



دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گیلان

شماره پیاپی: ۱۱۴

نشریه علمی

پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

(نشریه علوم کشاورزی و منابع طبیعی)

جلد بیست و نهم، شماره ۲، ۱۴۰۱

نسخه آنلاین: ۲۳۲۲-۲۷۹۴
شاپا نسخه چاپی: ۲۳۲۲-۲۰۶۹

فهرست مقالات

- ۳..... امکان‌سنجی پیش‌بینی میزان عملکرد سالانه جو دیم بر اساس شاخص‌های مختلف خشک‌سالی
یونس خوشخو
- ۲۷..... ارزیابی پایداری خاکدانه‌ها تحت تأثیر کاربرد ترکیبات نفتی در خاک‌های با بافت مختلف
راضیه دریایی، سید علی اکبر موسوی، رضا قاسمی، مسعود ریاضی
- ۴۹..... تعیین غلظت باقی‌مانده و بوم‌شناسی سموم آفت‌کش ارگانوفسفره در آب و خاک شالیزارهای شهرستان رودبار استان گیلان
بهروز آژ براگوری، حسن کریم‌زادگان، محسن محمدی گلنگش، فاطمه شریعتی فیض‌آبادی، لیلا اوشک‌سرابی
- ۷۱..... ارزیابی فنی سامانه‌های نوین آبیاری در استان چهارمحال و بختیاری (مطالعه موردی: شهرستان‌های شهرکرد، سامان و بن)
سید محمدرضا حسینی وردنجانی، مجتبی خوش‌روش، مسعود پورغلام آمیجی، فاطمه آتشخوار، غلامرضا شماعی
- ارزیابی عملکرد الگوریتم بهینه‌سازی جستجوی اتم در بهره‌برداری بهینه از سامانه‌های چندمخزنه و تک‌مخزنه تحت رسوب‌گذاری
(مطالعه موردی: سد دز) ۹۳
محسن مسلم‌زاده، حجت کریمی، سعید فرزین، ایمان احمدیان‌فر
- آشکارسازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از رویکرد مدل‌سازی در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی:
حوزه آبخیز حله‌رود) ۱۱۵
مهین نادری، واحدبردی شیخ، چوقی بایرام کمکی، عبدالرضا بهره‌مند، عبدالعظیم قانقرمه، حمید سیروسی
- ۱۳۷..... ارزیابی تأثیر مدیریت آب و روش‌های مختلف عرضه کود نیتروژن بر کارایی مصرف آب و عملکرد برنج
سمیرا ضیایی‌فر، حسین خزیمه‌نژاد، حسن علی‌نژاد، عبدالله درزی نفتچالی

فهرست مقالات

- ۳..... امکان‌سنجی پیش‌بینی میزان عملکرد سالانه جو دیم بر اساس شاخص‌های مختلف خشک‌سالی
یونس خوشخو
- ۲۷..... ارزیابی پایداری خاکدانه‌ها تحت تأثیر کاربرد ترکیبات نفتی در خاک‌های با بافت مختلف
راضیه دریایی، سید علی‌اکبر موسوی، رضا قاسمی، مسعود ریاضی
- ۴۹..... تعیین غلظت باقی‌مانده و بوم‌شناسی سموم آفت‌کش ارگانوفسفره در آب و خاک شالیزارهای شهرستان رودبار استان گیلان
بهروز آژ براگوری، حسن کریم‌زادگان، محسن محمدی گلنگش، فاطمه شریعتی فیض‌آبادی، لیلا اوشک سرایی
- ۷۱..... ارزیابی فنی سامانه‌های نوین آبیاری در استان چهارمحال و بختیاری (مطالعه موردی: شهرستان‌های شهرکرد، سامان و بن)
سید محمدرضا حسینی وردنجانی، مجتبی خوش‌روش، مسعود پورغلام آمیجی، فاطمه آتشخوار، غلامرضا شماعی
- ارزیابی عملکرد الگوریتم بهینه‌سازی جستجوی اتم در بهره‌برداری بهینه از سامانه‌های چندمخزنه و تک‌مخزنه تحت رسوب‌گذاری
(مطالعه موردی: سد دز) ۹۳
محسن مسلم‌زاده، حجت کرمی، سعید فرزین، ایمان احمدیان‌فر
- آشکارسازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از رویکرد مدل‌سازی در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی:
حوزه آبخیز حبله‌رود) ۱۱۵
مهین نادری، واحدبردی شیخ، چوقی بایرام کمکی، عبدالرضا بهره‌مند، عبدالعظیم قانقرمه، حمید سیروسی
- ۱۳۷..... ارزیابی تأثیر مدیریت آب و روش‌های مختلف عرضه کود نیتروژن بر کارایی مصرف آب و عملکرد برنج
سمیرا ضیایی‌فر، حسین خزیمه‌نژاد، حسن علی‌نژاد، عبدالله درزی نفتچالی

Feasibility study of rainfed barley annual yield prediction based on different drought indices

Younes Khoshkhoo ^{*1} 

1. Corresponding Author, Assistant Prof., Dept. of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran. E-mail: y.khoshkho@uok.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 06.22.2022
Revised: 08.08.2022
Accepted: 08.21.2022

Keywords:
Cross validation,
EDDI index,
PCR model,
Sararoud station,
SPEI index

ABSTRACT

Background and Objectives: In arid and semi-arid climates which the rainfed farming is of high importance, it is necessary to pay special attention to the factors affecting the performance of rainfed crops, as well as its prediction. In this meantime, paying special attention to tolerant crops such as barley is inevitable. The aim of the current study was to assess the possibility of rainfed barley annual yield prediction using some drought indices in a semi-arid climate.

Materials and Methods: By calculating SPEI, EDDI and SPI drought indices for four growth stages of rainfed barley including sowing-emerge, emerge-tillering, tillering-stem and stem-flowering at the Sararoud-Kermanshah station, a number of 12 time series of these indices were extracted during 2000-2015 period. The cross-tabulation was used to evaluating the overall relationship between drought indices and rainfed barley annual yield and to model the rainfed barley annual yield based on drought indices, the best subset-based multiple linear regression model and Principal Component Regression (PCR) were applied at two different stages. The modelling procedure performed in two overall cases including considering a unique drought index and considering a combination of three different drought indices cases.

Results: The results of cross-tabulation technique showed an appropriate relationship between rainfed barley annual yield and drought indices. Therefore, a potential is available to use drought indices to predict rainfed barley annual yield. Based on the results of considering a unique drought index case, the highest (63.6%) and lowest (54.1%) values of coefficient of determination between rainfed barley annual yield and drought indices were for SPEI and EDDI indices, respectively and a value between them (62.4%) for SPI. The values of these indices were appeared at the model during the sowing-emerge and tillering-stem stages for SPEI and SPI and sowing-emerge and stem-flowering stages for EDDI. By considering the combination of three different drought indices case, the results revealed that the best multiple linear regression model is obtained by presence of SPEI (during tillering-stem and stem-flowering stages) and EDDI (during sowing-emerge and tillering-stem stages) indices in the model with a good coefficient of determination ($R^2=78.7\%$ and $R^2_{adj}=69.2\%$). However, the high value of Variance Inflation Factor (VIF) revealed that it is necessary to solve this issue by considering the Principal Component Regression (PCR) model. By applying PCR model to predict rainfed barley annual yield, the coefficient of determination for the PCR (78.2%) showed a

negligible decrease compared to the multiple regression model. However, the adjusted coefficient of determination properly improved to 71.7%. By considering the PCR model as the final model of predicting rainfed barley annual yield, the cross-validation results of this model led to obtaining $R^2=58.5\%$ and $RMSE=572.3$ kg/hect (equal to 22% of the mean of annual yield).

Conclusion: The overall results of this research showed that applying different drought indices could lead to increase in the explained variance of rainfed barley annual yield. The overall results of this research showed that the occurrence of drought during the emerge-tillering stage does not have a considerable impact on the rainfed barley annual yield. With respect to the higher role of the tillering-stem stage in the regression models, this stage was detected as the most important effective period on the rainfed barley annual yield. Therefore, among different growth stages, occurring drought in the tillering-stem period is expected to lead to a lesser amount of annual yield.

Cite this article: Khoshkhoo, Younes. 2022. Feasibility study of rainfed barley annual yield prediction based on different drought indices. *Journal of Water and Soil Conservation*, 29 (2), 1-24.




© The Author(s).

DOI: 10.22069/jwsc.2022.20549.3579

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

امکان‌سنجی پیش‌بینی میزان عملکرد سالانه جو دیم بر اساس شاخص‌های مختلف خشک‌سالی

یونس خوشخو* 

۱. نویسنده مسئول، استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران. رایانامه: y.khoshkho@uok.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی- پژوهشی	سابقه و هدف: در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک که کشت دیم از اهمیت و جایگاه بالایی برخوردار است لازم است به طور ویژه‌ای ضمن بررسی فاکتورهای مؤثر بر عملکرد محصولات دیم، پیش‌بینی آن نیز مورد توجه قرار گیرد. در این میان، توجه ویژه به گیاهان زراعی تحمل‌پذیر مانند جو اجتناب‌ناپذیر است. پژوهش حاضر با هدف امکان‌سنجی پیش‌بینی میزان عملکرد سالانه جو دیم بر اساس چند شاخص خشک‌سالی در یک اقلیم نیمه‌خشک به انجام رسید.
تاریخ دریافت: ۰۱/۰۴/۰۱ تاریخ ویرایش: ۰۱/۰۵/۱۷ تاریخ پذیرش: ۰۱/۰۵/۳۰	مواد و روش‌ها: با محاسبه سه شاخص خشک‌سالی SPEI، EDDI و SPI برای چهار دوره رشد جو دیم شامل کاشت- سبز شدن، سبز شدن- پنبه‌زنی، پنبه‌زنی- ساقه‌دهی و ساقه‌دهی- گل‌دهی در ایستگاه سرارود کرمانشاه، ۱۲ سری زمانی از مقادیر این شاخص‌ها طی دوره آماری ۲۰۱۵-۲۰۰۰ استخراج گردید. جهت ارزیابی ارتباط کلی بین شاخص‌های خشک‌سالی و عملکرد سالانه جو دیم از جدول متقاطع استفاده شد و جهت مدل‌سازی میزان عملکرد سالانه جو دیم بر اساس شاخص‌های خشک‌سالی، در وهله اول از مدل رگرسیون چندگانه خطی مبتنی بر شناسایی بهترین زیرمجموعه و در مرحله تکمیلی از مدل رگرسیون مبتنی بر مؤلفه‌های اصلی (PCR) استفاده شد. فرایند مدل‌سازی رگرسیون خطی چندگانه با در نظر گرفتن دو رویکرد کلی شامل استفاده از هر شاخص خشک‌سالی بصورت واحد و استفاده تلفیقی از سه شاخص مختلف انجام شد.
واژه‌های کلیدی: اعتبارسنجی متقابل، ایستگاه سرارود، شاخص EDDI، شاخص SPEI، مدل PCR	یافته‌ها: بر اساس نتایج حاصل از جدول متقاطع، ارتباط مناسبی بین عملکرد سالانه جو دیم و شاخص‌های خشک‌سالی مشاهده شد و نتیجه‌گیری شد که این پتانسیل وجود دارد که از شاخص‌های خشک‌سالی جهت پیش‌بینی عملکرد سالانه جو دیم استفاده شود. نتایج حاصل از به‌کارگیری هر شاخص خشک‌سالی به‌صورت واحد نشان داد که بالاترین ضریب تعیین بین عملکرد سالانه جو دیم با شاخص‌های خشک‌سالی با در نظر گرفتن SPEI (۶۳/۶ درصد) و

کم‌ترین مقدار آن با در نظر گرفتن EDDI (۵۴/۱ درصد) و برای شاخص SPI (۶۲/۴ درصد) در حد بینابین آن‌ها حاصل آمد که این شاخص‌ها برای SPEI و SPI طی دوره‌های کاشت-سبزشدن و پنجه‌زنی-ساقه‌دهی و برای EDDI طی دوره‌های کاشت-سبزشدن و ساقه‌دهی-گل‌دهی در مدل حضور یافتند. نتایج حاصل از به کارگیری تلفیقی هر سه شاخص خشک‌سالی نشان داد که بهترین مدل رگرسیون چندگانه خطی با ضریب تعیین ۷۸/۷ درصد و ضریب تعیین تعدیل شده ۶۹/۲ درصد با حضور شاخص SPEI در دوره‌های پنجه‌زنی-ساقه‌دهی و ساقه‌دهی-گل‌دهی و هم‌چنین شاخص EDDI در دوره‌های کاشت-سبزشدن و پنجه‌زنی-ساقه‌دهی حاصل آمد اما بالا بودن شاخص تورم واریانس (VIF) ضرورت به کارگیری مدل رگرسیونی مبتنی بر مؤلفه‌های اصلی (PCR) را آشکار ساخت. نتایج حاصل از به کارگیری مدل PCR جهت مدل‌سازی عملکرد سالانه جو دیم نشان داد که ضریب تعیین مدل در این حالت در مقایسه با مدل رگرسیون خطی چندگانه با افتی ناچیز به ۷۸/۲ درصد رسید اما ضریب تعیین تعدیل شده به ۷۱/۷ درصد بهبود یافت. با در نظر گرفتن مدل PCR به‌عنوان مدل نهایی پیش‌بینی عملکرد سالانه جو دیم و با بکارگیری روش اعتبارسنجی متقابل جهت سنجش قابلیت پیش‌بینی این مدل، مقدار دو شاخص R^2 و RMSE به ترتیب برابر با ۵۸/۵ درصد و ۵۷۲/۳ کیلوگرم در هکتار (معادل با ۲۲ درصد میانگین عملکرد سالانه جو دیم) حاصل آمد.

نتیجه‌گیری: نتایج کلی این پژوهش نشان داد که بکارگیری شاخص‌های خشک‌سالی با ماهیت متفاوت می‌تواند سبب افزایش توجه‌پذیری واریانس عملکرد سالانه جو دیم گردد. بر اساس نتایج کلی حاصل از این پژوهش، وقوع یا عدم وقوع خشک‌سالی در دوره سبزشدن-پنجه‌زنی تأثیر قابل‌توجهی بر میزان عملکرد سالانه جو دیم ندارد و با توجه به آنکه دوره پنجه‌زنی-ساقه‌دهی نقش پررنگ‌تری در مدل‌ها داشت به‌عنوان بااهمیت‌ترین دوره مؤثر بر میزان عملکرد سالانه جو دیم شناسایی شد. بنابراین در سال‌هایی که خشک‌سالی در دوره پنجه‌زنی-ساقه‌دهی رخ دهد انتظار افت عملکرد سالانه بیش‌تری در مقایسه با وقوع خشک‌سالی در سایر دوره‌ها می‌توان داشت.

استناد: خوشخو، یونس (۱۴۰۱). امکان‌سنجی پیش‌بینی میزان عملکرد سالانه جو دیم بر اساس شاخص‌های مختلف خشک‌سالی.

پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲۹ (۲)، ۲۴-۱.

DOI: 10.22069/jwsc.2022.20549.3579



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

رشد فزاینده جمعیت و موضوع تأمین امنیت غذایی در سطح جهانی همواره به‌عنوان یک چالش اساسی و مهم مطرح بوده است (۱ و ۲). تأسیس سازمان خواروبار و کشاورزی ملل متحد (FAO^۱) در سال ۱۹۴۵ و فعالیت مستمر و اقدامات گسترده آن از چند دهه گذشته تاکنون در راستای پرداختن به این چالش و تلاش جهت رفع و تعدیل آن بوده است. در کنار رشد جمعیت جهان، عواملی مانند وقوع تغییرات اقلیمی، وقوع ناامنی‌ها و بی‌ثباتی‌ها در مقیاس جهانی و ... به نگرانی‌های فزاینده در این خصوص دامن زده است. پرداختن به بحث امنیت غذایی در مناطق با اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک از اهمیت بیش‌تری برخوردار است. با توجه به این‌که بخش وسیعی از ایران دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک است و در چنین اقلیم‌هایی به دلیل مشکل کم‌آبی کشت دیم از اهمیت و جایگاه بالایی برخوردار است لازم است به‌طور ویژه‌ای ضمن بررسی عوامل و فاکتورهای مؤثر بر عملکرد محصولات دیم، پیش‌بینی آن نیز مورد اهتمام و توجه قرار گیرد. در این میان، توجه ویژه به گیاهان زراعی مانند جو که تحمل آن‌ها نسبت به تنش‌های محیطی بیش‌تر است اجتناب‌ناپذیر است (۳). عوامل اقلیمی جزو مهم‌ترین عوامل مؤثر بر تغییرپذیری‌های سالانه میزان عملکرد محصولات محسوب می‌شوند (۴) و شناخت عوامل اقلیمی و اثرات آن‌ها روی گیاهان و به‌طور ویژه روی محصولات دیم یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر افزایش یا کاهش عملکرد است (۵). به‌عنوان نمونه میزان تابش خالص جذب‌شده توسط گیاه طی دوره‌های مختلف رشد به‌طور چشم‌گیری بر میزان بیوماس و عملکرد نهایی محصول اثرگذار است (۶) و (۷). تنش‌های محیطی ناشی از وقوع خشک‌سالی‌ها نیز

یکی از مهم‌ترین عوامل اثرگذار بر عملکرد محصولات زراعی به‌حساب می‌آیند. به‌طور خاص‌تر در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک که هم ضریب تغییرات بارش بالاتر است و هم فراوانی وقوع و شدت خشک‌سالی‌ها بیش‌تر است عملکرد سالانه محصولات کشاورزی به‌ویژه جو و گندم از عوامل اقلیمی و تنش‌های محیطی اثرپذیری بیش‌تری دارد (۸). مطالعات پیشین بیانگر آن است که تغییرپذیری‌های سالانه در فراوانی و شدت خشک‌سالی میزان عملکرد محصولات دیم را به‌طور قابل‌توجهی تحت‌تأثیر قرار می‌دهد (۹). از آن‌جایی‌که وقوع خشک‌سالی با کمبود بارش آغاز شده و پیامدهای بعدی دیگری از جمله کاهش رطوبت خاک را با خود به همراه دارد بنابراین اثرات قابل‌توجهی می‌تواند بر میزان عملکرد محصولات دیم داشته باشد به‌گونه‌ای که با سوق دادن رطوبت منطقه توسعه ریشه گیاه به پایین‌تر از نقطه پژمردگی و در پی آن کمبود آب قابل‌دسترس گیاه و در نتیجه بسته شدن روزنه‌ها و کاهش یا توقف فتوسنتز سبب افت عملکرد محصول می‌شود (۱۰). خشک‌سالی هم‌چنین ظرفیت جذب تابش فعال فتوسنتزی را توسط سطح تاج‌پوشش گیاه کاهش می‌دهد و از این طریق نیز می‌تواند بر روی کاهش عملکرد محصول اثرگذار باشد (۱۱). در پژوهش‌های پیشین از برخی شاخص‌های خشک‌سالی مانند SPI، SPEI و SPDI بعنوان ابزارهایی کارا و مؤثر جهت ارزیابی اثرات خشک‌سالی بر رشد و عملکرد محصولات مختلف دیم در مناطق مختلف جهان از جمله استرالیا (۱۲)، اروپا (۱۳)، آسیا (۱۴) و آمریکا (۱۱) استفاده شده است. در زمره پژوهش‌های انجام شده در ایران نیز می‌توان از مدل‌سازی عملکرد گندم و جو دیم بر اساس شاخص‌های خشک‌سالی و متغیرهای هواشناسی (۸)، بررسی اثرات خشک‌سالی بر عملکرد گندم آبی و دیم در منطقه بجنورد (۱۵)،

1- Food and Agriculture Organization of the United Nations

گردد و ارزیابی شود که با بهینه‌سازی اثر تلفیقی این چند شاخص خشک‌سالی، تغییرپذیری‌های سال به سال عملکرد محصول تا چه اندازه می‌تواند با استفاده از این شاخص‌های خشک‌سالی توجیه گردد.

مواد و روش‌ها

در ایستگاه‌های هواشناسی کشاورزی که وابسته به سازمان هواشناسی کشور بوده و به‌صورت یک شبکه هماهنگ در سراسر کشور فعال هستند در کنار اندازه‌گیری متغیرهای مختلف هواشناسی، دیدبانی‌های فنولوژیکی و اندازه‌گیری‌های بیومتری نیز به‌طور منظم برای محصولات استراتژیک و غالب هر منطقه طی مراحل مختلف رشد گیاه از کاشت تا برداشت تحت استانداردهای به‌خصوصی انجام می‌شود. داده‌های حاصل از این ایستگاه‌ها را می‌توان جزو تخصصی‌ترین مرجع داده‌های مربوط به مراحل مختلف رشد و عملکرد گیاهان در ایران دانست. اندازه‌گیری میزان عملکرد محصولات زراعی در این ایستگاه‌ها مبتنی بر کاشت گیاه در کرت‌های متعدد بوده و محاسبه عملکرد نهایی محصول با میانگین‌گیری از این کرت‌ها و با دقت بالایی صورت می‌گیرد. ایستگاه سرارود کرمانشاه به طول جغرافیایی ۱۷° ۴۷' شرقی، عرض جغرافیایی ۳۴° ۲۰' شمالی و ارتفاع ۱۳۶۱/۷ متر از تراز سطح دریا یکی از قدیمی‌ترین ایستگاه‌های هواشناسی کشاورزی کشور است که در سیستم طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن دارای اقلیم نیمه‌خشک بوده و تمرکز آن بر روی دو محصول استراتژیک غرب کشور (گندم دیم و جو دیم) است. در مطالعه حاضر که معطوف به مدل‌سازی عملکرد سالانه جو دیم بر اساس داده‌های اندازه‌گیری‌شده در ایستگاه سرارود است در کنار در نظر گرفتن داده‌های روزانه متغیرهای مختلف هواشناسی شامل دمای هوا،

بررسی اثر خشک‌سالی هواشناسی- کشاورزی بر عملکرد گندم دیم در ایران با استفاده از شاخص SPEI (۵)، ارزیابی شاخص خشک‌سالی رطوبت محصول بر عملکرد گندم دیم در حوضه آبریز سیمینه‌رود (۱۶) و مدل‌سازی عملکرد چند محصول دیمی با استفاده از رگرسیون بردار پشتیبان و برنامه‌ریزی ژنتیک (۱۷) اشاره کرد. از آنجایی‌که درجه تأثیر خشک‌سالی بر میزان عملکرد محصولات دیم به عواملی مانند نوع محصول و مرحله رشد گیاه مرتبط است (۱۸) برای بررسی اثرات خشک‌سالی بر عملکرد سالانه محصولات دیم منطقی‌تر به نظر می‌رسد که شاخص‌های خشک‌سالی طی مراحل مختلف رشد استخراج شده و اثرات خشک‌سالی طی دوره‌های مختلف رشد بر عملکرد سالانه محصول مورد بررسی و مدل‌سازی قرار گیرد. به‌عنوان نمونه جونگرانک و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کرده‌اند که تنش‌های ناشی از خشک‌سالی‌های اواسط دوره رشد تأثیر بیش‌تری بر کاهش عملکرد محصول دارند (۱۹). در کنار استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی سیستم خاک- گیاه- اتمسفر (SVAT)^۱ که نیاز به داده‌های ورودی بسیار زیاد و با جزئیات بالایی دارند و به‌کارگیری آن‌ها در عمل با محدودیت‌هایی همراه است روش‌های آماری مبتنی بر تحلیل‌های چندمتغیره نیز از قابلیت مناسبی جهت انجام چنین تحلیل‌هایی برخوردارند. در پژوهش حاضر سعی شده است با یک نگرشی نو و مبتنی بر در نظر گرفتن هم‌زمان و تلفیقی چند شاخص خشک‌سالی که از جنبه‌های متفاوتی پدیده خشک‌سالی را مد نظر قرار می‌دهند و محاسبه مقدار آن‌ها طی مراحل مختلف رشد محصول (دوره‌های کاشت- سبزشدن، سبزشدن- پنجه‌زنی و ...) جهت پیش‌بینی عملکرد سالانه یک محصول دیم با به‌کارگیری تحلیل‌های آماری چندمتغیره استفاده

معین از رشد گیاه (شامل کاشت- سبز شدن، سبز شدن- پنجه‌زنی، پنجه‌زنی- ساقه‌دهی و ساقه‌دهی- گل‌دهی) طی سال‌های مختلف استخراج شدند و برای هر کدام از این دوره‌های رشد، یک سری زمانی از شاخص‌های خشک‌سالی مذکور طی دوره آماری ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ تهیه شد. با انجام این کار در مجموع ۱۲ سری زمانی از شاخص‌های خشک‌سالی (با در نظر گرفتن ۴ دوره مختلف رشد گیاه و ۳ شاخص خشک‌سالی) طی دوره آماری مذکور استخراج شد که در حقیقت نقش متغیرهای پیش‌بینی‌کننده را برای متغیر هدف (که همان عملکرد سالانه جو دیم است) ایفاء کردند. سؤال اساسی در این بخش این بود که شاخص‌های خشک‌سالی مذکور در وهله اول به‌صورت تک‌تک و در وهله دوم به‌صورت تلفیقی (استفاده هم‌زمان از هر سه شاخص خشک‌سالی به‌طور یکجا) تا چه اندازه قادر به پیش‌بینی میزان عملکرد سالانه جو دیم هستند و چند درصد از واریانس عملکرد سالانه جو دیم توسط آن‌ها قابل توجیه است؟ جهت مدل‌سازی میزان عملکرد سالانه جو دیم بر اساس شاخص‌های خشک‌سالی مذکور از دو رویکرد کلی شامل استفاده از هر شاخص خشک‌سالی به‌صورت واحد و استفاده تلفیقی و هم‌زمان از هر سه شاخص خشک‌سالی بهره گرفته شد. در هر دو رویکرد فوق، مقادیر شاخص‌های خشک‌سالی برای ۴ دوره مختلف از رشد گیاه طی دوره آماری ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ استخراج شدند و از آن‌ها جهت پیش‌بینی عملکرد سالانه جو دیم استفاده شد.

برای محاسبه شاخص‌های خشک‌سالی در این پژوهش از سه شاخص SPEI (مبتنی بر بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل)، EDDI (مبتنی بر تبخیر و تعرق پتانسیل) و SPI (مبتنی بر بارش) جهت مدل‌سازی و

بارش، سرعت باد، طول ساعات آفتابی و رطوبت نسبی، داده‌های عملکرد سالانه جو دیم طی سال‌های زارعی ۲۰۰۰-۱۹۹۹ تا ۲۰۱۵-۲۰۱۴ و همچنین تاریخ وقوع مراحل مختلف فنولوژیک رشد گیاه (شامل دوره‌های کاشت- سبز شدن^۱، سبز شدن- پنجه‌زنی^۲، پنجه‌زنی- ساقه‌دهی^۳ و ساقه‌دهی- گل‌دهی^۴) طی دوره مذکور نیز جمع‌آوری و مورد استفاده قرار گرفته‌اند. با توجه به این‌که از بین سه شاخص خشک‌سالی در نظر گرفته‌شده در این تحقیق (شاخص‌های SPEI^۵، EDDI^۶ و SPI^۷)، جهت محاسبه دو شاخص SPEI و EDDI لازم است که تبخیر و تعرق پتانسیل محاسبه شود بنابراین از داده‌های هواشناسی در وهله اول جهت محاسبه مقادیر روزانه تبخیر و تعرق پتانسیل به روش فائو-پنمن-مانتیت و در ادامه جهت استخراج شاخص‌های خشک‌سالی در گام‌های زمانی مختلف (یک‌ماهه، دو‌ماهه، سه‌ماهه و ...) استفاده شد. با توجه به این‌که هدف از انجام این پژوهش، مدل‌سازی عملکرد سالانه جو دیم بر اساس شاخص‌های مختلف خشک‌سالی طی مراحل مختلف رشد بوده است بنابراین با در نظر گرفتن تاریخ‌های وقوع مراحل مختلف فنولوژی جو دیم طی سال‌های مختلف، بسته به طول هر مرحله فنولوژی، مقدار شاخص خشک‌سالی در گام زمانی متناسب با طول آن دوره از رشد استخراج شد و مبنای تحلیل‌های بعدی قرار گرفت. بر این اساس، در وهله اول مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل و در ادامه شاخص‌های خشک‌سالی SPEI، EDDI و SPI برای هر دوره

- 1- Sowing-emerge
- 2- Emerge-tillering
- 3- Tillering-stem elongation
- 4- Stem elongation-flowering
- 5- Standardized Precipitation Evapotranspiration Index
- 6- Evaporative Demand Drought Index
- 7- Standardized Precipitation Index

جهت محاسبه شاخص SPI ابتدا تابع چگالی احتمال گاما^۱ بر سری زمانی بارش در هر گام زمانی دلخواه (یک‌ماهه، دوماهه، سه‌ماهه و ...) که محاسبه شاخص SPI برای آن گام زمانی مدنظر باشد برآزش داده می‌شود سپس شاخص SPI بر اساس روابط ۱ و ۲ (که در واقع مبتنی بر یک تقریب می‌باشند) قابل محاسبه است (۲۰):

$$SPI = -\left(t - \frac{C_0 + C_1 t + C_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}\right) \quad \text{for } 0 < H(x) \leq 0.5 \quad (1)$$

$$SPI = +\left(t - \frac{C_0 + C_1 t + C_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}\right) \quad \text{for } 0.5 < H(x) < 1 \quad (2)$$

یکی از دو رابطه ۳ یا ۴ به دست می‌آید:

$$t = \sqrt{\ln \left[\frac{1}{(H(x))^2} \right]} \quad \text{for } 0 < H(x) \leq 0.5 \quad (3)$$

$$t = \sqrt{\ln \left[\frac{1}{(1-H(x))^2} \right]} \quad \text{for } 0.5 < H(x) < 1 \quad (4)$$

(ET0_i) در آن گام زمانی محاسبه می‌شود (D_i = P_i - ET0_i) سپس احتمال تجمعی مقادیر D_i با برآزش دادن یک تابع چگالی احتمال (به‌طور معمول تابع لوگ لجستیک^۲) بر اساس روابط زیر محاسبه می‌شود (۲۱):

پیش‌بینی عملکرد سالانه جو دیم استفاده شده است. مبنای در نظر گرفتن این سه شاخص خشک‌سالی، مبتنی بودن آن‌ها بر اساس متغیرهای متفاوت بوده است و فرضیه اولیه بر این اساس شکل گرفت که با توجه به ساختار متفاوت این سه شاخص، انتظار بر آن است که هر کدام از آن‌ها بتوانند جنبه‌های متفاوتی از میزان عملکرد سالانه جو دیم را توجیه کنند و در نتیجه استفاده تلفیقی از آنها بتواند منجر به بهبود مدل‌سازی عملکرد سالانه جو دیم گردد.

که در آن، H(x) توزیع تجمعی گاما است و t نیز بسته به مقدار احتمال تجمعی بر اساس توزیع گاما از

ضرایب C₀، C₁، C₂، d₁، d₂ و d₃ نیز ضرایب ثابت معادله هستند و مقادیر آن‌ها به ترتیب برابر با ۰/۵۱۵۵۱۷، ۰/۸۰۲۸۵۳، ۰/۰۱۰۳۲۸، ۰/۴۳۲۷۸۸، ۰/۱۸۹۲۶۹ و ۰/۰۱۳۰۸ لحاظ می‌شود.

جهت محاسبه شاخص SPEI در هر گام زمانی دلخواه i (یک‌ماهه، دوماهه و ...) ابتدا اختلاف بین مقادیر تجمعی بارش (P_i) و تبخیر و تعرق پتانسیل

1- Gamma
2- Log-logistic

$$F(x) = \left[\left(1 + \left(\frac{\alpha}{x-\gamma} \right)^\beta \right) \right]^{-1} \quad (5)$$

$$SPEI = W - \frac{C_0 + C_1W + C_2W^2}{1 + d_1W + d_2W^2 + d_3W^3} \quad (6)$$

W با در نظر گرفتن رابطه $P(D) = 1 - F(x)$ و برای حالتی که $0 < P(D) \leq 0.5$ باشد از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$W = \sqrt{-2 \ln P(D)} \quad (7)$$

چندماهه و ... با به‌کارگیری تابع توکی^۱ تجربی محاسبه می‌شود (۲۵) سپس مشابه با محاسبه شاخص SPEI، از رابطه ۶ برای محاسبه شاخص EDDI نیز استفاده می‌شود تنها با این تفاوت که در محاسبه شاخص EDDI به جای به‌کارگیری $P(D)$ از $P(ET_0)$ استفاده می‌شود (۲۲).

محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل (ET_0): تبخیر و تعرق پتانسیل با استفاده از روش استاندارد فائو-پنمن-مانتیت بر اساس معادله زیر محاسبه شد (۲۳):

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G_s) + \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad (8)$$

بر حسب $(Mj.m^{-2}.day^{-1})$ ، T میانگین دمای هوا بر حسب $^{\circ}C$ ، U_2 سرعت باد در ارتفاع ۲ متری بر حسب (m/s) ، e_s و e_a به ترتیب فشار بخار

که در آن‌ها، $F(x)$ تابع توزیع احتمال تجمعی سری زمانی D_i (به تعبیری دیگر احتمال تجاوز از یک مقدار D_i معین) است و پارامترهای α ، β و γ نیز پارامترهای تجربی تابع توزیع احتمال هستند. مقدار

برای حالتی که $P(D) > 0.5$ باشد نیز کافیست در رابطه فوق ابتدا به جای $P(D)$ مقدار $1 - P(D)$ را جایگزین کرد سپس بعد از قرار دادن W حاصله در رابطه ۶، علامت SPEI باید عوض شود (اگر منفی است مثبت شود و برعکس). مقادیر ضرایب C_0 ، C_1 ، C_2 ، d_1 و d_2 نیز همان مقادیری هستند که برای شاخص SPI لحاظ شدند.

جهت محاسبه شاخص EDDI نیز پس از محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل (به روش فائو-پنمن-مانتیت)، مقادیر احتمال تجمعی تبخیر و تعرق پتانسیل $P(ET_0)$ در هر بازه زمانی دلخواه (هفتگی، یک‌ماهه،

که در آن، ET_0 تبخیر و تعرق پتانسیل بر حسب (mm/day) ، R_n تابش خالص بر حسب $(Mj.m^{-2}.day^{-1})$ ، G_s چگالی شار گرمایی خاک

1- Tukey

مطابقت و تحلیل قرار گرفت. برای هر سه شاخص خشک‌سالی، ۵ طبقه مذکور به ترتیب با در نظر گرفتن مقادیر کم‌تر از $-1/5$ ، $-1/5$ تا $-0/5$ ، $-0/5$ تا $+0/5$ ، $+0/5$ تا $+1/5$ و مقادیر بیش‌تر از $+1/5$ در نظر گرفته شدند. هرچه تطابق بالاتری بین طبقات متناظر با هم شاخص‌های خشک‌سالی و عملکرد سالانه وجود داشته باشد نشان‌دهنده میزان بیش‌تری از هم‌روندی بین این دو متغیر با یکدیگر و در نتیجه ارتباط قوی‌تر بین آن‌هاست. سنجش میزان تطابق بین طبقات هم با به‌کارگیری روش‌هایی مثل شاخص کاپای وزنی کوهن (۲۶) و هم با محاسبه روش‌های مبتنی بر محاسبه درصد‌های فراوانی نسبی امکان‌پذیر است که در پژوهش حاضر از محاسبه مجموع درصد‌های فراوانی نسبی در دو حالت مطابقت کامل و مطابقت با یک طبقه اختلاف استفاده شد.

پس از کسب اطمینان از وجود درجه مناسبی از ارتباط کلی بین شاخص‌های خشک‌سالی با عملکرد سالانه جو دیم با بهره‌گیری از جدول متقاطع، جهت مدل‌سازی عملکرد سالانه جو دیم بر اساس شاخص‌های خشک‌سالی در وهله اول از مدل رگرسیون چندگانه خطی مبتنی بر شناسایی بهترین زیرمجموعه^۲ از متغیرهای پیش‌بینی‌کننده (با این قید که تمامی متغیرهای موجود در مدل دارای اثر معنی‌داری در سطح اطمینان $\alpha=0/1$ بر روی عملکرد سالانه جو دیم باشند) و در مرحله تکمیلی و نهایی، از مدل رگرسیون مبتنی بر مؤلفه‌های اصلی (PCR^۳) بهره گرفته شد. در مدل PCR که با هدف از بین بردن همبستگی بین متغیرهای مستقل انجام می‌شود ابتدا داده‌های اولیه با به‌کارگیری روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA^۴) به چندین مؤلفه متعامد و غیرهمبسته (که این مؤلفه‌ها در واقع یک ترکیب خطی از متغیرهای اولیه هستند) تبدیل می‌شوند سپس مدل

اشباع و فشار بخار واقعی بر حسب (kpa) ، Δ شیب منحنی فشار بخار در مقابل درجه حرارت بر حسب $(kPa \cdot ^\circ C^{-1})$ و γ ثابت سایکرومتری بر حسب $(kPa \cdot ^\circ C)$ است (۲۴).

تحلیل‌های آماری به‌صورت سلسله مراتبی و در سه مرحله کلی شامل به‌کارگیری جدول متقاطع، استفاده از رگرسیون خطی چندمتغیره و استفاده از رگرسیون مبتنی بر مؤلفه‌های اصلی انجام شد. قبل از انجام مدل‌سازی عملکرد سالانه جو دیم بر اساس مقادیر شاخص‌های خشک‌سالی طی دوره‌های مختلف رشد گیاه، به جهت انجام یک ارزیابی اولیه از چگونگی ارتباط کلی بین شاخص‌های خشک‌سالی با عملکرد جو دیم، ابتدا مقادیر شاخص‌های خشک‌سالی با گام زمانی ۶ ماهه (طی دوره کاشت تا گل‌دهی که به‌طور متوسط یک دوره شش ماهه بین ماه‌های نوامبر تا آوریل را شامل می‌شود) طی سال‌های مختلف استخراج شدند و ارتباط آن‌ها با عملکرد سالانه جو دیم با استفاده از جدول متقاطع^۱ مورد ارزیابی قرار گرفت. از جدول متقاطع در پژوهش‌های متنوعی از جمله توسط ویسته سرانو و همکاران (۲۰۱۵) جهت ارزیابی میزان هم‌روندی بین شاخص خشک‌سالی SPEI با شاخص NDVI استفاده شده است (۲۵). شیوه استفاده از جدول متقاطع در پژوهش حاضر بدین گونه بود که ابتدا عملکرد سالانه جو دیم بسته به دامنه تغییرپذیری آن طی دوره آماری ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ به ۵ طبقه مختلف شامل عملکرد پایین، عملکرد نسبتاً پایین، عملکرد نرمال، عملکرد نسبتاً بالا و عملکرد بالا دسته‌بندی شد و درصد فراوانی نسبی هر طبقه با درصد فراوانی نسبی ۵ طبقه مختلف خشک‌سالی (شامل خشک‌سالی شدید، خشک‌سالی متوسط، شرایط نرمال، ترسالی متوسط و ترسالی شدید) در قالب یک جدول به‌صورت متقاطع مورد

2- Best subset

3- Principal Components Regression

4- Principal Components Analysis

1- Cross Tabulation

فرایند واسنجی و اعتبارسنجی مدل، تمامی داده‌های موجود نقش دارند (۲۷). برای به‌کارگیری این روش که برای هر کدام از مدل‌های رگرسیونی به تفکیک و طی مراحل گوناگونی انجام شد در هر مرحله داده‌های مربوط به یک سال مشخص حذف شد و مدل رگرسیونی بر اساس سال‌های باقی‌مانده ساخته شد و از این مدل رگرسیونی ساخته‌شده برای پیش‌بینی عملکرد سالانه جو دیم برای آن سالی که داده‌های آن حذف شده بود استفاده شد. این فرایند به تعداد کل سال‌ها و برای هر مدل رگرسیونی به تفکیک انجام شد و در نهایت درجه تطابق مقادیر پیش‌بینی‌شده عملکرد سالانه جو دیم که برای هر کدام از سال‌ها توسط یک مدل رگرسیونی مخصوص به خود برآورد شده بود با به‌کارگیری شاخص‌های آماری با مقادیر واقعی مورد مقایسه قرار گرفت. جهت سنجش عملکرد مدل‌های رگرسیونی از دو شاخص ریشه میانگین مربعات خطا^۴ (RMSE) و ضریب تعیین (R^2) مطابق با روابط زیر استفاده شد که در آن‌ها C_i و O_i به ترتیب مقادیر محاسباتی و مشاهداتی، n تعداد کل داده‌ها و \bar{C} و \bar{O} هم به ترتیب میانگین مقادیر محاسباتی و مشاهداتی هستند.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (C_i - O_i)^2}{n}} \quad (9)$$

$$R^2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (C_i - \bar{C})(O_i - \bar{O})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (C_i - \bar{C})^2 \sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2}} \right)^2 \quad (10)$$

رگرسیون خطی چندگانه بر روی این مؤلفه‌های اصلی اعمال می‌گردد. دلیل به‌کارگیری مدل PCR در این پژوهش وجود همبستگی بالای بین برخی از متغیرهای مستقل پیش‌بینی‌کننده (شاخص‌های مختلف خشک‌سالی) بود که سبب بالا رفتن شاخص عامل تورم واریانس^۱ (VIF) و به‌وجود آمدن اثر همراستایی چندگانه^۲ گردید. مقدار شاخص VIF در حالت مطلوب خود که نشان‌دهنده عدم وجود مشکل همراستایی چندگانه است حول و حوش عدد ۱ می‌باشد و هرچه این شاخص مقدار بیش‌تری به خود اختصاص دهد نشان‌دهنده همبستگی بالاتر بین متغیرهای مستقل موجود در مدل و در نتیجه شدیدتر بودن اثر همراستایی خطی چندگانه می‌باشد. بالا رفتن شاخص VIF می‌تواند مدل رگرسیون چندگانه خطی را از درجه اعتبار ساقط کند. در مدل PCR چون متغیرهای اولیه تبدیل به مؤلفه‌های جدید و غیرهمبسته می‌شوند بنابراین پایین آوردن شاخص VIF، مشکل همراستایی چندگانه توسط این روش حل می‌شود.

جهت سنجش درجه اعتبار مدل‌های پیش‌بینی عملکرد سالانه جو دیم بر اساس شاخص‌های خشک‌سالی از روش اعتبارسنجی متقابل^۳ بهره گرفته شد. نقطه قوت اصلی این روش آن است که در هر دو

-
- 1- Variance Inflation Factor
 - 2- Colinearity
 - 3- Cross validation
 - 4- Root of Mean Square Error

نتایج و بحث

نتایج حاصل از به‌کارگیری جدول متقاطع جهت ارزیابی درجه همروندی و ارتباط بین شاخص‌های خشک‌سالی با میزان عملکرد سالانه جو دیم در جدول ۱ منعکس شده است. بر اساس اعداد داخل این جدول که معرف درصد فراوانی نسبی هستند می‌توان تشخیص داد که تغییرپذیری شاخص‌های خشک‌سالی طی سال‌های مختلف تا چه اندازه با تغییرپذیری عملکرد سالانه جو دیم هم‌نوا و هم‌روند بوده است. حالت ایده‌آل از ارتباط بین این دو متغیر زمانی رخ می‌دهد که در تمامی سال‌ها، حالت خشک‌سالی شدید با عملکرد پایین، خشک‌سالی متوسط با عملکرد متوسط، شرایط نرمال خشک‌سالی با عملکرد نرمال، ترسالی متوسط با عملکرد نسبتاً بالا و ترسالی شدید با عملکرد بالا همراه باشد. بر این اساس، به عنوان مثال برای سال‌هایی که وضعیت خشک‌سالی در شرایط نرمال بوده است حالت ایده‌آل زمانی رخ می‌دهد که درصد فراوانی نسبی در جدول متقاطع برای عملکرد نرمال بیش‌ترین مقدار و برای چهار طبقه دیگر (عملکردهای پایین، نسبتاً پایین، نسبتاً بالا و بالا) برابر با صفر باشد. از آنجایی که چنین حالت ایده‌آلی به‌ندرت رخ می‌دهد هرچه اختلاف بین طبقات خشک‌سالی و طبقات عملکرد کم‌تر باشد نشان‌دهنده همروندی بیش‌تر و ارتباط قوی‌تر بین این دو متغیر است. در جدول ۱ درصدهای فراوانی نسبی برای همه طبقات خشک‌سالی و عملکرد به‌صورت متقاطع نشان داده شده است. ستون آخر و سطر آخر این جدول نیز به ترتیب بیانگر مجموع درصد فراوانی نسبی شاخص خشک‌سالی در هر طبقه و مجموع درصد فراوانی نسبی عملکرد سالانه جو دیم در هر طبقه می‌باشد. با ارزیابی میزان مطابقت کلی بین طبقات مختلف شاخص خشک‌سالی و عملکرد سالانه جو دیم در این جدول دیده می‌شود که به‌عنوان مثال در ۴۲/۹٪ از

سال‌ها که شاخص خشک‌سالی SPEI حاکم بودن شرایط خشک‌سالی متوسط را نشان داده است در طی این سال‌ها در ۱۴/۳٪، ۲۱/۴٪ و ۷/۱٪ موارد عملکرد سالانه جو دیم به‌ترتیب پایین، نسبتاً پایین و نرمال بوده است. چون به لحاظ طبقه‌بندی انجام شده، شرایط خشک‌سالی متوسط با عملکرد نسبتاً پایین متناظر است بنابراین حالت ایده‌آل از وجود ارتباط قوی بین این دو متغیر زمانی رخ می‌دهد که در تمامی طی سال‌هایی که خشک‌سالی متوسط حاکم بوده است عملکرد هم نسبتاً پایین باشد. دیده می‌شود که از ۴۲/۹ درصد کل، در نیمی از حالات (۲۱/۴ درصد) خشک‌سالی متوسط با عملکرد نسبتاً پایین همراه بوده است که به معنای مطابقت طبقاتی کامل بین این دو متغیر است و برای نصف حالات باقی‌مانده هم که شامل ۱۴/۳ درصد با عملکرد پایین و ۷/۱ درصد با عملکرد نرمال بوده است چون این دو طبقه هر دو در مجاورت عملکرد نسبتاً پایین هستند و هر دو تنها یک طبقه با آن اختلاف دارند بنابراین می‌توان گفت که در مجموع همروندی و ارتباط مناسبی در این حالت بین این دو متغیر وجود داشته است. به همین منوال، درجه مطابقت بین طبقات مختلف عملکرد با طبقات مختلف خشک‌سالی بر اساس هر سه شاخص خشک‌سالی به تفکیک محاسبه شد و مشاهده شد که با در نظر گرفتن همه حالات متناظر با هم، در هیچ حالتی حداکثر اختلاف بین طبقات عملکرد با طبقات خشک‌سالی به بیش از ۲ طبقه نرسیده است. به این معنی که فرضاً در هیچ سالی چنین حالتی اتفاق نیفتاده است که عملکرد بالا با وقوع خشک‌سالی شدید یا حتی خشک‌سالی متوسط همراه بوده باشد. با جمع‌بندی همه حالات متقاطع ممکن در جدول ۱ در نهایت چنین نتیجه‌گیری می‌شود که برای هر سه شاخص خشک‌سالی به تفکیک، در ۳۵/۷ درصد از حالات مطابقت کاملی بین طبقات شاخص

دو متغیر باشد رخ نداده است که نشان‌دهنده آن است که ارتباط کلی بین شاخص‌های خشک‌سالی با عملکرد سالانه در هیچ کدام از سال‌ها ضعیف نبوده است.

خشک‌سالی با عملکرد سالانه جو دیم رخ داده است و در ۴/۲۱ درصد و ۹/۴۲ درصد حالات نیز این مطابقت به ترتیب با یک طبقه اختلاف و دو طبقه اختلاف روی داده است. بنابراین در هیچ‌یک از سال‌ها موردی که بیانگر سه طبقه اختلاف یا بیش‌تر بین این

جدول ۱- جدول متقاطع بین طبقات مختلف شاخص‌های خشک‌سالی و طبقات مختلف عملکرد سالانه جو دیم.

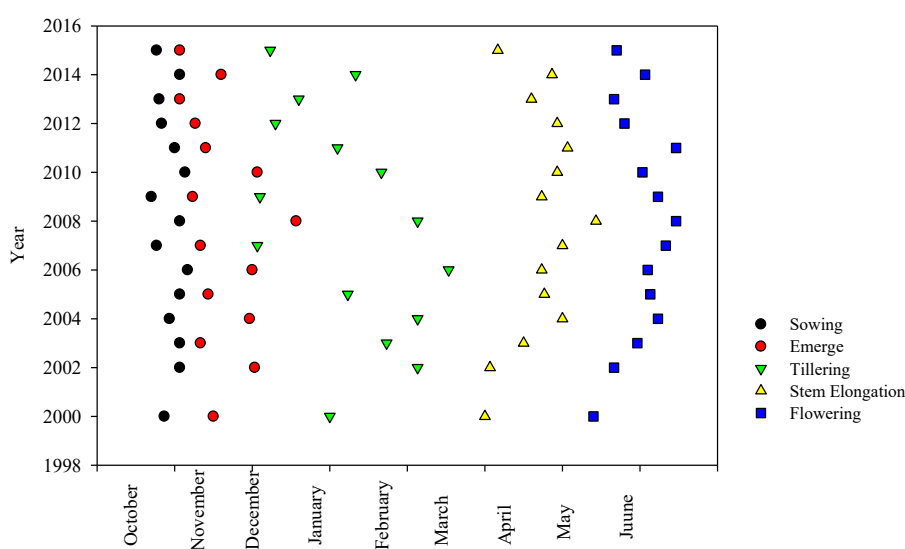
Table 1. Cross tabulation between different drought indices categories and different rainfed barley annual yield categories.

شاخص‌های خشک‌سالی Drought Indices	طبقات خشک‌سالی Drought categories	عملکرد پایین low-yield	عملکرد نسبتاً پایین relatively-low-yield	عملکرد نرمال normal-yield	عملکرد نسبتاً بالا relatively-high-yield	عملکرد بالا high-yield	مجموع درصد فراوانی نسبی شاخص خشک‌سالی Sum of relative frequency of drought indices (%)
SPEI	خشک‌سالی شدید Severe drought	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	خشک‌سالی متوسط Moderate drought	14.3%	21.4%	7.1%	0.0%	0.0%	42.9%
	شرایط نرمال Normal condition	0.0%	0.0%	14.3%	14.3%	7.1%	35.7%
	ترسالی متوسط Moderately wet	0.0%	14.3%	0.0%	0.0%	7.1%	21.4%
	ترسالی شدید Severely wet	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	خشک‌سالی شدید Severe drought	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
EDDI	خشک‌سالی متوسط Moderate drought	7.1%	21.4%	7.1%	7.1%	0.0%	42.9%
	شرایط نرمال Normal condition	7.1%	14.3%	7.1%	0.0%	7.1%	35.7%
	ترسالی متوسط Moderately wet	0.0%	0.0%	7.1%	7.1%	7.1%	21.4%
	ترسالی شدید Severely wet	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	خشک‌سالی شدید Severe drought	7.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	7.1%
	خشک‌سالی متوسط Moderate drought	7.1%	7.1%	7.1%	0.0%	0.0%	21.4%
SPI	شرایط نرمال Normal condition	0.0%	14.3%	14.3%	7.1%	7.1%	42.9%
	ترسالی متوسط Moderately wet	0.0%	14.3%	0.0%	7.1%	7.1%	28.6%
	ترسالی شدید Severely wet	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	خشک‌سالی شدید Severe drought	7.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	7.1%
	خشک‌سالی متوسط Moderate drought	7.1%	7.1%	7.1%	0.0%	0.0%	21.4%
	شرایط نرمال Normal condition	0.0%	14.3%	14.3%	7.1%	7.1%	42.9%
مجموع درصد فراوانی نسبی عملکرد سالانه جو دیم Sum of relative frequency of rainfed barley annual yield (%)		14.3%	35.7%	21.4%	14.3%	14.3%	100%

خشک‌سالی با عملکرد سالانه جو دیم، مقادیر شاخص‌های خشک‌سالی برای مراحل مختلف فنولوژیک جو دیم به تفکیک استخراج شدند و براساس آن‌ها، میزان عملکرد سالانه جو دیم مدل‌سازی شد. به جهت ارائه یک دید کلی از زمان وقوع مراحل مختلف فنولوژیکی جو دیم شامل زمان کاشت و تاریخ‌های شروع مراحل سبز شدن، پنجه‌زنی، به ساقه‌رفتن و گل‌دهی طی سال‌های مختلف، در شکل ۱ تغییرپذیری سال به سال این مراحل طی سال‌های زراعی ۱۹۹۹-۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴-۲۰۱۵ ارائه شده است. میانگین طول دوره‌های کاشت-سبز شدن، سبز شدن-پنجه‌زنی، پنجه‌زنی-ساقه‌دهی و گل‌دهی نیز طی سال‌های مختلف به ترتیب برابر با ۱۸، ۵۱، ۷۵، ۳۹ و ۴۳ روز و انحراف معیار آن‌ها به ترتیب برابر با ۱۰/۲، ۱۶/۳، ۲۶/۲، ۶ و ۵/۶ بوده است که نشان‌دهنده آن است در بین مراحل فنولوژیک مذکور، هم بیش‌ترین طول دوره و هم بیش‌ترین تغییرپذیری سال به سال مربوط به مرحله پنجه‌زنی-ساقه‌دهی می‌باشد. در یک بیان کلی، طول مراحل مختلف فنولوژیک جو دیم طی سال‌های مختلف از کم‌تر از یک ماه (چند هفته) تا حداکثر ۴ ماه در نوسان بوده است.

با محاسبه مجموع درصد‌های فراوانی نسبی در دو حالت مطابقت کامل و مطابقت با یک طبقه اختلاف نتایج نشان می‌دهد که با به‌کارگیری هر سه شاخص خشک‌سالی به تفکیک، در ۷۸/۶ درصد از سال‌ها حداکثر یک طبقه اختلاف بین طبقات عملکرد سالانه و طبقات شاخص‌های خشک‌سالی رخ داده است که درصد قابل قبول و مطلوبی قلمداد می‌شود. شایان ذکر است که با در نظر گرفتن همه حالات متقاطع ممکن با هم اگرچه چنین بنظر می‌رسد که هر سه شاخص خشک‌سالی کاملاً مشابه با یکدیگر عمل کرده‌اند اما همان‌گونه که از جدول ۱ پیداست رفتار این شاخص‌ها طی سال‌های مختلف یکسان نبوده است و تفاوت‌هایی بین آن‌ها قابل مشاهده می‌باشد اما به هنگام جمع‌بندی همه حالات، نتایج مشابهی توسط هر سه شاخص حاصل آمده است.

پس از کسب اطمینان از وجود یک ارتباط کلی بین شاخص‌های خشک‌سالی و عملکرد سالانه جو دیم که با به‌کارگیری روش جدول متقاطع انجام شد و بر مبنای این ارتباط مشخص شد که این پتانسیل وجود دارد که از شاخص‌های خشک‌سالی جهت پیش‌بینی عملکرد سالانه جو دیم استفاده شود در ادامه جهت ارزیابی، ارتباط دقیق‌تر بین شاخص‌های

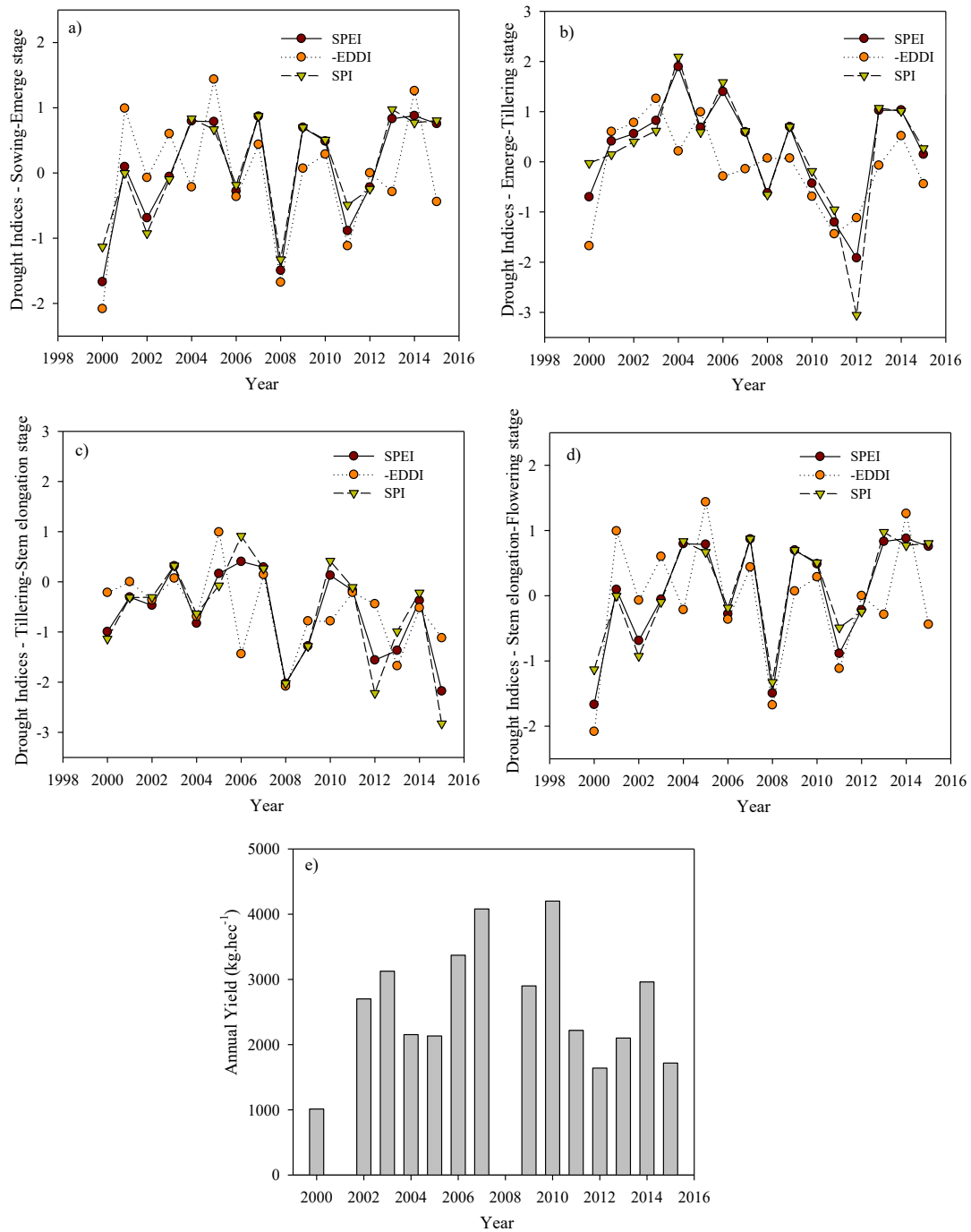


شکل ۱- زمان وقوع مراحل مختلف فنولوژیک جو دیم طی سال‌های مختلف.

Figure 1. The occurrence date of different phenological stages of rainfed barley during different years.

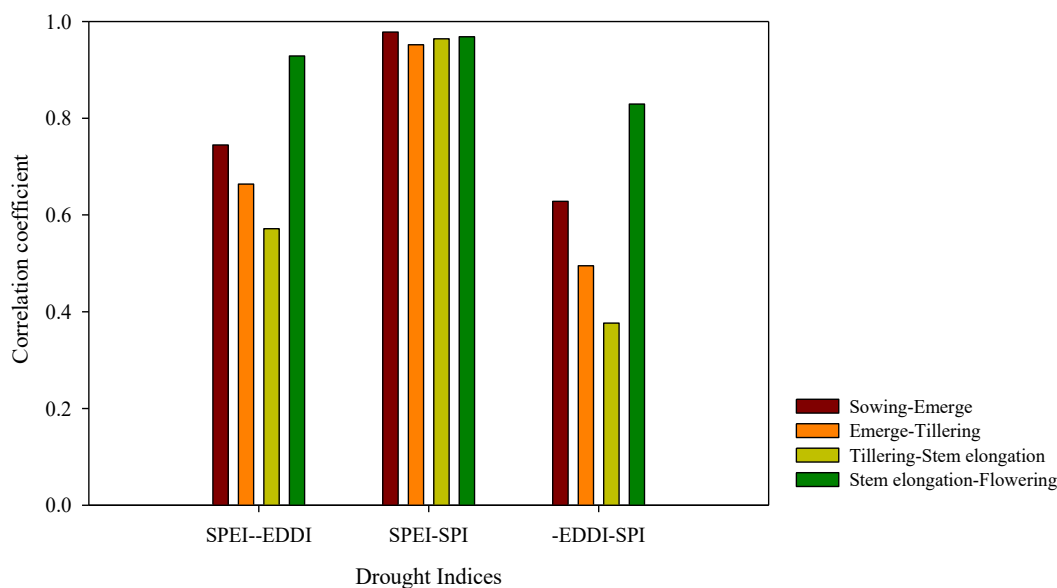
سال، شرایط تقریباً نرمال بوده است. هم‌چنین به لحاظ ارزیابی میزان مطابقت این سه شاخص در تعیین دوره‌های خشک‌سالی و ترسالی نیز آن چنان‌که از این شکل پیداست دیده می‌شود که شاخص‌های SPEI (مبتنی بر بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل) و SPI (تنها مبتنی بر بارش) مطابقت نسبتاً بالایی با هم دارند در حالی که شاخص EDDI- (تنها مبتنی بر تبخیر و تعرق پتانسیل) اگرچه مطابقت مناسبی با شاخص SPEI دارد اما مطابقت بین این شاخص با شاخص SPI چندان چشمگیر نیست. به جهت توصیف کمی این مسأله، ضریب همبستگی دو به دوی این سه شاخص طی چهار دوره مختلف رشد جو دیم محاسبه شد که نتایج آن در شکل ۳ ارائه شده است. بر اساس نتایج حاصله، همبستگی بین شاخص SPEI با شاخص SPI در هر چهار دوره رشد بسیار قوی (ضریب همبستگی بزرگ‌تر از ۰/۹) و با شاخص EDDI- فقط در دوره ساقه‌دهی - گل‌دهی بسیار قوی بوده است و در سه دوره دیگر رشد از درجه قوت آن کاسته شده است. در خصوص دو شاخص EDDI- و SPI که همبستگی نسبتاً ضعیف‌تری داشته‌اند نیز بالاترین ضریب همبستگی در مرحله ساقه‌دهی - گل‌دهی با مقدار بالاتر از ۰/۸ و کم‌ترین مقدار آن در مرحله پنجه‌زنی - ساقه‌دهی با ضریب همبستگی کم‌تر از ۰/۴ رخ داده است. وجود چنین تفاوت‌هایی بین رفتار شاخص‌های خشک‌سالی ناشی از آن است که این شاخص‌ها مبنای محاسباتی متفاوتی دارند. بر اساس این تفاوت‌های رفتاری بین شاخص‌ها، چنین انتظار می‌رود که هر کدام از شاخص‌های خشک‌سالی انتخاب‌شده در این پژوهش بتوانند جنبه‌های متفاوتی از واریانس عملکرد سالانه جو دیم را توجیه نمایند که این امر می‌تواند این پتانسیل را به صورت بالقوه ایجاد کند تا بتوان واریانس بیش‌تری از تغییرپذیری عملکرد سالانه محصول جو دیم را با به‌کارگیری مجموعه این شاخص‌های خشک‌سالی در کنار یکدیگر توجیه نمود.

با استخراج مقادیر شاخص‌های خشک‌سالی طی مراحل مختلف فنولوژیکی جو دیم برای تک‌تک سال‌های زراعی مورد مطالعه، یک سری زمانی از مقادیر این شاخص‌ها طی دوره آماری ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ به تفکیک برای هر کدام از مراحل فنولوژیک استخراج شد. در شکل ۲ سری زمانی شاخص‌های خشک‌سالی SPEI، EDDI- و SPI برای چهار مرحله مختلف رشد جو دیم شامل کاشت - سبزشدن، سبزشدن - پنجه‌زنی، پنجه‌زنی - ساقه‌دهی و ساقه‌دهی - گل‌دهی در کنار مقادیر سالانه عملکرد جو دیم طی دوره آماری ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ نشان داده شده است. از آنجایی‌که بر اساس ماهیت شاخص‌های خشک‌سالی در نظر گرفته شده در این پژوهش، برای دو شاخص SPEI و SPI مقادیر منفی و کوچک‌تر و برای شاخص EDDI مقادیر مثبت و بزرگ‌تر نمایانگر شرایط خشک‌سالی هستند بنابراین به جهت سهولت بیش‌تر، به جای قرار دادن مقادیر واقعی شاخص EDDI، مقادیر این شاخص در عدد ۱- ضرب شدند (EDDI-) تا امکان مقایسه آن با دو شاخص دیگر با سهولت بیش‌تری فراهم گردد. در این شکل بسته به این‌که یک مرحله فنولوژیک در یک سال به‌خصوص چه مدت به طول انجامیده باشد متناسب با طول آن دوره از شاخص خشک‌سالی با گام زمانی یک‌ماهه، دو‌ماهه، سه‌ماهه و یا چهارماهه جهت تعیین وضعیت خشک‌سالی یا ترسالی آن مرحله فنولوژیک استفاده شده است. مقدار متوسط عملکرد سالانه جو دیم نیز برابر با ۲۵۹۳/۲ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. شکل ۲ بیانگر آن است که دوره‌های خشک‌سالی و ترسالی در یک سال مشخص لزوماً برای هر چهار مرحله فنولوژیک به‌طور یکسان عمل نکرده‌اند. به‌عنوان مثال برای سال ۲۰۱۲ شرایط خشک‌سالی نسبتاً شدیدی طی دوره‌های سبزشدن - پنجه‌زنی و پنجه‌زنی - ساقه‌دهی حاکم بوده است در حالی‌که برای دوره‌های کاشت - سبزشدن و ساقه‌دهی - گل‌دهی در همین



شکل ۲- مقادیر شاخص‌های خشک‌سالی SPEI، EDDI و SPI برای چهار دوره مختلف رشد گیاه جو دیم (a: کاشت- سبز شدن؛ b: سبز شدن- پنجه‌زنی؛ c: پنجه‌زنی- ساقه؛ d: ساقه- گل‌دهی) همراه با مقادیر عملکرد سالانه (شکل e) طی سال‌های مختلف.

Figure 2. The SPEI, EDDI and SPI drought indices values for four different growth periods of rainfed barley (a: sowing-emerge, b: emerge-tillering, c: tillering-stem, d: stem-flowering) along with annual yield (e) during different years.



شکل ۳- ضریب همبستگی دو به دوی شاخص‌های خشک‌سالی SPEI، -EDDI و SPI برای چهار دوره مختلف رشد گیاه جو دیم.
Figure 3. Correlation coefficient of mutual SPEI, -EDDI and SPI drought indices for four different growth periods of rainfed barley.

حضور شاخص‌های خشک‌سالی در این چهار دوره در مدل رگرسیونی بر اساس روش بهترین زیرمجموعه (best subset) صورت گرفته است به‌گونه‌ای که ضمن آن‌که باید بالاترین ضریب تعیین برای مدل رگرسیونی به‌دست آید تمامی متغیرهای مستقل حاضر در مدل نیز باید اثر معنی‌داری بر عملکرد محصول در سطح $\alpha=0.10$ داشته باشند به تعبیری دیگر p -value مربوط به همه متغیرهای مستقل در مدل باید کمتر از 0.1 باشد. بر اساس نتایج حاصله در جدول ۲، در حالت استفاده از یک شاخص خشک‌سالی واحد (سطرهای اول تا سوم جدول ۲) دیده می‌شود که برای شاخص‌های SPEI و SPI، مقادیر این شاخص‌ها در دوره‌های اول و سوم رشد (کاشت- سبز شدن و پنجه‌زنی- ساقه‌دهی) و برای شاخص EDDI در دوره‌های اول و چهارم رشد (کاشت- سبز شدن و ساقه‌دهی- گل‌دهی) در مدل رگرسیونی حضور یافته‌اند. بالاترین مقدار ضریب

جهت پیش‌بینی میزان عملکرد سالانه جو دیم براساس شاخص‌های خشک‌سالی در وهله اول از مدل رگرسیون خطی چندگانه و در ادامه بنا به ضرورت از مدل رگرسیون مبتنی بر مؤلفه‌های اصلی (PCR) استفاده شد. در جدول ۲ نتایج حاصل از به‌کارگیری مدل رگرسیون خطی چندگانه با در نظر گرفتن دو رویکرد کلی شامل استفاده از هر کدام از این سه شاخص خشک‌سالی به‌صورت واحد (سه سطر اول جدول) و استفاده ترکیبی از آن‌ها (سطر چهارم جدول) منعکس شده است. در این جدول شاخص‌های خشک‌سالی برای چهار دوره مختلف رشد با قرار دادن اعداد ۱ (دوره کاشت- سبز شدن)، ۲ (دوره سبز شدن- پنجه‌زنی)، ۳ (دوره پنجه‌زنی- ساقه‌دهی) و ۴ (دوره ساقه‌دهی- گل‌دهی) در کنار هر کدام از شاخص‌های خشک‌سالی مشخص شده‌اند. به‌عنوان مثال منظور از SPEI-1 مقدار این شاخص طی دوره کاشت- سبز شدن است. حضور یا عدم

اول و سوم رشد (دوره کاشت- سبزشدن و دوره پنجه‌زنی- ساقه‌دهی) حاصل آمده است. ضریب تعیین و ضریب تعیین تعدیل‌شده برای این مدل به ترتیب $0.78/0.7$ و $0.69/0.2$ بوده است که در مقایسه با حالت استفاده از یک شاخص خشک‌سالی واحد، عملکرد مدل بهبود قابل‌توجهی پیدا کرده است. با وجود بالا بودن ضریب تعیین دیده می‌شود که شاخص VIF نیز افزایش یافته است و برای شاخص SPEI در مرحله سوم (پنجه‌زنی- ساقه‌دهی) این شاخص به بالای ۲ رسیده است. اگرچه مقادیر شاخص VIF به دست آمده بیانگر وجود هم‌راستایی چندگانه خطی بسیار شدید در مدل نیست اما نمی‌توان آن را هم نادیده گرفت و در حد متوسطی ممکن است معتبر بودن مدل رگرسیونی را با مشکل مواجه کند. در حالت بروز چنین مشکلی، یا باید یکی از متغیرهای مستقل را که همبستگی بالاتری با سایر متغیرهای مستقل در مدل دارد را حذف کرد که انجام این کار ممکن است منجر به افت عملکرد مدل شود و یا این‌که باید به جای استفاده از مدل رگرسیون خطی چندگانه به سراغ مدل رگرسیونی مبتنی بر مؤلفه‌های اصلی (PCR) رفت که گزینه مناسب‌تر و منطقی‌تری به نظر می‌رسد زیرا ضمن حفظ تمامی متغیرهای مستقل در مدل و بدون افت عملکرد مدل، مشکل مربوط به وجود همبستگی بین متغیرها را می‌تواند با انجام چرخش‌های متعامد حل کند.

