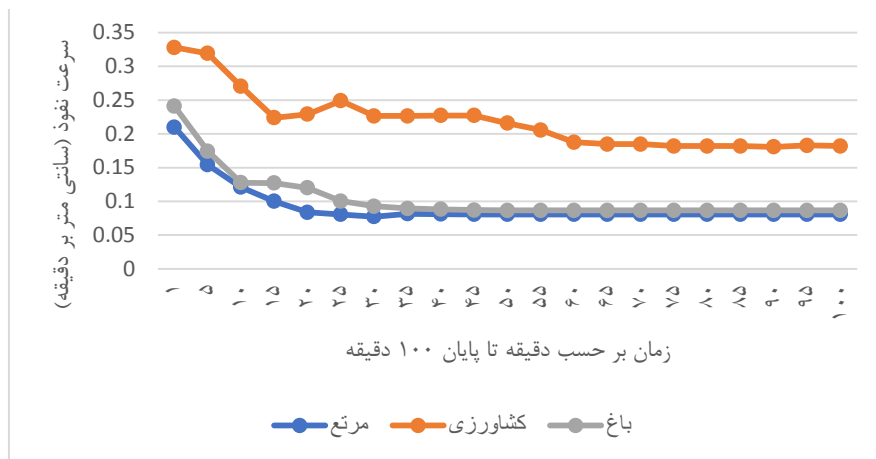
زمان تا لحظه تثبیت نفوذ (دقیقه)		سرعت نفوذ نهایی (سانتی‌متر بر دقیقه)		حداکثر سرعت نفوذ (سانتی‌متر بر دقیقه)		متوسط سرعت نفوذ (سانتی‌متر بر دقیقه)		نفوذ تجمعی (سانتی‌متر) تا زمان ۱۰۰ دقیقه		پارامترها
CL	SCL	CL	SCL	CL	SCL	CL	SCL	CL	SCL	بافت / کاربری
۰/۰۱۶	۰/۰۱	۰/۱۸	۰/۲۷	۰/۳۲	۰/۳۴	۰/۲۲	۰/۲۷	۲۲	۲۷	کشاورزی
۰/۰۲۱	۰/۰۲۳	۰/۰۸	۰/۱۳	۰/۲۴	۰/۲۱	۰/۱۱	۰/۱۷	۱۱	۱۷	باغ
۰/۰۲۱	۰/۰۲	۰/۰۸	۰/۰۹	۰/۲۱	۰/۲۱	۰/۱	۰/۱۲	۱۰	۱۲	مرتع

کلی لوم به ترتیب ۰/۲۷ و ۰/۲۲، ۰/۱۷ و ۰/۱۱، ۰/۱۲ و ۰/۱ و می‌باشند. به‌طور کلی هرچه از کاربری کشاورزی به سمت باغ و مرتع می‌رویم از متوسط سرعت نفوذ، حداکثر سرعت نفوذ و سرعت نفوذ نهایی کاسته می‌شود. نتایج به‌دست آمده از مقایسه نفوذ تجمعی، متوسط سرعت نفوذ، حداکثر سرعت نفوذ و سرعت نفوذ نهایی در کاربری‌های مختلف با نتایج (۳۱) هم‌خوانی دارد.

در ادامه برای مقایسه کلی تغییرات سرعت نفوذ نسبت به زمان نیز اقدام به ترسیم نمودار آهنگ تغییرات نفوذ در هر سه کاربری در بافت مورد مطالعه نموده که در شکل ۲ آمده است.

مطابق مقادیر حاصله از جدول ۳، بیش‌ترین نفوذ تجمعی در کاربری کشاورزی در بافت‌های سیلتی کلی لوم و کلی لوم به ترتیب ۲۷ و ۲۲، در کاربری باغ ۱۷ و ۱۱ و در کاربری مرتع ۱۲ و ۱۰ می‌باشد. متوسط سرعت نفوذ با استفاده از رابطه (۸) محاسبه گردید که بر این اساس، مقدار آن در کاربری کشاورزی بیش‌تر از باغ و در باغ بیش‌تر از مرتع است.

رابطه (۸) $I=CF/T$
 در این رابطه I متوسط سرعت نفوذ، CF مقدار نفوذ تجمعی در کل مدت‌زمان اندازه‌گیری نفوذ و T کل زمان اندازه‌گیری محسوب می‌گردد. متوسط سرعت نفوذ، در کاربری کشاورزی، باغ و مرتع در بافت‌های سیلتی کلی لوم و



شکل ۳- آهنگ تغییرات متوسط سرعت نفوذ در هر سه کاربری در بافت کلی لوم

Figure 3. Average changes in infiltration rate in all three Land uses in the Clay loam tissue

میانگین مربعات، ضریب کارایی نش-سانتکلیف و ضریب تبیین استفاده شد که نتایج آن‌ها در جدول‌های ۶ الی ۸ آمده است.

پس از آن، ضرایب سه مدل نفوذ محاسبه گردید که در جدول‌های ۴ و ۵ مشاهده می‌گردد. به‌منظور مقایسه مدل‌های نفوذ در کاربری‌های کشاورزی، مرتع و باغ در دو بافت سیلتی کلی لوم و کلی لوم از معیارهای سنجش خطای، ریشه

جدول ۴- محاسبه ضرایب معادلات نفوذ در سه کاربری کشاورزی، باغ و مرتع در بافت سیلتی کلی لوم

Table 4. Influence equations coefficients calculation for three land uses of agriculture, garden and pasture in silty clay loam texture

نام مدل	کشاورزی	باغ	مرتع
مدل‌ها	سیلتی کلی لوم	سیلتی کلی لوم	سیلتی کلی لوم
کوستیاکوف	$I = 0.11 * t^{0.066}$	$I = 0.21 * t^{0.076}$	$I = 0.1 * t^{0.078}$
سازمان حفاظت آمریکا (SCS)	$I = 0.084 * t^{0.069} + 69850$	$I = 0.11 * t^{0.083} + 69850$	$I = 0.04 * t^{0.089} + 69850$
فیلیپ	$I = 0.26 * t^{0.05} + 0.026 * t$	$I = 0.81 * t^{0.05} + 0.18 * t$	$I = 0.49 * t^{0.05} + 0.11 * t$

جدول ۵- محاسبه ضرایب معادلات نفوذ در سه کاربری کشاورزی، باغ و مرتع در بافت سیلتی کلی لوم

Table 5. Influence equations coefficients calculation for three land uses of agriculture, garden and pasture in clay loam texture

نام مدل	کشاورزی	باغ	مرتع
مدل‌ها	کلی لوم	کلی لوم	کلی لوم
کوستیاکوف	$I = 0.14 * t^{0.083}$	$I = 0.17 * t^{0.073}$	$I = 0.16 * t^{0.073}$
سازمان حفاظت آمریکا (SCS)	$I = 0.08 * t^{0.089} + 69850$	$I = 0.06 * t^{0.084} + 69850$	$I = 0.05 * t^{0.085} + 69850$
فیلیپ	$I = 0.66 * t^{0.05} + 0.26 * t$	$I = 0.59 * t^{0.05} + 0.1 * t$	$I = 0.53 * t^{0.05} + 0.09 * t$

باغ بیش‌تر از مرتع است. که نشان‌دهنده دست‌خورده شدن و ورود دام در مرتع و لگدکوبی زیاد و سفت‌شدن و سله بستن خاک است، که در نهایت، باعث کاهش پوشش گیاهی و نفوذ آب در خاک شده و بالطبع سبب افزایش سیلاب و فرسایش، آلودگی محیط زیست، قحطی و خشکسالی می‌شوند. هم‌چنین در مورد کاربری کشاورزی بالا بودن مقادیر پارامترهای ذکر شده را می‌توان به زیاد بودن ماده‌الی و کم بودن جرم مخصوص ظاهری و رطوبت خاک نسبت به سایر کاربری‌ها ارتباط داد.

از آن‌جا که کمی کردن پدیده نفوذ آب به خاک در مدیریت منابع آب و حوزه‌های آبخیز، از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است (۱)، بنابراین، انواع مختلفی از مدل‌ها، با درجات مختلفی از پیچیدگی، برای رسیدن به این اهداف (کمی کردن پدیده نفوذ)، توسعه یافته‌اند. این مدل‌ها برای درک بهتر فرایند نفوذ طراحی شده‌اند و ابزاری برای ارزیابی مشکلات محیطی در کاربری‌های مختلف هستند. براساس نتایج به‌دست آمده از تحقیق حاضر از جدول ۳ و شکل ۳، مقادیر نفوذ تجمعی، سرعت نفوذ نهایی، حداکثر سرعت نفوذ، زمان تا لحظه تثبیت نفوذ در کاربری کشاورزی بیشتر از کاربری باغ و در کاربری

جدول ۶- معیارهای سنجش خطا برای هر یک از مدل‌ها در کاربری کشاورزی

Table 6. Error measurement criteria for each model in Agricultural land use

ضریب کارایی نش-ساتکلیف		انحراف معیار		ریشه میانگین مربعات خطا		ضریب تبیین	
مدل‌ها	بافت‌ها	CL	SCL	CL	SCL	CL	SCL
کوستیاکوف		0.99	0.99	0.1	0.24	0.14	0.24
سازمان حفاظت آمریکا		0.99	0.99	0.28	0.28	0.3	0.24
فیلیپ		0.99	0.99	0.17	0.21	0.20	0.24

SCL: بافت سیلتی کلی لوم و CL: بافت کلی لوم

جدول ۷- معیارهای سنجش خطا برای هر یک از مدل‌ها در کاربری باغ

Table 7. Error measurement criteria for each model in Garden land use

ضریب کارایی نش-ساتکلیف		انحراف معیار		ریشه میانگین مربعات خطا		ضریب تبیین	
مدل‌ها	بافت‌ها	CL	SCL	CL	SCL	CL	SCL
کوستیاکوف		0.99	0.99	0.39	0.08	0.06	0.09
سازمان حفاظت آمریکا		0.97	0.97	0.33	0.24	0.15	0.31
فیلیپ		0.93	0.98	0.95	0.15	0.25	0.15

SCL: بافت سیلتی کلی لوم و CL: بافت کلی لوم

جدول ۸- معیارهای سنجش خطا برای هر یک از مدل‌ها در کاربری مرتع

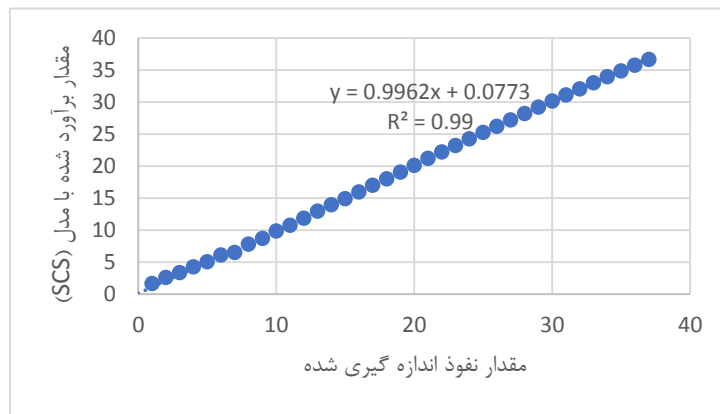
Table 8. Error measurement criteria for each model in Pasture land use

ضریب تبیین		ریشه میانگین مربعات خطا		انحراف معیار		ضریب کارایی نش-ساتکلیف		بافت‌ها	مدل‌ها
CL	SCL	CL	SCL	CL	SCL	CL	SCL		
۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۰۹	۰/۱	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹	کوستیاکوف	
۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۱۳	۰/۱۸	۰/۲۷	۰/۳۱	۰/۹۹۷	۰/۹۹۷	سازمان حفاظت آمریکا	
۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۰۹	۰/۳	۰/۰۸	۰/۰۸۱	۰/۹۹۸	۰/۹۸۹	فیلیپ	

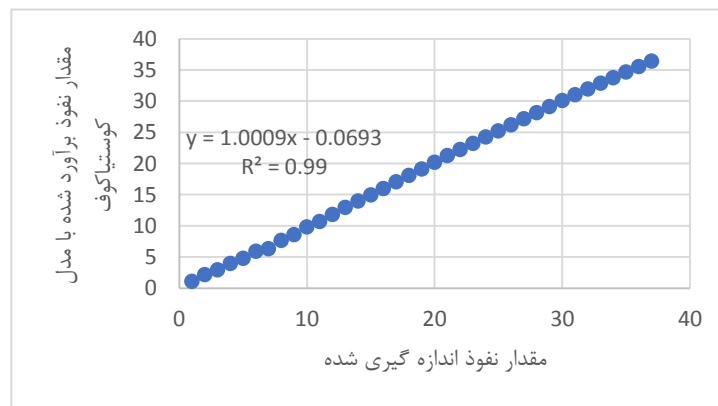
SCL: بافت سیلتی کلی لوم و CL: بافت کلی لوم

تجمعی استفاده، و پارامترهای برازشی هر یک از مدل‌های نفوذ را با استفاده از بهینه‌سازی غیرخطی به روش حداقل مربعات تعیین نمودند. نتایج تحقیق ایشان نشان داد که همه مدل‌ها در هر سه کاربری دارای ضریب تبیین بالای ۰/۹۸ و ۰/۹۹ و تفاوت خطای ناچیز بودند ایشان مدل کوستیاکوف-لوییز را بهترین مدل برای کمی کردن فرآیند نفوذ آب به خاک معرفی و بیان نمودند یکی از دلایل برتری این مدل بیش‌تر بودن تعداد پارامترهای آن نسبت به سایر مدل‌ها می‌باشد.

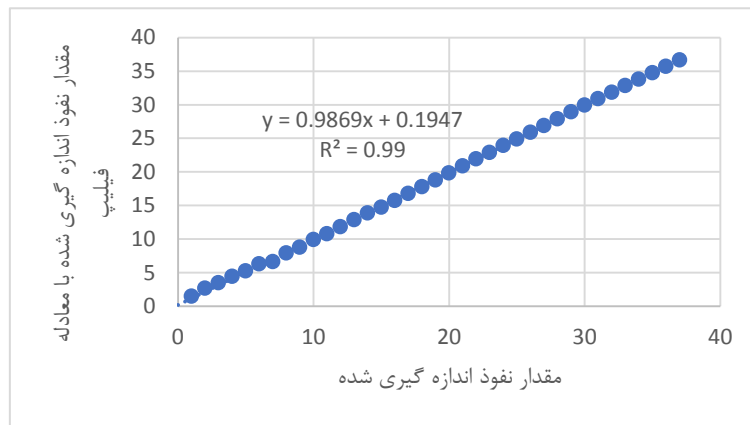
بیات‌ورکشی و همکاران (۴) نفوذ آب به خاک را با استفاده از استوانه دوگانه در دو خاک شخم‌خورده و شخم‌نخورده بررسی کرده و ۵ مدل برآوردکننده نفوذ (کوستیاکوف، کوستیاکوف-لوییز، فیلیپ، سازمان حفاظت آمریکا و هورتون) را برازش دادند و به کارایی مدل نش-ساتکلیف و ضریب تبیین برای تمامی مدل‌ها در هر دو خاک دست یافتند. سعدی‌خانی و سهرابی (۲۹) نفوذ تجمعی آب به خاک را در سه کاربری زراعت، باغ و مرتع با استفاده از استوانه‌های دوگانه، اندازه‌گیری و مدل‌های نفوذ فیلیپ، سازمان حفاظت آمریکا، کوستیاکوف و کوستیاکوف-لوییز را در برآورد نفوذ



شکل ۴- مقدار نفوذ تجمعی اندازه‌گیری شده و برآوردی با فرمول سازمان حفاظت آمریکا در کاربری کشاورزی در بافت سیلتی کلی لوم
 Figure 4. Measured and estimated cumulative infiltration amount with SCS in Agricultural land use in Silty clay loam texture



شکل ۵- مقدار نفوذ تجمعی اندازه‌گیری شده و برآوردی با فرمول کوستیاکوف در کاربری کشاورزی در بافت سیلتی کلی لوم
 Figure 5. Measured and estimated cumulative infiltration amount with Kostiakov model in Agricultural land use in Silty clay loam texture



شکل ۶- مقدار نفوذ تجمعی اندازه‌گیری شده و برآوردی با فرمول فیلیپ در کاربری کشاورزی در بافت سیلتی کلی لوم
Figure 6. Measured and estimated cumulative infiltration amount with Philip model in Agricultural land use in Silty clay loam texture

کوستیاکوف و پس از آن فیلیپ دارای کمترین میزان خطا هستند. در کاربری مرتع نیز مدل کوستیاکوف دارای کمترین ریشه میانگین مربعات خطا در هر دو بافت نسبت به سایر مدل‌ها می‌باشد. در کاربری مرتع پس از مدل کوستیاکوف، مدل سازمان حفاظت آمریکا دارای کمترین میانگین مربعات خطا است. پرچمی عراقی و همکاران (۲۲) ضمن تعیین ضرایب مدل‌های نفوذ گرین و آمپ، فیلیپ، کوستیاکوف و کوستیاکوف اصلاح‌شده، مقادیر حاصل از این مدل‌ها را با داده‌های تجربی مقایسه کرده و با برآزش مدل‌های مختلف نفوذ و هم‌خوانی آن‌ها با مشاهدات تجربی نشان داد که مدل تجربی کوستیاکوف بهترین برآزش را با داده‌های به‌دست آمده در خاک منطقه دارد. نشاط و پاره‌کار (۲۱) و سپهوند و همکاران (۳۰)، با استفاده از روش استوانه‌های مضاعف در سطوح مختلف رطوبتی مدل‌های نفوذ را برآورد و بیان نمودند که مدل کوستیاکوف بهترین مدل در کاربری مرتع می‌باشد. سلیمانی و همکاران (۳۱) و لشنی‌زند و همکاران (۱۴) با استفاده از استوانه‌های مضاعف نفوذ آب به خاک را اندازه‌گیری و مدل‌های مختلف نفوذ را برآورد و بیان نمودند که مدل سازمان حفاظت خاک آمریکا از کارایی بالایی در کاربری مرتع برخوردار است. در این پژوهش در کاربری باغ مدل کوستیاکوف دارای ضریب کارایی و تبیین ۰/۹۹ و کمترین ریشه میانگین مربعات خطا را دارا بوده است، در این رابطه محمدی و رفاهی (۱۹) نیز به نتایج مشابهی دست یافتند. آن‌ها از توابع انتقالی برای تخمین پارامترهای مدل‌های فیلیپ و کوستیاکوف استفاده کردند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که مدل کوستیاکوف با رگرسیون بالاتر و خطای کمتر، برآزش بهتری با داده‌های واقعی داشته است. به‌طور کلی در بین سه مدل خطای مدل سازمان حفاظت آمریکا قدری بالاتر بوده است. دلیل این امر را می‌توان به ضریب ثابت ۰/۶۹۸۵ نسبت داد که برای بافت‌ها و کاربری اراضی متفاوت این عدد ثابت در مدل لحاظ می‌شود و موجب خطا در برآورد میزان نفوذ می‌گردد (۸). بر اساس نتایج به‌دست آمده از این پژوهش، میزان میانگین خطا در مدل کوستیاکوف نسبت به

شکل‌های ۴ الی ۶ ارتباط بین مقادیر اندازه‌گیری شده نفوذ در محل و مقدار برآوردی با ضرایب مدل‌ها حاصل از نرم‌افزار، برای کاربری کشاورزی در بافت سیلتی کلی لوم را نشان می‌دهد. شکل‌ها بیان می‌کنند که همبستگی بالایی بین مقادیر برآورد شده و اندازه‌گیری شده وجود دارد. با توجه به نتایج به‌دست آمده، می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که مدل‌های کوستیاکوف، فیلیپ و سازمان حفاظت آمریکا هر سه دارای کارایی بالایی در برآورد نفوذ تجمعی هستند. سلیمانی و همکاران (۳۱) نیز نفوذ آب به خاک را با استفاده از استوانه‌های مضاعف در سه کاربری اندازه‌گیری و با بررسی ۵ مدل برآورد نفوذ نشان دادند که مدل‌های سازمان حفاظت خاک آمریکا، کوستیاکوف و فیلیپ نسبت به سایر مدل‌ها ضریب تبیین و ضریب کارایی بالایی در هر سه کاربری داشته‌اند. کاووسی و همکاران (۱۲) با استفاده از استوانه‌های مضاعف نفوذ آب به خاک را در چهار کاربری اندازه‌گیری و با ارزیابی همبستگی و خطای مدل‌های نفوذ گرین آمپ، کوستیاکوف، سازمان حفاظت آمریکا و فیلیپ نشان دادند که مدل کوستیاکوف برای برآورد نفوذ آب به خاک دقت بهتری داشته است و مدل‌های سازمان حفاظت خاک، فیلیپ و گرین آمپ بعد از آن در رده‌های بعدی اول تا سوم قرار دارند. نتایج به‌دست آمده از این تحقیق نشان داد که به‌طور کلی، در هر سه کاربری کشاورزی، باغ و مرتع مدل‌های سازمان حفاظت خاک آمریکا، کوستیاکوف و فیلیپ ضریب تبیین و کارایی بالا (۰/۹۹) و ریشه میانگین مربعات خطای پایینی هستند، اما مدل کوستیاکوف در هر سه کاربری خطای کمتری نسبت به سایر مدل‌ها داشته است. براساس آنچه که در جدول ۶ تا ۸ مشاهده می‌شود، در بافت سیلتی کلی لوم در کاربری کشاورزی هر سه مدل کوستیاکوف، سازمان حفاظت آمریکا و فیلیپ دارای ضریب کارایی ۰/۹۹، ضریب تبیین ۰/۹۹ و ریشه میانگین مربعات خطا ۰/۲۴ می‌باشند. در بافت کلی لوم در کاربری کشاورزی با ضریب تبیین و ضریب کارایی ۰/۹۹ مدل کوستیاکوف دارای کمترین میانگین مربعات خطا ۰/۱۴ و سپس فیلیپ ۰/۲ هستند. طبق جدول ۹ در کاربری باغ

استثنای بافت‌های لومی و لومی‌شنی که در آن مدل سازمان حفاظت خاک آمریکا با میزان خطای کمتر مدل برتر بوده است. ملکی و همکاران (۱۷) نیز گزارش نمودند که مدل سازمان حفاظت خاک آمریکا برازش خوبی با داده‌های تجربی دارد. نتایج محمدی و رفاهی (۱۹) نیز در خاک‌های لومی و لومی‌رسی نشان داد که مدل کوستیاکوف بهترین عملکرد را در برآورد مقدار نفوذ دارا می‌باشد. قربانی دشتکی و همکاران (۸) گزارش نمودند که مدل فیلیپ کارایی بهتری نسبت به مدل کوستیاکوف دارد، با توجه به نتیجه این پژوهش هر سه مدل کارایی بالایی برای برآورد نفوذ داشته‌اند. به‌طور کلی جمع‌بندی تحقیقات قبلی، حاکی از آن است که تحقیقات مختلف دارای نتایج ضد و نقیضی بوده است که این تضاد به‌دلیل طبیعت تغییرپذیری فرآیند نفوذ می‌باشد، به‌طوری که یک مدل نفوذ در دو خاک مشابه از نظر خصوصیات فیزیکی، ممکن است دارای عملکرد متفاوت باشد (۸،۳۲).

دو مدل دیگر کمتر است. ضریب تبیین و ضریب کارایی در مدل کوستیاکوف بالاتر می‌باشد ولی با توجه به میزان خطا به‌دست آمده دقت این معادله در کاربری کشاورزی کمتر است. در مدل فیلیپ چون ضریب سوم را برابر با سرعت نفوذ پایه در خاک لحاظ کردیم نسبت به مدل سازمان حفاظت خاک آمریکا خطای کمتر و دقت بالاتری داد. در کاربری مرتع میزان مربعات خطا به‌طور متوسط در هر دو بافت در هر سه مدل نفوذ کمتر شده است دلیل این امر را می‌توان به دست‌نخورده‌تر بودن این کاربری نسبت به کاربری کشاورزی و باغ ارتباط داد. در مقایسه بین بافت‌ها نیز به‌طور کلی می‌توان گفت که هر سه مدل دارای ضریب کارایی و تبیین بالا بودند اما مدل کوستیاکوف با اختلاف کم دارای بیشترین ضریب تبیین و کارایی و کمترین ریشه میانگین مربعات خطا نسبت به سایر مدل‌ها، در رتبه اول قرار دارد. کاووسی و همکاران (۱۲) در مقایسه بین بافت‌ها نشان دادند که در همه بافت‌ها مدل کوستیاکوف در رده نخست قرار گرفت، به

منابع

- Ahmadnejad, A.R., S.H. Golmaei and M.Z. Ahmadi. 2010. Simulation Rainfall- Runoff Processes and Water Balance Component in Rivers Basin (Case Study: Korkorsar River Basin). Journal of Water Management Research, 1(1): 74-87 (In Persian).
- Argyrokastritis, I. and P. Kerkides. 2003. A Note to the Variable Sorptivity Infiltration Equation. Water Resources Management, 17: 133-145.
- Bagarello, V. and A. Sgroi. 2007. Using the simplified falling head technique to detect temporal changes in field-saturated hydraulic conductivity at the surface of a sandy loam soil. Soil & Tillage Research, 94: 283-294.
- Bayatvarkeshi, M., H. Zareabyaneh, A.G. Firouzabadi and V. Karimi. 2017. Optimization of infiltration models coefficients in fields of Haraz extension and technology development center. Journal of Watershed Management Research, 8(16): 90-99 (In Persian).
- Bouwer, H. 1986. Intake rate. Cylinder infiltrometer. In: Klute A. (Eds), Methods of soil analysis. Part 1. America Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin USA, 825-843.
- Bouyoucos, G.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. Agronomy Journal, 54: 464-465.
- Ghorbani Dashtaki, S., M. Homaeae and M.H. Mahdian. 2010. Effect of Land Use Change on Spatial Variability of Infiltration Parameters. Iranian Journal of Irrigation and Drainage, 4: 193-205.
- Ghorbani Dashtaki, S., M. Homaeae, M. Mahdian and M. Kouchakzadeh. 2009. Site dependence performance of infiltration models. Water Resource Management, 23: 2777-2790.
- Green, W.H. and G.A. Ampt. 1911. Studies in Soil Physics: I. the Flow of Air and Water Through Soils. Journal of Agriculture Science, 4: 1-24.
- HatamiGolmakani, P., V.B. Sheikh and M. Hosseinalizadeh. 2017. The effect of measurement methods on saturated hydraulic conductivity in eastern loess lands of Golestan province. J. of Soil Management and Sustainable. Production, 6(4): 87-102 (In Persian).
- Horton, R.E. 1940. An Approach Toward to Physical Interpretation of Infiltration Capacity. Soil Science Society of America Journal, 5: 399-417.
- Kavousi, S.S., M. Vafakhah and M.H. Mahdian. 2013. Evaluation of Some Infiltration Models for Different Land Uses in Kojour Watershed. Journal of Irrigation and Water Engineering, 4(13): 1-13 (In Persian).
- Kostiakov, A.N. 1932. On the Dynamic of Coefficient of Water-Percolation in Soils and on the Necessity for studying it from a Dynamic Point of View for Purposes of Amelioration. Transactions of 6th Congress of International Soil Science Society, Moscow, Part A, 17-21.
- Lashani Zand, M., A. Sepahvand and M. Taei Semiromi. 2012. The Comparison of Infiltration Models in Orderto Determine the Best Estimators of Infiltration Rate in the Rangeland and Woodland Land Uses (Case Study: Davood Rashid Watershed Lorestan Province). Journal of Natural Ecosystems of Iran, 2: 11-23 (In Persian).
- Lin, H.S., K.J. McInnes, L.P. Wilding and C.T. Hallmark. 1999. Effects of soil morphology on hydraulic properties: II. Hydraulic pedotransfer functions. Soil Science Society of America Journal, 63: 955-961.

16. Loaiciga, H.A. and A. Huang. 2007. Pounding Analysis with Green-Ampt Infiltration. *Journal of Hydrologic Engineering*, 12: 109-112.
17. Maleki, A., M. Behzad and M. Brumand Nasab. 2004. Determination and Evaluation of Infiltration models coefficients in Sugarcane Lands of South Ahvaz. *Scientific Journal of Agriculture*, 31: 27-46 (In Persian).
18. Mesri, S., S.H. Ghorbani Dashtaki, H. Shirani, A. Kamkar Rohani and H.M. Motaghian. 2020. Hydraulic conductivity estimation using different decision tree modeling scenarios. *Iranian Journal of Soil Research*, 34(1): 143-155 (In Persian).
19. Mohammadi, M.H. and H. Refahi. 2005. Estimating Parameters of infiltration equations using soil physical properties. *Journal of Agricultural Science*, 36(6): 1391-1398 (In Persian).
20. Mukheibir, P. 2008. Water Resources Management Strategies for Adaptation to Climate-Induced Impacts in South Africa. *Water Resources Management*, 22: 1259-1276.
21. Neshat, A. and M. Parekar. 2007. The comparison of methods for determining the vertical infiltration rate. *Journal of Agriculture Science Natural Resources*, 14(3): 186-195 (In Persian).
22. Parchami Araghi, F., S.M. Mirlatifi, S.H. Ghorbani Dashtaki and M.H. Mahdian. 2010. Evaluation of Some Soil Infiltration Models in Some Soil Texture Classes and Land Use. *Irrigation and Drainage of Iran*, 4(2): 193-205 (In Persian).
23. Rachman, S. 1992. Infiltration under different land use types at the upper ciliwung watershed of West Java, Indonesia. A Thesis Degree of Master, University of Canberra, 141 pp.
24. Reddy, K.S., V. Maruthi and B. Umeha. 2015. Influence of super absorbent polymers on infiltration characteristics of Alfisols in Semi-Arid region. *Indian Journal Dryland Agriculture Research & Development*, 30(2): 11-16.
25. Reynolds, W.D. 1993. Saturated hydraulic conductivity: field measurement. In: Carter, M. R. (Eds), *Soil Sampling and Methods of analysis*. Canadian Society of Soil Science. Lewis Publishers, Boca Raton, 599-613.
26. Reynolds, W.D. and D.E. Elrick. 1990. Ponded infiltration from a single ring: I. Analysis of steady state flow. *Soil Science Society of America Journal*, 54(5): 1233-1241.
27. Reynolds, W.D., B.T. Bowman, R.R. Brunke, C.F. Drury and C.S. Tan. 2000. Comparison of infiltration meter, pressure infiltration meter, and soil core estimates of saturated hydraulic conductivity. *Soil Science Society of America Journal*, 64(2): 478-484.
28. Reynolds, W.D., D.E. Elrick and E.G. Youngs. 2002. Ring or cylinder infiltrometers (vadose zone). In: Dane, J. H. and G. C. Topp (Eds), *Methods of soil analysis, Part 4. Physical methods*, Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin USA, 818-826.
29. Sadikhani, M.R. and A. Sohrabi. 2017. Effect of land use on the performance of selected soil water infiltration models. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 7(1): 127-138 (In Persian).
30. Sepahvand, A., M. Taei Semiromi, S.K. Mirnia and H.R. Moradi. 2011. Assessing the Sensitivity of Infiltration Models to Variability of Soil Moisture. *Journal of Water and Soil*, 25: 338-346 (In Persian).
31. Soleimani, L., A. Haghizade and H. Zeinivand. 2016. Overview Comparing the Various Models to Estimate Soil Permeability, 7th National Geological Conference, Lorestan Payame Noor University, 125-126 (In Persian).
32. Sy, N.L. 2006. Modeling the infiltration process with a multi-layer perceptron artificial neural network. *Hydrology Science Journal*, 51(1): 3-20.
33. Turner, E.R. 2006. Comparison of Infiltration Equations and Their Field. Validation with Rainfall Simulation. M.Sc. Thesis, University of Maryland, USA, 202 pp.
34. Walkley, A. and I.A. Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science Journal*, 37: 29-38.
35. Weiler, M. 2005. An Infiltration Model Based on Flow Variability in Macro Pores: Development, Sensitivity Analysis and Applications. *Journal of Hydrology*, 310: 294-315.
36. Yamin moshrefi, G., A. Maroofpour, B. Bahramnejad and A. Farabi. 2008. Examine the infiltration process using dual and single abilities. Third Conference of Agricultural Research and natural Resources. Sannadaj, Iran (In Persian).

The Determination of Infiltration in Various Land uses in Marghmalek and Shahrekord Watersheds

Samira Mesri¹, Shojae Ghorbani Dashtaki², Hossein Shirani³, Abolghasem Kamkarrohani⁴ and Hamid Reza Motaghian⁵

1- Ph.D. Student, Soil Science Department, Faculty of Agriculture University of Shahrekord, Iran
(Corresponding author: dorsa_mesry@yahoo.com)

2- Professor, Soil Science Department, Faculty of Agriculture University of Shahrekord, Iran

3- Professor, Soil Science Department, Faculty of Agriculture University of Rafsanjan, Iran

4- Associate Professor, Mining Engineering- Geophysics Department, Faculty of Agriculture University of Shahroud, Iran

5- Assistant Professor, Soil Science Department, Faculty of Agriculture University of Shahrekord, Iran

Received: August 17, 2019

Accepted: January 12, 2021

Abstract

One of the most important hydraulic parameters affecting soil quality is the infiltration of water into the soil. That, the direct measurement of infiltration process is difficult, time spending and expensive. Infiltration models play the main role in managing watershed. Therefore, it is necessary to study different infiltration models in order to compare and achieve the best infiltration model in the area. This research determined the best infiltration estimation model in the pasture, garden, agricultural land uses (in two textures of silty clay loam and clay loam), in the Charmahal and Bakhtiari province. In this study, infiltration measurements were carried out using the infiltrometer single ring (to the inner diameter 35 cm). The initial humidity measured were respectively in pasture land use in silty clay loam and clay loam tissues (3.71, 4.27), in garden land use (2.18, 3.46) and, in agriculture land use (1, 2.25). and then infiltration models of Philip, Kostiakov and Soil Conservation Service of America (SCS), used and thus evaluated by the coefficient of determination (R^2), Nash-Sutcliffe sufficiency score (NSSS), root mean squared error (RMSE) and mean error (ME). The results of this study showed that in rangeland use, the infiltration of all parameters (cumulative infiltration, the final infiltration rate and infiltration rate), is less than the garden and agriculture land use. It also compares the models, in the rangeland, but Kostiakov Model was accepted as the appropriate model in the garden, pasture and agricultural land use (in two soil texture), by Nash-Sutcliffe efficiency coefficient 0.99 and R^2 (0.99) and a smaller error than other models. The next good models that had high efficiency were the Philip model by Nash-Sutcliffe efficiency coefficient and ($R^2=0.99$) and an error of (0.15) in garden land use in silty clay loam texture, and the SCS model in pasture land (in SCL texture) with an error of 0.18.

Keywords: Infiltration, Kostiakov, Land Use, Philip, Single Rings, Soil conservation service of America



"مقاله پژوهشی"

تعیین الگوی کشت بهینه در حوضه آبریز تجن با استفاده از مدل سازی سیستمی

سیده فاطمه هاشمی^۱، علی شاهنظری^۲، محمود رایینی^۳، محمدرضا شهبازبگیان^۴ و یان فرانکلین آداموسکی^۵

- ۱- دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۲- استاد گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری (نویسنده مسوول: Alipoh@yahoo.com)
۳- استاد گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۴- استادیار گروه آمایش سرزمین و برنامه ریز جغرافیایی دانشگاه تربیت مدرس
۵- دانشیار گروه مهندسی انرژی، دانشگاه مگیل کانادا
تاریخ ارسال: ۹۸/۰۷/۳۰ تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۰/۰۳
صفحه: ۱۵۵ تا ۱۶۸

چکیده

از آنجا که در تخصیص بهینه منابع آب، حداکثرسازی درآمد، عمده ترین هدف مدل سازی است، پژوهش هایی که تاکنون در ارتباط با تخصیص منابع آب منتشر شده است، به مفاهیمی که مبتنی بر ساختار و روابط خطی مدل ذهنی است، معطوف بوده یا عدم تخصیص عادلانه آب را سبب می شود. همچنین بررسی این پژوهش ها نشان می دهد آگاهی کمی نسبت به رفتار دینامیکی طولانی مدت حوضه های رودخانه وجود دارد. لذا در این مطالعه، به بررسی الگوی بهینه کشت بر اساس تخصیص منابع و مصارف در حوضه آبریز تجن با استفاده از مدل SD در بازه زمانی ماهانه در طی سال های ۹۴-۱۳۴۲ با در نظر گرفتن نیاز شرب، صنعت، زیست محیطی و کشاورزی، پرداخته شده است. الگوی کشت به دست آمده مبنایی برای محاسبات میزان بهره وری مصرف آب در حوضه آبریز تجن می باشد. نتایج حاصل از واسنجی نشان داد که اگرچه میزان حجم آب خروجی از مخزن وابسته به حجم تقاضا بوده، اما ضریب اصلاحی مخزن مستقل از ضریب اصلاحی نیاز کشاورزی می باشد. همچنین نتایج نشان داد که بخش اعظم نیاز شرب، صنعت و زیست محیطی در منطقه تامین شده و مخازن در حوضه آبریز تجن برای تامین این نیازها موفق عمل کرده اند. اما کمبودهای قابل ملاحظه ای در بخش کشاورزی وجود دارد که با توجه به حجم اندک آب زیرزمینی در این حوضه، لزوم تغییر الگوی کشت، اجتناب ناپذیر خواهد بود. بررسی الگوی کشت بهینه نیز نشان داد که سیاه ریشه با بالاترین نسبت درآمد به هزینه، در تمامی مناطق بیشترین سطح زیر کشت را به خود اختصاص داده است و بعد از آن مرکبات و ذرت دانه ای سطح زیر کشت غالب مناطق شناخته شده است.

واژه های کلیدی: تخصیص منابع و مصارف، بهینه سازی غیرخطی، حوضه آبریز تجن، درآمد به هزینه، مدل VENSIM

مقدمه

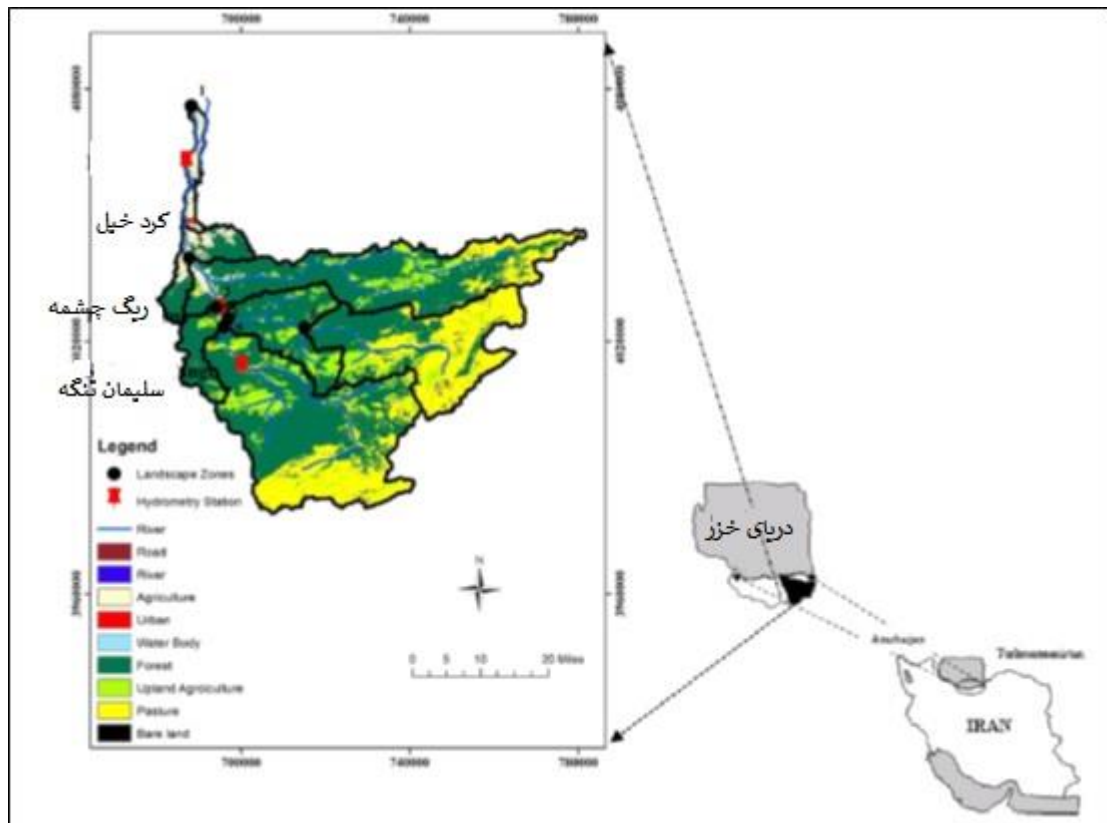
برای طراحی استراتژی های منابع آب در مرکز کره جنوبی باشد. از آنجا که در تخصیص بهینه منابع آب، حداکثرسازی درآمد، عمده ترین هدف مدل سازی است، شبیه سازی دقیق میزان منابع و مصارف و برآورد بیان آب در منطقه، بسیار تعیین کننده خواهد بود. با توجه به تعاریف متعدد الگوی کشت که تنها به بررسی خصوصیات نظیر تناوب زراعی یا ترکیب کشت اشاره می نماید (۱۴)، روش های مختلفی مبنای مطالعات قرار گرفته است که عمده این تحقیقات بر پایه روش های خطی (LP) و غیرخطی (NLP) با هدف به حداکثر یا حداقل رساندن تابع هدف با فرض محدودیت ها (منابع در دسترس) و متغیرهای تصمیم (فعالیت ها) می باشد (۱۵). برخی از این تحقیقات بر پایه روابط شبیه سازی عملکرد محصولات می باشد که با هدف بهینه سازی تخصیص آب، الگوی کشت در سطح یک شبکه و حداکثرسازی درآمد به هزینه بوده (۱۷ و ۱۸) و بخشی دیگر به توزیع بهینه آب در روش های کم آبیاری (۲۳) و بهینه سازی عملکرد مخزن سد و توزیع بهینه آب آبیاری اختصاص دارد (۲۲). بر همین اساس و با توجه به اینکه آگاهی کمی نسبت به رفتار دینامیکی طولانی مدت حوضه های رودخانه وجود دارد و علاوه بر آن، بیشتر مدل های SD در این مقیاس غالباً در اروپا، شمال امریکا و استرالیا انجام شده (۹)، در این مطالعه، به بررسی تخصیص منابع و مصارف در حوضه آبریز تجن با استفاده از

دینامیک سیستم ها (SD) شاخه ای از تفکر سیستمی است که برای مطالعه رفتار دینامیکی طولانی مدت در سیستم های پیچیده و سیستم های بازخوردی غیرخطی مورد استفاده قرار گرفته (۳) و می تواند با در نظر گرفتن اثرات مضاعف، غیرمستقیم یا غیرخطی سایر بخش های سیستم (۱۹)، که معمولاً در شرایط استفاده از مدل های ذهنی تحلیل تصمیم (۳) وجود ندارد، استراتژی های مختلف رویکرد چندگانه زیرسیستم های منابع آب را شبیه سازی نماید (۹). این مدل سازی مستلزم پیوند تعدادی از این فرایندها است که مبتنی بر روابط علی - معلولی بوده و سیستم های محیط زیستی - انسانی پیچیده و مسائل پایدار استراتژیکی را توسعه می دهد. در چند دهه گذشته، مطالعات گسترده ای در خصوص رویکرد SD به منظور توسعه پویایی سیستم و مدل های شبیه سازی در حوضه های مختلف آبریز در سرتاسر دنیا انجام شده است (۲، ۱۰، ۱۲ و ۲۳). پاره ای از این تحقیقات مدل سازی توصیفی یکپارچه که با رویکرد SD الحاق شده است را مورد بررسی قرار می دهد و بخش دیگری از آن حول الحاق این رویکرد با مدل های فیزیکی می باشد (۷ و ۸). در زمینه توسعه مدل اجتماعی - هیدرولوژیکی برای استفاده مجدد از هرز آب کشاورزی Jeong and Adamowski (۸)، به این نتیجه رسیدند که این مدل می تواند چارچوبی مطلوب

مواد و روش‌ها منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز تجن (شکل ۱) با مساحت تقریبی ۴۰۰۵/۲۲ کیلومتر مربع که ۳۹۸۰/۷۵ کیلومتر مربع آن در داخل استان قرار گرفته، در محدوده‌ای با مختصات جغرافیایی ۱۰°-۵۲° تا ۴۵°-۵۶° طول شرقی و ۴۵°-۳۵° تا ۰۰°-۳۸° عرض شمالی قرار دارد. رود تجن که بزرگترین رود در این محدوده است، با شیب زهکشی ۲۸/۵٪ از رشته کوه البرز سرچشمه گرفته که دارای سرشاخه‌های متعددی از جمله ورن، رودخانه سفید، زارم‌رود، شیرین رود، لاجیم و گرم‌رود بوده که با پیوستن این انشعابات به پیکره اصلی تجن، آورد اصلی رودخانه تجن شکل می‌گیرد. سد شهید رجایی در بالادست رود تجن با ظرفیت ۱۶۱ میلیون مترمکعب احداث شده، از سوی دیگر بر رودخانه‌های زارم و ورن دو سد فینسک به ظرفیت ۱۲ میلیون مترمکعب و زارم به ظرفیت ۸۳ میلیون مترمکعب ساخته شده است. در پایین‌دست رودخانه تجن، بند انحرافی تجن با ظرفیت آبیگری ۳۸ مترمکعب بر ثانیه احداث شده که قابلیت تنظیم برای کلیه دبی‌های مورد نیاز را داراست.

مدل SD پرداخته شده است. از بین مدل‌های تحلیل پویا در طرح جامع مدیریت منابع آب کشور در سال ۱۳۸۸ تاکید زیادی بر برنامه VENSIM وجود دارد. همچنین شبکه آبیاری و زهکشی تجن که در این حوضه آبریز احداث شده، با تاکید بر مشارکت کشاورزان در امر بهره‌برداری و نگهداری از یک سو و از سوی دیگر توسعه و بهبود کشاورزی با استفاده بهتر و مفیدتر از پتانسیل‌های منابع آب و خاک حوضه آبریز تجن سازماندهی شده است (۲۱). به همین دلیل در این پژوهش، ابتدا تخصیص منابع و مصارف در حوضه آبریز تجن در شرایط موجود و استفاده تلفیقی از منابع آب در بازه زمانی ۵۲ ساله بین سال‌های ۹۴-۱۳۴۲ با استفاده از مدل VENSIM شبیه‌سازی می‌شود. با در نظر گرفتن نیاز شرب، صنعت، زیست‌محیطی و کشاورزی، بیلان منابع آب تعیین شده و با ارزیابی کمبودهای احتمالی در حوضه آبریز، سناریوهای مدیریتی محتمل طرح‌ریزی می‌شود. در تمامی موارد بالا، اصل تفکیک الگوی کشت در منطقه مورد توجه قرار خواهد گرفت. در مرحله آخر با ارزیابی نتایج بیلان آب و معیارهای پایداری، الگوی کشت بهینه با هدف حداکثر درآمد به هزینه، پیشنهاد می‌شود.



شکل ۱- جانمایی از حوضه آبریز مورد مطالعه (حوضه آبریز تجن)
 Figure 1. The location of case study watershed (Tajan watershed)

بخش تقسیم شد که بر اساس مرزهای تعریف شده هر بخش، مصارف و منابع با در نظر گرفتن تمامی فرضیه‌های پویا به‌طور تفکیکی به مدل شبیه‌سازی وارد گردید: ۱- سد فینسک برای نیاز شرب، کشاورزی و زیست‌محیطی، ۲- سد شهید رجایی

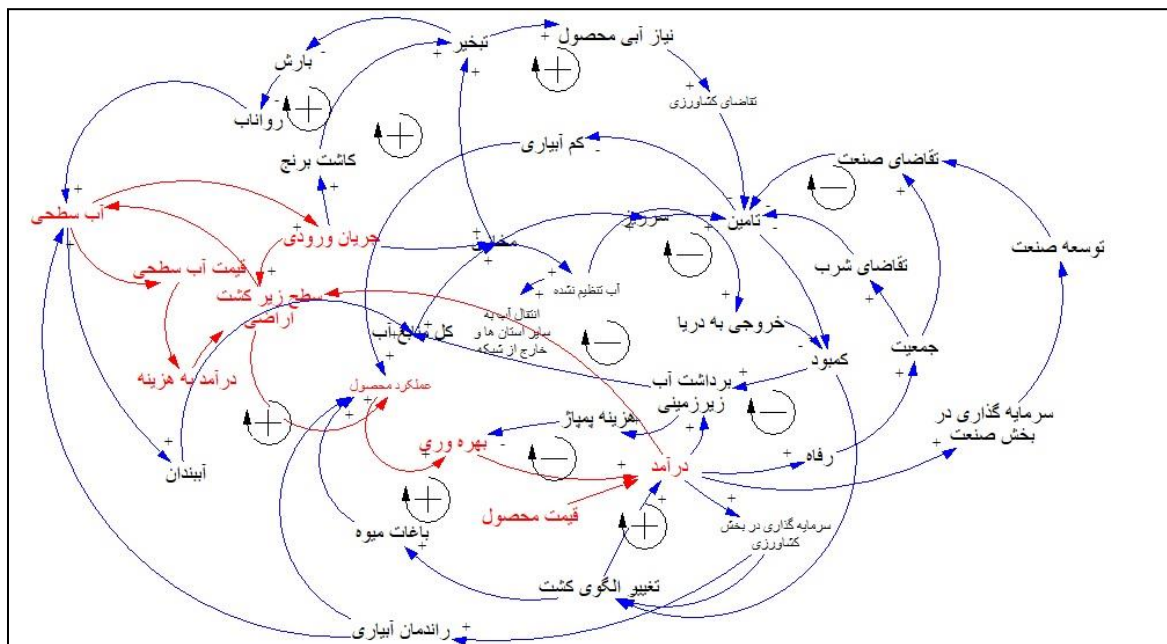
شبیه‌سازی تخصیص منابع آب حوضه آبریز تجن با استفاده از تحلیل سیستمی
 با توجه به وسعت محدوده مورد مطالعه و سازه‌های موجود و در نظر گرفتن تقاضاها و منابع، حوضه آبریز تجن نیز به ۴

ورودی به مخازن افزایش یابد، سطح زیر کشت نیز افزایش و در نتیجه میزان بهره‌وری و درآمد افزایش خواهد یافت. با افزایش درآمد، برداشت از آب زیرزمینی زیادتیر شده که منجر به کاهش در برداشت از حجم کل آب در دسترس بوده و بدین ترتیب حجم ذخیره سد نیز کاهش می‌یابد که ترکیب تمامی موارد بالا در حلقه، یک حلقه برون‌زا را ایجاد می‌کند. افزایش درآمد، منجر به افزایش فعالیت‌های کشاورزی شده که این دو مورد حلقه تقویتی را به منظور تمایل به تغییر الگوی کشت ایجاد می‌کنند. علاوه بر این، هر چه هزینه‌های پمپاژ افزایش یابد بهره‌وری و درآمد کاهش یافته که اساساً یک حلقه برون‌زا را ایجاد می‌کند (حلقه بهره‌وری). همچنین با افزایش سطح زیر کشت، عملکرد محصول و بهره‌وری افزایش یافته و با افزایش درآمد حلقه تقویتی ایجاد می‌شود (حلقه درآمد). از سویی دیگر با افزایش آب سطحی، هزینه آب سطحی افزایش یافته و در نتیجه درآمد به هزینه کاهش یافته که منجر به کاهش سطح زیر کشت شده و حلقه تعادلی یا برون‌زا را ایجاد می‌کند (حلقه درآمد به هزینه). در شکل ۲، تمامی حلقه‌های محتمل آرایه شده است. حلقه‌های قرمز نشان‌دهنده حلقه‌های درآمد به هزینه، حلقه درآمد و حلقه بهره‌وری می‌باشد. باقی حلقه‌ها بیان‌کننده حلقه ورودی به دریا، حلقه آب حاصل از رهاسازی سد و آب‌بندان، حلقه رفاه و حلقه سرریز است.

برای تأمین نیاز شرب، کشاورزی، صنعت و زیست‌محیطی، ۳- سد زارم برای نیاز شرب، صنعت، کشاورزی و زیست‌محیطی، ۴- بند انحرافی تجن تا بالادست رودخانه برای تأمین نیاز شرب، صنعت، کشاورزی و زیست‌محیطی.

فرضیه‌های پویا و رسم نمودار علی - معلولی

چگونگی تأثیر فرضیات پویا در شکل ۲ نشان داده شده است. رشد جمعیت منجر به افزایش نیاز صنعت و متعاقباً افزایش در تأمین آب می‌شود. همچنین، هرچه جمعیت افزایش یابد، نیاز صنعت نیز افزایش می‌یابد و بالعکس. بر همین اساس این حلقه (رفاه) یک حلقه برون‌زا (تعادلی) است. از سویی دیگر، با افزایش حجم ذخیره در مخازن، علاوه بر افزایش سرریز از سدها و تأمین نیازها از این طریق، برداشت از آب زیرزمینی کاهش یافته که منجر به افزایش منابع کلی آب شده و حلقه تقویتی را ایجاد می‌کند (حلقه سرریز). از طرف دیگر، افزایش سرریز، میزان آب ورودی به دریا را افزایش داده و در نتیجه کمبودها نیز افزایش خواهد یافت. در صورتی که این روند ادامه یابد، برداشت از آب زیرزمینی افزایش خواهد یافت و بر همین اساس میزان کل منابع آب سطحی کم خواهد شد که یک حلقه تقویتی را ایجاد میکند (حلقه ورودی به دریا). آب سطحی (جریان آب حاصل از رهاسازی سد و آب‌بندان) و رواناب با میزان آب ورودی به مخازن رابطه مستقیم دارد. علاوه بر این، هر چه میزان آب



شکل ۲- نمودار علی معلولی بین سیستم هیدرولوژیکی
 Figure 2. Casual loop diagram inner hydrological system

تأمین آب نظیر مخازن اصلی، آب‌بندان، آب زیرزمینی، رودخانه‌ها و ... است، بخش کشاورزی که مبتنی بر الگوی کشت منطقه و عملکرد محصولات کشاورزی است، بخش اقتصادی که مسائل مربوط به درآمد به هزینه را تحت پوشش خود قرار می‌دهد و بخش آخر بخش اجتماعی- صنعتی است

روابط اساسی و داده‌های ورودی مدل

یک مدل شبیه‌ساز دینامیکی در چهارچوب سیستم دینامیک از مدل مذکور در شرایط موجود تخصیص منابع آب حوضه آبریز تجن ایجاد شد که متشکل از ۴ بخش اساسی است: بخش هیدرولوژیکی که خود برگرفته از سیستم‌های

حجم مربوط به تامین و خروجی از سد بر حسب میلیون مترمکعب است.

(رابطه ۳)

Supply (نیاز)، demand (خروجی)، MIN(outflow) = (تامین)

کشاورزی نیاز آبی کشاورزی

به منظور محاسبه تبخیر - تعرق گیاهی در برآورد نیاز آبی کشاورزی، از رابطه ۴ استفاده شد که در آن K_c ضریب رشد گیاهی است. مقادیر K_c محصولات مختلف از مقادیر پیشنهادی Allen و همکاران (۱) گرفته شده و به مقادیر ماهانه ۵۲ ساله که از الگوی کشت گیاهی در طی فصل رویش برداشت شده است، تبدیل می شود. از سویی دیگر، بارش موثر P_{eff} از روش تجربی پیشنهادی FAO که در رابطه ۵ ارایه شده است، به دست آمد. فصل زراعی از ماه فروردین شروع شده و برای بیشتر محصولات در شهریور خاتمه می پذیرد. داده های محصولات شامل تراکم کشت، نیاز آبی خالص و ناخالص و راندمان است.

(رابطه ۴)

$$ET_c = k_c * ET_0$$

(رابطه ۵)

$$ET_c - P_{eff} / \text{Efficiency} = \text{Gross requirement}$$

عملکرد محصول

برای محاسبه عملکرد سالانه محصول، از رابطه ۶ استفاده شد (۴) که در آن Y و Y_{max} به ترتیب عملکرد واقعی و ET_{max} تبخیر - تعرق واقعی و حداکثر تبخیر - تعرق، i فاکتور حساسیت نسبی گیاه به کمبود آب در مرحله رشد i ام (بی بعد) و n تعداد مراحل رشد گیاه و $\frac{Y_{ai}}{Y_{pi}}$ میزان نسبی عملکرد در هر مرحله از کشت می باشند. بایستی به این مسئله اشاره نمود که استفاده از رابطه بالا مستلزم این است که آب از کیفیت قابل قبولی برخوردار بوده و سایر خصوصیات فیزیولوژی گیاه ثابت هستند (۷).

(رابطه ۶)

$$1 - \frac{Y}{Y_{max}} = K_Y \left(1 - \frac{ET}{ET_{max}} \right)$$

اجتماعی - صنعتی

نیاز صنعت و شرب که در روابط به صورت $dd(t)$ بر حسب میلیون متر مکعب در ماه (MCM/month) نشان داده شده است، با استفاده از نیاز آبی صنعت و شرب به ازای هر فرد $d(pc)d$ و جمعیت $p(t)$ قابل تخمین است (رابطه ۷). همینطور برای محاسبه نیاز زیست محیطی، از روش مونتانا (۲۵) استفاده شد که در آن حداقل جریانی که بایستی در مسیل های رودخانه ای به منظور حفظ حیات موجودات آبی وجود داشته باشد، محاسبه می گردد. بدین ترتیب که بعد از محاسبه جریانات سالانه میانگین در حوضه آبریز تجن، ۴۵٪ آن به عنوان جریانی که قابلیت حفاظت از موجودات آبی را در شرایط طبیعی رودخانه ای حفظ نماید محاسبه شد (۲۱).

(رابطه ۷)

$$D_d(t) = d_d^{pc} * p(t)$$

اقتصادی طراحی سناریو

در حوضه آبریز تجن، عمده ترین نیاز، تامین تقاضای کشاورزی در منطقه است و هر گونه تغییری در این بخش

که مستلزم در نظر گرفتن تقاضای صنعتی - اجتماعی است. روش کار به این ترتیب است که ابتدا تخصیص یکپارچه منابع آب و خاک حوضه آبریز تجن در بخش های کشاورزی و هیدرولوژیکی بررسی می شود. در قدم بعدی با توجه به شبیه سازی تامین به تقاضاهای کشاورزی، سناریوهای مدیریتی با هدف کسب حداکثر سودآوری در بخش اقتصادی، مورد ارزیابی قرار گرفته و در نهایت در بخش صنعتی - اجتماعی به بررسی چگونگی تامین نیازهای شرب، صنعت و بهداشت پرداخته شده است.

بخش هیدرولوژیکی

مخازن اصلی

سد شهید رجایی، فینسک و زارم که به ترتیب بر شاخه اصلی رودخانه تجن، چهاردانگه و زارم رود احداث شده، با ذخیره آب در فصل غیر زراعی و رهاسازی آن در فصل زراعی، براساس تابعی از زمان در مدل تعریف می شود. بدین ترتیب که منحنی حجم، سطح ارتفاع و همچنین سری زمانی ماهانه خصوصیات تراز آب مخزن و میزان تبخیر از سطح دریاچه سد، استخراج شد و بر اساس روابط تعریف شده در مدل، به مدل وارد شد. نحوه شبیه سازی ریاضی آب بندها نیز مشابه با مخازن در نظر گرفته شده است. با توجه به نمودار علی - معلولی حوضه آبریز تجن (شکل ۲)، بیلان وزنی برای تخمین میزان ذخیره مخازن در روابط یک توسعه داده شده که در ادامه به مدل شبیه سازی تحلیل سیستم دینامیک وارد شد. تمامی احجام ذکر شده در رابطه یک، بر حسب میلیون مترمکعب در ماه است (۴ و ۲۴).

(رابطه ۱)

Reservoir (حجم ذخیره مخزن) =

outflow - (تبخیر) - evaporation (حجم ورودی) - Inflow
 (رلهاسازی) - spill (حجم خروجی)

بخش آب زیرزمینی

از آنجایی که تنها در بالادست بند انحرافی تجن، حجم ذخیره و کیفیت آبخوان آب زیرزمینی مطلوب بوده و محدودیتی در استفاده از آن وجود ندارد، ابتدا بایستی تقاضاهای این محدوده توسط آب سطحی و آب بندها، تامین شده و با محاسبه میزان کمبودها، نیازهای باقیمانده با استفاده از رابطه ۲ تامین یابد. این احجام در رابطه زیر بر حسب میلیون مترمکعب در ماه می باشد.

(رابطه ۲)

MIN(supply (تامین), Groundwater storage

(حجم ذخیره آبخوان)

تخصیص آب

تخصیص آب در حوضه آبریز تجن مبتنی بر تامین نیازهای شرب، صنعت، زیست محیطی و کشاورزی به ترتیب اولویت تامین و بر حسب میلیون مترمکعب در ماه است. بدین ترتیب روابط ریاضی مطابق اولویت تامین استخراج و به مدل VENSIM وارد گردید. همچنین در مواردی نظیر سد فینسک که تامین تقاضای خارج از حوضه آبریز تجن مطرح هست، بایستی الزامات مربوط به تخصیص نیازهای قبل از سد لحاظ گردد که در رابطه ۳ آورده شده است. در این رابطه

هزینه‌ها استخراج و به مدل بهینه‌سازی وارد شد. در جدول یک اولویت تخصیص منابع آب هر یک از مناطق بالادست سدها به‌همراه الگوی کشت فعلی و سطح زیر کشت آورده شده است. الگوی کشت به‌ترتیب نزولی اولویت تامین مرتب شده است. بدین‌صورت که مرکبات و سیاه‌ریشه به‌ترتیب اولویت اول و دوم را دارا بوده و سایر محصولات اولویت‌های بعدی (اولویت هفتم برای گندم در بالادست بند انحرافی تجن و فینسک، اولویت چهارم برای دانه‌های روغنی در بالادست زارم و اولویت ششم برای گندم در بالادست سد شهید رجایی) را تحت پوشش قرار می‌دهند. برای نمونه، در بالادست فینسک برای گیاه مرکبات ابتدا به‌طور کامل و براساس نیاز آبی گیاه، نیاز تامین شده و سیاه‌ریشه جایگاه دوم اولویت تامین را دارد که بعد از گیاه مرکبات آبیاری خواهد شد. سایر گیاهان از اولویت‌های پایین‌تری برخوردارند. ذکر این نکته لازم است که در بالادست بند انحرافی تجن تنها مرکبات کشت می‌شده است. همچنین بایستی توجه نمود که برخی از محصولات نظیر حبوبات و دانه‌های روغنی، ارزش یکسانی برای آب منطقه‌ای دارند و از همین‌رو اولویت یکسانی برای آنها در نظر گرفته شده است.

می‌تواند بر میزان آب در دسترس موثر باشد. آنچه مبنای مطالعات در این محدوده را ممکن ساخته است، در نظر گرفتن اولویت تخصیص منابع آب به هر محصول است. لذا در پژوهش حاضر، فرض شده است که معیار اولویت تخصیص براساس سودآوری بیشتر آب منطقه‌ای است و از آنجاییکه در حوضه آبریز تجن، شبکه مورد استفاده آبیاری از نوع مدرن است، براساس قانون تثبیت آب‌بهای زراعی مصوبه سال ۱۳۶۹ و آیین‌نامه اجرایی آن، آب‌بهای دریافتی از کشاورزان بر حسب درصدی از ارزش محصول کشت شده می‌باشد. به استناد این قانون متوسط آب‌بهای آب تنظیم‌شده در شبکه‌های مدرن معادل ۳ درصد ارزش محصول تولیدشده می‌باشد. البته باید توجه داشت که در تمام مراحل اجرای پژوهش، ارزش اقتصادی آب بدون اضافه‌شدن خدمات مربوط به ذخیره‌سازی یا استحصال، انتقال و توزیع، اندازه‌گیری و پالایش تخمین مورد توجه قرار گرفته است. بر همین اساس و با توجه به ۴ منطقه تفکیک‌شده نیاز آبی به تفکیک الگوی کشت هر منطقه و براساس اولویت تامین برآورد شد و به مدل وارد گردید. بعد از آنکه میزان حجم سالانه تخصیص در بخش کشاورزی برای هر محصول مشخص شد، توابع هدف برای بیشینه‌کردن میزان محصول و درآمد و کمینه‌کردن

جدول ۱- الگوی کشت فعلی محصولات حوضه آبریز تجن به ترتیب نزولی اولویت تامین

Table 1. Present cropping pattern in Tajan watershed Descending order of supply priority

سطح زیر کشت بالادست (ha)				الگوی کشت
سد زارم	سد فینسک	سد شهید رجایی	بند انحرافی تجن	
-	۹۶	۳۹	۱۲۹۴۰	مرکبات
۹۷۳	۲۷۵۳	۵۰۱	۶۴۰۲۶	سیاه ریشه
۱۶۰	۱۹۰۷	۱۰۶۰	۲۱۹۶۱	شالی
۱/۷	۲۷۸۳	۳/۵	۲۳/۵	جالیز
-	۱	-	۳۶۹	ذرت دانه ای
-	۶/۱	-	۸/۵	حبوبات
۴۱۵۷	۱۳	۰/۳	۴۳۵	دانه های روغنی
-	۹۰۱	۰/۸	۱۷۱۰	گندم

مساحت زیر کشت هر محصول محاسبه گردید. تابع هدفی که مبنای تغییر الگوی کشت در نظر گرفته شده مطابق با رابطه ۱۰-۸ می‌باشد:

(رابطه ۸)

$$Max Z_i = \sum_c income/cost$$

(رابطه ۹)

$$Incomc = \sum_c (Y_c \times A_c \times P)_c$$

(رابطه ۱۰)

$$Costc = \sum_c PC \times A_c$$

به‌منظور تغییر الگوی کشت منطقه، سه دسته محدودیت در نظر گرفته شد: محدودیت یک مربوط به سطح زیر کشت محصولات است که مجموع سطح زیر کشت همه محصولات از مساحت کل حوضه آبریز بیشتر نشود. در محدودیت ۲ آب مورد نیاز محصولات کشت‌شده از میزان حجم آب تخصیص‌یافته هر سد فزونی نیابد و در آخر محدودیت تغییر

الگوی کشت بهینه

LINGO ابزاری قدرتمند در جهت بهینه‌سازی خطی و غیر خطی، به منظور تجزیه و تحلیل مدل‌های فرموله شده است که از قدرت بهینه‌سازی خطی و غیر خطی آن برای مسایل بزرگ استفاده شده تا بتوان جوابها را مورد تجزیه و تحلیل نمود (۱۵). در این پژوهش از محیط مدل VENSIM PLE استفاده شده که فاقد ابزار بهینه‌سازی است. در نسخه VENSIM DSS بهینه‌سازی با Powell انجام می‌شود که از جمله محدودیت‌های این روش، احتمال قرارگرفتن در کمینه موضعی (۱۶) بوده که مبنای تحقیقات مختلفی قرار گرفته است بدین ترتیب این روش با سایر روش‌های بهینه‌سازی غیرخطی مورد مقایسه قرار گرفته است. بررسی نتایج نشان داد که اختلاف معناداری بین سایر روش‌های بهینه‌سازی غیرخطی و روش Powell وجود ندارد (۱۶). با استفاده از داده‌های گردآوری شده توسط نرم افزار Lingo میزان درآمد بیشینه با توجه به میزان آب آبیاری و مساحت زمین کشاورزی،

ریال، Y_c عملکرد محصولات بر حسب کیلوگرم در هکتار، A_c مساحت هر محصول بر حسب هکتار، PC قیمت تمام شده هر محصول بر حسب ریال بر کیلوگرم، TA کل سطح زیر کشت هر منطقه تفکیک شده بر حسب هکتار، WS آب مورد نیاز برای آبیاری هر محصول بر حسب متر، TWS کل آب سطحی موجود بر حسب متر می باشد.

شبیه سازی رفتاری دینامیکی حوضه آبریز تجن با استفاده از مدل VENSIM داده های ورودی مدل

در این پژوهش از محیط مدل VENSIM PLE استفاده شده است. براساس جدول ۲ پارامترهای ورودی بر حسب بازه زمانی ماهانه به مدل وارد شد. داده های ماهانه آب و هوا در بین سال های ۱۳۴۲ تا ۱۳۹۴ که مشتمل بر داده های بارش، حداقل و حداکثر دما، رطوبت نسبی، سرعت میانگین باد و تابش خورشیدی است از ایستگاه هواشناسی دشت ناز که به فاصله ۱۵ کیلومتر از محدوده مورد مطالعه است، برداشت شد. سپس الگوی تخصیص منابع آب به هر بخش از حوضه آبریز با توجه به فرضیات پویا که دربرگیرنده قوانین رهاسازی از سدها، آب بندان و آب زیرزمینی در طی دوره زمانی مفروض توسط مدل VENSIM شبیه سازی شد تا بتوان کمبودهای احتمالی را برآورد نمود. سایر پارامترهای موجود نیز در جدول ۲ به طور خلاصه آورده شده است.

الگوی کشت باغی به زراعی است. درختان میوه در محدوده مورد مطالعه که شامل درختان سیاه ریشه و مرکبات است، عمری نسبتاً طولانی برای بهره‌وری اقتصادی داشته و لذا به منظور جلوگیری از انحراف الگوی کشت به سمت زراعی که منجر به از بین درختان میوه شده و از سوئی دیگر آماده سازی مزارع باغی به زراعی مستلزم هزینه های مازادی است که در این تحلیل اقتصادی به آن پرداخته نمی شود، حداقل سطح زیر کشت را برای مزارع باغی در نظر گرفته تا با حفظ سطح موجود، بهینه سازی الگوی کشت انجام گردد. این حدود به شکل فرمول هایی که تابعی از متغیرهای مدل می باشند بیان شده و به عنوان محدودیت ها شناخته می شوند که در روابط ۱۳-۱۱ آورده شده است.

$$\text{(رابطه ۱۱)}$$

$$St: \sum_c A_c \leq \sum TA$$

$$\text{(رابطه ۱۲)}$$

$$\sum_c \{(WS) \times A_c\} \leq TWS$$

$$\text{(رابطه ۱۳)}$$

$$A_{orchrds} \geq A_{orchard}$$

Z_i تابع درآمد به هزینه، C محصولات موجود در الگوی کشت، $Income_c$ درآمد حاصل از محصولات بر حسب ریال، $Cost_c$ کل هزینه های صرف شده برای محصولات بر حسب

جدول ۲- فهرست پارامترهای مورد استفاده در حوضه آبریز تجن

Table 2. List of Parameters in Tajan watershed

مقادیر	پارامترها
۱۳۸	ارتفاع تاج سد شهید رجایی (متر)
۵۹	ارتفاع تاج سد فیسنک (متر)
۷۸	ارتفاع تاج سد زارم (متر)
۱۵۳	کنترل سیلابی سد شهید رجایی (متر)
۹/۵۲	کنترل سیلابی سد فیسنک (متر)
۶۰	کنترل سیلابی سد زارم (متر)
۹۲	کنترل سیلابی آب بندان (متر)
۱۶۲	حداکثر حجم ذخیره سد شهید رجایی (میلیون متر مکعب)
۱۱/۸	حداکثر حجم ذخیره سد فیسنک (میلیون متر مکعب)
۸۲/۳۳	حداکثر حجم ذخیره سد زارم (میلیون متر مکعب)
۱۰۲	حداکثر حجم ذخیره آب بندان (میلیون متر مکعب)
۱۷/۱۲	حداقل حجم ذخیره سد شهید رجایی (میلیون متر مکعب)
۲/۲۷	حداقل حجم ذخیره سد فیسنک (میلیون متر مکعب)
۱۳	حداقل حجم ذخیره سد زارم (میلیون متر مکعب)
۲۵/۶	حداقل حجم ذخیره آب بندان (میلیون متر مکعب)
۰/۹	تبخیر از سطح دریاچه مخازن (متر)
۲۳۱	نیاز زیست محیطی - بالادست سد شهید رجایی (میلیون متر مکعب)
۱۴۱	نیاز زیست محیطی - بالادست سد فیسنک (میلیون متر مکعب)
۳۲	نیاز زیست محیطی - بالادست سد زارم (میلیون متر مکعب)
۵۸۱	نیاز زیست محیطی - بالادست بند انحرافی تجن (میلیون متر مکعب)
۷۰	راندمان بخش کشاورزی (درصد)
۲/۵	نیاز شرب سد شهید رجایی (میلیون متر مکعب در ماه)
۰/۶	نیاز شرب سد فیسنک (میلیون متر مکعب در ماه)
۳/۹	نیاز شرب سد زارم (میلیون متر مکعب در ماه)
۱	نیاز صنعت سد شهید رجایی (میلیون متر مکعب در ماه)
۰/۵	نیاز صنعت سد زارم (میلیون متر مکعب در ماه)
۷۰	عمق آبخوان (متر)

ارزیابی مدل

صحت‌سنجی مدل بیشتر به دنبال بررسی سودمند بودن مدل بر اساس مسئله و اهداف است. همچنین درجه اطمینان از صحت مدل به دید مدلساز بر اساس مدل دینامیکی طراحی شده و اهداف مورد نظر مدلساز از مدل وابسته است. لذا از آزمون‌های صحت‌سنجی ارزیابی ساختار، آزمون تکرار رفتار استفاده شد. در بررسی این آزمون‌ها نتایج مقادیر شبیه‌سازی شده با مقادیر واقعی با استفاده از دو روش ترسیمی و شاخص‌های آماری نظیر ضریب همبستگی (R)، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین مربعات خطای نرمال (nRMSE)، استفاده می‌شود (روابط ۱۵-۱۴). بدین ترتیب که ابتدا ضریب اصلاحی مخزن و متعاقباً ضرایب اصلاحی نیاز کشاورزی برای دشت آبخور سد زارم برای مدل وارد شده و در نهایت با مقایسه تراز سطح مخزن زارم با نتایج واقعی در طی سال‌های آماری مدل مورد اعتبارسنجی قرار گرفته و از سویی دیگر می‌توان برای منطقه مورد مطالعه ضریب اصلاحی مخزن و نیاز کشاورزی مطلوبی را نیز ارائه نمود.

(رابطه ۱۴)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}{n}}$$

(رابطه ۱۵)

$$nRMSE = RMSE / O \times 100$$

نتایج و بحث

نتایج واسنجی مدل

به منظور ارزیابی نتایج مدل، رفتار مدل با رفتار مرجع مقایسه شد. یکی از متغیرهایی که صحت‌سنجی آن بررسی

شد و در تحلیل نتایج این تحقیق از اهمیت بسیار زیادی نیز برخوردار است، تراز آب مخزن و چگونگی تغییرات آن در طی فصل رشد می‌باشد. بر همین اساس پارامتر ضریب اصلاحی مخزن در طی سال‌های آماری مورد ارزیابی قرار گرفت تا بتوان از یک سو هم چگونگی رفتار مدل را نسبت به شرایط مرجع سنجید و هم از سویی دیگر برای منطقه مورد مطالعه، ضریب اصلاحی برای نیاز آبی محصولات کشاورزی پیشنهاد داد تا بتوان از آن برای تحقیقات آبی در این محدوده استفاده نمود. بدین ترتیب که با تغییر ضریب اصلاحی مخزن و نیاز کشاورزی، رفتار مخزن در شبیه‌سازی تخصیص مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج ارزیابی مدل در جدول ۳ نشان داده شده است. بررسی نتایج جدول زیر نیز نشان می‌دهد که این دو ضریب به طور مستقل از هم بوده و هیچ تاثیری روی هم ندارند، بدین ترتیب که نمی‌توان با تغییر یکی از آنها، چگونگی تغییر دیگری را دریافت. لذا برای برآورد رقم دقیق هر کدام از ضرایب باید به نمودار یک به یک آنها مراجعه نمود که در شکل ۳ نشان داده شده است. از سویی دیگر، از آنجایی که هر چه رقم RMSE به عدد صفر نزدیک باشد، بهترین تطابق بین مقادیر شبیه‌سازی و مشاهده‌ای وجود دارد. بررسی nRMSE نیز روند معکوسی داشته است. به طوری که همواره بیشتر از ۱۰٪ و یا نزدیک به آن (حدوداً ۱۲٪) بوده و از این میزان فراتر نرفته که آنرا در محدوده خوب تا عالی قرار می‌دهد (۱۹) و به جز $Zr0 = 0.75$ و $agri\ coe = 0.75$ ، $nRMSE$ برابر با ۲۰٪ برآورد شده که آنرا در رده خوب جای می‌دهد. در نهایت می‌توان چنین نتیجه گرفت در صورتیکه ضرایب اصلاحی مخزن و نیاز آبی در این محدوده باشد، نتایج قابل قبولی به دست خواهد آمد. در جدول ۳، منظور از $Zr0$ ضریب اصلاحی مخزن زارم و $agri\ coe$ ضریب اصلاحی کشاورزی در منطقه زارم است.

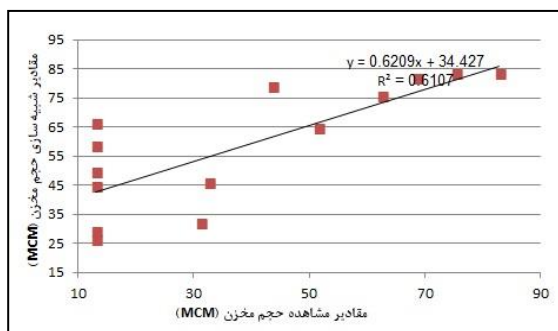
جدول ۳- نتایج ارزیابی شبیه‌سازی حاصل از مدل VENSIM

Table 3. Result of evaluation of VENSIM Model

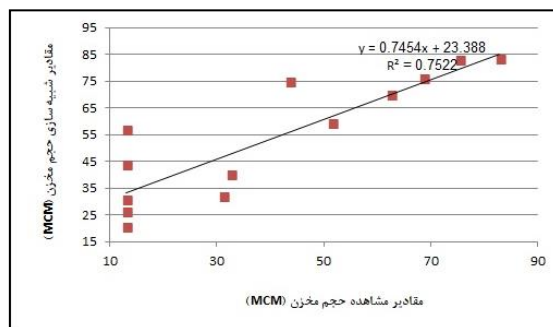
$Zr0=0.75$ $Agri\ coe=1.5$	$Zr0=1.8$ $Agri\ coe=0.8$	$Zr0=1.2$ $Agri\ coe=2.8$	$Zr0=1.2$ $Agri\ coe=2.5$	$Zr0=1.1$ $Agri\ coe=3$	$Zr0=3$ $Agri\ coe=4$	$Zr0=3$ $Agri\ coe=4$	$Zr0=3$ $Agri\ coe=5$	$Zr0=3$ $Agri\ coe=6$	$Zr0=3$ $Agri\ coe=5.5$	$Zr0=3$ $Agri\ coe=3.5$	$Zr0=4$ $Agri\ coe=4$	$Zr0=0.96$ $Agri\ coe=2.9$	پارامترهای ارزیابی
۰/۱۳	۰/۰۸	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۸	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۰۸	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۰۸	۰/۰۹	۰/۰۸	RMSE (m)
۲۰	۱۲	۱۱	۱۱	۱۲	۱۳	۱۳	۱۲	۱۴	۱۴	۱۳	۱۳	۱۲/۱۷	nRMSE (%)

مخزن و نیاز آبی به ترتیب ۱/۸ و ۰/۸ مشاهده شد که میزان RMSE و nRMSE آن به ترتیب ۰/۰۸ متر و ۱۲٪ محاسبه شد. سایر نقاط نیز تغییرات اندکی نسبت به این ضرایب پیشنهادی داشته است.

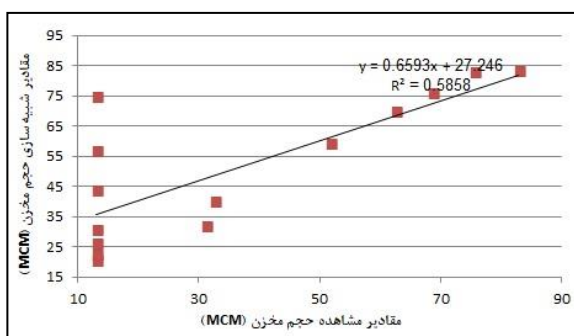
در شکل ۳ نمودار یک به یک نقاطی که برای تعیین بهترین ضریب اصلاحی مخزن و نیاز کشاورزی به مدل وارد شد، ارائه شده است. از بین نقاط مختلفی که به عنوان ضرایب اصلاحی ورودی به مدل وارد شد، بهترین نتایج در ضرایب اصلاحی



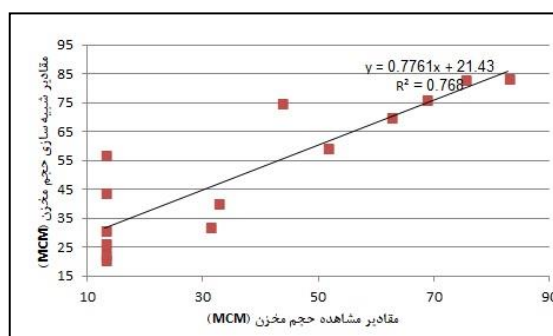
الف: $Zr0 = 0.7/5$ و $agri\ coe = 1/5$



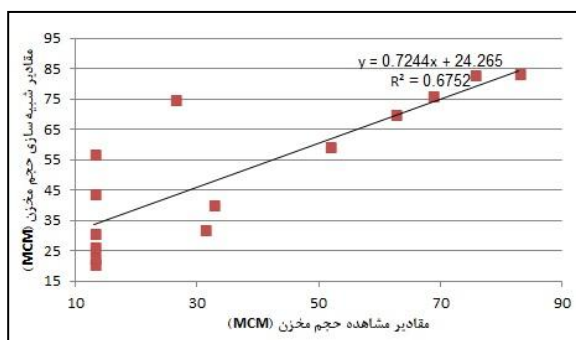
ب: $Zr0 = 0.9/6$ و $agri\ coe = 3$



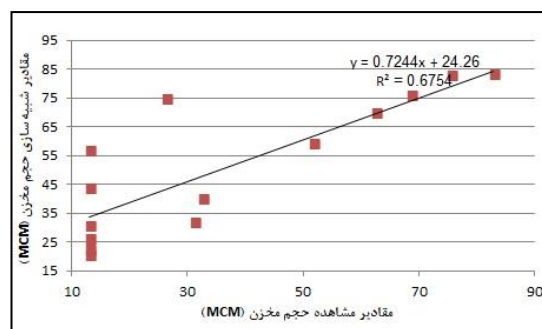
ج: $Zr0 = 3$ و $agri\ coe = 6$



د: $Zr0 = 1/8$ و $agri\ coe = 0.8$



ه: $Zr0 = 3$ و $agri\ coe = 4/5$



و: $Zr0 = 4$ و $agri\ coe = 4$

شکل ۳- نمودارهای یک به یک پارامترهای مورد بررسی
Figure 3. Figures of evaluated parameters

مخازن و بالادست آنها در طی سالهای ۹۴-۱۳۴۲ و به طور همزمان لحاظ گردید. شکل ۴ دیاگرام منابع و مصارف حوضه آبریز تجن را به طور شماتیک نشان می دهد.

نتایج شبیه سازی تخصیص منابع آب در حوضه آبریز تجن با استفاده از مدل VENSIM به منظور بررسی وضعیت منابع و مصارف حوضه آبریز تجن، مدل VENSIM اجرا شد که در اجرای مدل مذکور، تمامی

جدول ۴- شبیه‌سازی تخصیص منابع آب در حوضه آبریز تجن

Table 4. summary of water allocation in TID

توضیحات	رودخانه تجن در محل سد فیسنگ (MCM)	رودخانه تجن در محل سد رجایی (MCM)	رودخانه تجن در محل سد شهید زارم (MCM)	رودخانه تجن در محل بند انحرافی تجن (MCM)
ورودی	۳۲	۱۸۲	۱۴۰	۴۷۷
نیاز آبی قبل از مخازن	۳۳	-	۸/۰۳	۵۴
تامین نیاز آبی قبل از سد	۱۹	-	۸/۰۳	۵۴
ورودی به سد	۱۷	۱۸۲	۲۴۱	۱۹۲
حجم ذخیره در سد	۴۹	۶۰۰	۳۵۲	۳۹۰
تقاضای کشاورزی	۱۸	۱۴۶	۱۰۰	۴۶۲
تقاضای شرب	۲۰	۳۰	۴۷	-
تقاضای صنعت	-	۱۲	۶	-
تقاضای محیط زیست	۲۰	۵۲	۲۸	۹۹
تامین کشاورزی	۶	۹۳	۵۷	۱۰۴
تامین شرب	۱۸	۳۰	۴۵/۷	-
تامین صنعت	-	۱۱	۵	-
تامین زیست محیطی	۱۸	۵۰	۲۵/۳	۹۷
خروجی از سد بعد از تامین	۱۶	۱۴۳	۷۳	۵۴
تقاضای بعد از سد	۲۹	۵	۵/۰۵	۴۸۳
تامین بعد از سد	۱۷	۵	۵	۳۷۷
جریان اصلی رود قبل از انشعابات ورودی	۱۰۱	۳۲۳	۹۲	۴۳۳
جریان اصلی رود بعد از تامین و انشعابات ورودی	۹۱	۳۸۶	۱۱۷	-
جریان اصلی رود قبل از دریا	-	-	-	۳۳۳
آب قابل تبادل با سایر استانها	-	-	-	۲۴۳
برداشت از آب‌بندان	-	-	-	۹۸
برداشت از آب زیرزمینی	-	-	۴۲	۹۱/۵

برآورد پارامترهای اقتصادی در شرایط الگوی کشت موجود و کشت بهینه

با توجه به شرایط مذکور، پارامترهای اقتصادی کشت محصولات در حوضه آبریز بررسی شد که نتایج آن در جدول ۵ آورده شده است. قیمت‌ها بر اساس نرخ مصوب سال ۱۳۹۸ برای محصولات تولیدی به ازای هر کیلوگرم می‌باشد. با توجه به جدول ۵ بیشترین و کمترین نسبت درآمد به هزینه به ترتیب متعلق به سیاه‌ریشه و گندم است. همچنین متوسط نسبت درآمد به هزینه در این منطقه، ۲/۵۲ بوده و ناشی از کشت گیاهانی نظیر جالیزها و غلات است. بایستی توجه داشت کشت این گیاهان علاوه بر نیاز آبی کم، برای رفع احتیاجات کشاورزان نیز می‌باشد که لزوم کاشت آنها را در منطقه اجتناب ناپذیر می‌نماید.

همچنین بررسی نتایج نشان می‌دهد که با توجه به کمبودهای قابل ملاحظه‌ای که در هر یک از مناطق مشاهده می‌شود، تقریباً ۳۳۳ میلیون متر مکعب آن به دریا می‌ریزد و از طرفی دیگر تنها ۲۴۳ میلیون مترمکعب از این حجم قابل توجه قابل انتقال به سایر استان‌ها و یا مناطق دیگر خارج از حوضه آبریز می‌باشد. همچنین بررسی اجمالی جدول ۴ نشان می‌دهد که در حوضه آبریز تجن نیازهای شرب، صنعت و زیست محیطی تا حد قابل توجهی تامین شده است. به‌طوریکه از مجموع ۹۷ میلیون متر مکعب نیاز شرب، ۹۴ میلیون متر مکعب تامین شده است. همچنین با توجه به تقاضای ۱۸ میلیون متر مکعب صنعت و ۱۹۸ نیاز در بخش زیست‌محیطی، به ترتیب ۱۶/۵ و ۱۹۱ میلیون متر مکعب تامین شده است و در هر کدام این تقاضا بیش از ۹۵٪ قابلیت تامین صورت پذیرفته است.

جدول ۵- پارامترهای اقتصادی برای سناریوی مرجع (میلیون ریال)

Table 5. Economic parameter for present scenario (Mrial)

شرایط موجود	درآمد	هزینه	درآمد به هزینه
محصول زراعی			
مرکبات	۱۶۹۱۰	۷۲۳۰	۲/۲۳
سیاه ریشه	۸۲۵۸۲۶	۱۶۴۳۴۸	۵/۰۲
شالی	۲۴۴۷۸۲	۱۰۳۸۲۰	۲/۳۵
جالیز	۲۹۲۲۱۰	۱۴۴۴۷۹	۲/۰
دانه‌های روغنی	۳۷۲	۱۶۹	۲/۲
ذرت دانه‌ای	۴۰	۱۶	۲/۵
ذرت علوفه‌ای	۴۹۳۴۴	۲۶۶۰	۱/۸۵
گندم	۱۹۴۶۶	۱۰۵۲۷	۱/۸۴
حبوبات	۲۲۲/۰۴	۸۰	۲/۸

دانه‌ای حداکثر سطح زیر کشت مجاز را به خود اختصاص داده‌اند. بالادست سد شهید رجایی نیز کمترین نسبت درآمد به هزینه را به خود اختصاص داده است و این مسئله می‌تواند ناشی از این امر باشد که مدل بهینه‌سازی، سطح زیر کشت محصول گندم را تا حد زیادی افزایش داده است. در این منطقه با توجه به کمبودهای قابل ملاحظه‌ای که در تخصیص منابع آب قابل مشاهده است، کشت گندم می‌تواند در صرفه جویی منابع آب موثر باشد. از طرفی دیگر بررسی الگوی پیشنهادی بهینه نشان می‌دهد که تقریباً تمامی سطح زیر کشت محصولات به جز درختان میوه که دارای محدودیت حفظ سطح کشت باغات بودند، صفر در نظر گرفته شده و همین مسئله موجب کاهش چشمگیر نسبت درآمد به هزینه در این بخش شده است.

پس از اجرای برنامه بهینه‌سازی لینگو و قیمت محصولات طبق مصوب سال ۱۳۹۸، نتایج زیر مطابق با جدول زیر برای هر مناطق بالادست مخازن بدست آمد. در این سناریو که براساس افزایش سوددهی به نفع آب منطقه‌ای است، تخصیص منابع آب به تقاضاها صورت گرفت. در این سناریو محدودیت حفظ مزارع باغی، محدودیت سطح زیر کشت و محدودیت منابع آب در نظر گرفته شده است. از این میان بیشترین درآمد به هزینه مربوط به سد فینسک و کمترین نیز مربوط به سد شهید رجایی است. بررسی جدول ۶ نشان می‌دهد که نسبت درآمد به هزینه برای منطقه فینسک بیشترین میزان بوده که طبق الگوی کشت بهینه پیشنهادی حبوبات، دانه‌های روغنی، جالیز، گندم، شالی و ذرت دانه‌ای تقریباً صفر محاسبه شده ولی سیاه ریشه، مرکبات و ذرت

جدول ۶- برآورد درآمد به هزینه مناطق بالادست سد‌ها در شرایط سناریوی سودآوری آب منطقه‌ای

Table 6. Income to cost of upstream region of dams in beneficial Scenario for RW

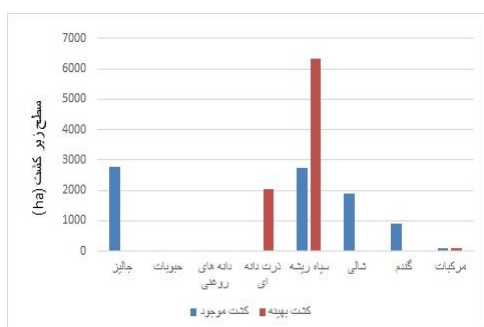
سد فینسک	سد شهید رجایی	سد زارم	بند انحرافی تجن
۴/۷	۳/۹	۴/۴	۴/۰۷

می‌دهد که مدل با توجه به حفظ میزان حجم آب تخصیص یافته، همواره تمایل به کاهش سطح زیر کشت محصولات با درآمد به هزینه پایین و افزایش سطح زیر کشت محصولات با درآمد به هزینه بالا دارد. همچنین بررسی اجمالی شکل ۵ نشان می‌دهد که سطح زیر کشت دانه‌های روغنی و حبوبات در الگوی کشت بهینه صفر برآورد شده است، چنین روندی کم و بیش در مورد محصول شالی نیز صادق است. به‌طوریکه در بالادست سد، سطح زیر کشت آن یا به صفر کاهش یافته یا لاقط مساوی شرایط موجود در نظر گرفته شده است. باید توجه داشت که این دو محصول نیاز آبی کمتری و از سویی دیگر درآمد به هزینه تقریباً بیشتری نسبت به برنج در این منطقه دارند، همچنین عملکرد نسبتاً پایین دارند که ۲۶۰۰ کیلوگرم در هکتار گزارش شده است. از طرفی دیگر برنج که هم نیاز آبی بیشتری دارد و هم تنها ۰.۶٪ نسبت درآمد به هزینه آن در مقایسه با دانه‌های روغنی بیشتر است، عملکردی تقریباً دو برابر آنها (۵۲۴۰ کیلوگرم در هکتار) دارد و علت کاهش سطح زیر کشت آنها نسبت به برنج نیز همین عملکرد آنها است. لذا در فینسک، شهید رجایی و بند انحرافی

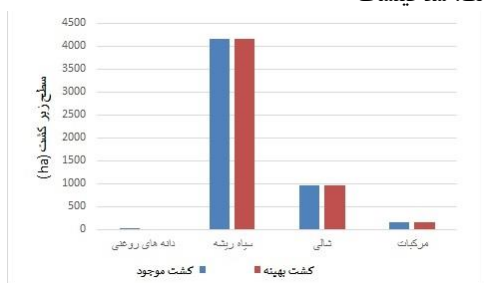
شکل ۵ الگوی کشت بهینه پیشنهادی توسط مدل را با الگوی کشت اجرا شده نسبت به سناریوی مرجع مقایسه می‌کند. آنچه از مشاهده این تصاویر استنباط می‌شود این است که در بیشتر این مناطق سطح زیر کشت مرکبات ثابت بوده و برای درختان سیاه‌ریشه یا افزایش یافته (بالادست بند انحرافی تجن و سد فینسک) یا ثابت مانده است. بالاترین سطح زیر کشت برای این محصول برای بالادست سد فینسک و بند انحرافی تجن به ترتیب ۶۳۳۰ و ۲۹۶۱۰ هکتار است، طبق نمودار و جدول زیر حداکثر سطح زیر کشت مجاز به آنها اختصاص داده شده است. در توجیه آن می‌توان چنین بیان داشت که سیاه‌ریشه با داشتن بالاترین نسبت درآمد به هزینه (۵/۰۲) سودآورترین محصول نسبت به دیگر محصولات در منطقه‌اند. بر همین اساس، افزایش سطح زیر کشت آنها می‌تواند بیشترین عملکرد را در جهت تامین هدف، که حداکثرسازی نسبت درآمد به هزینه است، داشته باشند. مقدار درآمد به هزینه باقی محصولات بین ۱/۸۴ تا ۲/۸ متغیر است و سطح زیر کشت آنها نسبت به حالت موجود تا حداکثر میزان ممکن کاهش یافته است. از سویی دیگر بررسی شکل ۵ نشان

اختصاص داده است (نسبت درآمد به هزینه ۲). بر همین اساس برای دستیابی به بالاترین درآمد به هزینه بایستی سطح زیر کشت گیاهانی که درآمد به هزینه کمتری دارند کاهش یابد. چنین روندی به طور معکوس در مورد ذرت دانه‌ای نیز صادق است زیرا این گیاه نیاز آبی کمی داشته ولی عملکرد و نسبت درآمد به هزینه نسبتاً مطلوبی در مقایسه با سایر محصولاتی که سطح زیر کشت آنها صفر شده دارد (به ترتیب ۷۰۰۰ کیلوگرم در هکتار و ۲/۵) بر همین اساس مدل تمایل به افزایش سطح زیر کشت و در نتیجه دستیابی به سودآوری بیشتر دارد. همچنین باید توجه داشت که در بالادست فینسک برای دستیابی به حداکثر درآمد به هزینه در مقایسه با سایر مناطق، کاشت محصولاتی نظیر ذرت دانه‌ای، سیاه‌ریشه و مرکبات با نسبت درآمد به هزینه بالا، تاثیر بسزایی در افزایش درآمد به هزینه کلی این منطقه دارد.

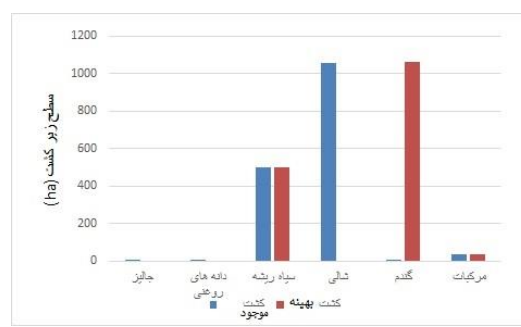
تجن سطح زیر کشت برنج تقریباً برابر با صفر در نظر گرفته شده و تنها در بالادست زارم، سطح زیر کشت تقریباً برابر با شرایط موجود بود. در مورد گندم هم باید توجه داشت که نیاز آبی نسبتاً کمتری به نسبت سیاه‌ریشه، مرکبات و برنج که به ترتیب عملکرد ۲۰۰۰، ۳۰۰۰ و ۵۲۴۰ کیلوگرم در هکتار گزارش شده، دارد و به طور موازی، کمترین درآمد به هزینه را نیز به خود اختصاص داده که در مقایسه به سه محصول یاد شده، عملکرد بسیار کمتری دارد (۳۰۰۰ کیلوگرم در هکتار). بر همین اساس، در بالادست سد فینسک، سطح زیر کشت آن نسبت به حالت مرجع کاهش یافته است. کشت جالیز نیز در تمامی مناطق تقریباً برابر صفر در نظر گرفته شده است. بایستی توجه داشت که از یک سو عملکرد این محصول نسبت به سایر محصولات بیشترین میزان ثبت شده را دارد (۳۵۰۰ کیلوگرم در هکتار) و از سوی دیگر با توجه به کم بودن نیاز آبی آن، درآمد به هزینه نسبتاً کمی را به خود



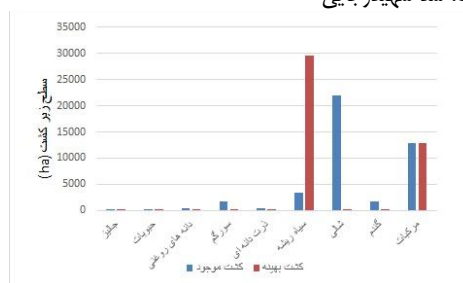
الف: سد فینسک



ج: سد زارم



ب: سد شهیدرجایی



د: بند انحرافی تجن

شکل ۵- الگوی کشت بهینه مدل و موجود
 Figure 5. Optimization cropping pattern in present and scenario

منابع آب صورت گیرد. همچنین نتایج نشان داد که از مجموع ۱۰۴۴ میلیون مترمکعب کل تقاضا، ۶۲۰ میلیون مترمکعب آن تامین شده است. بخش کشاورزی با تقاضایی معادل ۷۳۰ میلیون مترمکعب، ۴۳٪ رهاسازی سد را به خود اختصاص داده است. اگرچه کمبودهای قابل ملاحظه‌ای در این بخش مشاهده شده و ۴۴٪ نیازها به صورت تامین نشده باقی مانده است، اما مخازن در حوضه آبریز تا حد قابل ملاحظه‌ای تقاضای شرب، صنعت و زیست‌محیطی را تامین نموده‌اند. در این میان سهم آب‌بندان که تنها محدود به پایاب بند انحرافی تجن است، ۹۸ میلیون مترمکعب و آب زیرزمینی نیز ۹۱/۵ میلیون مترمکعب است. همچنین نتایج تعیین الگوی کشت بهینه نیز نشان داد که سیاه‌ریشه با بالاترین نسبت درآمد به

نتایج حاصل از واسنجی مدل نشان داد که در صورتی که ضرایب اصلاحی مخزن و نیاز آبی به ترتیب ۱/۸ و ۰/۸ در مدل منظور شود، میزان RMSE و nRMSE آن به ترتیب ۰/۰۸ متر و ۱۲٪ برآورد می‌شود. نتایج شبیه‌سازی با مدل VENSIM نشان داد کمبودهای قابل ملاحظه‌ای در بخش کشاورزی مشاهده شده است. این مسئله باید از دیدگاه دیگری مورد توجه قرار گیرد و آن نحوه مدیریت دهانه آبرگیر شبکه و کانال‌های ساخته شده است که با توجه به گستردگی مناطق تحت پوشش از یک سو و از سوی دیگر تنوع حقایق بران، بایستی تجدید نظر اساسی در این مورد صورت گیرد. در غیر این صورت تغییر الگوی کشت تنها می‌تواند به سودآوری کمک نموده بدون آنکه تغییری در نحوه تخصیص

هزینه از عمده‌ترین محصولاتی است که در تمامی مناطق به کشت آن ادامه داده شده و حتی در مناطقی نظیر پایاب بند انحرافی تجن و فینسک مقدار آن به بیش از ۶۰٪ و ۲۵٪ افزایش یافته است. از این میان دانه‌های روغنی و حبوبات با توجه به عملکرد نسبتاً پایین و نیاز آبی قابل توجه نسبت به سایر محصولات از الگوی کشت حذف شده است.

