

شاپا: ۵۲۰۲-۲۴۲۳
دوره نهم، شماره سوم،
(شماره پیاپی ۳۵)، پاییز ۱۴۰۲

صاحب امتیاز: دانشگاه علوم پزشکی مشهد
سازمان حامی علمی، مالی و ناشر: معاونت پژوهشی
دانشگاه علوم پزشکی مشهد و انجمن علمی بهداشت

محیط ایران

مدیر مسئول: دکتر حسین علیدادی

سردبیر: دکتر علی اصغر نجف پور

مدیر اجرایی: دکتر مریم سرخوش

کارشناس اجرایی: مونا تبریزی

ویراستار علمی: دکتر علی اصغر نجف پور و

دکتر حسین علیدادی

ویراستار ادبی: منصوره محمدنژاد

ویراستار انگلیسی: مجتبی داودی

طرح جلد: بهاره بشرویی شرق

صفحه آرایی: ابوالفضل آمرزش

نشانی: مشهد، خیابان دانشگاه، دانشکده بهداشت،

دفتر مجله پژوهش در بهداشت محیط

رایانامه: jreh@mums.ac.ir

سامانه: jreh.mums.ac.ir

تلفن: ۰۵۱۳۱۸۹۲۴۰۲

نمابر: ۰۵۱۳۸۵۵۲۶۱۱

فصلنامه پژوهش در بهداشت محیط دانشگاه علوم پزشکی مشهد به منظور ارتقاء سطح آگاهی و تبادل اطلاعات علمی، پژوهشی محققین از سال ۱۳۹۳ پس از دریافت مجوز از کمیسیون نشریات علوم پزشکی کشور به شماره ۹۲/۲۴۰۹۸۱ آغاز به فعالیت نموده است. این مجله ضمن دعوت از اساتید، پژوهشگران و دانشجویان محترم مقالات پژوهشی، مروری و گزارش مورد در زمینه علوم بهداشت محیط اقدام به چاپ می نماید.

فصلنامه پژوهش در بهداشت محیط، طلیعه جدید و نوینی ناشی از خواست به حق اساتید، محققان، دانشمندان و متخصصان محترم رشته های مختلف علوم بهداشتی به ویژه همکاران ارجمند رشته های بهداشت محیط و حرفه ای، مدیریت خدمات بهداشتی، آموزش بهداشت و سایر رشته های وابسته می باشد. هدف از انتشار این مجله، چاپ نتایج بهترین تحقیقات در زمینه ارتقای سطح بهداشت محیط در کشور می باشد.

فصلنامه پژوهش در بهداشت محیط که توسط دانشگاه علوم پزشکی مشهد منتشر می شود مقالاتی را که در زمینه های مرتبط با اثرات عوامل محیطی بر بهداشت و سلامت انسان تألیف شده است منتشر می کند که مهمترین زمینه های آن به شرح ذیل است:

شناسایی و کنترل آلاینده های محیط، محیط زیست طبیعی و انسانی و سلامت، اپیدمیولوژی محیط، سم شناسی محیط، موادسرتان زا و جهش زای محیط، ارزیابی و مدیریت مخاطرات بهداشتی و اکولوژیکی، سیستم ها و فناوری های کنترل آلودگی های محیط، مدیریت مواد زائد خطرناک و سمی، مدیریت محیط زیست بمنظور کنترل ناقلین، بهداشت و ایمنی مواد غذایی، بهداشت محیط در حوادث و بلایا، جنبه های روانشناسی و جامعه شناسی بهداشت محیط، حقوق و اخلاق محیط زیست.

اعضاء هیئت تحریریه (به ترتیب حروف الفبا):

دکتر محمد حسن احرارم پوش (استاد مهندسی بهداشت محیط دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد)

دکتر حبیب الله اسماعیلی (استاد آمار زیستی دانشگاه علوم پزشکی مشهد)

دکتر ضیاء الدین بنیادی (استادیار بهداشت محیط دانشگاه علوم پزشکی مشهد)

دکتر علی تقی پور (استادیار اپیدمیولوژی دانشگاه علوم پزشکی مشهد)

دکتر مجتبی داودی (استادیار مهندسی بهداشت محیط دانشگاه علوم پزشکی مشهد)

دکتر علی اکبر دهقان (استادیار بهداشت محیط دانشگاه علوم پزشکی مشهد)

دکتر رضا خانی جزئی (استاد بهداشت حرفه ای (ارگونومی) دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی)

دکتر محمد هادی دهقانی (استاد مهندسی بهداشت محیط دانشگاه علوم پزشکی تهران)

دکتر اسماعیل زارعی (استادیار بهداشت حرفه ای و ایمنی کار دانشگاه علوم پزشکی مشهد)

دکتر مریم سرخوش (استادیار بهداشت محیط دانشگاه علوم پزشکی مشهد)

دکتر محمود شمسی (استادیار بهداشت محیط دانشگاه علوم پزشکی مشهد)

دکتر حسین علیدادی (استاد مهندسی بهداشت محیط دانشگاه علوم پزشکی مشهد)

دکتر هادی طهرانی (استادیار آموزش بهداشت محیط دانشگاه علوم پزشکی مشهد)

دکتر علی اصغر نجف پور (استاد مهندسی بهداشت محیط دانشگاه علوم پزشکی مشهد)

دکتر رمضان میرزایی (استاد مهندسی بهداشت حرفه ای دانشگاه علوم پزشکی مشهد)

دکتر علی وفايي نجار (استاد مدیریت خدمات بهداشتی و درمانی)

Evaluating the Efficiency of the Photocatalytic Process of Persulfate Activated with Pulsed Light in Removing Nitroaniline from Aqueous Solutions

Ali Toolabi

Environmental Health Research Center, School of Health and Nutrition, Lorestan University of Medical Sciences, Khorramabad, Iran.

Fateme Hassanabadi

Environmental Health Research Center, School of Health and Nutrition, Lorestan University of Medical Sciences, Khorramabad, Iran.

Elham Ahmadi Beldachi

Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Bam University of Medical Sciences, Bam, Iran.

Nasrin Rezaeizad

Environmental Health Research Center, School of Health and Nutrition, Lorestan University of Medical Sciences, Khorramabad, Iran.

Ziaeddin Bonyadi

* Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Mashhad University of Medical Sciences, Mashhad, Iran (Corresponding Author):
bonyadiz@mums.ac.ir

Received: 2023/06/30

Accepted: 2023/11/01

Document Type: Research article

Doi:10.22038/jreh.2023.73214.1603

ABSTRACT

Background and Purpose: Nitroaniline is a derivative of aniline known for its high toxicity, potential carcinogenicity, and mutagenic effects. A practical method for removing these compounds from aqueous solutions is applying advanced oxidation processes (AOPs). This study aims to investigate the efficiency of the activated persulfate process in removing nitroaniline from aqueous solutions under controlled laboratory conditions.

Materials and Methods: To conduct this study, the impact of various variables, including pH levels (ranging from 3 to 11), contact time (15 to 120 minutes), nitroaniline concentration (ranging from 1 to 30 mg/L), and persulfate concentration (ranging from 100 to 800 mg/L), on synthetic samples was examined. Post-treatment, the remaining nitroaniline concentration was measured using a UV-vis spectrophotometer at 530 nm. Independent t-tests and descriptive statistics, including mean and standard deviation, were employed to analyze the acquired data.

Results: The activated persulfate process with pulsed light achieved the highest nitroaniline removal efficiency at 98.2%. This result was obtained under specific conditions: a contact time of 90 minutes, a pH level of 8, an activated persulfate concentration of 600 mg/L, and a nitroaniline concentration of 1 mg/L. Our findings indicate that the photocatalytic process of persulfate activated by pulsed light adheres to the second-order kinetic model.

Conclusion: Based on the outcomes of this study, the persulfate process activated by pulsed light displayed significant effectiveness in removing nitroaniline from aqueous solutions. Therefore, owing to its high removal efficiency, cost-effectiveness, and straightforward management, it is recommended to employ this process to remove organic and resistant pollutants from aqueous solutions.

Keywords: Activated Persulfate, Pulsed Light, Nitroaniline, Photocatalyst

► **Citation:** Toolabi A, Hassanabadi F, Ahmadi Beldachi E, Rezaeizad N, Bonyadi Z. Evaluating the Efficiency of the Photocatalytic Process of Persulfate Activated with Pulsed Light in Removing Nitroaniline from Aqueous Solutions. *Iranian Journal of Research in Environmental Health*. Autumn 2023; 9(3): 243-254.

بررسی کارایی فرایند فتوکاتالیستی پرسولفات فعال شده با نور پالسی در حذف نیتروآنیلین از محلولهای آبی

چکیده

زمینه و هدف: نیتروآنیلین یکی از مشتقات آنیلین با درجه سمیت بالا، خاصیت سرطان زایی بالقوه و اثرات جهش‌زایی است. یکی از تکنولوژی‌های موثر در حذف این ترکیبات از محلولهای آبی استفاده از فرایندهای اکسیداسیون پیشرفته (AOPs) است. این مطالعه با هدف بررسی کارایی فرایند پرسولفات فعال شده در حذف نیتروآنیلین از محلولهای آبی تحت شرایط آزمایشگاهی انجام شد.

مواد و روش‌ها: جهت انجام این مطالعه، تاثیر متغیرهای مورد مطالعه شامل pH (۳ تا ۱۱) زمان تماس (۱۵ تا ۱۲۰ دقیقه)، غلظت نیتروآنیلین (۱ تا ۳۰ میلی گرم در لیتر) و غلظت پرسولفات (۱۰۰ تا ۸۰۰ میلی گرم در لیتر) بر روی نمونه‌های سنتتیک بررسی شد. بعد از انجام فرایند، غلظت باقیمانده نیتروآنیلین با دستگاه اسپکتوفوتومتر UV-vis در طول موج ۵۳۰ نانومتر قرائت گردید. جهت تجزیه و تحلیل داده‌های بدست آمده، از آنالیز Independent-t و آمار توصیفی شامل میانگین و انحراف معیار استفاده شد.

یافته‌ها: بیشترین راندمان حذف نیتروآنیلین توسط فرایند پرسولفات فعال شده با نور پالسی تحت شرایط بهینه بدست آمده از آزمایشات شامل زمان تماس تعادلی ۹۰ دقیقه، pH برابر ۸، غلظت پرسولفات فعال شده ۶۰۰ ملیگرم در لیتر و غلظت نیتروآنیلین ۱ میلی گرم در لیتر، ۹۸/۲ درصد بدست آمد. نتایج نشان داد که فرایند فتوکاتالیستی پرسولفات فعال شده با نور پالسی از مدل سینتیک درجه دوم پیروی می‌نماید.

نتیجه‌گیری: بر اساس نتایج بدست آمده از این مطالعه فرایند پرسولفات فعال شده با نور پالسی تاثیر بالایی در حذف نیتروآنیلین از محلولهای آبی داشت. لذا بدلیل راندمان بالای حذف، مقرون به صرفه بودن و راهبری ساده، استفاده از این فرایند در حذف آلاینده‌های آلی و مقاوم از محلولهای آبی توصیه می‌گردد.

کلید واژه‌ها: پرسولفات فعال شده، نور پالسی، نیتروآنیلین، فتوکاتالیست

علی طولابی

مرکز تحقیقات بهداشت محیط، دانشکده بهداشت و تغذیه، دانشگاه علوم پزشکی لرستان، خرم آباد، ایران.

فاطمه حسن آبادی

مرکز تحقیقات بهداشت محیط، دانشکده بهداشت و تغذیه، دانشگاه علوم پزشکی لرستان، خرم آباد، ایران.

الهام احمدی بلداجی

گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت هم، دانشگاه علوم پزشکی هم، هم، ایران.

نسرين رضایی زاد

مرکز تحقیقات بهداشت محیط، دانشکده بهداشت و تغذیه، دانشگاه علوم پزشکی لرستان، خرم آباد، ایران.

ضیاءالدین بنیادی

* گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت مشهد، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، مشهد، ایران.
(نویسنده مسئول):

bonyadiz@mums.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۰۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۱۰

نوع مقاله: پژوهشی

◀ **استناد:** طولابی ع، حسن آبادی ف، احمدی بلداجی ا، رضایی زاد ن، بنیادی ض. بررسی کارایی فرایند فتوکاتالیستی پرسولفات فعال شده با نور پالسی در حذف نیتروآنیلین از محلولهای آبی. *فصلنامه پژوهش در بهداشت محیط*. پاییز ۱۴۰۲؛ ۹(۳): ۲۴۳-۲۵۴.

آلودگی فاضلاب توسط آلاینده‌های نوظهور یک تهدید جدی برای محیط زیست بشمار می‌آید. کاهش دفع آلاینده‌ها در منابع آبی مستلزم روش‌هایی برای جداسازی آن‌ها از پساب یا اجرای فناوری‌هایی برای حذف آن‌ها قبل از دفع آنها به محیط زیست است (۱ و ۲). یک دسته از این آلاینده‌های خطرناک، ترکیبات آروماتیک می‌باشند که از فعالیت‌های مختلف صنعتی، نظامی و انسانی وارد محیط می‌شوند. نیتروآنیلین یکی از ترکیبات آروماتیک رایج در پساب‌های صنعتی مانند پالایشگاه نفت، پتروشیمی، داروسازی، سنتز آلی محصولاتی مثل رنگ‌ها، داروها، آفت کش‌ها، عوامل اکسید کننده (۳ و ۴)، افزودنی‌های سوختی (۵)، پلیمرها (۶) پلاستیک، لاستیک و مواد منفجره است (۷) که به عنوان آلاینده‌ی دارای اولویت در بسیاری از کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه در نظر گرفته می‌شود. نیتروآنیلین توسط آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده به عنوان مواد شیمیایی سمی طبقه بندی شده و همچنین در کشور چین بعنوان آلاینده اولویت دار در منابع آب مطرح است (۴ و ۷). نیتروآنیلین با فرمول مولکولی $C_6H_6N_2O_2$ چگالی $1/44 \text{ g/cm}^3$ نقطه جوش 260°C درجه سلسیوس و حلالیت بالا در آب، در محیط زیست در سطوح تا 1 میکروگرم در لیتر و در پساب‌های صنعتی در سطوح بالای 270 میکروگرم در لیتر در شناسایی شده است (۸، ۹، ۱۰). نیتروآنیلین به طور مستقیم و غیرمستقیم در پساب‌های صنعتی و دفع نادرست پسماندها به عنوان متابولیت‌ها یا محصولات تخریب سایر مواد شیمیایی وارد محیط زیست می‌شود (۱ و ۶). این ترکیب به دلیل سمیت، سرطان‌زایی و جهش‌زایی، مشکلات زیست محیطی جدی ایجاد می‌کند. حتی در غلظت‌های بسیار کم، برای آبزیان و سلامت انسان خطرناک می‌باشد (۳). از طرفی نشت نیتروآنیلین به منابع آب اجتناب‌ناپذیر می‌باشد و این امر باعث ایجاد مشکلات جدی اکولوژیکی شده است (۸). همچنین نیتروآنیلین اندام‌ها را هدف قرار می‌دهد و در صورت ورود به بدن انسان به سیستم عصبی مرکزی، سیستم قلبی عروقی و سایر

اندام‌ها آسیب می‌رساند. با این حال، نیتروآنیلین می‌تواند باعث کم‌خونی همولیتیک و مسمومیت خون شود و قرار گرفتن در معرض طولانی مدت می‌تواند باعث آسیب کبدی شود (۱ و ۴ و ۵). به همین دلیل حذف نیتروآنیلین‌ها از منابع آب و فاضلاب‌ها مهم می‌باشد (۸). فاضلاب‌های حاوی نیتروآنیلین عمدتاً توسط روش‌هایی مانند اکسیداسیون پیشرفته^۱، فرآیندهای بیولوژیکی، جذب، تصفیه غشایی، فناوری‌های تبادل یونی، انعقاد و لخته سازی، تصفیه می‌شوند (۱ و ۴). اما به دلیل هزینه‌های بالای تصفیه، راندمان پایین و عدم ارائه استانداردهای لازم برای پساب‌های تخلیه شده در برخی از این روشها باید از فناوری‌های جدید و مقرون به صرفه بهره جست (۹ و ۳). پلاسمای تخلیه پالسی یکی از امیدوارکننده ترین فناوری‌های جدید برای رفع آلودگی‌های محیطی مانند فاضلاب، آلاینده‌های خروجی از دودکش‌ها، زباله‌ها و آلودگی‌های خاک می‌باشد. با توجه به عملکرد آسان، راندمان بالا و عدم آلودگی ثانویه، امروزه جایگاه ویژه‌ای در تصفیه آلاینده‌های محیطی دارند (۱۰). در طی فرآیند تخلیه پالسی، انواع مختلفی از اثرات فیزیکی و شیمیایی، از جمله مولکول‌های فعال (O_3 ، H_2O_2) و غیره، رادیکال‌های آزاد مانند O^{\bullet} و OH^{\bullet} ، نور و امواج ضربه‌ای ایجاد می‌شود (۱۱ و ۱۲). لامپ‌های پالسی (PL)، پالس‌های نوری با شدت بالا را در طیف طول موجی بین ۱۰۰ تا ۱۱۰۰ نانومتر تولید می‌کنند. برای گندزدایی آب آشامیدنی و پساب فاضلاب‌های شهری از نوع پالس کوتاه که در محدوده ۱۰۰ تا ۴۰۰ نانومتر هستند استفاده می‌شود (۱۳). در فناوری نور پالسی انرژی الکتریکی در خازن‌ها در مدت زمان نسبتاً طولانی ذخیره می‌شود و سپس در مدت زمان کوتاه تری به یک لامپ زنون رها می‌شود که پالس‌هایی از یک نور طیف گسترده با شدت بالا منتشر می‌کند و می‌تواند در مدت زمان بسیار کوتاه تری نسبت به فرآیندهای اشعه UV تابش‌های بالاتری را ارائه دهد (۱۴). علاوه بر این، PL نسبت به سایر منابع نوری سازگاری بیشتری با محیط زیست دارند، زیرا لامپ‌هایی که با

1. Advanced oxidation process

است و به عنوان آلاینده محسوب نمی شود، USEPA آن را جزء استانداردهای ثانویه آب در نظر گرفته است و حداکثر غلظت مجاز آن ۲۵۰ میلی گرم بر لیتر می باشد (۲۳-۲۵). بر طبق منابع در دسترس محققین، تاکنون مطالعات گسترده و عمیقی در مورد حذف نیتروآنیلین از محلولهای آبی با استفاده از فرایند پرسولفات فعال شده با نور پالسی صورت نگرفته است. این مطالعه، با هدف ارزیابی عملکرد فرایند پرسولفات فعال شده با نورپالسی به عنوان یک فرایند اکسیداسیون پیشرفته در حذف نیتروآنیلین از محلولهای آبی، به منظور دستیابی به پارامترهای بهینه آزمایش شامل زمان تماس، pH، غلظت نیتروآنیلین و غلظت پرسولفات بر راندمان حذف نیتروآنیلین انجام شد.

روش کار

کلیه مواد شیمیایی مورد نیاز در این پژوهش شامل نیتروآنیلین با درصد خلوص ۹۹/۸، پرسولفات با درصد خلوص ۹۸/۵ HCl و NaOH با خلوص بالای ۹۰ درصد از شرکت مرک آلمان خریداری شد. مشخصات فیزیکی و شیمیایی نیتروآنیلین در جدول ۱ ارائه شده است.

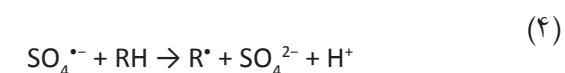
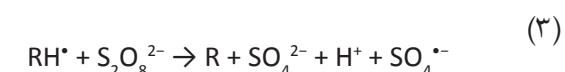
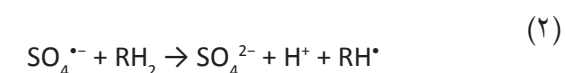
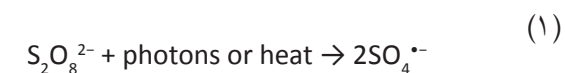
جدول ۱. مشخصات فیزیکی و شیمیایی نیتروآنیلین (۱،۸،۹)

C ₆ H ₆ N ₂ O ₂	فرمول مولکولی
۲۶۰ درجه سلسیوس	نقطه جوش
۱/۴۴g/cm ³	چگالی
دارد	حلالیت در آب
زرد متمایل به قهوه ای	رنگ

مشخصات پیلوت مورد مطالعه

آزمایشات در سیستم نور پالسی (Xe Matic A Basic-1 L Seri) beam ساخت آلمان در درون یک راکتور محفظه‌ی شیشه‌ای با جداره انعکاسی با ابعاد ۱۵ * ۳۵ سانتی متر و یک لامپ زنون به طول ۱۹ سانتی متر طراحی شد (شکل ۱). نورپالسی مورد استفاده در این مطالعه توسط لامپ زنون (Model No. RC 747, Xenon Corporation MA, USA) با فرکانس ثابت ۳ هرتز، طول موج تقریبی ۲۴۰ نانومتر و شدت نور ۵۰ وات تامین شد. سیستم نور

زنون پر شده اند نسبت به لامپهای حاوی جیوه، پتانسیل خطرناکی کمتری برای محیط زیست دارند. از این نظر، PL بعنوان یک فناوری سبز مطرح می شود که در تخریب طیف وسیعی از ترکیبات آلی مؤثر است (۱۵). در تجزیه آلاینده‌ها مقاوم اگر یک ماده اکسید کننده با اشعه فعال شود، تخریب ساختارهای پیچیده آلاینده‌ها راحتتر انجام می شود. هم افزایی پرسولفات (PS) و نور پالسی بعنوان یکی از مطلوب ترین فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته (AOPS) برای از بین بردن ترکیبات مختلف و آلاینده‌های مقاوم به تجزیه در محلولهای آبی مطرح است. پرسولفات یک اکسید کننده قوی است که به شکل نمک‌های پتاسیم، آمونیوم و سدیم دیده می شود. از آنجایی که پرسولفات یک اکسید کننده جامد است، می توان از آن برای مصارف صنعتی در مقایسه با اکسیدان‌های مایع مانند H₂O₂ استفاده کرد. همچنین استفاده نمک‌های پرسولفات بسیار اقتصادی تر از سایر اکسیدان‌ها مانند پرکسید هیدروژن و ازن می باشد (۱۶، ۱۷ و ۱۸). رادیکال‌های پرسولفات از قویترین اکسیدکننده ترکیبات در محیط‌های آبی با پتانسیل ۲/۶ ولت هستند که مشابه رادیکالهای قدرتمند هیدروکسیل با پتانسیل اکسیداسیون احیا ۲/۷ ولت عمل می کنند (۱۸ و ۱۹). فرایندهای S₂O₈²⁻ همراه با نور به عنوان فرایندهای اکسیداسیون پیشرفته، سبب اکسیداسیون آلاینده‌ها در محیط‌های آبی می شوند و تابش نور یا اشعه UV در این فرایندها سبب فعالسازی اکسیدان پرسولفات می گردد و متعاقباً کارایی فرایند در اکسیداسیون ترکیبات آلی افزایش می یابد. واکنش پرسولفات با نور یا گرما بصورت روابط ۱ تا ۴ آورده شده است.



افزایش نمک در خروجی می شود. یون سولفات تقریباً خنثی

روش انجام آزمایش

ابتدا یک محلول استوک یک درصد از محلول نیتروآنیلین و پرسولفات تهیه شد. pH محلول با استفاده از HCl و NaOH (pH متر مدل BASIC 20) تنظیم شد. آزمایشات شامل اعمال ۴۵ پالس نوری بود و در طی هر پنج پالس نمونه برداری انجام شد. متغیرهای مورد مطالعه در این آزمایش شامل زمان تماس (۱۲۰-۱۵ دقیقه)، pH (۱۱-۳)، غلظت پرسولفات فعال شده (۸۰۰-۱۰۰ میلیگرم در لیتر) و غلظت نیتروآنیلین (۳۰-۱ میلیگرم در لیتر) بود. تجزیه نیتروآنیلین با اندازه گیری جذب در طول موج ۵۳۰ نانومتر یا طیف‌های UV-Vis (مدل Shimadzu-1700) مورد بررسی قرار گرفت. نمونه‌ها پس از اندازه گیری به درون مخلوط برگشت داده شدند تا حجم مخلوط واکنش در طول تیمارها حفظ شود. گرمایش نمونه، توسط یک دماسنج مادون قرمز مدل ScanTemp 410 برند آلمانی TFA کنترل شد. به منظور ارزیابی وقوع احتمالی اثر فوتولیتیک مستقیم و کنترل اثر پرسولفات، نمونه‌های شاهد نیز مورد آنالیز قرار گرفت (۲۱، ۱۸، ۴). سپس بر اساس رابطه (۱-۲) میزان حذف نیتروآنیلین در هر شرایط آزمایش بدست آمد. جهت تجزیه و تحلیل داده‌های بدست آمده، از آنالیز Independent-t و آمار توصیفی شامل میانگین و انحراف معیار استفاده شد.

(۲-۱)

$$\text{درصد حذف نیتروآنیلین} = \frac{(C_0 - C_e) \times 100}{C_0}$$

C_0 غلظت اولیه نیتروآنیلین برحسب میلیگرم در لیتر

C_e غلظت ثانویه نیتروآنیلین برحسب میلیگرم در لیتر

مطالعه سینتیک های جذب نیتروآنیلین

مطالعات سینتیک جذب، میزان جذب در زمانهای مختلف را مورد بررسی قرار می‌دهد. در بسیاری از مطالعات سینتیک جذب از مدل درجه دوم کاذب و در بعضی مطالعات از مدل درجه اول کاذب پیروی می‌نماید (۲۹، ۲۸). در این مطالعه برای درک بهتر دینامیک

پالس شده از چندین مؤلفه تشکیل شده می‌شود که شامل منبع تغذیه: منبع برق را به خازن ذخیره کننده هدایت می‌کند، خازن ذخیره سازی: که انرژی الکتریکی را برای لامپ فلاش ذخیره می‌کند، یک پالس شکل گیری شبکه: تعیین کننده شکل پالس و ویژگی‌های طیف، لامپ فلاش تخلیه گاز و سیگنال ماشه که شروع به تخلیه انرژی الکتریکی به لامپ فلاش می‌کند. لامپ فلاش عنصر مهم هر واحد نور پالسی است که ۴۵٪ تا ۵۰٪ انرژی الکتریکی ورودی را به انرژی تابشی پالس تبدیل می‌کند. این لامپ پر از گاز بی اثر مانند زنون بوده و به علت بازدهی بالا در تبدیل انرژی انتخاب شد. بعد از آماده سازی راکتور محلول نیتروآنیلین در یک ظرف پتری بدون پوشش در مرکز ۷/۱ سانتی متر زیر لامپ قرار داده شد و بین پالس‌ها با یک همزن مغناطیسی عمل هم زدن انجام شد. تحت این شرایط، شار تابشی ارائه شده توسط هر پالس بر اساس داده‌های ثبت شده توسط یک فتودیود داخلی همراه با یک اسیلوسکوپ $2/14 \text{ J/mc}^2$ (PC-Lab ۲۰۰۰ Velleman) انجام شد. جهت حفظ شرایط محیطی آزمایش، راکتور با استفاده از فویل آلومینیومی پوشش کامل داده شد و سپس داخل یک ظرف حاوی جریان پیوسته آب قرار گرفت (شکل ۱).



شکل ۱. راکتور فتوکاتالیستی نور پالسی با دیواره انعکاسی در حذف نیتروآنیلین

و سرعت واکنش های جذب نیتروآنیلین، دو نوع سینتیک معمولی درجه دوم و درجه اول کاذب که مشخصات آنها در جدول ۲ آمده است مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس روابط ۲-۲ و ۲-۳ پارامترها به صورت زیر تعریف می شوند:

q_t : مقدار ماده جذب شده در واحد جرم جاذب (g) در زمان t ،

q_e : ظرفیت جذب تعادلی (mmol/g)

K1: ثابت معادله سرعت درجه اول کاذب جذب، (min^{-1})

K2: ثابت معادله سرعت درجه دوم کاذب جذب، (min^{-1})

k_2 : ثابت معادله سرعت درجه دوم کاذب جذب، (gmmol^{-1})

جدول ۲. معادلات و فرم خطی سینتیک های مورد بررسی در این مطالعه (۲۹،۲۸)

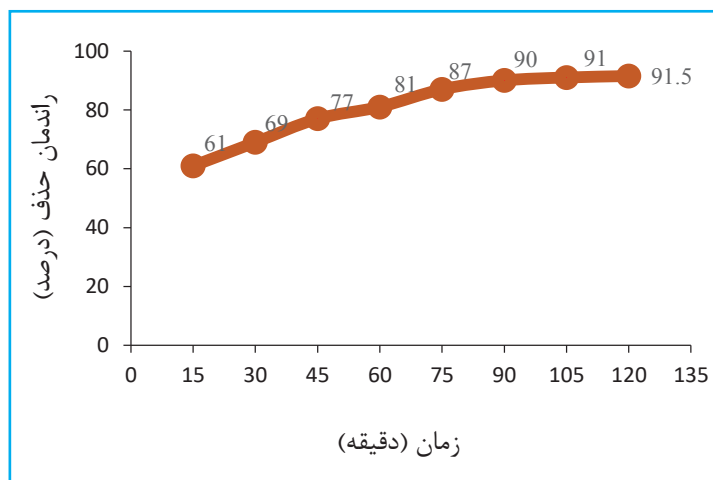
روابط	فرمول خطی	فرمول کلی	نوع سینتیک
۲-۲	$\log(q_e - q_t) = \log(q_e) - \frac{k_1}{2.303} t$	$\frac{dq_t}{dt} = k_1(q_e - q_t)$	درجه اول کاذب
۲-۳	$\frac{t}{q_t} = \left(\frac{1}{k_2 q_e^2} \right) + \left(\frac{1}{q_e} \right) t$	$\frac{dq_t}{dt} = k_2(q_e - q_t)^2$	درجه دوم

یافته ها

اثر زمان تماس بر روی میزان حذف نیتروآنیلین

بر اساس نتایج بدست آمده در نمودار ۱، با افزایش زمان تماس راندمان حذف نیتروآنیلین افزایش یافت. بطوریکه میزان راندمان در طی زمان ۱۵ دقیقه تحت شرایط $\text{pH}=7$ ، غلظت اولیه نیتروآنیلین ۱۰ میلی گرم در لیتر و غلظت پرسولفات فعال شده ۵۰۰ میلی گرم در لیتر برابر ۶۱ درصد گزارش شد. ($p\text{-value} < 0.05$). با افزایش زمان تماس به ۹۰ دقیقه، راندمان

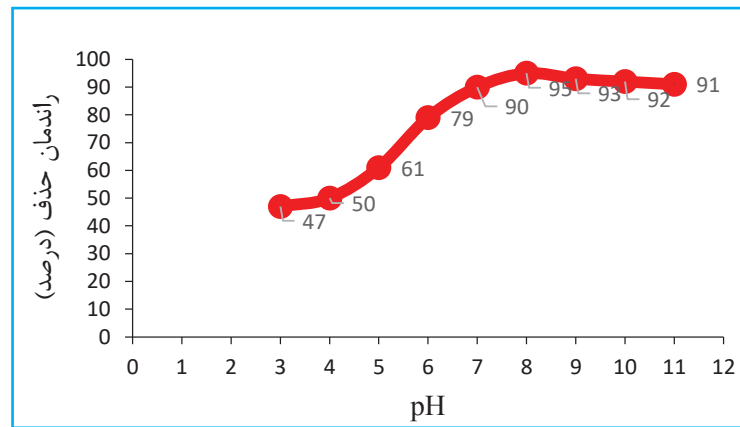
حذف رنگ نیتروآنیلین به ۹۰ درصد رسید. در زمان تماس ۱۲۰ دقیقه راندمان حذف فرایند ۹۱/۵ درصد مشاهده شد بطوریکه تفاوت چشمگیری با زمان تماس ۹۰ دقیقه مشاهده نشد. بر این اساس زمان تماس تعادلی در این مطالعه برابر ۹۰ دقیقه گزارش شد.



نمودار ۱. اثر زمان تماس بر روی میزان حذف نیتروآنیلین

اثر pH بر روی میزان حذف نیتروآنیلین

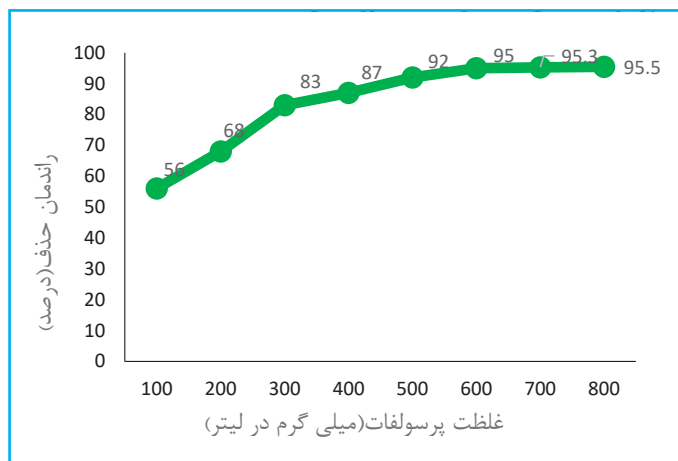
آزمایشات تاثیر پرسولفات فعال شده با نور پالسی در pH های مختلف اسیدی تا بازی در حذف نیتروآنیلین مورد بررسی قرار گرفت. براساس نتایج بدست آمده در نمودار ۲، در pH برابر ۳ میزان تجزیه نیتروآنیلین ۴۷ درصد بدست آمد. و با افزایش pH از ۳ به ۷ راندمان حذف نیتروآنیلین تحت شرایط زمان تماس از ۳ به ۷ راندمان حذف نیتروآنیلین تحت شرایط زمان تماس



نمودار ۲. اثر pH بر روی میزان حذف نیتروآنیلین

اثر غلظت پرسولفات بر روی میزان حذف نیتروآنیلین

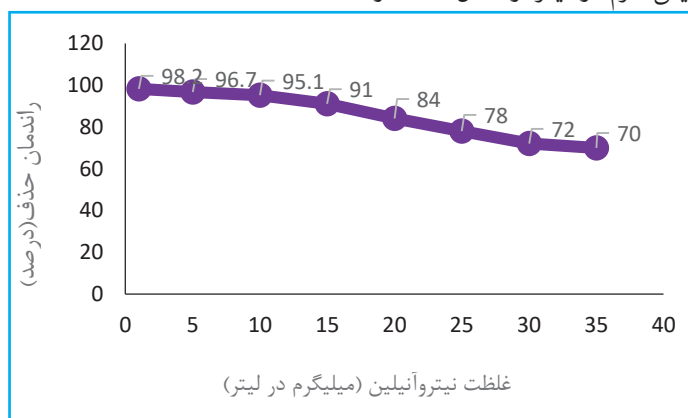
بررسی تاثیر غلظت پرسولفات فعال شده در غلظت های ۱۰۰ تا ۸۰۰ میلی گرم در لیتر تحت شرایط غلظت اولیه نیتروآنیلین ۱۰ میلی گرم در لیتر، pH ۸ و زمان تماس ۹۰ دقیقه بر روی راندمان حذف نیتروآنیلین انجام شد. بر اساس نتایج بدست آمده در نمودار ۳، با افزایش غلظت اولیه پرسولفات از ۱۰۰ به ۶۰۰ میلی گرم در لیتر، راندمان حذف نیتروآنیلین از ۵۶ درصد به ۹۵ درصد افزایش یافت ($p\text{-value} < 0.05$). در غلظت ۸۰۰ میلیگرم در لیتر راندمان حذف به ۹۵/۵ درصد رسید. براین اساس غلظت ۶۰۰ میلیگرم در لیتر بعنوان غلظت بهینه پرسولفات فعال شده در حذف نیتروآنیلین انتخاب شد.



نمودار ۳. اثر غلظت پرسولفات بر روی میزان حذف نیتروآنیلین

اثر غلظت نیتروآنیلین بر روی میزان حذف نیتروآنیلین

بررسی تاثیر غلظت نیتروآنیلین در غلظت‌های ۱ تا ۳۵ میلی گرم در لیتر تحت شرایط بهینه آزمایش شامل pH ۸، زمان تماس ۹۰ دقیقه و غلظت پرسولفات ۶۰۰ میلی گرم در لیتر بر روی راندمان حذف فرایند پرسولفات فعال شده با نور پالسی انجام شد. بر اساس نتایج بدست آمده در نمودار ۴، با افزایش غلظت نیتروآنیلین از ۱ میلی گرم در لیتر به ۳۵ میلی گرم در لیتر، راندمان حذف از ۹۸/۲ درصد به ۷۰ درصد کاهش یافت (p-value < ۰/۰۵). بر اساس نتایج بدست آمده بیشترین راندمان حذف در غلظت‌های پایین نیتروآنیلین مشاهده شد. بطوریکه با افزایش غلظت نیتروآنیلین از ۱ به ۳۵ میلیگرم در لیتر راندمان حذف کلی فرایند ۲۸/۲ درصد کاهش یافت. دیگر نتایج بدست آمده در نمودار زیر قابل مشاهده است.



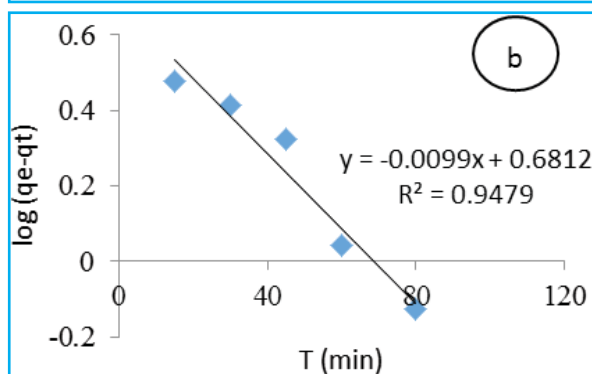
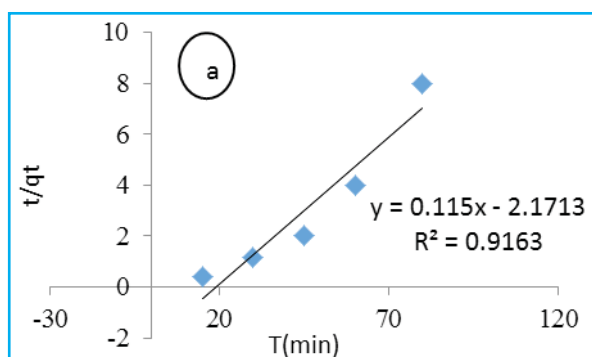
نمودار ۴. اثر غلظت نیتروآنیلین بر روی میزان حذف نیتروآنیلین

نتایج حاصل از مطالعات سینتیک

نتایج حاصل از مطالعات سینتیک درجه اول و دوم در جدول ۳ و نمودار ۵ آمده است. بر اساس نتایج بدست آمده از معادله خط سینتیک واکنش‌ها، مقادیر R^2 برای معادله درجه اول کاذب و درجه دوم به ترتیب ۰/۹۱۶ و ۰/۹۴۷ گزارش شد. دیگر پارامترهای سینتیک در زیر نشان داده شده است.