تعیین مربوط به به‌کارگیری شاخص SPEI (با مقدار $63/6$ درصد) و کم‌ترین مقدار آن مربوط به به‌کارگیری شاخص EDDI (با مقدار $0.54/1$ درصد) بوده است. شاخص تورم واریانس (VIF) در این جدول نیز که معیاری جهت لحاظ کردن اثر هم‌راستایی خطی چندگانه برای متغیرهای مستقل حاضر در مدل که همبستگی بالایی با یکدیگر داشته باشند است در هر سه حالت استفاده از تنها یک شاخص واحد بسیار نزدیک به عدد ۱ بوده است که نشانگر حالتی مطلوب به لحاظ عدم وجود همبستگی شدید بین متغیرهای مستقل حاضر در مدل و در نتیجه عدم وجود مشکل هم‌راستایی خطی چندگانه در ساختار این سه مدل است. توضیح این‌که در حالت وجود مشکل هم‌راستایی خطی چندگانه، اعتبار مدل رگرسیونی زیر سوال می‌رود. در سطر آخر جدول ۲ بهترین مدل رگرسیونی حاصل از ترکیبات متعدد مقادیر سه شاخص خشک‌سالی در چهار دوره مختلف رشد نشان داده شده است. در این حالت نیز استخراج بهترین مدل رگرسیونی مبتنی بر در نظر گرفتن دو قید شامل دستیابی به بالاترین ضریب تعیین و معنی‌دار بودن تمامی متغیرهای مستقل موجود در مدل در سطح $\alpha=0.10$ بوده است. دیده می‌شود که در حالت ترکیب شاخص‌های خشک‌سالی، بهترین مدل رگرسیونی با حضور شاخص SPEI در دو مرحله سوم و چهارم رشد (دوره پنجه‌زنی- ساقه‌دهی و دوره ساقه‌دهی- گل‌دهی) و شاخص EDDI در دو مرحله

جدول ۲- مدل‌های رگرسیون خطی چندگانه به‌دست آمده جهت پیش‌بینی عملکرد سالانه جو دیم بر اساس شاخص‌های خشک‌سالی مختلف (اندیس ۱: دوره کاشت- سبزشدن، اندیس ۲: دوره سبزشدن- پنجه‌زنی، اندیس ۳: دوره پنجه‌زنی- ساقه‌دهی، اندیس ۴: ساقه‌دهی- گل‌دهی).

Table 2. The obtained multiple linear regression models to predict rainfed barley annual yield based on different drought indices (1: sowing-emerge, 2: emerge-tillering, 3: tillering-stem, 4: stem-flowering).

شاخص خشک‌سالی Drought Index	مدل رگرسیونی Regression model	شاخص تورم واریانس VIF (Variance Inflation Factor)	ضریب تعیین R ²	ضریب تعیین تعدیل‌شده R ² _{Adjust}
SPEI	Yield = 2959 + 484*SPEI-1 + 787*SPEI-3	SPEI-1 : 1 SPEI-3 : 1	%63.6	%57
EDDI	Yield = 2702 + 397*EDDI-1 + 730*EDDI-4	EDDI-1 : 1.04 EDDI-4 : 1.04	%54.1	%45.7
SPI	Yield = 2850 + 472*SPI-1 + 639*SPI-3	SPI-1 : 1.01 SPI-3 : 1.01	%62.4	%55.6
حالت ترکیبی شاخص‌های مختلف Combination of different indices	Yield = 2610 + 471*EDDI-1 + 547*SPEI-3 - 651*EDDI-3 + 401*SPEI-4	EDDI-1 : 1.26 SPEI-3 : 2.05 EDDI-3 : 1.3 SPEI-4 : 1.66	%78.7	%69.2

روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نشان داد که مؤلفه‌های اول، دوم و سوم به ترتیب ۵۲/۱، ۲۴/۴ و ۱۵/۶ درصد و در مجموع معادل با ۹۲/۱ از کل واریانس متغیرهای اولیه را توجیه می‌کنند. مقادیر بردارهای ویژه برای این سه مؤلفه اصلی اول در جدول ۳ نشان داده شده است.

جهت به‌کارگیری مدل PCR ابتدا تجزیه به مؤلفه‌های اصلی بر روی همان چهار متغیر مستقل موجود در مدل رگرسیون خطی چندگانه (سطر آخر جدول ۲) شامل EDDI-1، EDDI-3، SPEI-3 و SPEI-4 انجام شد و پس از استخراج مؤلفه‌های اصلی، مدل رگرسیون خطی چندگانه بر روی این مؤلفه‌ها پیاده‌سازی شد. نتایج حاصل از به‌کارگیری

جدول ۳- مقادیر بردارهای ویژه برای سه مؤلفه اصلی اول (اندیس ۱: دوره کاشت- سبزشدن، اندیس ۳: دوره پنجه‌زنی- ساقه‌دهی، اندیس ۴: ساقه‌دهی- گل‌دهی).

Table 3. Eigen vector values for three first principal components (1: sowing-emerge, 3: tillering-stem, 4: stem-flowering stages).

شاخص خشک‌سالی Drought index	مؤلفه اصلی اول PCA1	مؤلفه اصلی دوم PCA2	مؤلفه اصلی سوم PCA3
EDDI-1	0.395	-0.693	-0.543
SPEI-3	0.606	0.197	-0.173
EDDI-3	0.488	-0.306	0.808
SPEI-4	0.488	0.623	-0.153

چندگانه بین عملکرد سالانه جو دیم (Yield) و این سه سری داده جدید حاصل از سه مؤلفه اصلی اول که با عنوان‌های PCA1، PCA2 و PCA3 نام‌گذاری شدند مدل PCR به صورت رابطه کلی زیر حاصل آمد:

$$\text{Yield} = 2568 + 394*PCA1 + 227*PCA2 - 928*PCA3 \quad (11)$$

بهینه پیش‌بینی عملکرد جو دیم بر اساس ترکیبی از شاخص‌های مختلف خشک‌سالی در ایستگاه سرارود در نظر گرفت. جهت استفاده از این مدل برای پیش‌بینی عملکرد سالانه جو دیم نیز از آنجایی که مؤلفه‌های PCA1 تا PCA3 خود ترکیب خطی از چهار شاخص خشک‌سالی (EDDI-1, EDDI-3, SPEI-3 و SPEI-4) هستند به راحتی می‌توان با اعمال بردارهای ویژه، مدل PCR را از فرم رابطه ۱۱ که مبتنی بر مؤلفه‌های اصلی است بر اساس متغیرهای اولیه بازنویسی کرد. با انجام این کار، مدل کلی زیر جهت پیش‌بینی عملکرد سالانه جو دیم بر اساس شاخص‌های مختلف خشک‌سالی برای ایستگاه سرارود کرمانشاه به دست می‌آید:

$$\text{Yield} = 2568 + 502.22*EDDI-1 + 444.03*SPEI-3 - 627.01*EDDI-3 + 475.68*SPEI-4 \quad (12)$$

ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) به انجام رسید. نتایج حاصله در شکل ۴ منعکس شده است. همان‌طور که از این شکل پیداست بهترین مقادیر هر دو شاخص ضریب تعیین و ریشه میانگین مربعات خطا در حالت استفاده ترکیبی از شاخص‌های خشک‌سالی با مدل PCR حاصل آمده است. مقدار دو

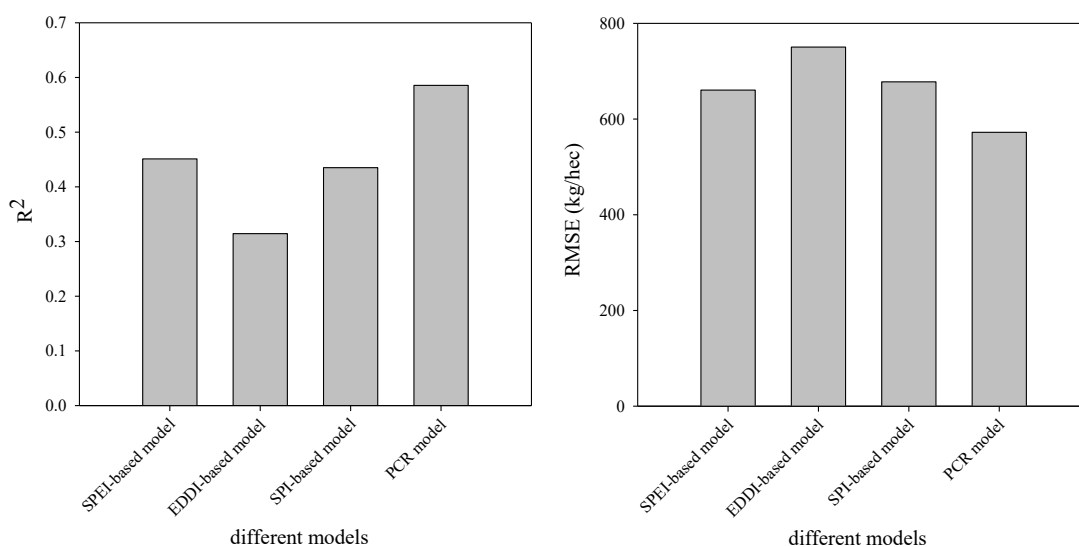
با در نظر گرفتن سه مؤلفه اصلی اول و بردارهای ویژه آن‌ها و انجام برخی ترکیبات خطی بر روی داده‌های اولیه، سه متغیر مستقل جدید به دست آمدند که ضمن آن‌ها هیچ‌گونه همبستگی با یکدیگر ندارند قادر به توجیه‌پذیری ۹۲/۱ درصد از واریانس داده‌های اولیه هستند. در نهایت با اعمال مدل رگرسیون خطی

مقادیر R^2 و R^2_{Adjust} برای این معادله به ترتیب برابر با ۷۸/۱۹٪ و ۷۱/۶۵٪ حاصل آمد که در مقایسه با مدل رگرسیون خطی چندگانه (سطر آخر جدول ۲)، اگرچه ضریب تعیین افت بسیار ناچیزی داشته است و از ۷۸/۷٪ به ۷۸/۲٪ رسیده است اما ضریب تعیین تعدیل یافته بهبود پیدا کرده است و از ۶۹/۲٪ به ۷۱/۷٪ رسیده است. نکته مهم‌تر این‌که به لحاظ حل مشکل همراستایی خطی چندگانه متغیرهای مستقل مدل، شاخص VIF برای سه مؤلفه اصلی اول به ترتیب برابر با ۱/۰۶، ۱/۰۳ و ۱/۰۸ حاصل آمده است که چون به عدد ۱ بسیار نزدیک هستند دلالت بر این دارد که مشکل همراستایی چندگانه نیز به خوبی با به‌کارگیری این مدل برطرف شده است. بر این اساس، مدل PCR حاصله را می‌توان به‌عنوان مدل

جهت اعتبارسنجی چهار مدل کلی (شامل سه مدل رگرسیون خطی چندگانه مبتنی بر یک شاخص خشک‌سالی واحد و یک مدل PCR مبتنی بر ترکیبی از شاخص‌های مختلف خشک‌سالی) برای مقاصد پیش‌بینی، از روش اعتبارسنجی متقابل بهره گرفته شد که با به‌کارگیری دو شاخص ضریب تعیین (R^2) و

۰/۴۵۱ و ریشه میانگین مربعات خطای ۶۶۰/۵ کیلوگرم در هکتار) و پایین‌ترین عملکرد مربوط به استفاده از شاخص EDDI (با ضریب تعیین ۰/۳۱۴ و ریشه میانگین مربعات خطای ۷۵۰/۴ کیلوگرم در هکتار) بوده است. ارتباط بالای بین شاخص SPEI با عملکرد محصولات دیم توسط پاسکوا و همکاران (۲۰۱۸) در جنوب غربی اروپا و توسط دهقانی سرگزی و همکاران (۲۰۲۱) در بخش‌های غربی و شمال غربی ایران نیز گزارش شده است (۵ و ۱۳).

شاخص فوق برای این مدل به ترتیب برابر با ۵۸/۵ درصد و ۵۷۲/۳ کیلوگرم در هکتار (که معادل با ۲۲ درصد میانگین عملکرد سالانه جو دیم است) بدست آمد و دیده می‌شود که عملکرد مدل در حالت استفاده ترکیبی از شاخص‌های خشک‌سالی به طور نمایانی نسبت به حالت استفاده از یک شاخص خشک‌سالی واحد بهبود پیدا کرده است. به لحاظ مقایسه سه شاخص خشک‌سالی با یکدیگر در حالت استفاده از یک شاخص خشک‌سالی واحد نیز بهترین عملکرد مربوط به استفاده از شاخص SPEI (با ضریب تعیین



شکل ۴- مقادیر دو شاخص R^2 و RMSE حاصل از اعتبارسنجی متقابل مدل‌های مختلف پیش‌بینی عملکرد سالانه جو دیم بر اساس شاخص‌های مختلف خشک‌سالی.

Figure 4. The obtained R^2 and RMSE indices values extracted from cross validation of different models to predict rainfed barley annual yield based on the different drought indices.

از این شاخص‌های خشک‌سالی به صورت واحد و استفاده ترکیبی و هم‌زمان از آن‌ها بهره گرفته شد. نتایج نشان داد که بهترین مدل پیش‌بینی عملکرد سالانه جو دیم در حالت استفاده ترکیبی از شاخص‌های خشک‌سالی و در قالب مدل رگرسیون مبتنی بر مؤلفه‌های اصلی (مدل PCR) حاصل آمد. نتایج کلی نشان داد که به‌کارگیری شاخص‌های

نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش که با هدف امکان‌سنجی پیش‌بینی عملکرد سالانه جو دیم با استفاده از چند شاخص خشک‌سالی با ماهیت متفاوت شامل شاخص‌های SPEI، EDDI و SPI با به‌کارگیری تحلیل‌های آماری چندمتغیره در یک ایستگاه با اقلیم نیمه‌خشک انجام شد از دو رویکرد کلی شامل استفاده از هرکدام

در مقایسه با وقوع خشک‌سالی در سایر دوره‌ها می‌توان داشت.

تقدیر و تشکر

نویسنده مقاله از داوران محترم این مقاله به جهت ارائه نظرات ارزشمند و پیشنهادهای سازنده کمال تشکر را دارد.

داده‌ها و اطلاعات

داده‌های این پژوهش از سازمان هواشناسی کشور اخذ شده‌اند.

تعارض منافع

در این مقاله تعارض منافی وجود ندارد.

تعارض منافع

اصول اخلاقی در انجام و انتشار این پژوهش مراعات شده است.

حمایت مالی

این پژوهش از حمایت مالی مستقیم برخوردار نبوده است.

خشک‌سالی با ماهیت متفاوت می‌تواند سبب افزایش توجه‌پذیری واریانس عملکرد سالانه جو دیم توسط شاخص‌های خشک‌سالی گردد. نتایج هم‌چنین نشان داد که به‌کارگیری مدل رگرسیونی مبتنی بر مؤلفه‌های اصلی در کنار حذف اثر هم‌راستایی خطی چندگانه بین شاخص‌های مختلف خشک‌سالی می‌تواند سبب افزایش ضریب تعیین تعدیل‌شده مدل نیز گردد. نتایج کلی نشان داد که هم بر اساس مدل رگرسیونی حاصل از به‌کارگیری یک شاخص خشک‌سالی واحد و هم با به‌کارگیری مدل رگرسیونی حاصل از استفاده ترکیبی از شاخص‌های مختلف خشک‌سالی چنین به‌نظر می‌رسد که وقوع خشک‌سالی در دوره دوم (سبز شدن - پنجه‌زنی) تأثیر ضعیف‌تری بر میزان عملکرد سالانه جو دیم دارد و سه دوره دیگر رشد (دوره‌های کاشت - سبز شدن، پنجه‌زنی - ساقه‌دهی و ساقه‌دهی - گل‌دهی) دارای اهمیت بیش‌تری هستند. از بین سه دوره باقی‌مانده نیز با توجه به آن‌که دوره پنجه‌زنی - ساقه‌دهی نقش و حضور پررنگ‌تری در مدل‌ها داشت به‌عنوان بااهمیت‌ترین دوره مؤثر بر میزان عملکرد سالانه جو دیم شناسایی شد. بنابراین در سال‌هایی که خشک‌سالی در دوره پنجه‌زنی - ساقه‌دهی رخ دهد انتظار افت عملکرد سالانه بیش‌تری

منابع

- 1.Chaves, M.S., Martinelli, J.A., Wesp-Guterres, C., Graichen, F.A.S., Brammer, S.P., Scagliusi, S.M., and Chaves, A.L.S. 2013. The importance for food security of maintaining rust resistance in wheat. *Food security*. 5: 2. 157-176.
- 2.FAO (Food and Agriculture Organization). 2010. *The State of Food Insecurity in the World: Addressing food insecurity in protracted crises*. 62p.
- 3.Alasti, O., Zeinali, E., Soltani, A., and Torabi, B. 2020. Estimation of yield gap and the potential of rainfed barley production increase in Iran. *Journal of Crop Production*. 13: 3. 41-60.
- 4.Sacks, W.J., and Kucharik, C.J. 2011. Crop management and phenology trends in the US Corn Belt: Impacts on yields, evapotranspiration and energy balance. *Agricultural and Forest Meteorology*. 151: 7. 882-894.
- 5.Dehghani Sargazi, H., Bazrafshan, O., and Zamni, H. 2021. Investigation of the effect of meteorological-agricultural drought on rainfed wheat yield in Iran using SPEI. *Nivar*. 45: 114-115. 15-26. (In Persian)
- 6.Chmielewski, F.M., Müller, A., and Bruns, E. 2004. Climate changes and trends in phenology of fruit trees and field

- crops in Germany, 1961-2000. *Agricultural and Forest Meteorology*. 121: 69-78.
7. Siebert, S., and Ewert, F. 2012. Spatio-temporal patterns of phenological development in Germany in relation to temperature and day length. *Agricultural and Forest Meteorology*. 152: 44-57.
 8. Mosaedi, A., Moghaddam, S.M., and Sough, M.G. 2016. Modeling rain-fed wheat and barley based on meteorological features and drought indices. *Iranian Journal of Water and Soil*. 29: 3. 730-749. (In Persian)
 9. Chen, T., Xia, G., Liu, T., Chen, W., and Chi, D. 2016. Assessment of drought impact on main cereal crops using a standardized precipitation evapotranspiration index in Liaoning Province, China. *Sustainability*. 8: 10. 1069-1082.
 10. Yao, N., Li, Y., Lei, T., and Peng, L. 2018. Drought evolution, severity and trends in mainland China over 1961-2013. *Science of the Total Environment*. 616: 73-89.
 11. Pena-Gallardo, M., Vicente-Serrano, S.M., Domínguez-Castro, F., Quiring, S., Svoboda, M., Beguería, S., and Hannaford, J. 2018. Effectiveness of drought indices in identifying impacts on major crops across the USA. *Climate Research*. 75: 3. 221-240.
 12. Lobell, D.B., Schlenker, W., and Costa-Roberts, J. 2011. Climate trends and global crop production since 1980. *Science*. 333: 616-620.
 13. Páscoa, P., Gouveia, C.M., Russo, A.C., Bojariu, R., Vicente-Serrano, S.M., and Trigo, R.M. 2018. Vegetation vulnerability to drought on southeastern Europe. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*. 38: 1-29.
 14. Kattelus, M., Salmivaara, A., Mellin, I., Varis, O., and Kumm, M. 2016. An evaluation of the Standardized Precipitation Index for assessing inter-annual rice yield variability in the Ganges-Brahmaputra-Meghna region. *International Journal of Climatology*. 36: 2210-2222.
 15. Naderianfar, M., and Heydari Gharae, E. 2021. Evaluation of drought impacts on irrigated and rainfed wheat yields in Bojnourd region. *Journal of Crop Science Research in Arid Regions*. 3: 1. 163-176. (In Persian)
 16. Nabizadeh Balkhanlou, A., Hajarizadeh, Z., and Khedmatzadeh, A. 2020. Assessment Drought Crop Moisture Index (CMI) Performance Dried wheat Case Study (Lake Urmia Simineh River Basin). *Geographical Engineering of Territory*. 4: 1. 205-192. (In Persian)
 17. Samadianfard, S., Panahi, S., and Nazemi, A.H. 2022. Modeling the yield of rainfed wheat, barley and alfalfa products using support vector regression and genetic programming. *Water and Soil Science*. 32: 2. 97-111. (In Persian)
 18. Karim, M.R., and Rahman, M.A. 2015. Drought risk management for increased cereal production in Asian least developed countries. *Weather and Climate Extremes*. 7: 24-35.
 19. Jongrungrklanga, N., Toomsana, B., Vorasoota, N., Jogloya, S., Booteb, K.J., Hoogenboom, G., and Patanotohaia, A. 2013. Drought tolerance mechanisms for yield responses to pre-flowering drought stress of peanut genotypes with different drought tolerant levels. *Field Crops Research*. 144: 34-42.
 20. Lloyd-Hughes, B., and Saunders, M.A. 2002. A drought climatology for Europe. *International Journal of Climatology*. 22: 13. 1571-1592.
 21. Vicente-Serrano, S.M., Beguería, S., and López-Moreno, J.I. 2010. A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of Climatology*. 23: 7. 1696-1718.
 22. Hobbins, M.T., Wood, A., McEvoy, D.J., Huntington, J.L., Morton, C., Anderson, M., and Hain, C. 2016. The evaporative demand drought index. Part I: Linking drought evolution to variations in evaporative demand. *Journal of Hydrometeorology*. 17: 6. 1745-1761.
 23. Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., and Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. *Irrigation and Drainage Paper FAO56*, 300p.

24. Heydari Tasheh Kaboud, Sh., and Khoshkhoo, Y. 2019. Projection and prediction of the annual and seasonal future reference evapotranspiration time scales in the West of Iran under RCP emission scenarios. *Journal of Applied researches in Geographical Sciences*. 19: 53. 157-176. (In Persian)
25. Vicente-Serrano, S.M., Cabello, D., Tomás-Burguera, M., Martín-Hernández, N., Beguería, S., Azorin-Molina, C., and El Kenawy, A. 2015. Drought variability and land degradation in semiarid regions: Assessment using remote sensing data and drought indices (1982-2011). *Remote Sensing*. 7: 4. 4391-4423.
26. Shiukhy Soqanloo, S., and Nadi, M. 2021. Performance evaluation and modification of SPI in drought monitoring of arid and semi arid regions of Iran. *Journal of Water and Soil Resources Conservation*. 10: 2. 17-30. (In Persian)
27. Khoshkhoo, Y. Esmaili, S., and Abdollahi, M. 2018. Estimating daily and monthly air temperature parameters at Kurdistan province using MODIS sensor images. *Journal of Soil Water Research*. 49: 2. 413-423. (In Persian)

Evaluation of aggregate stability under the influence of the application of petroleum compounds in soils with different textures

Raziyeh Daryae¹, Ali Akbar Moosavi^{*2}, Reza Ghasemi³,
Masoud Riazi⁴

1. M.Sc. Graduate, Dept. of Soil Science and Engineering, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran. E-mail: raziyeh.daryae@shirazu.ac.ir
2. Corresponding Author, Professor, Dept. of Soil Science and Engineering, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran. E-mail: aamousavi@gmail.com
3. Professor, Dept. of Soil Science and Engineering, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran. E-mail: ghasemif@gmail.com
4. Associate Prof., Dept. of Petroleum Engineering, College of Chemical, Petroleum, and Gas Engineering, Shiraz University, Shiraz, Iran. E-mail: mriazi180@gmail.com

Article Info	ABSTRACT
<p>Article type: Research Full Paper</p> <p>Article history: Received: 01.14.2022 Revised: 06.11.2022 Accepted: 07.29.2022</p> <p>Keywords: Clay loam, Crude oil, Gasoline, Kerosene, Loamy sand, Sandy loam</p>	<p>Background and Objectives: Oil pollutants are inevitable consequence of rapid population growth and the process of industrialization. Their spread in soil can affect many soil properties, especially aggregate stability. Particle size distribution and aggregate stability are of the main physical and hydraulic characteristics of soil that study of these indices is the basis of soil conservation strategies and is one of the most important parameters in identifying the status of soil structure. Iran is an oil-rich country and the effect of different petroleum compounds on aggregate stability and stability indices including mean weight diameter and geometric mean diameter of aggregates in soils of different textures have not been studied so far. Therefore, this study aimed to investigate the effect of different levels of crude oil, kerosene, and gasoline as the three high-consumption petroleum products on the stability of aggregates in three soils with clay loam, sandy loam, and loamy sand textures.</p> <p>Materials and Methods: In this study, the effect of 0, 1.5, 3.5, and 4.5% levels of crude oil, kerosene, and gasoline on the stability of aggregates in clay loam, loamy sand, and sandy loam soils was investigated in a factorial completely randomized design experiment. Studied stability indices were the mean weight diameter and geometric mean diameter of aggregates determined using both dry and wet sieving approaches. Finally, the results of the research were analyzed using EXCEL and SAS statistical softwares and the means of each separate treatment as well as their interactions compared using the Duncan's multiple range test at the 5% level.</p> <p>Results: The results showed that the mean dry weight of aggregate diameters in the loamy sand and sandy loam soils was significantly lower than that of the clay loam soil by nearly 72% and 56%, respectively. The reductions were about 78% and 69% for the dry geometric mean diameter of aggregates. Furthermore, the dry mean weight diameter of aggregates in the soils treated by kerosene and gasoline were more than that of the crude oil-treated soils by nearly 17% and 25%, respectively. The mentioned increments were about 22% and 35% for the dry geometric mean diameter. The wet mean weight diameter of aggregates in the loamy sand</p>

soils was significantly higher than that of the clay loam and sandy loam soils by nearly 20% and 35%, respectively. Furthermore, the wet geometric mean diameter of aggregates in the loamy sand soils was significantly higher than that of the clay loam and sandy loam soils by nearly 91% and 12%, respectively. The wet mean weight diameter of aggregates in the soils treated by kerosene and gasoline was significantly lower than that of the crude oil- treated soils by nearly 32% and 8%, respectively. Furthermore, the wet geometric mean diameter of aggregates in the soils treated by kerosene and gasoline was significantly lower than that of the crude oil-treated soils by nearly 34% and 14%, respectively.

Conclusion: Overall, the results indicated that the application of low levels of petroleum products significantly increased the wet and dry mean weight diameter of aggregates and geometric mean diameter of aggregates; whereas, high levels reduced the above-mentioned attributes. The results of this study can be used in both aspects of identifying and monitoring the properties of oil-contaminated soils for their remediation and making appropriate management decisions, as well as conservation of soils the destructive erosion phenomenon.

Cite this article: Daryae, Raziye, Moosavi, Ali Akbar, Ghasemi, Reza, Riazi, Masoud. 2022. Evaluation of aggregate stability under the influence of the application of petroleum compounds in soils with different textures. *Journal of Water and Soil Conservation*, 29 (2), 25-45.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/jwsc.2022.19559.3526

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

ارزیابی پایداری خاکدانه‌ها تحت تأثیر کاربرد ترکیبات نفتی در خاک‌های با بافت مختلف

راضیه دریایی^۱، سید علی اکبر موسوی^{۲*}، رضا قاسمی^۳، مسعود ریاضی^۴

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران. رایانامه: raziyeh.daryace@shirazu.ac.ir
۲. نویسنده مسئول، استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران. رایانامه: aamousavi@gmail.com
۳. استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران. رایانامه: ghasemif@gmail.com
۴. دانشیار گروه مهندسی نفت، دانشکده مهندسی شیمی، نفت و گاز، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران. رایانامه: mrriazi180@gmail.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی-پژوهشی	سابقه و هدف: آلودگی‌های نفتی یک پیامد اجتناب‌ناپذیر حاصل از افزایش سریع جمعیت و فرایند صنعتی شدن هستند که انتشار آن‌ها در خاک می‌تواند بر بسیاری از ویژگی‌های خاک به‌ویژه پایداری خاکدانه‌ها مؤثر باشند. توزیع اندازه ذرات و پایداری خاکدانه‌ها از ویژگی‌های اصلی فیزیکی خاک هستند که بررسی این شاخص‌ها، پایه و اساس استراتژی‌های حفاظت خاک بوده و از پارامترهای بسیار مهم در شناسایی وضعیت ساختمان خاک می‌باشند. ایران کشوری نفت خیز است و تاکنون اثر ترکیبات نفتی مختلف بر پایداری خاکدانه‌ها و شاخص‌های پایداری شامل میانگین وزنی و هندسی قطر خاکدانه‌ها در خاک‌های با بافت مختلف بررسی نشده است. بنابراین هدف از این پژوهش بررسی اثر سطوح مختلف نفت خام، نفت سفید و گازوئیل به‌عنوان سه ماده نفتی پرمصرف بر پایداری خاکدانه‌ها در سه خاک با بافت‌های لوم رسی، لوم شنی و شن لومی است.
تاریخ دریافت: ۰۰/۱۰/۲۴ تاریخ ویرایش: ۰۱/۰۳/۲۱ تاریخ پذیرش: ۰۱/۰۵/۰۷	مواد و روش‌ها: در این پژوهش تأثیر سطوح صفر، ۱/۵، ۳ و ۴/۵ درصد نفت خام، نفت سفید و گازوئیل بر پایداری خاکدانه‌ها در خاک‌های لوم رسی، شن لومی و لوم شنی در قالب طرح کاملاً تصادفی در یک آزمایش فاکتوریل بررسی شد. شاخص‌های پایداری مورد مطالعه شامل میانگین وزنی و هندسی خشک و تر قطر خاکدانه‌ها بودند که به ترتیب با استفاده از روش‌های الک خشک و تر اندازه‌گیری شدند. نتایج حاصل از پژوهش با استفاده از نرم‌افزارهای آماری EXCEL و SAS تجزیه و تحلیل و میانگین‌های مربوط به اثر جداگانه و برهمکنش‌های هر یک از تیمارها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح معنی‌داری ۵ درصد مقایسه شدند.
واژه‌های کلیدی: شن لومی، گازوئیل، لوم رسی، لوم شنی، نفت خام، نفت سفید	

یافته‌ها: نتایج نشان داد میانگین وزنی خشک قطر خاکدانه‌ها در خاک‌های شن لومی و لوم شنی به‌طور معنی‌داری به ترتیب به میزان حدود ۷۲ و ۵۶ درصد و میانگین هندسی خشک قطر خاکدانه‌ها در این خاک‌ها به ترتیب به میزان حدود ۷۸ و ۶۹ درصد کم‌تر از خاک لوم رسی بود. هم‌چنین میانگین وزنی خشک قطر خاکدانه‌ها در خاک‌های تیمار شده با نفت سفید و گازوئیل در مقایسه با خاک‌های تیمار شده با نفت خام به ترتیب به میزان حدود ۱۷ و ۲۵ درصد و میانگین هندسی خشک قطر خاکدانه‌ها به ترتیب به میزان حدود ۲۲ و ۳۵ درصد بیش‌تر بود. میانگین وزنی تر قطر خاکدانه‌ها در خاک شن لومی در مقایسه با خاک‌های لوم رسی و لوم شنی به‌طور معنی‌داری و به ترتیب به میزان حدود ۲۰ و ۳۵ درصد و میانگین هندسی تر قطر خاکدانه‌ها به ترتیب به میزان حدود ۹۱ و ۱۲ درصد بیش‌تر بود. هم‌چنین میانگین وزنی تر قطر خاکدانه‌ها در خاک‌های تیمار شده با نفت سفید و گازوئیل در مقایسه با نفت خام به‌طور معنی‌داری و به ترتیب به میزان حدود ۳۲ و ۸ درصد و میانگین هندسی تر قطر خاکدانه‌ها در خاک‌های تیمار شده با نفت سفید و گازوئیل در مقایسه با نفت خام به‌طور معنی‌داری به ترتیب به میزان حدود ۳۴ و ۱۴ درصد کم‌تر بود.

نتیجه‌گیری: به‌طورکلی نتایج نشان داد کاربرد سطوح کم مواد نفتی سبب افزایش معنی‌دار میانگین وزنی و هندسی خشک و تر قطر خاکدانه‌ها شد درحالی‌که سطوح زیاد سبب کاهش ویژگی‌های مذکور شد. نتایج حاصل از این پژوهش می‌تواند در هر دو بعد شناسایی و پایش ویژگی‌های خاک‌های آلوده به مواد نفتی برای اصلاح و اتخاذ تصمیمات مدیریتی و هم‌چنین به‌منظور حفاظت از خاک در برابر پدیده مخرب فرسایش قابل‌استفاده باشد.

استناد: دریایی، راضیه، موسوی، سید علی‌اکبر، قاسمی، رضا، ریاضی، مسعود (۱۴۰۱). ارزیابی پایداری خاکدانه‌ها تحت تأثیر کاربرد ترکیبات نفتی در خاک‌های با بافت مختلف. *پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*، ۲۹ (۲)، ۴۵-۲۵.

DOI: 10.22069/jwsc.2022.19559.3526



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

آلودگی‌های نفتی یک پیامد اجتناب‌ناپذیر حاصل از افزایش سریع جمعیت و فرایند صنعتی شدن هستند و از آن‌جاکه بیشتر تأسیسات پالایشگاهی بر روی خاک احداث می‌شوند، آلودگی خاک با مواد نفتی در محدوده پالایشگاه‌ها با توجه به پوسیدگی مخازن، پوسیدگی یا شکست خطوط لوله‌های انتقال و یا تصادف تانکرها در مسیر انتقال امری شایع است (۱). آلاینده‌های نفتی با اثرات منفی زیست‌محیطی گوناگون و تأثیر بر ویژگی‌های فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی خاک و آب، کیفیت آن‌ها را به مخاطره انداخته و سلامت بشر را تهدید می‌کند (۲). فرآورده‌های نفتی از جمله رایج‌ترین و خطرناک‌ترین آلاینده‌هایی هستند که سبب آلودگی محیط‌زیست می‌شوند (۱). زندگی بشر وابسته به منابع انرژی و به‌ویژه سوخت‌های فسیلی همچون نفت خام و دیگر فرآورده‌های نفتی پرمصرف هم‌چون نفت سفید و گازوئیل است. هیدروکربن‌های نفتی مذکور به‌صورت طبیعی هم در مواد شیمیایی که توسط انسان و برای فعالیت‌های مختلف شامل سوخت‌گیری وسایل نقلیه و گرم کردن منازل استفاده می‌شوند، وجود دارند. نشت ترکیبات نفتی تحت تأثیر نیروهای موئینگی و ثقلی منجر به حرکت عمودی در خاک‌های غیراشباع شده و خلل و فرج خاک را پر می‌کند (۳). حضور ترکیبات نفتی در خاک می‌تواند سبب بروز سمیت برای انسان و سایر موجودات زنده و نیز آلودگی آب‌های زیرزمینی شود. هیدروکربن‌های نفتی یکی از شایع‌ترین گروه آلوده‌کننده‌های آلی زیست‌تخریب‌پذیر در محیط‌زیست می‌باشند (۴) و از مشکلات بسیار مهم و عمده‌ای است که محیط‌زیست انسان و سایر موجودات زنده را به‌طور جدی تهدید می‌کند (۵)، بنابراین پالایش مکان‌های آلوده به ترکیبات نفتی امری ضروری و مهم است که لازمه آن شناخت و بررسی

تأثیر این آلاینده‌ها بر ویژگی‌های خاک است (۴). مطالعاتی که تاکنون در ارتباط با اثر آلودگی‌های نفتی بر ویژگی‌های فیزیکی، مکانیکی و مقاومت خاک‌ها انجام شده، نشان می‌دهد که برخی ویژگی‌های خاک از جمله نفوذپذیری، زاویه اصطکاک داخلی، حدود آتبرگ و سایر ویژگی‌های مقاومتی خاک آلوده نسبت به خاک طبیعی متفاوت است (۶ و ۷). عمده مطالعات در ارتباط با اثر آلودگی خاک بر نفوذپذیری خاک بوده که در کشاورزی بسیار دارای اهمیت بوده و دارای نقشی بسیار مهم و ارتباط زیاد با سایر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی خاک است (۸ و ۹). بررسی و مطالعه منابع گذشته در حیطه مورد پژوهش نشان داد افزودن آلاینده‌های آلی، بسته به نوع آن‌ها اثرات متفاوتی بر پایداری خاکدانه‌ها خواهد داشت. اما نکته دارای اهمیت آن است که آب‌گریزی یک ویژگی کلیدی در پایداری خاک است و در پی افزایش شدت آب‌گریزی، پایداری ساختمان خاک نیز افزایش می‌یابد (۱۰).

با توجه به این‌که ایران کشوری نفت‌خیز است، آلوده شدن خاک با مواد نفتی مختلف در ایران امری شایع است و از این‌رو شناسایی رفتار خاک در مواجهه با این مشکل و کشف چگونگی مدیریت آن امری ضروری است. از طرفی تاکنون مطالعه مقایسه‌ای برای بررسی اثر سطوح مختلف آلاینده‌های پرمصرف و مهم بر پایداری خاکدانه‌ها و شاخص‌های مرتبط با پایداری خاکدانه‌ها در خاک‌های با بافت مختلف انجام نشده است. بنابراین این پژوهش باهدف بررسی اثر سطوح مختلف نفت خام، نفت سفید و گازوئیل به‌عنوان سه ماده نفتی پرمصرف بر شاخص‌های پایداری خاکدانه‌ها در سه خاک با بافت‌های لوم رسی، لوم شنی و شن لومی انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال ۱۳۹۸ و در بخش علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز واقع در منطقه باجگاه (عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۵۰ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۴۶ دقیقه شرقی، و ارتفاع ۱۸۱۰ متر از سطح دریا) انجام شد. پژوهش به صورت گلدانی، در قالب آزمایش‌های فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و با سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل چهار سطح صفر، ۱/۵، ۳ و ۴/۵ درصد جرمی از سه نوع آلاینده آلی نفت خام، نفت سفید و گازوئیل و سه نوع بافت خاک مختلف شامل کلاس بافت‌های لوم رسی، شن لومی و لوم شنی بودند. خاک با بافت لوم رسی به صورت طبیعی از خاک سری دانشکده واقع در منطقه باجگاه و دو بافت دیگر به صورت مصنوعی و دست‌ساز تهیه شد. به این ترتیب که برای تهیه ۳ کیلوگرم از نمونه‌های خاک مورد نظر، به مقدار لازم از دو نوع بافت خاک

رس لومی و شنی به عنوان بافت پایه که به ترتیب از سری کوی اساتید دانشکده کشاورزی شیراز و منطقه سیوند استان فارس تهیه شده بودند استفاده شد. برای ساخت ۳ کیلوگرم خاک با بافت شن لومی به ترتیب مقدار ۹۳/۴۸ و ۶/۵۲ درصد از خاک‌های شنی و لوم رسی و برای ساخت ۳ کیلوگرم خاک با بافت لوم شنی به ترتیب مقدار ۶۷/۱۶ و ۵۳/۸۴ درصد از خاک‌های شنی و لوم رسی استفاده و ترکیب شد. لازم به ذکر است در نمونه‌هایی از خاک‌های مورد مطالعه، برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی اولیه با استفاده از روش‌های استاندارد معمول اندازه‌گیری شد (جدول ۱). بافت خاک‌های تهیه شده نیز با روش هیدرومتر (۱۱) اندازه‌گیری شد. برای آشنایی بیشتر با ترکیب شیمیایی و ساختار آلاینده‌های نفتی مورد مطالعه، نیز آزمایش‌هایی در آزمایشگاه مرکزی نفت دانشکده نفت دانشگاه شیراز انجام و نتایج گزارش شد (جدول ۲).

جدول ۱- برخی ویژگی‌های اولیه خاک‌های مورد استفاده در پژوهش.

Table 1. Some basic characteristics of soils used in the research.

خاک			ویژگی‌ها Attributes
خاک سوم Third soil	خاک دوم Second soil	خاک اول First soil	
Sandy Loam	Loamy Sand	Clay Loam	کلاس بافت خاک Texture
8.95	3.6	29.93	رس (درصد) Clay (%)
28.31	9.15	32.78	سیلت (درصد) Silt (%)
62.74	87.25	37.29	شن (درصد) Sand (%)
0.477	0.341	0.885	ماده آلی (درصد) Organic matter (%)
7.68	7.38	7.63	پ‌هاش خمیر اشباع pH of saturated paste
0.640	0.861	0.736	قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع (دسی‌زیمنس بر متر) Electrical conductivity of saturated extract (dS/m)
25.15	39.75	36.85	کربنات کلسیم معادل (درصد) Calcium carbonate equivalent (%)
30.17	37.90	31.10	سدیم محلول (میلی‌گرم در لیتر) Soluble sodium (mg/L)

جدول ۲- برخی ویژگی‌های مواد نفتی مورد استفاده در پژوهش.

Table 2. Some properties of petroleum products used in the research.

روش / وسیله اندازه‌گیری Method / measuring device	مقدار Amount	ویژگی (واحد) Properties (unit)	
گازوئیل Gasoline			
ویسکومتر چرخشی Rotary viscometer	4.26×10^{-3}	ویسکوزیته دینامیک (کیلوگرم بر متر ثانیه) Dynamic viscosity (kg/m.s)	
ASTM D445-03	4.93×10^{-6}	ویسکوزیته سینماتیک (مترمربع بر ثانیه) Kinematic viscosity (m^2/s)	
پیکنومتر Pycnometer	864.7	چگالی (کیلوگرم بر مترمکعب) Density (kg/m^3)	
نفت سفید Krosene			
ویسکومتر چرخشی Rotary viscometer	1.61×10^{-3}	ویسکوزیته دینامیک (کیلوگرم بر متر ثانیه) Dynamic viscosity (kg/m.s)	
ASTM D445-03	1.94×10^{-6}	ویسکوزیته سینماتیک (مترمربع بر ثانیه) Kinematic viscosity (m^2/s)	
پیکنومتر Pycnometer	830.0	چگالی (کیلوگرم بر مترمکعب) Density (kg/m^3)	
نفت خام Crude oil			
ویسکومتر چرخشی Rotary viscometer	گشتاور (%) Torque	سرعت دورانی rad/s	ویسکوزیته دینامیک Dynamic viscosity
	25.4	3.142	50.8×10^{-3}
	42.3	5.236	50.9×10^{-3}
	60.8	7.330	52.2×10^{-3}
80.3	9.424	53.6×10^{-3}	ویسکوزیته دینامیک (کیلوگرم بر متر ثانیه) Dynamic viscosity (kg/m.s)
پیکنومتر Pycnometer	923.1	چگالی (کیلوگرم بر مترمکعب) Density (kg/m^3)	

تمام ویژگی‌های فوق در فشار ۶۴۰ میلی‌متر جیوه و دمای ۲۶.۵ درجه سانتی‌گراد (دما و فشار معمول آزمایشگاه) اندازه‌گیری شده‌اند.

All the above mentioned characteristics were measured at a pressure of 640 mm Hg and a temperature of 26.5 °C (normal laboratory temperature and pressure).

هر الک با دقت جدا و توزین شد. در روش الک تر نیز مقدار ۵۰ گرم خاک هوا خشک شده که از الک ۴ میلی‌متری عبور داده شده بود توزین و بر روی سری الک‌هایی با قطر سوراخ ۴، ۲، ۱، ۰/۵، ۰/۲۵، ۰/۱۲۵ و ۰/۰۵۳ میلی‌متر که به ترتیب اندازه سوراخ از بزرگ به کوچک و از بالا به پایین مرتب شده بودند و در زیر آن‌ها یک سینی تعبیه شده بود قرار داده شده و بعد از ۱۰ دقیقه درحالی‌که مجموعه الک‌ها با ارتفاع لرزش ۱ میلی‌متر و شتاب لرزش ۵ برابر شتاب جاذبه (۵ g) در آب تکان داده می‌شد و ذرات خاکدانه‌ها به‌ترتیب اندازه روی الک‌ها قرار می‌گرفت، دستگاه خاموش شده و الک‌ها جدا شدند. سپس خاکدانه‌های باقی‌مانده روی هر الک درون ظروف شسته شد و ظروف به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد خشک و سپس توزین شد. میانگین‌های وزنی و هندسی قطر خاکدانه‌ها با استفاده از روابط زیر محاسبه شدند:

$$MWD = \sum_{i=1}^n f_i \cdot \bar{d}_i \quad (1)$$

$$GMW = \exp\left[\sum_{i=1}^n f_i \cdot (\ln \bar{d}_i)\right] \quad (2)$$

که در آن‌ها، \bar{d}_i متوسط قطر یا اندازه خاکدانه‌ها در هر کلاس اندازه‌ای (میانگین قطر سوراخ الک‌های بالا و پایین) و f_i مقدار نسبی خاکدانه‌های با قطر متوسط \bar{d}_i است.

نتایج اندازه‌گیری شاخص‌های پایداری خاکدانه‌های خاک در تیمارهای مختلف به‌کاربرده شده با استفاده از نرم‌افزارهای آماری EXCEL و SAS تجزیه و تحلیل شد و میانگین‌های مربوط به اثر هر یک از تیمارها به‌صورت جداگانه و نیز برهم‌کنش‌های موردبررسی آن‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد مقایسه شد.

پس از آماده‌سازی بافت‌های خاک، تیمارهای نفتی با درصدهای ذکر شده و در سه تکرار به خاک‌های مورد مطالعه اضافه شد، سپس نمونه‌های ۳ کیلوگرمی تیمار شده به گلدان‌های استوانه‌ای شکل پلاستیکی منتقل شد و به مدت ۷۲ ساعت در یک محیط در بسته و در داخل پاکت، به منظور اثرگذاری بهتر و بیش‌تر آلاینده بر خاک و جلوگیری از تبخیر آن‌ها نگهداری شدند. پس از گذشت ۷۲ ساعت، نمونه‌ها توزین و سپس به مدت ده هفته و هر هفته یک بار در حد رطوبت ظرفیت مزرعه برای هر بافت، با آب مقطر آبیاری شدند (لازم به ذکر است دوره زمانی ذکر شده برای آزمایش، بر اساس نتایج سایر پژوهش‌های مرتبط قبلی و نظرات نهایی اعضای محترم تیم پژوهش انتخاب شده است). پس از اتمام این مدت زمان، نمونه‌ها برای انجام و بررسی آزمایش‌های اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی شامل میانگین وزنی و هندسی قطر خاکدانه‌ها با روش‌های الک تر و خشک آماده شد که روش اندازه‌گیری ویژگی‌های نام برده در ادامه شرح داده خواهد شد. برای تعیین میانگین وزنی (MWD)^۱ و هندسی قطر خاکدانه‌ها (GMD)^۲ از روش‌های الک خشک و تر استفاده شد (۱۲). این روش‌ها براساس اندازه‌گیری جرم خاکدانه‌هایی با اندازه مشخص استوار است. در روش الک خشک مقدار ۵۰ گرم از خاک هوا خشک شده که از الک ۴ میلی‌متر عبور داده شده بود توزین شد و بر روی سری الک‌هایی با قطر سوراخ ۳/۱۵، ۲، ۱/۶، ۰/۸، ۰/۴، ۰/۲، ۰/۱ و ۰/۰۵ میلی‌متر که به ترتیب اندازه سوراخ از بزرگ به کوچک و از بالا به پایین مرتب شده بودند و در زیر آنان یک سینی تعبیه شده بود، قرار داده شده و به مدت ۵ دقیقه با ارتفاع لرزش ۱ میلی‌متر و شتاب لرزش ۵ برابر شتاب جاذبه (۵ g) حرکت داده شد. سپس خاکدانه‌های باقی‌مانده بر روی

1- Mean weight diameter
2- Geometric mean diameter

نتایج و بحث

درصد و در خاک‌های تیمار شده با گازوئیل به ترتیب به میزان حدود ۱۹، ۸ و ۵۶ درصد بیش‌تر از خاک‌های تیمار شده با نفت خام بود (جدول ۴). هم‌چنین به‌طور میانگین کاربرد سطوح ۱/۵، ۳ و ۴/۵ درصد تیمارهای نفتی در خاک‌های لوم رسی و لوم شنی مورد مطالعه روند مشابهی داشت و سبب افزایش معنی‌دار میانگین وزنی خشک قطر خاکدانه‌ها در مقایسه با شاهد شد. به‌طوری‌که کاربرد سطوح مذکور به ترتیب سبب افزایش حدود ۴۱، ۵۱ و ۴۸ درصد در خاک‌های لوم رسی و ۹۹، ۱۱۶ و ۱۰۳ درصد در خاک‌های لوم شنی شد؛ درحالی‌که در خاک‌های شن لومی کاربرد سطوح مذکور تیمارهای نفتی اثر معکوسی بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها داشت و کاربرد سطوح ۱/۵ و ۳ درصد تیمارهای نفتی سبب کاهش معنی‌دار میانگین وزنی خشک قطر خاکدانه‌ها به ترتیب به میزان حدود ۳ و ۱۲ درصد در مقایسه با شاهد شد (جدول ۴).

نتایج تجزیه واریانس میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها با روش ال‌ک خشک نشان داد اثر کاربرد سطوح آلاینده‌های نفت خام، نفت سفید و گازوئیل بر میانگین وزنی خشک قطر خاکدانه‌ها در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است. هم‌چنین نتایج نشان داد که اثر بافت خاک، تیمارهای نفتی و سطوح مختلف آن‌ها و هم‌چنین اثر برهم‌کنش سه‌تایی بر این ویژگی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است (جدول ۳).

نتایج مقایسه میانگین نیز نشان داد به‌طور کلی در هر سه بافت خاک مورد مطالعه میانگین وزنی خشک قطر خاکدانه‌ها در خاک‌های تیمار شده با نفت سفید و گازوئیل در مقایسه با خاک‌های تیمار شده با نفت خام به‌طور معنی‌داری بیش‌تر است. به‌طوری‌که در خاک‌های لوم رسی، شن لومی و لوم شنی تیمار شده با نفت سفید میزان میانگین وزنی خشک قطر خاکدانه‌ها به ترتیب به میزان حدود ۱۳، ۲ و ۴۱

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس (سه عاملی) اثر مواد نفتی بر میانگین وزنی، MWD_{dry} و هندسی خشک، GMD_{dry} و میانگین وزنی، MWD_{wet} و هندسی، GMD_{wet} تر قطر خاکدانه‌ها (میلی‌متر) در خاک‌های با بافت مختلف.

Table 3. Results of analysis of variance (three factors) for the effect of petroleum materials on the dry mean weight, MWD_{dry} , and geometric mean, GMD_{dry} diameter of aggregates (mm) in texturally different soils.

میانگین مربعات				درجه آزادی	منابع تغییر
Mean squares				Degrees of freedom	Sources of variation
GMD_{wet}	MWD_{wet}	GMD_{dry}	MWD_{dry}		
7.83**	4.18**	31.78**	40.15**	2	بافت خاک Soil Texture
2.33**	6.70**	1.00**	1.19**	2	نوع ماده نفتی Petroleum materials type
7.81**	12.49**	2.48**	2.09**	3	سطوح مواد نفتی Petroleum materials levels
0.994**	0.942**	0.346**	0.220**	4	برهم‌کنش بافت خاک و نوع ماده نفتی Interaction of soil texture and petroleum materials type
0.462**	0.662**	1.13**	0.656**	6	برهم‌کنش بافت خاک و سطوح مواد نفتی Interaction of soil texture and petroleum materials levels
0.614**	1.39**	0.131**	0.096**	6	برهم‌کنش نوع و سطوح مواد نفتی Interaction of petroleum materials type and levels
0.723**	0.887**	0.137**	0.14**	12	برهم‌کنش بافت خاک، نوع و سطوح مواد نفتی Interaction of soil texture, petroleum materials type and levels
0.04	0.01	0.003	0.0002	72	خطا Error

* و ** به ترتیب معنی‌داری در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد را نشان می‌دهند

* and ** show significance at 5 and 1% probability levels, respectively

جدول ۴- اثر سطوح مواد نفتی مورد مطالعه بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها با روش الک خشک (میلی‌متر) در خاک‌های با بافت مختلف.

Table 4. Effect of studied petroleum materials on mean weight diameter of aggregates measured by dry sieving method (mm) in texturally different soils.

میانگین Mean	مواد نفتی Petroleum material			سطوح Levels
	گازوئیل Gasoline	نفت سفید Kerosene	نفت خام Crude oil	
بافت لوم رسی (میانگین = 2.79 A)				
Clay Loam texture (Mean = 2.79 A)				
2.07 ^D	2.63 ^j	1.69 ^l	1.78* ^k	0
2.91 ^C	2.97 ^f	3.08 ^e	2.68 ⁱ	1.5
3.12 ^A	3.27 ^b	3.35 ^a	2.73 ^h	3
3.06 ^B	3.15 ^d	3.25 ^c	2.78 ^g	4.5
	3.01 ^A	2.84 ^B	2.52 ^C	Mean میانگین
بافت شن لومی (میانگین = 0.775 C)				
Loamy Sand texture (Mean = 0.775 C)				
0.803 ^A	0.924 ^a	0.783 ^c	0.703 ^f	0
0.782 ^B	0.759 ^d	0.908 ^b	0.679 ^g	1.5
0.704 ^C	0.777 ^c	0.641 ^h	0.694 ^f	3
0.809 ^A	0.777 ^c	0.722 ^e	0.927 ^a	4.5
	0.809 ^A	0.763 ^B	0.751 ^C	Mean میانگین
بافت لوم شنی (میانگین = 1.23 B)				
Sandy Loam texture (Mean = 1.23 B)				
0.684 ^D	0.682 ^h	0.699 ^h	0.670 ^h	0
1.36 ^C	1.63 ^{bc}	1.39 ^e	1.07 ^f	1.5
1.48 ^A	1.81 ^a	1.54 ^d	1.10 ^f	3
1.39 ^B	1.67 ^b	1.62 ^c	0.873 ^g	4.5
	1.45 ^A	1.31 ^B	0.928 ^C	Mean میانگین

* در مورد هر خاک، میانگین‌هایی که در هر ردیف یا ستون حداقل در یک حرف آماری بزرگ و اعدادی که در بدنه جدول حداقل در یک حرف آماری کوچک مشترک هستند از نظر آماری با استفاده از آزمون چند دامنه دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

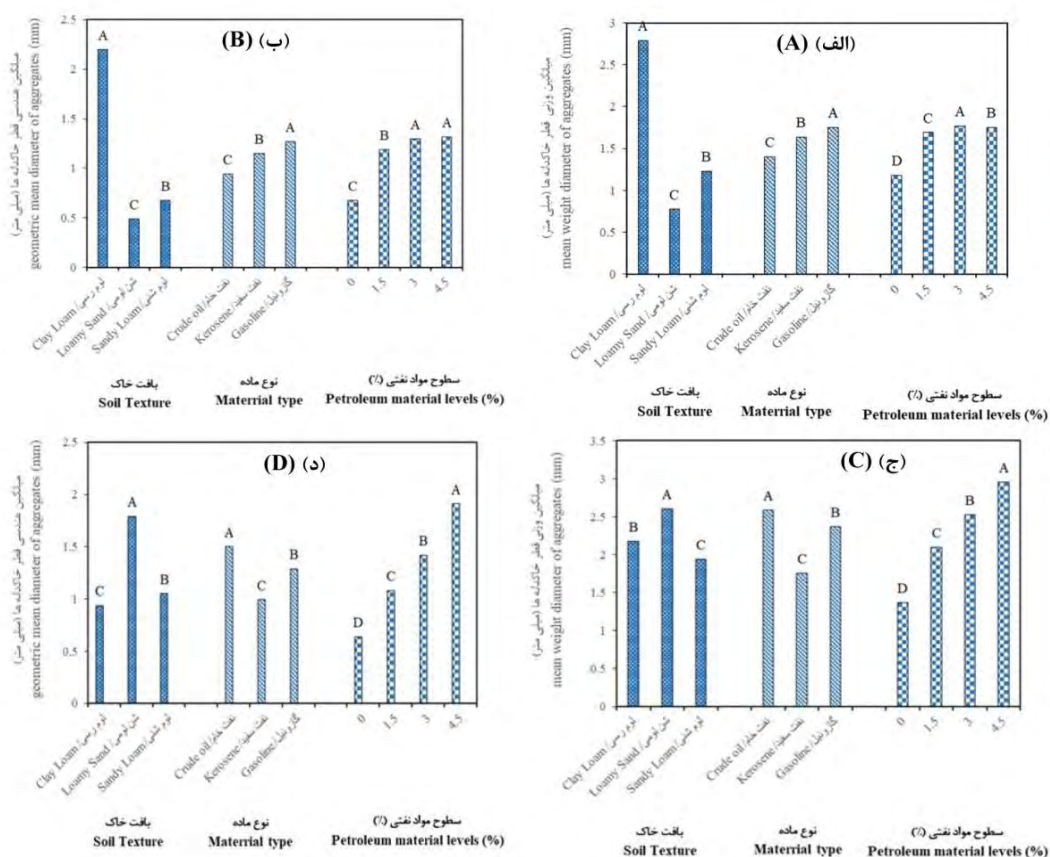
* For each soil, the means in each row or column followed by the same capital letter and the numbers in the body of the table followed by the same lowercase letters are not statistically significant at 5% probability level using the Duncan, s Multiple Range Test.

۰/۹۲۷ و ۰/۶۴۱ میلی‌متر و در تیمار ۴/۵ درصد نفت خام و ۳ درصد نفت سفید مشاهده شد. در خاک‌های لوم شنی نیز بیش‌ترین و کم‌ترین میانگین وزنی خشک قطر خاکدانه‌ها به ترتیب به میزان ۱/۸۱ و ۰/۶۷۰ میلی‌متر و در تیمار ۳ درصد گازوئیل و بدون کاربرد نفت خام مشاهده شد (جدول ۴).

بیش‌ترین و کم‌ترین میانگین وزنی خشک قطر خاکدانه‌ها نیز در خاک لوم رسی به ترتیب به میزان ۳/۳۵ و ۱/۶۹ میلی‌متر و به ترتیب در تیمار ۳ درصد نفت سفید و بدون نفت سفید (شاهد) مشاهده شد. درحالی‌که بیش‌ترین و کم‌ترین میانگین وزنی خشک قطر خاکدانه‌ها در خاک شن لومی به ترتیب به میزان

مقایسه با خاک‌های تیمار شده با نفت خام به ترتیب به میزان حدود ۱۷ و ۲۵ درصد بیش‌تر بود (شکل ۱- الف). به‌طورکلی کاربرد ۱/۵، ۳ و ۴/۵ درصد مواد نفتی سبب افزایش معنی‌دار میانگین وزنی خشک قطر خاکدانه‌ها به ترتیب به میزان حدود ۴۳، ۵۰ و ۴۸ درصد در مقایسه با شاهد شد (شکل ۱- الف).

به‌طورکلی میانگین وزنی خشک قطر خاکدانه‌ها در خاک‌های شن لومی و لوم شنی به‌طور معنی‌داری به ترتیب به میزان حدود ۷۲ و ۵۶ درصد کم‌تر از خاک لوم رسی بود (شکل ۱- الف). همچنین به‌طورکلی میانگین وزنی خشک قطر خاکدانه‌ها در خاک‌های تیمار شده با نفت سفید و گازوئیل در



شکل ۱- اثر سطوح مختلف تیمارهای نفتی مورد آزمایش بر میانگین وزنی (الف) و هندسی (ب) قطر خاکدانه‌ها با روش الک خشک و میانگین وزنی (ج) و هندسی (د) قطر خاکدانه‌ها با روش الک تر در خاک‌های با بافت مختلف (ستون‌هایی که حداقل در یک حرف مشترک هستند از نظر آماری با استفاده از آزمون چند دامنه دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند).

Figure 1. Effect of different levels of oil treatments on mean weight (A) and geometric mean (B) diameter of aggregates measured by dry sieving method and mean weight (C) and geometric mean (D) diameter of aggregates measured by wet sieving method in texturally different soils (Columns followed by the same capital letter are not statistically significant at 5% probability using the Duncan's Multiple Range Test).

و سطوح مختلف آن‌ها و همچنین اثر برهمکنش سه‌تایی آن‌ها بر میانگین هندسی خشک قطر خاکدانه‌ها در سطح ۱ درصد معنی‌دار است (جدول ۳).

تجزیه واریانس میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها با روش الک خشک نشان داد اثر کاربرد سطوح نفت خام، نفت سفید و گازوئیل، اثر بافت خاک، مواد نفتی

با نفت سفید میانگین هندسی خشک قطر خاکدانه‌ها به ترتیب به میزان حدود ۲۵، ۶ و ۲۶ درصد و در خاک‌های تیمار شده با گازوئیل به ترتیب به میزان حدود ۳۷، ۴ و ۵۵ درصد بیش‌تر از خاک‌های تیمار شده با نفت خام بود (جدول ۵).

نتایج نشان داد به‌طور میانگین در هر سه بافت خاک مورد مطالعه، میانگین هندسی خشک قطر خاکدانه‌ها در خاک‌های تیمار شده با نفت سفید و گازوئیل در مقایسه با خاک‌های تیمار شده با نفت خام به‌طور معنی‌داری بیش‌تر است. به‌طوری‌که در خاک‌های لوم رسی، شن لومی و لوم شنی تیمار شده

جدول ۵- اثر سطوح مواد نفتی مورد مطالعه بر میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها با روش الک خشک (میلی‌متر) در خاک‌های با بافت مختلف.

Table 5. Effect of studied petroleum materials on geometric mean diameter of aggregates by dry sieving method (mm) in texturally different soils.

میانگین Mean	مواد نفتی Petroleum materials			سطوح Levels
	گازوئیل Gasoline	نفت سفید Kerosene	نفت خام Crude oil	
(بافت لوم رسی (میانگین = 2.20 A)) Clay Loam texture (Mean = 2.20 A)				
1.21 ^C	1.66 ^g	0.808 ⁱ	1.16 ^{*h}	0
2.28 ^B	2.37 ^d	2.50 ^c	1.97 ^f	1.5
2.66 ^A	2.97 ^a	3.02 ^a	1.99 ^f	3
2.66 ^A	3.01 ^a	2.80 ^b	2.18 ^e	4.5
	2.50 ^A	2.28 ^B	1.83 ^C	Mean میانگین
(بافت شن لومی (میانگین = 0.488 C)) Loamy Sand texture (Mean = 0.488 C)				
0.491 ^B	0.571 ^b	0.468 ^c	0.434 ^{cd}	0
0.538 ^A	0.557 ^b	0.630 ^a	0.426 ^d	1.5
0.434 ^C	0.450 ^{cd}	0.437 ^{cd}	0.416 ^{de}	3
0.490 ^B	0.385 ^e	0.468 ^c	0.616 ^a	4.5
	0.491 ^A	0.501 ^A	0.473 ^B	Mean میانگین
(بافت لوم شنی (میانگین = 0.679 B)) Sandy Loam texture (Mean = 0.679 B)				
0.332 ^C	0.280 ^g	0.328 ^g	0.389 ^g	0
0.747 ^B	0.916 ^b	0.701 ^{de}	0.625 ^e	1.5
0.818 ^A	1.04 ^a	0.790 ^{cd}	0.626 ^e	3
0.819 ^A	1.08 ^a	0.875 ^{bc}	0.499 ^f	4.5
	0.829 ^A	0.674 ^B	0.535 ^C	Mean میانگین

* در مورد هر خاک، میانگین‌هایی که در هر ردیف یا ستون حداقل در یک حرف آماری بزرگ و اعدادی که در بدنه جدول حداقل در یک حرف آماری کوچک مشترک هستند از نظر آماری با استفاده از آزمون چند دامنه دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

* For each soil, the means in each row or column followed by the same capital letter and the numbers in the body of the table followed by the same lowercase letters are not statistically significant at 5% probability level using the Duncan, s Multiple Range Test.

حدود ۷۸ و ۶۹ درصد کمتر از خاک لوم رسی بود (شکل ۱- ب). میانگین هندسی خشک قطر خاکدانه‌ها در خاک‌های تیمار شده با نفت سفید و گازوئیل نیز در مقایسه با نفت خام به ترتیب به میزان حدود ۲۲ و ۳۵ درصد بیش‌تر بود (شکل ۱- ب). هم‌چنین نتایج نشان داد به‌طور کلی کاربرد سطوح ۱/۵، ۳ و ۴/۵ درصد تیمارهای نفتی مورد مطالعه سبب افزایش معنی‌دار میانگین هندسی خشک قطر خاکدانه‌ها به ترتیب به میزان حدود ۷۶، ۹۲ و ۹۵ درصد در مقایسه با شاهد شدند (شکل ۱- ب).

بررسی نتایج میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها با روش الک تر نشان داد اثر کاربرد سطوح نفت خام، نفت سفید و گازوئیل در سطح احتمال ۱ درصد و اثر بافت خاک، تیمارهای نفتی و سطوح مختلف آن‌ها و اثر برهمکنش سه‌تایی آن‌ها بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در سطح ۱ درصد معنی‌دار است (جدول ۳).

نتایج نشان داد به‌طور میانگین در هر سه بافت خاک مورد مطالعه، میانگین وزنی تر قطر خاکدانه‌ها در خاک‌های تیمار شده با نفت سفید و گازوئیل در مقایسه با خاک‌های تیمار شده با نفت خام، تغییرات تقریباً مشابهی داشته است. به‌طوری‌که در خاک‌های لوم رسی و شن لومی کاربرد تیمارهای نفت سفید و گازوئیل نسبت به نفت خام سبب کاهش میانگین وزنی تر قطر خاکدانه‌ها به ترتیب به میزان حدود ۳۶ و ۳۱ درصد در اثر کاربرد نفت سفید و افزایش حدود ۲ درصد در اثر کاربرد گازوئیل در خاک‌های لوم رسی شد (هرچند افزایش حاصل از کاربرد گازوئیل نسبت به نفت خام در هر دو خاک معنی‌دار نبود)؛ در خاک‌های لوم شنی نیز کاربرد نفت سفید و گازوئیل نسبت به نفت خام میانگین وزنی تر قطر خاکدانه‌ها را

به‌طور میانگین اثر کاربرد سطوح ۱/۵، ۳ و ۴/۵ درصد تیمارهای نفتی بر میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها در خاک‌های لوم رسی و لوم شنی مورد مطالعه روند مشابهی داشت و سبب افزایش معنی‌دار میانگین هندسی خشک قطر خاکدانه‌ها در مقایسه با شاهد شد. به‌طوری‌که کاربرد سطوح مذکور در خاک‌های لوم رسی و لوم شنی سبب افزایش میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها به میزان حدود ۲ برابر در همه موارد شد؛ درحالی‌که در خاک‌های شن لومی کاربرد سطوح ۱/۵، ۳ و ۴/۵ درصد تیمارهای نفتی روند معکوسی داشت به‌گونه‌ای که کاربرد ۱/۵ درصد مواد نفتی سبب افزایش معنی‌دار میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها به میزان حدود ۱۰ درصد شد. در حالی‌که کاربرد ۳ درصد مواد نفتی سبب کاهش معنی‌دار میانگین هندسی خشک قطر خاکدانه‌ها به میزان حدود ۱۲ درصد در مقایسه با شاهد شد (جدول ۵).

بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار میانگین هندسی خشک قطر خاکدانه‌ها نیز در خاک لوم رسی به ترتیب به‌میزان ۳/۰۲ و ۰/۸۰۸ میلی‌متر و در خاک تیمار شده با ۳ درصد نفت سفید و بدون کاربرد نفت سفید (شاهد) مشاهده شد. درحالی‌که بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار میانگین هندسی خشک قطر خاکدانه‌ها در خاک شن لومی به ترتیب به میزان ۰/۶۳۰ و ۰/۳۸۵ میلی‌متر و در خاک‌های تیمار شده با ۱/۵ درصد نفت سفید و ۴/۵ درصد گازوئیل مشاهده شد. در خاک‌های لوم شنی نیز بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار میانگین هندسی خشک قطر خاکدانه‌ها به ترتیب به میزان ۱/۰۸ و ۰/۲۸۰ میلی‌متر و در شرایط تیمار با ۴/۵ درصد گازوئیل و بدون کاربرد گازوئیل (شاهد) مشاهده شد (جدول ۵).

نتایج هم‌چنین نشان داد به‌طور کلی میانگین هندسی خشک قطر خاکدانه‌ها در خاک‌های شن لومی و لوم شنی به‌طور معنی‌داری و به ترتیب به میزان

شده با نفت سفید و گازوئیل در مقایسه با نفت خام به‌طور معنی‌داری و به ترتیب به میزان حدود ۳۲ و ۸ درصد کم‌تر بود. نتایج نشان داد به‌طورکلی کاربرد سطوح ۱/۵، ۳ و ۴/۵ درصد تیمارهای نفتی موردنظر سبب افزایش معنی‌دار میانگین وزنی تر قطر خاکدانه‌ها به ترتیب به میزان حدود ۵۳، ۸۵ و ۱۱۶ درصد در مقایسه با شاهد شد (شکل ۱-ج).

نتایج بررسی میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها با روش الک تر نشان داد اثر کاربرد سطوح نفت خام، نفت سفید و گازوئیل بر میانگین هندسی تر قطر خاکدانه‌ها در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است. همچنین اثر بافت خاک، تیمار نفتی و سطوح مختلف آن‌ها و همچنین اثر برهمکنش سه‌تایی بر میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها با روش الک تر در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). به‌طور میانگین در هر سه خاک مورد مطالعه تغییرات میانگین هندسی تر قطر خاکدانه‌ها در خاک‌های تیمار شده با نفت سفید و گازوئیل روند تقریباً مشابهی داشتند. به‌طوری‌که در خاک‌های شن لومی و لوم شنی کاربرد نفت سفید و گازوئیل در مقایسه با نفت خام ویژگی یادشده را به‌طور معنی‌داری به ترتیب به میزان حدود ۳۹ و ۲۹ درصد (برای نفت سفید) و به ترتیب به میزان حدود ۵ و ۴۷ درصد (برای گازوئیل) کاهش داد؛ در خاک لوم رسی نیز کاربرد نفت سفید در مقایسه با نفت خام میانگین هندسی تر خاکدانه‌ها را به‌طور معنی‌داری به‌میزان حدود ۳۱ درصد کاهش داد درحالی‌که گازوئیل در مقایسه با نفت خام بر میانگین هندسی تر قطر خاکدانه‌ها در این خاک‌ها اثر معنی‌داری نداشت (جدول ۷).