منابع

- Allen, R.G., L.S. Pereira, M. Smith, D. Raes, J.L. Wright. 2005. FAO-56 dual crop coefficient method for estimating evaporation from soil and application extensions. *J. Irrig. Drain. Eng.*, 131: 2-13.
- Chapman, A., S. Darby. 2016. Evaluating sustainable adaptation strategies for vulnerable mega-deltas using system dynamics modelling. *Sci. Total Environ*, 559: 326-338.
- Ford, A., 1999. *Modeling the Environment: An Introduction to System Dynamics Modeling of Environmental Systems*. 2nd. edn. Island Press, Washington, DC.
- FAO. 2002. *Yield Response to Water: the Original FAO Water Production Function*.
- Forrester, J.W., 1961. *Industrial Dynamics*. MIT Press Cambridge, MA.
- Hassanzadeh, E. 2016. *Integrated management of water resource systems under changing water availability, policy, and irrigation expansion plans*. A thesis submitted to the college of graduate studies and research in partial fulfillment of the requirements for the degree of doctor of philosophy in the department of civil and geological engineering university of saskatchewan Saskatoon.
- Inam, A., J. Adamowski, J. Halbe, P. Shiv. 2015. Using causal loop diagrams for the initialization of stakeholder engagement in soil salinity management in agricultural watersheds in developing countries: A case study in the Rechna Doab watershed, Pakistan. *Journal of Environmental Management*, 152: 251-267.
- Jeong, H., J. Adamowski. 2016. A system dynamics based socio-hydrological model for agricultural wastewater reuse at the watershed scale. *Agricultural Water Management*, 171: 89-107.
- Kotir, J.H., C. Smith, G. Brown, N. Marshall and R. Johnstone. 2016. A system dynamics simulation model for sustainable water resources management and agricultural development in the Volta River Basin, Ghana. *Science of the Total Environment*, 573: 444-457.
- Liu, H., G. Benoit, T. Liu, Y. Liu, H. Guo. 2015b. An integrated system dynamics model developed for managing lake water quality at the watershed scale. *J. Environ. Manag*, 155: 11-23.
- Li, Z., C. Li, X. Wang, C. Peng, Y. Cai, W. Huang. 2018. A hybrid system dynamics and optimization approach for supporting sustainable water resources planning in Zhengzhou City, China. *J. of Hydrology*, 556: 50-60.
- Mirchi, A., D. Watkins Jr. 2013. A systems approach to holistic total maximum daily load policy: case of Lake Allegan, Michigan. *J. Water Resour. Plan. Manag*, 139: 544-553.
- Madani, K. and M.A. Mariño. 2009. System dynamics analysis for managing Iran's Zayandeh- Rud river basin. *Water Resour. Manage*, 23: 2163-2187.
- Manos, B., J. Papathanasiou, T. Bournaris and K. Voudouris. 2010. A multicriteria model for planning agricultural regions within a context of groundwater rational management. *Journal of Environmental Management*, 91: 1593- 600.
- Mokhtari Motlagh, P., H. Sharifan. 2010. Evaluation of optimize crop pattern by Lingo (Hana-Samirom). First conference of Iran Irrigation and Drainage, (In persian).
- Nozari H., V. Mohseni. 2012. Applying System Dynamics Approach for Simulation and Optimization of the Cropping Pattern in Esfahan Right Side Abshar Irrigation and Drainage Network. *Iran Water and Soil researches*, 36: 465-474.
- Paudyal, G. and A. Dasgupta. 1990. A nonlinear chance constrained model for irrigation planning. *Agric. Water Manage*, 18(2): 87-100.
- Rao, N.H., P.B.S. Sarma and S. Chander. 1996. Optimal multicrop allocation of seasonal and intraseasonal irrigation water. *Water Resource Res.*, 26: 551-559.
- Stave, K.A. 2003. A system dynamics model to facilitate public understanding of water management options in Las Vegas, Nevada. *Journal of Environmental Management*, 67: 303-313.
- Sahin, O., R.A. Stewart, M.G. Porter. 2016. Water security through scarcity pricing and reverse osmosis: a system dynamics approach. *J. Clean. Prod*, 88: 160-171.
- Shahnazari, A. 2010. The report of Integrated water planning and DSS of demands and resources of Tajan Plain, (In Persian).
- Sepaskhah, A.R. and A. Parand. 2006. Effects of alternate furrow irrigation with supplemental very furrow irrigation at different growth stages on the yield of maize (*Zea mays L.*). *Plant Production Science*, 9(4): 415-421.
- Shangguan, Z., M. Shao and R. Horton. 2002. A model for regional optimal allocation of irrigation water resources under deficit irrigation and its applications. *J. Agric. Water Manage*, 52: 139-154.
- Sabaghi, M., A. Shanazari, A.N. Ziiai. 2019. Simulation and Operation Evaluation of Shahid Yaghoobi Dam by using System Dynamic (Case study: Dam Shahid Yaghoobi). *Journal of Watershed Management Research*, 8(16): 188-199 (In Persian).
- Tennant, D.L. 1976. Instream flow regimens for fish, wildlife, recreation and related environmental resources. *Fisheries*, 1: 6-10.

Evaluation of Optimal Cropping Pattern in Tajan Watershed with Systematic Modeling

Seyed Fatemeh Hashemi¹, Ali Shanazari², Mahmood Rayini³, Mohammada Shahbazbegian⁴ and Jan Franklin Adamowski⁵

1- Ph.D. Student, of Water Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University

2- Professor of Water Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University
(Corresponding author: aliponh@yahoo.com)

3- Professor of Water Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University

4- Assistant Professor Geography and Spatial Planning Department at Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

5- Associate Professor, Department of Bioresource Engineering, McGill University

Received: October 22, 2019

Accepted: December 24, 2019

Abstract

Since in the optimal allocation of water resources, the maximization of income, is the main purpose of modeling, researches in this case is just limited to approaches rooted in linear and structures in mental model or causes the inequitable resources allocation. Also, evaluation of these researches showed that there is low knowledge about long term dynamics behavior in river watershed. In this regard, in this study, evaluation of optimal cropping pattern based on water resources and demand in Tajan watershed by VENSIM in 1962- 2012 in monthly times step was carried out which domestic, industrial, environmental and agricultural demand were taken into account. This optimal cropping pattern could be the basis for water productivity in Tajan watershed. The calibration results showed not only outflow of dams is related to demands, but also dams coefficient is independent from agricultural demands coefficient. Also the results showed that large amount of domestic, industrial and environmental demand in this region is supplied and dams in Tajan watershed is enough for suppling. But there is significant deficit in agricultural part that regarding to low volume of groundwater in this region, changing crop pattern s inevitable. O the other hand, evaluation of optimal crop pattern is showed that orchards with maximum income per cost in the all region, is dedicated the most *cultivated land area* and after that citrus have second priority.

Keywords: Income to Cost, Nonlinear Optimization, Tajan Watershed, VENSIM, Water Demand and Resources Allocation



"مقاله پژوهشی"

**بهبودسازی کاربری اراضی با استفاده از رویکرد ارزیابی چندمعیاره و تحلیل اقتصادی اراضی
(مطالعه موردی: حوزه آبخیز چهل‌چای استان گلستان)**

فرشته رحیمی^۱، علی نجفی‌نژاد^۲، واحد بردی شیخ^۳ و آرش زارع گاریزی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، (نویسنده مسؤل: fereshterahimi72@gmail.com)

۲- دانشیار گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۳- استادیار گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ ارسال: ۹۸/۱۰/۰۲ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۲/۱۷

صفحه: ۱۶۹ تا ۱۷۹

چکیده

بهبودسازی کاربری اراضی به‌منظور استفاده مطلوب از اراضی برای فعالیت‌های مختلف، همواره از بحث‌های اساسی در برنامه‌ریزی مدیران منابع طبیعی بوده است. برای جلوگیری از اثرات سوء ناشی از بهره‌برداری غیراصولی از اراضی باید برنامه‌های مدیریتی طراحی گردد که منجر به عملکرد بهتر کاربری اراضی گردد. در این تحقیق باهدف جلوگیری از ادامه روند بهره‌برداری غیراصولی از اراضی، به‌طوری‌که رفاه اجتماعی و اقتصادی مردم ساکن در آن به‌خطر نیفتد اقدام به بهبودسازی کاربری اراضی در آبخیز چهل‌چای با وسعت ۲۵۶۸۰ هکتار در استان گلستان شده است. بدین منظور به ایجاد نقشه کاربری بهینه با استفاده از روش ارزیابی چندمعیاره و همچنین ارزیابی اقتصادی اراضی با توجه به نسبت سود به هزینه هریک از کاربری‌های پیشنهادی پرداخته شد. کاربری‌ها و اقدامات حفاظتی پیشنهادی در آبخیز چهل‌چای شامل تراس‌بندی، احداث باغ، آگروفارستری، علوفه‌کاری، جنگل‌کاری و احیای جوامع گیاهی کنار رودخانه است. جهت تعیین توان سرزمین برای کاربری‌ها، لایه‌ها و نقشه‌های اطلاعاتی وارد نرم‌افزار Terrset شد و تناسب اراضی برای هریک از کاربری‌های پیشنهادی تعیین گردید. بر این اساس هر یک از فاکتورها بین صفر و یک استاندارد شدند و نقشه فازی هریک از کاربری‌ها در محیط ترست تهیه شد. در نهایت با توجه به فاکتورها و محدودیت‌های تعریف‌شده نقشه تناسب هریک از کاربری‌های پیشنهادی با روش ارزیابی چندمعیاره (MCE) تهیه شد. در نقشه نهایی اختصاص کاربری‌ها بر اساس اهداف چندگانه (MOLA) با افزایش ارزش‌ها از صفر تا یک، تناسب افزایش می‌یابد. همچنین از طرفی با در نظر گرفتن هزینه احداث و نگهداری و درآمد هریک از کاربری‌های پیشنهادی طی افق برنامه‌ریزی ۳۰ ساله، نسبت سود به هزینه هر کاربری به‌دست آمد که نتایج ارزیابی اقتصادی تمامی کاربری‌های پیشنهادی مقرون‌به‌صرفه شد. در نهایت با توجه به نتایج حاصل از ارزیابی چندمعیاره و ارزیابی کارایی اقتصادی برای فعالیت‌های پیشنهادی سطح کل تناسب آن‌ها نسبت به حوضه به‌دست آمد.

واژه‌های کلیدی: افق برنامه‌ریزی، تناسب اراضی، کاربری بهینه، نسبت سود به هزینه

مقدمه

در این بخش تحقیقات مختلفی که در داخل و خارج از کشور در زمینه برنامه‌ریزی و بهبودسازی تغییرات کاربری اراضی صورت گرفته، پرداخته شده است. در جهت به‌گزینی کاربری‌ها یا تخصیص بهینه کاربری‌ها که در واقع مصداقی از تصمیم‌گیری چندمعیاره است و تلاش می‌کند کاربری درست را در مکان درست قرار دهد، نمونه‌ای از این موارد است. آسویل و همکاران با توجه به رشد سریع تغییرات کاربری اراضی در نیوزلند و از بین رفتن اکوسیستم‌های طبیعی درصد ارزیابی موازنه بین اکوسیستم‌های طبیعی (شامل جنگل و مرتع) و اکوسیستم‌های مدیریت‌شده (شامل کشاورزی و جنگل‌کاری) برآمدند تا از این طریق از میزان پایداری توسعه انسانی و تعادل در استفاده از منابع اطمینان پیدا کنند (۱). ارزیابی توان محیط‌زیست (چه توان اکولوژیکی و چه توان اقتصادی-اجتماعی آن) عبارت است از برآورد استفاده‌ی ممکن انسان از سرزمین، برای کاربری‌های کشاورزی، مرتع‌داری، جنگل‌داری، پارکداری (حفاظت و توریسم)، آبی‌پروری، امور نظامی و مهندسی و توسعه شهری، صنعتی و روستایی در چارچوب استفاده‌های کشاورزی، صنعت، خدمات و بازرگانی (۱۱).

کاربری اراضی نقش مهمی در موجودیت آب، خصوصیات اقلیمی، حفاظت خاک، میزان آلودگی محیط‌زیست و تولید رواناب دارد که توجه به آن را ضروری می‌کند. امروزه تغییر کاربری اراضی کشاورزی به‌عنوان فرآیندهای مؤثر در فضای روستایی مطرح است. این تغییرات که غالباً در اثر فعالیت‌های انسانی روی می‌دهد به‌دلیل نبود برنامه‌ریزی‌های اصولی، بی‌توجهی به توسعه پایدار، نداشتن مدیریت پایدار و بدون در نظر گرفتن محدودیت‌های زیست‌محیطی به یکی از مهم‌ترین معضلات روستاها در فضای نوین تبدیل شده است. تغییر کاربری اراضی نتیجه تعامل فضایی و زمانی بین ابعاد بیوفیزیکی و انسانی است (۳). بدون اطلاعات مربوط به شناخت منابع اکولوژیکی و اقتصادی-اجتماعی اساساً نمی‌توان بخش‌های دیگر فرآیند برنامه‌ریزی استفاده از سرزمین را برای عمل برنامه‌ریزی مهیا ساخت (۱۳). تخصیص کاربری اراضی به‌منظور استفاده بهینه و مطلوب از اراضی برای فعالیت‌ها و عملکردهای مختلف، همواره از بحث‌های اساسی در برنامه‌ریزی مدیران منابع طبیعی و محیط‌زیست بوده است.

۲۰۴۰، کاربری جنگلی ۳۴۷۳۹ هکتار کاهش و کاربری کشاورزی و مرتع به‌ترتیب، ۲۷۰۷۱ و ۷۶۶۸ هکتار افزایش خواهد داشت و نیز ۳۴۷۳ هکتار از مستعدترین مناطق محتمل تغییر کاربری جنگل به کاربری کشاورزی و مرتع استخراج شد (۱۷). هنربخش و همکاران بررسی‌هایی جهت انجام مدیریت و برنامه‌ریزی از طریق بهینه‌سازی کاربری اراضی یک مدل فازی ارائه دادند که در این مدل حداقل‌سازی مقدار فرسایش خاک و حداکثرسازی مقدار سود به‌ترتیب در اولویت هستند. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که روش ارائه‌شده روشی کارآمد در بهینه‌سازی کاربری اراضی و توسعه پایدار منطقه بوده و می‌تواند موجب افزایش سود تا ۹۷ درصد و کاهش فرسایش تا ۱۲ درصد شود (۷). نتایج پژوهش یاراحمدی و همکاران در حوزه آبخیز اهرچای نشان داد که در صورت بهینه‌سازی کاربری اراضی، سطح باغات آبی از ۱۷۳/۶ به ۶۶۲/۹ هکتار افزایش خواهد یافت. همچنین، میزان درآمد خالص در واحد سطح در وضعیت فعلی از ۶/۶ به ۱۲/۹ و در وضعیت اعمال مدیریت از ۸/۴۶ به ۱۴ میلیون ریال در سال افزایش خواهد یافت. این مقدار در سناریوی سوم به ۱۵/۶۷ میلیون ریال در سال افزایش‌یافته است (۲۱). همچنین مصفاوی و همکاران تحقیقی به‌منظور تعیین توان اکولوژیک اراضی برای کاربری‌های کشاورزی و مرتع‌داری از طریق ارزیابی چندمعیاره انجام دادند. نتایج نشان داد که در مجموع ۴۴ درصد از اراضی سطح آبخیز تحت کاربری‌های غیرمجاز قرار دارد که سهم کاربری‌های غیرمجاز دامداری و مرتع‌داری، کشت و باغات آبی و دیم‌زارها به‌ترتیب برابر ۳۴/۹ درصد، ۲/۸ درصد، ۵/۵ درصد هست. نتایج این تحقیق نشان داد که در آبخیز آکوجان، تفاوت زیادی بین کاربری‌های مناسب و کاربری‌های فعلی اراضی موجود است که بیانگر میزان انحراف از اصول توسعه پایدار محسوب می‌شود (۱۴).

تهدیدات ناشی از تغییرات غیراصولی کاربری اراضی و استفاده نا به‌جا از اراضی، باعث شده است که استفاده بهینه از اراضی بیشتر موردتوجه قرار گیرد که لزوم دسترسی به این وضعیت بهینه، تدوین برنامه صحیح و اصولی و استفاده همه‌جانبه از محیط‌زیست است. لذا با توجه به اهمیت مدیریت جامع آبخیز و کمبود تحقیقات انجام‌گرفته در زمینه ارائه برنامه اصلاح کاربری اراضی حوزه‌های آبخیز در کشور، آبخیز چهل‌چای واقع در استان گلستان جهت تدوین برنامه اصلاح کاربری اراضی در نظر گرفته شده است. با تدوین برنامه اصلاح کاربری اراضی و آگاهی از نسبت تغییرات کاربری‌ها درگذر زمان مدیران و برنامه‌ریزان آبخیز چهل‌چای قادر خواهند بود تا ضمن بررسی وضعیت فعلی و نیز حدود آستانه از ابعاد مختلف (بیوفیزیکی و اقتصادی-اجتماعی)، با در نظر گرفتن مشکلات و معضلات منطقه، اقدامات مناسب جهت بهبود وضعیت آبخیز و مدیریت حوضه را ارائه نمایند.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

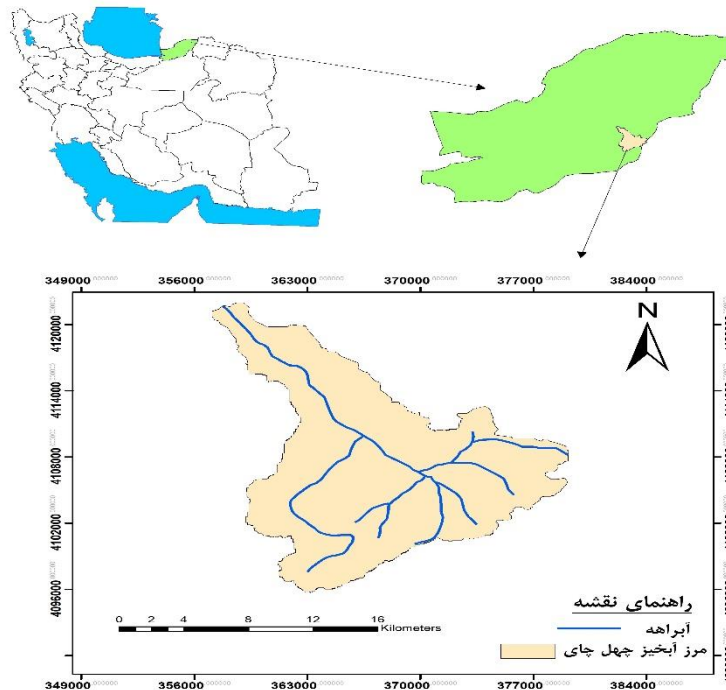
حوزه آبخیز چهل‌چای یکی از حوضه‌های کوهستانی شمال کشور با وسعت ۲۵۶۸۰ هکتار در موقعیت جغرافیایی

روش تصمیم‌گیری چندمعیاره شامل یک سری از روش‌هایی نظیر جمع وزن‌دهی با تحلیل‌های همگرایی است که اجازه می‌دهد طیفی از معیارهای وابسته به یک مبحث، امتیازدهی و سپس به‌وسیله کارشناسان و گروه‌های ذینفع رتبه‌بندی شوند (۶). از نظر سعدالدین و همکاران حوزه آبخیز اکوسیستمی پیچیده و پویا است و به‌عنوان واحد برنامه‌ریزی و مدیریت تلقی می‌شود. همچنین باید تمام ابعاد فنی، اجتماعی، اقتصادی، فیزیکی، اکولوژیکی و سازمانی را در فرآیند برنامه‌ریزی و مدیریت حوزه لحاظ نمود. ایشان در تحقیق خود یک سامانه پشتیبانی تصمیم برای آبخیز چهل‌چای استان گلستان در محیط نرم‌افزار ICMS سیستم مدل‌سازی اجزای تعاملی تهیه کردند. این سامانه پشتیبانی تصمیم قادر است با افزایش ادراک کاربر از سیستم حوزه آبخیز و اجزای آن، همچنین با معرفی گزینه‌های مدیریتی (ترانس‌بندی، احداث باغ، اگر وفارستری، علوفه‌کاری و درختکاری) در قالب سناریوهای مختلف و نیز با پیشبینی و نمایش اثرات مختلف اجرای احتمالی آن‌ها با کمک شاخص‌های ارزیابی اثرات (پذیرش اجتماعی، سود ناخالص، هزینه‌های متغیر، فرسایش خاک، حجم رواناب، میانگین وزنی اندازه لکه‌های پوشش گیاهی و شاخص وزنی سطح پوشش گیاهی) به مدیریت مشارکتی و یکپارچه حوزه آبخیز کمک کند و موجب تسهیل فرآیند تصمیم‌گیری شود (۱۹).

لیو و همکاران با بررسی در بهینه‌سازی کاربری اراضی دریافته‌اند که در کل دو دسته اهداف در سطح منطقه‌ای (مانند مطلوبیت بیشتر و یا هزینه کمتر برای هر کاربری) و در سطح هر کاربری (مانند خصوصیات هندسی مناطق چون میزان تراکم، سطح، تعداد لکه‌ها و انطباق کاربری‌های مجاور) مورد بررسی و موازنه هستند (۱۰). بهینه‌سازی مدیریت اراضی در حوزه‌های آبخیز یکی از راه‌های مناسب در زمینه حفاظت از خاک است. این امر برنامه‌ریزان را قادر می‌سازد تا از بین ترکیبات مختلف و متنوع کاربری‌ها، کاربری بهینه را طوری انتخاب نماید که علاوه بر کاهش آلودگی منابع آب‌و‌خاک و کاهش فرسایش و رسوب، درآمد بالائی را برای آبخیز‌نشینان فراهم سازند (۵). چن و همکاران بررسی جامعی در استان هنان جهت کشت تنباکو بر پایه سامانه داده‌های جغرافیایی انجام دادند که در آن پژوهش از ۱۷ شاخص مرتبط با اقلیم، خاک و شکل زمین استفاده کردند. وزن این شاخص‌ها از پرسشنامه‌های فرآیند تحلیل سلسله مراتبی به‌دست آمد. نتایج نشان دادند که ۲۲/۵۲ درصد از اراضی این استان واقع در قسمت‌های غرب و جنوب دارای تناسب مطلوب برای کشت تنباکو است (۲). کیودی و همکاران به‌منظور مکان‌یابی مناطق مستعد آبی‌پروری با استفاده از روش چندمعیاره و فازی‌سازی فاکتورهای مورد بررسی به این نتیجه رسیدند که محدوده مورد مطالعه دارای توان مناسب برای گسترش استخرهای آبی‌پروری در مقیاس تجاری و بدون محدودیت جدی ناشی از نبود متغیرهای اساسی است (۹). رجایی و همکاران در سال ۲۰۱۷ میلادی با به‌کارگیری روش ارزیابی چندمعیاره جهت تعیین مستعدترین مناطق کشاورزی حوزه آبخیز تجن به این نتیجه رسیدند که در طول دوره ۲۰۱۰ تا

جمعیت روستایی شهرستان مینودشت بخش مرکزی دهستان چهل‌چای و قلعه‌قافه و کوهسارات می‌باشند. حداقل ارتفاع از سطح دریا ۱۸۰ متر و حداکثر ارتفاع آن ۲۵۴۷ متر از سطح دریا می‌باشد. روستاهای دوزین و قلعه‌قافه از مراکز مهم جمعیتی این حوضه می‌باشند (۱۵).

۵۷° تا ۳۶° عرض شمالی و ۲۲° تا ۳۷° طول شرقی و بر مبنای سیستم مختصات UTM در زون ۴۰ شمالی در استان گلستان، شهرستان مینودشت واقع شده است (شکل ۱). میانگین بارندگی سالیانه منطقه مورد مطالعه ۷۵۰ میلی‌متر می‌باشد. این حوضه دربرگیرنده ۲۶ روستا شامل



شکل ۱- موقعیت حوزه آبخیز چهل‌چای در استان گلستان و ایران
Figure 1. Location of the Chehel-Chai watershed in Golestan province and Iran

در این مرحله، نقشه‌های مربوط به منابع اکولوژیک پایدار موردنیاز برای فرآیند بهینه‌سازی که شامل نقشه‌های شیب، جهت، ارتفاع، لایه روستاها، جاده، بارندگی، گسل، زمین‌شناسی (خاک‌زایی - نفوذپذیری - حساسیت به فرسایش)، خاکشناسی (ضخامت و بافت خاک)، کاربری اراضی، شدت فرسایش، چشمه‌ها آبراهه‌ها در محیط نرم‌افزار Terrset تهیه گردید. (نرم‌افزار Terrset یادگیری سابق، نرم‌افزاری محبوب و کارا برای آموزش مبانی و اصول GIS در دانشگاه‌ها محسوب می‌شود. قابلیت بالا در پشتیبانی تصمیم‌سازی، مدیریت عدم اطمینان، تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی و استفاده جهت مدل‌سازی‌های پویا این نرم‌افزار را به نسخه‌ای کارا در حوزه مدیریت مسائل زیست محیطی و توسعه پایدار تبدیل کرده است).

- انتخاب کاربری مناسب و اولویت‌بندی طبقات کاربری اراضی (فعلی) برای کاربری‌های پیشنهادی
- توصیه‌های منابع علمی و نظر کارشناسان با توجه به نظرخواهی انجام‌شده شامل تراس‌بندی، احداث باغ، آگروفارستری، علوفه‌کاری، جنگل‌کاری و احیای جوامع گیاهی کنار رودخانه به‌عنوان کاربری‌های پیشنهادی در آبخیز چهل‌چای انتخاب شد و با توجه به کاربری‌های فعلی با هدف برنامه اصلاحی و تناسب کاربری اراضی اولویت‌بندی شد.

روش تحقیق

به‌دلیل اهمیت مسئله تغییر کاربری در حوزه آبخیز چهل‌چای که در بالادست یکی از بزرگ‌ترین سد‌های مخزنی تأمین آب شرب و کشاورزی شرق استان گلستان قرار دارد و به‌عنوان یکی از پرچالش‌ترین حوزه‌های آبخیز استان گلستان محسوب می‌شود، شناسایی عوامل و مؤلفه‌های برنامه اصلاح کاربری اراضی امری ضروری و مفید است. این تحقیق شامل دو مرحله کلی است. ابتدا نقشه کاربری بهینه با استفاده از روش ارزیابی چندمعیاره تولید شد و سپس به تجزیه و تحلیل اقتصادی کاربری‌های پیشنهادی با استفاده از روش نسبت منفعت به هزینه پرداخته شد.

ایجاد نقشه کاربری بهینه با استفاده از روش ارزیابی چندمعیاره

در این تحقیق، جهت تعیین توان سرزمین برای کاربری‌ها، با توجه به شرایط حاکم بر حوزه مورد نظر، از گزارش ارزیابی توان و آمایش سرزمین مدیریت یکپارچه آبخیز دکتر ماهینی (۱۱) و گزارش اطلاعات توان سرزمین حوزه آبخیز چهل‌چای دکتر مخدوم (۱۲) استفاده گردید. این روش شامل مراحل زیر است:

- شناسایی منابع اکولوژیک (تهیه نقشه‌های پایه منابع اکولوژیک پایدار)

نسبت سود به هزینه برای هر کاربری پیشنهادی حوضه آبخیز چهل چای به شرح ذیل محاسبه شد.

جزئیات مراحل محاسبه سود و هزینه کاربری‌ها به شرح زیر می‌باشد:

- مشخص کردن نهاده‌های ورودی مختلف به کار رفته برای هر کاربری پیشنهادی و تعیین تعداد واحد مورد نیاز و هزینه هر واحد
- محاسبه هزینه در واحد هکتار هر کاربری
- محاسبه درآمد حاصل از هر کاربری پیشنهادی با توجه به تعداد واحد تولیدشده و بهای هر واحد تولیدی
- محاسبه نسبت سود به هزینه هر کاربری پیشنهادی در محاسبه هزینه‌های استقرار و نگهداری برای تمامی فعالیت‌های مدیریتی در آبخیز چهل‌چای یک دوره زمانی مشترک در محاسبات اقتصادی در نظر گرفته شده است. به این دوره مشترک اصطلاحاً "افق برنامه‌ریزی" نیز می‌گویند که خصوصیات اقتصادی برای این دوره ارزیابی می‌گردد (۱۸). در این مطالعه با توجه به دامنه زمانی عمر فعالیت‌ها، افق برنامه‌ریزی معادل ۳۰ سال در نظر گرفته شده است. افق زمانی در این پژوهش، بر اساس برنامه بهره‌برداری طولانی‌ترین پروژه در نظر گرفته شد. برای اعمال یک افق بهره‌برداری مشترک برای تمامی فعالیت‌های مدیریتی، تکرار ۳۰ دوره متوالی کشت روی تراس و ۱ دوره متوالی آگروفارستری، ۱ دوره متوالی باغ‌کاری، ۱ دوره متوالی جنگل، ۶ دوره متوالی علوفه‌کاری و ۲ دوره متوالی احیای جوامع گیاهی کنار رودخانه در نظر گرفته شد.

بدین ترتیب در محاسبات اقتصادی برای آبخیز چهل‌چای جداول جریان پول برای یک دوره ۳۰ ساله تنظیم شده است. در این جداول مقادیر به ریال به صورت ارزش فعلی و بر اساس فهرست بهای سال ۱۳۹۷ محاسبه شده است.

برای محاسبه ارزش فعلی هزینه و یا درآمد ناخالص از معادله زیر (۱۸) استفاده شده است:

$$PV = \sum_{t=1}^T \frac{X_t}{(1+i)^t} \quad \text{رابطه (۲)}$$

X_t : هزینه یا درآمد برای یک فعالیت مدیریتی معین در سال t

T : دوره تولید برای فعالیت مدیریتی

i : نرخ تنزیل برحسب درصد. در این مطالعه نرخ تنزیل به صورت مرکب و معادل ۷/۵ درصد لحاظ گردیده است که با اعمال اثر ترکیبی نرخ تورم و نرخ بهره به دست می‌آید.

نتایج و بحث

نتایج ارزیابی چند معیاره (MCE) برای تعیین کاربری بهینه

پس از ایجاد لایه‌های مورد نیاز در محیط GIS و ایجاد فایل رستری در محیط نرم‌افزار Terrset، شناسایی منابع اکولوژیکی و تجزیه و تحلیل داده‌ها، ارزیابی تناسب اراضی برای کاربری‌های تراس‌بندی (شکل ۲)، احداث باغ (شکل ۳)، آگروفارستری (شکل ۴)، علوفه‌کاری (شکل ۵)، جنگل‌کاری (شکل ۶) و احیای جوامع گیاهی کنار رودخانه (شکل ۷) انجام

فعالیت‌های انتخابی علاوه بر بهبود وضعیت منابع طبیعی، محیط‌زیست، پوشش‌دادن مناطق خطر، باعث بهبود وضعیت اقتصادی آبخیزنشینان نیز می‌گردند.

• ارزیابی تناسب اراضی برای کاربری پیشنهادی:

جهت تعیین تناسب اراضی برای کاربری‌های پیشنهادی، نقشه‌های پایه تهیه شده از لحاظ درجه اهمیت در تعیین کاربری‌های پیشنهادی وزن‌دهی می‌شود. در این پژوهش، پس از تهیه نقشه پایه مورد نیاز، لایه‌ها و نقشه‌های اطلاعاتی وارد نرم‌افزار ترست شد و توان اکولوژیک برای کاربری‌های مختلف تعیین گردید. با توجه به شرایط جغرافیایی منطقه و اهداف مورد نظر و امکانات موجود، مدل‌های توسعه برای کاربری تراس‌بندی، احداث باغ، آگروفارستری، علوفه‌کاری، جنگل‌کاری و احیای جوامع گیاهی کنار رودخانه در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفت.

• اولویت‌بندی نقشه‌های توان و تهیه نقشه نهایی تناسب با روش MOLA

برای تهیه این لایه و بهینه‌سازی کاربری‌ها در این مطالعه از روش اختصاص کاربری‌ها بر اساس اهداف چندگانه که به‌اختصار MOLA گفته می‌شود، استفاده شد. اساس این روش، انتخاب کاربری‌هایی است که بیشترین تناسب را با توجه به اهداف آمایشی و امکانات موجود در منطقه دارا هستند و در ضمن از حداقل مساحت مورد نیاز نیز برخوردار باشند. بنابراین در این کار نوعی مقایسه چند جانبه و هم‌زمان با در نظر گرفتن پارامترهایی مثل اندازه منطقه، یکپارچگی و جانمایی در سطح کل منطقه صورت می‌گیرد. در فرایند انتخاب کاربری‌ها به روش MOLA بر اساس وزن‌ها و مساحت دلخواه داده شده، ترکیبات مختلف بارها بارها تکرار می‌شوند تا در نهایت شروط مورد نظر را تأمین کنند. در این رویکرد، فرایند اختصاص کاربری‌ها بر اساس تناسب انجام می‌شود و برای مناطق متعارض که در آن‌ها چند کاربری دارای توان مناسب یا بالا باشند، بر اساس روش نزدیکی به نقطه ایده‌آل کاربری نهایی استخراج خواهد شد (۸).

تجزیه و تحلیل اقتصادی کاربری‌های پیشنهادی با استفاده از روش نسبت منافع به مخارج

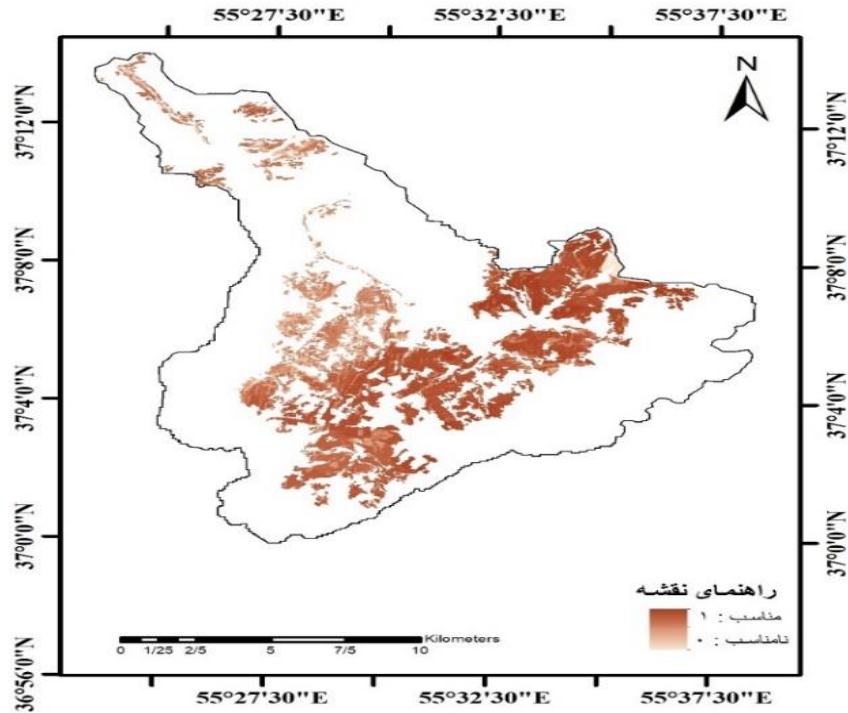
در این روش نسبت درآمد به هزینه‌ها مبنای محاسبات قرار گرفته و مقدار آن از تقسیم ارزش حال درآمدها به ارزش حال هزینه‌ها به دست می‌آید. در این روش ارزش کلیه درآمدها و هزینه‌ها به ارزش فعلی در زمان حال تبدیل می‌شود. اگر این نسبت بیشتر از یک باشد طرح اقتصادی است. این روش در ارزیابی طرح‌های بخش خصوصی و دولتی کاربرد دارد. رابطه (۱)

$$\frac{B}{C} = \frac{\text{منافع (درآمدها)}}{\text{مخارج (هزینه‌ها)}}$$

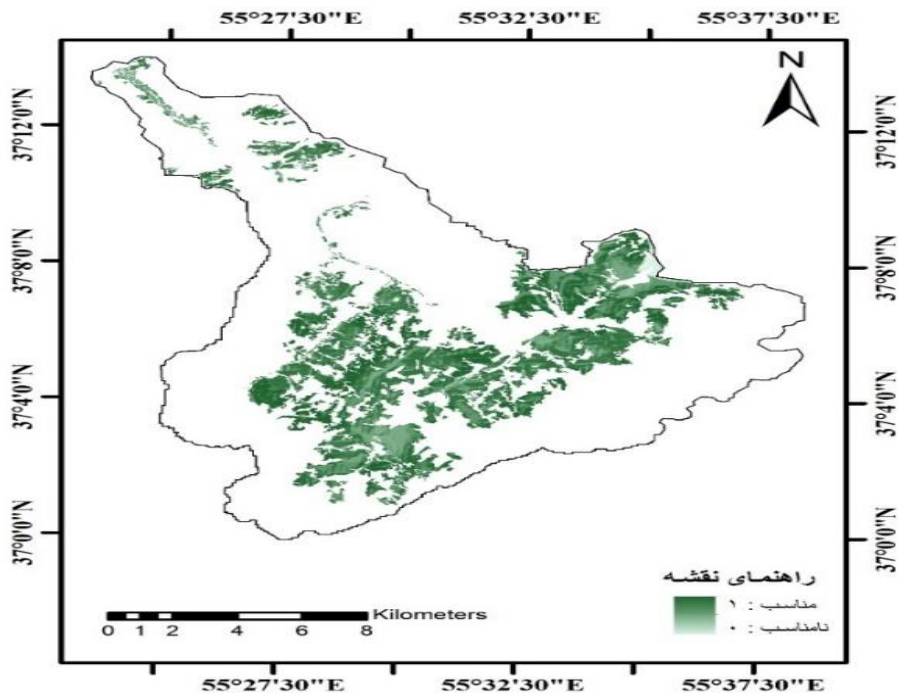
نسبت محاسباتی با معیار یک مقایسه می‌شود. در صورتی که این معیار بزرگ‌تر از یک باشد فعالیت مورد نظر دارای توجیه اقتصادی بوده و از بین تمامی فعالیت‌هایی که دارای توجیه اقتصادی بوده فعالیتی که نسبت منفعت به هزینه (B/C) آن در مقایسه با دیگر فعالیت‌ها از همه بالاتر باشد از اولویت بالاتری از نظر توجیه اقتصادی قرار دارد (۲۰). در این تحقیق

می‌یابد. در نهایت بعد از به‌دست‌آمدن نقشه تناسب برای همه کاربری‌های پیشنهادی، با دادن مساحت دلخواه (یک‌چهارم مساحت اراضی با تناسب بالا) و وزن دلخواه (بر اساس اقتصادی‌بودن هر کاربری و نسبت سود به هزینه آن‌ها) به هر یک از کاربری‌ها در محیط ترست، جانمایی نهایی کاربری‌ها در عرصه با اجرای روش MOLA به‌دست آمد (شکل ۸).

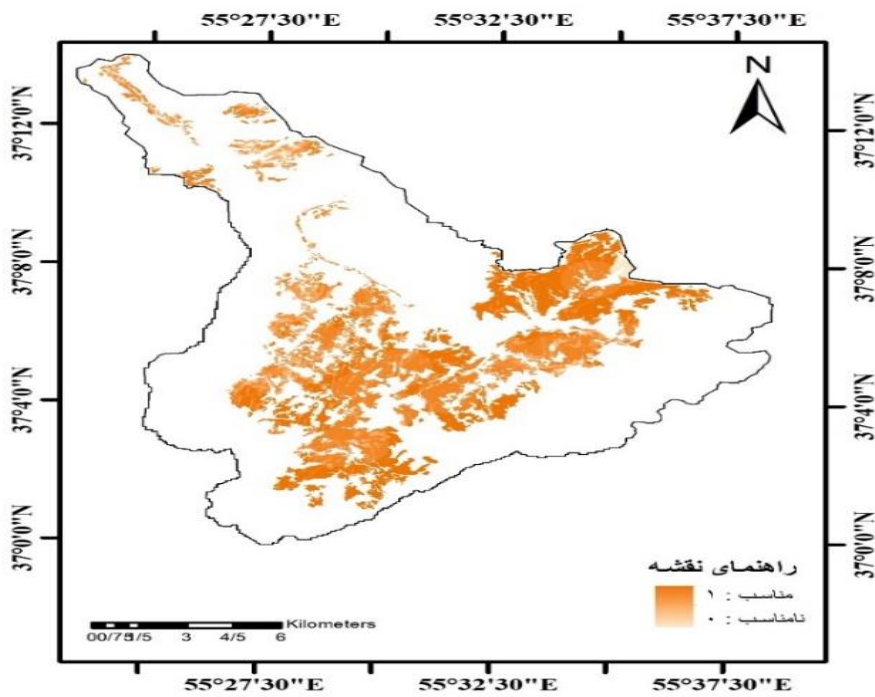
گرفت. بر این اساس هر یک از فاکتورها برای کاربری پیشنهادی بین صفر و یک استاندارد شدند و نقشه فازی هر یک از کاربری‌ها در محیط ترست تهیه شد. در نهایت با توجه به فاکتورها و محدودیت‌های تعریف‌شده نقشه تناسب هر یک از کاربری‌های پیشنهادی با روش MCE تهیه شد. در نقشه نهایی با افزایش ارزش‌ها از صفر تا یک، تناسب افزایش



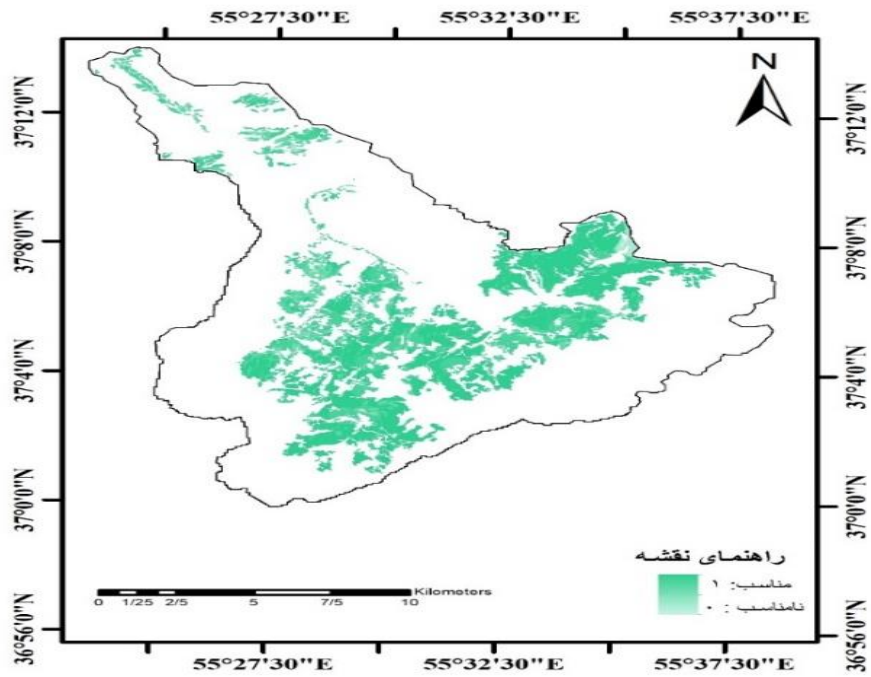
شکل ۲- نقشه تناسب اراضی برای تراس‌بندی
Figure 2. Land suitability map for terracing



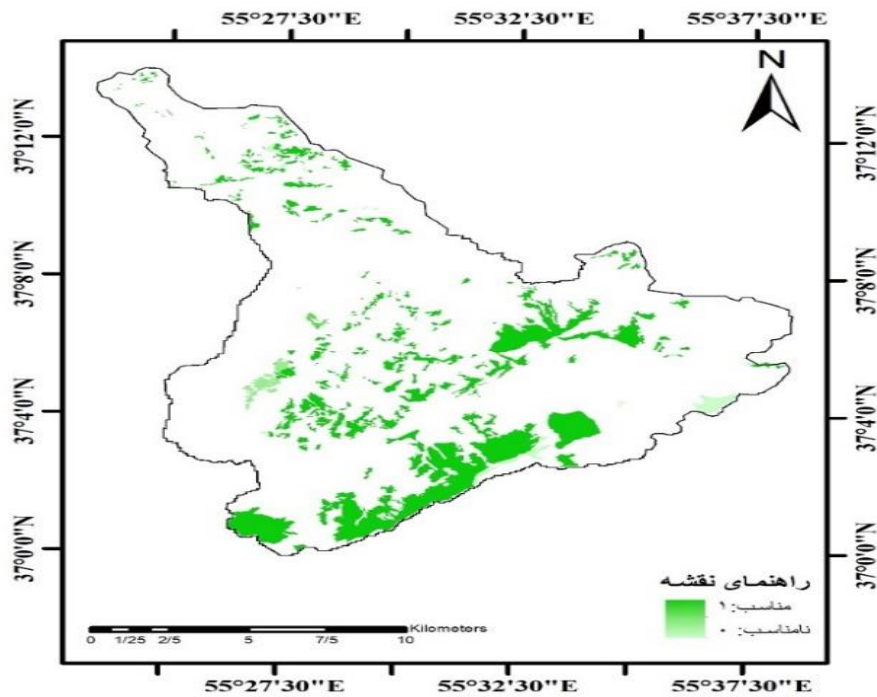
شکل ۳- نقشه تناسب اراضی برای احداث باغ
Figure 3. Land suitability map for garden



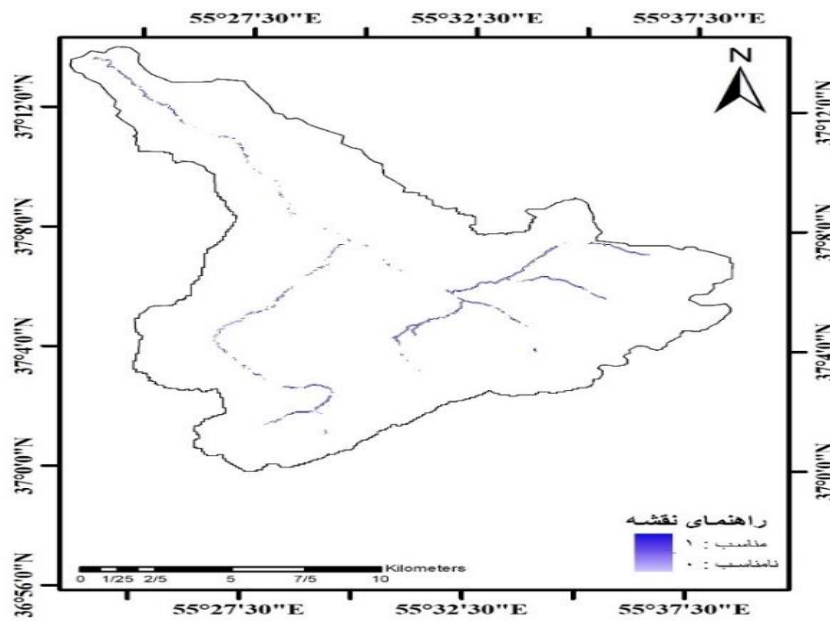
شکل ۴- نقشه تناسب اراضی برای آگروفارستری
Figure 4. Land suitability map for agroforestry



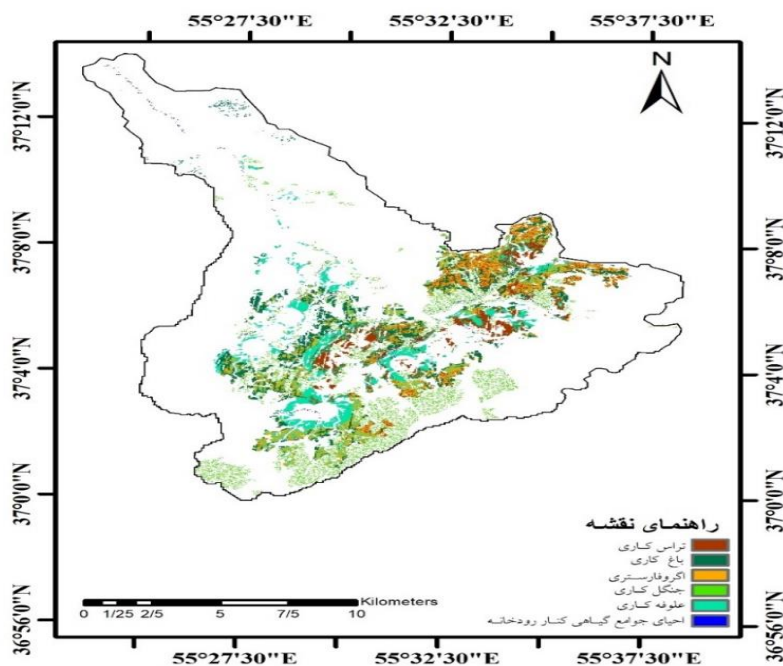
شکل ۵- نقشه تناسب اراضی برای علوفه‌کاری
Figure 5. Land suitability map for forage



شکل ۶- نقشه تناسب اراضی برای جنگل‌کاری
Figure 6. Land suitability map for forestry



شکل ۷- نقشه تناسب احیای جوامع گیاهی کنار رودخانه
 Figure 7. Suitability map afforestation and riparian forest buffers



شکل ۸- نقشه نهایی تناسب کاربری اراضی حوزه آبخیز چهل‌چای به روش MOLA
 Figure 8. Final map of land use suitability of Chehel-Chay watershed by MOLA method

کاشت گونه زربین)، علوفه کاری (با پیشنهاد کاشت یونجه) و احیای جوامع گیاهی کنار رودخانه (با پیشنهاد کاشت گونه صنوبر) با در نظر گرفتن هزینه احداث و نگهداری و درآمد هر یک از کاربری‌های پیشنهادی طی افق برنامه‌ریزی ۳۰ ساله، نسبت سود به هزینه هر کاربری به‌دست آمد (جدول ۱).

نتایج تجزیه و تحلیل اقتصادی کاربری‌های پیشنهادی با استفاده از روش نسبت منافع به مخارج
 در این مطالعه برای فعالیت مدیریت کشت روی تراس (با پیشنهاد کاشت گندم و یونجه)، باغکاری (با پیشنهاد کاشت گونه‌های گلابی و گیلاس)، اگروفارستری (با پیشنهاد تلفیق درختان گردو و محصول گندم)، جنگل کاری (با پیشنهاد

جدول ۱- نسبت سود به هزینه کاربری‌های پیشنهادی

کاربری پیشنهادی	تعداد دوره‌های متوالی*	هزینه (میلیون ریال)	درآمد (میلیون ریال)	B/C
تراس کاری	۳۰	۲۵۹۰/۵۶	۸۳۴۳/۵۱	۳/۲۲
باغکاری	۱	۵۲۷۰/۴۷	۵۹۵۳۰/۵۱	۱۱/۲۹
جنگل کاری	۱	۱۴۰۰۵/۴۰	۲۹۳۱۸/۹۱	۲/۰۹
آگروفارستری	۱	۵۸۸۳/۳۹	۳۷۲۵۷/۷۲	۶/۳۳
علوفه کاری	۶	۶۲۷/۶۷	۴۳۲۱/۰۶	۶/۸۸
احیای جوامع گیاهی کنار رودخانه	۲	۲۱۱۹۶/۸۴	۵۲۸۵۴/۳۶	۲/۴۹

*: تعداد دوره‌های متوالی انجام فعالیت در افق زمانی تحلیل اقتصادی ۳۰ سال

اشاره نمود. در این پژوهش با توجه به شرایط منطقه و پیشنهادات کارشناسی درخت صنوبر برای کاربری احیای جوامع گیاهی کنار رودخانه پیشنهاد شد که با توجه به اینکه نسبت مقدار سود به هزینه این کاربری ۲/۴۹ محاسبه شد از لحاظ اقتصادی نیز مقرون به صرفه است.

کاهش سطح رویشگاه‌های طبیعی از طریق تغییر کاربری اراضی به صورت قانونی یا خلاف آن، توسط بخش‌های مختلف دولت و مردم اتفاق می‌افتد. همچنین افزایش سطح زمین‌های کشاورزی و باغی و اجرای طرح‌های توسعه‌ای و عمرانی بدون وقفه ادامه دارد. خروجی این روند، کاهش تدریجی سطح جنگل‌ها، مراتع، مانداب‌ها و اکوسیستم‌های بیابانی کشور است. با اینکه نمی‌توان کتمان کرد، یکی از ملزومات اولیه برای اجرای تعدادی از این طرح‌های توسعه‌ای، تأمین زمین است. اما باید در ارائه راهبردها نیاز توسعه‌ای را با کمترین سطح تخریب و حداقل تقاضا برای زمین به سرانجام رساند که باید یک سری اصول اولیه در آن رعایت شود. به عنوان مثال در برنامه‌های توسعه‌ای، حفظ مناطق حفاظت‌شده و سایر اکوسیستم‌های ویژه و شاخص که دستگاه‌های متولی، آن‌ها را شناسایی و معرفی می‌کنند به عنوان خط قرمز توسعه محسوب شود و همچنین برنامه‌های توسعه‌ای کشور به صورتی هدایت شود که ضمن دسترسی به اهداف مهم آن از جمله رشد اقتصادی و ایجاد اشتغال، بدون وابستگی به زمین باشد.

با توجه به شرایط فیزیکی آبخیز چهل‌چای، مانند کوهستانی و پرشیب بودن، نحوه مدیریت اراضی و تبدیل وسیع کاربری اراضی جنگلی به زراعت و گسترش اراضی دیم با اعمال شخم در جهت شیب، زمینه را برای نابودی خاک، کاهش حاصلخیزی، از بین رفتن اکوسیستم، کاهش درآمد و افزایش فقر و به تبع آن مهاجرت بی‌رویه را فراهم آورده است. لذا به منظور دستیابی به مدیریت یکپارچه آبخیز، تدوین برنامه مدیریتی به منظور اصلاح، بازسازی و حفاظت آبخیز در جهت حفظ و ارتقای سطح سلامت آبخیزها ضروری می‌باشد.

یافته‌های ارزیابی توان و تناسب سرزمین برای کاربری‌های مختلف نشان داد که با توجه به شرایط فیزیوگرافی و خاک‌شناسی حوزه آبخیز چهل‌چای، اراضی دارای تناسب برای تمامی کاربری‌های پیشنهادی وجود دارد و کاربری علوفه‌کاری از بین کاربری‌های دیگر بیشترین مساحت تناسب در حوزه را در بر گرفته است که به پیشنهاد یونجه‌کاری با توجه به نظر پذیرش مردمی و نظر کارشناسی در این کاربری ارزیابی اقتصادی نیز صورت گرفت و از آنجائی که مقدار نسبت سود به هزینه این کاربری ۶/۸۸ محاسبه شد از لحاظ اقتصادی نیز مقرون به صرفه است. نقشه کاربری اصلاحی حوضه، با تحلیل لایه‌های مختلف و تکرارهای زیاد در محیط ترست ایجاد شد ولی از آنجاکه مراحل تحلیل در قالب مدل صورت گرفت، می‌توان به شکل راحت‌تر و در زمان نسبتاً کم‌تر آمایش فوق را به صورت نیمه‌اتوماتیک بارها اجرا نمود و نتایج را تحت نظر کارشناسان و مدیران منطقه و عواملی مانند میزان بودجه تا حدی تغییر داد تا در نهایت به نوعی اجماع گروهی بر سر چینش و مقدار کاربری‌های مختلف دست یافت که با تحقیقات ماهینی (۱۱) مطابقت دارد. همچنین بررسی هزینه و درآمد خالص هر یک از فعالیت‌ها به تفکیک میزان سود به هزینه برای هر یک هکتار نشان داد که همه فعالیت‌های پیشنهادی توجیه اقتصادی داشته و نسبت سود به هزینه بزرگ‌تر از یک می‌باشد. در مقایسه بین فعالیت‌ها، باغکاری بالاترین نسبت را داشته است که حاکی از اقتصادی بودن این عملیات و افزایش انگیزه اقتصادی و کسب و کار در منطقه می‌گردد که با نتایج گوهر دوست و همکاران (۴) مطابقت دارد.

همچنین می‌توان از یافته‌های ارزیابی توان و تناسب سرزمین به این نتیجه رسید که پیشنهاد افزایش جوامع گیاهی کنار رودخانه در این پژوهش باعث بهبود شرایط اکولوژیکی آبخیز چهل‌چای می‌گردد. از جمله مزایای وجود جوامع گیاهی در حاشیه رودخانه می‌توان به حفظ کیفیت آب، افزایش تنوع زیستی، کاهش اثر آلودگی آب، تأمین مواد غذایی، حفظ زیستگاه‌های ماهیان و حیات وحش نیوسام و همکاران (۱۶)

منابع

1. Ausseil, A.G.E., J.R. Dymond, M.U.F. Kirschbaum, R.M. Andrew and R.L. Parfitt. 2013. Assessment of multiple ecosystem services in New Zealand at the catchment scale. Environmental modelling and software, 43: 37-48.
2. Chen, H.S., G.S. Liu, Y.F. Yang, X.F. Ye and S.H.I. Zhou. 2010. Comprehensive evaluation of tobacco ecological suitability of Henan Province based on GIS. Agricultural Sciences in China, 9(4): 583-592.

3. Dehghan, H. and A. Phalsaphian. 2018. Identifying Factors Affecting Agricultural Land Use Conservation in Sustainable Agriculture in Bostanabad, *Journal of Agricultural Knowledge and Sustainable Production*, 19(1): 151-168 (In Persian).
4. Gohardost, A. 2011. Compiling a 10-year Perspective Document for the Management of Chehelchayi Minoodasht Watershed-Golestan Province. Master's Degree in Watershed Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, 135 (In Persian).
5. Han, J.C., G.H. Huang, H. Zhang and Z. Li. 2013. Optimal land use management for soil erosion control by using an interval-parameter fuzzy two-stage stochastic programming approach. *Environmental management*, 52(3): 621-638.
6. Higgs, G. 2006. Integrating multi-criteria techniques with geographical information systems in waste facility location to enhance public participation. *Waste management and research*, 24(2): 105-117.
7. Honarbakhsh, A., M. Pajohesh, M. Zangi Abadi and M. Heydari. 2016. Watershed Management through Land Use Optimization Using Mathematical and Spatial Optimization Approaches. *Journal of Water and Soil Sciences. Sciences and Techniques in Agriculture and Natural Resources*, 4: pp. 257-270 (In Persian).
8. Kamiab, H. and A. Mahini. 2016. Integrated Watershed Management Assessment Report. Country, Rangeland and Watershed Management Organization, 338 (In Persian).
9. Kaboodi, A., A. Salman Mahini, H. Mir Karimi, S. Haghparat, H. Raisi and Y. Azizi. 2015. Development of MCE model for hydrothermal and cold water aquaculture zoning in IDRISI software of Golestan province. *Journal of Aquatic Ecology*, 5: 60-69 (In Persian).
10. Liu, X., X. Li, X. Shi, K. Huang and Y. Liu. 2012. A multi-type ant colony optimization (MACO) method for optimal land use allocation in large areas. *International Journal of Geographical Information Science*, 26(7): 1325-1343.
11. Mahini, A. 2013. Identifying and Developing Criteria for Evaluating Ecological Potential of Land Use in Golestan Province Using Multivariate Computer Integration (MCE). *Golestan Province Planning Studies*, 222 (In Persian).
12. Makhdoom, M., A. Dervishesoft, H. Jafarzadeh and A. Makhdoom. 2005. Environmental Assessment and Planning Using GIS. University of Tehran Press, 304 (In Persian).
13. Makhdoom Farkhande, M. 2013. The basis of land preparation. Fifteenth printing. University of Tehran Publications, 300 (In Persian).
14. Masfai, J., A. Saleh Pourjam and M. Kamali. 2018. Evaluation of Ecological Capacity of Akujan Watershed for Rangeland and Agricultural Uses Using Geographic Information. *Remote Sensing and Geographic Information System in Natural Resources*, 1: 104-1118 (In Persian).
15. Moghaddasi, N., V. Sheikh and A. Najafinejad. 2015. Qualitative Evaluation of Watershed Management Plans by Descriptive Correlation Method (Case Study: Sedbostan Watershed). *Journal of Soil Conservation Research*, 22(2): 205-218 (In Persian).
16. Newsom, H.E., J.J. Hagerty and I.E. Thorsos. 2001. Location and sampling of aqueous and hydrothermal deposits in Martian impact craters. *Astrobiology*, 1(1): 71-88.
17. Rajaei, F., A. Esmaeilisari, A. Salman Mahini, M. Delaware, M. Gholipour and A. Masakhbavani. 2017. Forecasting the Most Potential Agricultural Areas of Tajan Watershed Using Multiple Criteria Evaluation Method (MCE). *Journal of Town and Country Planning*, 9(1): 111-127 (In Persian).
18. Sadoddin, A., V. Sheikh, R. Mostafazadeh and M.G. Halili. 2012. Analysis of vegetation-based management scenarios using MCDM in the Ramian watershed, Golestan, Iran. *International Journal of Plant Production*, 4(1): 51-62 (In Persian).
19. Sadoddin, A., E. Alvandi and V. Berdi Sheikh. 2015. Developing a Decision Support System for Participatory and Integrated Management of the Chel-Chai Watershed, Golestan Province. *Journal of Watershed Management Research*, 6(11): 124-136 (In Persian).
20. Sharifi, S., F. Mohammadzadeh, A. Karimian and H. Mirghaderi. 2016. Economic Impact Assessment of Converting Rainfed Agriculture to Almond Gardens and Its Impact on Soil Characteristics in Dejkord Area of Eqlid City. *Iranian Journal of Natural Resources*, 69(2): 411-425 (In Persian).
21. Yar Ahmadi, J., D. Nikkami, A. Shahnavaizi and M. Sadeghzadeh. 2017. Land Use Optimization of a Part of the Southern Slopes of Aharchai Watershed. *Journal of Watershed Engineering and Management Research*, 10(1): 43-57 (In Persian).

Land Use Optimization using Multi-Criteria Assessment and Economic Analysis (A Case Study: Chehelchay Watershed, Golestan Province)

Fereshteh Rahimi¹, Ali Najafinejad², Vahed Bordi Sheikh² and Arash Zare Garizi³

1- M.Sc. Student, Department of Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, (Corresponding author: fereshterahimi72@gmail.com)

2- Associate Professor, Department of Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

3- Assistant Professor, Department of Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Received: December 23, 2019 Accepted: May 6, 2020

Abstract

Land use optimization for proper utilization of land resources has always been one of the main issues in natural resource planning. To avoid the adverse effects of improper land use, management programs should be designed that incorporate land use optimization. In this research, land use optimization has been performed for the Chehelchay watershed, with an area of 25680 hectares in Golestan province, in order to prevent improper land utilization which threatens economic and social sustainability of the watershed. For this purpose, an optimal land use map was created using multi-criteria evaluation method together with economic evaluation of land uses based on the benefit-to-cost ratio. Proposed land uses and protection actions for the Chehelchay watershed include terracing, orchards, agroforestry, forage cultivation, afforestation and riparian forest buffers. To assess land suitability for different uses, several data layers were input and analyzed in Terrset software. Each of the factors (i.e. data layers) was standardized between zero and one. Then, the layers were combined using Multi-Criteria Evaluation (MCE) method to generate fuzzy suitability map for each land use. In the final map, suitability values range between zero (not suitable) and one (perfectly suitable). Also, considering the costs of establishment, maintenance and income of each of the proposed land uses during a 30-year planning horizon, benefit-to-cost ratio was calculated for each land use. The results of the economic evaluations indicated that all of the proposed land uses are profitable. Finally, based on the results of multi-criteria evaluation and economic evaluations, the optimized areas for each proposed land use were determined across the watershed.

Keywords: Benefit-Cost Ratio, Land Suitability, Optimize Use, The Planning Horizon



"مقاله پژوهشی"

بررسی کارایی مدل SWAT در شبیه‌سازی رواناب و رطوبت موجود در خاک در حوضه دویرج استان ایلام

فاطمه بالویی^۱، سعید سلطانی کوپائی^۲ و محسن توکلی^۳

۱- دانش آموخته دانشگاه صنعتی اصفهان، رشته مهندسی منابع طبیعی، آبخیزداری، (نویسنده مسوول: fateme.baloi1@gmail.com)

۲- استاد گروه مرتع و آبخیز، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۳- استاد گروه مرتع و آبخیز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۹/۰۶

صفحه: ۱۸۰ تا ۱۹۰

چکیده

مدل‌های مختلفی جهت شرح و پیش‌بینی هیدرولوژی آبخیز ارائه شده که از نظر اهداف و مقیاس زمانی و مکانی متفاوت‌اند. در این مطالعه از مدل SWAT جهت شبیه‌سازی پاسخ هیدرولوژیکی حوضه دویرج استفاده شد. ورودی‌های اصلی مدل شامل اطلاعات هواشناسی، نقشه مدل رقومی ارتفاعی حوضه، نقشه خاک‌شناسی و نقشه کاربری اراضی است. با استفاده از مدل SWAT_CUP با وارد کردن داده‌های مشاهداتی دبی خروجی از حوضه و انجام مراحل واسنجی طی دوره ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۸ کارایی مدل افزایش یافت و سپس مرحله اعتبارسنجی از سال ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۲ توانایی مدل را برای شبیه‌سازی بارش- رواناب و استفاده از آن را برای اهداف مطالعه تایید نمود. میانگین درازمدت رطوبت خاک در سال ۱۹۹۶، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۳ به ترتیب برابر با ۵۲۴/۲۴، ۳۳۷/۵۹ و ۴۶۸/۷۷ میلی‌متر می‌باشد. مطالعه اجزای بیلان شبیه‌سازی شده توسط مدل SWAT نشان داد که برای سال ۱۹۹۶ علاوه بر بارندگی شدید بیلان آبی تقریباً برابر صفر است؛ مشخص شد عمده تلفات در این سال به وسیله تبخیر و تعرق اتفاق افتاد. برای سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۱۳ بیلان آبی مثبت است زیرا مجموع تبخیر و تعرق، جریان برگشتی به رودخانه، جریان جانبی، نفوذ و رواناب سطحی از مجموع بارش کمتر است.

واژه‌های کلیدی: بیلان آبی، دویرج، رطوبت خاک، SWAT_CUP، SWAT

مقدمه

استفاده از اندازه‌گیری‌های شدت جریان از سال ۲۰۰۶-۱۹۹۴ در ایستگاه ایدنک واسنجی و اعتبارسنجی گردید. نتایج کلی شبیه‌سازی نشان‌دهنده توانایی مناسب مدل SWAT در شبیه‌سازی رواناب است. یانگ و همکاران (۲۹) به بررسی هیدرولوژی و کیفیت آب حوضه آبریز تور واقع در کشور سوئیس با استفاده از مدل SWAT پرداختند. جهت واسنجی و عدم قطعیت مدل از الگوریتم SUFI-2 استفاده کردند. نتایج تحقیقات آن‌ها نشان داد که مدل SWAT، دبی، روندیابی نیترا، فسفر و رسوب را به خوبی در این حوضه نشان داده است. شاول و همکاران (۲۵) به منظور ارزیابی عملکرد SWAT در تحلیل پارامترهای هیدرولوژیک بر تغییرات جریان و تخمین عملکرد آبی ماهانه و فصلی در حوضه کوهستانی شایا در جنوب شرقی اتیوپی اقدام کردند. آنان توانایی بالای مدل SWAT را در تحقیق خود گزارش نمودند. موربایسی و همکاران (۲۲) به بررسی میزان عمق آب‌های سطحی با استفاده از مدل SWAT پرداختند. جهت واسنجی مدل از داده‌های سه حلقه چاه مشاهده‌ای در مزارع جنگلی در حوضه رودخانه Muscatatuck در جنوب شرقی ایندیانا استفاده کردند. ضرایب نش و rsm برای واسنجی به صورت روزانه به ترتیب ۰/۴۱ و ۰/۵۹ و برای ماهانه ۰/۴ و ۰/۶ به دست آوردند که آن‌را نشان‌دهنده کارایی مدل دانستند. پژوهش‌های بسیاری با استفاده از مدل SWAT صورت گرفته است که کارایی این مدل را در برآورد پاسخ هیدرولوژیک حوضه نشان می‌دهد بنابراین با توجه به اینکه تاکنون برآورد بیلان آبی و رطوبت خاک در سطح کل حوضه دویرج استان ایلام بررسی نشده است و این منطقه از حوضه‌های اصلی مرزی می‌باشد این پژوهش با هدف بررسی

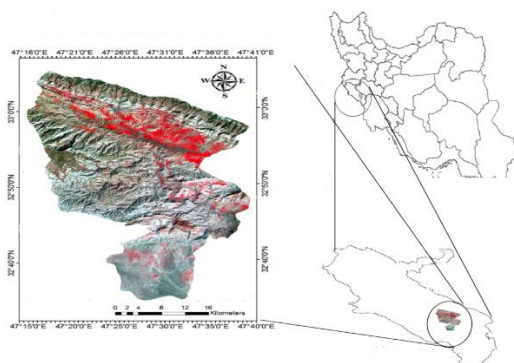
مدل‌های مختلفی جهت شرح و پیش‌بینی هیدرولوژی آبخیز ارائه شده که از نظر اهداف و مقیاس زمانی و مکانی متفاوت‌اند. تفاوت شرایط و اطلاعات ناقص و نامناسب باعث می‌شود اعتبار مدل و تطابق آن با واقعیت امری دشوار و نسی شود و بیان اینکه مدلی دقیقاً بیان‌گر واقعیت است غیرممکن است (۶). آبابایی و سهرابی (۱) به ارزیابی عملکرد مدل SWAT در حوضه آبریز زاینده‌رود پرداختند. بهترین نتایج پژوهش آن‌ها در ایستگاه پل کله و ضعیف‌ترین نتایج در ایستگاه قلعه شاهرخ به دست آمد. نتایج شبیه‌سازی آن‌ها نشان می‌دهد که SWAT می‌تواند ابزار مناسبی در رابطه با شبیه‌سازی شدت جریان رودخانه باشد. شایگان و همکاران (۲۶) از مدل SWAT جهت شبیه‌سازی بارش-رواناب در حوضه طالقان استان گلستان استفاده کردند. نتایج نشان داد که این مدل توانایی کمتری در شبیه‌سازی دبی اوج دارد چراکه مقادیر کمتری را برای دبی‌های اوج در واسنجی و اعتبارسنجی تخمین زده است. در مجموع، مدل مذکور قابلیت زیادی برای پیش‌بینی دبی ماهانه حوضه طالقان داشت. شباهت زیاد منحنی‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی این توانایی را تایید کرد. زاهدی و همکاران (۳۰) شبیه‌سازی جریان زیرسطحی برای تعیین مناطق مستعد احداث سد زیرزمینی در حوضه آبخیز رودخانه درونگر درگز را با استفاده از مدل SWAT انجام دادند. نتایج بررسی‌های آن‌ها نشان داد مناطق شمالی و جنوبی حوضه دارای جریان زیرسطحی بالاتری نسبت به مناطق مرکزی می‌باشد. زلکی بدیلی و همکاران (۳۱) از مدل SWAT جهت شبیه‌سازی رواناب حوضه آبخیز سد مارون (ایدنک) استفاده کردند. مدل با

استان ایلام و در شهرستان‌های دهلران و آبدانان واقع شده است. محدوده مورد مطالعه دارای مختصات جغرافیایی ۱۶° ۴۷' تا ۴۰° ۴۷' طول شرقی ۳۴° ۳۲' تا ۵° ۳۳' عرض شمالی می‌باشد که از شمال به کبیر کوه، در جنوب به موسیان در شرق به کوه دال‌پری و حوضه آبخیز رودخانه چپ‌خواب و از غرب به دینارکوه و دهلران محدود می‌شود. بلندترین نقطه حوضه، کبیرکوه با ارتفاع حدود ۲۲۰۰ متر و کمترین ارتفاع، در خروجی آن با ارتفاع ۱۰۰ متر از سطح دریا است. شکل (۱) موقعیت کشوری و استانی حوضه دویرج را نشان می‌دهد.

تغییرات زمانی و مکانی مقدار رطوبت خاک در این حوضه با استفاده از تکنیک‌های سامانه اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور و مدل SWAT با صرف زمان و هزینه کم به‌منظور کمک به برنامه‌ریزان جهت عملیات حفاظت آب و خاک صورت گرفت.

مواد و روش‌ها منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز دویرج از حوضه‌های مرزی کشور محسوب می‌شود که با مساحت ۱۲۱۶۰۰ کیلومترمربع در محدوده



شکل ۱- موقعیت کشوری و استانی حوضه آبخیز دویرج
Figure 1. Country and provincial position of the Doiraj watershed

ورودی‌های مدل

ورودی‌های مدل شامل نقشه ارتفاعی رقومی منطقه، نقشه کاربری اراضی/پوشش، نقشه خاک‌شناسی منطقه و اطلاعات اقلیمی می‌باشد. اطلاعات توپوگرافی را می‌توان با استفاده از منحنی‌های خطوط تراز در نرم‌افزار ArcGIS تهیه نمود یا از نقشه‌های آماده مراکز استفاده کرد. در این پژوهش DEM ۳۰ متری استان ایلام از سنجنده استر سایت سازمان زمین‌شناسی آمریکا تهیه شد و با برش محدوده مطالعاتی نقشه رقومی ارتفاعی به‌دست آمد. از نقشه در نرم‌افزار SWAT به‌منظور بستن محدوده مورد مطالعه، ایجاد شبکه جریان، تعیین موقعیت زهکش‌ها و منابع آب و تقسیم حوضه به زیر حوضه استفاده می‌شود؛ نقشه بافت خاک حاصل کار ابراهیمی و همکاران (۱۲) و نقشه کاربری اراضی/ پوشش تهیه شده با استفاده از الگوریتم حداکثر احتمال، بر روی تصویر اخذ شده از ماهواره لندست ۷ سنجنده ETM (2006/03/11) (۱۳۸۴/۱۲/۲۰) به‌دست آمد. پس از پیش‌پردازش‌های اولیه، ابتدا با استفاده از انتقال نقاط نمونه‌برداری شده در کلاس‌های کاربری‌های مختلف در صحرا در بر روی تصاویر با استفاده از تفسیر چشمی، عکس‌های هوایی، تصاویر Google Earth، ایجاد ترکیب رنگی کاذب و الگوریتم طبقه‌بندی نظارت نشده که بیانگر خصوصیات طیفی سطح زمین با کاربری‌های معلوم است روی تصویر پلی‌گون‌های نمونه‌برداری به‌عنوان نمونه‌های آموزشی ایجاد گردید. برای تعیین خطای نقشه‌های کاربری اراضی با استفاده از نمونه‌های تعلیمی که در روند طبقه‌بندی دخالت نداشته‌اند، اقدام به ارزیابی دقت نقشه

معرفی مدل SWAT

SWAT که مخفف Soil and Water Assessment Tool است، مدلی در مقیاس آبخیز بزرگ و یا زیر حوضه می‌باشد که توسط آرنولد برای سرویس تحقیقات کشاورزی آمریکا تهیه شده و از زمان ایجاد آن در اوایل دهه ۱۹۹۰، قابلیت‌های آن به‌طور پیوسته در حال توسعه می‌باشد (۸،۱۳). این مدل ابتدا به‌وسیله آزمایشگاه تحقیقاتی آب و خاک تکزاس (United State Department of Agriculture) USDA در اراضی چمنی به‌کار گرفته و توسعه داده شد. اساس مدل فرمول بیلان آبی می‌باشد. مدل SWAT حاصل تلفیق و اصلاح دو مدل ROTO و SWRRB است و کاربرد آن در حوضه‌های پیچیده و بزرگ می‌باشد. این مدل از اطلاعات پایه زمینی USDA و چندین نوع اطلاعات دیگر که بر پایه مفاهیم تجربی استوار است برای ایالات متحده طراحی شده است (۱۸). در مدل SWAT چرخه هیدرولوژی بر پایه معادله بیلان آبی شبیه‌سازی می‌شود:

$$SWT = SWo + \sum (Rday - Qsurf - Ea - wseep - Qgw)$$

SWT: مقدار نهایی آب خاک (میلی‌متر)
 SWo: مقدار رطوبت اولیه (میلی‌متر)
 Rday: مقدار بارندگی در روز Δt (میلی‌متر)
 Qsurf: مقدار رواناب در روز Δt (میلی‌متر)
 Ea: مقدار تبخیر و تعرق در روز Δt (میلی‌متر)
 wseep: مقدار آب نفوذی به لایه فوقانی خاک در روز Δt (میلی‌متر)
 Qgw: مقدار جریان برگشتی در روز Δt (میلی‌متر) (۱۵).

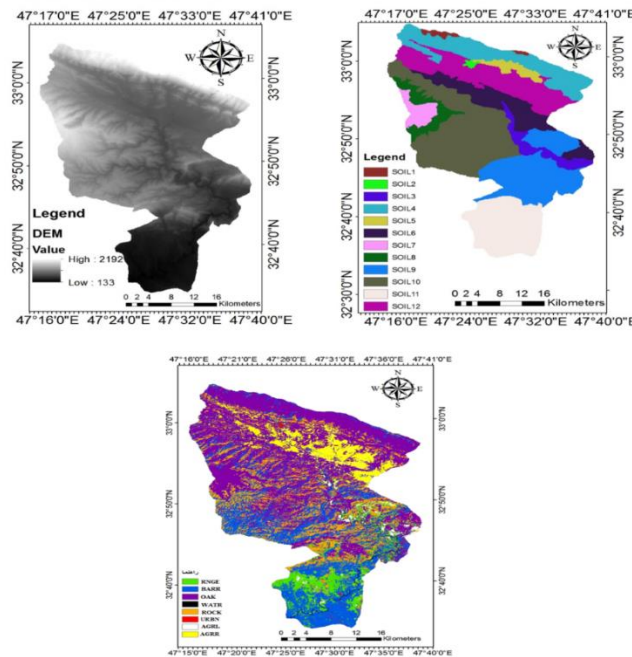
سرعت باد از ایستگاه دهلران استفاده شد. داده‌های مربوطه از سازمان هواشناسی کشور و دبی ایستگاه هیدرومتری از شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان ایلام تهیه شد. سپس با بررسی داده‌ها، داده‌های مقفود بازسازی و با توجه به عدم تطابق زمانی، دوره آماری مشترک ۱۹ سال انتخاب شد و در قالب ساختار قابل اجرا در مدل SWAT با فرمت ASCII با پسوند txt برای هر پارامتر و هر ایستگاه به صورت جداگانه درآورده شد. مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه در جدول (۱)، شکل (۳) نقشه ارتفاعی رقومی منطقه، بافت خاک و نقشه کاربری اراضی / پوشش مورد استفاده را نشان می‌دهد.

طبقه‌بندی شده گردید. معیارهای ارزیابی ضریب کاپا و صحت کلی که به ترتیب برابر با ۹۵/۱۴ و ۹۶/۶۱ بود. همچنین برای دستیابی به یک طبقه بندی نظارت شده و صحیح در ماه‌های اسفند و فروردین به تکرار از منطقه بازدید صحرایی و نمونه‌برداری به عمل آمد. اطلاعات کاربری اراضی / پوشش در جدول ۲ نشان داده شده است.

برای انجام عملیات واسنجی با توجه به هدف تحقیق، به داده‌های دبی ایستگاه هیدرومتری نیازاست. داده‌های بارندگی روزانه ایستگاه سینوپتیک دهلران واقع در ۲۰ کیلومتری حوضه و باران سنجی آبدانان واقع در بالادست حوضه و داده‌های مربوط به دما، رطوبت نسبی، تشعشعات خورشیدی و

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های استفاده شده در حوضه دویرج

نام ایستگاه	نوع ایستگاه	طول جغرافیایی (UTM)	عرض جغرافیایی (UTM)
دهلران	سینوپتیک	۳۶۱۸۴۵۳	۷۱۲۵۱۹
دویرج	هیدرومتری	۳۶۰۸۸۷۱	۷۲۵۲۴۵
آبدانان	باران سنجی	۳۶۵۲۰۳۳	۷۲۵۸۲۵



شکل ۳- نقشه ارتفاعی رقومی منطقه، نقشه بافت خاک، نقشه کاربری اراضی حوضه دویرج
Figure 3. Digital Altitude Map, Soil Texture Map, Land Use Map of Doiraj Watershed

جدول ۲- مشخصات نقشه کاربری اراضی ۲۰۰۶

درصد مساحت	مساحت (هکتار)	نوع کاربری در SWAT	کد کاربری	کاربری اراضی
۴۲/۸۰	۴۹۷۴۲/۶۳۸۵	Oak	OAK	جنگل بلوط
۸/۰۹	۹۴۰۶/۷۷۶۲	Range_Grasses	RNGE	مرتع
۲۳/۲۷	۲۷۰۴/۹۳۶۴	Barren	BARR	اراضی بایر
۸/۳۱	۹۶۶۱/۵۸۰۴	Agricultural Land_Row crops	AGRR	کشاورزی دیم
۱/۸۹	۲۱۹۹/۶۸۹۴	Agricultural Land_Generic	AGRL	کشاورزی آبی
۰/۷	۸۰۵/۶۴۹۴	Water	WATR	آب
۰/۴	۴۵۸/۸۲۷۶	Residential	URBN	مناطق مسکونی
۱۴	۱۶۹۵۰/۱۳۲۱	Rock	ROCK	صخره

داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی را بیان می‌کند. اگر این شاخص برابر صفر باشد به معنای این است که هیچ رابطه خطی بین داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی وجود ندارد، اگر برابر ۱- یا ۱ باشد به معنای این است رابطه خطی منفی یا مثبت کامل بین داده‌های شبیه‌سازی شده با مشاهداتی وجود دارد. به‌طور مشابه (R2) نسبت واریانس در داده‌های اندازه‌گیری شده توسط مدل را توصیف می‌کند. (R2) در محدوده صفر تا ۱ قرار دارد و مقادیر بالاتر نشان‌دهنده واریانس خطای کمتر است و معمولاً مقادیر بالاتر از ۰/۵ قابل قبول است (۲۱).

ضریب نش- ساتکلیف

ضریبی که اختلاف نسبی بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهداتی را بیان می‌کند. محققان از این شاخص برای ارزیابی الگوها استفاده کرده‌اند؛ این ضریب با رابطه زیر حساب می‌شود:

(۲)

$$NS = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \right]$$

که در آن O_i مقادیر مشاهده شده، P_i مقادیر شبیه‌سازی شده و \bar{O} میانگین مقادیر مشاهده شده است. مقدار این ضریب بین یک تا منفی بی‌نهایت تغییر می‌کند. بهترین مقدار برای نش عدد یک و در صورتی که مقدار آن بیش از ۰/۵ باشد نشان‌دهنده این است که شبیه‌سازی با استفاده از الگوی خوب انجام گرفته است (۲۵).

اعتبارسنجی: اعتبارسنجی مدل فرآیندی است که نشان می‌دهد یک مدل تا چه اندازه قادر به ایجاد شبیه‌سازی دقیق می‌باشد؛ گرچه میزان دقت بر اساس اهداف پروژه می‌تواند متفاوت باشد. اعتبارسنجی اجرای مدل با استفاده از پارامترهایی است که در طول واسنجی به‌دست آمده‌اند و مقایسه شبیه‌سازی با داده‌های مشاهداتی است که در واسنجی مورد استفاده قرار نگرفته‌اند (۷).

نتایج و بحث

اجرای مدل

با تهیه ورودی‌های مدل اقدام به اجرای مدل شد. پس از وارد کردن داده‌های اقلیمی با در نظر گرفتن دو سال از سال ۱۹۹۴ تا ۱۹۹۵ برای آموزش (Warm up)، شبیه‌سازی بارش- رواناب از سال ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۲ توسط روش شماره منحنی با استفاده از مقادیر پیش‌فرض در پایه زمانی ماهانه صورت گرفت. شکل ۴ شبیه‌سازی اولیه بارش- رواناب قبل از انجام واسنجی را نشان می‌دهد. سپس با استفاده از دبی مشاهداتی ایستگاه هیدرومتری دوبرج بر اساس آمار سال ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۸ مرحله واسنجی و ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۲ اعتبارسنجی در پایه زمانی ماهانه انجام گرفت. قبل از انجام عملیات واسنجی تست آنالیز حساسیت انجام گرفت که ۱۶ پارامتر بر دبی خروجی از حوضه تاثیرگذار بود. با بررسی معیارهای آماری از قبیل NS، P_factor، R_factor، R2 نتایج ارزیابی شد در صورت رضایت‌بخش نبودن با تغییر محدوده پارامترها

تحلیل حساسیت، واسنجی و اعتبارسنجی

مدل‌های هیدرولوژیک توزیع شده از جمله SWAT دارای پارامترهای زیادی هستند که بهینه‌سازی پارامترها به‌وسیله عملیات واسنجی و اعتبارسنجی صورت می‌پذیرد که به‌علت پیچیدگی مدل واسنجی دستی مشکل و تقریباً ناممکن است (۲۳) بنابراین SWAT-CUP یک برنامه عدم قطعیت مدل SWAT است که برای تحلیل حساسیت که منجر به انتخاب پارامترهای کلیدی برای واسنجی مدل SWAT و اعتبارسنجی نتایج، طراحی شده است. با استفاده دو عامل t-test و p-value تست حساسیت مدل ارزیابی می‌شود. t-test نشان‌دهنده حساسیت پارامتر است هرچه قدرمطلق مقدار t-test بیشتر باشد، حساسیت پارامتر بیشتر خواهد بود. مقدار p-value نیز اهمیت t-test را نشان می‌دهد به‌طوری که هرچه مقدار p-value کمتر باشد با درجه اطمینان بیشتری می‌توان گفت که پارامتر حساس است (۳). SWAT-CUP می‌تواند روش‌های مختلف واسنجی و عدم قطعیت را به‌کار گیرد. روش‌های SUFI2، PSO، GLUE، ParaSol و الگوریتم‌های مونت‌کارلو و زنجیره مارکوف برای واسنجی مدل به‌کار می‌رود. الگوریتم SUFI2 یکی از برنامه‌های بسته نرم‌افزار SWAT-CUP است که در بسیاری از منابع برای انجام واسنجی از آن استفاده می‌شود. در تحقیق حاضر انجام این مراحل با استفاده از الگوریتم SUFI2 در نرم‌افزار SWAT-CUP صورت گرفت، معیارهای ارزیابی کارایی مدل بر مبنای ضریب همبستگی (R2)، ضریب نش- ساتکلیف (NS)، درصد داده‌های مشاهداتی در باند عدم قطعیت (P_factor) و ضخامت باند ۹۵ درصد احتمال (R_factor) بود.

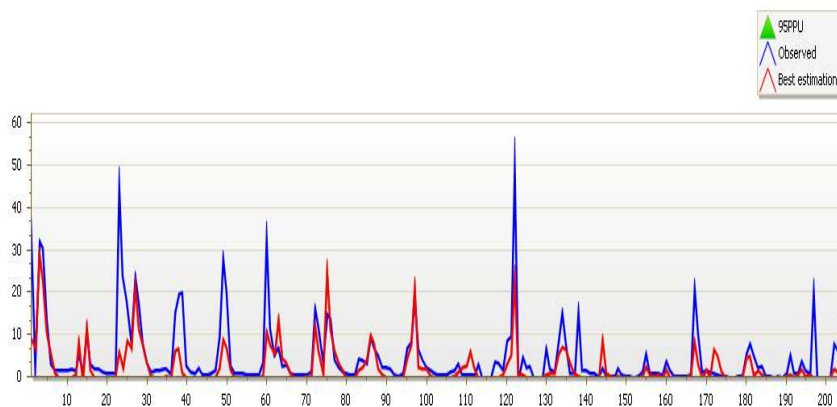
در SUFI2 عدم قطعیت به‌صورت یک بازه حساب می‌شود. عدم قطعیت در پارامترها منجر به عدم اطمینان در متغیر خروجی مدل می‌شود که به‌عنوان توزیع احتمال ۹۵ درصد (95PPU) بیان می‌گردد که متناظر با احتمال ۲/۵ درصد به‌عنوان حد پایین و ۹۷/۵ درصد به‌صورت حد بالا به‌دست می‌آید. برای اندازه‌گیری تناسب بین نتایج شبیه‌سازی شده به‌عنوان ۹۵ درصد توزیع احتمال (95PPU) و مشاهداتی از دو آماره P_factor و R_factor استفاده می‌شود. P_factor درصد داده‌های مشاهداتی است که در باند عدم قطعیت وجود دارد. R_factor ضخامت باند 95PPU است، در SUFI2 سعی می‌کنیم مقادیر معقول این دو را به‌دست آوریم به‌طوری‌که بسیاری از مشاهدات در 95PPU قرار گیرند. از لحاظ تئوری ارزش P_factor بین ۰ و ۱ است درحالی‌که R_factor بین صفر و بی‌نهایت قرار دارد هرچه P_factor به‌سمت یک و R_factor به‌سمت صفر میل کند شبیه‌سازی بهتر است و بهترین نتایج شبیه‌سازی زمانی رخ می‌دهد که P_factor برابر یک و R_factor برابر صفر باشد (۲).

ضریب تعیین (R2)

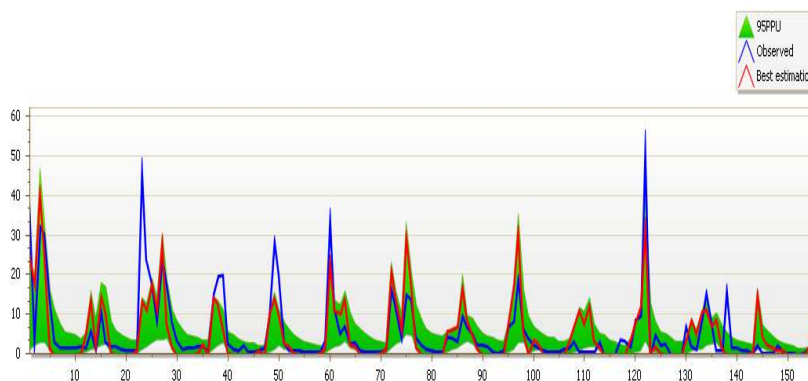
ضریب تعیین (R2) درجه خلوص داده‌ها بین داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی را بیان می‌کند. ضریب همبستگی که از ۱- تا ۱ متغیر است، شاخصی است که رابطه خطی بین

آنالیز حساسیت و واسنجی در جدول ۴ آورده شده است؛ همچنین شکل ۵ و ۶ نمودار واسنجی و اعتبارسنجی را نشان می‌دهد.

مجدد برنامه به اجرا درمی‌آید. در تحقیق حاضر بیش از ۱۰۰ بار برنامه SUFI2 با بیش از ۲۰۰۰۰ شبیه‌سازی اجرا گردید و در نهایت از مقادیر بهینه واسنجی در اعتبارسنجی استفاده گردید. پارامترهای مؤثر بر دبی حوضه و مقادیر بهینه پس از

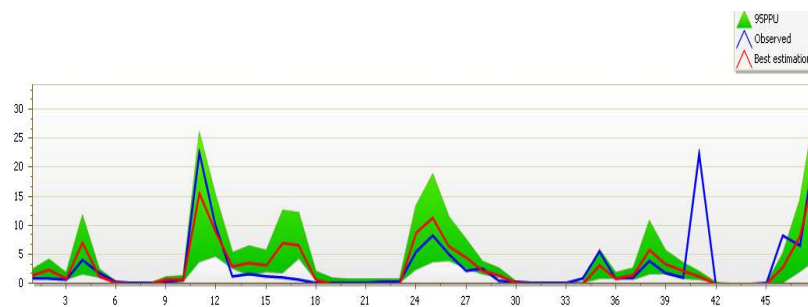


شکل ۴- دبی ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده بر حسب متر مکعب بر ثانیه ($m^3 s^{-1}$) توسط مدل طی سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۲ میلادی
Figure 4. Monthly observational and simulated monthly discharge in cubic meters per second ($m^3 s^{-1}$) using SWAT from 1996 to 2012



شکل ۵- رواناب ماهانه شبیه‌سازی شده و مشاهداتی بر حسب متر مکعب بر ثانیه ($m^3 s^{-1}$) توسط مدل طی دوره ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۸ در مرحله واسنجی

Figure 5. Simulated monthly runoff and observations in cubic meters per second ($m^3 s^{-1}$) by the model during the calibration phase from 1996 to 2008



شکل ۶- رواناب ماهانه شبیه‌سازی شده و مشاهداتی بر حسب متر مکعب بر ثانیه ($m^3 s^{-1}$) توسط مدل طی دوره ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۲ در مرحله اعتبارسنجی

Figure 6. Simulated monthly runoff and observations in cubic meters per second ($m^3 s^{-1}$) by the model during the 2009 to 2012 validation phase

گرفت جدول شماره ۳ مقدار این ضرایب را برای دوره واسنجی و اعتبارسنجی نشان می‌دهد.

ارزیابی کارایی مدل با استفاده از ضرایب آماری نش_ساتکلیف (NS)، R_2 ، R _factor و P _factor صورت

جدول ۳- شاخص‌های ارزیابی در دوره واسنجی و اعتبارسنجی

پارامتر(درصد)	r-factor	p-factor	R2	NS
واسنجی	۰/۸۷	۰/۸۱	۰/۶۰	۰/۵۸
اعتبارسنجی	۰/۸۹	۰/۸۱	۰/۵۷	۰/۵۶

جدول ۴- مقادیر بهینه پارامترها پس از انجام مرحله واسنجی

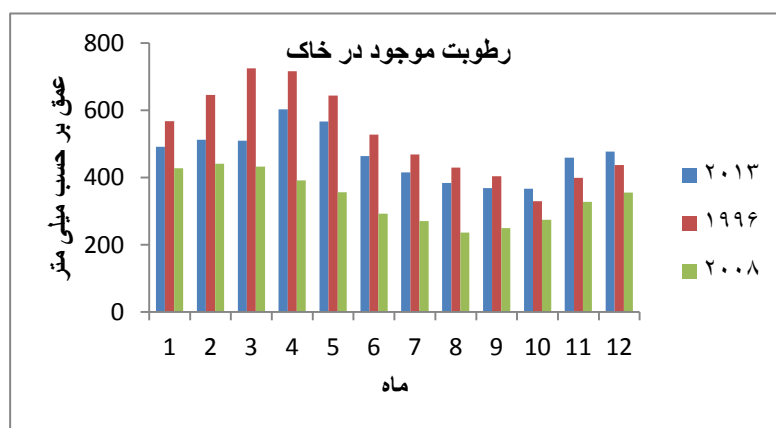
پارامتر	علامت اختصاری پارامتر	حداقل	حداکثر	حد بهینه پارامتر	نوع اثرگذاری بر پارامتر
شماره منحنی	CN2	-۰/۱	۰/۱	۰/۰۳	R
ظرفیت آب قابل دسترس خاک	SOL_AWC	-۰/۱	۰/۴	۰/۲۸	R
هدایت هیدرولیکی اشباع لایه‌های خاک	SOL_K	-۰/۴	۰/۴	-۰/۰۱	R
جرم مخصوص ظاهری لایه‌های خاک	SOL_BD	-۰/۲	۰/۶	۰/۴۷	R
سفره‌های کم عمق برای وقوع جریان برگشتی	GWQMN	۱۰۰۰	۳۰۰۰	۱۹۷۵	V
ضرب تخییر آب زیرزمینی	GW_REVAP	۰/۱	۰/۱۹	۰/۱۶	V
ضرب حداقل تخییر آب زیرزمینی	REVAPMN	۰	۴۰۰	۱۰۴/۵	V
فاکتور جبران تخییر از خاک	ESCO	۰/۸	۱	۰/۹۱۵	V
فاکتور جبران جذب آب توسط گیاه	EPCO	۰/۷	۱	۰/۹۱۱	V
ضرب مانینگ در کانال اصلی	CH_N2	۰/۱	۰/۲	۰/۱۷	V
هدایت هیدرولیکی مؤثر بستر رودخانه اصلی (mm/hr)	CH_K2	۵۰	۱۲۰	۶۲/۲۵	V
متوسط طول شیب در (m) hr	SLSUBBSN	۰	۰/۱۹	۰/۰۲	V
ضرب مانینگ در سطح زمین	OV_N	-۰/۱	۰	-۰/۰۴	R
فاکتور ضریب جریان پایه (روز)	ALPHA_BF	۰	۱	۰/۶۶	V
ضرب آلفا در جریان برگشتی (روز)	ALPHA_BNK	۰	۱	۰/۹۶	V
ضرب تأخیر جریان زیرزمینی (روز)	GW_DELAY	۳۰	۴۵۰	۵۳/۰۹	V

نکته: R به معنی ضرب کردن مقدار پیش فرض مدل در (+ مقدار بهینه پارامتر) و V به معنی جایگزین شدن حد بهینه پارامتر بجای مقدار پیش فرض مدل

تعیین بیلان آبی

سال‌های مذکور بر مبنای بررسی شرایط اقلیمی و مقایسه بارش اندازه‌گیری شده توسط ایستگاه‌های مورد مطالعه تعیین گردید. شکل ۷ و جدول ۵ تغییرات ماهانه مقدار آب موجود در خاک و شکل ۸ میانگین درازمدت زیر حوضه‌ها و شکل ۹ اجزای بیلان آبی را در حوضه دوبرج در سال‌های ۲۰۰۸، ۱۹۹۶ و ۲۰۱۳ را نشان می‌دهد.

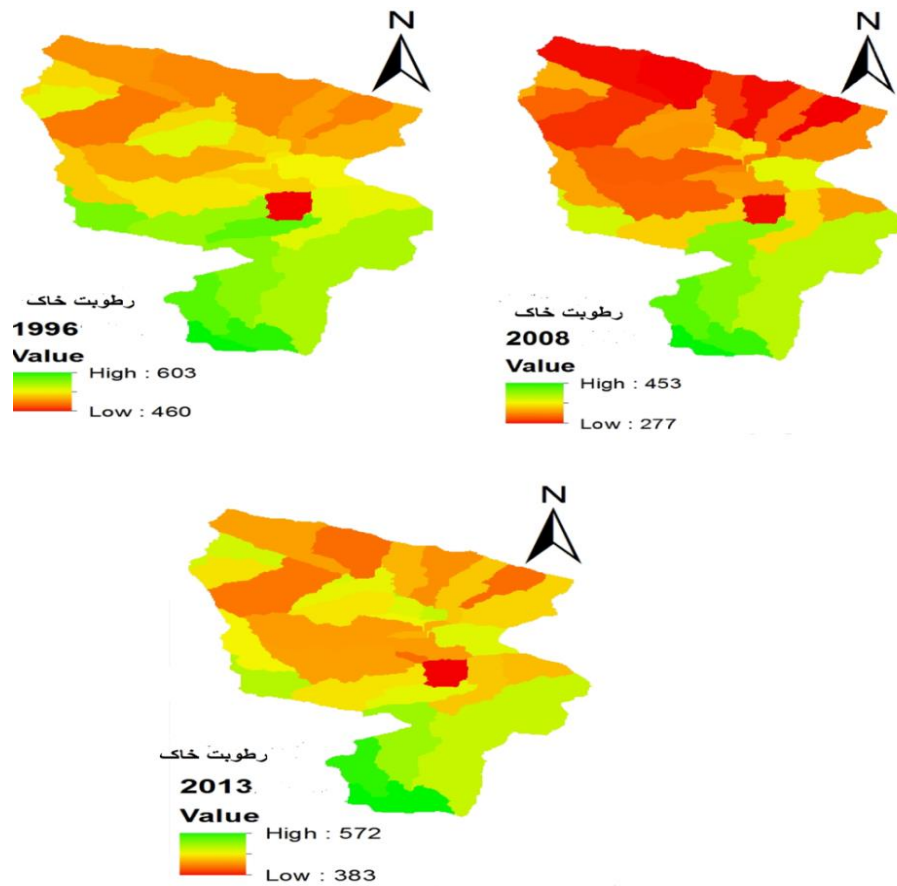
پس از آن که واسنجی صورت گرفت، نتایج نشان داد که مدل شبیه‌سازی مناسبی از رواناب در این حوضه ارائه نموده است بنابراین از مدل با استفاده از پارامترهای بهینه واسنجی شده جهت برآورد بیلان آبی استفاده گردید. بیلان آبی برای یک سال با ترسالی بسیار شدید (۱۹۹۶)، یک سال با خشک سالی شدید (۲۰۰۸) و یک سال معمولی (۲۰۱۳) بدست آمد.



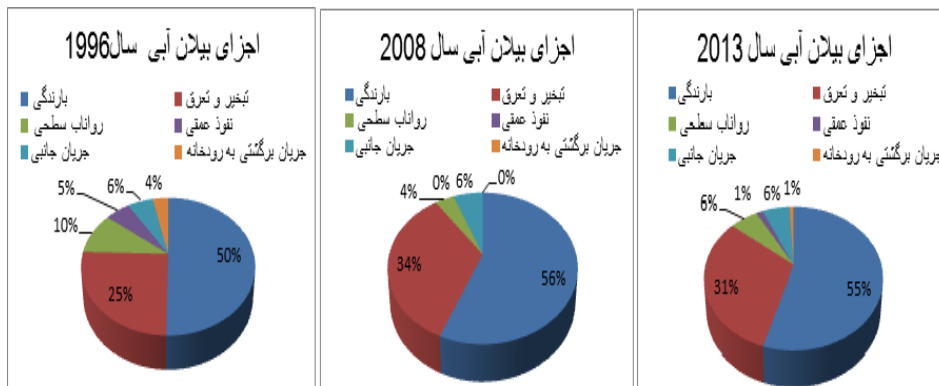
شکل ۷- مقایسه تغییرات ماهانه آب موجود در خاک در حوضه دوبرج در سال‌های ۱۹۹۶، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۳
Figure 7. Comparison of monthly changes in soil water in the Doiraj Waterhed in 1996, 2008 and 2013

جدول ۵- مقایسه تغییرات ماهانه آب موجود در خاک در حوضه دویرج بر حسب میلی‌متر (mm) در سال‌های ۱۹۹۶، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۳
Table 5. Comparison of monthly changes in soil water the Doiraj Waterhed by mm (mm) in 1996, 2008 and 2013

سال	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژولای	اگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
۱۹۹۶	۵۶۶/۹۶	۶۴۵/۲۵	۷۲۴/۶۸	۷۱۶/۲۳	۴۴۳/۷	۵۲۷/۷۳	۴۶۸	۴۲۹/۶۱	۴۰۳/۱۳	۳۲۹/۵۹	۳۹۸/۹۹	۴۳۶/۸۴
۲۰۰۸	۴۲۷/۱۷	۴۴۰/۴۵	۴۳۲/۵۲	۳۹۰/۸۸	۳۶۵/۱۷	۳۹۲/۰۸	۲۶۹/۵۸	۲۳۵/۵۵	۲۴۹/۱۲	۲۷۴/۳۳	۳۲۷/۷۴	۳۵۵/۱۹
۲۰۱۳	۴۹۱/۳	۵۱۲/۲۶	۵۰۹/۱	۶۰۲/۵۶	۵۶۶/۳۶	۴۶۳/۷	۴۱۴/۵۳	۳۸۳/۷۸	۳۶۸/۳۵	۳۶۶/۶۴	۴۵۸/۶۵	۴۷۷/۳



شکل ۸- مقایسه تغییرات آب موجود در خاک در زیرحوضه‌های دویرج بر حسب میلی‌متر (mm) در سال‌های ۱۹۹۶، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۳
Figure 8. Comparison of soil water changes in the Doiraj Watershed in mm (mm) in 1996, 2008 and 2013



شکل ۹- درصد سهم هر یک از اجزای بیلان آبی در سال‌های ۱۹۹۶، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۳
Figure 9. Share of each component of the water balance in 1996, 2008 and 2013

شبیه‌سازی ذوب برف را برای حوضه‌های کوهستانی به‌خوبی انجام نمی‌دهد. این موضوع در مطالعات پژوهشگران دیگر از جمله وانگ و ملس (۲۸)، تالسون و شومارکر (۲۷) نیز گزارش شده است. همچنین انصاری و همکاران (۵) گزارش کردند اکثر جریان‌هایی که مدل قادر به شبیه‌سازی آن‌ها نیست در اواخر زمستان و فصل بهار بوده که به‌دلیل ضعف روش شماره منحنی در شبیه‌سازی ذوب برف است. بیشترین اختلاف بین مقادیر دبی شبیه‌سازی‌شده مدل SWAT و مقادیر مشاهداتی مربوط به مقادیر دبی پایه در فصول بدون بارش بود که مدل مقدار آن را کمتر از مقدار واقعی برآورد نمود و در برخی ماه‌ها مقدار آن را صفر به‌دست آورد؛ که مشابه با نتایج تحقیقات بوش و همکاران (۱۰)، مؤذن‌زاده و همکاران (۲۰) می‌باشد. ایزدی و همکاران (۱۹) بیان کردند مدل SWAT علاوه بر شبیه‌سازی دبی‌های اوج در مقادیر کم جریان نیز عملکرد ضعیفی از خود نشان داد. آنان این مشکل را به ساده‌سازی این گونه مدل‌ها در شبیه‌سازی و تعامل پیچیده‌ی بین رواناب و جریان زیرسطحی در وقایع بارندگی با ارتفاع کم دانستند. همانطور که از نمودار رطوبت موجود در خاک مشاهده می‌شود این عامل ارتباط نزدیکی با میزان بارندگی در حوضه دارد و در سال ۱۹۹۶ بیش از سال ۲۰۱۳ و ۲۰۰۸ می‌باشد و سال ۲۰۱۳ با توجه به میزان بارندگی‌های بیشتر رطوبت خاک بیش از سال ۲۰۰۸ است. میانگین درازمدت رطوبت خاک در سال ۱۹۹۶، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۳ به‌ترتیب برابر با ۲۴۵/۲۴، ۳۳۷/۵۹ و ۴۶۸/۷۷ میلی‌متر می‌باشد. زمستان و بهار (ژانویه، فوریه، مارس و آوریل) با توجه به بارش و دمای پایین‌تر که منجر به کاهش تبخیر و تعرق می‌گردد حداکثر رطوبت و دیگر ماه‌ها با توجه به کاهش بارندگی به‌همراه افزایش دمای هوا و به‌دنبال آن افزایش میزان تبخیر و تعرق؛ دارای میزان رطوبت کمتر است. با مطالعه اجزای بیلان آبی شبیه‌سازی شده توسط مدل SWAT نتیجه شد که برای سال ۱۹۹۶ با وجود بارندگی شدید بیلان آبی تقریباً برابر صفر است که نشان‌دهنده هدر رفت آب موجود در خاک در این حوضه می‌باشد عمده تلفات توسط تبخیر و تعرق اتفاق افتاد. برای سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۱۳ بیلان آبی مثبت است زیرا مجموع تبخیر و تعرق، جریان برگشتی به رودخانه، جریان جانبی، نفوذ و رواناب سطحی از مجموع بارش کمتر است. در مجموع عمده تلفات در این حوضه به‌وسیله تبخیر و تعرق و رواناب سطحی اتفاق افتاده است. بررسی میزان رطوبت خاک در زیر حوضه‌ها نشان داد که زیر حوضه‌های واقع در ارتفاعات به‌علت شیب بیشتر و ایجاد رواناب دارای رطوبت کمتر نسبت به زیر حوضه‌های واقع در مناطق مسطح و پایین دست می‌باشد؛ همچنین در کل سطح حوضه در سناریو سال ۲۰۰۸ میزان رطوبت پایین‌تر از دو سناریو دیگر بود. نتایج نشان داد که مدل SWAT در شبیه‌سازی بیلان آبی در حوضه دویرج به‌صورت مؤثر عمل کرده‌است و می‌توان از این مدل در سایر حوضه‌ها استفاده کرد.