جدول ۳. نتایج حاصل از بررسی پارامترهای سینتیک‌های مورد مطالعه

نوع سینتیک	پارامترهای سینتیک	مقادیر بدست آمده از پارامترها
درجه اول کاذب	K_1 (min^{-1})	۰/۰۲
	$q_{e \text{ cal}}$	۱۱۲
	R^2	۰/۹۱۶
درجه دوم	K_2 (g.mg/min)	۰/۰۰۵۹
	$q_{e \text{ cal}}$	۷۱
	R^2	۰/۹۴۷



نمودار ۵. سینتیک درجه اول (a) و درجه دوم (b) جذب نیتروآنیلین

بحث

مطالعه حاضر با هدف بررسی کارایی فرایند فتوکالیستی پرسولفات فعال شده با نور پالسی در حذف نیتروآنیلین از محلول‌های آبی انجام شد. نتایج به دست قابل انتظار بود و حذف نیتروآنیلین از محلول‌های آبی تا حد بالا و قابل قبولی انجام شد. بر اساس نتایج بدست آمده از نمودار ۱، با افزایش زمان تماس، راندمان حذف نیتروآنیلین افزایش یافت. میزان راندمان حذف در طی زمان ۱۵ دقیقه تحت شرایط $pH=7$ غلظت اولیه نیتروآنیلین ۱۰ میلی گرم در لیتر و غلظت پرسولفات فعال شده ۵۰۰ میلی گرم در لیتر، ۶۱ درصد بود. با افزایش زمان تماس به ۹۰ دقیقه، راندمان حذف رنگ نیتروآنیلین به ۹۰ درصد افزایش یافت. در زمان تماس ۱۲۰ دقیقه راندمان حذف فرایند ۹۱/۵ درصد مشاهده شد بطوریکه تفاوت چشمگیری با زمان تماس ۹۰ دقیقه مشاهده نشد. افزایش زمان تماس بین آلاینده و کاتالیست میتواند منجر به تماس و برخورد بیشتر بین آلاینده و عامل تصفیه کننده شود و راندمان نهایی فرایند را افزایش دهد. همانطور که بیان شد در این مطالعه نیز با افزایش زمان ماند حذف آنیلین از محیط افزایش یافت، که با توجه به نتایج بدست آمده در این مطالعه زمان تماس تعادلی و بهینه برابر ۹۰ دقیقه بدست آمد. نتیجه مذکور با نتایج بدست آمده از حذف رنگ توسط فرایند پرسولفات فعال شده با نور پالسی همخوانی داشت (۱۶). بذرافشان و همکارانش مطالعه‌ای با هدف تجزیه فتوکاتالیستی آنیلین با استفاده از نانو ذرات اکسید منیزیم در محیط‌های آبی انجام دادند. نتایج مطالعه آنها نشان داد که فرایندهای فتوکاتالیستی با افزایش زمان تماس میتوانند به طور موثری منجر به حذف آنیلین از پساب گردند (۳۰). آزمایشات تاثیر پرسولفات فعال شده با نور پالسی در pH های مختلف اسیدی تا بازی در حذف نیتروآنیلین مورد بررسی قرار گرفت. براساس نتایج بدست آمده در نمودار ۲، در pH برابر ۳ میزان تجزیه نیتروآنیلین ۴۷ درصد بدست آمد. و با افزایش pH از ۳ به ۷ راندمان حذف نیتروآنیلین تحت شرایط زمان تماس ۹۰ دقیقه، غلظت پرسولفات فعال شده ۵۰۰ میلی گرم در لیتر و غلظت اولیه

نیتروآنیلین ۱۰ میلی گرم در لیتر به ۹۰ درصد رسید. بر اساس نتایج بدست آمده در نمودار ۲ بیشترین راندمان حذف نیتروآنیلین توسط پرسولفات فعال شده با نور پالسی در pH برابر ۸ و به میزان ۹۵ درصد مشاهده شد. تاثیر pH اساساً عمل کردن بر سطح مکانیسم اکسیداسیون است که در pH های اسیدی، به دلیل انحلال بیشتر نیتروآنیلین در محلول‌های آبی امکان اکسید شدن آن توسط رادیکالهای تولیدی کمتر میشود بنابراین امکان حذف آن در حالت‌های اسیدی می‌تواند کمتر از حالت pH خنثی تا بازی باشد. مشابه مطالعه حاضر، رجبی زاده و همکاران در سال ۲۰۲۰ به مطالعه فرایند اکسیداسیون پیشرفته در حذف نیتروآنیلین از محلول‌های آبی پرداختند، نتایج تحقیق آنها در شرایط بهینه آزمایشات (زمان تماس ۴۰ دقیقه، pH ۹) نشان داد که این فرایند قادر به حذف ۹۴ درصدی این ترکیب از محلول‌های آبی است (۲۷). بررسی تاثیر غلظت پرسولفات فعال شده در غلظت‌های ۱۰۰ تا ۸۰۰ میلی گرم در لیتر تحت شرایط غلظت اولیه نیتروآنیلین ۱۰ میلی گرم در لیتر، pH ۸ و زمان تماس ۹۰ دقیقه بر روی راندمان حذف نیتروآنیلین انجام شد. بر اساس نتایج بدست آمده در نمودار ۳، با افزایش غلظت اولیه پرسولفات از ۱۰۰ به ۶۰۰ میلی گرم در لیتر، راندمان حذف نیتروآنیلین از ۵۶ درصد به ۹۵ درصد افزایش یافت. در غلظت ۸۰۰ میلیگرم در لیتر راندمان حذف به ۹۵/۵ درصد رسید. براین اساس غلظت ۶۰۰ میلیگرم در لیتر بعنوان غلظت بهینه پرسولفات فعال شده در حذف نیتروآنیلین انتخاب شد. بدلیل حضور فعال و بیشتر ماده کاتالیست در محیط آزمایش و احتمال برخورد بیشتر بین رادیکالهای اکسید کننده و آلاینده، راندمان حذف فرایند افزایش یافت. علاوه بر این با افزایش غلظت اولیه پرسولفات سطح تماس بیشتر و مکان‌های تماس موثرتری را که سرعت واکنش را بهبود می‌بخشد فراهم می‌کند و افزایش مکان‌های واکنش در یک غلظت بیشتر از پرسولفات منجر به افزایش راندمان حذف نیتروآنیلین خواهد شد. نتایج بدست آمده در این بخش با مطالعات قبلی همخوانی کامل داشت (۱۸، ۱۹، ۲۰). همچنین در این مطالعه به بررسی تاثیر غلظت اولیه نیتروآنیلین

تحت شرایط بهینه آزمایش شامل $pH=8$ ، زمان تماس ۹۰ دقیقه و غلظت پرسولفات ۶۰۰ میلی گرم در لیتر بر روی راندمان حذف فرایند پرسولفات فعال شده با نور پالسی پرداخته شد. بر اساس نتایج بدست آمده در نمودار ۴، با افزایش غلظت نیتروآنیلین از ۱ میلی گرم در لیتر به ۳۵ میلی گرم در لیتر، راندمان حذف از ۹۸/۲ درصد به ۷۰ درصد کاهش یافت. بر اساس نتایج بدست آمده بیشترین راندمان حذف در غلظتهای پایین نیتروآنیلین مشاهده شد. بطوریکه با افزایش غلظت نیتروآنیلین از ۱ به ۳۵ میلیگرم در لیتر راندمان حذف کلی فرایند ۲/۲۸ درصد کاهش یافت. در فرایندهای اکسیداسیون پیشرفته مقادیر مشخصی از رادیکالهای هیدروکسیل توسط نور و ماده کاتالیست در محیط آزمایش تولید می‌شود، رادیکالهای هیدروکسیل تولیدی قادر به تجزیه مقدار مشخصی از مولکولهای ماده آلی می‌باشد، بنابراین در صورت افزایش غلظت اولیه ماده آلی، مقدار رادیکالهای هیدروکسیل موجود در محیط برای حذف مولکولهای اضافی کافی نمی‌باشند، چرا که با افزایش غلظت اولیه نیتروآنیلین تمامی رادیکالهای هیدروکسیل در اکسیداسیون آن مصرف شده و در نتیجه بازده حذف فرایند در ادامه کاهش می‌یابد (۲۱). مشابه مطالعه حاضر، ملکوتیان و همکارانش در سال ۲۰۱۹ به مطالعه بررسی کارایی فرایند اکسیداسیون پیشرفته در حذف نیتروآنیلین از محلولهای آبی پرداختند، نتایج بدست آمده در مطالعه آنها نشان داد که راندمان حذف فرایند مذکور با افزایش غلظت اولیه نیتروآنیلین در محیط واکنش، راندمان کاهش می‌یابد بطوریکه با افزایش غلظت اولیه نیتروآنیلین از ۱۰ به ۵۰ میلیگرم در لیتر راندمان حذف فرایند از ۹۶ به ۷۵ درصد کاهش یافت (۳). نتایج حاصل از مطالعه سینتیکی که جهت پیش بینی سرعت جذب برای طراحی و مدلسازی فرایند انجام گرفت، نشان داد که سینتیک معادله درجه دوم ($R^2=0/947$) بهترین مدل جهت تعیین سرعت واکنش در مواقع استفاده از فرایند پرسولفات فعال شده در حذف نیتروآنیلین از محلولهای آبی است، به طوریکه طبق آن در مدت زمان تعادلی ۹۰ دقیقه، میزان حذف نیتروآنیلین ۹۸/۲ درصد بدست آمد. در

مطالعه ای که توسط حسن الگباری و همکاران در سال ۲۰۲۳ در جهت تعیین رفتار سینتیکی جذب فلزات انجام گرفت، مشخص شد که جذب آنیلین در محلولهای آبی بوسیله ذرات رس نیز از منحنی سینتیک درجه دوم پیروی می‌کند (۲۸)، لذا با توجه به پارمترهای بدست آمده در مطالعه حاضر می‌توان سرعت جذب نیتروآنیلین را با سینتیک نوع دوم مورد ارزیابی قرار داد.

نتیجه گیری

نتایج حاصل از این مطالعه بیانگر تاثیرگذاری فرایند پرسولفات فعال شده با نورپالسی در حذف نیتروآنیلین از محلولهای آبی و تاثیر پارامترهایی مانند pH ، غلظت پرسولفات، زمان تماس و غلظت نیتروآنیلین است. براساس نتایج بدست آمده، راندمان حذف نیتروآنیلین تحت شرایط بهینه آزمایشات $pH=8$ ، غلظت پرسولفات ۶۰۰ میلیگرم در لیتر، زمان تماس ۹۰ دقیقه و غلظت‌های ۱ و ۱۰ میلیگرم در لیتر نیتروآنیلین به ترتیب ۹۸/۲ و ۹۵/۱ درصد مشاهده شد. بنابراین نتایج حاصل از این مطالعه به دلیل راندمان بالای حذف، مقرون به صرفه بودن و راهبری ساده، در حذف آلاینده‌های آلی و مقاوم از محلول‌های آبی توصیه می‌گردد.

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان کلیه نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند. همچنین هرگونه تضاد منافع حقیقی یا مادی که ممکن است بر نتایج یا تفسیر مقاله تأثیر بگذارد را رد می‌کنند.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل طرح تحقیقاتی مصوب دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی لرستان با شناسه اخلاق IR.LUMS.REC.1402.050 می‌باشد. بدینوسیله از مرکز تحقیقات بهداشت محیط و معاونت محترم تحقیقات و فناوری دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی لرستان قدردانی و تشکر به عمل می‌آید.

References

- Karunanayake AG, Todd OA, Crowley ML, Ricchetti LB, Pittman CU, Anderson R, et al. Rapid removal of salicylic acid, 4-nitroaniline, benzoic acid and phthalic acid from wastewater using magnetized fast pyrolysis biochar from waste Douglas fir. *Chemical Engineering Journal*. 2017; 319: 75-88.
- Serrano-Martínez A, Mercader-Ros MT, Martínez-Alcalá I, Lucas-Abellán C, Gabaldón JA, Gómez-López VM. Degradation and toxicity evaluation of azo dye Direct red 83:1 by an advanced oxidation process driven by pulsed light. *Journal of Water Process Engineering*. 2020; 37: 101530.
- Malakootian M, Gharaghani MA, Dehdarirad A, Khatami M, Ahmadian M, Heidari MR, et al. ZnO nanoparticles immobilized on the surface of stones to study the removal efficiency of 4-nitroaniline by the hybrid advanced oxidation process(UV/ZnO/O₃). *Journal of Molecular Structure*. 2019; 1176: 766-76.
- Mei X, Wang Y, Yang Y, Xu L, Wang Y, Guo Z, et al. Enhanced treatment of nitroaniline-containing wastewater by a membrane-aerated biofilm reactor: Simultaneous nitroaniline degradation and nitrogen removal. *Separation and Purification Technology*. 2020; 248: 117078.
- Mei X, Ding Y, Wang Y, Yang Y, Xu L, Wang Y, et al. A novel membrane-aerated biofilter for the enhanced treatment of nitroaniline wastewater: Nitroaniline biodegradation performance and its influencing factors. *Bioresource Technology*. 2020; 307: 123241.
- Mahmoud ME, Abdou AEH, Shehata AK, Header HM, Hamed EA. Behavior of γ -Al₂O₃-bonded-3-chloropropyltrimethoxysilane nanosorbent toward potential binding and removal of 4-nitroaniline and 2-amino-3-nitro-pyridine from water. *Journal of Molecular Liquids*. 2016; 224: 1358-69.
- Bakhsh EM, Ali F, Khan SB, Marwani HM, Danish EY, Asiri AM. Copper nanoparticles embedded chitosan for efficient detection and reduction of nitroaniline. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2019; 131: 666-75.
- Şenlik K, Gezici O, Guven I, Pekacar AI. Adsorption of nitroaniline positional isomers on humic acid-incorporated monolithic cryogel discs: Application of ligand-exchange concept. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 2017; 5(3): 2836-44.
- Zhao YS, Sun C, Sun JQ, Zhou R. Kinetic modeling and efficiency of sulfate radical-based oxidation to remove p-nitroaniline from wastewater by persulfate/Fe₃O₄ nanoparticles process. *Separation and Purification Technology*. 2015; 142: 182-8.
- Martínez-López S, Lucas-Abellán C, Serrano-Martínez A, Mercader-Ros MT, Cuartero N, Navarro P, et al. Pulsed light for a cleaner dyeing industry: Azo dye degradation by an advanced oxidation process driven by pulsed light. *Journal of Cleaner Production*. 2019; 217: 757-66.
- Guo H, Jiang N, Wang H, Lu N, Shang K, Li J, et al. Pulsed discharge plasma assisted with graphene-WO₃ nanocomposites for synergistic degradation of antibiotic enrofloxacin in water. *Chemical Engineering Journal*. 2019; 372: 226-40.
- Guo H, Jiang N, Wang H, Shang K, Lu N, Li J, et al. Degradation of flumequine in water by pulsed discharge plasma coupled with reduced graphene oxide/TiO₂ nanocomposites. *Separation and Purification Technology*. 2019; 218: 206-16.
- Faghihzadeh F, Anaya NM, Hadjeres H, Boving TB, Oyanedel-Craver V. Pulse UV light effect on microbial biomolecules and organic pollutants degradation in aqueous solutions. *Chemosphere*. 2019; 216: 677-83.
- Navarro P, Gabaldón JA, Gómez-López VM. Degradation of an azo dye by a fast and innovative pulsed light/H₂O₂ advanced oxidation process. *Dyes and Pigments*. 2017; 136: 887-92.
- Gómez-Morte T, Gómez-López VM, Lucas-Abellán C, Martínez-Alcalá I, Ayuso M, Martínez-López S, et al. Removal and toxicity evaluation of a diverse group of drugs from water by a cyclodextrin polymer/pulsed light system. *Journal of Hazardous Materials*. 2021; 402: 123504.
- Eskandarian MR, Ganjkanloo M, Rasoulifard MH, Hosseini SA. Energy-efficient removal of acid red 14 by UV-LED/persulfate advanced oxidation process: Pulsed irradiation, duty cycle, reaction kinetics, and energy consumption. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*. 2021; 127: 129-39.
- Gómez-López VM, Ragaert P, Debevere J, Devlieghere F. Pulsed light for food decontamination: a review. *Trends in Food Science & Technology*. 2007;18(9):464-73.
- Daneshvar, N., et al., Removal of C.I. Acid Orange 7 from aqueous solution by UV irradiation in the presence of ZnO nanopowder. *Journal of Hazardous Materials*, 2007. 143(1-2): p. 95-101.
- Lin, C.-C., L.-T. Lee, and L.-J. Hsu, Performance of UV/S₂O₈²⁻ process in degrading polyvinyl alcohol in aqueous solutions. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 2013. 252(0): p. 1-7.
- Jin R, Qiu Z, Cheng W, Jin X. Photocatalytic degradation of aniline by magnetic nanomaterials Fe₃O₄@ SiO₂@ BiO₁. 8-0.04 H₂O/Ag₃PO₄. *Chemical Physics Letters*. 2020; 755: 137747.
- Tang H, Li J, Bie Y, Zhu L, Zou J. Photochemical removal of aniline in aqueous solutions: switching from photocatalytic degradation to photo-enhanced polymerization recovery. *Journal of Hazardous materials*. 2010 Mar 15; 175(1-3):977-84.

22. Monteagudo JM, Durán A, San Martín I, Vellón B. Photocatalytic degradation of aniline by solar/TiO₂ system in the presence of the electron acceptors Na₂S₂O₈ and H₂O₂. *Separation and Purification Technology*. 2020; 238: 116456.
23. Ruixia Yuan, Zhaohui Wang, Yin Hu, Baohui Wang, Simeng Gao. Probing the radical chemistry in UV/persulfate-based saline wastewater treatment: Kinetics modeling and byproducts identification. *Chemosphere* 109 (2014) 106–112.
24. Wang Songlin, Zhou Ning, Wu Si, Zhang Qi, Yang Zhi. Modeling the oxidation kinetics of sono-activated persulfate's process on the degradation of humic acid. *Ultrasonics Sonochemistry* 23 (2015) 128–134.
25. Chengdu Qi, Xitao Liu, Chunye Lin, Xiaohui Zhang, Jun Ma, Haobo Tan, Wan Ye. Degradation of sulfamethoxazole by microwave-activated persulfate: Kinetics, mechanism and acute toxicity. *Chemical Engineering Journal* 249 (2014) 6–14.
26. Ma G, Lu J, Meng Q, Lv H, Shui L, Zhang Y, Jin M, Chen Z, Yuan M, Nötzel R, Wang X. Synergistic effect of Cu-ion and WO₃ nanofibers on the enhanced photocatalytic degradation of Rhodamine B and aniline solution. *Applied Surface Science*. 2018; 451: 306-14.
27. Rajabizadeh K, Yazdanpanah GH, Dowlatshahi SH, Malakootian M. Photooxidation Process Efficiency (UV/O₃) for P-nitroaniline Removal from Aqueous Solutions. *Ozone: Science & Engineering*. 2020; 42(5): 420-427.
28. Algabary HD, Removal of Aniline from Aqueous Solution by Adsorption on a Modified Montmorillonite Clay Kinetic and Thermodynamic Studie. *Oriental journal of chemistry*. 2023; 39(2):403-416.
29. Nisreen SA, Hasan S, Albayati M, Jasi D. Adsorption of aniline from aqueous solutions onto a nanoporous material adsorbent: isotherms, kinetics, and mass transfer mechanism. *Water Practice & Technology* 2023;18(9):1-15.
30. Bazrafshan E, Noorzai S, Mostafapour FK, Photocatalytic Degradation of Aniline in Aqueous Solutions Using Magnesium Oxide Nanoparticles, *J Mazandaran Univ Med Sci* 2016; 26(139): 126-136.

Survey of Electropersulfate/H₂O₂ Efficiency for Treatment Synthetic Wastewater Containing Tetracycline using Response Surface Methology (RSM)

Pezhman Gheitasian

Department of Environmental Health Engineering, Deputy of Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

Seyed Mohammad Tabatabaee

Associate Professor, Department of sports medicine school of medicine, Iran University of medical sciences, Tehran, Iran.

Ahmad Jonidi Jafari

Professor, Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

Mohsen Farhadi

Department of Environmental Health Engineering, Deputy of Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

Javad Golshani asl

Department of Environmental Health Engineering, Deputy of Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

Behzad Valizadeh

Head of the National Tobacco Control Secretariat, Ministry of Health and Medical Education.

Maryam meserghani

* Department of Environmental Health Engineering, Deputy of Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran. (corresponding author): m_eserghany@yahoo.com

Received: 2023/05/06

Accepted: 2023/09/30

Document Type: Research article

Doi:10.22038/jreh.2023.71978.1595

ABSTRACT

Background and Purpose: Tetracycline represents the most prevalent antibiotic group in production and utilization and is extensively employed for the prophylaxis and treatment of infectious diseases in both human and veterinary medicine. The primary objective of this investigation was to assess the efficacy of electro-activated persulfate (EC/PS/HR) for eliminating tetracycline from aqueous solutions.

Materials and Methods: This study was conducted in a batch mode utilizing an electro-activated persulfate (EC/PS/HR) system. All experiments were carried out under constant temperature conditions. Response surface methodology (RSM) in conjunction with a central composite design (CCD) was employed to optimize the variables associated with the electro-activated persulfate and hydrogen peroxide process, including pH, current density, and the persulfate/hydrogen peroxide molar ratio, with the aim of tetracycline removal. Data analysis in this study was performed using Data Designer 8.0.6 software.

Results: The results of this study revealed the use of a quadratic model to predict the impact of independent variables on the efficiency of tetracycline removal in the process. The exceedingly low ($p < 0.0001$) and the high correlation coefficient (R^2) of the obtained model signify a robust correlation between experimental and predicted data. The optimal conditions for achieving maximum efficiency in the degradation of tetracycline through electro-activated persulfate were determined to be a pH of 5.6, a persulfate/hydrogen peroxide molar ratio of 1.1, and a current density of 31 mA. Under these conditions, tetracycline degradation reached approximately 95.2%.

Conclusion: Based on the findings of this investigation, it can be deduced that the advanced oxidation process relying on electro-activated persulfate (EC/PS/HR) is capable of eliminating contaminants in aqueous environments, influenced by various factors such as hydrogen peroxide dosage, catalyst concentration (persulfate), and pH. The study highlights the capability of the electro-activated persulfate (EC/PS/HR) hybrid process to decompose recalcitrant pollutants like tetracycline from aqueous environments. Overall, the electro-activated persulfate process demonstrates promise for the degradation of tetracycline in aqueous solutions.

Keywords: Advanced oxidation processes, Wastewater treatment, Tetracycline, Response surface methodology.

► **Citation:** Gheitasian P, Tabatabaee M, Jonidi Jafari A, Farhadi M, Golshani asl J, Valizadeh B, Meserghani M. Survey of Electropersulfate/H₂O₂ Efficiency for Treatment Synthetic Wastewater Containing Tetracycline using Response Surface Methology (RSM). *Iranian Journal of Research in Environmental Health*. Autumn 2023; 9(3): 255-268.

بررسی کارایی فرایند ترکیبی الکتروپرسولفات با استفاده همزمان واکنش گر پرکسید هیدروژن در حذف آنتی بیوتیک تتراسایکلین از محیط آبی

چکیده

زمینه و هدف: تتراسایکلین را می‌توان یکی از متداول ترین آنتی بیوتیک‌ها از نظر تولید و مصرف در سراسر جهان برشمرد و به شکل گسترده در پزشکی و دامپزشکی به منظور پیشگیری و درمان بیماری‌های عفونی مورد مصرف قرار می‌گیرد. هدف از این مطالعه بررسی کارایی فرایند ترکیبی الکتروپرسولفات با استفاده همزمان واکنش گر پرکسید هیدروژن در حذف آنتی بیوتیک تتراسایکلین از محیط آبی است.

مواد و روش‌ها: این پژوهش به صورت ناپیوسته در مقیاس آزمایشگاهی و با استفاده از راکتور الکتروپرسولفات و واکنش گر پرکسید هیدروژن در دمای محیط انجام شد. در این پژوهش از متدولوژی سطح پاسخ بر پایه طراحی کامپوزیت مرکزی برای بهینه سازی فرآیند الکتروپرسولفات و واکنشگر پرکسید هیدروژن و تاثیر متغیرهای pH، دانستیه جریان، نسبت پرسولفات به پرکسید هیدروژن بر حذف تتراسایکلین مورد مطالعه قرار گرفت.

یافته‌ها: حداکثر کارایی حذف تتراسایکلین در فرایند الکتروپرسولفات و استفاده همزمان واکنش گر پرکسید هیدروژن برابر ۹۵/۲٪ تحت شرایط ۵/۶ : pH، شدت جریان ۳۱ میلی آمپر، نسبت پرسولفات به پرکسید هیدروژن ۱/۱ بدست آمد p-value بسیار پایین ($p < 0.0001$) و ضریب همبستگی بالا (R^2) برای مدل به دست آمده نشان دهنده کفایت و همبستگی بالای داده‌های تجربی و داده‌های پیش بینی شده توسط مدل است.

نتیجه گیری: تکنولوژی ترکیبی سازگار با محیط زیست، اکسیداسیون پیشرفته مبتنی بر رادیکال سولفات و پرکسید هیدروژن (EC/PS/HR) برای حذف آلاینده‌ها در محیط‌های آبی متاثر از عوامل مختلفی مانند غلظت فعال کننده، غلظت کاتالیست، pH فرایند و... است. این مطالعه نشان داد که فرایند ترکیبی (EC/PS/HR) قادر به تجزیه و تخریب آلاینده‌های مقاوم مانند تتراسایکلین از محیط‌های آبی است. در نهایت می‌توان گفت که فرایند پرسولفات فعال شده با استفاده از (H_2O_2) یک فرایند موثر، کارآمد و امیدوارکننده در حذف تتراسایکلین از محلول‌های آبی است.

کلیدواژه‌ها: اکسیداسیون پیشرفته، تصفیه فاضلاب، تتراسایکلین، روش رویه پاسخ

پژمان قیطاسیان

کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بهداشت محیط، معاونت بهداشت دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی ایران، تهران، ایران.

سید محمد طباطبایی

استادیار، گروه طب ورزش دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی ایران، تهران، ایران.

احمد جنیدی جعفری

استاد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی ایران، تهران، ایران.

محسن فرهادی

کارشناسی ارشد، گروه سلامت محیط و کار، وزارت بهداشت و درمان آموزش پزشکی، تهران، ایران.

جواد گلشنی اصل

دکتر، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی ایران، تهران، ایران.

بهزاد ولی زاده

رییس دبیرخانه ستاد کشوری کنترل دخانیات وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی ایران.

مریم مصرقانی

* دکتر، گروه مهندسی بهداشت محیط، معاونت بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی ایران، تهران، ایران. (نویسنده مسئول):
m_eserghany@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۰۸

نوع مقاله: پژوهشی

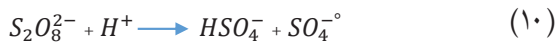
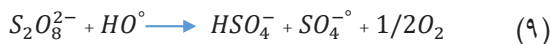
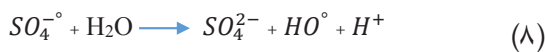
◀ **استناد:** قیطاسیان پ، طباطبایی م، جنیدی جعفری ا، فرهادی م، گلشنی اصل ج، ولی‌زاده ب، مصرقانی م. بررسی کارایی فرایند ترکیبی الکتروپرسولفات با استفاده همزمان واکنش گر پرکسید هیدروژن در حذف آنتی بیوتیک تتراسایکلین از محیط آبی. *فصلنامه پژوهش در بهداشت محیط*. پاییز ۱۴۰۲؛ ۳(۹): ۲۵۵-۲۶۸.

از میان انواع مختلف آنتی بیوتیک‌ها، تتراسایکلین دومین گروه شایع آنتی بیوتیک از نظر تولید و مصرف در سراسر جهان می‌باشد (۱-۴). تتراسایکلین آنتی بیوتیکی وسیع الطیف است و بر روی باکتری‌های گرم مثبت و منفی و تا حدودی مایکوپلاسماها و برخی از قارچها تاثیر دارند (۵، ۶). تتراسایکلین به دلیل هزینه کمتر و فعالیت ضد میکروبی بالاتر به طور گسترده‌ای در پزشکی و دامپزشکی و آبی پروری به منظور پیشگیری یا درمان عفونت‌های میکروبی استفاده می‌شود. میزان مصرف این دارو در دام بیشتر است. بعنوان مثال در طیور ۳۰-۲۰ میلی گرم به ازای هر کیلو وزن بدن مصرف می‌شود. جذب تتراسایکلین پس از مصرف توسط انسان و حیوانات بسیار ضعیف، نامنظم و متغیر بوده و تتراسایکلین جذب نشده (۸۰-۵۰٪) در بدن به عنوان ترکیبات متابولیزه نشده به فاضلاب خانگی دفع می‌شود و در نهایت منجر به آلودگی محیط زیست و منابع آبی می‌گردد (۷، ۸). علاوه بر این آنتی بیوتیک‌ها از طریق پساب کارخانجات سازنده این دارو، دفع ترکیبات غیر مصرفی و تاریخ گذشته و یا از طریق نشت از زائدات دامی و کشاورزی به محیط زیست و منابع آب راه پیدا می‌کنند. وجود این آنتی بیوتیک در محیط زیست منجر به توسعه پاتوژن‌های مقاوم به آنتی بیوتیک می‌شود که به طور بالقوه عملکرد اکوسیستم و سلامت انسان را تهدید می‌نمایند (۷، ۹). تتراسایکلین یک ترکیب شیمیایی دارای چهار حلقه بنزنی بهم چسبیده با یک گروه فعال کربوکسی آمید می‌باشد. نیمه عمر تتراسایکلین در بدن ۶-۱۲ ساعت است و دفع آن از طریق ادرار و مدفوع صورت می‌پذیرد (۸).

با توجه به افزایش تعداد گزارش‌ها از وجود این ترکیبات در محیط زیست و توسعه فرایندهای موثر و کارآمد برای حذف این ترکیبات از آبهای آلوده و به حداقل رساندن خطرات زیست محیطی آنها از اهمیت بیشتری برخوردار است (۱۰). در بین سیستم‌های بیولوژیکی فن آوری لجن فعال در سطح وسیعی به ویژه در تصفیه پساب صنایع بکار رفته است. سمیت بالای بسیاری

از ترکیبات کاربرد این فرایند در پساب با غلظت‌های بالای آلاینده‌ها را محدود می‌کند. در ده سال اخیر فرایندهای متداول متعددی در حذف آنتی بیوتیک‌ها از ماتریس زیست محیطی مورد بررسی قرار گرفته است. فرایندهای فیزیکوشیمیایی از قبیل انعقاد و لخته سازی و فیلتراسیون می‌توانند حداکثر تا ۳۰ درصد آنتی بیوتیک‌ها را از محیط آبی حذف کنند. از این رو به دلیل کارایی پایین روش‌های متداول گزینه‌های جدیدی مورد مطالعه قرار گرفته است (۹). در سال‌های اخیر فرایندهای اکسیداسیون پیشرفته مبتنی بر رادیکال سولفات $SO_4^{\cdot-}$ در حذف آلاینده‌های مقاوم و غیرقابل تجزیه بیولوژیکی از محیط‌های آبی، به دلیل توانایی بالای اکسیدکنندگی رادیکال سولفات به طور چشمگیری مورد توجه قرار گرفته است (۶، ۱۱-۱۵). پراکسیدهای H_2O_2 ، PS و PMS دارای ساختار مشابهی بوده و همگی دارای پیوند O-O می‌باشند. یک اتم هیدروژن در H_2O_2 به وسیله SO_3 برای تولید HSO_5^- و دو اتم هیدروژن در H_2O_2 به وسیله SO_3 برای تولید $S_2O_8^{2-}$ جایگزین شده است. به دلیل تاثیر SO_3 پیوند O-O طولانی تر و انرژی پیوندی کاهش می‌یابد. فاصله پیوندهای O-O در HSO_5^- ، H_2O_2 و $S_2O_8^{2-}$ به ترتیب ۱/۴۳۵، ۱/۴۶۰ و ۱/۴۹۷ آنگستروم (A°) می‌باشد. انرژی پیوندی در $S_2O_8^{2-}$ ۱۴۰ کیلوژول در مول تخمین زده می‌شود در حالیکه در H_2O_2 ۲۱۳ کیلوژول بر مول می‌باشد. انرژی پیوندی HSO_5^- بین این دو مقدار تخمین زده می‌شود (۱۶). هر سه این پراکسیدها توانایی محدودی برای اکسیداسیون ترکیبات آلی به صورت تنها و مستقل دارند اما با استفاده از حرارت، اشعه فرابنفش، امواج اولتراسونیک و یون‌های فلزی می‌توانند رادیکال‌های سولفات و هیدروکسیل با پتانسیل اکسیداسیون و احیای به ترتیب (۲/۵-۳/۱۷ ولت) و (۱/۸۹-۲/۷۲) تولید نمایند که توانایی اکسید نمودن اکثر آلاینده‌های آلی را در تصفیه آب و فاضلاب دارند (۱۰، ۱۷، ۱۸). رادیکال‌های سولفات دارای قابلیت انتخابی بیشتر برای اکسیداسیون ترکیبات آلی مورد هدف می‌باشد و با نیمه عمر ۳۰-۴۰ میکروثانیه نسبت

گردند (۴۶، ۴۷).



به طور کلی رادیکال‌های سولفات و هیدروکسیل توانایی تجزیه و اکسید نمودن دامنه وسیعی از آلاینده‌های آلی را دارند اگر چه مکانیزم تجزیه آلاینده‌ها به وسیله این رادیکال‌ها به طور چشمگیری متفاوت از یکدیگر است. به طور معمول رادیکال‌های سولفات و هیدروکسیل با استفاده از سه مکانیزم (۱) انتزاع اتم هیدروژن (۲) افزودن اتم هیدروژن (۳) انتقال الکترون واکنش می‌دهند.

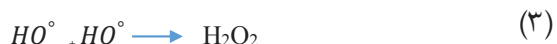
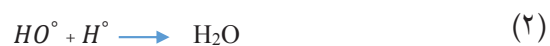
رادیکال سولفات بیشتر در واکنش‌های انتقال الکترون شرکت می‌کند در حالی که رادیکال هیدروکسیل بیشتر در واکنش‌های ربایش و افزایش هیدروژن شرکت می‌کند. بنا براین فعالیت رادیکال هیدروکسیل نسبت به رادیکال سولفات کمتر گزینشی می‌باشد (۴۶، ۴۸). هوو و همکاران تجزیه تتراسایکلین را با فعال سازی پروکسی در سولفات بوسیله اشعه فرابنفش و Fe_4O_3 به عنوان کاتالیست مورد بررسی قرار دادند (۶). بر این اساس این مطالعه با هدف بررسی کارایی فرایند الکتروپرسولفات با کاربرد پرکسید هیدروژن به عنوان یک فرایند اکسیداسیون پیشرفته برای تجزیه و حذف آنتی بیوتیک تتراسایکلین از محیط آبی صورت گرفت.

روش کار

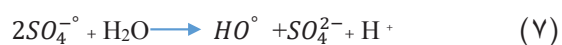
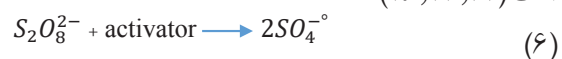
تجهیزات مربوط به واحد الکتروپرسولفات شامل یک مخزن با ابعاد $10 \times 10 \times 15$ سانتی‌متر از جنس پلکسی گلس و با حجم موثر 0.7 لیتر بود. نه عدد صفحه آلومینیومی با ابعاد $10 \times 8 \times 3/0$ سانتی‌متر با درجه خلوص $98/5$ درصد با فاصله $1/5$ سانتی‌متر در داخل مخزن قرار گرفتند. صفحات آلومینیومی با آرایش تک قطبی

و به صورت موازی به یک منبع تغذیه- Matrix Ltd., MPS 30051 (جهت تبدیل برق شهری (AC) به جریان مستقیم (DC)

به رادیکال‌های هیدروکسیل با نیمه عمر $3-10$ میکروثانیه مدت زمان بیشتری در تماس با آلاینده باقی می‌مانند. علاوه بر این رادیکال‌های سولفات پس از اکسیداسیون به سولفات غیر سمی تبدیل می‌شود که به هیچ گونه اقدامات دفعی و احتیاطی نیاز ندارند. (۱۶، ۱۹). فعال کننده‌های مختلفی مانند اشعه فرابنفش (۲۰-۲۲)، بازها (۲۳)، حرارت (۲۴-۲۶)، روش‌های الکتروشیمیایی (۲۷-۲۹)، امواج اولتراسوند (۳۰)، یون‌های فلزی (۳۱-۳۳)، فوتون (۳۴) و الکترون‌ها (۳۵) برای فعال سازی پرسولفات مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در سال‌های اخیر روش‌های ترکیبی متشکل از چند فعال کننده برای تسریع تجزیه پرسولفات و ارتقا تولید رادیکال سولفات بسیار مورد توجه قرار گرفته است. استفاده از روش‌های سونوشیمیایی (۵)، UV/Fe^{2+} (۳۶)، اشعه فرابنفش و ازن (۳۷)، $heat/UV/Fe^{2+}$ (۲۹)، فوتوفنتون (۳۸)، اشعه فرابنفش و حرارت (۳۹) و اشعه فرابنفش و اولتراسونیک (۴۰) از روشهایی هستند که بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند. در محلول‌های آبی، برقراری جریان الکتریکی منجر به تجزیه مولکول آب و تولید رادیکال‌های آزاد بسیار واکنش پذیر از قبیل HO° و H° طبق معادلات زیر می‌گردد (۴۱-۴۳):



همچنین مکانیزم فعال سازی پرسولفات برای تولید رادیکال‌های سولفات و هیدروکسیل در معادلات زیر نشان داده شده است (۳۲، ۴۴، ۴۵).