به‌طور معنی‌داری و در حدود ۲۹ درصد در همه موارد کاهش داد (جدول ۶). به‌طورکلی کاربرد سطوح ۱/۵، ۳ و ۴/۵ درصد تیمارهای نفتی در همه خاک‌های مورد مطالعه سبب افزایش معنی‌دار میانگین وزنی تر قطر خاکدانه‌ها در مقایسه با شاهد (سطح صفر تیمار نفتی) شد. به‌طوری‌که کاربرد سطوح مذکور در خاک‌های لوم رسی به ترتیب سبب افزایش حدود ۲ برابر در همه موارد؛ در خاک‌های شن لومی نیز حدود ۲ برابر در همه موارد و در خاک‌های لوم شن حدود ۲۶، ۴۵ و ۷۰ درصد در مقایسه با شاهد شد (جدول ۶). بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار میانگین وزنی تر قطر خاکدانه‌ها نیز در خاک لوم رسی به ترتیب به میزان ۴/۱۹ و ۰/۹۳۸ میلی‌متر و به ترتیب در خاک تیمار شده با ۴/۵ درصد گازوئیل و بدون کاربرد نفت خام (شاهد) مشاهده شد. درحالی‌که بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار میانگین وزنی تر قطر خاکدانه‌ها در خاک شن لومی به ترتیب به میزان ۴/۳۰ و ۱/۰۶ میلی‌متر و در خاک تیمار شده با ۳ درصد گازوئیل و بدون کاربرد نفت سفید (شاهد) مشاهده شد. در خاک لوم شنی نیز بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار میانگین وزنی تر قطر خاکدانه‌ها به ترتیب به میزان ۳/۱۷ و ۱/۲۱ میلی‌متر و در شرایط تیمار با ۳ درصد نفت خام و بدون کاربرد گازوئیل (شاهد) مشاهده شد (جدول ۶).

به‌طورکلی میانگین وزنی تر قطر خاکدانه‌ها در خاک شن لومی نسبت به خاک‌های لوم رسی و لوم شنی به‌طور معنی‌داری و به ترتیب به میزان حدود ۲۰ و ۳۵ درصد بیش‌تر بود (شکل ۱-ج). به‌طورکلی میانگین وزنی تر قطر خاکدانه‌ها در خاک‌های تیمار

جدول ۶- اثر سطوح مواد نفتی مورد مطالعه بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها با روش الک تر (میلی‌متر) در خاک‌های با بافت مختلف.

Table 6. Effect of studied petroleum materials on mean weight diameter of aggregates measured by wet sieving method (mm) in texturally different soils.

میانگین Mean	مواد نفتی Petroleum materials			سطوح Levels
	گازوئیل Gasoline	نفت سفید Kerosene	نفت خام Crude oil	
بافت لوم رسی (میانگین = 2.18 B) Clay Loam texture (Mean = 2.18 B)				
1.26 ^D	1.41 ^d	1.44 ^{ef}	0.938 ^{*g}	0
2.03 ^C	1.63 ^{def}	1.77 ^d	2.69 ^c	1.5
2.35 ^B	1.76 ^c	1.35 ^f	2.95 ^c	3
3.07 ^A	4.19 ^a	1.72 ^{de}	3.28 ^b	4.5
	2.50 ^A	1.57 ^B	2.46 ^A	Mean میانگین
بافت شن لومی (میانگین = 2.61 A) Loamy Sand texture (Mean = 2.61 A)				
1.41 ^D	1.62 ⁱ	1.06 ^k	1.54 ^j	0
2.47 ^C	2.60 ^f	1.78 ^h	3.03 ^e	1.5
3.17 ^B	4.30 ^a	2.06 ^g	3.15 ^c	3
3.39 ^A	3.15 ^c	3.10 ^d	3.92 ^b	4.5
	2.92 ^A	2.00 ^B	2.91 ^A	Mean میانگین
بافت لوم شنی (میانگین = 1.94 C) Sandy Loamy texture (Mean = 1.94 C)				
1.43 ^D	1.21 ^k	1.69 ^g	1.40 ^j	0
1.80 ^C	1.60 ^h	1.77 ^f	2.05 ^d	1.5
2.08 ^B	1.53 ⁱ	1.52 ⁱ	3.17 ^a	3
2.43 ^A	2.46 ^c	1.84 ^e	2.98 ^b	4.5
	1.70 ^B	1.71 ^B	2.40 ^A	Mean میانگین

* در مورد هر خاک، میانگین‌هایی که در هر ردیف یا ستون حداقل در یک حرف آماری بزرگ و اعدادی که در بدنه جدول حداقل در یک حرف آماری کوچک مشترک هستند از نظر آماری با استفاده از آزمون چند دامنه دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

* For each soil, the means in each row or column followed by the same capital letter and the numbers in the body of the table followed by the same lowercase letters are not statistically significant at 5% probability level using the Duncan, s Multiple Range Test.

جدول ۷- اثر سطوح مواد نفتی مورد مطالعه بر میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها با روش الک تر (میلی‌متر) در خاک‌های با بافت مختلف.

Table 7. Effect of studied petroleum materials on geometric mean diameter of aggregates measured by wet sieving method (mm) in texturally different soils.

میانگین Mean	مواد نفتی Petroleum materials			سطوح Levels
	گازوئیل Gasoline	نفت سفید Kerosene	نفت خام Crude oil	
بافت لوم رسی (میانگین = 0.935 C) Clay Loam texture (Mean = 0.935 C)				
0.457 ^C	0.587 ^{de}	0.548 ^{de}	0.241 ^{* e}	0
0.698 ^C	0.654 ^{de}	0.863 ^d	0.577 ^{de}	1.5
1.02 ^B	1.01 ^{cd}	0.617 ^{de}	1.43 ^{bc}	3
1.56 ^A	2.30 ^a	0.698 ^{de}	1.70 ^b	4.5
	1.14 ^A	0.682 ^B	0.987 ^A	Mean میانگین
بافت شن لومی (میانگین = 1.79 A) Loamy Sand texture (Mean = 1.79 A)				
0.868 ^D	1.16 ^f	0.518 ^h	0.925 ^g	0
1.52 ^C	1.62 ^e	0.888 ^g	2.04 ^c	1.5
2.17 ^B	3.16 ^b	1.50 ^e	1.84 ^d	3
2.63 ^A	2.05 ^c	2.24 ^c	3.60 ^a	4.5
	2.00 ^B	1.29 ^C	2.10 ^A	Mean میانگین
بافت لوم شنی (میانگین = 1.05 B) Sandy Loam texture (Mean = 1.05 B)				
0.579 ^C	0.367 ^h	0.777 ^f	0.591 ^g	0
1.03 ^B	0.741 ^f	1.14 ^d	1.20 ^{cd}	1.5
1.06 ^B	0.587 ^g	0.930 ^e	1.67 ^b	3
1.53 ^A	1.28 ^c	1.17 ^d	2.15 ^a	4.5
	0.745 ^C	1.00 ^B	1.40 ^A	Mean میانگین

* در مورد هر خاک، میانگین‌هایی که در هر ردیف یا ستون حداقل در یک حرف آماری بزرگ و اعدادی که در بدنه جدول حداقل در یک حرف آماری کوچک مشترک هستند از نظر آماری با استفاده از آزمون چند دامنه دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

* For each soil, the means in each row or column followed by the same capital letter and the numbers in the body of the table followed by the same lowercase letters are not statistically significant at 5% probability level using the Duncan, s Multiple Range Test.

درصد در خاک‌های لوم رسی معنی‌دار نبود). به‌طوری‌که کاربرد سطوح مذکور در خاک‌های لوم رسی به ترتیب سبب افزایش میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها به میزان حدود ۲، ۲ و ۳ برابر؛ در خاک‌های شن لومی حدود ۲، ۳ و ۳ برابر و در

به‌طور میانگین کاربرد سطوح ۱/۵، ۳ و ۴/۵ درصد تیمارهای نفتی در همه خاک‌های مورد مطالعه سبب افزایش معنی‌دار میانگین هندسی تر قطر خاکدانه‌ها در مقایسه با شاهد (سطح صفر تیمار نفتی) شد (البته لازم به ذکر است که این افزایش تنها در سطح ۱/۵

خاک می‌باشند به شکلی که تقویت پوشش سطحی خاک با کاربرد تثبیت‌کننده‌های خاک مانند مالچ‌های نفتی، مواد پلیمری و غیره می‌تواند سبب حفاظت خاک در برابر فرسایش‌های آبی و بادی شود (۱۵) و (۱۶). حضور پوشش‌های آب‌گریز روی خاکدانه‌ها سبب افزایش پایداری خاکدانه‌ها و کاهش فرسایش خاک می‌شود و پژوهش‌ها نشان می‌دهد پیامدهای مثبت آب‌گریزی بر پایداری خاکدانه‌هایی با اندازه ۰/۵ تا ۵ میلی‌متر بیشتر است و تأثیری بر پایداری خاکدانه‌های بزرگ‌تر ندارد (۱۷). بررسی منابع نشان می‌دهد افزودن آلاینده‌های آلی، بسته به نوع آن‌ها اثرات متفاوتی بر پایداری خاکدانه‌ها خواهد داشت. آب‌گریزی یک ویژگی کلیدی در پایداری خاک است و در پی افزایش شدت آن، پایداری ساختمان خاک نیز افزایش می‌یابد، زیرا لایه آب‌گریز مانند یک پوشش بر روی خاکدانه‌ها از متلاشی شدن ذرات خاک در برابر نیروی آب و باد محافظت می‌کند و در نتیجه تا حدودی فرسایش را از طریق کاهش فرسایش‌پذیری خاک، کنترل می‌کند هم‌چنین وجود خاصیت آب‌گریزی در خاکدانه‌ها از طریق تأخیر در خیس شدن سریع آن‌ها و جلوگیری از متلاشی شدن خاکدانه‌ها در اثر فشرده شدن هوای داخل خاکدانه‌ها سبب افزایش پایداری آن‌ها می‌شود، از سوی دیگر حضور ترکیبات آلی آب‌گریز مانند ترکیبات نفتی در خاک سبب افزایش زاویه تماس آب با خاک شده، بنابراین جذب آب به آهستگی انجام می‌شود و از متلاشی شدن خاکدانه‌ها در اثر ورود سریع آب جلوگیری می‌کند. از نظر نوع ماده آلی مؤثر در پایداری خاکدانه‌ها نیز وجود اسیدهای آروماتیک موجود در ترکیبات نفتی در خاک سبب هم‌آورد شدن ذرات خاک و در نتیجه افزایش پایداری خاکدانه‌ها می‌شوند. هم‌چنین ترکیبات آب‌گریز در درازمدت سبب ایجاد کمپلکس رس-هیومین شده و از این طریق پایداری

خاک‌های لوم شنی حدود ۲، ۳ و ۳ برابر در مقایسه با شاهد شد (جدول ۷). بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار میانگین هندسی تر قطر خاکدانه‌ها نیز در خاک لوم رسی به ترتیب به میزان ۲/۳۰ و ۰/۲۴۱ میلی‌متر و به‌ترتیب در خاک تیمار شده با ۴/۵ درصد گازوئیل و بدون کاربرد نفت خام (شاهد) مشاهده شد. در حالی‌که بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار میانگین هندسی تر قطر خاکدانه‌ها در خاک شن لومی به ترتیب به میزان ۳/۶۰ و ۰/۵۱۸ میلی‌متر و در خاک تیمار شده با ۴/۵ درصد نفت خام و بدون کاربرد نفت سفید (شاهد) مشاهده شد. در خاک لوم شنی نیز بیش‌ترین کم‌ترین مقدار میانگین هندسی تر قطر خاکدانه‌ها به‌ترتیب به میزان ۲/۱۵ و ۰/۳۶۷ میلی‌متر و در تیمار ۴/۵ درصد نفت خام و بدون کاربرد گازوئیل (شاهد) مشاهده شد (جدول ۷).

به‌طورکلی میانگین هندسی تر قطر خاکدانه‌ها در خاک‌های شن لومی و لوم شنی به‌طور معنی‌داری به‌ترتیب به میزان حدود ۹۱ و ۱۲ درصد بیش‌تر از خاک لوم رسی بود (شکل ۱-د). میزان میانگین هندسی تر قطر خاکدانه‌ها در خاک‌های تیمار شده با نفت سفید و گازوئیل در مقایسه با نفت خام به‌طور معنی‌داری به ترتیب به میزان حدود ۳۴ و ۱۴ درصد کمتر بود (شکل ۱-د). نتایج هم‌چنین نشان داد به‌طورکلی کاربرد سطوح ۱/۵، ۳ و ۴/۵ درصد مواد نفتی مورد مطالعه سبب افزایش معنی‌دار میانگین هندسی تر قطر خاکدانه‌ها به ترتیب به میزان حدود ۲، ۲ و ۳ برابر در مقایسه با شاهد شد (شکل ۱-د).

میانگین وزنی و هندسی قطر خاکدانه‌ها از جمله شاخص‌های ارزیابی پایداری ساختمان خاک هستند (۱۳ و ۱۴). مواد آلی هیومیکی حلقوی همراه با ترکیبات بی‌شکل آهن و آلومینیم و یا کاتیون‌های فلزی چندظرفیتی از عوامل پایداری خاکدانه‌های کوچک

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به این‌که امروزه آلودگی خاک‌ها به مواد نفتی به‌خصوص به مواد پرمصرف نفتی رو به افزایش بوده و این موضوع از نقطه‌نظر زیست‌محیطی و براساس نوع استفاده و کاربری‌های گوناگون زمین می‌تواند مضر و محدودکننده باشد. بنابراین قبل از هرگونه اقدام لازم است که اثر این مواد بر ویژگی‌های مختلف خاک‌ها بررسی شود تا شناخت و اطلاعات لازم در خصوص این خاک‌های آلوده افزایش یابد. این اطلاعات از بسیاری جنبه‌ها از جمله انتخاب راهکارهای مدیریتی و اصلاح بسیار دارای اهمیت است. هم‌چنین از طرفی غیر از دیدگاه آلودگی، مواد نفتی می‌توانند در مورد برخی آسیب‌های جدی وارده به خاک و خاک‌های تخریب‌یافته در اثر فرسایش به‌عنوان یک تیمار بهبوددهنده شرایط و حفاظت‌کننده خاک در برابر تخریب و فرسایش بیش‌تر نیز عمل کنند. استفاده از مواد نفتی برای کنترل فرسایش با در نظر داشتن نوع کاربری و استفاده از خاک منطقه و برتری حضور مواد نفتی برای کنترل و کاهش فرسایش نیز می‌تواند یک راهکار عملی و کنترل‌کننده است. بنابراین در این پژوهش اثر سطوح مختلف نفت خام، نفت سفید و گازوئیل به‌عنوان سه ماده نفتی پرمصرف بر پایداری خاکدانه‌ها در سه خاک با بافت‌های لوم رسی، لوم شنی و شن لومی بررسی شد. نتایج نشان داد میانگین‌های وزنی و هندسی خشک قطر خاکدانه‌ها در خاک‌های شن لومی و لوم شنی به‌طور معنی‌داری کم‌تر از خاک لوم رسی بود. هم‌چنین میانگین‌های وزنی و هندسی خشک قطر خاکدانه‌ها در خاک‌های تیمار شده با نفت سفید و گازوئیل در مقایسه با خاک‌های تیمار شده با نفت خام به‌طور معنی‌داری بیش‌تر بود. درحالی‌که میانگین‌های

خاکدانه‌ها را افزایش می‌دهند. به‌ویژه مولکول‌های بزرگ بخش هیومین مانند ترکیبات آلیفاتیک و آروماتیک که پایداری خاکدانه‌ها را به میزان زیادی افزایش می‌دهند. درواقع ترکیبات آلی از چند روش پایداری خاکدانه‌ها را افزایش می‌دهند. این ترکیبات با ایجاد پیوند کاتیونی (کاتیون‌های چندطرفیتی- ترکیبات آلی) با رس‌های خاک، خشتی کردن بارهای موجود در سطح رس‌ها توسط یون‌های آلی و پوشش‌های آب‌گریزی که روی سطوح خاکدانه‌ها تشکیل می‌دهند از متلاشی شدن خاکدانه‌ها در برابر نیروهای مکانیکی و آب حفاظت می‌کنند. البته باید توجه داشت که هیدروکربن‌های نفتی در غلظت‌های زیاد علاوه بر تشدید آب‌گریزی، به دلیل ایجاد روانی زیاد پایداری خاکدانه‌ها را کاهش می‌دهند. نکته قابل‌ذکر دیگر آن است که کاربرد مواد نفتی در خاک با توجه به تفاوت در میزان آب‌گریزی و لزوجت (گرانروی) خود به طبع اثرات با درجات متفاوتی را در خاک به وجود می‌آورند برای نمونه از نقطه‌نظر موضوع موردبحث (پایداری خاکدانه‌ها)، هر قدر که ماده نفتی کاربردی دارای آب‌گریزی و لزوجت بیش‌تری باشد، شاهد آن خواهیم بود که در مقادیر و درصد وزنی کم‌تری می‌تواند سبب ایجاد پایداری شده و هم‌چنین غلظت آستانه و بحرانی را کاهش می‌دهد. این به آن معناست که حداقل غلظتی از مواد نفتی که می‌تواند سبب ایجاد روانی بیش‌ازحد و پاشش خاک شده و هم‌چنین از طرفی در کنار مقاومت به فرسایش بادی می‌تواند مانع نفوذ آب به خاک و ایجاد فرسایش آبی شود نیز کم‌تر خواهد بود. پژوهش‌گرانی هم‌چون آرسنگو و همکاران (۲۰۰۸)، دکستر و همکاران (۲۰۱۱)، وگلمان و همکاران (۲۰۱۳)، کرمان‌پور و همکاران (۲۰۱۵) و درستکار و والی (۲۰۱۷) نیز در پژوهش‌های خود به نتایج مشابهی دست یافته‌اند (۱۰، ۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۰ و ۲۱).

تعارض منافع

در این مقاله تعارض منافی وجود ندارد و این مسأله مورد تأیید همه نویسندگان است.

مشارکت نویسندگان

نویسنده اول: تهیه و آماده‌سازی نمونه‌ها، انجام آزمایش و داده برداری، انجام محاسبات، آنالیز و تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها، تحلیل و تفسیر اطلاعات و نتایج، تهیه پیش‌نویس مقاله، اصلاح و نهایی‌سازی مقاله

نویسنده دوم: استاد راهنمای پایان‌نامه، طراحی پژوهش، نظارت بر مراحل انجام پژوهش، بررسی و کنترل نتایج، اصلاح، بازبینی و نهایی‌سازی مقاله

نویسنده سوم: استاد مشاور پایان‌نامه، مشارکت در طراحی پژوهش، نظارت بر پژوهش، مطالعه و بازبینی مقاله

نویسنده چهارم: استاد مشاور پایان‌نامه، مشارکت در طراحی پژوهش، نظارت بر پژوهش، مطالعه و بازبینی مقاله

اصول اخلاقی

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این اثر علمی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آن‌هاست.

حمایت مالی

حمایت مالی از این پژوهش از طرف دانشگاه شیراز و دانشکده کشاورزی در قالب گرانت پایان‌نامه دانشجویی نویسنده اول و همچنین گرانت پژوهشی دانشگاه شیراز برای سایر نویسندگان انجام شده است.

وزنی و هندسی تر قطر خاکدانه‌ها در خاک شن لومی در مقایسه با خاک‌های لوم رسی و لوم شنی به‌طور معنی‌داری بیش‌تر ولی در خاک‌های تیمار شده با نفت سفید و گازوئیل در مقایسه با خاک‌های تیمار شده با نفت خام به‌طور معنی‌داری کم‌تر بود. به‌طورکلی نتایج نشان داد کاربرد سطوح کم مواد نفتی سبب افزایش معنی‌دار میانگین وزنی و هندسی خشک و تر قطر خاکدانه‌ها شد ولی سطوح زیاد سبب کاهش ویژگی‌های مذکور شد. بنابراین به‌طورکلی نتایج این پژوهش می‌تواند در تصمیم‌گیری برای استفاده‌های مختلف از خاک‌های آلوده به مواد نفتی و به‌ویژه در مسائل مدیریت و اصلاح این خاک‌ها و همچنین استفاده از مواد نفتی برای حفاظت خاک در برابر فرسایش مورد استفاده قرار گیرد.

تقدیر و تشکر

نویسندگان از حمایت‌های مادی و معنوی دانشگاه شیراز (بخش‌های علوم و مهندسی خاک و مهندسی نفت) برای انجام این پژوهش صمیمانه سپاسگزاری می‌نمایند.

داده‌ها و اطلاعات

این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد نویسنده اول در رشته مدیریت منابع خاک، گرایش فیزیک و حفاظت خاک بوده و مطالعات آزمایشگاهی این پژوهش در آزمایشگاه‌های بخش علوم و مهندسی خاک در دانشکده کشاورزی و بخش مهندسی نفت در دانشکده نفت، گاز و پتروشیمی دانشگاه شیراز و در سال ۱۳۹۹ انجام شده است.

منابع

1. Seyed Alikhani, S., Shorafa, M., Tavassoli, A., and Ebrahimi, S.S. 2011. The effect of plants' growth at different densities on soil petroleum hydrocarbons remediation. *Journal of Water and Soil*, 25: 5. 961-970. (In Persian)
2. Fallah, M., Ebrahimi, S., and Shabanpour, M. 2013. Hydrocarbon pollution emission in the pilot and pulse condition in saturated porous media of soil. *Journal of Water and Soil Conservation*, 20: 3. 227-240. (In Persian)
3. Delleur, J.W. (Ed). 2006. *Handbook of Ground water engineering*, CRC press. 17_19-17_24.
4. Saadati, N., Davatgar, N., Roodpeyma, M., Mosaddeghi, M.R., and Bostani, A.A. 2015. Evaluation of petroleum contamination effects on soil water repellency intensity in Bakhtiardasht of Isfahan. *Journal of Soil Research (Soil and Water Sciences)*, 29: 3. 359-369. (In Persian)
5. Hamid, F.S., Ossai, I.C., Ahmed, A., and Hassan, A. 2020. Remediation of soil and water contaminated with petroleum hydrocarbon: A review. *Environmental Technology & Innovation*, 17: 1-42.
6. Estabragh, A.R., Beytolahpour, I., and Javadi, A.A. 2011. Effect of resin on the strength of soil-cement mixture. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 23: 7. 969-976.
7. Estabragh, A.R., Khatibi, M., and Javadi, A.A. 2016. Effect of cement on treatment of a clay soil contaminated with glycerol. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 28: 4. 1-36.
8. Antony, R., Saravanan, S., and Manjula, R. 2016. Effects of treated wastewater irrigation on soil properties– A case study at NIT Trichy. *International Journal of Earth Sciences and Engineering*, 9: 6. 2041-2047.
9. Ghahremani, N., Hafezi Moghaddas, N., Ghafoori, M., and Lashkaripour, G.R. 2018. Effect of urban wastewater on chemical, physical and mechanical properties of soil (Case study: Central area of Mashhad). *Iranian Journal of Engineering Geology*, 11: 3. 1-13. (In Persian)
10. Kermanpour, M., Mosaddeghi, M.R., Afyuni, M., and Hajabassi, M.A. 2015. Effect of Petroleum Pollution on Soil Water Repellency and Structural Stability in Bakhtiardasht Plain, Isfahan. *Journal of Water and Soil Sciences*, 19: 73. 139-149. (In Persian)
11. Gee, G.W., and Bauder, J.W. 1986. Particle-size analysis. P 383-411. A. Klute (ed.) *Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods*. SSSA Book Ser. 5. SSSA, Madison, WI. Particle-size analysis. P 383-411. In A. Klute (ed.) *Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods*. 2nd ed. SSSA Book Ser. 5. SSSA, Madison, WI.
12. Kemper, W.D., and Rosenau, R.C. 1986. Aggregate stability and size distribution. *Methods of soil analysis: Part 1 Physical and mineralogical methods*, 5: 425-442.
13. Besalatpour, A.A., Ayoubi, S., Hajabassi, M.A., Mosaddeghi, M.R., and Schulin, R. 2013. Estimating wet soil aggregate stability from easily available properties in a highly mountainous watershed. *Catena*, 111: 72-79.
14. Hosseini, F., Mosaddeghi, M.R., Hajabassi, M.A., and Sabzalian, M.R. 2015. Influence of tall fescue endophyte infection on structural stability as quantified by high energy moisture characteristic in a range of soils. *Geoderma*, 249: 250. 87-99.
15. Movahedan, M., Abbasi, N., and Keramati, M. 2013. Effect of Polyvinyl Acetate Polymer on Stability of Dry Aggregates. *Journal of Soil Research (Soil and Water Sciences)*, 27: 1. 71-83. (In Persian)
16. Tisdall, J.M., and Oades, J.M. 1982. Organic matter and water- stable aggregation by the root system of ryegrass. *Australian Journal of Soil Science Research*, 18: 423-438.
17. Arcenegui, V., Mataix-Solera, J., Gueuero, C., Zomoza, R., Malaix-Beneyto, J., and Garcia-Orenes, F. 2008. Intermediate effects of wildfires on water repellency and aggregate stability in Mediterranean calcareous soils. *Catena*. 74: 219-226.

18. Dexter, A.R., Czyz, G.E.A., Davy, J., Hardy, M., and Duval, O. 2011. Clay dispersion from soil as a function of antecedent water potential. Soil Science Society of America Journal, 75: 444-455.
19. Vogelmann, E.S., Reichert, J.M., Prevedello, J., and Awe, G.O. 2013. Hydro-physical processes and soil properties correlated with origin of soil hydrophobicity. Ciencia Rural, 43: 1582-1589.
20. Vogelmann, E.S., Reichert, J.M., Prevedello, J., Awe, G.O., and Mataix-Solera, J. 2013. Can occurrence of soil hydrophobicity promote the increase of aggregates stability. Catena, 110: 24-31.
21. Dorostkar, V., and Vali, R. 2017. Effect of grape leaves and pomegranate peel on soil structural stability and water repellency in different salinity levels. Scientific Journal of Agriculture, 40: 2. 29-46. (In Persian)

Determination of residues concentration and ecotoxicology of organophosphorus pesticides in soil and water of paddy fields of Rudbar County in Guilan province

Behrooz Azh Baragoori¹ , Hasan Karimzadegan^{*2} , Mohsen Mohammadi Galangash³ , Fatemeh Shariati Feizabadi⁴ , Leila Ooshaksaraei⁵ 

1. Ph.D. Student in Environmental Pollution, Dept. of Environmental Sciences and Engineering, Lahijan Branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran. E-mail: behroz_azh@yahoo.com
2. Corresponding Author, Dept. of Environmental Sciences and Engineering, Lahijan Branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran. E-mail: drkarimzadegan@gmail.com
3. Dept. of Environmental Sciences and Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Sowmeh-Sara, Iran. E-mail: m_mohammadi2g@guilan.ac.ir
4. Dept. of Environmental Sciences and Engineering, Lahijan Branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran. E-mail: shariati@liau.ac.ir
5. Dept. of Environmental Sciences and Engineering, Lahijan Branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran. E-mail: l.ooshaksaraie@liau.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 06.24.2022
Revised: 08.26.2022
Accepted: 09.01.2022

Keywords:
Ecotoxicology,
Organophosphate,
Paddy field,
Pesticide,
Pollution

ABSTRACT

Background and Objectives: Since water and soil are important components of the ecosystem and their quality reduction affects the environment and agriculture, it is necessary to determine the effects of pesticides on soil and water resources and determine their residual concentration levels in the land. Agriculture, especially paddy fields, should be controlled and managed. Therefore, the purpose of this study is to determine and evaluate the level of residual concentrations of organophosphate pesticides in soil and water samples of Rudbar County and to investigate their ecotoxicological status.

Materials and Methods: In this study, the multiplicity of 12 stations was determined using a systematic random method in the paddy lands of Rudbar County. In total, 24 samples including 12 water samples and 12 soil samples were collected. Water sampling was performed in 1-liter dark-colored bottles and soil sampling was performed from the surface layer according to the standard method. All samples were transferred to a laboratory in using, dry ice. Organophosphate pesticides were measured using the EPA 8041b standard method. All analyzes were performed by gas chromatography with the mass detector in Aria Shimi Sharif Company. To study the ecotoxicological status of pesticides, two databases named National Pesticide Information Center and Pesticide Properties Database were used. The two databases are affiliated with Oregon State University, the US Environmental Protection Agency, and the University of Hertfordshire. Statistical analysis of the data included analysis of variance using one-way ANOVA test, comparison of means using Duncan's test, correlation using Pearson's method, and analysis of principal components using the covariance method.

Results: Based on the results, 11 organophosphate pesticides were identified in water and soil samples of Rudbar paddy fields. Ethion in soil and Diazinon in the water had the highest residual concentrations. Sheikh

Ali Tues 1 and 2 and Mirzagolband 1 stations with the values of 4.55, 3.99 and 3.49 ug/kg had the highest amount of Ethion toxin residues in the soil. In addition, Sheikh Ali Tues 2, Mirzagolband 1, and Halimeh-Jan stations with 3.96, 1.71, and 1.68 ug/L, respectively, had the highest amount of Diazinon pesticide in water samples. The results showed that the downstream lands in the area of Imamzadeh-Hashem compared to the upstream lands in Rudbar city have a higher concentration and load of pollution. The mean concentration remaining in soil samples (0.987 ug/kg) was higher than in water samples (0.304 ug/L). Based on the results of pesticides Diazinon, Methyl Parathion, Azinphos Methyl, Malathion, and Ethion in the studied stations showed a significant difference. A comparison of the mean residual concentrations of pesticides with their physicochemical and ecotoxicological properties showed that in terms of potential risk and toxicity for aquatic organisms, the concentrations of Beta Mevinophos, Malathion, and Azinphos Methyl pesticides were 0.043, 0.573, and 0.272 ug/kg, respectively, and very high, which put these pesticides in a situation of high and toxic danger to aquatic organisms in the region.

Conclusion: Excessive use of pesticides on agricultural land has caused environmental problems. As a result, monitoring and evaluation of pesticide residues in paddy fields are very important because contaminated effluents are discharged directly from rice fields into rivers. Due to the high levels of residual concentrations of some organophosphate pesticides in the region, it is necessary to hold training courses on farmers' familiarity with the dangers of pesticides to prevent, control, and reduce pollution under the supervision of experts. Also, to fight non-chemically against pests, it is suggested to use the Trichogramma bee in the form of Trichocart to fight the rice stem-eating worm, colored traps, and attractants in paddy fields.

Cite this article: Azh Baragoori, Behrooz, Karimzadegan, Hasan, Mohammadi Galangash, Mohsen, Shariati Feizabadi, Fatemeh, Ooshaksaraei, Leila. 2022. Determination of residues concentration and ecotoxicology of organophosphorus pesticides in soil and water of paddy fields of Rudbar County in Guilan province. *Journal of Water and Soil Conservation*, 29 (2), 47-68.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/jwsc.2022.20358.3568

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

تعیین غلظت باقی‌مانده و بوم‌شناسی سموم آفت‌کش ارگانوفسفره در آب و خاک شالیزارهای شهرستان رودبار استان گیلان

بهروز آژ براگوری^۱، حسن کریم‌زادگان^{۲*}، محسن محمدی گلنگش^۳،
فاطمه شریعتی فیض‌آبادی^۴، لیلا اوشک سرایی^۵

۱. دانشجوی دکتری آلودگی محیط زیست، گروه علوم و مهندسی محیط زیست، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران. رایانامه: behroz_azh@yahoo.com
۲. نویسنده مسئول، گروه علوم و مهندسی محیط زیست، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران. رایانامه: drkarimzadegan@gmail.com
۳. گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، ایران. رایانامه: m_mohammadi2g@guilan.ac.ir
۴. گروه علوم و مهندسی محیط زیست، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران. رایانامه: shariati@liau.ac.ir
۵. گروه علوم و مهندسی محیط زیست، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران. رایانامه: l.ooshaksaraie@liau.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی- پژوهشی	سابقه و هدف: آب‌وخاک از اجزای مهم اکوسیستم بوده و کاهش کیفیت آن‌ها موجب تأثیر بر محیط‌زیست و کشاورزی می‌شود، بنابراین ضروری است تا اثرات آفت‌کش‌ها بر منابع آب‌وخاک مشخص شده و با تعیین سطوح غلظت باقی‌مانده آن‌ها در اراضی کشاورزی به‌ویژه شالیزارها در جهت کنترل و مدیریت آن‌ها اقدام شود. ازاین‌رو، هدف از این مطالعه تعیین و ارزیابی سطح غلظت باقی‌مانده آفت‌کش‌های ارگانوفسفره در نمونه‌های آب و خاک اراضی شهرستان رودبار و بررسی وضعیت اکوتوکسیکولوژی آن‌ها است.
تاریخ دریافت: ۰۳/۰۴/۰۱ تاریخ ویرایش: ۰۴/۰۶/۰۱ تاریخ پذیرش: ۱۰/۰۶/۰۱	مواد و روش‌ها: در این پژوهش، تعداد ۱۲ ایستگاه با استفاده از روش سیستماتیک تصادفی در اراضی شالیزاری شهرستان رودبار تعیین شد. در مجموع، ۲۴ نمونه شامل ۱۲ نمونه آب و ۱۲ نمونه خاک برداشت گردید. نمونه‌برداری از آب در بطری‌های ۱ لیتری تیره‌رنگ و نمونه‌برداری خاک از لایه سطحی مطابق با روش استاندارد انجام گرفت. تمامی نمونه‌ها درون یخدان حاوی یخ خشک به آزمایشگاه منتقل شدند. اندازه‌گیری سموم آفت‌کش ارگانوفسفره با استفاده از روش استاندارد EPA 8041b صورت گرفت. تمامی آنالیزها توسط دستگاه گازکروماتوگرافی با آشکارساز جرمی در شرکت آریا شیمی شریف انجام شد. به‌منظور بررسی وضعیت اکوتوکسیکولوژی آفت‌کش‌ها از دو پایگاه داده به نام‌های مرکز ملی اطلاعات آفت‌کش‌ها و پایگاه داده ویژگی‌های آفت‌کش‌ها استفاده شد. این دو پایگاه اطلاعاتی وابسته به دانشگاه ایالتی اورگان، آژانس حفاظت از محیط‌زیست آمریکا و دانشگاه هرتفوردشایر می‌باشند. تحلیل آماری
واژه‌های کلیدی: آفت‌کش، آلودگی، ارگانوفسفره، بوم‌شناسی، شالیزار	

داده‌ها شامل تجزیه واریانس با استفاده از آزمون آنوای یکطرفه، مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن، همبستگی به روش پیرسون و آنالیز مؤلفه‌های اصلی به روش کوواریانس انجام شد.

یافته‌ها: بر اساس نتایج، در نمونه‌های آب و خاک اراضی شالیزاری رودبار تعداد ۱۱ آفت‌کش ارگانوفسفره شناسایی گردید. اتیون (نام تجاری ستیون) در خاک و دیازینون (نام تجاری بازودین) در آب دارای بیش‌ترین مقدار غلظت باقی‌مانده بودند. ایستگاه‌های شیخعلی طوسه ۲ و میرزاگلیندا با مقدار ۴/۰۵، ۳/۹۹ و ۳/۴۹ میکروگرم بر کیلوگرم بیش‌ترین مقدار بقایای سم اتیون در خاک را داشتند. همچنین، ایستگاه‌های شیخعلی طوسه ۲، میرزاگلیندا و حلیمه‌جان به ترتیب با ۳/۹۶، ۱/۷۱ و ۱/۶۸ میکروگرم بر لیتر دارای بیش‌ترین مقدار آفت‌کش دیازینون در نمونه‌های آب بودند. نتایج نشان داد که اراضی پایین‌دست در محدوده امامزاده هاشم در مقایسه با اراضی بالادست در محدوده شهر رودبار دارای غلظت باقی‌مانده و بار آلودگی بیش‌تری هستند. میانگین غلظت باقی‌مانده در نمونه‌های خاک (۰/۹۸۷ میکروگرم بر کیلوگرم) بیش‌تر از نمونه‌های آب (۰/۳۰۴ میکروگرم بر لیتر) به‌دست آمد. بر اساس نتایج آفت‌کش‌های دیازینون، متیل پاراتیون، آزیفوس متیل، مالاتیون و اتیون در ایستگاه‌های مورد مطالعه اختلاف معنی‌داری را نشان دادند. مقایسه میانگین غلظت باقی‌مانده آفت‌کش‌ها با ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و اکوتوکسیکولوژی آن‌ها نشان داد که از نظر پتانسیل خطر و سمیت برای آبزیان، غلظت آفت‌کش‌های بتامونفوس، مالاتیون (مالتوس) و آزیفوس متیل (گوزاتیون ام) به ترتیب با ۰/۰۴۳، ۰/۵۷۳ و ۰/۲۷۲ میکروگرم بر لیتر بسیار بالا بوده که این آفت‌کش‌ها را در وضعیت خطر بالا و سمی برای آبزیان منطقه قرار داده است.

نتیجه‌گیری: استفاده بیش از اندازه از سموم در اراضی کشاورزی باعث ایجاد مشکلات زیست‌محیطی شده است. در نتیجه، پایش و ارزیابی بقایای آفت‌کش‌ها در اراضی شالیزاری بسیار مهم بوده زیرا پساب‌های آلوده از مزارع برنج به‌طور مستقیم به رودخانه‌ها تخلیه می‌شوند. با توجه به سطوح بالای غلظت باقی‌مانده برخی از آفت‌کش‌های ارگانوفسفره در منطقه ضروری است تا به‌منظور پیشگیری، کنترل و کاهش آلودگی ضمن نظارت کارشناسان، دوره‌های آموزشی در مورد آشنایی کشاورزان با خطرات آفت‌کش‌ها برگزار گردد. همچنین به‌منظور مبارزه غیرشیمیایی با آفات، پیشنهاد می‌شود که از زنبور تریکوگراما به‌صورت تریکوکارت جهت مبارزه با کرم ساقه خوار برنج، تله‌های رنگی و مواد جلب‌کننده در شالیزارها استفاده گردد.

استناد: آژ براگوری، بهروز، کریم‌زادگان، حسن، محمدی گلنگش، محسن، شریعتی فیض‌آبادی، فاطمه، اوشک سرایی، لایلا (۱۴۰۱). تعیین غلظت باقی‌مانده و بوم‌سم‌شناسی سموم آفت‌کش ارگانوفسفره در آب و خاک شالیزارهای شهرستان رودبار استان گیلان. پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲۹ (۲)، ۴۷-۶۸.

DOI: 10.22069/jwsc.2022.20358.3568



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

استفاده از آفت کش ها به طور گسترده برای حفاظت و کاهش تلفات محصول و برآوردن نیازهای غذایی روبه رشد جهان از دهه ۱۹۴۰ در کشاورزی به طور پیوسته افزایش یافته است (۱). طبق گزارش فائو در سال ۲۰۱۲، به طور متوسط حدود ۳/۸ میلیون تن سموم شیمیایی در زمین های کشاورزی استفاده شده که این مقدار بالغ بر ۴۰ میلیارد دلار آمریکا می باشد (۲). از طرفی، میانگین مقدار استفاده از آفت کش ها در آسیا بالاترین رقم را دارد جایی که ۶/۵ تا ۶۰ کیلوگرم در هکتار حشره کش استفاده می شود (۳). آفت کش ها در واقع مطلوب هستند اما تعادل اکولوژیکی را برهم می زنند، به طوری که پس از ورود به محیط زیست تحت تأثیر فرآیندهای زیادی قرار می گیرند (۴).

طبق مطالعات، ارگانوفسفرها به دلیل کارایی بالا در کنترل آفات و هزینه کم، متداول ترین آفت کش ها در اراضی کشاورزی بوده به طوری که حدود ۴۰ درصد از کل آفت کش هایی که به صورت تجاری تولید و استفاده می شوند متعلق به این دسته هستند (۵). با این حال، اگرچه ارگانوفسفرها از نظر شیمیایی در طبیعت ماندگاری متوسطی دارند اما به دلیل کاربرد مکرر آنها در مناطق تحت کشت می توانند برای مدت طولانی در محیط انباشته شده و استفاده مداوم و بیش از اندازه از آنها منجر به آلودگی آب و خاک در مناطق مختلف جهان شده است (۶). از طرفی، قرار گرفتن انسان در معرض حتی سطوح پایین این آفت کش ها برای دوره های زمانی طولانی می تواند به تجمع آنها در بدن و ایجاد بیماری منجر شود (۷). اثر سمی اصلی آفت کش های ارگانوفسفره در مواجهه با موجودات زنده شامل مهار غیر قابل جبران آنزیم استیل

کولین استراز^۱ است که در انتقال عصبی سیگنال ها نقش دارد و از این رو مهار آن باعث اختلال در دستگاه تنفس و انتقال عصبی عضلانی می شود (۸).

از رایج ترین مطالعات زیست محیطی در سال های اخیر، بررسی بقایای آفت کش های ارگانوفسفره در محیط های مختلف از جمله آب و خاک و بررسی اثر بوم سم شناسی یا اکوتوکسیکولوژی^۲ این ترکیبات می باشد زیرا اثرات نامطلوب آفت کش ها در محیط زیست باعث نگرانی هایی در مقیاس محلی، منطقه ای، ملی و جهانی شده است. در همین راستا، عبدالله و همکاران (۲۰۱۷) با ارزیابی بقایای آفت کش ها در نمونه های آب و خاک شالیزارهای مالزی گزارش دادند که استفاده گسترده و درازمدت از آفت کش ها توسط کشاورزان طی چند دهه گذشته باعث شده تا غلظت این آفت کش ها در اراضی شالیزاری که حتی به صورت ارگانیک کشت شده اند دارای مقادیر بالا باشد به طوری که از سال ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۷ هیچ گونه آفت کشی در این اراضی استفاده نشده بود. آنها نتیجه گرفتند که بقایای آفت کش های موجود در خاک به دلیل استفاده مکرر از آنها در اراضی شالیزاری بوده که می تواند باعث آلودگی محیط زیست و به خطر انداختن سلامتی انسان ها شود (۱). چادهوری و همکاران (۲۰۱۲) با مطالعه بقایای آفت کش های ارگانوفسفره (کلروپریفوس، مالاتیون و دیازینون) در نمونه های آب اراضی شالیزاری بنگلادش گزارش کردند بقایای آفت کش های مورد مطالعه به دلیل استفاده بیش از اندازه توسط کشاورزان بالاتر از حداکثر سطح قابل قبول آلودگی بوده به طوری که ۲۲ درصد از نمونه ها به شدت آلوده به آفت کش های ارگانوفسفره هستند (۴). بر پایه پژوهش های خبازی و همکاران (۲۰۱۴) بر روی ۹

1- Acetylcholinesterase (AChE)

2- Ecotoxicology

آفت‌کش‌ها در اراضی شالیزاری و پساب‌های مزارع به‌ویژه در کشورهای آسیایی در حال توسعه که مقررات زیست‌محیطی به‌دقت رعایت و اجرا نمی‌شوند، ضروری است (۱۲). پان و همکاران (۲۰۱۸) با بررسی آفت‌کش‌های ارگانوفسفره در خاک‌های کشاورزی دلتای رودخانه یانگ‌تسه چین گزارش دادند که بیش‌ترین غلظت آفت‌کش‌های ارگانوفسفره شامل پاراتیون و متیل پاراتیون در جیانگ سو به دلیل فعالیت‌های کشاورزی و استفاده بی‌رویه از آن‌ها بوده و آلودگی آن‌ها به‌شدت با انواع کاربری زمین مرتبط است (۱۳). در مطالعه‌ای دیگر، باندی و همکاران (۲۰۲۰) با بررسی غلظت و توزیع بقایای آفت‌کش‌ها در خاک اراضی کشاورزی در نپال گزارش کردند حدود ۶۰ درصد از نمونه‌های خاک دارای بقایای ۳۹ ترکیب آفت‌کش بودند که بیش‌ترین مقدار در خاک سطحی یافت شد. نتایج نشان داد کلروپیریفوس در میان آفت‌کش‌های مورد مطالعه دارای بیش‌ترین غلظت بود. آن‌ها بیان کردند اتخاذ رویکرد مدیریت یکپارچه آفات در نظام کشاورزی می‌تواند به کاهش غلظت باقی‌مانده آفت‌کش‌ها در خاک اراضی کشاورزی منجر شود (۲).

از آنجایی‌که ویژگی‌های خاک نقش مهمی در سرنوشت، رفتار و پراکندگی آفت‌کش‌های شیمیایی دارد (۱۴). بنابراین خاک یک مخزن اصلی و منبع انتشار ثانویه آلاینده‌های آلی از جمله ارگانوفسفره‌ها می‌باشد (۱۵). از طرفی، مصرف سموم آفت‌کش امکان راه‌یابی باقی‌مانده سموم از طریق زهکشی، بارندگی و نشست از کف زمین‌های کشاورزی به منابع آب را به‌شدت افزایش می‌دهد به‌طوری‌که رواناب به‌عنوان مسیر اصلی حرکت آفت‌کش‌ها ممکن است منجر به انتشار ناخواسته و آلودگی غیرهدف شوند (۱۶)، زیرا تنها ۰/۱ درصد از آفت‌کش‌های به‌کار رفته به آفات هدف می‌رسند و بقیه آن وارد محیط‌زیست

آفت‌کش ارگانوفسفره در نمونه‌های آب و خاک زمین‌های کشاورزی اصفهان مشخص شد که استفاده بیش از مقدار نیاز سموم ارگانوفسفره سبب شده تا بقایای این سموم در خاک چند ماه پس از مصرف نیز هم‌چنان بالاتر از حد مجاز باشد و اثرات نامطلوب خود را بر روی موجودات زنده بروز دهد (۹).

فوسو و همکاران (۲۰۱۶) با بررسی غلظت باقی‌مانده چهار آفت‌کش کلروپیریفوس، پروفنوفوس، پیریمیپروس متیل و دیازینون در خاک و آب اراضی کاکائو در غنا بیان کردند که اگرچه غلظت کلروپیریفوس، پیریمیپروس متیل و دیازینون در دو ایستگاه بالاتر از حداکثر سطح باقی‌مانده^۱ ایالات متحده بود، با این حال بقایای آفت‌کش‌ها در خاک علاوه بر ایجاد خطر برای موجودات، آب‌های اطراف را از طریق رواناب و آبشویی آلوده می‌کند (۱۰). در پژوهشی دیگر، ارجمندی و همکاران (۲۰۱۰) با بررسی بقایای حشره‌کش‌های ارگانوفسفره در اراضی شالیزاری استان مازندران بیان کردند که استفاده مکرر از دیازینون در شالیزارهای برنج جهت کنترل کرم ساقه‌خوار سبب ماندگاری این حشره‌کش در خاک این اراضی شده است. این مطالعه نشان داد که ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی دیازینون در کنار شرایط اکولوژیکی و نوع خاک بر کاهش یا افزایش هم‌چنین حذف آفت‌کش‌ها در طول دوره‌های کاشت و برداشت، تأثیر دارد (۱۱). در مطالعه‌ای دیگر، آناسکو و همکاران (۲۰۱۰) با ارزیابی بقایای آفت‌کش‌ها در مناطق آب‌شیرین تحت تأثیر پساب‌های شالیزاری در جنوب ژاپن گزارش کردند که علف‌کش‌ها در مراحل اولیه فصل کاشت برنج غلظت نسبتاً بالاتری داشته و حشره‌کش‌ها و قارچ‌کش‌ها در مراحل بعدی، غلظت نسبتاً بالاتری دارند. آن‌ها نتیجه گرفتند که نظارت و ارزیابی مداوم باقی‌مانده

1- Maximum Residue Limit (MRL)

تجزیه این سموم در آب و خاک اراضی شالیزاری شهرستان رودبار (به دلیل عدم وجود الگوی مصرف یکسان توسط کشاورزان) وجود ندارد و ثانیاً، بخش قابل توجهی از پساب کشاورزی به مزارع پرورش ماهی حاشیه شالیزارها راه می‌یابند که از این نظر، تجمع بقایای سموم آفت‌کش ارگانوفسفره در آب، خاک و محصولات به دلیل تأثیر قابل توجه بر اکوسیستم کشاورزی بسیار دارای اهمیت می‌باشد. از این رو، پژوهش حاضر درصدد یافتن پاسخ به سؤالات زیر است؛ ۱- بیش‌ترین غلظت بقایای سموم ارگانوفسفره در آب و خاک مربوط به کدام نوع است؟ ۲- آیا بقایای سموم ارگانوفسفره در نمونه‌های آب تهدیدی برای مزارع آبی‌پروری منطقه است؟

مواد و روش‌ها

شهرستان رودبار با وسعت ۲۵۷۴ کیلومترمربع در جنوب استان گیلان در عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۲ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۱۱ دقیقه شرقی واقع شده و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۰۵۰ متر است (۱۹). اقلیم منطقه مورد مطالعه بر پایه روش طبقه‌بندی دومارتن، نیمه‌خشک است (۲۰). میانگین دمای سالانه ۱۶/۱ درجه سلسیوس، میزان بارش سالانه به‌طور متوسط ۵۳۵ میلی‌متر و جهت وزش باد غالب، شمال‌غربی- جنوب‌شرقی می‌باشد (۲۱).

تعداد ۱۲ ایستگاه با استفاده از روش سیستماتیک تصادفی (انتخاب موقعیت اولین ایستگاه به‌صورت تصادفی و بعد با توجه به وضعیت منطقه انتخاب سایر ایستگاه‌ها) تعیین و موقعیت آن‌ها با استفاده از GPS ثبت گردید (شکل ۱). در مجموع، ۲۴ نمونه شامل ۱۲ نمونه خاک و ۱۲ نمونه آب پس از آخرین مرحله سم‌پاشی (اوایل خرداد ۱۴۰۱) برداشت شد. نمونه‌برداری از خاک بر اساس روش‌های استاندارد از لایه سطحی خاک (عمق ۲۰ سانتی‌متری) با استفاده از

شده و بر روی اکولوژی منطقه تأثیر گذاشته و به خاک، آب و اتمسفر ورود می‌کند و در نهایت آلودگی را به بدن انسان انتقال می‌دهد (۱۷). استان گیلان با برخورداری از میزان بارندگی و شرایط محیطی مناسب، یکی از قطب‌های کشاورزی ایران محسوب می‌شود به طوری که سطح زیرکشت محصولات کشاورزی این استان حدود ۴۰۰ هزار هکتار می‌باشد که ۵۵ درصد معادل ۲۲۰ هزار هکتار آن اختصاص به کشت برنج دارد که از این نظر، رتبه نخست سطح زیرکشت و رتبه دوم تولید برنج را در اختیار دارد شهرستان رودبار که در زمره تولید محصولات کشاورزی از سهم قابل توجهی در استان گیلان برخوردار است دارای ۳۳۰۰ هکتار اراضی شالیزاری می‌باشد که تحت پوشش شبکه آبیاری و زهکشی رودخانه سفیدرود قرار دارد (۱۸). استفاده وسیع و بی‌رویه آفت‌کش‌ها و عدم توجه به مسائل زیست‌محیطی علاوه بر آلودگی، سبب ورود آن‌ها از راه‌های مختلف به آب و خاک اراضی شالیزاری شهرستان رودبار شده است. با توجه به کشاورزی اراضی حاشیه رودخانه سفیدرود و وجود مزارع پرورش ماهی‌های گرم و سردآبی متعدد در حاشیه این اراضی که آب آن‌ها تحت تأثیر پساب‌های کشاورزی قرار دارند، بنابراین با در نظر داشتن اهداف کشاورزی پایدار باید تأثیر مواد شیمیایی کشاورزی بر کیفیت خاک و منابع آب مشخص گردد. در نتیجه، اولین قدم در کنترل و مدیریت باقی مانده سموم موجود در منابع آب و خاک، تعیین غلظت آن‌ها می‌باشد.

بنابراین، پژوهش حاضر با هدف تعیین غلظت باقی مانده سموم آفت‌کش ارگانوفسفره در آب و خاک، بررسی وضعیت اکوتوکسیکولوژی و تعیین جایگاه کیفی آن‌ها در نمونه‌های آب جهت استفاده در آبی‌پروری در شالیزارهای شهرستان رودبار انجام شده است زیرا اولاً، اطلاع دقیقی در خصوص میزان

اطلاعاتی به نام‌های مرکز ملی اطلاعات آفت‌کش‌ها^۱ و پایگاه داده ویژگی‌های آفت‌کش‌ها^۲ استفاده گردید که اولی، اطلاعات عینی و مبتنی بر علم در مورد آفت‌کش‌ها و موضوعات مرتبط با آفت‌کش‌ها را فراهم می‌کند تا مردم را قادر به تصمیم‌گیری آگاهانه کند. این مرکز یک قرارداد همکاری بین دانشگاه ایالتی اورگان و آژانس حفاظت از محیط‌زیست ایالات متحده است (۲۵). پایگاه داده ویژگی‌های آفت‌کش‌ها، ارائه‌دهنده اطلاعات جامعی از ویژگی‌های شیمیایی آفت‌کش‌ها، تأثیر آفت‌کش‌ها بر سلامت انسان و ویژگی‌های اکوتوکسیکولوژیکی آنهاست که توسط واحد تحقیقات کشاورزی و محیط‌زیست^۳ در دانشگاه رتفوردشایر^۴ برای پشتیبانی از ارزیابی و مدیریت خطر، توسعه یافته است (۲۶).

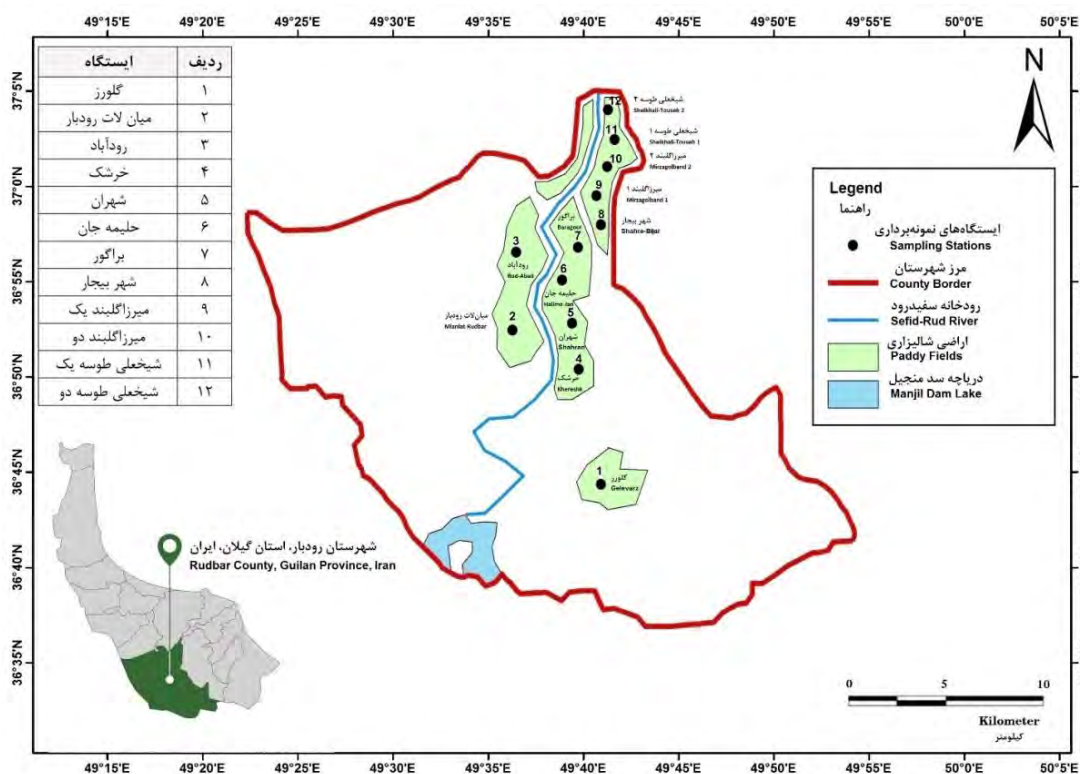
برای انجام تحلیل آماری از نرم‌افزار SPSS ورژن ۲۵ استفاده شد. در ابتدا، نرمال بودن داده‌ها در هر ایستگاه با آزمون شاپیرو-ویلک مورد بررسی قرار گرفت. پس از پیروی داده‌ها از توزیع نرمال، برای تعیین اختلاف معنی‌دار بین غلظت آفت‌کش‌ها در ایستگاه‌های مورد مطالعه از آنالیز واریانس یکطرفه و جهت بررسی دقیق‌تر اختلاف آماری از پس‌آزمون چنددامنه‌ای دانکن استفاده گردید. به‌منظور مقایسه میانگین غلظت آفت‌کش‌ها در نمونه‌های آب و خاک اراضی شالیزاری از آزمون تی مستقل و جهت بررسی همبستگی بین داده‌ها از آزمون همبستگی پیرسون استفاده شد. نمودارها با استفاده از نرم‌افزار اکسل ۲۰۱۶ رسم گردید.

بیلچه پلاستیکی انجام و در کیسه‌های پلی اتیلنی ذخیره گردید (۲۲). نمونه‌برداری از آب در بطری‌های ۱ لیتری تیره‌رنگ که درب آن کاملاً با فویل آلومینیومی پوشانده شده بود مطابق روش استاندارد انجام گرفت (۹). تمامی نمونه‌ها پس از جمع‌آوری در یخدان حاوی یخ خشک در دمای ۴- درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. سپس نمونه‌ها تا انجام آنالیز در یخچال با دمای ۲ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند.

اندازه‌گیری سموم آفت‌کش ارگانوفسفره با استفاده از روش استاندارد EPA 8041b توسط دستگاه گاز کروماتوگرافی با دتکتور جرمی مدل 7890A ساخت شرکت Agilent کشور آمریکا در شرکت دانش‌بنیان آریا شیمی شریف انجام شد.

اکوتوکسیکولوژی، مطالعه اثرات سمی مواد شیمیایی بر محیط آبی و خشکی است تا اثر فوری یک ماده سمی بر روی موجودات را مطالعه کند. اکوتوکسیکولوژی به اثرات آلاینده‌ها از جمله آفت‌کش‌ها بر افراد، جمعیت‌ها، جوامع طبیعی و زیست‌بوم‌ها می‌پردازد. یک آفت‌کش ممکن است بر چیزی دور از محل مصرف تأثیر بگذارد. برخی از آفت‌کش‌ها برای مدت طولانی در محیط‌زیست باقی می‌مانند و ممکن است سال‌ها پس از آخرین استفاده از آنها خطراتی را برای موجودات زنده ایجاد کنند (۲۳). پنج ویژگی اساسی وجود دارد که وقتی با اطلاعات مربوط به مکان و کاربرد ترکیب می‌شوند، اطلاعات زیادی در مورد پتانسیل یک آفت‌کش به‌عنوان یک آلاینده ارائه می‌دهند. این پنج ویژگی عبارت‌اند از؛ حلالیت در آب، فراریت، تمایل خاک برای جذب آنها، ماندگاری و پتانسیل یونیزاسیون (۲۴). از این‌رو، به‌منظور بررسی وضعیت آفت‌کش‌های ارگانوفسفره در ایستگاه‌های مورد مطالعه با ویژگی‌های اکوتوکسیکولوژی آنها از دو پایگاه داده

1- National Pesticide Information Center (NPIC)
2- Pesticides Properties Data Base (PPDB)
3- Agriculture and Environment Research Unit (AERU)
4- University of Hertfordshire



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه و ایستگاه‌های نمونه برداری.

Figure 1. Study area and sampling stations.

نتایج و بحث

آماره‌های توصیفی شامل میانگین و انحراف معیار برای هر کدام از سموم آفت کش ارگانوفسفره در نمونه‌های خاک و آب به تفکیک ایستگاه‌های مورد مطالعه در جدول‌های ۱ و ۲، آمده است. نتایج نشان داد غلظت سموم اتیون و دیازینون در بین آفت‌کش‌های مشاهده شده بیش‌ترین مقدار را به ترتیب در نمونه‌های خاک و آب به خود اختصاص داده‌اند که مطابق با پژوهش گلشنی و همکاران (۲۰۲۲) می‌باشد (۲۷). بر این اساس، بیش‌ترین مقدار بقایای

سم ارگانوفسفره اتیون در خاک در ایستگاه‌های مورد مطالعه به ترتیب مربوط به شیخعلی طوسه ۱، شیخعلی طوسه ۲ و میرزاگلیند ۱ با مقدار ۴/۰۵، ۳/۹۹ و ۳/۴۹ میکروگرم بر کیلوگرم به دست آمد. همچنین در ایستگاه‌های شیخعلی طوسه ۲، میرزاگلیند ۱ و حلیمه جان آفت کش دیازینون به ترتیب با ۳/۹۶، ۱/۷۱ و ۱/۶۸ میکروگرم بر لیتر دارای بیش‌ترین مقدار در نمونه‌های آب بود.

جدول ۱- آمار توصیفی (میانگین \pm انحراف معیار) غلظت آفت‌کش‌های ارگانوفسفره (میکروگرم بر کیلوگرم) در نمونه‌های خاک ایستگاه‌های مورد مطالعه.

Table 1. Descriptive statistics (mean \pm standard deviation) of organophosphorus pesticides concentration (ug/kg) in soil samples of the studied stations.

آزینفوس متیل Azinphos Methyl	ایتون Ethion	پاراتیون Parathion	کلروپیرفوس Chlorpyrofos	فنتیون Fenthion	مالاتیون Malathion	فنیتروتیون Fenitrothion	متیل پاراتیون Methyl Parathion	دیسولفوتون Disolfoton	دیازینون Diazinon	بتامونفوس Beta Mevinphos	ایستگاه Station
0.12 \pm 0.02	1.73 \pm 0.02	0.02 \pm 0.01	0.40 \pm 0.01	0.76 \pm 0.01	0.22 \pm 0.01	1.18 \pm 0.01	1.31 \pm 0.01	0.01 \pm 0.0005	1.29 \pm 0.01	0.72 \pm 0.01	گلوز Gelevarz
0.15 \pm 0.01	1.51 \pm 0.02	1.59 \pm 0.02	0.21 \pm 0.01	0.42 \pm 0.01	0.15 \pm 0.01	0.02 \pm 0.01	1.96 \pm 0.01	0.02 \pm 0.01	1.14 \pm 0.01	0.54 \pm 0.0005	میان‌لا، رودبار Mianlate-Rudbar
0.11 \pm 0.01	1.31 \pm 0.01	0.04 \pm 0.0005	0.15 \pm 0.01	0.01 \pm 0.05	0.15 \pm 0.01	0.02 \pm 0.01	1.20 \pm 0.01	0.03 \pm 0.02	1.05 \pm 0.02	1.18 \pm 0.01	رودبار Rud-Abad
0.22 \pm 0.01	1.59 \pm 0.01	0.12 \pm 0.01	0.17 \pm 0.01	0.01 \pm 0.01	0.17 \pm 0.01	0.02 \pm 0.01	2.99 \pm 0.01	0.02 \pm 0.01	2.89 \pm 0.01	0.65 \pm 0.01	خرشک Khereshk
0.55 \pm 0.16	2.82 \pm 0.02	2.19 \pm 0.01	0.17 \pm 0.0005	0.02 \pm 0.01	0.42 \pm 0.01	1.47 \pm 0.01	2.14 \pm 0.01	0.01 \pm 0.0005	2.31 \pm 0.01	0.85 \pm 0.01	شهران Shahran
0.35 \pm 0.02	2.09 \pm 0.01	1.82 \pm 0.02	0.39 \pm 0.02	0.10 \pm 0.16	0.22 \pm 0.01	0.14 \pm 0.01	2.03 \pm 0.01	0.15 \pm 0.01	1.60 \pm 0.005	0.81 \pm 0.01	حلیمه‌جان Halime-jan
2.25 \pm 0.01	2.17 \pm 0.01	0.93 \pm 0.02	0.65 \pm 0.01	0.02 \pm 0.01	0.22 \pm 0.01	0.03 \pm 0.02	2.54 \pm 0.01	0.02 \pm 0.01	1.95 \pm 0.01	0.88 \pm 0.0005	براکور Baragour
2.43 \pm 0.02	1.61 \pm 0.01	0.02 \pm 0.01	0.22 \pm 0.01	0.94 \pm 0.01	0.19 \pm 0.0005	0.03 \pm 0.02	1.53 \pm 0.01	0.07 \pm 0.01	1.52 \pm 0.03	0.63 \pm 0.02	شهر بیجار Shahre Bijar
2.23 \pm 0.02	3.49 \pm 0.01	0.52 \pm 0.01	0.14 \pm 0.02	0.02 \pm 0.01	0.47 \pm 0.02	1.06 \pm 0.02	3.32 \pm 0.02	0.03 \pm 0.01	2.22 \pm 0.02	0.91 \pm 0.01	میرزاگیند ^۱ Mirzagolband1
2.03 \pm 0.02	3.44 \pm 0.02	0.19 \pm 0.0005	0.22 \pm 0.02	0.01 \pm 0.01	0.35 \pm 0.01	1.99 \pm 0.02	1.55 \pm 0.01	0.01 \pm 0.01	5.15 \pm 0.05	0.89 \pm 0.01	میرزاگیند ^۲ Mirzagolband2
2.63 \pm 0.02	4.05 \pm 0.03	0.31 \pm 0.02	0.15 \pm 0.01	0.02 \pm 0.01	0.32 \pm 0.01	0.02 \pm 0.01	4.21 \pm 0.01	0.03 \pm 0.0005	1.45 \pm 0.01	1.14 \pm 0.01	شیخعلی طوسه ^۱ Sheikhali Touse1
0.35 \pm 0.01	3.99 \pm 0.02	0.89 \pm 0.02	0.14 \pm 0.01	0.02 \pm 0.01	0.35 \pm 0.01	0.01 \pm 0.01	3.55 \pm 0.01	0.06 \pm 0.01	2.03 \pm 0.01	0.92 \pm 0.01	شیخعلی طوسه ^۲ Sheikhali Touse2

جدول ۲- آمار توصیفی (میانگین \pm انحراف معیار) غلظت آفت کش های ارگانوفسفره (میکروگرم بر لیتر) در نمونه های آب ایستگاه های مورد مطالعه.

Table 2. Descriptive statistics (mean \pm standard deviation) of organophosphorus pesticides concentration (ug/L) in water samples of the studied stations.

آزینفوس متیل Azinphos Methyl	ایتون Ethion	پاراتیون Parathion	کلروپیرفوس Chlorpyrifos	فنتیون Fenthion	مالاتیون Malathion	فنتروتیون Fenitrothion	متیل پاراتیون Methyl Parathion	دیسولفون Disolfoton	دیازینون Diazinon	بتاموینفوس Beta Mevinphos	ایستگاه Station
0.07 \pm 0.01	0.08 \pm 0.01	0.01 \pm 0.005	0.02 \pm 0.005	0.08 \pm 0.09	0.22 \pm 0.02	0.07 \pm 0.005	0.46 \pm 0.01	0.01 \pm 0.005	0.71 \pm 0.05	0.05 \pm 0.005	گلورز Gelevarz
0.13 \pm 0.01	0.02 \pm 0.05	0.02 \pm 0.01	0.04 \pm 0.005	0.01 \pm 0.005	0.34 \pm 0.02	0.01 \pm 0.005	0.01 \pm 0.05	0.01 \pm 0.01	0.78 \pm 0.01	0.01 \pm 0.005	میان لات رودبار Mianlat Rudbar
0.02 \pm 0.01	0.01 \pm 0.05	0.02 \pm 0.01	0.02 \pm 0.005	0.02 \pm 0.01	0.62 \pm 0.02	0.03 \pm 0.005	0.02 \pm 0.005	0.01 \pm 0.005	0.41 \pm 0.01	0.01 \pm 0.005	رودآباد Rudabad
1.16 \pm 0.02	0.04 \pm 0.01	0.01 \pm 0.01	0.03 \pm 0.005	0.01 \pm 0.005	0.48 \pm 0.01	0.01 \pm 0.005	0.01 \pm 0.05	0.02 \pm 0.01	0.01 \pm 0.005	0.07 \pm 0.01	خرشک Khereshk
0.01 \pm 0.005	0.05 \pm 0.01	0.02 \pm 0.005	0.02 \pm 0.01	0.06 \pm 0.01	0.48 \pm 0.01	0.02 \pm 0.01	0.02 \pm 0.005	0.02 \pm 0.005	0.61 \pm 0.01	0.01 \pm 0.01	شهران Shahran
0.01 \pm 0.01	0.04 \pm 0.02	0.01 \pm 0.005	0.01 \pm 0.005	0.14 \pm 0.01	0.45 \pm 0.01	0.01 \pm 0.005	0.22 \pm 0.01	0.01 \pm 0.005	1.68 \pm 0.01	0.01 \pm 0.005	حلیمه جان Halimejan
0.01 \pm 0.005	0.02 \pm 0.02	0.02 \pm 0.005	0.02 \pm 0.01	0.01 \pm 0.005	0.49 \pm 0.05	0.01 \pm 0.01	0.01 \pm 0.05	0.01 \pm 0.005	0.01 \pm 0.005	0.05 \pm 0.01	برآگور Baragour
0.05 \pm 0.01	0.03 \pm 0.01	0.01 \pm 0.005	0.02 \pm 0.005	0.02 \pm 0.01	0.17 \pm 0.01	0.01 \pm 0.005	0.02 \pm 0.005	0.01 \pm 0.005	0.63 \pm 0.01	0.05 \pm 0.005	شهر بیجار Shahre Bijar
1.69 \pm 0.02	0.01 \pm 0.05	0.02 \pm 0.01	0.01 \pm 0.005	0.05 \pm 0.01	0.01 \pm 0.005	0.02 \pm 0.01	0.01 \pm 0.005	0.02 \pm 0.01	1.71 \pm 0.05	0.01 \pm 0.005	میرزا گلیندا ۱ Mirzagolband1
0.02 \pm 0.01	0.05 \pm 0.01	0.02 \pm 0.01	0.02 \pm 0.01	0.12 \pm 0.15	1.16 \pm 0.01	0.01 \pm 0.005	0.02 \pm 0.005	0.01 \pm 0.005	0.65 \pm 0.05	0.14 \pm 0.01	میرزا گلیندا ۲ Mirzagolband2
0.04 \pm 0.005	0.14 \pm 0.01	0.02 \pm 0.005	0.01 \pm 0.01	0.05 \pm 0.005	0.37 \pm 0.01	0.11 \pm 0.01	0.43 \pm 0.02	0.01 \pm 0.005	0.01 \pm 0.005	0.01 \pm 0.005	شیخعلی طوسه ۱ Sheikhali Touse1
0.01 \pm 0.005	0.02 \pm 0.01	0.17 \pm 0.01	0.01 \pm 0.005	0.01 \pm 0.005	2.06 \pm 0.02	0.05 \pm 0.005	0.74 \pm 0.13	0.02 \pm 0.01	3.96 \pm 0.01	0.06 \pm 0.005	شیخعلی طوسه ۲ Sheikhali Touse2

متحده^۱، اراضی شالیزاری منطقه مورد مطالعه از محدوده گلورز تا شهران دارای رژیم رطوبتی زیریک^۲ و از محدوده حلیمه‌جان تا شیخعلی طوسه^۳ دارای رژیم رطوبتی یودیک^۳ هستند. همچنین بر اساس این طبقه‌بندی، اراضی شالیزاری منطقه مورد مطالعه از محدوده گلورز تا شهران دارای رژیم حرارتی ترمیک^۴ و از محدوده حلیمه‌جان تا شیخعلی طوسه^۳ دارای رژیم حرارتی مزیک^۵ می‌باشند (۳۰).