بررسی خروجی مدل SWAT در اولین اجرا نشان داد، دبی اوج ایستگاه هیدرومتری دویرج مطابق با ماه‌های پر بارش سال است. دبی اوج شبیه‌سازی‌شده توسط مدل نیز هم‌زمان با ماه‌های پر بارش سال است اما بررسی خروجی مدل نشان می‌دهد که در ماه‌های بدون بارش و گرم سال دبی شبیه‌سازی‌شده برابر صفر می‌باشد که نشان‌دهنده عدم شبیه‌سازی دبی پایه توسط مدل است. دبی اوج شبیه‌سازی‌شده نیز علی‌رغم اینکه در ماه‌های پر بارش سال قرار دارد مدل میزان آن را کمتر از مقدار مشاهداتی برآورد کرده است که شایگان و همکاران (۲۶) نیز ضمن بررسی مدل‌سازی هیدرولوژیک حوضه طالقان در سال ۱۳۹۰ به این موضوع اشاره کردند. متوسط رواناب ماهانه ایستگاه هیدرومتری ۵/۲۲ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد و این مقدار برای رواناب شبیه‌سازی‌شده اولین اجرای مدل برابر ۲/۸۳ مترمکعب بر ثانیه بود. مدل به‌میزان ۴۵ درصد رواناب را کمتر از مقدار مشاهداتی برآورد کرد. بنابراین جهت بهبود نتایج اقدام به واسنجی مدل طی دوره ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۸ و صحت‌سنجی از سال ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۲ شد.

با توجه به پیچیدگی‌های مدل واسنجی دستی مدل با تعداد زیادی پارامتر به‌صورت بسیار مشکلی می‌باشد بنابراین برای انجام این کار بسته نرم‌افزار SWAT_CUP طراحی شده است. بررسی عملکرد مدل با استفاده از آماره‌های R_FACTOR, P_FACTOR, R2, NS صورت گرفت. این ضرایب به‌ترتیب برای دوره واسنجی برابر ۰/۵۸، ۰/۶۰، ۰/۸۱، ۰/۸۷ و برای دوره اعتبارسنجی مدل برابر ۰/۵۶، ۰/۵۷، ۰/۸۱ و ۰/۸۹ به‌دست آمد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود بین ضرایب به‌دست‌آمده در دوره واسنجی و اعتبارسنجی مدل اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. موربایی و همکاران (۲۱) بیان می‌کنند R2 محدوده ۰ تا ۱ است، مقادیر بالاتر نشان‌دهنده واریانس خطای کمتر است و معمولاً مقادیر بیش از ۰/۵ قابل‌قبول در نظر گرفته می‌شوند همچنین بیان می‌کنند اگر ضریب نش- ساتکلیف کمتر از ۰/۵ باشد غیرقابل‌قبول، ۰/۵ تا ۰/۶۵ درصد قابل‌قبول، ۰/۶۵ تا ۰/۷۵ خوب و بیشتر از ۰/۷۵ درصد بسیار خوب محسوب می‌گردد. عباسپور (۲) جهت شبیه‌سازی رواناب برای P_factor بیش از ۰/۷۰ در صد و برای R_factor اعداد نزدیک به یک را پیشنهاد می‌کند؛ بنابراین ضرایب به‌دست‌آمده کارایی مدل SWAT در جهت شبیه‌سازی رواناب در حوضه دویرج را به‌خوبی نشان می‌دهد. با توجه به تحقیقات انجام‌گرفته توسط شایگان و همکاران (۲۶)، عمانی و همکاران (۴)، آذری و همکاران (۹)، غفاری و همکاران (۱۴)، غلامی و همکاران (۱۶)، بوکاک و همکاران (۱۱)، اسکول و عباسپور (۲۴)، گیامفی و همکاران (۱۷) نتایج واسنجی و اعتبارسنجی با الگوی مناسب صورت گرفته است. نتایج واسنجی نشان داد که مدل میزان برآورد دبی اوج را با دقت کامل انجام نداده و دبی‌هایی که در فصل بهار اتفاق می‌افتد را کمتر از میزان مشاهداتی برآورد کرد. یکی از دلایل این امر این است که مدل برای تخمین رواناب از روش SCS استفاده می‌کند که

منابع

1. Ababaei, B. and S. Sohrabi. 2009. Evaluation of the performance of the SWAT model in the Zayandehrood catchment. *Iranian Journal of of Water Conservation and Watershed Research*, 3: 58-41 (In Persian).
2. Abaspour, k. C. 2015. "User Manual for SWAT_CUP, SWAT Calibration and Uncertainty Anlysis Programs". Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, Eawage, Duebendorf, Switzer land.
3. Abbaspour, K.C., Y. Yang, L. Maximov, R. Siber, K. Bogner, J. Mieleitner, J. Zobrist and R. Srinivasan. 2006. Modelling hydrology and water quality in the pre-alpine/alpine Thur watershed using SWAT. *Journal of Hydrology*, 413-430.
4. Amani, N., M. Tajrishi and A. Abrishamchi. 2006. Simulate river flow using SWAT and GIS. Seventh International River Engineering Conference, 8-1 (In Persian).
5. Ansari, M.R., M. Gorji, GH. A. Sayad, M. Sharfa and K. Hamadi. 2014. Simulation of the rood zard runoff using the SWAT model. *Iranian Journal of Scientific and Research Journal of Irrigation Science and Engineering*, 4: 107-98 (In Persian).
6. Arefiasl, A., A. Najafinejad, F. Kiani and A. R. Mahini. 2012. Simulation of Runoff and Sediment with SWAT Model in Chehel-Chay Watershed of Golestan Province. *Pasture and Watershed Journal*, 3: 446-433 (In Persian).
7. Arnold, J.G., D.N. Moriasi, P.W. Gassman, K.C. Abbaspour, M.J. White, R. Srinivasan, C. Santhi, R.D. Harmel, A. van Griensven, M.W. Van Liew, N. Kannan and M. K. Jha. 2012. SWAT: Model use, Calibration and Validation. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 55(4): 1491-1508.
8. Ayivi, F. and M. K. jha. 2018. Estimation of water balance and water yield in the Reedy Fork-Buffer Creek Watershed in North Carolina using SWAT. *International Soil and water conservation research*, 1-11.
9. Azari, M., H.R. Moradi, B. Saghafian and M. Framarzi. 2013. Assessment of the hydrological effects of climate change in the Gorganroud basin. *Iranian Journal of Water and soil (Science and Technology of Agriculture)*, 3: 547-537 (In Persian).
10. Bosch D.D., J.M. Sheridan., H.L. Batten and J. G. Arnold. 2004. Evaluation of the SWAT model on a coastal plain agricultural watershed. *Transacttions of the American Society of Agricultural Engineers*, 47(5): 1493-1506.
11. Bucak, T., D. Trolle, H.E. Andersen, H. Thodsen, Ş. Erdoğan, E.E. Levi, N. Filiz, E. Jeppesen and M. Beklioglu. 2016. Future water availability in the largest freshwater Mediterranean lake is at great risk as evidenced from simulations with the SWAT model. *Science of the Total Environment*, 1-13.
12. Ebrahumi, H., N. Basirani and H. Karami. 2011. Performance Evaluation of SWAT Model to Simulation of Runoff and Sediment Yield in Doiraj River Basinin Ilam Province, The Thesis Submitted for the Degree of M.Sc (in the field of Watershed Management), Faculty of Natural Resources, Department of Range and Watershed Management, University of Zabol, Iran (In Persian).
13. Esmali, A and KH. Abdolahi. 2011. Watershed and Soil Conservation. Mohaghegh Ardebili Publishing. Ardabil, Iran, 574 pp.
14. Aghavan, S., A. Javadi and H. Abad. 2015. Simulation of inflow into Urumieh Lake using SWAT model. *Iranian Journal of Agricultural Science and Technology, Water and Watersheds*, 72: 33-23 (In Persian).
15. Ghafari, G., J. Ghodosi and H. Ahmadi. 2009. Investigating the Impact of Land Use Change on Hydrological Responses in the Watershed Basin (Case Study: Zanjan Rood Watershed). *Iranian Journal of Water Conservation and Watershed Research*, 1: 180-163 (In Persian).
16. Ghodosi, M., M. Delavar and S. Morid. 2014. The Effect of Land Use Land Changes on Aji Chai Waterfall Hydrology and its Entrance to Lake Urmia. *Iranian Journal of Iran Water and Soil Research* 2: 133-123 (In Persian).
17. Gholami, Sh. and M. Nasri. 2015. Simulation of Atrak River Monthly Using SWAT Model, Case Study: Marwa Tapeh Basin, Golestan Province. *Iranian Journal of Engineering and Watershed Management*, 2: 135-126 (In Persian).
18. Gyamfi, CH., J.M. Ndambuki and R.W. Salim. 2016. Hydrological Responses to Land Use/Cover Changes in the Olifants Basin, South Africa. *Water*, 1-16.
19. Hosseini, M., A. Talori and A. Bastani. 2012. Simulation of outflow runoff in non-statistics basins by SWAT2009 Case study of upstream Karaj basins, Third National Conference on Integrated Management of Water Resources of Water and Irrigation Engineering Society, 11-1 (In Persian).
20. Izadi, M., K.Ch. Akhdari, S. Akhavan and S. Emamgholizadeh. 2013. Study of the performance of SWAT2009 model in simulation in Shirindareh River. First International Conference on Water and Agriculture Water Challenges. Khorasgan Azad University, Esfahan, Iran (In Persian).
21. Moazenzadeh, R., B. Ghahreman, S. Arshad and K. Davari. 2016. Improvement of catchment modeling by integrating the main hydrological components in the SWAT model. *Iranian Journal of Iran Water Resources Research*, 3: 79-65 (In Persian).

22. Moriasi, D.N., J.G. Arnold, M.W. Van Liew, R.L. Bingner, R.D. Harmel and T.L. Veith. 2007. Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watersede Simulation. Society of Agricultural and Biological Engineers, 50(3): 885-900.
23. Moriasi, D.N., J.G. Arnold, G.G. Vazquez-Amabile and B.A. Engel. 2011. Shallow Water Table Depth Algorithm in SWAT_: Recent Developments. American Society of Agricultural and Biological Engineers, 54(5): 1705-1711.
24. NeitSch, S.L., J.G. Arnold, J.R. Kiniry and J.R. Williams. 2011. Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation version 2009 (user manual). Texas Water Resources Institute, 647 pp.
25. Schuol, J. and K.C. Abbaspour. 2006. Calibration and uncertainty issues of a hydrological model (SWAT) applied to West Africa. Adv. Geosci, 9: 137-143.
26. Shawul, A.A., T. Alamirew and M.O. Dinka. 2013. Calibration and validation of SWAT model and estimation of water balance components of Shaya mountainous watershed, Southeastern Ethiopia. Hydrology and Earth System Sciences, 10: 13955-13978.
27. Shaygan, M., A. Alimohammadi and H. Rohani. 2011. Hydrological modeling of Taleghan basin in GIS environment using SAWT model. Iranian Journal of Remote Sensing and GIS Iran, 2: 18-1 (In Persian).
28. Tolson, B.A and C.A. Shoemaker. 2004. Watershed Modeling of the Cannonsville Basin Using SWAT 2000: Model Development, Calibration and Validation for the Prediction of Flow, Sediment and Phosphorus Transport to the Cannonsville Reservoir, Technical Report, School of Civil Environmental Engineering, Cornell Univ, Ithaca, N. Y.
29. Wang, X. and A.M. Melesse. 2005. Evaluation of the SWAT model's snowmelt hydrology in a northwestern Minnesota watershed. Transactions of the ASABE, 48: 1-18.
30. Yang, J., P. Reichert and C. K. Abbaspour. 2006. Bayesian uncertainty analysis in distributed hydrologic modeling: A case study in the Thur River basin (Switzerland). Water Resources Research, 1-13.
31. Zahedi, E., A. Talebi, S.A. Tabatabaei, A. Reisi and M. Asiaei. 2017. Subsurface FlowSimulation to Determine Potential Areas of Groundwater Dam Using SWAT Model (Cace study: Doroongar Watershed, Dargaz). Iranian Journal of watershed manengment, 7(14): 206-2015 (In Persian).
32. Zalakibadili, N., A.Gh. Sayad, K. Hamadi, S. Akhavan and A. Abdi. 2012. Runoff simulation of Maroon dam (Adenk) basin using SWAT model. Iranian Journal of Agricultural Engineering (Agricultural Science Magazine), 2: 36-25 (In Persian).

Evaluation of SWAT Model for Simulation of Runoff and Soil Moisture in Doiraj Basin of Ilam Province

Fatemeh Balooei¹, Mohsen Tavakoli² and Saeed Soltani Kopaei³

1- Graduated M.Sc. of Watershed Management, Faculty of Natural Resource, Isfahan University of Technology
(Corresponding author: fateme.baloi1@gmail.com)

2- Associate Professor, Department of Range and Watershed management, Faculty of Natural Resource, Ilam University

3- Associate Professor, Department of Range and Watershed management, Faculty of Natural Resource, Isfahan University of Technology

Received: 7 January, 2020

Accepted: 26 November, 2020

Abstract

Different models have been proposed to describe and predict the hydrology of the watershed which are different in terms of objectives and spatial and temporal scales. In this study, the SWAT model was used to simulate the hydrologic response of the Doiraj basin. The main inputs of the model, which include meteorological data, a basin's elevational digital model map, a soil map and land use map, are entered into the model. The model was implemented according to the curve number method, then, using the SWAT_CUP model, the performance of the model increased with entering the observation data of the discharge from the basin and performing the calibration steps during the period from 1996 to 2008. And then the validation step from 2009 to 2012 confirmed the model's ability to simulate rainfall-runoff and its use for study purposes. Long-term mean soil moisture in 1996, 2008, and 2013 was 524.24, 337.59, and 468.77 mm, respectively. The study of the simulated water balance components showed that for 1996, despite heavy rainfall, the water balance was almost zero, indicating a loss of water in the basin in the basin, with major evapotranspiration losses. The water balance is positive for 2008 and 2013 because the sum of evapotranspiration, river flow, lateral flow, infiltration and surface runoff are lower than the sum of precipitation.

Keywords: Doiraj, Soil Moisture, SWAT, SWAT_CUP, water balance



"مقاله پژوهشی"

اثر بنتونیت و پساب فاضلاب شهری بر برخی ویژگی‌های خاک و گیاه یونجه و شبدر

عاطفه خانلری^۱، رضا تمرتاش^۲، کاکا شاهدهی^۳ و محمدرضا طاطیان^۴

۱- دانشجوی دکتری مرتداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران
۲- دانشیار، گروه مرتداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران (نویسنده مسوول: reza_tamartash@yahoo.com)
۳- دانشیار، گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۴- استادیار، گروه مرتداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱/۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۴/۱
صفحه: ۱۹۱ تا ۲۰۱

چکیده

ایران یکی از کشورهای خاورمیانه است که با کمبود منابع آب تجدیدشونده مواجه است. به‌عنوان یکی از سیاست‌های اقتصادی- اجتماعی دولت بر استفاده بهینه از منابع تجدیدپذیر، به‌ویژه استفاده مجدد از فاضلاب‌های انسانی و صنعتی تصفیه شده تأکید شده است. از عوامل محدودکننده استفاده از این پساب‌ها وجود عناصر سنگین در آن‌ها می‌باشد. از این‌رو اصلاح خاک برای کاهش این آلودگی یا غیرممتحرک‌سازی فلزات سنگین از اهمیت به‌سزایی برخوردار است. تحقیق حاضر به بررسی اثر اصلاح‌کننده بنتونیت بر غلظت عناصر موجود در خاک تحت کشت یونجه و شبدر از طریق آبیاری با فاضلاب شهری تصفیه شده پرداخته است. در این بررسی عناصر ضروری و سمی موجود در خاک با رقت‌های مختلف پساب (۰٪، ۲۵٪، ۵۰٪، ۷۵٪ و ۱۰۰٪) بررسی شد. همچنین به‌دلیل وجود مقادیر فلزات سنگین در پساب فاضلاب از اصلاح‌کننده بنتونیت به‌عنوان تثبیت‌کننده عناصر سنگین در خاک در دو سطح ۱٪ و ۳٪ استفاده گردید. نتایج نشان داد که تیمار ۱۰۰٪ پساب-۳٪ بنتونیت به‌طور معنی‌داری بیشترین مقدار کربن آلی، ماده آلی، آهک، pH و EC خاک را رقم زده است ($p < 0.05$). همچنین افزایش سطح کاربرد پساب به‌طور معنی‌داری سبب افزایش غلظت عناصر ضروری (NPK) در خاک شده است. از طرفی کاربرد سطح ۳٪ بنتونیت نیز منجر به کاهش معنی‌دار فلزات سرب و کادمیم در خاک شده است. به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که کاربرد تیمار مناسب فاضلاب می‌تواند به عنوان یک منبع بالقوه آب برای افزایش رشد و عملکرد گیاه و همچنین کاربرد بنتونیت به‌عنوان یک عامل غیرممتحرک‌سازی فلزات سنگین موجود در فاضلاب در روش‌های تولید علوفه مورد استفاده قرار گیرند.

واژه‌های کلیدی: بنتونیت، پساب، جوانه‌زنی، عملکرد گیاه، فلز سنگین

مقدمه

می‌کند. تعدادی از این عناصر مانند مس، منگنز و روی در غلظت‌های کم برای زنجیره غذایی انسان و دیگر موجودات ضروری و به‌عنوان عناصر کم نیاز شناخته شده‌اند. اما مقادیر زیاد این عناصر می‌تواند خطرات جدی را برای کل چرخه حیات طبیعی به دنبال داشته باشد (۲۴،۲۲،۴). فاضلاب اغلب دارای مقادیر نسبتاً زیادی فلزات سنگین مانند کادمیم، سرب، و نیکل می‌باشد. کاربرد مکرر فاضلاب بدون رعایت اصول زیست‌محیطی باعث تجمع این عناصر در خاک شده و می‌تواند مسائلی از قبیل سمیت گیاهان و صدمه به ریزجانداران خاک و یا انتقال عناصر سمی به زنجیره غذایی انسان را موجب گردد (۲۵،۱۵،۲۰). بنابراین ورود عناصر این‌چنینی به محیط‌های رشد گیاهان به‌ویژه در مرحله استقرار گیاه خطرآفرین بوده و باعث بروز مشکل برای ادامه رشد آن‌ها خواهد شد. به‌منظور جلوگیری از ورود آلودگی ناشی از تجمع فلزات سنگین در خاک، به داخل گیاهان و نیز آب‌های زیرزمینی، که می‌تواند خطرات جبران‌ناپذیری را به بار آورد، روش‌های متعددی در دنیا بررسی و مورد آزمایش قرار گرفته‌اند. از جمله این روش‌ها که زیاد در ایران مورد بررسی و آزمایش قرار نگرفته است، بررسی و عملکرد تثبیت و نابویا کردن فلزات سنگین توسط خاک رس در خاک‌های آلوده می‌باشد، که یکی از روش‌های اقتصادی پاک‌سازی فلزات سنگین خاک است. این روش‌ها نه تنها به هزینه کمتری نیاز دارند بلکه با محیط‌زیست سازگارتر بوده و احتمالاً موجب

با توجه به محدود بودن منابع آب شیرین در دسترس با کیفیت مطلوب و عدم توزیع یکنواخت این منابع در نقاط مختلف و تفاوت قابل توجه بارش در فصول مختلف دسترسی به منابع آبی در کشورهای مختلف با محدودیت‌های بیشتری نیز مواجه است (۲). از طرفی مصارف مختلف آب به‌شدت رو به افزایش است که مسئله تأمین آب را با مشکلات جدی مواجه ساخته است (۱۲). استفاده از آب‌های نامتعارف مانند آب‌های شور، فاضلاب‌های شهری و صنعتی به‌عنوان یک منبع با ارزش در جهت افزایش میزان تولیدات بخش کشاورزی محسوب می‌گردد. آب‌های نامتعارف مخلوطی از مواد معلق معدنی و آلی هستند که بالطبع برای گیاه مناسب می‌باشد (۲۸،۱۱). با توجه به افزایش تدریجی فاضلاب‌های شهری، جایگزینی آب مورد نیاز کشاورزی با پساب تصفیه‌شده حاصل از فاضلاب‌های شهری، به‌عنوان منبع آبی مطمئن و ارزان قیمت، تا حدودی می‌تواند از مشکلات ناشی از تأمین آب شیرین و معضلات بهداشتی دفع نامناسب این فاضلاب‌ها بکاهد (۵،۱،۲۴،۱۵).

پساب را می‌توان به‌عنوان یک منبع آبی مطمئن برای آبیاری در نظر گرفت که در این صورت در مصرف کودها نیز صرفه‌جویی خواهد شد (۱۱). این درحالی است که وجود برخی آلاینده‌ها یا عناصر سنگین و پیامدهای بسیار مضر آنها، استفاده از این پساب‌ها را در کشاورزی با تردید روبه‌رو

افزایش سطح کاربرد فاضلاب میزان عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در خاک افزایش می‌یابد. پساب‌ها با توجه به مواد مغذی که دارند باعث بهبود وضعیت خاک‌ها و افزایش عملکرد محصول می‌شوند (۱۳، ۱۹، ۲۷). در بسیاری از پژوهش‌ها اشاره شده که علاوه بر اضافه شدن عناصر غذایی خاک توسط آبیاری با پساب‌ها و فاضلاب‌ها، مواد آلی موجود در آن‌ها نیز پس از ورود به وسیله میکروارگانیسم‌ها تجزیه شده و باعث افزایش هوموس خاک و در نهایت بهبود خواص فیزیکی - شیمیایی و حاصل خیزی خاک می‌شود (۳، ۷، ۸).

بنابراین بر اساس موارد ذکر شده و اثرات مطلوب پساب بر گیاه و با توجه به اینکه تاکنون مطالعه جامعی در مورد اثرات فاضلاب بر جوانه‌زنی بذر یونجه و شبدر برسیم در حد جزئیات انجام نشده است، پژوهش حاضر به بررسی اثرات فاضلاب شهری تصفیه شده بر جوانه‌زنی بذر و خصوصیات گیاهچه یونجه و شبدر برسیم در رقت‌های مختلف پرداخت و سعی شد تا تاثیر سوء پساب هر چند جزئی و در حد استانداردها، توسط تثبیت آن در خاک کاهش یابد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در گلخانه دانشکده منابع طبیعی ساری واقع در حاشیه‌ی جنوبی دریای خزر در محدوده شهرستان ساری انجام شده است. منطقه در طول جغرافیایی 36° شمالی و 53° شرقی و عرض جغرافیایی 33° شمالی در دامنه ارتفاعی ۳۰ تا ۳۱ متر از سطح دریا واقع شده است. میانگین بارندگی سالیانه بیش از ۶۰۰ میلی‌متر و میانگین دمای سالیانه $17/5$ درجه سلسیوس می‌باشد. خاک منطقه در ردیف دشت‌های آبرفتی رودخانه‌ای است که دارای خاک خیلی عمیق (عمق بیش از $1/5$ متر) به رنگ قهوه‌ای مایل به خاکستری خیلی تیره، رس غالب ایلیت، ساختمان دانه‌ای یا مکعبی و با بافت لومی می‌باشد. برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک این دانشکده اندازه‌گیری شدند که در جدول (۱) قابل مشاهده است. در آذر ماه سال ۱۳۹۶ بذرپاشی برای دو گیاه شبدر و یونجه به صورت گلدانی از طریق طرح آماری کاملاً تصادفی با ۱۱ تیمار و ۴ تکرار، در گلخانه انجام شد. تیمارها شامل آبیاری با پنج غلظت مختلف پساب فاضلاب: ۰٪ (آب چاه بدون پساب)، ۲۵٪ (۲۵ درصد پساب و ۷۵ درصد آب چاه)، ۵۰٪ (۵۰ درصد پساب و ۵۰ درصد آب چاه)، ۷۵٪ (۷۵ درصد پساب و ۲۵ درصد آب چاه) و ۱۰۰٪ (پساب خالص)، خاک بدون ماده اصلاحی و دارای ماده اصلاحی خاک رس بنتونیت در سطوح ۰، ۱ و ۳ درصد وزنی برای بررسی عدم تحرک و تثبیت فلزات سرب و کادمیوم در خاک بودند. جدول ۲ تجزیه و تحلیل فیزیکی و شیمیایی فاضلاب شهری را نشان می‌دهد.

تخریب آن نمی‌شوند. خاک‌های رس به دلیل خاصیت هیدراته شدن می‌توانند مواد آلی و غیرآلی را در ساختمان خود جذب نمایند (۱۸). مواد اصلاح‌گر مانند مواد آلی، اکسیدهای آهن و مواد قلیایی این توانایی را دارند که از تحرک و فراهمی فلزات در خاک به وسیله فرآیندهایی مانند جذب سطحی، رسوب، تشکیل کمپلکس یا ترکیبی از این فرآیندها بکاهند. در نتیجه این کار، اثرات زیان‌بار فلزات سنگین بر پذیرنده‌های محیط‌زیست مانند ریزجانداران، گیاهان، حیوانات و منابع آب کاهش می‌یابد (۲۰). کانی‌های رسی مونتوریلونیت، ورمیکولیت، آلوپان، کائولینیت، بنتونیت و ایلیت به علت دارا بودن بار الکتریکی منفی و ظرفیت تبادل کاتیونی، به عنوان جاذب فلزات سنگین مورد استفاده قرار می‌گیرند و قادرند عناصر سنگین را جذب و از دسترس گیاه خارج سازند (۳، ۹).

بنتونیت نوعی رس ریزدانه است که حداقل ۸۵ درصد رس مونت موریلونیت داشته باشد. بنتونیت یک ماده از دسته رس‌ها و از کانی‌های متورم‌شونده تشکیل شده است که عمدتاً مونت موریلونیت و به مقدار کمی بیدلیت هستند. بنتونیت فرآوری شده کشاورزی دارای خواص فیزیکی مانند خاصیت جذب و نگهداری آب برای مدت طولانی، خاصیت تبادل کاتیونی فوق‌العاده (CEC)، جذب عناصر فلزی سنگین و فیلتر یا غربال مولکولی می‌باشد (۲۱).

به‌طور کلی بنتونیت در افزایش عملکرد محصولات کشاورزی و بهره‌وری خاک و همچنین صرفه‌جویی در مصرف کود شیمیایی، آب و استفاده بهینه از کودهای حیوانی بسیار مؤثر می‌باشد. در سال ۱۹۹۳ نیز در آمریکا برای حذف فلزات سنگین در خاک از سه روش استفاده از مواد احیاءکننده، استفاده از خاک رس (بنتونیت) و شستشوی خاک توسط اسید به صورت جداگانه و نیز توأم استفاده شد. نتایج این تحقیق نشان داد که از بین روش‌های فوق استفاده از خاک رس (بنتونیت) به‌طور جداگانه، برای تثبیت فلزات سنگین کارایی بالایی را نسبت به دو روش دیگر دارد (۱۴، ۱۸). با توجه به اینکه آب فاضلاب غنی از مواد غذایی به‌ویژه نیتروژن است، افزایش ارتفاع بوته در گیاهان مورد مطالعه در نسبت‌های بالاتر فاضلاب دور از انتظار نیست. برکی و رضوانی (۷) با بررسی تأثیر پساب بر کمیّت و کیفیت محصول ارزن علوفه‌ای در مشهد، با درصدهای مختلف آب معمولی و پساب شامل (۰ و ۱۰۰)، (۲۵ و ۷۵)، (۵۰ و ۵۰)، (۲۵ و ۷۵)، (۰ و ۱۰۰) به این نتیجه رسیدند که عملکرد علوفه تر و عملکرد ماده خشک ارزن علوفه‌ای تحت تأثیر تیمار پساب افزایش معنی‌دار پیدا کرده است. همچنین درصد و عملکرد پروتئین علوفه آبیاری شده با پساب (۷۵ درصد پساب و ۲۵ درصد آب معمولی) بیش از دیگر تیمارها بود. از اثرات مفید مصرف فاضلاب می‌توان به غنی‌سازی خاک و محصولات کشاورزی از نظر عناصر غذایی و بهبود کیفیت حاصل‌خیزی خاک اشاره کرد. با

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از اعمال تیمارها

پارامتر	مقدار	پارامتر	مقدار
N (ppm)	۰/۰۸	pH	۶/۷۱
P (ppm)	۲۳/۳۱	EC (dS/m)	۰/۵۵
K (ppm)	۵۴۳/۴	CaCO ₃ (%)	۹/۴۱
شن (%)	۳۷/۶۲	OC (%)	۱/۱۹
سیلت (%)	۴۷/۲۷	OM (%)	۲/۰۵
رس (%)	۱۵/۱	CEC (cmol ⁻¹)	۱۲/۴

جدول ۲- ویژگی‌های شیمیایی فاضلاب تصفیه‌شده مورد استفاده در آزمایش

پارامتر	واحد	مقدار	پارامتر	واحد	مقدار
EC	μs/cm	۱۲۵۲	BOD	mg/l	۱۱/۸
TDS	mg/l	۷۵۵/۸	COD	mg/l	۱۶/۹
پتاسیم	mg/l	۴۶/۴	TS	mg/l	۷۵۵/۵
سدیم	mg/l	۹۷/۵	TA	mg/l	۲۷۶/۴
کلسیم	mg/l	۱۲۴/۱	آرسنیک	mg/l	۰/۳
منیزیم	mg/l	۲۸/۱	مس	mg/l	۱/۷
فسفر	mg/l	۱/۰۲	کادمیم	mg/l	۵/۷
نیتروژن	mg/l	۱۲/۲	کروم	mg/l	۰/۰۲
کربن	%	۲۰/۳۲	سرب	mg/l	۳/۶

خاک، نمونه‌های تهیه شده از هرگلدان به روش استخراج با EDTA و توسط دستگاه جذب اتمی (Analytic Jena) و Contra AA ساخت آلمان) بررسی شدند (۱۰). داده‌های حاصل از آزمایش و تعیین رابطه همبستگی بین خصوصیات خاک و هر یک از تیمارها توسط نرم‌افزار آماری SPSS v21 بر اساس طرح کاملاً تصادفی تجزیه و تحلیل شدند. مشخصات اندازه‌گیری شده به‌وسیله آنالیز واریانس و میانگین آن‌ها با آزمون چند دامنه‌ای توکی مقایسه شد. همچنین برای مقایسه اثر متقابل تیمارهای اعمال شده بر خصوصیات خاک از آنالیز واریانس دو طرفه استفاده گردید. رسم نمودارهای این پژوهش نیز به کمک نرم‌افزار Excel 2018 صورت گرفت.

نتایج و بحث

خصوصیات خاک

مطابق جدول (۳) خصوصیات خاک شامل کربن آلی، ماده آلی، آهک، pH و EC خاک در هر دو گیاه یونجه و شبدر در انتهای فصل رویش، در خاک‌های تیمار شده با غلظت‌های مختلف پساب فاضلاب و بنتونیت اختلاف معنی‌دار داشت. نتایج این پژوهش نشان داد که کربن آلی در خاک حاوی پساب فاضلاب و بنتونیت افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد (فاقد پساب و بنتونیت) در هر دو گیاه یونجه و شبدر داشت (شکل ۱). بیشترین مقدار کربن آلی خاک در هر دو گیاه یونجه و شبدر مربوط به تیمار ۱۰۰٪ پساب-۳٪ بنتونیت بود که به ترتیب نسبت به شاهد (فاقد پساب و بنتونیت) ۲۶/۴٪ و ۳۵/۴٪ افزایش داشته‌اند. نتایج نشان داد که ماده آلی خاک حاوی پساب فاضلاب و بنتونیت افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد (فاقد پساب و بنتونیت) در هر دو گیاه یونجه و شبدر داشت (شکل ۲). بیشترین مقدار ماده آلی خاک در هر دو گیاه یونجه و شبدر مربوط به تیمار ۱۰۰٪ پساب-۳٪ بنتونیت بود که به ترتیب نسبت به شاهد (فاقد پساب و بنتونیت) ۲۱/۷٪ و

خاک مورد استفاده در گلدان‌ها از الک ۵ میلی‌متری عبور داده شد. مقدار آب آبیاری با توجه به نیاز آبی گیاه شامل تبخیر و تعرق، نفوذ و نشست عمقی تعیین شد. با استفاده از آبیاری سطحی رطوبت خاک گلدان‌ها در طول دوره رشد گیاه در حدود ظرفیت زراعی تأمین شد. حد ظرفیت زراعی مقدار آب باقیمانده در خاک بعد از آن که آبی که تحت تأثیر نیروی ثقل قرار دارد از آن خارج شده باشد که این حالت معمولاً بسته به نوع خاک بین یک تا سه روز بعد از انجام عمل آبیاری به وقوع می‌پیوندد. با توجه به افزایش و کاهش دما این میزان آب آبیاری تغییر می‌کند. برای بررسی تأثیر ماده اصلاحی در تحرک‌گیری و تثبیت فلزات سنگین در خاک و کاهش انتقال آن به گیاه، با توجه به تحقیقات صورت گرفته در این زمینه (۱۱،۹،۶،۱) از خاک رس بنتونیت استفاده شد. کانی بنتونیت با نسبت ۱ و ۳ درصد وزنی با ۳ کیلوگرم خاک (۱ درصد: ۳۰ گرم بنتونیت با ۲۹۷۰ گرم خاک-۳ درصد: ۹۰ گرم بنتونیت با ۲۹۱۰ گرم خاک) در گلدان‌های مورد نظر به‌صورت یکنواخت مخلوط گردید.

قبل از شروع آزمایش از هر گلدان یک نمونه خاک به وزن حدود یک کیلوگرم برداشته شد و برخی خصوصیات شیمیایی آن اندازه‌گیری گردید. پس از آماده‌سازی بستر گلدان‌ها، آبیاری و اعمال تیمارها، در نهایت مقادیر عناصر سرب و کادمیم و NPK در نمونه‌ها، pH، EC و همچنین NPK و فلزات سنگین خاک، اندازه‌گیری شدند. pH و EC در عصاره گل اشباع، کربن آلی به‌روش والکلی و بلک، نیتروژن به روش کجلدال، فسفر قابل استخراج در عصاره حاصل از بی‌کربنات سدیم ۰/۵ نرمال با روش رنگ سنجی، پتاسیم قابل جذب در عصاره حاصل از استات آمونیوم یک نرمال با دستگاه فلیم فتومتر و کربنات کلسیم معادل به‌روش خنثی‌کردن با اسید و تیتراسیون اندازه‌گیری شدند (۱۷). به‌منظور اندازه‌گیری غلظت قابل جذب سرب و کادمیم در

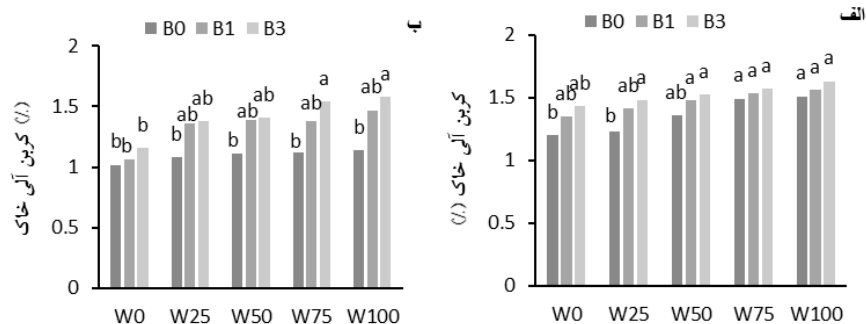
مربوط به تیمار ۱۰۰٪ پساب-۳٪ بنتونیت بود که به ترتیب نسبت به شاهد (فاقد پساب و بنتونیت) ۱۰٪ و ۷/۶٪ افزایش داشته‌اند. نتایج نشان داد که EC خاک حاوی پساب فاضلاب و بنتونیت افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد (فاقد پساب و بنتونیت) در هر دو گیاه یونجه و شبدر داشت (شکل ۵). بیشترین مقدار EC خاک در هر دو گیاه یونجه و شبدر مربوط به تیمار ۱۰۰٪ پساب-۳٪ بنتونیت بود که به ترتیب نسبت به شاهد (فاقد پساب و بنتونیت) ۴۹٪ و ۳۶/۰۷٪ افزایش داشته‌اند.

۴۰٪ افزایش داشته‌اند. نتایج نشان داد که آهک خاک حاوی پساب فاضلاب و بنتونیت افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد (فاقد پساب و بنتونیت) در هر دو گیاه یونجه و شبدر داشت (شکل ۳). بیشترین مقدار آهک خاک در هر دو گیاه یونجه و شبدر مربوط به تیمار ۱۰۰٪ پساب-۳٪ بنتونیت بود که به ترتیب نسبت به شاهد (فاقد پساب و بنتونیت) ۴۶٪ و ۵۷/۵٪ افزایش داشته‌اند. نتایج نشان داد که pH خاک حاوی پساب فاضلاب و بنتونیت افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد (فاقد پساب و بنتونیت) در هر دو گیاه یونجه و شبدر داشت (شکل ۴). بیشترین مقدار pH خاک در هر دو گیاه یونجه و شبدر

جدول ۳- نتایج آنالیز واریانس تیمارهای مختلف پساب فاضلاب شهری، بنتونیت و اثرات متقابل آن‌ها بر خصوصیات خاک یونجه و شبدر
Table 3. Results of analysis of variance of different wastewater, bentonite treatments and their interaction effects on soil properties of alfalfa and clover seedlings

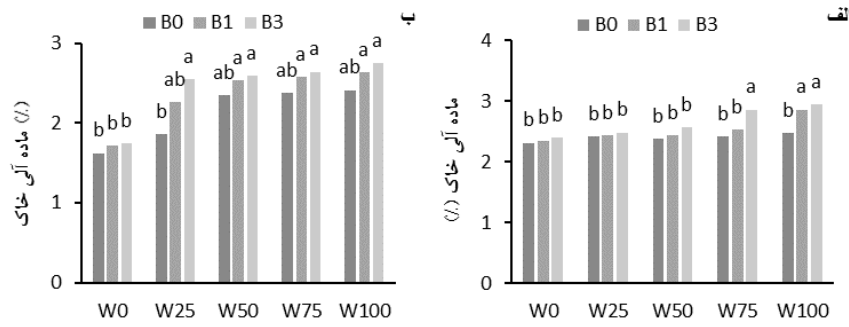
خصوصیات خاک	یونجه			شبدر		
	منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات
کربن آلی	پساب	۴	۰/۰۲۵	پساب	۴	۰/۳۶
	بنتونیت	۲	۰/۰۲۳	بنتونیت	۲	۰/۲۱
	پساب × بنتونیت	۸	۰/۰۰۱	پساب × بنتونیت	۸	۰/۰۰۶
	خطا	۴۵	۰/۰۰۱	خطا	۴۵	۰/۰۰۱
ماده آلی	پساب	۴	۰/۰۲	پساب	۴	۰/۲۵
	بنتونیت	۲	۰/۲۳۵	بنتونیت	۲	۰/۵۶
	پساب × بنتونیت	۸	۰/۴۲	پساب × بنتونیت	۸	۰/۷۸
	خطا	۴۵	۰/۰۰۴	خطا	۴۵	۰/۳۵
آهک	پساب	۴	۰/۱۱۲۹	پساب	۴	۱۲۵/۸۵
	بنتونیت	۲	۰/۳۵	بنتونیت	۲	۹۸/۷۴
	پساب × بنتونیت	۸	۰/۰۲۵	پساب × بنتونیت	۸	۷/۱۴
	خطا	۴۵	۰/۲۳	خطا	۴۵	۱/۲۵
pH	پساب	۴	۱۲۳/۱۲	پساب	۴	۱۵۸/۳۶
	بنتونیت	۲	۱۱۱/۱۵	بنتونیت	۲	۱۱۷/۵۲
	پساب × بنتونیت	۸	۶/۶۳	پساب × بنتونیت	۸	۶/۸۵
	خطا	۴۵	۱/۰۰۵	خطا	۴۵	۳/۷۴
EC	پساب	۴	۲۱۴/۲۳	پساب	۴	۱۴۲/۴۹
	بنتونیت	۲	۱۳۲/۰۲۵	بنتونیت	۲	۱۲۳/۵۶
	پساب × بنتونیت	۸	۲/۲۷	پساب × بنتونیت	۸	۶/۲۶
	خطا	۴۵	۱/۲۷	خطا	۴۵	۳/۲۸

※: اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد، ※※: اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ درصد، NS: عدم وجود اختلاف معنی‌دار



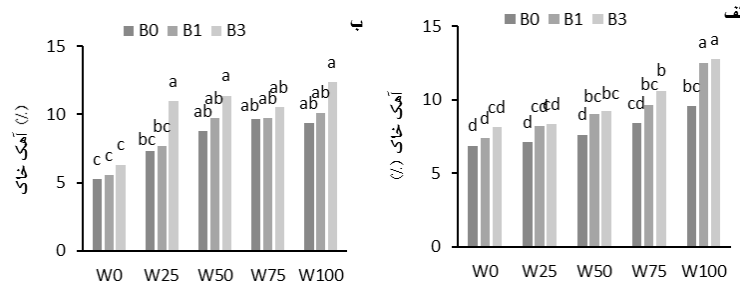
شکل ۱- اثر غلظت‌های مختلف پساب فاضلاب (W) و بنتونیت (B) بر کربن آلی خاک یونجه (الف) و شبدر (ب). حروف لاتین مختلف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشد.

Figure 1- Effect of different carbon concentrations of wastewater (W) and bentonite (B) on soil organic carbon of alfalfa seedlings (a) and clover (b). The different Latin letters indicate a significant difference at the 5% level.



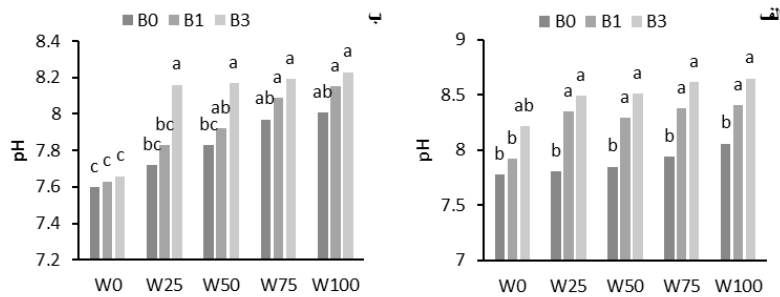
شکل ۲- اثر غلظت‌های مختلف پساب فاضلاب (W) و بنتونیت (B) بر ماده آلی خاک یونجه (الف) و شبدر (ب). حروف لاتین مختلف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشد.

Figure 2. Effect of different concentrations of wastewater (W) and bentonite (B) on soil organic matter of alfalfa seedlings (a) and clover (b). The different Latin letters indicate a significant difference at the 5% level.



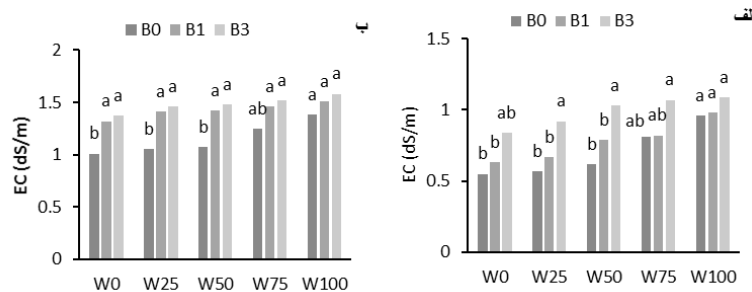
شکل ۳- اثر غلظت‌های مختلف پساب فاضلاب (W) و بنتونیت (B) بر آهک خاک یونجه (الف) و شبدر (ب). حروف لاتین مختلف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشد.

Figure 3. Effect of different concentrations of wastewater (W) and bentonite (B) on soil lime of alfalfa seedlings (a) and clover (b). The different Latin letters indicate a significant difference at the 5% level.



شکل ۴- اثر غلظت‌های مختلف پساب فاضلاب (W) و بنتونیت (B) بر pH خاک یونجه (الف) و شبدر (ب). حروف لاتین مختلف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشد.

Figure 4. Effect of different concentrations of wastewater (W) and bentonite (B) on soil pH of alfalfa seedlings (a) and clover (b). The different Latin letters indicate a significant difference at the 5% level.



شکل ۵- اثر غلظت‌های مختلف پساب فاضلاب (W) و بنتونیت (B) بر EC خاک یونجه (الف) و شبدر (ب). حروف لاتین مختلف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشد.

Figure 5. Effect of different concentrations of wastewater (W) and bentonite (B) on soil EC of alfalfa seedlings (a) and clover (b). The different Latin letters indicate a significant difference at the 5% level.

به ترتیب نسبت به شاهد (فاقد پساب و بنتونیت) ۵۰٪/۸ و ۱۵٪/۸ افزایش داشته‌اند.

نتایج نشان داد که پتاسیم خاک حاوی پساب فاضلاب و بنتونیت افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد (فاقد پساب و بنتونیت) در هر دو گیاه یونجه و شبدر داشت (شکل ۷). بیشترین مقدار پتاسیم خاک در هر دو گیاه یونجه و شبدر مربوط به تیمار ۱۰۰٪ پساب-۳٪ بنتونیت بود که به ترتیب نسبت به شاهد (فاقد پساب و بنتونیت) ۳۵٪/۳ و ۲۶٪/۷ افزایش داشته‌اند. نتایج نشان داد که نیتروژن خاک حاوی پساب فاضلاب و بنتونیت افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد (فاقد پساب و بنتونیت) در هر دو گیاه یونجه و شبدر داشت (شکل ۸). بیشترین مقدار نیتروژن خاک در هر دو گیاه یونجه و شبدر مربوط به تیمار ۱۰۰٪ پساب-۳٪ بنتونیت بود که به ترتیب نسبت به شاهد (فاقد پساب و بنتونیت) ۴۳٪/۶ و ۵۱٪/۲ افزایش داشته‌اند. نتایج نشان داد که سرب خاک در خاک‌های حاوی پساب فاضلاب به‌طور معنی‌داری بیشتر از خاک فاقد پساب در هر دو گیاه یونجه و شبدر بود. همچنین با افزایش غلظت پساب فاضلاب میزان سرب خاک افزایش یافته است اما این افزایش بین تیمارهای حاوی پساب از نظر آماری معنی‌دار نبوده است (شکل ۹). همچنین بنتونیت نیز سبب کاهش سمیت سرب در خاک‌های حاوی پساب شده است. این کاهش در تیمارهای حاوی پساب ۵۰٪، ۷۵٪ و ۱۰۰٪ برای یونجه و تیمارهای حاوی پساب ۲۵٪، ۵۰٪، ۷۵٪ و ۱۰۰٪ برای شبدر معنی‌دار بوده است. به‌طور کلی بیشترین مقدار سمیت سرب خاک در هر دو گیاه یونجه و شبدر مربوط به تیمار ۱۰۰٪ پساب-۰٪ بنتونیت بود که به ترتیب نسبت به شاهد (فاقد پساب و بنتونیت) ۵۳٪/۵ و ۶۷٪/۶ افزایش داشته‌اند. نتایج نشان داد که کادمیم خاک در خاک‌های حاوی پساب فاضلاب به‌طور معنی‌داری بیشتر از خاک فاقد پساب در هر دو گیاه یونجه و شبدر بود. همچنین با افزایش غلظت پساب فاضلاب میزان کادمیم خاک افزایش یافته است اما این افزایش بین تیمارهای حاوی پساب از نظر آماری معنی‌دار نبوده است (شکل ۱۰). همچنین بنتونیت نیز سبب کاهش سمیت کادمیم در خاک‌های حاوی پساب شده است. این کاهش در تیمارهای حاوی پساب ۲۵٪، ۵۰٪، ۷۵٪ و ۱۰۰٪ برای یونجه و تیمارهای حاوی پساب ۷۵٪ و ۱۰۰٪ برای شبدر معنی‌دار بوده است. به‌طور کلی بیشترین مقدار کادمیم خاک در هر دو گیاه یونجه و شبدر مربوط به تیمار ۱۰۰٪ پساب-۳٪ بنتونیت بود که به ترتیب نسبت به شاهد (فاقد پساب و بنتونیت) ۴۵٪/۷ و ۵۵٪/۱ افزایش داشته‌اند.

نتایج نشان داد که با افزایش سطح کاربرد پساب فاضلاب میزان کربن و ماده آلی خاک نیز افزایش یافت. این امر را می‌توان به محتوای آلی بالای پساب فاضلاب نسبت داد. برخی از محققین افزایش ماده آلی خاک را با افزایش مقدار دفعات کاربرد لجن فاضلاب در یک خاک آهکی با بافت لوم رسی سیلتی گزارش کردند (۲۰، ۱۵). کاربرد پساب فاضلاب موجب افزایش معنی‌دار ماده آلی خاک، عملکرد، غلظت نیتروژن و فسفر در ذرت می‌شود (۲۵). در پژوهشی سه ساله کاربرد ۱۵ تن در هکتار فاضلاب در هر سه سال، میزان کربن آلی خاک و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک را نسبت به شاهد افزایش داد (۵). ویژگی‌های شیمیایی مستقیماً روی قابلیت انحلال مواد غذایی و حفظ و نگهداری آنها تأثیر دارند. دو ویژگی مهم شیمیایی بستر کشت، pH و EC می‌باشد (۱۳). بررسی خصوصیات خاک بستر نشان داد که با افزایش مقدار پساب و بنتونیت در بستر کشت یونجه و شبدر، pH روند افزایشی داشت. این امر می‌تواند به دلیل قرار گرفتن یون کلسیم در نتیجه افزودن پساب که خاصیتی بازی به بستر می‌بخشد باشد (۳). از طرفی بنتونیت نیز در ساختار خود مقدار زیادی کلسیم دارد که به همراه کلسیم موجود در فاضلاب سبب افزایش pH بستر خواهد شد (۱۶). شاید دلیل افزایش آهک موجود در خاک (شکل ۳) نیز واکنش کلسیم تجمع‌یافته در خاک با اکسیژن موجود در خلل و فرج بنتونیت و اکسید کلسیم باشد. نتایج نشان داد که با افزایش سطح فاضلاب EC خاک به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد در هر دو گونه یونجه و شبدر افزایش یافته است (شکل ۵). با افزایش شوری، گیاه برای جذب معینی از آب باید انرژی حیاتی بیشتری مصرف کند. همان انرژی که گیاه برای فعالیت‌های متابولیکی خود و فرآیندهایی مانند توسعه سلولی نیازمند آن است، بدیهی است در چنین شرایطی به جهت صرف بخشی از انرژی حیاتی در جای دیگر (برای جذب آب از محلول شور) رشد و نمو گیاه محدود شده و نهایتاً از میزان محصول و عملکرد گیاه کاسته می‌شود (۴).

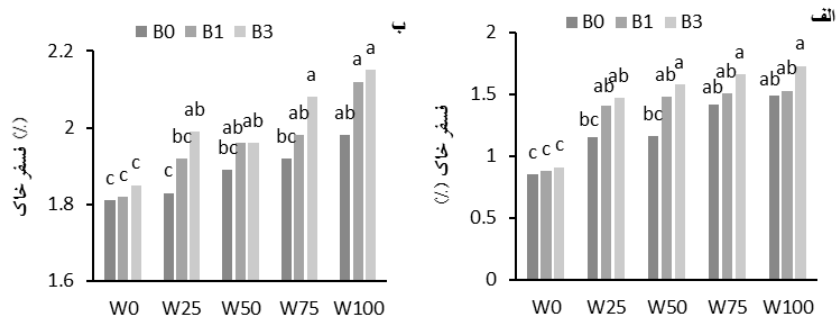
عناصر موجود در خاک

مطابق جدول (۴) عناصر موجود در خاک شامل فسفر، پتاسیم، نیتروژن، سرب و کادمیم در هر دو گیاه یونجه و شبدر در انتهای فصل رویش، در خاک‌های تیمار شده با غلظت‌های مختلف پساب فاضلاب و بنتونیت اختلاف معنی‌دار داشت. نتایج این پژوهش نشان داد که فسفر خاک در خاک حاوی پساب فاضلاب و بنتونیت افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد (فاقد پساب و بنتونیت) در هر دو گیاه یونجه و شبدر داشت (شکل ۶). بیشترین مقدار فسفر خاک در هر دو گیاه یونجه و شبدر مربوط به تیمار ۱۰۰٪ پساب-۳٪ بنتونیت بود که

جدول ۴- نتایج آنالیز واریانس تیمارهای مختلف پساب فاضلاب شهری، بنتونیت و اثرات متقابل آن‌ها بر عناصر خاک یونجه و شبدر
Table 4. Results of analysis of variance of different wastewater, bentonite treatments and their interaction effects on soil elements of alfalfa and clover seedlings

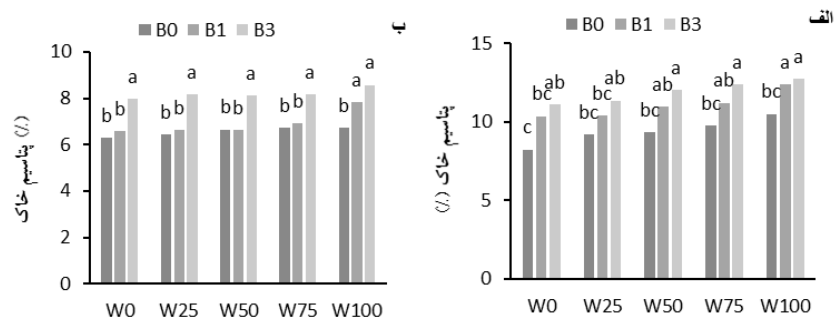
عناصر خاک	یونجه			شبدر		
	منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات
فسفر	پساب	۴	۰/۷۸	پساب	۴	۲۱۴/۶۲۴**
	بنتونیت	۲	۰/۲۳۹	بنتونیت	۲	۲۱۳/۰۲۴**
	پساب × بنتونیت	۸	۰/۰۰۴	پساب × بنتونیت	۸	۳/۵۲۴**
	خطا	۴۵	۰/۰۰۲	خطا	۴۵	۲/۰۰۶
	F			F		
پتاسیم	پساب	۴	۲۴۳/۱۹	پساب	۴	۲۵۸/۳۲۴**
	بنتونیت	۲	۱۴۸/۴۷	بنتونیت	۲	۲۱۱/۲۸۵**
	پساب × بنتونیت	۸	۳/۰۰۸	پساب × بنتونیت	۸	۱/۱۲۴*
	خطا	۴۵	۲/۰۰۶	خطا	۴۵	۰/۰۰۱
	F			F		
نیتروژن	پساب	۴	۲۴۳/۱۹	پساب	۴	۵۷/۵۲**
	بنتونیت	۲	۱۴۸/۴۷	بنتونیت	۲	۲۲/۶۶۳*
	پساب × بنتونیت	۸	۳/۰۰۸	پساب × بنتونیت	۸	۱/۴۱۳*
	خطا	۴۵	۱/۷۹۷	خطا	۴۵	۵/۱۸۹
	F			F		
سرب	پساب	۴	۲۵۳/۱۲	پساب	۴	۱۴۵/۲۳**
	بنتونیت	۲	۱۸۴/۱۴	بنتونیت	۲	۱۵۲/۲۸**
	پساب × بنتونیت	۸	۳/۲۰۳	پساب × بنتونیت	۸	۱/۷۵**
	خطا	۴۵	۱/۰۰۱	خطا	۴۵	۲/۷۵۳
	F			F		
کادمیم	پساب	۴	۱۶۸/۲۱	پساب	۴	۱۲۹/۲۸**
	بنتونیت	۲	۱۳۵/۳۴۵	بنتونیت	۲	۶۸/۲۴**
	پساب × بنتونیت	۸	۴/۰۲۷	پساب × بنتونیت	۸	۱/۳۶**
	خطا	۴۵	۱/۰۰۳	خطا	۴۵	۳/۳۲
	F			F		

*: اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد، **: اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ درصد، NS: عدم وجود اختلاف معنی‌دار



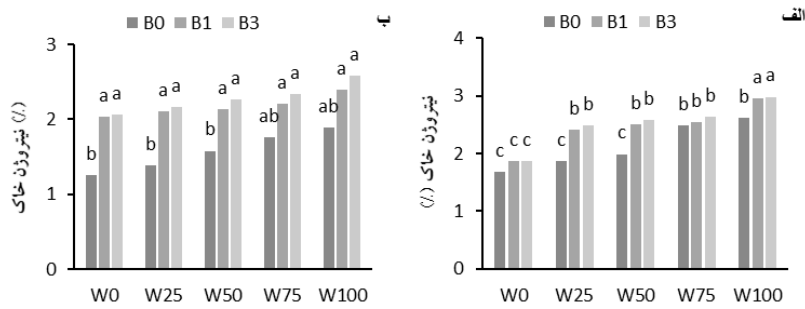
شکل ۶- اثر غلظت‌های مختلف پساب فاضلاب (W) و بنتونیت (B) بر فسفر خاک یونجه (الف) و شبدر (ب). حروف لاتین مختلف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشد.

Figure 6- Effect of different concentrations of wastewater (W) and bentonite (B) on soil phosphorus of alfalfa seedlings (a) and clover (b). The different Latin letters indicate a significant difference at the 5% level.



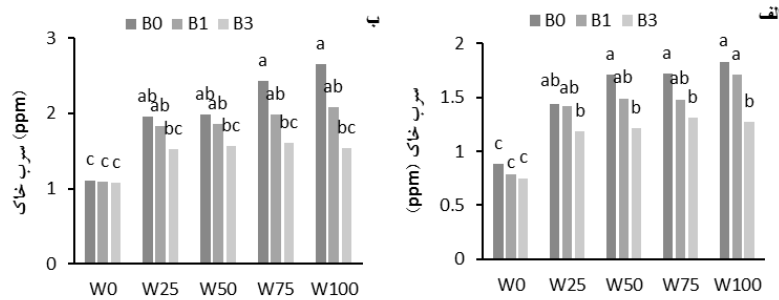
شکل ۷- اثر غلظت‌های مختلف پساب فاضلاب (W) و بنتونیت (B) بر پتاسیم خاک یونجه (الف) و شبدر (ب). حروف لاتین مختلف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشد.

Figure 7- Effect of different concentrations of wastewater (W) and bentonite (B) on soil potassium of alfalfa seedlings (a) and clover (b). The different Latin letters indicate a significant difference at the 5% level.



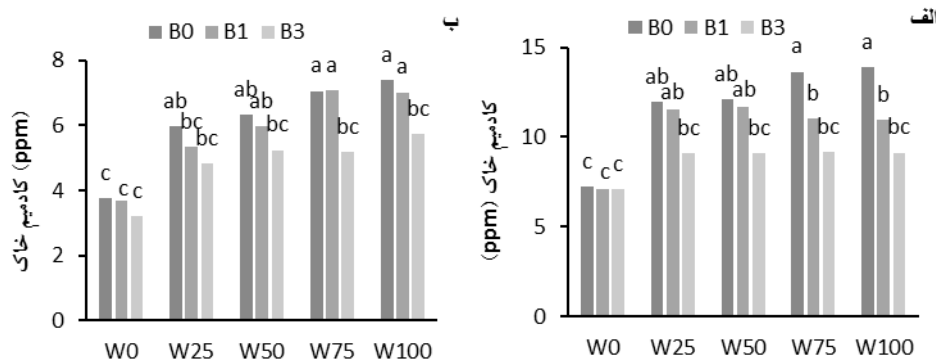
شکل ۸- اثر غلظت‌های مختلف پساب فاضلاب (W) و بنتونیت (B) بر نیتروژن خاک یونجه (الف) و شبدر (ب). حروف لاتین مختلف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشد.

Figure 8. Effect of different concentrations of wastewater (W) and bentonite (B) on soil nitrogen of alfalfa seedlings (a) and clover (b). The different Latin letters indicate a significant difference at the 5% level.



شکل ۹- اثر غلظت‌های مختلف پساب فاضلاب (W) و بنتونیت (B) بر سرب خاک یونجه (الف) و شبدر (ب). حروف لاتین مختلف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشد.

Figure 9. Effect of different concentrations of wastewater (W) and bentonite (B) on soil lead of alfalfa seedlings (a) and clover (b). The different Latin letters indicate a significant difference at the 5% level.



شکل ۱۰- اثر غلظت‌های مختلف پساب فاضلاب (W) و بنتونیت (B) بر کادمیم خاک یونجه (الف) و شبدر (ب). حروف لاتین مختلف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشد.

Figure 10. Effect of different concentrations of wastewater (W) and bentonite (B) on soil cadmium of alfalfa seedlings (a) and clover (b). The different Latin letters indicate a significant difference at the 5% level.

استفاده از آن در جهت آبیاری مشکلی ندارد. در عین حال نتایج نشان داد که افزایش سطح کاربرد بنتونیت سبب کاهش غلظت قابل جذب سرب و کادمیم در خاک شده است. دلیل آن را می‌توان سطح ویژه و ظرفیت تبادل کاتیونی بالای بنتونیت عنوان کرد که عامل اصلی برهم‌کنش فلزات سنگین با بنتونیت معرفی شده است (۲۰، ۲۲). مهم‌ترین مکانیسم جذب فلزات سنگین توسط بنتونیت تبادل یونی و در درجه بعد رسوب فازهای نامحلول است (۲۵). فلزات سنگین به فرم تبدیلی متحرک و قابل دسترس برای گیاهان هستند و قسمت

از اثرات مفید مصرف پساب می‌توان به غنی‌سازی خاک و محصولات کشاورزی از نظر عناصر غذایی و بهبود کیفیت حاصل‌خیزی خاک اشاره کرد. نتایج نشان داد که با افزایش سطح کاربرد فاضلاب میزان عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در خاک افزایش یافت. پساب با توجه به مواد مغذی که دارد باعث بهبود وضعیت خاک‌ها و افزایش عملکرد محصول شد (۲۷، ۱۱، ۱۳، ۹، ۲۰). وجود فلزات سنگین مانند سرب، کادمیم و مس در فاضلاب امری بدیهی است (۲۰). اگرچه با افزایش پساب میزان فلزات سنگین در خاک افزایش داشت اما این میزان حد استانداردهای داخلی و خارجی پایین‌تر است و

محصولات علوفه‌ای باشد. با توجه به این موضوع و همچنین وجود بحران آب و خشکسالی در کشور، به نظر می‌رسد که فاضلاب یک جایگزین خوب برای آب شیرین است. در حال حاضر، پساب فاضلاب شهر ساری، به رودخانه تجن منتقل می‌شود که از طریق رودخانه‌های اصلی شهر جریان دارد، در حالی که به راحتی می‌تواند برای تولید علوفه مانند یونجه و شبدر استفاده شود. نتایج نشان می‌دهد که استفاده از فاضلاب ۱۰۰٪ توامان با بنتونیت ۳٪ به‌طور بسیار مؤثری برای کشت یونجه و شبدر مناسب است. با توجه به اثربخشی تیمارهای آلی و ارزان قیمت بودن آن‌ها می‌توان برای کاهش جذب فلزات سنگین توسط گیاه و وارد نشدن آن‌ها به زنجیره غذایی استفاده نمود. با این حال، تحقیقات بیشتری برای به دست آوردن تغذیه متعادل‌تر از محصولات علوفه‌ای و انجام پژوهش‌های تکمیلی در شرایط مزرعه، توصیه می‌شود.

اعظم کادمیم و سرب جذب شده در سطح بنتونیت به شکل تبادل است (۲۱،۱۴).

به‌طور کلی با توجه به بحران کمبود آب در ایران و ارزش بالای فاضلاب در بخش کشاورزی، ضروری است که از این سرمایه بزرگ به بهترین نحو استفاده شود. نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از بنتونیت موجب غیرمتحرک‌سازی عناصر سرب و کادمیم و کنترل آنها و همچنین تغییر و تحول در خصوصیات فیزیکی خاک و همچنین بهبود نسبی ظرفیت تبادل کاتیونی خاک گردیده که این امر به نوبه خود باعث افزایش ارتفاع و زی‌توده گیاه می‌شود. از طرفی فاضلاب مورد استفاده به عنوان منبع غنی از مواد آلی و عناصر ضروری برای رشد گیاه با در اختیار گذاشتن این مواد برای ریشه گیاه افزایش فاکتورهای رشدی گیاه را سبب می‌شود. در مطالعه حاضر اطلاعات مهمی در مورد استفاده از فاضلاب‌های تصفیه شده ارائه شده است که می‌تواند منبع آب آبیاری مناسب برای

منابع

1. Akhter, J., K. Mahmood, K.A. Malik, A. Mardan, M. Ahmad and M.M. Iqbal. 2005. Effect of hydrogel amendment on water storage of sandy loam and loam soil and seedling growth of barley, wheat and chickpea. *Plant and Soil Environment*, 50(10): 463-469.
2. Ali, H.M., M.H. Siddiqui, M.H. Khamis, F.A. Hassan, M.Z. Salem and E.S.M. El-Mahrouk. 2013. Performance of forest tree *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss. under sewage effluent irrigation. *Ecological Engineering*, 61: 117-126.
3. Alves, W.W., C.V. Azevedo, C.B. Rogaciano, D.N. Jose and E.M. Napoleao. 2018. Effect of treated wastewater, nitrogen and phosphorus on quality of the Brown Fiber Cotton. In: *Proceedings of American society of agricultural and biological engineers, ASABE Meeting, 9-12 July., Oregon Convention Center, Portland. Paper Number. 062095*
4. Anbuselvam, J., A. Sridhar, M. Anbuselvam and S. Periyasamy. 2016. Effect of textile waste water irrigation on seed germination, plant growth, biomass, and crop yield in green gram seeds (*Vigna radiata* (L) Wilczek) under plating technique and pot experiment. *Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology*, 10(5): 86-9.
5. Antolin, M.C., I. Pascual, C. Garcia, A. Polo and M. Sanches-Diaz. 2019. Growth, yield and solute content of barley in soils treated with sewage sludge under semiarid Mediterranean conditions. *Field Crops Research*, 94: 224-237.
6. Augusthy, P.O. and A.S. Mani. 2001. Effect of rubber factory effluent on seed germination and seedling growth of *Vigna radiata* L." *Journal of Environmental Biology*, 22(2): 137-139.
7. Baraki, H. and A. Rezvani. 2016. Investigating the effects of irrigation water from treated domestic wastewater on the quality and quantity of forage millet. *Fourth National Conference on Water Crisis Management, Zabol University*, 455-468.
8. Davies, F.T. and Y. Castro-Jimenez. 1989. Water relations of *Lagerstromia indica* growth in amended media under drought stress. *Scientia Horticulturae*, 41: 97-104.
9. Divya, L., J. George, G. Midhun, S.B. Magesh and S. Suriyanarayanan. 2015. Impacts of treated sewage effluent on seed germination and vigour index of monocots and dicot seeds. *Russian Agricultural Sciences*, 41(4): 252-257.
10. El-Hady, O.A., M.Y. Tayel and A.A. Lofty. 2006. Super gel as a soil conditioner. II- Its effect on plant growth, enzymes activity, water use efficiency and nutrient uptake. *Acta Horticulturae*, 119: 257-265.
11. Gupta, S.S. and G.B. Krishna. 2019. Removal of Cd(II) from aqueous solution by kaolinite, montmorillonite and their poly (oxozirconium) and tetrabutylammonium derivatives. *Journal of hazardous materials*, 128: 247-254.
12. Hamidpour, M., M. Kalbasi, M. Afyuni, H. Shariatmadari, P.E. Holm and H.C.B. Hansen. 2010. Sorption hysteresis of Cd (II) and Pb (II) on natural zeolite and bentonite. *Journal of Hazardous Materials*, 181(1-3): 686-691.
13. Khan, M.D. 2011. Impact of textile waste water on seed germination and some physiological parameters in pea (*Pisum sativum* L.), Lentil (*Lens esculentum* L.) and gram (*Cicer arietinum* L.). *Asian Journal of Plant Science*, 10: 269-273.
14. Latore, A.M., O. Kumar, S.K. Singh and A. Gupta. 2014. Direct and residual effect of sewage sludge on yield, heavy metals content and soil fertility under rice-wheat system. *Ecological Engineering*, 69: 17-24.

15. McBride, M.B. 2018. *Environmental Chemistry of Soils*. Oxford University Press, Inc., New York.
16. Mc Grath, S., L. Postma, R.J. McCormack and C. Dowdall. 2002. Analysis of Irish sewage sludge: suitability of sludge for use in agriculture. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*, 39(1): 73-78.
17. Mehregan, I., M. Moussavi and N. Nasrabadi. 2007. The genus medicago in iran: biodiversity and variation centers. *Rostaniha*, 4(1): 11-12.
18. Metcalf, L., H.P. Eddy and G. Tchobanoglous. 2000. *Wastewater engineering: treatment, disposal, and reuse*. New York: McGraw-Hill.
19. Mohammad Rusan, M.J., S. Hinnawi and L. Rousan. 2007. Long term effect of wastewater irrigation of forage crops on soil and plant quality parameters. *Desalination*, 215: 143-152.
20. Moreno, N., X. Querol, A. Alastuey, A. Garcia-Sanchez, Á. Lopez Soler and C. Ayora. 2001. Immobilization of Heavy Metals in Polluted Soils by the Addition of Zeolitic Material Synthesized from Coal Fly Ash.
21. Nithya, R. and P.N. Sudha. 2017. Removal of heavy metals from tannery effluent using chitosan-g-poly (butyl acrylate)/bentonite nanocomposite as an adsorbent. *Nithya and Sudha Textiles and Clothing Sustainability*, 2(1): 7.
22. Oron, G., J. DeMalach, Z. Hoffman and Y. Manor. 2005. Effect of effluent quality and application method on agriculture productivity and environmental control. *Water Science and Technology*, 26(7-8): 1593-1601.
23. Tamartash, R., M. Jafari, H. Heidari Sharifabad, Q. Zahedi Amiri and Gh. Zehtabian. 2013. Investigating the relationship between soil nutrients and vegetation in Lar watershed. *Research Journal of Watershed Management*, 4(7): 42-56.
24. Saadat, K., M. Barani Motlagh, E. Dordipour and A. Ghasemnezhad. 2010. Influence of sewage sludge on some soil properties, yield and concentration of lead and cadmium in roots and shoots of Maize. *J. Soil Manage. Sust. Prod*, 2(2): 27-48 (In Persian).
25. Safi-naz, S.Z. and M.M. Shaaban. 2015. Impact of treated sewage water irrigation on some growth parameters, yield and chemical composition of sunflower, *Helianthus annuus L.* plants. *International Journal of ChemTech Research*, 8(9): 114-122.
26. Wahhabzadeh Kebria, Gh., Y. Bersan and M. Masoodi. 2014. Investigating the effect of geological units on the distribution of heavy metals in river sediments of the watershed of Sardabrood. *Research Journal of Watershed Management*, 5(9): 107-118.
27. Zaki, S.N. and M. Shaaban. 2015. Impact of treated sewage water irrigation on some growth parameters, yield and chemical composition of sunflower, *helianthus annuus*. *Plants*, 8: 114-122.
28. Zhang, W., N. Grimi, M.Y. Jaffrin, L. Ding, B. Tang and Z. Zhang. 2018. Optimization of RDM-UF for alfalfa wastewater treatment using RSM. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(2): 1439-1447.

The Effect of Bentonite and Municipal Wastewater Effluent on Some Soil and Alfalfa and Clover Plant Characteristics

Atefeh Khanlari¹, Reza Tamartash², Kaka Shahedi³ and Mohammedreza Tatian⁴

-
- 1- Ph.D Student in Range Management, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran
2- Associate Professor, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran (Corresponding Author: reza_tamartash@yahoo.com)
3- Associate Professor, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran
4- Assistant Professor, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran

Received: March 21, 2019

Accepted: June 21, 2020

Abstract

Iran is one of the countries in the Middle East that is facing a shortage of renewable water resources. As one of the government's socio-economic policies, the emphasis has been on the optimal use of renewable resources, in particular refined human and industrial wastewater. One of the limiting factors of using these wastewater is the presence of heavy metals in them. Therefore, soil remediation is important to reduce this pollution or to deactivate heavy metals. This study was conducted to investigate the effect of bentonite modification on soil elements concentration irrigated with municipal wastewater under cultivation of Alfalfa and clover in a completely randomized design. In this study, essential and toxic elements of the plant, soil properties and elements in soil under different effluent ratios (0%, 25%, 50%, 75% and 100%) were investigated. Also, due to the presence of heavy metals in wastewater, bentonite modifier was used as immobilizer of heavy metals in soil at two levels of 1% and 3%. The results showed that 100% effluent-3% bentonite treatment had the highest amount of soil organic carbon, organic matter, lime, pH and EC for both alfalfa and clover species ($p < 0.05$). Also, increasing the level of effluent application significantly increased the concentration of essential elements (NPK) in soil and plants. On the other hand, application of 3% bentonite resulted in a significant decrease in the toxicity of lead and cadmium in plants and soils. In general, it can be concluded that application of proper wastewater treatment can be used as a potential source of water to enhance plant growth and yield, as well as the use of bentonite as an immobilizing agent of heavy metals in wastewater in forage production methods.

Keywords: Bentonite, Germination, Heavy metal, Plant productivity, Wastewater



اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر موانع مشارکت پایدار جوامع روستایی در طرح‌های آبخوان‌داری از دیدگاه بهره‌برداران در حوزه‌ی آبخیز بیشه‌زرد استان فارس

غلامرضا قهاری^۱، سید مسعود سلیمان‌پور^۲، امین صالح‌پور جم^۳، علی‌اکبر نوروزی^۴ و غلامعلی نکوئیان^۵

۱ و ۲- استادیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران (نویسنده مسؤل: m.soleimanpour@yahoo.com)

۳- استادیار پژوهشکده‌ی حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

۴- دانشیار پژوهشکده‌ی حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

۵- کارشناس ایستگاه تحقیقات آبخوانداری کوثر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، شیراز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۵/۱۲

صفحه: ۲۰۲ تا ۲۱۱

چکیده

منطقی‌ترین راهکار برای حفظ منابع طبیعی، مشارکت همه‌جانبه‌ی مردم است. این مسأله ضمن کاهش هزینه‌های اجرایی، ضامن موفقیت و اجرای مؤثرتر طرح‌ها خواهد بود. به‌این‌منظور، پژوهش حاضر اقدام به شناسایی و اولویت‌بندی شاخص‌ها و زیرشاخص‌های مؤثر بر موانع مشارکت پایدار جوامع روستایی در طرح‌های آبخوان‌داری از دیدگاه بهره‌برداران در حوزه‌ی آبخیز بیشه‌زرد استان فارس نموده است. جامعه‌ی آماری این پژوهش با استفاده از فرمول کوکران به تعداد ۸۳ نفر از بهره‌برداران و ساکنان این حوضه بودند. برای گردآوری داده‌ها از پرسش‌نامه مشتمل بر چهار شاخص و دوازده زیرشاخص با طیف لیکرت استفاده شد. با استفاده از نرم‌افزار SPSS (نسخه‌ی ۲۳) اهمیت شاخص‌ها و زیرشاخص‌ها توسط آزمون t مشخص شد و به‌منظور اولویت‌بندی شاخص‌ها و زیرشاخص‌های مؤثر، از آزمون ناپارامتری فریدمن استفاده شد. نتایج نشان‌داد در اولویت‌بندی شاخص‌ها از دیدگاه بهره‌برداران به‌ترتیب شاخص‌های "آموزشی-ترویجی"، "طراحی-اجرایی"، "اجتماعی" و "اقتصادی" با میانگین رتبه‌های ۹/۷۵، ۹/۴۹، ۶/۹۸ و ۵/۹۳ به‌عنوان شاخص‌های مؤثر، و در اولویت‌بندی زیرشاخص‌ها به‌ترتیب "عدم توجه به نیروی محلی در اجرای طرح‌ها (اشتغال‌زایی)" و "دیربازده بودن طرح‌ها" با میانگین رتبه‌های ۱۱/۴۰ و ۵/۷۴ دارای بیشینه و کمینه‌ی اولویت در موانع مشارکت در طرح‌های آبخوان‌داری در این حوزه‌ی آبخیز تعیین شدند. این یافته نشان‌دهنده‌ی آن است که در صورتی‌که وضعیت اشتغال در این حوزه‌ی آبخیز حل شود؛ مردم حاضرند نسبت به صرف زمان در به نتیجه رسیدن طرح‌ها اقدام کنند. پیشنهاد می‌شود مدیران عرصه‌های منابع طبیعی نسبت به برنامه‌ریزی و انجام فعالیت‌های آموزشی-ترویجی کاربردی مرتبط با مباحث منابع طبیعی و آبخوان‌داری اقدام نمایند.

واژه‌های کلیدی: پرسش‌نامه، شاخص، طرح‌های آبخوان‌داری، مشارکت

مقدمه

اجرا در آمد (۲). به این ترتیب، برنامه‌ریزی حوزه‌های آبخیز به یکی از مهم‌ترین موارد حفاظت از محیط‌زیست در بسیاری از کشورها تبدیل شد؛ با این حال، همواره نحوه‌ی مشارکت مردم در برنامه‌ریزی حوزه‌های آبخیز، بحث برانگیز بوده است (۲۵). به‌منظور حل این معضل، اولویت‌بندی شاخص‌ها و زیرشاخص‌های مؤثر بر موانع مشارکت مردمی، گامی اصولی در چرخه‌ی مدیریت مردم‌نهاد حوزه‌های آبخیز است؛ به‌طوری‌که شناخت عوامل و اولویت‌بندی‌های مربوطه راهگشای اتخاذ تدابیری در راستای حذف موانع مشارکتی ذی‌نفعان و مشارکت حداکثری ساکنان حوضه در برنامه‌ریزی‌های مدیریت جامع و کارآمد حوزه‌های آبخیز در سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری و اداره‌های کل منابع طبیعی و آبخیزداری وابسته به آن در استان‌های مختلف کشور است (۸).

آبخوان، بخش مهمی از آبخیز به‌شمار می‌رود. به‌همین سبب اقدامات آبخوان‌داری نیز جزئی از فعالیت‌های آبخیزداری است و دارای اهداف مشترک‌اند. آبخوان‌داری، برای بیشتر پهنه‌ی ایران، که بیابان‌هایش از ابرفت‌های درشت‌دانه‌ی آهکی و سیلاب غنی می‌باشد، راه بخردانه‌ی مدیریت آب است (۱۲). یکی از مهم‌ترین انواع فعالیت‌های آبخوان‌داری، اجرای طرح‌های پخش سیلاب است که پیشینه‌ی تاریخی،

منابع طبیعی به‌عنوان یکی از ذخایر و ثروت‌های هر ملتی، دارای ارزشی فوق‌العاده است. بهره‌برداری غیر اصولی از جنگل‌ها، چرای مفرط و بی‌رویه‌ی دام در مراتع، کشت و کار غیر علمی در اراضی شیب‌دار و عواملی از این دست، باعث افزایش شدت میزان فرسایش خاک گردیده است. با این اوصاف بهره‌برداران مجبور می‌شوند به‌منظور رفع نیازهای خود، میزان بهره‌برداری را از منابع آب و خاک افزایش دهند. برای کنترل فرسایش و حفظ منابع آب و خاک، احیای حوزه‌های آبخیز و توسعه‌ی پایدار باید بهره‌برداری‌ها به شیوه‌ی علمی انجام شوند و فعالیت‌های آبخیزداری گسترش یابند. در این میان، بهترین شیوه و منطقی‌ترین راهکار برای حفظ این منابع، مشارکت همه‌جانبه‌ی مردم است (۸). به این‌منظور، در اوایل قرن ۲۱ میلادی، در اکثر کشورهای توسعه یافته، ایجاد آبخیزهای یکپارچه با مینا قرار دادن مشارکت تمام آبخیزنشینان به‌منظور دست‌یابی به بهبود معیشت، با تأکید بر مسائل اجتماعی-اقتصادی و زیست‌محیطی به‌عنوان راهکاری مؤثر اجرا گردید. بنابراین، اغلب فعالیت‌ها در قالب طرح‌های حفاظت آب و خاک، با رویکرد مدیریت یکپارچه‌ی آبخیزداری مشارکتی (۷) به‌منظور ارتقاء مدیریت پایدار منابع آب و خاک به مرحله‌ی

مراعات در شهرستان دهگلان استان کردستان به این نتیجه دست یافتند که بین عوامل اجتماعی و اقتصادی با میزان تمایل بهره‌برداران به مشارکت در طرح‌ها رابطه‌ی مثبت و معنی‌داری وجود داشته است. الیاسی و همکاران (۶) نیز در پژوهشی اقدام به شناسایی عوامل مؤثر بر تمایل آبخیزنشینان به مشارکت در طرح‌های آبخیزداری در حوزه‌ی آبخیز هزارخان، استان کرمانشاه کردند. نتایج ایشان نشان داد مساحت زمین، تحصیلات، عوامل اقتصادی و تعداد دام به ترتیب بیشترین و سن، عوامل اجتماعی و عوامل ارتباطی و منابع اطلاعاتی به ترتیب کمترین تأثیر را بر تمایل آبخیزنشینان به مشارکت داشتند، ایشان پیشنهادها را برگزاری کلاس‌های آموزشی- ترویجی، بهبود برنامه‌ی رسانه‌های جمعی و بهره‌برداری از رسانه‌های اجتماعی، ارتقاء انگیزه و آگاهی، آبخیزنشینان را برای جذب مشارکت عمومی در این طرح‌ها اعلام کردند. در همین راستا، قربانی و همکاران (۹) با تحلیل سرمایه‌ی اجتماعی درون گروهی در راستای مدیریت مشارکتی مناطق خشک در دو بازه‌ی زمانی قبل و بعد از اجرای پروژه‌ی مشارکتی احیای اراضی جنگلی در روستای ده‌رضا از توابع شهرستان ریگان استان کرمان به این نتیجه رسیدند که سرعت گردش و تبادل اعتماد و مشارکت بین افراد بعد از اجرای طرح نسبت به قبل از اجرای آن افزایش یافته است و تحقق مدیریت مشارکتی در منطقه به نحو مطلوب انجام شده است. علاوه بر موارد فوق، آگیدو و سینگ (۲) حمایت دولت و جنسیت را به ترتیب با دارا بودن همبستگی مثبت و منفی، از جمله عوامل مؤثر بر مشارکت کشاورزان در برنامه‌های آبخیزداری در ارتفاعات شمال شرقی اتیوپی معرفی کردند. همچنین بکل و همکاران (۵) در ارزیابی شیوه‌های مدیریت حوزه‌های آبخیز در جنوب اتیوپی، با تأکید بر عوامل طراحی- فنی و آموزشی- ترویجی، به حداقل رساندن نقایص فنی مشاهده شده در اجرا و ترمیم طرح‌های آبخیزداری، و به تبع آن، آموزش و ترویج فواید اقدامات آبخیزداری را به عنوان مهمترین عوامل در مشارکت روستائیان در فعالیت‌های آبخیزداری می‌دانند. در پژوهشی دیگر، شران و شران (۱۹) مهم‌ترین مشکل در مدیریت حوزه‌های آبخیز را به دلیل ذی‌نفعان متعدد با زمینه‌های مختلف فکری، اقتصادی، اجتماعی و تضاد منافع می‌دانند. به این منظور، مشارکت تمام ذی‌نفعان و آبخیزنشینان را تنها راهکار حل این مشکل می‌دانند و معتقدند تا زمانی که منافع واقعی و مشروع تمام ساکنان در حوزه‌های آبخیز به‌طور عادلانه و مساوی مورد توجه برنامه‌ریزان قرار نگیرد و همه‌ی ایشان به‌طور مساوی در امور مدیریت حوزه‌های آبخیز مشارکت نداشته باشند؛ نمی‌توان شاهد حفظ منابع آب و خاک و تحقق توسعه‌ی پایدار بود. تسفای و همکاران (۲۴) نیز به بررسی قابلیت‌های نهادی مشارکت در توسعه‌ی حوزه‌ی آبخیز تانا اتیوپی پرداختند. ایشان معتقدند عقلانیت و عملکرد نهادی و سازمان یافته نقش مهمی در توسعه‌ی حوزه‌های آبخیز پایدار ایفا می‌کنند. نتایج این پژوهش نشان داد افزایش آگاهی و دانش فنی و رعایت اصول آن، و انجام امور مشارکتی می‌تواند به افزایش حفاظت از منابع طبیعی، افزایش درآمد و سایر مزایای اجتماعی کمک

به‌ویژه در کشور ما دارد. طرح‌های پخش سیلاب چندمنظوره هستند؛ زیرا با اجرای آن‌ها همزمان زمینه برای کشاورزی، مرتع‌داری و جنگل‌داری سیلابی، احیاء محیط‌زیست، تثبیت خاک، کاهش خسارت‌های سیل و تغذیه‌ی مصنوعی آبخوان‌ها فراهم می‌شود. طرح‌های آبخوان‌داری و به تبع آن پخش سیلاب، همانند سایر طرح‌های حوزه‌ی منابع طبیعی، نیازمند مشارکت مستمر مردم (به‌ویژه آبخیزنشینان) دارد و بدون همراهی و مشارکت آگاهانه و فعال مردم، مؤثر واقع نخواهد شد.

آلیماه‌و و همکاران (۴) در بررسی عوامل مؤثر بر مشارکت کشاورزان در طرح‌های آبخیزداری اعلام کردند علاقه، دانش بومی کشاورزان و رقابت، از عوامل اجتماعی مؤثر بر مشارکت کشاورزان در این طرح‌ها هستند. آفاریچلاگی (۱۵) در پژوهشی به بررسی مشارکت عمومی و ارزیابی اثرات زیست‌محیطی آن اقدام کرده است. نتایج یافته‌های ایشان حاکی از آن است که عواملی مانند: تعهد بهره‌برداران، سطح و طرز فکر آن‌ها، توجه به علائق و نیارهای ایشان و نگرش نسبت به مشارکت، از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در مشارکت پایدار بهره‌برداران در طرح‌های مدیریت منابع آب و خاک می‌باشند. همچنین ایشان مؤثر بودن بسیاری از تصمیم‌ها را در صورتی می‌داند که این تصمیم در روند اجرای طرح‌ها و از طریق مذاکره با بهره‌برداران صورت گرفته باشد. پرهیزکاری و همکاران (۱۶) نیز به بررسی عوامل مؤثر بر مشارکت کشاورزان در حوزه‌ی آبخیز شاهرود استان قزوین در به‌کارگیری عملیات حفاظت آب و خاک با کاربرد الگوی لاجیت چندگزینه‌ای اقدام کردند. یافته‌های ایشان نشان داد که تنها ۴۲/۷ درصد از کشاورزان در حد متوسط عملیات حفاظتی را به کار می‌گیرند؛ همچنین متغیرهای تحصیلات، شیب اراضی، آگاهی از عملیات حفاظتی، درآمد ناخالص سالانه، دریافت کمک‌های بلاعوض و شرکت در کلاس‌های ترویجی، اثرات مثبت و معنی‌دار و متغیرهای سن، و اشتغال در بخش غیرکشاورزی اثرات منفی و معنی‌داری بر احتمال مشارکت کشاورزان در به‌کارگیری اقدامات حفاظت آب و خاک دارند. در پژوهشی دیگر، مسرت‌موگس و آمسالوتای (۱۴) به بررسی عوامل مؤثر در مشارکت کشاورزان در فناوری‌های حفاظت آب و خاک با استفاده از آمار توصیفی و مدل رگرسیون لجستیک در ناحیه‌ی آنکاشا واقع در شمال غرب اتیوپی اقدام کردند. یافته‌های این پژوهش نشان داد سطح تحصیلات پاسخ‌دهندگان و دسترسی آنان به آموزش‌ها ارتباط مثبت و معنی‌داری با همکاری کشاورزان در پروژه‌های حفاظت آب و خاک و آبخیزداری دارد. همچنین ادراک کشاورزان برای سرمایه‌گذاری در پروژه‌های حفاظت خاک و آبخیزداری به‌شدت با عوامل اجتماعی، اقتصادی، اجتماعی و طبیعی ارتباط معنی‌داری داشت. به این منظور به بررسی محدودیت‌ها و موانع طبیعی، اقتصادی، اجتماعی، افزایش آگاهی و آموزش به‌منظور ارتقاء سطح فکری و آگاهی از مزایا و محاسن این پروژه‌ها تأکید شده است. احمدی و همکاران (۳) در بررسی عوامل اقتصادی و اجتماعی مؤثر بر تمایل بهره‌برداران به مشارکت در طرح‌های اصلاح و احیای

و اسکات (۱۱) مهم ترین عامل در مدیریت یکپارچه ی آبخیز را تعامل بین منابع انسان، زمین و آب و خاک می دانند. ایشان در این خصوص، بهبود شرایط اقتصادی ساکنان و امنیت مالکیت را به عنوان مهمترین عامل در ایجاد انگیزه ی انسانی در مشارکت پایدار در آبخیزها معرفی می کنند. سلیمان پور و همکاران (۲۱) نیز در بررسی عوامل مؤثر بر عدم مشارکت روستائیان در طرح های آبخیزداری در حوزه ی آبخیز قشلاق واقع در شمال استان فارس، اعلام کردند لازم است به منظور مشارکت پایدار جوامع روستایی در طرح های آبخیزداری، نسبت به حل مسائل "اقتصادی" آبخیزنشینان و تدوین برنامه ی جامع "آموزش و ترویج" اقدامات عملی صورت گیرد. همچنین صالح پورجم و همکاران (۱۸) اقدام به بررسی شاخص های اجتماعی مؤثر در عدم مشارکت مردمی در طرح های منابع طبیعی نمودند. نتایج نشان داد که شاخص عدم اعتماد مردمی به عنوان مرجح ترین شاخص مؤثر در عدم مشارکت مردمی است، به طوری که زیرشاخص های "عدم اطمینان مردم در اثربخشی نظراتشان" و "عدم اعتماد نسبت به تداوم پروژه ها به علت اجرای نیمه کاره طرح ها" دو اولویت نخست را به خود اختصاص داده اند. همچنین زیرشاخص های "کمبود نیروی جوان در روستاها در نتیجه مهاجرت به شهرها" و "نبود یا کم رنگ بودن فرهنگ مشارکت"، به عنوان مهمترین زیرشاخص های اجتماعی مؤثر در عدم مشارکت مردمی رتبه بندی و معرفی گردیدند. سلیمان پور و همکاران (۲۲) نیز در پژوهشی اقدام به بررسی دیدگاه آبخیزنشینان در اولویت بندی عوامل مؤثر بر مشارکت ضعیف ایشان در طرح های آبخیزداری در حوزه ی آبخیز مرادآباد میمند واقع در غرب استان فارس کردند. نتایج نشان داد شاخص اقتصادی و زیرشاخص درآمد کم ساکنان، به عنوان مهم ترین شاخص و زیرشاخص در مشارکت ضعیف آبخیزنشینان در طرح های آبخیزداری در این حوزه ی آبخیز می باشند. بنابراین به منظور مشارکت پایدار آبخیزنشینان در طرح های آبخیزداری ضروری است نسبت به حل مسائل اقتصادی ایشان و تدوین برنامه ی جامع آموزش و ترویج اقدام جدی صورت گیرد.

با عنایت به موارد مطرح شده، توجه به مشارکت بهره برداران و شناسایی و مرتفع ساختن موانع تحقق آن در اجرای کلیه ی طرح های منابع طبیعی و آبخیزداری، امکان برخورداری از پتانسیل های فکری، اجرایی، نظارتی و دانش بومی جوامع محلی را در مراحل مختلف مطالعاتی، اجرایی، ارزیابی و نگهداشت و حفاظت آتی طرح ها را فراهم می کند. این مسأله ضمن کاهش هزینه های اجرایی، ضامن موفقیت و اجرای مؤثرتر طرح ها خواهد بود (۲۲). به منظور نیل به این هدف، پژوهش حاضر برای نخستین بار اقدام به شناسایی و اولویت بندی شاخص ها و زیرشاخص های مؤثر بر موانع مشارکت پایدار جوامع روستایی در طرح های آبخوان داری از دیدگاه بهره برداران در حوزه ی آبخیز بیشه زرد استان فارس که محل انجام عملیات آبخوان داری به روش پخش سیلاب و احداث ایستگاه تحقیقاتی کوثر است اهتمام نموده است.

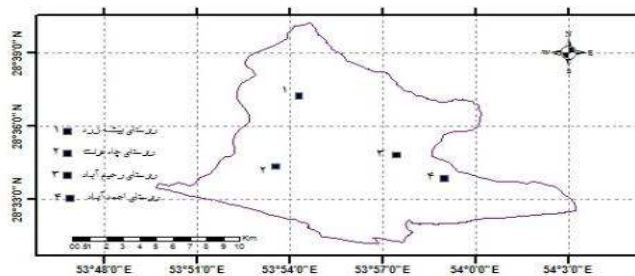
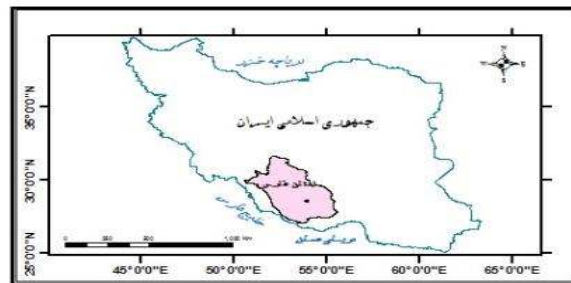
نماید. ایشان پیگیری دقیق و مشارکت آگاهانه را به عنوان عاملی مهم در بهبود سریع و پایداری حوزه های آبخیز معرفی کردند. آبیبه و همکاران (۱) نیز در پژوهشی به بررسی تمایل افراد برای پرداخت هزینه به منظور انجام عملیات آبخیزداری در نه منطقه از کشور آتیوبی اقدام کردند. نتایج ایشان که در طول یک دوره ی پنج ساله (۲۰۱۴-۲۰۱۹)، از طریق مصاحبه و به روش نمونه گیری چند مرحله ای به دست آمد نشان داد بین ۸۴ تا ۹۰ درصد خانوارها و سازمان های مردم نهاد، تمایل خود را برای پرداخت هزینه های اضافی به منظور اجرای طرح های آبخیزداری اعلام کردند. ایشان معتقد بودند مشارکت در پرداخت هزینه ی اجرای طرح های آبخیزداری باعث بهبود شرایط زندگی و آینده ی آنان خواهد شد. کریمی و شیخ (۱۰) نیز به ارزیابی نگرش آبخیزنشینان به طرح های منابع طبیعی و محیط زیست در حوزه ی آبخیز حبله رود اقدام کردند. نتایج آمار توصیفی این پژوهش نشان داد که با وجود ضرورت و اهمیت بالای برگزاری برنامه های آموزشی و ترویجی از نظر مردم، تعداد و تنوع دوره ها و برنامه های آموزشی و ترویجی برگزار شده، از دیدگاه آبخیزنشینان کم بود. عدم توانایی مالی اجرای پروژه ها، به عنوان عامل اصلی عدم استقبال آبخیزنشینان از روش های حفاظت آب و خاک تعیین شد. در این خصوص، پری و تامسون (۱۷) در یافته های پژوهش خود، معتقدند تبعیض و نابرابری در فرآیند تصمیم گیری در حوزه های آبخیز اغلب منجر به افزایش اختلاف و تخصیص ناعادلانه ی قدرت و منابع می شود. ایشان مشارکت سازنده و تعامل با آبخیزنشینان و ذی نفعان حوزه های آبخیز را به عنوان طرحی سازنده که منجر به درک بیشتر از آبخیزداری مبتنی بر نگرش زیست بومی است می دانند و توجه به مشارکت پایدار را با توجه به تغییرات آب و هوایی و افزایش جمعیت، ضروری تلقی کردند. شمس الدینی و همکاران (۲۰) نیز در بررسی تحلیل عوامل مؤثر بر میزان مشارکت آبخیزنشینان در عملیات آبخیزداری در حوزه ی آبخیز چشمه زینل شهرستان، بروجرد، نشان داد بین متغیر سن و میزان تجربه ی افراد در کشاورزی با میزان مشارکت آن ها در فعالیت های آبخیزداری، رابطه ی منفی و غیر معنی داری وجود دارد. همچنین بین متغیرهای میزان انسجام اجتماعی، پایگاه اجتماعی- اقتصادی، عضویت در نهادهای عمومی روستا و استفاده از منابع اطلاعاتی با میزان مشارکت پاسخگویان در فعالیت های آبخیزداری رابطه ای مثبت و معنی دار وجود دارد. نتایج رگرسیون چندگانه به روش گام به گام نیز بیانگر آن بود که متغیر میزان آگاهی از اهداف و خصوصیات طرح های آبخیزداری دارای بیشترین نقش در میزان مشارکت افراد در فعالیت های آبخیزداری است. سلیمان پور و همکاران (۲۳) نیز نبود مشارکت پایدار جوامع روستایی در طرح های آبخیزداری را به عنوان عاملی به شدت بازدارنده برای توان بخشی آبخیزها می دانند ایشان برای بهبود شرایط اقتصادی آبخیزنشینان، توجه به فعالیت سمن ها و آموزش بهره برداران، به همراه اجرای طرح های چندمنظوره، برای جلب اعتماد و مشارکت فعال آن ها در طرح های آبخیزداری را به عنوان امری ضروری در مشارکت پایدار در طرح های آبخیزداری معرفی کردند. در همین راستا، کاتوسیمی

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه‌ی مورد مطالعه

حوزه‌ی آبخیز بیشه‌زرد در ۵۰ کیلومتری جنوب شرقی شهرستان فسا (۲۸ درجه و ۳۸ دقیقه‌ی عرض شمالی و ۵۳ درجه و ۵۵ دقیقه طول شرقی، ارتفاع ۱۱۴۰ متر از سطح دریا) واقع شده و دارای چهار روستا می‌باشد (شکل ۱). عملیات آبخوان‌داری به‌روشن پخش سیلاب در این حوزه‌ی آبخیز از سال ۱۳۶۱ در شنزاری به مساحت ۶۰۰۰ هکتار آغاز شد و تا سال ۱۳۷۸ به ۲۲۰۰ هکتار توسعه یافت. عملیات خاکی به‌میزان ۲۹۰۰۰۰ متر مکعب، عملیات سازه‌های توری‌سنگی به مقدار ۵۵۴۵ متر مکعب و عملیات سازه‌های سنگی‌مالاتی به میزان ۱۷۰۳۵ متر مکعب از مهم‌ترین اقدامات آبخوان‌داری در این منطقه است. از دستاوردهای مهم این طرح می‌توان به

مه‌بار بیش از ۲۵۰ میلیون مترمکعب سیل، تغذیه‌ی بیش از ۱۸۰ میلیون مترمکعب سیل مه‌بار شده به آبخوان، اصلاح کیفیت آب زیرزمینی (کاهش غلظت نیترات آب از ۶۰ به ۷ میلی‌گرم در لیتر) و افزایش ذخیره‌ی رطوبتی خاک نام برد. افزایش میانگین علوفه‌ی مرتعی خشک از ۱۴۹ به ۴۲۱ کیلوگرم در هکتار در سال، تهیه‌ی علوفه، ایجاد جنگلی در سطح ۱۳۲ هکتار با امکان بهره‌برداری ۲۰ متر مکعب چوب از هر هکتار در سال (بدون استفاده از آب زیرزمینی)، تولید عسل ارگانیک، بهبود کیفیت محیط‌زیست (تثبیت شن‌های روان، کاهش اراضی بادرفتی، تلطیف هوا و ...) از دیگر دستاوردهای مهم این طرح می‌باشد (۱۳) که ساکنان این حوزه‌ی آبخیز، به‌طور مستقیم و غیرمستقیم از آن منتفع می‌گردند.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوزه‌ی آبخیز بیشه‌زرد

Figure 1. Geographic location of Bishezard watershed

روش تحقیق

در این پژوهش به‌منظور شناسایی و طبقه‌بندی شاخص‌ها و زیرشاخص‌های مؤثر بر موانع مشارکت پایدار جوامع روستایی در طرح‌های آبخوان‌داری، اقدام به جمع‌آوری منابع مرتبط مبتنی بر مطالعات کتابخانه‌ای، پرسش از کارشناسان خبره و

نیز مراجعه به منطقه‌ی مورد مطالعه و مصاحبه‌ی حضوری با بهره‌برداران این حوزه‌ی آبخیز شد. پس از جمع‌بندی نتایج، چهار شاخص و دوازده زیرشاخص (جدول ۱) انتخاب و در قالب پرسش‌نامه که ابزار جمع‌آوری اطلاعات در این پژوهش است تنظیم شدند.