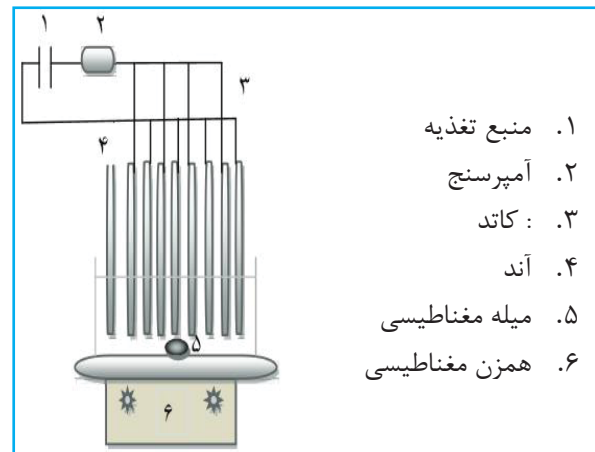
رادیکال‌های HO° و H° طبق معادلات زیر می‌توانند با پرسولفات واکنش داده و منجر به تولید رادیکال‌های سولفات

که رابطه بین یک یا چند متغیر پاسخ را با چندین متغیر مستقل (مورد مطالعه) تعیین می‌کند (۴۹-۵۱). طرح آزمایش به نحوی است که حتی بدون تکرار آزمون، نتایج آماری قابل اعتمادی به دست می‌آید. بنابراین این روش باعث تسهیل روند تحقیق، کاهش زمان و هزینه‌ها خواهد شد (۲ و ۵۲ و ۵۳). طراحی کامپوزیت مرکزی^۲، یکی از کارآمدترین و پرکاربردترین ابزار طراحی، برای بهینه‌سازی و بررسی اثر خطی یا برهمکنشی و درجه دوم پارامترها بر متغیر پاسخ می‌باشد. چهار متغیر مستقل مورد مطالعه در این تحقیق برای حذف راندمان حذف تتراسایکلین عبارت بودند از: pH، دانسیته جریان، نسبت پرسولفات به پرکسید هیدروژن، زمان واکنش در حالی که حذف تتراسایکلین به عنوان عامل پاسخ در نظر گرفته شد. متغیر مستقل (X_1) طبق معادله زیر به مقدار کد شده بدون بعد تبدیل می‌شود (۵۴-۵۶) در این معادله X_1 یک مقدار کدبندی شده بدون بعد متغیر مستقل بوده، X_0 مقدار مرکزی X_1 است و ΔX تفاوت بین مقادیر بالا و مرکزی متغیر است. با توجه به اصول و قواعد کامپوزیت مرکزی، ۵ سطح برای هر عامل تعیین شد. نقاط مرکزی به عنوان کد صفر، نقاط محوری بالا و پایین به عنوان کد ۲- و ۲+ و نقاط فاکتوریل کسری بالا و پایین با کد ۱ و ۱- مشخص می‌شوند. محدوده‌ها و مقادیر کدبندی شده متغیرهای فرایند در جدول ارائه شده است. محدوده‌های کاربردی پارامترهای طراحی بر اساس مطالعات اولیه و بررسی متون انتخاب شدند. تعداد کل ۳۰ ران، طراحی شده است.

تعداد runها بر اساس فرمول $2^k + 2k + 6$ replicates محاسبه شده است (۵۳ و ۵۷ و ۵۸).

K تعداد متغیرهای مستقل است که در این مطالعه برابر با ۴ می‌باشد. بنابراین ۱۶ ران در نقطه فاکتوریل کسری (2^k)، ۶ ران در نقطه محوری ($2k$) و ۶ تکرار در نقطه مرکزی طراحی شد. تکرار نقاط مرکزی به منظور ارزیابی خطای آزمایش (واریانس خطای خالص و کنترل کفایت مدل استفاده می‌شود. در جدول ۱ محدوده متغیرهای مورد بررسی و مقادیر کدبندی شده برای حذف تتراسایکلین آورده شده است. اندازه گیری و آنالیز پارامترهای لازم مطابق با دستورالعمل مندرج در کتاب روش‌های استاندارد انجام شد. نوع دکتور دستگاه

متصل شدند. جهت سنجش مشخصات جریان از یک مولتی متر دیجیتال Rogle استفاده شد. در هر بار آزمایش، مخزن با ۷۰۰ میلی لیتر از فاضلاب مورد نظر پر شد. به منظور بررسی تاثیر عوامل مختلف بر فرایند از جدول ۱ استفاده شد. نمونه‌ها تقریباً از میانه راکتور برداشت شدند. در زمان واکنش از یک همزن مغناطیسی با دور ۲۰۰rpm استفاده شد. پس از پایان هر دوره آزمایش، الکترودها به مدت ۱ دقیقه در اسید کلریدریک تمیز شدند. نمای از راکتور در شکل شماره ۱ آورده شده است. کلیه آزمایشات در دمای محیط صورت گرفت. مواد شیمیایی مصرفی از شرکت مرک آلمان خریداری شده بود.



شکل ۱. نمای راکتور

در مطالعه حاضر جهت بررسی میزان راندمان حذف تتراسایکلین از محلول‌های آبی، از تتراسایکلین آزمایشگاهی خریداری شده از شرکت مرک با درجه خلوص ۹۹/۹۹ درصد استفاده شد. برای این منظور ابتدا محلول استوک ۵۰ میلی گرم در لیتر تهیه شد. سپس نمونه‌های با غلظت مورد نظر ساخته شد. محلول‌های ساخته شده بصورت ناپیوسته^۱ در معرض فرایند الکتروپرسولفات قرار گرفتند. عمل نمونه برداری قبل و بعد از هر مرحله انجام شد تا بتوان بازدهی هر مرحله را محاسبه نمود. تعداد نمونه‌های مورد نیاز در این مطالعه با استفاده از نرم افزار سطح پاسخ^۲ تعیین گردید. روش طراحی سطح پاسخ مجموعه‌ای از روش‌های ریاضی است

1. Batch
2. RSM

جدول ۱. محدوده متغیرهای مورد بررسی و مقادیر کد بندی شده برای حذف تتراسایکلین

متغیرها	نشانه	کد متغیرها و محدوده مورد آزمایش آن ها				
		+۲	+۱	۰	-۱	-۲
pH اولیه	×۱	۸/۵	۷	۵/۵	۴	۲/۵
دانسیته جریان (mA/cm ²)	×۲	۵۰	۴۰	۳۰	۲۰	۱۰
زمان واکنش (min)	×۳	۵۰	۴۰	۳۰	۲۰	۱۰
نسبت پرسولفات به پرکسید هیدروژن	×۴	۱/۵	۱/۲۵	۱	۰/۷۵	۰/۵

پیش بینی میزان حذف تتراسایکلین از طریق تجزیه و تحلیل واریانس (ANOVA) نیز مورد تایید بود. همچنین مقدار نزدیک به هم R^2 و R_{adj}^2 با مقدار به ترتیب ۰/۹۹۴۲ و ۰/۹۹۱۳ نشان می‌دهد که عوامل غیر ضروری در مدل پیشنهادی گنجانده نشده است و مدل برای پیش بینی راندمان حذف تتراسایکلین دارای کفایت کافی است (۵۱، ۵۴، ۶۱-۶۳).

مقدار ضریب اطمینان تنظیم شده (adjusted) معنادار بودن بالای مدل را تایید می‌کند ($adjusted R^2 = 0/9913$). مقادیر کم ضریب تغییرات ($C.V = 4/76\%$) دقت بالا و قابلیت اطمینان آزمایش را پیشنهاد می‌دهد. علاوه بر این p-value کمتر از ۰/۰۰۰۱ نشان می‌دهد که مدل معنادار می‌باشد (۵). مقدار عدم برازش ۵/۲۵ نسبت به خطای خالص معنادار نمی‌باشد. برای یک مدل موفقیت آمیز مورد استفاده برای پیش بینی، مقدار $p > F$ lack of fit باید معنادار نباشد. نتایج آنالیز واریانس کلیه متغیرها مستقل مدنظر مطالعه دارای تاثیر معناداری بر کارایی حذف آنتی بیوتیک تتراسایکلین می‌باشند.

اثر پارامترهای مستقل

تاثیر هر یک از فاکتورها pH، زمان واکنش، دانسیته جریان و نسبت پرسولفات به پرکسید هیدروژن را در نمودار ۲ و ۳ نشان می‌دهد. نتایج نمودار ۲ نشان داد که تقریباً نصف باقیمانده ها، بالا و نصف دیگر پایین تر از خط صفر می‌باشند که نشان می‌دهد که کلیه باقیمانده نزدیک به صفر می‌باشند. با توجه به این نتایج، می‌توان نتیجه گرفت که مدل بدست آمده برای توضیح ارتباط بین راندمان حذف برای تجزیه تتراسایکلین بوسیله فرآیند الکتروپرسولفات با استفاده

کروماتوگرافی مایع تشخیص بالا مورد استفاده در این تحقیق (TEP(SHIMUDZE TEP-1600 spectrophotometer) است که طول موج ۳۶۵ nm، ستون VP-ODS-C18 با مشخصات ۴/۶×۲۵۰ mm بود و استو نیتریل / اگزالیک اسید به عنوان موبایل فاز استفاده شدند نسبت حجمی موبایل فازها ۳۱/۶۹ درصد، دبی جریان موبایل فازها ۲ ml/min، حجم تزریق ۲۰ ml و گرادیان تزریق ۲/۳۸ بود. جهت تنظیم دستگاه فوق برنامه‌های متعددی به لحاظ طول موج دستگاه، نوع و نسبت فاز متحرک مورد بررسی قرار گرفت و نهایتاً بهترین شرایط به لحاظ نوع ستون و فاز متحرک جهت آنالیز تتراسایکلین مورد استفاده قرار گرفت. میزان حذف براساس رابطه (۱) محاسبه می‌شود:

$$A\% = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100 \quad \text{رابطه ۱:}$$

که در آن C_0 غلظت اولیه تتراسایکلین mg/l و C_e غلظت تتراسایکلین در هر لحظه mg/l است.

یافته‌ها

آنالیز آماری

جدول ۱ و ۲ و نمودار ۲ و ۳ آنالیز آماری مدل را نشان می‌دهد. با توجه به جدول ۲ مدل رگرسیون دارای یک ضریب اطمینان بالا برای تجزیه تتراسایکلین می‌باشد ($R^2 = 0/9942$) و به این معناست که مدل ۹۹/۴۲٪ تغییرات برای بازدهی تخریب تتراسایکلین بوسیله متغیرهای مستقل توضیح داده می‌شود و فقط ۰/۵۸٪ از تغییرات را توضیح نمی‌دهد. کفایت مدل به دست آمده برای

وابسته به pH بوده و با افزایش یا کاهش pH راندمان حذف فرایند کاهش می‌یابد و افزایش دانسیته جریان تاثیر مثبت بر راندمان حذف تتراسایکلین دارد. اگرچه افزایش بیشتر دانسیته جریان به طور مداوم باعث افزایش راندمان حذف فرایند نمی‌گردد. و نهایتاً بیشترین راندمان حذف در نسبت پرسولفات به پرکسید هیدروژن معادل ۱/۳ بدست آمد. تاثیر همزمان pH و غلظت پرسولفات بر کارایی فرایند در شکل ۴ نشان داده شده است. همانطور که در این شکل مشخص است حذف تتراسایکلین، به ترتیب در pH ۵/۶ بالاترین راندمان حذف را داشته است و زمان واکنش بیشترین ضریب متعلق به متغیر زمان واکنش می‌باشد و نشان‌دهنده آن است که این متغیر بیشترین تاثیر را بر کارایی حذف آنتی بیوتیک تتراسایکلین دارد.

همزمان واکنش گر پرکسید هیدروژن کافی می‌باشد (۵۹ و ۶۰). طبق جدول pH دارای تاثیر قابل توجهی روی تجزیه تتراسایکلین در فرایند الکتروپرسولفات با استفاده همزمان واکنش گر پرکسید هیدروژن داشته است. کفایت (adequacy) مدل بوسیله رسم توزیع باقیمانده‌ها (residuals) مورد ارزیابی قرار گرفت. نمودارهای سه بعدی و دو بعدی نمایش گرافیکی مناسبی برای نشان دادن تاثیر همزمان دو متغیر بر کارایی فرایند است. تاثیر همزمان pH (۸/۵ - ۷-۵/۵ - ۴-۲/۵)، دانسیته جریان (۵۰-۴۰-۳۰-۲۰-۱۰ میلی آمپر) و نسبت غلظت پرسولفات به پرکسید هیدروژن (۱/۵، ۱/۲۵، ۱، ۰/۷۵، ۰/۵) و زمان تماس (۵۰-۴۰-۳۰-۲۰-۱۰ دقیقه) بر کارایی فرایند در شکل ۴ (a-c) نشان داده شده است. همانطور که در این شکل مشخص است حذف تتراسایکلین یک فرایند

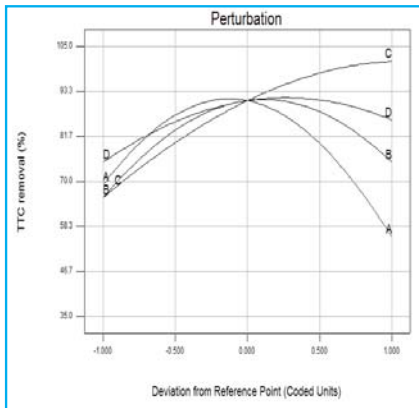
جدول ۲. ضرایب همبستگی برای مدل راندمان حذف آنتی بیوتیک تتراسایکلین

remarks	Predicted R ²	Adjusted R ²	R ²	Std. dev.	P-value	F-value	DF	میانگین مربعات	مجموع مربعات	فاکتور
	۰/۰۳۰۳	۰/۱۳۵۸	۰/۲۶۳۸	۷/۱	۰/۰۰۱<	۵۶/۷۲	۱۸	۶۴/۴۳	۱۱۵۹/۸	خطی
	-۰/۷۵۴۴	-۰/۱۴۳۴	۰/۲۸۰۱	۸/۱۷	۰/۰۰۱<	۷۵۷/۹۶	۱۲	۹۴/۵۲	۱۱۳۴/۱۸	2FI
Suggested		۰/۹۹۱۳	۰/۹۹۴۲	۰/۷۳	۰/۰۲۹۰	۶/۳	۸	۰/۷۹	۶/۲۸	مربعی
Aliased		۰/۹۹۱	۰/۹۹۹۶	۰/۳۳	۰/۵۹۰۹	۰/۳۳	۱	۰/۰۴۱	۰/۰۴۱	مکعبی

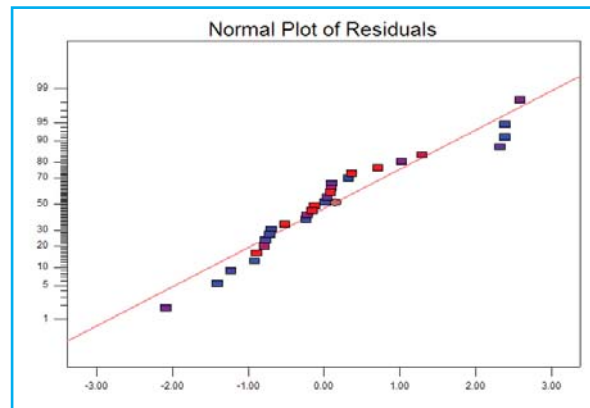
جدول ۳. نتایج آزمون ANOVA برای مدل راندمان حذف آنتی بیوتیک تتراسایکلین

منبع	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F مقدار	Prob>F
مدل	۱۵۶۷/۱۰	۹	۱۷۴/۱۲	۳۴۲/۹۱	۰/۰۰۰۱
A-pH	۳۹/۷۸	۱	۳۹/۷۸	۷۸/۳۴	۰/۰۰۰۱
B-CD	۱۶/۷۱	۱	۱۶/۷۱	۳۲/۹۰	۰/۰۰۰۱
C-time	۳۲۸/۱۸	۱	۳۲۸/۱۸	۶۴۶/۳۰	۰/۰۰۰۱
D-PS/H ₂ O ₂	۳۱/۹۷	۱	۳۱/۹۷	۹۲/۹۶	۰/۰۰۰۱
AC	۲۳/۳۸	۱	۲۳/۳۸	۴۶/۰۴	۰/۰۰۰۱
A ₂	۵۶۴/۶۹	۱	۵۶۴/۶۹	۱۱۲/۰۸	۰/۰۰۰۱
B ₂	۲۸۳/۳۸	۱	۲۸۲/۳۸	۵۵۶/۱۱	۰/۰۰۰۱
C ₂	۷۱/۳۴	۱	۷۱/۳۴	۱۴۰/۵۰	۰/۰۰۰۱
D ₂	۱۲۵/۰۵	۱	۱۲۵/۰۵	۲۴۶/۲۶	۰/۰۰۰۱
باقی مانده	۹/۱۴	۱۸	۰/۵۱		
نقص برازش	۸/۵۲	۱۳	۰/۶۶	۵/۲۵	۰/۱۳۹۰
خطای خالص	۰/۶۲	۵	۰/۱۲		
کل	۱۵۷۶/۲۴	۲۷			

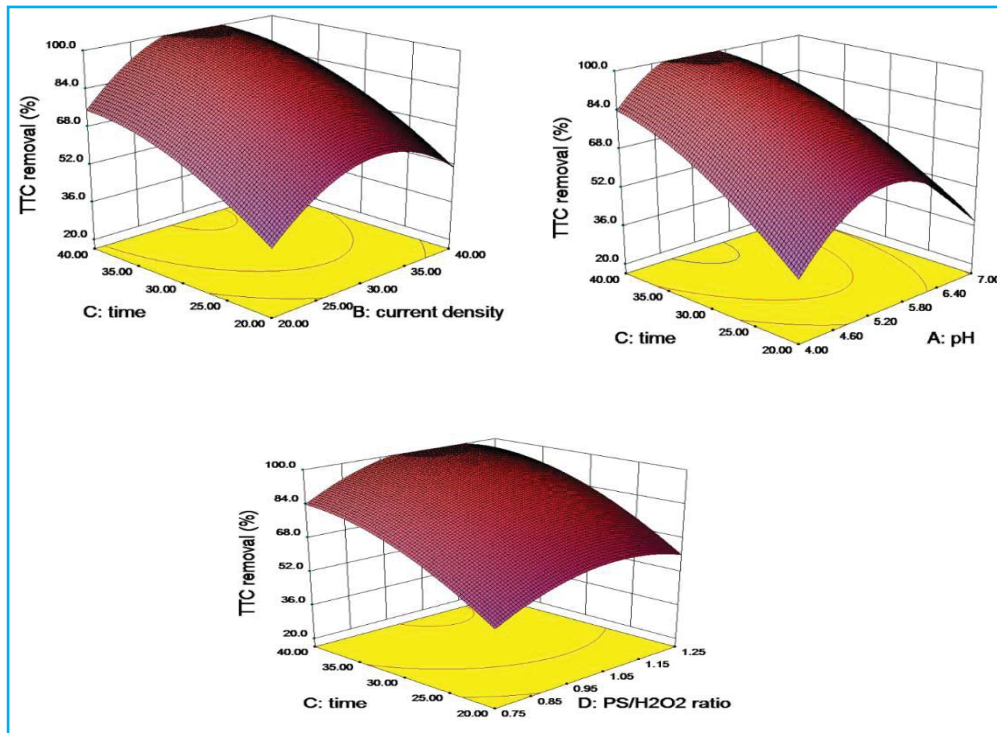
R² adjusted = 0/9913 R² = 0/9942
 Adequate precision = 372/52
 C.V % = 76/4



شکل ۳. نمودار پرشیدگی حذف تتراسایکلین



شکل ۲. نمودار احتمال نرمال باقیمانده‌ها در حذف تتراسایکلین



شکل ۴. تاثیر زمان، نسبت پرسولفات به پرکسید هیدروژن و pH بر راندمان حذف تتراسایکلین

بحث

مربوط می‌شود. اما با توجه به اینکه واکنش پرسولفات در دمای اتاق واکنشی بسیار کند است لذا جهت تسریع واکنش آن با روش‌های مختلف فعال می‌شود. بطورکلی تجزیه سریع پرسولفات به رادیکال سولفات را فعال سازی می‌نامند که این امر می‌تواند با کمک افزایش دما، فلزات گذار یا انتقالی، pH، پرتودهی و افزودن پرکسید هیدروژن نام برد (۶۴، ۶۵) بنابراین در این تحقیق

در سال‌های اخیر استفاده از پرسولفات به عنوان یک اکسید کننده قوی در حذف و تجزیه ترکیبات آلی مقاوم به تجزیه از محلول‌های آبی بطور چشمگیری افزایش یافته است. استفاده از پرسولفات در حذف چنین ترکیباتی با توجه به پتانسیل ردوکس آن، تولید رادیکال‌های آزاد سولفات، حلالیت بالای آن در محلول‌های آبی همراه با خاصیت غیر انتخابی ترکیبات و ساختار پایدار

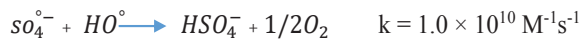
و هیدروکسیل باعث رقابت بین واکنش آلاینده با این رادیکال‌ها می‌شود. بنابراین دلایل تاثیر منفی غلظت‌های بالای پرسولفات بر راندمان حذف فرایند می‌تواند به شرح زیر باشد:

واکنش‌های رادیکال‌های سولفات با یکدیگر و یا با رادیکال‌های هیدروکسیل بجای واکنش با تتراسایکلین در غلظت‌های بالای پرسولفات بر اساس معادلات زیر:

(۱۴)

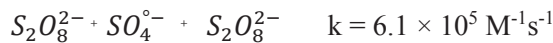


(۱۵)



(۲) مهار رادیکال‌های سولفات توسط $S_2O_8^{2-}$ و تشکیل رادیکال‌های کمتر فعال $S_2O_8^{\bullet-}$ بر اساس معادله زیر (۷۳، ۷۴):

(۱۶)

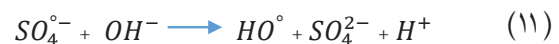


مطالعات مشابه‌ای در مورد تاثیر غلظت پرسولفات در فرایندهای اکسیداسیون پیشرفته انجام شده است. در مطالعه‌ای که توسط لین و همکاران در سال ۲۰۱۵ در مورد تاثیر پرسولفات فعال شده بر تخریب اسید پرفلورو اوکتانیک (PFPA) انجام شد، غلظت‌های مختلف پرسولفات از ۰ تا ۱۱۷ میلی مول بر لیتر بر کارایی فرایند مورد بررسی قرار گرفت. نتایج مطالعه نشان داد که حذف کامل PFPA با اضافه نمودن ۴۶ میلی مول پرسولفات در زمان ۱۱۰ دقیقه و یا ۱۱۷ میلی مول پرسولفات در مدت زمان ۸۰ دقیقه انجام می‌شود. بنابراین انتخاب غلظت بهینه پرسولفات به زمان ماند فرایند بستگی دارد. به این ترتیب که با افزایش زمان ماند می‌توان غلظت پرسولفات مورد نیاز را کاهش داد و یا بالعکس (۷۴). مطالعه انجام شده توسط هوو و همکاران در سال ۲۰۱۲ کارایی حذف تتراسایکلین با استفاده از پرسولفات سدیم در $\text{pH} = 3/7$ بعد از مدت زمان واکنش ۹۰ دقیقه ناچیز گزارش شده است (۶).

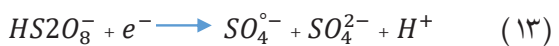
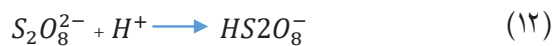
مطالعات مشابه‌ای در مورد تاثیر غلظت پرسولفات در فرایندهای اکسیداسیون پیشرفته انجام شده است. در مطالعه‌ای که توسط لین و همکاران در سال ۲۰۱۵ در مورد تاثیر پرسولفات

پرسولفات با کمک اکتیواتور پرکسید هیدروژن فعال و پارامترهای اثر گذار بر روی فرایند مورد بررسی قرار گرفت. می‌توان گفت فرایند مذکور یک فرایند وابسته به pH بوده و در شرایط اسیدی یا قلیایی راندمان حذف فرایند کاهش می‌یابد. دلیل روند معکوس حذف تتراسایکلین با افزایش pH را میتوان این گونه توجیه کرد.

(۱) تبدیل $SO_4^{\bullet-}$ به HO^{\bullet} با پتانسیل اکسیداسیون کمتر در شرایط قلیایی بر اساس معادله ۱۱ (۶۶-۶۸).



(۲) تولید بیشتر رادیکال‌های سولفات از طریق تجزیه اسید کاتالیزوری پرسولفات در شرایط اسیدی طبق معادلات (۱۲ و ۱۳)



بنابراین میزان حذف تتراسایکلین تحت شرایط اسیدی منجر به پایداری بیشتر رادیکال‌های سولفات می‌گردد (۱۸). نهایتاً استفاده از NaOH برای تنظیم pH در شرایط قلیایی باعث تولید بیشتر یون‌های OH^- در محلول می‌گردد. علاوه بر این، غلظت بسیار بالای یون‌ها اثر سیستم را با دخالت در توانایی تتراسایکلین، آموکسی سیلین و COD در جذب حباب‌ها کاهش می‌دهد. این یافته‌ها با نتایج مطالعات قبلی که تاثیر منفی افزایش pH را بر مکانیزم حذف تتراسایکلین، آموکسی سیلین و COD با استفاده از پرسولفات نشان داد مطابقت دارد (۷۰، ۷۱).

بر اساس شکل ۴ با افزایش نسبت غلظت پرسولفات به پرکسید هیدروژن تا حدود ۱ راندمان حذف تتراسایکلین افزایش می‌یابد. افزایش بیشتر تاثیر منفی بر راندمان حذف تتراسایکلین دارد. تاثیر مثبت نسبت پرسولفات به پرکسید هیدروژن بر راندمان حذف آلاینده در مطالعات دیگر نیز گزارش شده (۶۹، ۷۲) و می‌تواند به وسیله افزایش تولید رادیکال‌های فعال سولفات در محلول توجیه شود. تاثیر منفی غلظت‌های بیشتر از نسبت ۱/۵ بر راندمان فرایند می‌تواند به علت مکانیزم خودبازدارندگی رادیکال سولفات باشد. در غلظت‌های بسیار بالای پرسولفات ترکیب دوباره رادیکال‌های سولفات با یکدیگر و یا ترکیب رادیکال‌های سولفات

بهینه حذف تتراسایکلین با p-value بسیار پایین ($< 0/0001$) و ضریب همبستگی بالا ($R^2 = 0/9942$) برای مدل به دست آمده نشان دهنده کفایت و همبستگی بالای داده‌های تجربی و داده‌های پیش بینی شده توسط مدل است. با توجه همخوانی و تایید مقادیر پیش بینی شده به وسیله RSM بر پایه CCD اینطور می‌توان نتیجه گرفت که استراتژی برای بهینه سازی تجزیه تتراسایکلین و به دست آوردن حداکثر بازده تخریب توسط RSM برای اکسیداسیون تتراسایکلین با فرایند الکتروپرسولفات با استفاده همزمان واکنش گر پرکسید هیدروژن موفقیت آمیز بوده است.

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان تمام نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند. همچنین هر گونه تضاد منافع حقیقی یا مادی که ممکن است بر نتایج یا تفسیر مقاله تاثیر بگذارد را رد می‌کنند.

تشکر و قدردانی

این مقاله برگرفته از طرح پژوهشی با شماره طرح ۲۶۰۶۷-۸-۲-۱۴۰۲ است که با حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی ایران انجام شد. بدین وسیله از تمام کسانی که در انجام این تحقیق همکاری کردند، تشکر و قدردانی می‌شود.

فعال شده بر تخریب اسید پرفلورو اوکتانیک (PFPA) انجام شد، غلظت‌های مختلف پرسولفات از ۰ تا ۱۱۷ میلی مول بر لیتر بر کارایی فرایند مورد بررسی قرار گرفت. نتایج مطالعه نشان داد که حذف کامل PFPA با اضافه نمودن ۴۶ میلی مول پرسولفات در زمان ۱۱۰ دقیقه و یا ۱۱۷ میلی مول پرسولفات در مدت زمان ۸۰ دقیقه انجام می‌شود. درحالیکه نشان داد در pH برابر ۴/۳ میزان حذف ناچیز می‌باشد (۷۴). به طور معمول فرایندهای بر پایه پرسولفات توانایی تجزیه ساختاری آلاینده‌های آلی و در نهایت معدنی سازی کامل به CO_2 را دارند. معدنی سازی کامل اکثر آنتی بیوتیک‌ها به دلیل پایداری بالای آن‌ها بسیار مشکل می‌باشد. (۶۴, ۶۵, ۷۵-۷۷) نتایج حاصله نشان می‌دهد که فرایند الکتروپرسولفات و استفاده همزمان واکنشگر پرکسید هیدروژن توانایی معدنی سازی تتراسایکلین به ترتیب ۹۵/۲٪ می‌باشد. عدم معدنی سازی کامل تتراسایکلین توسط این فرایند می‌تواند بیانگر تشکیل فرآورده‌های جانبی ناشی از تجزیه تتراسایکلین در طول فرایند باشد (۵).

نتیجه گیری

در این مطالعه یک طرح مرکب مرکزی چهار فاکتوری - پنج سطحی بر اساس روش سطح پاسخ به منظور کارایی فرایند الکتروپرسولفات با استفاده همزمان واکنش گر پرکسید هیدروژن در حذف تتراسایکلین مورد مطالعه قرار گرفت. به منظور طراحی آزمایشات و مدلسازی فرآیند و نهایتاً بدست آوردن مقادیر بهینه از تکنیک RSM بر پایه طرح کامپوزیت مرکزی استفاده گردید. استفاده از CCD قادر به تعیین رفتار فرآیند در حذف تتراسایکلین بدون نیاز به تعداد زیاد آزمایشات وقت گیر و پرهزینه اطلاعات کافی و مناسبی را در اختیار ما گذاشت. علاوه بر آن تعیین مقادیر بهینه را تسهیل می‌نماید. نتایج حاصل از میزان F و $prob > F$ ($0/0001$) مشخص کرد که مدل از نظر آماری معنی دار می‌باشد. آزمون عدم برازش (lack of fit test) مدل نهایی حذف تتراسایکلین معنی دار نبود، بنابراین برازش مدل تأیید شد که بیانگر آن است که مدل های نهایی با داده‌های آزمایش همخوانی دارد تحت شرایط

References

- Xie Y, Chen L, Liu R. Oxidation of AOX and organic compounds in pharmaceutical wastewater in RSM-optimized-Fenton system. *Chemosphere*. 2016;155:217-24.
- Shaykhi ZM, Zinatizadeh AAL. Statistical modeling of photocatalytic degradation of synthetic amoxicillin wastewater (SAW) in an immobilized TiO₂ photocatalytic reactor using response surface methodology (RSM). *J Taiwan Inst Chem Eng*. 2014;45(4):1717-176.
- Yazdani M, Najafpoor A, Dehghan A, Alidadi H, Dankoob M, Zangi R, Nourbakhsh S, Ataei R, Navaei fezabady A. Performance evaluation of com-bined Ultrasonic/UV process in removal of Tetracycline Antibiotic from aqueous Solutions using Response surface Methodology. *Iranian Journal of Research in Environmental Health*. Spring 2017;3 (1) : 11-20.
- Devi P, Das U, Dalai A. In-situ chemical oxidation: Principle and applications of peroxide and persulfate treatments in wastewater systems. *Science of The Total Environment*. 2016;571:643-57.
- Eslami A, Bahrami H, Asadi A, Alinejad A. Enhanced sonochemical degradation of tetracycline by sulfate radicals. *Water Science and Technology*. 2016;73(6):1293-300.
- Hou L, Zhang H, Xue X. Ultrasound enhanced heterogeneous activation of peroxydisulfate by magnetite catalyst for the degradation of tetracycline in water. *Separation and Purification Technology*. 2012;84:147-52.
- Jeong J, et al.,. Degradation of tetracycline antibiotics: mechanisms and kinetic studies for advanced oxidation/reduction processes. *Chemosphere*. 2010;75(5):533-40.
- Ji Y, Shi Y, Dong W, Wen X, Jiang M, Lu J. Thermo-activated persulfate oxidation system for tetracycline antibiotics degradation in aqueous solution. *Chemical Engineering Journal*. 2016;298:225-33.
- Fakhri A, Rashidi S, Tyagi I, Agarwal S, Gupta VK. Photodegradation of Erythromycin antibiotic by γ -Fe₂O₃/SiO₂ nanocomposite: Response surface methodology modeling and optimization. *Journal of Molecular Liquids*. 2016;214:378-83.
- Eslami A, Asadi A, Meserghani M, Bahrami H. Optimization of sonochemical degradation of amoxicillin by sulfate radicals in aqueous solution using response surface methodology (RSM). *Journal of Molecular Liquids*. 2016;222:739-44.
- Yang S, Wang P, Yang X, Shan L, Zhang W, Shao X, et al. Degradation efficiencies of azo dye Acid Orange 7 by the interaction of heat, UV and anions with common oxidants: persulfate, peroxymonosulfate and hydrogen peroxide. *Journal of Hazardous Materials*. 2010;179(1):552-8.
- Ahmed MM, Barbati S, Doumenq P, Chiron S. Sulfate radical anion oxidation of diclofenac and sulfamethoxazole for water decontamination. *Chemical engineering journal*. 2012;197:440-7.
- Gao Y-q, Gao N-y, Deng Y, Yang Y-q, Ma Y. Ultraviolet (UV) light-activated persulfate oxidation of sulfamethazine in water. *Chemical Engineering Journal*. 2012;195:248-53.
- Wang C-W, Liang C. Oxidative degradation of TMAH solution with UV persulfate activation. *Chemical Engineering Journal*. 2014;254:472-8.
- Qi C, Liu X, Lin C, Zhang X, Ma J, Tan H, et al. Degradation of sulfamethoxazole by microwave-activated persulfate: kinetics, mechanism and acute toxicity. *Chemical Engineering Journal*. 2014;249:6-14.
- Olmez-Hanci T, Arslan-Alaton I. Comparison of sulfate and hydroxyl radical based advanced oxidation of phenol. *Chemical Engineering Journal*. 2013;224:10-6.
- Rodríguez-Chueca J, Moreira SI, Lucas MS, Fernandes JR, Tavares PB, Sampaio A, et al. Disinfection of simulated and real winery wastewater using sulphate radicals: Peroxymonosulphate/transition metal/UV-A LED oxidation. *Journal of Cleaner Production*. 2017;149:805-17.
- Wang J, Wang C, Tong S. A novel composite Fe-N/O catalyst for the effective enhancement of oxidative capacity of persulfate at ambient temperature. *Catalysis Communications*. 2018;103:105-9.
- Su S, Guo W, Yi C, Leng Y, Ma Z. Degradation of amoxicillin in aqueous solution using sulphate radicals under ultrasound irradiation. *Ultrasonics sonochemistry*. 2012;19(3):469-74.
- Dhaka S, Kumar R, Khan MA, Paeng K-J, Kurade MB, Kim S-J, et al. Aqueous phase degradation of methyl paraben using UV-activated persulfate method. *Chemical Engineering Journal*. 2017;321:11-9.
- Fang C, Lou X, Huang Y, Feng M, Wang Z, Liu J. Monochlorophenols degradation by UV/persulfate is immune to the presence of chloride: Illusion or reality? *Chemical Engineering Journal*. 2017;323:124-33.
- Izadifard M, Achari G, Langford CH. Degradation of sulfolane using activated persulfate with UV and UV-Ozone. *Water Research*. 2017;125:325-31.
- Hyk W, Kitka K. Highly efficient and selective leaching of silver from electronic scrap in the base-activated persulfate-ammonia system. *Waste Management*. 2017;60:601-8.
- Chen X, Murugananthan M, Zhang Y. Degradation of

- p-Nitrophenol by thermally activated persulfate in soil system. *Chemical Engineering Journal*. 2016;283:1357-65.
25. Manz KE, Carter KE. Investigating the effects of heat activated persulfate on the degradation of furfural, a component of hydraulic fracturing fluid chemical additives. *Chemical Engineering Journal*. 2017;327:1021-32.
 26. Zheng L, Wang X, Wang X. Reuse of reverse osmosis concentrate in textile and dyeing industry by combined process of persulfate oxidation and lime-soda softening. *Journal of Cleaner Production*. 2015;108:525-33.
 27. Bu L, Zhou S, Shi Z, Bi C, Zhu S, Gao N. Iron electrode as efficient persulfate activator for oxcarbazepine degradation: Performance, mechanism, and kinetic modeling. *Separation and Purification Technology*. 2017;178:66-74.
 28. Huang X, An D, Song J, Gao W, Shen Y. Persulfate/electrochemical/FeCl₂ system for the degradation of phenol adsorbed on granular activated carbon and adsorbent regeneration. *Journal of Cleaner Production*. 2017;165:637-44.
 29. Song H, Yan L, Jiang J, Ma J, Zhang Z, Zhang J, et al. Electrochemical activation of persulfates at BDD anode: Radical or nonradical oxidation? *Water research*. 2018;128:393-401.
 30. Li Y, Yuan X, Wu Z, Wang H, Xiao Z, Wu Y, et al. Enhancing the sludge dewaterability by electrolysis/electrocoagulation combined with zero-valent iron activated persulfate process. *Chemical Engineering Journal*. 2016;303:636-45.
 31. Duan X, Sun H, Tade M, Wang S. Metal-free activation of persulfate by cubic mesoporous carbons for catalytic oxidation via radical and nonradical processes. *Catalysis Today*. 2017.
 32. Matzek LW, Carter KE. Sustained persulfate activation using solid iron: Kinetics and application to ciprofloxacin degradation. *Chemical Engineering Journal*. 2017;307:650-60.
 33. Pu M, Guan Z, Ma Y, Wan J, Wang Y, Brusseau ML, et al. Synthesis of iron-based metal-organic framework MIL-53 as an efficient catalyst to activate persulfate for the degradation of Orange G in aqueous solution. *Applied Catalysis A: General*. 2018;549:82-92.
 34. Wang S, Wang J. Trimethoprim degradation by Fenton and Fe (II)-activated persulfate processes. *Chemosphere*. 2018;191:97-105.
 35. Criquet J, Leitner NKV. Electron beam irradiation of aqueous solution of persulfate ions. *Chemical Engineering Journal*. 2011;169(1):258-62.
 36. De Luca A, He X, Dionysiou DD, Dantas RF, Esplugas S. Effects of bromide on the degradation of organic contaminants with UV and Fe²⁺ activated persulfate. *Chemical Engineering Journal*. 2017;318:206-13.
 37. Goi A, Viisimaa M. Integration of ozonation and sonication with hydrogen peroxide and persulfate oxidation for polychlorinated biphenyls-contaminated soil treatment. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 2015;3(4):2839-47.
 38. Shiraz AD, Takdastan A, Borghei SM. Photo-Fenton like degradation of catechol using persulfate activated by UV and ferrous ions: Influencing operational parameters and feasibility studies. *Journal of Molecular Liquids*. 2018;249:463-9.
 39. Peng L, Wang L, Hu X, Wu P, Wang X, Huang C, et al. Ultrasound assisted, thermally activated persulfate oxidation of coal tar DNAPLs. *Journal of hazardous materials*. 2016;318:497-506.
 40. Duran A, Monteagudo J, Exposito A, Monsalve V. Modeling the sonophoto-degradation/mineralization of carbamazepine in aqueous solution. *Chemical Engineering Journal*. 2016;284:503-12.
 41. Asghar A, Raman AAA, Daud WMAW. Advanced oxidation processes for in-situ production of hydrogen peroxide/hydroxyl radical for textile wastewater treatment: a review. *Journal of cleaner production*. 2015;87:826-38.
 42. Monteagudo J, Durán A, González R, Expósito A. In situ chemical oxidation of carbamazepine solutions using persulfate simultaneously activated by heat energy, UV light, Fe²⁺ ions, and H₂O₂. *Applied Catalysis B: Environmental*. 2015;176:120-9.
 43. Expósito A, Monteagudo J, Durán A, Fernández A. Dynamic behavior of hydroxyl radical in sono-photo-Fenton mineralization of synthetic municipal wastewater effluent containing antipyrine. *Ultrasonics sonochemistry*. 2017;35:185-95.
 44. Mercado DF, Bracco LL, Arques A, Gonzalez MC, Caregnato P. Reaction kinetics and mechanisms of organosilicon fungicide flusilazole with sulfate and hydroxyl radicals. *Chemosphere*. 2018;190:327-36.
 45. Liu X, Yuan S, Tong M, Liu D. Oxidation of trichloroethylene by the hydroxyl radicals produced from oxygenation of reduced nontronite. *Water Research*. 2017;113:72-9.
 46. Xie P, Ma J, Liu W, Zou J, Yue S, Li X, et al. Removal of 2-MIB and geosmin using UV/persulfate: contributions of hydroxyl and sulfate radicals. *Water research*. 2015;69:223-33.
 47. Yang Y, Jiang J, Lu X, Ma J, Liu Y. Production of sulfate radical and hydroxyl radical by reaction of ozone with peroxymonosulfate: a novel advanced oxidation process.