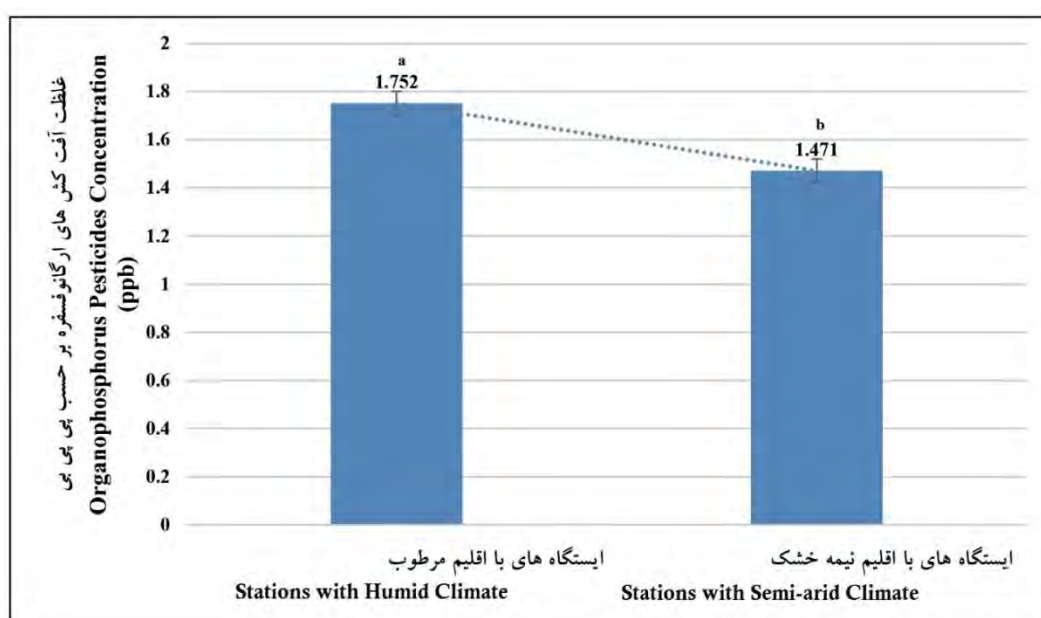
بر این اساس، نتایج نشان داد میان غلظت آفت‌کش‌های واقع در ایستگاه‌های با اقلیم مرطوب و نیمه‌خشک اختلاف معنی‌داری دیده می‌شود (شکل ۲). در ایستگاه‌های واقع در اقلیم مرطوب (ایستگاه‌های شماره ۶ تا ۱۲)، میانگین غلظت آفت‌کش‌ها بیش‌تر از ایستگاه‌های واقع در اقلیم نیمه‌خشک (ایستگاه‌های ۱ تا ۵) می‌باشد. به‌طورکلی، میانگین بار آلودگی و روند تغییرات غلظتی سموم ارگانوفسفره در ایستگاه‌های نزدیک به منطقه امام‌زاده هاشم (ایستگاه‌های شماره ۶ تا ۱۲ با اقلیم مرطوب و واقع در اراضی پایین‌دست) بیش‌تر از ایستگاه‌های نزدیک به شهر رودبار (ایستگاه‌های شماره ۱ تا ۵ با اقلیم نیمه‌خشک و واقع در اراضی بالادست) می‌باشد. علت اختلاف در ایستگاه‌های واقع در اراضی پایین‌دست در مقایسه با اراضی بالادست احتمالاً مربوط به انتقال سموم به واسطه ورود پساب‌های مزارع کشاورزی و شالیزارها از بالادست به سمت پایین‌دست باشد که همسو با مطالعات آقابیگی و همکاران (۲۰۱۸) و ماترو و همکاران (۲۰۲۱) می‌باشد (۳۱ و ۳۲). آن‌ها بیان کردند حرکت آفت‌کش‌ها در اثر جریان آب و فرسایش خاک از بالادست می‌تواند

روند تغییرات و نوسانات غلظتی سموم آفت‌کش مشاهده شده در ایستگاه‌های مورد مطالعه برای نمونه‌های خاک به‌صورت اتیون > متیل‌پاراتیون > دیازینون > آزینفوس‌متیل > بتاموینفوس > پاراتیون > فنیتروتیون > مالاتیون > کلروپیریفوس > فنتیون > دیسولفوتون بود. همچنین، روند تغییرات و نوسانات غلظتی سموم مشاهده شده در ایستگاه‌های مورد مطالعه برای نمونه‌های آب به‌صورت دیازینون > مالاتیون > آزینفوس‌متیل > متیل‌پاراتیون > فنتیون > اتیون > بتاموینفوس > پاراتیون > فنیتروتیون > کلروپیریفوس > دیسولفوتون بود. اتیون یک سم غیرسیستمیک ارگانوفسفره است که با اثرات تماسی-گوارشی با مهار آنزیم کولین استراز، آفات را از بین می‌برد. میزان سمیت این حشره‌کش برای گونه‌های پستانداران ۲۰۸-۴۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم، برای پرندگان ۲۰۰۰-۱۲۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم و برای ماهی‌ها ۰/۷۲ میلی‌گرم بر لیتر است. حشره‌کش اتیون برای پرندگان تقریباً کم‌خطر و غیرسمی است اما برای ماهی‌ها و دیگر موجودات آبی بسیار سمی است (۲۸). دیازینون به‌عنوان حشره‌کش و کنه‌کش با اثر تماسی، گوارشی و تنفسی طیف وسیعی از آفات جونده و مکنده را کنترل می‌کند. دیازینون علاوه بر خاصیت تماسی، دارای خاصیت نفوذی (عبور از برگ) می‌باشد ولی در بافت گیاهان نامتحرک است. سازگاری با گیاهان و نریختن برگ‌ها یا متوقف نشدن رشد و نمو از جمله ویژگی‌های این آفت‌کش است. دیازینون در محیط‌زیست نسبتاً پایدار است و تحرک زیادی دارد. غلظت دیازینون موجود در آب و خاک به‌وسیله فرآیندهای تبخیر، تجزیه نوری یا فتولیز، آبکافت یا هیدرولیز و تجزیه زیستی کاهش می‌یابد (۲۹). بر اساس طبقه‌بندی وزارت کشاورزی ایالات

1- United States Department of Agriculture (USDA)
2- Xeric
3- Udic
4- Thermic
5- Mesic

مهم ترین منابع عمده آلودگی آب های کشاورزی در منطقه مورد مطالعه می باشد. باید توجه داشت که آب، نقش مهمی در تولید برنج دارد زیرا بیشترین مقدار مصرف آب را در بین محصولات کشاورزی، گیاه برنج دارا می باشد (۳۳). در نتیجه، با توجه به نیاز آبی بیش تر برنج نسبت به سایر گیاهان زراعی، استفاده بی رویه از سموم می تواند ضمن آلودگی منابع آب موجب تجمع آن ها در اندام و بافت های گیاه و انتقال از طریق زنجیره غذایی به انسان گردد.

از دلایل افزایش غلظت آن ها در اراضی پایین دست باشد. هم چنین، درجه حرارت بر میزان غلظت آفت کش ها تأثیر گذار می باشد به طوری که با افزایش دما از غلظت آن ها کاسته می شود. در نتیجه به نظر می رسد که روند تغییر اقلیم از ایستگاه های واقع در محدوده امام زاده هاشم به سمت شهر رودبار که همراه با افزایش دما و خشکی محیط می باشد، دلیل کاهش غلظت آفت کش ها باشد. با توجه به سطح گسترده اراضی شالیزاری منطقه، استفاده از سموم ارگانوفسفره با تأثیر بر ویژگی های کیفی منابع آب به عنوان یکی از



شکل ۲- میانگین غلظت آفت کش های ارگانوفسفره بین ایستگاه های واقع در اقلیم مرطوب و نیمه خشک (حروف غیر مشابه بیانگر وجود اختلاف در سطح احتمال ۰/۰۵ بر اساس آزمون چنددامنه ای دانکن می باشد).

Figure 2. Mean concentration of organophosphorus pesticides between stations located in humid and semi-arid climates (not the same letters indicate a difference in probability level of 0.05 based on Duncan's multiple range test).

آفت کش های ارگانوفسفره در ایستگاه ها از آزمون چنددامنه ای دانکن استفاده شد. نتایج نشان داد که میزان غلظت آفت کش های ارگانوفسفره در نمونه های آب و خاک ایستگاه های مورد مطالعه به جز آفت کش های دیازینون، متیل پاراتیون، آزینفوس متیل، مالاتیون و اتیون برای سایر آفت کش ها اختلاف

به منظور مقایسه میزان غلظت آفت کش های ارگانوفسفره در ایستگاه های مورد مطالعه از آزمون آنالیز واریانس یکطرفه استفاده شد. نتایج نشان داد که بین غلظت آفت کش ها در تمامی ایستگاه ها مطابق جدول ۳، اختلاف معنی داری وجود دارد. در ادامه به جهت مشخص شدن تفاوت میان میزان غلظت

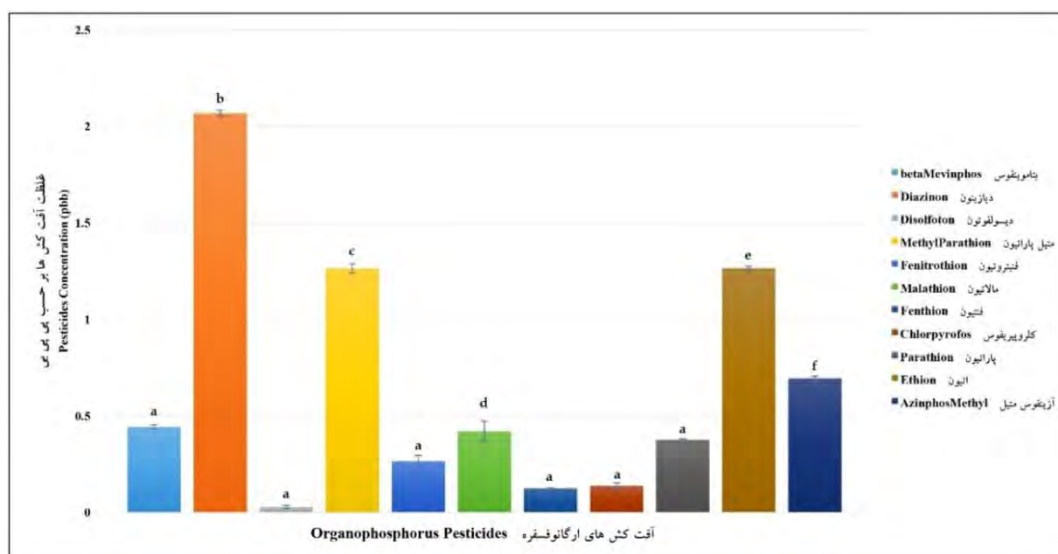
کردند که می‌توان به جذب آفت‌کش در خاک، تبخیر، تجزیه شیمیایی و میکروبی، جذب به وسیله گیاهان، شستشوی سطحی و آبشویی اشاره نمود (۹).

معنی‌دار را نشان نمی‌دهد (شکل ۳). در این ارتباط، خبازی و همکاران (۲۰۱۴) چند عامل تأثیرگذار بر سرنوشت و رفتار آفت‌کش‌ها در محیط را معرفی

جدول ۳- نتیجه آزمون واریانس یکطرفه در ایستگاه‌های مورد مطالعه.

Table 3. The result analysis one-way of variance in the studied stations.

Sig	F	میانگین مربعات Mean Square	درجه آزادی df	مجموع مربعات Sum of Squares	
0.001	420.327	6.188	2	12.376	بین گروه‌ها Between Groups
		0.010	69	1.030	داخل گروه‌ها Within Groups
			71	13.406	مجموع Total



شکل ۳- مقایسه میانگین غلظت آفت‌کش‌های ارگانوفسفره در نمونه‌های آب و خاک ایستگاه‌های مورد مطالعه

(حروف غیرمشابه بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار در سطح آماری ۰/۰۵ بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن می‌باشد).

Figure 3. Comparison of the average concentration of organophosphorus pesticides in soil and water samples of the studied stations (not the same letters indicate a difference in probability level of 0.05 based on Duncan's multiple range test).

نمونه‌های خاک بیش‌تر از نمونه‌های آب می‌باشد اما میانگین غلظت ارگانوفسفره‌ها در نمونه‌های آب و خاک از نظر آماری تفاوت معنی‌داری را نشان نداد که با نتایج مطالعات کافلی و همکاران (۲۰۱۵)

به‌منظور بررسی تفاوت میانگین غلظت سموم آفت‌کش ارگانوفسفره در نمونه‌های آب و خاک از آزمون آماری تی‌مستقل استفاده شد (جدول ۴). نتایج نشان داد که اگرچه میانگین غلظت آفت‌کش‌ها در

اصلی و مهم کاهش سریع و فشار روزافزون بر منابع پایه کشاورزی یعنی آب و خاک می باشد، راهبرد کلیدی در بحث کشاورزی معرفی نموده که استفاده بهینه و متعادل از سموم شیمیایی در جهت حفظ منابع آب و خاک یکی از مهم ترین اقدامات در راستای نیل به این هدف می باشد (۳۵).

مغایرت داشت. آن ها بیان کردند که ضمن وجود اختلاف معنی دار بین غلظت آفت کش ها در نمونه های آب و خاک، میانگین غلظت آفت کش های ارگانوفسفره در نمونه های آب بیش تر از نمونه های خاک بود (۳۴). امینی و همکاران (۲۰۱۵) با بیان این که استفاده بی رویه از سموم شیمیایی از عوامل

جدول ۴- نتیجه آزمون تی مستقل به منظور بررسی تفاوت میانگین غلظت سموم آفت کش ارگانوفسفره در نمونه های آب و خاک.

Table 4. The result of independent t-test to evaluate the difference between the mean concentrations of organophosphorus pesticides in soil and water samples.

میانگین آب	میانگین خاک	تفاوت خطای استاندارد	تفاوت میانگین ها	تی تست برای تساوی میانگین ها			آزمون لونز برای تساوی واریانس ها	
				T-test for Equality of Means	df	t	Levene's Test for Equality of Variances	
Water Mean	Soil Mean	Std. Error Difference	Mean Difference	Sig(2-tailed)			Sig	F
0.304	0.987	0.329	0.683	0.052	20	2.071	0.081	3.383
		0.329	0.683	0.053	17.611	2.071		

فرض برابری واریانس
Equal Variances Assumed

فرض عدم برابری واریانس
Equal Variances not Assumed

بعدی استفاده می گردند (۳۷). بر این اساس، از میان ۱۱ آفت کش ارگانوفسفره تعداد ۴ آفت کش تأثیرگذار در هر یک از نمونه های آب و خاک مشخص شدند (جدول ۵). بر اساس جدول ۵، ترتیب مهم ترین آفت کش های ارگانوفسفره در نمونه های آب شامل دیازینون، مالاتیون، آزینفوس متیل و متیل پاراتیون؛ و خاک شامل دیازینون، متیل پاراتیون، اتیون و آزینفوس متیل می باشند. همسو با نتایج این پژوهش، رائو و وانی (۲۰۱۵) گزارش کردند که آزینفوس متیل، دیازینون و مالاتیون مهم ترین آفت کش های ارگانوفسفره در اراضی ماهپرادش هندوستان هستند (۳۸).

به منظور تعیین آفت کش های مهم تأثیرگذار و کوچک تر شدن حجم آن ها، داده ها به روش آنالیز مؤلفه های اصلی (روش چرخش واریماکس) با استفاده از ماتریس های ضرایب همبستگی تجزیه و تحلیل شدند. یکی از اهداف آمار چندمتغیره به ویژه روش تحلیل مؤلفه های اصلی، بررسی وابستگی ها بین متغیرهای مشاهده شده می باشد به طوری که این روش از یک سو قادر به گروه بندی متغیرها بر طبق شباهت آن ها بوده و از سوی دیگر توانایی تعیین اهمیت نسبی بین این گروه ها را نیز دارند (۳۶). هدف از این کار مانند سایر انواع تحلیل های عاملی، کاهش مجموعه بزرگی از داده ها به تعداد کم تری عامل است که با توجیه بیش تر تغییرات موجود در داده ها (بیش ترین واریانس مجموعه داده ها) به راحتی در تحلیل های

جدول ۵- نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای انتخاب مهم‌ترین آفت‌کش در خاک و آب.

Table 5. The results of principal components analysis to select the most important pesticides in soil and water.

نمونه‌های آب Water Samples		نمونه‌های خاک Soil Samples	
مؤلفه Component	آفت‌کش Pesticide	مؤلفه Component	آفت‌کش Pesticide
0.915	دیازینون Diazinon	0.878	دیازینون Diazinon
0.875	مالاتیون Malathion	0.862	متیل پاراتیون Methyl Parathion
0.852	آزینفوس متیل Azinphos Methyl	0.825	اتیون Ethion
0.791	متیل پاراتیون Methyl Parathion	0.813	آزینفوس متیل Azinphos Methyl

آب دیده می‌شود. در نمونه‌های خاک، همبستگی مثبت و معنی‌داری بین اتیون با متیل پاراتیون در سطح معنی‌داری ۵ درصد وجود داشت. قابل ذکر است که هیچ‌گونه همبستگی بین سموم ارگانوفسفره در نمونه‌های آب با نمونه‌های خاک مشاهده نشد.

به منظور اندازه‌گیری میزان رابطه خطی بین آفت‌کش‌های ارگانوفسفره در نمونه‌های آب و خاک از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد (جدول ۶). نتایج نشان داد در سطح معنی‌داری ۵ درصد، همبستگی مثبت و معنی‌داری بین دیازینون با مالاتیون و همچنین، دیازینون با متیل پاراتیون در نمونه‌های

جدول ۶- ضریب همبستگی پیرسون سموم ارگانوفسفره در منطقه مورد مطالعه.

Table 6. Pearson correlation coefficient of organophosphorus toxins in the study area.

آب				خاک			
آزینفوس متیل Azinphos Methyl	مالاتیون Malathion	متیل پاراتیون Methyl Parathion	دیازینون Diazinon	آزینفوس متیل Azinphos Methyl	اتیون Ethion	متیل پاراتیون Methyl Parathion	دیازینون Diazinon
							1
						1	-0.010
					1	0.698*	0.384
				1	0.457	0.328	0.259
			1	-0.247	0.445	0.263	-0.027
		1	0.621*	-0.182	0.479	0.408	-0.226
	1	0.556	0.659*	-0.217	0.461	0.190	0.361
1	-0.334	-0.291	0.025	0.116	0.082	0.378	0.159

* همبستگی در سطح معنی‌داری ۰/۰۵

* Correlation is Significant at the 0.05 Level (2-tailed)

نتایج نشان داد که ریزش های جوی و آبیاری نقش بسیار مهمی را در انتقال آفت کش ها به منابع آب سطحی از جمله رودخانه ها دارند (۴۲). با در نظر گرفتن نتایج، حرکت آفت کش ها در اثر جریان آب از شالیزارها و انتقال آن ها به مزارع پرورش ماهی و هم چنین رودخانه سفیدرود باعث می شود تا موجودات آبی از جمله ماهی ها در معرض خطر آلودگی این سموم قرار بگیرند زیرا سموم آفت کش موجود در آب به بافت های بدن موجودات زنده موجود در آب منتقل می گردد که این نتایج همسو با مطالعات باراتا و همکاران (۲۰۰۴) و ثقفی پور و همکاران (۲۰۱۹) می باشد (۴۳ و ۴۴). در مطالعه ای که توسط فیانکو و همکاران (۲۰۱۱) در کشور غنا بر روی باقی مانده آفت کش ها در ماهی ها و هم چنین خطرات مرتبط مواجهه با آفت کش ها انجام گرفت نشان می دهد که بیش از ۹۰ درصد کشاورزان احتیاطات لازم را در مورد فرمولاسیون و کاربرد آفت کش ها انجام نمی دهند و این عمل باعث شیوع بیماری های مرتبط با آفت کش ها در این نواحی کشاورزی شده است (۴۵). حسنی و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند آفت کش ها با ورود به آب در بافت های بدن جانوران آبی تجمع یافته و در نتیجه از این طریق وارد زنجیره غذایی می شوند (۴۶). طی مطالعه ای در کالیفرنیا در رابطه با مسمومیت آبزیان با هدف بررسی مسمومیت حاد و مزمن در رودخانه بر اثر آفت کش ها، علت مسمومیت آبزیان را به آفت کش های ارگانوفسفره از جمله دیازینون نسبت دادند (۴۷). نتایج پژوهشی بر روی رودخانه کرج نشان داد که باقی مانده حشره کش مالاتیون تا یک ماه پس از سم پاشی بیش تر از مقادیر مجاز بوده و می تواند بر روی افرادی که در آن نواحی زندگی می کنند و از آب و محصولات کشاورزی در آن جا استفاده می کنند، اثرات ناخوشایندی را ایجاد کند (۴۸). به طور کلی، عوارض سوء ناشی از مسمومیت با آفت کش ها در کل

به منظور مقایسه میانگین غلظت آفت کش های ارگانوفسفره در منطقه مورد مطالعه با خصوصیات فیزیکوشیمیایی و اکوتوکسیکولوژی آن ها از NPIC و PPDB استفاده گردید (جدول ۷). نتایج نشان داد که با توجه به مقدار فاکتور جذب زیستی، تمامی آفت کش های ارگانوفسفره در منطقه مورد مطالعه دارای جذب زیستی کمی هستند. هم چنین، تمامی آفت کش های ارگانوفسفره با توجه به غلظتشان در نمونه های آب منطقه مورد مطالعه دارای حلالیت کمی می باشند. از نظر پتانسیل خطر و سمیت برای آبزیان (ماهی ها) غلظت آفت کش های بتاموینفوس، مالاتیون و آزینفوس متیل بسیار بالا بوده که این آفت کش ها را در وضعیت خطر بالا و سمی برای آبزیان منطقه مورد مطالعه قرار داده است. هم چنین، آفت کش کلروپیرفوس در وضعیت آستانه خطر بالا و سمیت برای آبزیان جای دارد. با توجه به نتایج به دست آمده، مقادیر بقایای سموم ارگانوفسفره در نمونه های آب عامل محدودکننده برای آبی پروری منطقه است. اثر سمی آفت کش ها بر موجودات غیرهدف یک اتفاق معمول است. ماهی ها اصلی ترین گونه های غیرهدف هستند که از کاربرد سموم خطرناک متأثر می شوند (۳۹). رودخانه سفیدرود به دلیل وجود مزارع برنج در مجاورت آن، همه ساله مقادیر قابل توجهی سموم شیمیایی از طریق زهکش های طبیعی، شستشوی خاک مزارع بر اثر بارش باران و وزش باد دریافت می کند (۴۰). از طرفی، در مورد باقی مانده آفت کش ها در منابع آب، عوامل مختلفی فیزیکی، شیمیایی و زیستی مانند دمای آب، تبخیر، فتولیز، هیدرولیز، اکسیداسیون و احیا، جذب سطحی آفت کش به مواد آلی آب و خاک، pH، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آفت کش، شرایط محیطی، نزولات جوی و نزدیکی مناطق کشاورزی به رودخانه مهم و مؤثرند (۴۱). در مطالعه ای که توسط پتیئا و مارینو (۲۰۱۰) در جهت مدیریت آب در دشت فوسینوی ایتالیا انجام گرفت،

افسردگی، نواقص عصبی، سرطان و عقیمی اشاره نمود که این اثرات بلندمدت به‌عنوان یک مشکل جهانی بهداشت عمومی محسوب می‌شود (۴۹).

شامل عوارض کوتاه‌مدت مانند درد ناحیه شکمی، سرگیجه، سردرد، دوپینی، حالت تهوع، مشکلات چشمی و پوستی؛ از عوارض بلندمدت آن می‌توان به افزایش احتمال بروز مشکلات تنفسی، اختلال حافظه،

جدول ۷- مقایسه غلظت آفت‌کش‌های ارگانوفسفره در نمونه‌های آب و خاک با ویژگی‌های مختلف فیزیکوشیمیایی و اکوتوکسیکولوژی.

Table 7. Comparison of organophosphorus pesticides in soil and water samples with different physicochemical and ecotoxicological characteristics.

غلظت در آب (مطالعه حاضر) Concentration in Water (This Study)	غلظت در خاک (مطالعه حاضر) Concentration in Soil (This Study)	غلظت حاد کشنده ماهی Fish-Acute 96-hour LC ₅₀ (mgL ⁻¹)		فاکتور غلظت زیستی Bio-Concentration Factor (Lkg ⁻¹)		حلالیت در آب Solubility in Water at 20°C (mgL ⁻¹)		ضریب جذب به خاک Sorption Coefficient (Soil Koc)	نیمه عمر خاک (روز) Soil Half-Life (days)	آفت‌کش ارگانوفسفره Organophosphorus Pesticide
		خطر	مقدار	پتانسیل خطر	مقدار	خطر	مقدار			
0.043	0.845	بالا High	0.012	ریسک کم Low Risk	ریسک کم Low Risk	بالا High	600000	44	3	بتاموفنوس Beta Mevinphos
2.088	2.053	متوسط Moderate	3.1	آستانه نگرانی Threshold of Concern	500	متوسط Moderate	60	1000	40	دیازینون Diazinon
0.017	0.042	بالا High	0.039	آستانه نگرانی Threshold of Concern	460	کم Low	25	600	30	دیسولفوتون Disolfoton
0.168	2.364	متوسط Moderate	<2.7	کم Low	71	متوسط Moderate	55	5100	5	متیل پاراتیون Methyl Parathion
0.033	0.501	متوسط Moderate	1.3	کم Low	29	کم Low	19	2000	4	فنیتروتیون Fenitrothion
0.573	0.272	بالا High	0.018	آستانه نگرانی Threshold of Concern	103	متوسط Moderate	148	1800	1	مالاتیون Malathion
0.052	0.200	متوسط Moderate	0.8	آستانه نگرانی Threshold of Concern	154	کم Low	4.2	1500	34	فنتیون Fenthion
0.023	0.255	بالا High	0.025	آستانه نگرانی Threshold of Concern	1374	کم Low	1.05	6070	30	کلروپیرفوس Chlorpyrifos
0.034	0.722	متوسط Moderate	1.5	کم Low	40	کم Low	12.4	5000	14	پاراتیون Parathion
0.046	2.488	متوسط Moderate	0.5	آستانه نگرانی Threshold of Concern	586	کم Low	2	10000	150	اتیون Ethion
0.272	1.12	بالا High	0.02	کم Low	40	کم Low	28	1000	10	آزینفوس متیل Azinphos Methyl

نتیجه‌گیری کلی

این پژوهش با هدف تعیین غلظت سموم آفت‌کش ارگانوفسفره در شالیزارهای شهرستان رودبار انجام گرفت. بر این اساس، تعداد ۱۱ آفت‌کش ارگانوفسفره در نمونه‌های آب و خاک اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد غلظت باقی مانده آفت‌کش‌های اتیون و دیازینون نسبت به سایر آفت‌کش‌ها به ترتیب در نمونه‌های خاک و آب دارای مقادیر بالاتر بودند. در این پژوهش مشخص شد که بار آلودگی و روند تغییرات غلظتی سموم ارگانوفسفره از اراضی بالادست به سمت اراضی پایین دست به دلیل انتقال پساب‌های کشاورزی دارای روند افزایشی می باشد. مقایسه میانگین غلظت آفت‌کش‌های ارگانوفسفره با خصوصیات اکوتوکسیکولوژی آن‌ها بیانگر پتانسیل خطر و سمیت بالا برای آبزیان از جمله ماهی‌ها برای سموم بتاموینفوس، مالاتیون و آزینفوس متیل بود. وجود این آفت‌کش‌ها در سطوحی بالاتر از حد قابل قبول برای بقای موجودات آبی به وضوح نشان‌دهنده خطرات اکولوژیکی مرتبط با قرار گرفتن در معرض این گونه‌ها و احتمال انتقال آلودگی در طول زنجیره غذایی و خطر افزایش استفاده مداوم از آن‌ها برای سلامت انسان می‌باشد. بر اساس نتایج این پژوهش بازدید، ارزیابی و نظارت دوره‌ای توسط کارشناسان بر غلظت باقی مانده آفت‌کش‌ها در اراضی شالیزاری این منطقه به منظور پیشگیری، کنترل و کاهش آلودگی محیط‌زیست ضروری است. هم‌چنین، لازم است با برگزاری کلاس‌های توجیهی به کشاورزان و ساکنان منطقه در مورد خطرات آفت‌کش‌ها جهت کنترل آفات، آموزش داده شود. به طور کلی، پیشنهاد می‌شود ضمن مطالعه در مورد انتقال بار آلودگی و فعل و انفعالات آفت‌کش‌ها، تحقیقات بیش‌تری جهت

مدلسازی پتانسیل خطرات آن‌ها در خاک و آب انجام شود.

تقدیر و تشکر

نویسندگان این مقاله از مدیریت محترم دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان به جهت همکاری و از شرکت دانش بنیان آریا شیمی شریف به جهت آنالیز دستگاهی، تقدیر و تشکر می‌نمایند.

داده‌ها و اطلاعات

داده‌های این مقاله برگرفته بخشی از رساله دکتری در حال انجام در دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان در اراضی کشاورزی شهرستان رودبار استان گیلان می‌باشد.

تعارض منافع

در این مقاله تعارض منافی وجود ندارد و این موضوع مورد تأیید تمامی نویسندگان است.

مشارکت نویسندگان

همه نویسندگان در تمامی مراحل تهیه آن از ایده پردازی، تجزیه و تحلیل داده‌ها و نگارش مقاله مشارکت و همکاری داشته‌اند.

اصول اخلاقی

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این اثر علمی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آن‌ها می‌باشد.

حمایت مالی

این مقاله از حمایت مالی برخوردار نبوده است.

منابع

1. Abdullah, M.P., Nabhan, K.J., Al-Qaim, F.F., Ishak, A., and Rozali, M. 2017. Analysis of pesticide residues in water sample: occurrence of pesticides in paddy field. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences*. 10: 3. 1159-1166.
2. Bhandari, G., Atreya, K., Scheepers, P.T., and Geissen, V. 2020. Concentration and distribution of pesticide residues in soil: Non-dietary human health risk assessment. *Chemosphere*. 253: 126594.
3. Lewis, S.E., Silburn, D.M., Kookana, R.S., and Shaw, M. 2016. Pesticide behavior, fate, and effects in the tropics: an overview of the current state of knowledge. *Journal of agricultural and food chemistry*. 64: 20. 3917-3924.
4. Chowdhury, A.Z., Jahan, S.A., Islam, M.N., Moniruzzaman, M., Alam, M.K., Zaman, M.A., Karim, N., and Gan, S.H. 2012. Occurrence of organophosphorus and carbamate pesticide residues in surface water samples from the Rangpur district of Bangladesh. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*. 89: 1. 202-207.
5. Kaushal, J., Khatri, M., and Arya, SK. 2021. A treatise on Organophosphate pesticide pollution: Current strategies and advancements in their environmental degradation and elimination. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 207: 111483.
6. Cabrerizo, A., Dachs, J., Moeckel, C., Ojeda, M.J., Caballero, G., Barceló, D., and Jones, K.C. 2011. Factors influencing the soil-air partitioning and the strength of soils as a secondary source of polychlorinated biphenyls to the atmosphere. *Environmental science & technology*. 45: 11. 4785-4792.
7. Jaipieam, S., Visuthismajarn, P., Sutheravut, P., Siriwong, W., Thoumsang, S., Borjan, M., and Robson, M., 2009. Organophosphate pesticide residues in drinking water from artesian wells and health risk assessment of agricultural communities, Thailand. *Human and ecological risk assessment*. 15: 6. 1304-1316.
8. Shamsazar, A., Shamsazar, F., and Asadi, A. 2019. Investigation of environmental contamination caused by organophosphate pesticides by acetylcholinesterase biosensor. *Human & Environment*. 17: 1. 39-48. (In Persian)
9. Khabazi, S., Moor, F., Keshavarzi, B., and Kermani, M. 2014. Environmental impact of agricultural land contamination of organochlorine and organophosphorus pesticides, Isfahan metropolis. *Iranian Journal of Environmental Geology*. 8: 27. 41-56. (In Persian)
10. Fosu-Mensah, B.Y., Okoffo, E.D., Darko, G., and Gordon, C. 2016. Organophosphorus pesticide residues in soils and drinking water sources from cocoa producing areas in Ghana. *Environmental Systems Research*. 5: 1. 1-12.
11. Arjmandi, R., Tavakol M., and Shayeghi, M. 2010. Determination of organophosphorus insecticide residues in the rice paddies. *International journal of environmental science & technology*. 7: 1. 175-182.
12. Añasco, N., Uno, S., Koyama, J., Matsuoka T., and Kuwahara, N. 2010. Assessment of pesticide residues in freshwater areas affected by rice paddy effluents in Southern Japan. *Environmental monitoring and assessment*. 160: 1. 371-383.
13. Pan, L., Sun, L., Li, Z., Zhan, Y., Xu, S., and Zhu, L. 2018. Organophosphate pesticide in agricultural soils from the Yangtze River Delta of China: concentration, distribution, and risk assessment. *Environmental Science and Pollution Research*. 25: 1. 4-11.
14. Mekonen, S., Argaw, R., Simaneseew, A., Houbraken, M., Senaeve, D., Ambelu, A., and Spanoghe, P. 2016. Pesticide residues in drinking water and associated risk to consumers in Ethiopia. *Chemosphere*. 162: 252-260.
15. Zhong, Y., and Zhu, L. 2013. Distribution, input pathway and soil-air exchange of polycyclic aromatic hydrocarbons in Banshan Industry Park, China. *Science of the Total Environment*. 444: 177-182.
16. Hantush, M., Marino, M., and Islam, M. 2000. Models for leaching of pesticides in soils and groundwater. *Journal of Hydrology*. 227: 1-4. 66-83.
17. Bahmani, O., Atlasi Pak, V., and Ghaytrani, M. 2022. Determination of Dispersion Coefficient of Deltamethrin in Short Transfer Intervals in Wheat Biochar Soil Columns. *Journal of Water and Soil Conservation*. 28: 4. 225-237. (In Persian)

18. Pouryazdankhah, H., Shahnazari, A., Ahmadi, M.Z., Khaledian, M., and Andersen, M.N. 2019. Rice yield estimation based on forecasting the future condition of groundwater salinity in the Caspian coastal strip of Guilan Province, Iran. *Environmental monitoring and assessment*. 191: 8. 1-16.
19. Mohammadi Galangash, M., Ghasemi Zolpirani, R., and Naimi Joubani, M. 2020. Evaluation of roadside soils pollution with heavy metals (Pb, Ni, Cu, Zn) in the Rasht-Qazvin old road (Guilan province). *Iranian Journal of Health and Environment*. 13: 3. 409-420. (In Persian)
20. Ramezani, B. 2004. Introduction of Rivas Martinez climatic classification Case study: Guilan and Khorasan province. *Territory*. 1: 3. 56-65. (In Persian)
21. Modarres, R., and Sarhadi, A. 2011. Statistically-based regionalization of rainfall climates of Iran. *Global and Planetary Change*. 75: 1-2. 67-75.
22. Mohamadi, M., Ghasemi, R., and Naeimi, M. 2018. Distribution pattern of heavy metals in roadside Topsoils around the Rasht-Qazvin freeway. *Journal of Health*. 9: 3. 249-258. (In Persian)
23. Lewis, K., and Tzilivakis, J. 2017. Development of a data set of pesticide dissipation rates in/on various plant matrices for the pesticide properties database (PPDB). *Data*. 2: 3. 28.
24. Hageman, K.J., Hafner, W.D., Campbell, D.H., Jaffe, D.A., Landers, D.H., and Simonich, S.L.M. 2010. Variability in pesticide deposition and source contributions to snowpack in western US national parks. *Environmental science & technology*. 44: 12. 4452-4458.
25. Wauchope, R.D., Buttler, T., Hornsby, A., Augustijn-Beckers, P., and Burt, J. 1992. The SCS/ARS/CES pesticide properties database for environmental decision-making. *Reviews of environmental contamination and toxicology*. pp. 1-155.
26. Augustijn-Beckers, P., Hornsby, A., and Wauchope, R. 1994. The SCS/ARS/CES pesticide properties database for environmental decision-making. II. Additional compounds. *Reviews of environmental contamination and toxicology*. pp. 1-82.
27. Golshani, R., Zafarani, G.G., Rebezov, M., Karbalaei, S., and Walker, T.R. 2022. Assessment of Organophosphorus Pesticide Residues in Water and Sediment Collected from the Southern Caspian Sea. *Applied Environmental Research*. 44: 2. 18-31. (In Persian)
28. Venkatachalapathy, R., Packirisamy, A.S.B., Ramachandran, A.C.I., Udhyasooriyan, L.P., Peter, M.J., Senthilnathan, K., Basheer, V.A., and Muthusamy, S. 2020. Assessing the effect of chitosan on pesticide removal in grape juice during clarification by gas chromatography with tandem mass spectrometry. *Process biochemistry*. 94: 305-312.
29. Alfonso, L.F., Germán, G.V., Del Carmen P.C.M., and Hossein, G. 2017. Adsorption of organophosphorus pesticides in tropical soils: the case of karst landscape of northwestern Yucatan. *Chemosphere*. 166: 292-299.
30. Ahmadi, O., Alamdari, P., Servati, M., and Khoshzaman, T. 2021. Investigate the suitability and capability of lands using parametric methods to achieve sustainable development. *Geography and Development Iranian Journal*. 18: 61. 1-28. (In Persian)
31. Aghabeigi, A., Gholami Sefidkouhi, M.A., Raeini, M., and Yazdani, M. 2018. Evaluation and Comparison of Water Productivity in Traditional and Consolidated Paddy Fields in Astaneh Ashrafieh County. *Journal of Water Research in Agriculture*. 32: 4. 485-497. (In Persian)
32. Materu, S.F., Heise, S., and Urban, B. 2021. Seasonal and Spatial Detection of Pesticide Residues Under Various Weather Conditions of Agricultural Areas of the Kilombero Valley Ramsar Site, Tanzania. *Frontiers in Environmental Science*. 9: 599814.
33. Bouman, B. 2007. A conceptual framework for the improvement of crop water productivity at different spatial scales. *Agricultural systems*. 93: 1-3. 43-60.

34. Kafle, B.K., Pokhrel, B., Shrestha, S., Raut, R., and Dahal, B.M. 2015. Determination of pesticide residues in water and soil samples from Ansikhola watershed, Kavre, Nepal. *International Journal of Geology, Earth & Environmental Sciences*. 5: 2. 119-127.
35. Amini, A., Nouri, S., and Sangdeh, B.A. 2015. Evaluation of rice production sustainability using multi criteria decision making methods: the case of Rezvanshahr county. *Iranian Agricultural Extension and Education Journal*. 11: 1. (In Persian)
36. Tabi, F., Omoko, M., Boukong, A., Mvondo Ze, A., Bitondo, D., and Fuh-Che, C. 2012. Evaluation of lowland rice (*Oryza sativa*) production system and management recommendations for Logone and Chari flood plain–Republic of Cameroon. *Agricultural Science Research Journals*. 2: 5. 261-273.
37. Hill, T., Lewicki, P., and Lewicki, P. 2006. *Statistics: methods and applications: a comprehensive reference for science, industry, and data mining*, StatSoft, Inc.
38. Rao, R., and Wani, K. 2015. Monitoring of organochlorine and organophosphorus pesticide residues in water during different seasons of Tighra reservoir Gwalior, Madhya Pradesh, India. *Environmental monitoring and assessment*. 187: 11. 1-14.
39. Hasanuzzaman, M., Rahman, M.A., Sharker, T., Haque, W., and Uddin, M.A. 2019. Study on organochlorine and organophosphorus pesticide residues in surface and underground water samples of Daudkandi Upazila in Bangladesh. *American-Eurasian J. Agric. Environ. Sci*. 19: 4. 271-278.
40. Najafpour, Sh., and Heidari Seyed Mahaleh, E. 2015. Determination of organochlorine pesticides in sediment of Caspian Sea in coastal part of Mazandaran province and the survey of their possibility effects on fish feeding benthic matters. *New Technologies in Aquaculture Development*. 8: 4. 54-82. (In Persian)
41. Abedikoupai, J., Nasri, Z., Talebi, Kh., Mamanpoush, A., and Mousavi, S.F. 2011. Investigation of Zayandehrud water pollution by diazinon and its assimilative capacity. *Journal of Water and Soil Science*. 15: 56. 1-20. (In Persian)
42. Petitta, M., and Mariño, M.A. 2010. Numerical simulation of pesticide transport and fate for water management in the Fucino Plain, Italy. *Journal of water resource and protection*. 2: 1. 29-41.
43. Barata, C., Solayan, A., and Porte, C. 2004. Role of B-esterases in assessing toxicity of organophosphorus (chlorpyrifos, malathion) and carbamate (carbofuran) pesticides to *Daphnia magna*. *Aquatic toxicology*. 66: 2. 125-139.
44. Saghafipour, A., Khaksar, M.R., Jesri, N., and Rezaei, F. 2019. The assessment of Diazinon, Carbaryl and Azinphous methyl pesticides Residue in the rivers of Qom, Iran in 2016. *Journal of Environmental Science and Technology*. 21: 9. 137-146. (In Persian)
45. Fianko, J.R., Donkor, A., Lowor, S.T., Yeboah, P.O., Glover, E.T., Adom, T., and Faanu, A. 2011. Health risk associated with pesticide contamination of fish from the Densu River Basin in Ghana. *Journal of Environmental Protection*. 2: 02. 115.
46. Hasany, A.H., Sayadi, M., and Jafari, S. 2011. Investigation of pesticides effect on groundwater quality of shemiran villages. *Water and Wastewater*. 23: 8. 119-129. (In Persian)
47. Arjmandi, R., Shayeghi, M., and Tavakol, M. 2008. The study of the residue of diazinon insecticide in the rice fields in amol. *Plant and Ecosystem*. 3: 12. 2-16. (In Persian)
48. Shayeghi, M., Khoobdel, M., and Vatandoost, H. 2007. Determination of organophosphorus insecticides (malathion and diazinon) residue in the drinking water. *Pakistan journal of biological sciences. PJBS*. 10: 17. 2900-2904.
49. Khodadadi, M., Samadi, M., Rahmani, A., Maleki, R., Allahresani, A., and Shahidi, R. 2010. Determination of organophosphorous and carbamate pesticides residue in drinking water resources of Hamadan in 2007. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2: 4. 250-257. (In Persian)

Technical Evaluation of Modern Irrigation Systems in Chaharmahal and Bakhtiari Province (Case Study: Shahrekord, Saman and Bon Counties)

Seyed Mohammadreza Hosseini Vardanjani¹, Mojtaba Khoshravesh^{*2},
Masoud Pourgholam-Amiji³, Fatemeh Atashkhar⁴, Gholamreza Shamaei⁵

1. Ph.D. Student in Irrigation and Drainage, Dept. of Water Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. E-mail: mohammad.mrh2015@gmail.com
2. Corresponding Author, Associate Prof., Dept. of Water Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. E-mail: m.khoshravesh@sanru.ac.ir
3. Ph.D. Student in Irrigation and Drainage, Dept. of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: mpourgholam6@ut.ac.ir
4. M.Sc. Graduate in Water Structures, Dept. of Water Engineering, Shahrekord University, Shahrekord, Iran. E-mail: atashkhar_f@yahoo.com
5. M.Sc. Graduate in Irrigation and Drainage, Dept. of Water Engineering, Isfahan University of Technology and Head of Agricultural Engineering Department, Organization of Agriculture-Jihad, Chaharmahal and Bakhtiari Province. E-mail: shamaei137@gmail.com

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 05.23.2022
Revised: 07.30.2022
Accepted: 08.02.2022

Keywords:
Combined Irrigation,
Evaluation,
Uniformity Coefficient,
Utilization

ABSTRACT

Background and Objectives: The use of modern irrigation systems is a basic solution compatible with water shortage conditions due to the increase in efficiency and productivity of water consumption. The use of proper irrigation methods to maintain food safety and reduce water requirements is a global issue. The most important goals of the implementation of these systems are quantitative and qualitative protection of water and soil resources and sustainability of agricultural production.

Materials and Methods: In this study, technical and hydraulic evaluation of seven new irrigation systems (integrated irrigation, Movable Sprinkler Solid-Set Irrigation Systems and Trickle Irrigation) implemented in Shahrekord, Bon and Saman cities in Chaharmahal and Bakhtiari province was performed. To evaluate integrated and Movable Sprinkler Solid-Set Irrigation Systems, Christiansen uniformity coefficient (CU), distribution uniformity (DU), potential application efficiency of low quarter (PELQ), application efficiency of low quarter (AELQ) in two block scales were experimented and the whole system were calculated. To evaluate drip irrigation systems, uniformity indices of water emission throughout the system (EU), potential application efficiency of low quarter (PELQ), application efficiency of low quarter (AELQ) were calculated.

Results: The results showed that the values of CU, DU, PELQ, AELQ indices for the tested block in integrated and Movable Sprinkler Solid-Set Irrigation Systems were equal to 68.6, 59.38, 46.85 and 58.56 and for the system were 67.01, 58.48, 45.2 and 56.5. Also, EU, PELQ and AELQ index values for drip irrigation system were 55.62, 51.91 and 53.83. The results showed that the above systems have a good infrastructure and most of the problems of these systems are related to the phase of operation and maintenance of these systems by users.

Conclusion: The main problems of these systems that have led to a decrease in performance evaluation criteria are the deficit irrigation, lack of knowledge of users and lack of training on how to use the system properly (pressure regulation, periodic visits to the system, interest Correct and principled removal, etc.), changes in high pressure and uneven distribution in the system, changing the irrigation cycle, using more sprinklers and non-compliance with the proposed cultivation pattern in accordance with the design booklet and the use of drippers are inappropriate.

Cite this article: Hosseini Vardanjani, Seyed Mohammadreza, Khoshravesh, Mojtaba, Pourgholam-Amiji, Masoud, Atashkhar, Fatemeh, Shamaei, Gholamreza. 2022. Technical Evaluation of Modern Irrigation Systems in Chaharmahal and Bakhtiari Province (Case Study: Shahrekord, Saman and Bon Counties). *Journal of Water and Soil Conservation*, 29 (2), 69-89.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/jwsc.2022.20247.3558

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

ارزیابی فنی سامانه‌های نوین آبیاری در استان چهارمحال و بختیاری (مطالعه موردی: شهرستان‌های شهرکرد، سامان و بن)

سید محمدرضا حسینی وردنجانی^۱، مجتبی خوش‌روش^{۲*}، مسعود پورغلام آمیجی^۳،
فاطمه آتسخوار^۴، غلامرضا شماعی^۵

۱. دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. رایانامه: mohammad.mrh2015@gmail.com
۲. نویسنده مسئول، دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. رایانامه: m.khoshravesh@sanru.ac.ir
۳. دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: mpourgholam6@ut.ac.ir
۴. دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد سازه‌های آبی، گروه مهندسی آب، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران. رایانامه: atashkhar_f@yahoo.com
۵. دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد آبیاری زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشگاه صنعتی اصفهان و رئیس اداره مهندسی زراعی، سازمان جهاد کشاورزی، استان چهارمحال و بختیاری. رایانامه: shamaei137@gmail.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی-پژوهشی	سابقه و هدف: استفاده از سامانه‌های نوین آبیاری به دلیل افزایش راندمان و بهره‌وری مصرف آب یک راهکار اساسی سازگار با شرایط کم‌آبی می‌باشد. استفاده از روش مناسب آبیاری برای حفظ امنیت غذایی و کاهش آب مورد نیاز، در مقیاس جهانی مطرح می‌باشد. از دیگر اهداف اجرای این سامانه‌ها می‌توان به حفاظت کمی و کیفی منابع آب و خاک و پایداری تولید محصولات کشاورزی اشاره نمود.
تاریخ دریافت: ۰۱/۰۳/۰۲	
تاریخ ویرایش: ۰۱/۰۵/۰۸	
تاریخ پذیرش: ۰۱/۰۵/۱۱	
واژه‌های کلیدی: آبیاری تلفیقی، ارزیابی، بهره‌برداری، ضریب یکنواختی	مواد و روش‌ها: در این پژوهش به ارزیابی فنی هفت سامانه نوین آبیاری (تلفیقی، بارانی کلاسیک ثابت با آبیاش متحرک و قطره‌ای) اجرا شده در شهرستان‌های شهرکرد، بن و سامان در استان چهارمحال و بختیاری پرداخته شد. برای ارزیابی سامانه‌های تلفیقی و بارانی کلاسیک ثابت با آبیاش متحرک، ضریب یکنواختی کریستیانسن (CU)، یکنواختی توزیع (DU)، راندمان پتانسیل کاربرد در ربع پایین (PELQ)، راندمان کاربرد آب در ربع پایین (AELQ) در دو مقیاس بلوک مورد آزمایش و کل سامانه محاسبه گردید. برای ارزیابی سامانه‌های آبیاری قطره‌ای نیز شاخص‌های یکنواختی پخش آب در کل سامانه (EU)، راندمان پتانسیل کاربرد آب در ربع پایین سامانه (PELQ) و راندمان واقعی کاربرد آب در ربع پایین سامانه (AELQ) محاسبه شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که مقدار شاخص‌های AELQ, PELQ, DU, CU برای بلوک مورد آزمایش در سامانه‌های آبیاری تلفیقی و کلاسیک ثابت با آبیاری متحرک برابر با ۶۸/۶، ۵۹/۳۸، ۴۶/۸۵ و ۵۸/۵۶ و برای خود سامانه ۶۷/۰۱، ۵۸/۴۸، ۴۵/۲ و ۵۶/۵ محاسبه گردید. هم‌چنین مقادیر شاخص‌های AELQ, PELQ, EU برای سامانه آبیاری قطره‌ای برابر با ۵۵/۶۲، ۵۱/۹۱ و ۵۳/۸۳ به دست آمد. نتایج نشان داد که سامانه‌های فوق از زیرساخت خوبی برخوردار بوده‌اند و بیش‌ترین مشکلات مربوط به فاز مدیریت بهره‌برداری و نگهداری این سامانه‌ها توسط بهره‌برداران می‌باشد.

نتیجه‌گیری: مشکلات اصلی این سامانه‌ها که منجر به کاهش معیارهای ارزیابی عملکرد شده است، شامل کم‌آبیاری، عدم دانش کافی بهره‌برداران و عدم آموزش در خصوص نحوه استفاده صحیح از سامانه (تنظیم فشار، بازدیدهای دوره‌ای از سامانه، بهره‌برداری صحیح و اصولی و غیره)، تغییر دور آبیاری، استفاده از تعداد آبیاری بیش‌تر و تغییرات فشار زیاد و توزیع غیریکنواخت آن در سامانه، عدم رعایت الگوی کشت پیشنهادی مطابق با دفترچه طرح و استفاده از قطره‌چکان نامناسب می‌باشند.

استناد: حسینی وردنجانی، سید محمدرضا، خوش‌روش، مجتبی، پورغلام آمیجی، مسعود، آتشخوار، فاطمه، شمعی، غلامرضا (۱۴۰۱). ارزیابی فنی سامانه‌های نوین آبیاری در استان چهارمحال و بختیاری (مطالعه موردی: شهرستان‌های شهرکرد، سامان و بن). پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲۹ (۲)، ۸۹-۶۹.

DOI: 10.22069/jwsc.2022.20247.3558



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

در زمینه ارزیابی سامانه‌های نوین آبیاری پژوهش‌های مختلفی در داخل و خارج کشور صورت گرفته است. مریام و کلر (۱۹۷۸) ضریب یکنواختی کریستیانسن، یکنواختی توزیع، راندمان پتانسیل کاربرد در ربع پایین، راندمان کاربرد آب در ربع پایین را به‌عنوان عمده‌ترین پارامترها در ارزیابی سامانه‌های نوین آبیاری معرفی نموده‌اند (۶). پیری (۲۰۱۲) به ارزیابی هشت سامانه‌های آبیاری قطره‌ای اجرا شده در شهرستان سرپاز استان سیستان و بلوچستان پرداخت. نتایج نشان داد مشکلات عمده سامانه‌های آبیاری قطره‌ای در این شهرستان شامل کم بودن سطح خیس شده، نامناسب بودن عمق آبیاری، نامناسب بودن فشار و توزیع غیریکنواخت آن و پایین بودن دانش و مهارت کاربران می‌باشند (۷). معروف‌پور و ابراهیم‌پور (۲۰۱۴) به بررسی و ارزیابی فنی سامانه‌های آبیاری قطره‌ای در استان کردستان پرداختند. آن‌ها برای ارزیابی سامانه‌های فوق از شاخص یکنواختی ریزش آب و راندمان کاربرد ربع پایین استفاده نمودند. نتایج نشان داد بیش‌تر مزارع مورد مطالعه عملکرد ضعیفی داشتند (۸). اوجاقلو و همکاران (۲۰۱۷) عملکرد فنی سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک را در استان زنجان مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که باد، اثر قابل توجهی بر کاهش یکنواختی و راندمان کاربرد آب داشته است و به کار بردن عمق آبیاری و تغییرات فشار در سامانه آبیاری بارانی بر کاهش عملکرد فنی سامانه تأثیر می‌گذارد (۹).

احمدالی و همکاران (۲۰۱۷) به ارزیابی یازده سامانه آبیاری موضعی و سه سامانه آبیاری بارانی (کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک، ویلموو و ستریپوت) در استان قم پرداختند. نتایج نشان داد

کشور ایران از لحاظ اقلیمی و شرایط آب و هوایی جزء کشورهای خشک و نیمه‌خشک به حساب می‌آید. بخش کشاورزی مصرف‌کننده اصلی آب در کشور است، بنابراین با بهبود مدیریت مصرف آب در این بخش و افزایش راندمان مصرف آن می‌توان به نحو قابل توجهی در مصرف آب صرفه‌جویی کرد (۱). استفاده از روش مناسب آبیاری برای حفظ ایمنی غذایی و کاهش آب موردنیاز در مقیاس جهانی مطرح است (۲). یکی از مهم‌ترین روش‌ها برای افزایش راندمان و بهره‌وری آب در مزرعه استفاده از سامانه‌های نوین آبیاری است. از مهم‌ترین اهداف اجرای این سامانه‌ها می‌توان به افزایش بهره‌وری و راندمان مصرف آب، حفاظت کمی و کیفی منابع آب‌وخاک و پایداری تولید محصولات کشاورزی اشاره نمود. عوامل مختلفی در عملکرد این سامانه‌ها تأثیرگذار است که می‌توان به عوامل مدیریتی، فنی، اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی اشاره نمود. در این میان، عوامل فنی تأثیر بیش‌تری روی عملکرد این سامانه‌ها دارند (۳). در واقع اجرای سامانه نوین آبیاری در یک منطقه تابع عوامل مختلفی است که میزان تأثیر و نوع محدودیتی که هر یک از این پارامترها در اجرای روش آبیاری ایجاد می‌کند ممکن است منجر به موفقیت و یا عدم موفقیت در اجرای طرح گردد (۴). توسعه و بهبود کیفی این سامانه‌ها مستلزم بررسی و ارزیابی وضعیت موجود این سامانه‌ها و سازگاری با شرایط آب و هوایی مختلف کشور است (۵)، بنابراین ارزیابی این سامانه‌ها بسیار اهمیت دارد. از مهم‌ترین نتایج به‌دست‌آمده از ارزیابی این سامانه‌ها می‌توان به شناسایی مشکلات این سامانه‌ها و ارائه راهکار اصلاحی در جهت رفع و اصلاح آن‌ها، محاسبه نمودن راندمان واقعی این سامانه‌ها و مقایسه با راندمان طراحی اشاره نمود.

اغلب مشکلات این سامانه‌ها مربوط به فاز بهره‌برداری و برخی مربوط به فاز اجرا و طراحی است (۱۰). پژوهشی در مزارع دانشکده هالاور در کشور هندوستان برای ارزیابی عملکرد سامانه‌های آبیاری قطره‌ای طی دو سال انجام گردید. نتایج نشان داد که مقادیر محاسبه‌شده راندمان توزیع در سال اول ۹۳/۶ و در سال دوم ۹۳/۵ به دست آمد. همچنین میانگین ضریب تغییرات توزیع آب مطابق با استاندارد انجمن مهندسان کشاورزی آمریکا کم‌تر از ۰/۱ بود. با توجه به بالا بودن راندمان کاربرد سامانه‌های مورد مطالعه، بهره‌برداری آن‌ها در وضعیت خوب گزارش گردید (۱۱). پژوهشی در دره رایا در کشور اتیوپی برای ارزیابی کارایی سامانه آبیاری بارانی و قطره‌ای انجام گردید. نتایج نشان داد کارایی سامانه آبیاری بارانی از سامانه آبیاری قطره‌ای بهتر است ولی به دلیل پایین بودن راندمان این سامانه‌ها (قطره‌ای و بارانی) در منطقه مورد مطالعه کارایی لازم را ندارند (۱۲).

در پژوهشی دیگری که در این کشور توسط آبشیر و سینگ (۲۰۱۸) برای ارزیابی سامانه‌های نوین آبیاری انجام شد. نتایج نشان داد که سامانه‌های مورد مطالعه برابر با ظرفیت طراحی کار نمی‌کنند و باید برنامه‌ریزی آبیاری بر اساس شرایط واقعی سامانه با توجه به ماه و مرحله رشد انجام گیرد (۱۳). کیانی و همکاران (۲۰۱۸) به بررسی کارایی سامانه‌های آبیاری بارانی در استان گلستان پرداختند. آن‌ها ۲۸ سامانه آبیاری بارانی را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد ۳۸ درصد از سامانه‌های مذکور از نظر یکنواختی پاشش و راندمان واقعی کاربرد در ربع پایین و ۴۸ درصد از نظر ضریب یکنواختی کم‌تر از مقدار مطلوب بودند. همچنین مشخص گردید مهم‌ترین مشکلات سامانه‌های آبیاری فوق از نظر

مدیریت و بهره‌برداری، آگاهی ناکافی استفاده‌کنندگان از سامانه و برنامه‌ریزی آبیاری بود (۱۴). نادری و همکاران (۲۰۱۸) به ارزیابی فنی سامانه‌های مختلف آبیاری بارانی در شرایط مزرعه در استان سمنان پرداختند. آن‌ها هفت طرح اجرا شده با سامانه‌های ویلموو، کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک و سنتریپوت را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که از بین سامانه‌های مورد مطالعه سامانه سنتریپوت بهترین عملکرد را داشت (۱۵). بختیاری و همکاران (۲۰۲۰) به ارزیابی عملکرد سامانه‌های نوین آبیاری کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک در استان مرکزی پرداختند. نتایج نشان داد که در اکثر سامانه‌های مورد بررسی در قسمت‌هایی از سطح زیر کشت کشاورزان به کم آبیاری می‌پردازند. همچنین مشخص گردید از مشکلات اصلی این سامانه‌ها می‌توان به عدم دقت کافی در طراحی، اجرا نکردن صحیح سامانه، مدیریت و نگهداری غیراصولی و به کار بردن تجهیزات نامناسب اشاره نمود (۱۶).

زارع ایبانه و همکاران (۲۰۲۰) به ارزیابی عملکرد سامانه‌های نوین آبیاری در شهرستان همدان پرداختند. شاخص‌های مورد ارزیابی برای سامانه‌های نوین آبیاری بارانی شامل ضریب یکنواختی کریستیانسن، یکنواختی توزیع، راندمان پتانسیل کاربرد در ربع پایین، راندمان کاربرد آب در ربع پایین و شاخص‌های مورد ارزیابی برای آبیاری قطره‌ای شامل ضریب یکنواختی، ضریب کاهش راندمان، راندمان پتانسیل کاربرد آب در ربع پایین و راندمان واقعی کاربرد آب در ربع پایین بود. نتایج نشان داد که در تمامی سامانه‌ها راندمان‌های مورد ارزیابی کم‌تر از حد انتظار بود که به عوامل مختلفی مانند طراحی نامناسب، متفاوت بودن طرح اجرا شده با دفترچه، تأثیرپذیری

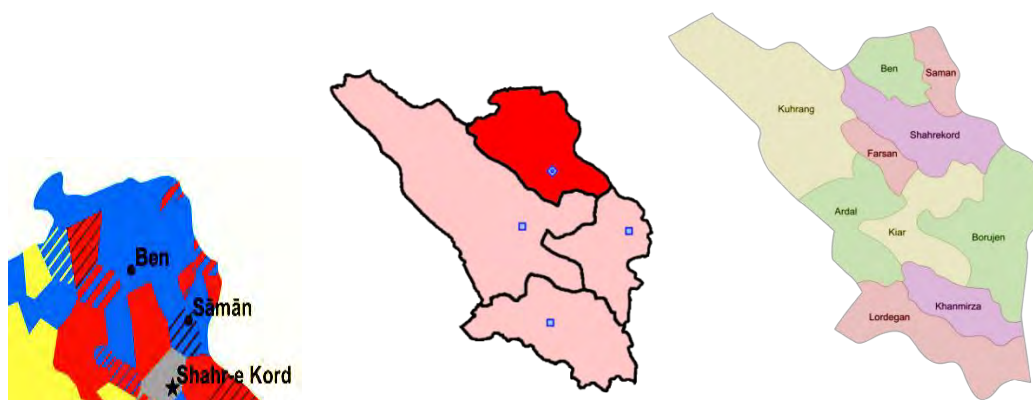
سامانه‌های نوین آبیاری در این استان چندین سال می‌گذرد که باعث فرسودگی و از کار افتادن برخی از لوازم و تجهیزات مورد استفاده در این سامانه‌ها شده است که باعث عدم یکنواختی توزیع آب، هدر رفت آب، کاهش راندمان و بهره‌وری مصرف آب گردیده است. بنابراین ارزیابی و ارائه راهکارهای اصلاحی در جهت بهبود عملکرد این سامانه‌ها ضروری است. هدف از این پژوهش، ارزیابی عملکرد فنی سامانه‌های نوین آبیاری اجرا شده در شهرستان‌های شهرکرد، سامان و بن در استان چهارمحال و بختیاری می‌باشد که تاکنون چنین مطالعه‌ای در آن منطقه به انجام نرسید.

مواد و روش‌ها

استان چهارمحال و بختیاری با مساحت ۱۶۵۳۲ کیلومترمربع در محدوده عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۹ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۴۸ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۲۸ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۲۵ دقیقه شرقی قرار دارد. این استان در بخش مرکزی کوه‌های زاگرس بین پیش کوه‌های داخل و استان اصفهان واقع شده است. از شمال و شرق به استان اصفهان، از غرب به استان خوزستان، از جنوب به کهگیلویه و بویراحمد و از شمال غرب به استان لرستان محدود است. این استان در مجموع منطقه‌ای است کوهستانی در امتداد سلسله جبال زاگرس که از شمال غربی به طرف جنوب شرقی امتداد دارد. منطقه مطالعاتی در این پژوهش شهرستان‌های شهرکرد، سامان و بن که محدود مطالعاتی در شکل ۱ و اقلیم این مناطق در جدول ۱ نشان داده شده است (۱۹).

طرح‌ها از عوامل اقلیمی مانند سرعت باد، عدم اهمیت کشاورزان به تنظیم فشار، استفاده از لوازم نامناسب و عدم بازبینی دوره‌ای به دلیل سطح پایین آگاهی، عدم آموزش و نارسایی‌های اقتصادی اشاره کرد (۲۶). محمدی و همکاران (۲۰۲۰) به ارزیابی فنی سامانه‌های نوین آبیاری کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک در دشت اردبیل پرداختند. آن‌ها از شاخص ضریب یکنواختی کریستیانسن، یکنواختی توزیع، راندمان پتانسیل کاربرد در ربع پایین، راندمان کاربرد آب در ربع پایین استفاده نمودند. نتایج نشان داد که راندمان پتانسیل کاربرد و راندمان کاربرد آب در ربع پایین، پایین‌تر از حد انتظار بودند که متأثر از عوامل مختلفی مانند فاصله نامناسب آبپاش‌ها، فشار کم اجرا نسبت به طراحی، تغییرات فشار زیاد در سامانه و استفاده همزمان از تعداد آبپاش زیاد، مدیریت نادرست در بهره‌برداری، توپوگرافی زمین و طول لوله‌ها می‌باشند (۱۷).

اجرای سامانه‌های نوین آبیاری در استان چهارمحال و بختیاری از سال ۱۳۶۹ آغاز گردیده و تا به امروز سامانه‌های نوین مختلفی از جمله کلاسیک ثابت با آبپاش ثابت، کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک، قطره‌ای، تیپ، تلفیقی، لینیئر (خطی) و کم‌فشار در این استان اجرا گردیده است. آبیاری تلفیقی (بارانی و تیپ) عبارت است از سامانه‌ای که امکان کاربری دوگانه و هم‌زمان سامانه‌های نوین آبیاری برای آبیاری کشت‌های متفاوت در یک قطعه از عرصه کشاورزی را داشته باشد. در واقع در این روش در یک زمین واحد هر دو سامانه آبیاری بارانی و تیپ به صورت هم‌زمان اجرا می‌شوند و تمامی مساحت زمین دارای دو سامانه می‌باشد (۱۸). از اجرای برخی از



شکل ۱- محدوده مورد مطالعه پژوهش حاضر.

Figure 1. The study area of the present study.

جدول ۱- اقلیم منطقه مورد مطالعه.

Table 1. Climate of the study area.

ردیف Row	شهرستان City	اقلیم به روش آمبرژه Climate by the Amberge method	اقلیم منطقه Climate of the region
1	شهرکرد Shahrekord	خشک سرد Cold dry	بخش‌های مرکزی و لاران دارای اقلیم نیمه مرطوب معتدل سرد و سودجان و مرغملک دارای اقلیم مرطوب معتدل سرد می‌باشند The central parts and Laran have a cold temperate semi-humid climate and Sudejan and Margh Malek have a cold temperate humid climate
2	سامان Saman	خشک سرد Cold dry	بخش‌هایی از این شهرستان دارای اقلیم نیمه مرطوب معتدل سرد و حاشیه زاینده‌رود دارای اقلیم نیمه مرطوب کمی سرد می‌باشند Parts of this city have a moderately cold semi-humid climate and the outskirts of Zayandeh River have a slightly cold semi-humid climate
3	بن Bon	خشک سرد Cold dry	اقلیم نیمه مرطوب معتدل سرد Cold, semi-humid climate

و مشخصات فنی سامانه‌ها تلفیقی و بارانی کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک در جدول ۳ و سامانه‌های آبیاری قطره‌ای در جدول ۴ ذکر گردیده است.

در این پژوهش به ارزیابی عملکرد سامانه‌های نوین آبیاری اجرا شده در شهرستان‌های بن، سامان و شهرکرد در استان چهارمحال و بختیاری پرداخته شد. مشخصات عمومی طرح‌های مورد مطالعه در جدول ۲

جدول ۲- مشخصات طرح‌های مورد مطالعه.

Table 2. Specifications of the studied projects.

کد مزرعه Farm Code	شهرستان City	منطقه Region	منبع آب Water supply	سطح (هکتار) Area (h)	نوع سامانه System type
A	سامان Saman	روستای محمدآباد Mohammadabad Village	چاهک حریمی Side Well	350	قطره‌ای Drip
B	بن Bon	روستای یانچشمه Yancheshmeh Village	چاه Well	28	بارانی Sprinkler
C	بن Bon	روستای قولنجان Gholenjan Village	چاهک حریمی Side Well	73	قطره‌ای Drip
D	شهرکرد Shahrekord	شهر سورشجان Soureshjan Village	چاه Well	120	بارانی Sprinkler
F	شهرکرد Shahrekord	شهر هفشجان Hafshejan Village	چاه-قنات Well-Aqueduct	92.5	تلفیقی Integrated
J	شهرکرد Shahrekord	روستای خوی Khoy Village	کانال channel	102	تلفیقی Integrated
H	شهرکرد Shahrekord	شهر کیان Kian City	چاه well	126	تلفیقی Integrated

جدول ۳- مشخصات فنی سامانه‌های آبیاری تلفیقی و بارانی کلاسیک ثابت با آبیاش متحرک.

Table 3. Technical specifications of integrated irrigation systems and fixed classic raincoats with movable sprinklers.

دبی آبیاش (لیتر بر ثانیه) Sprinkler flow	مدل آبیاش Sprinkler model	فاصل آبیاش‌ها (متر) Sprinkler spacing	آرایش Arrangement	الگوی کشت Cultivation pattern	کد سامانه System code
2.2	Ver155	20*20	مثلثی Triangular	سیب‌زمینی Potato	F
2.4	Ambo	24*23	مربعی Square	سیب‌زمینی Potato	J
2	Ver155	22*22	مربعی Square	یونجه Alfalfa	B
2.1	Ambo	22*22	مربعی Square	ذرت علوفه‌ای Fodder Corn	D
1.9	Ver155	24*23	مثلثی Triangular	ذرت علوفه‌ای Fodder Corn	H

جدول ۴- مشخصات فنی سامانه‌های آبیاری قطره‌ای.

Table 4. Technical specifications of drip irrigation systems.

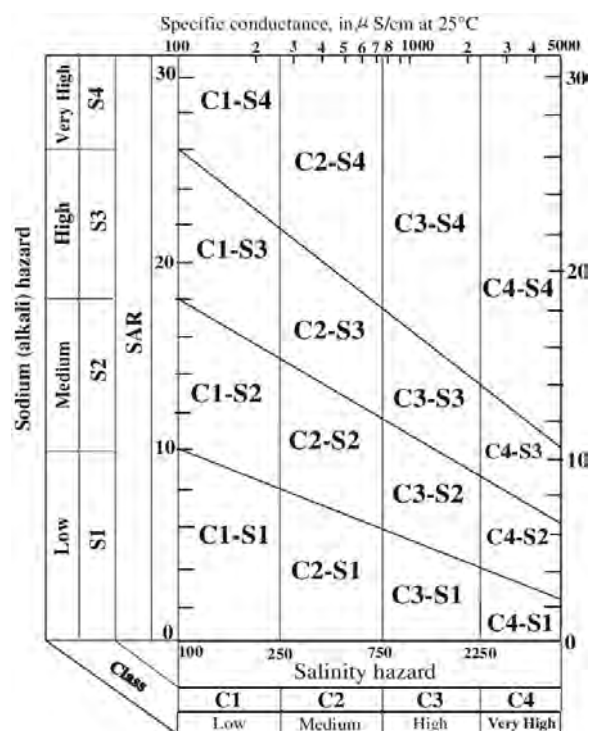
قطره‌چکان در حال استفاده Dripper in use	آرایش Arrangement	الگوی کشت Cultivation pattern	کد سامانه System code
گوجه‌ای Tomato	خطی (یک ردیفه) Linear (one row)	بادام و گردو Almond and walnut	A
گوجه‌ای Tomato	خطی (یک ردیفه) Linear (one row)	بادام و گردو Almond and walnut	C

لحظه‌ای اندازه‌گیری شد. دبی آبیاری‌های مورد آزمون نیز به روش حجمی با استفاده از دو رشته شلنگ، گالن ۲۰ لیتری و کرونومتر اندازه‌گیری شد. سپس دبی اندازه‌گیری شده با دبی کاتالوگ چک شد تا کیفیت آبیاری سنجیده شود. در هر مزرعه سعی شده است که با توجه به نقشه اجرای سامانه در مزرعه مورد نظر، محل آبیاری‌های مورد آزمون در نقطه‌ای انتخاب شود که فشار سامانه در آن نقطه، متوسط باشد. قوطی‌های جمع‌آوری آب که همگی به ابعاد ۱۵ سانتی‌متر قطر و ارتفاع ۱۵ سانتی‌متری بودند. در شبکه‌بندی ۵*۵ قرار داده شدند. پس از یک ساعت کارکرد، سامانه خاموش شد و آب داخل قوطی‌ها با استفاده از یک استوانه مدرج اندازه‌گیری و یادداشت شد. همان‌طور که بیان شد، آبیاری تلفیقی قابلیت استفاده هم‌زمان از دو سامانه آبیاری تیپ و بارانی را دارد که در زمان انجام آزمایش‌ها و بررسی‌های میدانی مزارع دارای سامانه آبیاری تلفیقی به صورت آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبیاری متحرک آبیاری می‌گردید.