جدول ۱- شاخص‌ها و زیرشاخص‌های مؤثر بر موانع مشارکت پایدار جوامع روستایی در طرح‌های آبخوان‌داری از دیدگاه بهره‌برداران
 Table 1. Effective indicators and sub-indicators on barriers sustainable non participation of rural communities in aquifer management projects from a beneficiary's perspective

شاخص و علامت اختصاری	زیرشاخص و علامت اختصاری
اقتصادی (X _E)	نادیده گرفتن درآمد برای مردم به‌عنوان انگیزه‌ی اقتصادی مستقیم در اجرای طرح‌ها (X ₁) دربازده بودن طرح‌ها (X ₂) درآمد کم ساکنان حوضه (X ₃)
اجتماعی (X _S)	پایین بودن سطح سواد و آگاهی (X ₄) اختلافات قومی و محلی (X ₅) عدم اعتماد نسبت به نتایج و اثربخشی طرح‌ها (X ₆) تمرکز قدرت تصمیم‌گیری در مرکز (X ₇)
طراحی- اجرایی (X _D)	عدم توجه به نیروی محلی در اجرای پروژه‌ها (اشتغال‌زایی) (X ₈) عدم توجه به سازمان‌های غیردولتی (سمن‌ها) در برنامه‌ریزی‌ها (X ₉) عدم توجه به نظرات و پیشنهادهای بهره‌برداران در مراحل مختلف نیازسنجی، طراحی و اجرای طرح‌ها (X ₁₀)
آموزشی- ترویجی (X _T)	عدم آموزش ساکنان حوضه در خصوص طرح‌ها و اهداف مربوطه (X ₁₁) عدم استفاده از گروه‌های مروج بومی (X ₁₂)

شایان ذکر است اعتبار صوری پرسش‌نامه با دعوت از متخصصان و کارشناسان آگاه به مسائل آبخوان‌داری (کارشناسان اداره‌ی کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان فارس و محققان مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس) مورد تأیید قرار گرفت و به‌منظور تعیین قابلیت اعتماد پرسش‌نامه، از پیش‌آزمون پرسش‌نامه‌ها (شامل ۳۰ نفر خارج از نمونه‌ی اصلی) انجام پذیرفت که با توجه به مقدار ۰/۷۴ ضریب آلفای کرونباخ، پرسش‌نامه از پایایی مناسبی برخوردار بود. توضیح این که به‌منظور اولویت‌بندی شاخص‌ها و زیرشاخص‌ها، مشکلات مربوط به هر "شاخص"، به‌عنوان "زیرشاخص" در نظر گرفته‌شد. متغیرهای پرسش‌نامه نیز از نوع متغیرهای ترتیبی-کیفی و منطبق با طیف لیکرت (خیلی کم (۱)، کم (۲)، متوسط (۳)، زیاد (۴) و

خیلی‌زیاد (۵)) مبتنی به روش کدگذاری چند پاسخی بود. سپس در مرحله‌ی تکمیل پرسش‌نامه‌ها، با استفاده از فرمول کوکران اقدام به تعیین حجم صحیح (اصولی) نمونه شد. به‌این‌صورت که با توجه به قرارگیری تعداد چهار روستا در حوزه‌ی آبخیز بیشه‌زرد به‌شرح جدول ۲ و تعداد ۲۱۴۶ نفر جمعیت و ۳۹۵ خانوار (بر مبنای دریافت اطلاعات از خانه‌ی بهداشت روستاها)، به‌منظور تعیین تعداد صحیح نمونه، با استفاده از این فرمول و با خطای ده درصد، تعداد ۸۳ نفر از بهره‌برداران (که عمدتاً سرپرستان خانوارهای ساکن در حوضه بودند) به‌طور تصادفی ساده برای انجام مصاحبه‌ی حضوری به‌عنوان تعداد نمونه‌های این پژوهش انتخاب شدند (جدول ۲).

جدول ۲- مشخصات جمعیتی روستاهای واقع در حوزه‌ی آبخیز بیشه‌زرد

نام روستا	جمعیت (نفر)	تعداد خانوار (نفر)	تعداد پرسش‌نامه‌های تعلق گرفته
احمدآباد	۱۶۸	۳۲	۷
بیشه‌زرد	۵۳۵	۸۸	۱۹
چاه‌دولت	۸۰۶	۱۶۹	۳۵
رحیم‌آباد	۶۳۷	۱۰۶	۲۲
جمع کل	۲۱۴۶	۳۹۵	۸۳

رتبه‌بندی گروه‌های مختلف استفاده شد (۸). نتایج آزمون t با توجه به مقدار t و معنی‌داری در سطح یک درصد مؤید آن است که از دیدگاه بهره‌برداران، زیرشاخص "درآمد کم ساکنان حوضه" با اختلاف زیادی دارای اهمیت بیشتری نسبت به شاخص و سایر زیرشاخص‌ها است و شاخص "اقتصادی" در اولویت بعدی قرار دارد (جدول ۳).

پس از تکمیل و تجمیع پرسش‌نامه‌ها، تجزیه و تحلیل داده‌های گردآوری شده با استفاده از نرم‌افزار SPSS (نسخه‌ی ۲۳) به شرح زیر انجام شد: به‌منظور تعیین اهمیت شاخص‌ها و زیرشاخص‌ها از آزمون t یک جمعیتی با میانگین ۳ استفاده شد. سپس به منظور اولویت‌بندی شاخص‌ها و زیرشاخص‌های مؤثر، از آزمون ناپارامتری فریدمن برای تجزیه‌ی واریانس دو طرفه از طریق رتبه‌بندی و همچنین مقایسه‌ی میانگین

جدول ۳- پارامترهای آماری و سطح معنی‌داری آزمون t یک جهتی شاخص و زیرشاخص‌های اقتصادی از دیدگاه بهره‌برداران در حوزه‌ی آبخیز بیشه‌زرد

علامت اختصاری پرسش‌ها (گویه‌ها)	میانگین	انحراف معیار	خطای استاندارد	مقدار t	سطح معنی‌داری
X ₁	۳/۷۹۵۲	۱/۱۵۵۶۸	۰/۱۲۶۸۵	۶/۲۶۸۵۸	۰/۰۰۰۰**
X ₂	۳/۶۸۶۷	۱/۲۱۹۰۲	۰/۱۳۳۸۱	۵/۱۳۳۴۰	۰/۰۰۰۰**
X ₃	۴/۲۲۸۹	۰/۹۴۱۲۷	۰/۱۰۳۳۲	۱۱/۸۹۴۵۶	۰/۰۰۰۰**
X _E	۳/۹۰۳۶	۰/۸۶۴۱۱	۰/۹۴۸۵	۹/۵۲۶۸۸	۰/۰۰۰۰**

Table 3. Statistical parameters and significance level of one-way T-test for indicator and economic sub-indexes in Bishezard watershed

نتایج و بحث

اهمیت بیشتری نسبت به سایر پرسش‌ها (گویه‌ها) هستند و پس از آن‌ها زیرشاخص "پایین بودن سطح سواد و آگاهی" و "عدم اعتماد نسبت به نتایج و اثربخشی طرح‌ها" در رده‌های بعدی اهمیت قرار دارند.

با توجه به جدول ۴، مقدار t و معنی‌داری در سطح یک درصد، مشخص می‌شود از دیدگاه بهره‌برداران، شاخص "اجتماعی" و زیرشاخص "اختلافات قومی و محلی" دارای

جدول ۴- پارامترهای آماری و سطح معنی‌داری آزمون t یک جهتی شاخص و زیرشاخص‌های اجتماعی از دیدگاه بهره‌برداران در حوزه‌ی آبخیز بیشه‌زرد

Table 4. Statistical parameters and significance level of one-way T-test for indicator and social sub-indexes in Bishezard watershed

علامت اختصاری پرسش‌ها (گویه‌ها)	میانگین	انحراف معیار	خطای استاندارد	مقدار t	سطح معنی‌داری
X_4	۴/۳۰۱۲	۰/۹۹۶۷۶	۰/۱۰۹۴۱	۱۱/۸۹۳۰۵	۰/۰۰۰۰**
X_5	۴/۵۳۰۱	۰/۹۱۵۱۵	۰/۱۰۰۴۵	۱۵/۲۳۲۵۷	۰/۰۰۰۰**
X_6	۴/۱۲۰۵	۰/۹۵۵۰۶	۰/۱۰۴۸۳	۱۰/۶۸۸۴۳	۰/۰۰۰۰**
X_5	۴/۱۶۸۷	۰/۶۹۵۲۷	۰/۷۶۳۲	۱۵/۳۱۳۷۲	۰/۰۰۰۰**

پیشنهادهای بهره‌برداران در مراحل مختلف نیازسنجی، طراحی و اجرای طرح‌ها، "تمرکز قدرت تصمیم‌گیری در مرکز" و "عدم توجه به سازمان‌های غیردولتی (سمن‌ها) در برنامه‌ریزی‌ها" دارای بیشترین اهمیت بوده‌اند.

با توجه به جدول ۵، مقدار t و معنی‌داری در سطح یک درصد، مشخص می‌شود از دیدگاه بهره‌برداران زیرشاخص "عدم توجه به نیروی محلی در اجرای پروژه‌ها (اشتغال‌زایی)" با اختلاف زیادی دارای اهمیت بیشتری نسبت به سایر پرسش‌ها (گویه‌ها) است و پس از آن به ترتیب، شاخص "طراحی-اجرائی" و زیرشاخص‌های "عدم توجه به نظرات و

جدول ۵- پارامترهای آماری و سطح معنی‌داری آزمون t یک جهتی شاخص و زیرشاخص‌های طراحی-اجرائی از دیدگاه بهره‌برداران در حوزه‌ی آبخیز بیشه‌زرد

Table 5. Statistical parameters and significance level of one-way T-test for indicator and design-executive sub-indexes in Bishezard watershed

علامت اختصاری پرسش‌ها (گویه‌ها)	میانگین	انحراف معیار	خطای استاندارد	مقدار t	سطح معنی‌داری
X_7	۴/۵۵۴۲	۰/۸۴۴۶۸	۰/۰۹۲۷۲	۱۶/۷۶۳۲۱	۰/۰۰۰۰**
X_8	۴/۹۵۱۸	۰/۲۶۶۱۲	۰/۰۲۹۲۱	۶۶/۸۱۸۷۶	۰/۰۰۰۰**
X_9	۴/۴۵۷۸	۰/۸۵۹۶۸	۰/۰۹۴۳۶	۱۵/۴۴۹۲۸	۰/۰۰۰۰**
X_{10}	۴/۶۶۲۷	۰/۷۲۰۳۸	۰/۰۷۹۰۷	۲۱/۰۲۶۹۲	۰/۰۰۰۰**
X_D	۴/۶۳۸۶	۰/۵۷۵۴۸	۰/۰۶۳۱۷	۲۵/۹۳۹۹۳	۰/۰۰۰۰**

حوزه در خصوص طرح‌ها و اهداف مربوطه" و "عدم استفاده از گروه‌های مروج بومی" دارای اهمیت بیشتری بوده‌اند؛ هر چند که هر سه پرسش (گویه) دارای نمرات قابل توجهی هستند که نشان از اهمیت شاخص و زیرشاخص آموزشی-ترویجی در بین بهره‌برداران این حوزه‌ی آبخیز دارد.

با توجه به جدول ۶، مقدار t و معنی‌داری در سطح یک درصد شاخص و زیرشاخص‌های آموزشی-ترویجی مشخص می‌شود از دیدگاه بهره‌برداران، شاخص "آموزشی-ترویجی" دارای اهمیت بیشتری نسبت به سایر پرسش‌ها (گویه‌ها) است و پس از آن به ترتیب، زیرشاخص‌های "عدم آموزش ساکنان

جدول ۶- پارامترهای آماری و سطح معنی‌داری آزمون t یک جهتی شاخص و زیرشاخص‌های آموزشی-ترویجی از دیدگاه بهره‌برداران در حوزه‌ی آبخیز بیشه‌زرد

Table 6. Statistical parameters and significance level of one-way T-test for indicator and educational-promotional sub-indexes in Bishezard watershed

علامت اختصاری پرسش‌ها (گویه‌ها)	میانگین	انحراف معیار	خطای استاندارد	مقدار t	سطح معنی‌داری
X_{11}	۴/۷۲۳۹	۰/۵۹۰۸۵	۰/۰۶۴۸۵	۲۶/۵۶۵۶۱	۰/۰۰۰۰**
X_{12}	۴/۷۱۰۸	۰/۶۵۳۸۸	۰/۰۷۱۷۷	۲۳/۸۳۶۸۵	۰/۰۰۰۰**
X_T	۴/۶۸۶۷	۰/۵۳۹۳۷	۰/۰۵۹۲۰	۲۸/۴۹۰۶۵	۰/۰۰۰۰**

می‌دهد از دیدگاه بهره‌برداران در این حوزه‌ی آبخیز، به ترتیب شاخص‌های "آموزشی-ترویجی"، "طراحی-اجرائی"، "اجتماعی" و "اقتصادی"، به‌عنوان مهم‌ترین شاخص‌های مؤثر بر موانع مشارکت پایدار جوامع روستایی در طرح‌های آبخوان‌داری تشخیص داده شده است.

به‌منظور اولویت‌بندی شاخص‌ها و زیرشاخص‌های مؤثر بر موانع مشارکت پایدار جوامع روستایی در طرح‌های آبخوان‌داری از دیدگاه بهره‌برداران در حوزه‌ی آبخیز بیشه‌زرد استان فارس از آزمون ناپارامتری فریدمن استفاده شد که نتایج آن در جدول‌های ۷ و ۸ ارائه شده است. جدول ۷ نشان

جدول ۷- اولویت بندی شاخص های مؤثر بر موانع مشارکت پایدار جوامع روستایی در طرح های آبخیزداری از دیدگاه بهره برداران در حوزه آبخیز بیشه زرد

Table 7. Prioritize effective indicators on barriers sustainable non participation of rural communities in aquifer management projects from a beneficiary's perspective in Bishezard watershed

اولویت	میانگین رتبه	شاخص
۱	۹/۷۵	آموزشی-ترویجی
۲	۹/۴۹	طراحی-اجرایی
۳	۶/۹۸	اجتماعی
۴	۵/۹۳	اقتصادی

بومی"، "عدم آموزش ساکنان حوضه در خصوص طرح ها و اهداف مربوطه" و "عدم توجه به نظرات و پیشنهادهای بهره برداران در مراحل مختلف نیازسنجی، طراحی و اجرای طرح ها" می باشد.

با توجه به جدول ۸ مشخص می شود که از دیدگاه بهره برداران، مهمترین عوامل بر موانع مشارکت پایدار جوامع روستایی در طرح های آبخیزداری در حوزه آبخیز بیشه زرد استان فارس به ترتیب: "عدم توجه به نیروی محلی در اجرای طرح ها (اشتغال زایی)"، "عدم استفاده از گروه های مروج

جدول ۸- اولویت بندی زیرشاخص های مؤثر بر موانع مشارکت پایدار جوامع روستایی در طرح های آبخیزداری از دیدگاه بهره برداران در حوزه آبخیز بیشه زرد

Table 8. Prioritize sub effective indicators on barriers sustainable non participation of rural communities in aquifer management projects from a beneficiary's perspective in Bishezard watershed

اولویت	پرسش ها (گویه ها) و علامت اختصاری آن ها	میانگین رتبه
۱	عدم توجه به نیروی محلی در اجرای طرح ها (اشتغال زایی) (X ₈)	۱۱/۴۰
۲	عدم استفاده از گروه های مروج بومی (X ₁₂)	۱۰/۰۷
۳	عدم آموزش ساکنان حوضه در خصوص طرح ها و اهداف مربوطه (X ₁₁)	۱۰/۰۰
۴	عدم توجه به نظرات و پیشنهادهای بهره برداران در مراحل مختلف نیازسنجی، طراحی و اجرای طرح ها (X ₁₀)	۹/۸۲
۵	اختلافات قومی و محلی (X ₅)	۹/۲۷
۶	تمرکز قدرت تصمیم گیری در مرکز (X ₇)	۹/۲۰
۷	عدم توجه به سازمان های غیردولتی (سمن ها) در برنامه ریزی ها (X ₉)	۸/۷۲
۸	پایین بودن سطح سواد و آگاهی (X ₄)	۸/۲۱
۹	درآمد کم ساکنان حوضه (X ₃)	۷/۸۰
۱۰	عدم اعتماد نسبت به نتایج و اثربخشی طرح ها (X ₆)	۷/۳۶
۱۱	نادیده گرفتن درآمد برای مردم به عنوان انگیزه اقتصادی مستقیم در اجرای طرح ها (X ₁)	۶/۲۵
۱۲	دیربازده بودن طرح ها (X ₂)	۵/۷۴

نتیجه گیری و پیشنهادهای

نتایج پژوهش های مختلف در خصوص مشارکت نشان می دهد همه ی راه ها در مشارکت پایدار در طرح های آبخیزداری و آبخیزداری از روستاییان و توسعه ی روستا آغاز می شود؛ به بیان دیگر، بدون مشارکت پایدار و واقعی ایشان و نقش تعیین کننده ی آن ها در طرح های آبخیزداری و آبخیزداری، عملاً یا توسعه ی پایدار و واقعی شکل نمی گیرد و یا به مشکل و بن بست منجر خواهد شد. لذا میزان موفقیت در طرح های آبخیزداری و آبخیزداری را باید در مشارکت یا عدم مشارکت ایشان جستجو کرد. به این منظور، بهبود عملکرد در طرح های مشارکتی آبخیزداری و آبخیزداری زمانی محقق خواهد شد که آبخیزنشینان (ذی نفعان) به تعیین مشکلات کمک کنند؛ اولویت ها را تعیین نمایند؛ فناوری ها و سیاست ها را انتخاب و نظارت و ارزیابی اثرات را انجام دهند. این مهم، سبب ارتقاء توانمندی ها و بهره وری بهینه از تمام امکانات و منابع موجود در حوزه های آبخیز می شود که یکی از مهم ترین اقداماتی که می توان در راستای رفع موانع مشارکت پایدار جوامع روستایی در این طرح ها به انجام رساند، شناسایی و اولویت بندی عواملی است که باعث عدم مشارکت ایشان می شود.

نظر میزان تحصیلات، ۲۳ نفر از ایشان (۳۹/۹ درصد) دارای مدرک تحصیلی سیکل بوده اند؛ در صورتی که تنها ۱۰ نفر (۱۲ درصد) دارای مدرک تحصیلی بالاتر از دیپلم بوده اند که نشان از سطح تقریباً ضعیف تحصیلی در این منطقه دارد. تعیین اهمیت شاخص ها و زیرشاخص ها که با استفاده از آزمون t یک جهتی حاصل شد مؤید این نکته است که زیرشاخص اقتصادی "درآمد کم ساکنان حوضه" دارای بیشترین میانگین در بین شاخص اقتصادی و زیرشاخص های آن است. زیرشاخص اجتماعی "اختلافات قومی و محلی" نیز دارای اهمیت بیشتری نسبت به شاخص اجتماعی و زیرشاخص های آن است. در زیرشاخص طراحی-اجرایی "عدم توجه به نیروی محلی در اجرای طرح ها (اشتغال زایی)" نیز با اختلاف قابل ملاحظه ای دارای اهمیت بیشتری نسبت به شاخص طراحی-اجرایی و زیرشاخص های آن است و شاخص "آموزشی-ترویجی" دارای اهمیت بیشتری نسبت به زیرشاخص های خود است. این نتایج، نشان دهنده ی تعیین صحیح زیرشاخص های مؤثر در این پژوهش دارد. نتایج آزمون ناپارامتری فریدمن نیز نشان داد به ترتیب شاخص های "آموزشی-ترویجی"، "طراحی-اجرایی"، "اجتماعی" و "اقتصادی" به عنوان مهم ترین شاخص های مؤثر بر موانع مشارکت پایدار جوامع روستایی در طرح های آبخیزداری تشخیص داده شد. این نکته مؤید آن است که مسائل

با عنایت به موارد فوق، نتایج پرسش (مصاحبه ی حضوری) با ۸۳ نفر از بهره برداران حوزه ی آبخیز بیشه زرد نشان داد از

- ایجاد اشتغال دائم و مولد به منظور رفع مشکلات اقتصادی و معیشتی بهره‌برداران
 - برنامه‌ریزی و انجام فعالیت‌های آموزشی-ترویجی مرتبط با مباحث آبخیزداری و آبخوانداری
 - ایجاد ساختار مناسب برای جذب حداکثری مشارکت زنان به‌عنوان نیمی از جمعیت تأثیرگذار و مؤثر
 - ظرفیت‌سازی و سازماندهی نظام بهره‌برداری پایدار از آبخیزها با تأکید بر مباحث توسعه‌ی پایدار
 - لزوم توجه به همه‌ی بهره‌برداران؛ به‌طوری که هیچ فرد یا گروهی از بهره‌برداران نباید از برنامه‌ها و فعالیت‌های مشارکت‌مدارانه در پهنه‌ی آبخیز کنار گذاشته شوند.
 - تلاش به‌منظور افزایش سطح آگاهی‌های عمومی بهره‌برداران و انجام آموزش‌های مدون و کاربردی به ایشان
 - ایجاد ساختار مناسب برای تشکیل و جذب مشارکت سازمان‌های غیردولتی با تأکید بر حفاظت از منابع طبیعی و احیاء آبخیزها
 - تقویت پژوهش‌های کاربردی به‌منظور تأمین نیازهای بخش اجرا و در نظر گرفتن درآمدهای لازم جهت مشارکت‌های مردمی.

تشکر و قدردانی

این پژوهش برگرفته از بخشی از نتایج زیرپروژه‌ی تحقیقاتی ملی، مصوب پژوهشکده‌ی حفاظت خاک و آبخیزداری با کد ۵۰-۰۲۹-۰۲۰-۰۴۷۹-۹۶ می‌باشد. نویسندگان این اثر، بر خود فرض می‌دانند از حمایت‌های مادی و معنوی پژوهشکده‌ی حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس و به‌ویژه مردم شریف حوزه‌ی آبخیز بیشه‌زرد، نهایت تشکر و سپاس خود را اعلام دارند.

آموزشی-ترویجی، اثر مستقیم بر مشارکت و موانع مشارکت بهره‌برداران دارد. این یافته‌ها با نتایج آلیمایهو و همکاران (۴)، بکل و همکاران (۵)، کریمی و شیخ (۱۰)، مسرت‌موگس و امسالوتای (۱۴)، افاریچلاگی (۱۵) و سلیمان پور و همکاران (۲۲،۲۱) مطابقت دارد. همچنین از دیدگاه ایشان، مهمترین زیرشاخص‌ها بر موانع مشارکت پایدار جوامع روستایی در طرح‌های آبخوانداری در این حوزه‌ی آبخیز به‌ترتیب: "عدم توجه به نیروی محلی در اجرای طرح‌ها (اشتغال‌زایی)"، "عدم استفاده از گروه‌های مروج بومی"، "عدم آموزش ساکنان حوضه در خصوص طرح‌ها و اهداف مربوطه"، "عدم توجه به نظرات و پیشنهادهای بهره‌برداران در مراحل مختلف نیازسنجی، طراحی و اجرای طرح‌ها" و "اختلافات قومی و محلی" می‌باشد. همان‌طور که مشخص است زیرشاخص‌های شاخص "آموزشی-ترویجی" و "طراحی-اجرائی" در این رتبه‌بندی نیز اثر خود را به‌وضوح نشان می‌دهد و به این سبب لازم است برنامه‌ریزان نسبت به تدوین برنامه‌های علمی و منسجم اقدام‌های ویژه‌ای انجام دهند. این موارد نیز با نتایج پژوهش‌های بکل و همکاران (۵)، کاتوسیمی و اسکات (۱۱) و سلیمان پور و همکاران (۲۳،۲۲،۲۱) و تسفای و همکاران (۲۴) هم‌خوانی دارد. عدم توجه به زیر شاخص "دیربازده بودن طرح‌ها" و قرار گرفتن این زیرشاخص به‌عنوان آخرین اولویت (دوازدهم) نیز بسیار مهم و قابل تأمل است و مباحث فراوانی را ارائه می‌دهد. این یافته نشان‌دهنده‌ی آن است که در صورتی که وضعیت اشتغال در این حوزه‌ی آبخیز حل شود؛ مردم حاضرند نسبت به صرف زمان در به نتیجه رسیدن طرح‌های آبخوانداری اقدام کنند و واقف بر این موضوع هستند که "اثرگذاری مطلوب، نیاز به صرف زمان دارد".
 با توجه به یافته‌های این پژوهش، پیشنهادهای زیر ارائه می‌شود:

منابع

1. Abebe, S.T., A.B. Dagnev. V.G. Zeleke. G.Z. Eshetu and G.T. Cirella. 2019. Willingness to Pay for Watershed Management. Resources, 8(77): 1-18.
2. Agidew, A.M.A. and K.N. Singh. 2018. Factors affecting farmers' participation in watershed management programs in the Northeastern highlands of Ethiopia: a case study in the Teleyayen sub-watershed. Ecological Processes, 7(1): 1-15.
3. Ahmadi, F., Q. Heydari and F. Shafiee. 2018. Social and economic factors affecting the willingness of ranchers to participate in rangelands rehabilitation and restoration projects (Case Study: Dehgolan Rangelands). Iranian Journal of Range and Desert Research, 25(1): 102-115 (In Persian).
4. Alemayehu, F., N. Talia and J. Nyssen. 2009. The impacts of watershed management on land use and land cover dynamics in eastern tigray (Ethiopia). Journal of resources conservation and recycling, 53: 192-198.
5. Bekele, A., A. Aticho and E. Kissi. 2018. Assessment of community based watershed management practices: emphasis on technical fitness of physical structures and its effect on soil properties in Lemo district, Southern Ethiopia. Environmental Systems Research, 7(20): 1-11.
6. Elyasi, A., K. Shahedi and Sh. Rastgar. 2018. Effective Factors on Stakeholders' Willingness to Participate at Watershed Management Projects in Hezarkhani Watershed. Journal of Watershed Management Research, 8(16): 259-270 (In Persian).
7. German, L., H. Mansoor, G. Alemu, W. Mazengia, T. Amede and A. Stroud. 2007. Participatory integrated watershed management: evolution of concepts and methods in an eco-regional program of the eastern African highlands. Agric Syst, 94(2): 189-204.
8. Ghahari, Gh.R. 2019. Prioritization of Effective Factors on Preventing Sustainable Participation of Rural Societies in Watershed Management Plans Plans (Case Study: Bishezard Watershed of Gareh-Baygon-Fasa, Fars Province). Final Report of Research Play, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI), 73 pp (In Persian).

9. Ghorbani, M., L. Avazpour, M. Rahimi, H. Mousavi and B. Esmaceli. 2018. Analysis of bonding social capital towards co-management of dry lands. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 25(2): 378-387 (In Persian).
10. Karimi, Z. and V. Sheikh. 2019. Evaluation of the stakeholders' attitude towards natural resources and environmental management projects, case study: Hablehroud Watershed. *Journal of Watershed Engineering and Management*, 11(2): 467-477 (In Persian).
11. Katusiime, J. and B. Schütt. 2020. Linking Land Tenure and Integrated Watershed Management- A Review. *Sustainability*, 12(1667): 1-11.
12. Kowsar, S.A. 1995. Flood mitigation and optimization of floodwater utilization: flood irrigation, artificial recharge of groundwater, small earth dams. Research institute of forest and rangelands publication, 552 pp (In Persian).
13. Mesbah, S. H. 2019. Cover Vegetation Monitoring of Kowsar Aquifer Management Research Station (Iran-Fars-Fasa). Final Report of Research Play, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI), 85pp (In Persian).
14. MeseretMoges, D. and A. AmsaluTaye. 2017. Determinants of farmers' perception to invest in soil and water conservation technologies in the North-Western Highlands of Ethiopia. *International Soil and Water Conservation Research*, 5(1): 56-61.
15. O'Faircheallaigh, C. 2010. Public participation and environmental impact assessment: purposes, implications, and lessons for public policy making. *Environmental Impact Assessment Review*, 30(1): 19-27.
16. Parhizkari, A., M.M. Mozafari, M. Hosevni Khodadadi and R. Parhizkari. 2016. Study of Effective Factors on Farmers' Participation of Shahroud Watershed (Oazvin Province) in applying Soil and Water Conservation Practices using Multinomial Logit Model. *Journal of Watershed Management Research*, 7(13): 241-253 (In Persian).
17. Perry, J. and L. Thompson. 2019. Empowering the Next Generation of Watershed Decision-Makers: A Pedagogical Design. *Water*, 11(4)662: 1-11.
18. Salehpour Jam, A., F. Rasooli, A. Sarreshtehdari, J. Mosaffaie and M.K. Kianian. 2020. Prioritization of preventing social indices affecting on peoples' participation in natural resources plans using AHP method and nonparametric tests. *Watershed Engineering and Management*, 12(1): 225-239 (In Persian).
19. Schramm, V.B. and F. Schramm. 2018. An Approach for Supporting Problem Structuring in Water Resources Management and Planning. *Water Resources Management*, 32(9): 2955-2968.
20. Shamsoddini, S., S.N. Emami and S. Bahmani. 2019. Analyzing effective factors on rural participation in watershed management activities (Case study: Cheshmeh Zainal Broujen). *Iranian Journal of Watershed Management Science*, 13(46): 102-111 (In Persian).
21. Soleimanpour, S.M., H. Hosseini Marandi, A. Salehpour Jam, M.R. Tabatabaei, M. Rousta and H. Keshavarzi. 2020. Prioritizing the Affecting Factors on Nonparticipation of Rural Communities in Watershed Management Projects from a Stakeholders Viewpoint (Case Study: Gheshlagh Watershed, Fars Province). *Extension and Development of Watershed Management*, 7(27): 64-74 (In Persian).
22. Soleimanpour, S.M., A. Salehpour Jam, A.K. Noroozi and N. Khalili. 2019. Investigation of Stakeholders in Prioritizing Factors Affecting Their Poor Participation in Watershed Management Projects (Case Study: Morad Abad Watershed in Meymand, Fars Province). *Journal of Range and Watershed Management*, 72(4): 979-994 (In Persian).
23. Soleimanpour, S.M., A. Salehpour Jam, A.K. Noroozi, N. Khalili and H. Keshavarzi. 2019. Experts' Viewpoints on Prioritizing Factors Affecting Lack of Sustainable Participation of Rural Communities in Watershed Management Projects on the Moradabad Watershed, Meymand the Province of Fars. *Watershed Management Research*, 32(3): 53-62 (In Persian).
24. Tesfaye, G., T. Alamirew, A. Kebede and G. Zeleke. 2018. Institutional Functionality in Participatory Integrated Watershed Development of Tana Sub-Basin, Ethiopia. *Land*, 7(4)130: 1-17.
25. Webler, T. and S. Tuler. 2001. Public Participation in Watershed Management Planning: Views on Process from People in the Field. *Human Ecology Review*, 8(2): 29-39.

Prioritizing Affecting Factors on Barriers Sustainable Non Participation of Rural Communities in Aquifer Management Projects from a beneficiary's Perspective in Bishezard Watershed of Fars Province

**Gholam Reza Ghahari¹, Seyed Masoud Soleimanpour², Amin Salehpour Jam³,
Ali Akbar Noroozi⁴ and Gholam Ali Nekooeian⁵**

1 and 2- Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran (Corresponding Author Email: m.soleimanpour@yahoo.com)

3- Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

4- Associate Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

5- Expert of Kowsar Aquifer Research Station, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Fars Province, Shiraz, Iran

Received: March 8, 2020

Accepted: August 2, 2020

Abstract

Engaging people to conserve natural resources is the most rational way. This by reducing the running costs will guarantee the success and implementation of the projects more effectively. For this purpose, the present study was conducted to identify and prioritize the effective indices and sub-indices on the lack of sustainable participation of rural communities in aquifer management projects from the beneficiary's viewpoint in Bishezard watershed of Fars province. In this research, 83 stakeholders and residents of the watershed was chosen as statistical population using Cochran formula. To collect data, a questionnaire consisting of four indices and twelve sub-indices with Likert scale was used. The significance of indices and sub-indices was determined by SPSS software (version 23) using t-test and the Friedman nonparametric test was used to prioritize the effective indices and sub-indices. The results showed that in the prioritization of indices from the beneficiary's point of view "educational-promotion", "design-executive", "social" and "economic" indices were ranked with an average of 9.75, 9.49, 6.98 and 5.93 as effective indicators, respectively and in sub-indices, "Lack of attention to local force in project implementation (employment)" and "Late-yielding projects" with an average of 11.40 and 5.74 had the highest and lowest priority in non-participation in aquifer management projects, respectively. This finding indicates that if employment is resolved in this watershed, people are willing to take the time accomplish projects. It is recommended that managers of natural resources plan and implement practical training and promotion activities related to natural resources and aquifer management issues.

Keywords: Aquifer Management Project, Index, Participation, Questionnaire



"مقاله پژوهشی"

بررسی روش‌های آماری و زمین آماری در تهیه نقشه هم‌بارش استان مازندران

علیرضا یوسفی کبریا^۱، مهدی نادى^۲ و مؤده جامعی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد هواشناسی کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۲- استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری (نویسنده مسؤل: mehdi.nadi@gmail.com)

۳- دکتری هواشناسی کشاورزی، سازمان آب و برق خوزستان

تاریخ ارسال: ۹۹/۳/۳۰ تاریخ پذیرش: ۹۹/۴/۲۲

صفحه: ۲۱۲ تا ۲۲۳

چکیده

تخمین بارش در حوضه‌های فاقد داده هواشناسی اهمیت زیادی در مطالعات هیدرولوژی و پیش‌بینی سیلاب دارد. با توجه به فقدان ایستگاه‌های هواشناسی با آمار بلندمدت در استان مازندران و همچنین ماهیت تصادفی بودن داده‌های بارش، استفاده از روش‌های آماری مبتنی بر متغیرهای کمکی و مقایسه آن‌ها با روش‌های زمین آماری برای درون‌یابی داده‌های بارندگی ماهانه و سالانه در این استان ضروری به نظر می‌رسد. به همین منظور در این تحقیق از داده‌های بارش ۲۱ ایستگاه هواشناسی طی دوره آماری ۱۳ ساله (۲۰۱۶-۲۰۰۴) استفاده شد و شش روش درون‌یابی شامل کریجینگ عمومی، کوکریجینگ، وزنی عکس فاصله، اسپیلین، رگرسیون کریجینگ و گرادیان خطی سه‌بعدی با یکدیگر مقایسه شدند. ارزیابی روش‌ها نیز بر اساس میانگین مربعات خطا و میانگین خطای اریب و تحلیل رگرسیونی انجام گرفت. تحلیل واریوگرافی مدل‌های کروی و نمایی را به‌عنوان بهترین مدل نظری نیم تغییرنا نشان داد. نتایج تحلیل شاخص‌های خطا نشان داد روش اسپیلین دارای بیشترین خطای برآورد بارش بوده و روش گرادیان خطی سه‌بعدی مناسب‌ترین روش تهیه نقشه‌های هم‌بارش معرفی شد که توانست خطای تخمین بارش را نسبت به روش‌های زمین آماری بین ۱۰۰ تا ۲۰۰ میلی‌متر و حدود ۴۰-۶۰ درصد کاهش دهد. البته دقت تخمین آن در ماه‌های گرم و کم بارش کاهش می‌یابد. بررسی نقشه‌های هم‌بارش به‌خوبی دقت روش‌های مبتنی بر متغیر کمکی در تشخیص حلقه‌های کم‌بارش و پر بارش استان را نشان می‌دهد به طوری که حلقه پر بارش استان در سواحل غربی وجود دارد و با حرکت به سمت شرق استان از حجم بارش کاسته می‌شود. با توجه به تبعیت نقشه هم‌بارش از نقشه پستی و بلندی، این نکته مورد توجه است که حجم بارش نزولی اختلاف زیادی با بارش ارتفاعات این استان دارد. نتایج این پژوهش اثبات کرد استفاده از متغیرهای کمکی منجر به افزایش قابل توجه دقت نقشه‌های هم‌بارش می‌شود.

واژه‌های کلیدی: بارش، رگرسیون کریجینگ، زمین‌آمار، متغیر کمکی

مقدمه

تیل (۲۴) در کتاب خود در مورد درون‌یابی موضوع را به‌عنوان هنر خواندن بین سطرها در یک جدول (عددی) توصیف کرد. روش‌های درون‌یابی داده‌های مکانی، برای تخمین یک متغیر در یک نقطه خاص از روی داده‌های واقعی اندازه‌گیری شده در نقاط مجاور، به کار می‌روند (۲۰) که به‌طور کلی در دو دسته آماری و زمین‌آمار قرار می‌گیرند (۸). زمین‌آمار شاخه‌ای از علم آمار کاربردی است که با استفاده از اطلاعات به‌دست‌آمده از نقاط نمونه‌برداری شده قادر به ارائه مجموعه وسیعی از تخمین‌گرهای آماری به‌منظور برآورد خصوصیت مورد نظر در نقاط نمونه‌برداری نشده، است. در روش‌های زمین‌آمار برای برآورد یک متغیر از مقدار معلوم نقاط اطراف آن استفاده می‌شود به طوری که به هر یک از نمونه‌های اندازه‌گیری شده، وزنی را نسبت می‌دهد که در معادله شماره ۱ نشان داده شده است (۱۹).

$$Z = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z_{V_i} \quad (1)$$

در معادله فوق Z پارامتر تخمینی، λ_i وزن یا اهمیت کمیت وابسته به نمونه Z_{V_i} و Z_{V_i} پارامتر معلوم نمونه Z_{V_i} می‌باشد (۱۰). تفاوت روش‌های مختلف زمین‌آمار در نحوه تعیین ضرایب نقاط معلوم است. مثلاً روش وزنی عکس فاصله بر این فرض استوار است که تأثیر نقاط مجاور با افزایش مسافت

بارش حاصل اندرکنش‌های جوی است و در میان رویدادهای اقلیمی با توجه به نقش حیاتی آن اهمیت ویژه‌ای دارد و نسبت به پدیده‌های اقلیمی دیگر از پیچیدگی رفتاری چشم‌گیری برخوردار است (۴). توزیع مکانی بارش نقش مهمی در مدل‌سازی هیدرولوژیکی، پیش‌بینی سوانح و آبخیزداری دارد. اما این عنصر اقلیمی تغییرات تصادفی زیادی در مکان دارد که می‌توان آن را در زمره تغییرپذیرترین عناصر جوی به حساب آورد (۲۳). به طوری که تنها برای اندازه‌گیری این متغیر ایستگاه‌های خاص هواشناسی به نام ایستگاه‌های باران‌سنجی تأسیس می‌شود. بسیاری از عوامل نامشخص، از جمله توپوگرافی، طول و عرض جغرافیایی، ارتفاع و شیب دارای تأثیراتی در توزیع مکانی بارش هستند. بنابراین، برای بهبود صحت چنین تحلیل‌هایی، لازم است یک مطالعه دقیق انجام شود (۹). در بسیاری از مطالعات اقلیمی و مدیریت منابع آب، مدل‌های هیدرولوژیکی، پیش‌بینی سیلاب، برآورد بیلان آب و برنامه‌ریزی‌های آبیاری، وجود داده‌های بارندگی و به‌خصوص توزیع مکانی آن (نقشه هم‌بارش)، اهمیت ویژه‌ای دارند (۲۰). نقشه‌های هم‌بارش و خطوط هم‌باران را به کمک روش‌های درون‌یابی می‌توان استخراج کرد.

کاهش می‌یابد. در این روش از فاصله به‌عنوان وزن متغیر معلوم در پیش‌بینی نقاط اندازه‌گیری نشده استفاده می‌شود. از طرف دیگر تأثیر شدت وابستگی مکانی در داده‌ها را با استفاده از توان در معکوس فاصله می‌توان اعمال کرد (۴). مهم‌ترین و گسترده‌ترین روش زمین‌آمارى درون‌یابى روش کریجینگ می‌باشد (۱۰). این تخمین‌گر کریجینگ در مرحله اول به شناخت و مدل‌سازی ساختار فضایی متغیر می‌پردازد که این کار را با تحلیل واریوگرافی و آنالیز نیم تغییرنا انجام می‌دهد. سپس در مرحله بعد ضرایب نقاط معلوم و تعداد نقاط همسایگی از روی نیم تغییرنا تعیین می‌گردد. در صورتی که به اندازه کافی از متغیر اصلی نمونه‌برداری نشده باشد و نتوان برآورد آماری را با دقت مورد نظر انجام داد از روش کوکریجینگ استفاده می‌شود. این روش بر مبنای همبستگی مکانی بین متغیر اصلی و یک متغیر کمکی که از آن به اندازه کافی نمونه‌برداری شده است، تخمین اصلی را اصلاح کرده و دقت آن را بالا می‌برد. این روش در مواقعی به‌کار می‌رود که ضریب همبستگی بین متغیر اصلی و کمکی، قوی و معنی‌دار باشد (۱۵).

در روش‌های آماری از توابع ریاضی و آماری برازش‌یافته بر داده‌های اندازه‌گیری شده برای درون‌یابی استفاده می‌کنند و مبنای ریاضی دارند. مانند روش اسپلاین که با برازش توابع چندجمله‌ای بر داده‌ها به تخمین آن در نقاط فاقد داده می‌پردازد. برای درون‌یابی بر اساس مدل اسپلاین از چندجمله‌ای‌ها استفاده می‌شود و از برازش یک تابع چندجمله‌ای بر اساس داده‌های نمونه، مقادیر نقاط نامعلوم برآورد می‌شوند. ویژگی اساسی اسپلاین این است که در سطح تغییرات ناگهانی وجود ندارد. در معادلات درجه دوم و سوم این انحناها به حداقل خود رسیده و در نتیجه یک سطح نسبتاً همواری به‌دست می‌آید. با توجه به تأثیر درجه بر دقت داده‌ها در درون‌یابی، هرچه درجه بالاتری انتخاب شود شکل حاصل هموارتر خواهد بود ولی به‌میزان قابل‌توجهی از دقت مدل کاسته می‌شود (۲۲). اما روش‌های گرادیان خطی بر مبنای رابطه رگرسیون خطی بین متغیر اصلی و متغیرهای کمکی بنا شده که فرض بر آن است که در راستای طول و عرض و ارتفاع منطقه، روند خطی وجود دارد که در روش گرادیان خطی سه‌بعدی با برازش یک رابطه‌ی رگرسیون خطی چندگانه بین متغیر اصلی و متغیرهای کمکی، می‌توان در نقاط مجهول با مشخص‌بودن طول و عرض و ارتفاع آن، مقدار متغیر اصلی را برآورد کرد (۲۰).

در شرایطی که در منطقه متغیر اصلی دارای روند باشد، می‌توان از روش رگرسیون کریجینگ استفاده کرد. در این روش، نخست یک تخمین اولیه از داده اصلی با استفاده از یک رابطه آماری انجام می‌شود سپس این تخمین اولیه از داده‌های اصلی اندازه‌گیری شده کم شده که بخش باقیمانده به‌دست می‌آید. سپس باقی‌مانده‌ها با یک روش زمین‌آمارى درون‌یابی شده و به مقادیر تخمینی از معادله رگرسیونی اضافه می‌شود. اصولاً استفاده از روش فوق زمانی توصیه می‌شود که اولاً یک یا چند متغیر کمکی مستقل به تعداد زیاد در منطقه موجود باشد و ثانیاً بین متغیر وابسته و متغیرهای کمکی

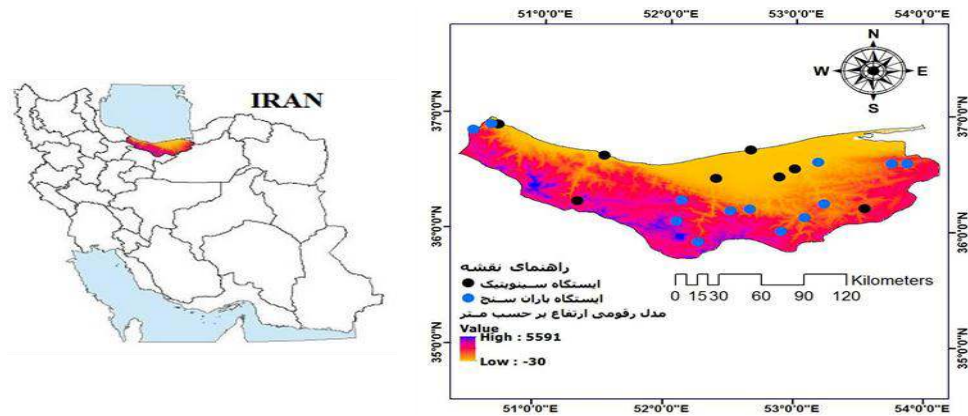
همبستگی خوبی وجود داشته باشد. البته موفقیت این روش مستلزم آن است که بخش باقیمانده قابلیت خوبی برای درون‌یابی داشته باشد. روش‌های درون‌یابی داده‌های بارش در ایران و جهان استفاده زیادی داشته است به‌عنوان مثال دلاوری و همکاران (۱۰) برای نقشه بارندگی استان ایلام از سه روش کریجینگ ساده، کریجینگ معمولی و کریجینگ فراگیر استفاده کردند که دریافتند روش کریجینگ فراگیر دقیق‌تر از روش‌های دیگر است. عثمان و همکاران (۲۵)، با استفاده از روش رگرسیون وزنی جغرافیایی برای پیدا کردن رابطه فضایی بین ارتفاع و آب و هوا (بارش، دما) در شمال نیجریه به این نتایج دست پیدا کردند که بین ارتفاع و متغیرهای اقلیمی مورد مطالعه رابطه معنی‌داری وجود دارد. آن‌ها دریافتند که در مدل‌سازی مدل رگرسیون وزنی جغرافیایی مشاهده شد که اثر ارتفاع بر متغیرهای اقلیمی به‌لحاظ جغرافیایی متفاوت است. نادى و همکاران (۲۰) روش‌های مختلف پهنه‌بندی داده‌های اقلیمی در چهارباغ گرگان را مقایسه نمودند و روش هیبرید خطی و غیرخطی را به‌عنوان مناسب‌ترین روش درون‌یابی داده‌های بارندگی ماهانه معرفی کردند. در این روش برای اولین بار تغییرات بارش با ارتفاع به‌صورت درجه سه در نظر گرفته شده است. اکبری و همکاران (۳) برای داده‌های سالانه متوسط دما و بارش در یک ناحیه آب و هوایی سرد و مرطوب شامل پنج استان آذربایجان غربی، آذربایجان شرقی، اردبیل، زنجان و کردستان برای دوره آماری ۲۰۱۰-۲۰۰۰ میلادی، روش‌های درون‌یابی وزنی عکس فاصله و اسپلاین و کریجینگ، اعمال و مورد بررسی قرار گرفتند، که بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش و مقایسه روش‌ها برای منطقه‌ی مورد مطالعه روش‌های کریجینگ و وزنی عکس فاصله به‌ترتیب برای داده‌های بارش و دما نتیجه مطلوبی نشان دادند. آروولو و همکاران (۵)، برای برآورد دما و بارندگی ماهانه در نیجریه از روش‌های کریجینگ رونددار و اسپلاین استفاده کردند، نتایج نشان داد در منطقه مورد مطالعه روش‌های خانواده اسپلاین نسبت به روش کریجینگ رونددار مناسب‌تر هستند. کوماری و همکاران (۱۷)، با استفاده از معکوس وزنی و روش‌های خانواده کریجینگ، به میان‌یابی بارش در کوه‌های هیمالیا پرداختند. نتایج نشان داد، روش کریجینگ ساده در برآورد بارش سالانه در مقایسه با بارش فصلی عملکرد بهتری دارد. ابومناصر و همکاران (۲)، روش کوکریجینگ را نسبت به روش‌های کریجینگ ساده و معکوس وزنی فاصله برای توزیع بارش در جنوب غرب کشور عربستان مناسب‌تر تشخیص دادند. قربانی (۱۳) تغییرات مکانی بارش سالانه استان گیلان را مورد بررسی قرار داد که روش رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی با روش‌های معمول درون‌یابی شامل چندجمله‌ای سراسری و موضعی، اسپلاین، وزن عکس فاصله، کریجینگ و کوکریجینگ مقایسه شد. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی دارای کمترین خطا بوده و روش کریجینگ در رتبه دوم قرار گرفته است. امینی و همکاران (۴) با استفاده از شش روش درون‌یابی شامل مربع عکس فاصله، واپازش خطی چندگانه، گرادیان سه‌بعدی به‌علاوه عکس

محدوده پستی و بلندی در استان مازندران بین ۲۸- تا ۵۶۱۰ متر نوسان می‌کند که باعث ایجاد اقلیم‌های گوناگون در این استان می‌شود. از سویی دیگر وجود دریای خزر در شمال و رشته کوه البرز در جنوب استان باعث پیچیدگی بیشتر تغییرات مکانی بارش در این استان می‌شود به طوری که تخمین بارش در مناطق فاقد ایستگاه هواشناسی به خصوص در ارتفاعات صعب‌العبور استان که منبع تغذیه رودخانه‌های بزرگی است، با خطای بیشتری همراه می‌شود (۲۰). با توجه به اینکه ارتفاع ایستگاه‌های موجود در استان بین ۲۱- تا ۲۳۰۰ متر است و از طرفی نقش مهم بارش ارتفاعات، بر دبی رودخانه‌ها و ایجاد سیلاب و عدم وجود اطلاعات و داده‌های بارش بالاتر از ارتفاع ۲۳۰۰ متر به‌همین منظور در این پژوهش سعی شد روش مناسب تهیه نقشه‌های هم‌بارش با مقایسه روش‌های مختلف درون‌یابی معرفی گردد. همچنین نقش متغیرهای کمکی در برآورد بارش در استان مورد بررسی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها منطقه مورد مطالعه

استان مازندران با داشتن $۲۳۷۵۶/۴$ کیلومتر مربع مساحت، بین طول جغرافیایی $۳۴^{\circ} ۵۰'$ و $۵۴^{\circ} ۱۰'$ و عرض جغرافیایی $۳۵^{\circ} ۳۵'$ و $۳۶^{\circ} ۳۵'$ در جنوب دریای خزر و در شمال رشته کوه البرز قرار دارد. عوامل مؤثر در آب و هوای این منطقه را می‌توان به وجود کوه‌های البرز، جهت قرا گرفتن آن‌ها، ارتفاع، نزدیکی به دریا، پوشش گیاهی، بادهای محلی، عرض جغرافیایی متوسط و پیش‌آمدن توده هوای شمالی و غربی نسبت داد (۷). سواحل جنوبی دریای خزر همیشه از نظر ویژگی‌های طبیعی و فعالیت‌های اقتصادی به‌خصوص در یک سده اخیر جزء نواحی استراتژیکی در سیاست‌گذاری خرد و کلان کشور محسوب شده است. این ناحیه با قرار داشتن بین دو عارضه تعدیل‌کننده (دریای خزر) و محدودکننده (سلسله جبال البرز) توده‌های هوا، ارتباط اقلیمی مستقیمی با مناطق خشک پیرامون خود ندارد (۱). در این پژوهش و در راستای ارزیابی روش‌های مختلف درون‌یابی بارش استان مازندران از داده‌های ۲۱ ایستگاه سینوپتیک و باران‌سنجی سازمان هواشناسی استفاده شد که در شکل ۱ موقعیت مکانی ایستگاه‌ها نشان داده شده است.

مجذور فاصله، کریجینگ ساده، کریجینگ معمولی و کریجینگ جهانی، پهنه‌بندی بارش‌های میانگین ماهانه، فصلی و سالانه، کشور ایران را ارائه دادند، که با مقایسه این شش روش درون‌یابی، گرادیان به‌علاوه عکس مجذور فاصله نسبت به روش‌های دیگر دقت بالاتری در برآورد بارشی کشور ایران برخوردار بود. نادى و همکاران (۲۰) هفت روش درون‌یابی، شامل کریجینگ عمومی، کوکریجینگ، کریجینگ با روند خارجی، رگرسیون کریجینگ، وزنی عکس فاصله، اسپلاین و گرادیان خط سه‌بعدی را برای داده‌های بارش سالانه و ماهانه استان خوزستان را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد، تمامی روش‌ها به‌جز روش گرادیان کریجینگ در برآورد مقادیر زیاد بارندگی دچار خطای کم برآوردی هستند. نبی‌پور و همکاران (۱۹) روش‌های زمين‌آمار شامل کریجینگ ساده و معمولی، کوکریجینگ ساده و معمولی و کوکریجینگ معمولی استاندارد شده و میانگین متحرک وزنی به‌صورت عکس فاصله با توان یک تا پنج به‌منظور برآورد مکانی بارندگی ماهانه، سالانه و حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته در حوضه قوشان، شمال شرقی ایران را مورد بررسی قرار دادند، که نتایج حاصل نشان داد برای بارش سالیانه در منطقه مورد نظر، روش کریجینگ معمولی و برای بارش ماه‌های مختلف و همچنین بارش ۲۴ ساعته، روش معکوس فاصله‌ی وزنی با توان پنج مناسب‌ترین روش می‌باشد. زندکریمی و همکاران (۲۷) به ارزیابی دقت ۱۰ روش مختلف درون‌یابی در تخمین بارش استان کردستان پرداخته‌اند که روش اوردیناری کریجینگ مناسب‌ترین روش انتخاب گردید. اسلامی (۱۱)، به‌منظور تهیه نقشه تغییرات مکانی بارش استان خوزستان، اطلاعات نقطه‌ای شاخص‌ها را با استفاده از روش‌های مختلف قطعی و زمين‌آمارى به اطلاعات ناحیه‌ای تبدیل کرد که نتایج نشان داد، روش گریجینگ معمولی با نوع گوسی، بیشترین دقت را برای میان‌یابی شاخص تمرکز بارندگی دارد. یوسفی کبریا و همکاران (۲۶) به مقایسه چهار روش درون‌یابی، کریجینگ، کوکریجینگ، وزنی عکس فاصله و گرادیان خطی سه بعدی به‌منظور تخمین بارش استان مازندران پرداختند که بهترین روش مورد بررسی روش گرادیان خطی سه‌بعدی انتخاب شد. همچنین نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد، روش‌هایی که از متغیر ارتفاع به‌عنوان متغیر کمکی استفاده می‌کنند، نسبت به روش‌های دیگر از دقت بالاتری برخوردارند.



شکل ۱- موقعیت مکانی ایستگاه‌های هواشناسی مورد استفاده در استان مازندران
Figure 1. Location of meteorological stations used in Mazandaran province

که در آن Y مقدار برآوردی و X مقدار واقعی، a عرض از مبدأ و b شیب خط می‌باشد. هر چه مقدار a به صفر و b به یک نزدیک‌تر باشد نتایج مدل دقیق‌تر است. در این پژوهش از نرم‌افزار $GS+$ و $Mini tab$ و $Arc Gis$ و $Excel$ استفاده شده است.

نتایج و بحث

بررسی نیم تغییرنمای داده‌های بارش

در تحلیل واریوگرافی در این تحقیق پنج نوع مدل نیم‌تغییرنما شامل مدل‌های کروی، گوسی، نمایی، خطی^۳ و خطی دارای حد آستانه^۵ بر داده‌ها برازش داده شد.

برای انتخاب بهترین نیم‌تغییرنما از ضریب تعیین و نسبت تغییرات ساختاردار به تغییرات کل استفاده شد، به گونه‌ای که هر چه این نسبت و همچنین ضریب تعیین به یک نزدیک‌تر باشد، مدل انتخابی بهتر است. نتایج بهترین مدل نیم‌تغییرنما در جدول شماره ۱ نشان داده شده است. با توجه به این جداول ضریب تعیین در تمامی ماه‌ها هم در میانگین دوره ۱۳ ساله و هم دوره یک‌ساله مناسب بوده، همچنین به جز ماه می، بقیه ماه‌ها نسبت تغییرات ساختاردار به تغییرات کل مناسبی دارند، با توجه به این جدول بهترین مدل‌ها در این پژوهش مدل‌های نمایی و کروی بوده است. علاوه بر این بررسی نتایج جدول شماره ۱ نشان می‌دهد که دامنه تاثیر داده‌های بارش در این استان در میانگین دوره ۱۳ ساله حدود ۱۸ کیلومتر و در دوره یک‌ساله (۲۰۱۵) حدود ۶ کیلومتر می‌باشد.

با بررسی دوره آماری ایستگاه‌ها (۲۰۱۸-۱۹۹۱) از میانگین دوره ۱۳ ساله (۲۰۰۴-۲۰۱۶) و داده‌های سال ۲۰۱۵، برای انتخاب بهترین روش درون‌یابی استفاده شد. با توجه به نقش ارتفاع در پراکنش بارش و همچنین تغییرات عرضی و طولی بارش در استان مازندران در این پژوهش از متغیرهای طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع به‌عنوان متغیرهای کمکی استفاده شد که بتوان تخمین دقیق‌تری از نوسانات بارش داشت. در این تحقیق شش روش درون‌یابی شامل کریجینگ عمومی، کوکریجینگ، وزنی عکس فاصله، اسپلاین، رگرسیون کریجینگ و گرادیان خطی سه‌بعدی برای تعیین روش مناسب درون‌یابی داده‌های بارش با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفت.

معیارهای ارزیابی روش‌ها

برای انتخاب بهترین روش درون‌یابی و محاسبه مقدار خطا در این پژوهش از تحلیل رگرسیونی و میانگین مربعات خطا و خطای اریب استفاده شد، که به صورت روابط ۲ و ۳ محاسبه می‌شوند.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N [\hat{Z}(x_i) - Z(x_i)]^2}{N}} \quad (2)$$

$$MBE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [\hat{Z}(x_i) - Z(x_i)] \quad (3)$$

که در آن، $\hat{Z}(x_i)$ مقدار برآورد شده و $Z(x_i)$ مقدار مشاهده شده و N تعداد داده‌ها هستند. از تحلیل رگرسیونی برای درک میزان هم‌خوانی داده‌های اندازه‌گیری شده و تخمینی استفاده می‌شود که فرمول آن به صورت رابطه ۴ آورده شده است.

$$Y = a + bX \quad (4)$$

جدول ۱- پارامترهاى نيم تغييرنما بارندگى استان مازندران

Table 1. Semivariogram analysis parameters of rainfall in Mazandaran province

مدل منتخب	اثر قطعه‌اى (c0)	آستانه (c+c0)	دامنه تأثیر (deg)	C/(C+C0)	r ²	ماه	
نمابى	-/۰.۲	۰/۴	۱۱/۴	۰/۹	۰/۹	ژانويه	میانگین ۱۳ سال
کروى	-/۰.۰۶	۰/۸	۶	۰/۹	۰/۹		سال ۲۰۱۵
کروى	۰/۰.۰۸	-/۰.۰۶	۴	۰/۸	۰/۸	فوریه	میانگین ۱۳ سال
کروى	-/۰.۰۱	۰/۴	۶	۰/۹	۰/۷		سال ۲۰۱۵
کروى	-/۰.۰۱	-/۰.۱۵	۵/۶	۰/۹	۰/۹	مارس	میانگین ۱۳ سال
کروى	۰/۰.۰۷	-/۰.۳	۶	۰/۹	۰/۹		سال ۲۰۱۵
کروى	-/۰.۰۲	-/۰.۵	۱۸	۰/۹	۰/۹	آوریل	میانگین ۱۳ سال
کروى	-/۰.۰۵	-/۰.۱	۶	۰/۶	۰/۸		سال ۲۰۱۵
نمابى	-/۰.۱	-/۰.۲	۶	۰/۵	۰/۷	مى	میانگین ۱۳ سال
کروى	-/۰.۰۷	-/۰.۱	۶	۰/۵	۰/۷		سال ۲۰۱۵
کروى	-/۰.۰۸	-/۰.۳	۴	۰/۷	۰/۹	ژوئن	میانگین ۱۳ سال
کروى	-/۰.۰۵	-/۰.۱	۶	۰/۶	۰/۸		سال ۲۰۱۵
کروى	-/۰.۱	-/۰.۳	۴	۰/۷	۰/۹	ژوئيه	میانگین ۱۳ سال
نمابى	-/۰.۰۴	-/۰.۳	۱	۰/۸	۰/۸		سال ۲۰۱۵
کروى	-/۰.۱	-/۰.۴	۴	۰/۶	۰/۷	اگوست	میانگین ۱۳ سال
کروى	-/۰.۰۰۱	-/۰.۰۶	-/۰.۷	۰/۹	۰/۸		سال ۲۰۱۵
کروى	-/۰.۰۸	-/۰.۷۳	۴/۶	۰/۸	۰/۸	سپتامبر	میانگین ۱۳ سال
کروى	-/۰.۰۸	۰/۰.۹	۴	۰/۹	۰/۶		سال ۲۰۱۵
کروى	-/۰.۰۹	-/۰.۴	۱/۷	۰/۷	۰/۹	اكتبر	میانگین ۱۳ سال
کروى	۰/۰.۰۰۱	-/۰.۲	۶	۱	۰/۹		سال ۲۰۱۵
کروى	-/۰.۰۳	-/۰.۲	۲	۰/۸	۰/۹	نوامبر	میانگین ۱۳ سال
کروى	-/۰.۰۹	-/۰.۰۶	۵	۰/۸	۰/۹		سال ۲۰۱۵
کروى	-/۰.۰۲	-/۰.۱۲	۱	۰/۷	۰/۸	دسامبر	میانگین ۱۳ سال
کروى	-/۰.۰۵	-/۰.۴	۶	۰/۸	۰/۹		سال ۲۰۱۵
کروى	-/۰.۰۱	-/۰.۱۱	۱/۷	۰/۸	۰/۸	سالانه	میانگین ۱۳ سال
کروى	-/۰.۰۳	-/۰.۲	۱	۰/۸	۰/۸		سال ۲۰۱۵

گرادىان سه‌بعدى از متغیرهاى طول و عرض جغرافىيى و ارتفاع استفاده شد که معادلات ماهانه برآورد میانگین بارش در جدول ۲ نشان داده شده است. با مشاهده این جدول مشخص می‌شود که ضریب تعیین معادلات گرادىانى در ماه‌هاى سرد بیشتر از ماه‌هاى گرم است که نشان‌دهنده کارایی بهتر این معادلات در ماه‌هاى پربارش است. همچنین در میانگین دوره ۱۳ساله، ماه‌هاى ژوئن، ژوئيه و اگوست (ماه‌هاى گرم) و در دوره یک‌ساله علاوه‌بر ماه‌هاى ذکرشده، ماه‌هاى مارس و سپتامبر نیز، کمتر می‌شود که ممکن است به علت افزایش اثرات محلى و کاهش اثرات سیستمى در ماه‌هاى خشک باشد.

بررسى رابطه گرادىان خطى بارش با متغیرهاى کمكى
با توجه به اینکه در روش‌هاى آمارى باید از متغیرهاى کمكى استفاده نمود در این تحقیق همبستگی داده‌هاى بارش با متغیرهاى ارتفاع و طول و عرض جغرافىيى محاسبه شد که نتایج نشان داد پارامتر کمكى ارتفاع نسبت به طول و عرض جغرافىيى دارای همبستگی معنادارترى است، به‌علاوه طول جغرافىيى نسبت به عرض جغرافىيى همبستگی بیشتری دارد. همچنین ضریب همبستگی طول جغرافىيى و ارتفاع با داده‌هاى بارش منفى و معنادار است به‌عبارتى با افزایش ارتفاع و همچنین با حرکت از سمت غرب به شرق استان از مقدار بارش کاسته می‌شود. بنابراین برای استفاده در معادله

جدول ۲- معادله گرادیان خطی سه بعدی بارش استان مازندران

Table 2. Equation of three-dimensional linear gradient of precipitation in Mazandaran province

ماه	معادله رگرسیونى گرادیان سه بعدی	ضریب تعیین
میانگین ۱۳ سال	$p = 5 - 4/85 \text{ LONG} + 1/8 \text{ LAT} - 0/109 z$	۰/۲۹
سال ۲۰۱۵	$p = 28 - 21/4 \text{ LONG} + 31/7 \text{ LAT} - 0/151 z$	۰/۵
میانگین ۱۳ سال	$p = 173 - 5/48 \text{ LONG} + 5/1 \text{ LAT} - 0/0472 z$	۰/۳
سال ۲۰۱۵	$p = 680 - 17/9 \text{ LONG} + 9/3 \text{ LAT} - 0/102 z$	۰/۴
میانگین ۱۳ سال	$p = 1093 - 12/1 \text{ LONG} - 10/5 \text{ LAT} - 0/107 z$	۰/۵
سال ۲۰۱۵	$p = 1280 - 9/72 \text{ LONG} - 27/4 \text{ LAT} - 0/144 z$	۰/۱
میانگین ۱۳ سال	$p = 1095 - 13/9 \text{ LONG} - 8/7 \text{ LAT} + 0/0217 z$	۰/۶
سال ۲۰۱۵	$p = 1266 - 17/5 \text{ LONG} - 8/8 \text{ LAT} + 0/0816 z$	۰/۴
میانگین ۱۳ سال	$p = 1127 - 9 \text{ LONG} - 17/1 \text{ LAT} + 0/0495 z$	۰/۴۴
سال ۲۰۱۵	$p = 849 - 8/35 \text{ LONG} - 10/8 \text{ LAT} + 0/0262 z$	۰/۳
میانگین ۱۳ سال	$p = 1587 - 9/28 \text{ LONG} - 29 \text{ LAT} - 0/0581 z$	۰/۱۶
سال ۲۰۱۵	$p = 1238 - 3/34 \text{ LONG} - 28/6 \text{ LAT} + 0/0226 z$	۰/۰۳
میانگین ۱۳ سال	$p = 1775 - 10/6 \text{ LONG} - 32/2 \text{ LAT} - 0/0259 z$	۰/۱۹
سال ۲۰۱۵	$p = 1470 - 10/8 \text{ LONG} - 22/2 \text{ LAT} - 0/390 z$	۰/۲
میانگین ۱۳ سال	$p = 889 - 8/3 \text{ LONG} - 11/4 \text{ LAT} - 0/0882 z$	۰/۰۱
سال ۲۰۱۵	$p = -3452 + 13/1 \text{ LONG} + 78 \text{ LAT} - 0/369 z$	۰/۰۵
میانگین ۱۳ سال	$p = 988 - 14/2 \text{ LONG} - 4/3 \text{ LAT} - 0/209 z$	۰/۳۲
سال ۲۰۱۵	$p = 1270 - 15/3 \text{ LONG} - 10/4 \text{ LAT} - 0/041 z$	۰/۰۵
میانگین ۱۳ سال	$p = 1015 - 25/2 \text{ LONG} + 12 \text{ LAT} - 0/432 z$	۰/۵
سال ۲۰۱۵	$p = 2342 - 78 \text{ LONG} + 53/7 \text{ LAT} - 0/781 z$	۰/۵
میانگین ۱۳ سال	$p = 432 - 19/3 \text{ LONG} + 19/2 \text{ LAT} - 0/272 z$	۰/۶۳
سال ۲۰۱۵	$p = 493 - 27/9 \text{ LONG} + 29/5 \text{ LAT} - 0/236 z$	۰/۶
میانگین ۱۳ سال	$p = -318 - 6 \text{ LONG} + 19/7 \text{ LAT} - 0/138 z$	۰/۴
سال ۲۰۱۵	$p = -1230 - 6/27 \text{ LONG} + 46/9 \text{ LAT} + 0/0839 z$	۰/۲
میانگین ۱۳ سال	$p = 9860 - 138 \text{ LONG} - 48 \text{ LAT} - 0/142 z$	۰/۴۳
سال ۲۰۱۵	$p = 6244 - 203 \text{ LONG} + 147 \text{ LAT} - 0/193 z$	۰/۵

مقایسه روش‌های درون‌یابی

در مقایسه با روش کوکریجینگ بیش از ۴۰ درصد کاهش داده و در مقایسه با روش‌های وزنی عکس فاصله و کریجینگ بیش از ۳۵ درصد کاهش داده و در مقایسه با روش اسپلاین ۵۷ درصد کاهش داده است. همچنین روش رگرسیون کریجینگ نیز به‌طور متوسط خطای تخمین را در مقایسه با روش‌های کوکریجینگ، کریجینگ و وزنی عکس فاصله بیشتر از ۲۷ درصد کاهش داده و در مقایسه با روش اسپلاین ۴۶ درصد کاهش داده است. با توجه به توضیحات فوق و جداول ۴ و ۵ بهترین روش درون‌یابی برای استان مازندران طبق شاخص میانگین مربعات خطا، روش گرادیان سه بعدی دارا می‌باشد. به‌علاوه بررسی میانگین خطای اریب روش‌های درون‌یابی این پژوهش نشان داد که بیشترین خطا را روش اسپلاین و کوکریجینگ دارا هستند و خطای روش‌های وزنی عکس فاصله و کریجینگ تفاوت چندانی ندارد. کمترین میزان اریبی خطا در بین روش‌های مورد بررسی مربوط به روش‌های رگرسیون کریجینگ و گرادیان خطی سه بعدی دارا می‌باشد، که در جداول شماره ۳ و ۴ نشان داده شده است. همچنین با توجه به جداول زیر روش گرادیان سه بعدی دارای کمترین خطا می‌باشد، که تقریباً برابر صفر می‌باشد.

برای مقایسه روش‌های درون‌یابی مورد بررسی از میانگین مربعات خطا و میانگین خطای اریب استفاده شد. بررسی میانگین مربعات خطای روش‌های درون‌یابی در این تحقیق نشان می‌دهد که بیشترین خطای برآورد تخمین میانگین بارش در میانگین دوره ۱۳ ساله مربوط به ماه اکتبر و بیشترین خطا برآورد تخمین بارش یک‌ساله مربوط به ماه‌های آگوست و اکتبر، می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد خطای روش اسپلاین نسبت به روش‌های کوکریجینگ، کریجینگ و وزنی عکس فاصله بیشتر است. مقایسه روش‌های مورد بررسی در ماه‌های مختلف با یکدیگر نشان داد که در بین ۶ روش درون‌یابی روش‌های رگرسیون کریجینگ و گرادیان خطی سه بعدی در همه ماه‌های سال دارای کمترین خطای برآورد داده‌های بارش می‌باشند و به‌نظر می‌رسد دیگر روش‌های درون‌یابی تفاوت چندانی با یکدیگر ندارند، همچنین روش گرادیان سه بعدی خطای تخمین بارش روش‌های اسپلاین، کریجینگ، کوکریجینگ و وزنی عکس فاصله را در برخی از ماه ۵۰ درصد کاهش داده است که نشان از برتری این روش در استان مازندران نسبت به سایر روش‌ها دارد. در مورد مجموع میانگین بارش دوره ۱۳ ساله و مجموع بارش یک‌ساله (۲۰۱۵)، نیز نتایج نشان داد روش گرادیان خطی تخمین را

جدول ۳- مقادير RMSE و MBE روش‌هاى درون يابى براى ميانگين دوره ۱۳ساله بارندگى ماهانه و سالانه
 Table 3. RMSE and MBE values of induction methods for the average 13-year period of monthly and annual rainfall

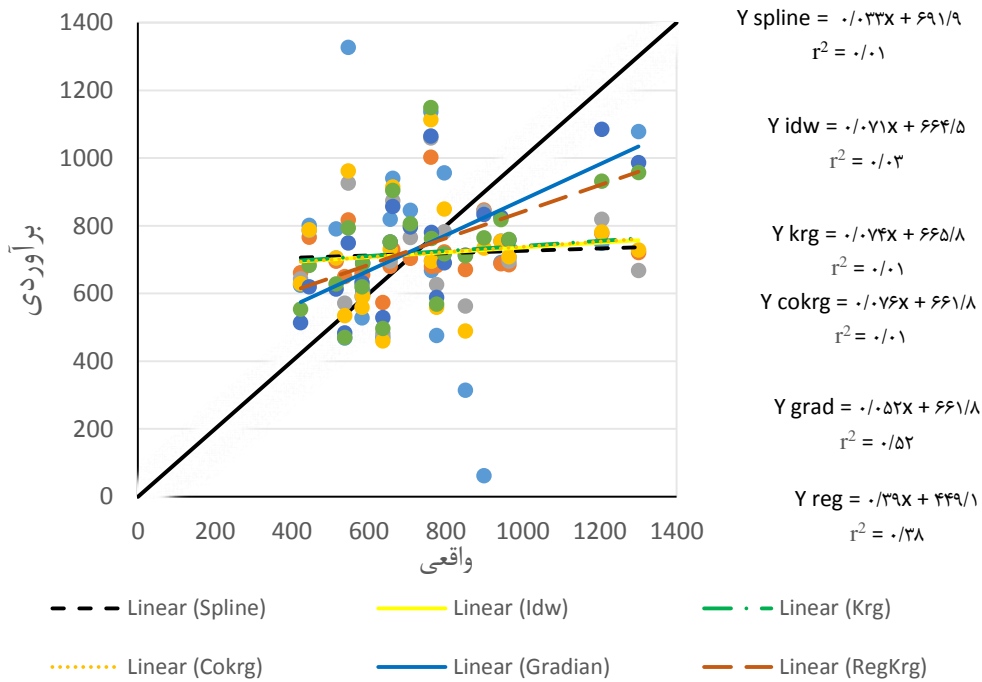
ماه	گرادبان سه بعدى		کو-کريجينگ		وزنى عكس فاصله		کريجينگ		رگرسيون کريجينگ		اسپلاين	
	RMSE	MBE	RMSE	MBE	RMSE	MBE	RMSE	MBE	RMSE	MBE	RMSE	MBE
ژانويه	۱۴/۲	۰	۱۸/۶	-۲	۱۸/۷	-۱/۷	۱۸/۲	-۱/۹	۱۵/۱	۰/۲۸	۱۸/۵	-۳/۴
فوريه	۸/۹	۰	۱۲/۳	-۰/۴	۱۱/۱	-۰/۸	۱۲/۲	-۰/۵	۱۰/۱	۰/۱	۱۲/۳	-۰/۳
مارس	۱۰/۷	۰	۱۶/۷	-۱/۳	۱۵/۹	-۱/۸	۱۵	-۱/۲	۱۳/۳	-۰/۵۶	۲۵/۵	-۰/۹
آوريل	۹/۵	۰	۱۳/۱	-۱/۲	۱۳/۳	-۳	۱۲/۱	-۱/۲	۱۰/۷	-۰/۲۸	۱۶/۵	-۰/۵
مى	۹/۹	۰	۱۳/۸	-۰/۹	۱۴	-۳	۱۳/۴	-۲/۶	۱۱/۲	۰/۱۱	۱۷/۶	۰/۲
ژوئن	۱۳	۰	۱۸	-۱/۱	۱۵/۸	-۱/۷	۱۵/۸	-۱/۹	۱۴/۵	-۰/۴	۲۴/۴	-۰/۴
ژوئيه	۱۴/۷	۰	۲۰/۶	-۱	۱۷/۷	-۲/۵	۱۷/۴	-۲/۴	۱۶/۳	۰/۶۳	۲۶/۸	-۰/۳
اگوست	۱۹/۲	۰	۲۵/۹	-۳/۳	۲۲	-۳/۶	۲۲/۵	-۳/۶	۲۰/۸	۰/۰۱	۳۲/۶	-۳
سپتامبر	۲۳/۷	۰	۴۰/۲	-۴/۶	۳۳/۹	-۵	۳۶/۸	-۵/۱	۲۸	۰/۰۹	۴۸/۴	-۲/۵
اکتبر	۳۶/۹	۰	۶۲/۲	-۸/۳	۶۱/۶	-۱۰/۶	۶۱/۵	-۹/۳	۴۸/۵	-۱/۰۱	۷۳/۲	۱۱/۷
نوامبر	۲۱/۵	۰	۳۵/۹	-۴	۳۸	-۵/۵	۳۵/۷	-۴	۲۷/۶	-۰/۶۱	۴۲/۸	-۰/۳
دسامبر	۱۶/۴	۰	۲۴/۲	-۳/۴	۲۴/۴	-۳/۱	۲۴/۸	-۲/۶	۱۸/۷	-۰/۴۱	۳۱/۹	-۳/۹
سالانه	۱۵۵	۰	۲۶۰/۵	-۲۲/۸	۲۲۶/۵	-۲۳/۷	۲۴۷	-۱۹/۸	۱۸۹/۲	-۱/۲۸	۳۵۵/۷	-۲۴

جدول ۴- مقادير RMSE و MBE روش‌هاى درون يابى براى داده‌هاى بارندگى ماهانه و سالانه سال ۲۰۱۵
 Table 4. RMSE and MBE values of interpolation method for monthly and annual rainfall data for 2015

ماه	گرادبان سه بعدى		کو-کريجينگ		وزنى عكس فاصله		کريجينگ		رگرسيون کريجينگ		اسپلاين	
	RMSE	MBE	RMSE	MBE	RMSE	MBE	RMSE	MBE	RMSE	MBE	RMSE	MBE
ژانويه	۲۶/۳	۰	۴۶/۴	-۴/۸	۴۰/۸	-۶/۶	۴۰	-۴/۸	۳۷/۹	-۰/۲	۶۲/۷	۱۱/۹
فوريه	۲۱/۶	۰	۲۸/۳	-۰/۵	۲۷	-۳/۱	۲۷/۸	-۰/۷	۲۷/۳	۰/۷	۳۸/۹	۶/۵
مارس	۱۸/۸	۰	۲۱/۲	-۲/۸	۲۲/۷	-۳/۶	۲۰/۱	-۲/۳	۲۰/۵	-۱/۷	۳۰/۱	-۱/۶
آوريل	۱۹	۰	۲۹/۴	۱	۲۶/۵	-۲/۲	۲۷/۷	۰/۴	۲۳/۳	-۰/۶	۴۳/۳	۱/۳
مى	۱۰/۷	۰	۱۴/۳	۱/۴	۱۳/۲	۰/۱	۱۲/۵	-۰/۲	۹/۶	۱/۳	۲۲/۱	۶/۶
ژوئن	۱۹/۱	۰	۲۶/۱	۱/۷	۲۳/۴	۱/۲	۲۲/۳	-۰/۲	۲۱/۹	۱	۳۵/۴	۱۳/۸
ژوئيه	۳۱/۱	۰	۴۷/۸	-۸/۸	۴۳/۶	-۸/۷	۴۶/۶	-۷/۶	۳۷	-۲/۳	۶۲/۱	۱۵
اگوست	۲۶/۵	۰	۳۶/۳	-۱۲/۷	۳۱/۱	۱/۳	۳۰/۶	-۳/۲	۴۳/۶	-۰/۹	۴۴/۱	-۰/۸
سپتامبر	۴۱/۲	۰	۵۳/۷	-۶/۹	۴۶/۷	-۷/۳	۵۰/۳	-۷/۵	۴۶	۱/۹	۶۵/۴	-۶/۵
اکتبر	۸۵	۰	۱۴۶/۲	-۵/۴	۱۴۳	-۴	۱۴۶/۱	-۵/۱	۱۱۸/۱	-۰/۱	۱۸۸/۶	۵۱/۳
نوامبر	۲۴/۲	۰	۴۰/۳	-۳/۲	۳۷/۷	-۸/۱	۳۶/۵	-۵/۳	۲۹/۹	۰	۵۴	-۰/۲
دسامبر	۲۲/۴	۰	۳۹/۴	-۶/۵	۳۲/۲	-۵/۶	۳۳/۱	-۴/۳	۲۸/۱	-۰/۶	۴۷/۷	-۰/۱
سالانه	۱۸۹/۹	۰	۳۳۹/۶	-۱۵/۳	۲۹۱/۴	-۸/۶	۳۳۹/۱	-۱۴/۶	۲۳۸/۲	۰/۲۵	۵۲۱/۷	-۳/۲

عملکرد روش‌هاى مورد بررسى در برآورد بارش ماهانه و سالانه استان مازندران، نقشه‌هاى هم بارش سالانه ميانگين دوره ۱۳ساله با شش روش مورد بررسى در اين پژوهش رسم شد که در شکل ۳ نشان داده شده است. نقشه‌هاى موجود در نرم‌افزار ArcMap ترسيم شد که براى ترسيم نقشه گرادبان سه‌بعدى، از معادلات جدول شماره ۲ استفاده شد. همچنين براى ترسيم نقشه هم بارش با روش رگرسيون کريجينگ، پس از محاسبه باقيمانده‌هاى حاصل از معادله رگرسيونى، نقشه باقيمانده‌ها با استفاده از روش کريجينگ رسم شد، سپس با تركيب اين نقشه و نقشه گرادبان سه‌بعدى، نقشه نهايى ترسيم گرديد.

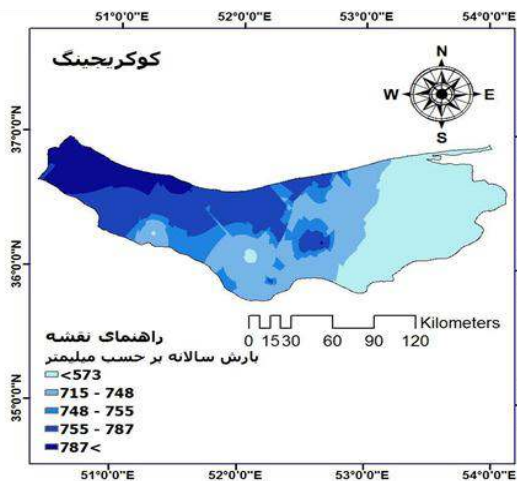
علاوه بر شاخص‌هاى خطا تحليل رگرسيونى نتايج نيز انجام شد که باى داده‌هاى ميانگين دوره ۱۳ساله در شکل ۲ قابل مشاهده است. نمودار برآورد و مقدار واقعى بارش در مقابل يکديگر ترسيم شد به علاوه، معادله خط براى روش‌هاى مختلف درون يابى نيز بر داده‌ها برازش يافت. با توجه به معادلات و نمودار حاصل، بهترين معادله خط مربوط به روش گرادبان سه‌بعدى مى‌باشد که نزديک‌ترين خط نسبت به ديگر روش‌ها به خط ۱:۱ مى‌باشد. همچنين روش رگرسيون کريجينگ نيز نسبت به ديگر روش‌ها (به جز گرادبان سه بعدى) معادله خط بهترى ارائه داد. تحليل نتايج شاخص‌هاى خطا و تحليل رگرسيونى روش گرادبان سه‌بعدى را به عنوان روش برتر معرفى نمود اما به منظور مقايسه و درک بهتر



شکل ۲- تحلیل رگرسیون روش‌های مختلف مکانی کردن داده‌های میانگین بارش دوره ۱۳ ساله
 Figure 2. Regression analysis of different methods of locating the mean rainfall data of the 13-year period

که به ترتیب در شکل‌های ۴ و ۵ نشان داده شده، نیز تفاوت چندانی با یکدیگر نداشته و با بررسی هر دو شکل می‌توان به این نتیجه رسید که این دو روش پراکندگی بارش را با توجه به اقلیم خاص و متنوع استان مازندران، به خوبی نشان داده‌اند.

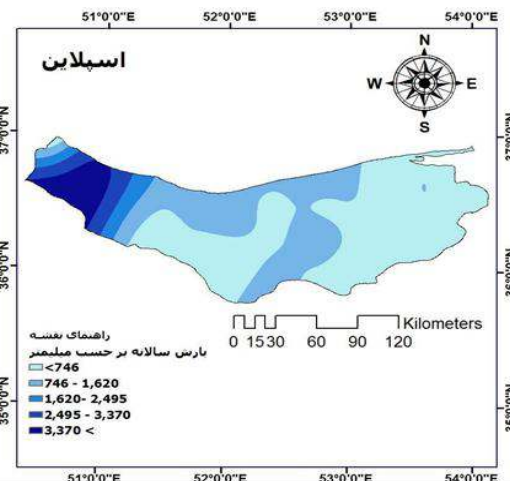
بررسی نقشه هم‌بارش با روش اسپلاین در شکل ۳، نشان می‌دهد این روش برآورد مناسبی از بارش سالانه در استان نشان نداده است به گونه‌ای که بیشترین بارش استان را بیش از ۳۰۰۰ میلی‌متر برآورد کرده به علاوه تفکیک بارشی خوبی برای سواحل و ارتفاعات استان در نظر نگرفته است. همچنین نقشه هم‌بارش روش‌های وزنی عکس فاصله و کوکریجینگ



شکل ۴- نقشه هم‌بارش میانگین دوره ۱۳ ساله استان مازندران با روش کوکریجینگ

Figure 4. Map of the average rainfall of 13 years of Mazandaran province with the studied co kriging methods

و کوکریجینگ بهتر بوده و پراکندگی بارش را در سواحل به خوبی نشان داده است، همچنین هرچه از غرب به شرق



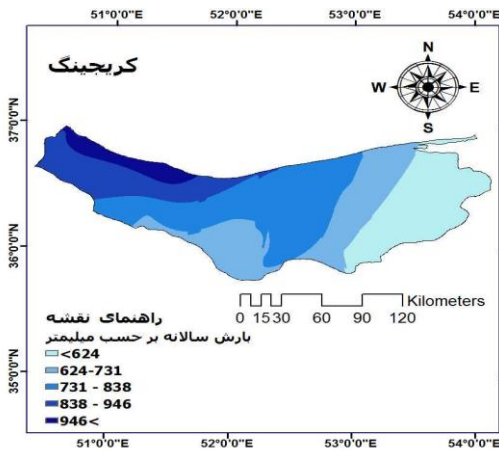
شکل ۳- نقشه هم‌بارش میانگین دوره ۱۳ ساله استان مازندران با روش اسپلاین

Figure 3. Map of the average rainfall of 13 years of Mazandaran province with the spline methods

نقشه هم‌بارش به دست آمده از روش کریجینگ که در شکل ۶ قابل مشاهده است، نسبت به نقشه‌های عکس فاصله

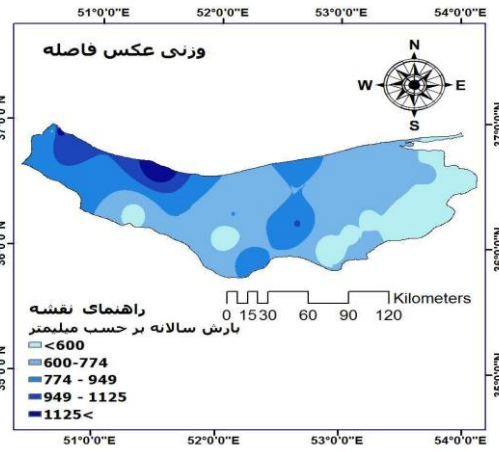
به‌خصوص ارتفاعات غربی استان در نظر نگرفته است.

استان پیش می‌رویم میزان بارش استان کاهش می‌یابد، اما این روش تفکیک بارشی مناسبی برای ارتفاعات استان



شکل ۶- نقشه هم‌بارش میانگین دوره ۱۳ ساله استان مازندران با روش کریجینگ

Figure 6. Map of the average rainfall of 13 years of Mazandaran province with the studied co kriging methods

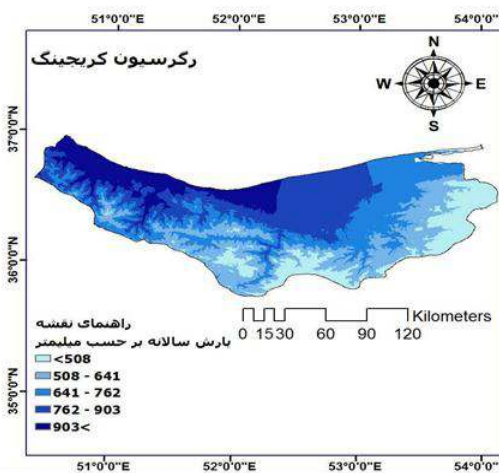


شکل ۵- نقشه هم‌بارش میانگین دوره ۱۳ ساله استان مازندران با روش وزنی عکس فاصله

Figure 5. Map of the average rainfall of 13 years of Mazandaran province with the idw methods

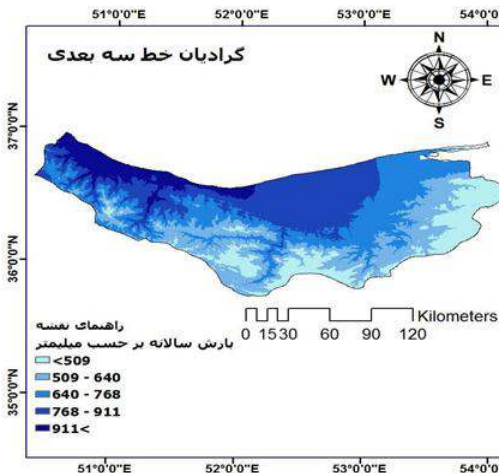
بارش-ارتفاع در غرب استان بیشتر از شرق می‌باشد که دلیل آن توپوگرافی خاص و پیچیده غرب استان مازندران است. به‌علاوه بخش غربی استان را به چند بخش بارشی تفکیک کرده، همچنین با بررسی نقشه‌ها می‌توان به این نتیجه دست یافت که بارش نزولی در دره‌ها و نقاط پست اطراف کوه‌های غرب استان، بیشتر از ۹۰۰ میلی‌متر است، اما در مرکز استان و دره‌ها و نقاط پست تر اطراف قله دماوند این حجم بارش کاهش یافته و تقریباً بیش‌تر از ۶۰۰ میلی‌متر می‌باشد و هر چه به شرق می‌رویم از حجم بارش کاسته می‌شود.

نقشه حاصل از روش‌های گرادیان سه‌بعدی و رگرسیون کریجینگ که در شکل‌های ۷ و ۸ آمده است، تفاوت چندانی با یکدیگر ندارند و نسبت به سایر روش‌ها نقشه هم‌بارش بهتری را برای استان رسم کرده است. نقشه‌های حاصل از این دو روش به‌خوبی نشان می‌دهند که حلقه پر بارش استان از امتداد انتهایی سواحل غربی استان تا سواحل مرکزی استان تا شهرستان سرخورد و فریدون کنار تشکیل می‌شود. همچنین هرچه از ساحل دور می‌شویم و به ارتفاعات پیش می‌رویم مقدار بارش کاهش می‌یابد. به‌علاوه شیب تغییرات



شکل ۸- نقشه هم‌بارش میانگین دوره ۱۳ ساله استان مازندران با روش رگرسیون کریجینگ

Figure 8. Map of the average rainfall of 13 years of Mazandaran province with the studied Reg-krig methods



شکل ۷- نقشه هم‌بارش میانگین دوره ۱۳ ساله استان مازندران با روش گرادیان خط سه بعدی

Figure 7. Map of the average rainfall of 13 years of Mazandaran province with the Gradian3D methods

آمارى شامل میانگین بارش ۱۳ ساله و مجموع بارش یک‌ساله ۲۰۱۵ استفاده شد و شش روش درون‌یابی شامل اسپلاین،

در این پژوهش به‌منظور تعیین بهترین روش درون‌یابی داده‌های بارش ماهانه و سالانه استان مازندران، از دو دوره

سه‌بعدی تخمین منطقی‌تری از تغییرات مکانی بارش در استان دارند. به‌طوریکه در ارتفاع بالاتر از ۲۰۰۰ متر مقدار بارش بین ۹۰۰-۴۰۰ میلی‌متر در نوسان است که نشان از توپوگرافی پیچیده و خاص استان دارد. از بررسی نقشه هم‌بارش سالانه با روش منتخب می‌توان دریافت که تنها سواحل غربی استان بارش بیش از ۹۰۰ میلی‌متر در سال را در استان تجربه می‌کنند. به‌علاوه شیب تغییرات بارش با ارتفاع در غرب استان بیشتر از شرق بوده و به‌دلیل توپوگرافی پیچیده غرب استان، سواحل غربی دارای بارش بیشتری نسبت به ارتفاعات غرب می‌باشد. همچنین به‌نظر میزان بارش نزولی در کف دره‌های استان برابر بارش مناطق کم ارتفاع می‌باشد که این مطلب نقش مهمی در دبی رودخانه‌های جاری در دره‌های استان دارد. به‌علاوه در این پژوهش از دو دوره میانگین ۱۳ساله و کوتاه‌مدت یک‌ساله استفاده شد و نشان داده شد که روش‌های به‌کار برده شده هم در دوره ۱۳ساله و هم دوره کوتاه‌مدت نتایج مشابهی داده است و روش گرادیان خط سه‌بعدی با متغیر کمکی ارتفاع، هم برای دوره درازمدت و هم برای دوره کوتاه‌مدت کاربرد مناسبی دارند. مطالعات انجام شده در تهیه نقشه هم‌بارش استان مازندران نشان داد که اغلب به بررسی روش‌های زمین‌آمارى پرداخته‌اند. این پژوهش با مقایسه روش‌های آماری و زمین‌آمارى نشان داد اولاً روش‌های آماری دقت بالاتری در تخمین بارش دارند و همچنین استفاده از متغیرهای کمکی باعث افزایش دقت تخمین خواهد شد. بنابراین روش گرادیان خط سه‌بعدی به‌عنوان روش برگزیده معرفی می‌گردد که خطای تخمین بارش را تا بین ۴۰ تا ۶۰ درصد کاهش داده است.

تشکر و قدردانی

این تحقیق برگرفته از نتایج پایان‌نامه کارشناسی ارشد می‌باشد. از اداره کل هواشناسی استان مازندران به جهت در اختیار نهادن داده‌های هواشناسی استان تشکر و قدردانی می‌گردد.

وزنی عکس فاصله، کریجینگ، کوکریجینگ، گرادیان خطی سه‌بعدی و رگرسیون کریجینگ با یکدیگر مقایسه شدند. به‌نظر می‌رسد در ماه‌های گرم مؤلفه غیر ساختاردار بزرگتر شده و ساختار مکانی داده‌های بارش ۲۰ الی ۳۰ درصد کاهش می‌یابد که ممکن است به‌دلیل ماهیت محلی سیستم‌های بارش‌زا باشد. البته این مطلب قبلاً نیز توسط نادى و همکاران (۲۰) گزارش شده است. بر اساس نمودار تغییرات بارش- ارتفاع به‌نظر می‌رسد در این استان با افزایش ارتفاع از حجم بارش سالانه کاسته می‌شود، بررسی میانگین مربعات خطا و میانگین خطای اریب نشان داد. بهترین روش درون‌یابی برای بارش‌های درازمدت و کوتاه مدت ماهانه روش گرادیان خطی سه‌بعدی است که انتظار می‌رفت روش رگرسیون کریجینگ تخمین دقیق‌تری نسبت به روش گرادیانی داشته باشد چرا که این روش در واقع منشعب از روش گرادیانی است با این تفاوت که به لایه رگرسیونی یک لایه برای کاهش خطای معادله گرادیانی اضافه می‌شود. اما این گونه به‌نظر می‌رسد که لایه خطا اصلاً دقت مناسبی در تشخیص خطای روش گرادیانی ندارد. به‌عبارتی نتایج نشان داد لزوماً افزایش یک لایه منجر به کاهش خطا نمی‌شود و ممکن است نتیجه عکس همراه داشته باشد.

علاوه‌بر شاخص‌های خطا، تحلیل رگرسیونی نیز نشان داد که روش گرادیان سه‌بعدی مناسب‌ترین روش درون‌یابی داده‌های بارش در استان مازندران است. نقش مؤثر متغیرهای کمکی قبلاً توسط عثمان و همکاران (۲۵) نیز گزارش شده است ایشان در تحلیل رابطه فضایی بین ارتفاع و دما و بارش در شمال نیجریه دریافتند که در مدل‌سازی مدل رگرسیون وزنی جغرافیایی اثر ارتفاع بر متغیرهای اقلیمی بسیار حائز اهمیت است. همچنین حکیم دوست و همکاران (۱۴) نیز دریافتند که ارتفاع و طول و عرض جغرافیایی، بیشترین تأثیر را در توزیع بارش مازندران دارند. البته در بین روش‌های زمین‌آمارى نیز کلاه‌چی و همکاران (۱۶) در مازندران و مظفری و همکاران (۱۸) در بوشهر روش کریجینگ را نسبت به سایر روش توصیه کردند.

تحلیل نقشه‌های هم‌بارش با روش‌های مختلف نیز نشان داد که روش‌های رگرسیون کریجینگ و گرادیان خطی

منابع

1. Abdollahi, P., M. Habibnejad and K. Solaimani. 2015. Investigation of Precipitation and Temperature Changes in Caspian Sea Southern Coasts and Its Comparison with Changes in Northern Hemisphere and Global Scales. *Journal of Watershed Management Research*, 6(11): 90-100.
2. Abo-Monasar, A. and M.A. Al-Zahrani. 2014. Estimation of rainfall distribution for the southwestern region of Saudi Arabia. *Hydrological Sciences Journal*, 59(2): 420-431.
3. Akbari, M., H. Mostafaie and T. Mohammadzadeh. 2015. Error assessment and measurement, interpolation efficiency in estimating northwestern Iran temperature and precipitation data. *International Conference on Geographical Sciences (ICG 2015)*, Kharazmi Institute of Higher Science and Technology, Shiraz, Iran, (In Persian).
4. Amini, M., A. Hedayati and M. Azadi. 2019. A Case study of comparing some interpolation methods for precipitation analysis over Iran. *Nivar*, (100-101): 67-74.
5. Arowolo, A.O., A.K. Bhowmik and W. Qi and X. Deng. 2017. Comparison of spatial interpolation techniques to generate high-resolution climate surfaces for Nigeria. *International Journal of Climatology*, 37(1): 179-192.

6. Arzumandi, L. and F. Tirgar Fakhri. 2013. Synoptic analysis of heavy rainfall in Mazandaran province (Case study November 11, 1996). International Conference on Geography, Urban Planning and Sustainable Development, Tehran (In Persian).
7. Ataei, H., M. Tavana. and L. Parsa. 2014. Climate Analysis of Mazandaran Province and Mazandaran Province's Climate Zoning Using Gis. The Second national conference of Tourism, Geography and Stable Environment, (In Persian).
8. Carratal A., A. Gomez and J. Bellot. 1998. Mapping Rain Compostion in the East of Spain by Applying Kriging. Water, Air and soil Pollution, 104(12): 9-27.
9. Chen, T., L. Yan, F. Yang, X. Jiang, S.H. Tang, T. Liu, Y. Zaho and C.H. Zhang. 2017. Comparison of Spatial Interpolation Schemes for Rainfall Data and Application in Hydrological Modeling. Water, 9(342); doi:10.3390-9050342.
10. Dellavari, D., M. Mirzai zade and M. Tarek. 2014. Evaluation of Different Kriging Methods in Ilam Province Rain Zone. Second National Conference on Architecture, Civil and Urban Environment, Hamadan, Martyr Mofteh Callege, (In Persian).
11. Eslami, H. 2019. Investigation of Spatial Variability of Precipitation Concentration and Rainfall Erosivity Indices in Khuzestan Province. Journal of Watershed Management, 9(17): 109-118. (In Persian).
12. Ghahroudi Tali, M. and Sh. Mohammadi. 2002. Relief Management and Necessity of Domain Instability Zoning in Sanandaj. 1st Conference on Search and Rescue Management, Iran Crescent Applied Higher Education Institute, Tehran, (In Persian).
13. Ghorbani, Kh. 2011. Geographically Weighted Regression: A Method for Mapping Isohyets in Gilan Province. Journal of Water and Soil, 3(66): 743-752.
14. Hakim Doost, Y., A. Mohammad Pour zidi and M.S. Gerami. 2015. Spatial analysis of rainfall in Mazandaran province, in the environment of geographic information system. Journal of Geographical Information Scientific Quarterly, 26(102):191-203.
15. Jamei, M. and M. Mousavi Baigi. 2013. Spatial and zoning estimation of reference evapotranspiration in Khuzestan province. Journal of Geography and Regional Development (Research Journal), 11(21): 23-43.
16. Kolahchi, A., B. Nazari and B. Karimi. 2007. Study of Monthly Rainfall in Mazandaran Province and Comparison of GIS Statistical Methods with Gis. 4th National Conference on Iranian Watershed Management Science and Engineering, Karaj, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, (In Persian).
17. Kumari, M., A. Basistha, O. Bakimchandra and C.K. Singh. 2016. Comparison of spatial interpolation methods for mapping rainfall in Indian Himalayas of Uttarakhand region. In: Raju N. (Ed.), Geostatistical and Geospatial Approaches for the Characterization of Natural Resources in the Environment. Springer, Cham, Switzerland, PP. 159-168.
18. Mozafari, G., S. Shafiee and R. Behnoosh. 2014. Statistical Spatial Analysis of the Precipitated Rainfall of Iran by the atmosphere-Ocean HADCM3 General Cycle Round. Agricultural Meteorological Journal, 2(2): 45-36.
19. NabiPur, Y. and M. VafaKhah. 2017. Comparison of Different Geostatistical Methods for Estimating Rainfall in Haji Ghoshan Watershed. Journal of Range and Watershed Management, 2(69): 487-502.
20. Nadi, M., A. Khalili, K. Pour Tahmasi and J. Bazrafshan. 2013. Comparison of different climatological zoning techniques to determine the most important factors affecting the growth of Chahar Bagh area trees, Journal of Forest and Wood Products. Iranian journal of natural recources, 1(66): 95-83 (In Persian).
21. Nadi, M., M. Jamei. J. Bazrafshan and S. Janat Rostami. 2012. Evaluation of Different Methods for Interpolation of Mean Monthly and Annual Precipitation Data (Case Study: Khuzestan Province). Physical Geography Research, 4(44): 130-117 (In Persian).
22. Niknejad, M., A. Mahdavi and A. Karimi. 2013. Evaluation of drop rate of different interpolation methods in preparing rainfall map of Khorramabad city. The first national conference of Tourism, Geography and Stable Environment, Venue of Shahid Mofteh Faculty of Hamadan, (In Persian).
23. Rasooli, A., T. Jalali, F. Serafrouz and M. Ismail Pour. 2015. Investigation of temporal and spatial variations of precipitation and its prediction in East Azarbaijan province. Journal of geography and planning, (51): 171-191.
24. Thiele, T.N. 1909. Interpolationsrechnung, B.G. Teubner, Leipzig.
25. Usman, U., M.L. Aliyu and M.K. Aminu. 2015. Study of the Geographically Weighted Regression Application on Climate Data. Mathematical Theory and Modeling, 5(8): 62-66.
26. Yousefi Kabria, A., M. Nadi and Sh. Sheikh Arjanki. 2019. Increasing the accuracy of monthly and annual precipitation maps using covariates in Mazandaran province. 3th Iranian National Conference on Hydrology, University of Tabriz, (In Persian).
27. Zand Karimi, A. and D. Mokhtari. 2015. Evaluating the accuracy of different interpolation methods in estimating precipitation values for selecting the best algorithm in Kurdistan province. Physical Geography Research, 2(50): 323-338.