- Environmental science & technology. 2015;49(12):7330-9.
48. Yang Y, Pignatello JJ, Ma J, Mitch WA. Comparison of halide impacts on the efficiency of contaminant degradation by sulfate and hydroxyl radical-based advanced oxidation processes (AOPs). *Environmental science & technology*. 2014;48(4):2344-51.
49. Myers RH, Montgomery DC, Vining GG, Borror CM, Kowalski SM. Response surface methodology: a retrospective and literature survey. *Journal of quality technology*. 2004;36(1):53.
50. Keshtegar B, Mert C, Kisi O. Comparison of four heuristic regression techniques in solar radiation modeling: Kriging method vs RSM, MARS and M5 model tree. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2018;81:330-41.
51. Tan YH, Abdullah MO, Nolasco-Hipolito C, Zauzi NSA. Application of RSM and Taguchi methods for optimizing the transesterification of waste cooking oil catalyzed by solid ostrich and chicken-eggshell derived CaO. *Renewable Energy*. 2017;114:437-47.
52. Milani Shirvan K, Mamourian M, Mirzakanlari S, Ellahi R. Two phase simulation and sensitivity analysis of effective parameters on combined heat transfer and pressure drop in a solar heat exchanger filled with nanofluid by RSM. *Journal of Molecular Liquids*. 2016;220:888-901.
53. Singh A, Garg H, Lall AK. Optical polishing process: Analysis and optimization using response surface methodology (RSM) for large diameter fused silica flat substrates. *Journal of Manufacturing Processes*. 2017;30:439-51.
54. Ragavendran M, Chandrasekhar N, Ravikumar R, Saxena R, Vasudevan M, Bhaduri A. Optimization of hybrid laser-TIG welding of 316LN steel using response surface methodology (RSM). *Optics and Lasers in Engineering*. 2017;94:27-36.
55. Soundararajan R, Ramesh A, Mohanraj N, Parthasarathi N. An investigation of material removal rate and surface roughness of squeeze casted A413 alloy on WEDM by multi response optimization using RSM. *Journal of Alloys and Compounds*. 2016;685:533-45.
56. Long A, Zhang H, Lei Y. Surfactant flushing remediation of toluene contaminated soil: Optimization with response surface methodology and surfactant recovery by selective oxidation with sulfate radicals. *Separation and Purification Technology*. 2013;118:612-9.
57. Trinh H, Yusup S, Uemura Y. Optimization and kinetic study of ultrasonic assisted esterification process from rubber seed oil. *Bioresource Technology*. 2018;247:51-7.
58. Salarian A-A, Hami Z, Mirzaei N, Mohseni SM, Asadi A, Bahrami H, et al. N-doped TiO₂ nanosheets for photocatalytic degradation and mineralization of diazinon under simulated solar irradiation: Optimization and modeling using a response surface methodology. *Journal of Molecular Liquids*. 2016;220:183-91.
59. Charoen K, Prapainainar C, Sureeyatanapas P, Suwannaphisit T, Wongamornpitak K, Kongkachuichay P, et al. Application of response surface methodology to optimize direct alcohol fuel cell power density for greener energy production. *Journal of Cleaner Production*. 2017;142:1309-20.
60. Malik D, Pakzad L. Experimental investigation on an aerated mixing vessel through electrical resistance tomography (ERT) and response surface methodology (RSM). *Chemical Engineering Research and Design*. 2018;129:327-43.
61. Ohale P, Uzoh CF, Onukwuli OD. Optimal Factor Evaluation for the Dissolution of Alumina from Azaraegbelu Clay in Acid Solution using RSM and ANN comparative analysis. *South African Journal of Chemical Engineering*. 2017;24:43-54.
62. Morero B, Gropelli ES, Campanella EA. Evaluation of biogas upgrading technologies using a response surface methodology for process simulation. *Journal of Cleaner Production*. 2017;141:978-88.
63. Sharma J, Anand P, Pruthi V, Chaddha AS, Bhatia J, Kaith B. RSM-CCD optimized adsorbent for the sequestration of carcinogenic rhodamine-B: Kinetics and equilibrium studies. *Materials Chemistry and Physics*. 2017;196:270-83.
64. Bu L, Zhu S, Zhou S. Degradation of artazine by electrochemically activated persulfate using BDD anode: Role of radicals and influencing factors. *Chemosphere*. 2018;195:236-44.
65. Cai j, Zhou M, Liu Y, Savall A, Serrano K. Indirect electrochemical oxidation of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid using electrochemically-generated persulfate. *Chemosphere*. 2018;204:163-9.
66. Bekkouche S, Merouani S, Hamdaoui O, Bouhelassa M. Efficient photocatalytic degradation of Safranin O by integrating solar-UV/TiO₂/Persulfate treatment: Implication of sulfate radical in the oxidation process and effect of various water matrix components. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*. 2017.
67. Lu X, Shao Y, Gao N, Chen J, Deng H, Chu W, et al. Investigation of clofibrac acid removal by UV/persulfate and UV/chlorine processes: Kinetics and formation of disinfection byproducts during subsequent chlorination. *Chemical Engineering Journal*. 2018;331:364-71.
68. Qi C, Liu X, Lin C, Zhang H, Li X, Ma J. Activation of

- peroxymonosulfate by microwave irradiation for degradation of organic contaminants. *Chemical Engineering Journal*. 2017;315:201-9.
69. Feng Y, Song Q, Lv W, Liu G. Degradation of ketoprofen by sulfate radical-based advanced oxidation processes: Kinetics, mechanisms, and effects of natural water matrices. *Chemosphere*. 2017;189:643-51.
70. Dong H, Zhang C, Hou K, Cheng Y, Deng J, Jiang Z, et al. Removal of trichloroethylene by biochar supported nanoscale zero-valent iron in aqueous solution. *Separation and Purification Technology*. 2017;188:188-96.
71. Liang C, Wang Z-S, Bruell CJ. Influence of pH on persulfate oxidation of TCE at ambient temperatures. *Chemosphere*. 2007;66(1):106-13.
72. Ghanbari F, Moradi M, Gohari F. Degradation of 2, 4, 6-trichlorophenol in aqueous solutions using peroxymonosulfate/activated carbon/UV process via sulfate and hydroxyl radicals. *Journal of Water Process Engineering*. 2016;9:22-8.
73. Durán A, Monteagudo J, San Martín I, Amunategui F, Patterson D. Mineralization of aniline using hydroxyl/sulfate radical-based technology in a waterfall reactor. *Chemosphere*. 2017;186:177-84.
74. Lin J-C, Lo S-L, Hu C-Y, Lee Y-C, Kuo J. Enhanced sonochemical degradation of perfluorooctanoic acid by sulfate ions. *Ultrasonics sonochemistry*. 2015;22:542-7.
75. Caia C, Zhanga Z, Zhang H. Electro-assisted heterogeneous activation of persulfate by Fe/SBA-15 for the degradation of Orange II. *Hazardous Materials*. 2016;313:209-18.
76. Chakma S, Praneeth S, Moholkar VS. Mechanistic investigations in sono-hybrid (ultrasound/Fe²⁺/UVC) techniques of persulfate activation for degradation of Azorubine. *Ultrasonics sonochemistry*. 2016.
77. Chen W, Huang C. Mineralization of aniline in aqueous solution by electro-activated persulfate oxidation enhanced with ultrasound. *Chemical Engineering Journal*. 2015;266:279-88.

Zoning of fluoride concentration in drinking water of Hamadan province using geographic information system (GIS)

Fatemeh Sahraei

Msc Student, Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran.

Ali Shojaei

Ph.D Student, Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran.

Zahra Aghababaei

Msc Student, Department of Biostatistic, School of Public Health, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran.

Zahra Hashemi

Msc, Department of Computer and Information Technology Engineering, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran

Mohammad javad Shokoohizadeh

Assistant Professor, Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Kermanshah University of Medical Sciences, Kermanshah, Iran

Mahdi Khodabakhshi

BSc of Environmental Health Engineering, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran.

Samira Khamutian

* Ph. D, Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Research Center for Health Sciences, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran. (Corresponding author): skhamutian@gmail.com

Received: 2023/03/26

Accepted: 2023/12/05

Document Type: Research article

Doi:10.22038/jreh.2023.72802.1600

ABSTRACT

Background and Purpose: Drinking water the primary source of fluoride essential for bodily requirements. Its appropriate concentration health as a preventive measure against caries. Consequently, this study aims to ascertain the spatiotemporal variations in fluoride concentration within the drinking water of Hamadan province through the utilization of a Geographic Information System (GIS).

Materials and Methods: The present research is a descriptive-analytical investigation conducted across nine cities within Hamadan province in 2019. Data about the fluoride on concentrations in the drinking water of Hamadan province were obtained from the Health Vice-Chancellor of Hamadan University of Medical Sciences. ArcGIS version 10/8 software was employed to elucidate the spatial and temporal fluctuations in fluoride ion concentration, while SPSS version 16 software was utilized for data. analysis. A significance level of 0.05 was considered across all tests.

Results: The study findings revealed that the highest annual fluoride concentration was observed in Kabudarahang city (0.98 ± 0.38 mg/l), whereas the lowest annual average was recorded in Tuyserkan city (0.58 ± 0.35 mg/l). Overall, the mean fluoride concentration in the latter half of the year (0.77 ± 0.42 mg/liter) was slightly higher than in the first half of the year (0.71 ± 0.43 mg/liter). Nevertheless, this discrepancy did not reach statistical significance ($p > 0.05$).

Conclusion: The outcomes of this investigation demonstrate that, on the whole, the average fluoride concentration throughout all regions of Hamadan province falls within the optimal range thereby averting potential risks associated with excessive or substandard fluoride levels for consumers.

Keywords: Drinking water, GIS, Fluoride, Hamadan

► **Citation:** Sahraei F, Shojaei A, Aghababaei Z, Hashemi Z, Shokoohizadeh M.J, Khodabakhshi M, Khamutian S. Zoning of fluoride concentration in drinking water of Hamadan province using geographic information system (GIS). *Iranian Journal of Research in Environmental Health*. Autumn 2023; 9(3): 269-278.

پهنه بندی غلظت فلوراید موجود در آب آشامیدنی استان همدان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)

چکیده

زمینه و هدف: آب آشامیدنی مهم ترین منبع تامین فلوراید مورد نیاز بدن می باشد. غلظت مناسب آن نقش مهمی در سلامت دندان ها جهت جلوگیری یا کاهش خطر پوسیدگی دارد. هدف از مطالعه حاضر تعیین تغییرات مکانی و زمانی غلظت فلوراید موجود در آب آشامیدنی استان همدان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی می باشد.

مواد و روش ها: مطالعه حاضر یک مطالعه توصیفی- تحلیلی است که در سطح ۹ شهرستان استان همدان در سال ۱۳۹۸ صورت گرفته است. جهت توصیف تغییرات مکانی و زمانی غلظت یون فلوراید از نرم افزار Arc GIS نسخه ۱۰/۸ و همچنین جهت تجزیه و تحلیل و آنالیز داده ها از نرم افزار SPSS نسخه ۱۶ استفاده شد. سطح معنی داری در تمامی آزمون ها ۰/۰۵ تلقی گردید.

یافته ها: نتایج حاصل از مطالعه نشان داد که بیشترین میانگین سالیانه غلظت فلوراید مربوط به شهرستان کبودر آهنگ ($0/38 \pm 0/98$ میلی گرم بر لیتر) و کمترین میانگین سالیانه مربوط به شهرستان تویسرکان ($0/35 \pm 0/58$ میلی گرم بر لیتر) بود. به طور کلی میانگین غلظت فلوراید در نیمه دوم سال ($0/42 \pm 0/77$ میلی گرم بر لیتر) نسبت به نیمه اول سال ($0/43 \pm 0/71$ میلی گرم بر لیتر) بیشتر برآورد گردید. اما این تفاوت از نظر آماری معنی دار تلقی نشد ($p > 0/05$).

نتیجه گیری: نتایج این مطالعه نشان داد که به طور کلی میانگین غلظت فلوراید در تمامی نقاط استان همدان در محدوده مطلوبی قرار دارد و مصرف کنندگان در مواجهه با خطرات ناشی از مقادیر بیش از حد یا پایین تر از حد استاندارد فلوراید قرار ندارند.

کلید واژه ها: آب آشامیدنی، GIS، فلوراید، همدان

فاطمه صحرائی

دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران.

علی شجاعی

دانشجوی دکتری تخصصی، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران.

زهرا آقابابائی

دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه آمار زیستی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران.

زهرا هاشمی

کارشناس ارشد مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران.

محمد جواد شکوهی زاده

استادیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی کرمانشاه، کرمانشاه، ایران.

مهدی خدابخشی

کارشناس بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران.

سمیرا خاموطیان

* دکتری تخصصی مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران. (نویسنده مسئول):

skhamutian@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۰۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۱۴

نوع مقاله: پژوهشی

◀ **استناد:** صحرائی ف، شجاعی ع، آقابابائی ز، هاشمی ز، شکوهی زاده م، ج، خدابخشی م، خاموطیان س. پهنه بندی غلظت فلوراید موجود در آب آشامیدنی استان همدان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS). *فصلنامه پژوهش در بهداشت محیط*. پاییز ۱۴۰۲؛ ۹(۳): ۲۶۹-۲۷۸.

کیفیت مطلوب فیزیکی، شیمیایی و میکروبیولوژی آب از لحاظ مقبولیت برای مصرف کنندگان و حفظ سلامت مصرف کننده، الزامی است. هم‌چنین حفظ بهداشت عمومی و سلامت مصرف کنندگان هدف اصلی و مهم بررسی کیفی آب آشامیدنی می‌باشد. یکی از ضروری‌ترین نیازهای بشر برای ادامه حیات، نیاز به آب با اندازه کافی و کیفیت مطلوب است (۱).

فلوراید سبک‌ترین و فعال‌ترین عنصر از گروه هالوژن‌ها می‌باشد (۲). فلوراید یکی از ۱۴ عنصر مهم و ضروری جهت حیات موجودات زنده به شمار می‌آید که در مناطق مختلفی مانند بافت‌ها و مایعات بدن انسان و جانوران با مقادیر معینی وجود دارد (۳).

در پوسته زمین متوسط غلظت فلوراید ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد (۴). مقدار روزانه فلوراید دریافتی به عواملی مانند ناحیه جغرافیایی و رژیم غذایی وابسته است. هم‌چنین آلودگی هوا و استفاده از خمیر دندان‌های حاوی فلوراید در افزایش مقدار فلوراید دریافتی دخیل هستند (۵).

بر اساس مطالعات و بررسی‌های متعدد صورت گرفته توسط مراکز معتبر علمی، اهمیت و ضرورت وجود فلوراید در آب آشامیدنی به‌عنوان یکی از عناصر ضروری جهت تامین رشد طبیعی به اثبات رسیده است (۵). از راه‌های ورود فلوراید به داخل بدن می‌توان به هوا، خمیردندان، آشامیدن و خوردن اشاره کرد و از آنجایی که بیشترین نیاز بدن به فلوراید باید از طریق آب آشامیدنی تامین گردد، بنابراین تامین مقدار فلوراید در آب‌های آشامیدنی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (۶).

میزان فلوراید دریافتی از آب به عوامل مختلفی مانند غلظت فلوراید موجود در آب مصرفی، ارتفاع محل، دمای هوا و عادات غذایی بستگی دارد. در مناطق گرمسیری به‌دلیل مصرف بیشتر آب، میزان تبخیر بیشتر و متوسط دمای بالا، دریافت فلوراید نیز از این طریق بیشتر است (۷). بر اساس رهنمود سازمان جهانی بهداشت، استاندارد غلظت فلوراید در منابع عمومی آب شرب در محدوده ۰/۶ تا ۱/۲ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد که باعث کاهش

میزان پوسیدگی دندان‌ها و به حداقل رساندن فلئوروزیس دندان می‌شود (۸).

در اوایل ۱۹۴۰، آثار مفید و زیان‌بار فلوراید که به صورت طبیعی در آب وجود دارد تایید گردید. از مزایای فلوراید می‌توان به تاثیر خوب بر میزان باروری در مقادیر کم و کاهش حلالیت مینای دندان در شرایط اسیدی و جلوگیری از پوسیدگی دندان اشاره کرد. از طرفی مصرف بیش از حد این عنصر موجب مضراتی مانند کاهش توانایی هوشی کودکان، کاهش عملکرد غده تیروئید، تغییر در ساختار DNA، افزایش نارسایی‌های کلیوی و از همه مهم‌تر فلئوروزیس دندان و اسکلتی خواهد شد (۹). در حال حاضر وجود غلظت‌های بالای فلوراید در منابع آب زیرزمینی به یک مشکل جهانی تبدیل شده است (۱۰). میزان فلئور در آب‌های زیرزمینی نسبت به آب‌های سطحی بیشتر است به نحوی که میزان آن در آب‌های سطحی از چند دهم تا حداکثر ۲ میلی‌گرم می‌باشد ولی در آب‌های زیرزمینی مقدار فلئور گاهی به ۱۰ میلی‌گرم یا بیشتر از آن نیز می‌رسد (۱۱). به دلیل بالا بودن میزان فلوراید در کشورهایی مانند چین، تانزانیا، آفریقای جنوبی، آرژانتین و مکزیک شیوع فلئوروزیس دندان و اسکلتی گزارش گردیده است. هم‌چنین در کشور ایران در شهرهایی مانند دامغان، بندر عباس، برازجان، کرمان، بوشهر، ماکو، پلدشت و بازرگان وقوع این بیماری گزارش شده است (۱۲).

مقادیر بیشتر از ۱/۲ میلی‌گرم بر لیتر در آب آشامیدنی موجب فلئوروزیس دندان و هم‌چنین مقادیر کمتر از ۰/۶ میلی‌گرم بر لیتر باعث افزایش پوسیدگی دندان می‌شود (۱۳). براساس تعریف، فلئوروزیس دندان اختلال خاصی در ساختمان دندان است که به‌دلیل افزایش دریافت فلوراید در زمان شکل گرفتن جوانه دندان تا زمان درآمدن دندان به‌وجود می‌آید و از لحاظ بالینی، در ابتدا به‌صورت لکه‌های سفید در نوع خفیف بر روی مینای دندان شروع شده، به مرور زمان زرد یا قهوه‌ای و در آخر به رنگ قهوه‌ای سوخته در می‌آید که نشانه نوع شدید بیماری است

آمار کلاسیک، روش GIS برآورد مقادیر متغیر مد نظر را به صورت پیوسته ممکن می‌سازد (۶). با توجه به مطالب فوق و همچنین اهمیت موضوع، هدف از این مطالعه تعیین تغییرات مکانی و زمانی غلظت فلوراید موجود در آب آشامیدنی استان همدان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌باشد.

روش کار

معرفی منطقه مورد مطالعه

استان همدان با مساحتی معادل ۱۹۴۹۳ کیلومتر مربع، جمعیتی معادل ۱۷۵۸۲۶۸ نفر، دارای ۹ شهرستان (اسدآباد، بهار، تویسرکان، رزن، کبودرآهنگ، فامنین، ملایر، نهاوند، همدان) می‌باشد که در غرب کشور ایران قرار گرفته‌است (۲۰ و ۲۱). استان همدان از سمت جنوب به استان لرستان، از سمت شمال به استان‌های قزوین و زنجان، از سمت شرق به استان مرکزی و از سمت غرب به استان‌های کرمانشاه و کردستان متصل می‌شود (۲۱). این استان بین مدارهای ۳۳ درجه و ۵۹ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۴۸ دقیقه عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۳۶ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرار دارد (تصویر ۱) (۲۱). آب و هوای این منطقه معمولاً خشک و نیمه‌خشک است، زمستان‌های طولانی و سرد و تابستان‌های معتدل دارد. میانگین بارندگی سالیانه در این استان حدود ۳/۳۶۰ میلی‌متر می‌باشد (۲۰).



تصویر ۱. موقعیت جغرافیایی شهرستان‌های استان همدان

و باعث تخریب و از بین رفتن مینای دندان می‌شود و از سویی غلظت کم فلوراید در آب آشامیدنی باعث پوسیدگی دندان می‌شود (۱۴).

مهم ترین شاخص نشان‌دهنده میزان ابتلا به پوسیدگی دندان، شاخص^۱ DMFT نام دارد. شاخص DMFT شامل (Decayed) D دندان پوسیده، (Missing) M دندان کشیده شده و (Filled) F دندان پر شده می‌باشد (۱۵).

طبق سرشماری صورت گرفته در سال ۱۳۸۳، میزان شاخص DMFT در ایرانیان ۱/۸۶ تعیین شده که اگر چه از نظر معیارهای سازمان جهانی بهداشت برای کشورهای درحال توسعه قابل قبول است اما در بررسی اجزای این شاخص مشاهده شده که بیش از ۹۰ درصد این شاخص متعلق به دندان‌های پوسیده ایرانی‌ها می‌باشد که زنگ خطری برای نظام سلامت محسوب می‌شود (۱۶).

در خصوص غلظت یون فلوراید در آب آشامیدنی مطالعات متعددی صورت گرفته است. روسینیاک^۲ و همکاران (۲۰۲۱) در تحقیقی میزان فلوراید در آب زیرزمینی شهرستان تورکانا در کنیا را مورد بررسی قرار دادند. این مطالعه نشان داد که تقریباً نیمی از نمونه‌ها دارای غلظت فلوراید بالاتری از استاندارد ارائه شده توسط سازمان جهانی بهداشت و استاندارد آب آشامیدنی کنیا بودند (۱۷). در مطالعه دیگری که توسط فرچرو^۳ و همکاران (۲۰۱۳) در شهر دورانگو در شمال مکزیک صورت گرفت، نمونه‌ها دارای مقادیری فراتر از استاندارد ملی فلوراید در آب آشامیدنی بودند (۱۸). در مطالعه آذربیرا و همکاران (۱۳۹۷) که بر روی منابع آب شرب شهر ساوه صورت گرفت، غلظت فلوراید در تمامی نقاط در محدوده مجاز گزارش شد (۱۹).

سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) ابزاری است که به وسیله آن می‌توان در شناسایی داده‌ها (نقشه‌های موضوعی) و آنالیز و تفسیر و جمع‌بندی آن‌ها استفاده نمود. به عبارتی GIS پلی میان پایگاه داده‌ها، منابع و مدیریت می‌باشد (۱). برخلاف شیوه‌های

1. Decay, Missing, Filling, Teeth
2. Rusiniak
3. Frechero

در این روش درون یابی، محدوده مورد نظر به ماتریسی با سلول‌های هم‌اندازه تبدیل می‌شود. این ماتریس دارای مختصات مکانی مشخصی است و واحد اندازه‌گیری دارد (۱۹). جهت تجزیه و تحلیل و آنالیز داده‌ها از نرم افزار SPSS نسخه ۱۶ و همچنین با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف بررسی وضعیت نرمال بودن داده‌ها انجام گردید. جهت انجام مقایسه‌های فصلی از آزمون آنالیز واریانس و توکی و همچنین به منظور مقایسه روند تغییرات دما با غلظت فلوراید از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد. سطح معنی‌داری در تمامی آزمون‌ها ۰/۰۵ در نظر گرفته شد.

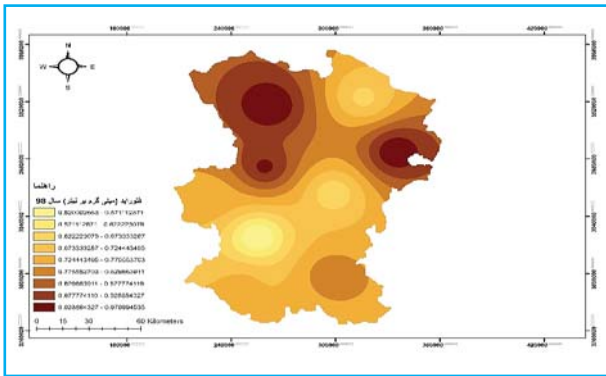
یافته‌ها

تصویر شماره ۲ تغییرات مکانی فلوراید آب آشامیدنی استان همدان در سال ۱۳۹۸ را نشان می‌دهد. مناسب‌ترین روش درون‌یابی برای فلوراید با توجه به متاثر بودن نقاط نمونه‌برداری از مکان و اثر وزنی آن‌ها روش وزن‌دهی معکوس فاصله بود. بیشترین میانگین سالیانه غلظت فلوراید مربوط به شهرستان کبودر آهنگ ($0/38 \pm 0/98$ میلی‌گرم بر لیتر) و کمترین میانگین سالیانه مربوط به شهرستان تویسرکان ($0/35 \pm 0/58$ میلی‌گرم بر لیتر) می‌باشد. همانگونه که در تصویر نشان داده شده است، بیشترین مقادیر فلوراید در نواحی شمال شرقی و غربی و همچنین کمترین مقادیر مربوط به نواحی جنوب غربی استان می‌باشد. در تصویر ۳ و ۴ تغییرات مکانی فلوراید آب آشامیدنی استان همدان در نیمه اول و دوم سال ۱۳۹۸ نشان داده است. بیشترین میانگین غلظت فلوراید در نیمه اول و نیمه دوم سال به ترتیب مربوط به شهرستان‌های کبودر آهنگ ($0/43 \pm 0/3$ میلی‌گرم بر لیتر) و بهار ($0/77 \pm 0/99$ میلی‌گرم بر لیتر) و همچنین در هر دو نیمه کمترین میانگین غلظت مربوط به شهرستان تویسرکان می‌باشد. به طور کلی میانگین غلظت فلوراید در نیمه دوم سال ($0/42 \pm 0/77$ میلی‌گرم بر لیتر) نسبت به نیمه اول سال ($0/43 \pm 0/71$ میلی‌گرم بر لیتر) بیشتر برآورد گردید. در جدول ۱ میانگین غلظت فلوراید در آب آشامیدنی استان همدان بر

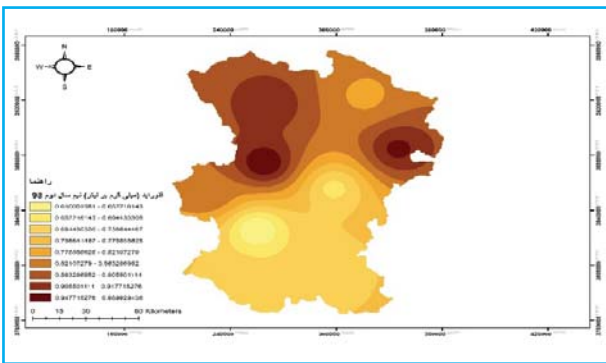
نمونه برداری و پردازش داده‌ها

مطالعه حاضر یک مطالعه توصیفی-تحلیلی است که در سطح ۹ شهرستان استان همدان صورت گرفته است. بازه زمانی مطالعه از ابتدای فروردین ماه تا انتهای اسفند ماه ۱۳۹۸ می‌باشد. داده‌های مربوط به غلظت یون فلوراید موجود در آب آشامیدنی استان همدان از معاونت بهداشتی دانشگاه علوم پزشکی همدان جمع‌آوری شده‌است. نمونه‌برداری در بازه زمانی مذکور به صورت ماهیانه توسط کارشناسان بهداشت محیط استان صورت گرفته است. جهت نمونه‌برداری (بر اساس کتاب استاندارد متد برای آزمایش‌های آب و فاضلاب) از بطری‌های PET با حجم مشخص با درج تاریخ، ساعت، محل نمونه‌برداری و دمای آب در هنگام نمونه‌برداری استفاده و بلافاصله به آزمایشگاه انتقال داده شده است (۲۲). جهت تعیین غلظت فلوراید در آب از روش اسپاندس^۱ استفاده می‌شود. اساس این روش واکنش زیرکونیوم با یون فلوراید است که منجر به ایجاد رنگ قرمز می‌گردد. شدت رنگ قرمز با غلظت یون فلوراید متناسب بوده و با استفاده از اسپکتروفتومتر ناحیه مرئی (طول موج nm ۵۷۰) می‌توان آن را اندازه‌گیری کرد (۹). شناسایی ناحیه مورد مطالعه با استفاده از نقشه‌های سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان انجام و با توجه به طول و عرض جغرافیایی نقاط نمونه‌برداری بر روی نقشه مشخص شد. جهت توصیف تغییرات مکانی و زمانی غلظت یون فلوراید از نرم افزار Arc GIS نسخه ۱۰/۸ استفاده شد. در این مطالعه، درون‌یابی به روش وزن‌دهی معکوس فاصله (IDW)^۲ انجام گرفته است. در این روش فرض بر این است که با افزایش مسافت، تاثیر پدیده مورد نظر کاهش پیدا می‌کند بنابراین جهت تخمین نقاط مجهول، نمونه‌های اطراف بایستی نسبت به نمونه‌هایی که در فاصله دورتری قرار دارند، مشارکت بیشتری داشته باشند. جهت پیش‌بینی نقاط اندازه‌گیری نشده در این مدل، از فاصله به‌عنوان وزن متغیر معلوم استفاده می‌شود. بنابراین با افزایش فاصله داده معلوم نسبت به نقطه مجهول، بایستی وزن‌ها بر اساس فاصله کاهش پیدا کنند؛ در نتیجه فاصله‌ها معکوس خواهد شد.

1. SPANDS
2. Inverse Distance Weighting



تصویر ۳. تغییرات مکانی فلوراید آب آشامیدنی استان همدان در نیمه اول سال ۱۳۹۸



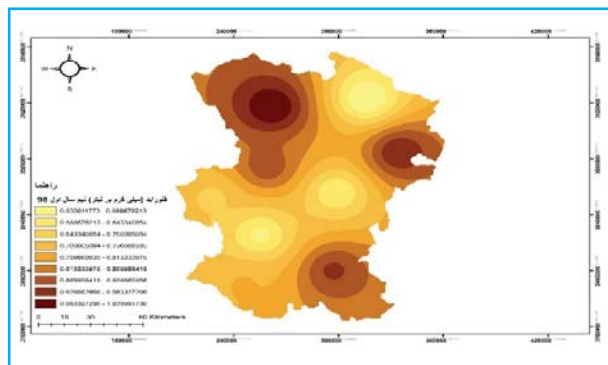
تصویر ۴. تغییرات مکانی فلوراید آب آشامیدنی استان همدان در نیمه دوم سال ۱۳۹۸

جدول ۱. میانگین، انحراف معیار و سطح معنی داری غلظت فلوراید در آب آشامیدنی استان همدان به تفکیک شهرستان‌ها

شهرستان	فصل	میانگین غلظت فلوراید (میلی گرم بر لیتر)	انحراف معیار	سطح معنی داری
اسدآباد	بهار	۰/۵۶۳	۰/۰۵۹	۰/۴۲۹
	تابستان	۰/۸۲۰	۰/۱۳۹	
	پاییز	۰/۹۱۶	۰/۳۵۸	
بهار	زمستان	۰/۸۱۱	۰/۰۷۶	۰/۳۵۶
	بهار	۰/۶۹۳	۰/۰۷۸	
	تابستان	۱/۱۱۴	۰/۱۸۰	
تویسرکان	پاییز	۱/۰۷۰	۰/۴۸۶	۰/۰۰۱
	زمستان	۰/۹۵۷	۰/۱۵۰	
	بهار	۰/۸۷۸	۰/۱۱۴	
	تابستان	۰/۴۱۹	۰/۰۵۶	
	پاییز	۰/۶۷۷	۰/۰۹۱	
	زمستان	۰/۴۷۰	۰/۱۱۰	

حسب فصول مختلف سال نشان داده شده است. مطابق با جدول در تمامی شهرستان‌ها میانگین غلظت فلوراید در چهار فصل متغیر بود ولی این تفاوت در فصول مختلف سال برای تمامی شهرستان‌ها به استثنای شهرستان‌های ملایر و تویسرکان معنی دار نبود ($p > 0.05$). در شهرستان‌های ملایر و تویسرکان تفاوت آماری معنی داری میان چهار فصل از نظر میانگین غلظت فلوراید وجود داشت ($p < 0.05$). بر اساس نتایج بدست آمده از آزمون توکی، تفاوت مشاهده شده در شهرستان ملایر مربوط به کم بودن میانگین غلظت فلوراید در تابستان نسبت به پاییز و در شهرستان تویسرکان مربوط به فصل‌های تابستان و بهار بود.