این مطالعه شامل جمع‌آوری اطلاعات اولیه، اندازه‌گیری‌های داخل مزرعه و محاسبات نرم‌افزاری است. برای تعیین خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک مزارع، نمونه‌ها در اعماق ۰-۳۰ سانتی‌متری از خاک به صورت زیگزاگ در مزارع برداشت و مورد آزمایش قرار گرفت. همچنین برای تعیین کیفیت آب طرح‌های مورد مطالعه از هر منبع آبی نمونه تهیه و تحویل آزمایشگاه داده شد. دیاگرام ویلکاکسون روشی بسیار متداول در طبقه‌بندی آب‌ها از نظر کشاورزی است. در این دیاگرام شکل ۲ محور افقی به شوری آب^۱ و محور عمودی به نسبت جذبی سدیم^۲ اختصاص دارد. از تلفیق این دو عامل، آب‌ها به ۱۶ طبقه تقسیم می‌شوند. که از C_1S_1 (عالی) شروع و به C_4S_4 (نامناسب) ختم می‌گردند (۲۰).

همچنین، برای تعیین رطوبت فعلی خاک قبل از شروع آزمایش از مزرعه نمونه‌برداری شد و به کمک آون رطوبت خاک با روش وزنی مشخص گردید. تمام برداشت‌های میدانی در فصل آبیاری و در روزهای آرام یا نسبتاً آرام و بدون باد انجام شد. در هر آزمایش، متغیرهای هیدرولیکی سامانه، مانند فشار و دبی آبیاری‌ها در حین انجام کار اندازه‌گیری شد و به لحاظ دقت بیشتر در ثبت فشار آبیاری، در رایزر بعدی یک فشارسنج نصب و فشار آبیاری به صورت

1- Electrical conductivity
2- Sodium adsorption ratio



شکل ۲- دیاگرام ویلکاکس.

Figure 2. Wilcox diagram.

$$PELQ_t = \frac{Z_{IqMAD}}{D_{MAD}} * 100 \quad (4)$$

که در آن‌ها، CU_t ضریب یکنواختی کریستیانسن در بلوک آزمایش، D_i عمق آب در هریک از قوطی‌ها (میلی‌متر)، \bar{D} متوسط عمق آب جمع شده در قوطی‌ها (میلی‌متر)، n تعداد قوطی‌ها، DU_t یکنواختی توزیع در بلوک آزمایش، $AELQ_t$ راندمان کاربرد آب در ربع پایین در بلوک آزمایش، $PELQ_t$ راندمان پتانسیل کاربرد در ربع پایین در بلوک آزمایش، D_q متوسط عمق آب در یک چهارم کم‌ترین مقدار اندازه‌گیری شده (میلی‌متر)، D_r میزان آب خروجی از آبپاش‌ها (میلی‌متر)، Z_{IqMAD} متوسط کم‌ترین ربع عمق نفوذ معادل با تخلیه رطوبتی MAD (میلی‌متر)، D_{MAD} متوسط عمق آب آبیاری پس از جبران تخلیه رطوبتی MAD (میلی‌متر) مطابق با نظر طراح یا مدیر سامانه نوین آبیاری می‌باشد. برای نسبت دادن شاخص‌های ضریب یکنواختی کریستیانسن،

ارزیابی سامانه‌های نوین آبیاری بارانی: به منظور ارزیابی سامانه‌های آبیاری بارانی از روش ارزیابی مریام و کلر (۱۹۷۸) استفاده شد. برای ارزیابی سامانه‌های نوین آبیاری بارانی شاخص‌های ضریب یکنواختی کریستیانسن^۱ یکنواختی توزیع، راندمان پتانسیل کاربرد در ربع پایین، راندمان کاربرد آب در ربع پایین را به عنوان مهم‌ترین شاخص‌ها مطابق با روابط ذیل (۱ تا ۴) برای بلوک‌های آزمایش محاسبه گردید (۶).

$$CU_t = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |D_i - \bar{D}|}{\bar{D} * n} * 100 \quad (1)$$

$$DU_t = \frac{D_{Iq}}{\bar{D}} * 100 \quad (2)$$

$$AELQ_t = \frac{D_q}{D_r} * 100 \quad (3)$$

1- Distribution Uniformity

پمپاژ و تنظیم نبودن آن‌ها معمولاً نمایانگر دبی قطره‌چکان‌های واحد آبیاری نیستند. برای این منظور ابتدا فاکتور تصحیح دبی (DCF) با استفاده از رابطه (۱۰) محاسبه گردید. از حاصل ضرب متوسط دبی قطره‌چکان در مقدار متناظر DCF برای هر سامانه نسبت به اصلاح دبی قطره‌چکان‌های واحد آبیاری اقدام گردید. برای ارزیابی سامانه‌های نوین آبیاری موضعی ابتدا اقدام به اصلاح دبی قطره‌چکان‌های واحد آبیاری گردید (۶).

$$DCF = \frac{2.5 MLIP_{avg}}{MLIP_{avg} + 1.5 MLIP_1} \quad (10)$$

که در آن، $MLIP_{avg}$ میانگین حداقل فشار ورودی لوله‌های فرعی در تمامی قطعات در حال کار و $MLIP$ حداقل فشار (اتمسفر) ورودی لوله‌های فرعی منشعب از مانیفولد قطعه مورد آزمایش می‌باشد.

متوسط یکنواختی جریان خروجی EU و $PELQ_m$ راندمان پتانسیل کاربرد در ربع پایین سامانه نوین آبیاری در لوله رابط (مانیفولد) از روابط (۱۱) و (۱۲) به دست می‌آید.

$$EU_m(\%) = \frac{\overline{q_{25\%}}}{q_a} * 100 \quad (11)$$

$$PELQ_m = 0.9 * EU_m \quad (12)$$

که در آن‌ها، متوسط EU_m یکنواختی جریان خروجی، $PELQ_m$ راندمان پتانسیل کاربرد در ربع پایین سامانه نوین آبیاری در لوله رابط (مانیفولد)، $\overline{q_{25\%}}$ توسط جریان خروجی از یک چهارم قطره‌چکان‌ها با کم‌ترین میزان دبی (L/hr) و q_a متوسط جریان خروجی از تمامی قطره‌چکان‌ها (L/hr).

برای نسبت دادن متوسط یکنواختی جریان خروجی EU و $PELQ_m$ راندمان پتانسیل کاربرد در

یکنواختی توزیع، راندمان پتانسیل کاربرد در ربع پایین، راندمان کاربرد آب در ربع پایین به کل سامانه از روابط ۵ تا ۹ استفاده گردید (۶).

$$CU_s = CU_t \left[\frac{1+3\left(\frac{P_{min}}{P_{mean}}\right)^2}{2} \right] \quad (5)$$

$$DU_s = DU_t \left[\frac{1+3\left(\frac{P_{min}}{P_{mean}}\right)^2}{2} \right] \quad (6)$$

$$AELQ_s = (1 - ER) * AELQ_t \quad (7)$$

$$PELQ_s = (1 - ER) * PELQ_t \quad (8)$$

$$ER = \frac{0.2 * (P_{max} - P_{min})}{P_{mean}} \quad (9)$$

که در آن‌ها، P_{min} ، P_{mean} و P_{max} به ترتیب حداقل، متوسط و حداکثر فشار اندازه‌گیری شده در سامانه که به ترتیب در محل ایستگاه و سر آبیاش و متوسط این دو می‌باشند.

ارزیابی سامانه‌های نوین آبیاری قطره‌ای: به منظور ارزیابی سامانه‌های آبیاری موضعی هم از روش ارزیابی مریام و کلر (۱۹۷۸) استفاده شد، بنابراین برای ارزیابی سامانه آبیاری قطره‌ای یک واحد آبیاری در حال کار با شانزده نقطه کنترل انتخاب شد. روی یکی از مانیفولدها چهار لوله جانبی (لترال) در ابتدا، یک سوم، دو سوم و سه سوم انتهای مانیفولد انتخاب و در هر لوله جانبی نیز چهار محل (چهار قطره‌چکان) در ابتدا، یک سوم، دو سوم و سه سوم انتهای لوله فرعی مشخص شد. دبی خروجی در هر نقطه کنترل با اندازه‌گیری حجم آب خارج شده از هر قطره‌چکان طی حدود پنج دقیقه و به طور متناظر فشار در نقاط فوق با فشارسنج صفر تا ۴۸۸ کیلوپاسکال اندازه‌گیری شد. دبی قطره‌چکان‌ها به دلیل دوری و نزدیکی به ایستگاه

$AELQ_S$ راندمان واقعی کاربرد آب در ربع پایین سامانه می‌باشند (۱۶).

ربع پایین سامانه نوین آبیاری در لوله رابط (مانیفولد) به کل سامانه از روابط (۱۳ تا ۱۵) استفاده می‌گردد. راندمان واقعی کاربرد آب در ربع پایین سامانه $AELQ_S$ از رابطه (۱۶) محاسبه می‌گردد.

نتایج و بحث

در این پژوهش به ارزیابی عملکرد هفت سامانه نوین آبیاری (تلفیقی، کلاسیک ثابت با آبیاش متحرک و قطره‌ای) اجرا شده در شهرستان‌های شهرکرد، بن و سامان در استان چهارمحال و بختیاری پرداخته شد. الگوی کشت قالب در طرح‌های تلفیقی با رویکرد تیپ و بارانی کلاسیک ثابت با آبیاش متحرک سیب‌زمینی، یونجه و ذرت علوفه‌ای می‌باشد. بعد از بررسی نتایج آزمایش‌ها خاک در آزمایشگاه، بافت خاک مزارع طبق جدول ۵ مشخص شد. همچنین به‌منظور تعیین کیفیت آب طبق دیگرام ویلکاکس طبقه‌بندی کیفیت منابع آبی صورت گرفت که نتایج در جدول ۵ ارائه شده است.

$$EU_S = ERF * EU_m \quad (13)$$

$$ERF = \frac{MLIP_{avg} + 1.5MLIP_1}{2.5 MLIP_{avg}} \quad (14)$$

$$PELQ_S = ERF * PELQ_m \quad (15)$$

$$AELQ_S = ERF * EU_S \quad (16)$$

که در آن‌ها، ERF فاکتور کاهش راندمان، $PELQ_S$ راندمان پتانسیل کاربرد در ربع پایین سامانه نوین آبیاری در لوله رابط (مانیفولد) به کل سامانه و

جدول ۵- آنالیز کیفی منابع آب و خاک طرح‌های مورد مطالعه.

Table 5. Qualitative analysis of water and soil resources of the studied projects.

کیفیت آب Water quality	بافت خاک Soil texture	کد مزرعه Farm code
C_2S_1	لوم رسی Clay Loam	A
C_2S_1	لوم شنی Sandy Loam	B
C_2S_1	لوم رسی Clay Loam	C
C_2S_1	لوم رسی Clay Loam	D
C_2S_1	لوم رسی Clay Loam	E
C_2S_1	لوم رسی Clay Loam	F
C_2S_1	لوم رسی Clay Loam	J
C_2S_1	لوم رسی Clay Loam	H

محدوده بافت لوم رسی قرار دارد که محدودیتی برای اجرای سامانه‌های نوین آبیاری ندارد. در قسمت اول پژوهش معیارهای ارزیابی برای سامانه‌های نوین آبیاری تلفیقی و بارانی کلاسیک ثابت با آبیاش متحرک مطابق با جدول ۶ محاسبه گردید.

با توجه به جدول ۵ نتایج حاصل از آزمایش کیفیت آب مزارع مورد ارزیابی را نشان می‌دهد که آب مورد استفاده در تمامی سامانه‌ها در محدوده C_2S_1 قرار دارد که از نظر کاربرد در کشاورزی در محدوده مطلوب قرار دارد. هم‌چنین بر طبق جدول فوق خاک مزارع مورد بررسی در تقریباً همه مزارع در

جدول ۶- معیارهای ارزیابی عملکرد سامانه‌های آبیاری تلفیقی و بارانی کلاسیک ثابت با آبیاش متحرک.

Table 6. Performance evaluation criteria of conjunctive irrigation systems and fixed classic raincoats with movable sprinklers.

سامانه System				بلوک مورد آزمایش Block tested				کد سامانه System code
AELQ _s	PELQ _s	CU _s	DU _s	AELQ _t	PELQ _t	CU _t	DU _t	
64.8	51.9	64.1	54.3	67	53.6	65.4	56	F
56.3	45	70.1	71	56.8	45.5	70.5	65.4	J
55.9	44.7	55.9	40.7	57	45.6	56.7	41.5	B
46.9	37.6	66.2	55.4	48.6	38.9	67.6	57.3	D
58.6	46.9	78.8	71.1	63.4	50.7	82.9	76.8	H
56.51	45.2	67.01	58.49	58.57	46.85	68.63	59.39	متوسط Average

کریستیانسن (CU_s) و یکنواختی توزیع (DU_s) به سامانه H با مقادیر $78/8$ و $71/1$ تعلق دارد که از نظر مقایسه ضریب یکنواختی کریستیانسن (CU_s) محاسبه شده برای این سامانه با مقدار مطلوب ارائه شده توسط مریام و کلر ($87 < CU_s < 81$) (۱۹۷۸) کم‌تر می‌باشد ولی از نظر مقایسه ضریب یکنواختی توزیع (DU_s) محاسبه شده برای این سامانه با مقدار مطلوب ارائه شده توسط مریام و کلر ($80 < DU_s < 67$) (۱۹۷۸) در دامنه مطلوب قرار دارد (۶).

نتایج جدول ۶ نشان می‌دهد ضریب یکنواختی کریستیانسن (CU_s) محاسبه شده در تمامی سامانه‌ها با مقدار مطلوب ارائه شده توسط مریام و کلر (۱۹۷۸) $87 < CU_s < 81$ کم‌تر می‌باشد که علت اصلی این امر نحوه بهره‌برداری و میزان فشار در سامانه می‌باشد زیرا گاهی به علت عدم آگاهی بهره‌برداران اقدام به قرار دادن دو و یا سه آبیاش بر روی لترال نموده که این امر سبب افت شدید فشار در خط لترال شده و در نتیجه باعث می‌شود آبیاش نتواند در فشار کاری مناسب خود کار کند (۶). با توجه به جدول ۶ مشاهده می‌گردد که بیش‌ترین مقدار ضریب یکنواختی

در خصوص مقادیر معیارهای راندمان پتانسیل کاربرد در ربع پایین ($PELQ_s$) و راندمان کاربرد آب در ربع پایین (AEQ_s) با توجه به جدول ۶ در تمامی سامانه‌ها این معیارها از حد مطلوب ارائه شده توسط مریام و کلر (۱۹۷۸) که در دامنه ۶۵ تا ۸۰ درصد قرار دارد پایین‌تر می‌باشند. پایین بودن (AEQ_s) بیانگر مشکلات مدیریتی است و تفاوت بین (AEQ_s) و ($PELQ_s$) مشکلات را بهتر نشان می‌دهد (۶). از دلایل پایین بودن ($PELQ_s$) می‌توان به عدم آگاهی و آموزش کشاورزان در مدیریت و بهره‌برداری صحیح از سامانه، تغییرات فشار زیاد در سامانه‌ها، تغییر آبیاش، تغییر در دور آبیاری، ساعات استقرار آبیاش‌ها و استفاده بیش‌تر از تعداد آبیاش نسبت به دفترچه طراحی و عدم رعایت الگوی کشت پیشنهادی در دفترچه طرح اشاره نمود. همچنین مقادیر محاسبه شده راندمان پتانسیل کاربرد در ربع پایین ($PELQ_s$) و راندمان کاربرد آب در ربع پایین (AEQ_s) در بلوک مورد بررسی و سامانه به هم نزدیک بود که برابر بودن دو معیار فوق از نشانه‌های مدیریت خوب در سامانه می‌باشد. حداقل آب داده شده به زمین و ذخیره شده در منطقه ریشه، کم‌تر از کمبود رطوبتی خاک است. در واقع می‌توان با انتخاب زمان و دور آبیاری مناسب و آبیاری کافی می‌توان راندمان کاربرد سامانه را در حد پتانسیل بالا برد. مقایسه نتایج این پژوهش با پژوهش‌های انجام شده در خصوص سامانه‌های تلفیقی و کلاسیک ثابت با آبیاش متحرک در جدول ۷ بیان گردیده است.

در مورد سامانه‌های F,B,D مقادیر ضریب یکنواختی کریستیانسن (CU_s) و یکنواختی توزیع (DU_s) کم‌تر از مقادیر پیشنهادی می‌باشند که در این مزارع طبق دفترچه طراحی و میزان آب موجود باید الگوی کشت ۴۰ درصد کشت پاییزه و ۶۰ درصد کشت بهار انجام می‌گرفت و از آنجایی که اراضی فوق توسط اجاره‌دار بهره‌برداری می‌شود و به علت سودآور بودن کشت بهار، الگوی کشت مورد نظر رعایت نشده بود و تقریباً ۸۰ درصد اراضی به کشت بهار اختصاص یافته بود، در نتیجه با توجه به این‌که در دور آبیاری کل مزرعه آبیاری می‌شد؛ بهره‌برداران اقدام به بهره‌برداری بیش از ظرفیت مجاز سامانه می‌کردند که این امر باعث می‌شد آبیاش‌هایی که در حال کار بودند با افت شدید فشار مواجه باشند و نتواند میزان شدت پاشش مناسب را داشته باشند. کم‌ترین مقدار ضریب یکنواختی کریستیانسن (CU_s) و یکنواختی توزیع (DU_s) به سامانه B با مقادیر ۵۵/۹ و ۴۰/۷ می‌باشد. یکی از دلایل عمده پایین بودن این معیارها را می‌توان به نحوه بهره‌برداری خرده مالکی اشاره کرد، زیرا بهره‌برداری از سامانه متناسب با سطح زمین می‌باشد. بدین شکل که هر کشاورز متناسب با سطح زمین می‌تواند از سامانه استفاده کند و این امر باعث می‌شود که یک مزرعه با سطح کم، زمان کم‌تری برای بهره‌برداری از سامانه را داشته باشد و این خود سبب کم‌آبیاری می‌شود. کمبود بارش و خشک‌سالی‌های متناوب اخیر بخش کشاورزی را با چالش جدی مواجه ساخته است و منجر به انجام کم آبیاری جهت مدیریت مصرف آب توسط کشاورزان گردیده است.

جدول ۷- مقایسه نتایج این پژوهش با پژوهش‌های انجام‌شده در خصوص سامانه‌های آبیاری تلفیقی و کلاسیک ثابت با آبیاش متحرک.

Table 7. Comparison of the results of this research with done research on conjunctive irrigation systems and fixed classic raincoats with movable sprinklers.

AELQ _s	PELQ _s	CU _s	DU _s	مطالعات انجام‌شده Previous studies
52	52	48.66	67	بختیاری و همکاران (۲۰۲۰) (۱۶)
28.3-52.5	31.1-55.7	53.1-65.4	65.6-80.1	زارع ابیانه و همکاران (۲۰۲۰) (۵)
65.71	66.7	73.43	82.32	محمدی و همکاران (۲۰۲۰) (۱۷)
62.6	62.6	60.8	74.6	درگاهی و همکاران (۲۰۱۸) (۲۱)
54.8	54.8	75	65	نادری و همکاران (۲۰۱۸) (۱۵)
55.25	65.29	64.19	76.82	احمدالی و همکاران (۲۰۱۷) (۱۰)
45.8	45.8	52.2	66.4	سی‌وسه مرده و بایزیدی (۲۰۱۱) (۲۲)

موردبررسی شامل ضریب یکنواختی کریستیانسن (CU)، یکنواختی توزیع (DU)، راندمان پتانسیل کاربرد در ربع پایین (PELQ) و راندمان کاربرد آب در ربع پایین (AELQ) در دامنه مطلوب قرار ندارند (۲۲). در قسمت دوم، معیارهای ارزیابی برای سامانه‌های نوین قطره‌ای مطابق با جدول ۸ محاسبه گردید.

با بررسی تعدادی از مطالعات انجام‌شده در این خصوص مشاهده می‌گردد در برخی از این مطالعات، بعضی شاخص‌ها در حد مطلوب و برخی کم‌تر از حد مطلوب بودند. به‌طور مثال سی‌وسه مرده و بایزیدی (۲۰۱۱) به ارزیابی فنی سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت در استان آذربایجان غربی-مهاباد پرداختند. نتایج نشان داد که تمامی شاخص‌های

جدول ۸- معیارهای ارزیابی عملکرد سامانه‌های نوین آبیاری قطره‌ای.

Table 8. Performance evaluation criteria of modern drip irrigation systems.

AELQ _s	PELQ _s	EU _s	کد سامانه System code
49.9	48.1	51.6	A
72.6	70.0	75.1	C
61.27	59.08	63.31	متوسط Average

جریان خروجی EU برای سامانه C در حد مطلوب قرار دارد و برابر با ۷۵/۱ می‌باشد. این مقدار برای سامانه A برابر با ۵۱/۶ می‌باشد که نشان‌دهنده وضعیت ضعیف این سامانه می‌باشد. از دلایل پایین

بر اساس مطالعات مریام و کلر (۱۹۷۸) مقادیر متوسط یکنواختی جریان خروجی $EU < 70$ نشان‌دهنده وضعیت ضعیف سامانه آبیاری قطره‌ای می‌باشد (۶). با توجه به جدول ۸ مشاهده می‌گردد متوسط یکنواختی

دلایل اصلی پایین بودن این معیارها در سامانه A می‌توان به تغییرات فشار زیاد و عدم تنظیمات صحیح فشار در سامانه، عدم دانش کافی کشاورزان در مدیریت بهره‌برداری و نگهداری از سامانه، عدم استفاده صحیح از ایستگاه فیلتراسیون و عدم شستشوی به موقع آن، عدم بازدیدهای به موقع از نقاط مختلف سامانه و تعمیرات در صورت لزوم و استفاده از قطره‌چکان نامناسب اشاره نمود (۶). مقایسه نتایج این پژوهش با پژوهش‌های انجام شده در خصوص سامانه آبیاری قطره‌ای در جدول ۹ بیان گردیده است.

بودن مقدار متوسط یکنواختی جریان خروجی EU می‌توان به تغییرات زیاد فشار در سامانه اشاره نمود. در خصوص مقادیر معیارهای راندمان پتانسیل کاربرد در ربع پایین ($PELQ_s$) و راندمان کاربرد آب در ربع پایین ($AELQ_s$) با توجه به جدول ۸ مشاهده می‌گردد که مقادیر این معیارها برای سامانه C برابر با ۷۰ و ۷۲/۶ محاسبه گردیده است که با توجه به مقادیر پیشنهادی مریام و کلر (۱۹۷۸) در حد مطلوب قرار دارد (۶). همچنین مقادیر این معیارها برای سامانه A برابر با ۴۸/۱ و ۴۹/۹ که با توجه به مقادیر پیشنهادی مریام و کلر (۱۹۷۸) در حد مطلوب قرار ندارد و بیانگر وضعیت ضعیف این سامانه می‌باشد که از

جدول ۹- مقایسه نتایج این پژوهش با پژوهش‌های انجام شده در خصوص سامانه‌های آبیاری قطره‌ای.

Table 9. Performance evaluation criteria of of drip irrigation systems.

AELQ _s	PELQ _s	EU _s	مطالعات انجام شده Previous studies
34-73	39.1-59.1	43.6-65.7	زارع ایبانه و همکاران (۲۰۲۰) (۵)
85.82	77.23	85.69	مبارکی و همکاران (۲۰۲۰) (۲۳)
51.32	57.76	65.26	درگاهی و همکاران (۲۰۱۸) (۲۱)
53.9	45.3	53.9	احمدالی و همکاران (۲۰۱۷) (۱۰)
91.2	82.91	91.68	عشیری و همکاران (۲۰۱۶) (۲۴)
73	65	79	شاکر و همکاران (۲۰۱۴) (۲۵)
72.6	68.66	76.5	پیری (۲۰۱۲) (۷)
92	80	95	یگانه و همکاران (۲۰۱۱) (۲۶)

(EU)، راندمان پتانسیل کاربرد آب در ربع پایین سامانه (PELQ) و راندمان واقعی کاربرد آب در ربع پایین سامانه (AELQ) در دامنه مطلوب قرار دارند و عملکرد سامانه‌های مورد بررسی مورد قبول است (۲۶).

نتایج نشان داد سامانه‌های مورد بررسی از زیرساخت‌های خوبی برخوردار می‌باشند و بیش‌ترین

با بررسی تعدادی از مطالعات انجام شده در این خصوص مشاهده می‌گردد در برخی از این مطالعات، بعضی شاخص‌ها در حد مطلوب و برخی کم‌تر از حد مطلوب بودند. یگانه و همکاران (۲۰۱۱) به ارزیابی فنی آبیاری قطره‌ای در برخی از باغ‌های شهرستان مرند پرداختند. نتایج نشان داد همه شاخص‌های مورد بررسی، شاخص یکنواختی پخش آب در کل سامانه

نتیجه‌گیری کلی

کمبود بارش و خشک‌سالی‌های متناوب اخیر بخش کشاورزی را به‌عنوان مصرف‌کننده اصلی آب در کشور با چالش جدی مواجه ساخته است بنابراین مدیریت و صرفه‌جویی در مصرف آب در این بخش ضروری است. در این پژوهش به ارزیابی فنی هفت سامانه نوین آبیاری (تلفیقی، کلاسیک ثابت با آبیاش متحرک و قطره‌ای) اجراشده در شهرستان‌های شهرکرد، بن و سامان در استان چهارمحال و بختیاری پرداخته شد. نتایج نشان داد که مقدار شاخص‌های AELQ، PELQ، DU، CU برای سامانه‌های آبیاری تلفیقی و کلاسیک ثابت با آبیاش متحرک برابر ۶۷/۰۱، ۵۸/۴۸، ۴۵/۲ و ۵۶/۵ به‌دست آمد. هم‌چنین مقادیر این شاخص‌های AELQ، PELQ، EU برای سامانه آبیاری قطره‌ای برابر با ۶۳/۳۱، ۵۹/۰۸ و ۶۱/۲۷ نتیجه گردید. نتایج نشان داد سامانه‌های موردبررسی از زیرساخت‌های خوبی برخوردار می‌باشند و بیش‌ترین مشکلات آن‌ها مربوط به فاز مدیریت بهره‌برداری و عدم آگاهی بهره‌بردار با نحوه صحیح بهره‌برداری از سامانه است. بنابراین با توجه به بررسی همه‌جانبه پیشنهاد می‌شود در مزارع با تغییر نوع سامانه از سنتی به روش‌های نوین دوره‌های آموزشی برای بهره‌برداران گذاشته شود و مزارع که از نظر بهره‌برداری در حد مطلوب می‌باشند شناسایی و مورد بازدید برای سایرین قرار داده شوند. هم‌چنین در مزارع با سطوح بالا تعاونی بهره‌برداری تشکیل شود تا نظام خرده‌مالکیت از بین رود و این امر باعث می‌گردد تا الگوی کشت نیز تا حد مطلوبی رعایت گردد.

تقدیر و تشکر

نویسندگان از معاونت آب‌و خاک وزارت جهاد کشاورزی، دفتر مجری طرح سامانه‌های نوین آبیاری، سازمان جهاد کشاورزی استان چهارمحال و بختیاری

مشکلات آن‌ها مربوط به فاز مدیریت بهره‌برداری و عدم آگاهی بهره‌برداران با نحوه صحیح بهره‌برداری از سامانه، عدم آگاهی از پایش فشار در مزرعه، وجود خرده مالکیت‌هایی است که هنوز با توجه به آن‌که سامانه آبیاری تغییر کرده و از حالت سنتی به نوین تبدیل شده اما باور بهره‌بردار به نظام بهره‌برداری سنتی و تناسب سطح و زمان آبیاری می‌باشد و گاهی عدم رعایت الگوی کشت پیشنهادی طراح سبب بروز مشکلات توزیع آب در مزرعه و کم آبیاری شده است. این مشکلات ممکن است با کاهش عملکرد محصول خود را نشان دهد.

در سالیان اخیر دفتر مجری طرح توسعه سامانه‌های نوین آبیاری اقدام به تهیه شرح خدمات نظارت بر بهره‌برداری و نگهداری از سامانه‌های نوین آبیاری نموده است و به استان‌ها ابلاغ گردیده است تا هر استان نسبت به انعقاد قرارداد با مشاور ذیصلاح جهت نظارت بر بهره‌برداری و نگهداری از سامانه‌های نوین آبیاری اجراشده اقدام نمایند و مشکلات بهره‌برداری و نگهداری از سامانه‌ها مرتفع گردد. نگهداری و بهره‌برداری صحیح از سامانه نوین آبیاری، ضمن دستیابی به حداکثر طول عمر سامانه، موجب ارتقاء بهره‌برداری آب آبیاری به مقدار پتانسیل خواهد شد (۲۷). پیشنهاد می‌شود در مزارع با تغییر نوع سامانه از سنتی به روش‌های نوین دوره‌های آموزشی برای بهره‌برداران گذاشته شود و مزارع که از نظر بهره‌برداری در حد مطلوب می‌باشند، شناسایی و به‌عنوان مزارع الگو مورد بازدید برای سایرین قرار داده شوند. هم‌چنین در مزارع با سطوح بالا تعاونی بهره‌برداری تشکیل شود تا نظام خرده مالکیت از بین رود و این امر باعث می‌گردد تا الگوی کشت نیز تا حد مطلوبی رعایت گردد هم‌چنین برای سایر مزارع نیز ارزیابی انجام و راهکارهای ارتقاء آن‌ها ارائه گردد.

مشارکت نویسندگان

مشارکت نویسندگان در این متن به شکل ذیل است: نویسنده اول: جمع‌آوری داده‌ها، انجام محاسبات آماری و تهیه پیش‌نویس مقاله، نویسنده دوم: مشاوره در طرح پژوهش و تفسیر نتایج، اصلاح و تکمیل مقاله، مشارکت در آنالیزها و نظارت بر پژوهش، نویسنده سوم: روش‌شناسی انجام کار، تحلیل نتایج، نهایی‌سازی مقاله و اصلاح نهایی مقاله پیش از ارسال، نویسنده چهارم: بررسی پیشینه تحقیق و کمک در تهیه پیش‌نویس مقاله، نویسنده پنجم: مشارکت در جمع‌آوری داده‌های لازم برای انجام پژوهش و نظارت بر پژوهش.

اصول اخلاقی

بدیهی است که نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این اثر علمی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آن‌ها می‌باشد.

حمایت مالی

این پژوهش از حمایت مستقیم مالی برخوردار نبوده است و از کمک ادارات جهاد کشاورزی شهرستان‌های استان چهارمحال و بختیاری بهره گرفته شد.

و همچنین ادارات جهاد کشاورزی شهرستان‌های شهرکرد، سامان و بن به دلیل در اختیار قرار دادن داده‌های پژوهش، کمال تقدیر و تشکر را دارند.

داده‌ها و اطلاعات

داده‌های این پژوهش از مکاتبه با معاونت آب‌و خاک وزارت جهاد کشاورزی، دفتر مجری طرح سامانه‌های نوین آبیاری، سازمان جهاد کشاورزی استان چهارمحال و بختیاری و همچنین اداره جهاد کشاورزی سه شهرستان شهرکرد، سامان و بن مهیا شد. همه داده‌ها با مراجعه به این سازمان و ادارات قابل‌دستیابی است. داده‌ها شامل الگوی کشت، آرایش سیستم، فواصل آبیاری‌ها، مدل آبیاری، دبی آبیاری، نوع منبع آب، مساحت تحت کشت و مقدار آبیاری اعمال‌شده در سامانه‌های مختلف آبیاری قطره‌ای، بارانی و تلفیقی بود. این مقاله بخشی از پروژه دوره دکتری نویسنده اول است که با همکاری سایر نویسندگان انجام شده است.

تعارض منافع

در این مقاله تضاد منافی وجود ندارد و این مسأله مورد تأیید همه نویسندگان است.

منابع

1. Ahmadzadeh Gharah Gwiz, K., Mirlatifi, S., and Mohammadi, K. 2010. Comparison of Artificial Intelligence Systems (ANN & ANFIS) for Reference Evapotranspiration Estimation in the Extreme Arid Regions of Iran. *Water and Soil*, 24: 4. 679-689. (In Persian)
2. Cao, X., Zeng, W., Wu, M., Guo, X., and Wang, W. 2020. Hybrid analytical framework for regional agricultural water resource utilization and efficiency evaluation. *Agricultural Water Management*, 231: 106027.
3. Mahdavi, P., and Monem, M. 2010. Development of a model for evaluating the performance of Simplified Irrigation Systems transmission and distribution systems using the classical method. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 4: 1. 62-72. (In Persian)
4. Ebrahimi, H. 2006. Analysis and Evaluation of Simplified Irrigation Systems in Khorasan. *Agricultural Sciences*, 12: 3. 577-589. (In Persian)
5. Zare Abyaneh, H., Danaii, A., Akhavan, S., and Jovzi, M. 2020. Performance evaluation of new irrigation systems in Hamedan. *Water and Irrigation Management*, 10: 3. 381-395. (In Persian)

6. Merriam, J.L., and Keller, J. 1978. Farm irrigation system evaluation: A guide for management, Utah State University Press, pp. 155-175.
7. Piri, H. 2012. Technical evaluation of drip irrigation systems (Case study: Sarbaz city). *Water Resources Engineering*, 5: 12. 19-36. (In Persian)
8. Marofpour, I., and Ebrahimpour, M. 2014. Investigation and technical evaluation of trickle irrigation systems in Kurdistan province. *Iranian Water Researches Journal*, 8: 2. 197-205. (In Persian)
9. Ojaghlo, H., Bigdeli, Z., and Shirdeli, A. 2017. Assessment of wind velocity effect on technical performance of semi-portable sprinkling irrigation systems in Zanjan province. *Irrigation and Water Engineering*, 7: 4. 97-107. (In Persian)
10. Ahmadaali, K., Ramezani Etedali, H., and Hosseini Pazhouh, N. 2017. Assessment of modern irrigation systems in Qom province. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 11: 5. 736-749. (In Persian)
11. Arya, C.K., Purohit, R.C., Dashora, L.K., Singh, P.K., and Kothari, M. 2017. Performance evaluation of drip irrigation systems. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6: 4. 2287-2292.
12. Hailu, T.W. 2017. Hydraulic performance evaluation of integrated operation of pressurized irrigation system: (Case study at Alamata Woreda, Selam Bkalsi farm area). *American Journal of Environmental Engineering*, 7: 2. 47-52.
13. Abshiro, F.K., and Singh, P., 2018. Evaluation of Irrigation Scheduling for Sprinkler Irrigation System under Existing Condition in Beles Sugar Development Project, Ethiopia. *Irrigation and Drainage System Engineering*, 7: 1.
14. Kiani, A., shaker, M., and Tabarsa, R. 2018. Assessment of implemented sprinkler irrigation systems in Golestan province. *Journal of Water and Soil Conservation*, 24: 6. 257-270. (In Persian)
15. Naderi, N., Ghadami Firouzabadi, A., and Froumadi, M. 2018. Technical Evaluation of Different Sprinkler Irrigation Systems in Field Condition. *Journal of Water Research in Agriculture*, 32: 3. 429-439. (In Persian)
16. Bakhtiari, S., Mohseni Movahed, S., Moghaddasi, M., and Davoudmaghami, D. 2020. Performance evaluation of semi-portable sprinkler irrigation systems in Markazi Province. *Iranian Water Researches Journal*, 14: 1. 9-18. (In Persian)
17. Mohammadi, M., Azizi Mobaser, J., and Raof, M. 2020. Technical Evaluation of Movable Sprinkler Solid-Set Irrigation Systems in Ardabil Plain. *Journal of Water Research in Agriculture*, 34: 3. 335-373. (In Persian)
18. Instructions Combined irrigation. 2021. Office of the executor of the new irrigation systems development project, pp. 1-820.
19. <http://www.chbmet.ir> (General Department of Meteorology of Chaharmahal and Bakhtiari province).
20. Wilcox, L. 1955. Classification and use of irrigation waters (No. 969). US Department of Agriculture.
21. Dargahi, Z., Nazari, B., Ramezani Etedali, H., and Mazandranizadeh, H. 2018. Evaluation of modern irrigation systems based on economic water productivity and irrigation efficiency indices in Qazvin province. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 12: 3. 683-695. (In Persian)
22. Siosemarde, M., and Bayazidi, M. 2011. Technical evaluation of fixed classical sprinkler irrigation systems in a case study of West Azerbaijan-Mahabad province. *Water Resources Engineering*, 4: 8. 63-76. (In Persian)
23. Mobaraki, M., Afrasiab, P., and Piri, H. 2020. Technical Evaluation of Drip Irrigation Systems Implemented in Bushehr Dashtestan City. *Iranian Water Researches Journal*, 14: 4. 163-177. (In Persian)
24. Ashiri, M., Hooshmand, A., and Broomandnasab, S. 2016. Technical Evaluation of Drip Irrigation Systems (Case Study: Shahid Rajaayi Agro-Industry - Dezful). *Irrigation Sciences and Engineering*, 39: 2. 79-88. (In Persian)

25. Shaker, M., Hesam, M., Kiani, A., and Zakerinia, M. 2014. Technical evaluation of implemented drip irrigation systems in the gardens of Golestan Province. *Journal of Water and Soil Conservation*, 21: 4. 261-274. (In Persian)
26. Yeganeh, Z., Behmanesh, J., and Rezaei, H. 2011. Technical evaluation of drip irrigation in some gardens of Marand city. *Water Research in Agriculture*, 26: 4. 449-460. (In Persian)
27. Zare, A., Zare Qanat Noei, H., and Rasannejad, H. 2019. Preparation of a description of services for monitoring the maintenance and operation of modern irrigation systems and its role in the sustainability of these systems (Case study of Faryab plain of Jiroft). The first congress between International and Fourth National Congress of Irrigation and Drainage of Iran, Urmia, pp. 1-8. (In Persian)

Performance evaluation of Atom Search Optimization algorithm in optimal operation of multi-reservoir systems and single reservoirs under sedimentation (Case study: Dez Dam)

Mohsen Moslemzadeh¹, Hojat Karami^{*2}, Saeed Farzin³,
Iman Ahmadianfar⁴

1. Dept. of Water Engineering and Hydraulic Structures, Faculty of Civil Engineering, Semnan University, Semnan, Iran. E-mail: moslemzadeh.m@semnan.ac.ir
2. Corresponding Author, Dept. of Water Engineering and Hydraulic Structures, Faculty of Civil Engineering, Semnan University, Semnan, Iran. E-mail: hkarami@semnan.ac.ir
3. Dept. of Water Engineering and Hydraulic Structures, Faculty of Civil Engineering, Semnan University, Semnan, Iran. E-mail: saeed.farzin@semnan.ac.ir
4. Dept. of Civil Engineering, Behbahan Khatam Alanbia University of Technology, Behbahan, Iran. E-mail: i.ahmadianfar@bkatu.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 05.30.2021
Revised: 07.31.2022
Accepted: 08.13.2022

Keywords:
Atom Search Optimizer (ASO), Multi-Reservoir Systems, Reservoir Sedimentation, Sensitivity analysis, TOPSIS

ABSTRACT

Background and Objectives: Due to the scarcity of water resources and increasing human demand, the optimal operation of reservoirs has become one of the most important issues in the world. In this regard, the correct and optimal operation of dams is one of the most efficient tools for water resources management. Due to the large number of decision variables, relationships, and constraints in the problems, reservoir management, and optimization have many complexities. Therefore, many researchers in their research have paid special attention to this issue. In this research, a new algorithm namely Atom Search Optimization (ASO), which is derived from the concepts of molecular dynamics, will be developed for multi-reservoir water resource systems. On the other hand, failure to implement appropriate policies to protect the soil has led to an important phenomenon of erosion in the lands above the reservoirs, one of the negative consequences of which will be sedimentation. The transfer and accumulation of suspended sediments, in turn, will reduce the useful volume of the reservoir, which is neglected in most reservoir optimization issues. However, in this study, the optimal operation of a single reservoir dam is investigated by the Atom Search Optimization algorithm in terms of monthly sediment yield.

Materials and Methods: First, the performance of the atom search algorithm on mathematical benchmark functions will be investigated. Then, by performing sensitivity analysis to logically determine the effective coefficients of the algorithm and selecting the appropriate number of particles and the number of iterations of each operation, the performance of the algorithm on conventional systems of four and ten reservoirs is analyzed. In order to supply water downstream of Dez Dam, considering the important issue of monthly sediment flow in the reservoir, the atom search algorithm and four other common algorithms are used. The results are modified by selecting the objective function value criteria, RMSE, MAE, NSE, and PBIAS values and prioritized using TOPSIS and Modified-TOPSIS ranking techniques.

Results: The performance of the atom search algorithm on conventional systems of four and ten reservoirs is analyzed, which shows the results of 95.33% with an absolute optimal solution of four reservoirs, ie 308.29, and 89.67% with an absolute answer of ten reservoirs, 1194.44. Also, by comparing the atom search algorithm and four common Salp Swarm Algorithm (SSA), Sine Cosine Algorithm (SCA), Particle Swarm Optimization (PSO), and Genetic Algorithm (GA) in a single reservoir system under deposition, the absolute superiority of the ASO search algorithm was demonstrated.

Conclusion: The use of an atom search algorithm in solving optimization problems in the field of water resources management is recommended, especially in terms of the effectiveness of soil protection and sedimentation of reservoirs.

Cite this article: Moslemzadeh, Mohsen, Karami, Hojat, Farzin, Saeed, Ahmadianfar, Iman. 2022. Performance evaluation of Atom Search Optimization algorithm in optimal operation of multi-reservoir systems and single reservoirs under sedimentation (Case study: Dez Dam). *Journal of Water and Soil Conservation*, 29 (2), 91-111.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/jwsc.2022.20272.3561

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

ارزیابی عملکرد الگوریتم بهینه‌سازی جستجوی اتم در بهره‌برداری بهینه از سامانه‌های چندمخزنه و تک‌مخزنه تحت رسوب‌گذاری (مطالعه موردی: سد دز)

محسن مسلم‌زاده^۱، حجت کرمی^{۲*}، سعید فرزین^۳، ایمان احمدیان‌فر^۴

۱. دانشجوی دکتری گروه مهندسی و مدیریت منابع آب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران. رایانامه: moslemzadeh.m@semnan.ac.ir
۲. نویسنده مسئول، دانشیار گروه مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران. رایانامه: hkarami@semnan.ac.ir
۳. دانشیار گروه مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران. رایانامه: saeed.farzin@semnan.ac.ir
۴. دانشیار گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه صنعتی خاتم‌الانبیاء، بهبهان، خوزستان، ایران. رایانامه: i.ahmadianfar@bkatu.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی- پژوهشی	سابقه و هدف: با توجه به کمبود منابع آب و تقاضای روزافزون بشر، بهره‌برداری بهینه مخازن به یکی از مهم‌ترین موضوعات کلیدی جهان امروز تبدیل شده است. در این راستا بهره‌برداری صحیح و بهینه از سدها یکی از کارآمدترین ابزار مدیریت منابع آب به‌شمار می‌رود. نظر به تعداد بالای متغیرهای تصمیم، روابط و قیود موجود در مسائل، مدیریت مخازن و بهینه‌سازی آن‌ها از پیچیدگی‌های زیادی برخوردار است. از این‌رو بسیاری از محققین در تحقیقات خود به این موضوع توجه ویژه‌ای داشته‌اند. در این پژوهش الگوریتم نوین و بهینه‌ساز جستجوی اتم (ASO) که برگرفته از مفاهیم دینامیک مولکولی است بر روی سامانه‌های منابع آب چندمخزنه توسعه داده خواهد شد. از طرفی عدم پیاده‌سازی سیاست‌های مناسب در راستای حفاظت از خاک، پدیده مهم فرسایش را به‌ویژه در اراضی بالادست مخازن در پی داشته که یکی از نتایج منفی حاصل از آن رسوب‌گذاری خواهد بود. انتقال و انباشت رسوبات معلق، به‌نوبه خود منجر به کاهش حجم مفید مخزن خواهد شد که این مهم در بیش‌تر مسائل بهینه‌سازی مخازن مورد غفلت قرار می‌گیرد. ولی در این پژوهش بهره‌برداری بهینه سد تک‌مخزنه توسط الگوریتم ASO با لحاظ آورد رسوب ماهانه مورد بررسی قرار می‌گیرد.
تاریخ دریافت: ۰۰/۰۳/۰۹ تاریخ ویرایش: ۰۱/۰۵/۰۹ تاریخ پذیرش: ۰۱/۰۵/۲۲	
واژه‌های کلیدی: آنالیز حساسیت، بهینه‌ساز جستجوی اتم (ASO)، تأسیس، رسوب‌گذاری مخزن، سامانه چند مخزنه	مواد و روش‌ها: در ابتدا عملکرد الگوریتم جستجوی اتم بر روی توابع محک ریاضی بررسی خواهد شد. سپس با انجام تحلیل حساسیت جهت تعیین منطقی ضرایب تأثیرگذار الگوریتم و انتخاب تعداد ذرات و تعداد تکرارهای مناسب هر عملیات، عملکرد الگوریتم بر روی

سامانه‌های متعارف چهار و ده مخزنه تحلیل می‌شود. در ادامه جهت تأمین آب پایین دست سد دز با رعایت موضوع مهم آورد ماهانه رسوب در مخزن، از الگوریتم جستجوی اتم و چهار الگوریتم رایج دیگر استفاده شده که نتایج آن‌ها با انتخاب معیارهای مقدار تابع هدف، مقادیر RMSE، MAE، NSE و PBIAS به وسیله تکنیک‌های رتبه‌بندی تاپسیس (TOPSIS) و تاپسیس اصلاح شده (M-TOPSIS) اولویت‌بندی می‌گردد.

یافته‌ها: عملکرد الگوریتم جستجوی اتم بر روی سامانه‌های متعارف چهار و ده مخزنه تحلیل شده که نتایج نزدیکی ۹۵/۳۳ درصدی با جواب بهینه مطلق سیستم چهار مخزنه یعنی مقدار ۳۰۸/۲۹ و نزدیکی ۸۹/۶۷ درصدی با جواب مطلق سامانه ده مخزنه به مقدار ۱۱۹۴/۴۴ را نشان می‌دهد. هم‌چنین مقایسه الگوریتم جستجوی اتم و چهار الگوریتم رایج ازدحام سالپ (SSA)، الگوریتم سینوس کسینوسی (SCA)، الگوریتم ازدحام ذرات (PSO) و الگوریتم ژنتیک (GA) در سیستم تک مخزنه تحت رسوب‌گذاری از برتری مطلق الگوریتم جستجوی اتم (ASO) حکایت داشت.

نتیجه‌گیری: به‌کارگیری الگوریتم جستجوی اتم در حل مسائل بهینه‌سازی مدیریت منابع آب به‌ویژه با لحاظ موضوع اثرگذاری حفاظت خاک و رسوب‌گذاری مخازن توصیه می‌گردد.

استناد: مسلم‌زاده، محسن، کرمی، حجت، فرزین، سعید، احمدیان‌فر، ایمان (۱۴۰۱). ارزیابی عملکرد الگوریتم بهینه‌سازی جستجوی اتم در بهره‌برداری بهینه از سامانه‌های چندمخزنه و تک‌مخزنه تحت رسوب‌گذاری (مطالعه موردی: سد دز). پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲۹ (۲)، ۹۱-۱۱۱.

DOI: 10.22069/jwsc.2022.20272.3561



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

کامبود منابع آبی باکیفیت از یکسو و نیاز روزافزون بشر از سوی دیگر، مدیریت منابع آب را از اهمیتی ویژه و استراتژیک برخوردار کرده است. در این راستا بهره‌برداری صحیح و بهینه از سدها و مخازن یکی از کلیدی‌ترین ابزار مدیریت منابع آب به‌شمار می‌رود. نظر به تعداد بالای متغیرهای تصمیم و روابط و قیود موجود در مسائل مرتبط به مخازن، مدیریت مخازن و بهینه‌سازی آن‌ها از پیچیدگی‌های زیادی برخوردار است. از این رو بسیاری از پژوهش‌گران در پژوهش‌های خود به بهینه‌سازی و مدیریت سامانه‌های منابع آب توجه ویژه‌ای داشته‌اند.

برخی از پژوهش‌گران با به‌کارگیری الگوریتم‌های بهینه‌ساز در سیستم مخازن نظیر میانگین وزنی بردارها^۱ (۱)، برنامه‌ریزی ژنتیک منطقی^۲ (۲)، سیستم ذرات باردار^۳ (۳)، الگوریتم مبتنی بر شیب^۴ (۴)، سیستم ذرات ارتعاشی^۵ (۵)، مدل ماشین یادگیری کوسه^۶ (۶) و الگوریتم بهینه‌ساز علف‌های هرز^۷ (۷) به تحلیل سامانه‌های منابع آب پرداخته‌اند.

برخی نیز با بهبود عملکرد درونی الگوریتم‌های بهینه‌ساز و یا ضمن ادغام نمودن الگوریتم‌ها و ایجاد الگوریتم‌های هیبریدی مانند ترکیب برنامه‌ریزی پویا^۸ و استراتژی آرامش^۹ (۸)، برنامه‌ریزی خطی و غیرخطی^{۱۰} (۹)، کرم شب‌تاب و K نزدیک‌ترین همسایگی^{۱۱} (۱۰)، آنالیز مؤلفه اصلی^{۱۲} و الگوریتم ژنتیک (۱۱)،

الگوریتم‌های خفاش^{۱۳} و بهینه‌سازی ازدحام ذرات^{۱۴} (۱۲) به رویکرد بهینه‌سازی مخازن پرداختند.

همان‌گونه که ملاحظه گردید پژوهش‌گران بسیاری در تلاشند تا با به‌کارگیری الگوریتم‌های مختلف و هم‌چنین ترکیب و هیبرید آن‌ها با یکدیگر در راستای بهبود عملکرد مخازن آب گام بردارند. از طرفی الگوریتم بهینه‌ساز جستجوی اتم^{۱۵} الگوریتمی نوین با بهره‌گیری از مفاهیم دینامیک مولکولی^{۱۶} است که برای اولین بار در سال ۲۰۱۹ در مدل‌سازی آب‌زیرزمینی به‌کار گرفته شده است (۱۳ و ۱۴). در این پژوهش‌ها پژوهش‌گران به تخمین پارامترهای هیدروژئولوژیکی آبخوان‌های آزاد و تراوشی با کمک الگوریتم جستجوی اتم پرداخته و با اطلاعات حاصل از داده‌های مشاهداتی مقایسه نمودند که نتایج نشان از دقت خوب الگوریتم داشت. شایان‌ذکر است علی‌رغم توسعه عملکرد الگوریتم در زمینه‌های مختلف علوم مهندسی مانند مدل‌سازی پیل‌های سوختی (۱۵)، تشخیص اشکال در هوش مصنوعی (۱۶)، طراحی بهینه هیبرو توربین‌ها (۱۷) و مبدل‌های هیبریدی (۱۸) این الگوریتم تاکنون در بهره‌برداری بهینه مخازن بکار گرفته نشده است. بنابراین در این پژوهش ضمن توسعه عملکرد الگوریتم بهینه‌ساز جستجوی اتم در مسائل مربوط به سامانه‌های منابع آب، به بررسی و مقایسه عملکرد آن با دیگر الگوریتم‌های رایج بهینه‌سازی پرداخته می‌شود. هم‌چنین نظر به اهمیت موضوع فرسایش خاک و تأثیر آن در رسوب‌گذاری مخزن و به‌منظور رعایت حجم حداقل به‌منظور تأمین آب در شرایط استراتژیک، بهینه‌سازی سامانه تک‌مخزنه سد دز با لحاظ پدیده مهم رسوب‌گذاری لحاظ خواهد گردید.

- 1- WeIghted meaN oF vectOrs (INFO)
- 2- Logical Genetic Programming (LGP)
- 3- Charged System Search (CSS)
- 4- Gradient Evolution (GE)
- 5- Vibrating Particles System (VPS)
- 6- Shark Machine Learning Algorithm (SMLA)
- 7- WEED Optimization Algorithm (WOA)
- 8- Dynamic Programming
- 9- Relaxation Strategy
- 10- Linear and non-linear programming
- 11- Firefly Algorithm - K Nearest Neighbor (FA-KNN)
- 12- Principal Component Analysis (PCA)

- 13- Bat Algorithm(BA)
- 14- Particle Swarm Optimization(PSO)
- 15- Atom Search Oprimization(ASO)
- 16- Molecular Dynamic

مواد و روش‌ها

نظر به بزرگ‌مقیاس بودن و پیچیدگی‌های مسائل منابع آب، نیاز به استفاده از روش‌های بهینه‌سازی جدید و با کارایی بالا، موردتوجه بسیاری از پژوهش‌گران قرار گرفته است. الگوریتم‌های بهینه‌سازی فراابتکاری به چهار دلیل موردتوجه مهندسان قرار گرفته‌اند: این الگوریتم‌ها بر اساس مفاهیم ساده‌ای بوده و به راحتی پیاده‌سازی می‌شوند، به اطلاعات زیادی نیاز ندارند، می‌توانند نقاط بهینه محلی را دور بزنند و در نهایت می‌توانند مسائل گوناگون با سازوکارهای متفاوت را پوشش دهند (۱۹).

الگوریتم‌های فراابتکاری برگرفته از طبیعت، مسائل بهینه‌سازی را با تقلید از پدیده‌های فیزیکی و زیست‌شناسی حل می‌کنند. یکی از الگوریتم‌های جدیدی که جهت بهینه‌سازی مسائل بکار گرفته شده و مبتنی بر پدیده‌های فیزیکی الگوریتم جستجوی اتم (ASO) است. اتم‌ها پایه ساختاری و اساسی تمام مواد بوده که به‌طور پیوسته در حال حرکت و جابجایی هستند. حرکت آن‌ها به وسیله علم مکانیک بررسی می‌شود (۱۳). این موضوع دستمایه توسعه الگوریتم جستجوی اتم قرار گرفته است. در پژوهش حاضر، ضمن مطالعه الگوریتم نوین بهینه‌سازی جستجوی اتم، ابتدا صحت‌سنجی این الگوریتم بر روی توابع محک ریاضی و سامانه‌های منابع آب چهار و ده مخزنه انجام و در ادامه ضمن توسعه و به‌کارگیری در سیستم تک‌مخزنه منابع آب، نتایج آن با سایر الگوریتم‌های رایج بهینه‌سازی مورد مقایسه قرار خواهد گرفت.

مدل ریاضی الگوریتم بهینه‌سازی جستجوی اتم (ASO) الهام گرفته از دینامیک مولکولی است. در ASO، موقعیت هر اتم در فضای جستجو که متأثر از جرمش بوده یک جواب را نشان می‌دهد. در این فرآیند جرم سنگین‌تر معرف جواب بهتر است و برعکس. همه اتم‌ها با توجه به مسافتی که بین آن‌ها وجود دارد، بر روی یکدیگر تأثیر می‌گذارند. اتم‌های سنگین‌تر شتاب کم‌تری دارند و همین امر باعث می‌شود آن‌ها به شدت به دنبال جواب‌های بهتر در فضاهای نزدیک و محلی باشند. درحالی‌که اتم‌های سبک‌تر شتاب بیش‌تری داشته که باعث شده آن‌ها به‌طور گسترده مناطق امیدوارکننده جدید را در کل فضای قابل‌بررسی پیدا کنند (۱۴). مانند دیگر الگوریتم‌های فراکاشی، ASO بهینه‌سازی را با تولید مجموعه‌ای از ذرات تصادفی در یک فضای N بعدی شروع می‌کند. سپس مقادیر جواب هرکدام از اتم‌ها بر اساس تابع هدف ارزیابی می‌شود. اتم‌ها، مکان و سرعت خود را در هر تکرار به‌روز می‌کنند و موقعیت بهترین اتمی که تاکنون پیدا شده نیز در هر یک از تکرارها به‌روزرسانی می‌شود.

سرعت حرکت ذرات تابعی از شتاب آن‌هاست. شتاب اتم‌ها مطابق قانون دوم نیوتن بر اساس نسبت نیروهای وارد شده به جرم ذره محاسبه می‌شود. جرم اتم i ام در تکرار t ام، $mi(t)$ با روابط زیر محاسبه می‌شود:

$$M_i(t) = e^{\frac{Fit_i(t) - Fit_{Best}(t)}{Fit_{Best}(t) - Fit_{Worst}}}$$
 (۱)

$$m_i(t) = \frac{M_i(t)}{\sum_{j=1}^N M_j(t)}$$
 (۲)

مسائل کمیته‌سازی Fit_{Best} و Fit_{Worst} براساس روابط زیر در نظر گرفته می‌شوند:

$$Fit_{Best}(t) = \min(Fit_i(t)), i \in \{1, 2, \dots, N\} \quad (3)$$

$$Fit_{Worst}(t) = \max(Fit_i(t)), i \in \{1, 2, \dots, N\} \quad (4)$$

تعیین می‌گردد:

$$K(t) = N - (N - 2) \times \sqrt{\frac{t}{T}} \quad (5)$$

محدودکننده داخلی^۲ می‌باشد. نیروی اندرکنش با استفاده از مفهوم پتانسیل لnard جونز^۳ و نیروی محدودکننده داخلی که ناشی از پتانسیل طول پیوند بوده و بر اساس فاصله بین هر اتم تا بهترین اتم فرق می‌کند به ترتیب با استفاده از رابطه‌های ۶ و ۷ محاسبه می‌شود:

$$F_i^d(t) = \sum_{j \in K_{Best}} rand_j F_{ij}(t)^d \quad (6)$$

$$F_{ij}(t) = -\alpha \left(1 - \frac{t-1}{T}\right)^3 e^{-\frac{20t}{T}} [2(h_{ij}(t))^{13} - (h_{ij}(t))^7]$$

$$G_i^d(t) = -\lambda(t) (x_{best}^d(t) - x_i^d(t)), \lambda(t) = \beta e^{(-\frac{20t}{T})} \quad (7)$$

در ادامه شتاب ذره i ام در بعد d و در دوره t ام از رابطه ۸ محاسبه می‌شود:

که در آن، $Fit_{Best}(t)$ و $Fit_{Worst}(t)$ اتم‌هایی به ترتیب با بهترین و بدترین مقادیر در تکرار t ام و $Fit_i(t)$ مقدار تابع هدف اتم i ام در t امین تکرار است. در

در هر دوره تعداد همسایگان هر اتم که با او در اندرکنش هستند با استفاده از رابطه ۵

که در آن، T تعداد کل تکرارهای الگوریتم یا به عبارتی طول عمر سیستم است. همان‌گونه که از این رابطه مشخص است K به عنوان تابعی از زمان، به تدریج باگذشت تکرارها کاهش می‌یابد. نیروهایی که بر هر ذره وارد شده شامل دو نوع نیروی اندرکنش^۱ و نیروی

که در آن، F و G به ترتیب نیروهای اندرکنش و نیروی محدودکننده داخلی، $rand_j$ یک عدد تصادفی بین صفر و یک و K_{Best} یک زیرمجموعه از جمعیت اتم‌ها شامل K اتم با بهترین مقادیر تابع هدف است. $x_{best}^d(t)$ موقعیت بهترین اتم در تکرار t ام و در فضای d بعدی و $\lambda(t)$ ضریب لاگرانژی است. α ضریب عمق و β ضریب وزنی است.

$$a_i^d(t) = \frac{F_i^d(t)}{m_i^d(t)} + \frac{G_i^d(t)}{m_i^d(t)} = -\alpha(1 \cdot e^{(-20\frac{t}{T})}) \times \sum_{j \in K_{best}} \frac{r_i [2 \times ((h_{ij}(t))^{13} - h_{ij}(t))^7] (X_j^d(t) - X_i^d(t))}{m_i(t) \|X_i(t), X_j(t)\|_2} + \frac{\beta e^{(-20\frac{t}{T})} (X_{best}^d(t) - X_i^d(t))}{m_i(t)} \quad (8)$$

گام نهایی در هر تکرار، بروز رسانی سرعت و مکان ذرات است که از روابط زیر به دست می‌آید:

$$v_i^d(t+1) = \text{rand}_i^d v_i^d(t) + a_i^d(t) \quad (9)$$

$$x_i^d(t+1) = x_i^d(t) + v_i^d(t+1) \quad (10)$$

ارزیابی الگوریتم بهینه‌ساز

توابع محک ریاضی: در پژوهش‌های گذشته ارزیابی الگوریتم جستجوی اتم توسط توابع محک ریاضی انجام شده است (۱۴). در این جا نیز برای نشان دادن عملکرد جستجو در ASO، دو تابع آزمون بنچمارک معروف انتخاب شدند که ابعاد، فضای جستجو و بهینه مطلق آن‌ها در جدول ۱ آمده است.

همه به‌روزرسانی‌ها و محاسبات تا زمانی که ملاک توقف برآورده شود، به صورت مستمر انجام می‌شود. سرانجام موقعیت و مقدار تابع هدف بهترین اتم به‌عنوان تقریب بهینه مسئله در نظر گرفته خواهد شد.

جدول ۱- ابعاد، فضاهای جستجو و مقادیر بهینه مطلق توابع آزمون.

Table 1. Dimensions, search spaces and absolute optimal values of benchmark functions.

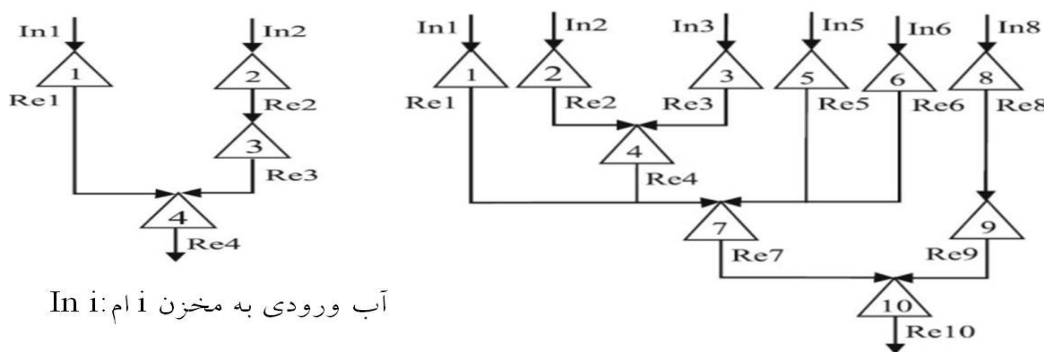
آزمون Benchmark	تابع Function	بعد (D) Dimension (D)	فضای جستجو Search Spaces	بهینه مطلق Absolute Optimal
Ackley	f_1	30	$[-10,10]^D$	0
Sphere	f_2	30	$[-100,100]^D$	0

$$f_1(x) = 20 + e - 20 \exp[-0.2 \sum_{i=1}^D \sqrt{\frac{1}{D} (\sum_{i=1}^D x_i^2)}] - \exp[\frac{1}{D} \sum_{i=1}^D \cos(2\pi x_i)]; \quad (11)$$

$$f_2(x) = \sum_{i=1}^D x_i^2; \quad (12)$$

پژوهش‌گران در پژوهش‌های خود آن‌ها را مورد بررسی قرار می‌دهند. این سامانه‌های فرضی از مخازن سری و موازی تشکیل شده که ترتیب و آرایش قرارگرفتن مخازن در شکل ۱ نشان داده شده است.

سامانه‌های چهار و ده مخزنه: یکی از مسائل معروف پیچیده منابع آب مسأله سیستم چهارمخزنه مطرح شده توسط چو و کورتس^۱ (۲۰) و مسأله سیستم ده مخزنه موری و یاکوویتز^۲ (۲۱) است که بسیاری از



In i: آب ورودی به مخزن i ام

Re i: آب خروجی از مخزن i ام

شکل ۱- چیدمان سامانه‌های چهار و ده مخزنه.

Figure 1. Arrangement of four- and ten-reservoir systems.

درواقع تابع هدف این مسائل، بهره‌برداری سیستم جهت حداکثرسازی سود حاصله در دوازده دوره ۲ ساعته (T=۱۲) بوده که به صورت رابطه ۱۳ تعریف می‌گردد:

در این سامانه‌ها محدودیت‌هایی شامل حجم بیشینه و کمینه و محدودیت‌های مجاز رهاسازی مخازن تعریف شده است. از رهاسازی‌های هرکدام از مخازن برای تولید انرژی استفاده شده که سود حاصل از تأمین آن، تابعی خطی از دبی رهاسازی می‌باشد.

$$\max(\text{OF}) = \sum_{t=1}^n \sum_{i=1}^T b_t^i \times R_t^i \quad (13)$$

و ضریب سود حاصل از این رهاسازی است. معادلات دینامیک سیستم برای مخازن بر اساس رابطه ۱۴ است:

که در آن، OF تابع هدف مربوط به سود حاصل، n تعداد مخازن، T دوره بهره‌برداری، R_t^i و b_t^i به ترتیب میزان رهاسازی آب از مخزن i ام در دوره t

$$S_{t+1}^i = S_t^i + I_t^i + MR_t^i \quad (14)$$

$t = 1, 2, \dots, T, i = 1, \dots, n$

1- Chow and Cortes (1974)

2- Murray and Yakowitz (1979)

به پیکربندی سامانه، ماتریس M به صورت روابط ۱۵ و ۱۶ به ترتیب برای سامانه‌های چهارمخزنه و ده‌مخزنه نوشته خواهد شد.

$$M_{4 \times 4} = \begin{vmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & -1 \end{vmatrix} \quad (15)$$

$$M_{10 \times 10} = \begin{vmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & -1 \end{vmatrix} \quad (16)$$

مخازن که بر اساس روابط زیر است:

$$R_t^i(\min) \leq R_t^i \leq R_t^i(\max) \quad (17)$$

$\forall i = 1, \dots, n$ و $\forall t = 1, \dots, T$

$$S_t^i(\min) \leq S_t^i \leq S_t^i(\max) \quad (18)$$

$\forall i = 1, \dots, n$ و $\forall t = 1, \dots, T$

آخرین قید این مسأله مربوط به تساوی حجم اولیه و حجم دوره آخر مخازن بوده که مطابق رابطه زیر ارائه می‌شود:

$$S_{t=1}^i = S_{t=T+1}^i \quad (19)$$

$\forall i = 1, \dots, n$

که در آن، M ماتریس روابط مخازن و n تعداد مخازن در هر سیستم و T تعداد گام‌های زمانی است که در این مسائل برابر ۱۲ در نظر گرفته شده است. با توجه

در این سامانه قیودی نیز وجود دارد. قیدهای مربوط به رهاسازی آب و محدودیت ذخیره برای

که در آن، $R_t^i(\min)$ و $R_t^i(\max)$ به ترتیب حداقل و حداکثر خروجی مجاز از مخزن i ام در دوره t و $S_t^i(\min)$ و $S_t^i(\max)$ به ترتیب حداقل و حداکثر حجم ذخیره مجاز مخزن i ام در دوره t می‌باشد.

مقادیر تابع هدف کسر خواهند گردید:

بر این اساس، مقادیر جریمه‌ای برای شرایط تخطی از قیود لحاظ شده که به شرح زیر نوشته و از

$$\text{penalty} = C \cdot \left(\sum_{i=1}^n d^i + \sum_{t=1}^n \sum_{i=1}^T SL_t^i \right) \quad (20)$$

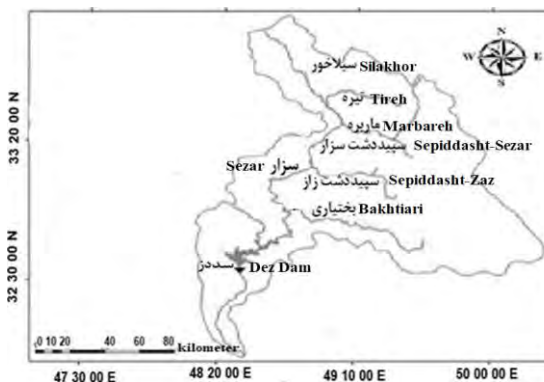
$$d^i = [(S_{T+1}^i - S_1^i)^2 \leftarrow \text{if}(S_1^i) \neq (S_{T+1}^i)] \quad (21)$$

$$SL_t^i = \begin{cases} (S_t^i(\min) - S_t^i)^2, & \text{if}(S_t^i) < S_t^i(\min) \\ (S_t^i - S_t^i(\max))^2, & \text{if}(S_t^i) > S_t^i(\max) \end{cases} \quad (22)$$

سامانه تک‌مخزنه سد دز: به دلیل اهمیت اقتصاد کشاورزی در جنوب کشور و ضرورت تأمین نیاز آبی اراضی پایین‌دست مخان در این پژوهش سد دز به‌عنوان یکی از سدهای مهم و استراتژیک کشور مورد مطالعه قرار می‌گیرد. سد دز بلندترین سد بتنی دو قوسی ایران است که در فاصله ۲۵ کیلومتری شمال غرب شهر دزفول و ۲۳ کیلومتری شمال شرقی اندیمشک در دره‌ای عمیق روی شاخه اصلی رودخانه دز احداث گردیده است. عملیات ساختمانی این سد از دی‌ماه ۱۳۳۸ شروع شد و در سال ۱۳۴۱ به بهره‌برداری رسید.

که در آن، SL_t^i تخطی حجم ذخیره محاسبه شده مخزن i ام از احجام حداقل و حداکثر ذخیره آن، d مغایرت حجم ذخیره مخزن i ام در دوره ابتدا ($S_{t=1}^i$) و انتها بهره‌برداری ($S_{t=T+1}^i$) و C ضریب افزایش و اهمیت جریمه بوده که برای سامانه چهار مخزنه برابر ۴۰ برابر، برای سامانه ده مخزنه برابر ۶۰ در نظر گرفته می‌شود.

با بهینه‌سازی این سامانه‌ها توسط الگوریتم ASO، می‌توان به مقایسه نتایج به دست آمده با سایر الگوریتم‌های تکاملی پرداخته و رهاسازی آب از هر مخزن و نیز ذخیره مخازن را در هر دوره بررسی کرد.



شکل ۲- موقعیت جغرافیایی سد دز و رودخانه‌های اصلی حوضه آبریز دز.

Figure 2. Geographical location of Dez dam and main rivers of Dez catchment.