Investigation of Statistical and Geostatistical Methods in Preparing The Rainfall Map of Mazandaran Province

Alireza Yousefi Kebriya¹, Mehdi Nadi² and Mozhdeh Jamei³

1- M.Sc Student, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University
2- Assistant Professor, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University
(corresponding author: mehdi.nadi@gmail.com)
3- Ph.D, Khuzestan Water and Power Organization
Received: 19 June, 2020 Accepted: 12 July, 2020

Abstract

Precipitation estimation in areas without recorded meteorological data is of great importance in hydrological studies and flood forecasting. Due to the lack of high-altitude meteorological stations with long-term recorded data in Mazandaran province as well as stochastic attribute of rainfall data, using statistical methods based on covariates and comparison with geostatistical methods for interpolating monthly and annual rainfall data in this province is inevitable. For this purpose, precipitation data from 21 meteorological stations over a 13-years recorded period (2004-2013) were used. In order to determination of appropriate interpolation method of rainfall data, six models including Ordinary Kriging, Cokriging, Inverse Distance Weighting, spline, three-dimensional linear gradient and regression-kriging were investigated. Evaluation of the methods was also performed on the basis of root mean square error, mean bias error and regression analysis. Variography analysis showed spherical and exponential models as the best theoretical semivariogram models. The results of error indices analysis showed the Spline model has the lowest efficiency and the three-dimensional linear gradient was found as the most appropriate interpolation model of rainfall data which in comparison with other models reduced the rainfall estimation error from 100 to 200 mm (about 40 to 60 percent). However, its accuracy is reduced in hot and humid months. Investigation of rainfall maps illustrates the accuracy of covariate based interpolation methods in detecting low rainfall and high rainfall points of the province. So that high rainfall district is located on the west coast of the province and by moving east the amount of rainfall decrease. Due to the similarity of the rainfall map and the digital elevation model, it is noted that the amount of precipitation in valleys is very different from precipitation in the highlands of this province. The results of this study showed that in areas with complex topography, the use of covariates leads to a significant increase in the accuracy of rainfall maps.

Keywords: Covariate, Geostatistic, Precipitation, Regression-Kriging



"مقاله پژوهشی"

شبیه‌سازی بارش - رواناب با استفاده از ماشین آموزش نوین در حوضه رودخانه شهرچای

امیر علیزاده^۱، احمد رجبی^۲، سعید شعبانلو^۳، بهروز یعقوبی^۲ و فریبرز یوسفوند^۲

۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آب، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران
۲- استادیار، گروه مهندسی آب، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران (نویسنده مسؤل: ahmad.rajabi1974@gmail.com)
۳- دانشیار، گروه مهندسی آب، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران
تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۱/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۲۲
صفحه: ۲۲۴ تا ۲۲۷

چکیده

در این مطالعه، داده‌های سری زمانی بارش و رواناب حوضه رودخانه شهرچای از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷ با استفاده از یک مدل هوش مصنوعی نوین ترکیبی شبیه‌سازی شد. برای توسعه مدل هوش مصنوعی مذکور سه الگوریتم ماشین آموزش نیرومند (ELM)، تکامل تفاضلی (DE) و تبدیل موجک (WT) با هم ترکیب شدند و مدل‌های ترکیبی SAELM و WSAELM ارائه شد. در ابتدا، موثرترین تأخیرهای داده‌های سری زمانی با استفاده از تابع خود همبستگی شناسایی شدند. سپس با استفاده از این تأخیرها، برای هر یک از مدل‌های SAELM و WSAELM هفت مدل هوش مصنوعی تعریف گردید. علاوه بر این ۷۰ درصد مقادیر مشاهداتی برای آموزش مدل‌های هوش مصنوعی و ۳۰ درصد باقیمانده نیز برای ارزیابی آن‌ها استفاده شدند. برای مدل WSAELM 7 به‌عنوان مدل برتر، مقادیر R^2 ، شاخص پراکندگی (SI) و ضریب نش (NSC) برای شبیه‌سازی بارش به ترتیب مساوی با ۰/۹۶۷، ۰/۲۰۸ و ۰/۹۶۵ بدست آمدند. همچنین تحلیل حساسیت نشان داد که تأخیرهای (t-1)، (t-2) و (t-12) به‌عنوان موثرترین تأخیرهای ورودی در نظر گرفته شدند. در انتها برای مدل‌های برتر یک تحلیل عدم قطعیت انجام شد.

واژه‌های کلیدی: بارش، تبدیل موجک، تکامل تفاضلی، رواناب، رودخانه شهرچای، دریاچه ارومیه، ماشین آموزش نیرومند

مقدمه

بارش و رواناب جزء مهمترین پارامترهای اقلیمی هستند که نقش به‌سزایی در شناسایی تغییرات اقلیمی در مقیاس منطقه‌ای و جهانی ایفا می‌کنند. از طرف دیگر، بارش مهمترین منبع تامین آب برای مصارف مختلف روی کره زمین محسوب می‌شود. اهمیت تغییرات دراز مدت پارامترهای بارش و رواناب در نواحی خشک و نیمه‌خشک از جمله فلات قاره ایران از اهمیت به‌سزایی برخوردار است. در مقابل رواناب نیز به‌صورت مستقیم تابع پارامتر بارش و ضریب نفوذپذیری خاک منطقه است که به‌طور کلی به‌دلیل اهمیت قابل توجه این پارامترهای اقلیمی، مطالعات میدانی و عددی فراوانی روی آنها صورت گرفته است. به‌عنوان مثال، حسنپور کاشانی و همکاران (۹)، پورنعمت رودسری (۲۰)، زرعی و همکاران (۲۷)، معماریان و همکاران (۱۷)، لی و همکاران (۱۳)، ونگ و همکاران (۲۴)، توس و همکاران (۲۳)، ناصری و همکاران (۱۸)، کومار و جها (۱۲) مقادیر بارش-رواناب در بازه‌های زمانی مشخص در نقاط مختلف ایران را با استفاده از تکنیک‌های متفاوت هوش مصنوعی و محاسبات نرم مدل‌سازی نمودند.

در ادامه، اکرمی و همکاران (۱) توسط مدل ANFIS، شبکه عصبی مصنوعی و تبدیل موجک، مدل‌های مختلف عددی ترکیبی جهت شبیه‌سازی بارندگی در حوزه رودخانه کلانگ در کشور مالزی ارائه کردند. در این مطالعه نشان داده شد که نتایج مدل‌های موجک-ANFIS و موجک-شبکه عصبی مصنوعی مقادیر بارش را با دقت بهتری پیش‌بینی کردند. همچنین، میسلان و همکاران (۱۶) به‌وسیله مدل شبکه عصبی مصنوعی پسخور مقدار بارندگی ماهانه در شرق

کشور اندونزی را پیش‌بینی کردند. آن‌ها برای کنترل مقدار خطای مدل عددی خود از خطای مربع میانگین بهره گرفتند. شفیع و همکاران (۲۲) داده‌های بارندگی سری زمانی ۴۰ ساله شهرستان نهاوند را توسط یک مدل ترکیبی تخمین زدند. آنها برای توسعه مدل عددی خود مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی، ساریما و تبدیل موجک را با هم ترکیب نمودند. آنها نشان دادند مدلی که از ترکیب این سه الگوریتم ساخته شد مقادیر تابع هدف را با دقت بیشتری شبیه‌سازی نمود. مکانیک و همکاران (۱۵) بارش‌های فصلی در کشور استرالیا را توسط مدل انفیس پیش‌بینی نمودند. آنها نتایج مدل انفیس را نیز با مدل شبکه عصبی مصنوعی مقایسه کردند و نشان دادند که مدل انفیس عملکرد بهتری برای شبیه‌سازی این پارامتر هیدرولوژیکی دارد. سپس پورنومو و همکاران (۲۱) جهت شبیه‌سازی مقدار بارندگی در بازه زمانی از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۳ در مرکز جاوه کشور اندونزی را به‌صورت ماهانه توسط دو مدل شبکه عصبی مصنوعی مختلف تخمین زدند. آنها نشان دادند که مدل‌های عصبی مقادیر بارندگی را با دقت قابل قبولی تخمین زدند.

دابرال و موری (۶) داده‌های سری زمانی بارش در یک بازه ۱۴ ساله حوضه واقع در شرق کشور هندوستان را توسط مدل ساریما در بازه‌های زمانی روزانه، هفتگی و ماهانه تخمین زدند. آنها تأخیرهای موثر را نیز شناسایی نمودند و نشان دادند که مدل مذکور مقادیر بارش‌ها را با دقت خوبی شبیه‌سازی کرد. علاوه بر این، یاسین و همکاران (۲۶) با استفاده از الگوریتم کرم شب-تاب، مدل ANFIS را برای تخمین بارندگی در یکی از حوزه‌های کشور مالزی بهینه‌سازی نمودند. آنها نشان دادند که مدل ترکیبی مقادیر بارندگی را در مقایسه

ترکیبی ANFIS- بهینه‌سازی کلونی مورچه در مقایسه با سایر مدل‌ها از دقت بیشتری برخوردار بود. همچنین، مهر و همکاران (۱۴) یک مدل ترکیبی بهینه‌یافته را برای تخمین مقادیر بارش دراز مدت شهر تبریز و ارومیه توسعه دادند. آنها برای بهینه‌سازی مدل هوش مصنوعی رگرسیون بردار پشتیبان از الگوریتم کرم شب‌تاب بهره گرفتند.

مدل‌سازی پدیده‌های بارش و رواناب در بازه‌های زمانی بلندمدت قادر خواهد بود که دید جامع‌تری به محققین و مهندسیین هیدرولوژی و محیط زیست جهت بررسی الگوی‌های بارشی ارائه دهد. در مقابل، مدل‌سازی این پدیده‌ها توسط الگوریتم‌های مختلف هوش مصنوعی روزبه روز در حال گسترش است زیرا این مدل‌ها بسیار منعطف بوده و توانایی شبیه‌سازی پدیده‌های پیچیده و غیرخطی را دارند. علاوه بر این، مدل‌های هوش مصنوعی دارای دقت مناسبی هستند و استفاده از آنها باعث صرفه‌جویی در زمان و هزینه‌های مربوط به مطالعات میدانی خواهد شد. بنابراین در این مطالعه، برای اولین بار، مقادیر بارندگی و رواناب حوضه رودخانه شهرچای در یک بازه زمانی ۱۸ ساله از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷ توسط یک مدل هوش مصنوعی ترکیبی بهینه‌سازی شده، شبیه‌سازی خواهد شد. برای تولید مدل هوش مصنوعی ترکیبی که اختصاراً با WSAELM نشان داده می‌شود، از مدل ماشین آموزش نیرومند (ELM)، تکامل تفاضلی (DE) و تبدیل موجک استفاده می‌گردد. سپس با استفاده از تابع خود همبستگی تاخیرهای موثر مربوط به داده‌های سری زمانی شناسایی خواهند شد. در ادامه، هفت مدل SAELM و WSAELM توسط این تاخیرها تعریف می‌گردند. با تجزیه و تحلیل نتایج مدل‌سازی‌ها، مدل‌های برتر SAELM و WSAELM به‌همراه موثرترین تاخیرهای ورودی معرفی خواهند شد. باید توجه شود که تبدیل موجک دقت مدل SAELM را به شکل قابل ملاحظه‌ای افزایش خواهد داد.

ناحیه مورد مطالعه

حوضه شهرچای ارومیه یکی از زیرحوضه‌های مهم دریاچه ارومیه بوده که در شمال غرب ایران و در مرز بین ایران و ترکیه قرار گرفته است. موقعیت این حوضه در حدود ۳۷ درجه و ۱۹ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۳۷ دقیقه عرض شمالی و ۴۴ درجه و ۳۵ دقیقه تا ۴۵ درجه و ۱۵ دقیقه طول شرقی می‌باشد و ارتفاع آن از ۱۵۱۳ متر در خروجی حوضه در محل دریاچه ارومیه (حدافل) تا ۳۵۹۵ متر در مرز ایران و ترکیه (حداکثر) تغییر می‌کند. مساحت کل حوضه رودخانه شهرچای حدود ۷۱۲ کیلومتر مربع و مساحت حوضه در بالادست ایستگاه هیدرومتری بند ارومیه در حدود ۴۱۸ کیلومتر مربع می‌باشد. ناحیه مورد مطالعه رودخانه شهرچای در غرب دریاچه ارومیه در شکل ۱ به‌تصویر کشیده شده است.

با مدل ANFIS با دقت بهتری تخمین زد. دانلادی و همکاران (۷) توسط مدل ANFIS تغییرات بارش در یک دوره زمانی کوتاه مدت را تخمین زدند. آنها مقادیر بارش را تابعی از دما و رطوبت نسبی فرض کردند و با استفاده از این دو پارامتر مقادیر بارش را مدل‌سازی نمودند. ژیانگ و همکاران (۲۵) توسط روش "تجزیه تجربی گروهی" و الگوریتم‌های هوش مصنوعی از قبیل شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون بردار پشتیبان مقادیر بارش در یکی از استان‌های کشور چین را در بازه‌های زمانی کوتاه و بلند مدت تخمین زدند. نشان داده شد که شبکه عصبی مصنوعی مقادیر بارش در بازه زمانی دراز مدت با دقت بهتری شبیه‌سازی کرد. آزاد و همکاران (۲) عملکرد شبکه ANFIS را برای تخمین بارش شهر اصفهان به‌وسیله چند روش بهینه‌سازی از قبیل الگوریتم ژنتیک، بهینه‌سازی ازدحام ذرات و بهینه‌سازی کلونی مورچه بهبود بخشیدند. آنها بیان کردند که مدل ترکیبی ANFIS- بهینه‌سازی کلونی مورچه در مقایسه با سایر مدل‌ها از دقت بیشتری برخوردار بود.

چانگ و همکاران (۵) با استفاده از یک مدل نرو- فازی تحت عنوان شبکه استنتاج فازی وابسته به خود مقدار بارش- رواناب را برای حوزه مختلف در کشورهای چین، سوئد و استرالیا مدل‌سازی نمودند. آنها نشان دادند که مدل نرو- فازی مذکور از انعطاف مناسبی برای شبیه‌سازی بارندگی برخوردار است. علاوه بر این، خلیلی و همکاران (۱۱) مقدار بارش شهر مشهد را در یک بازه زمانی ۵۳ ساله با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی شبیه‌سازی کردند. آنها بیان کردند که مدل هوش مصنوعی مذکور مقدار بارش ماهانه را با دقت قابل قبولی شبیه‌سازی کرده است، به‌عنوان مثال، مقدار ضریب همبستگی مدل برتر آنها مساوی با ۰/۹۲ محاسبه شد. در ادامه، قربانی و همکاران (۸) با ترکیب تبدیل موجک با شبکه عصبی مصنوعی و ماشین بردار پشتیبان، دو مدل ترکیبی هوش مصنوعی توسعه دادند. آنها با تجزیه و تحلیل نتایج مدل‌سازی بارش- رواناب حوضه آبریز بالیخ‌لوچای در جنوب غربی شهرستان اردبیل نشان دادند که مدل‌های ترکیبی از دقت بیشتری برخوردار بودند. باباعلی و دهقانی (۳) مقادیر بارش ماهانه در یک بازه زمانی ۱۰ ساله برای حوضه آبریز دشت کاکارضا استان لرستان را با استفاده از مدل برنامه‌نویسی بیان ژن تخمین زدند. آنها نشان دادند که ضریب همبستگی مدل عددی مذکور برابر با ۰/۹۷۸ بود بنابراین این مدل توانایی خوبی در شبیه‌سازی مقدار بارندگی داشت. در ادامه، آزاد و همکاران (۲) عملکرد شبکه ANFIS را برای تخمین بارش شهر اصفهان به‌وسیله چند روش بهینه‌سازی از قبیل الگوریتم ژنتیک، بهینه‌سازی ازدحام ذرات و بهینه‌سازی کلونی مورچه بهبود بخشیدند. آنها بیان کردند که مدل



شکل ۱- ناحیه مورد مطالعه حوضه رودخانه شهرچای ارومیه
Figure 1. Geographical location of Shaharchay watershed

سوگیری نرون لایه مخفی λ_m ، X_{ik} ورودی نرون ورودی برای k امین نمونه آموزشی و H_{ik} ماتریس فعال‌سازی زامین نرون لایه مخفی برای k امین نمونه آموزشی است به طوری که فعال‌سازی همه نرون‌های لایه مخفی برای نمونه‌های مورد استفاده در آموزش توسط این ماتریس ارائه می‌شود. در این ماتریس Z ستون و k ردیف است. ماتریس H به عنوان ماتریس لایه مخفی خروجی شبکه عصبی بیان می‌شود. وزن‌های بین نرون‌های لایه مخفی و خروجی به صورت ریاضی به شکل زیر بیان کرد:

$$H\beta = T \quad (4)$$

$$\beta = (\beta_1, \dots, \beta_j)_{j \times 1} \quad (5)$$

که β نشان‌دهنده وزن بین نرون لایه خروجی و نرون‌های لایه مخفی است و T بردار نشان‌دهنده مقادیر هدف برای نمونه‌های آموزش است که به صورت زیر بیان می‌شود:

$$T = (T_1, \dots, T_k)_{k \times 1} \quad (6)$$

نهایتاً وزن‌ها را می‌توان از رابطه زیر محاسبه کرد:

$$\beta = HT \quad (7)$$

که در آن:

$$H(\tilde{a}, \tilde{b}, \tilde{x}) = \begin{bmatrix} G(a_1, b_1, x_1) & \dots & G(a_L, b_L, x_L) \\ G(a_1, b_1, x_N) & \dots & G(a_L, b_L, x_N) \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$\beta = \begin{bmatrix} \beta_1^T \\ \vdots \\ \beta_L^T \end{bmatrix} \quad \text{and} \quad T = \begin{bmatrix} T_1^T \\ \vdots \\ T_L^T \end{bmatrix} \quad (9)$$

که $\tilde{a} = a_1, \dots, a_L; \tilde{b} = b_1, \dots, b_L; \tilde{x} = x_1, \dots, x_L$ بردار وزن بین نرون‌های لایه‌های مخفی و لایه پنهان و H' شبه معکوس Moore-Penrose ماتریس H است. همچنین T بردار بین وزن‌های نمونه‌های آموزشی است. با

مدل عددی

ماشین آموزش نیرومند^۱

ماشین آموزش نیرومند (ELM) که شبکه عصبی مصنوعی پیشخور تک لایه است که اولین بار توسط هوانگ و همکاران (۱۰) ارائه شد. تنها تفاوت ELM با شبکه عصبی پیشخور تک لایه^۳ (SLFFNN)، عدم استفاده از سوگیری برای نرون خروجی است. نرون‌های لایه ورودی با همه نرون‌های لایه مخفی در ارتباط است. نرون‌های لایه مخفی با استفاده از یک سوگیری بوجود می‌آیند. تابع فعال‌سازی نرون‌های مخفی می‌تواند به صورت تابع پیوسته تکه‌ای^۵ باشد در حالی که برای نرون لایه خروجی به صورت خطی است. توصیف ریاضی شبکه عصبی پیشخور تک لایه با تعداد n گره مخفی، به صورت زیر بیان می‌شود:

$$f_n(x) = \sum_{i=1}^n \beta_i G(a_i, b_i, x) \quad (1)$$

که β_i وزن بین گره مخفی λ_m و گره خروجی، $a_i \in R^n$ و b_i فاکتورهای آموزش گره‌های مخفی و $G(a_i, b_i, x)$ گره i ام برای ورودی x است. تابع فعال‌سازی $g(x)$ (که دارای انواع مختلفی می‌باشند) برای گره مخفی افزایشده^۶ (a_i, b_i, x) را می‌توان به شکل زیر بازنویسی کرد:

$$G(a_i, b_i, x) = g(a_i \cdot x + b_i) \quad (2)$$

از توابع فعالیت به منظور محاسبه خروجی پاسخ نرون‌ها استفاده می‌شود. فعال‌سازی نرون‌های لایه مخفی برای هر نمونه آموزشی در یک شبکه ELM با تعداد "ج" نرون در لایه مخفی، "i" نرون ورودی و تعداد "k" نمونه آموزشی، از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$H_{jk} = g\left(\sum_j (W_{ji} X_{ik})\right) + B_j \quad (3)$$

که $g(\cdot)$ می‌تواند هر تابع فعال‌سازی غیر خطی پیوسته باشد، W_{ji} وزن نرون ورودی λ_m و نرون لایه مخفی λ_m ، B_j

1- Extreme Learning Machine (ELM)

2- Feed-forward

3- Single layer feed forward neural network

4- Bias

5- Piecewise continuous function

6- Additive

فعال‌سازی $g(x)$ ، می‌توان الگوریتم SAELM را فرمول نویسی کرد. بدین‌منظور، ابتدا جمعیت اولیه با استفاده از بردارهای جمعیت (NP) که گره‌های مخفی را در بر می‌گیرند. **موجک**

موجک یا ویولت تبدیلی است که جهت بهینه‌سازی مدل‌های هوش مصنوعی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این روش یک آنالیز طیفی مستقل از زمان است که به‌منظور توصیف مقیاس زمانی فرایندها و روابط آنها، سری‌های زمانی را در فضای زمان-فرکانس از هم جدا می‌کند. تبدیل ویولت همانند تبدیل فوریه، سری زمانی را به‌صورت ترکیب خطی از چند تابع اصلی (base)، در نظر می‌گیرد. یکی از مشخصات اصلی تبدیل ویولت این است که این تبدیل توانایی به‌دست آوردن اطلاعات در زمان، تناوب و موقعیت را به‌طور همزمان، داراست. تبدیل ویولت پیوسته توانایی عملکرد در هر مقیاس را دارد هرچند که محاسبه ضرایب ویولت در هر مقیاس بسیار مشکل است و نیازمند زمان محاسباتی بالا و تولید مقدار زیادی داده، می‌باشد. در انفعال تبدیل ویولت تنها یک زیر مجموعه از مقیاس‌ها و موقعیت‌ها به‌منظور انجام محاسبات، انتخاب می‌شود. به‌منظور مدل‌سازی ELM و SAELM با تبدیل موجک، ابتدا داده‌ها باید به دسته‌های مختلف تقسیم شوند. در ابتدا نیاز هست که ورودی مدل شناسایی شود. بدین‌منظور در این مطالعه از تابع خود همبستگی (ACF) استفاده می‌شود. در مطالعه حاضر، با استفاده از تبدیل موجک، سری زمانی اصلی به چندین سری زمانی مختلف که دارای مقیاس‌های مختلفی هستند، تجزیه می‌شود به‌طوری که هر مجموع سری‌های تجزیه شده با سری اصلی برابر است. هر یک از اجزاء تجزیه شده به‌عنوان ورودی مدل SAELM در نظر گرفته می‌شوند.

با توجه به تاخیرهای موثر داده‌های سری زمانی ارائه شده در شکل ۲، هفت مدل مختلف به‌صورت زیر ارائه می‌گردد:

$$\begin{aligned} M1: R(t) &= f(R(t-1)) \\ M2: R(t) &= f(R(t-2)) \\ M3: R(t) &= f(R(t-12)) \\ M4: R(t) &= f(R(t-1), R(t-2)) \\ M5: R(t) &= f(R(t-1), R(t-12)) \\ M6: R(t) &= f(R(t-2), R(t-12)) \\ M7: R(t) &= f(R(t-1), R(t-2), R(t-12)) \quad (10) \end{aligned}$$

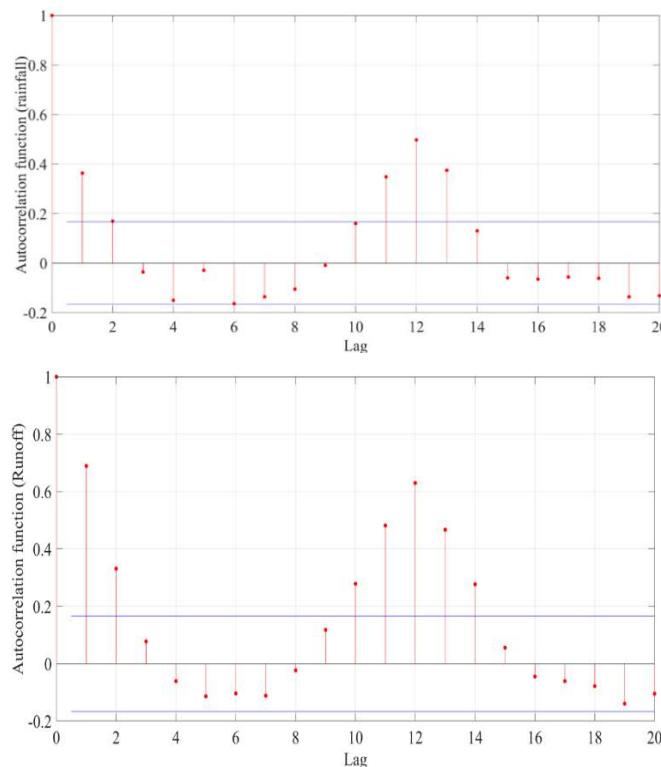
توجه به توضیحات ارائه شده می‌توان گفت که آموزش ELM شامل دو مرحله است: مرحله اول، اختصاص تصادفی وزن‌ها و سوگیری‌ها به نرون‌های لایه پنهان و محاسبه خروجی لایه پنهان ماتریس H و مرحله دوم، محاسبه وزن‌های خروجی با استفاده از شبه معکوس Moore-Penrose ماتریس H و مقادیر هدف برای نمونه‌های آموزشی مختلف. روند آموزش جهت پیدا کردن شبه معکوس Moore-Penrose ماتریس لایه پنهان (H)، سریع است بطوریکه از سرعت بالاتری نسبت به الگوریتم‌های مبتنی بر تکرار رایج مانند لونیگ-مارکوآردت^۱ که در آن هیچ نوع روالی از بهینه‌سازی غیر خطی را در بر نمی‌گیرد، برخوردار است. بنابراین زمان آموزش شبکه به‌طور قابل توجهی کاهش می‌یابد هوانگ و همکاران (۱۰). مدل ELM با استفاده از تعداد زیادی از پیش‌بینی فضای ورودی تصادفی غیرخطی کار می‌کند به‌طوری‌که هر نرون با یک نمونه تصادفی منفرد در ارتباط است.

تکامل تفاضلی

روش بهینه‌سازی تکامل تفاضلی (DE) یکی از تکنیک‌های نسبتاً جدید در زمینه بهینه‌سازی فراکوشی است که توسط استورن و پرایس ارائه شده است. در سال‌های اخیر الگوریتم تکامل تفاضلی به‌عنوان روشی قدرتمند و سریع برای مسائل بهینه‌سازی در فضاهای پیوسته معرفی شده است و توانایی خوبی در بهینه‌سازی توابع غیرخطی مشتق‌ناپذیر دارد. همانند دیگر الگوریتم‌های تکاملی، این الگوریتم با ایجاد یک جمعیت اولیه شروع به کار می‌کند. سپس با اعمال عملگرهایی شامل ترکیب، جهش و تقاطع، نسل فرزند تشکیل شده و در مرحله بعد که مرحله انتخاب نام دارد، نسل فرزند با نسل والد از برای میزان شایستگی که توسط تابع هدف سنجیده می‌شود، مقایسه می‌گردد. سپس بهترین اعضا به‌عنوان نسل بعدی وارد مرحله بعد می‌گردند. این عمل تا رسیدن به نتایج مطلوب ادامه می‌یابد.

ماشین آموزش نیرومند خود تطبیقی

استفاده از الگوریتم تکامل تفاضلی به‌صورت خود تطبیقی توانایی غلبه بر محدودیت‌های موجود مانند پارامترهای کنترل در الگوریتم، انتخاب استراتژی بردار trial را داراست. از این‌رو، الگوریتم ماشین آموزش نیرومند خود تطبیقی (SAELM) جهت بهینه‌سازی وزن‌های ورودی شبکه و سوگیری‌های گره مخفی، توسط کائو و همکاران (۴) ارائه شده است. با داشتن مجموعه داده‌های آموزشی، تعداد L گره مخفی و تابع



شکل ۲- تاخیرهای موثر داده‌های سری زمانی شناسایی شده توسط تابع خود همبستگی
Figure 2. Autocorrelation function for rainfall and runoff time-series

شناسایی خواهند شد. لازم به ذکر است که برای آموزش مدل‌های هوش مصنوعی از ۷۰ درصد مقادیر مشاهداتی و برای تست این مدل‌ها از ۳۰ درصد باقیمانده استفاده شد. مقادیر مشاهداتی بارش و رواناب حوزه رودخانه شهرچای در یک بازه زمانی ۱۸ ساله از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷ مورد استفاده قرار گرفته‌اند. داده‌های این بازه زمانی ۱۷ ساله به صورت ماهانه از ایستگاه هواشناسی بند ارومیه اخذ شده‌اند. علاوه بر این به دلیل محدودیت تعداد صفحات مجله در این مطالعه تنها کلیه نتایج برای شرایط تست مدل‌های هوش مصنوعی گزارش می‌شوند.

نتایج و بحث بارش

مدل‌های SAELM

در این قسمت دقت مدل‌های SAELM1 تا SAELM7 برای تخمین و شبهه‌سازی بارش مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در شکل ۳ مقادیر شاخص‌های آماری مختلف محاسبه شده برای این مدل‌ها قابل مشاهده است. همان‌گونه که در قسمت‌های قبلی بیان شد تاخیرهای شماره (t-1)، (t-2) و (t-12) به عنوان موثرترین تاخیرها شناسایی می‌شوند و با استفاده از این تاخیرهای موثر هفت مدل SAELM متمایز تعریف می‌گردد. به عنوان مثال، مدل SAELM1 مقادیر تابع هدف را با استفاده از تاخیر شماره (t-1) تخمین می‌زند. برای این مدل مقادیر RMSE، VAF و SI به ترتیب مساوی با ۰/۹۳۳، ۰/۵۶۶- و ۱/۱۴۰ بدست آمده‌اند. همچنین برای مدل SAELM1 مقدار NSC مساوی ۳/۴۹۹- محاسبه شد. در

معیارهای بررسی دقت مدل‌های هوش مصنوعی

در مطالعه حاضر به منظور ارزیابی دقت مدل‌های عددی معرفی شده از شاخص‌های آماری ضریب همبستگی (R)، شاخص عملکرد (VAF)، خطای مربعات میانگین ریشه ($RMSE$)، شاخص پراکندگی (SI) و ضریب بهره‌وری نش ساتکلیف (NSC) به صورت زیر استفاده می‌گردد:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (F_i - \bar{F})(O_i - \bar{O})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (F_i - \bar{F})^2 \sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2}} \quad (11)$$

$$VAF = \left(1 - \frac{\text{var}(F_i - O_i)}{\text{var}(F_i)}\right) \times 100 \quad (12)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (F_i - O_i)^2} \quad (13)$$

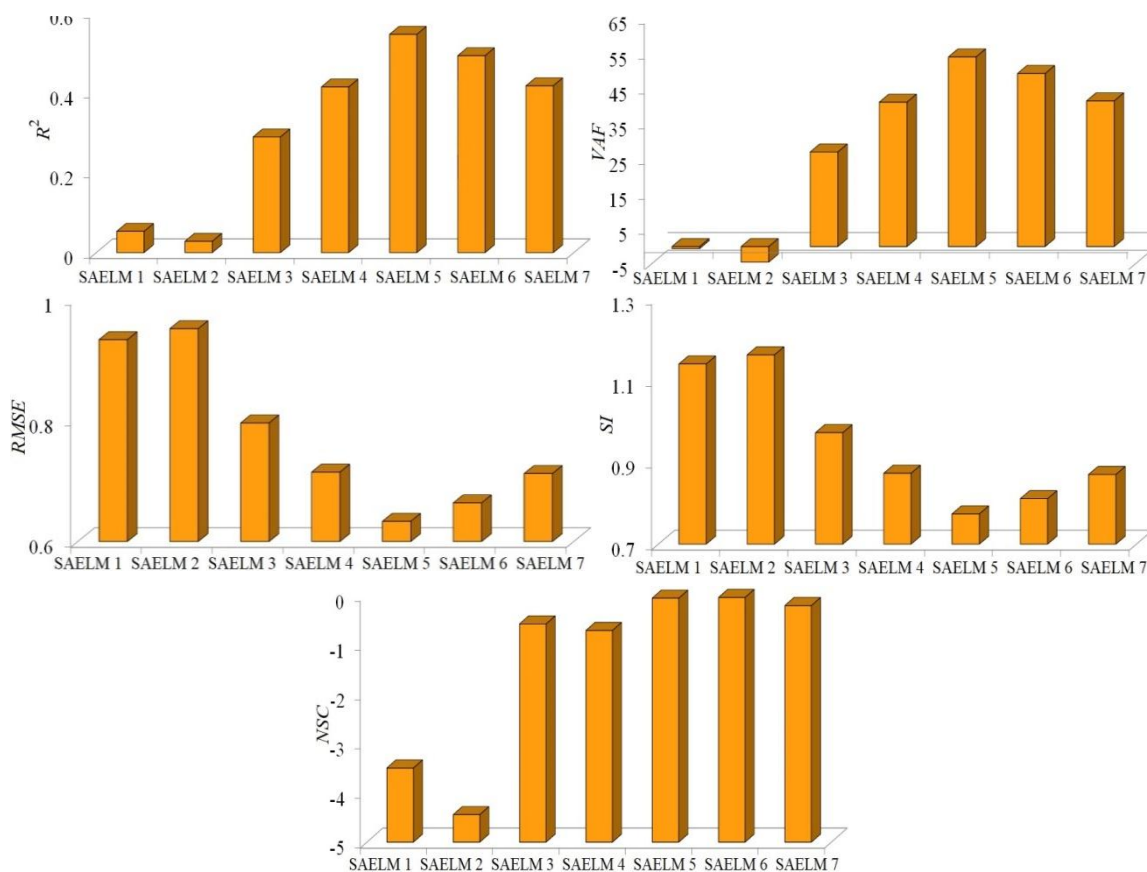
$$SI = \frac{RMSE}{\bar{O}} \quad (14)$$

$$NSC = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - F_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (15)$$

در اینجا O_i مقادیر مشاهداتی، F_i مقادیر تراز پیش‌بینی شده به وسیله مدل‌های عددی، \bar{O} میانگین مقادیر مشاهداتی و n برابر تعداد مقادیر مشاهداتی است. در بخش‌های بعدی، ابتدا مدل‌های SAELM و WSAELM برای تخمین بارش و رواناب مورد ارزیابی قرار می‌گیرند و در ادامه مدل‌های برتر و موثرترین تاخیرها با استفاده از یک تحلیل حساسیت

میان کلیه مدل‌های SAELM که برای شبیه‌سازی بارش تعریف شده‌اند، مدل SAELM5 دارای بیشترین دقت است. مدل SAELM5 تابعی از تاخیرهای شماره (t-1) و (t-12) است و مقادیر شاخص‌های SI و NSC برای آن به ترتیب مساوی با ۰/۷۷۴ و -۰/۰۶۰ بدست آمده‌اند. بعد از مدل SAELM 5، مدل SAELM 6 دارای بیشترین دقت برای تخمین بارش است. به عبارت دیگر مقادیر SI و NSC برای SAELM 6 به ترتیب مساوی با ۰/۸۱۱ و -۰/۰۴۵ محاسبه شده‌اند. مدل SAELM6 مقادیر بارندگی‌ها را با استفاده از تاخیرهای شماره (t-2) و (t-12) پیش‌بینی می‌نماید. مدل SAELM7 نیز مقادیر بارندگی‌ها را توسط کلیه تاخیرهای موثر یعنی (t-1)، (t-2) و (t-12) شبیه‌سازی نمود. برای SAELM7 مقادیر شاخص‌های آماری RMSE و NSC به ترتیب مساوی با ۰/۷۱۲ و -۰/۲۰۹ محاسبه شده‌اند.

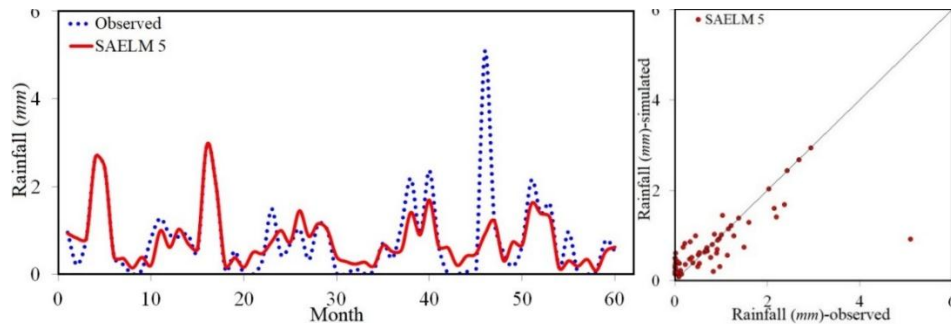
میان کلیه مدل‌های SAELM که برای شبیه‌سازی بارش تعریف شده‌اند، مدل SAELM2 دارای بیشترین مقدار خطا است. به عنوان مثال، مقادیر شاخص‌های آماری SI و RMSE برای این مدل به ترتیب مساوی با ۱/۱۶۲ و ۰/۹۵۱ بدست آمده‌اند. این در حالی است که مدل SAELM 2 مقادیر بارش‌ها را توسط تاخیر (t-2) شبیه‌سازی می‌نماید. در مقابل مدل SAELM3 مقادیر تابع هدف را توسط تاخیر شماره (t-12) شبیه‌سازی می‌نماید. برای SAELM3 مقادیر RMSE و NSC به ترتیب مساوی با ۰/۷۹۶ و -۰/۵۸۲ هستند. همچنین، مدل SAELM4 مقادیر بارش‌ها را بر حسب تاخیرهای شماره (t-1) و (t-2) پیش‌بینی می‌نماید و مقدار شاخص NSC برای آن مساوی با -۰/۷۱۵ می‌باشد. برای SAELM4 مقادیر SI، RMSE و VAF به ترتیب مساوی با ۰/۷۱۵، ۰/۸۷۳ و ۴۱/۰۴۳ تخمین زده شده‌اند. در



شکل ۳- نتایج شاخص‌های آماری محاسبه شده برای مدل‌های SAELM
Figure 3. Results of calculated statistical indices for different SAELM models

مساوی با ۰/۰۵۳، ۰/۰۲۸ و ۰/۲۸۹ می‌باشند. این در حالی است که مقادیر ضریب تبیین مدل‌های SAELM4، SAELM5 و SAELM6 به ترتیب برابر با ۰/۴۱۴، ۰/۵۴۵ و ۰/۴۹۲ بدست آمده‌اند. همچنین، مقدار شاخص آماری R^2 برای مدل SAELM7 مساوی با ۰/۴۱۷ تخمین زده شده است.

در شکل ۴ نیز یک مقایسه بین مقادیر بارش شبیه‌سازی شده توسط مدل برتر SAELM و مشاهداتی به همراه نمودارهای پراکندگی آنها به تصویر کشیده شده است. بر اساس نتایج مدل‌سازی‌ها، مدل SAELM2 دارای کمترین همبستگی و مدل SAELM5 دارای بیشترین همبستگی با مقادیر مشاهداتی است. به بیان دیگر، مقدار R^2 برای مدل‌های SAELM1، SAELM2 و SAELM3 به ترتیب

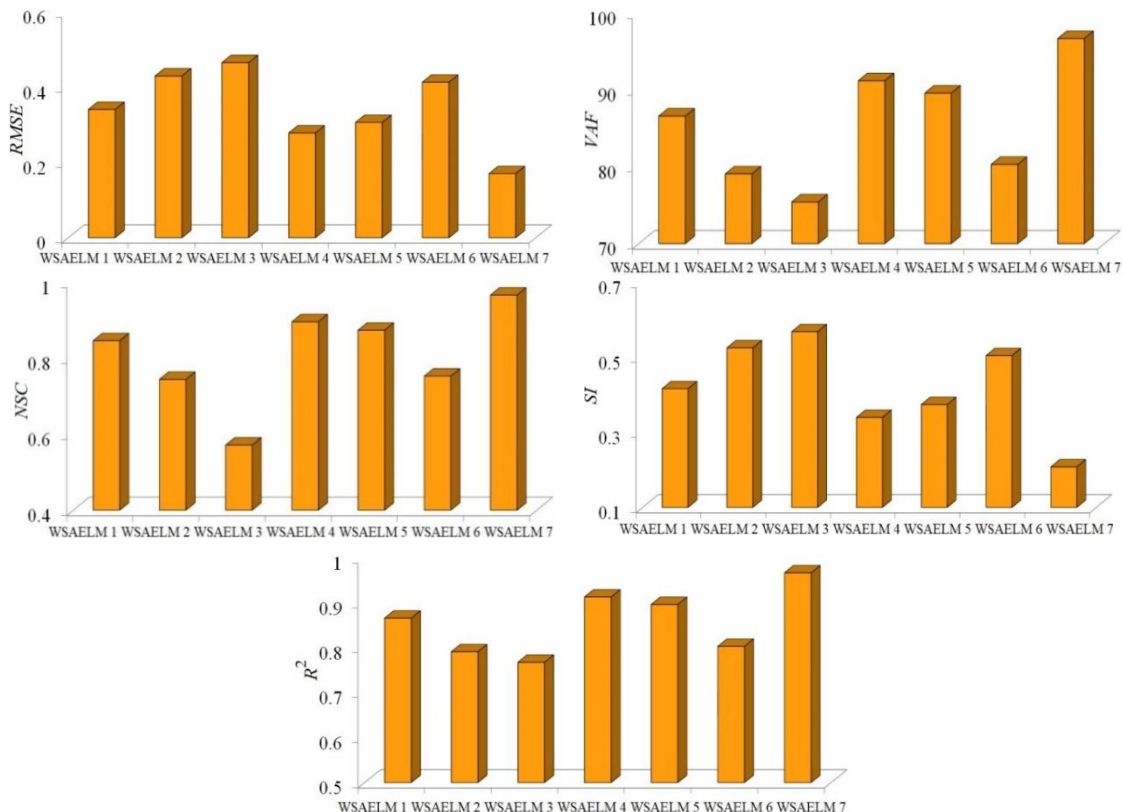


شکل ۴- مقایسه مقادیر بارندگی شبه‌سازی شده توسط مدل‌های SAELEM با مقادیر مشاهده‌ای و نمودارهای پراکندگی
Figure 4. Comparison of rainfall values simulated by SAELEM with observed data and scatter plots

محاسبه شده‌اند این در حالی است که مقادیر NSC برای مدل‌های WSAELEM5 و WSAELEM6 به ترتیب برابر با ۰/۸۷۲ و ۰/۵۲ تخمین زده شده‌اند. برای مدل WSAELEM5 مقادیر شاخص‌های آماری RMSE و VAF به ترتیب مساوی با ۰/۳۰۶ و ۸۹/۵۶۱ هستند در حالی که این شاخص‌ها برای مدل WSAELEM 6 به ترتیب مساوی ۰/۴۱۳ و ۸۰/۳۹۸ بدست آمده‌اند. در میان کلیه مدل‌های هیبریدی، مدل WSAELEM 7 دارای بیشترین دقت برای شبه‌سازی بارش است. این در حالی است که مقادیر VAF و RMSE برای این مدل هیبریدی به ترتیب برابر با ۹۶/۶۵۶ و ۰/۱۷۰ هستند.

مدل‌های WSAELEM

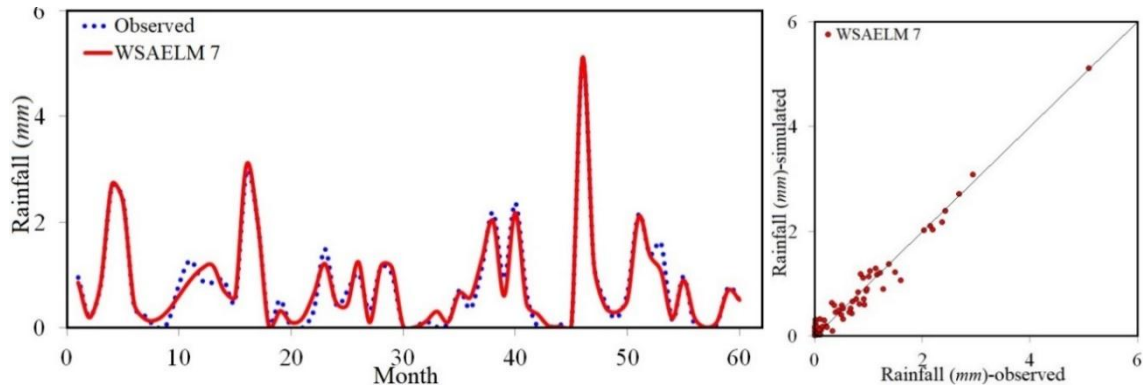
در این قسمت به ارزیابی دقت مدل‌های ترکیبی WSAELEM برای تخمین مقادیر بارش پرداخته می‌شود. مقادیر شاخص‌های آماری محاسبه شده برای مدل‌های WSAELEM1 to WSAELEM7 در شکل ۵ نشان داده شده است. برای مدل WSAELEM1 مقادیر SI و NSC به ترتیب مساوی با ۰/۴۱۶ و ۰/۸۴۵ محاسبه شده‌اند. همچنین، مقادیر NSC و VAF برای SAELEM2 به ترتیب برابر ۰/۷۴۳ و ۷۹/۰۶۵ بدست آمده‌اند. لازم به ذکر است که در میان کلیه مدل‌های هیبریدی مدل WSAELEM3 دارای کمترین دقت و بیشترین مقدار خطا است. برای مدل مذکور مقادیر NSC، SI و RMSE به ترتیب مساوی با ۰/۵۷۱، ۰/۵۶۸ و ۰/۴۶۵



شکل ۵- نتایج شاخص‌های آماری برای شبه‌سازی توسط مدل‌های WSAELEM مختلف
Figure 5. Results of statistical indices for simulating rainfall values with different WSAELEM models

همبستگی با مقادیر مشاهداتی است. لازم به ذکر است که مدل WSAELM7 دارای بیشترین مقدار همبستگی با مقادیر مشاهداتی است. برای WSAELM7 مقدار R^2 مساوی با ۰/۹۶۷ است. این در حالی است که این شاخص آماری برای مدل‌های WSAELM4، WSAELM5 و WSAELM6 به ترتیب برابر با ۰/۹۱۳، ۰/۸۹۶ و ۰/۸۰۳ تخمین زده شده است.

در ادامه به مقایسه مقادیر بارش شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های WSAELM با مقادیر مشاهداتی به همراه نمودارهای پراکندگی پرداخته می‌شود که در شکل ۶ به تصویر کشیده شده است. با توجه به نتایج مدل‌سازی‌ها، مقادیر ضریب تبیین برای مدل‌های WSAELM1، WSAELM2 و WSAELM3 به ترتیب مساوی با ۰/۸۶۶، ۰/۷۹۱ و ۰/۷۶۸ محاسبه شده‌اند. در میان کلیه مدل‌های هیبریدی هوش مصنوعی، مدل 3 WSAELM دارای کمترین مقدار



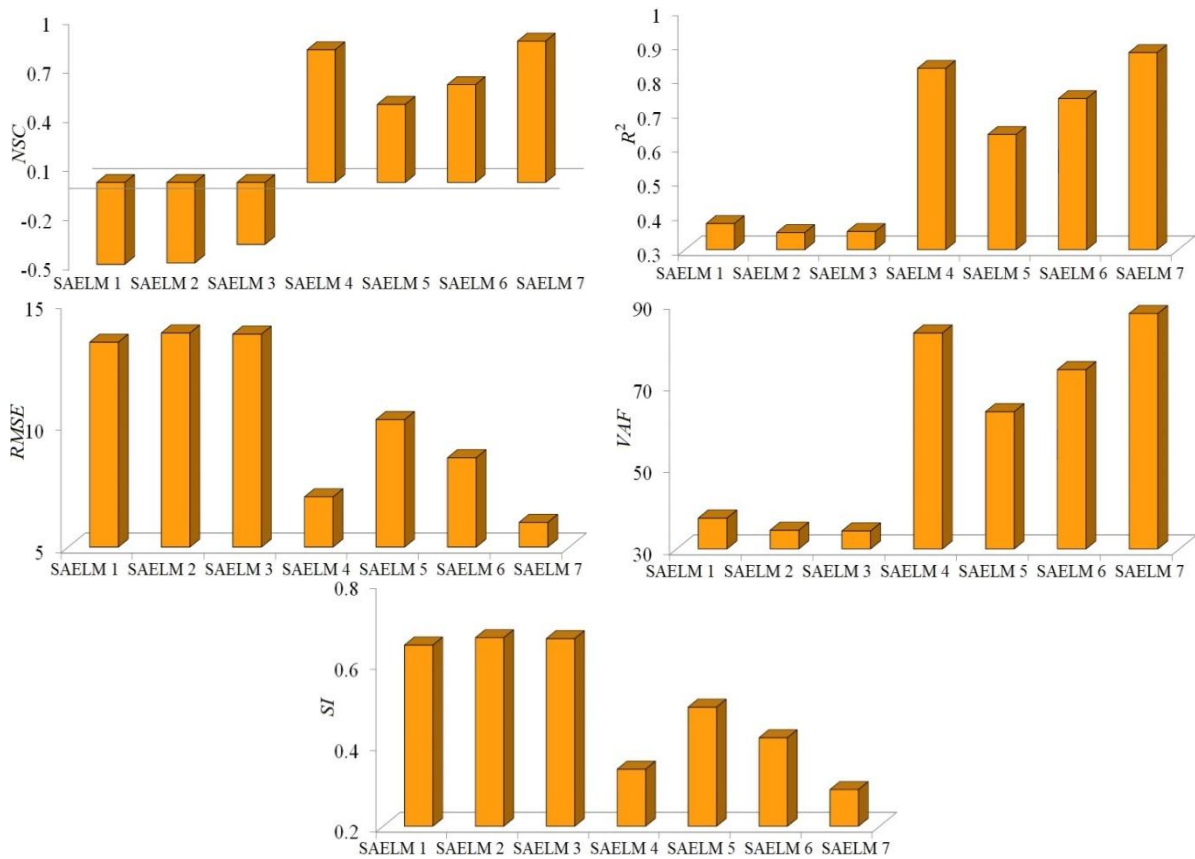
شکل ۶- مقایسه مقادیر بارندگی شبیه‌سازی شده توسط WSAELM با مقادیر مشاهداتی و نمودارهای پراکندگی
Figure 6. Comparison of rainfall values simulated by WSAELM with observed data and scatter plots

شبیه‌سازی رواناب است. لازم به ذکر است که برای مدل SAELM3 مقادیر SI، RMSE و VAF به ترتیب مساوی با ۱۳/۷۱۸، ۰/۶۶۲ و ۳۴/۳۹۵ محاسبه شده‌اند. همچنین مقدار NSC برای مدل SAELM3 مساوی با ۰/۳۷۸- است. این در حالی است که مقادیر RMSE و VAF برای این مدل نیز به ترتیب برابر با ۷/۰۴۵ و ۸۲/۷۷۹ می‌باشند. لازم به ذکر است که برای مدل SAELM6 نیز مقادیر SI، VAF و RMSE به ترتیب برابر با ۷۳/۸۲۱، ۰/۴۱۸ و ۸/۶۵۹ بدست آمده‌اند. در میان کلیه مدل‌های SAELM تعریف شده برای شبیه‌سازی رواناب، مدل SAELM7 دارای بیشترین دقت و کمترین مقدار خطا است. به بیان دیگر، مقادیر NSC، RMSE و VAF برای مدل SAELM7 به ترتیب مساوی با ۰/۸۶۲، ۰/۱۱۳ و ۸۷/۵۲۸ هستند.

رواناب

مدل‌های SAELM

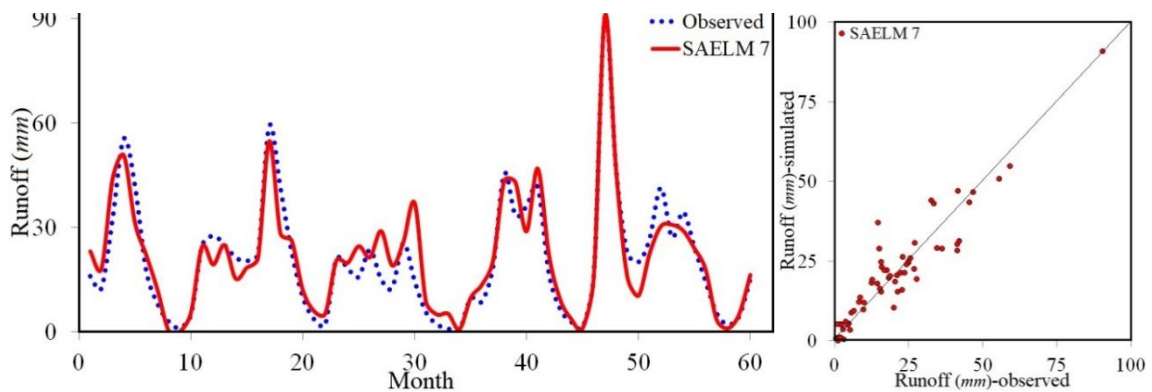
در این بخش به ارزیابی دقت مدل‌های هوش مصنوعی SAELM برای شبیه‌سازی رواناب پرداخته می‌شود. در شکل ۷ نیز نتایج شاخص‌های آماری محاسبه شده برای مدل‌های SAELM1 to SAELM7 به تصویر کشیده شده است. به عنوان مثال، برای مدل SAELM1 مقادیر RMSE و SI به ترتیب مساوی با ۱۳/۳۸۷ و ۰/۶۴۶ بدست آمده‌اند. این در حالی است که شاخص‌های آماری VAF و NSC برای این مدل هوش مصنوعی به ترتیب برابر با ۳۷/۵۳۲ و ۰/۵۰۹- هستند. این در حالی است که مقادیر شاخص‌های آماری NSC، SI و VAF برای این مدل به ترتیب مساوی با ۰/۴۹۱-، ۰/۶۶۵ و ۳۴/۵۴۹ بدست آمده‌اند. لازم به یادآوری است که SAELM2 ضعیف‌ترین مدل هوش مصنوعی برای



شکل ۷- نتایج شاخص‌های آماری برای شبهه‌سازی رواناب توسط مدل‌های SAELM مختلف
Figure 7. Results of statistical indices for simulating runoff values with different SAELM models

مساوی ۰/۳۵۰ بدست آمده است. این در حالی است که مقدار شاخص R2 برای مدل SAELM 7 برابر ۰/۸۷۶ محاسبه شده است. لازم به ذکر است که مقدار R2 برای مدل‌های SAELM1، SAELM3 و SAELM4 به ترتیب مساوی با ۰/۳۶، ۰/۳۵۳ و ۰/۸۳۰ هستند. در مقابل مقدار ضریب تبیین برای مدل‌های SAELM5 و SAELM6 به ترتیب برابر با ۰/۸۳۷ و ۰/۷۴۱ می‌باشند.

لازم به ذکر است که مقایسه مقادیر رواناب شبهه‌سازی توسط مدل‌های SAELM با مقادیر مشاهداتی به همراه نمودارهای پراکندگی آنها در شکل ۸ قابل مشاهده است. با توجه به نتایج شبهه‌سازی‌ها، مدل SAELM3 و SAELM7 به ترتیب ضعیف‌ترین و بهترین مدل برای شبهه‌سازی رواناب شناسایی شدند. مدل SAELM 2 کمترین مقدار همبستگی را با مقادیر مشاهداتی دارد و مقدار ضریب تبیین برای آن

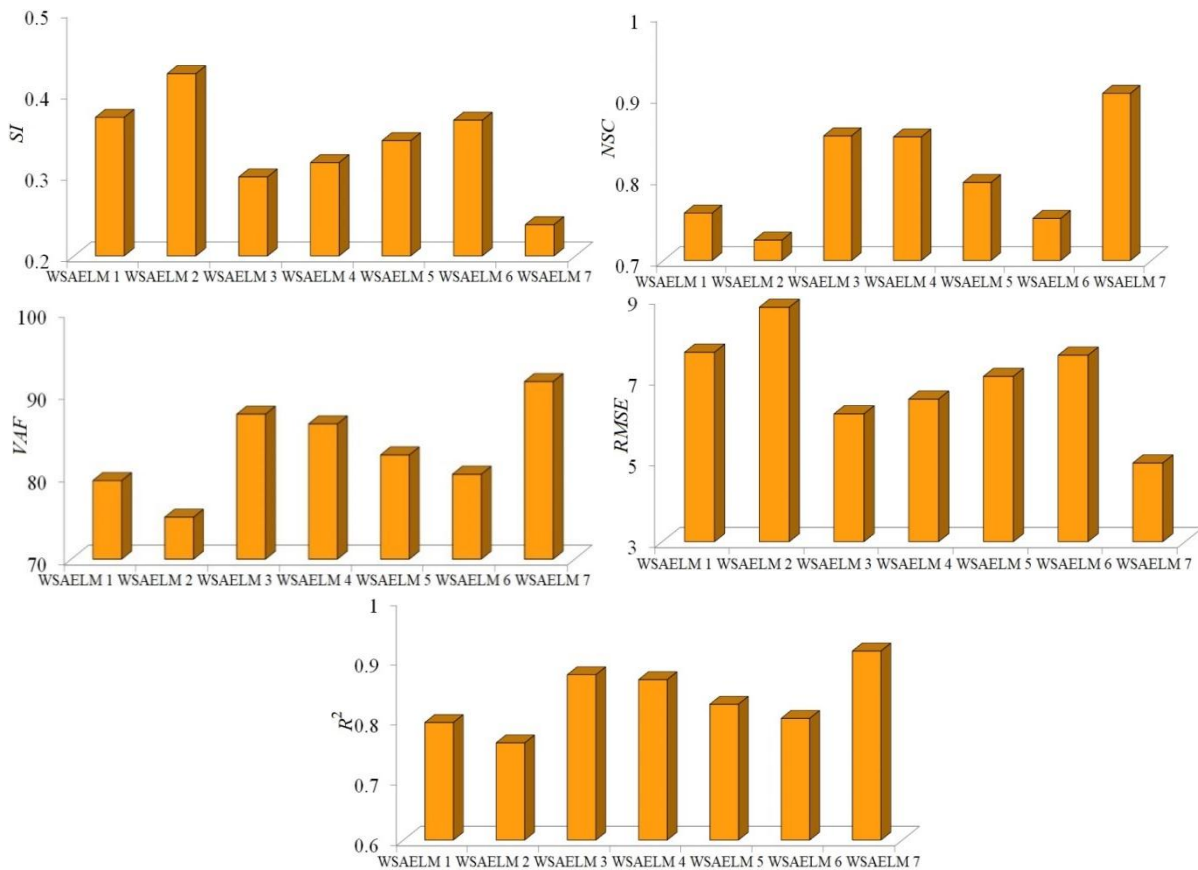


شکل ۸- مقایسه مقادیر رواناب شبهه‌سازی شده توسط SAELM با مقادیر مشاهداتی و نمودارهای پراکندگی
Figure 8. Comparison of runoff values simulated by SAELM with observed data and scatter plots

مدل‌های WSAELM

در این قسمت عملکرد مدل‌های هیبریدی WSAELM برای شبیه‌سازی رواناب مورد ارزیابی قرار خواهند گرفت. نتایج شاخص‌های آماری مختلف برای مدل‌های WSAELM1 تا WSAELM7 در شکل ۹ به تصویر کشیده شده است. بر اساس نتایج شبیه‌سازی‌ها، مدل WSAELM7 دارای بیشترین دقت برای تخمین رواناب است. به عبارت دیگر، مقادیر RMSE، VAF و NSC برای WSAELM7 به ترتیب برابر با ۴/۹۳۷، ۹۱/۴۹۲ و ۰/۹۰۵ هستند. در مقابل، مدل WSAELM2 دارای بیشترین خطا برای

شبیه‌سازی مقدار رواناب است و مقادیر SI و NSC برای این مدل هوش مصنوعی به ترتیب مساوی با ۰/۴۲۴ و ۰/۷۲۵ محاسبه شده‌اند. علاوه بر این، مقادیر شاخص‌های VAF و RMSE برای مدل WSAELM1 به ترتیب برابر با ۷۹/۵۰۴ و ۷/۶۶۵ بدست آمده‌اند. این در حالی است که برای WSAELM3 مقادیر NSC و SI به ترتیب مساوی با ۰/۸۵۳ و ۰/۲۹۷ می‌باشند. علاوه بر این، برای مدل WSAELM5 مقادیر VAF، NSC و SI به ترتیب برابر با ۸۲/۶۱۱، ۰/۷۹۵ و ۰/۳۴۱ تخمین زده شده‌اند.

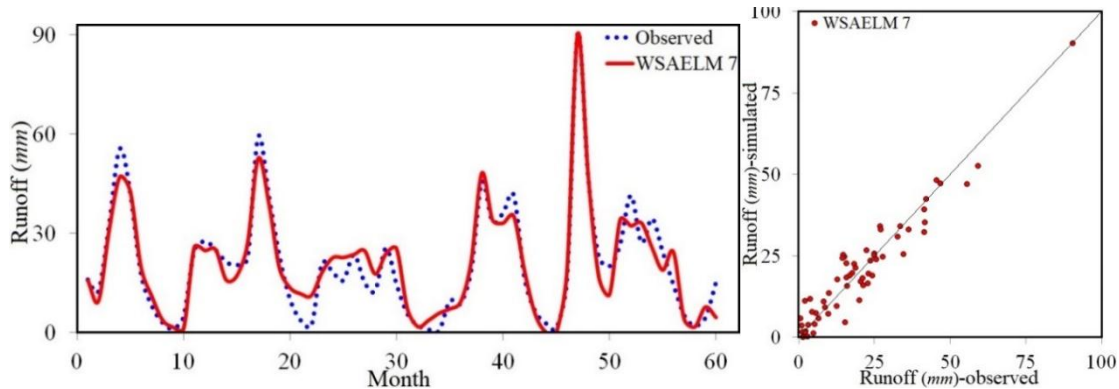


شکل ۹- نتایج شاخص‌های آماری برای شبیه‌سازی رواناب توسط مدل‌های WSAELM مختلف

Figure 9. Results of statistical indices for simulating runoff values with different SAEML models.

مساوی با ۰/۷۶۲ و ۰/۹۱۵ بدست آمده‌اند. لازم به ذکر است که مقدار ضریب تبیین برای مدل‌های WSAELM 1، WSAELM 3 و WSAELM 4 به ترتیب مساوی با ۰/۷۹۶، ۰/۸۶۷ و ۰/۸۶ می‌باشند. این در حالی است که برای مدل‌های هوش مصنوعی هیبریدی WSAELM 5 و WSAELM 6 مقدار شاخص آماری R² به ترتیب مساوی با ۰/۸۲۶ و ۰/۸۰۳ بدست آمده‌اند.

در این بخش نیز یک مقایسه بین رواناب شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های WSAELM و مقادیر مشاهداتی صورت می‌گیرد. در شکل ۱۰ این مقایسه به همراه نمودارهای پراکندگی این مدل‌ها به تصویر کشیده شده است. بر اساس نتایج شبیه‌سازی‌ها، مدل‌های WSAELM 2 و WSAELM 7 به ترتیب دارای کمترین همبستگی و بیشترین همبستگی با مقادیر رواناب مشاهداتی هستند. به بیان دیگر، مقدار شاخص آماری R² برای WSAELM 7 و WSAELM 2 به ترتیب



شکل ۱۰- مقایسه مقادیر رواناب شبه‌سازی شده توسط مدل‌های مختلف WSAELM با مقادیر مشاهداتی و نمودارهای پراکندگی
Figure 10. Comparison of runoff values simulated by different WSAELM models with observed data and scatter plots

بودن \bar{e} به معنای overestimated بودن مدل عددی است. همچنین، با استفاده از پارامترهای \bar{e} و S_e یک باند اطمینان در اطراف مقادیر خطای پیش‌بینی توسط روش ویلسون ایجاد می‌شود. سپس با استفاده از $\pm 1.64S_e$ به صورت تقریبی منجر به 95% باند اطمینان می‌گردد. پارامترهای تحلیل عدم قطعیت مدل‌های برتر در جدول‌های ۱ و ۲ قابل مشاهده است. در این جدول‌ها عرض باند عدم قطعیت با WUB و 95 درصد عدم قطعیت با PEI نشان داده می‌شود. با توجه به نتایج تحلیل عدم قطعیت، مدل‌های WSAELM 1، WSAELM 3، WSAELM 6 و WSAELM 7 برای شبه‌سازی بارش دارای عملکردی بیشتر از واقعی هستند در حالی که مدل‌های هوش مصنوعی WSAELM 2، WSAELM 4 و WSAELM 5 برای تخمین بارش عملکردی کمتر از واقعی دارند. در مقابل، برای شبه‌سازی رواناب تنها مدل WSAELM 5 دارای عملکردی بیشتر از واقعی است و بقیه مدل‌ها شامل WSAELM 1 تا WSAELM 4، WSAELM 6 و WSAELM 7 عملکردی کمتر از واقعی از خود نشان دادند.

تحلیل عدم قطعیت

در این قسمت با انجام یک تحلیل عدم قطعیت نحوه عملکرد مدل‌های هوش مصنوعی WSAELM که مقادیر بارش و رواناب توسط آنها تخمین زده شده، مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت. به‌طور کلی تحلیل عدم قطعیت یک تحلیل کارآمد جهت ارزیابی عملکرد مدل‌های عددی استفاده می‌شوند. به عبارت دیگر، تحلیل عدم قطعیت برای سنجش خطای پیش‌بینی شده توسط مدل‌های عددی و بررسی نحوه عملکرد این مدل‌ها اجرا می‌شود. به طور کلی خطای پیش‌بینی شده توسط مدل عددی برابر است با مقادیر شبه‌سازی شده توسط مدل عددی (P_i) منهای مقادیر مشاهداتی (O_i) است ($e_i = P_i - O_i$). همچنین، میانگین خطای پیش‌بینی شده بصورت $e = \sum_{i=1}^n e_i$ محاسبه می‌شود. همچنین، انحراف استاندارد مقادیر خطای پیش‌بینی شده به صورت $S_e = \sqrt{\sum_{i=1}^n (e_i - \bar{e})^2 / n - 1}$ می‌باشد. لازم به ذکر است که منفی بودن مقدار \bar{e} نشان می‌دهد که مدل عددی دارای عملکردی underestimated است و مثبت

جدول ۱- نتایج تحلیل عدم قطعیت مدل‌های WSAELM برای تخمین بارندگی

Table 1. Results of uncertainty analysis of WSAELM models for estimating rainfall values

Model	# samples	\bar{e}	S_e	WUB	95% PEI
WSAELM 1	۶۰	-۰/۰۰۰۴	-۰/۳۴۴	±۰/۰۸۹	-۰/۰۸۸ تا ۰/۰۸۹
WSAELM 2	۶۰	-۰/۰۶۰	-۰/۴۲۹	±۰/۱۱۱	-۰/۱۷۱ تا ۰/۰۵۱
WSAELM 3	۶۰	-۰/۰۶۰	-۰/۴۶۵	±۰/۱۲	-۰/۰۶۰ تا ۰/۱۸۰
WSAELM 4	۶۰	-۰/۰۳۲	-۰/۲۷۹	±۰/۰۷۳	-۰/۱۰۴ تا ۰/۰۴۰
WSAELM 5	۶۰	-۰/۰۵۸	-۰/۳۰۳	±۰/۰۷۹	-۰/۱۳۲ تا ۰/۰۲۰
WSAELM 6	۶۰	-۰/۰۰۳	-۰/۴۱۷	±۰/۱۰۸	-۰/۱۰۵ تا ۰/۱۱۰
WSAELM 7	۶۰	-۰/۰۰۵	-۰/۱۷۲	±۰/۰۴۵	-۰/۰۳۹ تا ۰/۰۵۰

جدول ۲- نتایج تحلیل عدم قطعیت مدل‌های WSAELM برای تخمین رواناب

Table 2. Results of uncertainty analysis of WSAELM models for estimating runoff values

Model	# samples	\bar{e}	S_e	WUB	95% PEI
WSAELM 1	۶۰	-۰/۲۱۱	۷/۷۲۷	±۱/۹۹۷	-۲/۲۰۸ تا ۱/۷۸۵
WSAELM 2	۶۰	-۲/۳۶۰	۸/۵۲۰	±۲/۲۰۰	-۴/۵۶۰ تا -۰/۱۶۰
WSAELM 3	۶۰	-۱/۴۶۱	۶/۰۲۲	±۱/۵۵۶	-۳/۰۱۶ تا ۰/۰۹۵
WSAELM 4	۶۰	-۱/۸۳۹	۶/۳۰۰	±۱/۶۲۸	-۳/۴۶۶ تا -۰/۲۱۱
WSAELM 5	۶۰	-۰/۴۳۵	۷/۱۱۷	±۱/۸۳۹	-۱/۴۰۳ تا ۲/۲۷۴
WSAELM 6	۶۰	-۱/۰۵۶	۷/۵۸۱	±۱/۹۵۹	-۳/۰۱۵ تا ۰/۹۰۲
WSAELM 7	۶۰	-۰/۰۶۶	۴/۹۷۸	±۱/۲۸۶	-۱/۳۵۲ تا ۱/۲۲۰

شدند و دو الگوریتم جدید WSAELM و SAELM توسعه داده شدند. سپس با استفاده از تابع خود همبستگی تاخیرهای موثر، داده‌های سری زمانی معرفی گردیدند. با استفاده از این تاخیرها برای هر یک از مدل‌های WSAELM و SAELM هفت مدل مختلف تعریف شد. سپس با تجزیه و تحلیل نتایج کلیه مدل‌های هوش مصنوعی، مدل برتر برای تخمین بارش و رواناب معرفی شد. این مدل مقادیر تابع هدف را با دقت بسیار خوبی شبیه‌سازی کرد. به‌عنوان مثال، مقادیر RMSE و VAF مدل برتر برای تخمین رواناب به ترتیب مساوی با ۴/۹۳۷ و ۹۱/۴۹۲ محاسبه شدند. لازم به ذکر است که تبدیل ویولت دقت مدل‌سازی را به شکل قابل توجهی افزایش داد. نتایج این مطالعه حاکی از آن بود که تاخیرهای شماره (t-1)، (t-2) و (t-12) موثرترین تاخیرهای داده‌های سری زمانی بارش و رواناب بودند. در انتها نحوه عملکرد مدل‌های هوش مصنوعی برتر توسط یک تحلیل عدم قطعیت مورد ارزیابی قرار گرفتند که نشان داده شد مدل برتر هوش مصنوعی مقادیر بارش‌ها را بیشتر از مقادیر مشاهداتی و مقادیر رواناب را کمتر از مقادیر مشاهداتی را پیش‌بینی کرد.

بنابراین با توجه به نتایج شبیه‌سازی بارش و رواناب توسط مدل هیبریدی هوش مصنوعی WSAELM، مدل WSAELM 7 به‌عنوان مدل برتر شناسایی شد زیرا دارای کمترین خطا و بیشترین همبستگی با مقادیر مشاهداتی بود. این مدل توانایی قابل قبولی برای تخمین و شبیه‌سازی توابع هدف از خود نشان داد. علاوه بر این، تاخیرهای (t-1)، (t-2) و (t-12) به‌عنوان موثرترین تاخیرها برای شبیه‌سازی توابع بارش و رواناب توسط مدل هوش مصنوعی در نظر گرفته شدند. به‌عنوان یکی از مهمترین نتایج این تحقیق باید بیان شود که تبدیل ویولت دقت مدل SAELM را به شکل قابل توجهی افزایش داد.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه، داده‌های بلندمدت سری زمانی بارش و رواناب برای حوضه رودخانه شهرچای که در غرب دریاچه ارومیه واقع شده توسط یک مدل نوین هیبریدی هوش مصنوعی شبیه‌سازی شد. برای تعریف مدل هوش مصنوعی مذکور سه الگوریتم ماشین آموزش نبرومند (ELM)، تکامل تفاضلی (DE) و تبدیل موجک (WT) با هم دیگر ترکیب

منابع

1. Akrami, S.A., V. Nourani and S.J.S. Hakim. 2014. Development of nonlinear model based on wavelet-ANFIS for rainfall forecasting at Klang Gates Dam. *Water resources management*, 28(10): 2999-3018.
2. Azad, A., M. Manoochehri, H. Kashi, S. Farzin, H. Karami, V. Nourani and J. Shiri. 2019. Comparative evaluation of intelligent algorithms to improve adaptive neuro-fuzzy inference system performance in precipitation modelling. *Journal of Hydrology*, 571: 214-224.
3. Baba Ali, H. and R. Dehghani. 2017. Comparison of intelligent models in estimating monthly precipitation of Kaka Reza. *Ecology*, 4(1): 1-11.
4. Cao, J., Z. Lin. and G. Huang. 2012. Self-Adaptive Evolutionary Extreme Learning Machine. *Neural processing letters*, 36: 285-305.
5. Chang, T.K., A. Talei, C. Quek and V.R. Pauwels. 2018. Rainfall-runoff modelling using a self-reliant fuzzy inference network with flexible structure. *Journal of hydrology*, 564: 1179-1193.
6. Dabral, P.P. and M.Z. Murry. 2017. Modelling and forecasting of rainfall time series using SARIMA. *Environmental Processes*, 4(2): 399-419.
7. Danladi, A., M. Stephen, B.M. Aliyu, G.K. Gaya, N.W. Silikwa and Y. Machael. 2018. Assessing the influence of weather parameters on rainfall to forecast river discharge based on short-term. *Alexandria Engineering Journal*, 57(2): 1157-1162.
8. Ghorbani, M., A. Azani and S. Mahmoudi Vanolya. 2015. Rainfall-Runoff Modeling Using Hybrid Intelligent Models. *Iran Water Resources Research*, 11(2): 146-150.
9. Hasanpour Kashani M., M.A. Ghorbani, Y. Dinpazhouh and S. Shahmorad. 2016. Rainfall-Runoff Simulation in the Navrood River basin using Truncated Volterra Model and Artificial Neural Networks. *Jwmr*, 6(12): 1-10
10. Huang, G.B., Q.Y. Zhu and C.K. Siew. 2004. Extreme learning Machine: a new learning scheme of feedforward neural networks. *International Joint Conference on Neural Networks*, 2: 985-90.

11. Khalili, N., S.R. Khodashenas, K. Davari and M. Mousavi Bayegi. 2008. Prediction of daily precipitation using artificial neural networks, case study: synoptic station of Mashhad. *Watershed research*, 89-99.
12. Kumar, N and G.K. Jha. 2013. A time series an approach for weather forecasting. *Int J Control Theory Comput Model (IJCTCM)*, 3(1): 19-25.
13. Lee, S., S. Cho and P.M. Wong. 1998. Rainfall prediction using artificial neural networks. *Journal of geographic information and Decision Analysis*, 2(2): 233-242.
14. Mehr, A.D., V. Nourani, V.K. Khosrowshahi and M.A. Ghorbani. 2019. A hybrid support vector regression–firefly model for monthly rainfall forecasting. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16(1): 335-346.
15. Mekanik, F., M.A. Imteaz and A. Talei. 2016. Seasonal rainfall forecasting by adaptive network-based fuzzy inference system (ANFIS) using large scale climate signals. *Climate dynamics*, 46(9-10): 3097-3111.
16. Mislán, H., S. Hardwinarto and M.A. Sumaryono. 2015. Rainfall monthly prediction based on artificial neural network: a case study in Tenggarong Station, East Kalimantan-Indonesia. *Procedia Computer Science*, 59: 142-151.
17. Memarian H, M. Pourreza Bilondi and Z.K. Zinat Komeh. 2019. Parameters Optimization of KINEROS2 using Particle Swarm Optimization Algorithm for Single Event Rainfall-Runoff Simulation (Case Study: Tamar Watershed, Golestan, Iran). *Jwmr*, 9(18): 91-110
18. Nasserri, M., K. Asghari and M.J. Abedini. 2008. Optimized scenario for rainfall forecasting using genetic algorithm coupled with artificial neural network. *Expert Systems with Applications*, 35(3): 1415-1421.
19. Price, K., R.M. Storn and J.A. Lampinen. 2006. *Differential evolution: a practical approach to global optimization*. Springer Science & Business Media.
20. Purnemat rudsari, A., K. Ghaderi and S. Karimi. 2015. Rainfall Runoff Modeling using Group Method of Data Handling (GMDH) and Artificial Neural Network (ANN) IN in Polrood Basin. *Journal of Watershed Management Research*, 10: 68-84 (In Persian).
21. Purnomo, H.D., K.D. Hartomo and S.Y.J. Prasetyo. 2017. Artificial neural network for monthly rainfall rate prediction. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 180(1): 012057.
22. Shafaei, M., J. Adamowski, A. Fakheri-Fard, Y. Dinpashoh and K. Adamowski. 2016. A wavelet-SARIMA-ANN hybrid model for precipitation forecasting. *Journal of Water and Land Development*, 28(1): 27-36.
23. Toth, E., A. Brath and A. Montanari. 2000. Comparison of short-term rainfall prediction models for real-time flood forecasting. *Journal of Hydrology*, 239(1-4): 132-147.
24. Wong, K.W., P.M. Wong, T.D. Gedeon and C.C. Fung. 1999. Rainfall prediction using neural fuzzy technique. URL, 213-221.
25. Xiang, Y., L. Gou, L. He, S. Xia and W. Wang. 2018. A SVR–ANN combined model based on ensemble EMD for rainfall prediction. *Applied Soft Computing*, 73: 874-883.
26. Yaseen, Z.M., M.I. Ghareb, I. Ebtehaj, H. Bonakdari, R. Siddique, S. Heddad and R. Deo. 2018. Rainfall pattern forecasting using novel hybrid intelligent model based ANFIS-FFA. *Water resources management*, 32(1): 105-122.
27. Zarei, M.M., M.T. Dastorani, M. Mesdaghi and M. Eshghizadeh. 2018. Evaluation of the Efficiency of Different Artificial Intelligence and Statistical Methods in Estimating the Amount of Runoff (Case Study: Shahid Noori Watershed of Kakhk, Gonabad). *Journal of Watershed Management Research*, 8(16): 11-21 (In Persian).

Simulation of Rainfall- Runoff using Novel Learning Machine in Shaharchay River Basin

Amir Alizadeh¹, Ahmad Rajabi², Saeid Shabanlou³, Behrouz Yaghoubi² and Fariborz Yosefvand²

1- Ph.D. Candidate, Department of Water Engineering, Kermanshah Branch, Islamic Azad University, Kermanshah, Iran

2- Assistant Professor, Department of Water Engineering, Kermanshah Branch, Islamic Azad University, Kermanshah, Iran (Corresponding author: ahmad.rajabi1974@gmail.com)

3- Associate Professor, Department of Water Engineering, Kermanshah Branch, Islamic Azad University, Kermanshah, Iran

Received: April 17, 2020

Accepted: July 12, 2020

Abstract

In this paper, the precipitation and runoff time-series data of the Shaharchay River basin from 2000 to 2017 were simulated by using a novel hybrid artificial intelligence (AI) technique. In order to develop this AI model, the extreme learning machine (ELM), differential evolution (DE) and wavelet transform (WT) are combined and then the SAELM and WASAELM hybrid models are provided. Initially, the most effective lags of the time-series data are distinguished using the autocorrelation function. After that, using these lags, seven artificial intelligence models are defined for each of the SAELM and the WASAELM models. Additionally, 70% of the observational data are employed for training the artificial intelligence models and the rest (30%) for testing them. For WASAELM7 as the best model, the values of R^2 , the scatter index (SI), and the Nash-Sutcliffe efficiency coefficient (NSC) for simulating precipitation are yielded 0.967, 0.208 and 0.965, respectively. Furthermore, a sensitivity analysis exhibits that the lags (t-1), (t-2) and (t-12) are regarded as the most effective input lags. Ultimately, an uncertainty analysis is carried out for the superior models.

Keywords: Differential evolution, Extreme learning machine, Lake Urmia, Rainfall, Runoff, Shaharchay River, Wavelet transform



"مقاله پژوهشی"

بهره‌برداری از مخزن سد گلستان در شرایط تغییر اقلیم با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفه نهنگ بهبودیافته

علیرضا دنیائی^۱، امیرپویا صراف^۲ و حسن احمدی^۳

۱- کاندیدای دکتری مهندسی عمران، گروه مهندسی عمران، واحد رودهن، دانشگاه آزاد اسلامی، رودهن، ایران
۲- استادیار گروه مهندسی عمران، واحد رودهن، دانشگاه آزاد اسلامی، رودهن، ایران (نویسنده مسوول: sarraf@riau.ac.ir)
۳- استادیار گروه مهندسی عمران، واحد رودهن، دانشگاه آزاد اسلامی، رودهن، ایران
تاریخ ارسال: ۹۹/۰۲/۰۲ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۷/۱۴ صفحه: ۲۳۸ تا ۲۵۰

چکیده

میزان رواناب ورودی به مخازن سدها به طور مستمر تحت تأثیر پارامترهای اقلیمی بوده که این مهم نیز به نوعی متأثر از پدیده تغییر اقلیم است. در این پژوهش، با استفاده از مدل ریزمقیاس نمایی آماری SDSM4.2، پارامترهای تغییر اقلیم براساس مدل اقلیمی CANESM2 به دست آمد. سپس شبیه‌سازی فرآیند بارش-رواناب توسط مدل ANFIS با ساختار سوگنو و خوشه‌بندی تفاضلی در ورودی مخزن سد گلستان در شرایط تغییر اقلیم صورت گرفت و در نهایت از الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفه نهنگ بهبودیافته (MOIWOA) که ترکیبی از الگوریتم بهینه‌سازی نهنگ (WOA) و تکامل تفاضلی (DE) است در استخراج قواعد بهره‌برداری بهینه، استفاده گردید. نتایج حاصل از تحلیل عدم قطعیت، حاکی از قرارگیری نتایج شبیه‌سازی دوره تغییر اقلیم در باند اطمینان ۹۵ درصد در هر دو مرحله واسنجی و صحت‌سنجی بود. ضمناً بهینه‌سازی مخزن گلستان در شرایط پایه (اسفند ۱۳۸۴-شهریور ۱۳۹۷) و تغییر اقلیم (فروردین ۱۴۲۰ - مهر ۱۴۳۲) نشان داد که محدوده تغییرات اطمینان‌پذیری در شرایط پایه و تغییر اقلیم، به ترتیب، برابر ۱۸ تا ۴۵ درصد و ۱۰ تا ۳۹ درصد و محدوده تغییرات اطمینان‌پذیری در شرایط پایه و تغییر اقلیم، به ترتیب، برابر ۵۲ تا ۸۹/۵ درصد و ۲۸ تا ۹۰ درصد است و به‌ازای اطمینان‌پذیری ۸۰ درصد، آسیب‌پذیری ۳۱ و ۲۷ درصد، به ترتیب، برای شرایط پایه و تغییر اقلیم ایجاد می‌شود. مقایسه قواعد بهینه حاصل از شرایط پایه با قواعد بهینه حاصل از تغییر اقلیم نشان داد که نیاز آبی طرح به‌ازای شاخص اطمینان‌پذیری ۸۰ درصد تأمین می‌گردد. همچنین میزان رهاسازی در شرایط تغییر اقلیم نسبت به شرایط پایه بیشتر بوده، به‌طوری‌که این موضوع به دلیل افزایش حجم تقاضای آب در شرایط مربوط به تغییر اقلیم می‌باشد. از سوی دیگر مقایسه عملکرد مخزن در تأمین نیاز آبی اراضی پایین‌دست در نقطه پرتو (اطمینان‌پذیری ۸۰ درصد) در شرایط پایه و تغییر اقلیم نیز حکایت از تطبیق بیشتر میزان رهاسازی از مخزن با تقاضا در شرایط تغییر اقلیم دارد.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفه نهنگ بهبودیافته، تغییر اقلیم، عدم قطعیت، مدل فازی - عصبی تطبیقی و سد گلستان

مقدمه

استفاده از مدل گردش عمومی ECHAM5 و سناریوی انتشار A1B، مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق که برای ۹ حوضه واقع در کشور ایرلند صورت گرفت، از مدل مفهومی بارش-رواناب HBV-Light برای بررسی وضعیت جریان رودخانه در دوره ۲۰۶۰-۲۰۱۰ استفاده گردید. ایشان با استفاده از داده‌های بارش و دمای استخراج‌شده از مدل ECHAM5 دریافتند که در آینده ضمن تغییر رژیم آبدی رودخانه تحت تأثیر پدیده تغییر اقلیم- بارش زمستانه کاهش و بارش تابستانه افزایش خواهد یافت. سانبر و همکاران (۳۰) پنج مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری را با هم مقایسه کردند. آنها اقدام به تولید سری زمانی در شرایط تغییر اقلیم و تحت سناریوی A1B و برای دوره ۲۰۷۱ تا ۲۱۰۰ در شمال دانمارک کردند. سه مدل از پنج مدل مورد نظر حاکی از پیش‌بینی افزایش مقدار بارندگی در آینده بود. ثانی‌خانی و همکاران (۲۸) به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب در حوضه آبی‌چای در استان آذربایجان شرقی پرداختند. نتایج ایشان حاکی از افزایش دما و کاهش بارش و کاهش قابل توجه میزان رواناب در حوضه بوده است. زمانی و همکاران (۳۴) ضمن بررسی احتمالاتی اثر تغییر اقلیم بر رواناب با تحلیل عدم قطعیت در حوضه رود زرد در جنوب غربی ایران، تحت دو سناریوی انتشار RCP 4.5 و RCP 8.5 در دوره

میانگین دمای سطح زمین بر اثر انتشار گازهای گلخانه‌ای مرتباً افزایش می‌یابد؛ به‌گونه‌ای که سناریوهای اخیر IPCC افزایش متوسط جهانی دما را ۰/۷۶ درجه سانتی‌گراد در قرن گذشته و تا ۴/۶ درجه سانتی‌گراد تا سال ۲۱۰۰ پیش‌بینی می‌کنند (۱۲) این پدیده که به آن تغییر اقلیم اطلاق می‌شود، می‌تواند با احتمال زیاد بر بخش‌های مختلفی تأثیر بگذارد که بخش منابع آب از اصلی‌ترین آن‌ها می‌باشد. از آنجا که این احتمال برای دوره‌های آتی می‌تواند آثار زیانباری برای جوامع بشری داشته باشد، لذا در سال‌های اخیر تحقیقاتی در این مورد صورت گرفته است (۳). از سوی دیگر با عنایت به اینکه ساخت سدهای مخزنی در راستای تأمین نیازهای آبی شرب، صنعت و کشاورزی با توجه به محدودیت‌های منابع آبی حائز نهایت اهمیت است، تخمین آورد رواناب به مخازن سدها در دوره‌های زمانی آتی از موضوعات مهمی محسوب گردیده بطوریکه نادیده گرفتن اثرات تغییر اقلیم در آن باعث ایجاد خطا در برنامه‌ریزی بلندمدت منابع آب می‌گردد (۲۵). شایان ذکر است که از مهمترین روش‌های بهینه‌سازی سیستم‌های منابع آبی، استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری بوده که در چند دهه اخیر به کرات مورد استقبال متخصصین امر قرار گرفته است. استیل و همکاران (۲۹) تأثیر تغییر اقلیم را بر رواناب با

در این پژوهش، با استفاده از مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری SDSM4.2، پارامترهای تغییراقلیم براساس مدل اقلیمی CANESM2 به‌دست آمد.

سیستم استنتاج عصبی- فازی تطبیقی^۱

از ترکیب منطق فازی با شبکه‌های عصبی مصنوعی، سیستم‌های فازی - عصبی به وجود آمده‌اند. یک شبکه تطبیقی، یک ساختار پیشرو چندلایه است که رفتار کلی خروجی آن به‌وسیله مقدار مجموعه‌ای از پارامترهای قابل اصلاح، تعیین می‌گردد. به‌عبارت دیگر ساختار شبکه تطبیقی شامل یک مجموعه از گره‌های متصل به هم است که به‌طور مستقیم به هم مرتبط شده‌اند و در آن هر گره یک واحد پردازش محسوب می‌شود (شکل ۱) (۱۴). این سیستم‌ها مشکل اصلی در طراحی سیستم‌های فازی در به دست آوردن قواعد اگر-آنگاه فازی را به‌وسیله استفاده مؤثر از قابلیت‌پذیری شبکه‌های عصبی مصنوعی جهت تولید خودکار این قواعد و بهینه‌سازی پارامترها، حل کرده‌اند.

ANFIS یکی از متداول‌ترین سیستم‌های عصبی فازی است که یک سیستم فازی سوگنو را در یک ساختار عصبی اجرا می‌کند (۲۲).

این روش که در سال ۱۹۹۳ توسط جانگ مطرح شد (۱۴)، پنج لایه دارد که به‌ترتیب شامل گره‌های ورودی، گره‌های قاعده، گره‌های میانی، گره‌های نتیجه و گره‌های خروجی است و به‌طور مستقیم با هم ارتباط دارند. هر گره دارای تابعی با پارامترهای قابل تنظیم یا ثابت است (شکل ۱). ساختار مناسب تکنیک ANFIS متناسب با داده‌های ورودی، درجه عضویت، قوانین و توابع عضویت ورودی و خروجی انتخاب می‌گردد در مرحله آموزش با اصلاح پارامترهای درجه عضویت بر اساس میزان خطای قابل قبول، مقادیر ورودی به مقادیر واقعی نزدیک‌تر می‌شوند (۲۷).

در این روش جهت تعیین نوع و تعداد تابع عضویت در لایه اول از یکی از دو روش تفکیک شبکه‌ای یا تفکیک خوشه‌ای جهت کلاسه‌بندی داده‌ها استفاده می‌گردد.

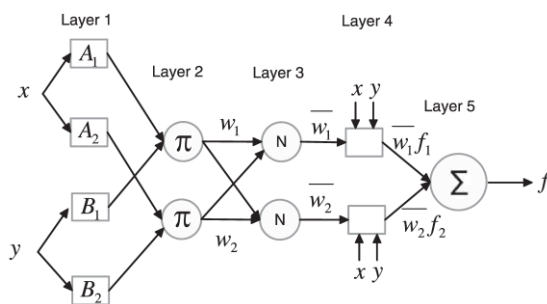
روش آموزش هیبرید یکی از مهم‌ترین روش‌های آموزش سیستم‌های استنتاج فازی بر پایه شبکه عصبی تطبیقی می‌باشد. در این روش جهت آموزش در لایه اول از روش پس‌انتشار خطا^۲ و در لایه چهارم از روش تخمین کمترین مربعات^۳ استفاده می‌شود (۱۴).

(۲۰۲۵-۲۰۵۴) استفاده نشان دادند که میانگین دمای سالانه به مقدار ۲/۰۴-۱/۶۴ درجه‌سنتی‌گراد تحت سناریوی RCP 4.5 و ۱/۸۵-۲/۴ تحت سناریوی RCP 8.5 افزایش می‌یابد. همچنین نتایج شبیه‌سازی رواناب تحت تاثیر تغییراقلیم در حالت کلی حاکی از کاهش میانگین رواناب شبیه‌سازی‌شده برای دوره آینده نسبت به دوره پایه می‌باشد. بطوریکه بیشترین کاهش رواناب مورد انتظار در شرایط بحرانی به مقدار ۵۱ درصد تحت سناریوی RCP 8.5 می‌باشد. همچنین موارد مشابهی نیز توسط کریستنسن و لتن مایر (۵)، جیانگ و همکاران (۱۵) و پورکی و همکاران (۲۶) به انجام رسیده است. از آنجاییکه یکی از روش‌های سازگاری با اثرات تغییراقلیم ایجاد سیاست‌های بهره‌برداری بهینه از سدها براساس سناریوهای مختلف رواناب ورودی به مخزن بوده، متخصصین زیادی از جمله خنجری ساداتی و همکاران (۱۶)، مازندرانی‌زاده و همکاران (۲۱) و آشفته و همکاران (۲) ضمن شبیه‌سازی حجم رواناب ورودی به مخازن و تغییرات نیاز پایین‌دست آن‌ها در شرایط تغییراقلیم، به بهینه‌سازی میزان رهاسازی از مخازن و الگوی کشت پرداختند.

لطفی‌منش و بارانی (۱۹) به‌منظور بهره‌برداری بهینه از مخزن سد زاینده رود واقع درحوضه آبریز زاینده رود در یک دوره پنج‌ساله با توجه به دو سناریوی تغییراقلیم A2 و B1 بر مبنای الگوریتم ژنتیک در محیط نرم‌افزاری MATLAB توسعه دادند. نتایج نشان داد که مدل قادر به تامین ۷۴ درصد نیاز پایین‌دست بوده بطوریکه برای سناریوی A2 درصد تامین نیاز، قابلیت اعتماد حجمی و آسیب‌پذیری به‌ترتیب ۵۹/۳۸، ۵۳ و ۸۰ درصد، و برای سناریوی B1 این مقادیر به‌ترتیب ۶۱ و ۲۷/۶۶ درصد حاصل شد.

هدف از پژوهش حاضر استخراج قواعد بهره‌برداری بهینه سد گلستان در شرایط پایه و تغییراقلیم با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفه نهنگ بهبودیافته (MOIWOA) می‌باشد که در این راستا پس از دستیابی به پارامترهای تغییراقلیم شبیه‌سازی فرآیند بارش-رواناب توسط مدل ANFIS با ساختار سوگنو و خوشه‌بندی تفاضلی در ورودی مخزن سد گلستان در شرایط تغییراقلیم صورت گرفت.

مواد و روش‌ها ریزمقیاس‌سازی



شکل ۱- شمای ساده‌ای از مدل ANFIS (۳۱)

Figure 1. A simple diagram of the ANFIS model (31)

به‌روش سعی و خطا به‌دست آمد.

ارزیابی فرایند بارش-رواناب

در این پژوهش جهت ارزیابی و مقایسه نتایج حاصل از پیش‌بینی، از پارامترهای آماری ضریب همبستگی (R)، ریشه میانگین مربعات خطاها (RMSE) و ضریب نش ساتکلیف (NSE) استفاده شد (روابط ۱ الی ۳). همچنین جهت دستیابی به بهترین ساختار در شبکه عصبی-فازی تطبیقی ضمن استفاده از شعاع بهینه‌تأثیر، از تابع عضویت گوسین به‌دلیل داشتن بالاترین کارایی در بین توابع عضویت برای مرحله آموزش و آزمون استفاده شد. شایان ذکر است که جهت صرفه‌جویی در وقت، ارزیابی توابع عضویت در راستای دستیابی به بهترین تابع عضویت با نوشتن زیربرنامه‌ای در نرم‌افزار متلب صورت گرفت.

$$R = Cov(O, S) / \delta_o \delta_s \quad (\text{رابطه ۱})$$

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n (e_i)^2 / n} \quad (\text{رابطه ۲})$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_o - Q_s)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_o - \bar{Q}_o)^2} \quad (\text{رابطه ۳})$$

در این روابط، Cov به معنای کوواریانس، δ نماد انحراف معیاری مقادیر شبیه‌سازی شده (S)، مقادیر مشاهده‌شده (O)، تعداد گام‌های زمانی در طول دوره شبیه‌سازی، e_i خطای پیش‌بینی است که از تفاوت مقادیر شبیه‌سازی شده و مقادیر مشاهده‌شده به‌دست می‌آید Q_s ، Q_o به ترتیب جریان شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای در گام زمانی i است و \bar{Q}_o متوسط دبی جریان مشاهده‌شده می‌باشد. طبیعی است که هر چه مقادیر همبستگی به یک و ضریب خطای RMSE به صفر نزدیکتر باشند مدل از دقت بیشتری برخوردار است. مقدار NSE از یک مقدار منفی تا +۱ در تغییر است و زمانی که +۱ باشد نمایانگر انطباق هیدروگراف‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده می‌باشد (۶ و ۷). یکی از مهمترین بخش‌ها در منطق فازی، خوشه‌بندی داده‌ها به‌منظور تعریف توابع عضویت و تعیین قوانین اگر-آنگاه فازی است. نکته مهم در تعداد قوانین اگر-آنگاه، این است که تعداد کم این قوانین نمی‌تواند تمام مساله را پوشش داده، بنابراین یافتن تعداد بهینه قوانین یکی از مهم‌ترین نکات سیستم استنتاج فازی است (۳۲).

در این راستا جهت ارزیابی مدل‌های مختلف استفاده شده در فرایند شبیه‌سازی بارش-رواناب از پارامترهای خطا، ضریب همبستگی و ضریب ناش-ساتکلیف استفاده شد که بر اساس آن‌ها بهترین الگو جهت شبیه‌سازی، به شرح جدول ۱ به دست آمد.

از مهم‌ترین پارامترهای قابل تنظیم در ANFIS می‌توان به شعاع تأثیر اشاره کرد. شعاع تأثیر مشخص‌کننده محدوده نفوذ یک مرکز خوشه در هر یک از ابعاد داده‌هاست. به‌طور کلی، محققین جهت تعیین شعاع تأثیر بهینه مدل‌ها، با تغییر مقادیر شعاع تأثیر، سعی در دستیابی به شبکه‌های کارا تر رادارند.

شبیه‌سازی بارش-رواناب

جهت مدل‌سازی بارش-رواناب از آمار ایستگاه‌های هیدرومتری حاجی قوشان، دوغ، قره شور و اوغان برای سد گلستان به‌دلیل ورود آورد رودخانه‌های مذکور به مخزن سد گلستان استفاده شد. لازم به‌ذکر است که از داده‌های روزانه پس از ساخت سد شامل داده‌های دمای حداقل، دمای حداکثر، بارش، تبخیر از سطح دریاچه، میزان رواناب ورودی به مخزن سد و داده‌های ماهانه سطح دریاچه و حجم مخزن مندرج در سایت IranDams وابسته به وزارت نیرو برای سالهای ۱۳۸۴ الی ۱۳۹۷ برای سد گلستان جهت مدل‌سازی و پیش‌بینی رواناب آینده استفاده شد. روش‌های مختلفی برای خوشه‌بندی داده‌ها وجود دارد که در این تحقیق از روش خوشه‌بندی تفاضلی استفاده شده است. در این روش شعاع تأثیر با تعداد خوشه‌ها نسبت عکس دارد. یعنی افزایش یکی باعث کاهش دیگری می‌شود. روش خوشه‌بندی کاهشی در مواردی استفاده می‌شود که دید مشخصی در مورد تعداد خوشه‌ها وجود ندارد (۱۰). در تحقیق حاضر برای دسته‌بندی و تحلیل داده‌ها، از سیستم استنتاج عصبی-فازی تطبیقی با خوشه‌بندی تفاضلی، ساختار سوگنو و توابع عضویت گوسین به‌دلیل داشتن بالاترین کارایی در بین تمامی توابع عضویت در هر دو مرحله آموزش و آزمون استفاده شد. برای آموزش مدل از الگوریتم ترکیبی با ۱۰۰۰۰ تکرار با استفاده از نرم‌افزار MATLAB R2015a استفاده گردید. تعداد بهینه قوانین نیز با سعی و خطا (عوض کردن شعاع تأثیر در هر تکرار) برای هر ماه به‌دست آمد که در این تحقیق بهترین پیش‌بینی بر اساس نتایج متناظر با کمترین مقدار خطا و بیشترین مقدار همبستگی در هر یک از ماه‌های سال در نظر گرفته شد.

یکی از مراحل آماده‌سازی و محاسبات عددی برای تغذیه شبکه‌های عصبی نرمال‌سازی داده به‌منظور افزایش حساسیت به بزرگی داده‌ها و افزایش قدرت یادگیری می‌باشد که باعث افزایش توانایی پیش‌بینی می‌شود. در این تحقیق با نوشتن زیربرنامه‌ای در MATLAB بردارهای ورودی و خروجی در بازه {۰ و ۱} استاندارد شدند و در انتها پس از انجام فرایند پیش‌بینی مجدداً با نوشتن زیربرنامه‌ای دیگر در MATLAB به حالت عادی خویش برگشت داده شدند.

جهت شبیه‌سازی فرایند بارش-رواناب مرحله تغییر اقلیم در محل ورودی سد گلستان از مدل ANFIS با ساختار سوگنو و خوشه‌بندی تفاضلی با تابع عضویت گوسین و با ۲۰ اپوک آموزش و ۱۰ هزار تکرار جهت ۹۵٪ از داده‌های آموزش در هر بار برآورد، استفاده شد. بهترین شعاع تأثیر مدل ۰/۰۴

جدول ۱- ارزیابی پارامترهای مدل شبیه‌سازی فرایند بارش-رواناب

Table 1. Evaluation of rainfall-runoff simulation parameters

مخزن سد گلستان	ضریب همبستگی ٪۹۸	ضریب ناش-ساتکلیف ٪۹۵	خطای RMSE ۰/۰۰۰۳
-------------------	---------------------	-------------------------	---------------------

توسعه مدل بهینه‌سازی

پیش از پرداختن به توسعه مدل بهینه‌سازی، لازم است شبیه‌سازی مخزن به کمک معادله پیوستگی مطابق با روابط زیر به ازای هر $t = 1, 2, \dots, T$ ارائه گردد (۲ و ۳):

$$S_{t+1} = S_t + Q_t - Re_t - Sp_t - (\bar{A}_t \cdot E_t) \quad (\text{رابطه ۴})$$

$$\bar{A}_t = a_0 + a_1 \bar{S}_t \quad (\text{رابطه ۵})$$

$$Sp_t = \begin{cases} S_t + Q_t - Re_t - (\bar{A}_t \cdot E_t) - S_{max} & \text{if } S_t + Q_t - Re_t - (\bar{A}_t \cdot E_t) \geq S_{max} \\ 0 & \text{if } S_t + Q_t - Re_t - (\bar{A}_t \cdot E_t) < S_{max} \end{cases} \quad (\text{رابطه ۶})$$

که در این روابط Re_t : حجم رهاسازی از مخزن در دوره t ام، E_t : عمق تبخیر از مخزن دریاچه در دوره t ام، S_t و S_{t+1} : میزان حجم ذخیره مخزن در ابتدا و انتهای دوره t ام، Q_t : میزان حجم جریان ورودی به مخزن سد در دوره t ام، \bar{A}_t : متوسط مساحت سطح مخزن در ابتدا و انتهای دوره t ام، \bar{S}_t : متوسط حجم ذخیره مخزن در ابتدا و انتهای دوره t ام، S_{max} : حجم بیشینه مخزن سد در دوره t ام، Sp_t : حجم سرریز از مخزن در دوره t ام، η طول دوره زمانی برنامه‌ریزی، Ar_t : سطح متوسط مخزن در دوره t ام، a_0 و a_1 : ضرایب ثابت معادله منحنی سطح - حجم مخزن و T : بازه بهره‌برداری است (۲).

در این پژوهش، توابع هدف به‌صورت کمینه‌سازی شاخص آسیب‌پذیری و بیشینه‌سازی اطمینان‌پذیری در شرایط پایه و تغییراقلیم مطابق روابط ۱۰ و ۱۱ می‌باشد (۲).

$$\text{Minimize } F_1 = \frac{\sum_{t=1}^T (D_t - Re_t | Re_t < D_t)}{[N_{t=1}^T (Re_t < D_t)] \cdot D_{Max}} \quad (\text{رابطه ۷})$$

$$\text{Maximize } F_2 = \frac{N_{t=1}^T (D_t - Re_t | Re_t \geq D_t)}{T} \quad (\text{رابطه ۸})$$

F_1 تابع هدف شاخص آسیب‌پذیری F_2 ، تابع هدف شاخص اطمینان‌پذیری، D_t حجم تقاضا در طول دوره t ام، D_{Max} : بیشینه تقاضای آب در بازه بهره‌برداری موردنظر، $N_{t=1}^T (Re_t < D_t)$ تعداد ماه‌های کمبود آب و $N_{t=1}^T (D_t - Re_t | Re_t \geq D_t)$ تعداد ماه‌های تأمین آب می‌باشند.