همچنین نتایج جدول ۱ نشان می‌دهد که به طور کلی در استان همدان میانگین غلظت فلوراید در فصول مختلف متغیر است ولی با وجود اختلاف کمی که میان میانگین غلظت در فصول گرم نسبت به فصول سرد وجود دارد، این تفاوت از نظر آماری معنی دار تلقی نگردید ($p > 0.05$). نمودار ۱ روند تغییرات میانگین غلظت فصلی فلوراید و میانگین دمای فصلی در شهرستان همدان به عنوان مرکز استان در سال ۱۳۹۸ را نشان می‌دهد. بر اساس نمودار ۱، کمترین غلظت فصلی فلوراید در شهرستان همدان مربوط به فصل تابستان و بیشترین غلظت فصلی مربوط به فصل زمستان می‌باشد. با توجه به نتایج بدست آمده از آزمون ضریب همبستگی پیرسون، همبستگی قوی (-0.975) مشاهده شده است که از نظر آماری معنی دار می‌باشد ($p < 0.05$)



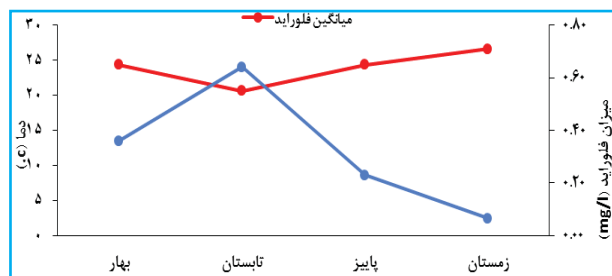
تصویر ۲. تغییرات مکانی فلوراید آب آشامیدنی استان همدان در سال ۱۳۹۸

بحث

مطابق با استاندارد ملی آب ایران، میزان $1/5 - 0/5$ میلی گرم بر لیتر فلئور در آب آشامیدنی به عنوان معیار استاندارد آب در نظر گرفته شده است. همچنین مقدار مطلوب فلوراید در آب آشامیدنی توسط سازمان جهانی بهداشت $1/5$ میلی گرم بر لیتر پیشنهاد شده است (۲۳). مطابق با یافته‌های مطالعه حاضر، میانگین غلظت سالیانه فلوراید آب آشامیدنی در تمامی شهرستان‌های استان همدان (اسد آباد $0/49 \pm 0/75$ ، بهار $0/65 \pm 0/94$ ، تویسرکان $0/35 \pm 0/58$ ، زرن $0/42 \pm 0/66$ ، کیوردآهنگ $0/38 \pm 0/98$ ، فامنین $0/30 \pm 0/97$ ، ملایر $0/28 \pm 0/80$ ، نهاوند $0/31 \pm 0/74$ ، همدان $0/36 \pm 0/64$ میلی گرم بر لیتر) در محدوده استاندارد ملی ایران قرار داشت و از استاندارد پیشنهاد شده توسط سازمان جهانی بهداشت فراتر نرفته است. بنابراین از این حیث غلظت فلوراید آب آشامیدنی در استان همدان در وضعیت مطلوبی قرار دارد. مطابق با نقشه‌های پهنه‌بندی، حداکثر غلظت فلوراید در استان همدان (سالیانه، نیم سال اول و دوم) در قسمت‌های شمالی دیده می‌شود. غلظت طبیعی فلوراید در آب‌های زیرزمینی به عوامل متعددی از جمله ویژگی‌های زمین‌شناسی، فیزیکی و شیمیایی آبخوان‌ها، اسیدیته سنگ‌ها و خاک، عمق منبع، میزان تخلخل و درجه حرارت وابسته است. نتایج برخی مطالعات نشان داده است که دو عامل غلظت کلسیم پایین و قلیائیت زیاد بی‌کربنات، باعث ایجاد شرایطی جهت افزایش غلظت فلوراید می‌گردد. چنین نتیجه‌گیری می‌شود که در محیط‌های قلیایی، یون‌های فلوراید کمپلکس‌های قوی با کلسیم تشکیل داده و به شکل فلوراید (CaF_2) ته‌نشین خواهند شد (۲۴). بنابراین غلظت فلوراید موجود در منابع آب آشامیدنی هر منطقه مرتبط با خصوصیات منطقه مورد نظر می‌باشد و بسته به شرایط منطقه‌ای متغیر است (۲۵). در فصول گرم سال نسبت به فصول سرد، افراد از آب آشامیدنی بیشتری استفاده می‌کنند. بنابراین حتی با فرض ثابت بودن غلظت فلوراید در آب آشامیدنی، مقدار فلوراید دریافتی توسط افراد در فصول گرم سال افزایش می‌یابد. بر اساس یافته‌های مطالعه حاضر،

ادامه جدول ۱. میانگین، انحراف معیار و سطح معنی‌داری غلظت فلوراید در آب آشامیدنی استان همدان به تفکیک شهرستان‌ها

شهرستان	بهار	تابستان	پاییز	زمستان
رزن	0/497	0/553	0/854	0/480
	0/139	0/148	0/085	0/050
	0/155	0/116	0/150	0/114
	0/083	0/929	0/083	0/104
کیوردآهنگ	1/036	1/035	0/953	0/929
	0/116	0/150	0/114	0/083
	0/870	0/114	0/953	0/929
	0/083	0/929	0/929	0/929
فامنین	1/03	0/936	1/110	0/912
	0/104	0/142	0/030	0/136
	0/838	0/142	0/030	0/136
	0/136	0/912	0/912	0/912
ملایر	0/903	0/952	0/608	0/796
	0/111	0/101	0/056	0/083
	0/039	0/101	0/056	0/083
	0/083	0/796	0/796	0/796
نهاوند	0/725	0/830	0/753	0/697
	0/136	0/068	0/135	0/048
	0/839	0/068	0/135	0/048
	0/136	0/725	0/725	0/725
همدان	0/653	0/552	0/652	0/718
	0/054	0/054	0/060	0/048
	0/173	0/054	0/060	0/048
	0/054	0/653	0/653	0/653
کل استان	0/732	0/702	0/760	0/778
	0/35	0/48	0/49	0/34
	0/5	0/48	0/49	0/34
	0/35	0/732	0/732	0/732



نمودار ۱. تغییرات میانگین غلظت فصلی فلوراید و میانگین دمای فصلی در شهرستان همدان در سال ۱۳۹۸

در اغلب شهرستان‌های استان میانگین غلظت فلوراید در نیمه دوم سال نسبت به نیمه اول بیشتر می‌باشد. به طور کلی میانگین غلظت فلوراید در کل استان در نیمه دوم (فصول سرد) نسبت به نیمه اول با اختلافی جزئی بیشتر است. نتایج حاصل از آنالیز داده‌ها نشان داد که در استان همدان میانگین سالیانه غلظت فلوراید در فصل تابستان نسبت به فصل زمستان کمتر است ولی ارتباط آماری معنی‌داری میان چهار فصل از نظر میانگین فلوراید وجود نداشت. همچنین میانگین فصلی غلظت فلوراید در تمامی شهرستان‌ها و در چهار فصل سال به‌استثنای شهرستان‌های تویسرکان و رزن در محدوده پیشنهادی استاندارد ملی ایران قرار دارد. میانگین فصلی غلظت فلوراید در شهرستان تویسرکان در فصول تابستان و زمستان و همچنین شهرستان رزن در فصول بهار و زمستان از حداقل مقدار توصیه شده توسط استاندارد ملی ایران (۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر) کمتر می‌باشد. در خصوص مقایسه میانگین غلظت فصلی فلوراید با میانگین دمای فصلی در شهرستان همدان، با توجه به این موضوع که استاندارد غلظت فلوراید موجود در آب آشامیدنی تابع درجه حرارت است (۲۶، ۲۷)، مشاهده می‌شود که غلظت فلوراید با توجه به درجه حرارت فصول مختلف شهرستان همدان، متغیر است. این تفاوت در فصول تابستان و زمستان بیشتر مشهود است به نحوی که در بیشترین میانگین درجه حرارت غلظت فلوراید در کمترین مقدار در کمترین میانگین درجه حرارت غلظت فلوراید در بیشترین مقدار خود قرار دارد. هم‌راستا با یافته‌های مطالعه حاضر، یافته‌های حاصل از مطالعه‌ی مدرس و همکاران با موضوع بررسی فلوراید منابع آب شرب روستایی بردسکن نشان داد که میانگین غلظت فلوراید در منابع آب شرب مورد مطالعه ۰/۵۸ ± ۰/۵۶۲ میلی‌گرم بر لیتر بود و میزان فلوراید در منابع آب آشامیدنی این شهرستان در محدوده مطلوب قرار داشت (۲۵). ضمانت و همکاران در مطالعه دیگری میزان فلوراید در منابع آب شرب مناطق شهری و روستایی شهرستان نیشابور در سال ۱۳۹۶ را بررسی نمودند. میانگین غلظت فلوراید در منابع شهری، در چاه‌های مناطق شهری ۰/۳۴ ± ۰/۶۰۲ و در مخازن شهری ۰/۳۰ ± ۰/۵۹۷ میلی‌گرم بر لیتر برآورد گردید. همچنین میانگین غلظت

فلوراید موجود در منابع آب شرب مناطق شهری بر حسب فصول مختلف در چهار فصل متغیر بود ولی این تفاوت از نظر آماری معنی‌دار گزارش نشد (۲). در مطالعه رسول‌وندی و همکاران میزان فلوراید در تمام نقاط شهر ساوه در حدود مجاز گزارش شد. همچنین جهت تخمین شرایط کل منطقه از روش درون‌یابی معکوس استفاده شده است (۱۹). نتایج مطالعات فوق با مطالعه حاضر همخوانی دارد. یوسفی و همکاران در مطالعه‌ای به بررسی میزان فلوراید در منابع تامین آب آشامیدنی گنبد کاووس در سالهای ۱۳۸۷-۹۱ پرداختند. نتایج حاصل از مطالعه آنان نشان داد که مقدار فلوراید در ماه‌های سرد سال در محدوده ۰/۵۴-۰/۳۲ میلی‌گرم بر لیتر و در ماه‌های گرم سال در محدوده ۰/۵۲-۰/۳۲ میلی‌گرم بر لیتر متغیر بود و در تمامی موارد کمتر از مقدار استانداردها نتیجه‌گیری شد (۲۸). نتایج حاصل از مطالعه اجلالی و همکاران با موضوع بررسی میزان فلوراید آب شرب روستاهای شهرستان ماکو نشان داد که میانگین غلظت فلوراید در فصل بهار ۱/۴ ± ۱/۶ و در تابستان ۳/۲ ± ۲/۶ میلی‌گرم بر لیتر بود که از حد استاندارد جهانی و ملی بالاتر گزارش شد (۹). نتایج مطالعه کامیاب و همکاران نشان داد که میانگین غلظت فلوراید آب شرب روستاها در فصل بهار در مناطق روستایی شهرستان رفسنجان ۰/۲۴ ± ۰/۷۱ میلی‌گرم بر لیتر و در فصل تابستان ۰/۲۱ ± ۰/۷۸ میلی‌گرم بر لیتر بوده که از نظر آماری معنی‌دار تلقی شده است. به طور کلی میزان فلوراید آب شرب روستاهای رفسنجان در محدوده استانداردهای سازمان جهانی بهداشت و استاندارد ملی آب آشامیدنی گزارش شده است (۲۹). پور اسلامی و همکاران نشان دادند متوسط فلوراید آب‌های آشامیدنی شهرهای استان کرمان از حد مطلوب جهت مقاوم‌سازی مینای دندان‌ها کمتر بوده است (۳۰). نتایج مطالعه نجایی و همکاران نشان داد که میزان فلوراید در اکثر منابع آب شهرهای سردشت، ریط و میرآباد کمتر از حد استاندارد بوده است (۱۱). چودهوری و همکاران در سال ۲۰۱۶ به بررسی منابع آب شرب کارناتاکا هند پرداختند. نتایج حاصل از مطالعه آنان نشان داد که بالاترین غلظت فلوراید در شمال شرقی

مطالعه نشان می‌دهد که به طور کلی میانگین غلظت فلوراید در تمامی نقاط استان همدان در محدوده مطلوبی قرار دارد و مصرف کنندگان در مواجهه با خطرات ناشی از مقادیر بیش از حد یا پایین‌تر از حد استاندارد فلوراید قرار ندارند. در شهرستان‌های رزن و تویسرکان نیز که در برخی فصول میانگین غلظت فلوراید پایین‌تر از حداقل مقدار توصیه شده توسط استاندارد ملی ایران بود، این اختلاف به صورت بسیار جزئی وجود دارد و می‌تواند از طریق سایر منابع مانند چای و سبزیجات و ... برطرف شود. به طور کلی وضعیت آب آشامیدنی استان همدان از نظر غلظت فلوراید مطلوب می‌باشد.

ملاحظات اخلاقی

این مطالعه دارای کد اخلاق با شناسه IR.UMSHA. REC.1400.710 از دانشگاه علوم پزشکی همدان می‌باشد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مراتب تشکر و قدردانی خود را از معاونت بهداشتی دانشگاه علوم پزشکی همدان که در ارائه اطلاعات نهایت همکاری را داشته است اعلام می‌دارند.

منطقه با میانگین $1/61$ میلی‌گرم بر لیتر و کمترین مقدار آن در جنوب غربی منطقه با میانگین $0/41$ میلی‌گرم بر لیتر مشاهده شده است (۳۱). نتایج مطالعه مطلوب^۱ نشان داد که غلظت فلوراید آب رودخانه فرات و آب بطری شده در شهر بابل عراق از استاندارد ملی آب آشامیدنی و سازمان جهانی بهداشت پایین‌تر بوده است (۳۲). نتایج مطالعه یانی^۲ و همکاران در شهر پالو در سال ۲۰۲۱ نشان داد که از بین ۴۰ دانش‌آموز که فلئوروزیس را تجربه کرده بودند، ۳۸ نفر از مناطقی بودند که سطح فلوراید در آنها بالا بوده است (۳۳).

تنها منبع دریافت فلوراید آب آشامیدنی نیست بلکه چای و سبزیجات نیز به عنوان منابع قابل توجه دریافت فلوراید شناخته شده‌اند. بنابراین جهت تعیین دقیق وضعیت غلظت فلوراید در یک ناحیه بایستی در مورد سایر منابع دریافتی فلوراید مطالعاتی انجام و سپس راه کارهای جامع و مناسب اتخاذ گردد.

نتیجه گیری

با توجه به اینکه اصلی‌ترین و مهمترین راه دریافت فلوراید به بدن از طریق آب آشامیدنی حاصل می‌شود، تعیین مقدار این عنصر در آب آشامیدنی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. نتایج این

References

1. Yousefi Z, Mohammadpour Tahmtan RA, Kazemi F. Temporal and spatial variation of fluoride, nitrate and nitrite concentrations in drinking water in ilam using geographic information system. Journal of Mazandaran university of medical sciences. 2016;25(134):69-80. (Persian)
2. Zamand S, Alidadi H, Taghavimanesh V. Investigation the amount of Fluoride in drinking water sources in urban and rural areas of Neyshabur in 2017. Journal of Research in Environmental Health. 2018;4(2):146-53. (Persian)
3. Edition F. Guidelines for drinking-water quality. WHO chronicle. 2011;38(4):104-8.
4. Fawell J, Bailey K, Chilton J, Dahi E, Magara Y. Fluoride in drinking-water: IWA publishing; 2006.
5. Azimi AA. 2.2 Determination of Fluoride Concentration in Tehran Surface Water Resources. Sustainability of Water Resources. 2004:49. (Persian)
6. Almodaresi SA, Jafari SJ, Hosseinzadeh E, Miri M, Taghavi M, Khosravi R, et al. Investigation of fluoride concentration in rural drinking water resources of bardaskan county using geographic information system (GIS) in 2014. Journal of Torbat Heydariyeh University of Medical Sciences. 2016;3(4):32-41. (Persian)
7. Organization WH. Guidelines for drinking-water quality: second addendum. Vol. 1, Recommendations: World Health Organization; 2008.
8. Aghdasi H, Borujeni FG, Behzadpoor M, Hoseini F, Habibzadeh T. A survey of relationship between drinking water fluoride concentration and dmft index in guidance school students: A case study piranshahr and poldasht, west Azarbayjan. Studies in Medical Sciences. 2014;25(3):199-207. (Persian)
9. Ejlali A, Taghipour H, Khashabi E. The study of fluoride level in drinking water in villages of makoo, in 2014. Studies in Medical Sciences. 2015;26(9):754-63. (Persian)
10. Aghniaei F, Zarei M, Asadi S. Investigation of the origin of fluoride in groundwater resources in southern Iran, Larestan, Sahara-i-Bagh. Advanced Applied Geology. 2017;7(2):38-48. (Persian)
11. Nejaei A, Salehzade M, Pashaei Far M. Investigation of Fluorine Concentration in Drinking Water Resources of

- Sardasht, Rabat and Mirabad Cities. *Environment and Water Engineering*. 2018;3(4):334-40. (Persian)
12. Mohseni Sajadi M, Afyuni M, Khademi H, Mohseni Movahed SA, Ayoubi S. Spatial variability of fluoride in groundwater and soils in some areas of Arak Plain. *Water and Soil*. 2011;25(5). (Persian)
 13. Sefhri G, Bazrafshan M, Tabasian A, Hosainzadeh M. Fluoride levels in drinking water in Kerman and determining the DMFT index. *The Journal of Islamic Dental Association of Iran*. 1997;9(3-4):83-90. (Persian)
 14. Khorsandi H. A survey of relationship between drinking water fluoride concentration with DMFT index and dental fluorosis in 11-12 years old students in rural areas of Oshnavieh. *Studies in Medical Sciences*. 2018;28(11):732-40. (Persian)
 15. Hatami H, Razavi S, Eftekhari A, Majlesi F, Sayed Nozadi M, Parizadeh S. *Textbook of public health*. Tehran: Arjmand. 2004:212-4. (Persian)
 16. Solhi M, Zadeh DS, Seraj B, Zadeh SF. The application of the health belief model in oral health education. *Iranian journal of public health*. 2010;39(4):114.
 17. Rusiniak P, Sekula K, Sracek O, Stopa P. Fluoride ions in groundwater of the Turkana County, Kenya, East Africa. *Acta Geochimica*. 2021;40(6):945-60.
 18. Molina Frechero N, Sánchez Pérez L, Castañeda Castaneira E, Oropeza Oropeza A, Gaona E, Salas Pacheco J, et al. Drinking water fluoride levels for a city in northern Mexico (Durango) determined using a direct electrochemical method and their potential effects on oral health. *The Scientific World Journal*. 2013;2013.
 19. Azarpira H, Rasolevandi T, Aali R, Mahvi A, Ghorbanpour MA, Moradi H, et al. Investigation of nitrate and nitrite concentration and other physicochemical parameters of drinking water sources in Saveh city during the year of 2018. *Journal of Research in environmental health*. 2018;4(2):140-5. (Persian)
 20. Halimi L, Bagheri N, Hoseini B, Hashtarkhani S, Goshayeshi L, Kiani B. Spatial analysis of colorectal cancer incidence in Hamadan Province, Iran: a retrospective cross-sectional study. *Applied Spatial Analysis and Policy*. 2020;13:293-303.
 21. Tohidloo S, Azami M, Ahadnejad Reveshty M. Analysis of Regional Strategies for Agricultural Development in Hamedan Province. *Agricultural Extension and Education Research*. 2017;9(4):47-58. (Persian)
 22. Rice EW, Bridgewater L, Association APH. *Standard methods for the examination of water and wastewater: American public health association* Washington, DC; 2012.
 23. Damaneh M, Joulaei J, Alidadi F, Peiravi H. R. Evaluation of Interpolation Methods: to Determine Spatial Variations of Groundwater Qualitative Parameters (Case study: Gonabad Plain). *Iranian Journal of Research in Environmental Health*. 2015;1(3):165-76. (Persian)
 24. Poshtmasari HK, Sarvestani ZT, Kamkar B, Shataei S, Sadeghi S. Evaluation of Geostatistical Methods for Estimating and Zoning of Macronutrients in Agricultural Lands of Golestan Province.
 25. Almodaresi SA, Jafari SJ, Hosseinzadeh E, Miri M, Taghavi M, Khosravi R, et al. Investigation of fluoride concentration in rural drinking water resources of bardaskan county using geographic information system (GIS) in 2014. *Journal of Torbat Heydariyeh University of Medical Sciences*. 2016;3(4):32-41. (Persian)
 26. DeZuane J. *Handbook of drinking water quality*: John Wiley & Sons; 1997.
 27. Gray NF. *Drinking water quality: problems and solutions*: John Wiley & Sons; 1994.
 28. Yousefii Z, Hanafi B. Fluoride level in drinking water supplies of Gonbad-e Qabus, 2008-2012. *Journal of Mazandaran University of Medical Sciences*. 2013;23(101):112-6. (Persian)
 29. Kamyab N, Khajeh Hosseini S, Mobini M. Survey of fluoride concentration in drinking water in rural areas of rafsanjani from april to septamer 2015: A short report. *Journal of Rafsanjan University of Medical Sciences*. 2016;15(7):675-82. (Persian)
 30. Pooreslami H, Khazaee P, Masoodpoor H. Fluoride content of drinking waters in Kerman/Iran. *Journal of Kerman University of Medical Sciences*. 2008;15(3):235-42. (Persian)
 31. Chuah CJ, Lye HR, Ziegler AD, Wood SH, Kongpun C, Rajchagool S. Fluoride: a naturally-occurring health hazard in drinking-water resources of Northern Thailand. *Science of the total Environment*. 2016;545:266-79.
 32. Matloob MH. Fluoride concentration of drinking water in Babil-Iraq. *Journal of Applied Sciences*. 2011;11(18):3315-21.
 33. Yani SI, Seweng A, Mallongi A, Nur R, Abdullah MT, Salmah U, et al. The influence of fluoride in drinking water on the incidence of fluorosis and intelligence of elementary school students in Palu City. *Gaceta Sanitaria*. 2021;35:S159-S63.

Prediction of groundwater nitrate variations using AdaBoost approach

Mansour Baziar

Assistant Professor, Department of Environmental Health Engineering, Ferdows Faculty of Medical Sciences, Birjand University of Medical Sciences, Birjand, Iran. (Corresponding author):
baziar.ehe@gmail.com

Received: 2023/03/30

Accepted: 2023/11/01

Document Type: Research article

Doi:10.22038/jreh.2023.73330.1604

ABSTRACT

Background and Purpose: Nitrates have long been considered indicative of drinking water quality and a critical concern for human health. The evolution of advanced models for water quality management has spurred decision-makers to incorporate artificial intelligence technologies into water quality planning. This study aims to employ the AdaBoost model, one of the cutting-edge models in water quality management, to predict nitrate concentrations in groundwater using pH and EC (Electrical Conductivity) as input variables.

Materials and Methods: Initially, the study analyzed the Pearson correlation matrix and subsequently determined the input variables for multiple AdaBoost models with varying hyperparameters. A sensitivity and dependence analysis of the model's input variables was conducted to assess their impact on nitrate prediction.

Results: The results obtained from the AdaBoost model reveal R-squared (R^2) values of 0.915 for the training dataset and 0.924 for the test dataset. Additionally, the Mean Squared Error (MSE), Root Mean Squared Error (RMSE), Mean Absolute Error (MAE), and Mean Absolute Percentage Error (MAPE) scores for the training dataset were recorded as 1.02, 1.01, 0.823, and 7.3%, respectively. For the test dataset, these metrics were observed in the order of 0.228, 0.477, 0.375, and 3.2%. The model's sensitivity analysis identified the pH variable as the most influential factor in nitrate prediction.

Conclusion: The model analysis demonstrates that the proposed method performs well in predicting nitrate concentrations. This approach holds significant potential for implementation as an intelligent system for forecasting water quality parameters.

Keywords: AdaBoost, groundwater, Nitrate, sensitivity analysis, water quality

► **Citation:** Baziar M. Prediction of groundwater nitrate variations using AdaBoost approach. *Iranian Journal of Research in Environmental Health*. Autumn 2023; 9(3): 279-289.

پیش بینی تغییرات غلظت نیترات آب زیر زمینی با رویکرد AdaBoost

متصور بازبار

استادیار مهندسی بهداشت محیط، دپارتمان مهندسی بهداشت محیط، دانشکده علوم پزشکی فردوس، دانشگاه علوم پزشکی بیرجند، بیرجند، ایران. (نویسنده مسئول):
baziar.ehe@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۱۰

نوع مقاله: پژوهشی

چکیده

زمینه و هدف: نیترات همواره به عنوان یک شاخص کیفیت آب آشامیدنی و یک موضوع اساسی در سلامت انسان مورد توجه بوده است. توسعه مدل‌های پیشرفته برای مدیریت کیفیت آب، تصمیم‌گیرندگان را تشویق کرده است که فناوری‌های هوش مصنوعی را در برنامه‌ریزی کیفیت آب لحاظ نمایند. این مطالعه، قصد دارد تا با استفاده از مدل‌های AdaBoost (تقویت تطبیقی) بعنوان یکی از مدل‌های نوظهور در حیطه مدیریت کیفیت آب به پیش بینی غلظت نیترات در آب زیرزمینی با استفاده از هدایت الکتریکی، pH بپردازد.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه ابتدا تحلیل همبستگی پیرسون انجام شد سپس با تعیین متغیرهای ورودی مدل چندین مدل AdaBoost با هابپر پارامترهای مختلف ساخته شد. سپس تحلیل حساسیت و وابستگی متغیرهای ورودی مدل در پیش بینی نیترات ارزیابی شدند.

یافته‌ها: نتایج مدل AdaBoost نشان داد که مقادیر ضریب R^2 برای داده آموزش ۰/۹۱۵ و برای داده‌های تست ۰/۹۲۴ بودند. مقادیر MSE، RMSE، MAE، MAPE برای داده‌های آموزش به ترتیب ۰/۲۲۸، ۰/۱۰۱، ۱/۰۱، ۰/۸۲۳ و ۷/۳ درصد بدست آمد. این معیارها برای داده‌های تست به ترتیب ۰/۴۷۷، ۰/۳۷۵ و ۳/۲ درصد بودند. تحلیل حساسیت مدل، متغیر pH به عنوان مهمترین متغیر تاثیر گذار در پیش بینی نیترات معرفی کرد.

نتیجه‌گیری: تحلیل مدل نشان داد که روش پیشنهادی در پیش بینی غلظت نیترات عملکرد بالایی دارد. این روش پتانسیل ویژه برای پیاده‌سازی به عنوان یک سامانه هوشمند برای پیش‌بینی پارامترهای کیفیت آب را دارد.

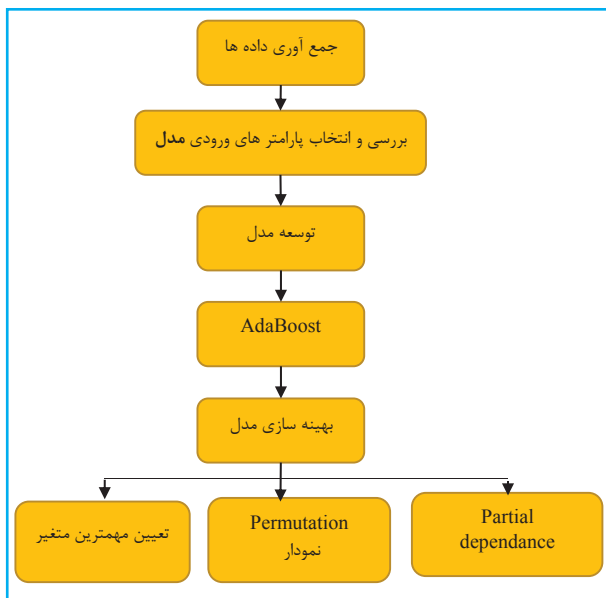
کلید واژه‌ها: AdaBoost، آب زیرزمینی، آنالیز حساسیت، کیفیت آب، نیترات.

فرایند توسعه در یک منطقه منجر به صنعتی شدن آن، افزایش شهرنشینی و انقلاب در کشاورزی می‌شود که حاصل آن تخلیه آلاینده‌های مختلف به محیط زیست است. دفع بی رویه مواد شیمیایی صنعتی به محیط زیست تهدید قابل توجهی به منابع طبیعی است. آب‌های زیرزمینی منبع گرانبهای آب برای فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی در دوران مدرن توسعه بشری است (۱). با این وجود، در کشورهای در حال توسعه، آب‌های زیرزمینی منبع قابل توجهی از آب آشامیدنی برای جمعیت روستایی و شهری محسوب می‌شود. اما فعالیت‌های مستمر انسانی و انقلاب صنعتی در چند دهه گذشته، کیفیت و کمیت منابع آب زیرزمینی را به شدت تهدید کرده است (۲). نیتروژن از طریق منابع سطحی مختلف مانند کودهای شیمیایی، دفع فضولات حیوانی، شیرابه محل دفن پسماند، فاضلاب شهری و غیره وارد آب‌های زیرزمینی می‌شود (۳). وجود نترات در آب‌های زیرزمینی بویژه در کشورهای در حال توسعه به عنوان یک مسئله اساسی برای کیفیت آب‌های زیرزمینی و سلامتی انسان همیشه مطرح شده است و در برخی مناطق، غلظت آن به طور قابل توجهی بالاتر از غلظت‌های استاندارد تدوین شده برای آب آشامیدنی گزارش شده است (۴). کودهای نیتروژن دار به عنوان منبع اصلی آلودگی نترات در خاک و همچنین آب‌های زیرزمینی شناخته می‌شوند (۵). نترات دارای حلالیت بالا در آب و پایداری کمی در خاک دارد. اگر گیاهان از نترات استفاده نکنند این عامل به نیتريت و گاز نیتروژن تبدیل شده و به راحتی به لایه زیرین خاک و در نهایت به آب‌های زیرزمینی منتقل می‌شود. نوشیدن آب حاوی نترات بالا ممکن است خطرات زیادی برای سلامتی انسان ایجاد کند. به طور کلی، نوزادان در برابر آلودگی نترات آسیب پذیرتر هستند، اما کودکان و بزرگسالان نیز ممکن است به دلیل مصرف آب غنی از نترات با ناهنجاری‌هایی مانند اختلال عملکرد تیروئید مواجه شوند (۶). در طول دو دهه اخیر، کاربرد تکنیک‌های هوش مصنوعی در بسیاری از زمینه‌ها بویژه در زمینه‌های پیش‌بینی

هیدرولوژیکی افزایش یافته است. برای مدل‌سازی آب‌های زیرزمینی، بیشتر تکنیک‌های هوش مصنوعی در پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی بوده که نتایج رضایت‌بخشی نیز حاصل شده است (۷). در مورد پیش‌بینی کیفیت آب، مطالعات متعددی نیز با استفاده از تکنیک‌های هوش مصنوعی انجام شده است از جمله می‌توان به مطالعه تیاشا و یاسین (۲۰۲۰) اشاره کرد (۸). لو و ما (۲۰۲۰) از الگوریتم تقویت گرادیان و جنگل تصادفی (RF) برای پیش‌بینی شش شاخص کیفیت آب در رودخانه توالاتین استفاده کردند (۹). کاستریو و گارسیا (۲۰۲۰) از مدل‌های خطی و RF برای تخمین غلظت مواد مغذی در رودخانه تیمز استفاده کردند (۱۰). مایرز و همکاران (۲۰۱۷) از مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی (ANN)^۱، ماشین بردار پشتیبانی (SVM)^۲ و مدل‌های RF برای پیش‌بینی کدورت آب یک شبکه توزیع آب شاخه‌ای در بریتانیا استفاده کردند (۱۱). ال بلالی و همکاران (۲۰۲۰) از مدل‌های ANN برای پیش‌بینی کیفیت شیمیایی آب زیرزمینی برای اهداف آشامیدنی استفاده کرد (۱۲). فیجانی و همکاران (۲۰۱۹) روش‌های مختلف هوش مصنوعی را برای پشتیبانی و پایش برخط کیفیت آب مخزن طراحی و اجرا کردند (۱۳). واگ و همکاران (۲۰۱۶) از مدل ANN برای تعیین مناسب بودن کیفیت آب زیرزمینی برای اهداف آبیاری استفاده کردند آنها در این مطالعه از ۱۳ پارامتر فیزیکی-شیمیایی آب استفاده کردند و عملکرد عالی مدل توسعه داده شده را شاهد بودند (۱۴). نکته مهم همه این مطالعات این است که مدل‌های هوش مصنوعی در پیش‌بینی و ارزیابی کیفیت آب بسیار دقیق هستند. بهرحال، کارایی مدل هوش مصنوعی تنها به دقت پیش‌بینی بستگی ندارد، بلکه به ماهیت و تعداد متغیرهای مورد استفاده نیز بستگی دارد. در این راستا، افزایش متغیرهای ورودی باعث کاهش کارایی مدل‌های هوش مصنوعی شده و کاربرد میدانی آنها را نیز تضعیف می‌کند (۱۲). بررسی متون علمی نشان

1. Random Forest
2. Artificial Neural Network
3. Support Vector Machine

می‌دهد که پارامترهای ورودی اکثر مدل‌های توسعه داده شده برای پیش بینی یک شاخص کیفیت آب زیاد بوده و همچنین این پارامترها باید به طور دقیق توسط کارشناس خبره در آزمایشگاه ارزیابی شوند که این عمل باعث افزایش هزینه‌های سنجش (هزینه مواد شیمیایی، انسانی) شده و حتی ممکن است منجر به خطای سنجش نیز شود (۷). علاوه بر این، قدرت تعمیم و حساسیت مدل‌های هوش مصنوعی به متغیرهای ورودی به اندازه کافی تجزیه و تحلیل نشده است. در این راستا استفاده از پارامترهای فیزیکی مثل هدایت الکتریکی، pH که می‌توان آنها را با فناوری‌های حسگر سنجید و از آنها بعنوان ورودی مدل استفاده کرد (۱۴)، می‌تواند علاوه بر کاهش هزینه‌ها و کاهش خطاهای انسانی، کارایی مدل‌های هوش مصنوعی را به میزان قابل توجهی بهبود بخشد. این عمل، مسئولان و تصمیم‌گیرندگان را تشویق می‌کند تا فناوری‌های هوش مصنوعی را برای برنامه ریزی و مدیریت کیفیت آب پیاده سازی نمایند (۱۴). بر این اساس به نظر می‌رسد که توسعه مدل‌های هوش مصنوعی برای پیش‌بینی شاخص‌های کیفیت آب آشامیدنی با استفاده از داده‌های آرشو شده بویژه از پارامترهای فیزیکی حیاتی باشد. در نتیجه، این مطالعه، قصد دارد تا با استفاده از مدل‌های AdaBoost^۱ (تقویت تطبیقی) بعنوان یکی از مدل‌های نوظهور در حیطه مدیریت کیفیت آب به پیش‌بینی غلظت نیترات در آب زیرزمینی با استفاده از هدایت الکتریکی، pH بپردازد. همچنین تحلیلی بر حساسیت مدل‌ها به پارامترهای ورودی ارائه خواهد شد.



شکل ۱. فرایند توسعه مدل AdaBoost و تحلیل آن

جمع آوری و پردازش داده

داده‌های این مطالعه از بررسی مقالات در جرنال‌های مختلف و از طریق موتور جستجو گوگل اسکالر حاصل شد. بدین منظور تیم تحقیقاتی در جستجوی یافتن مقاله یا مقاله‌هایی بودند که به‌طور

روش کار مدل AdaBoost

مدل AdaBoost یک الگوریتم تقویتی یادگیری ماشین است که برای مسائل طبقه بندی و بویژه برای مسائل رگرسیون استفاده می‌شود. این الگوریتم با استفاده از ترکیب چندین دسته‌بند ضعیف، یک دسته‌بند قوی تولید می‌کند. مفهوم

1. Adaptive Boosting

خطای مطلق (MAPE)^۵ و ضریب تبیین (R^2) استفاده شد. در ارزیابی معیارها مدلی بهینه خواهد بود که حداقل مقادیر خطاهای ذکر شده فوق و حداکثر مقدار ضریب تبیین را داشته باشد. بطور معمول ضریب تبیین نسبت تغییرات متغیر وابسته را که می توان به متغیر مستقل نسبت داد، اندازه گیری می کند. معیارهای ارزیابی مدل های توسعه داده شده بر اساس معادلات ۲ تا ۶ انجام شده است. در این معادلات act_i و pre_i به مقدار واقعی نیترات و مقدار پیش بینی آن اشاره دارند. همچنین \overline{act} و \overline{pre} میانگین داده های واقعی و پیش بینی را بیان می کنند.

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^N |act_i - pre_i|}{N} \quad \text{معادله ۲}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (act_i - pre_i)^2} \quad \text{معادله ۳}$$

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (act_i - pre_i)^2 \quad \text{معادله ۴}$$

معادله ۵

$$R^2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (act_i - \overline{act})(pre_i - \overline{pre})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (act_i - \overline{act})^2 \sum_{i=1}^n (pre_i - \overline{pre})^2}} \right)^2$$

$$MAPE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \left| \frac{act_i - pre_i}{act_i} \right| \times 100 \quad \text{معادله ۶}$$

یافته ها

نتایج آماری و تحلیل ماتریس همبستگی پیرسون

تحلیل توصیفی کل پارامترها و همچنین توزیع آماری پارامترهای مورد استفاده در این مطالعه به ترتیب در جدول ۱ و شکل ۲ (الف) ارائه شده است. در آمار توصیفی، محدوده بین چارکی (IQR)^۶ معیاری برای سنجش پراکندگی آماری داده ها است. نمودار جعبه ای یک روش

جامع اطلاعات شیمیایی آب را منتشر کرده باشد، در نهایت از داده های این مقاله برای مدل سازی استفاده گردید (۱۵). در مقاله یافت شده داده های کیفیت آب زیر زمینی مربوط به ۳۳ چاه در کشور عراق گزارش شده بود. پارامترهای کیفی گزارش شده شامل pH، کل جامدات محلول، EC، کلسیم، منیزیم، کلراید، نیترات، پتاسیم، سولفات، بی کربنات و نسبت جذب سدیم^۱ بودند (۱۵). با توجه به اینکه هدف توسعه یک مدل مناسب برای پیش بینی نیترات بود، یک بررسی عمیق در انتخاب ورودی مدل انجام گردید. در انتخاب متغیرهای ورودی مدل، معیارهای سهولت اندازه گیری، کاهش خطای انسانی در آزمایش و حداقل هزینه انجام آزمایش لحاظ شده بودند. علاوه بر این یک تحلیل همبستگی پیرسون نیز برای شناسایی همبستگی متغیرها با نیترات و دیگر پارامترها انجام شد. بعد از شناسایی این پارامترها، داده های خام در مقادیر ۰/۱۰ تا ۰/۹۰ نرمال گردید (معادله ۱). دلیل نرمال سازی کاهش پیچیدگی محاسبات برای الگوریتم مد نظر بود. همچنین نرمال سازی باعث می شود که وزن های اعمالی به متغیر، همسان سازی شود تا تحلیل مهمترین متغیر تاثیرگذار در مدل به شکل صحیحی انجام شود. علاوه بر این به جهت ارزیابی قدرت مدل ها، داده ها به دو دسته آموزش و تست با سهم به ترتیب ۸۰ درصد و بیست درصد تقسیم شدند (۱۶).

معادله ۱

$$y = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \times (b - a) + a$$

در معادله فوق، a و b به ترتیب مقادیر ۰/۱ و ۰/۹ هستند

و x داده های مدل هستند. اندیس های \min و \max به حداقل و حداکثر مقدار داده های هر متغیر اشاره دارد.

معیارهای ارزیابی مدل

برای ارزیابی مدل های توسعه داده معیارهای مختلفی از جمله میانگین مربعات خطا (MSE)^۲، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)^۳، میانگین خطای مطلق (MAE)^۴، میانگین درصد

1. Sodium Absorption Ratio
2. Mean Squared Error
3. Root Mean Squared Error
4. Mean Absolute Error

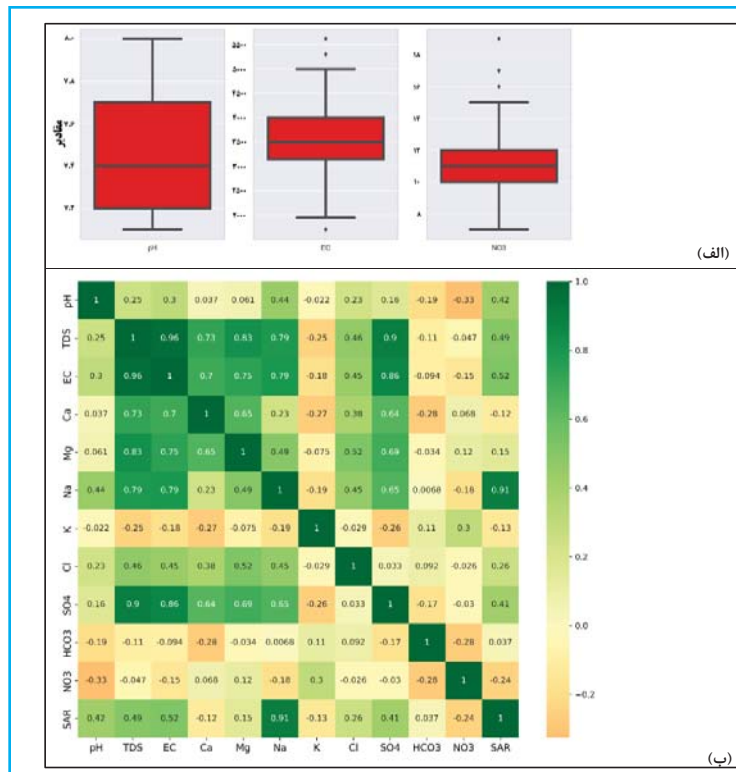
5. Mean Absolute Percentage Error
6. Interquartile Range

بین متغیرها با اعداد بین ۱- تا ۱ نشان داده شده است. اگر رابطه بین دو متغیر دارای عدد ۱- باشد نشان دهنده همبستگی خطی کاملاً منفی بین دو متغیر است. عدد صفر نمایانگر عدم همبستگی خطی بین دو متغیر است و عدد یک نشان دهنده همبستگی خطی کاملاً مثبت بین دو متغیر است. هر چه ضریب پیرسون از مقدار صفر دورتر شود، رابطه بین دو متغیر قوی تر می‌شود (۱۷).