حداکثر نیاز پایین‌دست است که به صورت رابطه زیر نمایش داده می‌شود (رابطه ۲۳):

$$OF_1 = \text{MIN} \sum_{t=1}^T \left(\frac{R_t - D_t}{D_{\max}} \right)^2, \quad t = 1, 2, \dots, T \quad (23)$$

برای این سامانه، تابع هدف کمینه نمودن مربع نسبت تفاضل رهاسازی مخزن و نیاز پایین‌دست به

معادله پیوستگی به عنوان اصلی ترین معادله سیستم بهره‌برداری مخزن به صورت زیر معرفی می‌گردد:

که در آن، OF_1 تابع هدف، R_t خروجی مخزن ماه t ام، D_t نیاز ماه t ام، D_{\max} حداکثر نیاز ماهانه مخزن و T تعداد کل دوره‌ها می‌باشد.

$$S_{t+1} = S_t + Q_t - R_t - Sp_t - Loss_t \quad t = 1, 2, \dots, T \quad (24)$$

بارش در نظر گرفته شده و Sp_t میزان آزادسازی از سرریز مخزن می‌باشد. برای محاسبه تلفات E_t از رابطه‌های زیر استفاده می‌شود:

که در آن، S_t و S_{t+1} به ترتیب حجم مخزن در زمان t و $t+1$ دبی ورودی به مخزن، $Loss_t$ تلفات از مخزن که معمولاً به صورت تفاضل حجم تبخیر و

$$E_t = e_t \times \bar{A}_t \quad \text{و} \quad 1, \dots, T \quad (25)$$

$$\bar{A}_t = \frac{A_t + A_{t+1}}{2} \quad \text{و} \quad t = 1, 2, \dots, T \quad (26)$$

می‌باشد. بنابراین نمی‌توان از پدیده رسوب‌گذاری اغماض کرده و در این پژوهش پدیده مذکور در رعایت شرط حداقل حجم لحاظ گردیده است.

که در آن، e_t عمق تفاضل تبخیر و بارش در زمان t ام برحسب متر، A_t و A_{t+1} سطح مخزن در زمان t و $t+1$ همگی برحسب کیلومتر مربع و \bar{A}_t میانگین سطح مخزن است که به دلیل وابسته بودن به سطح مخزن، با فرآیند سعی و خطا باید محاسبه گردد.

برای محاسبات حجم رسوب مخزن سد چگالی ۱/۵ تن بر مترمکعب و نسبت رسوب بستر به معلق ۲۰ درصد لحاظ گردیده است (۲۲). هم‌چنین توابع ماهانه منحنی سنج به صورت جدول زیر در نظر گرفته که به دلیل ماهیت تابع و افزایش دقت محاسبات از تجمیع داده‌های روزانه استفاده گردیده است. تابع منحنی سنج رسوب به صورت توانی و در قالب زیر در نظر گرفته شده است:

پدیده فرسایش خاک در اراضی بالادست و رسوب‌گذاری در سد دز از اهمیت بالایی برخوردار است به گونه‌ای که طبق آخرین هیدروگرافی انجام شده در مخزن سد، از بدو بهره‌برداری تا سال ۱۳۹۵، علی‌رغم فلاشینگ‌های متعدد سد در طول زمان، حدود ۸۱۵ میلیون مترمکعب رسوبات انباشته شده در مخزن وجود داشته که معادل ۲۵ درصد حجم کل

$$Q_s = aQ_w^b \quad (27)$$

که در آن، Q_s دبی رسوب برحسب تن بر روز، Q_w دبی جریان برحسب مترمکعب بر ثانیه و a و b ضرایب رابطه منحنی سنج هستند. مطابق پژوهش‌های انجام‌شده ضرایب a و b ماهانه مربوط به ایستگاه تله زنگ که نزدیک‌ترین ایستگاه هیدرومتری مخزن سد هستند که در جدول ۲ آورده شده است (۲۲).

جدول ۲- ضرایب توابع ماهانه منحنی سنج رسوب سد دز.

Table 2. Coefficients of monthly sediment rating curve for Dez dam.

ماه Month	a	b	ماه Month	a	b
فروردین April	۰/۲۳۵۳ 0.2353	۱/۹۲۶۳ 1.9263	مهر October	۰/۱۳۶۹ 0.1369	۱/۹۳۹۴ 1.9394
اردیبهشت May	۰/۰۵۲۱ 0.0521	۲/۱۶۴ 2.164	آبان November	۰/۰۰۲۷ 0.0027	۲/۹۶۴۴ 2.9644
خرداد June	۰/۰۶۶۲ 0.0662	۲/۱۱۵۷ 2.1157	آذر December	۰/۱۰۹۴ 0.1094	۲/۰۷ 2.07
تیر July	۰/۰۰۲۴ 0.0024	۲/۶۸۵۳ 2.6853	دی January	۰/۰۳۶۹ 0.0369	۲/۲۸۰۸ 2.2808
مرداد August	۰/۰۳۶۱ 0.0361	۲/۱۸۴۴ 2.1844	بهمن February	۰/۰۸۴۵ 0.0845	۲/۰۸۳۷ 2.0837
شهریور September	۰/۰۰۲۳ 0.0023	۲/۸۰۲۶ 2.8026	اسفند March	۰/۲۰۴۹ 0.2049	۱/۹۵۹۷ 1.9597

$$S_{min} = Sediment_t + 100 \leq S_t \leq S_{max}, t = 1, 2, \dots, T \quad (28)$$

$$S_1 = S_{T+1} \quad (29)$$

سال‌های ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۵ در نظر گرفته شده که در آن ایام به علت خشکسالی مخزن، موضوع تأمین نیاز پایین دست از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بود. مقدار نیاز ماهانه اراضی پایین دست مخزن بر اساس جدول ۳ آمده است.

که در آن، S_1 و S_{T+1} به ترتیب حجم مخزن در ابتدا و انتهای دوره بهره‌برداری، S_{min} و S_{max} حداکثر و حداقل حجم ذخیره مخزن و $Sediment_t$ ذخیره تجمعی آورد رسوب در ماه t خواهد بود. هم‌چنین برای بازه زمانی، دوره آماری ده‌ساله مربوط به

جدول ۳- مجموع نیاز ماهانه پایین دست سد دز (میلیون مترمکعب).

Table 3. Monthly downstream demands of Dez Dam (MCM).

شهریور	مرداد	تیر	خرداد	اردیبهشت	فروردین	اسفند	بهمن	دی	آذر	آبان	مهر
SEP	AUG	JUL	JUN	MAY	APR	MAR	FEB	JAN	Dec	NOV	OCT
620.64	742.99	763.83	643.08	596.48	524.09	364.82	206.2	199.36	238.71	308.98	528.9

صورت انجام می‌شود که هر دریاچه بر جذر مجموع مربعات دریاچه‌های آن ستون معیار تقسیم می‌شود. در این گام در واقع ماتریس تصمیم، تبدیل به یک ماتریس بی‌بعد می‌شود.

۳- تهیه ماتریس بی‌مقیاس وزن‌دار: در این گام باید وزن معیارها که از روش‌های دیگر به دست آمده در ماتریس نرمال ضرب شده تا ماتریس وزن‌دار حاصل شود.

۴- یافتن حل ایده‌آل و ضد ایده‌آل: در این قسمت باید نوع معیارها از نظر مثبت و منفی بودن مشخص شود. معیارهای مثبت، معیارهایی هستند که افزایش آن‌ها باعث بهبود عملکرد سیستم شده که در آن‌ها حل ایده‌آل برابر با بزرگ‌ترین دریاچه ستون معیار و ضد ایده‌آل؛ برابر با کوچک‌ترین دریاچه است. این نکته برای معیارهای منفی بالعکس می‌باشد.

۵- محاسبه فاصله از حل ایده‌آل و ضد ایده‌آل: در این گام بر اساس رابطه زیر، فاصله هر گزینه از ایده‌آل مثبت و منفی آن محاسبه می‌شود.

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - A_j^+)^2} \quad (30)$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - A_j^-)^2} \quad (31)$$

آل مثبت و ضد ایده‌آل است.

روش رتبه‌بندی شبیه به حل ایده‌آل (TOPSIS): روش رتبه‌بندی شبیه به حل ایده‌آل تاپسیس یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است که به رتبه‌بندی گزینه‌ها می‌پردازد. در این روش از دو مفهوم "حل ایده‌آل" و "شباهت به حل ایده‌آل" استفاده شده است. حل ایده‌آل، جوابی است که از هر جهت بهترین باشد که غالباً در عمل وجود ندارد. به منظور اندازه‌گیری شباهت یک طرح به حل ایده‌آل و ضد ایده‌آل، فاصله طرح مذکور از آن‌ها محاسبه می‌شود (۲۳). سپس گزینه‌ها بر اساس نسبت فاصله از حل ضد ایده‌آل به مجموع فاصله از حل ایده‌آل و ضد ایده‌آل ارزیابی و رتبه‌بندی می‌شوند. جهت پیاده‌سازی روش تاپسیس گام‌های زیر به ترتیب اجرا می‌شوند:

۱- تشکیل ماتریس تصمیم: روش تاپسیس شامل یکسری معیار و گزینه می‌باشد. ماتریس تصمیم ماتریسی است که معیارها در ستون‌ها و گزینه‌ها در سطرها قرار می‌گیرند.

۲- بی‌مقیاس کردن (نرمال‌سازی) ماتریس تصمیم: بی‌مقیاس کردن با استفاده از روش نرم و به این

که در آن، d_i^+ و d_i^- به ترتیب فاصله هر گزینه از ایده

شاخص به عدد یک نزدیک‌تر باشد، نشان از برتری آن گزینه می‌باشد.

$$cl_i^* = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+} \quad (32)$$

پژوهش‌گران (۲۴) روابط اصلاحی زیر را ارائه نمودند:

$$R_i^* = \sqrt{(d_i^+ - \min(d_i^+))^2 + (d_i^- - \max(d_i^-))^2} \quad (33)$$

غالباً هرچه تعداد ذرات و تعداد تکرار الگوریتم در یک عملیات بهینه‌سازی بیش‌تر باشد رسیدن به جواب بهینه نهایی با دقت بیش‌تری خواهد بود ولی زمان انجام عملیات به‌طور فزاینده‌ای افزایش خواهد یافت. به همین دلیل برای دستیابی به بهینه‌ترین مقادیر تعداد ذرات و حداکثر تعداد تکرار در ارزیابی سیستم‌های چهار و ده‌مخزنه، مقادیر مختلف آن‌ها بررسی شده که با بررسی نتایج تعداد ذرات ۳۰۰ برای هر دو سامانه و تعداد تکرار ۷۰۰۰ برای سیستم چهارمخزنه و ۱۲۰۰۰ برای سیستم ده‌مخزنه انتخاب گردید.

نتایج توسعه الگوریتم جستجوی اتم بر روی سامانه‌های چند مخزنه: بعد از تعیین ضرایب بهینه، ۱۰ اجرای مختلف الگوریتم بهینه‌ساز ASO بر روی سامانه‌های چهار و ده‌مخزنه پیاده‌سازی گردید که نتایج آن در جدول ۵ آورده شده است.

۶- محاسبه شاخص شباهت و رتبه‌بندی گزینه‌ها: شاخص شباهت نشان‌دهنده امتیاز هر گزینه است و براساس رابطه زیر محاسبه می‌شود هرچقدر این

روش رتبه‌بندی شبیه به حل ایده‌آل اصلاح‌شده (M-TOPSIS): در سال ۲۰۰۷ و در راستای بهبود ارزیابی گزینه‌ها در روش تاپسیس، گروهی از

بر طبق این روش، گزینه‌ای که فاصله آن از ایده‌آل مثبت و منفی کم‌ترین مقدار را به ترتیب از حداقل فاصله از ایده‌آل مثبت و حداکثر فاصله از ضد ایده‌آل گزینه‌ها را داشته باشد برترین انتخاب محسوب خواهد شد.

نتایج و بحث

تحلیل حساسیت و تنظیم پارامترها: به‌منظور انجام عملیات بر روی سامانه‌های مخازن و نظر به تعدد متغیرها، عملیات تحلیل حساسیت برای ضرایب تأثیرگذار در الگوریتم انجام گرفت. در الگوریتم مذکور ضرایب آلفا و بتا که در محاسبات نیروهای وارد بر ذره اعمال می‌شوند ضرایبی مهم با دامنه‌ای به‌ترتیب بین ۱۰ تا ۱۰۰ و ۰/۱ تا ۱ می‌باشند. به‌منظور انجام تحلیل حساسیت ضرایب، در جدول ۴ نتایج میانگین ده اجرای سیستم چهارمخزنه توسط الگوریتم ASO آورده شده است. همان‌گونه که از نتایج مشخص است ضرایب ۵۰ و ۰/۵ به ترتیب برای ضرایب آلفا و بتا مناسب می‌باشند.

جدول ۴- نتایج میانگین ده اجرای سیستم چهارمخزنه توسط الگوریتم جستجوی اتم جهت آنالیز حساسیت ضرایب آلفا و بتا.

Table 4. The Average results of ten executions of the four reservoir systems by the Atom Search Optimization algorithm to analyze the sensitivity of alpha and beta coefficients.

α	تابع هدف Objective Function	β	تابع هدف Objective Function
10	281.1	0.1	282.4
20	283.6	0.2	284.1
30	286.5	0.3	286.3
40	287.7	0.4	291.9
50	293.9	0.5	293.9
60	289.6	0.6	283.9
70	281.2	0.7	281.6
80	282.1	0.8	282.6
90	279.3	0.9	280.3
100	281.8	1	279.1

جدول ۵- نتایج ده اجرای مختلف الگوریتم بهینه‌ساز جستجوی اتم بر روی سامانه‌های چهار و ده مخزنه.

Table 5. Results of ten different implementations of Atom Search Optimization algorithm on four and ten reservoir systems.

شماره اجرا Execution Number	چهارمخزنه 4-Res.	ده مخزنه 10-Res.	جمع‌بندی نتایج Summary of results	چهارمخزنه 4-Res.	ده مخزنه 10-Res.
1	291.05	1065.39	بدترین جواب The worst answer	285.54	1047.17
2	288.98	1050.47	بهترین جواب The best answer	293.90	1071.04
3	293.90	1056.00	میانگین Average	289.64	1057.26
4	290.62	1049.93	انحراف معیار Standard deviation	2.15	8.58
5	285.54	1047.17	ضریب تغییرات Coefficient of variation	0.01	0.01
6	287.93	1056.50	بهینه مطلق Absolute Optimum	308.29	1194.44
7	289.55	1061.42	درصد مشابهت بهترین جواب با بهینه مطلق The percentage of similarity of the best answer with the absolute optimum	95.33	89.67
8	289.71	1047.72			
9	289.20	1066.94			
10	289.96	1071.04			

در مرحله آزمون توابع ریاضی، تعداد ذرات ۳۰۰ و ضرایب آلفا و بتا به ترتیب برابر ۵۰ و ۰/۵ لحاظ گردید. نتایج آماری برای ۱۰ اجرا با ۲۵۰۰ تکرار در جدول ۶ آورده شده است. انحراف معیار پایین برای ۱۰ بار اجرای مختلف مدل، می‌تواند به‌عنوان نقطه قوت الگوریتم مذکور در نظر گرفته شود.

جدول ۶- خلاصه نتایج حاصل از ۱۰ اجرای مختلف الگوریتم جستجوی اتم بر روی توابع ریاضی.

Table 6. Summary results from 10 different implementations of atom search optimization algorithm on mathematical functions.

انحراف معیار standard deviation	حداقل Minimum	حداکثر Maximum	میانگین Average	آزمون Benchmark
2.21E-13	5.84E-13	1.27E-12	8.29E-13	Ackley
8.599E-25	8.12E-25	3.48E-24	1.99E-24	Sphere

نتایج بهینه‌سازی مخزن سد دز: نتایج بهینه‌سازی مخزن سد دز علاوه بر الگوریتم جستجوی اتم با چهار الگوریتم رایج بهینه‌ساز به اسامی الگوریتم ازدحام سالپ^۱ (SSA)، الگوریتم سینوس کسینوسی^۲ (SCA)، الگوریتم ازدحام ذرات^۳ (PSO) و الگوریتم ژنتیک^۴ (GA) پس از انجام تحلیل حساسیت و تعیین بهترین ضرایب الگوریتم مقایسه گردید که نتایج ده اجرای آن‌ها در جدول ۷ آمده است.

جدول ۷- نتایج ده اجرای مختلف به‌منظور تأمین نیاز پایین‌دست مخزن سد دز با پنج الگوریتم بهینه‌ساز.

Table 7. Results of ten different implementations to meet the downstream demand of Dez Dam reservoir with five optimization algorithms.

اجرا Execution Number	ASO	SSA	SCA	PSO	GA	جمع‌بندی نتایج Summary of results	ASO	SSA	SCA	PSO	GA
1	2.94	3.12	3.24	3.67	4.89	بدترین جواب The worst answer	3.02	3.54	3.67	4.12	4.89
2	3.02	3.54	3.22	4.12	4.12	بهترین جواب The worst answer	2.94	3.12	3.22	3.67	4.12
3	2.99	3.15	3.22	3.89	4.12	میانگین Average	2.95	3.17	3.30	3.74	4.25
4	2.94	3.15	3.67	3.67	4.67	انحراف معیار Standard Deviation	0.03	0.13	0.17	0.15	0.28
5	2.94	3.12	3.58	3.67	4.12	ضریب تغییرات Coefficient of variation	0.01	0.04	0.05	0.04	0.07
6	2.94	3.12	3.22	3.67	4.12						
7	2.94	3.12	3.22	3.67	4.12						
8	2.94	3.12	3.22	3.67	4.12						
9	2.94	3.12	3.22	3.67	4.12						
10	2.94	3.12	3.22	3.67	4.12						

- 1- Salp Swap Algorithm
- 2- Sine-Cosine Algorithm
- 3- Particle Swarm Optimization
- 4- Genetic Algorithm

مقدار نیاز پایین‌دست محاسبه گردیده‌اند و نیز مقدار تابع هدف به‌عنوان پنجمین معیار رتبه‌بندی استفاده شده است. در این خصوص ضرایب وزنی هرکدام از معیارها مساوی و برابر ۰/۲۰ لحاظ گردیده است.

رتبه‌بندی الگوریتم‌های مختلف: به‌منظور رتبه‌بندی پنج الگوریتم مذکور از روش تاپسیس استفاده گردیده است. در این خصوص از معیارهای خطای RMSE، NSE، MAE و PBIAS که بین مقادیر رهاسازی مخزن و

جدول ۸- نتایج معیارهای مختلف جهت رتبه‌بندی الگوریتم‌ها.

Table 8. Results of different criteria for ranking algorithms.

الگوریتم Algorithm	RMSE	NSE	MAE	PBIAS	تابع هدف Objective Function
ASO	36.22	0.96	33.47	0.07	2.95
SSA	62.08	0.90	57.38	0.12	3.17
SCA	93.13	0.77	86.07	0.18	3.3
PSO	113.82	0.66	105.19	0.22	3.74
GA	118.99	0.63	109.97	0.23	4.25

جدول ۹ است.

با استفاده از عملیات تاپسیس رتبه‌بندی الگوریتم‌های مختلف انجام شده که نتایج آن به شرح

جدول ۹- نتایج رتبه‌بندی الگوریتم‌ها توسط تکنیک تاپسیس TOPSIS.

Table 9. Results of ranking algorithms by TOPSIS technique.

امتیاز نسبی Relative score	الگوریتم Algorithm	رتبه Rank
0.358657	ASO	1
0.294209	SSA	2
0.159788	SCA	3
0.09669	PSO	4
0.090656	GA	5

جدول ۱۰- نتایج رتبه‌بندی الگوریتم‌ها توسط تکنیک تاپسیس اصلاح شده M-TOPSIS.

Table 10. Results of ranking algorithms by Modified TOPSIS technique.

رتبه Rank	الگوریتم Algorithm	امتیاز نسبی Relative score
1	ASO	0
2	SSA	0.103036
3	SCA	0.24097
4	PSO	0.319574
5	GA	0.33642

بر روی سامانه‌های چهار و ده مخزنه پیاده‌سازی شده که نتایج نشان از دقت بالای الگوریتم دارد. در ادامه موضوع تأمین نیاز پایین دست سد دز طی یک دوره ده‌ساله با حالت بدون رسوب‌گذاری و حالت رسوب‌گذاری ماهانه مخزن و تأثیر آن در کاهش حجم دینامیک به کمک پنج الگوریتم بهینه‌ساز بررسی شده که نتایج آن‌ها با استفاده از معیارهای مقدار تابع هدف، مقادیر RMSE، MAE، NSE و PBIAS و تکنیک‌های تاپسیس و تاپسیس اصلاح‌شده اولویت‌بندی گردید که به ترتیب الگوریتم جستجوی اتم، ازدحام سالپ (SSA)، الگوریتم سینوس کسینوسی (SCA)، الگوریتم ازدحام ذرات (PSO) و الگوریتم ژنتیک (GA) در مکان‌های این رتبه‌بندی قرار گرفتند. از این‌رو به‌کارگیری الگوریتم جستجوی اتم در حل مسائل بهینه‌سازی به‌ویژه در حوزه مدیریت منابع آب با لحاظ موضوع اثرگذاری حفاظت خاک و رسوب‌گذاری توصیه می‌گردد.

تقدیر و تشکر

نویسندگان از سردبیر و داوران محترم این مقاله که با نظرات و پیشنهادهای خود موجب بهبود متن حاضر شده تقدیر و تشکر می‌نمایند.

داده‌ها، اطلاعات و دسترسی

داده‌های این پژوهش مربوط به پایان‌نامه دکتری نویسنده اول بوده که با مکاتبه با نویسنده مسئول قابل دسترسی می‌باشند.

تعارض منافع

در این مقاله تعارض منافی وجود ندارد و این مسأله مورد تأیید همه نویسندگان است.

همان‌گونه که از نتایج رتبه‌بندی مشخص است الگوریتم جستجوی اتم در رتبه نخست قرار داشته که نشانی از توانمندی الگوریتم مذکور در بهینه‌سازی است و الگوریتم‌های ازدحام سالپ، سینوس کسینوسی، ازدحام ذرات و ژنتیک به ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار دارند.

شایان ذکر است در خصوص بررسی بهینه‌سازی مخزن بدون لحاظ پدیده رسوب‌گذاری که در آن به‌جای S_{min} معرفی شده در رابطه ۲۸، حداقل حجم ذخیره مخزن در تمام طول دوره بررسی ثابت و به مقدار ۸۰۰ میلیون مترمکعب لحاظ گردید مقدار متوسط تابع هدف در بهینه‌سازی توسط الگوریتم جستجوی اتم (ASO) بدتر شده با افزایش ۲/۷ درصدی به مقدار ۳/۰۳ رسید. ولی در مقایسه بین الگوریتم‌های مورد ارزیابی، هیچ تفاوتی صورت نگرفته و مانند گذشته به ترتیب الگوریتم جستجوی اتم، ازدحام سالپ (SSA)، الگوریتم سینوس کسینوسی (SCA)، الگوریتم ازدحام ذرات (PSO) و الگوریتم ژنتیک (GA) در مکان‌های اول تا پنجم این رتبه‌بندی قرار گرفتند.

نتیجه‌گیری کلی

امروزه استفاده از ابزارهای بهینه‌سازی چون الگوریتم‌های فراکاوشی در حل مسائل پیچیده و گسترده مدیریت منابع آب رایج است. الگوریتم جستجوی اتم یکی از الگوریتم‌های بهینه‌ساز نوین با ماهیتی فیزیکی است که در این پژوهش بر روی سامانه‌های تک و چندمخزنه منابع آب پیاده‌سازی شده است. در ابتدا پس از تحلیل نتایج الگوریتم بر روی توابع محک ریاضی با تعیین ضرایب تأثیرگذار الگوریتم توسط تحلیل حساسیت، این الگوریتم

مشارکت نویسندگان

نویسنده اول: آماده‌سازی داده‌ها، انجام محاسبات، تهیه پیش‌نویس مقاله. نویسنده دوم: اصلاح و نهایی‌سازی مقاله، مشارکت در آنالیزها، نظارت بر پژوهش. نویسنده سوم: بازبینی مقاله، نظارت بر پژوهش. نویسنده چهارم: طرح پژوهش و روش‌شناسی.

اصول اخلاقی

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این اثر علمی رعایت نموده و این موضوع مورد تأیید همه آن‌ها می‌باشد.

حمایت مالی

این پژوهش از حمایت مستقیم مالی برخوردار نبوده و برگرفته از رساله دکتری آقای محسن مسلم‌زاده در دانشگاه سمنان بوده است.

منابع

- Ahmadianfar, I., Heidari, A.A., Noshadian, S., Chen, H., and Gandomi, A.H. 2022. INFO: An efficient optimization algorithm based on weighted mean of vectors. *Expert Systems with Applications*, 195, 116516.
- Ashofteh, P.S., Bozorg-Haddad, O., and Loáiciga, H.A. 2020. Logical genetic programming (LGP) application to water resources management. *Environmental monitoring and assessment*, 192: 1. 1-11.
- Asadieh, B., and Afshar, A. 2019. Optimization of Water-Supply and Hydropower Reservoir Operation Using the Charged System Search Algorithm. *Hydrology*, 6: 1. 5.
- Samadi-Koucheksaraee, A., Ahmadianfar, I., Bozorg-Haddad, O., and Asghari-Pari, S.A. 2019. Gradient evolution optimization algorithm to optimize reservoir operation systems. *Water resources management*, 33: 2. 603-625.
- Rabiei, M.H., Aalami, M.T., and Talatahari, S. 2018. Reservoir operation optimization using CBO, ECBO and VPS algorithms. *Iran University of Science & Technology*, 8: 3. 489-509.
- Allawi, M.F., Jaafar, O., Hamzah, F.M., Ehteram, M., Hossain, M.S., and El-Shafie, A. 2018. Operating a reservoir system based on the shark machine learning algorithm. *Environmental Earth Sciences*, 77: 10. 366.
- Karami, H., Ehteram, M., Mousavi, S.F., Farzin, S., Kisi, O., and El-Shafie, A. 2019. Optimization of energy management and conversion in the water systems based on evolutionary algorithms. *Neural computing and applications*, 31: 10.5951-5964.
- He, Z., Wang, C., Wang, Y., Zhang, H., and Yin, H. 2022. An Efficient Optimization Method for Long-term Power Generation Scheduling of Hydropower Station: Improved Dynamic Programming with a Relaxation Strategy. *Water Resources Management*, 36: 4. 1481-1497.
- Dogan, M.S., Lund, J.R., and Medellin-Azuara, J. 2021. Hybrid Linear and Nonlinear Programming Model for Hydropower Reservoir Optimization. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 147: 3. 06021001.
- Azadi, F., Ashofteh, P.S., Shokri, A., and Loáiciga, H.A. 2021. Simulation-Optimization of Reservoir Water Quality under Climate Change. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 147: 9. 04021054.
- Wang, X., Chen, X., Cui, Q., and Yang, Z. 2019. An improved two-step parameter adjustment method for the optimization of a reservoir operation function model based on repeated principal component analysis and a genetic algorithm. *Journal of Hydroinformatics*, 21: 1. 1-12.

12. Yaseen, Z.M., Karami, H., Ehteram, M., Mohd, N.S., Mousavi, S.F., Hin, L.S., Kisi, O., Farzin, S., Kim, S., and El-Shafie, A. 2018. Optimization of Reservoir Operation using New HybridAlgorithm. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 22: 11. 4668-4680.
13. Zhao, W., Wang, L., and Zhang, Z., 2019. A novel atom search optimization for dispersion coefficient estimation in groundwater. *Future Generation Computer Systems*, 91: 601-610.
14. Zhao, W., Wang, L., and Zhang, Z.B. 2019. Atom search optimization and its application to solve a hydrogeologic parameter estimation problem. *Knowledge-Based Systems*, 163: 283-304.
15. Sarhan, G.M., Agwa, A.M., and El-Fergany, A.A. 2019. Steady-State Modeling of Fuel Cells Based on Atom Search Optimizer. *Energies* (19961073), 12: 10.
16. Too, J., and Rahim Abdullah, A. 2020. Binary atom search optimisation approaches for feature selection. *Connection Science*, 32: 4. 406-430.
17. Zhao, W., Shi, T., Wang, L., Cao, Q., and Zhang, H. 2021. An adaptive hybrid atom search optimization with particle swarm optimization and its application to optimal no-load PID design of hydro-turbine governor. *Journal of Computational Design and Engineering*, 8: 5. 1204-1233.
18. Diab, A.A.Z., Ebraheem, T., Aljendy, R., Sultan, H.M., and Ali, Z.M. 2020. Optimal design and control of MMC STATCOM for improving power quality indicators. *Applied Sciences*, 10: 7. 2490.
19. Mirjalili, S., and Lewis, A. 2016. The whale optimization algorithm. *Advances in engineering software*, 95: 51-67.
20. Chow, V.T., and Cortes-Rivera, G. 1974. Applications of DDDP in water resources planning. Research Rep. 78, Univ. of Illinois, Water Resources Center, Urbana, IL.
21. Murray, D.M., and Yakowitz, S.J. 1979. Constrained differential dynamic programming and its application to multireservoir control. *Water Resources Research*, 15: 5. 1017-1027.
22. Mosaedi, A., Najafi, S.F.H., Heydarnezhad, M., Nabizade, M., and Meshkati, M.E. 2009. Estimation of sediment volumes in Karaj and Dez reservoirs and their comparison with hydrographic surveying. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 16(Special Issue 2). 261-272.
23. Fallahi, F., Beheshti, M., and Marashi, S. 2017. Ranking the environmental sustainability in selected Iranian provinces: A comparison of AHP and TOPSIS methods. *J. of Quantitative Economics*. 14: 1. 97-118.
24. Ren, L., Zhang, Y., Wang, Y., and Sun, Z. 2007. Comparative analysis of a novel M-TOPSIS method and TOPSIS. *Applied Mathematics Research eXpress*, 2007.

Detection and Prediction of Land Use Changes Using Modeling Approach within a GIS Environment (Case Study: Hablehroud Watershed)

Mahin Naderi¹, Vahedberdi Sheikh^{*2}, Chooghi Bairam Komaki³,
Abdolreza Bahrehmand⁴, Abdul Azim Ghanghermeh⁵, Hamid Siroosi⁶

1. Ph.D. Student, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: mahinnaderi70@yahoo.com
2. Corresponding Author, Associate Prof., Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: sheikh@gau.ac.ir
3. Assistant Prof., Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: komaki@gau.ac.ir
4. Professor, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: bahrehmand@yahoo.com
5. Associate Prof., Golestan University, Gorgan, Iran. E-mail: aghanghermeh@gmail.com
6. Ph.D. Graduate, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: h.siroosi@gmail.com

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Full Paper	Background and Objectives: Determining the type, extent, and spatio-temporal changes of land use and land cover is very important in determining the hydrological characteristics of watersheds. Satellite data are the fastest and cheapest tools available to researchers in this regard. The study area in this study is Hablehroud watershed, whose flow decline over the past decades resulted in intensification of the conflict between the upstream (the Tehran province) and downstream (the Semnan province) stakeholders. Since, the land use change is considered as one of the causes of the watersheds' hydrological regime, the aim of this study were detection, quantifying, and prediction of the land use changes as well as analysis the land surface vegetation cover in the Hablehroud watershed.
Article history: Received: 05.08.2022 Revised: 07.19.2022 Accepted: 07.23.2022	
Keywords: Google Earth Engine, Hablehroud Basin, NDVI, Remote Sensing, Supervised Classification	
	Materials and Methods: In this study, in order to identify the land use types of the Hablehroud basin, a supervised object-oriented classification of Landsat series images related to 1987, 2002 and 2019 was performed in Google Earth Engine software. To determine the classification performance, several ground truth points is required. In this study the ground truths were acquired through field visits and consultation of the high-resolution images of the Google map. The Markov chain and CA-Markov models within the MOLUSCE module, which is one of the software extensions of QGIS spatial information system software, were used to simulate land use changes and analyze their dynamics in the study area. Moreover, the NDVI index was calculated to assess the spatio-temporal changes of the vegetation status of the study area through using the Google Earth Engine software.
	Results: The results indicate that the classification method used in this research has an overall accuracy percentage of more than 88 and a Kappa coefficient of more than 0.86 in all the time periods investigated. It is also observed in 2019, compared to 1987, we see an increase in irrigated arable land by about 67.5 square kilometers, an increase in rainfed agricultural land by about 20 square kilometers and an increase in residential areas by about 21 square kilometers. However, the grade 1 and 2 rangelands have decreased, which is about 240 square kilometers in the grade 1 rangelands

and about 196 square kilometers in the grade 2 rangelands. While the extent of the poor rangelands has increased by about 327 square kilometers. If this trend continues, during 2019 - 2051, the extent of the irrigated areas, poor and medium class rangelands will increase about 20, 50, and 50 square kilometers, while the extent of the good rangelands will decrease about 127 square kilometers. The extent of the residential lands will increase too. The results also show a significant downward trend in the average NDVI index of the basin, indicating retrogression in the vegetation status of the basin. Vegetation retrogression is more intense around residential areas and rivers and downstream areas of the basin.

Conclusion: The study of land use change trends in Hablehroud basin shows that due to human interventions, in significant parts of the basin, natural vegetation has been replaced by agricultural, horticultural and residential areas. The quality of the dominant natural cover of the region (rangeland) has also undergone a significant retrogression process. Therefore, due to population growth, urbanization and development of industries and tourism, sharp decline in the discharge of the Hablehroud basin and the spread of conflict between stakeholders in the region, it is suggested that the main focus of the policies and management measures should be on effective planning, especially the management and optimization of human interventions through the development and implementation of land management plans and optimization strategies and save water consumption in this watershed.

Cite this article: Naderi, Mahin, Sheikh, Vahedberdi, Komaki, Chooghi Bairam, Bahrehmand, Abdolreza, Ghanghermeh, Abdul Azim, Siroosi, Hamid. 2022. Detection and Prediction of Land Use Changes Using Modeling Approach within a GIS Environment (Case Study: Hablehroud Watershed). *Journal of Water and Soil Conservation*, 29 (2), 113-134.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/jwsc.2022.20196.3551

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

آشکار سازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از رویکرد مدل‌سازی در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز حبله‌رود)

مهین نادری^۱ ID، واحدبردی شیخ*^۲ ID، چوقی بایرام کمکی^۳ ID، عبدالرضا بهره‌مند^۴ ID،
عبدالعظیم قانقرمه^۵ ID، حمید سیروسی^۶ ID

۱. دانشجوی دکتری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: mahinnaderi70@yahoo.com
۲. نویسنده مسئول، دانشیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: sheikh@gau.ac.ir
۳. استادیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: komaki@gau.ac.ir
۴. استاد دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: bahremand@yahoo.com
۵. دانشیار دانشگاه گلستان، گرگان، ایران. رایانامه: aghangermeh@gmail.com
۶. دانش‌آموخته دکتری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: h.siroosi@gmail.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی- پژوهشی	سابقه و هدف: تعیین نوع، حدود و تغییرات مکانی و زمانی کاربری اراضی و پوشش زمین در تعیین خصوصیات هیدرولوژیکی آبخیزها از اهمیت بسیاری برخوردار است. داده‌های ماهواره‌ای به‌عنوان سریع‌ترین و کم‌هزینه‌ترین ابزارهای در اختیار پژوهش‌گران برای این منظور می‌باشند. منطقه مورد مطالعه این پژوهش، حوزه آبخیز حبله‌رود است که کاهش آبدهی آن در دهه‌های گذشته باعث تشدید تعارض بین ذینفعان بالادست (استان تهران) و پائین‌دست (استان سمنان) شده است. با توجه به این‌که تغییرات کاربری اراضی یکی از عوامل تغییرات رژیم هیدرولوژیکی آبخیزها است، هدف پژوهش حاضر آشکار سازی، کمی‌سازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی و بررسی روند تغییرات پوشش گیاهی سطح زمین در این حوزه است.
واژه‌های کلیدی: حوزه حبله‌رود، سنجش‌ازدور، شاخص NDVI، طبقه‌بندی نظارت‌شده، گوگل ارث انجین	مواد و روش‌ها: در این پژوهش برای شناسایی کاربری اراضی حوزه حبله‌رود، طبقه‌بندی نظارت‌شده شیء‌گرای تصاویر سری لندست مربوط به سال‌های ۱۹۸۷، ۲۰۰۲ و ۲۰۱۹ در محیط سامانه گوگل ارث انجین انجام شد. برای بررسی عملکرد روش طبقه‌بندی، نقاط متعدد واقعیت زمینی نیاز است. در این پژوهش، نقشه واقعیت زمینی با بررسی میدانی و تفسیر تصاویر با تفکیک مکانی زیاد (بزرگ‌مقیاس) گوگل‌مپ ایجاد شد. از مدل زنجیره‌ای مارکوف و سلول‌های خودکار مارکوف در افزونه MOLUSCE که یکی از افزونه‌های نرم‌افزار سامانه اطلاعات مکانی QGIS است برای شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی و تحلیل وضعیت پویایی

منطقه مورد مطالعه استفاده شد. به علاوه، روند تغییرات شاخص NDVI برای ارزیابی تغییرات مکانی-زمانی وضعیت پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه در نرم افزار گوگل ارث انجین محاسبه شد.

یافته‌ها: نتایج بیانگر این است که روش و تکنیک طبقه‌بندی مورد استفاده در این پژوهش دارای درصد صحت کلی بیش از ۸۸ و ضریب کاپای بیش از ۰/۸۶ در تمام مقاطع زمانی مورد بررسی است. همچنین مشاهده می‌شود که حوزه حبله‌رود طی دوره ۱۹۸۷ الی ۲۰۱۹ شاهد افزایش مساحت اراضی زراعی آبی به میزان ۶۷/۵ کیلومترمربع، اراضی زراعی دیم در حدود ۲۰ کیلومترمربع و مناطق مسکونی در حدود ۲۱ کیلومترمربع بوده است. مساحت اراضی مرتعی درجه ۱ حدود ۲۴۰ کیلومترمربع و اراضی مرتعی درجه ۲ حدود ۱۹۶ کیلومترمربع کاهش یافته است. در حالی که مساحت اراضی مرتعی درجه ۳ افزایشی حدود ۳۲۷ کیلومترمربع داشته است. در صورت تداوم این روند، تا سال ۲۰۵۱ مساحت اراضی زراعی آبی در حدود ۲۰ کیلومترمربع دیگر افزایش و مساحت اراضی مرتعی درجه ۱ در حدود ۱۲۷ کیلومترمربع کاهش خواهد یافت. اما مساحت اراضی مرتعی درجه ۲ و ۳ هرکدام در حدود ۵۰ کیلومترمربع افزایش خواهد یافت. مساحت اراضی مسکونی نیز روند افزایشی خواهند داشت. همچنین نتایج بیانگر سیر نزولی معنادار متوسط شاخص NDVI حوزه است که نشان می‌دهد در طول زمان وضعیت پوشش گیاهی منطقه سیر قهقرایی را طی کرده است. سیر قهقرایی پوشش گیاهی در اطراف مناطق مسکونی و رودخانه‌ها و قسمت‌های پایین دست حوزه شدیدتر است.

نتیجه‌گیری: بررسی روند تغییرات کاربری اراضی حوزه حبله‌رود نشان می‌دهد که در اثر مداخلات انسانی، در بخش‌های فراوانی از سطح حوزه، پوشش گیاهی طبیعی با پوشش‌های زراعی، باغی و مسکونی جایگزین شده است. کیفیت پوشش طبیعی غالب منطقه (مرتعی) نیز سیر قهقرایی را طی کرده است. بنابراین با توجه به روند افزایش جمعیت، گسترش شهرنشینی، توسعه صنایع و گردشگری و پیامدهای ناشی از مداخلات انسانی در حوزه هم‌چون کاهش شدید آبدهی رودخانه‌های حوزه حبله‌رود و گسترش تعارض بین ذینفعان و ذی‌مدخلان پیشنهاد می‌گردد تمرکز اصلی سیاست‌ها و اقدامات مدیریتی در این حوزه آبخیز روی برنامه‌ریزی مؤثر به‌ویژه مدیریت و بهینه‌سازی مداخلات انسانی از طریق تدوین و اجرای برنامه آمایش سرزمین و راهکارهای بهینه‌سازی و صرفه‌جویی در مصرف آب باشد.

استناد: نادری، مهین، شیخ، واحدبردی، کمکی، چوقی بایرام، بهره‌مند، عبدالرضا، قانقرمه، عبدالعظیم، سیروسی، حمید (۱۴۰۱). آشکارسازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از رویکرد مدل‌سازی در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز حبله‌رود). پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲۹ (۲)، ۱۳۴-۱۱۳.

DOI: 10.22069/jwsc.2022.20196.3551



© نویسندگان

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

تعیین نوع و حدود کاربری اراضی^۱ و پوشش زمین^۲ در تعیین خصوصیات و فرایندهای محیطی از اهمیت بسیاری برخوردار است. با گسترش علم سنجش‌ازدور^۳، حجم وسیعی از تصاویر ماهواره‌ای به‌عنوان سریع‌ترین و کم‌هزینه‌ترین ابزارها در اختیار پژوهش‌گران جهت تهیه نقشه کاربری اراضی قرار گرفته‌اند (۱). استفاده از سامانه گوگل ارث انجین^۴ به‌منظور پردازش تصاویر ماهواره‌ای و تهیه نقشه کاربری اراضی، یکی از روش‌هایی است که اخیراً مورد توجه پژوهش‌گران در نقاط مختلف جهان قرار گرفته است. این سامانه، مبتنی بر وب است که توسط شرکت گوگل به‌منظور ذخیره‌سازی و تحلیل حجم عظیمی از داده‌ها راه‌اندازی شده است. گوگل ارث انجین (GEE) با ارائه یک محیط جامع، امکان طبقه‌بندی تصاویر را فراهم آورده است. این ابزار قابلیت‌هایی برای طبقه‌بندی نظارت‌نشده و نظارت‌شده، تجزیه و تحلیل داده‌های ورودی، ایجاد نمونه تعلیمی، یادگیری و طبقه‌بندی ارائه می‌کند (۲).

در تهیه نقشه کاربری اراضی، دقت بالای پهنه‌بندی بسیار ضروری است. خطایی که در این بخش از مطالعات رخ دهد می‌تواند به مراحل بعدی پژوهش سرایت کرده و نتایج نهایی را نیز متأثر سازد. روش طبقه‌بندی^۵ تصاویر ماهواره‌ای یکی از عوامل مؤثر در دقت تهیه نقشه کاربری اراضی و پوشش زمین است (۳). طبقه‌بندی تصویر با شناسایی عارضه‌های سطح زمین اولین مرحله در بررسی تغییرات پوشش زمین است. این روش بسته به میزان دقت و صحت طبقه‌بندی، می‌تواند میزان تغییرات در طبقات عارضه‌های زمینی را تعیین کند و نقشه

تولیدشده در آن برای انواع مقاصد دیگر به‌عنوان یک نقشه پایه قابل‌استفاده خواهد بود (۴). برای تهیه نقشه‌های موضوعی از تصاویر ماهواره‌ای، روش‌های مختلفی وجود دارد که شامل طبقه‌بندی نظارت‌شده و نظارت‌نشده^۶ یا رویکردهای پیکسل‌پایه^۷ و روش‌های شیء‌گرا^۸ می‌باشند (۵). اصل کارکردی رویکرد شیء‌گرا، تقسیم تصویر به قطعات (سگمنت) مختلف براساس جزئیات طیفی و مکانی است (۶). روش‌های پردازش شیء‌گرا تصاویر ماهواره‌ای به جهت بهره‌مندی از الگوریتم‌های دانش‌پایه توانسته‌اند بر ضعف روش پیکسل‌پایه در فرایند طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای غلبه کنند (۷). تکنیک‌های شیء‌گرا در مقایسه با روش‌های سنتی طبقه‌بندی، از داده‌های بیش‌تری از جمله؛ اطلاعات هندسی مربوط به شکل عوارض و نحوه قرارگیری آن‌ها، اطلاعات جانبی مختلف (مدل‌های رقومی ارتفاع^۹، شاخص‌های متنوع تصویری) برای طبقه‌بندی پدیده‌ها و عوارض استفاده می‌کنند (۸). انتخاب مناسب‌ترین روش برای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای با توجه به تنوع منابع اطلاعاتی، داده‌های آموزشی و عوارض زمینی، متغیرهای قطعه‌بندی و هم‌چنین بازتاب‌های طیفی مختلف در شرایط متفاوت از عوارض زمینی مانع از انتخاب یک رویکرد واحد با پارامترهای مشخص برای طبقه‌بندی تصاویر شده است (۹). تاکنون پژوهش‌گران مختلفی به بررسی و مقایسه الگوریتم‌های مختلف در پردازش شیء‌گرا پرداخته‌اند. از جمله، چن و همکاران (۲۰۰۹) که به مقایسه روش‌های طبقه‌بندی پیکسل‌پایه و شیء‌گرا در استخراج اطلاعات از تصاویر ماهواره‌ای اقدام نمودند و به این نتیجه دست یافتند که الگوریتم طبقه‌بندی فازی در روش طبقه‌بندی شیء‌گرا با صحت کلی ۹۶ درصد در

6- Supervised and unsupervised classification

7- Pixel-Based

8- Object-oriented

9- Digital Elevation Model

1- Landuse

2- Landcover

3- Remote Sensing

4- Google Earth Engine

5- Classification

مقایسه با الگوریتم طبقه‌بندی حداکثر احتمال در روش طبقه‌بندی پیکسل پایه با صحت کلی ۷۷ درصد، در طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای، از دقت بالاتری برخوردار است (۱۰). هم‌چنین لی و همکاران (۲۰۱۶) در پژوهشی با استفاده از تصاویر پهپاد به مقایسه تکنیک‌های پردازش شیء‌گرا تصاویر ماهواره‌ای در طبقه‌بندی کاربری اراضی در یک منطقه کشاورزی پرداخته و نتایج حاصل نشان‌دهنده دقت بسیار بالای طبقه‌بندی به روش ماشین بردار پشتیبان بوده است (۹). حاجی‌بیگلو و همکاران (۲۰۲۲) نیز با استفاده از شش الگوریتم طبقه‌بندی مبتنی بر پیکسل و شیء به بررسی تغییرات کاربری اراضی حوزه رودخانه گرگانرود در شمال‌شرق ایران پرداختند که نتایج به دست آمده بیانگر برتری روش شیء‌گرا نسبت به روش پیکسل پایه می‌باشد (۱۱).

علاوه بر تعیین نوع و حدود کاربری اراضی و پوشش زمین، بررسی تغییرات کاربری اراضی نیز از اهمیت بالایی برخوردار است زیرا با بررسی تغییرات کاربری اراضی، روندهای مربوط به فرآیندهای جنگل‌زدایی، تخریب، بیابان‌زایی و از دست رفتن تنوع زیستی در یک منطقه مشخص می‌شود (۱۲). اطلاع از تغییرات کاربری اراضی و بررسی علل آن جهت برنامه‌ریزی و مدیریت منابع طبیعی امری ضروری می‌باشد. هم‌چنین با پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی، می‌توان میزان گسترش و تخریب منابع را مشخص و این تغییرات را در مسیرهای مناسب هدایت کرد (۱۳). از جمله روش‌هایی که برای مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی وجود دارد می‌توان به مدل معادلات ریاضی، مدل سیستم، مدل آماری، مدل تکاملی، مدل سلولار و مدل هیبرید اشاره کرد. مدل سلولار شامل مدل‌های مارکوف و سلول‌های خودکار مارکوف است (۱۴). به منظور بررسی تبدیل کاربری‌های مختلف و امکان پیش‌بینی آن‌ها در آینده از مدل زنجیره‌ای مارکوف استفاده می‌شود (۱۵).

در زمینه آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی و نیز شبیه‌سازی تغییرات آینده مطالعات متعددی صورت گرفته است. از جمله: فیضی‌زاده (۲۰۱۷) در پژوهشی مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی را در حوزه آبخیز سد علویان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست انجام داد و به این نتیجه رسید که ضمن افزایش اراضی باغی، تخریب و تبدیل اراضی مرتعی خوب به ضعیف و اراضی دیم در سطح قابل‌توجهی صورت گرفته است (۱۶). در پژوهشی دیگر نیز اندریانی و همکاران (۲۰۱۸) در حوزه آبخیز زلیبرچای با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و مدل زنجیره مارکوف تغییرات کاربری اراضی را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که در طول سال‌های آبی مساحت کاربری‌های مسکونی، زراعت آبی و باغات افزایش خواهد یافت (۱۷). شفیعی و همکاران (۲۰۱۹) در پژوهشی در محور کلان شهر تهران- دماوند تغییرات کاربری اراضی را با استفاده از مدل سلول‌های خودکار مارکوف بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که در ناحیه مورد مطالعه اکثر پوشش‌های گیاهی و زمین‌های کشاورزی تبدیل به شهرک‌های صنعتی و ویلاهای تفریحی شده است (۱۸). آقای و همکاران (۲۰۲۰) نیز در آبخیز کوزه‌تپراقی استان اردبیل با استفاده از مدل سلول‌های خودکار مارکوف و LCM تغییرات کاربری اراضی را مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که تغییر عمده کاربری کشاورزی دیم در بخش‌های مرکزی آبخیز، پوشش درختی در بخش جنوب غربی، مرتع در قسمت جنوب غربی و کشاورزی آبی در زیرحوزه‌های پایین‌دست آبخیز کوزه‌تپراقی است (۱۹). در پژوهشی دیگر وانگ و همکاران (۲۰۲۱) با استفاده از داده‌های سنجنش از دور، داده‌های اجتماعی- اقتصادی و مشاهدات میدانی، پویایی مکانی- زمانی تغییرات کاربری زمین را در شهر تیمفو

پایین‌دست حوزه را سبب شده است (۲۴). همانند سایر حوزه‌های آبخیز کشور، تغییرات گسترده کاربری اراضی در این حوزه باعث تغییر و تخریب وضعیت هیدرولوژیکی آن شده است.

بنابراین در پژوهش حاضر با توجه به ضرورت بررسی تغییرات کاربری اراضی در حوزه آبخیز حبله‌رود، علاوه بر تهیه نقشه کاربری اراضی اصلی (مرتع، کشاورزی و مسکونی) مربوط به سه دوره گذشته و حال از طریق طبقه‌بندی نظارت‌شده تصاویر ماهواره‌ای و رویکرد شیء‌گرا در محیط سامانه گوگل‌ارث انجین و هم‌چنین پیش‌بینی وضعیت کاربری اراضی در دوره آتی نیز با استفاده از مدل زنجیره‌ای مارکوف و سلول‌های خودکار مارکوف در ماژول MOLUSCE، تغییرات وضعیت کاربری غالب حوزه آبخیز حبله‌رود که مرتع می‌باشد در طبقه‌های ریزتر شامل مرتع خوب، متوسط و فقیر و هم‌چنین طبقه‌های ریزتر کاربری کشاورزی یعنی کشاورزی دیم و آبی هم بررسی و پیش‌بینی شدند. به عبارتی علاوه بر بررسی تغییرات کمیت کاربری‌ها، تغییرات کیفیت آن‌ها نیز بررسی شده است. در همین راستا، روند تغییرات زمانی- مکانی شاخص گیاهی تفاضل نرمال شده، تراکم پوشش گیاهی نیز در محیط سامانه گوگل‌ارث انجین مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت.

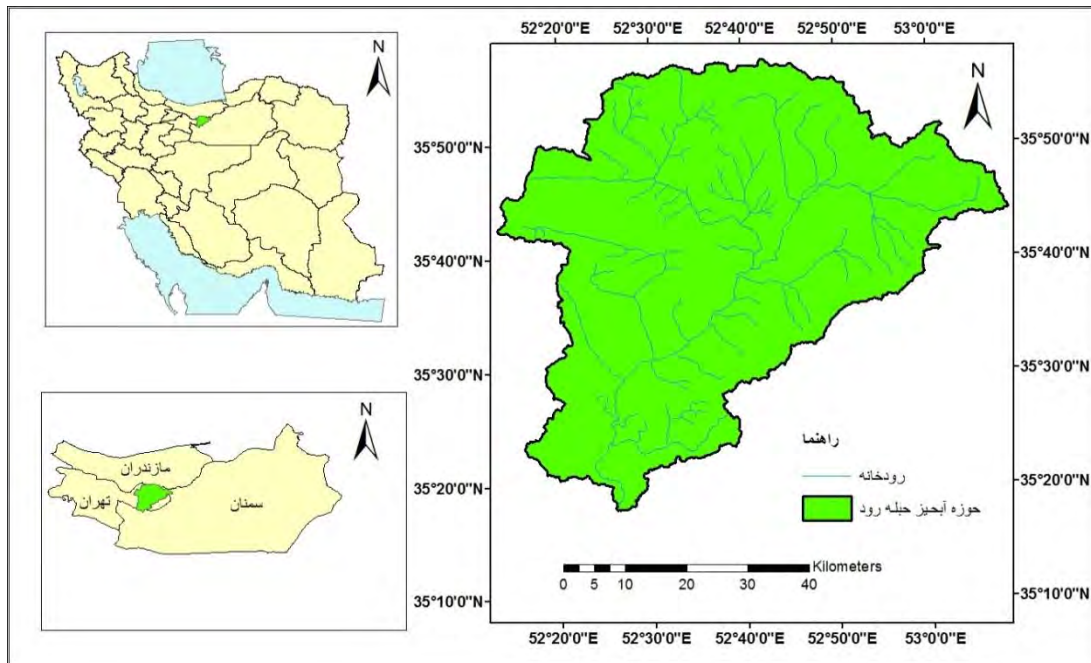
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش شامل بخش بالادست حوزه آبخیز حبله‌رود تا ایستگاه آب‌سنجی بنکوه است که در محدوده استان تهران واقع شده است. این منطقه حدود ۳۲۰۰ کیلومتر مربع مساحت دارد و در محدوده طول جغرافیایی $19^{\circ} 11' 52''$ تا $40^{\circ} 8' 53''$ شرقی و عرض جغرافیایی $35^{\circ} 17' 54''$ تا $29^{\circ} 57' 35''$ شمالی واقع شده است (شکل ۱). تراکم جمعیتی و مناطق مسکونی حوزه نسبتاً کم است

شبهه‌سازی کردند. نتایج شبهه‌سازی آن‌ها نشان داد که چشم‌انداز شهر تیمفو به‌طور قابل توجهی در طول دوره مطالعه تغییر کرده است و پیش‌بینی می‌شود این روند تغییر تا سال ۲۰۵۰ ادامه یابد (۲۰). دوم و همکاران (۲۰۲۲) نیز در پژوهشی به پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی در بخش شمالی منطقه رودخانه‌های جنوبی، از پایین کازامانس تا رودخانه گبا (گیینه بیسائو) با استفاده از مدل سلول‌های خودکار مارکوف پرداختند که کاهش شدید پوشش گیاهی تا سال ۲۰۳۵ در این منطقه را پیش‌بینی کردند (۲۱). محمد و همکاران (۲۰۲۲) نیز تغییرات مکانی و زمانی تغییرات کاربری اراضی را در آبخیز لینی در چین با استفاده از ماژول MOLUSCE انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که متغیرهای فیزیکی و اجتماعی- اقتصادی تأثیر قابل‌توجهی بر الگوهای کاربری اراضی دارند (۲۲). هم‌چنین دابا و همکاران (۲۰۲۲) به ارزیابی کمی تغییرات کاربری اراضی و عوامل محرک آن‌ها در قسمت بالایی رودخانه آواش کشور اتیوپی با استفاده از مدل سلول‌های خودکار مارکوف پرداختند و پیامدهای تغییرات کاربری اراضی را در مدیریت منابع آب بررسی کردند. نتایج این مطالعه تغییرات اساسی در کاربری اراضی این منطقه را طی سال‌های ۱۹۸۴-۲۰۱۹ نشان می‌دهد که دلیل اصلی این امر را گسترش کشاورزی و شهرنشینی بیان کرده‌اند (۲۳). منطقه مورد مطالعه در این پژوهش آبخیز حبله‌رود می‌باشد که یکی از آبخیزهای مهم و مشترک بین دو استان تهران و سمنان بوده که کاهش آب‌دهی و کیفیت آب، کاهش حاصلخیزی خاک، کاهش محصولات کشاورزی و بدشدن کیفیت آن از مهم‌ترین مشکلات این حوزه آبخیز می‌باشد (۲۴). در چند دهه اخیر به دلیل افزایش جمعیت و برداشت گسترده از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی، کاهش آب‌دهی آن چالش بروز تعارض بین ذینفعان بالادست و

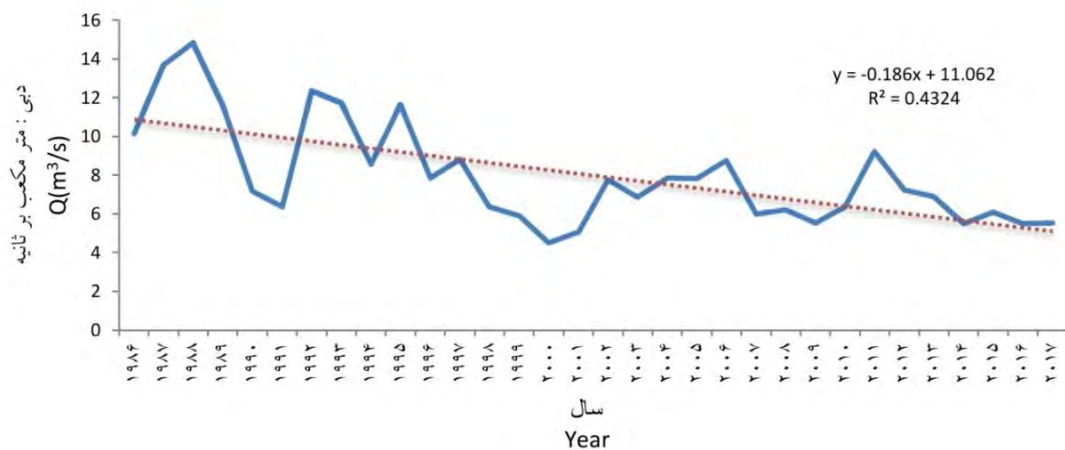
حوزه حبله‌رود در طول دهه‌های گذشته روند کاهش آبدهی شدیدی را تجربه کرده است (شکل ۲).

و اراضی زراعی نیز محدود به بستر دره‌ها و کنار رودخانه‌ها در بالادست و دشت‌های کوچک در پائین‌دست است و کاربری غالب منطقه مرتع است.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان تهران و کشور ایران.

Figure 1. Location of the study area.



شکل ۲- روند کاهش آبدهی سالانه ایستگاه هیدرومتری بنکوه در خروجی حوزه مورد مطالعه.

Figure 2. Declining trend of annual discharge at the Bonekouh hydrometry station at the outlet of the study watershed.

دور باشند تا بتوانند تغییرات را نشان دهند. هم‌چنین با توجه به این امر که در مناطق خشک پوشش گیاهی وابسته به بارش است، بنابراین باید سال‌هایی را انتخاب کرد که تقریباً شرایط بارندگی یکسان باشد تا بتوان به تغییرات ناشی از دخالت انسانی در منطقه پی برد. هم‌چنین انتخاب ماه‌های می تا سپتامبر نیز با توجه به این امر صورت گرفته که این ماه‌ها کم‌ترین پوشش ابر دارند و وضوح تصاویر ماهواره‌ای بالاتر است و در این ماه‌ها پوشش گیاهی در اوج رشد برگی است.

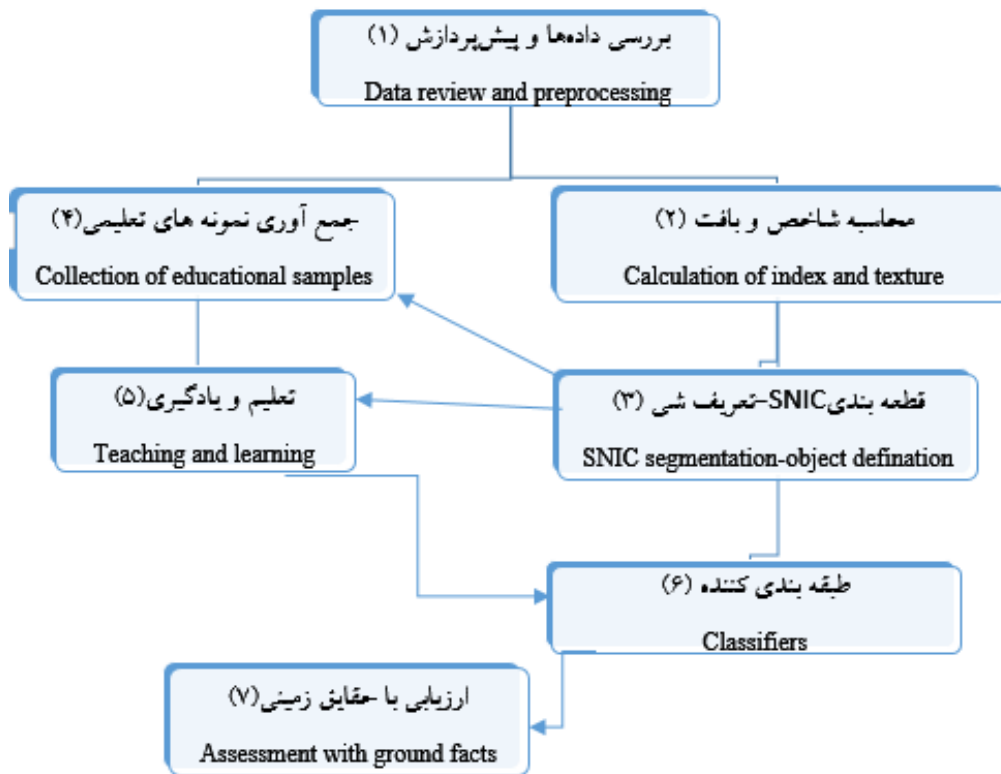
روند طبقه‌بندی یک فرایند چندمرحله‌ای است. سامانه گوگل ارث انجین (GEE) با ارائه یک محیط جامع، امکان طبقه‌بندی تصاویر را فراهم آورده است. این ابزار قابلیت‌هایی برای طبقه‌بندی نظارت‌نشده و نظارت‌شده، تجزیه و تحلیل داده‌های ورودی، ایجاد نمونه تعلیمی، یادگیری و طبقه‌بندی ارائه می‌کند. خلاصه مراحل انجام این بخش از پژوهش در شکل ۳ ارائه شده است. در شکل ۳، هدف از فرایند قطعه‌بندی^۶ گروه‌بندی پیکسل‌های مشابه براساس شباهت خصوصیات طیفی، مکانی و بافت است که با این روش عوارض مشابه به‌عنوان شیء ایجاد می‌گردد. یکی از روش‌های به‌کاررفته در این زمینه در سامانه GEE، روش قطعه‌بندی SNIC^۷ است که براساس جزئیات طیفی، جزئیات اطلاعات مکانی و حداقل تعداد پیکسل در هر قطعه، بخش‌های مشابه را به‌عنوان سگمنت (قطعه) شناسایی می‌کند. در این پژوهش، جزئیات طیفی و مکانی برابر ۴ و حداقل تعداد پیکسل برای هر قطعه، تعداد ۲۰ پیکسل (حدود ۱/۸ هکتار) است.

در این پژوهش، ابتدا سه طبقه کاربری اراضی اصلی شامل مناطق مسکونی، اراضی زراعی و اراضی مرتعی از طریق بازدید میدانی و استفاده از تصاویر گول‌ارث شناسایی شد و به‌صورت نمونه تعلیمی تعریف شدند و طبقه‌بندی طبقه‌های پوشش اراضی در سه مقطع زمانی با استفاده از طبقه‌بندی شیء‌گرا با فن طبقه‌بندی درخت تصادفی^۱ و با استفاده از تصاویر ماهواره لندست انجام شد. سپس، نقشه کاربری اراضی برحسب انواع طبقه‌بندی پراکنش کاربری اراضی در منطقه مورد مطالعه در طبقه‌های کاربری اراضی شامل اراضی زراعی آبی و دیم، اراضی مسکونی، اراضی مرتعی درجه ۱، ۲ و ۳ استخراج شد. اراضی مرتعی با انجام بازدید میدانی و استفاده از سامانه گول‌ارث برحسب میزان پوشش گیاهی منطقه، در سه سطح ضعیف، متوسط و خوب طبقه‌بندی شدند.

برای شناسایی کاربری اراضی با استفاده از طبقه‌بندی نظارت‌شده شیء‌گرا، از میانگین داده‌های تصاویر سری لندست (برگرفته از سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده)^۲ در فصل تابستان (ماه می تا ماه سپتامبر) سال‌های ۱۹۸۷ (۱۹۸۷/۵/۱ تا ۱۹۸۷/۹/۱)، (سنجنده TM^۳)، ۲۰۰۲ (۲۰۰۲/۵/۱ تا ۲۰۰۲/۹/۱)، (سنجنده ETM^۴)، ۲۰۱۹ (۲۰۱۹/۵/۱ تا ۲۰۱۹/۹/۱)، (سنجنده OLI^۵) استفاده شد. با توجه به این‌که طول دوره آماری در این مطالعه حدود سه دهه (سال ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۹) است، برای بررسی روند تغییرات کاربری اراضی در این دوره حداقل باید سه نقشه کاربری تهیه شود تا بتوان روند تغییرات را بررسی نمود. فاصله زمانی این سه نقشه نیز باید به‌گونه‌ای انتخاب شود که سال‌های انتخابی از لحاظ زمانی به‌اندازه کافی از هم

- 1- Random Forest
- 2- Earthexplorer.usgs.gov
- 3- Thematic Mapper
- 4- Enhanced Thematic Mapper Plus
- 5- Operational Land Imager

- 6- Segmentation
- 7- Simple Non-Iterative Clustering



شکل ۳- مراحل طبقه‌بندی نظارت‌شده.

Figure 3. The steps of supervised classification.

بررسی عملکرد یک طبقه‌بندی، باید دقت نقشه‌های پوشش زمینی حاصل از سنجنش‌ازدور ارزیابی گردد تا اعتبار آن مشخص گردد. جهت این کار به نقاط متعددی از واقعیت زمینی به عنوان نقشه حقایق زمینی^۵ نیاز است. در این پژوهش، نقشه حقایق زمینی با بررسی میدانی و تفسیر تصاویر با تفکیک مکانی زیاد (بزرگ مقیاس) یعنی گوگل‌مپ حاصل شد. برای تعیین دقت طبقه‌بندی روش طبقه‌بندی نظارت‌شده شیء‌گرا، ۳۰۰ نمونه تصادفی با پراکنش مناسب در منطقه مورد مطالعه انتخاب شد که به دو گروه (۷۰ درصد برای یادگیری و ۳۰ درصد برای ارزیابی) تقسیم شدند.

در طبقه‌بندی نظارت‌شده، نمونه‌های تعلیمی برای شناسایی طبقات (موضوعی) و محاسبه خصوصیات (علائم) آن‌ها استفاده می‌شوند. در هنگام تعریف نمونه تعلیمی، اندازه پیکسل در هر نمونه تعلیمی نباید بیش‌ازحد کوچک یا بزرگ باشد. برای طبقه‌بندی تصویر، ابزار طبقه‌بندی‌کننده جنگل تصادفی RF مورد استفاده قرار گرفته است. در این پژوهش از طبقه‌بندی شیء‌گرا براساس ویژگی‌هایی مانند اطلاعات طیفی، میانگین، انحراف معیار، میزان شباهت به دایره^۱ و شباهت به مربع^۲ بودن، اشیا استفاده شد. به‌طوری‌که، تابع طبقه‌بندی براساس دو معیار جزئیات طیفی (رنگ)^۳ و جزئیات مکانی (شکل^۴) تعیین گردید. برای

5- Ground Truth

1- Compactness
2- Rectangularity
3- Color
4- Shape

است، یعنی در آن هیچ دانش و آگاهی از موقعیت جغرافیایی کاربری‌های زمین وجود ندارد. برای پیش‌بینی موقعیت مکانی کاربری‌ها (نقشه پوشش و کاربری اراضی) در زمان آینده، مدل سلول خودکار به همراه این مدل به کار گرفته شد. بدین صورت که نقشه آینده کاربری اراضی با استفاده از نقشه شایستگی تبدیل کاربری تهیه می‌گردد. در واقع مدل سلول‌های خودکار مارکوف، مؤلفه‌های مکانی و دانش کاربر نسبت به توزیع مکانی احتمال تبدیل کاربری‌ها را به مدل زنجیره مارکوف اضافه می‌کند.