محدودیت‌های مساله بهره‌برداری از مخزن مطابق روابط زیر است (۲):

$$S_t \geq S_{min}, R_t \geq 0 \quad \forall t = 1, 2, \dots, T \quad (\text{رابطه ۹})$$

S_{min} حجم کمینه مخزن است.

در صورت تخطی از محدودیت‌های رابطه فوق، توابع جریمه‌ای به‌شرح ذیل به توابع هدف اضافه می‌شود (۲):

$$F_1 \text{ (or } F_2) = F_2 \text{ (or } F_1) \pm \left[A' \cdot \left(\frac{S_{min} - S_t}{S_{max} - S_{min}} \right) + B' \right] \quad (\text{رابطه ۱۰})$$

$$F_1 \text{ (or } F_2) = F_2 \text{ (or } F_1) \pm \left[C' \cdot \left(\frac{Re_t}{D_{Max}} \right) + D' \right] \quad (\text{رابطه ۱۱})$$

که در آن‌ها $\left[A' \cdot \left(\frac{S_{min} - S_t}{S_{max} - S_{min}} \right) + B' \right]$ تابع جریمه ناشی

از تخطی حجم مخزن و $\left[C' \cdot \left(\frac{Re_t}{D_{Max}} \right) + D' \right]$ تابع جریمه

ناشی از تخطی حجم خروجی از مخزن، و ضرایب A' تا D' ثابت‌های مثبت توابع جریمه $(A' = 1, B' = 0.5, C' = 1, D' = 16)$ هستند (۲).

منحنی فرمان بهره‌برداری نیز به‌گونه‌ای تعریف می‌شود که قاعده تصمیم برای بهره‌برداری از سیستم تک‌مخزنه سد گلستان با اهداف کمینه‌سازی آسیب‌پذیری ناشی از کمبود سیستم، به منظور تأمین تقاضای مورد نیاز و بیشینه‌سازی اطمینان‌پذیری ناشی از تأمین تقاضا به کمک الگوریتم MOIWOA، مطابق روابط زیر استخراج می‌شود (۲):

$$Re_{bt} = g_1(Q_{bt} + S_{bt} + D_{bt}) \quad (\text{رابطه ۱۲})$$

$$Re_{ft} = g_2(Q_{ft} + S_{ft} + D_{ft}) \quad (\text{رابطه ۱۳})$$

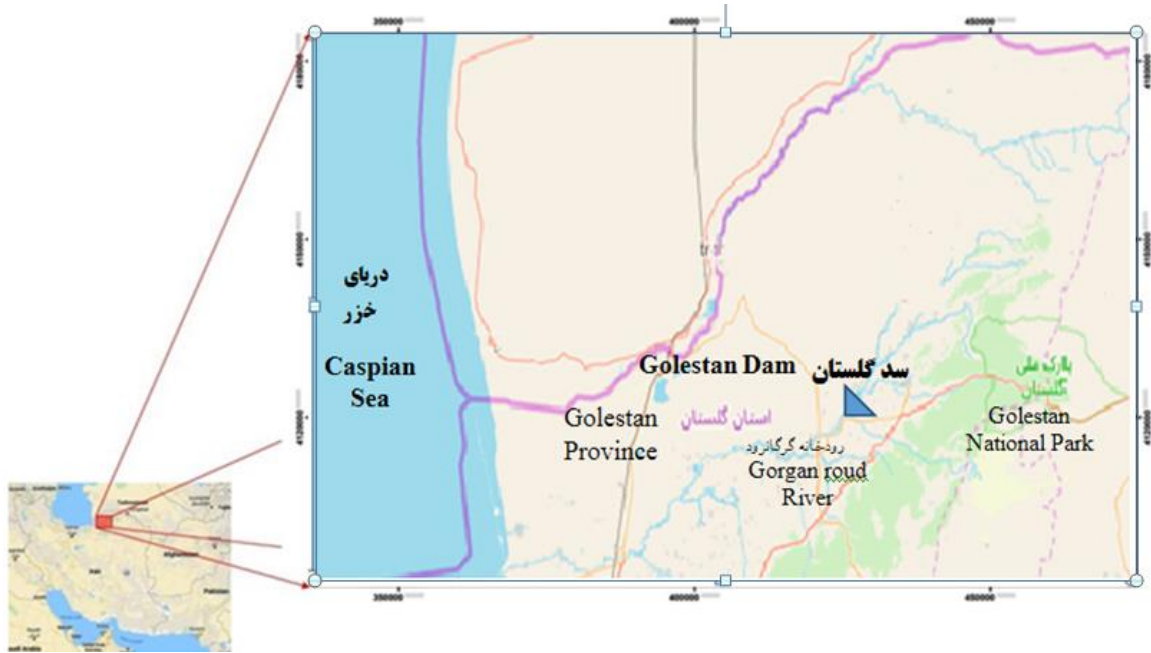
$g_1(Q_{bt} + S_{bt} + D_{bt})$ گزینه اول، دستور حاصل از MOIWOA در بازه بهره‌برداری پایه برای شرایط پایه و $g_2(Q_{ft} + S_{ft} + D_{ft})$ گزینه دوم، دستور حاصل از MOIWOA در بازه بهره‌برداری تغییراقلیم برای شرایط تغییراقلیم، اندیس b برای شرایط پایه، و اندیس f برای شرایط تغییراقلیم هستند (۲).

منطقه مورد مطالعه

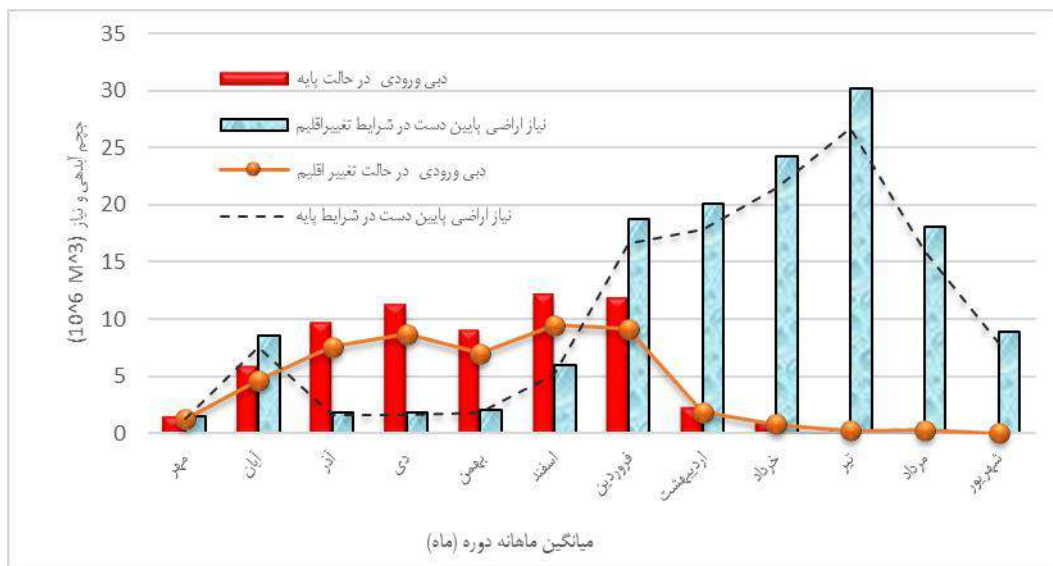
سد مخزنی گلستان بر روی رودخانه گرگانرود در فاصله ۱۲ کیلومتری شمال شرقی شهر گنبد احداث شده است. ظرفیت مخزن سد در ابتدای بهره‌برداری حدود ۸۶ میلیون مترمکعب بوده که با توجه به نقش مهم ذخیره‌سازی سد گلستان در مهار سیلاب سال ۱۳۸۰، حجم ذخیره سد از ۸۶ به ۵۰ میلیون مترمکعب کاهش یافت. حجم مخزن در تراز نرمال ۴۸ میلیون متر مکعب و در تراز سرریز ۸۶ میلیون متر مکعب بوده، حجم آب قابل تنظیم ۱۰۱ میلیون متر مکعب و حجم رسوبات موجود در مخزن ۲ میلیون متر مکعب برآورد می‌گردد. ضمناً قواعد بهره‌برداری بهینه از سامانه سد مخزنی گلستان به‌صورت ماهانه در نظر گرفته شده است. شکل ۱، موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه را مشخص نموده است. بر این اساس حداکثر نیاز آبی اراضی پایین‌دست سد گلستان بالغ بر ۱۲۵ میلیون متر مکعب بوده که از حجم قابل تنظیم سالانه آن کمی بیشتر است. که به‌منظور استخراج قواعد بهره‌برداری از سامانه تک‌مخزنه از الگوریتم MOIWOA استفاده شد. براین اساس منحنی سطح - حجم مخزن گلستان با ضریب همبستگی ۰/۹۸ مطابق رابطه زیر به‌دست‌آمد:

$$Y = -0.001X^2 + 0.190X + 0.024 \quad (\text{رابطه ۱۴})$$

بیشینه تقاضا در شرایط پایه و تغییراقلیم ۱۲۵/۶۱ و ۱۴۱/۹۴ میلیون متر مکعب می‌باشد. شکل ۳ میانگین ماهیانه حجم آبدهی به مخزن و حجم تقاضای آب در شرایط پایه و تغییراقلیم نشان می‌دهد. نتایج نشان داد حجم آبدهی به مخزن و حجم تقاضای آب در شرایط تغییراقلیم نسبت به شرایط پایه، به‌ترتیب، حدود ۲۷ درصد کاهش و ۱۳ درصد افزایش می‌یابد.



شکل شماره ۲- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه
Figure 2. Geographical location of the study area



شکل ۳- میانگین ماهانه حجم آبدی به مخزن به‌همراه میانگین ماهانه حجم تقاضای آب در شرایط پایه و تغییر اقلیم
Figure 3. Average monthly inflow and water demand volume under baseline and climate change conditions

در روش مونت کارلو از داده‌های تصادفی تولید شده استفاده می‌شود بطوریکه مشابه روش نمونه‌گیری دودویی Bootstrap می‌باشد. اما با این تفاوت که یک الگو در یک نمونه تکرار نمی‌شود. لذا ابتدا از بین داده‌های واسنجی مدل، به دفعات و بدون تکرار نمونه‌گیری انجام شده و برای هر نمونه عملیات صحت‌سنجی صورت می‌گیرد. با استفاده از این روش، محدوده‌ای از خروجی که نتیجه عدم قطعیت مدل در آن ساخته می‌شود، حاصل خواهد شد (۲۰). بنابراین در پژوهش حاضر، جهت بررسی عدم قطعیت، ضمن در نظر گرفتن حدود اطمینان ۹۵٪ برای داده‌های حاصل

برآورد عدم قطعیت در پیش‌بینی رواناب

یکی دیگر از اهداف این پژوهش، بررسی و برآورد عدم قطعیت در خروجی مدل نروفازی است. بدین صورت که مدل نروفازی در قالب یک نمونه‌گیری مونت کارلو به‌کارگیری شد. از آنجاییکه روش مونت کارلو براساس استفاده از اعداد تصادفی و تابع توزیع احتمالاتی استوار است، با استفاده از توابع توزیع احتمالاتی متغیرهای ورودی مدل به‌طور تصادفی تولید شده و سپس خروجی معادل آن‌ها از مدل مورد نظر به‌دست‌آمده و با تکرار این عمل، عدم قطعیت خروجی از طریق محاسبه پارامترهای آماری برآورد می‌گردد (۸).

$$X_i^{(g+1)} = \begin{cases} c_i^{(g+1)} & \text{if } f(c_i^{(g+1)}) \leq f(c_i^{(g)}) \\ X_i^{(g)} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (\text{رابطه ۲۰})$$

که در آن f نشاندهنده مقدار تابع برازندگی مساله است.

الگوریتم بهینه‌سازی نهنگ

الگوریتم بهینه‌سازی نهنگ (WOA) همانند سایر الگوریتم‌های فراابتکاری الهام گرفته از طبیعت، رفتار اجتماعی نهنگ‌های گوژپشت را به تصویر می‌کشد. در این الگوریتم با استفاده از سه عملگر محاصره طعمه، روش حمله تور حبابی (مرحله استخراج) و جستجوی طعمه (مرحله اکتشاف) به روزرسانی موقعیت عوامل جستجو در هر تکرار صورت می‌پذیرد. به طوریکه پس از شناسایی بهترین عامل جستجو، سایر عوامل جستجو مکان خود را نسبت به بهترین عامل به روزرسانی می‌کنند (روابط ۲۱ و ۲۲).

$$\vec{D} = |\vec{C} \cdot \vec{X}^*(t) - X(t)| \quad (\text{رابطه ۲۱})$$

$$\vec{X}(t+1) = \vec{X}^*(t) - \vec{A} \cdot \vec{D} \quad (\text{رابطه ۲۲})$$

بطوریکه t تکرار جاری، \vec{A} و \vec{C} بردارهای ضرایب، \vec{X}^* بردار مکان بهترین راه‌حل به دست آمده در حال حاضر، \vec{X} بردار مکان، Π علامت قدر مطلق و صفر ضرب نقطه‌ای المان در المان می‌باشد. شایان ذکر است که در صورت وجود راه حل بهتر، نیاز است که در هر تکرار \vec{X}^* به روزرسانی شود.

بردارهای \vec{A} و \vec{C} با روابط ۲۳ و ۲۴ محاسبه می‌گردند:

$$\vec{A} = 2\vec{a} \cdot \vec{r} - \vec{a} \quad (\text{رابطه ۲۳})$$

$$\vec{C} = 2 \cdot \vec{r} \quad (\text{رابطه ۲۴})$$

که در آنها \vec{a} به صورت خطی از مقدار ۲ تا صفر طی تکرارها کاهش می‌یابد و \vec{r} بردار تصادفی در فاصله صفر تا یک می‌باشد.

در روش حمله تور حبابی، نهنگ‌های گوژپشت در اطراف طعمه در امتداد یک دایره انقباضی و به طور همزمان در مسیر ماریپیچی شکل شنا می‌کنند (شکل ۴).

رفتار تهاجمی شبکه حباب تور را می‌توان از لحاظ ریاضی با روابط زیر نشان داد:

$$\vec{D} = |\vec{C} \cdot \vec{X}^*(t) - X(t)| \quad (\text{رابطه ۲۵})$$

$$\vec{X}(t+1) = \vec{D} \cdot e^{br} \cdot \cos(2\pi r) + \vec{X}^*(t) \quad (\text{رابطه ۲۶})$$

بطوریکه \vec{D} به فاصله i مین نهنگ تا شکار (بهترین راه‌حل به دست آمده تا کنون) اشاره داشته، b ثابتی برای تعریف شکل ماریپیچی لگاریتمی، r عددی تصادفی بین -1 تا $+1$ می‌باشد.

جهت مدلسازی این رفتار فرض می‌شود که نهنگ با احتمال ۵۰ درصد از بین سازوکار محاصره انقباضی و یا مدل ماریپیچی یکی از آنها را انتخاب می‌کند تا موقعیت نهنگ‌ها طی فرآیند بهینه‌سازی به روز شود. مدل ریاضی آن به صورت رابطه ۲۷ تعریف می‌شود:

$$\vec{X}(t+1) = \begin{cases} \vec{X}^*(t) - \vec{A} \cdot \vec{D} & \text{if } p < 0.5 \\ \vec{D} \cdot e^{br} \cdot \cos(2\pi r) + \vec{X}^*(t) & \text{if } p \geq 0.5 \end{cases} \quad (\text{رابطه ۲۷})$$

که در آن P عددی تصادفی بین صفر و یک می‌باشد. به منظور افزایش توانایی فاز اکتشاف، در الگوریتم نهنگ از یک استراتژی جستجوی وسیع استفاده شده است. عوامل جستجو جایگاه خود را مطابق با یک عامل تصادفی در جمعیت یعنی بهترین راه‌حل به دست آمده تاکنون به روز

از پیش‌بینی، جهت تعیین عرض متوسط باند اطمینان از فاکتور d (رابطه زیر) استفاده شد (۱):

$$d = \frac{\bar{d}}{S} \quad (\text{رابطه ۱۵})$$

عرض \bar{d} انحراف از معیار آبدی مشاهده‌اتی و S که در آن متوسط باند اطمینان می‌باشد که با رابطه زیر تعریف می‌شود:

$$\bar{d} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (U - L)_i \quad (\text{رابطه ۱۶})$$

که در آن L حد ۲/۵ درصد و U حد ۹۷/۵ درصد توزیع تجمی احتمال تجربی حاصل از داده‌های پیش‌بینی می‌باشد. ضمن اینکه مقادیر کمتر از یک در فاکتور d عدد مناسبی خواهد بود (۱). به علاوه درصد داده‌های قرار گرفته در باند اطمینان ۹۵٪ با رابطه زیر محاسبه می‌شود (۱):

$$95 \text{ PPU} = \frac{1}{a} \text{count}(Q|L \leq Q \leq U) \times 100$$

الگوریتم تکامل تفاضلی

الگوریتم تکامل تفاضلی (DE) یک الگوریتم ساده و قدرتمند برای حل مسائل بهینه‌سازی است (۱۱ و ۱۸). اساساً، الگوریتم DE حاوی دو پارامتر مهم یعنی عملگر جهش (SF) و دیگری احتمال تقاطع CR بوده (۱۳) که به شرح زیر می‌باشند (۳۳):

عملگر جهش

عملگر جهش در الگوریتم تکامل تفاضلی بر اساس رابطه زیر استوار است (۳۳):

$$m_i^{(g+1)} = X_{r1}^g + SF \times (X_{r2}^g - X_{r3}^g) \quad (\text{رابطه ۱۸})$$

که در آن $m_i^{(g+1)}$ عامل جهش یافته در $g+1$ مین نسل بوده و X_{r1}^g ، X_{r2}^g و X_{r3}^g نشانگر سایر عوامل در جمعیت است. به علاوه SF مقدار ثابتی است که مبین عامل جهش می‌باشد.

عملگر تقاطع

در فرآیند تقاطع، الگوریتم به طور تصادفی فردی از جمعیت را در جهت ایجاد تکامل در تنوع جمعیتی انتخاب می‌کند بطوریکه این فرد می‌تواند یکی از افراد عادی ($X_i^{(g)}$) یا افراد جهش یافته ($m_i^{(g+1)}$) باشد (۳۳).

$$c_i^{(g+1)} = \begin{cases} m_i^{(g+1)} & \text{if } rand \leq CR \\ X_i^{(g)} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (\text{رابطه ۱۹})$$

که در آن $rand$ نشان دهنده عددی تصادفی بین صفر و یک است. CR ثابتی است که احتمال تقاطع را نشان می‌دهد (۳۳).

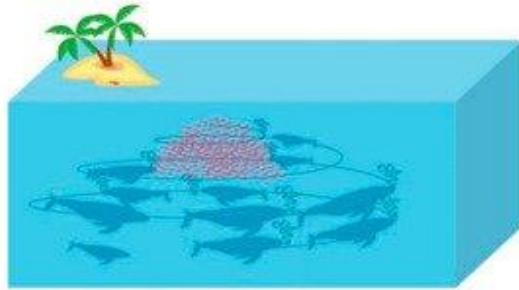
عملگر انتخاب

در این مرحله، بردار سنجش به دست آمده از مرحله قبل و عضو هدف که در مرحله اول انتخاب شده بود، با توجه به تابع هدف، ارزش دهی می‌شوند و در صورتی که بردار سنجش، ارزشی بیش از عضو هدف داشته باشد، به عنوان یکی از اعضای نسل بعد در نظر گرفته می‌شود، در غیر این صورت، عضو هدف، خود یکی از جمعیت نسل بعد به حساب می‌آید. رابطه زیر بیان کننده انتخاب بین بردار سنجش و عضو هدف هست (۳۳).

$$\vec{D} = |C \cdot \vec{X}_{rand} - \vec{X}(t)| \quad (\text{رابطه ۲۸})$$

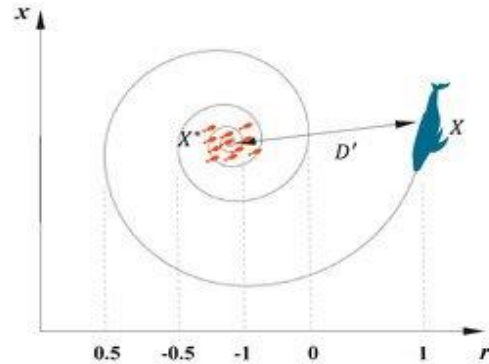
$$\vec{X}(t+1) = \vec{X}_{rand} - \vec{A} \cdot \vec{D} \quad (\text{رابطه ۲۹})$$

که X_{rand} بردار موقعیت تصادفی منتخب از جمعیت جاری می‌باشد.



(a)

می‌کنند. از آنجاییکه \vec{A} با مقادیر تصادفی بین -1 تا $+1$ نشانگر نزدیکی عامل جستجو به نهنگ مرجع است، جستجوی رفتار طعمه می‌تواند از نظر ریاضی به شرح زیر باشد:



(b)

شکل ۴- شبکه تورجایی (a) و مدل به روز رسانی موقعیت (b) در WOA
Figure 4. Bubble-net feeding behavior of humpback whale (a) and the position update model (b)

$$X_i(j) = \begin{cases} \delta_j + \text{rndreal}(0,1) \times (\mu_j - \delta_j) & \text{if } X_i(j) < \delta_j \\ \mu_j - \text{rndreal}(0,1) \times (\mu_j - \delta_j) & \text{if } X_i(j) < \mu_j \end{cases} \quad (\text{رابطه ۳۱})$$

که در آن μ_j و δ_j به ترتیب مرز بالایی و پایینی زمین بعد بوده و $X_i(j)$ زمین بعد از آمین راه حل می‌باشد. $\text{rndreal}(0,1)$ یک عدد تصادفی بین صفر و یک است. در نتیجه، پیچیدگی محاسباتی IWOA مشابه WOA است که در آن حداکثر تعداد نسل ها و سازگاری توسط الگوریتم تعیین می‌شود (۴).

در این پژوهش ضمن ارائه الگوریتم MOIWOA کنویسی آن برای اولین بار در نرم‌افزار متلب صورت گرفت و کارایی آن در مهندسی و مدیریت منابع آب مورد ارزیابی قرار گرفت.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از ریزمقیاس‌نمایی آماری نشان‌دهنده افزایش دمای متوسط ماهانه به میزان $1/8$ تا 2 درجه سانتی‌گراد در تمامی سناریوها بود. بررسی تغییرات بارش متوسط ماهانه نیز نشان داد که کاهش نرخ نزولات جوی در دوره آتی کاملاً محرز بوده و با توجه به سناریوی RCP متوسط این میزان به مقدار $21/1\%$ کمتر از دوره پایه پیش‌بینی شده است. به‌علاوه در این مطالعه همچنین به بررسی تأثیر عدم قطعیت شبیه‌سازی بارش-رواناب با استفاده از مدل نروفازی مرتبه دوم پرداخته شد. در هر یک از مراحل واسنجی و صحت‌سنجی مدل، تعداد 500 تکرار داده تصادفی برای پیش‌بینی رواناب تولید گردید. سپس حدود اطمینان 95% از طریق تعیین مقادیر $2/5$ درصد و $97/5$ درصد توزیع احتمالاتی تجربی مشخص گردید. پارامترهای عدم قطعیت محاسبه‌شده نیز در جدول ۲ ارائه شده است.

الگوریتم پیشنهادی نهنگ بهبود یافته چندهدفه^۱

جهت بهبود توانایی فاز اکتشاف در الگوریتم بهینه‌سازی نهنگ و ایجاد همگرایی در زمان کوتاه‌تر، ضمن ادغام عملگر جهش موجود در الگوریتم تکامل تفاضلی (DE) در الگوریتم نهنگ (WOA) الگوریتم جدیدی پیشنهاد شد که از آن تحت عنوان الگوریتم بهینه‌سازی نهنگ بهبود یافته (IWOA) یاد می‌شود (۴). الگوریتم بهینه‌سازی نهنگ بهبود یافته شامل دو بخش اکتشاف و استخراج می‌باشد که جهت کنترل قابلیت این دو بخش پارامتری تحت عنوان λ تعریف می‌شود که مقدار آن براساس رابطه زیر محاسبه می‌گردد (۴):

$$\lambda = 1 - \frac{t}{t_{max}} \quad (\text{رابطه ۳۰})$$

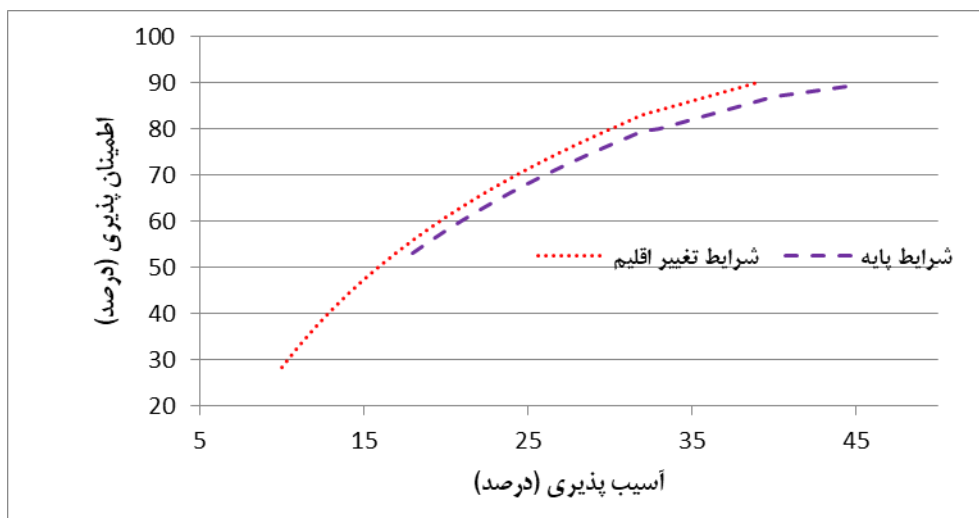
که در آن t نسل فعلی و t_{max} حداکثر تعداد نسل‌ها بوده و مقادیر λ از یک به صفر در طول زمان کاهش می‌یابد. بنابراین، هر یک از نهنگ‌ها مجاز هستند ضمن انجام فرآیند استخراج با افزایش زمان، به اکتشاف خود در نسل اولیه نیز ادامه دهند. نکته حائز اهمیت در الگوریتم IWOA این است که در این الگوریتم فاز اکتشاف از ترکیب عملگر جهش الگوریتم تکامل تفاضلی و جستجوی طعمه الگوریتم بهینه‌سازی نهنگ حاصل می‌شود. علت اساسی این ادغام، برتری عملگر جهش در کاوش در فضای جستجو است (۹). فاز استخراج در IWOA بسیار شبیه WOA می‌باشد. الگوریتم هیبریدی برخلاف WOA، یک روش نخبه‌گرایی است؛ یعنی، موقعیت جدید نهنگ‌ها در نسل بعدی یکی از مناسب‌ترین مواردی است که بین والدین (X_i) و فرزندان (U_i) به‌وجود می‌آید. توجه به این نکته ضروری است که راه‌حل‌ها باید محدودیت‌های مرزی را در نظر بگیرند. اگر این محدودیت‌ها نقض شوند، اعمال قوانین جبرانی مطابق با روابط زیر الزامی است (۴).

جدول ۲- پارامترهای عدم قطعیت مدل نروفازی مرتبه دوم در پیش‌بینی رواناب ورودی به سد گلستان

پارامتر	واسنجی	صحت سنجی
فاکتور d	۰/۹۷	۰/۹۴
حدود اطمینان ۹۵٪	۹۴/۲۶	۹۱/۶۳

قواعد بهره‌برداری بهینه مخزن گلستان از یک مسأله دوهدفه به کمک الگوریتم MOIWOA استخراج شد. این مسأله دوهدفه شامل کمینه‌سازی آسیب‌پذیری سیستم و بیشینه‌سازی اطمینان‌پذیری در تأمین تقاضا بود. شکل ۵ نتایج الگوریتم بهینه‌سازی دوهدفه مذکور را به شکل منحنی پرتو، برای شرایط پایه و تغییراقلیم، نشان می‌دهد.

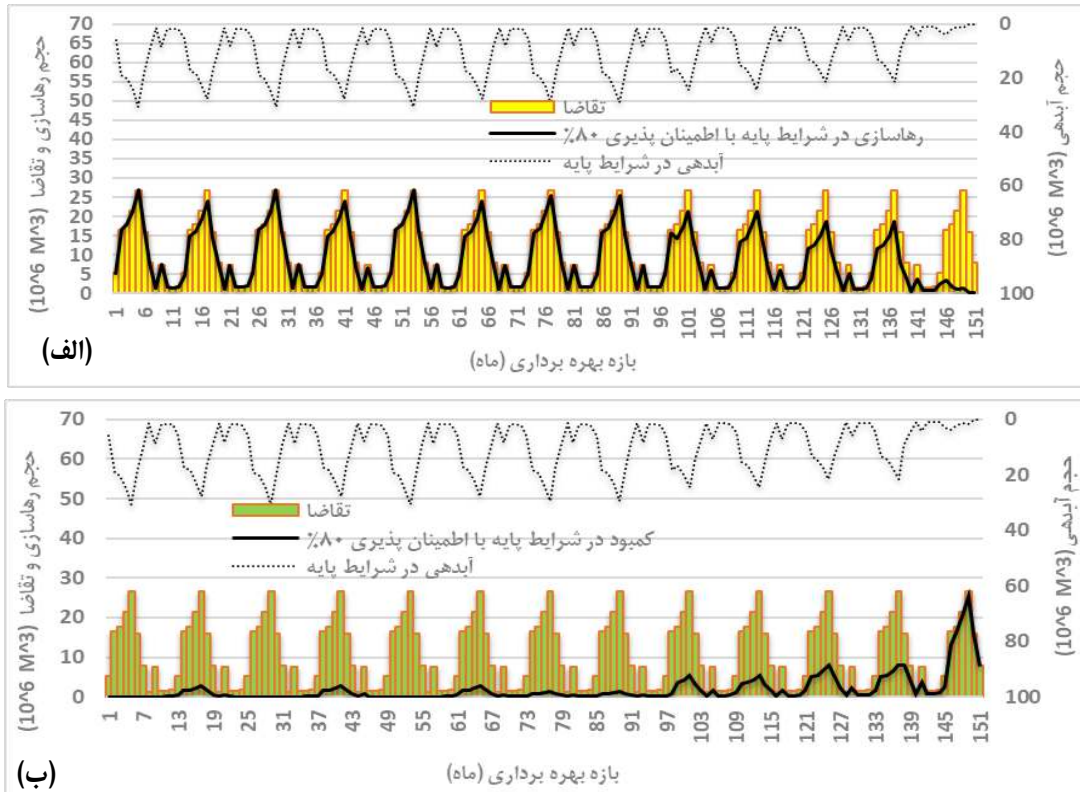
از آنجاییکه لحاظ‌نکردن ارزیابی عدم‌قطعیت در مطالعات بررسی اثرات تغییراقلیم بر رواناب می‌تواند نتایج غیرکاربردی در پی داشته باشد، با توجه به قرارگرفتن بیش از ۹۰ درصد داده‌ها در باند اطمینان ۹۵ درصد و مقادیر فاکتور d به دست‌آمده کمتر از یک چه در مرحله واسنجی و چه در مرحله صحت‌سنجی می‌توان دریافت که اثر عدم‌قطعیت مدل پیش‌بینی باعث شده تا کیفیت نتایج بهبود یابد (۲۳).



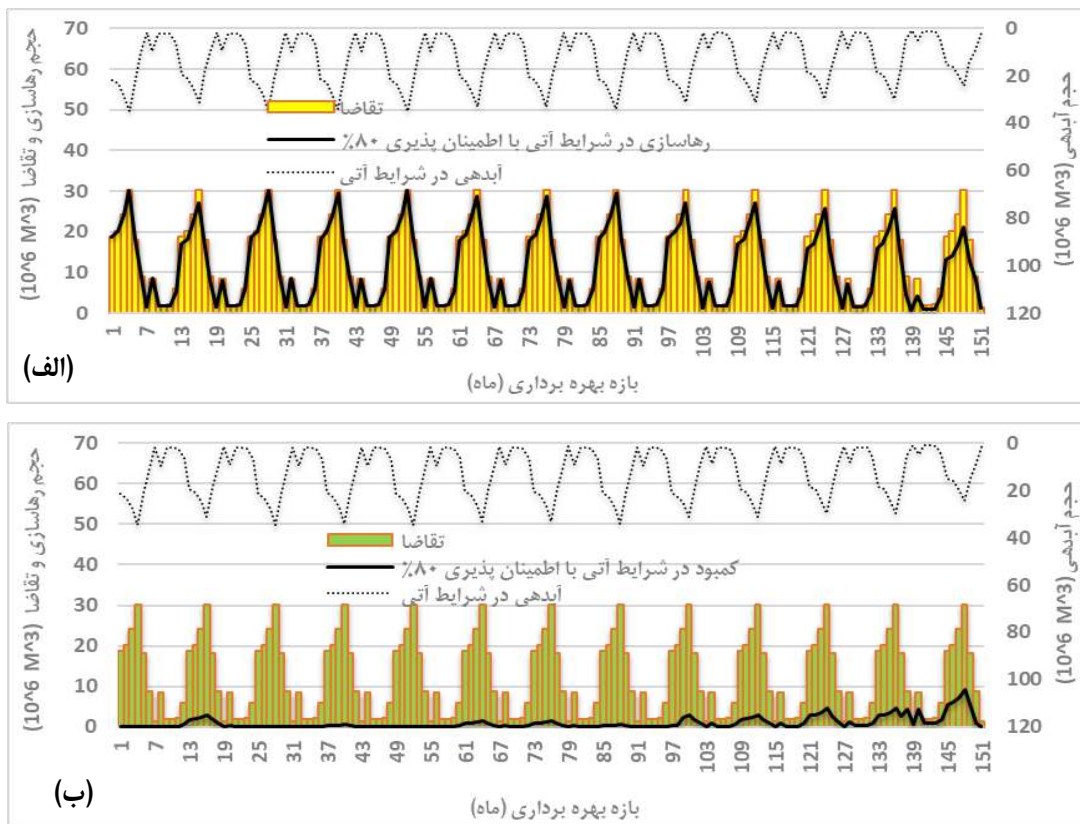
شکل ۵- مقایسه منحنی پرتو و تغییرات توابع هدف آسیب‌پذیری و اطمینان‌پذیری
Figure 5. Comparison of the Pareto curve and the variations of the objective functions of the vulnerability and reliability indices

مربوط به خود را در بر می‌گیرد. هیچ یک از این نقاط پرتو بر دیگری ارجحیت نداشته؛ بلکه بسته به شرایط و سیاست‌های حاکم بر سطح حوضه می‌تواند تغییر کند. در گام بعدی، قواعد بهینه نیاز آبی در شرایط پایه و تغییراقلیم بررسی و ارزیابی شد. بدین‌منظور، قواعد بهینه حاصل از شرایط پایه با قواعد بهینه حاصل از تغییراقلیم مقایسه شدند. نتایج مربوطه در تأمین نیاز آبی به‌ازای شاخص اطمینان‌پذیری ۸۰ درصد در شکل ۶ الف (برای شرایط پایه) و ۷ الف (برای گزینه تغییراقلیم) ارائه شده است. در ادامه، تغییرات حجم کمبود با قواعد بهره‌برداری بهینه حاصل از الگوریتم بهینه‌سازی هیبریدی پیشنهادی برای گزینه‌های دوگانه فوق‌الذکر در مقایسه با نیاز آبی مربوطه بررسی شدند. نتایج، همانگونه در شکل‌های ۶ ب و ۷ ب آمده است نشان می‌دهند که در شرایط تغییراقلیم عملکرد سد بهتر شده است.

همانطور که در شکل ۵ دیده می‌شود، محدوده تغییرات آسیب‌پذیری در شرایط پایه و تغییراقلیم، به‌ترتیب، برابر ۱۸ تا ۴۵ درصد و ۱۰ تا ۳۹ درصد و محدوده تغییرات اطمینان‌پذیری در شرایط پایه و تغییراقلیم، به‌ترتیب، برابر ۵۲ تا ۸۹/۵ درصد و ۸ تا ۹۰ درصد است. به‌ازای اطمینان‌پذیری ۸۰ درصد، آسیب‌پذیری ۳۱ و ۲۷ درصد، به‌ترتیب، برای شرایط پایه و تغییراقلیم ایجاد می‌شود. این مطلب به آن معنی است که میزان پارامتر آسیب‌پذیری مدل در شرایط تغییراقلیم از رنج کمتری برخوردار بوده، به‌طوری‌که در مقادیر اطمینان‌پذیری یکسان، مدل در شرایط تغییراقلیم از آسیب‌پذیری کمتری برخوردار خواهد بود. از سوی دیگر، محدوده تغییرات آسیب‌پذیری و اطمینان‌پذیری در شرایط تغییراقلیم نسبت به شرایط پایه بیشتر است. هر یک از نقاط منحنی پرتو در شکل ۴، مبین یک قاعده بهره‌برداری از مخزن است که شاخص‌های آسیب‌پذیری و اطمینان‌پذیری



شکل ۶- مقایسه حجم رهاسازی (الف) و حجم کمبود (ب) به ازای نقطه پرتوی حاصل از اطمینان پذیری ۸۰٪ در شرایط پایه
Figure 6. Comparison of water release (a) and deficiency volume (b) for Pareto point of 80% reliability under baseline conditions



شکل ۷- مقایسه حجم رهاسازی (الف) و حجم کمبود (ب) به ازای نقطه پرتوی حاصل از اطمینان پذیری ۸۰٪ در شرایط تغییر اقلیم
Figure 7. Comparison of water release (a) and deficiency volume (b) for Pareto point of 80% reliability under climate change conditions

مقایسه شدند (جدول ۲). با توجه به جدول ۲ ملاحظه می‌شود، میزان رهاسازی از مخزن با تقاضا در شرایط تغییراقلیم تطابق بیشتری دارد. بنابراین، در شرایط تغییراقلیم عملکرد سد بهتر می‌باشد. شایان توجه می‌باشد که نتایج به دست‌آمده از این پژوهش با نتایج تحقیق آشفته و همکاران (۲ و ۳) نیز منطبق می‌باشد.

با توجه به شکل ۶ الف و ۷ الف، میزان رهاسازی در شرایط تغییراقلیم نسبت به شرایط پایه بیشتر بوده بطوریکه این موضوع به دلیل افزایش حجم تقاضای آب در شرایط تغییراقلیم به میزان ۱۳ درصد است. از سوی دیگر با توجه به شکل‌های ۶ ب و ۷ ب در گام بعد، به منظور بررسی عملکرد مخزن در تأمین نیاز آبی اراضی پایین‌دست، مقادیر تابع هدف به‌ازای نقطه پرتو (اطمینان‌پذیری ۸۰ درصد) در شرایط مذکور

جدول ۳- مقایسهٔ توابع هدف در دو حالت پایه و تغییراقلیم به‌ازای نقطهٔ پرتو (اطمینان‌پذیری ۸۰ درصد)

Table 3. Objective functions' comparison in the baseline and climate change conditions for 80% reliability

شرایط	اطمینان‌پذیری (%)	آسیب‌پذیری (%)
پایه	۸۰	۳۱
تغییراقلیم	۸۰	۲۷

محدودهٔ تغییرات اطمینان‌پذیری در شرایط پایه و تغییراقلیم، به‌ترتیب، برابر ۵۲ تا ۸۹/۵ درصد و ۲۸ تا ۹۰ درصد است. به‌ازای اطمینان‌پذیری درصد، آسیب‌پذیری و درصد، به‌ترتیب، برای شرایط پایه و تغییراقلیم ایجاد می‌شود. مقایسه قواعد بهینهٔ حاصل از شرایط پایه با قواعد بهینهٔ حاصل از تغییراقلیم نشان داد که نیاز آبی طرح به‌ازای شاخص اطمینان‌پذیری درصد تأمین می‌گردد. همچنین میزان رهاسازی در شرایط تغییراقلیم نسبت به شرایط پایه بیشتر بوده، بطوریکه این موضوع به‌دلیل افزایش حجم تقاضای آب در شرایط مربوط به تغییراقلیم می‌باشد. از سوی دیگر مقایسه عملکرد مخزن در تأمین نیاز آبی اراضی پایین‌دست در نقطه پرتو (اطمینان‌پذیری درصد) در شرایط پایه و تغییراقلیم نیز حکایت از تطبیق بیشتر میزان رهاسازی از مخزن با تقاضا در شرایط تغییراقلیم دارد. شایان ذکر است که آشفته و همکاران (۲ و ۳) نیز پیش‌تر به نتایج مشابهی دست یافته بودند. از آنجاییکه که این مدل ضمن مقایسه با روش‌های پیشین نظیر استفاده از برنامه‌ریزی ژنتیک که بیشتر توسط آشفته و همکاران به‌کار گرفته شد توانسته اطمینان‌پذیری بیشتری را به‌دست دهد، می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از الگوریتم هیبریدی نهنگ بهبودیافته از کارایی بهتری نسبت به GP برخوردار می‌باشد، لذا پیشنهاد می‌گردد استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری جدید در این روش مورد ارزیابی قرار گیرد.

بنابراین از آنجایی که پیش‌بینی رواناب آینده در شرایط تغییراقلیم بدون تکیه بر تحلیل عدم قطعیت مدل‌های پیش‌بینی کننده باعث ایجاد خطا در برنامه‌ریزی بلندمدت منابع آب به‌ویژه بهره‌برداری بهینه از مخازن می‌گردد، در این پژوهش پس از دستیابی به پارامترهای تغییراقلیم براساس مدل اقلیمی CANESM2 با استفاده از مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری SDSM4.2، پیش‌بینی فرآیند بارش-رواناب آبی در شرایط تغییراقلیم صورت پذیرفت. سپس تحلیل عدم قطعیت بر روی نتایج حاصل از شبیه‌سازی انجام گرفته توسط مدل نروفازی مرتبه دو صورت گرفت تا در صورت مناسب بودن نتایج حاصل از بررسی عدم قطعیت مذکور بهینه‌سازی میزان رواناب حاصله و مخزن سد گلستان صورت پذیرد. با عنایت به نتایج حاصل از تحلیل عدم قطعیت، شبیه‌سازی فرآیند بارش-رواناب در دوره تغییراقلیم در باند اطمینان ۹۵ درصد در هر دو مرحله واسنجی و صحت‌سنجی قرار گرفت. سپس جهت دستیابی به قواعد بهره‌برداری بهینه در شرایط پایه و تغییراقلیم، اقدام به کدنویسی الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفه نهنگ بهبودیافته برای اولین بار در مدیریت منابع آب در نرم‌افزار متلب جهت بهینه‌سازی مخزن سد گلستان در شرایط پایه (۱۳۸۴-۱۳۹۷) و تغییراقلیم (۱۴۲۰ الی ۱۴۳۲) شد. نتایج نشان داد، محدودهٔ تغییرات آسیب‌پذیری در شرایط پایه و تغییراقلیم، به‌ترتیب، برابر ۱۸ تا ۴۵ درصد و ۱۰ تا ۳۹ درصد و

منابع

1. Abbaspour, K.C., J. Yang, I. Maximov, R. Siber, K. Bogner, J. Mieleitner, J. Zobrist and R. Srinivasan. 2007. Modeling hydrology and water quality in the pre-alpine/alpine Thur watershed using SWAT. *Journal of Hydrology*, 333: 413-430.
2. Ashofteh, P.S. and O. Bozorg Haddad. 2016. Using a GP optimization tool developed for multipurpose reservoirs in climate change. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 46(3): 415-422 (In Persian).
3. Ashofteh, P.S. and O. Bozorg Haddad and M.A. Mariño. 2013. Climate change impact on reservoir performance indices in agricultural water supply. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 139(2): 19434774.
4. Bozorgi S.M. and S. Yazdani. 2019. IWOA: An improved whale optimization algorithm for optimization problems. *Journal of Computational Design and Engineering*, 6: 243-259.
5. Christensen, N. and D.P. Lettenmaier. 2006. A multi-model ensemble approach to assessment of climate change impacts on the hydrology and water resources of the Colorado River basin. *Journal of Hydrology and Earth System Sciences*, 3(6): 3727-3770.
6. Donyaii, A., and A. Sarraf. 2020. Optimization of Reservoir Operation using a Bioinspired Metaheuristic Based on the COVID-19 Propagation Model. *Numerical Methods in Civil Engineering Journal*, 5 (1) :15-28.
7. Donyaii A., A. Sarraf and H. Ahmadi. 2020a. A Novel Approach to Supply the Water Reservoir Demand Based on a Hybrid Whale Optimization Algorithm. *Shock and Vibration*, <https://doi.org/10.1155/2020/8833866>.
8. Donyaii, A., A. Sarraf and H. Ahmadi. 2020b. Application of a new approach in optimizing the operation of the multi-objective reservoir. *Journal of Hydraulic Structures*, 6(3), 1-20.
9. Gong, W., Z. Cai and C.X. Ling. 2011. DE/BBO: A hybrid differential evolution with biogeography-based optimization for global numerical optimization. *Soft Computing*, 15(4): 645-665.
10. Hessami, M., F. Anctil and A.A. Viau. 2003. An Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System for the Post-Calibration of Weather Radar Rainfall estimation. *J. Hydroinform.*, 5: 63-70.
11. Ibrahim, R.A., M.A. Elaziz and S. Lu. 2018. Chaotic opposition-based grey-wolf optimization algorithm based on differential evolution and disruption operator for global optimization. *Expert Systems with Applications*, 108: 1-27.
12. IPCC. 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis,* Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
13. Jadon, S.S., R. Tiwari, H. Sharma and J.C. Bansal. 2017. Hybrid artificial bee colony algorithm with differential evolution. *Applied Soft Computing*, 58: 11-24.
14. Jang, J.S.R. 1993. ANFIS: adaptive-network-based fuzzy inference system. *IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics*, 23: 665-685.
15. Jiang, T., Y.D. Chen, C.Y. Xu, X. Chen, X. Chen and V.P. Singh. 2007. Comparison of hydrological impacts of climate change simulated by six hydrological models in the Dongjiang Basin, South China. *Journal of Hydrology*, 336: 316-333.
16. Khanjari Sadati, S., M. Speelman, M. Sabouhi, Gitizadeh and B. Ghahraman. 2014. Optimal irrigation water allocation using a genetic algorithm under various weather conditions. *Water*, 6(10): 3068-3084.
17. Kisi, O., T. Haktanir, M. Ardiclioglu, O. Ozturk, E. Yalcin and S. Uludag. 2009. Adaptive neuro-fuzzy computing technique for suspended sediment estimation. *Advances in Engineering Software*, 40: 438-444.
18. Lin, Q., Q. Zhu, P. Huang, J. Chen, Z. Ming and J. Yu. 2015. A novel hybrid multi-objective immune algorithm with adaptive differential evolution. *Computers and Operations Research*, 62: 95-111.
19. LotfiManesh, B. and G.A. Barani. 2019. Optimal utilization of surface waters due to climate change effect by genetic algorithm (case study of Zayandeh-rood basin). 5th annual national conference on civil engineering, Architecture and Design of Iran, Mashhad Scientific Institute and research, Mashhad, Iran. (In Persian)
20. Marce, R., M. Comerma, J.C. García and J. Armengol. 2004. A neuro-fuzzy modeling tool to estimate fluvial nutrient loads in watersheds under time varying human impact. *Limnology and Oceanography: Methods*, 2: 342-355.
21. Mazandaranizadeh, H., J. PiadehKoohsar and S.M.K. Sadr. 2019. Evaluation of GA and PSO optimization algorithms in operation of multi-reservoir systems Case study: Gorgan-Rood basin dams. *Journal of Water and Soil Conservation Research*, 26(2): 239-250.
22. Mirzaee, N., and A. Sarraf. 2021. Application of Data Fusion Models in River Flow Simulation Using Signals of Large-Scale Climate (Case Study: Jiroft Dam Basin), *Journal of Watershed Engineering and Management*, <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2021.343547.1816>.
23. Moazami Goudarzi, F., A. Sarraf and H. Ahmadi. 2020. Prediction of Runoff Within Maharlu Basin for Future 60 Years Using RCP Scenarios, *Arabian Journal of Geosciences*, 13: 605, 1-17.

24. Noori, M. 2015. Multi-reservoir multi-objective water resources systems management using optimization model terms of climate change. Ph.D. Thesis, Ferdowsi university of Mashhad, Iran, (In Persian).
25. Noori, M., M.B. Sharifi and M. Zarghami. 2015. Effects of climate changes on inflow of reservoirs in the uncertainty condition (case study: Bostan and Golestan dams in the Gorgan-roud catchment), Iranian Journal of Irrigation and Drainage, 2(9): 367-380 (In Persian).
26. Purkey, D.R., B. Joyce, S. Vicuna, M.W. Hanemann, L.L. Dale, D. Yates and J.A. Dracup. 2007. Robust analysis of future climate change impacts on water for agriculture and other sectors: a case study in the Sacramento Valley. Climatic Change, 87: 109-122.
27. Sabziparvar, A.A. and M. Bayat Varkeshi. 2010 Accuracy evaluation of ANN and Neuro-Fuzzy in global solar radiation. Iranian Journal of Physics Research, 10: 347-357 (In Persian).
28. Sanikhani, H., Y. Dinpajoh, S. Pour Yusef, S.Z. Ghavidel and B. Solati. 2014. Investigation of the effects of climate change on runoff of watersheds (Case study: Ajay-Chay catchment in East Azarbaijan province. Water and Soil, 27(6): 1225-1234 (In Persian).
29. Steele- Dunne, S., P. Lynch, R. McGrath, T. Semmler, Sh. Wang, J. Hanafin and P. Nolan. 2008. The impacts of climate change on hydrology in Ireland. Journal of Hydrology, 356(1-2): 28- 45.
30. Sunyer, M.A., H. Madsen and P.H. Ang. 2012. A comparison of different regional climate models and statistical downscaling methods for extreme rainfall estimation under climate change. Atmospheric Research, 103: 119-128.
31. Takagi, T. and M. Sugeno. 1983. Derivation of fuzzy control rules from human operators control actions. Proceedings of the IFAC symposium on fuzzy information, knowledge representation and decision analysis, 55.
32. Wilby, R.L., C.W. Dawson, C. Murphy, P. O'Connor and E. Hawkins. 2014. The Statistical Downscaling Model- Decision Centric (SDSM-DC): conceptual basis and applications. Climate Research, 61(3): 259-276.
33. Yüzgeç, U. and M. Eser. 2018. Chaotic based differential evolution algorithm for optimization of baker's yeast drying process. Egyptian Informatics Journal, 19: 151-163.
34. Zamani, R., A. Akhund Ali and M.A. Roozbahani. 2019. Investigating the impact of climate change on runoff Under different probabilistic levels using the uncertainty approach (case study: Yellow River basin). Irrigation Science and Engineering, in press, (In Persian).

Operation of the of Golestan Dam Reservoir in Climate Change Conditions Using an Improved Multi-Objective Whale Optimization Algorithm

Alireza Donyaii¹, Amirpouya Sarraf² and Hassan Ahmadi³

-
- 1- Ph.D. Candidate of Civil Engineering Department, Roudehen Branch, Islamic Azad University, Roudehen, Iran
2- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Roudehen Branch, Islamic Azad University, Roudehen, Iran
(Corresponding Author: sarraf@riau.ac.ir)
3- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Roudehen Branch, Islamic Azad University, Roudehen, Iran
Received: April 20, 2020 Accepted: October 5, 2020
-

Abstract

The amount of runoff entering the dam's reservoirs are continuously affected by climatic parameters, which influenced by the climate change phenomenon. In this study, the climate change parameters were obtained based on CANESM2 climate model using the SDSM4.2 statistical downscaling model. Then the rainfall-runoff process was simulated by ANFIS model with Sugeno structure and subtractive clustering at the entrance of Golestan dam reservoir in climate change conditions. Finally, the Improved Multi-Objective Whale Optimization Algorithm (MOIWOA) which is a combination of Whale V (WOA) and the Differential Evolution (DE) is used to extract the optimal operation rules of Golestan Dam Reservoir in Golestan province. The results of the uncertainty analysis indicated that the simulation results of the climate change period were in the 95% confidence band - in both calibration and validation phases. Also optimization of Golestan reservoir in baseline (March 2005-September 2018) and climate change (April 2021-October 2033) periods showed that the vulnerability changes in the baseline and climate changes are in the range of 18-45% and 10-39%, respectively, and the reliability ranges over 52 to 89.5% and 28 to 90%, respectively, in both baseline and climate change phases. And for 80% reliability, the baseline and climate change conditions' vulnerability are obtained as 31% and 27%, respectively. Comparison of the optimal rules derived from the baseline conditions with the optimized ones from the climate change showed that the plan water demand is met by 80% reliability index. In addition, the release volume in climate change conditions is higher than its baseline one, which can be due to the increased volume of water demand in climate change conditions. On the other hand, comparing the performance of the reservoir to meet the irrigation demands of downstream land at the Pareto point (80% reliability) in terms of baseline and climate change also suggests a greater adaptation of reservoir release to demand in climate change period.

Keywords: ANFIS Model, Climate Change, Golestan Dam, Multi-objective Improved Whale Optimization Algorithm, Uncertainty



"مقاله پژوهشی"

ارزیابی عملکرد مدیریت بهره‌وری آب در شبکه‌های آبیاری (مطالعه موردی: شبکه آبیاری دوستی-خراسان رضوی)

حسن ساقی^۱، رضا جاوید صباغیان^۲ و مصطفی رضانی مقدم^۳

۱- دانشیار و عضو هیات علمی، گروه عمران دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران (نویسنده مسوول: h.saghi@hsu.ac.ir)

۲- استادیار و عضو هیات علمی گروه عمران دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

۳- کارشناس ارشد عمران، مدیریت ساخت گروه عمران، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۷/۱۴

صفحه: ۲۵۱ تا ۲۵۹

چکیده

در این مقاله، تأثیر بهره‌وری آب کشاورزی جهت بهینه‌یابی الگوی کشت در شبکه آبیاری سد دوستی مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور، میزان هزینه و درآمد ناشی از فروش محصولات کشاورزی و نیز نیاز آبی این محصولات، به‌عنوان پارامترهای اصلی مورد استفاده قرار گرفت. در این راستا، محدوده مورد مطالعه (شبکه آبیاری سد دوستی) به‌لحاظ سردهانه‌های آبگیر، بافت اجتماعی، محدوده فعالیت تشکلهای آب‌بران به شش ناحیه تقسیم گردید و شاخص بهره‌وری با توجه به بررسی‌های میدانی برای همه نواحی تعیین شد. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد با اعمال طرح پیشنهادی، درآمد در کل محدوده مطالعاتی به‌میزان ۲۰ درصد افزایش می‌یابد و سیستم آبیاری منطقه بهینه خواهد شد. همچنین نیاز آبی سالانه و نیاز آبی تأمین‌نشده هر ناحیه از محدوده مطالعاتی با توجه به منابع آبی موجود و نیز براساس استفاده از توابع مدل WEAP محاسبه گردید و در نتیجه راندمان آبیاری افزایش و نیاز آبی محصولات کشاورزی تا افاق طرح (سال ۲۰۳۰) کاهش یافت. نتایج حاصل از این پژوهش در محدوده مطالعاتی، می‌تواند رویکرد مدیریتی مناسبی را جهت اتخاذ تصمیم‌گیری‌های آبی برای سیاست‌گذاران و ذی‌مدخلان حوزه آب در این محدوده فراهم نماید.

واژه‌های کلیدی: درآمد، ساماندهی کشت، محصولات کشاورزی، مدل WEAP، نیاز آبی کشاورزی

مقدمه

آب به‌عنوان یکی از ارزشمندترین منابع طبیعی به‌شمار می‌آید که نقش مهمی را در توسعه پایدار همه‌جانبه ایفا می‌نماید. از یک سو منابع آبی در تأمین نیازهای مختلف مشتمل بر نیازهای شرب، کشاورزی، صنعتی و زیست‌محیطی دارای محدودیت کمی و کیفی می‌باشند. از سویی دیگر، طی ۶۰ سال گذشته، تقاضای جهانی برای تأمین آب شیرین به‌دلیل رشد جمعیت و رشد اقتصادی افزایش یافته است (۱). در این راستا، پیش‌بینی می‌شود تقاضای آب تا سال ۲۰۵۰ بیش از ۴۰٪ رشد خواهد داشت و تقریباً دو سوم جمعیت جهان تا سال ۲۰۲۵ با شرایط بحرانی تنش آبی روبه‌رو خواهند شد (۳،۲). در میان افزایش تقاضای مربوط به مصارف مختلف آبی، مصارف کشاورزی به‌منظور توسعه پایدار کشاورزی و تولید مواد غذایی جمعیت در حال رشد جهان، مهم‌ترین نقش را ایفا می‌کنند و در افزایش تنش آبی به گونه‌ای قابل‌ملاحظه تأثیرگذارند.

در سراسر جهان، تقاضای مربوط به مصارف آب کشاورزی تقریباً ۷۰٪ کل برداشت منابع آبی را شامل می‌شود. در این میان، در نواحی با وضعیت اقلیمی خشک و نیمه‌خشک که با محدودیت کمی و کیفی منابع آبی مواجه می‌باشند، و سامانه‌های کشاورزی در آن‌ها وابسته به آبیاری می‌باشند، تقاضای آب برای آبیاری به‌صورتی قابل‌ملاحظه افزایش خواهد یافت. یکی از این مناطق در جهان، کشور ایران است که دارای محدودیت منابع آب می‌باشد و در عین حال بخش مهمی از اقتصاد آن مبتنی بر تولیدات کشاورزی است (۴). بررسی‌های تحقیقاتی نشان می‌دهد بخش کشاورزی در ایران

حدود ۹۲٪ برداشت آب از منابع سطحی و زیرزمینی را شامل می‌شود و بخش مهمی از اقتصاد به‌ویژه اقتصاد روستایی وابسته به تولید محصولات کشاورزی است، درحالی‌که این بخش فقط در ۱۰٪ از تولید ناخالص ملی مشارکت دارد (۵). همچنین، راندمان مصرف آب کشاورزی نیز که به‌عنوان عاملی مؤثر در تولیدات کشاورزی محسوب می‌گردد، در ایران پایین است (۶). بنابراین بهینه نمودن مصارف آبی در بخش کشاورزی به‌عنوان یکی از گران‌بهارترین نهاده‌های محصولات کشاورزی و بهره‌وری آب با توجه به محدودیت منابع آب در تأمین نیازهای آبی کشاورزی حائز اهمیت است. بهبود بهره‌وری می‌تواند تولیدات کشاورزی و درآمدها را افزایش داده و بر تولید ناخالص ملی نیز اثربخشی مثبت داشته باشد.

در سالیان اخیر، با توجه به سرمایه‌گذاری‌های قابل‌توجه در حوزه آب به‌ویژه ساخت مخازن آبی و سدها و حتی شبکه‌های آبیاری و زهکشی و رضایت‌بخش نبودن عملکرد طرح‌های مدیریت منابع آب جهت افزایش بهره‌وری، پژوهش‌های مختلفی در زمینه استفاده بهینه از منابع آب در حوزه کشاورزی و ارائه راهکارهای مطلوب مدیریتی در این مقوله در سطح ملی و بین‌المللی انجام گردیده است.

در این زمینه و بر مبنای رویکرد استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و نیز سنجش از دور برای پایش اطلاعات و جمع‌آوری داده‌ها، در سال ۲۰۲۰، کارتیکیان و همکاران با استفاده از سامانه سنجش از دور به جمع‌آوری اطلاعات در خصوص رشد و عملکرد محصولات کشاورزی، و نیز برآورد تلفات آبی محصولات به‌منظور ارائه رهیافتی مناسب برای مدیریت مؤثر کشاورزی پرداختند (۷). همچنین در سال‌های

کشاورزی را در تعادل بخشی منابع آب زیرزمینی حوضه رودخانه زرد، به‌عنوان یکی از منابع اصلی تأمین آب موردنیاز در بخش کشاورزی مورد بررسی قرار دادند (۱۶). ژاؤ و همکاران در سال ۲۰۱۸ بر مبنای شبیه‌سازی هیدرولوژیکی، اثرات منابع آب‌های زیرزمینی کم‌عمق را در افزایش بهره‌وری آبیاری کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک تحلیل و ارزیابی نمودند (۱۷). همچنین، با توجه به محدودیت‌های منابع آب‌های زیرزمینی، استفاده از سامانه‌های آب باران نیز در سالیان اخیر مورد توجه قرار گرفته است. در سال ۲۰۲۰، بارکونان و همکاران این رویکرد را به‌عنوان گزینه‌ای مناسب در تأمین آب بخش کشاورزی مورد بررسی قرار دادند (۱۸). استفاده مناسب از شبکه زهکشی، یکی دیگر از روش‌های مؤثر جهت افزایش راندمان آبیاری است که توسط محققان مختلفی همچون خلیلی و اوآدره و همکاران مورد مطالعه قرار گرفته است (۱۹). آن‌ها در تحقیقات خود، اولویت‌بندی مکانی زهکشی زیرزمینی در محدوده پروژه آبیاری و زهکشی البرز را با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی مورد بررسی قرار داده‌اند. در این میان، اثر پارامترهای مختلفی همچون انتشار گازهای گلخانه‌ای و تغییرات اقلیمی بر عرضه و تقاضای آب آبیاری و تولیدات کشاورزی نیز توسط برخی از محققین همچون پرهیزکار و مظفری مورد بررسی قرار گرفته است (۲۰). آن‌ها در تحقیقات خود، با استفاده از داده‌های سری زمانی و مدل شبیه‌سازی RCM-PRECIS، اثر انتشار گازهای گلخانه‌ای را بر روی دما و بارش تحت سناریوهای مختلف و در ادامه، میزان تأثیرگذاری این متغیرها بر عملکرد محصولات منتخب را مورد بررسی قرار داده‌اند. در نهایت، میزان تغییرات به‌وجودآمده در عرضه و تقاضای آب آبیاری و تولیدات بخش کشاورزی در حوضه‌های آبخیز استان قزوین را بررسی نمودند. در راستای مدیریت بهره‌وری آب، کشاورزان تمایل به افزایش بهره‌وری در مقیاس مزرعه برای کاهش و به حداقل رساندن هزینه‌های آب و نیز تولید درآمد بیشتر را دارند. از دیدگاه مدیران آبیاری و ذی‌نفعان، بهره‌وری آب در مقیاس سامانه حائز اهمیت است، درحالی‌که در نگرش سیاست‌گذاران به حداکثر رساندن استفاده بهینه از آب قابل‌دسترس به‌عنوان موضوعی مهم تلقی می‌گردد. برای جلوگیری از اثرات منفی بحران آب در بلندمدت یکی از رویکردهای مؤثر مقابله با بحران، افزایش کمی و کیفی تولیدات در بخش کشاورزی و توجه جدی به بهره‌وری آب و ارتقاء آن با اعمال روش‌ها و اتخاذ سیاست‌های مناسب است. از این‌رو، بهره‌وری آب کشاورزی به‌ویژه بهره‌وری اقتصادی آب، یکی از مهم‌ترین موضوعاتی است که در سال‌های اخیر مورد توجه جدی مجامع علمی مرتبط با آبیاری و کشاورزی و پژوهش‌گران مربوطه قرار گرفته است. بهره‌وری آب کشاورزی شاخص مناسبی برای ارزیابی مدیریت کشاورزی به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک است. در این راستا، وزارت و باستانسن در سال ۲۰۰۴، تحقیق نمودند که شاخص بهره‌وری آب عمدتاً با عوامل اقلیمی، مدیریت آبیاری و مدیریت درآمد و سود نسبت می‌باشد و این شاخص می‌تواند در صورت کاهش مقدار آب آبیاری و اعمال کم آبیاری افزایش یابد (۲۱). استفاده از

اخیر، در زمینه استفاده از روش‌های هوشمند به‌منظور بهینه‌سازی تخصیص آب کشاورزی مطالعات خوب و ارزشمندی صورت گرفته است. در این راستا، لی و همکاران در سال ۲۰۲۰، اثرات تخصیص مناسب منابع آب برای آبیاری محصولات کشاورزی را بر روی پایداری کشاورزی در شرایط کمبود آب مورد بررسی قرار دادند (۸). از سویی دیگر در سال ۲۰۲۰، با استفاده از سامانه‌های آبیاری هوشمند، تشخیص عواملی همچون نفوذ و هدررفت آب در مسیرهای انتقال آب توسط پژوهش‌گرانی همچون تاکور و همکاران مورد بررسی قرار گرفت (۹). همچنین تالوویا و همکاران در سال ۲۰۲۰، با استفاده از روش‌های هوش مصنوعی، راندمان آبیاری کشاورزی را در شرایط استفاده از نهاده‌های سموم دفع آفات و علف‌کش‌ها بهینه نمودند (۱۰).

در زمینه روش‌های جایگزین تأمین آب و استفاده از روش‌های نوین مدیریت ارزش در بخش کشاورزی نیز در سال‌های اخیر مطالعات ارزشمندی صورت گرفته است. در این راستا، استفاده از پساب خانگی، که از آن با عنوان آب خاکستری نام برده می‌شود، در سال ۲۰۲۰ به‌عنوان یکی از گزینه‌های جایگزین تأمین نیازهای آبی آبیاری در بخش کشاورزی توسط گورگیچ و همکاران مورد مطالعه قرار گرفت (۱۱). در زمینه مدیریت بهینه شبکه‌های آبیاری و زهکشی در ایران، کبیری و رضوی در سال ۲۰۰۵، در تحقیقات خود با انجام یک مطالعه مهندسی ارزش در مرحله بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری کشاورزی در عمل‌نگرشی غیرسازهای را در زمینه بهره‌وری اقتصادی آب مورد بررسی و تحلیل قرار دادند (۱۲). در پژوهشی دیگر، گالیوتا و همکاران در سال ۲۰۲۰ براساس مفاهیم مهندسی ارزش، اهمیت سامانه اطلاعات و پایگاه داده‌ها را در مدیریت مؤثر منابع آب در بخش کشاورزی مورد بررسی قرار دادند و در این زمینه اثرات اقتصادی استفاده از انواع روش‌های نوین آبیاری را در افزایش نسبت درآمد به هزینه کشاورزان تحقیق کردند (۱۳).

علیرغم مطالعات بسیاری که توسط محققین و نیز کشاورزان در جهت استفاده از روش‌های مناسب کشاورزی به‌منظور استفاده بهینه از منابع آب موجود به‌عمل آمده است، با توجه به افزایش جمعیت و افزایش نیاز به محصولات کشاورزی، استفاده از روش‌های کشاورزی که مبتنی بر عدم‌استفاده از آب در کشاورزی است، امری اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. در این راستا، در سال ۲۰۲۰ دینیس و همکاران به انجام پژوهش در زمینه تغییر رویکرد از کشاورزی آبی به دیم در محدوده مطالعاتی آبخوان اولگالالا پرداختند و اثرات اقتصادی این نوع نگرش را در منطقه مورد بررسی و تحلیل قرار دادند (۱۴). همچنین، تاکاتسوکا و همکاران در سال ۲۰۲۰ به بررسی میزان ارزش آب مصرفی در بخش کشاورزی در ایالت کالیفرنیا پرداختند (۱۵).

از طرفی، استحصال بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی، تأثیرات جبران‌ناپذیری بر روی آن به‌دنبال خواهد داشت. بنابراین برخی از محققین به بررسی تأثیرات کشاورزی بر روی آب‌های زیرزمینی در محدوده مورد مطالعه خود پرداختند. ژانگ و همکاران در سال ۲۰۲۰ اثرات کاهش آبیاری

تشکل‌های آب‌بران و توجه به اولویت‌های آنان در الگوی کشت صورت گرفته است تا بدین وسیله راهکار مناسبی برای ارتقاء بهره‌وری آب ارائه گردد. همچنین، در این پژوهش بررسی نیاز آبی کشاورزی در سال‌های آتی با استفاده از مدل مدیریت منابع و مصارف آب (WEAP) به‌طور همزمان با تحلیل بهره‌وری اقتصادی صورت پذیرفته است که در نهایت قدرت تصمیم‌سازی و تصمیم‌گیری مدیران را افزایش خواهد داد و انعطاف‌پذیری این مطالعات را برای مدل‌سازی و پیاده‌سازی در سایر حوضه‌های آبریز امکان‌پذیر خواهد گردانید.

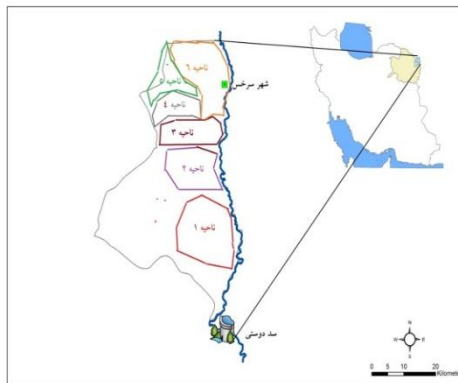
بهره‌وری آب یک نیاز و یک گام اولیه است و هرگز نمی‌تواند پایان یک پایش محسوب شود و خود، آغاز یک فعالیت گسترده است. بنابراین لازم است به‌واسطه اهمیت جبران کمبود آب در بخش‌های مختلف با افزایش راندمان آبیاری، مطالعات و پژوهش‌های کاربردی بیشتری صورت پذیرفته و نقشه بهره‌وری آب می‌تواند ارائه‌کننده اطلاعات بنیادین خوبی جهت تصمیم‌گیری‌ها و برنامه‌ریزی‌های آتی در حوزه آب باشد.

معرفی محدوده مطالعاتی

شبکه آبیاری سد دوستی در شمال‌شرقی ایران قرار دارد که در حال حاضر با کمبود و عدم توزیع و تخصیص مناسب آب کشاورزی مواجه است. تخصیص آب به کشاورزان این محدوده با توجه به ظرفیت سالانه مخزن سد خاکی دوستی در بالادست محدوده و شرایط آبی آبخوان در پایین‌دست سد انجام می‌شود. در حال حاضر، عدم قطعیت دسترسی به تمامی آب موردنیاز سامانه‌های کشاورزی به یک مسأله چالش‌برانگیز برای شبکه آبیاری سد دوستی تبدیل شده است. با خشکسالی‌های چند سال اخیر، ظرفیت مخزن سد دوستی کاهش یافته است و تراز آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی نیز افت کرده است. به‌همین دلیل آب تخصیص‌یافته به کشاورزی منطقه نیز کاهش یافته است و درآمد کشاورزان محدوده را نیز تحت‌تأثیر قرار داده است. در تحلیل حاضر، به تحلیل مسأله مدیریت تقاضای آب در منطقه مطالعاتی از طریق بهبود بهره‌وری آب پرداخته شده است و با تعیین شاخص‌های بهره‌وری اقتصادی آب، افزایش درآمد کشاورزان از طریق ساماندهی کشت‌های مهم منطقه صورت گرفته است. با توجه به فعالیت تشکل‌های آب‌بران در منطقه، کل محدوده مطالعاتی به شش ناحیه جهت تحلیل و بررسی بهتر مسأله تقسیم شده است و شاخص‌های بهره‌وری برای هر یک از نواحی به تفکیک تعیین گردیده است. در ناحیه ۱ محدوده مطالعاتی تعاونی آب‌بران سنگر، در ناحیه ۲ منطقه تعاونی نوروزآباد، در ناحیه ۳ محدوده تعاونی انقلاب، در ناحیه ۴ منطقه تعاونی اتحاد، در ناحیه ۵ تعاونی‌های میثاق و لقمان، و در ناحیه ۶ محدوده مورد مطالعه تعاونی اتفاق مشارکت دارند (شکل ۱).

روش‌های تکاملی نظیر الگوریتم ژنتیک نیز یکی از روش‌ها به‌منظور بهینه‌سازی و ارتقای بهره‌وری است. در پژوهشی مرتبط، در سال ۲۰۱۱، کیان‌فر و همکاران از این روش برای تخصیص بهینه آب به شبکه آبیاری و زهکشی در استان آذربایجان شرقی استفاده نمودند (۲۲). هدف کلی این مطالعه بهینه نمودن سیستم آبیاری و افزایش درآمد کشاورزان منطقه و کاهش نیاز آبی تأمین‌نشده در یک بازه زمانی ۱۰ ساله است. همچنین در مطالعات کشاورز و دهقانی سانچ در سال ۲۰۱۲، براساس برنامه‌ریزی‌های بلندمدت تا سال ۱۴۰۴ شمسی بهره‌وری آب کشاورزی در ایران باید به حداقل ۲ کیلوگرم به‌ازای یک متر مکعب آب افزایش یابد (۲۳). بررسی تحقیقات انجام‌شده نشان می‌دهد، بهینه‌یابی الگوی کشت جهت کاهش میزان مصرف آب حائز اهمیت می‌باشد. در سال ۲۰۱۸، کریمی و جلیلی با بررسی بهره‌وری آب کشاورزی و شاخص‌های مهم آن برای محصولات مهم زراعی در دشت مشهد، راهکارهایی را در جهت ساماندهی الگوی کشت مناسب ارائه نمودند (۲۴). یکی از مهم‌ترین شاخص‌های بهره‌وری، شاخص سود خالص به‌ازای واحد حجم آب مصرفی (NBPD) است. در این شاخص، سود خالص، درآمد کشاورزان و نیاز آبی محصولات در هر منطقه مورد توجه قرار می‌گیرد. در این پژوهش، شاخص بهره‌وری اقتصادی آب (NBPD) برای محصولات هر ناحیه محاسبه گردیده است. دلیل استفاده از این شاخص این است که یکی از مناسب‌ترین شاخص‌ها برای بررسی بهره‌وری آب کشاورزی است که علاوه بر تعیین میزان سود خالص به‌ازای واحد آب مصرف‌شده، در برنامه‌ریزی الگو و ترکیب کشت در مناطق خشک و نیمه‌خشک نظیر بخش‌های بسیاری از کشور ایران، که با محدودیت شدید آب مواجه می‌باشند، اهمیت زیادی دارد. در ادامه و در سال ۲۰۱۹، در راستای بهبود مدیریت بهره‌وری، زارع ابیانه و همکاران با به‌کارگیری روش‌های نوین آبیاری، وضعیت مصرف آب و راندمان آبیاری در شبکه آبیاری دشت قزوین را بررسی نمودند (۲۵).

در پژوهش حاضر در راستای تکمیل مطالعات سالیان اخیر در زمینه بهره‌وری آب در کشاورزی، تلاش گردیده است تا به مفهوم بهره‌وری آب از دو دیدگاه فیزیکی به‌معنای افزایش تولید محصولات به‌ازای واحد حجم آب مصرفی، و نیز دیدگاه اقتصادی به‌معنای افزایش درآمد و کسب سود بیشتر برای کشاورزان توجه گردد. بدین‌منظور در این تحقیق، از یک سو با توجه به خشکسالی‌های چند سال اخیر در محدوده مطالعاتی سرخس و کاهش ظرفیت مخزن سد دوستی و نیز افت تراز آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی، و از سوی دیگر، وابستگی درآمد کشاورزان منطقه به تولیدات محصولات کشاورزی و نیازهای غالب به آب آبیاری کشاورزی، با اِعمال رویکرد مشارکتی و تقسیم‌بندی کل محدوده مطالعاتی به شش ناحیه به‌منظور بررسی بهره‌وری آب در هر ناحیه با مشارکت



شکل ۱- موقعیت محدوده مورد مطالعه شبکه آبیاری سد دوستی در شهر سرخس
Figure 1. Study area of Doosti irrigation network in Sarakhs

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، در محاسبه درآمد خالص ناشی از تولید محصولات کشاورزی از اختلاف میان درآمد و هزینه ناشی از فروش این محصولات استفاده شده است. برای محاسبه نیاز آبی محصولات نواحی شش‌گانه محدوده مطالعاتی، از نتایج خروجی نرم‌افزار *NETWAT*، اطلاعات برگرفته شده از اداره جهاد کشاورزی شهرستان سرخس و نیز نتایج مصاحبه با تشکل‌های آبربران استفاده گردیده است. سپس برای هر یک از نواحی شش‌گانه، با استفاده از اطلاعات تشکل‌های آبربران و بررسی‌های میدانی، برای محصولات کشاورزی که نسبت به سایر محصولات شاخص بهره‌وری بالاتری داشته‌اند، افزایش سطح زیرکشت اعمال گردیده است و برای محصولات با بهره‌وری پایین کاهش سطح زیرکشت در نظر گرفته شده است. با اجرای تغییرات سطح زیرکشت در منطقه مطالعاتی برای سال آبی ۹۷-۹۸، سطح درآمد کل منطقه افزایش یافته است. سپس جهت کاهش نیاز آبی منطقه، افزایش راندمان آبیاری به میزان ۲۰٪ برای هر ناحیه تا سال ۲۰۳۰ و با استفاده از مدل مدیریت منابع آب انجام گردیده است. برای محاسبه بهره‌وری آب کشاورزی از سه شاخص *CPD*، *BPD* و *NBPD* استفاده شده است. شاخص *CPD* نسبت مقدار محصول کشاورزی تولیدشده یا میزان عملکرد محصول به حجم آب مصرف شده در هکتار است. این شاخص با استفاده از رابطه (۱) محاسبه می‌شود:

$$CPD = \frac{Tp}{TWC} \quad (1)$$

در رابطه فوق، *Tp* مقدار محصول تولیدشده یا میزان عملکرد محصول (کیلوگرم در هکتار) و *TWC* حجم آب مصرف شده (مترمکعب در هکتار) بدون در نظر گرفتن بارندگی است. مسلماً افزایش این پارامتر نشان‌دهنده مصرف صحیح‌تر آب است، اما لزوماً نشان‌گر سود اقتصادی بیشتر نیست. شاخص *BPD* نسبت میزان سود ناخالص (درآمد در هکتار) به‌ازای واحد حجم (مترمکعب در هکتار) است. این شاخص توسط رابطه (۲) محاسبه می‌شود:

$$BPD = \frac{TR}{TWC} \quad (2)$$

در این رابطه، *TR* مقدار ارزش کل فروش محصول کشاورزی در هکتار است. بهترین شاخص برای بررسی

بهره‌وری اقتصادی آب کشاورزی، *NBPD* یا سود خالص به‌ازای واحد آب مصرفی است، که نه تنها میزان سود خالص را به‌ازای واحد حجم آب مصرف‌شده تعیین می‌نماید، بلکه این شاخص اهمیت زیادی در برنامه‌ریزی و الگوی کشت در مناطق خشک و نیمه‌خشک دارد که با محدودیت شدید آب مواجه می‌باشند. این شاخص توسط رابطه (۳) قابل محاسبه است:

$$NBPD = \frac{NB}{TWC} \quad (3)$$

در رابطه فوق، *NB* میزان سود خالص (ریال در هکتار) است. با توجه به مطالب فوق در این پژوهش، از شاخص بهره‌وری *NBPD* برای تعیین بهره‌وری و ساماندهی کشت کل سطح نواحی مورد مطالعه جهت افزایش درآمد کشاورزان استفاده گردیده است. همچنین، در این تحقیق، با توجه به بررسی‌های میدانی، شبکه آبیاری دوستی به شش ناحیه تقسیم شده است. از عمده دلایل این تقسیم‌بندی نقاط آنگیر مشترک و مدیریت محلی آب به‌صورت مجزا برای زمین‌های هر ناحیه است. سپس از ضرب مقدار برداشت هر هکتار در سطح زیرکشت هر کدام از محصولات نواحی شش‌گانه، مقدار کل برداشت هر یک از محصولات محاسبه گردیده است، که در جدول (۱) نشان داده می‌شود.

برای محصولات کشاورزی که دارای خرید تضمینی دولتی می‌باشند، نرخ خرید تضمینی در سال ۱۳۹۸ براساس اطلاعات اداره جهاد کشاورزی و نیز قیمت محلی اخذشده براساس اطلاعات تشکل‌های آبربران برای هر کیلوگرم محصول لحاظ گردیده است. قیمت خرید محصول یکی از فاکتورهای مهم در محاسبه شاخص‌های بهره‌وری اقتصادی آب است. با ضرب میزان برداشت هر یک از محصولات هر یک از نواحی شش‌گانه در نرخ خرید محصولات، درآمد ناخالص منطقه به تفکیک محصولات تعیین شده است. از اطلاعات محلی تشکل‌های آبربران و نیز اداره جهاد کشاورزی، هزینه نهاده‌های کشاورزی در هر هکتار محصول سال جاری برآورد گردیده است و نتایج در جدول (۲) آورده شده است. کل هزینه سطح اراضی منطقه به تفکیک محصولات از ضرب سطح اراضی محصولات در هزینه‌های تولید محاسبه شده است.

جدول ۱- میزان کل برداشت محصولات بر حسب تن در سطح ناحیه بر حسب تن بر هکتار

Table 1. The total harvesting products (ton/hect)

محصول/ناحیه	ذرت علوفه‌ای	گندم	جو	پنبه	جالیز
۱	۰	۹۰۶/۵	۷۵/۶	۳۳۲/۲	۲۷۶۸
۲	۷۵۲۰	۳۲۹۰	۱۱۳۴	۹۱۳	۰
۳	۷۰۵۰	۳۹۷۲/۵	۱۴۸۲/۳	۷۸۵/۴	۲۸۸۰
۴	۲۱۱۵	۵۰۲۲/۵	۱۸۶۳	۹۹۴/۴	۱۴۴۰
۵	۰	۶۸۷۷/۵	۲۲۷۸/۸	۲۳۳۲	۱۶۰۰
۶	۱۸۸۰	۹۹۹۲/۵	۳۸۷۹/۹	۱۸۶۱/۲	۳۲۹۶

جدول ۲- هزینه تولید محصولات در هکتار در منطقه مورد مطالعه برحسب میلیون ریال

Table 2. The cost of producing products per hectare (Millions of Rials)

محصول	ذرت علوفه‌ای	گندم	جو	پنبه	جالیز
هزینه تولید	۴۰	۲۵	۲۵	۴۲۰	۹۰

تشکل‌های آب‌بران برآورد شده است. در جدول شماره (۳) مقدار نیاز آبی محصولات شبکه آبیاری سد دوستی آورده شده است. شاخص بهره‌وری اقتصادی آب کشاورزی NBPD نیز برای نواحی مورد مطالعه برحسب محصولات کشاورزی در جدول (۴) ارائه شده است.

درآمد خالص یکی از عوامل مهم در برآورد شاخص بهره‌وری اقتصادی^۱ است. درآمد خالص عبارت است از تفاضل درآمد ناخالص و هزینه‌های تولید منطقه، که برای نواحی مورد نظر محاسبه و لحاظ گردیده است. نیاز آبی محصولات منطقه با استفاده از نرم‌افزار NETWAT و اطلاعات

جدول ۳- میزان نیاز آبی محصولات منطقه مورد مطالعه برحسب مترمکعب در هکتار

Table 3. The amount of water demand for the products of the study area in terms of cubic meters per hectare ($m^3/hect$)

محصول	ذرت علوفه‌ای	گندم	جو	پنبه	جالیز
نیاز خالص آبی	۸۲۸۰	۴۵۲۰	۳۸۵۰	۱۰۰۸۰	۷۵۴۶
نیاز آبی با راندمان ۶۰٪ و کم آبیاری ۸۰٪	۱۱۰۴۰	۶۰۲۷	۵۱۳۳	۱۳۴۴۰	۱۰۰۶۱

جدول ۴- شاخص بهره‌وری NBPD برحسب ریال بر مترمکعب

Table 4. Economic Productivity Indicator (NBPD) (Rial/ m^3)

محصول/ناحیه	ذرت علوفه‌ای	گندم	جو	پنبه	جالیز
۱	۰	۱۶۰۳	۳۵	۴۲۱	۳۹۵۵
۲	۷۷۷۹	۱۲۲۲	۵۲۴	۱۱۵۷	۰
۳	۷۲۹۳	۷۰۲۴	۶۸۴	۹۹۵	۴۱۱۵
۴	۲۱۸۸	۸۸۸۱	۸۶۰	۱۲۶۰	۲۰۵۷
۵	۰	۶۶۸۳	۱۰۵۲	۲۹۵۵	۲۲۸۶
۶	۱۹۴۵	۱۷۶۶۹	۱۷۹۱	۲۳۵۸	۴۷۰۹

زیرکشت براساس اعمال نظر تشکل‌های آب‌بران نواحی منطقه مطالعاتی و نیز کشاورزان لحاظ گردیده است و در ادامه تغییرات سطح اراضی در هر ناحیه به توابع شرط جهت بهینه نمودن سامانه کنترل گردیده است. تابع شرط برای هر محصول در هر ناحیه با اعمال تغییرات سطح زیرکشت در صورت افزایش درآمد و کاهش نیاز آبی تعریف شده است. پس از اعمال تغییرات سطح اراضی در منطقه مورد مطالعه درآمد کل به‌طور محسوسی افزایش یافته است. در شکل (۲) میزان درآمد قبل از تغییرات سطح زیرکشت و بعد از تغییرات سطح زیرکشت برای هر ناحیه آورده شده است.

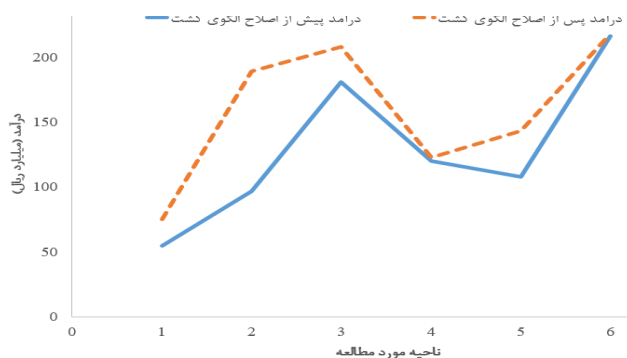
نتایج و بحث

با استفاده از اطلاعات تشکل‌های آب‌بران منطقه، تغییرات در سطح زیرکشت نواحی شش‌گانه اعمال گردیده است، به‌طوری‌که الگوی کشت موجود شبکه آبیاری دستخوش تغییرات عمده نشده است، و با افزایش درآمد کل محدوده، درآمد سامانه بهینه گردیده است. در این راستا، در هر ناحیه سطح زیرکشت محصولاتی که دارای شاخص‌های بهره‌وری بالاتری می‌باشند؛ به‌میزان معین افزایش یافته است، و سطح زیرکشت محصولات دارای شاخص بهره‌وری پایین‌تر کاهش یافته است. در جدول (۵) میزان افزایش و کاهش سطح

جدول ۵- میزان تغییرات سطح زیرکشت نواحی مورد مطالعه براساس نظرات تشکل‌های آب‌بران

Table 5. The rate of changes in the cultivated area of the study areas based on the water organizations

تغییر سطح زیر کشت ناحیه	ذرت علوفه‌ای	گندم	جو	پنبه	جالیز
۱ تغییر سطح زیر کشت ناحیه ۱	۰	۰	۰	۰	+۱۰۰
۲ تغییر سطح زیر کشت ناحیه ۲	+۱۰۰	+۵۰	-۲۰	-۸۰	-۱۰۰
۳ تغییر سطح زیر کشت ناحیه ۳	+۵۰	+۵۰	-۵۰	-۵۰	-۵۰
۴ تغییر سطح زیر کشت ناحیه ۴	۰	+۱۰۰	-۱۰۰	-۵۰	-۵۰
۵ تغییر سطح زیر کشت ناحیه ۵	۰	+۱۰۰	-۵۰	-۵۰	-۵۰
۶ تغییر سطح زیر کشت ناحیه ۶	۰	+۱۰۰	-۵۰	-۵۰	-۵۰



شکل ۲- نمودار مقایسه درآمد شبکه آبیاری دوستی برحسب میلیارد ریال
Fig 2. The comparative graph of income for Doosti irrigation network (Billions of Rials)

در ادامه، جهت کاهش نیاز آبی طی ۱۰ سال آینده از مدل‌سازی WEAP استفاده شده است. این مدل جامع، صریح و کاربر دوست می‌باشد و به کاربر به‌عنوان پایگاه داده جهت پیش‌بینی نیاز آبی کمک می‌کند. از آنجایی که شبکه آبیاری سد دوستی بخش کوچکی از حوضه آبریز قره‌قوم محسوب می‌گردد، نیاز آبی در وضع موجود و در افق طرح (سال ۲۰۳۰) با راندمان ۸۰٪ محاسبه شده است. بنابراین در شبکه آبیاری سد دوستی، هر ناحیه به‌عنوان یک نقطه نیاز تعریف شده است و منابع تأمین آب شامل رودخانه، منبع آب زیرزمینی (آبخون) و آب تنظیم‌شده سد درحال بهره‌برداری دوستی لحاظ شده است. سناریوی افزایش راندمان ۲۰ درصدی برای

هر ناحیه تعریف گردیده است. در ادامه، با استفاده از توابع موجود در مدل WEAP و نیاز آبی به‌دست‌آمده از نرم‌افزار NETWAT، نیاز آبی تا سال ۲۰۳۰ به‌صورت سالانه تعیین گردیده است و با داشتن منابع، نیاز آبی تأمین‌نشده نیز مشخص شده است. در واقع، با استفاده از توابع برای هر ناحیه و با انجام آزمون و خطا در میزان نرخ رشد به نیاز آبی سالانه تا سال ۲۰۳۰ دست یافته شده است. نیاز آبی نواحی مورد مطالعه در جدول (۶) آورده شده است. با توجه به منابع آبی تعریف‌شده و نیاز آبی محدوده مطالعاتی، با استفاده از خروجی مدل، نیاز آبی تأمین‌نشده در سال‌های آتی برای هر ناحیه در جدول (۷) آورده شده است.

جدول ۶- نیاز آبی کشاورزی نواحی مورد مطالعه برحسب میلیون مترمکعب

Table 6. The agricultural water requirement of the study areas (Millions of Cubic Meters)

سال / ناحیه	۲۰۲۱	۲۰۲۲	۲۰۲۳	۲۰۲۴	۲۰۲۵	۲۰۲۶	۲۰۲۷	۲۰۲۸	۲۰۲۹	۲۰۳۰	مجموع
ناحیه ۱	۴/۹	۴/۸	۴/۷	۴/۶	۴/۵	۴/۴	۴/۳	۴/۲	۴/۱	۴/۱	۴۴/۶
ناحیه ۲	۱۴/۳۲	۱۳/۹۵	۱۳/۵۹	۱۳/۲۴	۱۲/۸۹	۱۲/۵۶	۱۲/۲۳	۱۱/۹۲	۱۱/۶۱	۱۱/۳۱	۱۲۷/۶۲
ناحیه ۳	۱۶/۹۴	۱۶/۵۰	۱۶/۰۷	۱۵/۶۵	۱۵/۲۵	۱۴/۸۵	۱۴/۴۷	۱۴/۰۹	۱۳/۷۳	۱۳/۳۷	۱۵۰/۹۲
ناحیه ۴	۱۸/۴	۱۷/۹۲	۱۷/۴۶	۱۷/۰۱	۱۶/۵۷	۱۶/۱۴	۱۵/۷۳	۱۵/۳۲	۱۴/۹۳	۱۴/۵۴	۱۶۴/۰۲
ناحیه ۵	۲۹/۵	۲۸/۷	۲۸	۲۷/۲	۲۶/۵	۲۵/۹	۲۵/۲	۲۴/۵	۲۳/۹	۲۳/۳	۲۶۲/۷
ناحیه ۶	۳۵/۸	۳۴/۵	۳۳/۳	۳۲/۱	۳۱	۲۹/۹	۲۸/۸	۲۷/۸	۲۶/۸	۲۵/۸	۳۰۵/۸

جدول ۷- نیاز آبی تأمین‌نشده نواحی مورد مطالعه برحسب میلیون مترمکعب

Table 7. Unsatisfied water requirement of the study areas (Millions of Cubic Meters)

سال / ناحیه	۲۰۲۱	۲۰۲۲	۲۰۲۳	۲۰۲۴	۲۰۲۵	۲۰۲۶	۲۰۲۷	۲۰۲۸	۲۰۲۹	۲۰۳۰	مجموع
ناحیه ۱	۱/۵۵	۱/۵۲	۱/۴۹	۱/۴۵	۱/۴۳	۱/۴	۱/۳۸	۱/۳۴	۱/۳۲	۱/۳	۱۴/۱۸
ناحیه ۲	۴/۴۸	۴/۳۶	۴/۲۴	۴/۱	۴/۰۱	۳/۹	۳/۸	۳/۶۷	۳/۵۹	۳/۵	۳۹/۶۵
ناحیه ۳	۵/۳	۵/۱۵	۵	۴/۸۴	۴/۷۳	۴/۶	۴/۴۷	۴/۳۲	۴/۲۳	۴/۱۱	۴۶/۷۵
ناحیه ۴	۵/۷	۵/۵	۵/۴	۵/۲	۵/۱	۴/۹	۴/۸	۴/۶	۴/۵	۴/۴	۵۰/۱
ناحیه ۵	۹/۱	۸/۹	۸/۶	۸/۳	۸/۱	۷/۸	۷/۶	۷/۳	۷/۲	۶/۹	۷۹/۸
ناحیه ۶	۹	۸/۷	۸/۴	۸	۷/۸	۷/۵	۷/۲	۶/۹	۶/۷	۶/۵	۷۶/۷

بهره‌وری مصرف آب در کشور طی ۱۰ سال گذشته روند صعودی داشته است. این روند صعودی به‌معنای اثربخشی فعالیت‌های انجام‌شده در کشور است. ضعف مدیریت آبیاری به‌طور عمده ناشی از سه عامل عدم‌آگاهی کشاورزان از وضعیت رطوبتی خاک و تشخیص زمان مناسب آبیاری، عدم تناسب میزان آب موجود یا استحصال‌شده با آب مورد نیاز برای سطوح زیرکشت و برنامه‌ریزی آبیاری است که منجر به اتلاف آب و کاهش عملکرد آبیاری می‌شود. به‌طور کلی مهم‌ترین راهکارها به‌منظور مدیریت مصرف آب، افزایش کارایی مصرف آب، قیمت‌گذاری و پذیرفتن آب به مثابه یک

در کشورهای درحال توسعه و به‌ویژه در ایران، توجه بیشتری به توسعه فیزیکی شبکه‌های آبیاری لازم و ضروری است و مسأله بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری و مشارکت کشاورزان در امر مدیریت، نگهداری و بهره‌برداری از شبکه‌ها کمتر مدنظر قرار گرفته است. تعیین مقدار محصول تولیدی معمولاً ساده‌تر و براساس آمارهای رسمی قابل‌برآورد است. اما در خصوص میزان آب مصرفی، آمارها بسیار متفاوت است. در نتیجه کمیت بهره‌وری به‌شدت وابسته به آمار مربوط به حجم آب مصرفی می‌باشد، و تعیین بهره‌وری همواره با تردیدهایی همراه است. خوشبختانه همانند راندمان آبیاری، شاخص

دوستی، افت سطح آب‌های زیرزمینی، توجه به بهره‌وری آب منجر به بهبود وضعیت معیشت جامعه روستایی می‌شود. با بررسی صورت‌گرفته، کشاورزان تمایل به تغییر محصولات کشاورزی در نواحی زراعی جهت بالا بردن عملکرد محصولات و افزایش درآمد خالص دارند. بر این اساس، اشتغال‌زایی در منطقه مطالعاتی در بخش کشاورزی افزایش خواهد یافت.

همچنین برآورد نیاز آبی تأمین‌نشده در آینده راهنمای مناسبی جهت برنامه‌ریزان و سیاست‌گذاران حوزه منابع آب ایجاد نموده است، و براساس آن مدیران و مسوولان تصمیمات هوشمندانه‌تری را در آینده لحاظ خواهند کرد.

با اعمال بهره‌وری آب و انجام اقدام غیرسازه‌ای از طریق ساماندهی الگوی کشت، مدیریت مشارکتی ذی‌نفعان جهت اصلاح سردهانه‌های آبگیر برای هر ناحیه برای توزیع بهینه آب صورت خواهد پذیرفت.

استفاده از تجهیزات، ادوات کشاورزی جدید و به‌روز در قطعات کشاورزی افزایش می‌یابد. با این اقدام هزینه‌های تولید کاهش می‌یابد و میزان عملکرد در هر هکتار نیز افزایش می‌یابد. بنابراین با توجه به مباحث عنوان‌شده، به‌منظور بهبود بهره‌وری مصرف آب، لازم است توجه کافی به ارتقای وضعیت موجود دو مؤلفه اصلی بهره‌وری یعنی میزان آب مصرفی و میزان تولید به‌ازای واحد حجم آب مصرف‌شده به‌عمل آید. در این راستا، لازم است اصلاح الگوی مصرف آب در بخش کشاورزی، توجه خاص به مکانیزه نمودن روش‌های آبیاری سطحی و در نظر گرفتن مشوق‌های لازم مانند روش‌های آبیاری تحت‌فشار، مدیریت مصرف آب با رویکرد کاهش مصارف غیرمفید آب، توجه به مسائل به‌نژادی و زراعی با رویکرد کاهش مصرف آب، توسعه خاک‌ورزی و کشاورزی حفاظتی، استفاده از ظرفیت‌های گلخانه‌ای در تولیدات کشاورزی و مدیریت آب و انرژی صورت پذیرد.

کالا، تعیین و اعمال ارزش واقعی آن، افزایش راندمان آبیاری، تعیین الگوی کشت، کاهش ضایعات کشاورزی و مدیریت یکپارچه منابع آب است. در این پژوهش، راهکارهایی در جهت ساماندهی الگوی محصولات مهم زراعی ارائه شده است. سپس با استفاده از مدل WEAP نیاز آبی کشاورزی منطقه مطالعاتی و نیاز آبی تأمین‌نشده تعیین گردیده است. این اقدام هم سبب کاهش مصرف و استحصال آب شده است و هم متضمن منافع اقتصادی بالا برای کشاورزان و بهره‌برداران کشاورزی است. در این تحقیق، هیچ محصولی حذف نگردیده است و فقط به پیشنهاد کاهش سطح زیرکشت به مقدار معین و با اعمال نظر تشکلهای آب‌بران و تعاونی‌های تولید در شبکه آبیاری پرداخته شده است. این احتمال وجود دارد تغییر الگوی کشت و حذف سطح زیرکشت به‌مقدار گسترده در بازه زمانی کوتاه‌مدت منجر به آسیب اقتصادی، اجتماعی و در نتیجه سبب بروز چالش‌های محلی شود. در این راستا، هر گونه تغییر و ساماندهی کشت بایستی با در نظر گرفتن شرایط اقتصادی هر ناحیه لحاظ شود.

با اعمال شاخص بهره‌وری اقتصادی *NBPD* در نواحی مورد مطالعه و تغییر سطح زیرکشت، درآمد خالص کل دشت سرخس به‌میزان ۲۰٪ افزایش یافته است. این میزان افزایش درآمد خالص کشاورزان منجر به همکاری راهبردی میان ذی‌نفعان برای کاهش نیاز آبی خواهد شد و کارکرد تشکلهای آب‌بران منطقه مطالعاتی بهینه خواهد شد.

در واقع، با توجه به اینکه دشت سرخس یکی از زیرحوضه‌های آبریز مرزی در ناحیه شمال‌شرقی کشور می‌باشد، توجه به معیشت روستاهای محدوده مطالعاتی جهت جلوگیری از مهاجرت معکوس نیز حائز اهمیت است. از سویی دیگر، با رخداد خشکسالی‌های چند سال اخیر و کاهش منابع تأمین آب از جمله کاهش ظرفیت مخزن سد

منابع

1. Kaure, B., R.S. Sidhu and K. Vatta. 2010. Optimal crop plans for sustainable Water use in Punjab. *Agric. Econ. Res. Rev.*, 23: 273-284.
2. United Nations. 2015. The Millennium Development Goals Report 2015. Retrieved from.
3. United Nations Water. 2010. Water Stress Versus Water Scarcity. Retrieved from. <http://www.un.org>.
4. FAO. 2016. Country Water Report. Retrieved from. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. <http://www.fao.org>.
5. Saatsaz, M. 2019. A historical investigation on water resources management in Iran. *Environ. Dev. Sustain.*, 1-37.
6. Madani, K. 2014. Water management in Iran: what is causing the looming crisis? *J. Environ. Stud. Science*, 4: 315-328.
7. Karthikeyan L., I. Chawla and A.K. Mishra. 2020. A review of remote sensing applications in agriculture for food security: Crop growth and yield, irrigation, and crop losses, *Journal of Hydrology*, 586: 124905.
8. Li, M., Y. Xu, Q. Fu, V.P. Singh, D. Liu and T. Li. 2020. Efficient irrigation water allocation and its impact on agricultural sustainability and water scarcity under uncertainty. *Journal of Hydrology*, 586: 124888.
9. Thakur, D., Y. Kumar and S. Vijendra. 2020. Smart Irrigation and Intrusions Detection in Agricultural Fields Using I.O.T. *Procedia Computer Science*, 167: 154-162.
10. Talaviya, T., D. Shah, N. Patel, H. Yagnik and M. Shah. 2020. Implementation of artificial intelligence in agriculture for optimisation of irrigation and application of pesticides and herbicides, *Artificial Intelligence in Agriculture*, 4: 58-73.
11. Gorgich, M., T.M. Mata, A. Martins, N.S. Caetano and N. Formigo. 2020. Application of domestic greywater for irrigating agricultural products: A brief study. *Energy Reports*, 6(1): 811-817.

12. Kabiri A and M. Razavi. 2005. Valuable engineering in the construction of irrigation and drainage projects in Iran, The first national conference on the experience of building irrigation and drainage networks.
13. Galiota, F., P. Chatzinikolaou, M. Raggi and D. Viaggia. 2020. The value of information for the management of water resources in agriculture: Assessing the economic viability of new methods to schedule irrigation. *Agricultural Water Management*, 227: 105848.
14. Deines, J., M.E. Schipanski, B. Golden, S.C. Zipper, S. Nozari, C. Rottler, B. Guerrero and V. Sharda. 2020. Transitions from irrigated to dryland agriculture in the Ogallala Aquifer: Land use suitability and regional economic impacts, *Agricultural Water Management*, 233: 106061.
15. Takatsuka, Y., R. Niekus, J. Harrington, S. Feng, W. Watkins, A. Mirchi, H. Nguyen and M.C. Sukop. 2020. Value of irrigation water usage in South Florida agriculture. *Science of The Total Environment*, 626: 486-496.
16. Zhang, K., X. Xie, B. Zhu, S. Meng and Y. Yao. 2020. Unexpected groundwater recovery with decreasing agricultural irrigation in the Yellow River Basin. *Agricultural Water Management*, 213: 858-867.
17. Gao, X., Z. Huo, X. Xu, Z. Qu, G. Huang, P. Tang and Y. Bai. 2018. Shallow groundwater plays an important role in enhancing irrigation water productivity in an arid area: The perspective from a regional agricultural hydrology simulation. *Agricultural Water Management*, 208: 43-58.
18. Barkunan, S.R., V. Bhanumathi, V. Balakrishnan. 2020. Automatic irrigation system with rain fall detection in agricultural field. *Measurement*, 156: 107552.
19. Khalili Vavdarreh, S., A. Shahnazari, M. Zia Tabarhadi and M. Cheraghizadeh. 2017. Spatial Prioritization of Groundwater Drainage within the Alborz Irrigation and Drainage Project. *Journal of Watershed Management*, 8(15): 180-190.
20. Parhizkar, A. and M.M. Mozaffari. 2016. Evaluation of the effects of greenhouse gas emissions and climate change on the supply and demand of irrigation water and agricultural products in the watersheds of Qazvin province. *Journal of Watershed Management Research*, 7(14): 141-151.
21. Zwart, S.J. and W.G. M. Bastiaanssen. 2004. Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton and maize. *Agri. Water Manage*, 69(2): 115-133.
22. Kianfar, H., A. Sadroddini, V. Nazami and H. Sani Khani. 2011. Optimal allocation of water in Sufi Tea Irrigation and Drainage Networks in East Azarbaijan Province Using Genetic Algorithm. *Scientific and Research Journal of Irrigation and Water Engineering of Iran*, 2: 52-61.
23. Keshavarz, A. and H. Dehghani Sanich. 2012. Water and Agricultural Future Productivity Index of the country's agricultural future. *Quarterly Journal of Economic Strategy*, 1: 199-233.
24. Karimi, M. and M. Joleini. 2018. Investigation of agricultural water productivity indicators in important agricultural products, Case study: Mashhad plain. *Water and Sustainable Development Journal*, 1: 133-138.
25. Zare Abianeh, H., A. Heidari and A. Daneshkar. 2019. Evaluation of water management performance in Qazvin plain irrigation network. *Scientific and Research Journal of Irrigation and Water Engineering of Iran*, 2: 77-89.