استاندارد برای نمایش توزیع داده‌ها است که براساس شاخص‌های آماری «کوچکترین مقدار»، «چارک اول»، «میانه»، «چارک سوم» و «بزرگترین مقدار» ساخته شده است (پنج خط از پایین به بالای شکل ۲ الف) این شاخص‌ها را بیان می‌کند). همچنین این نمودار می‌تواند در مورد وجود داده‌های پرت، اطلاعاتی را ارائه و مقادیر آن‌ها را تعیین نماید (۱۷). شکل ۲ ب) نتایج تحلیل ماتریس همبستگی پیرسون متغیرها را نشان می‌دهد. در این شکل روابط

جدول ۱. نتایج آنالیز توصیفی تمام متغیرها (تمام واحدها برحسب ppm بجز EC برحسب $\mu\text{S}/\text{cm}$)

آنالیزها	SAR	NO ₃	HCO ₃	SO ₄	Cl	K	Na	Mg	Ca	EC	TDS	pH
میانگین	۳/۵۴	۱۱/۳۹	۲۱/۴۴	۱۲۷۶/۸۸	۲۵۶/۳۶	۵/۴۲	۲۷۹/۱۸	۱۱۶/۷۹	۲۸۷/۸۵	۳۶۰۹/۰۹	۲۲۶۷/۶۷	۷/۴۵
خطای استاندارد	۰/۲۳	۰/۴۵	۱/۶۷	۶۳/۸۴	۲۷/۰۶	۰/۴۱	۱۸/۶۷	۷/۳۳	۱۳/۴۴	۱۵۶/۵۴	۱۰۱/۱۲	۰/۰۵
میانه	۳/۵۷	۱۱/۰۰	۲۱/۰۰	۱۲۶۷/۰۰	۲۰۶/۰۰	۵/۰۰	۲۹۸/۰۰	۱۰۸/۰۰	۲۹۷/۰۰	۳۵۰/۰۰	۲۲۲۰/۰۰	۷/۴۰
انحراف معیار	۱/۳۱	۲/۵۹	۹/۵۸	۳۶۶/۷۳	۱۵۵/۴۳	۲/۳۷	۱۰۷/۲۳	۴۲/۱۰	۷۷/۲۳	۸۹۹/۲۸	۵۸۰/۹۱	۰/۲۸
حداقل	۱/۴۰	۷/۰۰	۷/۸۰	۵۷۶/۰۰	۶۳/۰۰	۲/۰۰	۱۱۵/۰۰	۴۳/۰۰	۱۴۵/۰۰	۱۷۰۰/۰۰	۱۰۵۰/۰۰	۷/۱۰
حداکثر	۶/۴۳	۱۹/۰۰	۴۷/۰۰	۲۳۱۳/۰۰	۶۳۴/۰۰	۱۱/۰۰	۵۰۰/۰۰	۲۰۹/۰۰	۴۳۳/۰۰	۵۶۲۰/۰۰	۳۶۸۰/۰۰	۸/۰۰
تعداد	۳۳/۰۰	۳۳/۰۰	۳۳/۰۰	۳۳/۰۰	۳۳/۰۰	۳۳/۰۰	۳۳/۰۰	۳۳/۰۰	۳۳/۰۰	۳۳/۰۰	۳۳/۰۰	۳۳/۰۰



شکل ۲. نمودار جعبه‌ای متغیرهای مورد مطالعه در این تحقیق (الف) ماتریس همبستگی پیرسون بین متغیرها (ب)

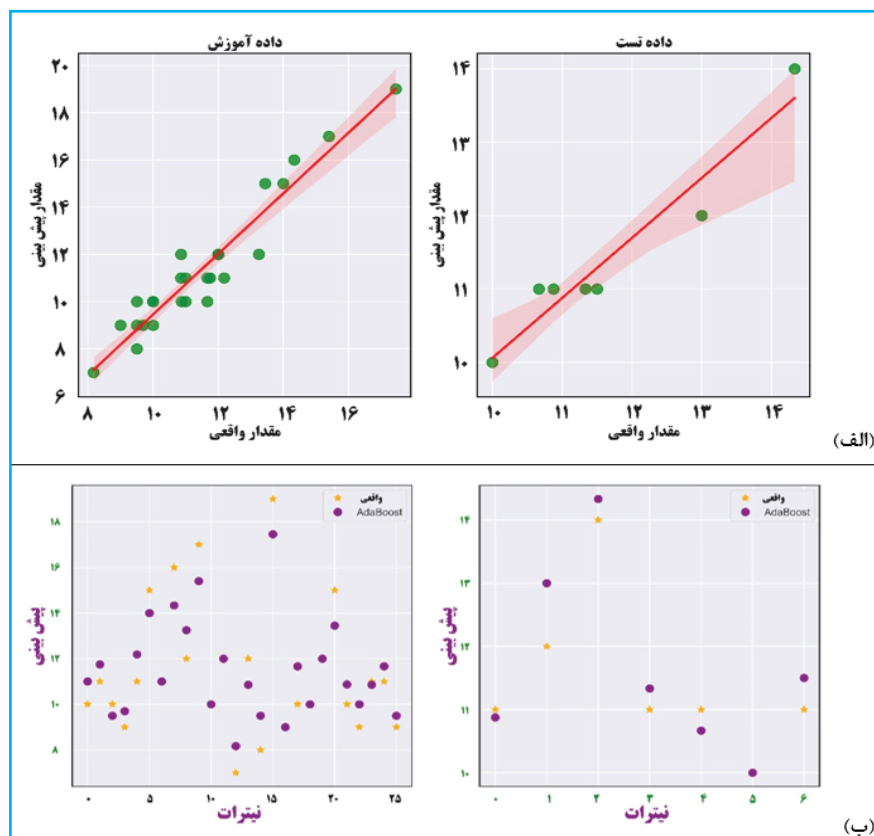
بعنوان شاخصی برای همبستگی داده های مقادیر پیش بینی شده و داده های واقعی استفاده شد. با توجه به نمودار ۳ (الف) ضریب R^2 برای داده آموزش ۰/۹۱۵ و برای داده های تست ۰/۹۲۴ بدست آمد. بنابراین می توان نتیجه گرفت که مدل توسعه یافته قادر است، مقادیر غلظت نیترات را با دقت بالای ۹۱ درصد برای داده آموزش و با دقت بالای ۹۲ درصد برای داده های تست را پیش بینی نماید. همچنین در مدل بهینه مقادیر میانگین مربعات خطا (MSE)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین خطای مطلق (MAE)، میانگین درصد خطای مطلق (MAPE) برای داده های آموزش به ترتیب ۱/۰۲، ۱/۰۱، ۰/۸۲۳ و ۷/۳ درصد بدست آمد. این معیارها برای داده های تست به ترتیب برابر با ۰/۲۲۸، ۰/۴۷۷، ۰/۳۷۵ و ۳/۲ درصد بود. نمودار ۳ (ب) نیز نزدیکی مقادیر پیش بینی شده غلظت نیترات توسط مدل AdaBoost و مقادیر واقعی آن را توصیف و تصدیق می کند.

بهینه سازی پارامترهای تنظیمی مدل AdaBoost

در این مطالعه به منظور بهینه سازی هایپر پارامترهای مدل AdaBoost موارد: نرخ یادگیری (۰/۰۰۱ تا ۱)، تعداد برآوردکننده ها (۵۰ تا ۳۰۰) و انواع تابع خطا (خطی، درجه ۲ و نمایی) مورد آزمون قرار گرفتند. در نهایت برای مدل بهینه نرخ یادگیری، تعداد برآوردکننده ها و تابع خطای به ترتیب ۰/۰۶، ۸۵ و تابع نمایی حاصل شد.

بررسی دقت و اعتبارسنجی مدل AdaBoost

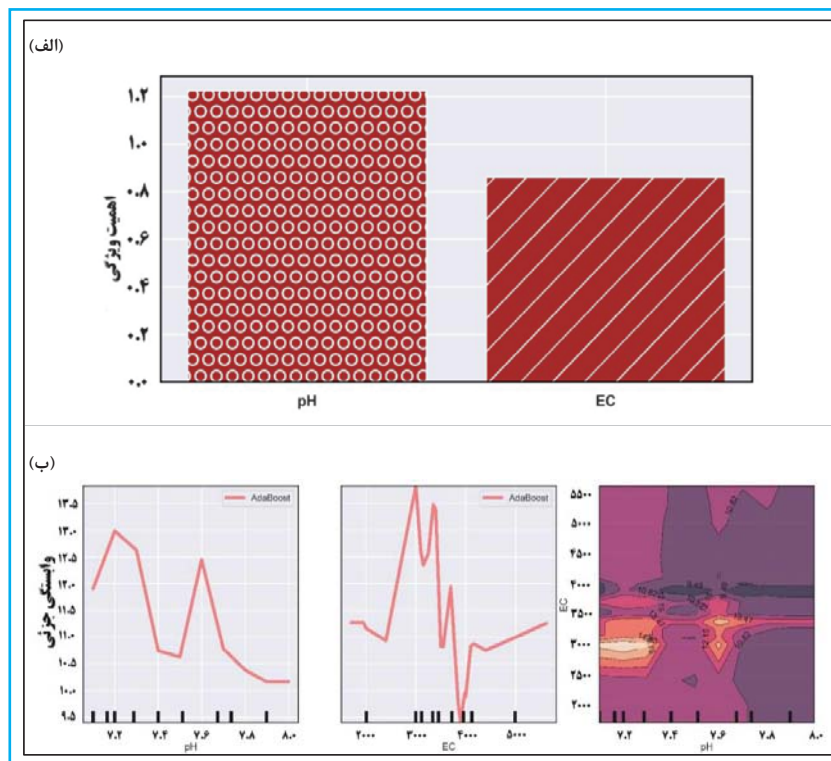
همانطور که پیش تر بیان شد؛ در مجموع بیست درصد داده ها برای فرآیند اعتبارسنجی مدل و هشتاد درصد داده ها برای آموزش مدل AdaBoost استفاده شده است. عملکرد مدل های توسعه داده با معیارهای مختلف (معادلات ۲-۶) مورد آزمون قرار گرفتند. شکل ۳ (الف) نمودارهای پراکندگی مقادیر پیش بینی شده غلظت نیترات در برابر مقادیر واقعی آن را نشان می دهد. ضریب تبیین



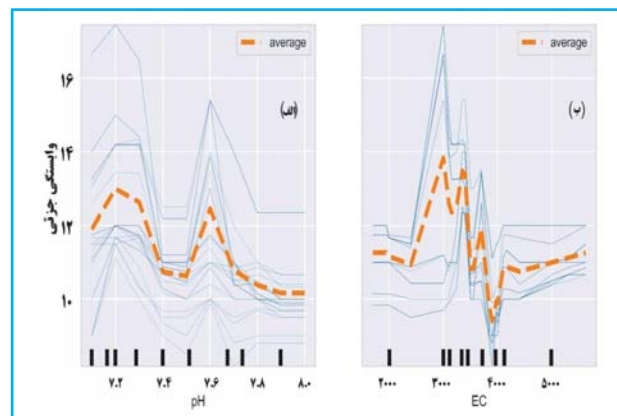
نمودار ۳. نمودارهای پراکندگی مقادیر پیش بینی شده غلظت نیترات در برابر مقادیر واقعی (الف). مقادیر واقعی در برابر پیش بینی (ب)

در پیش بینی غلظت نیترات شناسایی شوند (۱۸). شکل ۴ (الف) گویای تاثیر بیشتر پارامتر pH است. از طرفی نمودار Partial dependence (شکل ۴ (ب)) وابستگی این پارامترها به غلظت نیترات را نشان می‌دهد. شکل ۵ که به نمودار انتظار شرطی فردی معروف است، وابستگی تک تک نمونه‌ها و میانگین وابستگی آنها به نیترات را نشان می‌دهد.

شناسایی مهمترین متغیر تاثیرگذار در مدل AdaBoost و تحلیل نمودار Partial dependence پس از توسعه مدل و شناسایی مدل بهینه انجام گردید. درحقیقت تحلیل اهمیت نسبی هر متغیر کمک می‌کند تا سهم و تاثیر پارامترهای pH و هدایت الکتریکی



شکل ۴. نمودار تحلیل حساسیت متغیرهای هدایت الکتریکی و pH در پیش بینی غلظت نیترات (الف). نمودار Partial dependence (ب)



شکل ۵. نمودار ICE نیترات بر روی پارامترهای pH و هدایت الکتریکی

آنالیز توصیفی اطلاعات مفیدی پیرامون وضعیت داده‌ها ارائه می‌دهد. همانطور که در جدول ۱ نشان داده شده است رنج تغییرات داده‌ها برای سه متغیر مورد مطالعه بسیار وسیع است. این شرایط ایجاب می‌کند که برای فرایند مدل سازی باید داده‌ها نرمال سازی شوند تا تحلیل‌های مناسب و صحیحی از مدل سازی فراهم شود. از طرفی آنالیز توصیفی کمک می‌کند تا از وجود داده‌های فراتر از حد استاندارد بویژه برای نیترات که اثرات بهداشتی دارد، شناسایی شوند. تحلیل ماتریس همبستگی پیرسون برای شناسایی و درک ارتباط خطی بین متغیرها و نیترات استفاده شد (۱۹). از این تحلیل برای انتخاب متغیرهای مدل مد نظر استفاده گردید. همانطور که در شکل تحلیل ماتریس همبستگی نشان داده شده است و با توجه به معیارهای در نظر گرفته شده در این مطالعه سه پارامتر pH و هدایت الکتریکی و کل جامدات محلول در مرحله اول شناسایی شدند. اما وجود همبستگی بالا بین متغیرهای ورودی مدل برای یک مدل سازی صحیح مناسب نمی باشد. لذا با توجه به اینکه دو پارامتر هدایت الکتریکی و کل جامدات محلول دارای ضریب همبستگی ۰/۹۶ بودند (همبستگی بسیار بالا)، باید یکی از این پارامترها از مطالعه خارج می‌شد. لذا برای این کار از شکل تحلیل ماتریس همبستگی رابطه بین این پارامترها با نیترات ارزیابی شد. متغیری بر طبق متون علمی انتخاب می‌شود که دارای همبستگی بیشتری با نیترات داشته باشد. لذا پارامتر هدایت الکتریکی به دلیل داشتن ضریب همبستگی بیشتر انتخاب و پارامتر کل جامدات محلول از مطالعه خارج شد. AdaBoost یک الگوریتم یادگیری ماشینی است که برای بهبود دقت مدل از چندین مدل ضعیف استفاده می‌کند. هر مدل ضعیف در AdaBoost به عنوان یک "توابع تصمیم‌گیری ساده" تعریف می‌شود. هایپر پارامترهای AdaBoost شامل تعداد مدل‌های ضعیف، نرخ یادگیری و تعداد ایپاک‌ها است. بهینه سازی هایپر پارامترهای AdaBoost بسیار مهم است و می‌تواند بهبود قابل توجهی در دقت مدل داشته باشد. در بهینه سازی تعداد مدل‌های

ضعیف، باید به دقت و سرعت یادگیری توجه کرد (۲۰). اگر تعداد مدل‌های ضعیف زیاد باشد، ممکن است به دقت مدل کمک کند، اما سرعت یادگیری را کاهش می‌دهد. نرخ یادگیری نیز بسیار مهم است. اگر نرخ یادگیری بسیار بالا باشد، ممکن است مدل به سرعت به حالت بیش‌برازش برسد و در داده‌های جدید دقت پایینی داشته باشد. از طرف دیگر، اگر نرخ یادگیری کم باشد، ممکن است به سرعت به حالت زیربهینه برسد و دقت مدل را کاهش دهد (۲۰). برای پیدا کردن بهترین نرخ یادگیری، نیاز است که از روش‌های اعتبارسنجی و آزمون‌های مختلف استفاده شود. در کل، بهینه سازی هایپر پارامترهای AdaBoost نیازمند تجربه و تخصص در زمینه یادگیری ماشینی است. باید به دقت به هر پارامتر توجه شود و از روش‌های اعتبارسنجی مناسب برای پیدا کردن بهترین مقادیر آن‌ها استفاده شود. در این مطالعه هایپر پارامترهای نرخ یادگیری، تعداد برآوردکننده‌ها و تابع خطای به ترتیب ۰/۶، ۸۵ و تابع نمایی حاصل شد و ارزیابی عملکرد مدل‌ها نشان داد که مدل توسعه داده شده از دقت بالایی (شکل ۳) در برآورد غلظت نیترات دارد. علاوه بر این میانگین درصد خطای مطلق (MAPE) برای داده‌های آموزش ۷/۳ درصد و برای داده‌های تست ۳/۲ درصد بود که نشان می‌دهد خطای کلی مدل بسیار کم است. نتایج این تحقیق مطابقت بالایی با نتایج محققانی از جمله تیاشا و یاسین (۲۰۲۰)، لو و ما (۲۰۲۰)، کاستریو و گارسیا (۲۰۲۰)، مایرز و همکاران (۲۰۱۷) ال بلالی و همکاران (۲۰۲۰) فیجانی و همکاران (۲۰۱۹) واگ و همکاران (۲۰۱۶) داشت (۷-۱۱، ۱۳). عوامل فیزیکی-شیمیایی مختلفی بر غلظت نیترات و پایداری و تبدیل آن به اشکال دیگر در آب‌های زیرزمینی تأثیر می‌گذارند که pH و هدایت الکتریکی از این موارد هستند. در pHهای قلیایی یون‌های نیترات پایدارتر هستند و احتمال کمتری دارد که به اشکال گازی تبدیل شود. شرایط اسیدی می‌تواند منجر به تبدیل نیترات به گاز نیتروژن و کاهش غلظت آن در آب شود (۲۱). هدایت الکتریکی؛ اندازه گیری توانایی آب در هدایت الکتریسیته است که تحت تأثیر غلظت یون‌ها در آب

و ۳/۲ درصد بودند. تحلیل حساسیت مدل، فرآیندی است که در آن به ارزیابی وابستگی مدل توسعه داده شده به تغییرات مقادیر ورودی آن اشاره دارد و به تعیین اهمیت نسبی هر متغیر ورودی در پیش‌بینی یا توصیف خروجی مدل کمک می‌کند، نشان داد که متغیر pH به عنوان مهمترین متغیر در پیش‌بینی غلظت نیترات انتخاب شده است. با توجه به نتایج مطلوب این مدل، می‌توان نتیجه گرفت که روش پیشنهادی برای پیش‌بینی غلظت نیترات عملکرد مناسبی داشته و دارای پتانسیل اجرایی به عنوان یک سامانه هوشمند در زمینه پیش‌بینی پارامترهای کیفیت آب را دارا است.

ملاحظات اخلاقی

نویسنده تمام نکات اخلاقی شامل سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده سازی را در این مقاله رعایت کرده است. همچنین هرگونه تضاد منافع حقیقی یا مادی که ممکن است بر نتایج یا تفسیر مقاله تأثیر بگذارد را رد می‌کند.

تقدیر و تشکر

مطالعه حاضر با کد اخلاق IR.BUMS.REC.1402.193 در معاونت پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی بیرجند به تصویب رسیده است.

است. سطوح بالای آن می‌تواند نشان دهنده غلظت بالای یون‌ها باشد که می‌تواند جذب نیترات گیاه را کاهش و باعث افزایش ورود آن به آبهای زیر زمینی شود (۲۲). نتایج آنالیز حساسیت مدل بر طبق روش Permutation (شکل ۴ الف) نشان داد که هر دو پارامتر تاثیر قابل توجهی در پیش‌بینی غلظت نیترات دارند. بهر حال اهمیت نسبی پارامتر pH بیشتر از هدایت الکتریکی بود. نمودار Partial dependence (شکل ۴ ب) وابستگی متغیر pH و هدایت الکتریکی و برهمکنش آنها را در غلظت‌های مشاهده شده در این مطالعه را نشان می‌دهد. همانطور که از این شکل مشهود است بیشترین غلظت نیترات در مقادیر pH و هدایت الکتریکی برابر با ۷/۲ و ۳۰۰۰ $\mu\text{S}/\text{cm}$ مشاهده می‌شود. نمودار ICE (شکل ۵) نموداری مشابه با Partial dependence است البته با این تفاوت که علاوه بر اینکه تاثیر میانگین یک متغیر را نشان می‌دهد قادر است اطلاعات اضافی در مورد تک تک نمونه‌ها فراهم کند. از جمله کاهش شدید وابستگی نیترات به pH که در pHهای بین ۷/۴ تا ۷/۵ مشاهده می‌شود و این در حالی است که در نمودار Partial dependence این خط صاف تر است. همچنین در نمودار مربوط به هدایت الکتریکی نمونه‌ای وجود دارد که وابستگی آن در مقادیر ۴۰۰۰ تا ۶۰۰۰ واحد تغییری نمی‌کند.

نتیجه‌گیری

این مطالعه، با استفاده از مدل‌های AdaBoost به عنوان یکی از مدل‌های نوظهور در مدیریت کیفیت آب به پیش‌بینی غلظت نیترات در آب زیرزمینی پرداخت. مطالعه ابتدا با تحلیل همبستگی پیرسون شروع و سپس متغیرهای ورودی برای ایجاد مدل‌های AdaBoost با پارامترهای مختلف مشخص شدند. نتایج نشان دادند که مدل AdaBoost با ضرایب R^2 به ترتیب ۰/۹۱۵ برای داده‌های آموزش و ۰/۹۲۴ برای داده‌های تست، عملکرد بسیار قابل قبولی از خود نشان دادند. مقادیر پایین MSE، RMSE، MAE و MAPE نیز عملکرد مؤثر مدل را تایید کردند. این مقادیر برای داده‌های آموزش به ترتیب ۱/۰۲، ۱/۰۱، ۰/۸۲۳ و ۷/۳ درصد و برای داده‌های تست به ترتیب ۰/۲۲۸، ۰/۴۷۷، ۰/۳۷۵

References

- Ahada CP, Suthar S. Groundwater nitrate contamination and associated human health risk assessment in southern districts of Punjab, India. *Environmental science and pollution research*. 2018;25:25336-47.
- Chen J, Wu H, Qian H, Gao Y. Assessing nitrate and fluoride contaminants in drinking water and their health risk of rural residents living in a semiarid region of Northwest China. *Exposure and Health*. 2017;9:183-95.
- Nakagawa K, Amano H, Takao Y, Hosono T, Berndtsson R. On the use of coprostanol to identify source of nitrate pollution in groundwater. *Journal of Hydrology*. 2017;550:663-8.
- Li Z, Yang Q, Xie C, Lu X. Source identification and health risks of nitrate contamination in shallow groundwater: a case study in Subei Lake basin. *Environmental Science and Pollution Research*. 2023;30(5):13660-70.
- Pouye A, Cissé Faye S, Diédhiou M, Gaye CB, Taylor RG. Nitrate contamination of urban groundwater and heavy rainfall: Observations from Dakar, Senegal. *Vadose Zone Journal*. 2023:e20239.
- Iqbal J, Su C, Wang M, Abbas H, Baloch MYJ, Ghani J, et al. Groundwater fluoride and nitrate contamination and associated human health risk assessment in South Punjab, Pakistan. *Environmental Science and Pollution Research*. 2023;30(22):61606-25.
- El Bilali A, Taleb A, Brouziyne Y. Groundwater quality forecasting using machine learning algorithms for irrigation purposes. *Agricultural Water Management*. 2021;245:106625.
- Tung TM, Yaseen ZM. A survey on river water quality modelling using artificial intelligence models: 2000–2020. *Journal of Hydrology*. 2020;585:124670.
- Lu H, Ma X. Hybrid decision tree-based machine learning models for short-term water quality prediction. *Chemosphere*. 2020;249:126169.
- Castrillo M, García ÁL. Estimation of high frequency nutrient concentrations from water quality surrogates using machine learning methods. *Water Research*. 2020;172:115490.
- Meyers G, Kapelan Z, Keedwell E. Short-term forecasting of turbidity in trunk main networks. *Water research*. 2017;124:67-76.
- Bilali AE, Taleb A, Mazigh N, Mokhliss M. Prediction of chemical water quality used for drinking purposes based on artificial neural networks. *Moroccan Journal of Chemistry*. 2020;8(3):8-3 (2020) 665-672.
- Fijani E, Barzegar R, Deo R, Tziritis E, Skordas K. Design and implementation of a hybrid model based on two-layer decomposition method coupled with extreme learning machines to support real-time environmental monitoring of water quality parameters. *Science of the total environment*. 2019;648:839-53.
- Wagh VM, Panaskar DB, Muley AA, Mukate SV, Lolage YP, Aamalawar ML. Prediction of groundwater suitability for irrigation using artificial neural network model: a case study of Nanded tehsil, Maharashtra, India. *Modeling Earth Systems and Environment*. 2016;2:1-10.
- Ahmed SH, Abed MF. Evaluating Groundwater Quality for Sustainable Drinking and Irrigation Purposes and Assessing Nitrate Risks on Human Health in Rural Areas. 2020.
- Hosseinzadeh A, Zhou JL, Altaee A, Baziar M, Li X. Modeling water flux in osmotic membrane bioreactor by adaptive network-based fuzzy inference system and artificial neural network. *Bioresource technology*. 2020;310:123391.
- Zhu X, Wang X, Ok YS. The application of machine learning methods for prediction of metal sorption onto biochars. *Journal of hazardous materials*. 2019;378:120727.
- Sajedi-Hosseini F, Malekian A, Choubin B, Rahmati O, Cipullo S, Coulon F, et al. A novel machine learning-based approach for the risk assessment of nitrate groundwater contamination. *Science of the total environment*. 2018;644:954-62.
- Knoll L, Breuer L, Bach M. Large scale prediction of groundwater nitrate concentrations from spatial data using machine learning. *Science of the total environment*. 2019;668:1317-27.
- Benaroussi O, Djellal M. Mapping groundwater vulnerability to nitrate contamination using machine learning techniques 2022.
- Latif SD, Azmi M, Ahmed AN, Fai CM, El-Shafie A. Application of artificial neural network for forecasting nitrate concentration as a water quality parameter: a case study of Feitsui Reservoir, Taiwan. *Int J Des Nat Ecodynamics*. 2020;15:647-52.
- Ubah J, Orakwe L, Ogbu K, Awu J, Ahaneku I, Chukwuma E. Forecasting water quality parameters using artificial neural network for irrigation purposes. *Scientific Reports*. 2021;11(1):24438.

Assessment of the Relationship Between Fluoride Levels in Drinking Water and Dental Health Status in 11 to 13-Year-Old Students in Mashhad City

ABSTRACT

Background and Purpose: Oral and dental health is crucial to public health. The primary indices used to assess oral and dental health are DMFT and CPITN indices. This study aimed to evaluate the oral and dental health status of 11 to 13-year-old students in Mashhad City and its relationship with their water consumption and other related factors.

Materials and Methods: This cross-sectional analytical study was conducted in 2021 on 1,232 students. Sampling was done from all hand-dug wells, semi-deep wells, deep wells, and qanats (underground channels) in the Mashhad region in 2021. All drinking water parameters were measured according to the standards outlined in "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater." Data were analyzed using SPSS software version 20.

Results: The mean DMFT index among Mashhad students was 0.98. The average fluoride content in drinking water was 0.38 milligrams per liter (mg/L), lower than the permissible fluoride level in drinking water. According to the relevant statistical tests, there was a significant relationship ($p < 0.05$) between the DMFT index and daily water consumption, fluoride content in drinking water, and daily flossing. Furthermore, a significant relationship ($p < 0.05$) was found between the CPITN index and toothbrush usage.

Conclusion: Given the significant association between fluoride content in drinking water and daily flossing with the DMFT index, it is essential to maintain fluoride levels in drinking water within the standard range. Moreover, oral health care practices, such as flossing and toothbrushing, should be taught to students.

Keywords: CPITN, DMFT index, drinking water fluoride, Water Quality, Oral and Dental Health.

Majid Bonyadimanesh

Specialist in Dental Prosthetics (Prosthodontics),
Department of Prosthetics, School of Dentistry,
Mashhad University of Medical Sciences,
Mashhad.

Ali Afkham

Department of Environmental Health
Engineering, Faculty of Health, Mashhad
University of Medical Sciences, Mashhad.
(corresponding author):
aliaafmd2@gmail.com

Received: 2023/05/23

Accepted: 2023/12/12

Document Type: Research article

Doi:10.22038/jreh.2023.75141.1616

► **Citation:** Bonyadimanesh M, Afkham A. Assessment of the Relationship Between Fluoride Levels in Drinking Water and Dental Health Status in 11 to 13-Year-Old Students in Mashhad City. *Iranian Journal of Research in Environmental Health*. Autumn 2023; 9(3): 290-298.

بررسی ارتباط میزان فلوراید آب آشامیدنی شهری و استفاده از نخ دندان با وضعیت سلامت دهان و دندان در دانش آموزان ۱۱ الی ۱۳ ساله مشهد

مجید بنیادی منش

متخصص پروتزیهای دندانی (پروستودانتیکس) گروه پروتز دانشکده دندانپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، مشهد.

علی افخم

* گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، مشهد. (نویسنده مسئول):
aliaafmd2@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۲۱

نوع مقاله: پژوهشی

چکیده

زمینه و هدف: سلامت دهان و دندان یکی از شاخص‌های مهم بهداشت در جامعه می‌باشد. مهمترین شاخص‌های مورد استفاده در ارزیابی سلامت دهان و دندان، شاخص‌های DMFT و CPITN است. این مطالعه به منظور بررسی وضعیت سلامت دهان و دندان در دانش آموزان ۱۱ تا ۱۳ ساله شهر مشهد و ارتباط آن با آب مصرفی آن‌ها و برخی عوامل مرتبط انجام شده است.

مواد و روش‌ها: این مطالعه مقطعی تحلیلی در سال ۱۴۰۰ بر روی ۱۲۳۲ دانش آموز انجام شد. نمونه برداری از تمام چاه‌های دستی، نیمه عمیق و عمیق و قنات‌های دشت مشهد در سال ۱۴۰۰ انجام شد. تمامی پارامترهای آب آشامیدنی با توجه به استانداردهای کتاب *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* اندازه‌گیری شدند. داده‌ها، توسط نرم افزار SPSS نسخه ۲۰ مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند.

یافته‌ها: میانگین شاخص DMFT در دانش آموزان مشهد ۰/۹۸ بدست آمد. میانگین فلوراید آب آشامیدنی ۰/۳۸ میلی‌گرم بر لیتر بود. که کمتر از میزان مجاز فلوراید در آب آشامیدنی بود. مطابق با آزمون‌های آماری مربوطه بین شاخص DMFT و مقدار مصرف آب آشامیدنی در شبانه‌روز، مقدار فلوراید آب آشامیدنی و استفاده از نخ دندان در شبانه‌روز رابطه‌ی معنی‌داری وجود داشت ($p < 0/05$). همچنین بین شاخص CPITN با استفاده از مسواک رابطه‌ی معنی‌داری یافت شد ($p < 0/05$).

نتیجه‌گیری: با توجه به اینکه فلوراید آب آشامیدنی و استفاده از نخ دندان در شبانه‌روز، با شاخص DMFT ارتباط دارند، باید فلوراید آب آشامیدنی در محدوده‌ی استاندارد حفظ شود و روش‌های مراقبت از سلامت دهان و دندان مثل استفاده از نخ دندان و مسواک به دانش آموزان آموزش داده شود.

کلید واژه‌ها: سلامت دهان و دندان، کیفیت آب، فلوراید آب آشامیدنی، شاخص CPITN، DMFT.

◀ **استناد:** بنیادی منش م، افخم ع. بررسی ارتباط میزان فلوراید آب آشامیدنی شهری و استفاده از نخ دندان با وضعیت سلامت دهان و دندان در دانش آموزان ۱۱ الی ۱۳ ساله مشهد. *فصلنامه پژوهش در بهداشت محیط*. پاییز ۱۴۰۲؛ ۳(۳): ۲۹۰-۲۹۸.

مقدمه

کیفیت مطلوب آب از نظر فیزیکی، شیمیایی، و میکروبیولوژی ضروری است و به منظور قبولی برای مصرف کنندگان و حفظ سلامت آن‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. حفظ بهداشت عمومی و سلامت مصرف کنندگان اصلی‌ترین هدف در ارزیابی کیفیت آب آشامیدنی است. یکی از ضروری‌ترین نیازهای بشر برای حفظ حیات، دسترسی به مقدار کافی و کیفیت قابل قبول آب است (۱).

فلوراید، سبک‌ترین و فعال‌ترین عنصر از گروه هالوژن‌ها است (۲). این عنصر یکی از ۱۴ عنصر مهم و ضروری برای حیات موجودات زنده محسوب می‌شود و در بافت‌ها و مایعات بدن انسان و جانوران با مقادیر مشخصی وجود دارد (۳).

میانگین غلظت فلوراید در پوسته زمین حدود ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم است (۴). مقدار مصرف روزانه فلوراید به عواملی مانند ناحیه جغرافیایی و رژیم غذایی وابسته است. همچنین آلودگی هوا و استفاده از خمیر دندان‌های حاوی فلوراید نیز در افزایش مصرف فلوراید دخیل هستند (۵).

بر اساس تحقیقات و بررسی‌های متعدد انجام شده توسط مؤسسات علمی معتبر، اهمیت و ضرورت وجود فلوراید در آب آشامیدنی به عنوان یکی از عناصر ضروری برای رشد طبیعی ثابت شده است (۵). فلوراید به مختصر در اثر استنشاق هوا، استفاده از خمیر دندان، مصرف مایعات و مواد غذایی به داخل بدن وارد می‌شود و از آنجا که بیشترین نیاز بدن به فلوراید باید از طریق آب آشامیدنی تأمین شود، تأمین مقدار فلوراید در آب آشامیدنی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (۶).

بهداشت دهان و دندان یکی از شاخص‌های مهم بهداشت در جامعه می‌باشد و تا آنجا مورد توجه بوده که یکی از یازده شعار مهم قرن بیست و یک شناخته شده است (۷). پوسیدگی دندان از مهمترین مشکلات و ناراحتی‌هایی است که افراد در طول زندگی با آن مواجه می‌شوند و از متداول‌ترین بیماری‌های مزمن دوران کودکی است که مطابق با گزارش سازمان جهانی بهداشت

(WHO) ۲۵-۷۵٪ کودکان مدارس سراسر جهان به آن مبتلا شده و بیشترین شیوع آن در کشورهای آسیایی و آمریکای لاتین است (۸، ۹).

شاخص DMFT^۱ (دندان پوسیده، کشیده شده و پر شده) مهمترین شاخصی که برای میزان ابتلا به پوسیدگی دندان مورد استفاده قرار می‌گیرد و از ابتدای کلمات (Decayed) D دندان پوسیده، (Missing) M دندان کشیده شده و (Filled) F دندان پر شده) گرفته شده است. شاخص DMFT در یک جامعه از میانگین تعداد دندان‌های پوسیده، کشیده شده و پر شده تک تک افراد جامعه به دست می‌آید و چندین دهه است که در دندانپزشکی به دلیل استفاده‌ی آسان و سریع مورد استفاده قرار می‌گیرد (۸). این شاخص از سوی سازمان جهانی بهداشت به عنوان یک پارامتر مفید برای بررسی و ارزیابی سلامت دندان‌ها در جوامع گوناگون معرفی شده است که به عواملی نظیر فرهنگ، وضعیت اجتماعی اقتصادی، بهداشت، بافت اجتماعی و ژنتیک بستگی دارد (۱۰). یکی از عوامل مرتبط در کاهش پوسیدگی دندان و شاخص DMFT مقدار کافی فلئور آب آشامیدنی می‌باشد (۱۱). فلئور یکی از ۱۴ عنصر ضروری برای حیات جانوران است که در بافت‌ها و مایعات بدن انسانها و جانوران قابل سنجش می‌باشد. شواهد زیادی وجود دارد که نشان می‌دهد فلئور یک عنصر مهم برای سلامتی، تغذیه، رشد و باروری است و همچنین نقش مثبتی بر جلوگیری و یا کاهش پوسیدگی دندان‌ها داد (۱۲).

افزایش غلظت فلئور در بزاق دهان باعث محافظت دندان‌ها در برابر پوسیدگی می‌گردد که این امر نشان دهنده‌ی رابطه‌ای مثبت بین میزان فلئور دندان‌ها و کاهش پوسیدگی آنهاست (۱۳). با توجه به اینکه غلظت فلئور در آب آشامیدنی به دمای آب بستگی دارد، طبق استاندارد سازمان جهانی بهداشت (WHO^۲) حداکثر غلظت قابل قبول فلئور در آب آشامیدنی در دمای ۸-۱۲ درجه سانتی‌گراد به میزان ۱/۵ میلی‌گرم در لیتر و در دمای ۲۵-۳۰ درجه

1. Decayed Missing Filled Teeth
2. World Health Organization

و ۳۸ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۴۳ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۷ دقیقه عرض شمالی واقع شده است.

آب و هوای شهر مشهد براساس طبقه بندی کوپن در مقیاس ماکرو، خشک بوده که نشان دهنده بیشتر بودن تبخیر از بارندگی می باشد. براساس طبقه بندی فرعی اقلیم شهر مشهد تحت تاثیر شرایط آب و هوای استپی، یعنی حدفاصل خشک و مرطوب قرار می گیرد. از ویژگی های این نوع اقلیم می توان به زمستان های نسبتاً سرد و تابستان های گرم اشاره نمود. براساس طبقه بندی دومارتن اقلیم غالب منطقه، اقلیم خشک با ضریب خشکی ۱۰ تا ۲۰ و از نظر دما از تیپ سرد می باشد. دمای شهر مشهد از حالت یکنواختی برخوردار نمی باشد. متوسط دمای سالانه شهر مشهد (طی سال های ۱۳۶۸-۱۳۹۸) ۱۵/۵ درجه سانتی گراد است که نسبت به میانگین دمای کشور که ۱۸ درجه سانتی گراد بوده؛ کمتر است. میزان بارندگی در حوضه کشف رود از حدود ۲۰۰ میلیمتر در شمال شرق تا ۵۰۰ میلیمتر در ارتفاعات غربی متغیر است. اما در مجموع بخش وسیعی از حوضه، بارش سالانه ای کمتر از ۳۰۰ میلیمتر را دارد.