در این پژوهش، پس از آماده‌سازی داده‌های موردنیاز برای مدل، در ابتدا به منظور ارزیابی ماژول MOLUSCE در پیش‌بینی کاربری اراضی، با استفاده از نقشه کاربری اراضی مربوط به سال‌های ۱۹۸۷ و ۲۰۰۲، ماتریس تغییرات و هم‌چنین متغیرهای مکانی^۴ (نقشه رستری احتمال انتقال کاربری‌ها) که در این مطالعه شامل نقشه مدل رقومی ارتفاع، نقشه شیب، نقشه فاصله از رودخانه و فاصله از جاده می‌باشد، نقشه کاربری سال ۲۰۱۹ پیش‌بینی شد. سپس نقشه پیش‌بینی شده با نقشه اصلی مربوط به سال ۲۰۱۹ مورد مقایسه قرار گرفت. ضرایب به‌دست آمده برای صحت کلی (۰/۸۴) و ضریب کاپا (۰/۷۸) بیانگر توانایی قابل‌قبول ماژول MOLUSCE (تلفیق سلول‌های خودکار و زنجیره مارکوف) در پیش‌بینی نقشه کاربری اراضی دوره آتی بود. سپس به‌منظور پیش‌بینی نقشه کاربری اراضی آتی نقشه کاربری پایه‌ای که باید براساس آن پیش‌بینی آینده صورت گیرد به مدل وارد شده که به ترتیب برای پیش‌بینی، نقشه کاربری سال ۱۹۸۷ به عنوان نقشه شروع و وضعیت مرحله اول، نقشه کاربری سال ۲۰۱۹ به‌عنوان وضعیت نهایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. سپس ماتریس تغییرات و

ارزیابی تغییرات کاربری اراضی براساس زنجیره مارکوف انجام گرفت. زنجیره مارکوف مدلی ریاضی برای بیان یک فرایند تصادفی گسسته با خاصیت مارکوف است که از یک وضعیت (موقعیت یا مجموعه ارزش‌ها) به وضعیت دیگر تغییر می‌یابد (۱۵). به‌عنوان مثال رفتار یک کاربری اراضی در یک زمین خاص می‌تواند دارای وضعیت‌های مختلفی باشد. برای مثال اگر زمینی به‌صورت زراعی باشد می‌تواند به صورت دیم یا آبی زیر کشت قرار گیرد و یا وضعیت آن به سایر کاربری‌ها مانند مناطق مسکونی، مرتعی و جنگلی تبدیل گردد. این رفتارها یک فضای وضعیت^۱ را تشکیل می‌دهند که فهرستی از وضعیت‌های ممکن است. احتمال تغییر یک وضعیت به وضعیت دیگر را ضریب انتقال^۲ گویند، زنجیره‌های مارکوف از مدل‌های مهم برای پیش‌بینی احتمالی فرآیندهای تصادفی هستند که در آن‌ها حالت آینده یک سیستم به حالت فعلی آن بستگی دارد. در این پژوهش از ماژول MOLUSCE^۳ (جیسموندی و همکاران، ۲۰۱۴) که یکی از افزونه‌های نرم‌افزار سامانه اطلاعات مکانی QGIS برای شبیه‌سازی تغییرات اراضی و تحلیل وضعیت پویایی منطقه مورد مطالعه استفاده شد. این مدل از تلفیق سلول‌های خودکار و زنجیره مارکوف تشکیل شده است که برای پیش‌بینی تغییرات آینده پوشش و کاربری اراضی به کار می‌رود. در ابتدا با مدل زنجیره مارکوف احتمال تغییر طبقات نقشه کاربری به یکدیگر در قالب ماتریس احتمال تغییر وضعیت کاربری‌ها و بر مبنای تغییرات مساحتی به وقوع پیوسته بین دو زمان محاسبه می‌گردد. خروجی مدل مارکوف (ماتریس تغییر وضعیت کاربری‌ها) به لحاظ ماهیت غیرمکانی

1- State Space

2- Transition

3- Modules for Land Use Change Simulations

4- Spatial Variables

بررسی قرار گرفت و مطالعه جامع روی و همکاران (۲۰۱۶) به عنوان یک مطالعه پایه برای بررسی تفاوت‌های بین سنجنده‌های گروه لندست و معادلات همسان‌سازی آن‌ها مورداستفاده قرار گرفت (۲۵). هم‌چنین پیکسل‌های دارای ابرناکی با استفاده از کدهای محدودکننده از تصاویر استخراج شده به دست آمد تا تحلیل‌ها دچار عدم قطعیت کم‌تری باشد. در این مطالعه جهت بررسی روند تغییرات مکانی، در سامانه گوگل ارث انجین اقدام به پیاده‌سازی معادلات آماری شامل من کندال و تخمین‌گر slope Sen گردید تا روند تغییرات، شیب تغییرات و هم‌چنین معنی‌داری روند مورد بررسی قرار گرفته و به صورت مکانی نشان داده شود. آزمون Theil-Sen شیب میانه تغییرات در پیکسل‌ها را به صورت زوجی (بین دو تاریخ متوالی) محاسبه کرده و سری زمانی را با استفاده از یک روند خطی هموارسازی^۳ می‌کند. این آزمون یک آزمون ناپارامتریک است که برای سری‌های زمانی دارای نویز زیاد بسیار مؤثر و مناسب بوده که به داده‌های پرت حساس نیست (۲۶). در مطالعه حاضر نیز به دلیل وجود نویزهایی در سری زمانی که ناشی از عدم وجود تصاویر مناسب در برخی بازه‌های زمانی است، استفاده از این آزمون برای بررسی روند مناسب‌تر تشخیص داده شد. در این مطالعه به‌طورکلی ۲۸۵ تصویر ماهواره‌ای برای بررسی روند در بازه زمانی مطالعه مورداستفاده قرار گرفت. تصاویر در حد امکان به گونه‌ای انتخاب شدند که توزیع مناسبی در بین سال‌های مختلف داشته باشند.

هم‌چنین متغیرهای مکانی شامل نقشه مدل رقومی ارتفاع، نقشه شیب، نقشه فاصله از رودخانه و فاصله از جاده می‌باشد، وارد مدل شد. پس از اجرای مدل نقشه پیش‌بینی آینده (نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۵۱) تهیه شد.

بررسی روند تغییرات زمانی- مکانی شاخص تفاضل نرمال شده گیاهی: در این مطالعه، برای بررسی و ارزیابی روند تغییرات زمانی- مکانی شاخص تفاضل نرمال شده گیاهی در حوزه حبله‌رود، شاخص NDVI مورد استفاده قرار گرفته است. برای محاسبه شاخص NDVI از باندهای طیف مادون قرمز نزدیک (NIR) و قرمز (Red) استفاده می‌شود که دامنه تغییرات آن بین +۱ تا -۱ است و پوشش گیاهی سبز شاداب با ارزش‌های عددی مثبت نمایش داده می‌شود (۲۵).

در این مطالعه به منظور بررسی روند تغییرات زمانی- مکانی شاخص گیاهی تفاضلی نرمال شده از تصاویر ماهواره‌های لندست سری‌های ۵، ۷ و ۸ استفاده شد. به منظور دسترسی به این منابع اطلاعاتی و انجام همه مراحل پردازش و محاسبات آمار مکانی و استخراج روند تغییرات، سامانه گوگل ارث انجین مورد استفاده گرفت. از محصولات سطح دو بازتابش سطح ماهواره لندست^۱ (که تصحیح اتمسفری بر روی آن صورت گرفته) استفاده شد. همسان‌سازی^۲ تصاویر حسگرهای مختلف به دلیل تفاوت‌های موجود بین قدرت تفکیک رادیومتریک و ویژگی‌های سنجنده‌های مختلف لازم است تا تفاوت‌های طیفی موجود بین آن‌ها مورد بررسی قرار گیرد و برای تشکیل یک سری زمانی پیوسته از آن‌ها باید بین آن‌ها یک همخوانی ایجاد گردد. بدین‌منظور منابع اطلاعاتی مختلف مورد

3- Smoothing

1- Level-2 Surface Reflectance Collection
2- Harmonization

نتایج و بحث

در این پژوهش طبقه‌بندی کاربری اراضی در سه مقطع زمانی با استفاده از طبقه‌بندی شیء‌گرا و استفاده از داده‌های ماهواره لندست برای سال ۱۹۸۷، ۲۰۰۲ و ۲۰۱۹ انجام شد (شکل ۴) و نقشه کاربری اراضی برحسب انواع طبقه‌بندی پراکنش کاربری اراضی در منطقه مورد مطالعه در طبقات کاربری اراضی شامل اراضی زراعی آبی و دیم، اراضی مسکونی، اراضی مرتعی درجه ۱، ۲ و ۳ استخراج شد. برای تعیین دقت طبقه‌بندی روش طبقه‌بندی نظارت‌شده شیء‌گرا، نمونه‌گیری تصادفی از نقشه حقایق زمینی صورت گرفت و به دو گروه (۷۰ درصد برای یادگیری و ۳۰ درصد برای ارزشیابی) تقسیم شدند، نتایج مربوط به بررسی دقت طبقه‌بندی در جدول ۱ بیان شده است. نتایج ارزیابی با حقایق زمینی نشان داد که روش و فن مورد استفاده دارای درصد صحت کلی بیش از ۸۸ و ضریب کاپای بیش از ۰/۸۶ در تمام مقاطع زمانی مورد بررسی است که بیانگر کارایی بالای فن مورد استفاده در این پژوهش است. نتایج به‌دست‌آمده در این بخش از پژوهش با نتایج مطالعات چن و همکاران (۲۰۰۹)، لی و همکاران (۲۰۱۶) و

حاجی‌بیگلو و همکاران (۲۰۲۲) که بیانگر برتری روش شیء‌گرا در طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای بوده است، مطابقت دارد. مساحت هر کاربری اراضی برای سال‌های ۱۹۸۷، ۲۰۰۲ و ۲۰۱۹ برحسب کیلومتر مربع و نیز تغییرات کاربری اراضی در دوره‌های مورد بررسی در جدول ۲ بیان شده است. پس از تهیه نقشه کاربری اراضی مربوط به سال‌های ۱۹۸۷، ۲۰۰۲ و ۲۰۱۹، (شکل‌های ۴ و ۵)، با استفاده از ماژول MOLUSCE، نقشه کاربری اراضی مربوط به سال ۲۰۵۱ به‌دست آمد که در شکل ۶ مشاهده می‌شود. هم‌چنین تغییرات کاربری اراضی حوزه حبله‌رود طی دوره ۲۰۱۹ تا ۲۰۵۱ بررسی شده است که نتایج مربوط به بررسی تغییرات کاربری اراضی در سال ۲۰۵۱ نسبت به سال ۲۰۱۹ در جدول ۲ نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود با توجه به نقشه پیش‌بینی‌شده و در صورت تداوم روند موجود، اراضی زراعی آبی، مناطق مسکونی، اراضی مرتعی درجه ۲ و ۳ دارای روند افزایشی خواهند بود. اما اراضی مرتعی درجه ۱ و اراضی زراعی دیم دارای روند کاهشی می‌باشند.

جدول ۱- دقت طبقه‌بندی نظارتی شیء‌گرا در برآورد انواع کاربری اراضی.

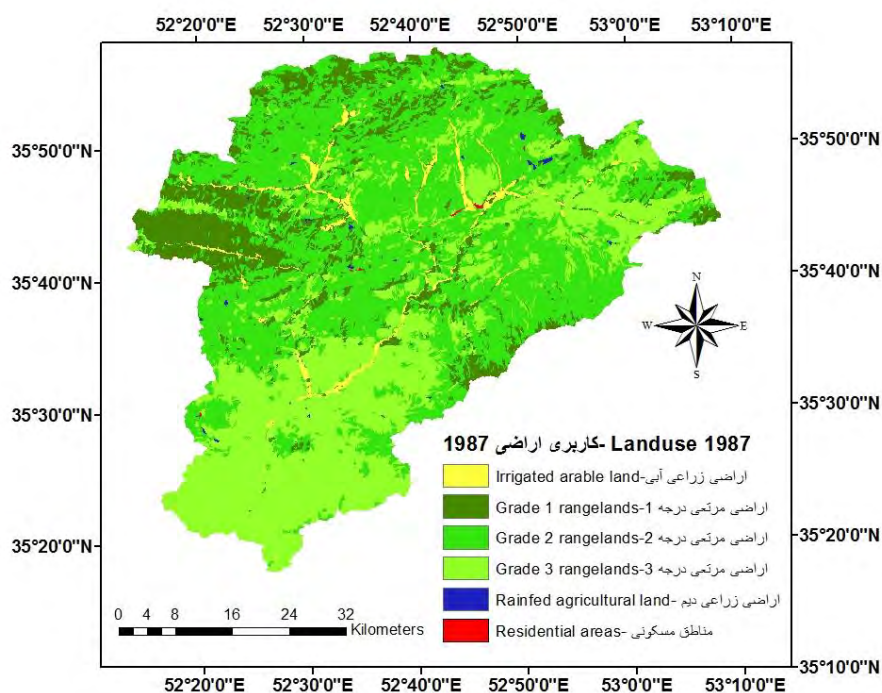
Table 1. Accuracy of object-oriented supervised classification in estimating land use types.

رویکرد شیء‌گرا Object-oriented approach			معیار ارزیابی Evaluation criteria
2019	2002	1987	
88.48	91.95	95.53	صحت کلی (درصد) Overall accuracy %
86.06	90.08	94.31	ضریب کاپا (درصد) Kappa coefficient

جدول ۲- مساحت سطح پوشش هر کاربری اراضی برای سال‌های ۱۹۸۷، ۲۰۰۲، ۲۰۱۹ و ۲۰۵۱ برحسب کیلومتر مربع و تغییرات کاربری اراضی در دوره‌های مورد بررسی در حوزه حبله‌رود.

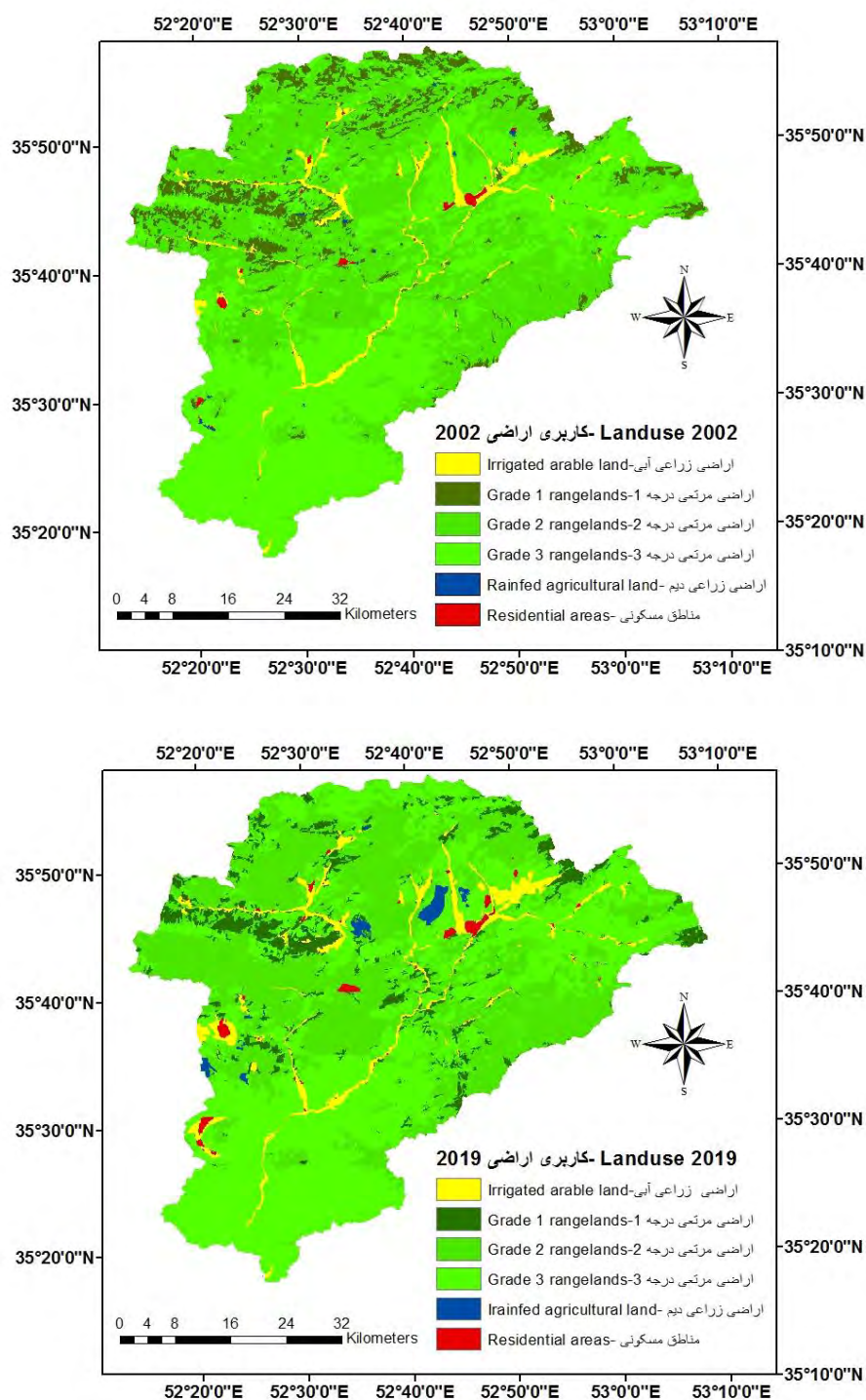
Table 2. Area coverage of each land use for the years 1987, 2002, 2019 and 2051 in terms of square kilometers and land use changes in the studied periods in the Hablehroud basin.

تغییرات (کیلومتر مربع) Changes (square kilometers)			مساحت (کیلومتر مربع) Area (square kilometers)				کاربری اراضی Land use
2051-2019	2019-2002	2002-1987	2051	2019	2002	1987	
19.88	38.11	29.34	162.32	142.41	104.3	74.96	اراضی زراعی آبی irrigated arable land
-2.16	21.71	-1.04	23.55	25.69	3.99	5.03	اراضی زراعی دیم rainfed agricultural land
-127.55	-36.29	-204.44	86.15	213.56	429.83	454.23	اراضی مرتعی درجه ۱ grade 1 rangelands
52.02	-98.27	-97.88	1436.83	1384.07	1482.31	1580.38	اراضی مرتعی درجه ۲ grade 2 rangelands
56.95	64.04	263.59	1499.81	1441.73	1377.59	1114	اراضی مرتعی درجه ۳ grade 3 rangelands
0.85	10.71	10.43	24.26	23.40	12.69	2.27	مناطق مسکونی residential areas



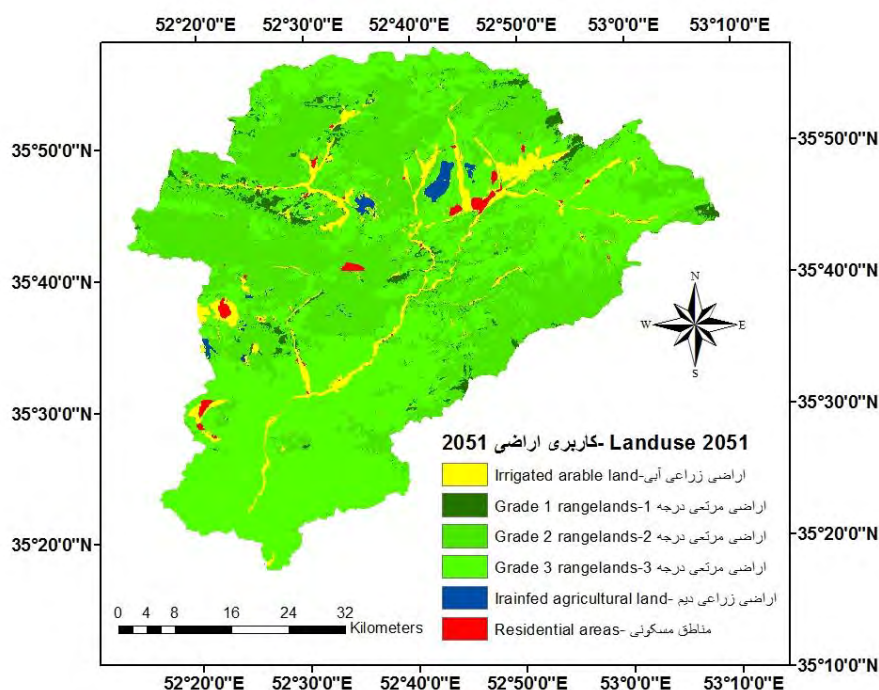
شکل ۴- نقشه کاربری اراضی سال‌های ۱۹۸۷.

Figure 4. Land use map of the study area on the year 1987.



شکل ۵- نقشه کاربری اراضی سال های ۲۰۱۹ و ۲۰۰۲.

Figure 5. Land use map of the study area on the years 2002 and 2019.



شکل ۶- نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۵۱.

Figure 6. Land use map of the study area on the year 2051.

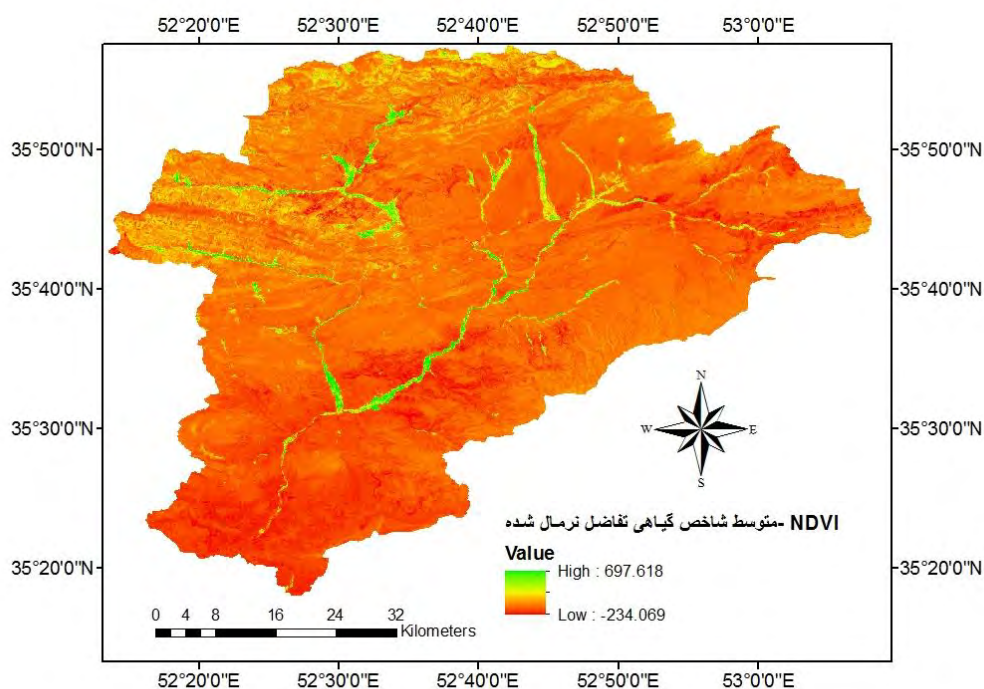
اراضی مسکونی نیز دارای روند افزایشی خواهند بود. نتایج به‌دست آمده در رابطه با تغییرات کاربری اراضی در این مطالعه با نتایج مطالعات پیشین در کشور از جمله فیضی‌زاده (۲۰۱۷) که در مطالعه خود در حوزه سد علویان افزایش اراضی باغی، تخریب و تبدیل اراضی مرتعی خوب را گزارش کرده است (۱۶)، مطالعه اندریانی و همکاران (۲۰۱۸) در حوزه آبخیز زیلبرچای که پیش‌بینی کرده است در طول سال‌های آتی مساحت کاربری‌های مسکونی، زراعت آبی و باغات افزایش خواهد یافت (۱۷) و شفیع‌ی و همکاران (۲۰۱۹) که در مطالعه خویش در محور کلان شهر تهران- دماوند کاهش پوشش‌های گیاهی و افزایش مناطق مسکونی را پیش‌بینی کرده‌اند (۱۸)، همخوانی دارد. هم‌چنین با نتایج مطالعات دَوم و همکاران (۲۰۲۲) که پیش‌بینی کرده‌اند در بخش شمالی منطقه رودخانه‌های جنوبی واقع در جنوب

همان‌طور که مشاهده می‌شود در سال ۲۰۱۹ نسبت به سال ۱۹۸۷ شاهد افزایش اراضی زراعی آبی در حدود ۵,۶۷ کیلومترمربع، افزایش اراضی زراعی دیم در حدود ۲۰ کیلومترمربع و افزایش مناطق مسکونی در حدود ۲۱ کیلومترمربع می‌باشیم؛ اما اراضی مرتعی درجه ۱ و ۲ کاهش یافته که این کاهش در اراضی مرتعی درجه ۱ حدود ۲۴۰ کیلومترمربع و در اراضی مرتعی درجه ۲ حدود ۱۹۶ کیلومترمربع می‌باشد. در حالی‌که اراضی مرتعی درجه ۳ افزایشی حدود ۳۲۷ کیلومترمربع داشته است. در صورت تداوم این روند در سال ۲۰۵۱ نسبت به سال ۲۰۱۹ شاهد افزایش اراضی زراعی آبی در حدود ۲۰ کیلومترمربع، کاهش اراضی زراعی دیم در حدود ۲ کیلومترمربع و کاهش اراضی مرتعی درجه ۱ در حدود ۱۲۷ کیلومترمربع خواهیم بود؛ اما اراضی مرتعی درجه ۲ و ۳ هرکدام در حدود ۵۰ کیلومترمربع افزایش می‌یابد.

که بیش‌ترین میزان تراکم پوشش گیاهی در اطراف آبراه‌های اصلی و مناطقی است که کشاورزی در آن مناطق رواج دارد (شکل ۷). به‌طورکلی حبله‌رود از نظر اقلیمی و پوشش گیاهی عمدتاً منطقه‌ای خشک و با پوشش گیاهی کم به حساب می‌آید، بنابراین تراکم پوشش گیاهی بستگی زیادی به وجود یا عدم وجود بدنه‌های آبی هم‌چون رودخانه‌ها و چشمه‌ها دارد.

غرب سنگال و گینه‌بیسائو، پوشش گیاهی تا سال ۲۰۳۵ کاهش شدیدی را تجربه خواهند کرد (۲۱) و دابا و همکاران (۲۰۲۲) در قسمت بالایی رودخانه آواش کشور اتیوپی گسترش کشاورزی و شهرنشینی را پیش‌بینی کرده‌اند (۲۳)، همخوانی دارد.

نتایج بررسی مکانی وضعیت شاخص گیاهی تفاضلی نرمال شده در حوزه حبله‌رود نشان می‌دهد



شکل ۷- متوسط سالانه شاخص NDVI برای حوزه حبله‌رود (۱۹۸۷-۲۰۱۹).

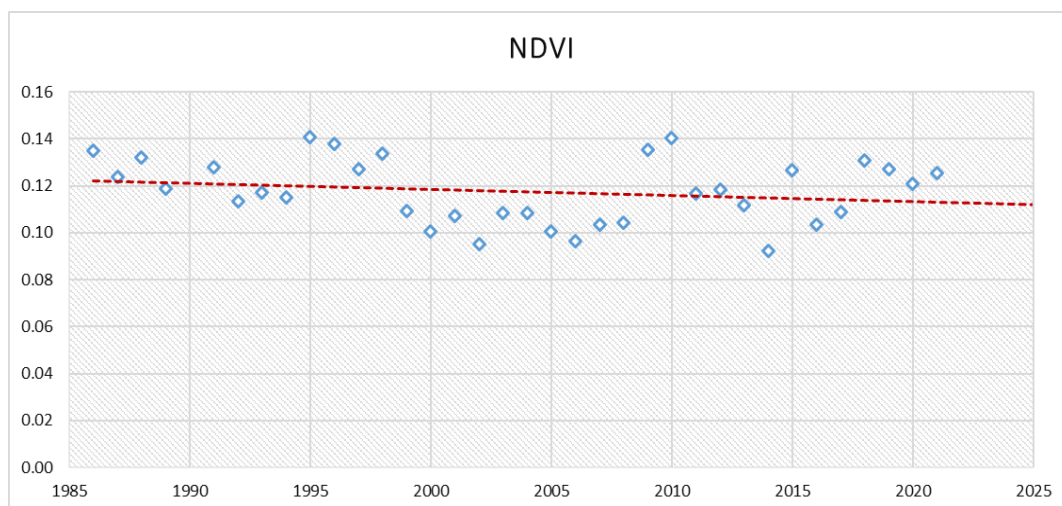
Figure 7. Annual mean values of NDVI index for the Hablehroud River basin (1987-2019).

گیاهی و رنگ قرمز نشان‌دهنده مناطق دارای روند تغییرات منفی پوشش گیاهی است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در نیمه شمال‌غربی حوزه شاخص پوشش گیاهی نرمال‌شده تغییرات (چه مثبت و چه منفی) بیش‌تری را تجربه کرده است. شدیدترین کاهش‌ها در مسیر دره‌ها به‌ویژه در نیمه شمالی حوزه اتفاق افتاده است. این نتیجه شاید بیانگر از بین رفتن جوامع گیاهی رودکناری در اثر تجاوز به حریم

بررسی روند تغییرات زمانی شاخص گیاهی تفاضلی نرمال‌شده حوزه حبله‌رود نشان می‌دهد در طی زمان پوشش گیاهی حوزه روندی نزولی را تجربه کرده است (شکل ۸). روند تغییرات با استفاده از روش تخمین‌گر Sen's slope به‌صورت مکانی استخراج‌شده و روی نقشه نمایش داده‌شده است (شکل ۹). در طیف رنگی ارائه‌شده، رنگ سبز نشان‌دهنده مناطق دارای روند تغییرات مثبت پوشش

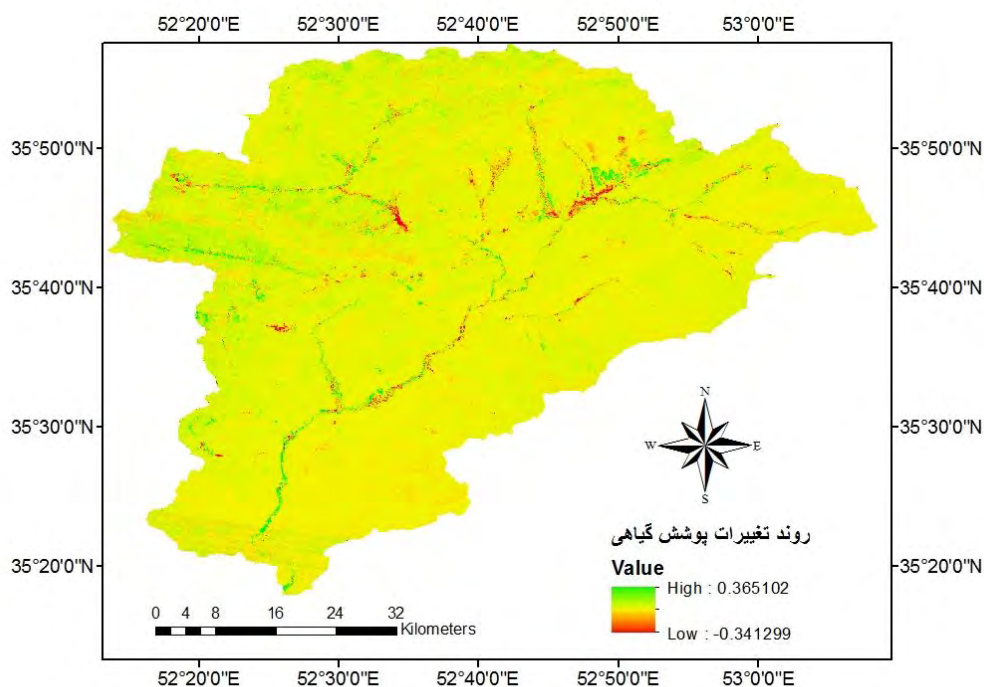
در نتیجه افزایش متوسط شاخص تفاضل گیاهی نرمال شده در طی زمان شده است. پیانو و همکاران (۲۰۲۰) نیز گزارش کرده‌اند که شدت بخشیدن به فعالیت‌های کشاورزی مانند کشت در مقاطع زمانی مختلف سال، آبیاری و استفاده از حاصلخیزکننده‌ها می‌تواند به افزایش پوشش گیاهی کمک کند (۲۹). همان‌طور که ملاحظه می‌شود مداخلات انسانی گسترده در آبخیزها علاوه بر تغییرات کاربری اراضی باعث سیر قهقرایی در وضعیت پوشش گیاهی طبیعی آبخیزها شده است که پیامدهای زیست‌محیطی متعددی هم‌چون افزایش سیلاب، تخریب خاک و تولید رسوب را به بار می‌آورد؛ بنابراین بهینه‌سازی وضعیت کاربری اراضی و پوشش گیاهی آبخیزها از طریق تدوین و اجرای برنامه آمایش سرزمین نیازمند آشکارسازی، کمی‌سازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی و پوشش گیاهی آبخیزها می‌باشد (۳۰).

رودخانه‌ها باشد که نیازمند بررسی‌های بیشتر می‌باشد. تغییراتی که در پوشش گیاهی رخ می‌دهد عموماً به دلیل دخالت مستقیم انسان یا متغیرهای غیرمستقیم مثل تغییرات اقلیمی است (۲۷، ۲۸ و ۲۹). بررسی روند تغییرات پوشش گیاهی نشان می‌دهد مناطقی که توسط انسان برای ساخت‌وساز یا احداث سد در نظر گرفته شده به شکل معنی‌داری دچار تغییرات منفی هستند. هم‌چنین روند تغییرات آبدی حوزة می‌تواند منعکس‌کننده روند نزولی بارش‌ها و در نتیجه تأثیر متغیرهای اقلیمی بر کاهش پوشش گیاهی در حوزة باشد. مداخلاتی مثل چرای بیش‌ازحد دام‌ها در دهه‌های گذشته، تغییرات طولانی‌مدت بارش و تغییرات اقلیمی از جمله متغیرهای مؤثر بر پوشش گیاهی در حبله‌رود هستند. در اطراف آبراهه‌های اصلی نیز به دلیل مناسب بودن شرایط رطوبتی و شیب کم اراضی اقدام به افزایش فعالیت‌های کشاورزی و



شکل ۸- نمودار روند تغییرات شاخص گیاهی تفاضلی نرمال شده حوزة حبله‌رود طی دهه‌های گذشته.

Figure 8. Trend chart of average changes in normalized vegetation index of Hablehroud basin during the past decades.



شکل ۹- توزیع مکانی تغییرات شاخص پوشش گیاهی نرمال‌شده حوزه حبله‌رود.

Figure 9. Spatial distribution of the changes for the normalized vegetation index across the Hablehroud basin.

دیم خیلی زیاد نیست. هرچند مساحت آن در طول زمان افزایش پیدا کرده و از ۵ کیلومترمربع در سال ۱۹۸۷ به ۲۵ کیلومترمربع در سال ۲۰۱۹ رسیده است. به عبارتی مساحت آن در طول سه دهه ۵ برابر شده است. پوشش گیاهی طبیعی حوزه نیز که مرتعی است سیر قهقرایی را طی کرده است. به طوری که در طول زمان از مساحت مراتع مرغوب (درجه ۱) و متوسط (درجه ۲) کاسته شده و بر مساحت مراتع فقیر (درجه ۳) افزوده شده است. مساحت اراضی مسکونی حوزه اگرچه درصد بسیار ناچیزی از مساحت کل حوزه را تشکیل می‌دهد اما در طول سه دهه رشد ۱۰ برابری را طی کرده است. علاوه بر بررسی تغییرات طبقه‌های کاربری اراضی، روند تغییرات زمانی- مکانی شاخص تفاضل نرمال‌شده تراکم گیاهی (NDVI) در حوزه حبله‌رود مورد بررسی قرار گرفت. روند تغییرات شاخص NDVI در طول دوره آماری برای تک‌تک

نتیجه‌گیری کلی

منطقه مطالعاتی این پژوهش در بخش بالادست حوزه حبله‌رود تا ایستگاه بنکوه واقع شده است که یکی از مناطق مهم مرتعی بوده که در چند دهه اخیر شاهد افزایش جمعیت و فزونی تغییرات کاربری اراضی بوده است. تغییرات کاربری اراضی یکی از شاخص‌های اصلی برای اثبات مداخلات انسانی در حوزه‌های آبخیز است. نتایج بررسی تغییرات کاربری اراضی در این حوزه آبخیز نشان داد که مساحت اراضی زراعی در طول زمان افزایش بسیار زیادی داشته است به طوری که مساحت اراضی زراعی آبی از ۷۵ کیلومترمربع در سال ۱۹۸۷ به ۱۴۲ کیلومترمربع در سال ۲۰۱۹ افزایش پیدا کرده است. به عبارتی در طول سه دهه مساحت اراضی زراعی آبی (زراعت آبی و باغات) تقریباً دو برابر شده است. با توجه به وضعیت اقلیمی و فیزیوگرافی منطقه، مساحت اراضی زراعی

تدوین و اجرای برنامه آمایش سرزمین و راهکارهای بهینه‌سازی و صرفه‌جویی در مصرف آب در این حوزه آبخیز باشد.

تقدیر و تشکر

این پژوهش در قالب رساله دکتری و طرح پژوهشی با حمایت شرکت آب منطقه‌ای تهران صورت گرفته است. نویسندگان از شرکت آب منطقه‌ای تهران و معاونت پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان که موجبات تسهیل انجام این تحقیق را فراهم نموده‌اند تشکر می‌نمایند.

داده‌ها و اطلاعات

داده‌های این پژوهش مربوط به رساله دکتری نویسنده اول است که با مکاتبه با نویسنده اول قابل دسترسی می‌باشند.

تضاد منافع

در این مقاله تضاد منافی وجود ندارد و این مسأله مورد تأیید همه نویسندگان است.

مشارکت نویسندگان

نویسنده اول: تهیه و آماده‌سازی داده‌ها، تهیه نقشه‌ها، مدل‌سازی و انجام محاسبات و نگارش مقاله
 نویسنده دوم: راهنمایی و نظارت بر مبانی و مفاهیم پژوهش، ایده پردازی، بازبینی و اصلاح نگارش مقاله
 نویسنده سوم: ارائه مشاوره در خصوص مبانی و مفاهیم پژوهش
 نویسنده چهارم: ارائه مشاوره در خصوص مبانی و مفاهیم پژوهش
 نویسنده پنجم: مشاوره در انجام پژوهش
 نویسنده ششم: مشارکت در انجام محاسبات شاخص NDVI

سلول‌ها با استفاده از آزمون من-کندال و شیب سن محاسبه گردید. نتایج به دست آمده بیانگر سیر نزولی معنادار متوسط شاخص NDVI حوزه است که نشان می‌دهد در طول زمان پوشش گیاهی منطقه سیر قهقرایی را طی کرده است. از نظر مکانی سیر قهقرایی پوشش گیاهی در اطراف مناطق مسکونی و قسمت‌های پایین دست (جنوب حوزه) حوزه شدیدتر است. البته مقدار این شاخص در اطراف آبراهه‌ها و رودخانه‌ها که زراعت آبی و کشت باغات گسترش پیدا کرده است سیر صعودی نشان می‌دهد. بیشترین افزایش این شاخص در غرب حوزه اتفاق افتاده است. با بررسی روند تغییرات کاربری اراضی حوزه حبله رود مشاهده می‌شود که در اثر مداخلات انسانی گسترده، در بخش‌های قابل ملاحظه‌ای از سطح حوزه، پوشش گیاهی طبیعی با پوشش‌های زراعی، باغی و مسکونی جایگزین شده است. علاوه بر تغییرات در نوع کاربری اراضی، کیفیت پوشش طبیعی غالب منطقه (مرتع) نیز سیر قهقرایی معناداری را طی کرده است. مسلماً این تغییرات در نوع و کیفیت پوشش گیاهی منطقه که دارای اقلیم خشک و توپوگرافی شدید است تأثیر زیادی بر رژیم هیدرولوژیکی و ارائه خدمات بوم‌سازگانی متنوع حوزه گذاشته است. امروزه، پیامد این تغییرات در شرایط پوشش گیاهی طبیعی به همراه پیامدهای تغییرات اقلیمی به صورت کاهش شدید آبدهی رودخانه‌های حوزه حبله رود و گسترش تعارض بین ذینفعان و ذی‌دخلان در مقوله مدیریت و بهره‌برداری از منابع آب بین دو استان تهران (بالادست) و سمنان (پایین دست) نمود پیدا کرده است؛ بنابراین با توجه به روند افزایش جمعیت، گسترش شهرنشینی و توسعه صنایع و گردشگری در منطقه پیشنهاد می‌گردد تمرکز اصلی سیاست‌ها و اقدامات مدیریتی روی برنامه‌ریزی مؤثر به‌ویژه مدیریت و بهینه‌سازی مداخلات انسانی از طریق

اصول اخلاقی

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این اثر علمی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آن‌ها می‌باشد.

حمایت مالی

این پژوهش با حمایت مالی شرکت آب منطقه‌ای تهران در قالب یک طرح تحقیقاتی صورت گرفته است.

منابع

1. Pal, M., and Mather, P.M. 2005. Support Vector Machines for Classification in Remote Sensing. *International Journal of Remote Sensing*. 26: 5. 1007-1011.
2. Soltani, N., and Mohammadnejad, V. 2021. Efficiency of Google Earth Engine (GEE) system in land use change assessment and predicting it using CA-Markov model (Case study of Urmia plain). *Journal of RS and GIS for Natural Resources*. 12: 3. 101-114.
3. Deilmai, B.R., Ahmad, B.B., and Zabihi, H. 2014. Comparison of two classification methods (MLC and SVM) to extract land use and land cover in Johor Malaysia. In *IOP conference series: Earth and environmental science*. 20: 1. 012052.
4. Jensen, J.R. 1996. *Introductory digital image processing: a remote sensing perspective*. Univ. of South Carolina, Columbus. 2. 318.
5. Blaschke, T. 2010. Object based image analysis for remote sensing. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 65: 1. 2-16.
6. Li, M., Zang, Sh., Zhang, B., Li, Sh., and Wu, Ch. 2014. A review of remote sensing image classification techniques: The role of spatio-contextual information. *European Journal of Remote Sensing*. 47: 389-411.
7. Liu, Q., Guo, Y., Liu, G., and Zhao, J. 2014. Classification of Landsat 8 OLI image using Support Vector Machine with Tasseled Cap transformation. In *2014 10th International Conference on Natural Computation (ICNC)*. pp. 665-69.
8. Szuster, B.W., Chen, Q., and Borger, M. 2011. A comparison of classification techniques to support land cover and land use analysis in tropical coastal zones. *Applied Geography*. 31: 2. 525-532.
9. Li, M., Ma, L., Blaschke, T., Cheng, L., and Tiede, D. 2016. A systematic comparison of different object-based classification techniques using high spatial resolution imagery in agricultural environments. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 49: 87-98.
10. Chen, M., Su, W., Li, L., Zhang, C., Yue, A., and Li, H. 2009. Comparison of pixel-based and object oriented knowledge-based classification methods using SPOT5 imagery. *WSEAS Transactions on Information Science and Applications*. 3: 6. 477-489.
11. Hajibigloo, M., Sheikh, V., Memarian, H., Komaki, C.B. 2022. A comprehensive assessment and modeling of land use changes in a flood-prone watershed, northeast of Iran. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*. 50: 6. 1101-1118.
12. Lambin, E.F., Turner, B.L., Geist, H.J., Agbola, S.B., Angelsen, A., Bruce, J.W., ... and Xu, J. 2001. The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Global Environmental Change*. 11: 4. 261-269.
13. Brown, D.G., Pijanowski, B.C., and Duh, J.D. 2000. Modeling the relationships between land use and land cover on private lands in the Upper Midwest, USA. *Journal of Environmental Management*. 59: 4. 247-263.
14. Shaabani, H.M. 2003. Investigating the impact of land use change on sedimentation in watersheds (case study: Taleghan watershed). Master thesis, Natural Resources faculty, Tehran University. 145p. (In Persian)
15. Muller, M.R., and Middleton, J. 1994. A Markov model of land-use change dynamics in the Niagara Region, Ontario, Canada. *Landscape Ecology*. 9: 2. 151-157.

16. Feizizadeh, B. 2017. Modeling the Trends of the Land Use/Cover Change and Its Impacts on the Erosion System of the Allavian Dam Based on the Remote Sensing and GIS Techniques. *Hydrogeomorphology*. 4: 11. 21-38. (In Persian)
17. Andriani, S., Nikjo, M., Rezai Moghadam, M.H., and Mokhtari, D. 2018. Analysis of land use changes using object-oriented methods and Markov chain in Zilbirchai watershed located in East and West Azerbaijan. *Geography and Development Quarterly*. 16: 53. 37-50.
18. Shafiee Sabet, N., Mohammadi, Sh., and Ashkan. 2019. Detection and prediction of land use changes using CA-Markov model (case study: Tehran-Damavand). *Journal of Geographical Information*. 28: 111. 175-190. (In Persian)
19. Aghaei, M., Khavarian, H., and Mostafazadeh, R. 2020. Prediction of Land Use Changes Using the CA-Markov and LCM Models in the Kozehtopraghi Watershed in the Province of Ardabil. *Watershed Management Research Journal*. 33: 3. 91-107. (In Persian)
20. Wang, S.W., Munkhnasan, L., and Lee, W.K. 2021. Land use and land cover change detection and prediction in Bhutan's high altitude city of Thimphu, using cellular automata and Markov chain. *Environmental Challenges*, 2, 100017.
21. Dome, T.I.N.E., Gayane, F.A.Y.E., Guilgane, F.A.Y.E., Ndour, M.M.M.E., and Mbagnick, F.A.Y.E. 2022. Detection and predictive modeling of land use changes by CA-Markov in the northern part of the Southern rivers: From Lower Casamance to Geba river (Guinea Bissau). *Journal of Ecology and the Natural Environment*. 14: 1. 1-14.
22. Muhammad, R., Zhang, W., Abbas, Z., Guo, F., and Gwiazdzinski, L. 2022. Spatiotemporal change analysis and prediction of future land use and land cover changes using QGIS MOLUSCE plugin and remote sensing big data: A case study of Linyi, China. *Land*. 11: 3. 419.
23. Daba, M., Ekonnen H., and Songcai, Y. 2022. Quantitatively assessing the future land use/land-cover changes and their driving factors in the upper stream of the Awash River based on the CA-Markov model and their implications for water resources management. *Sustainability*. 14: 3. 1538.
24. Sheikh, V., Zare Garizi, A., Elwandi, E., Asadi Nelivan, O., Khosravi, G., Saaduddin, A., and Ong, M. 2018. Collaborative location of proposed solutions to manage the Hablehroud watershed. *Watershed Research*. 32: 4. 2-18. (In Persian)
25. Roy, D.P., Kovalsky, V., Zhang, H.K., Vermote, E.F., Yan, L., Kumar, S.S., and Egorov, A. 2016. Characterization of Landsat-7 to Landsat-8 reflective wavelength and normalized difference vegetation index continuity. *Remote sensing of Environment*. 185: 57-70.
26. Wingate, V.R., Phinn, S.R., and Kuhn, N. 2019. Mapping precipitation-corrected NDVI trends across Namibia. *Science of the Total Environment*. 684: 96-112.
27. Song, X.P., Hansen, M.C., Stehman, S.V., Potapov, P.V., Tyukavina, A., Vermote, E.F., and Townshend, J.R. 2018. Global land change from 1982 to 2016. *Nature*. 560: 7720. 639-643.
28. Allen, C.D., Macalady, A.K., Chenchouni, H., Bachelet, D., McDowell, N., Vennetier, M., ... and Cobb, N. 2010. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest ecology and management*. 259: 4. 660-684.
29. Piao, S., Wang, X., Park, T., Chen, C., Lian, X.U., He, Y., ... and Myneni, R.B. 2020. Characteristics, drivers and feedbacks of global greening. *Nature Reviews Earth and Environment*. 1: 1. 14-27.
30. Sheikh, V., Salmani, H., Salman Mahiny, A., Ownegh, M., and Fathabadi, A. 2021. Land use optimization through bridging multiobjective optimization and multicriteria decision-making models (case study: Tilabad Watershed, Golestan Province, Iran). *Natural Resource Modeling*. 34: 2. 1-28.

Evaluation of the influence of water management and different methods of nitrogen application on rice yield and water use efficiency

Samira Ziaefar¹, Hosein Khozaymehnezhad^{*2}, Hassan Alinezhad³,
Abdullah Darzi-Naftchali⁴

1. Ph.D. Student in Water Resources Engineering, Dept. of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Birjand University, Birjand, Iran (Expert, Dept. of Water Engineering, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran). E-mail: ssziaefar@birjand.ac.ir
2. Corresponding Author, Associate Prof., Dept. of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran. E-mail: hkhoyemeh@birjand.ac.ir
3. M.Sc. Graduate of Irrigation and Drainage, Dept. of Water Engineering, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. E-mail: hassanlinejad70@gmail.com
4. Associate Prof., Dept. of Water Engineering, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. E-mail: abdullahdarzi@yahoo.com

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Full Paper	Background and Objectives: Simultaneous improvement of water and nitrogen use efficiency in paddy fields is necessary to reduce the environmental- related issues. Rice, as one of the most important crop, provides the main food of more than half of the world's population. According to the latest available statistics, in the crop year 2017-2018, the rice cultivated area the country was 622991 ha, which mainly belonged to the five provinces of Gilan (35.3%), Mazandaran (34.3%), Khuzestan (10.9%), Golestan (9.9%) and Fars (3.4%). Among different provinces, Mazandaran province is the main producer of rice in the country with the production of 1113715 tons of rice. Additionally, rice is the predominant crop in Mazandaran province.
Article history: Received: 02.27.2022 Revised: 06.24.2022 Accepted: 07.20.2022	
Keywords: CERES-RICE model, Irrigation frequency, Nitrogen use efficiency, Rice yield, Water management	
	Materials and Methods: The required field data of Daylamani rice cultivar were obtained during two rice growing seasons (2011-2012) from one ha consolidated paddy field in Sari, Mazandaran province. Data from 2011 were used for calibration and data from 2012 were used for validation of the CERES-Rice model of DSSAT V4.7.5 software package. By using the validated model, the effect of different scenarios of water and nitrogen fertilizer management on water use efficiency (WUE), economic water use efficiency (EWP), physiological efficiency of nitrogen consumption for grain production (NUEg), harvest index and nitrogen harvest index (NHI) were evaluated. The calibrated model was then applied to evaluate the combined effect of three types of irrigation management including continuous flooding (I ₁), intermittent irrigation with 5 (I ₂) and 8 (I ₃) days irrigation frequency and six N fertilizer management treatments including N ₁ (50% at planting (P), 25% at tillering (T) and 25% at clustering (C)), N ₂ (25% at P, 50% at T and 25% C), N ₃ (25% at P, 25% C and 50% at T), N ₄ (fertilization at C), N ₅ (fertilization at T) and N ₆ (fertilization at P).
	Results: The minimum (832 kg/ha) and maximum (3640 kg/ha) grain yield were obtained in I ₁ N ₆ and I ₃ N ₅ , respectively. The simulations showed that the effect of fertilization time and type of irrigation were not independent of each other. I ₃ N ₅ resulted in maximum HI (0.39), minimum soil evaporation (173.4 mm), maximum WUE (one kg/m ³), maximum EWP

(12×10^4 Rials/m³), minimum nitrate losses (52.47 kg/ha), the highest nitrogen fertilizer uptake (99 kg/ha), maximum NUEg (one) and minimum nitrogen stress (0.05). Also, the maximum NHI (0.37) belonged to the I₂N₅ treatment.

Conclusion: Based on the results, among the applied managements, according to the components of crop yield, harvest index, water productivity, EWP, NUEg, nitrogen uptake, nitrate leaching and NHI, 8 days irrigation frequency was the best option in terms of irrigation management. Also, the use of I₃N₅ treatment as a superior combined-treatment under both fertilizer and irrigation management in the present study is recommended in terms of water and N use efficiency in the paddy fields of the province.

Cite this article: Ziaefar, Samira, Khozaymehnezhad, Hosein, Alinezhad, Hassan, Darzi-Naftchali, Abdullah. 2022. Evaluation of the influence of water management and different methods of nitrogen application on rice yield and water use efficiency. *Journal of Water and Soil Conservation*, 29 (2), 135-154.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/jwsc.2022.19993.3540

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

ارزیابی تأثیر مدیریت آب و روش‌های مختلف عرضه کود نیتروژن بر کارایی مصرف آب و عملکرد برنج

سمیرا ضیایی فر^۱ ID، حسین خزیمه‌نژاد^{۲*} ID، حسن علی نژاد^۳ ID، عبدالله درزی نفتچالی^۴ ID

۱. دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران (کارشناس گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران). رایانامه: ssziaeifar@birjand.ac.ir
۲. نویسنده مسئول، دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران. رایانامه: hkhozeymeh@birjand.ac.ir
۳. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. رایانامه: hassanalinejad70@gmail.com
۴. دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. رایانامه: abdullahdarzi@yahoo.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی- پژوهشی	سابقه و هدف: کاهش اثرات زیست‌محیطی مرتبط با تلفات قابل توجه آب و نیتروژن از اراضی شالیزاری، مستلزم ارتقای هم‌زمان کارایی مصرف این نهاده‌ها می‌باشد. برنج به‌عنوان یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی، غذای اصلی بیش از نیمی از جمعیت جهان را تامین می‌کند. بر اساس آخرین آمار موجود، در سال زراعی ۲۰۱۸-۲۰۱۷ سطح زیر کشت برنج کشور ۶۲۲۹۹۱ هکتار بود که به‌طور عمده متعلق به پنج استان گیلان (۳۵/۳ درصد)، مازندران (۳۴/۳ درصد)، خوزستان (۱۰/۹ درصد)، گلستان (۹/۹ درصد) و فارس (۳/۴ درصد) بود. از میان استان‌های مختلف، استان مازندران با تولید ۱۱۱۳۷۱۵ تن شلتوک، تولیدکننده اصلی برنج کشور محسوب می‌شود. از سوی دیگر، بیش‌ترین سطح زیرکشت در بین کل محصولات زراعی در استان مازندران مربوط به برنج می‌باشد.
تاریخ دریافت: ۰۰/۱۲/۰۸ تاریخ ویرایش: ۰۱/۰۴/۰۳ تاریخ پذیرش: ۰۱/۰۴/۲۹	مواد و روش‌ها: داده‌های مزرعه‌ای مورد نیاز در طول دو فصل کشت برنج رقم دیلمانی در سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱ از حدود یک هکتار از اراضی شالیزاری تجهیز و نوسازی شهرستان ساری در استان مازندران تهیه شد. از داده‌های سال ۱۳۹۰ برای واسنجی و از داده‌های سال ۱۳۹۱ برای صحت‌سنجی مدل CERES-RICE از بسته نرم‌افزاری DSSAT V4.7.5 استفاده شد. با استفاده از مدل واسنجی شده، اثر سناریوهای مختلف مدیریت آب و کود نیتروژن بر شاخص‌های کارایی مصرف آب (WUE)، کارایی اقتصادی مصرف آب (EWP)، کارایی فیزیولوژیکی مصرف نیتروژن برای تولید دانه (NUEg)، شاخص برداشت (HI) و شاخص
واژه‌های کلیدی: دور آبیاری، عملکرد برنج، کارایی مصرف نیتروژن، مدل CERES-RICE، مدیریت آب	

برداشت نیتروژن (NHI) برنج بررسی شد. از مدل واسنجی شده برای ارزیابی اثر تلفیقی سه نوع مدیریت آبیاری شامل غرقاب دائم (I_1)، آبیاری متناوب با دور ۵ روز (I_2) و آبیاری متناوب با دور ۸ روز (I_3) و شش تیمار مدیریت کودی N_1 (۵۰٪ زمان کاشت، ۲۵٪ زمان پنجه‌زنی و ۲۵٪ زمان خوشه‌دهی)، N_2 (۲۵٪ زمان کاشت، ۵۰٪ زمان پنجه‌زنی و ۲۵٪ زمان خوشه‌دهی)، N_3 (۲۵٪ زمان کاشت، ۲۵٪ زمان خوشه‌دهی و ۵۰٪ زمان پنجه‌زنی)، N_4 (کوددهی در زمان خوشه‌دهی)، N_5 (کوددهی در زمان پنجه‌زنی) و N_6 (کوددهی در زمان کاشت) استفاده شد.

یافته‌ها: کم‌ترین عملکرد دانه (۸۳۲ کیلوگرم در هکتار) در تیمار I_1N_6 و بیش‌ترین مقدار آن (۳۶۴۰ کیلوگرم در هکتار) در تیمار I_3N_5 حاصل شد. شبیه‌سازی‌ها نشان داد که تأثیر زمان کوددهی و نوع آبیاری مستقل از یکدیگر نبود. تیمار I_3N_5 دارای حداکثر HI (۰/۳۹)، حداقل تبخیر از سطح خاک (۱۷۳/۴ میلی‌متر)، حداکثر WUE (یک کیلوگرم بر مترمکعب)، حداکثر EWP (۱۲×۱۰^۴ ریال بر مترمکعب)، کم‌ترین تلفات نیترات (۵۲/۴۷ کیلوگرم بر هکتار)، بیش‌ترین جذب کود نیتروژن (۹۹ کیلوگرم بر هکتار)، حداکثر NUEg (یک) و حداقل تنش نیتروژن (۰/۰۵) بود. هم‌چنین حداکثر NHI (۰/۳۷)، متعلق به تیمار I_2N_5 بود.

نتیجه‌گیری: براساس نتایج، در مدیریت‌های اعمال شده با توجه به اجزای عملکرد محصول، شاخص برداشت، بهره‌وری آب، کارایی اقتصادی مصرف آب، کارایی مصرف نیتروژن، نیتروژن جذب‌شده، آبشویی نیترات و شاخص برداشت نیتروژن، مدیریت آبیاری با تناوب ۸ روز، به‌عنوان بهترین گزینه از نظر مدیریت آبیاری بود. هم‌چنین، استفاده از تیمار I_3N_5 به‌عنوان تیمار برتر تحت دو مدیریت کوددهی و آبیاری در پژوهش حاضر (در دوره ۲۰ تا ۵۰ روز پس از نشاکاری)، از نظر کارایی مصرف آب و نیتروژن مصرفی در شالیزارهای استان توصیه می‌شود.

استناد: ضیایی‌فر، سمیرا، خزیمه‌نژاد، حسین، علی‌نژاد، حسن، درزی نفتچالی، عبدالله (۱۴۰۱). ارزیابی تأثیر مدیریت آب و روش‌های مختلف عرضه کود نیتروژن بر کارایی مصرف آب و عملکرد برنج. پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲۹ (۲)، ۱۵۴-۱۳۵.

DOI: 10.22069/jwsc.2022.19993.3540



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

برنج به‌عنوان یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی، غذای اصلی بیش از نیمی از جمعیت جهان را تأمین می‌کند. این محصول در حدود ۱۶۷ میلیون هکتار کشت شده و تولید سالانه آن حدود ۷۷۲ میلیون تن گزارش شد (۱). بر اساس آخرین آمار موجود، در سال زراعی ۲۰۱۷-۲۰۱۸ سطح زیرکشت برنج کشور ۶۲۲۹۹۱ هکتار بود که به‌طور عمده متعلق به پنج استان شامل: گیلان (۳۵/۳ درصد)، مازندران (۳۴/۳ درصد)، خوزستان (۱۰/۹ درصد)، گلستان (۹/۹ درصد) و فارس (۳/۴ درصد) بود. از میان استان‌های مختلف، استان مازندران با تولید ۱۱۱۳۷۱۵ تن شلتوک، تولیدکننده اصلی برنج کشور محسوب می‌شود. از سوی دیگر، بیش‌ترین سطح زیرکشت در بین کل محصولات زراعی در استان مازندران مربوط به برنج است (۲). کشت برنج بیش‌تر به‌صورت آبی بوده و روش رایج برای آبیاری آن، غرقاب دائم است. در نتیجه، بخش قابل‌توجهی از آب مصرفی در جهان در تولید برنج مصرف می‌شود. در برخی پژوهش‌های گذشته، آب مصرفی ارقام مختلف برنج در طول یک فصل کشت برنج حدود ۶۷۷ تا ۱۵۰۰ میلی‌متر گزارش شده است (۳، ۴ و ۵). به دلیل پایین بودن راندمان مصرف آب در اراضی شالیزاری، بخش قابل‌توجهی از آب مصرفی به طرق مختلف مانند نفوذ عمقی تلف می‌شود. میزان نفوذ عمقی خاک‌های شالیزار از حدود یک تا بیش از پنج میلی‌متر در روز برای اراضی دارای وضعیت زهکشی ضعیف تا خوب گزارش شده است (۶، ۷، ۸ و ۹). به‌غیراز هزینه‌های مرتبط با تلفات آب، ممکن است مقداری از عناصر غذایی نیز به همراه آن از منطقه ریشه گیاه خارج شود. یکی از عناصر غذایی پرمصرف در سیستم کشت برنج، نیتروژن است که میزان کارایی مصرف آن در اراضی شالیزاری عموماً کم است.

امکان گسترش سطح زیرکشت برنج در آینده‌ای نزدیک به دلیل عواملی هم‌چون کم‌آبی، نیاز به تغییر کاربری اراضی و هزینه بالای تهیه زمین‌های کشاورزی محدود است که در پی آن، میزان اضافی برنج موردنیاز باید با افزایش تولید حاصل شود (۲). از این‌رو تولید این مقدار برنج با تکیه بر منابع داخلی، بستگی زیادی به توسعه راهبردهایی برای بهینه‌سازی کاربرد منابع موجود و افزایش عملکرد در واحد سطح دارد. با توجه به محدودیت منابع آب در ایران و شرایط خاص جغرافیایی کشور، استفاده از مدیریت‌ها و شیوه‌های نوین آبیاری با مصرف کم‌تر آب امری ضروری خواهد بود (۱۰). با اعمال مدیریت صحیح آب، خاک و گیاه می‌توان ضمن افزایش تولید و کاهش تلفات آب و عناصر غذایی، دستیابی به شرایط کشاورزی پایدار را آسان کرد. در سال‌های اخیر روش‌های مختلف مدیریت آب مانند زهکشی میان‌فصل، خشک و مرطوب شدن متناوب و حفظ مزرعه در وضعیت اشباع با هدف ارتقای بهره‌وری آب و مصرف نیتروژن در شالیزارها به‌کار گرفته شد. لی و همکاران (۱۹۹۳) در بررسی مدیریت رطوبت خاک در مرحله پر شدن دانه بر رشد و کیفیت برنج به این نتیجه دست یافتند که دور آبیاری ۵ تا ۷ روز اثر معنی‌داری بر عملکرد دانه داشت (۱۱). تقی‌زاده و همکاران (۲۰۰۸) در بررسی تأثیر آبیاری و مقادیر کود نیتروژن بر عملکرد برنج به این نتیجه رسیدند که آبیاری متناوب برنج به‌صورت ۱۰ روز یک بار با مصرف کم‌تر کود نیتروژن تا ۶۰ کیلوگرم در هکتار بدون کاهش معنی‌دار عملکرد، در مصرف آب و کود نیتروژن صرفه‌جویی به عمل آورد (۱۲). نتایج بررسی اثرات دور آبیاری و کود نیتروژن بر عملکرد دانه برنج نشان داد که آبیاری با دور ۸ روز، ضمن حفظ عملکرد در حد غرقاب دائم، باعث کاهش ۱۸ درصدی مصرف آب گردید (۱۳). آقاجانی و نوایان

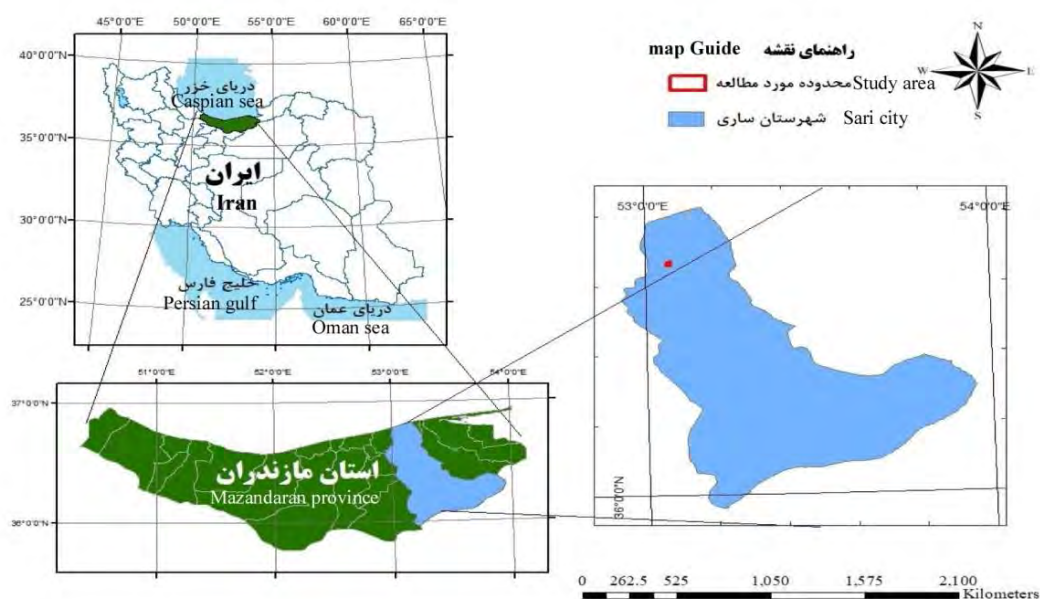
صرفه‌جویی در آب در سیستم برنج- ذرت در مناطق نیمه‌خشک استوایی باشد (۱۹). ارزیابی مدل DSSAT در مدیریت‌های مختلف آبیاری و کودی در شرایط آب و هوایی نیمه مدیترانه‌ای نشان داد که این مدل از توانایی مطلوبی برای پیش‌بینی عملکرد محصول و مقدار زیست‌توده در تیمارهای آبیاری و کودی برخوردار می‌باشد (۱۸). علی‌رغم انجام پژوهش‌های مختلف در زمینه ارزیابی قابلیت مدل DSSAT، مرور منابع موجود نشان می‌دهد که تاکنون در هیچ پژوهشی اثر تلفیقی مدیریت آبیاری و کود نیتروژن بر عملکرد و کارایی مصرف آب و نیتروژن برنج در استان مازندران بررسی نشده است. بنابراین، در این پژوهش، اثر سناریوهای محتمل مدیریت آب و کود نیتروژن در کشت برنج بر موارد مذکور با استفاده از مدل واسنجی و صحت‌سنجی شده DSSAT بررسی می‌شود.

مواد و روش‌ها

داده‌های مزرعه‌ای مورد نیاز این پژوهش از حدود یک هکتار از اراضی شالیزاری تجهیز و نوسازی‌شده‌ی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری واقع در کیلومتر ۹ جاده ساری- دریا در استان مازندران با عرض و طول جغرافیایی منطقه به ترتیب ۳۶/۳۹ درجه شمالی و ۵۳/۰۴ درجه شرقی و ارتفاع از سطح دریا ۱۵- متر در طول دو فصل کشت برنج در سال‌های زراعی ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱ تهیه شد (شکل ۱). طبق آمار هواشناسی ۱۸ ساله از ۱۳۸۱، منطقه مطالعه با متوسط بارندگی سالانه حدود ۶۵۷ میلی‌متر و متوسط دمای ۱۷/۷ درجه سانتی‌گراد دارای اقلیم مرطوب است.

(۲۰۱۲) با بررسی تأثیر آبیاری متناوب بر بهره‌وری مصرف آب در شالیزار نشان دادند که با افزایش دور آبیاری به ۷ روز، میزان بهره‌وری آب با توجه به افزایش عملکرد و کاهش حجم آب ورودی به مزرعه افزایش یافت (۱۴). در همین راستا، تأثیر دوره‌های تر و خشک و مدیریت آبیاری برنج در اراضی پست و کم ارتفاع هند بررسی شد (۱۵). نتایج نشان داد که با حفظ عملکرد برنج (بیش از هفت تن در هکتار)، می‌توان ۳۵-۲۶/۶ درصد در مصرف آب صرفه‌جویی کرد.

ارائه راهکارهای مناسب برای مدیریت بهینه سامانه‌های کشاورزی با هدف رفع عوامل محدودکننده، نیازمند آزمایش‌های زیاد و هزینه‌بر در مناطق مختلف است. از این رو، راهی برای کاهش تعداد، زمان و هزینه این آزمایش‌ها لازم و ضروری است (۱۶). امروزه ارزیابی گزینه‌های مختلف تولید و تعمیم نتایج به مناطق دیگر با شرایط و اقلیم‌های متفاوت، با استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی امکان‌پذیر است. مدل DSSAT یکی از معروف‌ترین و پرکاربردترین مدل‌ها در سیستم‌های کشاورزی است که تاکنون با موفقیت برای گیاهان مختلف زراعی در سراسر جهان مورد استفاده شده است (۱۷). توانایی و دقت این مدل در شبیه‌سازی رشد گیاه، ارزیابی میزان آب مصرفی و تلفات نیترات به اثبات رسیده است (۱۸). پژوهشی در شناسایی بهترین مدیریت کود و آبیاری برای سیستم هوازی برنج- ذرت در مناطق نیمه‌خشک استوایی با استفاده از مدل DSSAT نشان داد که این مدل می‌تواند ابزاری مفید برای ارزیابی مدیریت‌های مختلف باهدف حفظ بازده و



شکل ۱- موقعیت منطقه مطالعه در کشور و استان مازندران.

Figure 1. Location of the study area in country and Mazandaran province.

یک رقم زودرس و کم محصول است در اراضی مورد مطالعه کشت شد. نشاکاری در روزهای ۳۰ تیر ۱۳۹۰ و ۲۸ اردیبهشت ۱۳۹۱ به صورت دستی و با تراکم حدود ۱۶ بوته در مترمربع انجام شد. به جز در زمان‌های زهکشی میان فصل (به مدت یک هفته از ۲۵ روز پس از نشاکاری) و حدود دو هفته قبل از برداشت، مزرعه تحت آبیاری غرقاب بود.

بافت لایه‌های مختلف خاک تا عمق ۹۰ سانتی‌متری عموماً سیلتی رسی با درصد شن بین ۴/۲ تا ۶/۳، درصد سیلت بین ۴۳/۲ تا ۴۵ و درصد رس بین ۴۷/۸ تا ۵۲/۷ است. هدایت هیدرولیکی خاک در لایه‌های مختلف در محدوده ۲/۵ تا ۷/۳۲ سانتی‌متر در ساعت بود. برخی از خصوصیات خاک منطقه مطالعه در جدول ۱ ارائه شد. رقم دیلمانی که

جدول ۱- مشخصات خاک مزرعه مطالعه.

Table 1. Soil characteristics of the study field.

pH	رس Clay (%)	سیلت Silt (%)	شن Sand (%)	کربن آلی Organic carbon (%)	نیتروژن کل Total nitrogen (%)	هدایت هیدرولیکی Hydraulic conductivity (cm hr ⁻¹)	جرم مخصوص ظاهری Bulk density (gr cm ⁻³)	ضخامت لایه Layer thickness (cm)
8	47.8	45	6.3	1.47	0.1	7.32	1.4	0-30
8.1	52.7	43.2	4.2	1.51	0.08	2.5	1.34	30-60
7.95	49.2	44.5	6.3	1.47	0.08	6.25	1.34	60-90

زیست‌توده در زمان برداشت، حداکثر شاخص سطح برگ، تاریخ خوشه‌دهی و تاریخ رسیدگی فیزیولوژیکی به‌عنوان شاخص‌های نهایی برای ساخت فایل A مدل مورد استفاده قرار گرفتند. همچنین، عملکرد کل زیست‌توده طی دوره رشد، شاخص سطح برگ طی دوره رشد به‌صورت سری زمانی در فایل T مدل وارد شد. لازم به ذکر است که داده‌های اندازه‌گیری شده موجود در فایل‌های A و T به‌منظور واسنجی و ارزیابی مدل استفاده شدند. در این پژوهش، از ضرایب مدل واسنجی و صحت‌سنجی شده در گزارش علی‌نژاد و همکاران (۲۰۱۷) استفاده شد (۲۲).

برای ارزیابی اثرات مدیریت آبیاری، از آبیاری غرقاب دائم (I_1)، آبیاری متناوب با دور ۵ روز (I_2) و آبیاری متناوب با دور ۸ روز (I_3) استفاده شد. تیمارهای آبیاری متناوب در فاصله ۲۰ تا ۵۰ روز بعد از نشاکاری اعمال شدند. در فصول کشت ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱، ۹۰ کیلوگرم در هکتار اوره در مزرعه استفاده شد. بر این اساس، مدیریت کودی در مدل در قالب شش تیمار انجام شد که عبارت‌اند از: N_1 (۵۰ درصد زمان کاشت، ۲۵ درصد زمان پنجه‌دهی و ۲۵ درصد در زمان خوشه‌دهی)، N_2 (۲۵ درصد زمان کاشت، ۵۰ درصد زمان پنجه‌دهی و ۲۵ درصد زمان خوشه‌دهی)، N_3 (۲۵ درصد زمان کاشت، ۵۰ درصد زمان پنجه‌دهی و ۲۵ درصد زمان خوشه‌دهی)، N_4 (کوددهی در زمان پنجه‌دهی)، N_5 (کوددهی در زمان کاشت)، N_6 (کوددهی در زمان کاشت). از ترکیب تیمارهای آبیاری و کودی در مجموع ۱۸ تیمار حاصل شد که عبارت‌اند از: $I_1N_1, I_1N_2, I_1N_3, I_1N_4, I_1N_5, I_2N_1, I_2N_2, I_2N_3, I_2N_4, I_2N_5, I_2N_6, I_3N_1, I_3N_2, I_3N_3, I_3N_4, I_3N_5, I_3N_6$.