Evaluating the Water Productivity Management Performance in Irrigation Networks (Case Study: Doosti Irrigation Network- Khorasan Razavi)

Hassan Saghi¹, Reza Javid Sabbaghian² and Mostafa Ramezani Moghaddam³

1- Associate Professor **and Faculty Member**, Department of Civil Engineering, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran (Corresponding author: h.saghi@hsu.ac.ir)

2- Assistant Professor **and Faculty Member**, Department of Civil Engineering, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran

3- Master of Civil Engineering, Construction Management Department, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran
Received: 10 May, 2020 Accepted: 5 October, 2020

Abstract

In this study, the effect of agricultural water productivity for optimization of the cultivation pattern in the irrigation network of Doosti Dam has been investigated. For this purpose, the amount of costs and revenues from the sale of agricultural products and the water demand of these products were used as the main parameters. In this regard, the study area (Doosti Dam Irrigation Network) was divided into six areas in terms of catchments, social context, scope of activities of aquifers and productivity index according to field surveys for all Areas were identified. The results show that with the implementation of the proposed plan, income in the whole area will increase by 20% and the irrigation system of the region will be optimized. Also, the annual water demand and unmet water demand of each area of the study area were calculated according to the available water resources and also based on the use of WEAP model functions. As a result, irrigation efficiency increased and water demand of agricultural products decreased until the project horizon (2030). The results of this study in the study area, can provide a good management approach to make future decisions for policy makers and stakeholders in the field of water in this area.

Keywords: Agricultural water demand, Agricultural products, Cultivation organization, Income, WEAP model



"مقاله پژوهشی"

ارزیابی حساسیت تبخیر و تعرق گیاه مرجع به پارامترهای هواشناسی
در استان خراسان رضوی

زهرا شیرمحمدی علی اکبر خانی^۱ و سید فرهاد صابرعلی^۲

۱- استادیار گروه مهندسی آب، مجتمع آموزش عالی کشاورزی و دامپروری تربت جام، خراسان رضوی، ایران،
(نویسنده مسؤل: mshirmohamady@yahoo.com)

۲- استادیار گروه علوم و مهندسی باغبانی، مجتمع آموزش عالی کشاورزی و دامپروری تربت جام، خراسان رضوی، ایران
تاریخ ارسال: ۹۹/۰۳/۰۷ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۷/۰۷
صفحه: ۲۶۰ تا ۲۷۲

چکیده

تخمین دقیق تبخیر و تعرق از اهمیت ویژه‌ای در مطالعات هیدرولوژی و مدیریت منابع آب برخوردار است که می‌تواند جهت‌گیری برنامه‌ریزی‌ها و سیاست‌گذاری‌های کلان تخصیص بهینه منابع آب کشاورزی را تحت تأثیر قرار دهد. به این منظور در این مطالعه، آنالیز حساسیت تبخیر و تعرق به تغییرات پارامترهای هواشناسی کمبود فشار بخار، متوسط درجه حرارت، تابش خالص خورشیدی، سرعت باد و فشار بخار واقعی در دامنه $\pm 20\%$ در مقیاس روزانه و در طول فصل رشد گیاهان انجام گرفت. تبخیر و تعرق گیاه مرجع به روش فائو پنمن مانیتث با استفاده از داده‌های طولانی‌مدت ۱۳ ایستگاه استان خراسان رضوی واقع در شمال شرق ایران محاسبه شد. نتایج آنالیز حساسیت نشان داد که تغییرات تبخیر و تعرق گیاه مرجع با تغییرات پارامترهای کمبود فشار بخار، درجه حرارت، تابش خالص خورشیدی و سرعت باد همبستگی مثبت و با تغییرات فشار بخار واقعی همبستگی منفی دارد. نتایج نشان داد که در منطقه مورد مطالعه در کل سال، تبخیر و تعرق فائو پنمن مانیتث بیشترین حساسیت را به ترتیب به کمبود فشار بخار، درجه حرارت متوسط، تابش خورشیدی، فشار بخار واقعی و سرعت باد نشان داد. در دوره رشد گیاهان فصل گرم بالاترین حساسیت به ترتیب به کمبود فشار بخار، درجه حرارت متوسط، تابش خورشیدی، سرعت باد و فشار بخار واقعی دیده شد در حالی که در دوره رشد گیاهان فصل سرد بیشترین حساسیت تبخیر و تعرق گیاه مرجع به ترتیب به کمبود فشار بخار، فشار بخار واقعی، درجه حرارت متوسط، تابش خورشیدی و سرعت باد وجود داشت. یافته‌های این تحقیق نشان داد که اهمیت پارامترهای مؤثر بر میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع در بین فصول گرم و سرد منطقه متفاوت است که این مهم بایستی در برنامه‌ریزی پایدار منابع آب و مدیریت آب کشاورزی خراسان رضوی در توسعه استراتژی‌های مناسب مورد توجه قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: آنالیز حساسیت، پارامترهای هواشناسی، روش فائو پنمن مانیتث، کمبود فشار بخار

مقدمه

وضعیت اقلیمی و هواشناسی هر منطقه وابسته بوده و قابلیت اندازه‌گیری و محاسبه را دارند به‌عنوان شاخص هیدروکلیماتیکی مناسبی برای انعکاس تغییرات بیلان آب و انرژی و تأثیرات تغییر اقلیم در مناطق مختلف به‌کار می‌روند (۱۱). نتایج تحقیقات گذشته نشان داده است که روش‌هایی همچون روش فائو پنمن مانیتث، پرستلی تیلور، هارگریوز، ماکینک، بلانی کریدل و هارگریوز سامانی، از جمله روش‌های قابل قبول برای محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل و تبخیر و تعرق گیاه مرجع هستند، با این وجود روش فائو پنمن مانیتث در بین روش‌های مختلف از کارایی بالاتری برخوردار است و در مناطق مختلف به‌عنوان روش استاندارد محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع توصیه شده است (۴،۲). این مدل به دلیل کارایی و قابلیت‌های بالا در محاسبه خصوصیات آئرودینامیک و ترمودینامیک در تمام دنیا پذیرفته شده و کاربرد وسیعی دارد (۱۲، ۱۵، ۲۱، ۳۳، ۳۸، ۴۰). با این وجود تعداد ورودی‌های این مدل زیاد می‌باشد، که این امر موجب شده تا هرگونه خطای دستگاهی و یا آریبی در اندازه‌گیری متغیرها باعث ایجاد خطای فاحش در اندازه‌گیری تبخیر و تعرق گردد (۱۵، ۹). تغییرات تبخیر و تعرق در مقیاس زمانی و مکانی در دنیا به

یکی از پارامترهای چرخه هیدرولوژی، تبخیر و تعرق بوده که نقش مهمی در برنامه‌ریزی آبیاری، مدل‌سازی‌های هواشناسی، هیدرولوژی و مدیریت منابع آب ایفا می‌کند (۱). به دلیل فقدان داده‌های مشاهداتی تبخیر و تعرق واقعی در ایستگاه‌های هواشناسی و هزینه‌بر بودن اندازه‌گیری تبخیر و تعرق واقعی، معمولاً از تبخیر و تعرق پتانسیل یا تبخیر تعرق گیاه مرجع به‌منظور برآورد تبخیر و تعرق واقعی استفاده می‌شود. تبخیر و تعرق گیاه مرجع به مقدار تبخیر و تعرق صورت گرفته از یک گیاه مرجع با خصوصیات معین و بدون محدودیت آب در یک‌زمان و مکان مشخص و بدون محدودیت آب اشاره دارد (۴۳). دو واژه تبخیر و تعرق پتانسیل و تبخیر و تعرق گیاه مرجع به دلیل اینکه هر دو نشان‌دهنده مقدار نیاز تبخیری اتمسفر بوده و ساختار پایه‌ای یکسان دارند، توسط بسیاری از محققین یکسان در نظر گرفته شده‌اند، در حالی که این دو واژه متفاوت بوده ولی به لحاظ کمی به یکدیگر مرتبط می‌باشند و از هر دو می‌توان برای محاسبه تبخیر و تعرق واقعی استفاده کرد (۳۶، ۴۱). به دلیل اینکه تبخیر و تعرق پتانسیل و تبخیر و تعرق گیاه مرجع تنها به

فوتاتسوموری ژاپن مورد مطالعه قرار دادند و نتایج نشان داد که در فصول گرم سال، درجه حرارت و در فصول سرد سال، رطوبت نسبی بیشترین حساسیت را در محاسبه تبخیر و تعرق نشان دادند. اسلامیان و همکاران (۱۳) در اصفهان، تبریز، تهران، مشهد و شیراز نشان دادند که درجه حرارت و رطوبت نسبی به ترتیب حساس‌ترین پارامترها در محاسبه تبخیر و تعرق روش فائو پنمن مانیتیت می‌باشد. نتایج مطالعات بختیاری و لیاقت (۵) در منطقه کرمان در مورد آنالیز حساسیت روش تبخیر و تعرق پنمن مانیتیت ASCE نشان داد که تبخیر و تعرق به پارامتر کمبود فشار بخار در تمام ماه‌های سال حساس می‌باشد. شریفی و دین‌پژوه (۳۵) نیز در هشت نقطه از استان‌های مختلف ایران (آبادان، انزلی، چابهار، اصفهان، سبزوار، سنج، تبریز و زاهدان) در مورد حساسیت روش تبخیر و تعرق فائو پنمن مانیتیت به پارامترهای هواشناسی مطالعاتی را انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که تبخیر و تعرق بیشترین حساسیت را نسبت به دمای متوسط از خود نشان داد. تاکنون مطالعات زیادی در مورد تبخیر و تعرق در مناطق مختلف ایران انجام گردیده است، اما در مورد تجزیه تحلیل حساسیت تبخیر و تعرق در ایران اطلاعات اندکی موجود بوده، به طوری که هیچ مطالعه‌ای به تحلیل حساسیت تبخیر و تعرق به پارامترهای آب و هوایی در سطح استان خراسان رضوی نپرداخته است. تجزیه و تحلیل حساسیت تبخیر و تعرق در منطقه خشک و نیمه‌خشک مانند خراسان رضوی به دلیل مدیریت بهتر آب یک ضرورت مهم است. در این مطالعه آنالیز حساسیت روش تبخیر و تعرق گیاه مرجع با مدل فائو پنمن مانیتیت در ۱۳ ایستگاه استان خراسان رضوی و بر اساس روش گرافیکی صورت گرفت. اهداف اصلی این مطالعه به ترتیب عبارت‌اند از ۱- تخمین تبخیر و تعرق گیاه مرجع با استفاده از روش فائو پنمن مانیتیت در استان خراسان رضوی، ۲- آنالیز حساسیت تبخیر و تعرق به ۵ پارامتر کلیدی هواشناسی مانند درجه حرارت، سرعت باد، تابش خورشیدی و کمبود فشار بخار و فشار بخار واقعی در ۱۳ ایستگاه استان خراسان رضوی در مقیاس روزانه و در فصل رشد گیاهان منطقه.

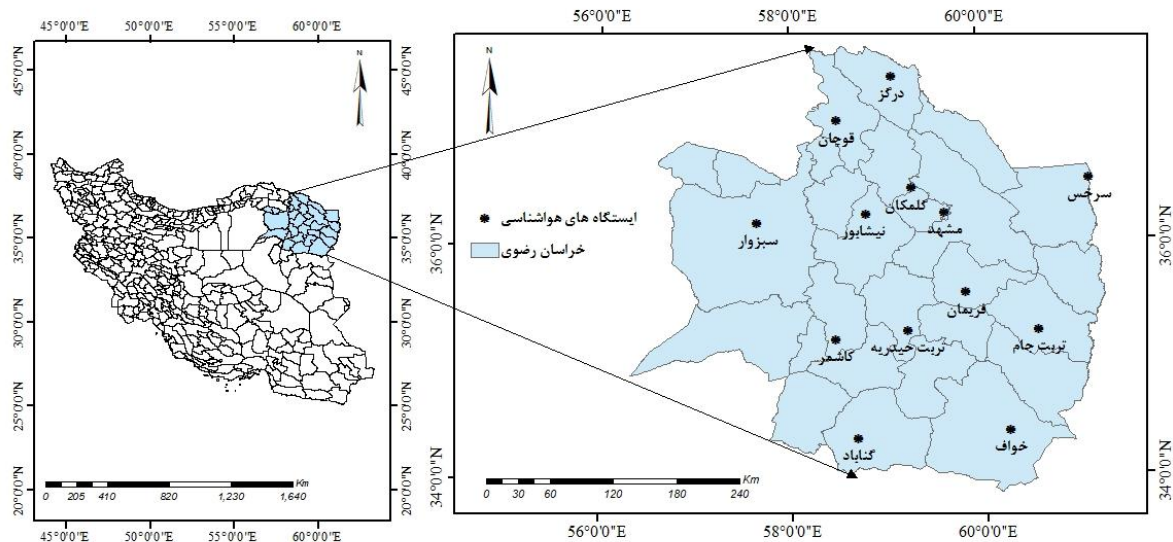
مواد و روش‌ها

استان خراسان رضوی در شمالی شرقی ایران و در طول جغرافیایی ۳۳°-۳۸° شرقی و در عرض جغرافیایی ۳۳°-۳۸° شمالی با مساحت ۱۱۷۲۰۰ کیلومتر مربع گسترش یافته است. متوسط سالانه بارندگی در این استان ۲۵۰ میلی‌متر گزارش شده است (۳۶). این پژوهش با استفاده از داده‌های هواشناسی روزانه در ۱۳ ایستگاه سینوپتیک این استان شامل فریمان، گلکان، نیشابور، سرخس، تربت حیدریه، تربت‌جام، قوچان، مشهد، سبزوار، کاشمر، گناباد، درگز و خواف در طول دوره آماری مختلف انجام شده است. در میان ایستگاه‌های مختلف، مشهد با ۶۷ سال آمار طولانی‌ترین دوره ثبت داده‌های هواشناسی و فریمان با ۱۱ سال آمار کوتاه‌ترین دوره ثبت اطلاعات را داشتند. موقعیت جغرافیایی و طول دوره آماری مورد استفاده در ایستگاه‌های مورد مطالعه در استان خراسان

طول دهه‌های گذشته در منابع گزارش شده است. در پی پدیده تغییر اقلیم، در برخی از نقاط جهان همانند آمریکا، چین، کانادا، استرالیا، هند، ژاپن، رومانی، استرالیا و نیوزیلند روند کاهش برای تبخیر از تشت و تبخیر و تعرق پتانسیل و تبخیر و تعرق گیاه مرجع گزارش شده است (۱۶، ۲۰، ۲۲، ۳۰-۳۷). اما در مناطق دیگری همچون نواحی مدیترانه، ایران، اسپانیا، و صربستان، روند افزایشی برای تبخیر و تعرق گزارش شده است (۳۱، ۱۱۶، ۱۶، ۲۰، ۲۲، ۳۰-۳۷، ۳۹). نوسانات زمانی تبخیر و تعرق در برخی مناطق بسیار قابل توجه می‌باشد. به طوری که تبخیر و تعرق ممکن است در طی یک دوره زمانی افزایش و در دوره‌های دیگر کاهش یابد بنابراین تغییرات تبخیر و تعرق در نواحی اقلیمی مختلف دارای پیچیدگی و تفاوت‌هایی در مقیاس زمانی و مکانی می‌باشد و این تغییرات در نواحی اقلیمی مختلف باید با جزئیات بیشتری مورد بررسی قرار گیرد (۱۱). بنابراین درک اثرات تغییر هر کدام از متغیرهای هواشناسی بر محاسبات تبخیر و تعرق ضروری می‌باشد. در بیشتر مطالعات، آنالیز حساسیت به منظور تأثیرپذیری متغیرهای خروجی یک مدل خاص به متغیرهای ورودی مورد استفاده قرار می‌گیرد (۱۹، ۳۲). از روش‌های آنالیز حساسیت می‌توان به روش‌های ریاضی، آماری و گرافیکی اشاره کرد. آنالیز حساسیت درک بهتری از روابط بین شرایط اقلیمی و تغییرات تبخیر و تعرق را ممکن می‌سازد و اهمیت آنالیز حساسیت در این است که دید بهتری نسبت به اینکه کدام یک از پارامترهای هواشناسی تأثیر بیشتری بر تبخیر و تعرق یک منطقه در یک زمان خاص را دارند، فراهم می‌نماید (۱۷، ۱۴، ۱). در تحقیقات متعددی از ضریب حساسیت به منظور بررسی اثر داده‌های هواشناسی بر تبخیر و تعرق استفاده شده است (۸، ۹، ۱، ۳۴، ۲۶، ۱۷، ۱۵، ۱۱، ۴۵، ۳۹). حساسیت تبخیر و تعرق به روش فائو پنمن مانیتیت در مناطق مختلف دنیا در مقیاس زمانی متفاوت مورد مطالعه قرار گرفته است و نتایج متفاوتی هم به دست آمده است. در برخی مطالعات عوامل آرتودینامیک مهم‌ترین فاکتورهای مؤثر بر تبخیر و تعرق می‌باشند. به عنوان مثال مطالعات ژانگ و همکاران (۴۴) در حوزه رودخانه شیانگ شمال شرق چین نشان داد که در ماه‌های سرد و مناطق کوهستانی فشار بخار واقعی حساس‌ترین پارامتر بود، در صورتی که دمای حداقل کمترین حساسیت را در محاسبه تبخیر و تعرق در کل سال نشان داد. استیوز و همکاران (۱۴) نیز در اسپانیا روی آنالیز حساسیت پارامترهای هواشناسی بر تبخیر و تعرق گیاه مرجع مطالعاتی را انجام دادند و نتایج نشان داد که خطای افزایشی در تعیین رطوبت نسبی تبخیر و تعرق را کم برآورد و اما خطای افزایشی در پارامترهایی مانند درجه حرارت، تابش خورشیدی و سرعت باد تبخیر و تعرق را بیش برآورد می‌نماید. لیو و همکاران (۲۴) آنالیز حساسیت روش فائو پنمن مانیتیت را به پارامترهای هواشناسی در حوزه رودخانه زرد چین انجام دادند و نتایج نشان داد که تابش خورشیدی، رطوبت نسبی، درجه حرارت و سرعت باد به ترتیب حساس‌ترین پارامترها بودند. قیامی-شوامی (۱۵) اثرات پارامترهای هواشناسی را بر تبخیر و تعرق فائو پنمن مانیتیت در منطقه کوهستانی انبارا و

تبخیر و تعرق گیاه مرجع به صورت روزانه با استفاده از نرم افزار اکسل (Excel 2013) محاسبه گردید. برای ترسیم اشکال از نرم افزارهای ArcGIS10.3 و Sigmaplot12.5 استفاده گردید.

رضوی در شکل (۱) و جدول (۱) ارائه شده است. داده‌های دریافتی از ایستگاه سینوپتیک مورد مطالعه شامل داده‌های روزانه حداقل و حداکثر درجه حرارت، حداقل و حداکثر رطوبت نسبی، متوسط سرعت باد و ساعات آفتابی بود. سپس با استفاده از داده‌های ذکر شده و توسط روش فائو پنمن مانتیث،



شکل ۱- نقشه توزیع مکانی ایستگاه‌های هواشناسی در منطقه مورد مطالعه
Figure 1. Layout of the spatial distribution for meteorological stations in the study area

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی و تعداد سال‌های آماری مورد استفاده در ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه

Table 1. Specifications and number of years used in synoptic stations

سال‌های آماری	ارتفاع (متر)	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ایستگاه
۱۳۷۱-۱۳۹۷	۹۵۰/۴	۳۵° ۱۶'	۶۰° ۳۵'	تربت جام
۱۳۳۷-۱۳۹۷	۱۴۵۱	۳۵° ۲۰'	۵۹° ۱۳'	تربت حیدریه
۱۳۸۵-۱۳۹۷	۹۹۸	۳۴° ۳۵'	۶۰° ۹'	خواف
۱۳۸۶-۱۳۹۷	۵۱۴	۳۷° ۲۸'	۵۹° ۴'	درگز
۱۳۳۳-۱۳۹۷	۹۶۲	۳۶° ۱۲'	۵۷° ۳۹'	سبزوار
۱۳۶۳-۱۳۹۷	۲۳۵	۳۶° ۳۲'	۶۱° ۱۰'	سرخس
۱۳۸۵-۱۳۹۷	۱۴۶۰	۳۵° ۳۵'	۵۹° ۵۰'	فریمان
۱۳۶۲-۱۳۹۷	۱۲۷۸	۳۷° ۴'	۵۸° ۳۰'	قوچان
۱۳۶۵-۱۳۹۷	۱۱۱۰	۳۵° ۱۶'	۵۸° ۲۸'	کاشمر
۱۳۶۵-۱۳۹۷	۱۱۷۶	۳۶° ۲۹'	۵۹° ۱۷'	گلمکان
۱۳۶۵-۱۳۹۷	۱۰۵۶	۳۴° ۲۱'	۵۸° ۴۱'	گناباد
۱۳۳۹-۱۳۹۷	۹۹۹/۲	۳۶° ۱۴'	۵۹° ۳۸'	مشهد
۱۳۶۹-۱۳۹۷	۱۲۱۳	۳۶° ۱۶'	۵۸° ۴۸'	نیشابور

$$\gamma = 0.665 \times 10^{-3} P \quad (3)$$

$$P = 101.3 \left(\frac{293 - 0.0065Z}{293} \right)^{5.26} \quad (4)$$

که در این روابط ET_o تبخیر و تعرق گیاه مرجع به روش فائو پنمن مانتیث برحسب میلی‌متر در روز، Δ شیب منحنی فشار بخار آب نسبت به دما برحسب کیلو پاسکال بر درجه سانتی‌گراد، R_n تابش خالص ورودی به سطح گیاه برحسب مگا ژول بر مترمربع بر روز، G شار گرمای خاک برحسب مگا ژول بر مترمربع بر روز، T_A میانگین روزانه دمای هوا در

روش تبخیر و تعرق فائو پنمن مانتیث (۲)

روش تبخیر و تعرق فائو پنمن مانتیث در مناطق مختلف به‌عنوان روش استاندارد محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع توصیه شده است (۲، ۴) این روش معادله‌ای برای محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع به صورت زیر ارائه می‌دهد:

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T_A + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (1)$$

$$\Delta = \frac{4098 \left[0.6108 \exp \left(\frac{17.27 T_A}{T_A + 273.3} \right) \right]}{(T_A + 237.3)^2} \quad (2)$$

ارزیابی تغییرات تبخیر و تعرق گیاه مرجع به پارامترهای هواشناسی در طول دوره رشد گیاهان در مدیریت آبیاری از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد. گیاهان بر اساس شرایط دمایی عمدتاً به دو دسته گیاهان فصل گرم و گیاهان فصل سرد دسته‌بندی می‌شوند. دوره رشد گیاهان فصل گرم از نیمه خردادماه تا نیمه مهرماه و دوره رشد گیاهان فصل سرد از نیمه مهرماه تا اواخر خردادماه در نظر گرفته شد و در دوره رشد این گیاهان تبخیر و تعرق گیاه مرجع محاسبه و درصد حساسیت در این دو دوره نسبت به تغییرات پارامترهای هواشناسی محاسبه گردید.

نتایج و بحث

میانگین داده‌های هواشناسی در هر ایستگاه در جدول (۲) و شکل (۲) ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد بالاترین و پایین‌ترین درجه حرارت حداکثر به ترتیب در شهرستان‌های سرخس و فریمان و بیشترین و کمترین دمای حداقل به ترتیب در خواف و فریمان مشاهده گردید. بیشترین و کمترین سرعت باد به ترتیب در شهرستان‌های خواف و نیشابور مشاهده شده است. بالاترین میزان رطوبت نسبی را شهرستان قوچان و کمترین رطوبت نسبی را شهرستان خواف داراست. شهرستان خواف بالاترین میزان تبخیر و تعرق فائو پنمن مانیتیت و شهرستان قوچان دارای کمترین میزان تبخیر و تعرق فائو پنمن مانیتیت در بین شهرستان‌های مورد مطالعه است.

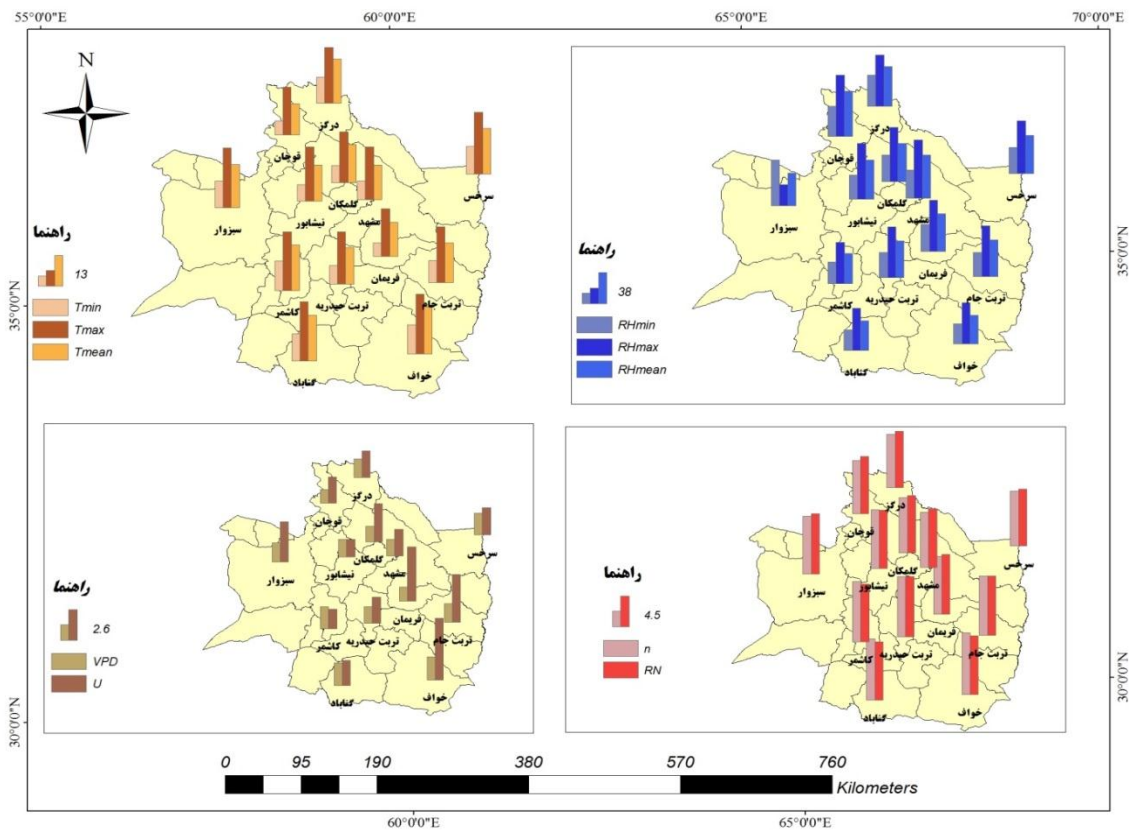
ارتفاع دو متری برحسب درجه سانتی‌گراد، u_2 سرعت باد در ارتفاع دو متری برحسب متر بر ثانیه، e_s و e_a به ترتیب فشار بخار اشباع و واقعی هوا برحسب کیلو پاسکال، γ ثابت سایکرومتری برحسب کیلو پاسکال بر درجه سانتی‌گراد، P فشار اتمسفر برحسب کیلو پاسکال، Z ارتفاع نقاط بالاتر از سطح دریا به متر هست. کلیه محاسبات موردنیاز برای تعیین پارامترهای دخیل در روش فائو پنمن مانیتیت در بخش سوم نشریه فائو ۵۶ آورده شده است (۲).

در این مطالعه مقادیر پارامترهای هواشناسی در دامنه ± 20 درصد (با گام‌های ۵ درصد) تغییر داده شد. گام‌های انتخابی و میزان تغییر پارامترهای انتخابی با توجه به نتایج مطالعات قبلی صورت گرفته در دیگر مناطق انتخاب گردید (۱، ۱۸، ۳۷). بدین صورت که مقدار تغییر در تبخیر و تعرق در پاسخ به تغییر ورودی‌های مدل فائو پنمن مانیتیت ثبت و سپس درصد حساسیت به این تغییرات محاسبه گردید. در این مطالعه از روش گرافیکی برای آنالیز حساسیت استفاده شده است (۱، ۳۵). بدین منظور میزان تبخیر و تعرق روزانه در هر کدام از ایستگاه‌های مورد مطالعه با استفاده از پارامترهای ورودی شامل درجه حرارت هوا، سرعت باد، تابش خورشیدی خالص ورودی، کمبود فشار بخار و فشار بخار واقعی محاسبه گردید. سپس با کاهش و افزایش هر کدام از این متغیرها در دامنه ذکر شده و به صورت جداگانه، مقادیر جدید تبخیر و تعرق محاسبه گردید.

جدول ۲- میانگین سالانه پارامترهای اقلیمی در ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه

Table 2. Mean annual climate parameters in synoptic stations

ایستگاه	درجه حرارت حداکثر (سانتی‌گراد)	درجه حرارت حداقل (سانتی‌گراد)	سرعت باد (متر بر ثانیه)	ساعت آفتابی (ساعت)	رطوبت نسبی حداکثر (درصد)	رطوبت نسبی حداقل (درصد)	تبخیر و تعرق گیاه مرجع (میلی‌متر بر روز)
ترت‌جام	۲۲/۸۸	۹/۰۲	۴/۰۵	۸/۶۸	۶۲/۵۱	۲۹/۴۴	۵/۸۳
ترت‌حیدریه	۲۱/۳۶	۷/۴۵	۲/۲۲	۸/۷۷	۶۲/۶۴	۳۱/۳۱	۴/۴۱
خواف	۲۴/۵۲	۱۱/۹۶	۵/۲۱	۸/۹۸	۵۰/۸۵	۲۵/۱۰	۷/۲۶
درگز	۲۲/۷۵	۱۰/۵۶	۲/۲۸	۷/۷۸	۶۳/۶۳	۲۸/۷۰	۴/۴۲
سبزوار	۲۴/۵۴	۱۰/۸۶	۳/۳۹	۸/۴۳	۲۵/۸۴	۵۶/۲۰	۵/۱۵
سرخس	۲۵/۱۸	۱۱/۳۴	۲/۳۰	۸/۰۲	۶۵/۴۱	۳۲/۳۷	۴/۶۸
فریمان	۱۹/۴۴	۵/۴۷	۴/۵۹	۸/۴۳	۶۳/۶۱	۳۳/۹۲	۵/۰۰
قوچان	۱۹/۶۱	۵/۸۵	۲/۲۳	۷/۸۰	۷۵/۹۸	۳۷/۲۵	۳/۷۵
کاشمر	۲۳/۹۳	۱۲/۱۱	۱/۶۴	۸/۸۲	۵۱/۰۰	۲۶/۷۴	۴/۲۳
گلمکان	۲۰/۶۰	۶/۸۳	۳/۲۲	۸/۰۹	۶۷/۱۴	۳۳/۱۸	۴/۳۸
گناباد	۲۴/۱۶	۱۱/۰۴	۲/۰۹	۸/۹۶	۵۲/۲۲	۲۵/۴۵	۴/۷۶
مشهد	۲۱/۶۹	۷/۶۲	۲/۲۲	۸/۰۲	۷۲/۰۸	۳۴/۷۲	۴/۱۳
نیشابور	۲۲/۲۶	۶/۷۷	۱/۴۸	۸/۵۵	۶۸/۸۵	۲۹/۸۸	۳/۷۹



شکل ۲- متوسط پارامترهای هواشناسی مورداستفاده در تعیین تبخیر و تعرق فائو پنمن مانتیث در مناطق مورد مطالعه
 Figure 2. The average of meteorological parameters used in determination of FAO- Penman - Monteith evapotranspiration across the study areas

نواحی) و فشار بخار واقعی در شهرستان سبزوار (۱۴ درصد نواحی) در رتبه دوم حساسیت مدل تبخیر و تعرق به این پارامتر قرار داشتند.

در شهرستان‌های گناباد، کاشمر، نیشابور، سبزوار و تربت‌حیدریه (۴۱ درصد نواحی مورد مطالعه) پارامتر درجه حرارت، در شهرستان‌های درگز، فریمان، قوچان، گلکان و تربت‌جام (۲۶ درصد نواحی مورد مطالعه) پارامتر فشار بخار واقعی، در شهرستان‌های مشهد و سرخس (۲۰ درصد نواحی) پارامتر تابش خورشیدی و در شهرستان خواف (۱۳ درصد نواحی) پارامتر سرعت باد در رتبه سوم حساسیت مدل تبخیر و تعرق به این پارامتر قرار داشتند.

در شهرستان‌های نیشابور، سرخس، تربت‌حیدریه، قوچان، مشهد و خواف (۴۸ درصد از نواحی مورد مطالعه) پارامتر فشار بخار واقعی، در شهرستان‌های فریمان، کاشمر، گناباد و تربت‌جام (۲۸ درصد نواحی) پارامتر سرعت باد، در شهرستان‌های سبزوار، درگز و گلکان (۱۹ درصد نواحی) پارامتر تابش خورشیدی و در شهرستان قوچان (۵ درصد نواحی) پارامتر درجه حرارت در رتبه چهارم حساسیت مدل تبخیر و تعرق به این پارامتر قرار داشتند.

در شهرستان‌های درگز، قوچان، گلکان، مشهد، سبزوار، نیشابور، سرخس و تربت‌حیدریه (۵۸ درصد از نواحی مورد مطالعه) پارامتر سرعت باد، در شهرستان‌های فریمان، تربت‌جام و خواف (۲۹ درصد از نواحی) پارامتر تابش

در شکل‌های (۳) و (۴) درصد تغییرات تبخیر و تعرق نسبت به درصد تغییرات پارامترهای هواشناسی در هر ایستگاه هواشناسی ارائه شده است. همان‌طور که در شکل آمده است تغییرات تبخیر و تعرق با تغییرات پارامترهای کمبود فشار بخار، درجه حرارت، تابش خالص خورشیدی، سرعت باد همبستگی مثبت و با تغییرات فشار بخار واقعی همبستگی منفی نشان داد. شیب درصد تغییرات تبخیر و تعرق فائو پنمن مانتیث و انحراف معیار خطای شیب نسبت به تغییر پارامترهای هواشناسی در ایستگاه‌های مورد مطالعه در جدول (۳) ارائه شده است. هر چه میزان شیب بیشتر باشد نشان‌دهنده حساسیت بیشتر تبخیر و تعرق به پارامتر هواشناسی می‌باشد. نتایج نشان داد که در اکثر نواحی مورد مطالعه (۸۶ درصد نواحی مورد مطالعه) بیشترین میزان حساسیت تبخیر و تعرق به پارامتر کمبود فشار بخار بود. اگرچه در شهرستان‌های کاشمر و نیشابور (۱۴ درصد نواحی مورد مطالعه) بالاترین میزان حساسیت تبخیر و تعرق به پارامتر تابش خورشیدی مشاهده گردید و کمبود فشار بخار در رتبه دوم حساسیت قرار داشت.

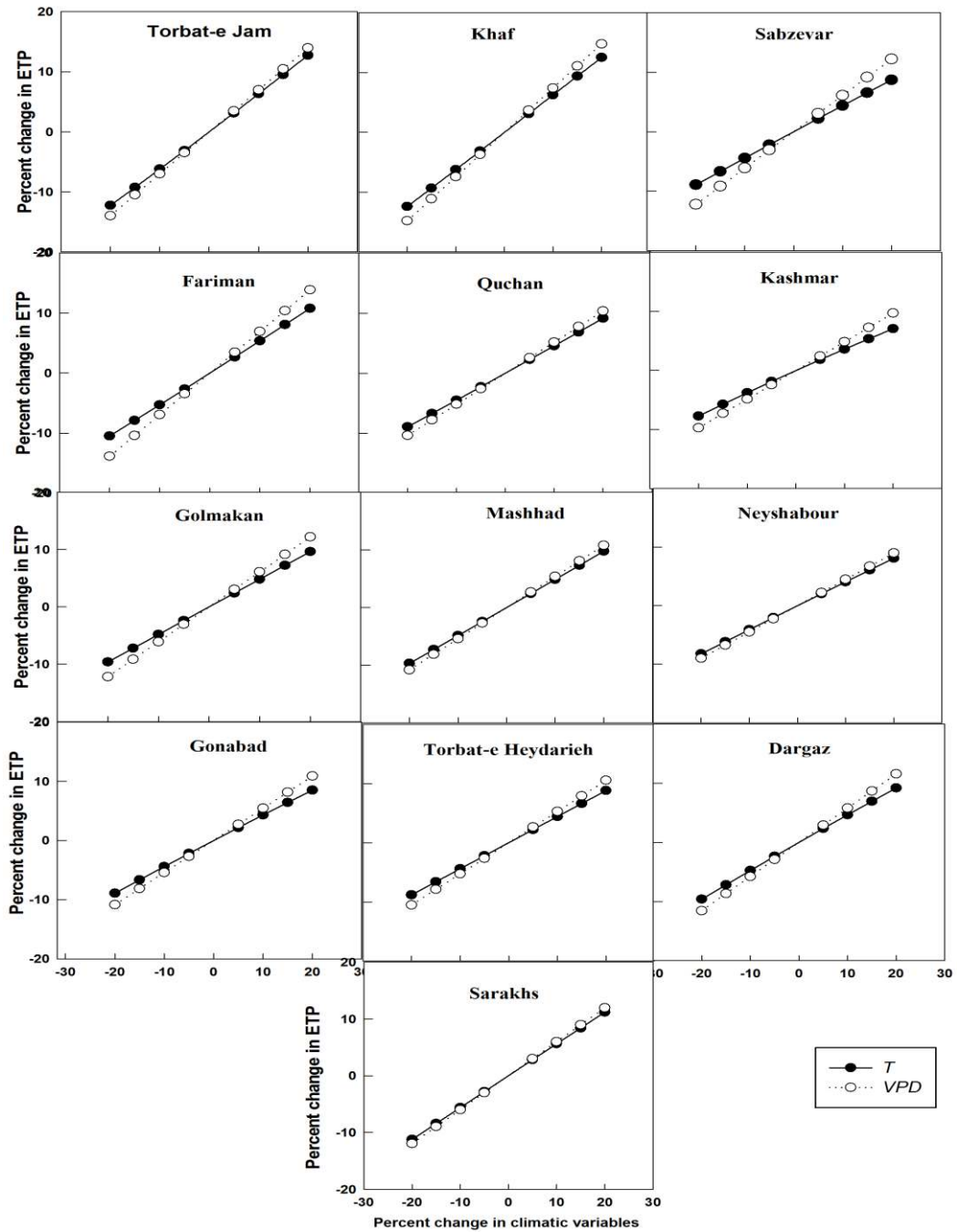
پارامتر درجه حرارت در شهرستان‌های درگز، فریمان، گلکان، خواف، مشهد، سرخس و تربت‌جام (۵۴ درصد نواحی مورد مطالعه)، پارامتر تابش خورشیدی در شهرستان‌های قوچان، گناباد و تربت‌حیدریه (۱۸ درصد نواحی)، پارامتر کمبود فشار بخار در شهرستان‌های کاشمر و نیشابور (۱۴ درصد

۶۷ درصد از نواحی مورد مطالعه کمبود فشار بخار، در ۱۴ درصد از نواحی تابش خورشیدی و در ۱۹ درصد از نواحی فشار بخار واقعی حساس‌ترین پارامترهای مؤثر بر تبخیر و تعرق فائو پنمن مانیتیت بودند. درحالی‌که در دوره رشد گیاهان فصل گرم در ۵۰ درصد از نواحی کمبود فشار بخار، ۳۶ درصد از نواحی درجه حرارت و ۱۴ درصد از نواحی مورد مطالعه تابش خورشیدی از حساس‌ترین پارامترهای مؤثر بر تبخیر و تعرق فائو پنمن مانیتیت بودند و کمترین حساسیت در کل نواحی مورد مطالعه در پارامتر فشار بخار واقعی مشاهده گردید. آنالیز حساسیت نشان داد که در دوره رشد گیاهان فصل گرم، تبخیر و تعرق گیاه مرجع در منطقه مورد مطالعه بیشترین حساسیت را به کمبود فشار بخار و پس از آن درجه حرارت متوسط، تابش خورشیدی، سرعت باد و فشار بخار واقعی نشان داد، درحالی‌که در دوره رشد گیاهان فصل سرد بیشترین حساسیت به کمبود فشار بخار و پس از آن فشار بخار واقعی، درجه حرارت متوسط، تابش خورشیدی، سرعت باد مشاهده گردید.

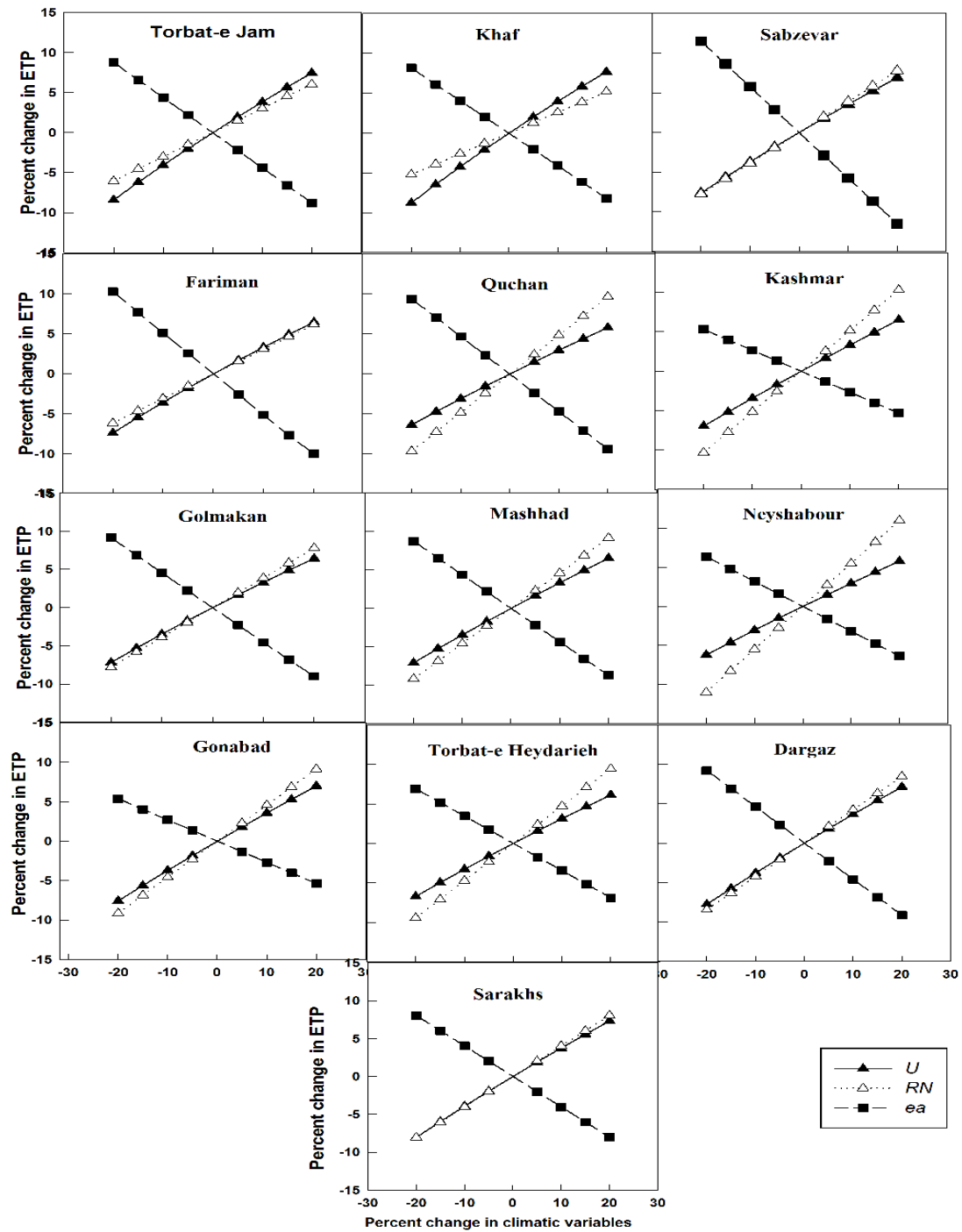
خورشیدی و در شهرستان‌های کاشمر و گناباد پارامتر فشار بخار واقعی در مرتبه پنجم حساسیت تبخیر و تعرق به این پارامترها قرار گرفتند.

در شکل (۵) شیب درصد تغییرات تبخیر و تعرق فائو پنمن مانیتیت و انحراف معیار خطای شیب نسبت به تغییر پارامترهای هواشناسی در ایستگاه‌های مورد مطالعه و متوسط شیب در کل استان خراسان رضوی نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل (۵) دیده می‌شود در کل استان خراسان رضوی تبخیر و تعرق فائو پنمن مانیتیت بیشترین حساسیت را نسبت به کمبود فشار بخار (VPD) نشان داد و پس از آن به ترتیب درجه حرارت، تابش خورشیدی، فشار بخار واقعی و سرعت باد در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. در استان خراسان رضوی حساس‌ترین پارامتر کمبود فشار بخار و کمترین حساسیت در پارامتر سرعت باد دیده شد.

در شکل ۶ رتبه‌بندی حساسیت روش تبخیر و تعرق فائو پنمن مانیتیت به پارامترهای هواشناسی در دوره مختلف رشد و کل سال آورده شده است. در دوره رشد گیاهان فصل سرد در



شکل ۳- درصد تغییرات تبخیر و تعرق فائو پنمن ماتنیت نسبت به تغییر پارامترهای هواشناسی درجه حرارت و کمبود فشار بخار
 Figure 3. The percent change of FAO- Penman- Monteith evapotranspiration method to the meteorological parameters (temperature and vapor pressure deficit)

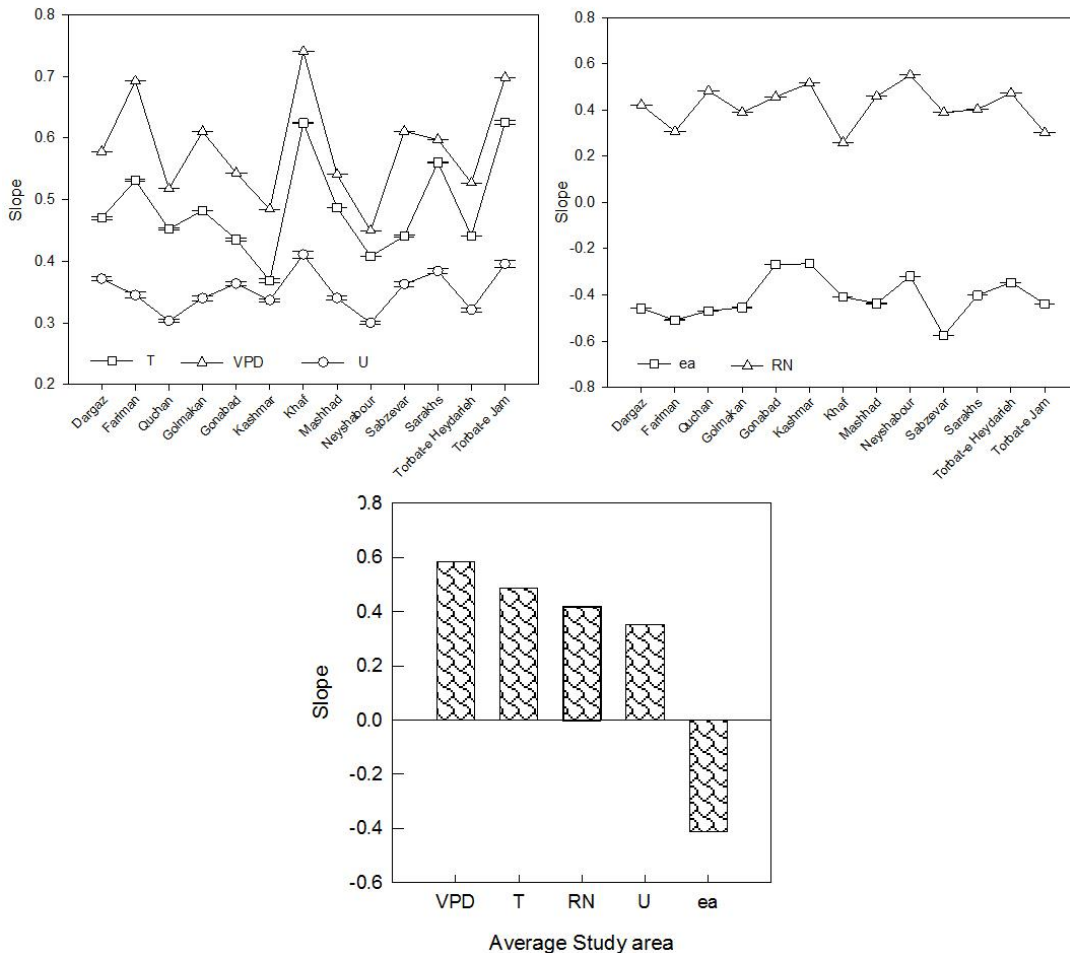


شکل ۴- درصد تغییرات تبخیر و تعرق فائو پنمن مانتهی نسبت به تغییر پارامترهای هواشناسی سرعت باد، تابش خالص خورشیدی و فشار بخار واقعی

Figure 4. The percent change of FAO- Penman - Monteith evapotranspiration method to the meteorological parameters (wind speed, net solar radiation and actual vapor pressure)

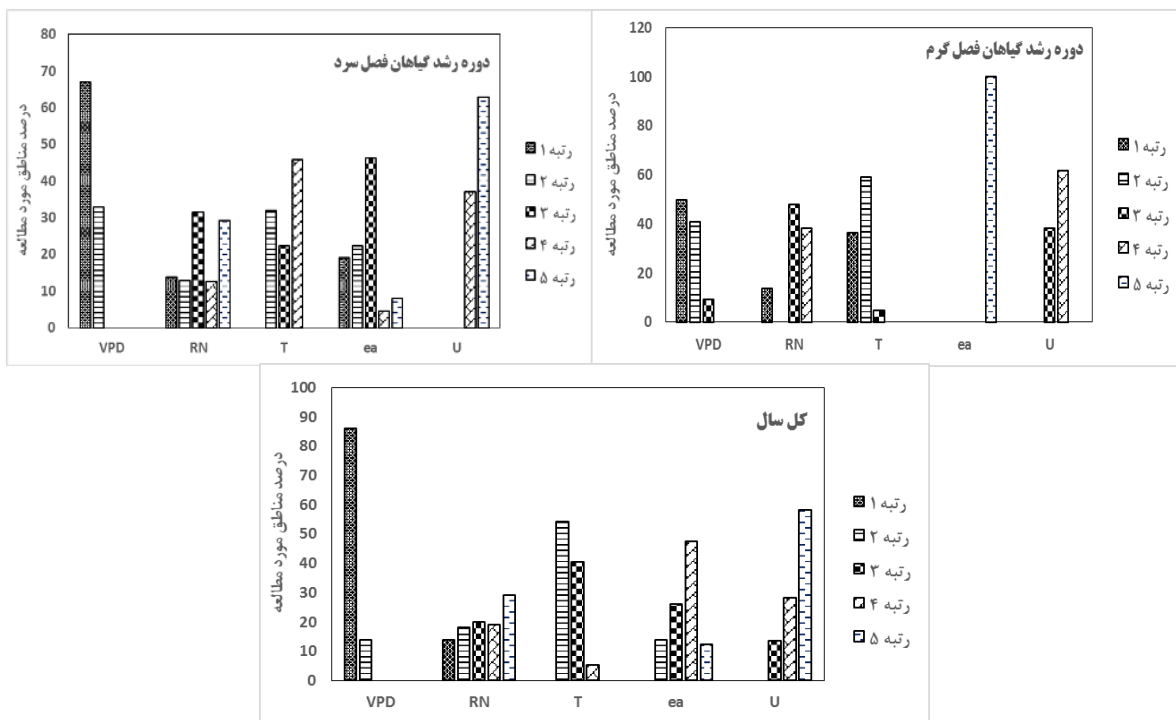
جدول ۳- مقادیر شیب درصد تغییرات تبخیر و تعرق فائو پنمن مانیتث و انحراف معیار خطای شیب نسبت به پارامترهای هواشناسی
Table 3. The slope of variation of FAO- Penman - Monteith evapotranspiration method and standard deviation of slope error values to the meteorological parameters

ایستگاه	درجه حرارت		کمبود فشار بخار		سرعت باد		ساعات آفتابی		فشار بخار واقعی	
	شیب	انحراف معیار	شیب	انحراف معیار	شیب	انحراف معیار	شیب	انحراف معیار	شیب	انحراف معیار
تربت جام	۰/۶۳	$۲/۷۶ \times ۱۰^{-۳}$	۰/۷	$۶/۰۷ \times ۱۰^{-۱۶}$	۰/۴۰	$۵/۱۴ \times ۱۰^{-۳}$	۰/۳۰	$۸/۶۳ \times ۱۰^{-۱۷}$	-۰/۴۴	$۱/۱۶ \times ۱۰^{-۱۶}$
تربت حیدریه	۰/۴۴	$۱/۴۷ \times ۱۰^{-۴}$	۰/۵۳	$۳/۸۳ \times ۱۰^{-۱۶}$	۰/۳۲	$۳/۱۳ \times ۱۰^{-۳}$	-۰/۴۷	$۱/۰۴ \times ۱۰^{-۱۶}$	-۰/۳۵	$۹/۷۷ \times ۱۰^{-۵}$
خواف	۰/۶۲	$۸/۲۳ \times ۱۰^{-۴}$	۰/۷۴	$۳/۸۸ \times ۱۰^{-۱۶}$	۰/۴۱	$۵/۷۰ \times ۱۰^{-۳}$	-۰/۲۶	$۹/۷۸ \times ۱۰^{-۱۷}$	-۰/۴۱	$۱/۰۱ \times ۱۰^{-۱۶}$
درگز	۰/۴۷	$۲/۲۳ \times ۱۰^{-۳}$	۰/۵۸	$۴/۱۱ \times ۱۰^{-۱۶}$	۰/۳۷	$۳/۴۸ \times ۱۰^{-۳}$	-۰/۴۲	$۱/۲۰ \times ۱۰^{-۱۶}$	-۰/۴۶	$۵/۶۱ \times ۱۰^{-۴}$
سبزوار	۰/۴۴	$۱/۱۸ \times ۱۰^{-۳}$	۰/۶۱	$۲/۶۹ \times ۱۰^{-۱۶}$	۰/۳۶	$۳/۸۹ \times ۱۰^{-۳}$	-۰/۳۹	$۱/۳۰ \times ۱۰^{-۱۶}$	-۰/۵۸	$۴/۴۸ \times ۱۰^{-۵}$
سرخس	۰/۵۶	$۲/۱۷ \times ۱۰^{-۴}$	۰/۶۰	$۶/۱۶ \times ۱۰^{-۱۶}$	۰/۳۸	$۳/۸۶ \times ۱۰^{-۳}$	-۰/۴۰	$۱/۵۹ \times ۱۰^{-۱۶}$	-۰/۴۰	$۲/۲۴ \times ۱۰^{-۴}$
فریمان	۰/۵۳	$۱/۶۷ \times ۱۰^{-۳}$	۰/۶۹	$۶/۱۲ \times ۱۰^{-۱۶}$	۰/۳۵	$۵/۰۷ \times ۱۰^{-۳}$	-۰/۳۱	$۱/۰۴ \times ۱۰^{-۱۶}$	-۰/۵۱	$۱/۸۴ \times ۱۰^{-۳}$
قوچان	۰/۴۵	$۱/۲۰ \times ۱۰^{-۳}$	۰/۵۲	$۴/۷۸ \times ۱۰^{-۱۶}$	۰/۳۰	$۳/۰۳ \times ۱۰^{-۳}$	-۰/۴۸	$۷/۳۹ \times ۱۰^{-۱۷}$	-۰/۳۷	$۷/۴۳ \times ۱۰^{-۵}$
کاشمر	۰/۳۷	$۳/۵۱ \times ۱۰^{-۳}$	۰/۴۸	$۱/۳۰ \times ۱۰^{-۱۶}$	۰/۳۴	$۲/۴۲ \times ۱۰^{-۳}$	-۰/۵۲	$۱/۰۱ \times ۱۰^{-۱۶}$	-۰/۲۷	$۷/۴۰ \times ۱۰^{-۱۸}$
گلمکان	۰/۴۸	$۱/۲۴ \times ۱۰^{-۴}$	۰/۶۱	$۱/۲۵ \times ۱۰^{-۱۶}$	۰/۳۴	$۴/۰۸ \times ۱۰^{-۳}$	-۰/۳۹	$۱/۱۹ \times ۱۰^{-۱۶}$	-۰/۳۵	$۱/۱۰ \times ۱۰^{-۳}$
گناباد	۰/۴۴	$۲/۲۱ \times ۱۰^{-۳}$	۰/۵۴	$۲/۶۹ \times ۱۰^{-۱۶}$	۰/۳۶	$۳/۰۹ \times ۱۰^{-۳}$	-۰/۴۶	$۹/۴۸ \times ۱۰^{-۱۷}$	-۰/۲۷	$۸/۵۴ \times ۱۰^{-۱۷}$
مشهد	۰/۴۹	$۵/۴۳ \times ۱۰^{-۴}$	۰/۵۴	$۲/۰۵ \times ۱۰^{-۱۶}$	۰/۳۴	$۳/۰۶ \times ۱۰^{-۳}$	-۰/۴۶	$۶/۷۸ \times ۱۰^{-۱۷}$	-۰/۴۴	$۳/۶۸ \times ۱۰^{-۴}$
نیشابور	۰/۴۱	$۷/۳۴ \times ۱۰^{-۴}$	۰/۴۵	$۱/۱۵ \times ۱۰^{-۱۶}$	۰/۳۰	$۲/۲۳ \times ۱۰^{-۳}$	-۰/۵۵	$۶/۵۴ \times ۱۰^{-۱۶}$	-۰/۳۲	$۸/۴۳ \times ۱۰^{-۱۷}$



شکل ۵- شیب درصد تغییرات تبخیر و تعرق فائو پنمن مانیتث و انحراف معیار خطای شیب نسبت به تغییر پارامترهای هواشناسی در مناطق مورد مطالعه و متوسط شیب در کل استان خراسان رضوی

Figure 5. The slope of variation of FAO- Penman - Monteith evapotranspiration method and standard deviation of slope error to change meteorological parameters across the study areas and average slope in the Razavi Khorasan province



شکل ۶- رتبه‌بندی حساسیت تبخیر و تعرق فائو پنمن مانیتث به پارامترهای هواشناسی در مقیاس‌های زمانی متفاوت در منطقه مورد مطالعه
 Figure 6. The rank of sensitivity analysis of FAO- Penman - Monteith evapotranspiration method to meteorological parameters at the different timescale across the study area

رودخانه شبانگ در شمال شرقی چین نشان داد و همچنین گزارش کردند که سرعت باد نقش مهمی در تغییرات تبخیر و تعرق در این حوضه از چین بر عهده دارد، تفاوت دارد. همچنین نتایج این پژوهش با نتایج دین‌پژوه و همکاران (۱۰) که افزایش روند تغییرات تبخیر و تعرق در شرق ایران را به سرعت باد مربوط می‌دانند، مغایرت دارد. در نواحی خشک و نیمه‌خشکی چون منطقه مورد مطالعه از آنجا که درجه حرارت بالا می‌باشد و این درجه حرارت بالا و کمبود فشار بخار در ظرفیت پذیرش هوا برای رطوبت تأثیرگذار است بر میزان تبخیر و تعرق تأثیر مهمی دارد. همچنین دریافتیم که پاسخ تبخیر و تعرق به تغییرات پارامترهای آب و هوایی در نواحی با توپوگرافی، اقلیم و جغرافیای مختلف، متفاوت است. طبری و طلایی (۳۷) ادعان داشتند که حساسیت تبخیر و تعرق به عوامل هواشناسی دارای تنوع منطقه‌ای است زیرا شرایط آب و هوایی و عوامل هواشناسی مناطق مختلف با یکدیگر متفاوت می‌باشد. یانگ و همکاران (۴۲) نیز در مطالعات خود نشان دادند که حتی در یک حوضه کوچک، حساسیت از ارتفاع کم به ارتفاعات زیاد متغیر است.

در این مطالعه حساسیت تبخیر و تعرق فائو پنمن مانیتث به ۵ پارامتر هواشناسی شامل کمبود فشار بخار، درجه حرارت، تابش خالص خورشیدی، سرعت باد و فشار بخار واقعی در طول دوره آماری ۱۱ تا ۶۷ سال در ۱۳ ایستگاه هواشناسی استان خراسان رضوی واقع در شمال شرق ایران مورد بررسی قرار گرفت. اقلیم منطقه مورد مطالعه اقلیم خشک و نیمه‌خشک می‌باشد. نتایج نشان داد که در بیشتر نواحی مورد

حساسیت تبخیر و تعرق به روش فائو پنمن مانیتث در مناطق مختلف دنیا مورد مطالعه قرار گرفته است و نتایج متفاوتی هم به‌دست آمده است. نتایج این مطالعه نشان داد که تبخیر و تعرق نسبت به پارامترهای هواشناسی در مقیاس زمانی و مکانی متفاوت می‌باشد که با نتایج تحقیقات اسلامیان و همکاران (۱۳) مشابهت دارد. همچنین نتایج مطالعات شریفی و دین‌پژوه (۳۵) که در مطالعات خود نشان دادند که در ۶ ایستگاه از ۸ ایستگاه مورد مطالعه در ایران در بین پارامترهای دمای هوا، فشار واقعی بخار، سرعت باد و تابش خالص خورشیدی، پارامتر درجه حرارت حساس‌ترین پارامتر در تغییرات تبخیر و تعرق در مقیاس سالانه بود و کمترین حساسیت مربوط به پارامتر فشار بخار واقعی بود که نتایج آنان با نتایج حاصل از این پژوهش مشابه بود. آمباس و بالناس (۳) نیز در مطالعات خود دریافتند که فاکتور مهم کنترل‌کننده تبخیر و تعرق درجه حرارت می‌باشد که در منطقه تربت‌جام در این پژوهش نیز نتایج مشابهی به‌دست آمد. احمد و همکاران (۱) نیز در مطالعات خود نشان دادند که در بین پارامترهای تابش خورشیدی، درجه حرارت و سرعت باد، بیشترین تأثیر را تابش خورشیدی (۱۴٪) و پس از آن دما (۴٪) و سرعت باد (۱٪) داشت. نتایج آنان نشان داد که تابش خورشیدی نقش مهمی در برآورد PET در شبه‌جزیره مالزی دارد که نتایج آنان با نتایج به‌دست‌آمده در نواحی کاشمر و نیشابور مطابقت دارد؛ اما نتایج این تحقیق با یافته‌های ژانگ و همکاران (۴۳) که در مطالعات خود دریافتند که تبخیر و تعرق کمترین حساسیت را به درجه حرارت متوسط در حوضه

هوایی در نواحی با توپوگرافی، اقلیم، تفاوت جغرافیایی و مقیاس زمانی، متفاوت است. آنالیز حساسیت انجام گرفته در این مطالعه می‌تواند در تدوین معادلات ساده‌تر مشتق شده از روش فائو پنمن مانتهیت و یا مدل‌های ساده‌تر محاسبه تبخیر و تعرق کمک قابل توجهی بنماید.

تشکر و قدردانی

این مقاله مستخرج از نتایج طرح تحقیقاتی اجرا شده از محل اعتبارات معاونت پژوهشی مجتمع آموزش عالی کشاورزی و دامپروری تربت جام می‌باشد. بدین وسیله از حمایت مالی این مجتمع تقدیر و تشکر می‌گردد.

مطالعه و متوسط استان مؤثرترین پارامتر هواشناسی در تبخیر و تعرق، پارامتر کمبود فشار بخار و درجه حرارت می‌باشد. پس از آن‌ها به ترتیب تابش خورشیدی، فشار بخار واقعی و سرعت باد در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند همچنین در دوره رشد گیاهان فصل گرم، تبخیر و تعرق گیاه مرجع در منطقه مورد مطالعه بیشترین حساسیت را به کمبود فشار بخار و پس از آن درجه حرارت متوسط، تابش خورشیدی، سرعت باد و فشار بخار واقعی نشان داد، در حالی که در دوره رشد گیاهان فصل سرد بیشترین حساسیت به کمبود فشار بخار و پس از آن فشار بخار واقعی، درجه حرارت متوسط، تابش خورشیدی، سرعت باد مشاهده گردید. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که پاسخ تبخیر و تعرق به تغییرات پارامترهای آب و

منابع

- Ahmad, N.F.A., M. Askari, S. Harun, A.B. Fadhil and A.S. Demun. 2017. Sensitivity analysis of a FAO penman monteith for potential evapotranspiration to climate change. *Jurnal Teknologi*, 79(7): 21-30.
- Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes and S. Martin. 1998. *Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56*. Irrigation and Drainage, 201pp.
- Ambas, V.T. and E. Baltas. 2012. Sensitivity analysis of different evapotranspiration methods using a new sensitivity coefficient. *Global NEST Journal*, 14(3): 335-43.
- Amiri, M. and H.R. Pourghasemi. 2019. Comparing Different Methods of Potential Evapotranspiration and Studying Temporal and Spatial Changes in the Mahalou Watershed using GIS. *Journal of Watershed Management Research*, 10(19): 22-35 (In Persian).
- Bakhtiari, B. and A.M. Liaghat. 2011. Seasonal sensitivity analysis for climatic variables of ASCE-Penman-Monteith model in a semi-arid climate. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 13(SUPPL.): 1135-45.
- Brutsaert, W. and M.B. Parlange. 1998. Hydrologic cycle explains the evaporation paradox [8]. *Nature*, 396: 30 pp.
- Chattopadhyay, N. and M. Hulme. 1997. Evaporation and potential evapotranspiration in India under conditions of recent and future climate change. *Agricultural and Forest Meteorology*, 87(1): 55-73.
- Debnath, S., S. Adamala and N.S. Raghuvanshi. 2015. Sensitivity Analysis of FAO-56 Penman-Monteith Method for Different Agro-ecological Regions of India. *Environmental Processes*, 2: 689-704.
- DeJonge, K.C., M. Ahmadi, J.C. Ascough and K.D. Kinzli. 2015. Sensitivity analysis of reference evapotranspiration to sensor accuracy. *Computers and Electronics in Agriculture*, 110: 176-186.
- Dinpashoh, Y., D. Jhajharia, A. Fakheri-Fard, V.P. Singh and E. Kahya. 2011. Trends in reference crop evapotranspiration over Iran. *Journal of Hydrology*, 399(3-4): 422-33.
- Du, C., J. Yu, P. Wang and Y. Zhang. 2016. Reference Evapotranspiration Changes: Sensitivities to and Contributions of Meteorological Factors in the Heihe River Basin of Northwestern China (1961-2014). *Advances in Meteorology*, 4143580. <https://doi.org/10.1155/2016/4143580>
- Er-Raki, S., A. Chehbouni, N. Guemouria, B. Duchemin, J. Ezzahar and R. Hadria. 2007. Combining FAO-56 model and ground-based remote sensing to estimate water consumptions of wheat crops in a semi-arid region. *Agricultural Water Management*, 87(1): 41-54.
- Eslamian, S., M.J. Khordadi and J. Abedi-Koupai. 2011. Effects of variations in climatic parameters on evapotranspiration in the arid and semi-arid regions. *Glob Planet Change*, 78(3-4): 188-194.
- Estévez, J., P. Gavilán and J. Berengena. 2009. Sensitivity analysis of a penman-monteith type equation to estimate reference evapotranspiration in Southern Spain. *Hydrological Processes*, 23(23): 3342-3353.
- Ghiami-Shomami, F., K. Kawasaki, Leonardo, S. Shinoda and Y. Fan. 2019. Sensitivity of potential evapotranspiration to climate factors in forested mountainous watersheds. *Hydrological Research Letters*, 13(3):41-48.
- Golubev, V.S., J.H. Lawrimore, P.Y. Groisman, N.A. Speranskaya, S.A. Zhuravin and M.J. Menne et al. 2001. Evaporation changes over the contiguous United States and the former USSR: A reassessment. *Geophysical Research Letters*, 28(13): 2665-8.
- Gong, L., C.Y. Xu, D. Chen, S. Halldin and Y.D. Chen. 2006. Sensitivity of the Penman-Monteith reference evapotranspiration to key climatic variables in the Changjiang (Yangtze River) basin. *Journal of Hydrology*, 329(3-4): 620-629.
- Goyal, R.K. 2004. Sensitivity of evapotranspiration to global warming: A case study of arid zone of Rajasthan (India). *Agricultural Water Management*, 69(1):1-11.
- Haaker, M.P.R. and P.J.T. Verheijen. 2004. Local and global sensitivity analysis for a reactor design with parameter uncertainty. *Chemical Engineering Research and Design*, 82(5): 591-8.
- Hobbins, M.T., J.A. Ramirez and T.C. Brown. 2004. Trends in pan evaporation and actual evapotranspiration across the conterminous U.S.: Paradoxical or complementary? *Geophysical Research Letters*, 31(13).

21. Jabloun, M. and A. Sahli. 2008. Evaluation of FAO-56 methodology for estimating reference evapotranspiration using limited climatic data. Application to Tunisia. *Agricultural Water Management*, 95(6): 707-15.
22. Lawrimore, J.H. and T.C. Peterson. 2000. Pan evaporation trends in dry and humid regions of the United States. *Journal of Hydrometeorology*, 1(6): 543-6.
23. Liu, C., D. Zhang, X. Liu and C. Zhao. 2012. Spatial and temporal change in the potential evapotranspiration sensitivity to meteorological factors in China (1960-2007). *Journal of Geographical Sciences*, 22: 3-14.
24. Liu, Q., Z. Yang, B. Cui and T. Sun. 2010. The temporal trends of reference evapotranspiration and its sensitivity to key meteorological variables in the Yellow River Basin, China. *Hydrological Processes*, 24(15): 2171-81.
25. Mosaedi, A., M. Ghabaei Sough, S.H. Sadeghi, Y. Mooshakhian and M. Bannayan. 2017. Sensitivity analysis of monthly reference crop evapotranspiration trends in Iran: a qualitative approach. *Theoretical and Applied Climatology*, 128(3-4): 857-73.
26. Ndiaye, P.M., A. Bodian, L. Diop and K. Djaman. 2017. Sensitivity Analysis of the Penman-Monteith Reference Evapotranspiration to Climatic Variables: Case of Burkina Faso. *The Journal of Water Process Engineering*, 09(12): 1364-1376.
27. Ohmura, A. and M. Wild. 2002. Is the hydrological cycle accelerating? *Science*, 298(5597): 1345-6.
28. Peterson, T.C., V.S. Golubev and P.Y. Groisman. 1995. Evaporation losing its strength. *Nature*, 377(6551): 687-688.
29. Roderick, M.L. and G.D. Farquhar. 2004. Changes in Australian pan evaporation from 1970 to 2002. *International Journal of Climatology*, 24(9): 1077-90.
30. Roderick, M.L. and G.D. Farquhar. 2005. Changes in New Zealand pan evaporation since the 1970s. *International Journal of Climatology*, 25(15): 2031-2039.
31. Saadi, S., M. Todorovic, L. Tanasijevic, L.S. Pereira, C. Pizzigalli and P. Lionello. 2015. Climate change and Mediterranean agriculture: Impacts on winter wheat and tomato crop evapotranspiration, irrigation requirements and yield. *Agricultural Water Management*, 147: 103-15.
32. Saltelli, A., M. Ratto, T. Andres, F. Campolongo, J. Cariboni and D. Gatelli. 2008. *Global Sensitivity Analysis. The Primer* John Wiley & Sons, Inc, 304 p. https://doi.org/10.1111/j.1541-0420.2009.01343_7.x
33. Samadianfard, S. and S. Panahi. 2018. Estimating Daily Reference Evapotranspiration using Data Mining Methods of Support Vector Regression and M5 Model Tree. *Journal of Watershed Management Research*, 10(18): 157-167 (In Persian).
34. Saxton, K.E. 1975. Sensitivity analyses of the combination evapotranspiration equation. *Agricultural Meteorology*, 15(3): 343-53.
35. Sharifi, A. and Y. Dinpashoh. 2014. Sensitivity Analysis of the Penman-Monteith reference Crop Evapotranspiration to Climatic Variables in Iran. *Water Resources Management*, 28: 5465-5476.
36. Shirmohammadi-Aliakbarkhani, Z. and S.F. Saberali. 2020. Evaluating of eight evapotranspiration estimation methods in arid regions of Iran, *Agricultural Water Management*. 239:106243. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106043>
37. Tabari, H. and P. Hosseinzadeh Talae. 2014. Sensitivity of evapotranspiration to climatic change in different climates. *Global and Planetary Change*, 115: 16-23.
38. Temesgen, B., S. Eching, B. Davidoff and K. Frame. 2005. Comparison of Some Reference Evapotranspiration Equations for California. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 131: 1(73).
39. Vicente-Serrano, S.M., C. Azorin-Molina, A. Sanchez-Lorenzo, J. Revuelto, E. Morán-Tejeda, J.I. López-Moreno and F. Espejo. 2014. Sensitivity of reference evapotranspiration to changes in meteorological parameters in Spain (1961-2011). *Water Resources Research*. 50(11): 8458-8480.
40. Wright, J.L., R.G. Allen and T.A. Howell. 2000. Conversion between evapotranspiration references and methods. In: *National Irrigation Symposium Proc 4th Decennial Symp.* p. 251-9.
41. Xiang, K., Y. Li, R. Horton and H. Feng. 2020. Similarity and difference of potential evapotranspiration and reference crop evapotranspiration-a review. *Agricultural Water Management*, 232(1): 106043. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106043>
42. Yang, Y., R. Chen, Y. Song, C. Han, J. Liu and Z. Liu. 2019. Sensitivity of potential evapotranspiration to meteorological factors and their elevational gradients in the Qilian Mountains, northwestern China. *Journal of Hydrology*, 568: 147-159.
43. Yin, Y., S. Wu, G. Chen and E. Dai. 2010. Attribution analyses of potential evapotranspiration changes in China since the 1960s. *Theoretical and Applied Climatology*, 101: 19-28.
44. Zhang, X., S. Kang, L. Zhang and J. Liu. 2010. Spatial variation of climatology monthly crop reference evapotranspiration and sensitivity coefficients in Shiyang river basin of northwest China. *Agricultural Water Management*, 97(10): 1506-16.
45. Zhao, J., Z.X. Xu, D.P. Zuo and X.M. Wang. 2015. Temporal variations of reference evapotranspiration and its sensitivity to meteorological factors in Heihe River Basin, China. *Water Science and Engineering*, 8(1): 1-8.

Sensitivity Analysis of the Reference Evapotranspiration to Meteorological Parameters in Khorasan Razavi Province

Zahra Shirmohammadi-Aliakbarkhani¹ and Seyed Farhad Saberali²

1- Assistant Professor, Department of Water science and engineering, High Educational Complex of Torbat-e Jam, Khorasan Razavi, Iran, (Corresponding Author: mshirmohamady@yahoo.com)

2- Assistant Professor, Department of horticulture science and engineering, High Educational Complex of Torbat-e Jam, Khorasan Razavi, Iran

Received: May 27, 2020 Accepted: September 28, 2020

Abstract

Accurate estimation of reference crop evapotranspiration (ET₀) is important in hydrological studies and water resource management that can influence the planning and policies for optimal allocation of agricultural water resources. For this purpose, in the present study, sensitivity analysis was employed to evaluate the effects of the changes in meteorological parameters (vapor pressure deficit (VPD), Mean Temperature (T_{mean}), net solar radiation (R_n), wind speed (u) and actual vapor pressure (ea)) on reference crop evapotranspiration (ET₀) within the possible range of $\pm 20\%$ on a daily and growing season scale. ET₀ was calculated by The Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) 56 Penman-Monteith approach using long-term climate data from 13 meteorological stations of Khorasan Razavi province in northeast Iran. The sensitivity analysis indicated that ET₀ changes positively with vapor pressure deficit, mean temperature, net solar radiation and wind speed, while it changes negatively with actual vapor pressure. Also, over the whole period, ET₀ was most sensitive to vapor pressure deficit (VPD), followed by mean temperature (T_{mean}), net solar radiation (RN), actual vapor pressure (ea) and wind speed (WS). In the the warm growing season, ET₀ was most sensitive to vapor pressure deficit (VPD), followed by mean temperature (T_{mean}), net solar radiation (RN), wind speed (WS) and actual vapor pressure (ea) while, in the cool growing season, ET₀ was most sensitive to vapor pressure deficit (VPD), followed by actual vapor pressure (ea), Mean Temperature (T_{mean}), net solar radiation (RN) and wind speed (WS). The results showed that the sensitivity of ET₀ in different stations and different growth periods is different. The findings of this study showed that the importance of effective parameters on the reference crop evapotranspiration (ET₀) was different between the hot and cool growing season of the region, which should be considered in sustainable planning of water resources and management of agriculture in Khorasan Razavi regions for development of adaptation strategies in arid climatic conditions.

Keywords: Evapotranspiration, FAO Penman-Monteith method, Meteorological parameters, Sensitivity analysis



"مقاله پژوهشی"

پهنه‌بندی خطر زمین لغزش به روش تراکم سطح و تحلیل سلسله مراتبی جهت ارزیابی مسیر جاده طراحی شده سری چلیر جنگل خیرود

امیرحسین خطکه^۱، سید عطاالله حسینی^۲، احسان عبدی^۳، خالد احمدآلی^۴ و شاهین کوهی^۵

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران
۲- استاد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، (نویسنده مسوول: at.hosseini@ut.ac.ir)
۳- دانشیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران
۴- استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران
۵- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مدیریت جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران
تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۳/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۶/۲۴
صفحه: ۲۷۳ تا ۲۸۴

چکیده

شبکه جاده‌های جنگلی به‌عنوان یکی از ارکان مهم سازماندهی زمین در مدیریت منابع جنگلی نقش کلیدی دارند، از سوی دیگر جاده‌ها، بیشترین میزان هزینه‌های اجرایی و محیط زیستی را نیز به‌دنبال دارند. جاده‌سازی بر روی خاک‌های ناپایدار جنگلی عامل افزایش هزینه‌های تعمیر و نگهداری جاده در آینده و همچنین خسارات جبران‌ناپذیر محیط‌زیستی از جمله فرسایش خاک است. در این رهگذر، انجام پهنه‌بندی خطر زمین لغزش می‌تواند ابزاری کارا در جهت کاهش خسارات و هزینه‌های مذکور باشد. هدف از این مطالعه، پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در سری چلیر جنگل خیرود به‌منظور بررسی مسیر جاده‌های جنگلی طراحی شده‌است، تا مسافت‌های پرخطر جاده به‌عنوان قسمی از یک عارضه خطی، مشخص و با به‌کار بستن توجه مضاعف، از خسارات جبران‌ناپذیر محیط‌زیستی و هزینه‌های تعمیر و نگهداری جاده در آینده کاست. در این مطالعه، جاده‌های ساخته شده و جاده‌های پیش‌بینی شده در سری چلیر جنگل خیرود با وسعت بیش از ۱۷۲۰ هکتار مورد بررسی قرار گرفته است، برای این سری جنگلی، میزان ۳۸ کیلومتر جاده پیش‌بینی شده که ۱۴ کیلومتر از آن ساخته شده است، به‌این منظور ابتدا عوامل شیب، جهت، فاصله از کسل، فاصله از جاده، فاصله از آبراهه، ساختار زمین‌شناسی و جنس خاک تحت عنوان عوامل موثر در وقوع لغزش‌ها شناسایی و به کمک فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، بر اساس نظر کارشناسان مورد ارجحیت‌بندی و وزن‌دهی قرار گرفت. در گام بعد، نقشه‌های مورد نیاز تهیه و با لغزش‌های موجود در منطقه که با استفاده از مطالعه میدانی (GPS) برداشت شده، روی هم اندازی شد. طبقات نقشه زیر معیارهای تهیه شده براساس ویژگی‌های لغزش‌ها (با توجه به مساحت لغزش در هر طبقه) به روش تراکم سطح وزن‌دهی شدند، سپس نقشه‌ی وزن‌دهی شده زیر معیارها بر اساس وزن معیارها که به‌وسیله‌ی فرآیند تحلیل سلسله مراتبی تهیه شده بود در محیط Arc GIS با یک دیگر تلفیق و نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش منطقه مورد مطالعه در پنج طبقه از بسیار پر خطر تا کم خطر تهیه شد. نهایتاً با قرار دادن نقشه جاده‌های ساخته و طراحی شده بر روی نقشه پهنه‌بندی به‌دست آمده، مسافت‌هایی تحت عنوان مسافت‌های با خطر زیاد و بسیار زیاد شناسایی و استخراج شد. نتایج اولویت‌بندی عوامل نشان داد که شیب و فاصله از آبراهه با وزن‌های ۰/۲۲ و ۰/۱۹، دارای بیشترین تأثیر و فاصله از کسل و فاصله از جاده با وزن‌های ۰/۰۹۶ و ۰/۰۸۵ دارای کمترین میزان اثر در وقوع زمین لغزش‌ها بوده‌اند. همچنین نتایج تحلیل جاده‌ها نشان داد از حدود ۳۸ کیلومتر جاده طراحی شده، حدود ۲۱ کیلومتر در کلاسه‌های خطر زیاد و خیلی زیاد واقع شده‌اند و میزان ۱۱ کیلومتر نیز در کلاسه‌های خطر کم و خیلی کم قرار دارند، مسافتی در حدود ۶ کیلومتر از این شبکه جاده هم در کلاسه خطر متوسط قرار دارد که نشان از اهمیت مطالعات پایدار دامنه‌ها در این عرصه از جمله بررسی دانه‌بندی، میزان خمیریایی خاک و سایر ویژگی‌های مکانیکی آن، پیش از هرگونه عملیات ساختمانی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: پهنه‌بندی خطر زمین لغزش، روش تراکم سطح، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، GIS

مقدمه

جنگل باید به‌گونه‌ای صورت پذیرد که ضمن دستیابی به اهداف مدیریتی، مجموع هزینه‌های اجرایی و محیط زیستی نیز حداقل گردد تا ثبات و پایداری اکوسیستم جنگل صدمه ندیده و دخالت در طبیعت به حداقل ممکن کاهش یابد (۲۵). بدین‌منظور عواملی که باعث افزایش مجموعه هزینه‌ها می‌گردند باید شناسایی و در هنگام طراحی مورد توجه قرار گیرند. یکی از عواملی که ردیابی مسیر در جنگل را به‌شدت تحت‌تأثیر قرار می‌دهد، پدیده‌ی زمین لغزش می‌باشد که در اراضی جنگلی با توجه به ویژگی‌های زمین محیطی مانند شرایط خاک و سنگ‌شناسی، بارندگی زیاد و نفوذپذیری خاک، این پدیده معمولاً فراوانتر است (۳۵). ساخت جاده به‌عنوان یک عارضه خطی تأثیرگذار، سبب افزایش وقوع این پدیده می‌گردد، (۱۳). در واقع هنگام ساخت جاده با حذف پنجه خاکبرداری و افزایش سربار دامنه خاکریز، نوعی اختلال

زمین لغزش‌ها سالانه در سراسر جهان و مخصوصاً مناطق جنگلی و کوهستانی باعث بوجود آمدن میلیاردها دلار خسارت مالی و صدها نفر تلفات جانی می‌شوند، این پدیده در جنگل‌ها که عمدتاً خاک در آستانه پایداری قرار دارد بیشتر دیده می‌شود و عواملی مانند تغییر کاربری اراضی در مناطق شیب‌دار به خطر وقوع این حادثه افزوده است، با تمرکز بر زمین‌لغزش‌های به‌وقوع پیوسته در مناطق ناپایدار و شناسایی نواحی مستعد به زمین‌لغزش می‌توان از هزینه‌های گزاف احتمالی آن جلوگیری کرد (۱۲). جاده‌های جنگلی عامل اصلی افزایش نرخ فرسایش و برهم زنده‌ی پایداری دامنه‌های طبیعی هستند. از طرفی، به‌دلیل تأثیر عوامل محیطی و ترافیک بر جاده، هرسال هزینه‌ای هنگفت برای تعمیر و نگهداری جاده‌ها صرف می‌شود (۱). بنابراین طراحی جاده در

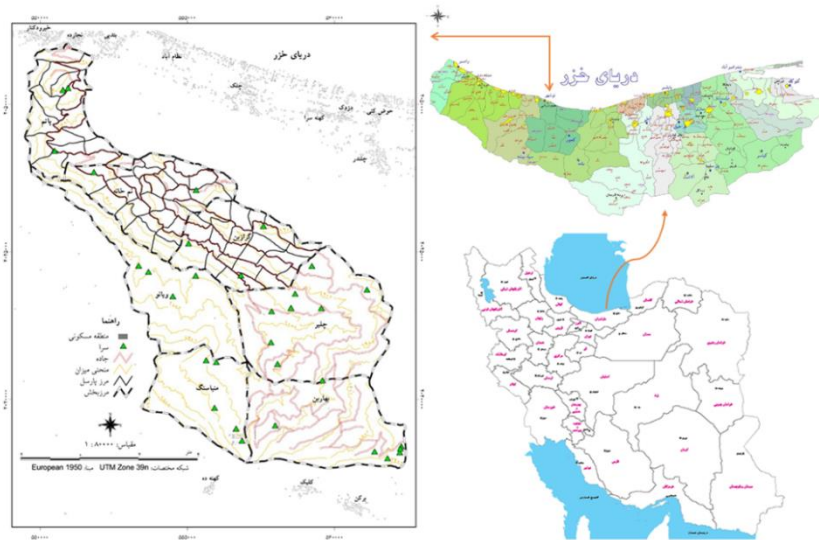
زمین لغزش با این روش‌ها است. از جمله‌ی این نتایج می‌توان به مطالعات احمدی و همکاران (۱۴)، فیض‌نیا و همکاران (۱۰)، عبدی و همکاران (۲)، مصفاوی و همکاران (۲۹)، کریمی‌سنگ‌چینی و اونق (۲۱)، زارع و همکاران (۴۰)، کریمی‌سنگ‌چینی و همکاران (۲۲)، حیاتی و همکاران (۱۵)، شعبانی و همکاران (۳۶)، عطاپور و احمدی (۸)، عابدینی و قاسمیان (۳)، لطفعلیان و همکاران (۲۴)، جرجانی و همکاران (۱۸) و همچنین زارع و همکاران (۱۴) اشاره کرد. تا به امروز روش‌های گوناگونی برای پهنه‌بندی خطر وقوع زمین لغزش به‌کار بسته شده‌اند. استفاده از روش‌های آماری برای پهنه‌بندی پدیده‌های زمین‌شناسی مانند فروچاله‌ها (۱۹) و زمین‌لغزش‌ها (۳۱) به‌عنوان روشی مناسب به‌کارگرفته می‌شود. هدف از این مطالعه، پهنه‌بندی خطر وقوع حرکت‌های توده‌ای خاک در سری چلیبر جنگل خیرود به‌منظور بررسی شبکه جاده جنگلی طراحی شده و استخراج مسافت‌های پرخطر جاده برای مطالعات بیشتر، پیش از پیاده‌سازی در عرصه است. همچنین پیرامون جاده‌های ساخته شده، استخراج این مسافت‌ها می‌تواند مدیران طرح را در راستای عملیات پراهمیت تعمیر و نگهداری جاده‌های جنگلی یاری نماید.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

جنگل آموزشی و پژوهشی خیرود با مختصات $27^{\circ} 36'$ تا $40^{\circ} 36'$ عرض شمالی و $51^{\circ} 43'$ تا 51° طول شرقی، واقع در هفت کیلومتری شرق نوشهر و در استان مازندران قرار گرفته است. این جنگل از شمال به نوار ساحلی و روستای نجارده و از جنوب به بیلاق و روستای کلیک محدود می‌شود. منطقه مورد بررسی بخش چلیبر با گستره‌ای در حدود 1720 هکتار، در محدوده‌ی ارتفاعی 720 در محل خروجی زیر حوضه و 1770 متر از سطح آب‌های آزاد، با میانگین شیب 30 درصد واقع شده‌است. برای پوشش این سری میزان 38 کیلومتر جاده پیش‌بینی شده و از این میزان مسافت 14 کیلومتر ساخته شده است. شکل ۱، از کتابچه طرح جنگلداری جنگل خیرود، موقعیت این جنگل در شهرستان نوشهر و سری مورد مطالعه را نشان می‌دهند (۹). بخش مذکور در مجاورت سری‌های گرازین، بهارین و دارنو از این جنگل واقع شده است و فقط دارای یک شاخه جاده ساخته شده در شمال سری به‌جهت تقریباً غربی- شرقی بوده و با حوزه‌ی مجاور به شماره ی 46 در همسایگی می‌باشد و خارج از پیش‌بینی قبلی طرح، خروجی آن به جنگل خیرود متصل شده است و پس از عبور از سری چلیبر، در محل بخش گرازین به شبکه جاده جنگلی خیرود متصل می‌شود، این جاده با ایجاد امکان انشعابات جدید، می‌تواند طراحی‌های قبلی را تحت‌تاثیر قرار دهد. به این جهت طی پیمایش زمینی، مختصات این جاده تا محل انتهایی آن در حوزه مجاور با دستگاه GPS برداشت شد، سایر نقاط جنگل چلیبر فقط به‌واسطه‌ی مسیرهای مالرو قابل دسترسی می‌باشند.

در طبیعت ایجاد می‌کند که باعث کاهش پایداری شیب بالادست و پایین دست جاده و در نتیجه وقوع حرکات توده‌ای می‌گردد (۳۸، ۲۶). نکته دیگر جاری شدن آب دامنه‌ی بالادست در کانال کناری جاده‌ی جنگلی و نفوذ موضعی این آب به قشرهای زیرین است که گاه می‌تواند خود به‌تنهایی محرکی برای آغاز و یا تشدید حرکت توده‌ای باشد (۳۵). در صورتی‌که سایر ویژگی‌های منطقه خود در شرایط آستانه ناپایداری باشد، جاده‌سازی بر روی این اراضی به تشدید ناپایداری‌ها کمک خواهد کرد (۱۱). بنابراین در طراحی جاده‌های جنگلی قسمت‌های دارای حرکت توده‌ای و یا حساس به لغزش باید بادقت شناسایی و تا حد امکان از عبور جاده بر روی آن اراضی پرهیز گردد. در غیر این‌صورت هزینه تعمیر و نگهداری در آینده بسیار بالا خواهد بود. ضمن این‌که هزینه‌های مربوط به اختلال در بهره‌برداری و خروج محصولات جنگلی را هم باید به آن اضافه کرد. در مواردی، طراح با توجه به شرایط توپوگرافی و شیب طولی جاده، ناگذیر به طراحی مسیر در اراضی ناپایدار و حساس است که در این‌صورت تدابیر لازم باید از قبل اندیشیده شود. طرح ریزی این تدابیر خود مقتضی دانش و آگاهی کافی از منطقه در رابطه با میزان حساسیت اراضی نسبت به زمین لغزش می‌باشد و در این بین پهنه‌بندی خطر زمین لغزش ابزاری کارا به‌حساب می‌آید (۱۹). پهنه‌بندی خطر زمین لغزش، سطح منطقه را به نواحی ویژه و مجزایی از درجات بالفعل و یا بالقوه خطر از بسیار کم تا بسیار زیاد در یک طیف تقسیم می‌کند (۳۳). تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی زمین لغزش به طراحان و مهندسان برای انتخاب مکان مناسب اجرای طرح‌های توسعه کمک بزرگی نموده و نتایج این‌گونه مطالعات می‌تواند به‌عنوان اطلاعات پایه‌ای جهت کمک به مدیریت و برنامه‌ریزی محیطی مورد استفاده قرارگیرد (۳۲). با آگاهی از موقعیت مکانی مناطق مستعد و پرخطر می‌توان به‌منظور جلوگیری از بروز فرسایش، تخریب و لغزش احتمالی در سطح و ترانشه‌های جاده، از قبل نکات ایمنی لازم مانند طراحی سیستم زهکشی صحیح و مطابق با الگوی طبیعت (۲۴)، تثبیت بیولوژیک و مکانیکی ترانشه‌های جاده (۱۳) با توجه به مسائل محیط‌زیستی (۵) بهره برد و از بروز هزینه‌های سنگین تعمیر یا بازسازی جاده در آینده جلوگیری نمود. مثال حاصل در این زمینه لغزش رخ داده در پیچ صنوبر جنگل خیرود می‌باشد که در نهایت با از بین رفتن قسمتی از جاده و قطع شدن جریان آمد و شد و امور مدیریتی منابع جنگلی، طراحان مجبور به ساخت شاخه‌ای جدید با هزینه‌ای بالا و تحمل هزینه‌های متعدد قطع ارتباط قسمت‌های پایین و بالای جنگل در طول دوره‌ی ساخت شدند که البته همیشه هم این امکان وجود ندارد. قابل ذکر است که شاخه‌ی مذکور از آن زمان رها شده و غیر قابل استفاده مانده است (۱۴). در این بررسی به‌منظور پهنه‌بندی خطر زمین لغزش، از تلفیق روش تحلیل سلسله مراتبی، جهت وزن‌دهی زیرمعیارها و روش آماری دومتغیره‌ی تراکم سطح، به‌منظور ارزش گذاری طبقات هر زیر معیار استفاده شده است. دلیل این تصمیم، قابل قبول بودن نتایج تحقیقات صورت گرفته در جنگل‌های شمال ایران پیرامون پهنه‌بندی خطر

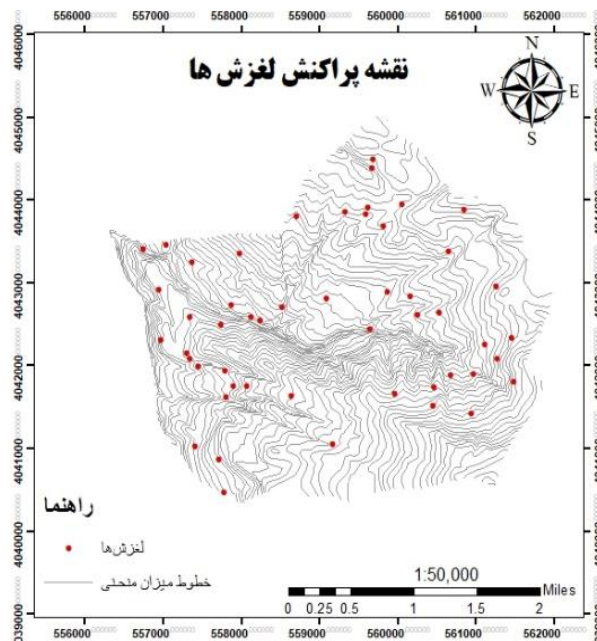


شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه
Figure 1. Study Area Geographical Location

انتقالی یا ساده یا لغزش دایره‌ای یا چرخشی)، شیب عرصه، ارتفاع از سطح دریا، جهت جغرافیایی، جامعه گیاهی، عمق و شکل هندسی لغزش، تراکم آبراه‌ها در حاشیه مکان لغزش و توصیفی از رطوبت و عمق خاک یادداشت شد. در شکل ۲ نقشه توپوگرافی سری، پس از جانمایی مکانی لغزش‌ها، نمایش داده شده است.

روش کار

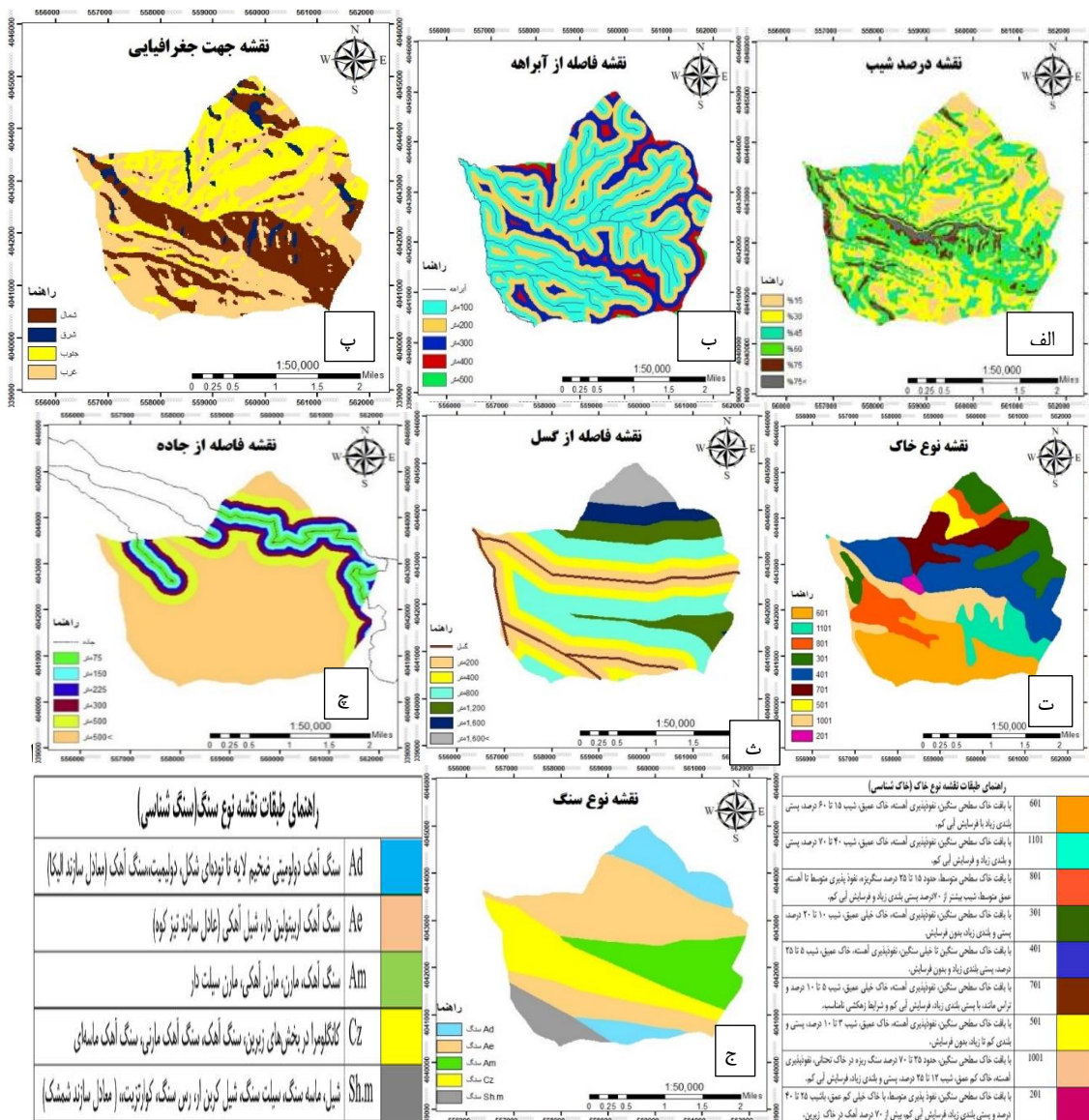
به منظور انجام عملیات صحرایی از یک دستگاه GPS جهت مکان‌یابی و ثبت موقعیت ۵۱ مورد از نقاط لغزشی پیداشده طی عملیات جنگل گردشی استفاده شد، سپس در فرم‌های جداگانه که قبلاً پیش‌بینی شده بود، برای هر کدام از این مناطق لغزشی، اطلاعاتی از جمله نوع لغزش (لغزش



شکل ۲- موقعیت زمین لغزش‌ها بر روی خطوط میزان منحنی
Figure 2. Landslide position on contour lines

لغزش‌ها به‌روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) محاسبه گردید. در گام بعد با استفاده از مدل آماری دومتغیره، روش تراکم سطح، ارزش‌گذاری طبقات هریک از معیارها در خطر زمین لغزش انجام شد. برای این منظور نقشه طبقات هر زیرمعیار با نقشه وقوع زمین لغزش (شامل ۵۱ زمین لغزش ثبت شده) روی هم‌گذاری شد. سپس ارزش طبقات مختلف هر زیرمعیار با توجه به مساحت لغزش‌های به‌وقوع پیوسته در هر طبقه تعیین گردید. در این روش جهت ارزش‌گذاری طبقه‌ها از رابطه‌ی ۱ استفاده شد، ارزش‌های به‌دست آمده برای هر طبقه می‌تواند طیفی از اعداد مثبت تا منفی باشد که اعداد منفی نشان دهنده‌ی اهمیت بسیار کم طبقه‌ی مورد نظر و اعداد مثبت و بزرگتر نشان دهنده‌ی اهمیت بیشتر طبقه خواهد بود (۳۷، ۱۰، ۳۹). نتایج ارزش‌گذاری در جدول ۱ قابل رویت است. در نهایت، پس از تعیین ارزش هریک از طبقات برای تمامی عوامل، وزن طبقه‌ی هر معیار در وزن مربوط به آن عامل، که از طریق تحلیل سلسله مراتبی حاصل شده بود، ضرب گردید، سپس هریک از نقشه‌ها با توجه به ارزش بدست آمده برای هر پیکسل از حالت برداری به حالت رستری تبدیل شدند، در مرحله‌ی بعد نقشه‌های معیارهای موثر، در محیط نرم‌افزار ArcGIS با هم تلفیق و نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر زمین لغزش حاصل گردید، در نهایت با طبقه‌بندی نقشه فوق، بر اساس نقاط عطف منحنی فراوانی تجمعی پیکسل‌ها، نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش منطقه تهیه گردید (۳۷، ۳۲).