تجزیه و تحلیل داده ها

پژوهش حاضر یک مطالعه ای مقطعی-تحلیلی می باشد که بین دانش آموزان ۱۱ تا ۱۳ ساله ای شهر مشهد در سال تحصیلی ۱۴۰۰-۱۴۰۱ انجام گرفته است. حجم نمونه ۱۳۳۲ نفر بر اساس فرمول کوکران و خطای نسبی ۵٪ و ضریب اطمینان ۹۵٪ به دست آمد. روش نمونه گیری به صورت خوشه ای چند مرحله ای از مدارس مناطق مختلف شهر انجام شد که مدارس ابتدایی دوره دوم به عنوان خوشه ها در نظر گرفته شد و دانش آموزان به صورت تصادفی سیستماتیک انتخاب شدند. بعد از کسب رضایتنامه از والدین و مسئولین مربوطه معاینات دهان و دندان هر کدام از دانش آموزان انجام شد. دانش آموزان با بیماری های خاص دندانی و همچنین دانش آموزانی که همکاری نداشتند وارد مطالعه نشدند. برای معاینه هر دانش آموز از آینه ای یک بار مصرف، آبسلانگ و زیر نور طبیعی بر طبق معیارهای سازمان جهانی بهداشت معاینه انجام گرفت (۱۹).

سانتی گراد به میزان ۰/۷ میلی گرم در لیتر می باشد (۱۱). با توجه به اینکه آب آشامیدنی یکی از مهم ترین منابع جذب فلئوئور است تعیین فلئوئور و اثرات بالقوه ای آن بر سلامتی به ویژه سلامت دندان ها در بسیاری از کشورها مورد توجه قرار گرفته است (۱۴). از عوامل مرتبط دیگر در کنترل و جلوگیری از پوسیدگی دندان ها می توان به عادات غذایی (مصرف لبنیات، ماهی و گوشت)، عادات بهداشتی-رفتاری (استفاده از مسواک، نخ دندان، دهانشویه) اشاره کرد (۱۵).

به دلیل اینکه فلئوئور در دندان های بزرگسالان که رشد طبیعی خود را طی کرده اند ذخیره نمی گردد در نتیجه استفاده از آب آشامیدنی حاوی مقادیر کافی فلئوئور باید در سنین قبل از ۱۵ سالگی باشد (۱۶). مطالعات مختلف نشان داده اند که فلئوئور به میزان ۱ میلی گرم در لیتر باعث کاهش پوسیدگی دندان کودکان شده و شیوع پوسیدگی دندان در کودکانی که مصرف کننده ای آب با مقادیر بیش از ۰/۷ میلی گرم در لیتر فلئوئور بوده اند بطور معنی داری کمتر بوده است (۱۷، ۱۸).

یکی از اهداف سازمان جهانی بهداشت (WHO) و فدراسیون بین المللی دندانپزشکی (Federation dentaries' international) تا سال ۲۰۰۰ این بوده است که شاخص DMFT را در افراد ۱۲ ساله به ۳ یا کمتر برسانند و البته در حال حاضر توصیه ای WHO بر این است که شاخص DMFT در افراد ۱۲ ساله کمتر از ۱ گردد و براساس آن شاخص DMFT باید به طور دوره ای مورد بررسی قرار گیرد (۱۹). هدف از انجام این پژوهش تعیین ارتباط بین میزان فلوراید آب آشامیدنی و استفاده از نخ دندان با سلامت دهان و دندان دانش آموزان ۱۱ الی ۱۳ ساله در شهر مشهد است و با توجه به اینکه تاکنون مطالعه ای مشابهی در این شهر صورت نگرفته است انجام این پژوهش می تواند نتایج قابل توجهی در اختیار ما قرار دهد.

روش کار

ناحیه مورد مطالعه

شهر مشهد در موقعیت جغرافیایی ۵۹ درجه و ۲ دقیقه تا ۶۰ درجه

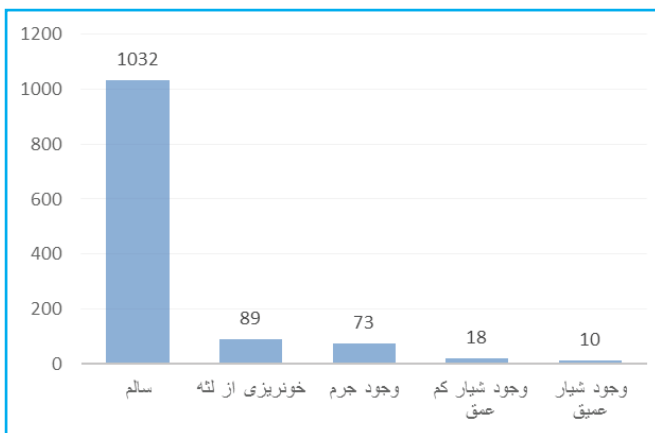
هفته، شکلات می‌خوردند. ۴۸٪ دانش‌آموزان هیچ بسته‌ی چیپسی در هفته مصرف نمی‌کردند و تنها ۳٪ از آن‌ها، ۷ عدد یا بالاتر در هفته، مصرف چیپس داشتند. ۴۰٪ آزمودنی‌ها، ۷ لیوان آب یا بیشتر در طول شبانه‌روز می‌نوشیدند و تنها ۷٪ از آزمودنی‌ها، ۶ استکان یا بیشتر در طول شبانه‌روز، چای می‌نوشیدند. بیشتر آزمودنی‌ها، ۲ استکان چای در طول شبانه‌روز مصرف می‌کردند.

بیشترین نوع آب مصرفی آشامیدنی خانوار ۷/۷۸٪ از آب تصفیه شده شهری و تنها ۱۱٪ از خانواده‌ها از آب لوله کشی شهری متصل به سیستم تصفیه خانگی جهت نوشیدن استفاده می‌کردند. همچنین هیچکدام از دانش‌آموزان از آب بسته بندی به عنوان آب غالب آشامیدنی استفاده نمی‌کردند.

از لحاظ مراجعه به دندانپزشکی، ۲۱٪ آزمودنی‌ها به دندانپزشک مراجعه کرده بودند و ۹۹/۵٪ دانش‌آموزان وارنیش فلوراید انجام دادند.

از لحاظ مسواک زدن، بیشتر آزمودنی‌ها از مسواک در طول شبانه‌روز استفاده می‌کردند و ۱۸٪ آن‌ها در طول شبانه‌روز از مسواک استفاده نمی‌کردند و ۳۵/۶٪ از آزمودنی‌ها از نخ دندان در شبانه‌روز استفاده می‌کردند و ۶۴/۴٪ آن‌ها در طول شبانه‌روز از نخ دندان استفاده نمی‌کردند.

مطابق نمودار ۱، درصد بالایی از لته‌های دانش‌آموزان، سالم است. خونریزی از لته در ۸۹ نفر و وجود جرم در لته در ۷۳ نفر از دانش‌آموزان مشاهده شد.



نمودار ۱. فراوانی دانش‌آموزان بر اساس وضعیت لته‌ها

به‌منظور نمونه‌برداری (با توجه به کتاب استاندارد متدهای آزمایش آب و فاضلاب)، از بطری‌های PET با حجم مشخص استفاده شد. تاریخ، ساعت، محل نمونه‌برداری و دمای آب در هنگام نمونه‌برداری به طور فوری به آزمایشگاه انتقال داده شد. نمونه برداری از تمام چاه‌های دستی، نیمه عمیق و عمیق و قنات‌های دشت مشهد که ۱۷۲ عدد بود انجام شد.

برای تعیین غلظت فلوراید در آب از روش SPANDS استفاده شد. این روش بر اساس واکنش زیرکونیوم با یون فلوراید انجام می‌شود که به تشکیل رنگ قرمز منجر می‌شود. شدت رنگ قرمز با غلظت یون فلوراید متناسب است و با استفاده از اسپکتروفتومتر ناحیه مرئی (با طول موج ۵۷۰ نانومتر) اندازه‌گیری می‌شود.

شناسایی نقاط نمونه‌برداری با استفاده از نقشه‌های سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان انجام شد و با توجه به طول و عرض جغرافیایی نقاط نمونه‌برداری در نقشه تعیین شد. برای توصیف تغییرات مکانی و زمانی در غلظت یون فلوراید، از نرم‌افزار ArcGIS نسخه ۱۰/۸ استفاده شد.

در این مطالعه، درون‌یابی با استفاده از روش وزن‌دهی معکوس فاصله (IDW) انجام شد. این روش بر اساس افت فاصله، تأثیر نقاط نمونه‌برداری بر نقاط مجهول را مدل‌سازی می‌کند. در نهایت، غلظت یون فلوراید در نقاط اندازه‌گیری نشده با استفاده از این مدل پیش‌بینی شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۰ و با استفاده از آزمون‌های آماری t و ANOVA و همبستگی پیرسون و مدل رگرسیون با سطح معنی داری ۵٪ انجام شد.

یافته‌ها

این پژوهش در سال ۱۴۰۰ در شهر مشهد انجام شد. تعداد ۱۲۳۲ دانش‌آموز و ۱۱۰ نمونه‌ی آب مورد بررسی قرار گرفتند. ۵۰٪ از آزمودنی‌ها، دختر و ۵۰٪ آن‌ها پسر بودند.

در مطالعه حاضر نزدیک به ۴۰٪ دانش‌آموزان هیچ شکلاتی مصرف نمی‌کردند و فقط ۲/۲٪ آن‌ها تعداد ۱۱ عدد یا بیشتر در

برای بررسی ارتباط بین متغیرهای پژوهش و شاخص DMFT از آزمون‌های ANOVA، t، و همبستگی پیرسون استفاده شد. اما برای بررسی دقیق‌تر داده‌ها از مدل رگرسیون تک متغیره و چندگانه استفاده شد و در خروجی مدل رگرسیون تک متغیره، هر متغیری که $P\text{-value} < 0/1$ داشت وارد مدل رگرسیون چندگانه گردید.

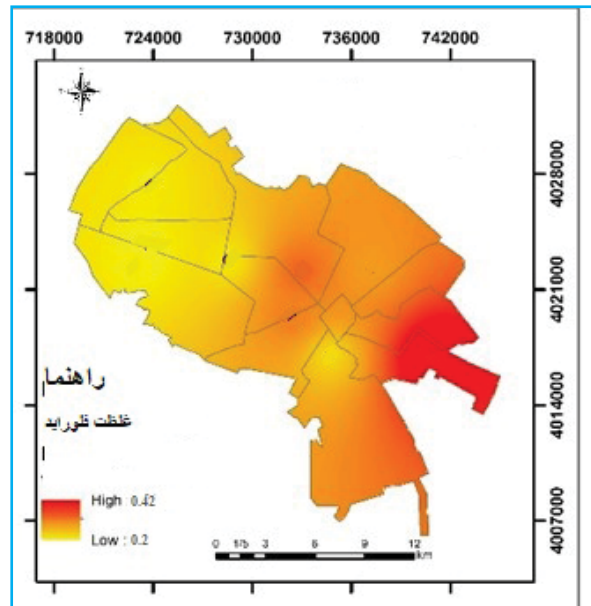
مطابق نتایج خروجی از مدل رگرسیون چندگانه، مقدار فلئور آب آشامیدنی، استفاده از نخ دندان و مقدار مصرف آب آشامیدنی در شبانه روز با شاخص DMFT رابطه‌ی معنی داری داشت ($P\text{-value} < 0/05$).

همچنین برای ارتباط سنجی شاخص نیازهای درمانی پریودنتال (CPITN¹) با متغیرهای مطالعه نیز از مدل آنالیز رگرسیون تک متغیره و چندگانه استفاده شد. متغیرهایی که در خروجی مدل تک متغیره $P\text{-value} < 0/1$ داشتند وارد مدل رگرسیون چندگانه شدند. خروجی، نشان‌دهنده‌ی این بود که شاخص CPITN با استفاده از مسواک، رابطه معنی داری دارد و با دیگر متغیرها رابطه‌ای نداشت.

بحث

مطابق با استاندارد ملی آب ایران، میزان $0/5 - 1/5$ میلی گرم بر لیتر فلئور در آب آشامیدنی به عنوان معیار استاندارد آب در نظر گرفته شده است. همچنین مقدار مطلوب فلوراید در آب آشامیدنی توسط سازمان جهانی بهداشت $1/5$ میلی گرم بر لیتر پیشنهاد شده است (۲۰). مطابق با یافته‌های مطالعه حاضر، میانگین غلظت سالیانه فلوراید آب آشامیدنی $0/30 \pm 0/38$ میلی گرم بر لیتر زیر محدوده استاندارد ملی ایران قرار داشت و از استاندارد پیشنهاد شده توسط سازمان جهانی بهداشت نیز فراتر نرفته است. در فصول گرم سال نسبت به فصول سرد، افراد از آب آشامیدنی بیشتری استفاده می‌کنند. بنابراین حتی با فرض ثابت بودن غلظت فلوراید در آب آشامیدنی، مقدار فلوراید دریافتی توسط افراد در فصول گرم سال افزایش می‌یابد

همچنین میانگین و انحراف معیار پارامترهای آب آشامیدنی در شهر مشهد مطابق جدول ۱ و تغییرات مکانی فلوراید آب آشامیدنی دشت مشهد در سال ۱۴۰۰ مطابق شکل ۱ بدست آمد.



شکل ۱. تغییرات مکانی فلوراید آب آشامیدنی دشت مشهد در سال ۱۴۰۰

جدول ۱. غلظت پارامترهای آب در شهر مشهد

واحد	انحراف معیار	میانگین	تعداد	
	۰,۲۴	۷/۹۰	۱۷۰	PH
N.T.U	۱۶,۷۷	۲/۸۸	۱۷۰	کدورت
CaCO ₃ mg/L	۲۰۰/۰۷	۳۷۷/۴۷	۱۷۰	سختی کل
CaCO ₃ mg/L	۷۷/۵۸	۲۲۶/۳۷	۱۷۰	قلیائیت کل
mg/L	۱۷۸/۴۲	۱۳۸/۳۶	۱۷۰	کلر
mg/L	۱۶/۰۹	۲۱/۸۳	۱۷۰	نیترات
mg/L	۰/۳۰	۰/۳۸	۱۷۰	فلورید
mg/L	۲/۰۱	۰/۲۵	۱۷۰	کربنات
mg/L	۹۵/۱۵	۲۷۵/۷۵	۱۷۰	بی کربنات
mg/L	۱۹۹/۹۳	۲۴۷/۰۰	۱۷۰	سولفات
mg/L	۱۴۴/۹۵	۱۵۴/۷۸	۱۷۰	سدیم
mg/L	۱/۷۹	۱/۹۷	۱۷۰	پتاسیم
mg/L	۴۲/۲۳	۷۶/۳۴	۱۷۰	کلسیم
mg/L	۲۷/۲۵	۴۵/۳	۱۷۰	منیزیم

1. Community Periodontal Index of Treatment Needs

در مطالعه رسول‌وندی و همکاران میزان فلوراید در تمام نقاط شهر ساوه در حدود مجاز گزارش شد. همچنین جهت تخمین شرایط کل منطقه از روش درون‌یابی معکوس استفاده شده است (۲۱). نتایج مطالعات فوق با مطالعه حاضر همخوانی ندارد. یوسفی و همکاران در مطالعه‌ای به بررسی میزان فلوراید در منابع تامین آب آشامیدنی گنبد کاووس در سالهای ۱۳۸۷-۱۳۹۱ پرداختند. نتایج حاصل از مطالعه آنان نشان داد که مقدار فلوراید در ماه‌های سرد سال در محدوده ۰/۳۲-۰/۵۴ میلی‌گرم بر لیتر و در ماه‌های گرم سال در محدوده ۰/۳۲-۰/۵۲ میلی‌گرم بر لیتر متغیر بود و در تمامی موارد مانند مطالعه حاضر کمتر از مقدار استانداردها نتیجه‌گیری شد (۲۲).

یافته‌های این تحقیق نشان داد که شاخص DMFT در بین دانش‌آموزان ۱۱-۱۳ ساله ۰/۸۹ می‌باشد که میانگین DMFT در این تحقیق کمتر از میانگین DMFT در اردبیل که برابر ۱/۶۰ گزارش گردید، میباشد. که غیرهمسو با نتایج مطالعه‌ی حاضر است و این تفاوت احتمالاً به دلیل تفاوت بازه‌ی سنی دانش‌آموزان در دو مطالعه و استفاده از دندانپزشک برای معاینه‌ی دندان‌ها می‌باشد که برابر ۴/۳ م می‌باشد، بود (۲۳).

در این مطالعه بین دانش‌آموزان دختر و پسر از نظر میانگین DMFT رابطه‌ی معنی‌داری برقرار نبود ($P\text{-value} > 0/05$) که با مطالعه‌ی ساراوانان که روی کودکان ۵-۱۰ ساله در هند انجام داد و نشان داد که دختران DMFT بالاتری دارند (۲۴) و تحقیق پونتیکو و لویولا که DMFT دختران بالاتر بود مطابقت ندارد (۲۵) و شاید علت آن عدم مطابقت گروه‌های سنی با این پژوهش دانست.

در این مطالعه بین استفاده از نخ دندان و شاخص DMFT رابطه‌ی معنی‌داری برقرار بود و دانش‌آموزانی که از نخ دندان در شبانه‌روز استفاده می‌کردند، شاخص DMFT کمتری داشتند که مشابه مطالعه انجام شده در دانشکده دندانپزشکی اصفهان بود (۲۶) و غیرهمسو با مطالعه انجام شده در قزوین که بین استفاده از نخ دندان و شاخص DMFT رابطه معنی‌داری وجود نداشت و شاید دلیل آن تعداد کمتر نمونه‌ها در مقایسه با مطالعه‌ی حاضر و درصد

پایین‌تر دانش‌آموزان استفاده‌کننده از نخ دندان (۱۰٪) در مقایسه با ۳۵٪ این مطالعه می‌باشد (۲۷).

در این مطالعه بین مراجعه به دندانپزشک و تعداد استفاده از مسواک در شبانه‌روز و شاخص DMFT رابطه‌ی معنی‌داری وجود نداشت که با مطالعه‌ی ایسمایل و سوهن که نشان دادند کودکانی که مرتب به دندانپزشکی مراجعه می‌کنند پوسیدگی کمتری دارند مطابقت نداشت (۲۸).

در این مطالعه مقدار استفاده از آب آشامیدنی در شبانه‌روز رابطه‌ی معکوس و معنی‌داری با شاخص DMFT داشت؛ یعنی هرچه مقدار استفاده از آب آشامیدنی در شبانه‌روز، بیشتر شود شاخص DMFT کمتر می‌شود ولی جستجوی منابع مکتوب که چنین ادعایی را حمایت کند، یافت نشد. ممکن است این نتیجه به دلیل مقدار فلئور و کلسیم دریافتی به ازای مصرف مقادیر بیشتر آب آشامیدنی باشد. به بیان دیگر هرچه آب آشامیدنی بیشتری مصرف شود، مقدار فلئور و کلسیم بیشتری وارد بدن و جذب دندان‌ها شده که باعث کاهش پوسیدگی دندان و در نتیجه کاهش DMFT شده باشد. ممکن است این نتیجه اتفاقی به دست آمده باشد که مطالعات بیشتری جهت اثبات وجود چنین رابطه‌ای بین مقدار آب مصرفی روزانه و شاخص DMFT لازم است. ممکن است عوامل دیگری وجود دارند که با هر دو متغیر شاخص DMFT و مقدار مصرف آب ارتباط دارند اما در مطالعه آورده نشده است، مثلاً یک پارامتر مثل استفاده از داروی خاص، زندگی در شرایط نامتعارف و یا پارامتر فرهنگی که با هر دو متغیر شاخص DMFT و مقدار مصرف آب مرتبط بوده‌اند اما در مطالعه لحاظ نشدند و باعث حصول این نتیجه شده‌اند. به هر حال به نظر می‌رسد برای بررسی چینی‌شواهدی نیاز به انجام مطالعات بیشتر باشد.

در مطالعه‌ی انجام شده در شهر قم که به منظور بررسی میزان دسترسی به خدمات بهداشت دهان و دندان و رابطه‌ی آن با سلامت دهان و دندان دانش‌آموزان ۶-۷ ساله انجام شد، نتایج نشان داد که بین شاخص DMFT و وضعیت اقتصادی خانواده رابطه‌ی معنی‌داری وجود دارد اما در مطالعه‌ی ما این رابطه وجود نداشت و

مطالعه حاضر، میانگین غلظت سالیانه فلوراید آب آشامیدنی $0/30 \pm 0/38$ میلی‌گرم بر لیتر زیر محدوده استاندارد ملی ایران قرار داشت و از استاندارد پیشنهاد شده توسط سازمان جهانی بهداشت نیز فراتر نرفته است. وضعیت سلامت دهان و دندان در دانش‌آموزان ۱۱ - ۱۳ ساله شهر مشهد مطلوب می‌باشد. میانگین شاخص DMFT در این مطالعه $0/91$ بدست آمد و $97/6\%$ دانش‌آموزان با توجه به شاخص CPITN، دارای لثه‌های سالم می‌باشند.

تشکر و قدردانی

این طرح با حمایت معاونت محترم پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی مشهد با شماره طرح ۴۰۲۰۹۳۶ انجام شد که بدین وسیله از آن معاونت تشکر و قدردانی می‌شود.

احتمالا دلیل آن بررسی ارزیابی سلامت دهان در هر دو منطقه شهر و روستا بود که باعث این تفاوت شده است اما در مطالعه‌ی حاضر آزمودنی‌ها فقط از منطقه‌ی شهری انتخاب شدند (۲۹).

از نقاط قوت مطالعه‌ی حاضر، برابر بودن تعداد دو جنس دختر و پسر شرکت کننده در طرح، بررسی فاکتورهای مختلف تاثیرگذار بر شاخص DMFT به جای بررسی فقط یک فاکتور، تعیین سن ۱۱-۱۳ سالگی به دلیل رویش آخرین دندان‌های دائمی و از محدودیت‌های پژوهش، می‌توان به مقطعی بودن مطالعه و استفاده از کاردن بهداشت دهان و دندان برای معاینه‌ی دندان‌ها و لثه‌ها به جای استفاده از دندانپزشک اشاره نمود.

نتیجه گیری

به طور کلی نتایج مطالعه‌ی حاضر نشان داد که مطابق با یافته‌های

References

1. Yousefi Z, Mohammadpour Tahmtan RA, Kazemi F. Temporal and Spatial Variation of Fluoride, Nitrate and Nitrite Concentrations in Drinking Water in Ilam Using Geographic Information System. Journal of Mazandaran University of Medical Sciences. 2016;25(134):69-80.
2. Zamand S, Alidadi H, Taghavimanesh V. Investigation the amount of Fluoride in drinking water sources in urban and rural areas of Neyshabur in 2017. Journal of Research in Environmental Health. 2018;4(2):146-53.
3. Edition F. Guidelines for drinking-water quality. WHO chronicle. 2011;38(4):104-8.
4. Fawell J, Bailey K, Chilton J, Dahi E, Magara Y. Fluoride in drinking-water: IWA publishing; 2006.
5. Azimi AA. 2.2 Determination of Fluoride Concentration in Tehran Surface Water Resources. Sustainability of Water Resources. 2004:49.
6. Almodaresi SA, Jafari SJ, Hosseinzadeh E, Miri M, Taghavi M, Khosravi R, et al. Investigation of fluoride concentration in rural drinking water resources of bardaskan county using geographic information system (GIS) in 2014. Journal of Torbat Heydariyeh University of Medical Sciences. 2016;3(4):32-41.
7. Mansouri B, Pashaei T, Ali-Hossaeni M, Habibi Y, GHaribi F, Alipour E, et al. Survey of DMFT status in elementary school students in Sanandaj City In 2014. Zanko Journal of Medical Sciences. 2015;15(47):30-7.
8. Dehghani M, Omrani R, Hashemi H. Determining the Rate of Decay, Missing or Filled Teeth in Students Aged 7 to 11 Years in Shiraz, Iran, and its Association with Amount of Fluoride in Drinking Water. Journal of Health System Research. 2013;9(5):495-504.
9. Alimorad A, Madani A, Radafshar Z, Zarei F. Study of DMFT index among primary school students (7-12 years old) in Bandar Abbas city. Journal of preventive medicine. 2015;2(1):21-8.
10. NASEHINIA HR, Naseri S. A survey of fluoride dosage in drinking water and DMF index in Damghan city. 2004.
11. Kheirkhah Rahimabad K, Hasani AH, Saeedi R, Kheirkhah Zarkesh MM, Sayadi M. Evaluation and Assessment of Fluoride in Drinking Water Wells Damavand Villages Zoning in GIS According to DMF Index. Journal of Environmental Health Engineering. 2016;3(4):287-97.
12. Kamyab N, Khajeh Hosseini S, Mobini M. Survey of fluoride concentration in drinking water in rural areas of rafsanzan from april to septamer 2015: A short report. Journal of Rafsanjan University of Medical Sciences. 2016;15(7):675-82.
13. Bischoff J, Van der Merwe E, Retief D, Barbakow F, Cleaton-Jones P. Relationship between fluoride concentration in enamel, DMFT index, and degree of fluorosis in a community residing in an area with a high level of fluoride. Journal of Dental Research. 1976;55(1):37-42.
14. Dobaradaran S, Mahvi AH, Dehdashti S, Abadi DRV, Tehran I. Drinking water fluoride and child dental caries in Dashtestan, Iran. Fluoride. 2008;41(3):220-6.
15. Mazloomi Mahmoodabad S, Roohani Tanekaboni N. Survey of some related factors to oral health in high school female students in Yazd, on the basis of health behavior

- model (HBM). Journal of Birjand university of medical sciences. 2008;15(3):40-7.
16. Shidfar F, Aghilinejad M, Ameri A, Motavalian S, Radfar A, Hoseini S. Determination of DMF index among workers of industrial city of Ilam-Iran and it's relation with Fluoride content of potable water. Iran Occupational Health. 2007;4(3):64-8.
 17. Ekanayake L, van der Hoek W. Dental caries and developmental defects of enamel in relation to fluoride levels in drinking water in an arid area of Sri Lanka. Caries research. 2002;36(6):398-404.
 18. Mahvi A, Zazoli M, Younecian M, Nicpour B, Babapour A. Survey of fluoride concentration in drinking water sources and prevalence of DMFT in the 12 years old students in Behshar City. J Med sci. 2006;6(4):658-61.
 19. Organization WH. Oral health surveys: basic methods: World Health Organization; 2013.
 20. Damaneh M, Joulaei J, Alidadi F, Peiravi H. R. Evaluation of Interpolation Methods: to Determine Spatial Variations of Groundwater Qualitative Parameters (Case study: Gonabad Plain). Iranian Journal of Research in Environmental Health Fall. 2015;1(3):165-76.
 21. Azarpira H, Rasolevandi T, Aali R, Mahvi A, Ghorbanpour MA, Moradi H, et al. Investigation of nitrate and nitrite concentration and other physicochemical parameters of drinking water sources in Saveh city during the year of 2018. Journal of Research in environmental health. 2018;4(2):140-5.
 22. Yousefii Z, Hanafi B. Fluoride level in drinking water supplies of Gonbad-e Qabus, 2008-2012. Journal of Mazandaran University of Medical Sciences. 2013;23(101):112-6.
 23. Asdagh S, Nuroloyuni S, Amani F, SadeghiMazidi T. Dental caries prevalence among 6-12 years old school children in Ardabil city, 2012. Journal of Ardabil University of Medical Sciences. 2015;15(1):39-45.
 24. Saravanan S, Kalyani V, Vijayarani M, Jayakodi P, Felix J, Arunmozhi P, et al. Caries prevalence and treatment needs of rural school children in Chidambaram Taluk, Tamil Nadu, South India. Indian Journal of Dental Research. 2008;19(3):186-90.
 25. Pontigo-Loyola AP, Medina-Solis CE, Borges-Yañez SA, Patiño-Marín N, Islas-Márquez A, Maupome G. Prevalence and severity of dental caries in adolescents aged 12 and 15 living in communities with various fluoride concentrations. Journal of Public Health Dentistry. 2007;67(1):8-13.
 26. Deyhimi P, Eslamipour F, Naseri HA. DMFT and the effect of dental education on orodental health of dental students in Isfahan School of Dentistry. Journal of Isfahan Dental School. 2011;6(4):384-9.
 27. Mehralian AR, Hosseinkhani Z, Padisar P, PoorSamimi J, Asefzadeh S, Pakpour A. Oral health status and oral selfcare behaviors among children aged 5-6 and 12 years in Qazvin Province (2013). J Qazvin Univ Med Sci. 2017;20(6):28-35.
 28. Ismail AI, Sohn W. The impact of universal access to dental care on disparities in caries experience in children. The Journal of the American Dental Association. 2001;132(3):295-303.
 29. Arsang Jang S, Amani F, Jafari Koshki T, Mozafariyanpour E, Jafari Kaffash K, Sajadimanesh M, et al. The level of availability and use of oral and dental health services in 6-7 years old children, Qom, Iran. Qom University of Medical Sciences Journal 2015;9(4):55-63.

Investigating the effect of the outbreak of COVID-19 on the waste produced in hospitals of Mashhad University of Medical Sciences

Mojtaba Davoudi

* Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Mashhad University of Medical Sciences, Mashhad, Iran. (corresponding author):

Davoudimj@mums.ac.ir
Social Determinants of Health Research Center, Mashhad University of Medical Sciences, Mashhad, Iran

Zohreh Vojoudi

Environmental Health Engineering Group, Ibn Sina Hospital, Mashhad University of Medical Sciences, Mashhad, Iran

Tayybe Jafarian

Social Working Group, Shahid Kamyab Hospital, Mashhad University of Medical Sciences, Mashhad, Iran

Akram Robat Jezi

Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Mashhad University of Medical Sciences, Mashhad, Iran. (corresponding author) Davoudimj@mums.ac.ir

Zainab Fuladi

Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Mashhad University of Medical Sciences, Mashhad, Iran. (corresponding author) Davoudimj@mums.ac.ir

Maryam Jafarian

Department of Environmental Health Engineering, Shahid Kamyab Hospital, Mashhad University of Medical Sciences, Mashhad, Iran

Sima Nourbakhsh

Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Mashhad University of Medical Sciences, Mashhad, Iran. (corresponding author) Davoudimj@mums.ac.ir

Received: 2023/05/14

Accepted: 2023/12/12

Document Type: Research article

Doi:10.22038/jreh.2023.70868.1592

ABSTRACT

Background and Purpose: Increased waste production during patient treatment emerges as a serious issue following infectious disease outbreaks. The current study aimed to investigate the effect of the COVID-19 outbreak on medical waste production in Mashhad, Iran.

Materials and Methods: In this study, 4 referral (R) and 2 non-referral (NR) hospitals were examined. The quantity and quality of waste produced before (2018-2019) and during COVID-19 (2019-2020) were extracted from hospital records and noted in standard medical waste management checklists. Also, the number of hospital visits due to COVID-19 was determined and entered into the study by referring to the Treatment Deputy of Mashhad University of Medical Sciences.

Results: The results showed that the mean waste production was 449.50 ± 49.45 kg/day and 436.04 ± 107.55 kg/day in 2018-2019 (before COVID-19) and 2019-2020 (during the outbreak) in R_1 , respectively, 3000.26 ± 227.46 kg/day and 3279.72 ± 153.00 in R_2 , 544.53 ± 107.10 kg/day and 666.32 ± 156.68 in R_3 , and 476.72 ± 15.96 kg/day and 635.41 ± 54.88 kg/day in R_4 . Also, the mean waste production was 219.6 ± 36.90 and 199.06 ± 49.58 kg/day in NR_1 and 112.1 ± 29.55 kg/day and 108.8 ± 59.1 kg/day in NR_2 before and during COVID-19, respectively. Field surveys showed that despite the increased amount of waste production, all waste management stages, such as collection, transfer, and disposal, are being implemented in accordance with the guidelines.

Conclusion: The results of this study showed that the medical waste production rate is related to the prevalence of diseases. Considering the importance of medical waste management, it requires careful and correct application of national and international guidelines.

Keywords: Healthcare waste, pandemic, COVID-19, waste management

► **Citation:** Davoudi M, Vojoudi Z, Jafarian T, Robat Jezi A, Fuladi Z, Jafarian M, Nourbakhsh S. Investigating the effect of the outbreak of COVID-19 on the waste produced in hospitals of Mashhad University of Medical Sciences. *Iranian Journal of Research in Environmental Health*. Autumn 2023; 9(3): 299-308.

بررسی اثر شیوع بیماری Covid-19 بر پسماند تولید شده در بیمارستان‌های تحت پوشش دانشگاه علوم پزشکی مشهد

چکیده

زمینه و هدف: یکی از مسائل مطرح به دنبال شیوع بیماری‌ها، پسماند تولید شده در طی فرایندهای درمانی است. هدف از این مطالعه بررسی اثر شیوع بیماری Covid-19 بر پسماند پزشکی تولید شده در شهر مشهد است.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه ۴ بیمارستان رفرال و ۲ بیمارستان غیر رفرال مورد مطالعه قرار گرفتند. با استفاده از اطلاعات ثبت شده و استفاده از چک لیست‌های استاندارد مدیریت پسماندهای پزشکی، کمیت و کیفیت پسماند تولیدی پیش از شیوع بیماری کرونا (۱۳۹۸) و در دوران همه‌گیری (۱۳۹۹) مورد ارزیابی و تحلیل قرار گرفت. همچنین با مراجعه به معاونت درمان دانشگاه علوم پزشکی مشهد، آمار مرتبط با تعدادمراجعه کنندگان به بیمارستان‌های پذیرش‌کننده بیماران مبتلا به بیماری کرونا در سال ۱۳۹۹، استخراج، دسته بندی و وارد مطالعه گردید.

یافته‌ها: نتایج مطالعه نشان داد میزان تولید کل پسماند به ترتیب در سال ۱۳۹۸ (قبل از شیوع بیماری کرونا) و در سال ۱۳۹۹ (حین شیوع بیماری کرونا) در بیمارستان رفرال R_1 برابر با $449/50 \pm 49/45$ kg/day و $107/55 \pm 107/55$ kg/day در بیمارستان رفرال R_2 برابر با $436/04 \pm 436/04$ kg/day و $3279/72$ در بیمارستان رفرال R_3 برابر با $107/10 \pm 107/10$ kg/day و $544/53 \pm 544/53$ kg/day در بیمارستان رفرال R_4 برابر با $15/96 \pm 15/96$ kg/day و $476/72 \pm 476/72$ kg/day بود. همچنین میزان تولید کل پسماند در بیمارستان‌های غیر رفرال NR_1 به ترتیب برابر با $219/6 \pm 219/6$ kg/day و $49/58 \pm 49/58$ kg/day و $108/8 \pm 108/8$ kg/day در بیمارستان غیر رفرال NR_2 به ترتیب برابر با $29/55 \pm 29/55$ kg/day و $112/1 \pm 112/1$ kg/day بود. بررسی‌های میدانی نشان داد علی‌رغم افزایش میزان پسماند تولیدی تمام مراحل مدیریت پسماند از قبیل جمع‌آوری، انتقال، بی‌خطرسازی مطابق با دستورالعمل‌ها در حال اجرا می‌باشد.

نتیجه‌گیری: نتایج این مطالعه نشان داد نرخ تولید پسماند پزشکی با شیوع بیماری‌ها مرتبط است. با توجه به اهمیت مدیریت پسماندهای پزشکی در مقابل اثرات نامناسب آن‌نیز توجه و به‌کارگیری دقیق و صحیح دستورالعمل‌های ملی و بین‌المللی می‌باشد.

کلید واژه‌ها: پسماند بیمارستانی، پاندمی، بیماری کرونا، مدیریت پسماند

مجتبی داودی

* گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، مشهد، ایران. (نویسنده مسئول):

davoudimj@mums.ac.ir

مرکز تحقیقات عوامل اجتماعی مؤثر بر سلامت، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، مشهد، ایران.

زهره وجودی

گروه مهندسی بهداشت محیط، بیمارستان ابن سینا، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، مشهد، ایران.

طیبه جعفریان

گروه مددکار اجتماعی، بیمارستان شهید کامیاب، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، مشهد، ایران.

اکرم رباط جزی

گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، مشهد، ایران.

زینب فولادی

گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، مشهد، ایران.

مریم جعفریان

گروه مهندسی بهداشت محیط، بیمارستان شهید کامیاب، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، مشهد، ایران.

سیما نوربخش

گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، مشهد، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۲۱

نوع مقاله: پژوهشی

◀ **استناد:** داودی م، وجودی ز، جعفریان ط، رباط جزی ا، فولادی ز، جعفریان م، نوربخش س. بررسی اثر شیوع بیماری Covid-19 بر پسماند تولید شده در بیمارستان‌های تحت پوشش دانشگاه علوم پزشکی مشهد. فصلنامه پژوهش در بهداشت محیط. پاییز ۱۴۰۲؛ ۹(۳): ۲۹۹-۳۰۸.