در این پژوهش از زیر مدل CERES-RICE بسته نرم‌افزاری DSSAT V4.7.5 استفاده شد. حداقل داده‌های ورودی مورد نیاز برای این مدل شامل اطلاعات موقعیت مکانی، اطلاعات هواشناسی، داده‌های خاک، داده‌های مدیریت مزرعه، کود، آب مصرفی و رقم گیاهی است. مدل CERES-RICE قادر است با استفاده از این اطلاعات، رشد و نمو فنولوژیکی، توزیع و تجمع زیست‌توده، شاخص سطح برگ، رشد ریشه، ساقه، برگ و دانه را از زمان کاشت تا برداشت به‌صورت روزانه شبیه‌سازی کند (۱۶ و ۲۰). داده‌های هواشناسی مورد نیاز مدل شامل ساعات آفتابی، بیشینه و کمینه دمای هوا و بارندگی است. این داده‌ها در فایل آب و هوایی مدل یا همان Weatherman مورد استفاده قرار گرفت. همچنین، داده‌های ساعت آفتابی توسط این نرم‌افزار با استفاده از فرمول آنگستروم به اطلاعات تشعشع خورشیدی تبدیل شد (۲۱). داده‌های خاک شامل درصد رس و سیلت و شن و میزان کربن آلی است. علاوه بر این، درصد فسفر و نیتروژن و پتاسیم نیز به مدل معرفی شوند. درصد اجزای خاک برای تخمین ظرفیت نگهداری آب خاک توسط مدل مورد استفاده قرار گرفت. همچنین، داده‌های مدیریتی گیاه شامل نام و نوع گونه، زمان کاشت، عمق و روش کاشت، فاصله و جهت کاشت، تراکم کشت، پارامترهای مدیریت آب آبیاری شامل روش و میزان آبیاری، میزان و روش کاربرد کود و نوع کود مصرفی و زمان برداشت به مدل معرفی شد. نوع گونه در واقع با استفاده از ترکیبی از ضرایب ژنتیکی که در فایل ژنوتیپ برای هر گیاهی وجود دارد ساخته می‌شود. ضرایب ژنتیکی هرگونه نیز با استفاده از داده‌های واقعی فنولوژیکی (تاریخ پنجه‌دهی، تاریخ خوشه‌دهی و غیره) و رشدی گیاه (سطح برگ و بقایای گیاهی و عملکرد) در سال اول و در زمان واسنجی مدل برآورد شد. عملکرد کل

شرایط اکولوژیکی تولید برنج است. با توجه قیمت برنج، شاخص کارایی اقتصادی مصرف آب به دست آمد.

کارایی فیزیولوژیکی مصرف نیتروژن برای تولید دانه (NUEg) که به صورت نسبت عملکرد دانه به نیتروژن جذب شده توسط گیاه در زمان برداشت تعریف می‌شود (۱۹)، به صورت زیر محاسبه شد:

$$NUE = \frac{Y}{N \text{ uptake}} \quad (۳)$$

که در آن، Y عملکرد دانه محصول (کیلوگرم بر هکتار) و N uptake نیتروژن جذب شده توسط گیاه (کیلوگرم بر هکتار) است که با استفاده از مدل برای سناریوهای مختلف تعیین شد.

شاخص برداشت (HI) یکی دیگر از شاخص‌های مدیریتی است که از نسبت عملکرد دانه (Y- کیلوگرم بر هکتار) بر وزن زیست توده در زمان برداشت (Top Weight- کیلوگرم بر هکتار) به دست آمد. همچنین، شاخص برداشت نیتروژن (NHI) به صورت نسبت نیتروژن دانه (کیلوگرم بر هکتار) بر نیتروژن جذب شده توسط گیاه (کیلوگرم بر هکتار) محاسبه شد.

نتایج و بحث

شکل ۲ میزان عملکرد دانه در تیمارهای مختلف را نشان می‌دهد. کم‌ترین عملکرد (۸۳۲ کیلوگرم در هکتار) در تیمار I₁N₆ و بیش‌ترین مقدار آن (۳۶۴۰ کیلوگرم در هکتار) در تیمار I₃N₅ حاصل شد. تیمارهای آبیاری متناوب سبب افزایش عملکرد برنج در مقایسه با آبیاری غرقاب شدند. کاوسی و یزدانی (۲۰۲۰) میزان عملکرد دانه برنج را در آبیاری متناوب با دور ۵ روز بیش‌تر از غرقاب و علت را تعداد دانه‌های پر بیش‌تر یا تعداد دانه‌های پوک کم‌تر در

محاسبه شاخص‌های مدیریتی برای تحلیل اثر سناریوهای مختلف انجام گرفت که عبارت‌اند از: شاخص‌های کارایی مصرف آب (WUE)، کارایی اقتصادی مصرف آب (EWP)، کارایی فیزیولوژیکی مصرف نیتروژن برای تولید دانه (NUEg)، شاخص برداشت (HI) و شاخص برداشت نیتروژن (NHI).

کارایی مصرف آب (WUE) برحسب کیلوگرم بر مترمکعب به صورت مقدار عملکرد دانه تولید شده بر واحد آب مصرفی (تبخیر- تعرق) به شرح زیر محاسبه شد (۲۳):

$$WUE = \frac{Y}{ET} \quad (۱)$$

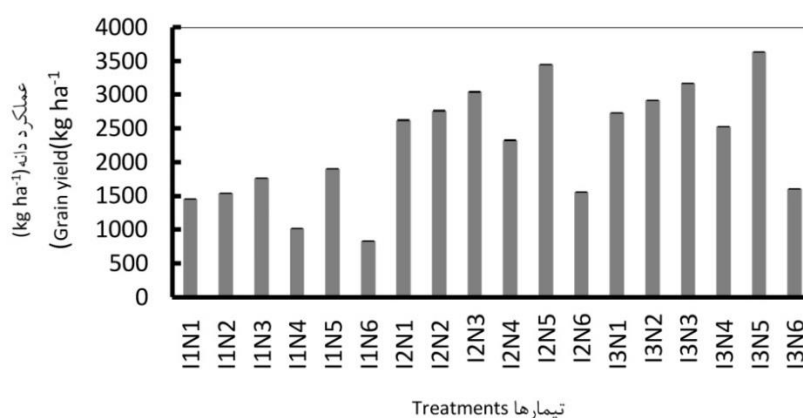
که در آن، Y عملکرد دانه محصول (کیلوگرم بر هکتار) و ET تبخیر و تعرق تجمعی است که توسط مدل DSSAT و با استفاده از معادله پریستلی - تیلور (۲۴) تعیین شد. برای محاسبه بهره‌وری اقتصادی آب مصرفی، کارایی اقتصادی مصرف آب (EWP) بر حسب واحد قیمت بر مترمکعب طبق رابطه زیر محاسبه شد (۲۵):

$$EWP = WUE \times UPc \quad (۲)$$

که در آن، UPc قیمت واحد تولید شده (ریال برای هر کیلوگرم) است. UPc بر اساس قیمت‌گذاری ملی برای بذر شلتوک 12×10^4 (ریال برای هر کیلوگرم) در نظر گرفته شد. قیمت برنج خریداری شده از کشاورز برای بذر شلتوک 12×10^4 (ریال برای هر کیلوگرم) بود. قیمت برنج بسته به میزان کیفیت آن و نیز مکان جغرافیایی تولید آن تا حدودی متفاوت است، به نحوی که مثلاً قیمت برنج شهرستان‌های شمالی کشور به مراتب بالاتر از سایر شهرستان‌های کشور است. این امر بیش‌تر ناشی از مطلوب‌تر بودن

جذب، بخش عمده کود مصرفی در این مرحله، با راه‌های مختلف از دسترس گیاه خارج شده و افزون بر خسارت‌های اقتصادی، سبب تخریب محیط‌زیست خواهد شد. به عبارت دیگر، توجه به تطابق زمان کوددهی با قابلیت جذب گیاه اهمیت قابل توجهی در بهبود بهره‌وری کود مصرفی دارد. داوودی و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند که کوددهی در انتهای دوره پنجه‌دهی تا زمان خوشه‌دهی دارای بالاترین راندمان مصرف است (۳۱). همچنین وانگ و همکاران (۲۰۱۶) بیان کردند تلفیق رژیم آبیاری متناوب با تر و خشک نمودن دوره‌ای با مدیریت بهینه کوددهی می‌تواند با ممانعت از تولید پنجه‌های غیر مثمر و با سرعت بخشیدن به پیری گیاه و انتقال مجدد کربوهیدرات‌ها و ترکیبات ازت، از اثرات مخرب رژیم کوددهی بیش از حد در رشد برنج بکاهد (۳۲). تاکور و همکاران (۲۰۱۴) بیان کردند مصرف نیتروژن می‌تواند توسعه ریشه‌های برنج را از طریق افزایش ریشه‌های افقی در شرایط تنش آبی افزایش داده و باعث افزایش عملکرد دانه برنج شود که این تحلیلی برای بالابودن عملکرد در کوددهی در زمان پنجه‌دهی و پایین‌بودن عملکرد در شرایط کوددهی در زمان کاشت است (۴).

خوشه بیان کردند (۲۶). نتایج پژوهشی دیگر بیانگر آن است که عملکرد دانه برنج در رژیم آبیاری متناوب با تر و خشک نمودن دوره‌ای بیش‌تر از آبیاری غرقاب می‌باشد (۲۷). کاهش رشد رویشی زائد، افزایش رشد ریشه و شاخساره و کاهش پنجه‌های غیرمثمر و بهبود فتوسنتز برگ در آبیاری متناوب، برخی از دلایل افزایش عملکرد در این مدیریت در مقایسه با آبیاری غرقابی می‌باشند (۲۸ و ۲۹). کوددهی در زمان پنجه‌دهی برنج نسبت به زمان کاشت و خوشه‌دهی آن، سبب افزایش عملکرد برنج شد. کود نیتروژنه در مرحله تولید پنجه گیاه سبب افزایش تعداد خوشه شده و در مرحله ظهور سنبله و خوشه تا تکمیل نمو طولی آن موجب افزایش تعداد دانه در خوشه و افزایش وزن هزاردانه و در نتیجه افزایش عملکرد خواهد شد (۳۰). مشابه بودن روند تغییرات عملکرد تیمارهای I_1N_1 تا I_1N_6 با I_2N_1 تا I_2N_6 و I_3N_1 تا I_3N_6 تأثیر مشابه زمان کوددهی در هر سه تیمار مدیریتی آبیاری را نشان می‌دهد. کم‌ترین میزان عملکرد با اعمال مدیریت کوددهی، مستقل از مدیریت آبیاری، به تیمارهایی اختصاص داشت که کود نیتروژن در زمان کاشت مصرف شد (I_2N_6 , I_1N_6) و I_3N_6 . با توجه به عدم استقرار گیاه و نبود شرایط

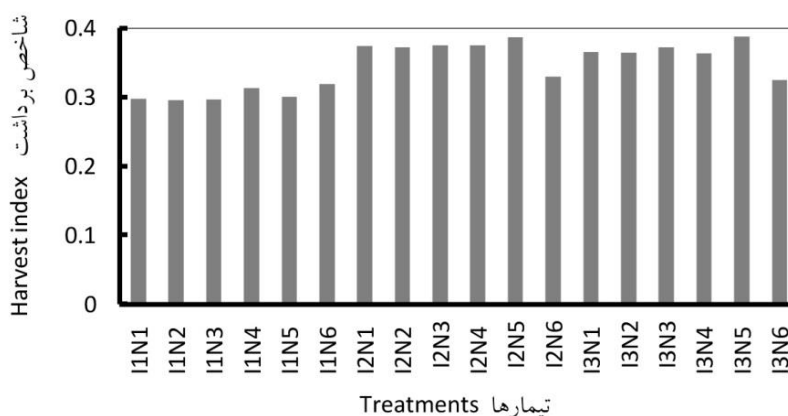


شکل ۲- میزان عملکرد دانه برنج تحت تیمارهای مدیریت آبیاری و کود.

Figure 2. Rice grain yield under irrigation and fertilizer management treatments.

افزایش شاخص برداشت در مقایسه با سایر تیمارهای کودی شد. کم‌ترین میزان شاخص برداشت با اعمال مدیریت کوددهی، مستقل از مدیریت آبیاری به تیمارهایی اختصاص داشت که کوددهی آن‌ها در زمان کاشت انجام شد (I_1N_6 , I_2N_6 و I_3N_6). به‌طورکلی، مقایسه شاخص برداشت در تیمارهای مختلف نشان‌دهنده آن است که گیاه برنج در زمان پنجه‌دهی، شرایط مطلوبی برای جذب نیتروژن دارد و کوددهی در این مرحله، با تقویت اندام‌زایی، بهبود شاخص برداشت را در پی خواهد داشت.

تأثیر تیمارهای مختلف مدیریت آبیاری و کود بر شاخص برداشت (HI) در شکل ۳ ارائه شد. هر دو مدیریت آبیاری و نیتروژن، تأثیر قابل‌توجهی بر شاخص برداشت داشتند. کم‌ترین شاخص برداشت ($0/39$) در تیمار I_1N_2 و بیش‌ترین مقدار آن ($0/39$) در تیمار I_3N_5 حاصل شد. تیمارهای آبیاری متناوب سبب افزایش شاخص برداشت در مقایسه با آبیاری غرقاب شدند. افزایش قابل‌توجه شاخص برداشت به‌واسطه آبیاری متناوب در برخی از پژوهش‌های گذشته نیز گزارش شد (33 و 34). کوددهی در زمان پنجه‌دهی نسبت به زمان کاشت و خوشه‌دهی، سبب



شکل ۳- شاخص برداشت تحت تیمارهای مدیریتی آبیاری و کود.

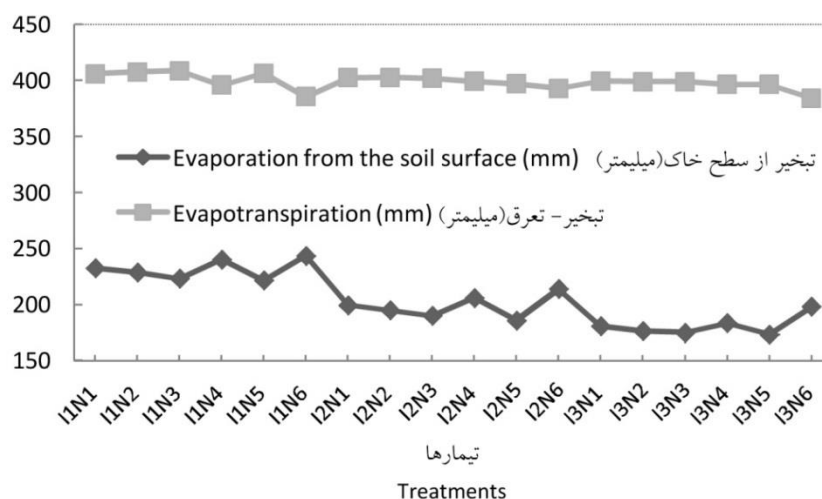
Figure 3. Harvest index under irrigation and fertilizer management treatments.

در مدیریت‌های I_2 و I_3 بود. این در حالی است که آبیاری متناوب سبب افزایش تعرق در مقایسه با غرقاب دائم شد. متوسط تعرق در تیمارهای I_3 ($214/4$ میلی‌متر) و I_2 (201 میلی‌متر) به ترتیب حدود $20/7$ و $15/4$ درصد بیش‌تر از مقدار در تیمارهای I_1 (170 میلی‌متر) بود. به‌عبارت‌دیگر، خشک و مرطوب شدن متناوب مزرعه برنج با کاهش تلفات تبخیر، مصرف مفید آب یا تعرق را در مقایسه غرقاب دائم افزایش می‌دهد. از نظر مدیریت کود، کم‌ترین مقدار تبخیر در هر سه مدیریت آبیاری مربوط به تیمارهای

شکل ۴ میزان تبخیر-تعرق و تبخیر از سطح خاک در تیمارهای مختلف را نشان می‌دهد. به‌طورکلی، کم‌ترین میزان تبخیر-تعرق در تیمارهای I_3 و بیش‌ترین میزان آن در تیمارهای I_1 مشاهده شد. متوسط تبخیر-تعرق در شرایط غرقاب $401/8$ میلی‌متر و در دوره‌های آبیاری ۵ و ۸ روز به ترتیب $399/4$ و $395/7$ میلی‌متر بود. تغییرات میزان تبخیر از سطح خاک، مشاهده روند تبخیر-تعرق بود. با ملاحظه تیمارهای مختلف کودی، تبخیر در مدیریت I_1 به ترتیب $16/8$ و $27/8$ درصد بیش‌تر از مقدار آن

در تیمارهای مختلف از ۴/۶۵ تا ۴/۹۳ میلی‌متر متغیر بود و میزان متوسط تبخیر-تعرق در همه تیمارها ۴/۸۱ میلی‌متر در روز بود. در پژوهش غلامی و همکاران (۲۰۲۱)، میزان متوسط تبخیر-تعرق اراضی شالیزاری ۴/۹۸ میلی‌متر در روز گزارش شد که تقریباً با مقادیر مشاهده‌شده در این پژوهش مطابقت دارد (۳۵). متوسط تبخیر روزانه از سطح خاک در تیمارهای I₁N₆, I₁N₅, I₁N₄, I₁N₃, I₁N₂, I₁N₁, I₂N₆, I₂N₅, I₂N₄, I₂N₃, I₂N₂, I₂N₁, I₃N₆, I₃N₅, I₃N₄, I₃N₃ به ترتیب ۲/۷۶، ۲/۸، ۲/۲۹، ۲/۳۵، ۲/۴، ۲/۹۴، ۲/۶۷، ۲/۹، ۲/۶۹، ۲/۲۴، ۲/۵۸، ۲/۱۸، ۲/۱۲، ۲/۱۱، ۲/۲۱، ۲/۰۹ و ۲/۳۹ میلی‌متر بود. این مقادیر قابل‌مقایسه با محدوده گزارش‌شده توسط درزی و همکاران (۲۰۱۸) در یک پژوهش چهارساله (۲/۱ تا ۳/۱ میلی‌متر در روز) از یک مزرعه شالیزاری تحت کشت رقم هاشمی بود (۵).

N₅ و بیش‌ترین مقدار تعرق مربوط به تیمارهای N₃ و N₅ بود. با ملاحظه هر سه مدیریت آبیاری، متوسط تبخیر-تعرق در تیمارهای N₁, N₂, N₃, N₄, N₅ و N₆ به ترتیب ۴۰۲/۶، ۴۰۳، ۴۰۳/۲، ۳۹۷/۲، ۴۰۰ و ۳۸۷/۶ میلی‌متر بود که بیانگر نبود اختلاف قابل‌توجه بین تیمارهای کودی است. اختلاف این مؤلفه بیان آب بین تیمارهای کودی دارای کم‌ترین (N₆) و بیش‌ترین (N₃) تبخیر-تعرق حدود ۱۵/۷ میلی‌متر بود در حالی که اختلاف تبخیر در تیمارهای متناظر دارای کم‌ترین (N₅) و بیش‌ترین (N₆) تبخیر، حدود ۲۵ میلی‌متر و کم‌ترین (N₆) و بیش‌ترین (N₅) تعرق، حدود ۳۸/۱ میلی‌متر بود. مقایسه این مقادیر به‌وضوح نشان‌دهنده اهمیت مدیریت کود در ارتقای مصرف مفید آب در مزارع برنج است. به‌طور کلی کوددهی تقسیمی در زمان‌های پنجه‌دهی و خوشه‌دهی سبب بهبود تعرق شد. محدوده متوسط تبخیر-تعرق روزانه



شکل ۴- تبخیر-تعرق و تبخیر از سطح خاک در تیمارهای مدیریت آبیاری و کود.

Figure 4. Evapotranspiration and evaporation from the soil surface in irrigation and fertilizer management treatments.

I₁N₆ و بیش‌ترین مقدار آن (۰/۹۹۷ کیلوگرم بر مترمکعب) در تیمار I₃N₅ حاصل شد. بیش‌ترین شاخص کارایی مصرف آب در شرایط کم‌آبیاری رخ داده است. اختر و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند که

مقادیر شاخص‌های کارایی مصرف آب (WUE) و کارایی اقتصادی مصرف آب (EWP) در تیمارهای مختلف در جدول ۲ ارائه شد. کم‌ترین میزان کارایی مصرف آب (۰/۲۳ کیلوگرم بر مترمکعب) در تیمار

از جمله طول، حجم و سطح ریشه‌های پرحاشیه، ریشه‌های جانبی درشت و ریشه‌های جانبی ریز ارتباط نزدیکی دارد و برای کشت هوازی، رشد ریشه برای بهبود محصول برنج مهم است (۲۴). اندام اقتصادی اکثر گیاهان زراعی، اندام‌های رویشی، دانه، ریشه و یا کل گل است. برنج گیاهی است که دانه آن به‌عنوان بخش اقتصادی مطرح است. کم‌ترین میزان EWP (2.7×10^4 ریال بر مترمکعب) در تیمار I₁N₆ و بیش‌ترین مقدار آن (12×10^4 ریال بر مترمکعب) در تیمار I₃N₅ حاصل شد. دلیل بالابود این شاخص در تیمارهای مدیریتی کم‌آبیاری را می‌توان به عملکرد بیش‌تر برنج در این تیمارها مرتبط دانست. این مهم نشان می‌دهد که مدیریت مناسب آبیاری نقشی مهمی در دستیابی هم‌زمان به افزایش تولید برنج و صرفه‌جویی در مصرف آب دارد (۲۸).

روش‌های کم‌آبیاری و آبیاری در ناحیه ریشه در مقایسه با آبیاری کامل، به ترتیب سبب افزایش کارایی مصرف آب به میزان ۳۵ و ۱۵ درصد شدند (۳۶). بر این اساس، می‌توان در مناطقی که حصول کارایی مصرف آب بیش‌تر دارای اهمیت است، با کاهش زمان یا مقدار آبیاری در مصرف آب صرفه‌جویی نمود (۳۷). افزایش کارایی مصرف آب به معنای افزایش میزان تولید گیاه به ازای واحد آب مصرفی است که این میزان تولید می‌تواند به دلیل مصرف بهینه نهاده‌ها و زمان استفاده از آن‌ها ایجاد شده باشد (۳۸). در پژوهش فوق مناسب‌ترین زمان مصرف کود نیتروژنه برای بالا بردن شاخص کارایی مصرف آب، در زمان پنجه‌زنی برنج و نامناسب‌ترین زمان کوددهی در زمان کاشت حاصل شد. توزیع ریشه عامل مهمی در بالا رفتن کارایی مصرف آب است (۳۹). توده ریشه معمولاً با شاخص‌های عملکردی

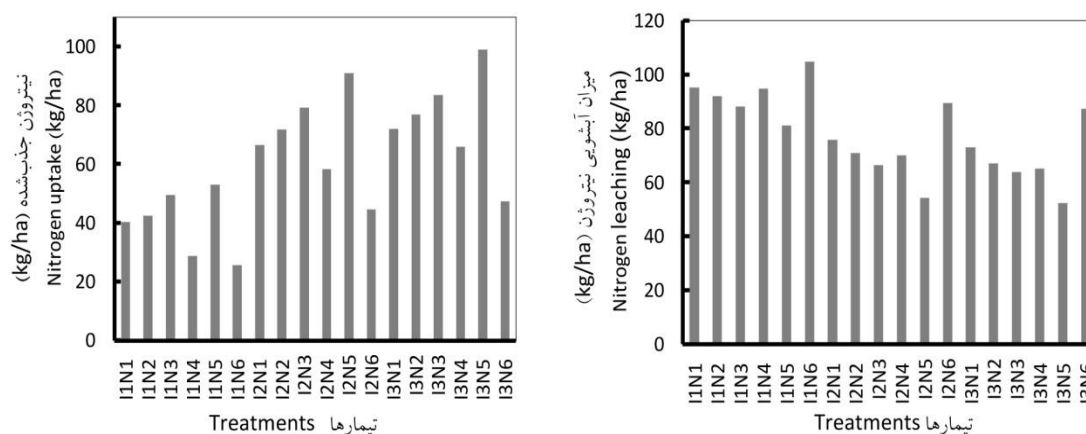
جدول ۲- کارایی مصرف آب (WUE) و کارایی اقتصادی مصرف آب (EWP) در تیمارهای مدیریت آبیاری و کود.

Table 2. Water use efficiency (WUE) and economic water productivity (EWP) in irrigation and fertilizer management treatments.

EWP (10^4 Rls m ⁻³)	WUE (کیلوگرم بر مترمکعب) WUE (kg m ⁻³)	تیمارهای مدیریتی Management treatments
4.6	0.383	I ₁ N ₁
4.8	0.403	I ₁ N ₂
5.6	0.464	I ₁ N ₃
3.2	0.271	I ₁ N ₄
6.1	0.504	I ₁ N ₅
2.7	0.225	I ₁ N ₆
8.5	0.707	I ₂ N ₁
9.0	0.746	I ₂ N ₂
9.9	0.825	I ₂ N ₃
7.5	0.628	I ₂ N ₄
11.4	0.948	I ₂ N ₅
5.1	0.425	I ₂ N ₆
8.9	0.743	I ₃ N ₁
9.5	0.796	I ₃ N ₂
10.4	0.865	I ₃ N ₃
8.3	0.690	I ₃ N ₄
12.0	0.997	I ₃ N ₅
5.3	0.445	I ₃ N ₆

بیش‌ترین جذب و کم‌ترین تلفات نیترات (به ترتیب ۹۹ و ۵۲/۴۷ کیلوگرم بر هکتار) را دارا بودند. در واقع، هرکدام از تیمارها که دارای جذب کم‌تری باشد، تلفات نیترات بیش‌تری خواهد داشت. تیمارهای غرقاب و کوددهی در زمان کاشت، به دلیل بالا بودن تبخیر از سطح خاک و شکل نگرفتن اندام‌های رویشی گیاه، جذب حداقلی نیتروژن را در پی داشتند.

شکل ۵ میزان نیتروژن جذب‌شده توسط گیاه و میزان آبشویی نیترات در زمان برداشت را در تیمارهای مختلف نشان می‌دهد. جذب نیتروژن توسط گیاه به‌عنوان بزرگ‌ترین مخزن در چرخه نیتروژن در اکوسیستم‌های کشاورزی است (۴۰). تیمار I_1N_6 کم‌ترین جذب و بیش‌ترین تلفات نیترات (به ترتیب I_3N_5 و I_0N_6 کیلوگرم بر هکتار) و تیمار I_3N_5



شکل ۵- نیتروژن جذب‌شده و آبشویی نیتروژن در زمان برداشت در تیمارهای مدیریت آبیاری و کود.

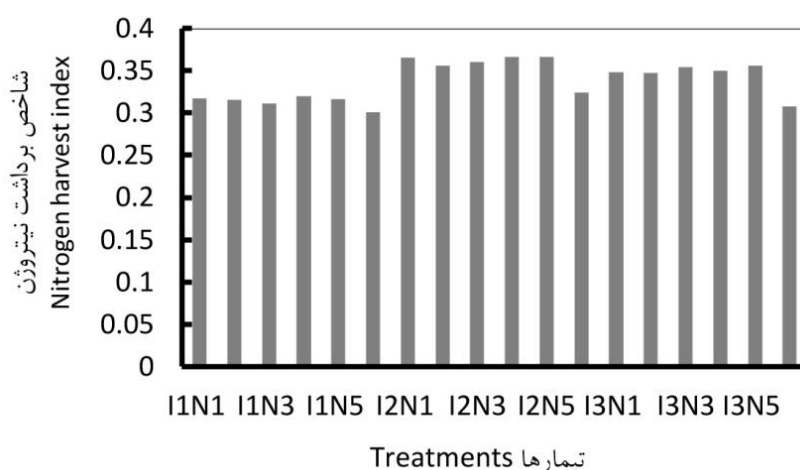
Figure 5. Nitrogen uptake and nitrogen leaching at harvest in irrigation and fertilizer management treatments.

شکل ۶ شاخص برداشت نیتروژن (NHI) را نشان می‌دهد. کم‌ترین مقدار NHI مربوط به تیمار I_1N_6 (۰/۳) و بیش‌ترین مقدار آن مربوط به تیمار I_2N_5 (۰/۳۶۷) بود. از آن‌جاکه NHI در غلات، اغلب به‌عنوان کارایی انتقال مجدد نیتروژن از قسمت‌های رویشی گیاه به دانه اندازه‌گیری می‌شود، بالا بودن آن نشان‌دهنده افزایش انتقال نیتروژن به دانه است (۴۲). مقادیر NHI مشاهده‌شده در این پژوهش (۳۰/۰۷-۳۷/۷ درصد)، قابل‌مقایسه با مقادیر گزارش‌شده برای ارقام مختلف برنج، بین ۳۳/۹ تا ۶۵ درصد (ژو و همکاران، ۲۰۱۶)، ۵۰/۲ تا ۶۸/۷ درصد (جیان و همکاران، ۲۰۱۴)، ۰/۶۷۴ تا ۰/۹۱۷ درصد (بی و همکاران، ۲۰۰۷) می‌باشد (۴۳، ۴۴ و ۴۵).

در شرایط آبیاری با دور ۸ روز و کوددهی در زمان پنجه‌دهی، با توجه به بهبود شرایط جذب، کارایی استفاده از نیتروژن و انتقال آن به دانه‌ها افزایش پیدا می‌کند (۴۱) و تبخیر از سطح خاک به حداقل مقدار خود و جذب نیتروژن توسط گیاه به مقدار حداکثر خود می‌رسد که نتیجه آن، کاهش آبشویی نیترات است. بنابراین، آبیاری با تناوب ۸ روز و تقسیم کود به‌صورت ۲۵ درصد در زمان کاشت، ۲۵ درصد در زمان پنجه‌دهی و ۵۰ درصد در زمان خوشه‌دهی، به جهت فراهم نمودن جذب حداکثری کود نیتروژن و داشتن حداقل تلفات نیترات، مناسب‌ترین شرایط را از نظر آبیاری-کودی فراهم نمود.

کاشت، کارایی مصرف و شاخص برداشت نیتروژن کاهش یافت. به‌طورکلی، هر واحد افزایش NHI سبب شد عملکرد دانه به مقدار قابل‌توجهی افزایش یابد.

نتایج دیگر نشان داد که افزایش مصرف نیتروژن سبب کاهش NHI شد که دلیل آن، جذب نیتروژن اضافی توسط ساقه بود (۴۴). در پژوهش حاضر، در تیمار I₁N₆ به علت غرقاب بودن و کودهی در زمان



شکل ۶- شاخص برداشت نیتروژن در تیمارهای مدیریتی آبیاری و کودی مختلف.

Figure 6. Nitrogen harvest index in different irrigation and fertilizer management treatments.

دهد. تغییر مدیریت آبیاری از غرقاب دائم به آبیاری متناوب با دور ۵ روز سبب کاهش ۳۴/۱ تا ۶۴/۲ درصدی تنش نیتروژن و افزایش ۷۷/۸ تا ۱۳۱/۷ درصدی کارایی مصرف آن در تیمارهای مختلف کودی شد. افزایش دور آبیاری به ۸ روز سبب کاهش ۳۳/۱ تا ۶۹/۸ درصدی تنش نیتروژن و افزایش ۸۶/۴ تا ۱۵۴/۶ درصدی کارایی مصرف این ماده غذایی در مقایسه با غرقاب دائم شد. بر این اساس، تغییر آبیاری برنج از وضعیت غرقابی به سیستم آبیاری متناوب می‌تواند سبب کاهش اتلاف کودهای نیتروژنی و اثرات منفی آن بر محیط‌زیست شود. درزی نفت‌چالی و مختصی (۲۰۲۲) نشان دادند که بهبود تهویه خاک سبب ارتقای جذب مواد غذایی و افزایش عملکرد برنج می‌شود (۴۶). اثرات مثبت تر و خشک شدن متناوب خاک بر کارایی مصرف نیتروژن در پژوهش‌های دیگر نیز به اثبات رسید (۴۷ و ۴۸). هدف از

جدول ۳ کارایی فیزیولوژیکی مصرف نیتروژن برای تولید دانه و تنش نیتروژن در تیمارهای مختلف را نشان می‌دهد. در هر مدیریت آبیاری، بیش‌ترین کارایی مصرف نیتروژن در تیمار کودی N₅ حاصل شد و پس‌از آن به ترتیب تیمارهای کودی N₂، N₃، N₁، N₄ و N₆ قرار داشتند. به‌عبارت‌دیگر، کوددهی در زمان کاشت و پنجه‌دهی به ترتیب کم‌ترین و بیش‌ترین NUEg را حاصل نمودند. این نتایج بیانگر آن است که مصرف کامل کود اوره در زمان کشت سبب می‌شود که تنش نیتروژن قابل‌توجهی به گیاه برنج وارد شود. علاوه بر این، تیمارهای تقسیط کودی که مشتمل بر مصرف بخشی از نیاز کودی در دوره کشت بودند نیز تنش نیتروژن زیادی ایجاد کردند. با توجه به تیمارهای موجود، مصرف تقسیطی کود اوره در زمان‌های پنجه‌دهی و خوشه‌دهی می‌تواند میزان کارایی مصرف آن را در مقایسه با سایر شرایط بهبود

می‌شود (۳۲). هم‌چنین از دلایل افزایش کارایی مصرف نیتروژن می‌توان به استفاده مؤثرتر از منابع نیتروژن در زمان حداکثر نیاز گیاه و کاهش زمان آیشویی اشاره کرد.

روش‌های مختلف عرضه کود نیتروژن، دستیابی به NUEg بالا و به حداکثر رساندن سود است (۴۹). نتایج وانگ و همکاران (۲۰۱۶) نشان داد که عملکرد دانه، WUE و NUE در برنج نه‌تنها توسط رژیم‌های آبیاری بلکه با تعامل آن‌ها با میزان N نیز تعیین

جدول ۳- کارایی فیزیولوژیکی مصرف نیتروژن برای تولید دانه (NUEg) و تنش نیتروژن در تیمارهای مدیریت آبیاری و کود.

Table 3. Physiological use efficiency of nitrogen for grain production (NUEg) and nitrogen stress in irrigation and fertilizer management treatments.

NUEg	میانگین تنش نیتروژن Average nitrogen stress	تیمارهای مدیریتی Management treatments
0.383	0.221	I ₁ N ₁
0.403	0.217	I ₁ N ₂
0.464	0.188	I ₁ N ₃
0.271	0.273	I ₁ N ₄
0.504	0.162	I ₁ N ₅
0.225	0.299	I ₁ N ₆
0.707	0.141	I ₂ N ₁
0.746	0.131	I ₂ N ₂
0.825	0.105	I ₂ N ₃
0.628	0.163	I ₂ N ₄
0.948	0.058	I ₂ N ₅
0.425	0.197	I ₂ N ₆
0.743	0.141	I ₃ N ₁
0.796	0.128	I ₃ N ₂
0.865	0.102	I ₃ N ₃
0.690	0.154	I ₃ N ₄
0.997	0.049	I ₃ N ₅
0.445	0.200	I ₃ N ₆

و شاخص برداشت نیتروژن به مدیریت‌های مختلف، آبیاری با تناوب ۸ روز بهترین نتایج را حاصل نمود. از نظر مدیریت کود، کوددهی در زمان‌های پنجه‌دهی و خوشه‌دهی سبب بهبود قابل‌توجه شاخص‌های موردبررسی شدند. براساس نتایج، تقسیط کود به‌صورت ۲۵ درصد در زمان کاشت، ۲۵ درصد در زمان پنجه‌دهی و ۵۰ درصد در زمان خوشه‌دهی، شرایط مطلوبی را در میان تیمارهای کوددهی فراهم نمود. به‌طورکلی، نتایج نشان داد که تلفیق آبیاری با

نتیجه‌گیری کلی

این پژوهش باهدف بررسی اثرات تلفیق دور آبیاری و تقسیط کود نیتروژن بر عملکرد، بهره‌وری مصرف آب، کارایی مصرف نیتروژن و آیشویی نیترات در استان مازندران با بهره‌گیری از قابلیت مدل CERES-RICE انجام شد. براساس نتایج و با توجه به واکنش عملکرد دانه برنج، شاخص برداشت، بهره‌وری آب، کارایی اقتصادی مصرف آب، کارایی مصرف نیتروژن، نیتروژن جذب‌شده، آیشویی نیترات

تعارض منافع

در این مقاله تعارض منافی وجود ندارد و این مسئله مورد تأیید همه نویسندگان است.

مشارکت نویسندگان

سمیرا ضیایی فر در تهیه داده‌ها، انجام محاسبات، نگارش و بازبینی مقاله؛ حسین خزیمه‌نژاد در نگارش و بازبینی مقاله؛ حسن علی‌نژاد در انجام شبیه‌سازی‌های مدل، عبدالله درزی نفتچالی در نگارش و بازبینی مقاله مشارکت داشتند.

اصول اخلاقی

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این اثر عملی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آن‌ها می‌باشد.

حمایت مالی

این پژوهش با حمایت مالی دانشگاه بیرجند انجام شد.

تناوب ۸ روز (در دوره ۲۰ تا ۵۰ روز پس از نشاکاری) و کوددهی در زمان پنجه‌دهی دارای بهترین عملکرد بوده و می‌توان از آن به‌عنوان بهترین گزینه در مدیریت کشتزارهای برنج در منطقه مورد مطالعه استفاده کرد که از مزایای آن، کاهش هزینه تولید، افزایش درآمد کشاورزان و کاهش اثرات زیست‌محیطی خواهد بود.

تقدیر و تشکر

از دانشگاه بیرجند به دلیل حمایت مالی، و از دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری نیز به خاطر در اختیار قرار دادن زمین برای انجام تحقیقات مزرعه‌ای، کمال قدردانی به عمل می‌آید.

داده‌ها و اطلاعات

داده‌های هواشناسی از اداره کل هواشناسی استان مازندران و داده‌های مزرعه‌ای در طول دو فصل کشت برنج در سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱ از مزرعه دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری تهیه شد.

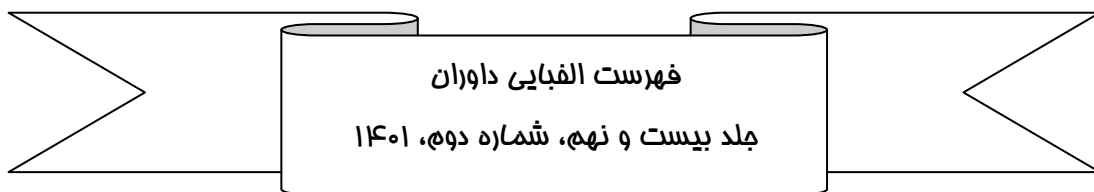
منابع

- 1.FAO. 2014. FAO STATISTICAL YEARBOOK.2014.
- 2.Ministry of Jihad Agriculture. 2010. Agricultural statistics of the crop year 2017-2018. Volume One, Crops. 87p.
- 3.Guerra, L.C., Bhuiyan, S.I., Tuong, T.P., and Tuong, R. 1998. Producing More Rice with Less Water. SWIM Paper 5. International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka.
- 4.Thakur, A.K., Mohanty, R.K., Patil, D.U., and Kumar, A. 2014. Impact of water management on yield and water productivity with system of rice intensification (SRI) and conventional transplanting system in rice. Paddy Water Environ. 12: 413-424.
- 5.Darzi-Naftchali, A., Karandish, F., and Simunek, J. 2018. Numerical modeling of soil water dynamics in subsurface drained paddies with the midseason drainage or alternate wetting and drying management. Agric. Water Manag. 197: 67-78.
- 6.Bouman, B.A.M., and Tuong, T.P. 2001. Field water management to save water and increase its productivity in irrigated lowland rice. Agricultural Water Management. 49: 11-30.
- 7.Chen, S.K., and Liu, C.W. 2012. Analysis of water movement in paddy rice fields (I) experimental studies. Journal of Hydrology. 260: 206-215.
- 8.Pathak, B.K., Kazama, F., and Lida, T. 2004. Monitoring of nitrogen leaching from a tropical paddy field in Thailand. Agricultural Engineering International: The CIGR Journal of Scientific Research and Development. VI (December), Manuscript LW 04 015.

9. Darzi-Naftchali, A., Mirlatifi, S.M., Shahnazari, A., Ejlali, F., and Mahdian, M.H. 2013. Effect of subsurface drainage on water balance and water table in poorly drained paddy fields. *Agric. Water Manage.* 130: 61-68.
10. Liaghat, A., Pourgholam Amiji, M., and Mashhoury Nejad, P. 2018. The Effect of Surface and Subsurface Irrigation with Saline Water and Mulch on Corn Yield, Water Productivity and Solute Distribution in the Soil. *Journal of Water and Soil.* 32: 4. 661-674. (In Persian)
11. Li, Zh., Leighton, H.G., Masuda, K., and Takashima, T. 1993a. Estimation of SW Flux Absorbed at the Surface from TOA Reflected Flux. *J. Climat.* 6: 2. 317-330.
12. Taghizadeh, M., Esfahani, M., Davangar, N., and Madani, H. 2008. The effect of irrigation cycle and different amounts of nitrogen on yield and yield components of Tarom Hashemi rice in Rasht. *Journal of New Agricultural Findings.* 4: 2. 353-364. (In Persian)
13. Ashouri, M., Sadeghi, S.M., and Amiri, E. 2009. Investigation of the effects of irrigation cycle and nitrogen fertilizer on rice grain yield. *Journal of Biological Sciences.* 4: 3. 59-66. (In Persian)
14. Aghajani, M., and Navabyan, M. 2012. Comparison of some optimal indicators of water productivity in intermittent irrigation of Rasht paddy lands. *Journal of Water and Soil (Agricultural Sciences and Industries).* 5: 26. 1277-1288. (In Persian)
15. Mote, K., Rao, V.P., Ramulu, V., Kumar, K.A., and Devi, M.U. 2017. Standardization of alternate wetting and drying (AWD) method of water management in low land rice (*Oryza sativa* (L.)). *International Journal of Plant Production.* 11: 4. 515-532.
16. Godwin, D.C., and Singh, U. 1998. Nitrogen balance and crop response to nitrogen in upland and lowland cropping systems. In *Understanding options for agricultural production.* Springer. pp. 55-78.
17. Soltani, A., and Hoogenboom, G. 2007. Assessing crop management options with crop simulation models based on generated weather data. *Field Crops Research.* 103: 3. 198-207.
18. Amiri, E., Rezaei, M., Bannayan, M., and Soufizadeh, S. 2013. Calibration and Evaluation of CERES Rice Model under Different Nitrogen- and Water-Management Options in Semi-Mediterranean Climate Condition. *Communications in Soil Science and Plant Analysis.* 44: 12.
19. Jing, Q., Van Keulen, H., Hengsdijk, H., Cao, W., Bindraban, P.S., Dai, T., and Jiang, D. 2009. Quantifying N response and N use efficiency in rice-wheat (RW) cropping systems under different water management. *J. Agric. Sci.* 147: 303-312.
20. Ritchie, J.T., Porter, C.H., Judge, J., Jones, J.W., and Suleiman, A.A. 2009. Extension of an existing model for soil water evaporation and redistribution under high water content conditions. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 73: 792-801.
21. Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., and Smith, M. 1998. *Crop Evapotranspiration-Guidelines for Computing Crop Water Requirements-Fao Irrigation and Drainage Paper 56.* FAO. 300p.
22. Alinejad, H., Darzi-Naftchali, A., and Saberali, S.F. 2017. Performance Assessment of CERES-Rice Model for Predicting Nitrogen Balance Components During Rice Growing Season in Subsurface- Drained Paddy Fields. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage.* 11: 2. 263-273. (In Persian)
23. Hatfield, J.L., and Dold, C. 2019. Water-use efficiency: advances and challenges in a changing climate. *Front Plant Sci.* <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00103>.
24. Liu, X., Xu, C., Zhong, X., Li, Y., Yuan, X., and Cao, J. 2017. Comparison of 16 models for reference crop evapotranspiration against weighing lysimeter measurement. *Agric Water Manag.* 184: 145-155.
25. Karandish, F., Mousavi, S.S., and Tabari, H. 2017. Climate change impact on precipitation and cardinal temperatures in different climatic zones in Iran: analyzing the probable effects on cereal water-use efficiency. *Stoch. Env. Res. Risk Assess.* 31: 8. 2121-2146.

26. Kavoosi, M., and Yazdany, M.R. 2020. Effect of irrigation interval and nitrogen fertilizer rate on grain yield and yield components of rice (*Oryza sativa* L.) cv. Hashemi. *Journal of Iranian Society of Crops and Plant Breeding Sciences*. 22: 2. 168-182. (In Persian)
27. Cao, X.C., Wu, L.L., Lu, R.H., Zhu, L.F., Zhang, J.H., and Jin, Q.Y. 2020. Irrigation and fertilization management to optimize rice yield, water productivity and nitrogen recovery efficiency. *Irrigation Science*. 39: 235-249.
28. Yang, J., and Zhang, J. 2010. Crop management techniques to enhance harvest index in rice. *Journal of Experimental Botany*. 61: 12. 3177-3189.
29. De Vries, M., Rodenburg, J., V. Bado, B., Sow, A., A. Leffelaar, P., and Giller, E. 2010. Rice production with less irrigation water is possible in a Sahelian environment. *Field Crops Research*. 116: 154-164.
30. Carrers, R.C., Tome, R.G., Sendra, J., Ballesters, R., Vallente, E.F., Quesada, A., Niera, M., and Leganes, F. 1996. Effect of nitrogen rates on rice growth and biological nitrogen fixation. *Journal of Agricultural Science. Camb*. 127: 295-302.
31. Davodi, M., Davangar, N., Tehrani, M., Moshiri, F., and Amiri larijani, B. 2014. Integrated soil fertility management and rice nutrition guidelines. Comprehensive program of soil fertility and plant nutrition. pp. 2014-2025. (In Persian)
32. Wang, Z., Zhang, W., Beebout, S., Zhang, H., Liu, L., Yang, J., and Zhang, J. 2016. Grain yield, water and nitrogen use efficiencies of rice as influenced by irrigation regimes and their interaction with nitrogen rates. *Field Crop Res*. 193: 54-69.
33. Yang, F., Xu, X., Wang, W., Ma, J., Wei, D., He, P., Pampolino, M.F., and Johnston, A.M. 2017. Estimating nutrient uptake requirements for soybean using QUEFTS model in China. *PLOS ONE*. 12(5): e0177509. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0177509>.
34. Zhang, J., Tong, T., Potcho, P M., Huang, S., Ma, L., and Tang, X. 2021. Nitrogen Effects on Yield, Quality and Physiological Characteristics of Giant Rice. *Agronomy*. 10: 1816.
35. Gholami Sefidkouhi, M.A., Bagheri Khalili, Z., and Ghalehovi, A. 2021. Investigation of Rice Actual Evapotranspiration and Crop Coefficients for Shiroudi and Hashemi Cultivars in Sari. *Journal of Water Research in Agriculture*. 34: 4.505-516. (In Persian)
36. Akhtar, S.S., Andersen, M.N., and Liu, F. 2014. Biochar enhances yield and quality of tomato under reduced irrigation. *Agricultural Water Management*. 138: 37-44.
37. Asadi, R., Nasiri, M., and Mohammadyan, N. 2008. Optimal management of water consumption in paddy fields (low water conditions). Permanent Age Publications. 12p. (In Persian)
38. Yaghobi, B., and Rajabyan, M. 2010. A review of direct rice cultivation with emphasis on weed management. Publications of the National Rice Research Institute. Journal No. 37. 52 p. (In Persian)
39. Chu, G., Wang, Z.Q., Zhang, H., Liu, L.J., Yang, J.C., and Zhang, J.H. 2015. Alternate wetting and moderate drying increases rice yield and reduces methane emission in paddy field with wheat straw residue incorporation. *Food Energy Secur*. 4: 238-254.
40. Negm, L.M., Youssef, M.A., Skaggs, R.W., Chescheir, G.M., and Kladiwko, E.J. 2014a. DRAINMOD-DSSAT Simulation of the Hydrology, Nitrogen Dynamics, and Plant Growth of a Drained Corn Field in Indiana. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 140. 04014026.
41. Alijani Zafarani, M., Naeimi, M., Biabani, A., Rahemi, A., and Gholizadeh, A. 2019. The effect of nitrogen fertilizer installment under various light and temperature conditions on yield and efficiency of nitrogen consumption in durum wheat. *Journal of Applied Research in Plant Ecophysiology*. 6: 2. 135-147. (In Persian)

42. Zhu, G., Peng, S., Huang, J., Cui, K., Nie, L., and Wang, F. 2016. Genetic Improvements in Rice Yield and Concomitant Increases in Radiation- and Nitrogen-Use Efficiency in Middle Reaches of Yangtze River. *Scientific reports*. 6. 21049. <https://doi.org/10.1038/srep21049>.
43. Muurinen, S., Kleemola, J., and Peltonen-Sainio, P. 2007. Accumulation and translocation of nitrogen in spring cereal cultivars differing in nitrogen use efficiency. *Agronomy Journal*. 99: 441-449.
44. Jian, Z.P., Wang, F., Li, Z.Z., Chen, Y.T., Ma, X.C., Nie, L.X., Cui, K.H., Peng, S.B., Lin, Y.J., Song, H.Z., Li, Y., and Huang, J.L. 2014. Grain yield and nitrogen use efficiency responses to N application in Bt (Cry1Ab/Ac) transgenic two-line hybrid rice. *Field Crops Research*. 155: 184-191.
45. Ye, Q., Zhang, H., Wei, H., et al. 2007. Effects of nitrogen fertilizer on nitrogen use efficiency and yield of rice under different soil conditions. *Frontiers of Agriculture in China*. 1: 1. 30-36.
46. Darzi-Naftchali, A., and Mokhtassi-Bidgoli, A. 2022. Saving environment through improving nutrient use efficiency under intensive use of agrochemicals in paddy fields. *Sci. Total Environ*. 822: 153487.
47. Pan, J., Liu, Y., Zhong, X., et al. 2017. Grain yield, water productivity and nitrogen use efficiency of rice under different water management and fertilizer-N inputs in South China. *Agricultural Water Management*. 184: 191-200.
48. Djaman, K., Mel, V.C., Diop, L., et al. 2018. Effects of alternate wetting and drying irrigation regime and nitrogen fertilizer on yield and nitrogen use efficiency of irrigated rice in the Sahel. *Water* 10, 711. <https://doi.org/10.3390/w10060711>.
49. Alou, I.N., Laan, M.V.D., Annandale, J.G., and Steyn, J.M. 2020. Water and Nitrogen (N) Use Efficiency of Upland Rice (*Oryza sativa* L. × *Oryza glaberrima* Steud.) under Varying N Application Rates. *Nitrogen*. 1: 151-166.



فهرست الفبایی داوران
جلد بیست و نهم، شماره دوم، ۱۴۰۱

دکتر جواد بذرافشان	دکتر میثم سالاری جزی
دکتر مسعود جلالی	دکتر علی شهپریاری
دکتر وحیدرضا جلالی	دکتر عدنان صادقی لاری
دکتر مجید حجازی مهریزی	دکتر معصومه فراستی
دکتر مجتبی خوش‌روش	دکتر نسرین قربان‌زاده
دکتر مهدی دلقندی	دکتر رسول میرعباسی نجف‌آبادی
دکتر الهام رفیعی ساردویی	دکتر مهدی نادری
دکتر یوسف رمضانی	دکتر حامد نقوی

از زحمات تمامی این همکاران محترم، تشکر و قدردانی می‌شود.

شرایط پذیرش و راهنمای نگارش مقاله

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک مقالات تحقیقی و مروری را در زمینه‌های حفاظت و مدیریت بهینه منابع آب و خاک و علوم وابسته به آن می‌پذیرد. مقاله‌ای برای چاپ پذیرفته خواهد شد که متن کامل آن قبلاً در هیچ نشریه‌ای منتشر و نیز برای چاپ به سایر نشریات ارائه نشده باشد. مقالات ارسالی می‌توانند به زبان فارسی یا انگلیسی (با شرایط خاص) باشند، ولی چکیده باید به هر دو زبان تهیه شود. در مقالاتی که دارای چند نویسنده هستند، ترتیب اسامی و حقوق نویسندگان بر عهده ارسال‌کننده مقاله خواهد بود. مسئولیت هر مقاله از نظر علمی بر عهده نویسنده(گان) خواهد بود. نشریه در رد یا قبول و حک و اصلاح مقالات آزاد است.

مقاله تحقیقی، مقاله‌ای است حاصل تحقیق و مستند به نتایج پژوهش‌های انفرادی یا جمعی که با هدف مشخصی به انجام رسیده است، مقاله مروری شامل ارزیابی و نقد نوشته‌هایی است که در نشریات و کتاب‌های مختلف علمی در همان زمینه به چاپ رسیده است. در این نوع مقالات، نویسنده کارهای پژوهشی گذشته را جهت روشن شدن وضعیت فعلی مسئله، طرح و بررسی می‌کند و بعد ارتباطات، تناقض‌ها و محدودیت‌های موجود را بیان نموده، سرانجام پیشنهادهای خود را ارائه می‌نماید. گزارش کوتاه علمی مقالات کم‌حجمی (حدود ۳۰۰۰ کلمه) هستند که با هدف انتشار سریع اطلاعات و دستاوردهای جدید و پراهمیت حاصل از تحقیقات علمی تدوین شده‌اند. مقالات ترجمه شده فقط در صورتی پذیرفته می‌شوند که حاوی روش یا مسئله علمی بسیار مهمی باشند. هر مقاله تحقیقی باید دارای عنوان، چکیده فارسی، واژه‌های کلیدی به فارسی، مقدمه، مواد و روش‌ها، نتایج و بحث، منابع، چکیده انگلیسی و واژه‌های کلیدی به انگلیسی باشد و اصول زیر در آن رعایت شود:

۱) عنوان مقاله باید کوتاه و گویا باشد و از ۱۵ واژه تجاوز نکند.

۲) هر مقاله باید دارای یک فایل حاوی مشخصات مقاله شامل نام و نام‌خانوادگی نویسنده(گان)، مرتبه علمی و نشانی به هر دو زبان فارسی و انگلیسی، شماره تلفن و نمابر و پست الکترونیکی باشد.

۳) چکیده فارسی باید به صورت مبسوط شامل سابقه و هدف، مواد و روش‌ها، یافته‌ها و نتیجه‌گیری باشد و تمام آن در یک صفحه A4 (حداقل ۴۰۰ و حداکثر ۶۰۰ کلمه با فاصله خطوط یک) به (فرمت زیر) باشد:

چکیده

سابقه و هدف: (B lotus, font size 11)

مواد و روش‌ها: (B lotus, font size 11)

یافته‌ها: (B lotus, font size 11)

نتیجه‌گیری: (B lotus, font size 11)

واژه‌های کلیدی: (B lotus, font size 11)

چکیده انگلیسی باید ترجمه کامل چکیده فارسی و به صورت مبسوط (abstract extended) و در پایان مقاله بعد از منابع با فاصله خطوط یک لحاظ شود و شامل:

(Conclusion; Results; Materials and methods; Background and objectives) باشد (فرمت زیر):

(Center) Title: Times New Romans Font 12 Bold

Abstract

Background and objectives: Times New Roman (font size: 11)

Materials and methods: Times New Roman (font size: 11)

Results: Times New Roman (font size: 11)

Conclusion: Times New Roman (font size: 11)

Keywords: Times New Roman (font size: 11)

۴) واژه‌های کلیدی در ۳ تا ۵ واژه بلافاصله بعد از چکیده‌های فارسی و انگلیسی آورده شود.

۵) مقدمه باید شامل طرح مسئله، سوابق کار و توجیه اهمیت تحقیق باشد. اهداف مطالعه به‌طور شفاف در انتهای مقدمه ذکر شود.

۶) مواد و روش‌ها شامل وسایل کار، طرح آماری، نحوه داده‌سازی و شیوه اجرای پژوهش است که باید مشخص و روشن بیان شود.

۷) نتایج و بحث شامل درج یافته‌های تحقیق، بحث مستدل (با مرجع) و نتیجه‌گیری خواهد بود. نتایج و بحث با هم تدوین شود. شکل‌ها و جدول‌ها در نتایج و بحث نباید دارای اطلاعات مشابه یا تکراری باشند، داده‌های جدول نباید به‌صورت منحنی یا نمودار (به‌استثنای نقشه) تکرار شوند.

۸) نتیجه‌گیری کلی نتیجه کلی مهمترین یافته تحقیق است که باید در یک پاراگراف آورده شود.

۹) در صورت ضرورت، تشکر و قدردانی از موسسات و افراد زیر عنوان "سپاسگزاری" قبل از منابع آورده شود.

۱۰) کل منابع به زبان انگلیسی و به ترتیب حروف الفبای نام خانوادگی نویسندگان و نام سازمان‌هاست. از ارجاع منابع با عنوان "بی‌نام" خودداری شود.

۱۱) منبع مورد استفاده ممکن است کتاب، مقاله یا نشریه باشد. در مورد کتاب باید نام نویسنده(گان)، سال انتشار، عنوان کتاب، ناشر و محل انتشار و تعداد کل صفحات آورده شود.

الف) کتاب تالیف شده در ایران:

1. Parsapajouh, D. 1994. Wood technology. Tehran Univ. Press, 404p. (In Persian)

ب) کتاب به لاتین (رجوع به کل صفحه)

1. Holik, H. 2006. Handbook of paper and board. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, Germany, 506p.

ج) کتاب به لاتین (صفحه‌های مورد استفاده)

1. Nyland, R.D. 1996. Silviculture, Concepts and applications. Mc Graw-Hill international edition, New York, Pp: 501-553.

۱۲) برای مقالاتی که فصلی از یک کتاب با نویسنده (گان) مجزا هستند (مانند مقاله در همایش‌ها)، این موارد شامل نام نویسنده (گان)، سال انتشار، عنوان مقاله، شماره صفحات، نام نویسنده (گان) (ادیتورها) کتاب، نام کتاب، ناشر و محل انتشار است.

1. Yang, C. and Tao, V. 2005. Distributed geospatial information service. P 113-130, In: S. Rana and J. Sharma (eds), Frontiers of geographic information technology, Springer, London.

۱۳) طرز نگارش منابع فارسی مقاله به انگلیسی باید شامل نام نویسنده (گان)، سال انتشار، عنوان مقاله، نام نشریه کامل یا به اختصار، جلد (شماره) نشریه و شماره صفحات مقاله باشد. مثال:

1. Mohamadi, J. and Shataee, Sh. 2009. Sensitivity Evaluation of spectral vegetation indices using sensitivity functions for stand volume estimation. Gorgan, J. of Wood and Forest Science and Technology. 16: 2.101-120. (In Persian)

مقاله لاتین:

2. Pere, J., Siika-aho, M. and Viikari, L. 1995. Effects of purified Trichoderma reesei cellulose on the fiber properties of kraft pulp. Tappi J. 78:6.71-78.

۱۴) اگر منبع نشریه چاپ شده با نام یک موسسه است، باید شامل نام موسسه، سال انتشار، عنوان نشریه و محل انتشار باشد. برای سایر موارد به آخرین شماره رجوع شود.

۱۵) ارجاع به منابع در متن:

الف: هنگامی که نام نویسندگان در متن آورده می‌شود لازم است نام خانوادگی نویسنده و سال انتشار منبع به سال میلادی نوشته شود و در انتهای جمله نیز شماره منبع قید شود (مطابق نمونه زیر). اگر تعداد نویسندگان بیش از دو نفر باشد، به ذکر نام خانوادگی نویسنده اول و سپس "و همکاران (سال میلادی)" اکتفا شود.

"رتس و توروک (۲۰۰۳) رابطه بخش‌های کشاورزی و صنعت در برخی کشورهای افریقایی را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. آنها با بررسی تبعیض بین کشاورزی و صنعت نشان دادند که تبعیض علیه کشاورزی ممکن است نرخ رشد اقتصادی را کاهش دهد و مزیت‌های تکنولوژیکی صنعت را از بین ببرد (۸)."

ب: هنگامی که نیازی به آوردن نام نویسندگان در متن نباشد تنها در انتهای جمله شماره منبع قید شود (مطابق نمونه زیر).

"بخش خدمات، اثرات متقابل زیادی با دیگر بخش‌ها دارد به طوری که براساس مدل‌های شبیه‌سازی شده سهم خالص بخش کشاورزی و صنعت در افزایش تولید ناخالص داخلی از طریق بخش خدمات به ترتیب ۶ و ۲۲ درصد است (۵)."

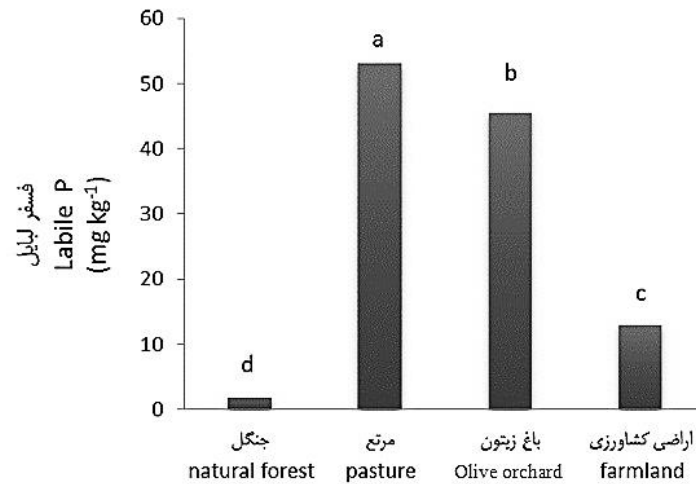
(۱۶) منابع فارسی ترجمه شده از زبان‌های خارجی باید با نام مترجم ارجاع شود و بعد از عنوان کتاب، یا مقاله، واژه "ترجمه" داخل پرانتز درج شود. مثال:

1. Farabi, H. 2000. Manual on acute forest damage. Gorgan Univ. of Agricultural Sciences and Natural Resources Press. 140p. (Translated in Persian)

(۱۷) از به کار بردن کلمات خارجی غیر از اسامی علمی در متن خودداری شود و در صورت نبودن معادل فارسی فراگیر، آنها را به فارسی نوشته و اصل کلمه با ذکر شماره‌های بدون پرانتز در قسمت بالا و در سمت چپ کلمه، به زیرنویس در همان صفحه ارجاع داده شود.

(۱۸) اسامی علمی (جنس و گونه، گیاهان، جانوران) در تمام مقاله با حروف ایتالیک یا مورب تایپ شوند و نام مصنف برای اولین بار و در جلوی آن در داخل پرانتز نوشته شود.

(۱۹) عنوان و اطلاعات هر یک از شکل‌ها و جدول‌ها به دو صورت فارسی و انگلیسی نوشته شوند. عناوین جدول‌ها در بالا و عناوین شکل‌ها در زیر با فرمت وسط‌چین نوشته شود. از کشیدن هر گونه خط عمودی در جدول خودداری شود. در جدول‌ها و شکل‌ها، واحدهای ویژگی‌های مورد مطالعه در سیستم بین‌المللی (SI) در داخل پرانتز و به انگلیسی نوشته شود مثل (%، day mm^{-1})، (mg L^{-1}) و (mg kg^{-1}) . از اعداد انگلیسی در محورهای افقی و عمودی در شکل‌ها استفاده شود. از به کار بردن عنوان‌هایی مانند نمودار، عکس و نقشه، خودداری و آنها با عنوان "شکل" درج شوند (مثال زیر):



شکل ۴- اثر تغییر کاربری اراضی بر غلظت فسفر لبایل -
Figure 4- Effect of land use change on labile P.

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های فیزیکی- شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه .

Table 1- Selected physical and chemical characteristics of the studied soils .

CEC ($\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$)	کربنات کلسیم معادل (%) Calcium carbonate equivalent (%)	کربن آلی (%) Organic carbon (%)	EC(dSm^{-1})	pH(1:2)	بافت خاک Soil texture	نام کاربری Land use
18.83	5.31	1.58	0.36	7.27	لوم رسی سیلتی (Silty clay loam)	جنگل طبیعی (natural forest)
13.70	15.43	0.88	0.34	7.32	لوم رسی سیلتی (Silty clay loam)	مرتع (pasture)
13.55	13.28	0.76	0.60	7.31	لوم رسی سیلتی (Silty clay loam)	باغ زیتون (olive orchard)
12.30	13.53	0.73	0.40	7.16	لوم رسی سیلتی (Silty clay loam)	زمین کشاورزی (farmland)

۲۰) متن مقاله باید به صورت تک‌ستونی با فاصله خطوط ۱/۵ و با رعایت حاشیه ۲/۵ سانتی‌متر از لبه‌ها و حداکثر در ۱۵ صفحه و با نیم سانتی‌متر تورفتگی در شروع پاراگراف‌ها تایپ شود و از طریق پورتال نشریه ارسال شود. تایپ مقالات در نرم‌افزار **Word 2003** یا نسخه‌های بالاتر میکروسافت توصیه می‌شود. جدول‌ها و تصاویر نیز در متن مقاله آورده شود و نیاز به بارگذاری فایل مجزا نمی‌باشد. هر جدول یا شکل بلافاصله پس از ارجاع به آن در متن، آورده شود.

اندازه قلم بخش‌های مختلف مقاله به صورت زیر است:

چکیده فارسی و انگلیسی: B lotus و Times New Romans با اندازه ۱۱

متن مقاله: قلم B Lotus و با اندازه ۱۲

عنوان مقاله: B Titr پررنگ (Bold) و با اندازه ۱۲

عنوان‌های فرعی: B Mitra پررنگ (Bold) و با اندازه ۱۲

عنوان جدول‌ها و شکل‌ها: B lotus پررنگ (Bold) و با اندازه ۱۰

کلمه‌ها داخل جدول‌ها و پاورقی: B lotus و با اندازه ۱۰

اعداد داخل جدول‌ها: Times New Roman و با اندازه ۱۰

منابع: Times New Roman و با اندازه ۱۱

۲۱) ممکن است برای چاپ، شکل‌ها کوچکتر شوند، بنابراین نوشته‌ها و اعداد روی شکل‌ها باید درشت و کاملاً خوانا باشد.

۲۲) عکس‌ها باید دارای مقیاس باشند و در صورت اقتباس از منبع دیگر باید ذکر شوند.

۲۳) مسئول مکاتبه هر مقاله لازم است توسط نویسندگان مقاله قبل از ارسال مشخص شود. بنابراین هر گونه مسئولیتی در رابطه با مقاله مربوط به شخص مکاتبه‌کننده است.

۲۴) دانشجویان دوره کارشناسی ارشد و دکترا لازم است قبل از ارسال مقاله هماهنگی و مشاوره لازم را در خصوص مقاله با استاد راهنما به عمل آورند.

۲۵) همچنین این نشریه گزارش‌های کوتاه علمی و فنی را که تاکنون چاپ نشده پس از اعلام نظر داور تخصصی و تایید هیات تحریریه به‌عنوان Technical report و یادداشت‌های کوتاه علمی جهت چاپ پذیرش می‌نماید. این قبیل گزارش‌ها در ۳ تا ۵ صفحه قابل چاپ خواهند بود (به‌همراه عنوان چکیده‌ها و منابع علمی). در ضمن ساختار کلی گزارش‌های کوتاه علمی همانند یک مقاله کامل می‌باشد.

Contents

Feasibility study of rainfed barley annual yield prediction based on different drought indices.....	1
Younes Khoshkhoo	
Evaluation of aggregate stability under the influence of the application of petroleum compounds in soils with different textures	25
Raziyeh Daryae, Ali Akbar Moosavi, Reza Ghasemi, Masoud Riazi	
Determination of residues concentration and ecotoxicology of organophosphorus pesticides in soil and water of paddy fields of Rudbar County in Guilan province	47
Behrooz Azh Baragoori, Hasan Karimzadegan, Mohsen Mohammadi Galangash, Fatemeh Shariati Feizabadi, Leila Ooshaksaraei	
Technical Evaluation of Modern Irrigation Systems in Chaharmahal and Bakhtiari Province (Case Study: Shahrekord, Saman and Bon Counties).....	69
Seyed Mohammadreza Hosseini Vardanjani, Mojtaba Khoshravesh, Masoud Pourgholam-Amiji, Fatemeh Atashkhar, Gholamreza Shamaei	
Performance evaluation of Atom Search Optimization algorithm in optimal operation of multi-reservoir systems and single reservoirs under sedimentation (Case study: Dez Dam)	91
Mohsen Moslemzadeh, Hojat Karami, Saeed Farzin, Iman Ahmadianfar	
Detection and Prediction of Land Use Changes Using Modeling Approach within a GIS Environment (Case Study: Hablehroud Watershed).....	113
Mahin Naderi, Vahedberdi Sheikh, Chooghi Bairam Komaki, Abdolreza Bahrehmand, Abdul Azim Ghanghermeh, Hamid Siroosi	
Evaluation of the influence of water management and different methods of nitrogen application on rice yield and water use efficiency	135
Samira Ziaefar, Hosein Khozayemnezhad, Hassan Alinezhad, Abdullah Darzi-Naftchali	



Water and Soil Conservation

(Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources)

Vol. 29, No. 2, 2022

ISSN Online: 2322-2794
Print: 2322-2069

Contents

- Feasibility study of rainfed barley annual yield prediction based on different drought indices..... 1**
Younes Khoshkhoo
- Evaluation of aggregate stability under the influence of the application of petroleum compounds in soils with different textures 25**
Raziyeh Daryae, Ali Akbar Moosavi, Reza Ghasemi, Masoud Riazi
- Determination of residues concentration and ecotoxicology of organophosphorus pesticides in soil and water of paddy fields of Rudbar County in Guilan province 47**
Behrooz Azh Baragoori, Hasan Karimzadegan, Mohsen Mohammadi Galangash, Fatemeh Shariati Feizabadi, Leila Ooshaksaraei
- Technical Evaluation of Modern Irrigation Systems in Chaharmahal and Bakhtiari Province (Case Study: Shahrekord, Saman and Bon Counties) 69**
Seyed Mohammadreza Hosseini Vardanjani, Mojtaba Khoshravesh, Masoud Pourgholam-Amiji, Fatemeh Atashkhar, Gholamreza Shamaei
- Performance evaluation of Atom Search Optimization algorithm in optimal operation of multi-reservoir systems and single reservoirs under sedimentation (Case study: Dez Dam) 91**
Mohsen Moslemzadeh, Hojat Karami, Saeed Farzin, Iman Ahmadianfar
- Detection and Prediction of Land Use Changes Using Modeling Approach within a GIS Environment (Case Study: Hablehroud Watershed)..... 113**
Mahin Naderi, Vahedberdi Sheikh, Chooghi Bairam Komaki, Abdolreza Bahrehmand, Abdul Azim Ghanghermeh, Hamid Siroosi
- Evaluation of the influence of water management and different methods of nitrogen application on rice yield and water use efficiency 135**
Samira Ziaefar, Hosein Khozaymehnezhad, Hassan Alinezhad, Abdullah Darzi-Naftchali