در انتخاب عوامل موثر بر زمین لغزش در جنگل‌های شمال ایران، طبق نظر کارشناسان و براساس مطالعات انجام شده، ۹ عامل از قرار ارتفاع از سطح دریا، اندازه و جهت شیب، فاصله از شبکه هیدروگرافی، ساختار زمین‌شناسی، فاصله از گسل، فاصله از جاده، کاربری اراضی و بارندگی پیشنهاد شده است (۱۰). با توجه به اینکه در این مطالعه، بررسی جاده‌ها مدنظر است، از نقشه توصیفی خاک که مشتمل بر توصیفات پیرامون عمق، رطوبت و بافت خاک است، به‌عنوان یکی از عوامل موثر در پهنه‌بندی استفاده شده است، به‌علت جنگلی بودن عرصه، عامل کاربری زمین در نظر گرفته نشده است و به‌علت فقدان تفاوت چشمگیر در محدوده ارتفاعی و بارندگی، از این دو عامل نیز صرف‌نظر شد و نهایتاً نقشه‌های شیب، جهت، سنگ‌شناسی و خاک‌شناسی، شبکه جاده طراحی شده، شبکه آبراهه‌ها و موقعیت گسل‌های منطقه مورد مطالعه در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ تهیه شد. در ادامه با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی و مقایسه زوجی متغیرهای فوق توسط یک سری پرسشنامه نظر متخصصان در مورد ارجحیت‌بندی و وزن‌دهی زیر معیارها نسبت به یکدیگر در راستای تاثیر در زمین لغزش اخذ شده است. در این ارزیابی تعداد هفت زیرمعیار موثر فوق توسط ۲۵ کارشناس و متخصص به‌صورت دو به دو مورد نظرسنجی قرار گرفته و نمره‌ای بین یک تا نه برای نشان دادن میزان ارجحیت زیر معیارها در پرسشنامه درج شده است. سپس پرسشنامه‌ها در محیط نرم‌افزار expert choice وارد شده و پس از ترکیب آنها وزن نهایی هر زیر معیار در ایجاد زمین



شکل ۳- نقشه زیر معیارهای الف: درصد شیب- ب: فاصله از آبراهه (متر)- پ: جهت جغرافیایی- ت: نوع خاک- ث: فاصله از گسل- ج: نوع سنگ- چ: فاصله از جاده

Figure 3. Map below the criteria A: Slope percentage- B: Drainage pattern - C: Steep direction- D: Soil type - E: Distance from the fault - F: Lithological structure- G: Distance from the road

(رابطه ۱)

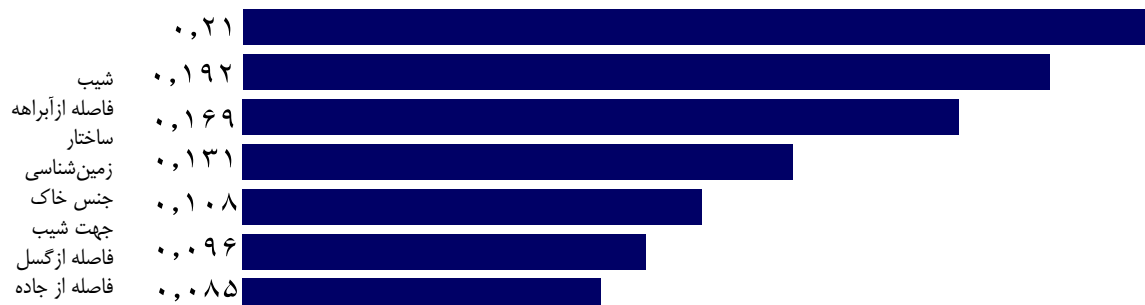
$$Warea = (1000 \times \frac{S_{lsp}}{S_p}) - (1000 \times \frac{S_{lst}}{S_t})$$

$Warea$: نرخ مربوط به هر طبقه از معیارها
 S_{lsp} : مساحت زمین لغزش در هر طبقه
 S_p : مساحت مربوط به هر طبقه معیار
 S_{lst} : مساحت کل زمین لغزش‌های حوزه
 S_t : مساحت مربوط به کل حوزه

نتایج و بحث

نقشه‌ی حاصل، خطر وقوع زمین‌لغزش را در پنج کلاسه‌ی خطر خیلی زیاد، خطر زیاد، خطر متوسط، خطر کم و خطر خیلی کم، برای سری چلیپر نشان داده است (شکل ۵). در راستای سوال این مطالعه، با قرار دادن نقشه شبکه‌ی جاده روی این نقشه می‌توان به تحلیل وضعیت شبکه جاده پرداخت و مسافت‌های حساس شبکه جاده را جهت مطالعات بیشتر شناسایی نمود. تاکنون مطالعات زیادی در سراسر جهان با شیوه‌های مختلف به منظور پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش صورت گرفته است، در ایران نیز روش‌های تحلیل سلسله مراتبی و تراکم سطح، بسیار به کار گرفته و نتایج آن، قابل اعتماد گزارش شده است.

Overall Inconsistency = 0.08



شکل ۴- وزن نهایی به دست آمده زیر معیارهای موثر در زمین لغزش منطقه مورد مطالعه با استفاده از AHP
Figure 4. The final weight obtained under the effective criteria in landslides of the study area using AHP

درصد از مساحت لغزش‌ها نیز در جهات شمالی و شرقی دیده شده است و می‌توان علت را در آفتابگیر نبودن و وجود رطوبت بالای خاک جنگل در نیمرخ شمالی جستجو کرد (۲۳، ۱۷، ۲۸). نقشه ساختار زمین‌شناسی سری چلیبر ۵ کلاسه را نشان می‌دهد که ۲ کلاسه آن دارای مساحت محدودی است و از ۳ کلاسه باقی مانده، سنگ آهک اربیتونین دار همراه با شیل آهکی (سازند تیزکوه) با ۴۶/۵ درصد مساحت لغزش‌ها، ناپایدارترین سازند را تشکیل داده است و پس از آن کنگلومرا با سنگ زیرین آهکی- آهکی مارنی و آهکی ماسه‌ای با ۲۱ درصد مساحت لغزش‌ها در رتبه دوم و سنگ آهکی مارن- مارن آهکی و مارن سیلت‌دار با ۲۰ درصد مساحت لغزش‌ها در رتبه سوم قرار گرفته است که حکایت از حساسیت این سازندها به فرسایش توده‌ای دارد و نتایج با مطالعات مشابه از جمله حیاتی و همکاران (۱۵) که در سری مجاور یعنی بخش بهارین جنگل خیرود صورت گرفته، هم‌خوانی دارد. پس از مقایسه نقشه‌ی خاک جنگل خیرود با نقشه پراکنش لغزش‌ها دیده شد که با وجود تنوع فراوان در کلاسه‌های خاک، بیش از ۴۴ درصد مساحت لغزش‌ها در کلاسه‌ی خاک با بافت سطحی سنگین و نفوذپذیری آهسته، خاک عمیق در شیب ۵ تا ۲۵ درصد با پستی و بلندی زیاد و بدون فرسایش قرار گرفته است. پیرامون احداث هرگونه ابنیه فنی از جمله ساخت جاده در این مناطق، باید پیش‌بینی‌های لازم باتوجه به وجود خواص شدیداً خمیری خاک، خاک ریزدانه و تورم‌پذیر که رطوبت را به‌خوبی در خود حفظ می‌کنند، صورت پذیرد (۷). حسینی و همکاران نیز در مطالعه‌ای پیرامون تحلیل پایداری شیروانی‌های خاکبرداری و خاکریزی جاده‌های جنگلی، به بررسی خصوصیات فیزیکی و مکانیکی خاک‌های جنگلی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که به‌علت وجود ریزدانه در خاک مناطق لغزشی و جذب و نگهداری رطوبت توسط آن که از درصد بالای رطوبت طبیعی خاک منطقه مشخص است و همچنین نامناسب بودن جریان زهکشی خاک و انجام عملیات جاده‌سازی، منطقه دچار حرکت و لغزش شده است (۱۶).

در این مطالعه نیز با تلفیق این دو ابزار، اولویت عوامل موثر براساس مقایسات زوجی تعیین و وزن هرکدام به کمک تحلیل سلسله مراتبی، پس از نرمالیزه شدن با نرم‌افزار EC استخراج شد. نتایج این روش به ترتیب عوامل شیب، فاصله از آبراهه و ساختار زمین‌شناسی را دارای بیشترین اثر بر لغزش‌ها تشخیص داده و جنس خاک، جهت شیب، فاصله از گسل و فاصله از جاده را در مراحل بعدی در نظر گرفت. نتایج اوزان به دست آمده برای هر یک از این عوامل در شکل ۴ قابل رویت است. برای تعیین وزن طبقات، با روی هم قرار دادن نقشه‌ی پراکنش زمین‌لغزش‌ها با هر یک از نقشه‌های طبقه‌بندی معیارهای موثر بر این رخداد و براساس مساحت‌های لغزش‌ها در هر طبقه و نسبت آن با مساحت کل طبقه و طبق رابطه ۱ نتایج استخراج شد. نتایج وزن طبقات تمامی معیارها در جدول ۱ قابل مشاهده است. نهایتاً برای مدیریت داده‌ها و ساخت نقشه‌ها از محیط کاری Arc GIS استفاده شده است که براساس حاصل ضرب وزن عوامل در وزن هر طبقه و به‌موجب قاط عطف منحنی فراوانی تجمعی پیکسل‌ها، قادر به تولید نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش می‌باشد.

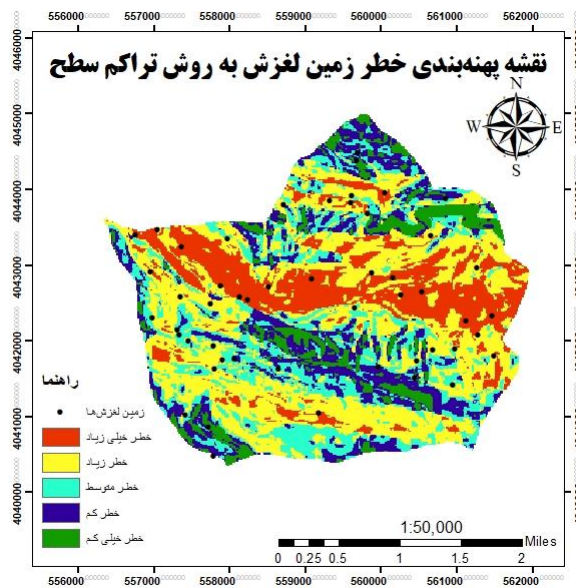
با مقایسه‌ی نقشه پهنه‌بندی حاصل و نقشه هر یک از معیارهای موثر بر زمین‌لغزش مشخص شد که پیرامون معیار شیب، بیشترین لغزش‌ها در شیب‌های ۱۵ تا ۴۵ درصد به‌وقوع پیوسته‌اند و ۴۱ درصد از کل لغزش‌ها در محدوده شیب ۱۵ تا ۳۰ درصد شیب، قرار گرفته است. قابل توجه است که در مورد شیب‌های بزرگتر، به‌علت کاهش سرعت فرایند خاک‌زایی، تاثیرات آن‌ها بر وقوع زمین لغزش کمتر مورد بررسی است. شیب‌های کوچکتر از ۱۵ درصد به‌علت کاهش اثر نیروی گرانش نسبتاً پایدارتر هستند و نتایج در این مورد با نتایج مطالعات قبلی هم‌خوانی دارد (۳۰، ۲۷، ۳۲، ۵).

در مورد تاثیر عامل جهت، قابل توجه است که فقط ۴ درصد از مساحت منطقه، جهت شرقی دارد جهت عمومی سری مورد مطالعه به سمت شمال غرب می‌باشد و بیش از ۷۰

جدول ۱- توزیع طبقات زیرمعیارها، درصد لغزش‌ها در هر طبقه و وزن هر طبقه در هر زیر معیار

Table 1. Distribution of sub-criteria classes, the percentage of slips in each class and weight of each class in each sub-criterion

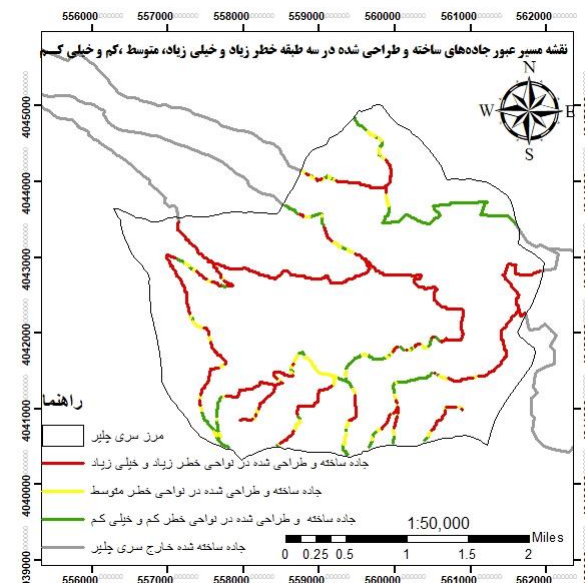
وزن طبقه	درصد لغزش در طبقه	درصد مساحت طبقه	طبقه	معیار
۰/۷۰۹۷۲۱۵۰۳	۱۷/۱۸۴۲۶۵۰۱	۱۵/۲۷۶۲۷۰۵۹	۱۵-۰	درصد شیب
۰/۹۱۵۵۱۰۶۲۷	۴۱/۷۷۰۱۸۶۳۴	۳۵/۹۷۴۲۱۱۷۶	۳۰-۱۵	
-۰/۰۹۶۰۲۶۰۶۴	۲۷/۲۷۷۴۳۲۷۱	۲۷/۷۴۶۳۱۷۶۵	۴۵-۳۰	
-۱/۷۵۱۳۳۱۱۱	۸/۸۵۰۹۳۱۶۷۷	۱۲/۷۹۴۱۵۸۸۲	۶۰-۴۵	
-۲/۱۱۸۴۲۲۲۶۳	۳/۳۶۴۸۹۲۳۳۴	۵/۲۶۴۲۳۲۹۴۱	۷۵-۶۰	
-۵/۶۸۲۳۵۲۹۴۱	.	۲/۸۰۰۰۶۸۲۳۵	<۷۵	
۱/۱۱۳۸۶۶۶۶۲	۳۳/۱۲۶۲۹۴	۲۷/۶۹۷۰۵۸۸۲	شمال	جهت جغرافیایی
-۵/۶۸۲۳۵۲۹۴۱	.	۴/۰۰۸۳	شرق	
۰/۵۱۶۲۷۰۲۲	۲۹/۲۹۶۰۶۶۲۵	۲۶/۸۵۶۰۵۸۸۲	جنوب	
-۰/۷۳۴۲۶۰۲۰۶	۳۷/۵۷۷۶۳۹۷۵	۴۳/۱۵۳۸۸۲۳۵	غرب	
-۳/۱۷۴۴۸۷۸۷۳	۵/۷۹۷۰۱۴۴۹	۱۳/۱۳۵۱۴۷۰۶	Ad	نوع سنگ (سنگ شناسی)
-۴/۵۲۸۸۹۳۲۵	۴۶/۶۸۳۷۷۰۶	۴۳/۲۳۳۹۷۰۵۹	Ae	
۰/۷۹۶۷۳۵۰۱۶	۲۰/۲۳۸۰۹۵۲۴	۱۷/۷۴۹۴۱۱۷۶	Am	
۰/۰۰۱۸۶۱۹۵۳	۲۱/۲۷۳۲۹۱۹۳	۲۱/۲۶۶۳۳۳۵۳	Cz	
-۰/۳۰۴۲۶۴۰۱۷	۶/۰۰۴۱۴۰۷۸۷	۶/۳۴۳۸۳۲۵۲۹	Sh.m	
-۲/۰۲۵۷۶۸۳۲۹	۱۳/۷۱۶۳۵۶۱۱	۲۱/۳۱۵۲۹۴۱۲	۶۰۱	نوع خاک (خاک شناسی)
-۲/۴۸۰۷۱۵۸۱۵	۵/۰۲۰۷۰۳۹۳۴	۸/۹۱۰۸۸۳۳۵۳	۱۱۰۱	
۱/۵۵۱۱۵۷۹۴۲	۱۱/۳۸۱۶۳۵۶	۸/۹۴۵۲۹۴۱۱۸	۸۰۱	
-۰/۳۹۵۷۱۸۲۱۴	۱۲/۴۲۲۳۶۰۲۵	۱۳/۳۵۲۲۰۵۸۸	۳۰۱	
-۴/۸۳۶۶۲۰۱۰۱	۴۴/۰۹۹۳۷۸۸۸	۲۳/۸۲۲۵	۴۰۱	
-۴/۱۵۶۲۶۴۴۵۸	۲/۵۸۱۹۹۱۷۱۸	۹/۶۳۶۳۲۵۲۹	۷۰۱	
-۲/۰۱۸۷۵۷۲۳	۱/۷۵۹۸۳۴۳۶۹	۲/۷۳۹۵۵۸۸۲۴	۵۰۱	
-۳/۵۸۴۰۹۶۶۶۴	۴/۵۰۳۱۰۵۵۹	۱۲/۱۹۵	۱۰۰۱	
۲۵/۱۰۸۶۵۷۵	۴/۵۰۳۱۰۵۵۹	۰/۸۳۱۰۲۹۴۱۲	۲۰۱	
۱/۴۴۳۵۷۷۷۱۶	۳۲/۹۱۹۲۵۴۶۶	۲۶/۲۵۰۴۴۱۱۸	۰-۲۰۰	فاصله از گسل (متر)
۰/۶۲۰۱۳۷۹۰۷	۲۲/۷۲۲۵۶۷۲۹	۲۰/۴۸۶۷۶۴۷۱	۲۰۰-۴۰۰	
-۰/۴۰۴۲۱۵۸۱۳	۲۹/۰۳۷۲۶۷۰۸	۳۱/۲۶۱۰۲۹۴۱	۴۰۰-۸۰۰	
-۳/۵۱۶۰۴۷۳۲۵	۴/۷۱۰۱۴۴۹۲۸	۱۲/۳۵۵	۸۰۰-۱۲۰۰	
۰/۰۴۴۰۱۹۳۲۵	۵/۷۴۵۳۴۱۶۱۵	۵/۷۰۱۱۷۶۴۷۱	۱۲۰۰-۱۶۰۰	
-۰/۸۱۸۰۶۱۴۹۷	۴/۸۶۵۴۲۴۴۳۱	۵/۶۸۳۶۷۶۴۷۱	۱۶۰۰<	
-۰/۳۳۱۸۴۳۳۴۷	۴۵/۹۶۲۷۳۲۹۲	۴۸/۸۱۳۳۸۲۳۵	۰-۱۰۰	فاصله از آبراهه (متر)
۲/۲۵۳۴۷۲۰۵	۴۲/۹۶۰۶۶۲۵۳	۳۰/۷۶۱۴۷۰۵۹	۱۰۰-۲۰۰	
-۲/۲۲۱۷۳۱۹۸۸	۱۰/۲۴۸۴۴۷۲	۱۶/۸۲۷۹۴۱۱۸	۲۰۰-۳۰۰	
-۴/۷۱۴۰۰۵۷۸۹	۰/۸۲۸۱۵۷۳۵	۴/۸۵۹۷۰۵۸۸۲	۳۰۰-۴۰۰	
-۵/۶۸۲۳۵۲۹۴۱	.	۰/۴۷۵۵۸۸۲۳۵	۴۰۰-۵۰۰	
-۳/۰۴۲۴۰۰۰۸۳	۲/۸۹۸۵۵۰۷۲۵	۵/۹۴۶۶۷	۰-۷۵	فاصله از جاده (متر)
۶/۷۷۲۲۱۴۵۴۱	۱۳/۳۰۲۲۷۷۴۳	۵/۷۷۶۷	۷۵-۱۵۰	
۲/۱۶۵۵۶۳۲۱۸	۸/۳۳۳۳۳۳۳۳	۵/۷۳۶۷	۱۵۰-۲۲۵	
-۰/۲۴۱۲۹۳۴۷۴	۵/۴۸۶۵۴۲۴۴۳	۵/۴۳۶۷	۲۲۵-۳۰۰	
-۰/۰۶۹۶۱۱۶۰۸	۱۴/۱۸۲۱۹۴۶۲	۱۴/۰۶۶۷	۳۰۰-۵۰۰	
-۰/۶۷۴۱۷۶۳۲۶	۵۵/۷۹۷۱۰۱۴۵	۶۳/۰۲۶۷	<۵۰۰	



شکل ۵- نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش سری چلیر جنگل خیرود
Figure 5. Landslide hazard zoning map of Chelir

فراوانی و مساحت لغزش‌ها با روش تراکم سطح نشان داد، تاثیر گسل تا شعاع ۴۰۰ متری محسوس بوده و ۵۵ درصد مساحت کل لغزش‌ها در این محدوده قرار گرفته است.

در بررسی عوامل خطی، وجود دو رشته گسل در سری مذکور، وقوع حرکات توده‌ای را تحت تاثیر قرار داده است، طبق نظر کارشناسان، در اولویت پنجم قرار گرفته است.



شکل ۶- نقشه مسیر عبور جاده‌های طراحی و ساخته شده در پهنه‌های مختلف خطر وقوع زمین لغزش
Figure 6. The passageway of roads designed and built in different class of landslide risk

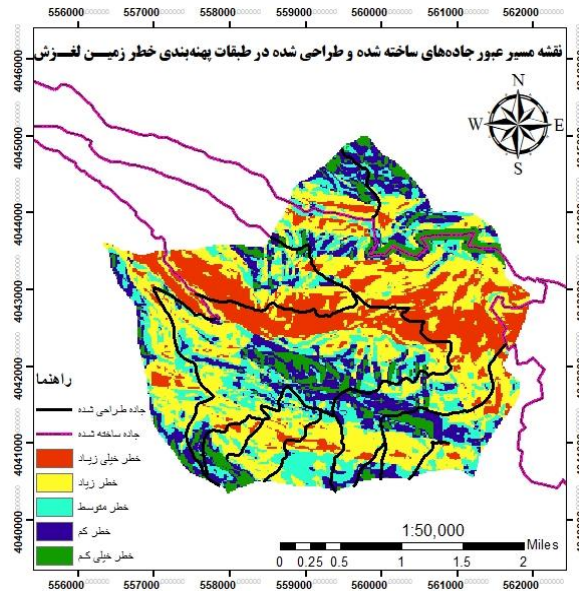
شده است و این موضوع دلیل قرارگرفتن این معیار در رتبه‌ی دوم تاثیر بر وقوع حرکات توده‌ای است. محاسبات مربوط به نسبت وسعت لغزش‌ها نشان داد، بیش از ۸۸ درصد لغزش‌ها مربوط به دو طبقه‌ی اول یعنی فواصل تا ۲۰۰ متری آبراهه‌ها بوده و از این میزان ۴۵ درصد مربوط به شعاع ۱۰۰ متری آنها می‌باشد.

مطالعات پیشین مربوط به دفترچه طرح جنگل خیرود نشان می‌دهد که میزان ۳۸ کیلومتر جاده برای پوشش این سری در

نتایج این حوزه‌ی بررسی باتنایج مطالعات جرجانی و همکاران (۱۸) که با روش کار مشابه در جنگل‌های هیرکانی استان گلستان صورت پذیرفته، شباهت دارد. رودخانه‌ی تاشره و جویبارهای دائمی اطرافش، نیمی از وسعت سری را در جهات شمالی و شرقی زهکشی می‌کنند، رودخانه‌ی اصلی خیرود نیز در مرز غربی بخش چلیر با سری دارنو، در مسیری به‌طول بیش از ۴ کیلومتر در جریان است. وجود این دو رودخانه باعث رطوبت دائمی بالای خاک در اقصی نقاط سری

بررسی طبقات گویای آن است که فواصل ۷۵ تا ۱۵۰ متری حائز بیشترین فراوانی و وسعت لغزش‌هاست.

نظر گرفته شده است و از این میزان ۱۴ کیلومتر آن ساخته شده است. با توجه به عبور جاده از مناطق پایدار، تاثیر فاصله از جاده، در پایین‌ترین درجه اهمیت قرار گرفته است و نتایج



شکل ۷- نقشه فواصل حساس جاده با رنگ قرمز
Figure 7. Map of sensitive road distances in red

پیرامون جاده‌های ساخته نشده نیز، از میزان ۲۴ کیلومتر جاده طراحی شده، ۱۸/۵ درصد مسیر از پهنه با خطر بسیار زیاد، ۴۱/۵ درصد از پهنه با خطر زیاد، ۱۹ درصد از پهنه با خطر متوسط و ۲۱ درصد باقی‌مانده از پهنه‌های با خطر کم و بسیار کم پیش‌بینی شده‌است. شکل ۷ جاده‌های در معرض خطر بالا و بسیار زیاد را با رنگ قرمز نشان داده است.

پس از روی هم‌گذاری نقشه شبکه جاده و نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش دیده شد که از مسافت ۱۴ کیلومتر جاده ساخته شده، ۱۰ درصد از نواحی با خطر بسیار زیاد، ۳۸ درصد از نواحی با خطر زیاد، ۹ درصد از نواحی با خطر متوسط، ۶ درصد از نواحی با خطر کم و ۳۶ درصد باقی مسیر از نقاط پایدار با خطر بسیار کم عبور داده شده‌است.

منابع

1. Abdi, E. and B. Majnoonian. 2019. Forest road maintenance. Tehran University Press, 327 pp.
2. Abdi, A., B. Majnoonian and A. Darwish Sefat. 2008. Evaluation of forest road network options in terms of construction cost in the multi-criteria method in the GIS environment (Case study: Khairudknar Forest Namkhaneh Section. Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources and Technology, 12(44): 279-289.
3. Abedini, M. and B. Ghasemian. 2015. Landslide hazard zoning in Bijar city using a hierarchical analysis (AHP) method. Journal of Geography and Planning, 19(52): 205-227.
4. Ahmadi, H., A. Esmaili, S. Faiznia and M. Shariat Jafari. 2003. Risk zoning of mass movements using two variables of multivariate regression (MR) and hierarchical analysis (AHP) (Case study: Garmi chai watershed). Iranian Journal of Natural Resources, 56(4): 323-326.
5. Ahmadi, H. 2003. Routing using GIS with consideration of environmental regulations. (Case study: Parchin road), M.Sc. Theses, College of Environmental Science, University of Tehran, Iran, 98 pp.
6. Ahmadi, H., Sh. Mohammadkhan, S. Feiznia and J. Ghoddousi. 2005. A Modeling of Mass Movement Hazard, Case Study: Taleghan Drainage Catchment. Iranian J. Natural Res, 58(1): 3-14.
7. Alizadeh, S., B. Majnoonian and A. Darwish Sefat. 2010. Feasibility study of design and evaluation of various road network options using GIS and field surveys (Case study: Chelir section - Khairud forest). Jungle and Wood Products Magazine, Iranian Journal of Natural Resources, 63: 399-408.
8. Atapour, H. and R. Ahmadi. 2015. Landslide hazard zoning on the northern slope of the Latian Dam Reservoir using hierarchical analysis methods, level density, overlap index, and information value. Journal of Engineering Geology, 9(3).

- ۲۸۲ پهنه‌بندی خطر زمین لغزش به‌روش تراکم سطح و تحلیل سلسله مراتبی جهت ارزیابی مسیرجاده طراحی شده
9. Department of Forestry and Forest Economics, University of Tehran. 1965. Booklet of Forestry Plan of Grazbun Forest, Chapter 4, General Social-Economic Status of Grazbun district, Image 213, General Plan of Khairud Educational and Research Forest, 90 pp.
 10. Feiznia, S., A. Kalarstagh, H. Ahmadi and M. Safaei. 2004. An Investigation of Effective Factors on Landslide Occurrence and Landslide Hazard Zonation (Case Study: Shirin Rood Drainage Basin-Tajan Dam). *Iranian J. Natural Res*, 57(1): 3-22.
 11. Gorji Bahari, H.R. 1998. Investigation of the reasons for mass movement occurrence to provide a practical model to avoid it. M. Sc. theses, College of Natural Resource, University of Tehran, Iran, 180 pp.
 12. Grima, N., D. Edwards, F. Edwards, D. Petley and B. Fisher. 2020. Landslides in the andes: forests can provide cost-effective landslide regulation services. *Science of the Total Environment*, 745: 121-141.
 13. Guide to Planning, Implementation, and Exploitation of Forest Roads. 2012. Journal (Revision), Deputy for Strategic Supervision and Planning of the Office of the President, 160 pp.
 14. Hayati, E., B. Majnoonian, E. Abdi, A. Dastranj and A.A.N. Samani. 2010. Applying Landslide Hazard Zonation in Forest Road Network Design. *Journal of Forest and Wood Products*, 65(1): 19-32.
 15. Hayati, E., B. Majnoonian, A. Abdi, A.S. Access and A. Nazari Samani. 2012. Landslide risk landslide for practical use in forest road network design. *Journal of Forest and Wood Products, Iranian Journal of Natural Resources*, 65(1): 19-22.
 16. Hosseini, A., M. Janzadeh Chenari, A. Parsakhoo and H. Akbari. 2017. Stability Analysis of Forest Roads Cutslope According to Mechanics Properties of Soil (Case Study: Stakhrposht Region-Neka). *Journal of Watershed Management Research*, 9(17): 145-154.
 17. Jaafari, A., A. Najafi, J. Rezaeian, A. Sattarian and E. Ghajar. 2015. Planning road networks in Landslide prone areas: A case study from the northern forest of Iran. *Land Use Policy Journal*, 47: 198-208.
 18. Jarjani, A., H. Akbari, A. Hosseini and O. Abdi. 2018. Investigation of Landslide Ranger Zoning using Analytical Hierarchy Process in GIS Environment (Case Study: Azadshahr Kohmian Forestry Design). *Journal of Watershed Management Research*, 10(18): 197-207.
 19. Karam, A. and F. Mahmoudi. 2006. The quantity modeling and Landslide hazard zoning in folded of Zagros (Case study: Sorkhon watershed in Charmahal & Bakhtiyari province), *Geographical Research Quarterly*, 51: 1-14.
 20. Karimi, H., P. Garaee and M. Tavakoli. 2012. Landslide hazard zoning using multivariate regression (a case study of landslides in Jaber plain of Ilam province) and *Advanced Applied Geological Journal*, 6: 53-62.
 21. Karimi Sangchini, A. and M. Onaq. 2011. Landslide risk landslide with a double-weighted statistical model (AHP) in the sub-districts of Chehelchay, Golestan province. *Scientific-Research Journal of Iranian Watershed Management Sciences and Engineering*, 5(15): 53-62.
 22. Karimi Sangchini, A., M. Onaq and A. Saad al-Din. 2012. Comparison of efficiency of four quantitative and semi-quantitative models of land danger zoning, the landslide in Chehelchay watershed in Golestan province. *Journal of Soil and Water Conservation Research*, 19(1): 183-196.
 23. Lee, M.J., I. Park and S. Lee. 2015. Forecasting and validation of landslide susceptibility using an integration of frequency ratio and neuro-fuzzy models: a case study of the Seorak mountain area in Korea. *Environ Earth Science*, 74: 413-429.
 24. Lotfalian, M., M. Abbaspour, S.A. Hosseini and A. Parsakho. 2016. Follow, p. Forest Road Network Design Based on Road Crossing from Sustainable Areas to Reduce Erosion (Case Study: Weston Series). *Environmental Erosion Research*, 22(2): 59-74.
 25. Majnoonian, B., M. Nikooy and M. Mahdavi. 2005. Cross Drainage Design of Forest Road in Shafarood Basin, Guilan Province. *Iranian J. Natural Res*, 58(2): 339-350.
 26. Moghimi, E., K. Alavi Panah and T. Jafari. 2008. Evaluation and effective factor zonation on landslide occurrence in northern slopes of Aladagh. *Geographical Research Quarterly*, 64: 53-57.
 27. Mohammadi, M., H.R. Moradi, S. Feiznia and H.R. Pourghasemi. 2010. Comparison of the Efficiency of Certainty Factor, Information Value, and AHP Models in Landslide Hazard Zonation (Case study: Part of Haraz Watershed). *Journal of Range and Watershed Management, Iranian Journal of Natural Resources*, 62(4): 539-551.
 28. Mohammady, M., H.R. Pourghasemi and B. Pradhan. 2012. Landslide susceptibility mapping at Golestan Province Iran: a comparison between frequency ratio, Dempster-Shafer and weights-of-evidence models. *Journal of Asian Earth Science*, 61: 221-236.
 29. Mosafaei, J., M. Onaq, M. Example and M. Shariat Jafari. 2009. Comparison of the efficiency of experimental and statistical models of landslide hazard zoning (Case study: Alamut Rud watershed). *Journal of Soil and Water Conservation Research*, 16(4): 43-61.
 30. Oh, H. and B. Pradhan. 2011. Application of a neuro-fuzzy model to landslide-susceptibility mapping for shallow landslides in a tropical hilly area. *Computers & Geosciences*, 37(2011): 1264-1276.

31. Pourghasemi, H.R., H.R. Moradi, M. Mohammadi and M.R. MahdaviFar. 2008. Assessment of Landslide susceptibility Mapping using the fuzzy operator. *Journal of science and technology of agriculture and natural resource*, 46: 375-389.
32. Pourghasemi, H.R., M. Mohammady and B. Pardhan. 2012. Landslide susceptibility mapping using the index of entropy and conditional probability models in GIS: safarood basin Iran. Elsevier Science B.V., Amsterdam. *Catena -Giessen then Amsterdam*, 97: 71-84.
33. Pradhan, B. 2011. An assessment of the use of an advanced neural network model with five different training strategies for the preparation of landslide susceptibility maps, *journal of data science*, 9: 65-81.
34. Ramesht, M.S. 1996. Application of geomorphology in national regional economic planning, 1st edition, University of Isfahan press, 392 pp.
35. Sarikhani, N. and M. Gorji. 2003. Possibilities of Stabilizing Landslide and Mass Movement in Forest Roads (Case Study: Kheiroudkenar Forest as a Scientific Model). *Iranian Journal of Natural Resources*, 56(1,2): 29-38.
36. Shabani, A.S., M. Javadi and M. Happy Farmer. 2014. Landslide hazard zoning using information value and hierarchical analysis methods (Case study: Shalmanrud watershed). *Research Journal of Watershed Management*, 5(10): 157-169.
37. Shadfar, S., J. Ghodosi, S. Khalkhali and A. Kelarestaghi. 2008. Assessment and evaluation bivariate statistical and LNRF models in landslide hazard zonation case study: Gennatroadbar catchment. *Pajouhesh & Sazandegi*, 78: 56-64.
38. Sowers, G.F. 1971. Landslides in weathered volcanic in Puerto Rico. *Proceedings of 4th Panamerican Soil Mechanics and Foundation Engineering Conference*, 2: 105-115.
39. Yalcin, A. 2008. GIS-based landslide susceptibility mapping using the analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): Comparisons of results and confirmations, *Catena*, 72: 1-12.
40. Zare, M., H. Ahmadi and Sh. Gholami. 2011. Landslide zoning and assessment of landslides using reliability models, information value, and hierarchical analysis (Case study: watershed area). *Journal of Iranian Watershed Management Science and Engineering*, 5(17): 15-22.
41. Zare, N., S.A. Hosseini, M. Hafizi, A. Najafi and B. Majnoonian. 2019. Sensitivity zoning to the occurrence of landslides by frequency ratio method (a case study of forest under the management of wood and paper industries of Mazandaran). *Journal of Watershed Management*, 10(20).

Landslide Hazard Zoning by Density Area Model and Hierarchical Analysis to Assess the Pathway Designed for the Chellir District in the Khayrud Forest

Amir Hossein Khetkeh¹, Seyed Ataollah Hosseini², Ehsan Abdi³, Khaled Ahmad Auli⁴ and Shahin Koohi⁵

1- M.Sc. Student of Forest Engineering Management, Faculty of Natural Energy, University of Tehran

2- Professor of the Faculty of Natural Economics, University of Tehran,

(Corresponding Author: at.hosseini@ut.ac.ir)

3- Associate Professor, Faculty of Natural Environment, University of Tehran

4- Assistant Professor, Faculty of Natural Environment, University of Tehran

5- Graduated M.Sc. Student, of Forest Management, Faculty of Natural Environment, University of Tehran

Received: June 1, 2020

Accepted: September 14, 2020

Abstract

As one of the most important pillars of the land organization, the Forest Road Network plays a key role in the management of forest resources, and on the other hand, roads have the highest rate of administrative and environmental costs. Road construction on unstable forest soils will increase road maintenance costs in the future, as well as irreparable environmental damage, including soil erosion. The aim of this study is to assess the risk of landslides in the Challeir Forest in the Khairud Forest in order to study the design of forested roads, to high-risk road distances as part of a linear complication, identified and with double attention, from irreparable damage to environmental repairs and costs. In this study, designed and projected roads in the Chellir district of Khairud forest with an area of more than 1720 hectares have been studied, in the study area, 38 km of roads have been predicted and 14 km of which have been constructed. Initially, slope factors, direction, distance from the fault, distance from the road, distance from the streams, geological structure, and soil type were identified as effective factors in landslides and with the help of the hierarchical analysis process, were evaluated and weighted according to experts. In the next step, the required maps were prepared in the Arc GIS and classified according to previous studies, and the slips in the area, which were harvested using the field study (GPS), were compared. Then, the sub-maps of the sub-criteria were weighted according to the characteristics of the slips (according to the slip area in each floor) by the density area model, then the map of the sub-criteria was weighted according to the sub-criteria measured by the hierarchical analysis process. The Arc GIS was integrated with each other and the landslide hazard zoning map of the study area was prepared on five classifications from high risk to low risk. Finally, by placing the road map made and designed on the obtained zoning map, the distance of the roads on different classes of the hazard was extracted. The prioritization results of the factors showed that the slope and distance from the waterway with weights of 0.22 and 0.19 they had the greatest impact and distance from the fault and distance from the road with weights of 0.096 and 0.085 had the lowest effect on landslides. Also, the results of road analysis showed that out of about 38 km of road designed, about 21 km is located in high and very high-risk classes and 11 km is in low and very low-risk classes, a distance of about 6 km from this road network is also in the middle-risk class, indicating the importance of domain sustainability studies in this area, including grain seeding, soil kneading rate, and other mechanical properties, before any construction operations.

Keywords: Density area model, GIS, Landslide risk zoning, Hierarchical analysis process



حالت‌های مختلف بهینه‌یابی پارامترهای روش‌های روندیابی هیدرولوژیکی با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) برای روندیابی سیل در رودخانه کارون

هادی نوروزی^۱، وحید کریمی^۲، جلال بازرگان^۳ و حیدر همتی^۴

۱- دانشجوی دکتری مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه زنجان

(نویسنده مسوول: hadinorouzi72@gmail.com)

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه زنجان

۳- دانشیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه زنجان

۴- دکتری سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۴/۰۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۶/۲۴

صفحه: ۲۸۵ تا ۲۹۵

چکیده

بهینه‌یابی پارامترهای روش‌های روندیابی هیدرولوژیکی در افزایش دقت برآورد هیدروگراف خروجی سیل و هم‌چنین محاسبه ناحیه اوج هیدروگراف سیل در کارهای مهندسی از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. در پژوهش حاضر، از آنجاییکه دامنه تغییرات دبی ورودی سیل سوم (سیل محاسباتی) در حد فاصل دامنه تغییرات دبی ورودی سیل‌های اول و دوم (سیل‌های مینا) قرار دارد، به همین دلیل جهت افزایش دقت روندیابی سیل با استفاده از روش‌های روندیابی هیدرولوژیکی (روش ماسکینگام خطی، مقادیر اجرایی، کانوکس و ات - کین اصلاح شده)، به جای استفاده از پارامترهای (X, K, Δt) یک سیل مینا، از میانگین حسابی و هندسی پارامترهای دو سیل مینا به صورت ۸ حالت مختلف و با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) پرداخته شده است. به عبارت دیگر، استفاده از هر ۸ حالت ارائه شده در پژوهش حاضر، باعث افزایش دقت روش‌های روندیابی هیدرولوژیکی در برآورد ناحیه اوج هیدروگراف سیل در حد فاصل ایستگاه‌های هیدرومتری ملاتانی (بالادست) و اهواز (پایین‌دست) رودخانه کارون، شده است. به طوری که، در بهترین حالت ارائه شده در پژوهش حاضر (حالت ۸)، میانگین خطای نسبی ناحیه اوج سیل محاسباتی نسبت به شرایطی که از سیل مینای اول به تنهایی استفاده شود، برای روش‌های مذکور به ترتیب ۶۶، ۶۶، ۲۵ و ۱۸ درصد و در شرایطی که از سیل مینای دوم به تنهایی استفاده شود، به ترتیب ۴۳، ۴۳، ۴ و ۹ درصد بهبود یافته است.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO)، روندیابی سیل، روش‌های روندیابی هیدرولوژیکی، حالت‌های مختلف بهینه‌یابی پارامترهای X, K, Δt

مقدمه

پیچیدگی حل معادلات مربوطه می‌باشد. به دلیل کم بودن زمان محاسبات، الگوریتم‌ها توانایی بالایی در بهینه‌یابی متغیرهای روش ماسکینگام دارند. افزایش تعداد پارامترهای روش ماسکینگام، زمان محاسبات الگوریتم‌ها را افزایش داده، در حالیکه دقت محاسبات، به طور قابل توجهی تغییر نمی‌کند (۱۴). الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) یک الگوریتم تکاملی مبتنی بر جمعیت است و در حال حاضر در مسائل بهینه‌سازی مهندسی عمران و مهندسی منابع آب مانند عملکرد مخزن (۲۴)، مدیریت کنترل سیل (۲۲)، مدیریت کیفیت آب (۳۸، ۱۹) و بهینه‌یابی ضرایب روش ماسکینگام (۷، ۱۰، ۲۳) کاربرد دارد. همچنین پارامترهای روش ماسکینگام در پژوهش ظهیری و همکاران (۳۳) با الگوریتم ژنتیک و در پژوهش اکبری فرد و همکاران (۴) با الگوریتم چرخه آب و در پژوهش نجفی و همکاران (۲۵) با استفاده از الگوریتم کلونی مورچگان بهینه‌یابی شده‌اند. عبدالشاه نژاد (۲) به مطالعه روش‌های مختلف روندیابی هیدرولیکی و هیدرولوژیکی سیلاب در بخشی از رودخانه کارون پرداخت. در این تحقیق مدل‌های ماسکینگام، ماسک ینگام کانژ، ات-کین اصلاح شده، کانوکس و مدل هیدرودینامیک Mike11، مورد بررسی قرار گرفت و در پایان مدل کانوکس به عنوان بهترین مدل پیشنهاد شد. دهقانی (۱۱) به ارزیابی کارایی روش‌های روندیابی در رودخانه زهره پرداخت. نتایج تحقیقات وی نشان

سیل یکی از بلاای طبیعی است و جلوگیری از آسیب‌های اقتصادی، اجتماعی و سایر موارد ناشی از سیلاب، نگرانی انسان‌ها را به دنبال داشته است (۳۰). تجزیه و تحلیل سیل و کنترل آن در حوزه‌های آبخیزداری که در اثر سیل تهدید شده‌اند، برای زندگی انسان‌ها حائز اهمیت است (۲۷). محاسبه هیدروگراف سیلاب در پایین‌دست را در حقیقت روندیابی سیلاب می‌گویند. روندیابی سیلاب به عنوان یک مسئله مهم در تحلیل تأثیر سازه‌ها در کنترل سیل به حساب می‌آید (۵). به ویژه، محاسبه اوج سیل از اهمیت زیادی در ساخت سازه‌های کنترل سیل و کاهش خطرات طبیعی و هزینه‌های اقتصادی و اجتماعی برخوردار است (۲۶، ۱۷، ۸). برآورد هیدروگراف سیل در پایین‌دست را روندیابی سیل می‌نامند که به دو بخش روندیابی هیدرولیکی و روندیابی هیدرولوژیکی تقسیم می‌شوند (۳۲، ۱۵). استفاده از روش‌های روندیابی هیدرولیکی به دلیل نیاز به داده‌های بیشتر و محاسبات طولانی‌تر، دشوار است. در حالیکه روندیابی سیلاب با استفاده از روش‌های هیدرولوژیکی به داده‌های بسیار کمتری نیاز داشته و آسان‌تر می‌باشد (۳۲). تسای (۲۹) با بررسی روش‌های هیدرولیکی و هیدرولوژیکی در روندیابی سیل، به این نتیجه رسید که: روندیابی هیدرولیکی نسبت به روندیابی هیدرولوژیکی دقیق‌تر است ولی مشکل اصلی آن دشواری و

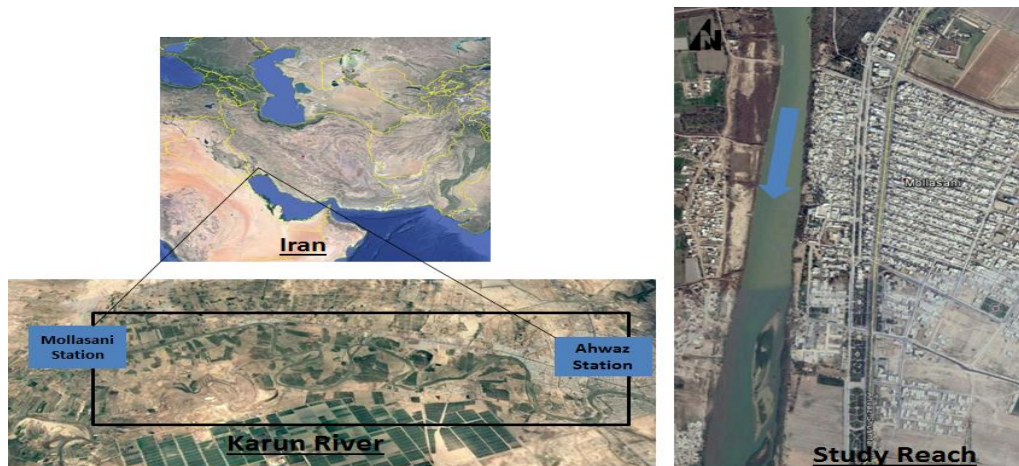
سیل سوم (سیل محاسباتی) در حد فاصل دامنه تغییرات دبی ورودی سیل‌های اول و دوم (سیل‌های مینا) قرار دارد. استفاده از حالت‌های مختلف میانگین حسابی و میانگین هندسی پارامترهای X , K , Δt باعث افزایش دقت روش‌های روندیابی هیدرولوژیکی (ماسکینگام خطی، مقادیر اجرایی، کانوکس و آت-کین اصلاح شده) در برآورد هیدروگراف خروجی سیل محاسباتی شده‌است. شایان ذکر است که مقادیر پارامترهای X , K , Δt هر یک از سیل‌های مینا با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) بهینه‌یابی شده‌اند.

مواد و روش‌ها

معرفی محدوده مطالعاتی

در این پژوهش، از داده‌های ثبت شده در ایستگاه هیدرومتری ملاثانی (شماره ایستگاه: ۳۰۸-۲۱، $48^{\circ}53'$ شرقی $31^{\circ}35'$ شمالی) در بالادست و ایستگاه هیدرومتری اهواز (شماره ایستگاه: ۳۰۹-۲۱، $48^{\circ}40'$ شرقی، $31^{\circ}20'$ شمالی) در پایین‌دست بازه مورد مطالعه که هر دو مربوط به رود کارون واقع در ایران است، استفاده شده است (شکل ۱).

داد که مدل‌های روندیابی ماسکینگام، ماسکینگام کانز و آت-کین به ترتیب دارای اولویت می‌باشند. قاسمیه (۱۶) کارایی روش‌های ماسکینگام و آت-کین اصلاح شده را در رودخانه بابل‌رود مورد ارزیابی قرار داده و روش ماسکینگام را مدلی با دقت بیشتر نسبت به روش آت-کین اصلاح شده بیان کرد. براتی و اکبری (۶) به بررسی و مقایسه روش‌های مختلف روندیابی هیدرولوژیکی سیلاب پرداختند و نتایج آن‌ها بیانگر آن است که روش ماسکینگام نسبت به روش مقادیر اجرایی، کانوکس و آت-کین اصلاح شده از کارایی بهتری برخوردار است. عباسی‌زاده و همکاران (۱) طی تحقیقی، کارایی روش‌های روندیابی هیدرولوژیکی سیل را در بخشی از رودخانه دز، مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها بیانگر آن است که روش‌های کانوکس، ماسکینگام و آت-کین اصلاح شده به ترتیب دارای بیشترین دقت هستند. معنوی و همکاران (۲۱) با استفاده از روش‌های آت-کین اصلاح شده و ماسکینگام به روندیابی سیل در بخشی از حوزه آبخیز تالار استان مازندران پرداختند. نتایج آن‌ها بیانگر دقت بالاتر روش ماسکینگام نسبت به روش آت-کین اصلاح شده می‌باشد. در پژوهش حاضر، از آنجاییکه دامنه تغییرات دبی ورودی



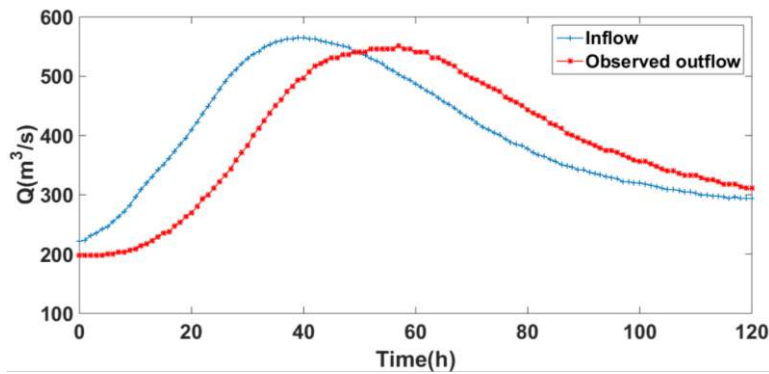
شکل ۱- محدوده مطالعاتی رودخانه کارون حد فاصل ایستگاه‌های هیدرومتری ملاثانی ($48^{\circ}53'$ شرقی، $31^{\circ}35'$ شمالی) و اهواز ($48^{\circ}40'$ شرقی، $31^{\circ}20'$ شمالی)

Figure 1. Karun river study area between Mollasani (station no: 21-308, $48^{\circ}53'$ E, $31^{\circ}35'$ N) and Ahwaz (station no: 21-309, $48^{\circ}40'$ E, $31^{\circ}20'$ N) hydrometric stations

باشد) هر سیل دیگری را که در بازه مورد مطالعه رخ داده‌است را مشروط بر این که مورفولوژی رودخانه تغییری نکرده باشد، روندیابی نمود (مشخصات سیل در پایین دست را به دست آورد). به همین دلیل در پژوهش حاضر، از پارامترهای به دست آمده از سیل‌های مینا (سیل اول و دوم) جهت محاسبه هیدروگراف خروجی سیل سوم (شکل ۴) با دامنه تغییرات دبی ورودی 222 الی 494 متر مکعب بر ثانیه که در تاریخ $1390/11/13$ الی $1390/11/16$ رخ داده، استفاده شده‌است. شایان ذکر است که هر سه سیل مربوط به بازه مذکور (ایستگاه‌های هیدرومتری ملاثانی در بالادست و اهواز در پایین‌دست) رود کارون است.

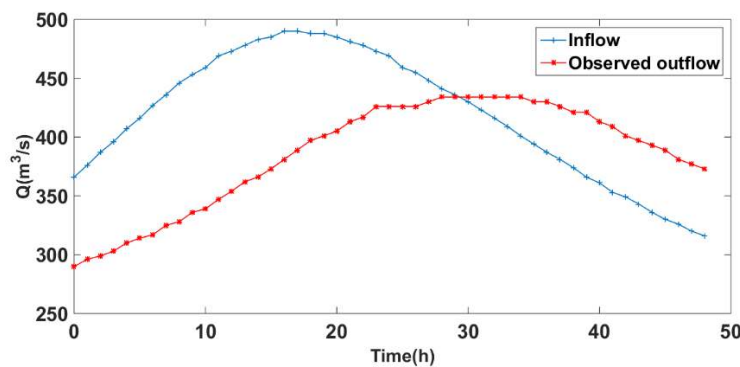
داده‌های محدوده مورد بررسی رود کارون

از داده‌های سیل (شکل ۲) با دامنه تغییرات دبی ورودی 221 الی 565 متر مکعب بر ثانیه که در تاریخ $1390/12/07$ الی $1390/12/11$ رخ داده‌است، به عنوان سیل اول و داده‌های سیل (شکل ۳) با دامنه تغییرات دبی ورودی 316 الی 490 متر مکعب بر ثانیه که در تاریخ $1391/08/25$ الی $1391/08/26$ رخ داده‌است، به عنوان سیل مبنای دوم جهت محاسبه پارامترهای روش ماسکینگام خطی ($X, K, \Delta t$) استفاده گردیده‌است. مزیت اصلی روش‌های روندیابی هیدرولوژیکی این است که بتوان با استفاده از پارامترهای سیل مینا (سیلی که مقادیر ورودی و خروجی آن ثبت شده



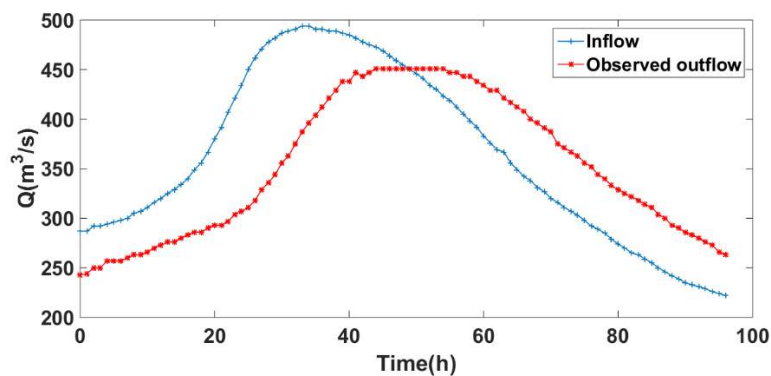
شکل ۲- هیدروگراف ورودی و خروجی سیل اول (۱۳۹۰/۱۲/۰۷ الی ۱۳۹۰/۱۲/۱۱)

Figure 2. Inflow and Outflow hydrograph of the first flood (2012/02/26 to 2012/03/01)



شکل ۳- هیدروگراف ورودی و خروجی سیل دوم (۱۳۹۱/۰۸/۲۵ الی ۱۳۹۱/۰۸/۲۶)

Figure 3. Inflow and Outflow hydrograph of the second flood (2012/11/15 to 2012/11/16)



شکل ۴- هیدروگراف ورودی و خروجی سیل سوم (۱۳۹۰/۱۱/۱۳ الی ۱۳۹۰/۱۱/۱۶)

Figure 4. Inflow and Outflow hydrograph of the third flood (2012/02/02 to 2012/02/05)

معادله (۱) که به معادله ماسکینگام معروف است، اساس بحث در این روش را تشکیل داده و در آن X و K عبارتند از دو ضریب به گونه‌ای که با توجه به مجموعه داده‌ها، روابط مذکور را به صورت حتی‌الامکان خطی نمایند. X فاکتور وزنی است که بین صفر تا نیم در نظر گرفته می‌شود، K ثابت زمانی ذخیره، I دبی ورودی، O دبی خروجی و S حجم ذخیره می‌باشد. با توجه به پیوستگی جریان و حذف حجم ذخیره شده از دو معادله مذکور، رابطه (۲) به دست می‌آید (۹):

$$O_2 = C_1 I_2 + C_2 I_1 + C_3 O_1 \quad (\text{رابطه } ۲)$$

روش ماسکینگام خطی^۱

روش ماسکینگام یکی از روش‌های روندیابی هیدرولوژیکی است. این روش طی مطالعات کنترل سیل ارائه گردید (۹). ذخیره کل از دو قسمت ذخیره منشوری که تابع دبی خروجی می‌باشد و ذخیره گوه‌ای یا تیغه‌ای که به تفاضل دبی‌های ورودی و خروجی بستگی دارد، تشکیل می‌گردد (۹) حال چنانچه رابطه بین ذخیره کل، دبی ورودی و خروجی (O, I, S) خطی فرض گردد، می‌توان رابطه حجم ذخیره شده را به صورت رابطه (۱) بیان کرد:

$$S = K[XI + (1 - X)O] \quad (\text{رابطه } ۱)$$

مقادیر R_j و R_{j+1} مقادیر اجرایی نامیده می‌شوند. حجم ذخیره نیز به صورت رابطه (۹) می‌باشد:

$$S_{j+1} = K_{j+1}W_{j+1} \quad (\text{رابطه ۹})$$

برای روندیابی سیل با روش مقادیر اجرایی، ابتدا مقدار W_j را برای مقادیر معلوم I_j ، O_j و X_j محاسبه کرده و سپس S_j ، R_j و R_{j+1} و مقدار W و نهایتاً مقدار O_{j+1} تعیین شده و با مقدار O_{j+1} فرضی مقایسه می‌شود. چنانچه دو مقدار فرضی و محاسباتی با یکدیگر مساوی و یا نزدیک به یکدیگر باشند، مقدار دبی خروجی در این گام زمانی به دست آمده و در غیر این صورت بایستی مقداری جدید فرض نموده و روند فوق را برای به دست آوردن بهترین جواب ادامه داد (۱۸).

با توجه به خصوصیات بیان شده، هنگامی که رابطه دبی-ذخیره، خطی است، روش مقادیر اجرایی مشابه روش ماسکینگام خطی می‌باشد.

روش کانوکس^۳

روش کانوکس از جمله روش‌های روندیابی هیدرولوژیکی سیل در رودخانه می‌باشد. در این روش $X=0$ در نظر گرفته می‌شود. در روش کانوکس، حجم ذخیره را می‌توان به صورت رابطه (۱۰) بیان کرد (۲۰):

$$S = KO \quad (\text{رابطه ۱۰})$$

با قرار دادن رابطه (۱۰) در معادله پیوستگی، می‌توان رابطه (۱۱) را بیان کرد (۲۰):

$$Q_{t+\Delta t} = cI_t + (1-c)Q_t \quad (\text{رابطه ۱۱})$$

در رابطه (۱۸): I_t : دبی هیدروگراف ورودی در لحظه t ، Q_t : دبی هیدروگراف خروجی در لحظه t و $Q_{t+\Delta t}$: دبی هیدروگراف خروجی در لحظه $t + \Delta t$ می‌باشد. همچنین ضریب C : ضریب کانوکس است و برای محاسبه آن، روابط متعددی به صورت جدول ۱ بیان شده‌است. در پژوهش حاضر، از روش تراول تایم جهت محاسبه ضریب کانوکس استفاده شده است.

که در معادله فوق C_1, C_2, C_3 به شرح روابط (۳) الی (۵) به دست می‌آیند:

$$C_1 = \frac{0.5\Delta t - KX}{K - KX + 0.5\Delta t} \quad (\text{رابطه ۳})$$

$$C_2 = \frac{0.5\Delta t + KX}{K - KX + 0.5\Delta t} \quad (\text{رابطه ۴})$$

$$C_3 = \frac{K - KX - 0.5\Delta t}{K - KX + 0.5\Delta t} \quad (\text{رابطه ۵})$$

روش مقادیر اجرایی^۱

روش مقادیر اجرایی نیز از روش‌های روندیابی هیدرولوژیکی است که در روندیابی سیل به کمک این روش از شدت جریان اجرایی (W) استفاده می‌شود و آن عبارت است از شدت جریان دائمی فرضی که می‌تواند ذخیره‌های معادل ذخیره گوه‌ای علاوه بر ذخیره منشوری ایجاد کند (۱۸).

اگر ذخیره گوه‌ای را برابر با $K(W-O)$ فرض کنیم، رابطه (۶) را خواهیم داشت (۱۸):

$$W = X(I - O) + O = XI + O(1 - X) \quad (\text{رابطه ۶})$$

و لذا در هر فاصله زمانی Δt می‌توان مقدار دبی خروجی را از رابطه (۷) به دست آورد (۱۸):

$$O_{j+1} = \frac{W_{j+1} - I_{j+1}X}{1 - X} \quad (\text{رابطه ۷})$$

با قرار دادن روابط مذکور در معادله پیوستگی و چنانچه مقدار $S_j(1 - X) + 0.5\Delta tW_j$ را برابر با R_j و مقدار $S_{j+1}(1 - X) + 0.5\Delta tW_{j+1}$ را برابر با R_{j+1} در نظر بگیریم، رابطه (۸) را می‌توان به صورت زیر بیان کرد (۱۸):

$$R_{j+1} = R_j + 0.5\Delta t(I_j + I_{j+1}) - \Delta tW$$

جدول ۱- روابط مربوط به ضریب کانوکس

Table 1. Convex coefficient Relationships

عنوان روش	رابطه ضریب کانوکس
تراول تایم	$c = \frac{\Delta t}{k}$
سینگ	$c = \frac{\bar{V}}{1.7 + \bar{V}}$
سازمان حفاظت خاک آمریکا	$C = \frac{\bar{V}}{0.518 + \bar{V}}$
گرافیکی	$C = \frac{\sum(O_2 - O_1)(I_1 - O_1)}{\sum(I_1 - O_1)^2}$

یادگیری هستند که باعث می‌شوند نوعی گوناگونی در جواب‌ها به وجود بیاید و این صورت جستجوی کامل‌تری روی فضای مربوطه انجام پذیرد، مقدار این پارامترهای در بازه (0,2) انتخاب می‌شوند. در معادله فوق با گذشت زمان اگر ذره‌ای دارای تابع هزینه‌ای کمتر (یا تابع سودی بیشتر) از x_j^{gBest} باشد جایگزین این ذره خواهد شد و مقدار هزینه و موقعیت این ذره به‌روزرسانی خواهد شد (۱۲،۲۸).

برای ارزیابی مقادیر بهینه پارامترهای X , K , Δt در مدل ماسکینگام خطی، از کمینه کردن مقدار مجموع انحراف مطلق (SAD) که به صورت رابطه (۱۶) تعریف می‌شود، به‌عنوان تابع هدف در الگوریتم PSO استفاده شده‌است:

$$SAD = \sum_{i=1}^n |O_i - Q_i| \quad (\text{رابطه } 16)$$

که در آن O_i ، Q_i به ترتیب دبی خروجی مشاهده‌ای و دبی خروجی روندیابی شده (محاسباتی) هستند.

همچنین جهت محاسبه میانگین حسابی هر یک از پارامترهای روش ماسکینگام خطی از رابطه ۱۷ و جهت محاسبه میانگین هندسی پارامترهای مذکور از رابطه ۱۸ استفاده شده‌است.

$$X = \frac{X_1 + X_2}{2} \quad (\text{رابطه } 17)$$

$$X = \sqrt{X_1 * X_2}$$

جهت محاسبه میانگین حسابی و میانگین هندسی پارامترهای K , Δt نیز از روابط مشابه روابط فوق که برای پارامتر X بیان شده‌است، استفاده گردیده‌است.

فلوچارت استفاده شده در پژوهش حاضر جهت بهینه‌یابی پارامترهای روش ماسکینگام خطی با استفاده از الگوریتم PSO و تابع هدف SAD در شکل ۵ ارائه شده‌است.

روش آت-کین اصلاح شده^۱

در این روش چنانچه معادله پیوستگی به ازای Q_2 حل شود، رابطه (۱۲) را خواهیم داشت (۲۰):

$$Q_{j+1} = C_m I_j + (1 - C_m) Q_j \quad (\text{رابطه } 12)$$

در این رابطه I و Q به ترتیب دبی ورودی و دبی خروجی در زمان‌های j و $j+1$ می‌باشند، Δt گام زمانی و K ثابت زمانی ذخیره است. مقدار $\frac{2\Delta t}{2K + \Delta t}$ برابر C_m فرض شده و به آن ضریب آت-کین گفته می‌شود.

شایان ذکر است، پارامترهای X , K , Δt بیان شده در هر سه روش؛ مقادیر اجرایی، کانوکس و آت-کین اصلاح شده، همان پارامترهای به‌دست آمده از روش ماسکینگام خطی می‌باشند.

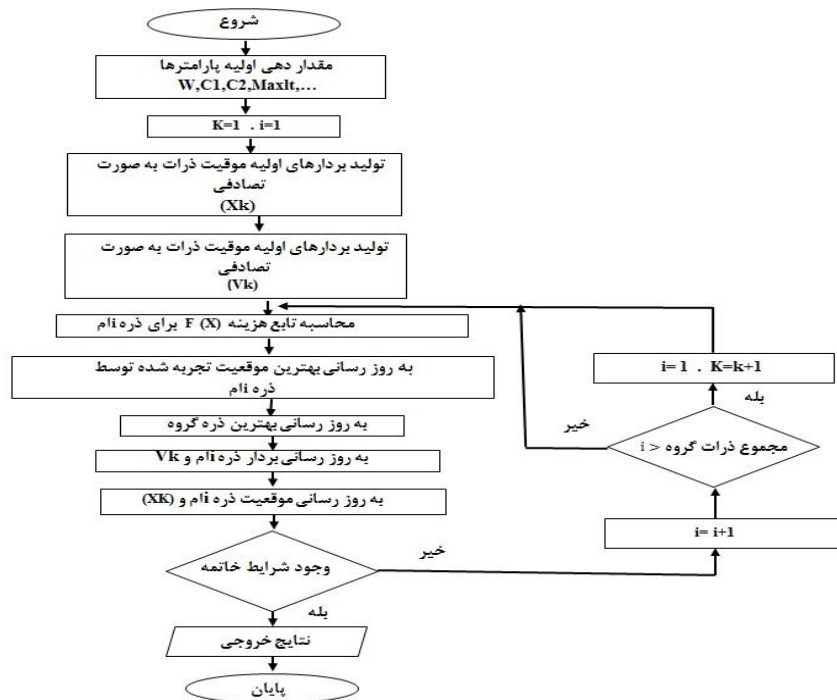
الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات^۲

این الگوریتم برای اولین بار در سال ۱۹۹۵ توسط ابرهات و کندی معرفی و ارائه گردیده‌است (۱۳). از مزایای الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات می‌توان به ساختار و پیاده‌سازی ساده، تعداد کم پارامترهای قابل کنترل و سرعت همگرایی بالا و همچنین بازده محاسباتی بالا اشاره کرد. در اجرای الگوریتم، موقعیت و سرعت هر ذره در مرحله $t+1$ از الگوریتم از روی اطلاعات مرحله قبلی ساخته می‌شوند. اگر منظور از Z مولفه نام بردار Z باشد، آنگاه روابطی که سرعت و موقعیت ذرات را تغییر می‌دهند، عبارت‌اند از: روابط (۱۴) و (۱۵):

$$v_j^i[t+1] = wv_j^i[t] + c_1 r_1 (x_j^{iBest}[t] - x_j^i[t]) + c_2 r_2 (x_j^{gBest}[t] - x_j^i[t])$$

$$x_j^i[t+1] = x_j^i[t] + v_j^i[t+1] \quad (\text{رابطه } 15)$$

که w ضریب اینرسی، r_1 و r_2 اعداد تصادفی در بازه‌ی (0,1) با توزیع یکنواخت و همچنین c_1 و c_2 پارامترهای



شکل ۵- فلوچارت الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات
Figure 5. Flowchart of the Particle Swarm Optimization (PSO) algorithm

دوم (سیل‌های مبنا) قرار گرفته‌است. به همین دلیل به جای استفاده از پارامترهای یک سیل مبنا جهت محاسبه هیدروگراف خروجی سیل سوم، از حالت‌های ارائه شده در جدول ۲ جهت محاسبه پارامترهای مذکور استفاده شده‌است. به عبارت دیگر، بررسی‌های انجام شده بیانگر آن است که؛ مقادیر $X, K, \Delta t$ هر بازه‌ای از رودخانه، به مقادیر عددی هیدروگراف سیل ورودی و خروجی و یا به وسعت مساحت سیل‌گیری مقاطع مختلف رودخانه در طول بازه مورد بررسی بستگی دارد. اگر مقادیر دبی ورودی سیل محاسباتی (سیل سوم) در حدفاصل دو سیل مبنای مشاهداتی باشد، آنگاه می‌توان انتظار داشت که رفتار جریان عبوری سیل محاسباتی در حد فاصل رفتار جریان سیل‌های مبنای اول و دوم قرار گیرد. بنابراین در صورت استفاده از حالت‌های مختلف پارامترهای $X, K, \Delta t$ به دست آمده از دو سیل مبنا (جدول ۲)، می‌توان انتظار داشت که دقت روش‌های روندیابی هیدرولوژیکی افزایش خواهد یافت.

پارامترهای روش ماسکینگام خطی $(X, K, \Delta t)$ برای هر یک از سیل‌های اول و دوم (سیل‌های مبنا) و ۸ حالت ارائه شده در پژوهش حاضر که با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) بهینه‌یابی شده‌اند، در جدول ۲ ارائه شده‌است.

به طور کلی پژوهش حاضر از مراحل زیر تشکیل شده‌است: (۱) بهینه‌یابی پارامترهای روش ماسکینگام خطی $(X, K, \Delta t)$ با استفاده از داده‌های سیل مبنای اول که دامنه تغییرات دبی ورودی آن بین ۲۲۱ الی ۵۶۵ متر مکعب بر ثانیه است. (۲) بهینه‌یابی پارامترهای روش ماسکینگام خطی $(X, K, \Delta t)$ با استفاده از داده‌های سیل مبنای دوم که دامنه تغییرات دبی ورودی آن بین ۳۱۶ الی ۴۹۰ متر مکعب بر ثانیه است. (۳) محاسبه حالت‌های مختلف میانگین حسابی و میانگین هندسی پارامترهای به دست آمده از مراحل ۱ و ۲ که در جدول ۲ بیان شده‌است.

(۴) استفاده از هر چهار روش روندیابی هیدرولوژیکی و مقادیر $X, K, \Delta t$ به دست آمده از مراحل فوق جهت محاسبه هیدروگراف خروجی سیل سوم (سیل محاسباتی) که دامنه تغییرات دبی ورودی آن بین ۲۲۲ الی ۴۹۴ متر مکعب بر ثانیه است.

(۵) محاسبه درصد میانگین خطای نسبی مربوط به داده‌های کل سیل و ناحیه اوج سیل که در جدول ۳ بیان شده‌است.

نتایج و بحث

دامنه تغییرات دبی ورودی سیل سوم (سیل محاسباتی) به طور تقریبی در حد فاصل دامنه تغییرات دبی ورودی سیل اول و

جدول ۲- پارامترهای روندیابی به دست آمده برای حالت‌های مختلف

Table 2. Routing parameters obtained for different models

Δt (hour)	K (hour)	X (nondimensional)	حالت‌های مختلف پارامترهای روندیابی	حالت
۱/۱۰۲	۱۴/۷۰۹	۰/۴۰۱	با استفاده از سیل اول	۱
۰/۶۷۵	۱۱/۹۵۷	۰/۰۷۸	با استفاده از سیل دوم	۲
۰/۸۸۸۵	۱۳/۲۶۱۸	۰/۲۳۹۵	X و Δt (AM*) K (GM**)	۳
۰/۸۸۸۵	۱۳/۳۳۳	۰/۱۷۶۸	(GM) X (AM) Δt و K	۴
۰/۸۸۸۵	۱۳/۲۶۱۸	۰/۱۷۶۸	(GM) K و X (AM) Δt	۵
۰/۸۶۲۴	۱۳/۲۶۱۸	۰/۱۷۶۸	(GM) Δt و K و X	۶
۰/۸۸۸۵	۱۳/۳۳۳	۰/۲۳۹۵	(AM) Δt و K و X	۷
۰/۸۶۲۴	۱۳/۳۳۳	۰/۲۳۹۵	(GM) Δt (AM) K و X	۸
۰/۸۶۲۴	۱۳/۲۶۱۸	۰/۲۳۹۵	(GM) Δt و K (AM) X	۹
۰/۸۶۲۴	۱۳/۳۳۳	۰/۱۷۶۸	(GM) Δt و X (AM) K	۱۰

* میانگین حسابی ** میانگین هندسی

به شرایطی که فقط از سیل مینای اول و دوم استفاده شده است، کاهش چندانی نمی‌یابد. در حالیکه مقادیر مربوط به میانگین خطای نسبی ناحیه اوج سیلاب با استفاده از حالت‌های ارائه شده در پژوهش حاضر، در تمامی حالت‌ها کاهش یافته است. به عبارت دیگر، نتایج پژوهش حاضر بیانگر آن است که؛ چنانچه دامنه تغییرات دبی ورودی سیل محاسباتی (سیل سوم) در حد فاصل دامنه تغییرات دبی ورودی سیل‌های مینا (سیل اول و دوم) قرار داشته باشد، در شرایط استفاده از میانگین هندسی پارامتر Δt و میانگین حسابی پارامترهای X, K (حالت ۸) نسبت به تمامی حالت‌ها (چه استفاده از یک سیل مینا به تنهایی و چه در حالت استفاده از سایر حالت‌های ارائه شده در پژوهش حاضر) روش‌های روندیابی هیدرولوژیکی در برآورد هیدروگراف ناحیه اوج سیلاب از دقت بیشتری برخوردار است. به عبارت دیگر، مطابق با پژوهش‌های قبلی بیان شده، هر یک از روش‌های روندیابی هیدرولوژیکی در شرایط مربوط به یک رودخانه بهترین عملکرد را داشته و دقت بالای آن در یک رودخانه، دلیلی بر داشتن دقت بالا در سایر رودخانه‌ها نمی‌باشد. در حالیکه در این پژوهش، راهکاری جهت افزایش دقت تمامی روش‌های روندیابی هیدرولوژیکی ارائه شده است.

چنانچه جهت محاسبه هیدروگراف خروجی سیل سوم (سیل محاسباتی) از پارامترهای هر یک از حالت‌های ارائه شده در جدول ۲ استفاده شود، مقادیر مربوط به میانگین خطای نسبی کل سیل و میانگین خطای نسبی ناحیه اوج سیل برای روش‌های روندیابی هیدرولوژیکی (ماسکینگام خطی، مقادیر اجرایی، کانوکس و ات-کین اصلاح شده) در جدول ۳ ارائه شده است.

همانطور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، حالت‌های ارائه شده در پژوهش حاضر، در تمامی حالت‌ها باعث افزایش دقت روش‌های روندیابی هیدرولوژیکی در برآورد سیل خروجی مربوط به ناحیه اوج هیدروگراف ورودی سیل سوم (سیل محاسباتی) شده است. مطابق جدول ۳، زمانی که از سه حالت ارائه شده در حالت میانگین هندسی پارامتر Δt (حالت‌های ۸، ۹ و ۱۰) جهت محاسبه هیدروگراف خروجی سیل سوم (سیل محاسباتی) استفاده شود، بالاترین دقت برای روش‌های روندیابی هیدرولوژیکی در برآورد هیدروگراف خروجی ناحیه اوج سیل به دست آمده است.

چنانچه در جدول ۳ ملاحظه می‌گردد؛ میانگین خطای نسبی مربوط به کل هیدروگراف سیل خروجی در شرایط استفاده از حالت‌های مختلف برای مقادیر Δt , K, X نسبت

جدول ۳- مقادیر خطای روش‌های روندیابی هیدرولوژیکی برای حالت‌های مختلف پارامترهای X و K و Δt Table 3. Error values of hydrological routing methods for different models of X, K and Δt parameters

حالت	روش روندیابی هیدرولوژیکی	درصد میانگین خطای نسبی کل سیلاب	درصد میانگین خطای نسبی ناحیه اوج (۲۷ الی ۵۵ ساعت)
۱	ماسکینگام خطی	۴/۶۹	۴/۸۹
	مقادیر اجرایی	۴/۶۹	۴/۸۹
	کانوکس	۴/۵۳	۴/۲۴
	آت-کین اصلاح شده	۴/۵۴	۳/۷۶
۲	ماسکینگام خطی	۵/۳۷	۲/۹۱
	مقادیر اجرایی	۵/۳۷	۲/۹۱
	کانوکس	۵/۵۱	۳/۲۶
	آت-کین اصلاح شده	۵/۶۶	۳/۳۹
۳	ماسکینگام خطی	۴/۶۸	۲/۱۹
	مقادیر اجرایی	۴/۶۸	۲/۱۹
	کانوکس	۴/۶۹	۳/۲۳
	آت-کین اصلاح شده	۴/۸۳	۳/۱۴
۴	ماسکینگام خطی	۴/۶۴	۲/۲۵
	مقادیر اجرایی	۴/۶۴	۲/۲۵
	کانوکس	۴/۷۲	۳/۲۱
	آت-کین اصلاح شده	۴/۸۵	۳/۱۳
۵	ماسکینگام خطی	۴/۶۴	۲/۳۳
	مقادیر اجرایی	۴/۶۴	۲/۳۳
	کانوکس	۴/۶۹	۳/۲۳
	آت-کین اصلاح شده	۴/۸۳	۳/۱۴
۶	ماسکینگام خطی	۴/۶۷	۲
	مقادیر اجرایی	۴/۶۷	۲
	کانوکس	۴/۸۲	۳/۱۴
	آت-کین اصلاح شده	۴/۹۶	۳/۱۰
۷	ماسکینگام خطی	۴/۶۸	۲/۱۱
	مقادیر اجرایی	۴/۶۸	۲/۱۱
	کانوکس	۴/۷۲	۳/۲۱
	آت-کین اصلاح شده	۴/۸۵	۳/۱۳
۸	ماسکینگام خطی	۴/۷۱	۱/۶۶
	مقادیر اجرایی	۴/۷۱	۱/۶۶
	کانوکس	۴/۸۴	۳/۱۴
	آت-کین اصلاح شده	۴/۹۸	۳/۰۹
۹	ماسکینگام خطی	۴/۷	۱/۷۳
	مقادیر اجرایی	۴/۷	۱/۷۳
	کانوکس	۴/۸۴	۳/۱۴
	آت-کین اصلاح شده	۴/۹۴	۳/۱۰
۱۰	ماسکینگام خطی	۴/۶۸	۱/۹۵
	مقادیر اجرایی	۴/۶۸	۱/۹۵
	کانوکس	۴/۸۴	۳/۱۴
	آت-کین اصلاح شده	۴/۹۸	۳/۰۹

دقت روش‌های روندیابی هیدرولوژیکی در برآورد ناحیه اوج هیدروگراف ورودی سیل محاسباتی شده‌است.

چنانچه از پارامترهای X و K و Δt به‌دست آمده از داده‌های سیل مینای اول جهت محاسبه هیدروگراف خروجی سیل سوم استفاده شود، درصد میانگین خطای نسبی مربوط به ناحیه اوج سیل برای روش‌های ماسکینگام خطی، مقادیر اجرایی، کانوکس و آت-کین اصلاح شده به‌ترتیب ۴/۸۹، ۴/۲۴ و ۳/۷۶ درصد محاسبه شده و مقادیر مذکور در حالتی که از پارامترهای سیل مینای دوم استفاده شود، به‌ترتیب ۲/۹۱، ۲/۹۱، ۳/۲۶ و ۳/۳۹ درصد به‌دست آمده است. در حالیکه مقادیر مذکور در حالتی که از میانگین حسابی پارامترهای X و K و میانگین هندسی پارامتر Δt (بهترین

در پژوهش حاضر، با توجه به اینکه، دامنه تغییرات دبی ورودی سیل سوم که به‌عنوان سیل محاسباتی مورد استفاده قرار گرفته، در حد فاصل دامنه تغییرات دبی ورودی سیل‌های اول و دوم (سیل‌های مینا) قرار دارد. به‌طوریکه مقدار مینیمم آن نزدیک به مقدار دبی ورودی سیل مینای اول و مقدار ماکزیمم آن به دبی ورودی سیل مینای دوم نزدیک‌تر است. به‌جای استفاده از پارامترهای به‌دست آمده از یک سیل مینا، استفاده از میانگین حسابی و میانگین هندسی مربوط به دو سیل مینا در حالت‌های مختلف ارائه شده در جدول ۲ مورد بررسی قرار گرفته‌است. به‌همین دلیل استفاده از پارامترهای به‌دست آمده در حالت‌های مذکور، به‌جای استفاده از پارامترهای یک سیل مینا در تمامی حالت‌ها باعث افزایش

به طور کلی هر ۸ حالت ارائه شده در پژوهش حاضر، باعث افزایش دقت تمامی روش‌های روندیابی هیدرولوژیکی در برآورد هیدروگراف خروجی ناحیه اوج سیل که در کارهای مهندسی و طراحی سازه‌های هیدرولیکی اهمیت بالایی دارد، شده است.

تشکر و قدردانی

از واحد مطالعات شرکت مدیریت منابع آب ایران به دلیل کمک فراوانی که در جمع‌آوری و در اختیار گذاشتن داده‌های مورد نیاز در انجام پژوهش حاضر داشتند، تقدیر و تشکر به عمل می‌آید.

حالت ارائه شده در پژوهش حاضر، حالت ۸) به دست آمده از دو سیل مینا استفاده شود، به ترتیب ۱/۶۶، ۱/۶۶، ۳/۱۴ و ۳/۰۹ درصد به دست آمده است.

به عبارت دیگر، بهترین حالت ارائه شده در پژوهش حاضر (حالت ۸) نسبت به شرایطی که از پارامترهای به دست آمده از داده‌های سیل اول به تنهایی جهت محاسبه هیدروگراف خروجی سیل سوم استفاده شود، باعث افزایش دقت ۶۶ درصدی روش ماسکینگام خطی، ۶۶ درصدی روش مقادیر اجرایی، ۲۵ درصدی روش کانوکس و ۱۸ درصدی روش ات-کین اصلاح شده در برآورد هیدروگراف خروجی ناحیه اوج سیلاب شده است. همچنین مقادیر مذکور نسبت به حالتی که از داده‌های سیل دوم به تنهایی استفاده شود، به ترتیب ۴۳، ۴۳ و ۴ و ۹ درصد می‌باشد.

منابع

1. Abbasizadeh, M., M. Mahdavi and A. Salajeghe. 2010. Evaluation of Flood Routing Methods Efficiency (Case Study: Dez River), 63-76 (In Persian).
2. Abdolshahnejad, A. 1997. Comparison of different methods hydraulic and hydrologic in flood routing (Case Study: Part of Karoun river), M.Sc. Thesis, University of Tehran, 230 pp (In Persian).
3. Afshar, A., H. Kazemi and M. Saadatpour. 2011. Particle swarm optimization for automatic calibration of large scale water quality model (CE-QUAL-W2): Application to Karkheh Reservoir, Iran. Water resources management, 25(10): 2613-2632.
4. Akbarifard, S., K. Qaderi and M. Alinnejad. 2018. Parameter estimation of the nonlinear muskingum flood-routing model using water cycle algorithm. Journal of Watershed Management Research, 8(16): 34-43.
5. Asiaban, P., E. Amiri Tokaldany and M. Tahmasebi Nasab. 2015. Simulation of water surface profile in vertically stratified rockfill dams. International Journal of Environmental Research, 9(4): 1193-1200.
6. Barati, R. and G.M. Akbari. 2012. Comparison of Flood Routing Hydrology Models in Rivers. Iranian Water Researches Journal, 105-114 (In Persian).
7. Bazargan, J. and H. Norouzi. 2018. Investigation the Effect of Using Variable Values for the Parameters of the Linear Muskingum Method Using the Particle Swarm Algorithm (PSO). Water Resources Management, 32(14): 4763-4777.
8. Chau, K. 2005. A split-step PSO algorithm in prediction of water quality pollution. In International Symposium on Neural Networks (pp. 1034-1039). Springer, Berlin, Heidelberg.
9. Chow, V. 1959. Open channel hydraulics, Newyork; Macgraw-Hill Book Company.
10. Chu, H.J. and L.C. Chang. 2009. Applying particle swarm optimization to parameter estimation of the nonlinear Muskingum model. Journal of Hydrologic Engineering, 14(9): 1024-1027.
11. Dehghani, M. 2004. The Efficiency Assessment of Flood Routing Methods in Tidal Zohre River, M.Sc. Thesis, Tarbiat Modarres University, 104 pp (In Persian).
12. Di Cesare, N., D. Chamoret and M. Domaszewski. 2015. A new hybrid PSO algorithm based on a stochastic Markov chain model. Advances in engineering software, 127-137.
13. Eberhart, R. and J.A. Kennedy. 1995. New optimizer using particle swarm theory. In MHS'95. Proceedings of the Sixth International Symposium on Micro Machine and Human Science, 39-43.
14. Farahani, N., S. Farzin and H. Karami. 2018. Flood routing by Kidney algorithm and Muskingum model. Natural Hazards, 1-19.
15. Formetta, G., I. Prodocimi, E. Stewart and V. Bell. 2018. Estimating the index flood with continuous hydrological models: an application in Great Britain. Hydrology Research, 49(1): 123-133.
16. Ghasemieh, H. 2005. Investigation of Muskingum and Modified Att-Kin Method Efficiency in river Flood Routing (Case Study, Babolroud River), M.Sc. Thesis, University of Mazandaran, 136 pp (In Persian).
17. Gholami, V., K.W. Chau, F. Fadaee, J. Torkaman and A. Ghaffari. 2015. Modeling of groundwater level fluctuations using dendrochronology in alluvial aquifers. Journal of hydrology, 529: 1060-1069.
18. Hamed, M.H. 2011. Open Channel Hydraulics, Khaje Nasir University. Second edition (In Persian).
19. Lu, W.Z., H.Y. Fan, A.Y.T. Leung and J.C.K. Wong. 2002. Analysis of pollutant levels in central Hong Kong applying neural network method with particle swarm optimization. Environmental monitoring and assessment, 79(3): 217-230.

20. Mahdavi, M. 2013. Applied hydrology. Tehran University. Second edition (In Persian).
21. Manavi Amiri. S.M., A. Malekian, K. Shahedi and B. Motamed Vaziri. 2013. Evaluation of Muskingum and Modified Att-Kin Methods Efficiency in Flood Routing (Case Study: Talar Watershed, Mazandaran Province), 106-119 (In Persian).
22. Meraji, S.H. 2004. Optimum design of flood control systems by particle swarm optimization algorithm (Doctoral dissertation, M.Sc. Thesis, Iran University of Science and Technology).
23. Moghaddam, A., J. Behmanesh and A. Farsijani. 2016. Parameters estimation for the new four-parameter nonlinear Muskingum model using the particle swarm optimization. *Water resources management*, 30(7): 2143-2160.
24. Nagesh Kumar, D. and M. Janga Reddy. 2007. Multipurpose reservoir operation using particle swarm optimization. *Journal of Water Resour Plan Manag*, 133: 192-201.
25. Najafi, I., A. Emadi and M.A. Gholami-Sefidkuhi. 2020. Calibration of Muskingum Method using Ant Colony Algorithm (Case Study: Garmrood Basin). *Journal of Watershed Management Research*,
26. Reggiani, P., E. Todini and D. Meißner. 2016. On mass and momentum conservation in the variable-parameter Muskingum method. *Journal of Hydrology*, 543: 562-576.
27. Rowshan, G.R., H. Mohammadi, T. Nasrabadi, H. Hoveidi and A. Baghvand. 2007. The role of climate study in analyzing flood forming potential of water basins. *International Journal of Environmental Research*, 1(3): 231-236.
28. Shi, Y. and R.A. Eberhart. 1998. Modified particle swarm optimizer. In 1998 IEEE international conference on evolutionary computation proceedings. IEEE world congress on computational intelligence (Cat. No. 98TH8360), 69-73.
29. Tsai, C.W. 2005. Flood routing in mild-sloped rivers-wave characteristics and downstream backwater effect. *Journal of Hydrology*, 308(1): 151-167.
30. Vafaei, F. and A.N. Harati. 2010. Strategic Management in Decision Support System for Coastal Flood Management. *International Journal of Environmental Research*, 4(1): 169-176.
31. Wu, C.L. and K.W. Chau. 2011. Rainfall-runoff modeling using artificial neural network coupled with singular spectrum analysis. *Journal of Hydrology*, 399(3-4): 394-409.
32. Yadav, B., M. Perumal and A. Bardossy. 2015. Variable parameter McCarthy-Muskingum routing method considering lateral flow. *Journal of Hydrology*, 523: 489-499.
33. Zahiri, A., S. Sharifan and S. Tamadoni Kenari. 2012. Optimization of Muskingum Method for Flood Routing in Flooded Rivers. *Journal of Watershed Management Research*, 3(6): 1-14.

Different types of Optimizing the Parameters of Hydrological Routing Methods using Particle Swarm Optimization (PSO) Algorithm for Flood Routing in the Karun River

Hadi Norouzi¹, Vahid Karimi², Jalal Bazargan³ and Haidar Hemmati⁴

-
- 1- Ph.D. Student in Water Engineering and Hydraulic Structures, Faculty of Civil Engineering, Zanjan University
(Corresponding author: hadinorouzi72@gmail.com)
2- Master Student of Water Engineering and Hydraulic Structures, Faculty of Civil Engineering, Zanjan University
3- Associate Professor, Department of Civil Engineering, Zanjan University
4- Ph.D. in Hydraulic Structures, Faculty of Engineering, University of Tehran
Received: June 21, 2020 Accepted: September 14, 2020
-

Abstract

Optimizing the parameters of hydrological routing methods has a special place in increasing the accuracy of estimating outflow hydrograph and also calculating the peak area of flood hydrograph in engineering works. In the present study, since the range of changes in the inflow of the third flood (computational flood) is between the range of changes of the inflow of the first and second floods (base floods), For this reason, in order to increase the flood routing accuracy by using hydrological routing methods (linear Musking method, Working values, convex and modified Att-Kin), instead of using the parameters (X , K , Δt) of a baseline flood, the arithmetic mean and the geometric of the two baseline flood parameters is discussed in 8 different modes using the Particle Swarm Optimization (PSO) algorithm. In other words, the use of all 8 modes presented in the present study has increased the accuracy of hydrological routing methods in estimating the peak area of flood hydrographs between Mollasani (upstream) and Ahwaz (downstream) hydrometric stations of the Karun River. Thus, in the best case presented in the present study (mode 8), the mean relative error of the computational flood peak area relative to the conditions in which the first baseline flood is used alone, for the mentioned methods are 66, 66, 25 and 18%, respectively, and in conditions When the second baseline flood is used alone, it has improved by 43, 43, 4 and 9%, respectively.

Keywords: Different modes of optimization of X , Flood Routing, Hydrological Routing Method, K , Δt parameters, Particle Swarm Optimization (PSO) Algorithm

Journal of Watershed Management Research

Publisher: Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University

Managing Director: Asghar Fallah

Chief Editor: Mahmood Habibnejad Roshan

Executive Manager of University Scientific Journals: Rahmat Abasi

Editorial Board

Habibnejad Roshan, Mahmood	Professor, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University
Mohseni Saravi, Mohsen	Professor, University of Tehran
Ownegh, Majid	Professor, Gorgan Agricultural Sciences and Natural Resources University
Raeini, Mahmood	Associate Professor, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University
Shahedi, Kaka	Associate Professor, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University
Sheik, Vahed Berdi	Associate Professor, Gorgan Agricultural Sciences and Natural Resources University
Solaimani, Karim	Professor, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University
Vafakhah, Mahdi	Associate Professor, Tarbiat Modares University

Scientific Editor: Mahmood Habibnejad Roshan

Typesetting and Layout: Office of Scientific Journals- Fatemeh Esmaili

Price: 100000 Rials

Address: Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University

P.O. Box: 578, Sari, IRAN

Fax: +981133687437

Email: journal@sanru.ac.ir

Web Address: <http://jwmmr.sanru.ac.ir>



Comparison of Degree-Day and Radiation base of Snowmelt Runoff Model (SRM) for Estimating Runoff from Snow Melting Mohammad Bagher Raeisi, Mehdi Vafakhah and Hamid Reza Moradi	11
Efficiency Assessment of Desertification Model of IMDPA for Evaluating of Water and Wind Erosions Masoud Masoudi and Somayeh Shirghir	25
P Determination of Critical Channel Using Combination of ASSA and GIS Models in Different Return Periods (Case Study: Mashhad Municipality9 District) Fatemeh Rezayi, Abdolreza Bahremand, Vahed Berdi Shaikh, Mohammad Taghi Dasturani and Said Mohammad Tajbakhsh	41
An Assessment of Uncertainty of Regional Climate Change Models, Error Correction Methods and Forecasting Climate Change in Birjand Township Morteza Dehghani, Ataollah Kavian, Mahmud Habibnejad Roshan, Mohamad Ghorbani and Zaynab Jafarian Jelodar	53
A Effect of Change in Plot Size on Performance of Organic Manure on Changing Runoff and Soil Loss Components under Laboratory Conditions Behzad Zareii, Leila Gholami, Ataollah Kavian and Kaka Shahedi	64
Investigation of the Relationship between Groundwater Variations and Drought Using SPI and GRI Indices in Lordegan Plain Sayed Abdolreza Musavi, Karim Solaimani, Fatemeh Shokrian and Sayed Hussein Roshun	74
Investigation of Subsidence Susceptibility in the Semnan Plain Using Entropy Model Majid Mohammady, Hamid Reza Pourghasemi and Mojtaba Amiri	85
Measuring and Analyzing Adaptive Capacity of Socio-Ecological System in the Face of Declining Groundwater Aquifers (Studied Area: Kazerun Plain) Najmeh Ganji, Mehdi Ghorbani, Hassan Khosravi and Amir Alamobigi	94
Forecasting of Climate Variables in Future Periods Based on HadCM3 Data using Statistical Downscaling Model (SDSM) in Agh-Chay Basin (West Azarbayjan) Leila Hemmati and Mirhassan Miryaghouzbadeh	107
Investigating the Status of Some Indicators of Assessment of Watersheds and Prioritizing Sub-Catchments in Terms of Erosion Reduction (Case Study of Karkheh Watershed) Reza Bayat, Zahra Gerami, Mahmood Arabkhedri, Hamid Reza Peyrowan and Rahim Kazemi	118
Developing a Model for the Integrated Management of Water and Soil Resources in the Hableh-Rud River Basin Using the System Dynamics Approach Ebrahim Karimi Sangchini, Majid Ownegh, Amir Sadoddin, Mahdi Zarghami and Iraj Vayskarami	129
The Determination of Infiltration in Various Land uses in Marghmalek and Shahrekord Watersheds Samira Mesri, Shojae Ghorbani Dashtaki, Hossein Shirani, Abolghasem Kamkarrohani and Hamid Reza Motaghian	154
Evaluation of Optimal Cropping Pattern in Tajan Watershed with Systematic Modeling Seyed Fatemeh Hashemi, Ali Shanazari, Mahmood Rayini, Mohammada Shahbazbegian and Jan Franklin Adamowski	168
Land Use Optimization using Multi-Criteria Assessment and Economic Analysis (A Case Study: Chehelchay Watershed, Golestan Province) Fereshteh Rahimi, Ali Najafinejad, Vahed Bordi Sheikh and Arash Zare Garizi	179
Evaluation of SWAT Model for Simulation of Runoff and Soil Moisture in Doiraj Basin of Ilam Province Fatemeh Balooei, Mohsen Tavakoli and Saeed Soltani Kopaei	190
The Effect of Bentonite and Municipal Wastewater Effluent on Some Soil and Alfalfa and Clover Plant Characteristics Atefeh Khanlari, Reza Tamartash, Kaka Shahedi and Mohammedreza Tatian	201
Prioritizing Affecting Factors on Barriers Sustainable Non Participation of Rural Communities in Aquifer Management Projects from a beneficiary's Perspective in Bishezdard Watershed of Fars Province Gholam Reza Ghahari, Seyed Masoud Soleimanpour, Amin Salehpour Jam, Ali Akbar Noroozi and Gholam Ali Nekooeian	211
Investigation of Statistical and Geostatistical Methods in Preparing The Rainfall Map of Mazandaran Province Alireza Yousefi Kebriya, Mehdi Nadi and Mozhdeh Jamei	223
Simulation of Rainfall- Runoff using Novel Learning Machine in Shaharchay River Basin Amir Alizadeh, Ahmad Rajabi, Saeid Shabanlou, Behrouz Yaghoubi and Fariborz Yosefvand	237
Operation of the of Golestan Dam Reservoir in Climate Change Conditions Using an Improved Multi-Objective Whale Optimization Algorithm Alireza Donyaii, Amirpouya Sarraf and Hassan Ahmadi	250
Evaluating the Water Productivity Management Performance in Irrigation Networks (Case Study: Doosti Irrigation Network- Khorasan Razavi) Hassan Saghi, Reza Javid Sabbaghian and Mostafa Ramezani Moghaddam	259
Sensitivity Analysis of the Reference Evapotranspiration to Meteorological Parameters in Khorasan Razavi Province Zahra Shirmohammadi-Aliakbarkhani and Seyed Farhad Saberali	272
Landslide Hazard Zoning by Density Area Model and Hierarchical Analysis to Assess the Pathway Designed for the Chellir District in the Khayrud Forest Amir Hossein Khetkeh, Seyed Ataollah Hosseini, Ehsan Abdi, Khaled Ahmad Auli and Shahin Koochi	284
Different types of Optimizing the Parameters of Hydrological Routing Methods using Particle Swarm Optimization (PSO) Algorithm for Flood Routing in the Karun River Hadi Norouzi, Vahid Karimi, Jalal Bazargan and Haidar Hemmati	295



Watershed Management Research (Scientific)



Ministry of Science, Research and Technology
Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University

Vol. 12, No. 23, Spring and Summer 2021

ISSN 2251-6174

Contents:

Comparison of Degree-Day and Radiation base of Snowmelt Runoff Model (SRM) for Estimating Runoff from Snow Melting Mohammad Bagher Raeisi, Mehdi Vafakhah and Hamid Reza Moradi	11
Efficiency Assessment of Desertification Model of IMDPA for Evaluating of Water and Wind Erosions Masoud Masoudi and Somayeh Shirghir	25
P Determination of Critical Channel Using Combination of ASSA and GIS Models in Different Return Periods (Case Study: Mashhad Municipality9 District) Fateme Rezayi, Abdolreza Bahremand, Vahed Berdi Shaikh, Mohammad Taghi Dasturani and Saiid Mohammad Tajbakhsh	41
An Assessment of Uncertainty of Regional Climate Change Models, Error Correction Methods and Forecasting Climate Change in Birjand Township Morteza Dehghani, Ataollah Kavian, Mahmud Habibnejad Roshan, Mohamad Ghorbani and Zaynab Jafarian Jelodar	53
A Effect of Change in Plot Size on Performance of Organic Manure on Changing Runoff and Soil Loss Components under Laboratory Conditions Behzad Zareii, Leila Gholami, Ataollah Kavian and Kaka Shahedi	64
Investigation of the Relationship between Groundwater Variations and Drought Using SPI and GRI Indices in Lordegan Plain Sayed Abdolreza Musavi, Karim Solaimani, Fateme Shokrian and Sayed Hussein Roshun	74
Investigation of Subsidence Susceptibility in the Semnan Plain Using Entropy Model Majid Mohammady, Hamid Reza Pourghasemi and Mojtaba Amiri	85
Measuring and Analyzing Adaptive Capacity of Socio-Ecological System in the Face of Declining Groundwater Aquifers (Studied Area: Kazerun Plain) Najmeh Ganji, Mehdi Ghorbani, Hassan Khosravi and Amir Alamobigi	94
Forecasting of Climate Variables in Future Periods Based on HadCM3 Data using Statistical Downscaling Model (SDSM) in Agh-Chay Basin (West Azarbayjan) Leila Hemmati and Mirhassan Miryaghoubzadeh	107
Investigating the Status of Some Indicators of Assessment of Watersheds and Prioritizing Sub-Catchments in Terms of Erosion Reduction (Case Study of Karkheh Watershed) Reza Bayat, Zahra Gerami, Mahmood Arabkhedri, Hamid Reza Peyrowan and Rahim Kazemi	118
Developing a Model for the Integrated Management of Water and Soil Resources in the Hableh-Rud River Basin Using the System Dynamics Approach Ebrahim Karimi Sangchini, Majid Ownegh, Amir Sadoddin, Mahdi Zarghami and Iraj Vayskarami	129
The Determination of Infiltration in Various Land uses in Marghmalek and Shahrekord Watersheds Samira Mesri, Shojae Ghorbani Dashtaki, Hossein Shirani, Abolghasem Kamkarrohani and Hamid Reza Motaghian	154
Evaluation of Optimal Cropping Pattern in Tajan Watershed with Systematic Modeling Seyed Fateme Hashemi, Ali Shanazari, Mahmood Rayini, Mohammada Shahbazbegian and Jan Franklin Adamowski	168
Land Use Optimization using Multi-Criteria Assessment and Economic Analysis (A Case Study: Chehelchay Watershed, Golestan Province) Fereshteh Rahimi, Ali Najafinejad, Vahed Bordi Sheikh and Arash Zare Garizi	179
Evaluation of SWAT Model for Simulation of Runoff and Soil Moisture in Doiraj Basin of Ilam Province Fateme Baloeei, Mohsen Tavakoli and Saeed Soltani Kopaei	190
The Effect of Bentonite and Municipal Wastewater Effluent on Some Soil and Alfalfa and Clover Plant Characteristics Atefeh Khanlari, Reza Tamartash, Kaka Shahedi and Mohammedreza Tatian	201
Prioritizing Affecting Factors on Barriers Sustainable Non Participation of Rural Communities in Aquifer Management Projects from a beneficiary's Perspective in Bishehazad Watershed of Fars Province Gholam Reza Ghahari, Seyed Masoud Soleimanpour, Amin Salehpour Jam, Ali Akbar Noroozi and Gholam Ali Nekooeian	211
Investigation of Statistical and Geostatistical Methods in Preparing The Rainfall Map of Mazandaran Province Alireza Yousefi Kebriya, Mehdi Nadi and Mozhdeh Jamei	223
Simulation of Rainfall- Runoff using Novel Learning Machine in Shaharchay River Basin Amir Alizadeh, Ahmad Rajabi, Saied Shabanlou, Behrouz Yaghoubi and Fariborz Yosefvand	237
Operation of the of Golestan Dam Reservoir in Climate Change Conditions Using an Improved Multi-Objective Whale Optimization Algorithm Alireza Donyaii, Amirpouya Sarraf and Hassan Ahmadi	250
Evaluating the Water Productivity Management Performance in Irrigation Networks (Case Study: Doosti Irrigation Network- Khorasan Razavi) Hassan Saghii, Reza Javid Sabbaghian and Mostafa Ramezani Moghaddam	259
Sensitivity Analysis of the Reference Evapotranspiration to Meteorological Parameters in Khorasan Razavi Province Zahra Shirmohammadi-Aliakbarkhani and Seyed Farhad Saberali	272
Landslide Hazard Zoning by Density Area Model and Hierarchical Analysis to Assess the Pathway Designed for the Chellir District in the Khayrud Forest Amir Hossein Khetkeh, Seyed Ataollah Hosseini, Ehsan Abdi, Khaled Ahmad Auli and Shahin Koochi	284
Different types of Optimizing the Parameters of Hydrological Routing Methods using Particle Swarm Optimization (PSO) Algorithm for Flood Routing in the Karun River Hadi Norouzi, Vahid Karimi, Jalal Bazargan and Haidar Hemmati	295