بیماری کرونا (Covid-19)، ناشی از ویروس SARS-CoV-2 برای نخستین بار در دسامبر سال ۲۰۱۹ میلادی در شهر ووهان کشور چین مشاهده و از طریق انتقال فرد به فرد شیوع پیدا کرد. این ویروس نوظهور بیش از ۲۱۳ کشور را تحت تاثیر خود قرار داد و بیش از ۳ میلیون نفر در جهان به این بیماری مبتلا شدند و همچنان ابتلا به این بیماری در حال رخ دادن است (۱). افزایش سریع موارد ابتلا به کرونا ویروس شرایطی بحرانی بر جهان حاکم گرداند و به دنبال آن سازمان جهانی بهداشت در ماه مارچ سال ۲۰۲۰ میلادی پاندمی بیماری کرونا را اعلام نمود. گسترش سریع و سرعت سرایت بالای این بیماری منجر به بستری شدن تعداد بسیار زیادی از افراد در بیمارستان‌ها گردید. به دنبال افزایش مراجعه بیماران به مراکز درمانی، میزان تولید پسماندهای پزشکی نیز افزایش پیدا کرد (۲-۴). تمام کشورها در سراسر جهان روش‌های متنوع پیشگیرانه‌ای از جمله فاصله گذاری اجتماعی، گندزدایی سطوح، شستشوی دستها، استفاده از ماسک و تعطیلی موقت مراکز عمومی را برای جلوگیری از شیوع و گسترش این بیماری اتخاذ نمودند (۵-۷). به دنبال شیوع هر بیماری نرخ تولید پسماندهای پزشکی نیز افزایش می‌یابد (۴ و ۵). مطالعات متعددی در خصوص اثر گذاری پاندمی کرونا بر افزایش تولید پسماندهای پزشکی صورت پذیرفته است (۵، ۸ و ۹). پس از پسماندهای رادیواکتیو، پسماندهای پزشکی جزو خطرناکترین پسماندها در سراسر جهان شناخته می‌شوند (۳). پسماندهای تولیدی در طی دوران همه گیری بیماری کرونا می‌تواند بر شرایط بهداشتی، اقتصادی و محیط زیستی جوامع اثرگذار باشد (۳ و ۱۰ و ۱۱). اگرچه کشورها در طی پاندمی کرونا شاهد افزایش چشمگیری در تولید پسماندهای پزشکی خود بودند اما مشاهدات بیانگر مشابهت درصد ترکیب پسماندهای پزشکی تولیدی در طی پاندمی کرونا با شرایط عادی پیش از کرونا می‌باشد (۳ و ۱۲). استفاده کادر درمان و عموم مردم از وسایل حفاظت فردی از قبیل ماسک، دستکش و شیلد به منظور جلوگیری از انتقال بیماری و همچنین افزایش آمار بستری شدگان

در بیمارستان‌ها منجر به ایجاد یک زنگ هشدار در راستای افزایش نرخ تولید پسماندهای پزشکی گردیده است (۴ و ۵). در کشور چین با شروع بیماری کرونا روزانه بیش از ۴۵۰ تن پسماند پزشکی تولید شده است. در کشور اندونزی نیز طی ۶۰ روز بالغ بر ۱۲۵۰۰ تن پسماند پزشکی تولید گردید (۵). مطابق با دستورالعمل مرکز پیشگیری و کنترل بیماری‌ها^۱ پسماندهای تولیدشده ناشی از بیماران Covid-19 همانند سایر پسماندهای عفونی بی‌خطر سازی شده و نیاز به انجام عملیات‌های تکمیلی تر ندارد. در تمام روش‌های مدیریت پسماند، همانند دوران پیش از همه گیری بیماری کرونا، در این مقطع زمانی نیز پسماندهای پزشکی نیازمند جمع آوری، برچسب گذاری، انتقال، بی‌خطر سازی و دفع نهایی هستند (۳ و ۱۳) روش دفع پسماندهای پزشکی در دوران بیماری کرونا به بیمارستان و تجهیزات موجود جهت مدیریت و بی‌خطر سازی پسماند بستگی دارد. استفاده از فرایندهای بی‌خطر سازی از قبیل اتوکلاو کردن و یا استفاده از پرتو دهی قبل از انتقال پسماند به لندفیل‌ها توصیه شده است. برخی بیمارستان‌ها نیز از زباله سوزها جهت بی‌خطر سازی پسماندهای خود بهره می‌برند. مدیریت پسماندهای پزشکی در کشور فیلیپین به پیروی از یک استراتژی مشخص و از پیش تعیین شده بود. این فرایند شامل نامه درخواست رسمی، دارا بودن مجوز جمع آوری بی‌خطر سازی و دفع پسماند، دارا بودن برنامه مدون و مشخص جهت مدیریت پسماند و یک قرار داد بین مراکز تولید کننده پسماند، انتقال دهنده پسماند و کارکنان بخش بی‌خطر سازی پسماند بود. ماشین‌های حمل پسماند نیز موظف به رعایت استانداردهای تعیین شده قابل رویت از فاصله ۱۵ متری نصب شده بر بدنه وسیله نقلیه خود از قبیل اطلاعات انتقال دهنده، نوع پسماند، و شماره ثبت پسماند بودند. در کشور اردن مدیریت پسماندهای بیمارستانی بر سه اصل دنبال می‌شد: کاهش تولید پسماندهای غیر ضروری در مراکز درمانی، جداسازی پسماندهای عادی از پسماندهای خطرناک و فراهم

1. Centers for Disease Control and Prevention

غیر رفرا ل جهت ورود به مطالعه انتخاب شدند. با استفاده از مطالعات مختلف، بررسی‌های میدانی و استفاده از اطلاعات ثبت شده کمیت و کیفیت پسماند تولیدی در طی سال‌های ۱۳۹۸ (قبل از همه‌گیری بیماری Covid-19) و سال ۱۳۹۹ (در دوران همه‌گیری بیماری Covid-19) جمع‌آوری، کد گذاری و دسته‌بندی گردید. مشخصات عمومی بیمارستان‌های مورد مطالعه در جدول شماره ۱ بیان شده است.

جدول ۱. مشخصات عمومی بیمارستان‌های مورد مطالعه

بیمارستان	بیمارستان رفرا ل کرونا	نوع بیمارستان	تعداد تخت مصوب	تعداد تخت فعال
R ₁	بله	تک تخصصی (قلب و عروق)	۱۶۰	۱۶۰
R ₂	بله	عمومی	۹۳۸	۹۳۸
R ₃	بله	تک تخصصی (اطفال)	۲۵۰	۱۹۰
R ₄	بله	تک تخصصی (سوانح و حوادث)	۲۲۰	۱۷۵
NR ₁	خیر	تک تخصصی (چشم)	۷۳	۶۹
NR ₂	خیر	تک تخصصی (پیوند اعضا)	۶۶	۳۷

چک لیست

در بازدید میدانی با استفاده از چک لیست مورد تایید وزارت بهداشت درمان و آموزش پزشکی، جهت ارزیابی مدیریت پسماند بیمارستانی، به بررسی رعایت استانداردها پرداخته شد. چک لیست شامل مشخصات عمومی بیمارستان‌های مورد مطالعه، بررسی بیمارستان‌ها در ارتباط با دارا بودن جایگاه نگهداری موقت پسماند، جمع‌آوری تفکیک شده انواع پسماند از مبدا تولید در بیمارستان، رعایت قوانین رنگ بندی و برچسب گذاری پسماندهای تولیدی و همچنین استفاده از روش‌های بی‌خطر سازی پسماند عفونی بود. همچنین با مراجعه به معاونت درمان دانشگاه علوم پزشکی مشهد، آمار مربوط به افراد دارای علائم بیماری، مراجعه کننده به بیمارستان‌های مورد مطالعه در سال ۱۳۹۹ استخراج و دسته بندی شد.

کردن تجهیزات و فرایندهای بی‌خطر سازی برای کاهش خطرهای احتمالی برای پرسنل و عموم مردم (۳). شهر مشهد با جمعیت بالغ بر ۳ میلیون نفر یکی از کلانشهرهای کشور و قطب پزشکی شمال شرق و شرق کشور محسوب می‌گردد. دانشگاه علوم پزشکی مشهد با دارا بودن ۱۵ بیمارستان تک تخصصی، چند تخصصی و عمومی به ارائه خدمات درمانی به زائران و مجاوران می‌پردازد. به دنبال گسترش Covid-19 و شناسایی بیماران، مراجعات به مراکز درمانی و بیمارستان‌ها افزایش پیدا کرد. با توجه به اهمیت موضوع در خصوص اثر گذاری پاندمی بیماری کرونا بر کمیت و کیفیت پسماندهای پزشکی و نحوه مدیریت این پسماندها، هدف از انجام این مطالعه بررسی تاثیر شیوع بیماری کرونا بر تولید پسماندهای پزشکی در سطح بیمارستان‌های تحت پوشش دانشگاه علوم پزشکی مشهد به عنوان یکی از کلانشهرهای کشور در سال ۱۳۹۹ بود.

روش کار

مکان مورد مطالعه

این مطالعه به منظور بررسی اثرگذاری شیوع بیماری کرونا بر پسماند تولیدی در مراکز بیمارستانی تحت پوشش دانشگاه علوم پزشکی مشهد صورت پذیرفت.

بیمارستان‌های مورد مطالعه

در این مطالعه به منظور بررسی اثر گذاری شیوع بیماری کرونا بر پسماند تولیدی در مراکز درمانی، ابتدا تمام بیمارستان‌های تحت پوشش دانشگاه علوم پزشکی مشهد مورد بررسی اولیه قرار گرفتند. با توجه به بررسی صورت گرفته تعداد ۱۵ بیمارستان مورد بازدید، مصاحبه و جمع‌آوری اطلاعات واقع گردید و با توجه به اطلاعات کسب شده، ۶ بیمارستان تحت پوشش دانشگاه علوم پزشکی مشهد وارد مرحله نهایی و مورد ارزیابی قرار گرفتند. از مجموع ۶ بیمارستان مورد مطالعه، تعداد ۴ بیمارستان (R₁، R₂، R₃ و R₄) به عنوان مراکز پذیرش کننده بیماران مبتلا به بیماری Covid-19 (رفرا ل) داشتند. ۲ بیمارستان NR₁ و NR₂ نیز که در زمان همه‌گیری بیماری، پذیرش بیمار مبتلا به کرونا نداشتند به عنوان بیمارستان

نرخ تولید پسماند عفونی، تمامی بیمارستان‌ها دارای نرخ تولید مثبت بوده‌اند. نرخ تولید روزانه پسماند (پسماند کل و پسماند عفونی) قبل و بعد از شیوع کرونا در بیمارستان‌های رفرا و غیر رفرا مورد مطالعه در جدول شماره ۲ بیان شده است. میانگین نرخ تولید پسماند کل و همچنین پسماند عفونی در بیمارستان‌های پذیرش‌کننده بیماران مبتلا به کرونا در زمان وقوع پاندمی بیماری Covid-19 به ترتیب برابر با $۱۵/۷۴ \pm ۱۵/۴۸$ کیلوگرم در روز و $۲۹/۰۶ \pm ۳۳/۷۶$ کیلوگرم در روز بود. همچنین در ارتباط با بیمارستان‌های شاهد، میانگین نرخ تولید پسماند کل برابر $۷ \pm ۴/۲۴$ کیلوگرم در روز و پسماند عفونی $۶/۱ \pm ۸/۲۳$ کیلوگرم در روز مشاهده شد. بیشترین رشد تولید پسماند کل در بیمارستان R_4 با افزایش بالغ بر ۳۳ درصد و کمترین رشد تولید پسماند کل در بیمارستان NR_1 با رشد منفی ۱۰ درصد مشاهده گردید. در ارتباط با تغییرات نرخ تولید پسماند عفونی، بیمارستان R_1 با $۷۰/۷۹\%$ افزایش در تولید پسماند عفونی، جایگاه نخست را در بین بیمارستان‌های مورد مطالعه داشت. سرانه تولید پسماند کل و همچنین پسماند عفونی تولید شده طی سال‌های ۱۳۹۸ (قبل از وقوع پاندمی بیماری Covid-19) و سال ۱۳۹۹ (دوران پاندمی بیماری Covid-19) مرتبط با بیمارستان‌های پذیرش‌کننده بیماران مبتلا به بیماری کرونا و بیمارستان‌های بدون پذیرش بیماران مبتلا به کرونا، در جدول شماره ۲ بیان شده است. نتایج این مطالعه بیانگر افزایش تولید پسماند (کیلوگرم در سال) در بیمارستان‌های پذیرش‌کننده بیماران مبتلا به بیماری کرونا در سال ۱۳۹۹ نسبت به قبل از شیوع این بیماری بود، که در مجموع بالغ بر ۹۸۵۰۰ کیلوگرم محاسبه گردید که این مقدار معادل افزایش بیش از ۸۲۰۰ کیلوگرم پسماند در ماه است.

میزان پسماند کل تولید شده به تفکیک ماه در بیمارستان‌های R_4 - R_1 ، طی سال ۱۳۹۹ (حین پاندمی بیماری Covid-19) و تعداد افراد مبتلا به بیماری کرونا مراجعه‌کننده به بیمارستان‌های مذکور در نمودار شماره ۱ نشان داده شده است. مقایسه تولید ماهانه پسماند در این بیمارستان‌ها با تعداد افراد شناسایی شده

آنالیز اطلاعات

اطلاعات گردآوری شده در این مطالعه توسط نرم افزار Excel مورد ارزیابی نهایی قرار گرفت و آنالیزهای مربوطه استخراج گردید.

یافته‌ها

این مطالعه توصیفی به منظور بررسی میزان تغییرات تولید پسماندهای پزشکی در دوران پاندمی بیماری Covid-19 (سال ۱۳۹۹) در مقایسه با قبل از وقوع پاندمی بیماری Covid-19 (سال ۱۳۹۸) و نحوه مدیریت این پسماندها در مراکز درمانی منتخب تحت پوشش دانشگاه علوم پزشکی مشهد در دو گروه بیمارستان‌های پذیرش‌کننده افراد مبتلا به بیماری کرونا (R) و بیمارستان‌های فاقد پذیرش بیماران مبتلا به کرونا (NR) صورت پذیرفت. نتایج این مطالعه نشان داد تمامی بیمارستان‌های مورد مطالعه (R و NR) ضوابط و معیارهای مدیریت پسماند بیمارستانی، منتج از چک لیست مورد تایید وزارت بهداشت درمان و آموزش پزشکی، در خصوص دارا بودن جایگاه نگهداری موقت پسماند، جمع‌آوری تفکیک شده انواع پسماند از مبدا تولید در بیمارستان، رعایت قوانین رنگ بندی و برچسب گذاری پسماندهای تولیدی و همچنین استفاده از روش‌های بی‌خطر سازی پسماند عفونی را قبل و حین پاندمی بیماری کرونا دارا بودند. تمامی بیمارستان‌های مورد مطالعه از روش استریلیزاسیون، روش‌های مبتنی بر بخار (اتوکلاو) جهت بی‌خطر سازی پسماندهای عفونی تولید شده خود استفاده می‌کردند. پس از بی‌خطر سازی پسماند، پسماندها برای دفع نهایی به مکانهای دفن استاندارد منتقل می‌گشت. نتایج بیانگر رعایت و اجرای رهنمودهای مدیریت پسماند در این بیمارستان‌ها در طی پاندمی کرونا بود.

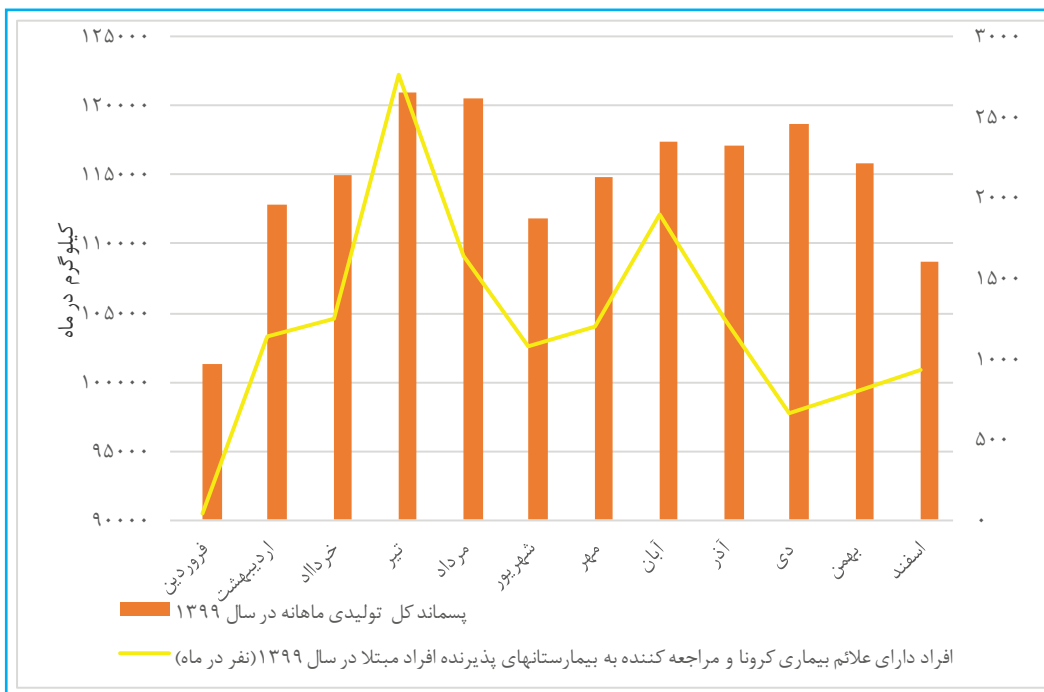
در ارتباط با کمیت پسماندهای تولید شده در بیمارستان‌های مورد مطالعه طی سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹، نتایج این مطالعه نشان داد تولید پسماند کل در بیمارستان‌های پذیرش‌کننده بیماران مبتلا به Covid-19 رشد مثبت و در بیمارستان‌های بدون پذیرش بیماران مبتلا به کرونا، دارای رشد منفی بوده است. در ارتباط با

جدول ۲. نرخ تولید روزانه پسماند (پسماند کل و پسماند عفونی) قبل و بعد از شیوع کرونا در بیمارستان‌های رفرال و غیر رفرال

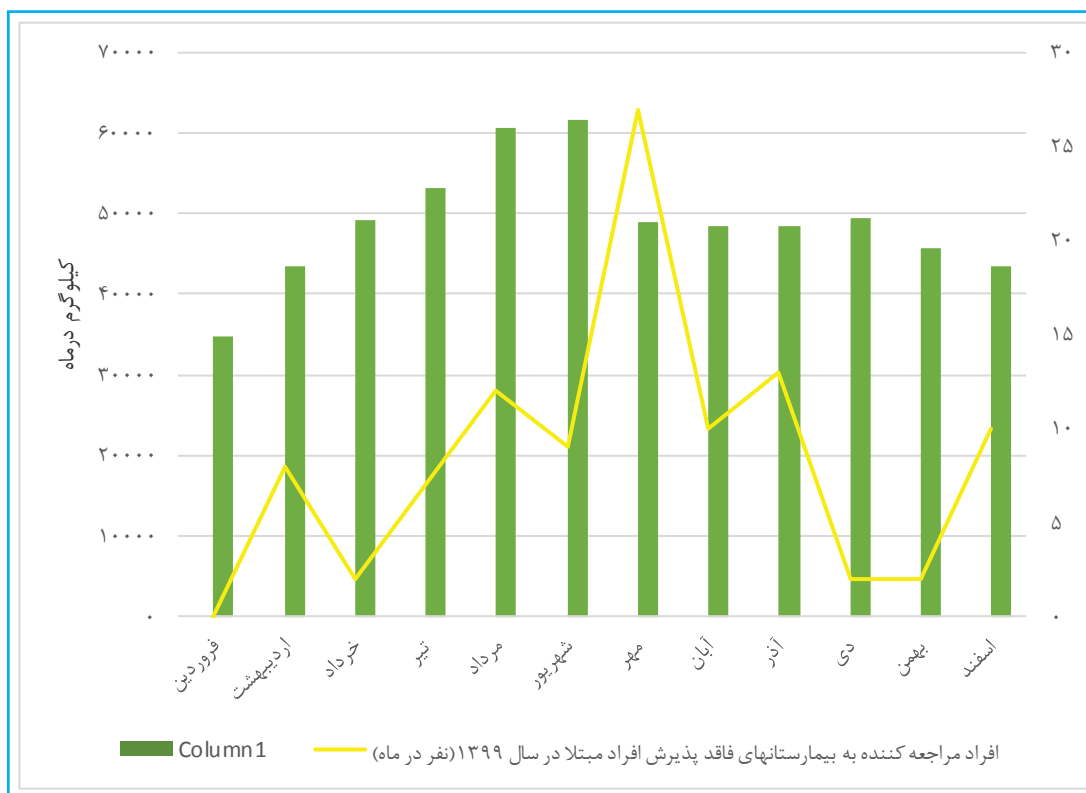
بیمارستان	میانگین کل پسماند تولیدی روزانه (Kg/day)		سرانه تولید پسماند عفونی		میانگین پسماند عفونی تولیدی روزانه (Kg/day)		میزان تغییر نرخ پسماند		سرانه تولید پسماند کل		نسبت پسماند عفونی به پسماند کل تولیدی	
	(Kg/day/bed)		(Kg/day/bed)		(Kg/day)		نرخ پسماند کل تولیدی		(Kg/day/bed)		عفونی به پسماند کل تولیدی	
	سال ۱۳۹۸	سال ۱۳۹۹	سال ۱۳۹۸	سال ۱۳۹۹	سال ۱۳۹۸	سال ۱۳۹۹	سال ۱۳۹۸	سال ۱۳۹۹	سال ۱۳۹۸	سال ۱۳۹۹	سال ۱۳۹۸	سال ۱۳۹۹
R ₁	۴۴۹/۵۰ ± ۴۹/۴۵	۴۳۶/۰۴ ± ۱۰۷/۵۵	۱/۴۶	۲/۵	۲۳۴/۲۲ ± ۳۸/۴۷	۴۰۰/۰۳ ± ۱۰۳/۷۶	۲/۷	۲/۸	۲/۸	۲/۷	۰/۵۲	۰/۹۱
R ₂	۳۰۰/۲۶ ± ۲۲۷/۴۶	۳۲۷۹/۷۲ ± ۱۵۳/۰۰	۱/۴۲	۱/۵۳	۱۴۴۰/۶۸ ± ۱۱۸/۹۴	۱۳۳۹/۷۲ ± ۱۲۰/۸۳	۳/۲	۳/۵	۳/۲	۳/۵	۰/۴۴	۰/۴۳
R ₃	۵۴۴/۵۳ ± ۱۰۷/۱۰	۶۶۶/۳۲ ± ۱۵۶/۶۸	۱/۲۷	۱/۸۲	۲۴۲/۹۹ ± ۱۰۰/۰۸	۳۴۷/۰۳ ± ۸۹/۸۴	۲/۸	۳/۴۷	۲/۸	۳/۴۷	۰/۴۴	۰/۵۲
R ₄	۴۷۶/۷۲ ± ۱۵/۹۶	۶۳۵/۴۱ ± ۵۴/۸۸	۰/۹۹	۱/۱۳	۱۷۴/۲۸ ± ۱۶/۹۳	۱۹۸/۵۷ ± ۳۲/۸۱	۲/۷	۳/۶	۲/۷	۳/۶	۰/۳۶	۰/۳۱
NR ₁	۲۱۹/۶ ± ۳۶/۹۰	۱۹۹/۰۶ ± ۴۹/۵۸	۰/۹۳	۱/۰۵	۶۴/۷۳ ± ۱۴/۵۶	۷۲/۴۵ ± ۲۱/۹۶	۳/۱	۳/۱	۲/۸	۳/۱	۰/۲۹	۰/۳۶
NR ₂	۱۱۲/۱ ± ۲۹/۵۵	۱۰۸/۸ ± ۲۱/۵۹	۱/۹۹	۲	۷۳/۶۹ ± ۱۹/۱۹	۷۳/۹ ± ۱۳/۴۳	۲/۹	۳/۰۳	۲/۹	۳/۰۳	۰/۶۵	۰/۶۷

بیمارستان‌های غیر رفرال (NR₂-NR₁) در خصوص وضعیت پسماند کل تولید شده به تفکیک ماه در زمان شیوع بیماری کرونا، نشان دهنده کاهش تولید پسماند در این بیمارستان‌ها در بازه‌های زمانی وقوع پیک بیماری بوده است. همچنین مقایسه نرخ تولید پسماند با پیکهای بیماری در سال ۱۳۹۹ بیانگر کاهش تولید پسماند در زمانهای پیک بیماری بوده است. با توجه به نتایج جدول شماره ۲ در بیمارستان‌های غیر رفرال رشد منفی تولید پسماند مشاهده می‌شود.

قطعی مبتلا به بیماری کرونا بیانگر مطابقت پیک‌های بیماری با تغییرات تولید پسماند در بیمارستان‌های R₄-R₁ بود، به گونه‌ای که در بازه زمانی اردیبهشت تا شهریور ماه در سال ۱۳۹۹ همراه با افزایش تعداد بیماران، تولید پسماند در بیمارستان‌های رفرال تحت تاثیر قرار گرفته است. در خصوص پیک دوم بیماری در بازه زمانی مهر تا دی ماه نیز نتایج مشابه صادق است. تولید ماهانه پسماند (Kg/month) در زمان شیوع بیماری کرونا در بیمارستان‌های غیررفرال در نمودار شماره ۲ بیان شده است. در ارتباط با



نمودار ۱. تولید ماهانه پسماند (کیلوگرم در ماه) در زمان شیوع بیماری کرونا در بیمارستان‌های پذیرنده افراد مبتلا



نمودار ۲: تولید ماهانه پسماند (کیلوگرم در ماه) در زمان شیوع بیماری کرونا در بیمارستان‌های غیر رفرا

بحث

دریاره باقی ماندن ویروس کرونا بر روی انواع سطوح صورت پذیرفته که در خصوص پسماندهای پزشکی با وقوع پاندمی، اهمیت رعایت دستورالعمل‌های اجرایی مدیریت پسماند را بیش از پیش نشان میدهد (۵). نتایج مطالعه حاضر بیان می‌کند پسماندهای تولید شده در بیمارستان‌های مورد مطالعه پس از جمع آوری اولیه با رنگ بندی و برچسب گذاری استاندارد به جایگاه موقت پسماند، جهت بی‌خطر سازی با استفاده از اتوکلاو منتقل می‌شوند و پس از انجام مرحله بی‌خطر سازی به شرکتهای طرف قرار داد جهت اجرای فرایند دفع نهایی تحویل شهرداری می‌شود. این موضوع بیانگر مدیریت خوب پسماند عفونی تولید شده علی‌رغم افزایش حجم پسماند تولیدی در زمان پاندمی بیماری کرونا در بیمارستان‌های مورد مطالعه می‌باشد. زندی و همکاران در مطالعه‌ای که در شهر اصفهان بر روی چالش‌ها در مدیریت پسماندهای پزشکی و شهری در شهر اصفهان پس از شیوع کووید-۱۹ انجام شد دریافتند که پسماندهای

به دنبال شیوع بیماری Covid-19 و تحت تاثیر قرار گرفتن جهان از این بیماری تمامی کشورها به منظور کنترل گسترش بیماری محدودیت‌های سراسری اعمال کردند. محدودیت‌های اجرا شده اثرات بهیچ‌بخش، از قبیل کاهش آلاینده‌های هوا را به دنبال داشت. در مقابل، گسترش بیماری و تغییر سبک زندگی با روی آوردن مردم به استفاده از وسایل حفاظت فردی و وسایل یکبار مصرف، موجب افزایش تولید پسماند در سطح جوامع گردید. با افزایش روند رو به رشد آمار مبتلایان و به دنبال آن بستری شدگان در بیمارستان‌ها و مراکز درمانی، جهان شاهد افزایش تولید پسماندهای پزشکی بود. در مدیریت پسماند، خصوصا پسماندهای پزشکی توجه به هر دو فاکتور کمیت و کیفیت پسماند تولیدی و نحوه مدیریت هرکدام از این دو بخش ضروری و دارای اهمیت است. مدیریت پسماندها در حفظ بهداشت و پیشگیری از بیماری‌ها تاثیر بسزایی دارد (۱۴). مطالعات متعددی

عفونی بیمارستان در همه گیری بیماری کرونا پس از بی خطر سازی با اتوکلاو به شرکت های مجاز برای دفن در لندفیل تحویل داده می شود (۱۵). مطالعات بیانگر تاثیر پذیری نرخ تولید پسماند پزشکی به دنبال وقوع همه گیری بیماری ها است. اگرچه این افزایش به دلیل افزایش تعداد مراجعات قابل پیش بینی می باشد اما در کشورهای مختلف بسیار متنوع است (۱۶). در مطالعه ای در استان Hubei در کشور چین پس از شیوع بیماری کرونا شاهد افزایش ۳۷۰ درصدی در میزان تولید پسماندهای پزشکی خود بود (۱۵). آگوماتا در مطالعه خود به بررسی تاثیر پاندمی ناشی از بیماری Covid-19 پرداخت و نتایج مطالعه نشان دهنده افزایش میزان تولید پسماند پزشکی در این دوران بود (۲). مطالعه کلانتری و همکاران اثر پذیری تولید پسماند پزشکی از پاندمی کرونا را تایید و افزایش ۱۰۲ درصدی در تولید این نوع پسماند را در بیمارستان های مورد مطالعه بیان می کند (۱۶). نتایج مطالعه حاضر نیز بیانگر افزایش تولید پسماند پزشکی در دوران همه گیری بیماری کرونا می باشد این مطالعه نشان داد تولید پسماند کل در بیمارستان های پذیرش کننده بیماران مبتلا به Covid-19 رشد مثبت و در بیمارستان های بدون پذیرش بیماران مبتلا به کرونا، دارای رشد منفی بوده است. در ارتباط با نرخ تولید پسماند عفونی، تمامی بیمارستان ها دارای نرخ تولید مثبت بوده اند. افزایش $9/3-33/3$ درصدی تولید پسماند در بیمارستان های R_4-R_1 در مقایسه با مطالعات مشابه مقدار کمتری می باشد. زائر پذیر بودن شهر مشهد و مطرح بودن آن به عنوان قطب پزشکی شمال شرق و شرق کشور باعث شده است در تمام طول سال از شهرها و استان های مجاور، مراجعه تعداد کثیری از هموطنان به منظور دریافت خدمات درمانی را داشته باشد. این موضوع باعث می شود مراکز درمانی همیشه با حداکثر ظرفیت و پتانسیل خود مشغول ارائه خدمات باشند. به دنبال شیوع بیماری Covid-19 و اعمال محدودیت های سختگیرانه به منظور کنترل همه گیری، تعداد مراجعین خارج از شهر مشهد به مراکز کاهش و تمامی ظرفیت بهداشت و درمان به ساکنین شهر اختصاص پیدا کرده بود در

نتیجه به دلیل مراجعات کثیر پیش از دوران همه گیری بیماری Covid-19 تفاوت چشمگیری در افزایش تولید پسماند پزشکی مشاهده نمی شود. بیمارستان R_1 در تولید پسماند کل رشد منفی ۳ درصدی در دوران پاندمی کرونا در سال ۱۳۹۹ را شاهد بود اما در خصوص تولید پسماند عفونی این بیمارستان با رشد بالغ بر ۷۰ درصد افزایش تولید پسماند عفونی رتبه نخست را در بین بیمارستان های مورد مطالعه دارد. از دلایل این موضوع می توان به این نکته اشاره کرد که با شیوع بیماری کرونا و افزایش تعداد مبتلایان و مراجعه کنندگان، این بیمارستان از فعالیت تخصصی خود (قلب و عروق) تغییر کاربری داد و با ۱۰۰ درصد ظرفیت برای پذیرش بیماران کرونایی اختصاص داده شد و با توجه به عفونی محسوب شدن تمامی پسماندهای مرتبط با بیماران کرونایی این افزایش تولید با توجه به فعالیت این بیمارستان در سال پیش از کرونا همخوانی دارد. در بین بیمارستان های مورد مطالعه دو بیمارستان R_3 و R_4 شاهد بیشترین افزایش در تولید پسماند کل با افزایش بیش از ۳۰ درصد بودند. با توجه به اختصاص یافتن دو بیمارستان بزرگ و مطرح شهر مشهد برای پذیرش بیماران مبتلا به کرونا، در سال ۱۳۹۹ مراجعات مردم برای کارهای درمانی خود به سایر بیمارستان ها افزایش پیدا نمود. همچنین دو بیمارستان NR_1 و NR_2 در مطالعه حاضر به ترتیب کاهش ۴- و ۱۰- درصدی در تولید پسماند پزشکی در دوران همه گیری بیماری کرونا را نسبت به قبل از پاندمی بیماری شاهد بودند. از دلایل این موضوع می تواند به نوع خدمات ارائه شده توسط این بیمارستان ها (تخصصی چشم و پیوند اعضا) اشاره کرد که با توجه به اهمیت نوع خدمات و همچنین نگرانی مردم به دلیل شرایط پاندمی و ناشناخته بودن بیماری، تمایل کمتری برای دریافت خدمات پزشکی خود داشته اند. نتایج مطالعه حاضر نشان داد سرانه تولید پسماند به ازای هر تخت در روز به دنبال وقوع پاندمی بیماری کرونا افزایش پیدا کرده است. در این مطالعه میانگین نرخ تولید پسماند در دوران پیش از همه گیری بیماری Covid-19 در بازه $3/1-2/1$ کیلوگرم در روز به ازای هر تخت و در دوران همه گیری بیماری مقداری برابر با $3/4-2/7$

نتیجه گیری

این مطالعه نشان داد با وقوع پاندمی ناشی از بیماری Covid-19 تولید پسماندهای پزشکی (عادی و عفونی) در بیمارستان‌های پذیرش کننده افراد مبتلا افزایش پیدا کرده است. اگرچه به سبب افزایش تولید پسماند در بیمارستان‌ها، حجم کاری برای پرسنل شاغل در مدیریت پسماند بیمارستان نیز افزایش پیدا کرده است، اما رعایت و اجرای استانداردهای مدیریت پسماندهای پزشکی دچار تاثیر پذیری منفی نشده است. با توجه به افزایش تولید پسماند پزشکی به دنبال همه گیری بیماری‌ها، اهمیت مدیریت پسماندها در حفظ بهداشت، پیشگیری از بیماری‌ها و حفاظت از محیط زیست در مقابل اثرات نامناسب، ضرورت تدوین و اجرای اقدامات مدیریتی قوی را بیش از پیش پررنگ می‌کند.

ملاحظات اخلاقی

این مقاله با کد IR.MUMS.REC.1400.211 در سامانه ملی اخلاق در پژوهش‌های زیست پزشکی به ثبت رسیده است.

تشکر و قدردانی

این مطالعه با حمایت معاونت پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی مشهد به انجام رسیده است. بدینوسیله از حمایت‌های این معاونت و بیمارستان‌های محل مطالعه که داده‌ها را تامین کردند سپاسگزاری می‌شود.

کیلوگرم در روز به ازای هر تخت مشاهده شد که با نتایج مطالعه رضایی کلانتری و همکاران همخوانی دارد (۱۶). در مطالعه متقی نرخ تولید پسماند پزشکی به طور میانگین برابر با ۲/۹ کیلوگرم در روز به ازای هر تخت در شرایط پیش از همه گیری کرونا برآورد شده بود (۱۷). همچنین مطالعه‌ای در دوران پیش از بیماری کرونا در شهر ساری نرخ تولید پسماند پزشکی را ۲/۱۹ کیلوگرم در روز تخمین زده شده بود که با نتایج مطالعه حاضر همخوانی دارد (۱۸). افزایش استفاده از وسایل حفاظت فردی از قبیل ماسک، دستکش، گان، شیلد صورت، عینک محافظ توسط کادر درمان، پرسنل بیمارستان، بیمار و همراه بیمار در کنار افزایش چشمگیر مراجعات به بیمارستان‌ها از علل افزایش تولید پسماند پزشکی در دوران همه گیری محسوب می‌شود (۱۹). در این مطالعه به بررسی تغییرات میزان تولید پسماند کل در ماه و همچنین تعداد مبتلایان پرداخته شد. نتایج مطالعه نشان داد در بیمارستان‌های پذیرش کننده بیماران مبتلا به کرونا با شروع و خاتمه پیک بیماری تغییرات تولید پسماند رشد مثبت داشته است که با افزایش تعداد مبتلایان همخوانی دارد. در خصوص بیمارستان‌های بدون پذیرش بیماران مبتلا به کرونا، در مواقع خارج از پیک بیماری شاهد افزایش تولید پسماند هستیم که به دلیل افزایش مراجعات به منظور پیگیری درمان است.

References

- 1-Sharma HB, Vanapalli KR, Cheela VS, Ranjan VP, Jaglan AK, Dubey B, et al. Challenges, opportunities, and innovations for effective solid waste management during and post COVID-19 pandemic. Resources, conservation and recycling. 2020;162:105052.
- 2-Agamuthu P, Barasarathi J. Clinical waste management under COVID-19 scenario in Malaysia. Waste Management & Research. 2021;39(1_suppl):18-26.
- 3-Das AK, Islam N, Billah M, Sarker A. COVID-19 pandemic and healthcare solid waste management strategy—A mini-review. Science of the Total Environment. 2021:146220.
- 4-Mallick SK, Pramanik M, Maity B, Das P, Sahana M. Plastic waste footprint in the context of COVID-19: Reduction challenges and policy recommendations towards sustainable development goals. Science of the Total Environment. 2021;796:148951.
- 5-Chowdhury T, Chowdhury H, Rahman MS, Hossain N, Ahmed A, Sait SM. Estimation of the healthcare waste generation during COVID-19 pandemic in Bangladesh. Science of The Total Environment. 2021:152295.
- 6-Hantoko D, Li X, Pariatamby A, Yoshikawa K, Horttanainen M, Yan M. Challenges and practices on waste management and disposal during COVID-19 pandemic. Journal of Environmental Management. 2021;286:112140.
- 7-Nzediegwu C, Chang SX. Improper solid waste management increases potential for COVID-19 spread in developing countries. Resources, conservation, and recycling. 2020;161:104947.
- 8-Nzeadibe TC, Ejike-Alieji AU. Solid waste management during Covid-19 pandemic: policy gaps and prospects for inclusive waste governance in Nigeria. Local Environment. 2020;25(7):527-35.

- 9-Sari GL, Hilmi IL, Nurdiana A, Azizah AN, Kasasiah A. Infectious waste management as the effects of Covid-19 pandemic in Indonesia. *Asian J Soc Sci Manage Technol*. 2021;3:62.
- 10-Goswami M, Goswami PJ, Nautiyal S, Prakash S. Challenges and actions to the environmental management of Bio-Medical Waste during COVID-19 pandemic in India. *Heliyon*. 2021;7 (3):e06313.
- 11-Urban RC, Nakada LYK. COVID-19 pandemic: Solid waste and environmental impacts in Brazil. *Science of the Total Environment*. 2021;755:142471.
- 12-Tsai W-T. Analysis of medical waste management and impact analysis of COVID-19 on its generation in Taiwan. *Waste Management & Research*. 2021:0734242X21996803.
- 13-Singh E, Kumar A, Mishra R, Kumar S. Solid waste management during COVID-19 pandemic: Recovery techniques and responses. *Chemosphere*. 2022;288:132451.
- 14-Torkashvand J, Jafari AJ, Godini K, Kazemi Z, Kazemi Z, Farzadkia M. Municipal solid waste management during COVID-19 pandemic: a comparison between the current activities and guidelines. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*. 2021:1-7.
- 15-Zand AD, Heir AV. Emanating challenges in urban and healthcare waste management in Isfahan, Iran after the outbreak of COVID-19. *Environmental Technology*. 2021;42 (2):329-36.
- 16-Kalantary RR, Jamshidi A, Mofrad MMG, Jafari AJ, Heidari N, Fallahizadeh S, et al. Effect of COVID-19 pandemic on medical waste management: a case study. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*. 2021;19 (1):831-6.
- 17-Motaghi M, Mostafai G, Salmani J. Solid waste management of hospitals affiliated to Kashan Medical University. *Journal of Holistic Nursing And Midwifery*. 2014;24 (2):49-58.
- 18-Yousefi Z, Najafi A. Survey of collection and disposal of medical wastes in teaching hospitals of Sari, Mazandaran, in 2013. *Tabari Biomedical Student Research Journal*. 2016;1(3):1-7.
- 19-Wang J, Shen J, Ye D, Yan X, Zhang Y, Yang W, et al. Disinfection technology of hospital wastes and wastewater: Suggestions for disinfection strategy during coronavirus Disease 2019 (COVID-19) pandemic in China. *Environmental pollution*. 2020;262:114665.

Assessment and stratification of barriers to successful implementation of hazardous waste management using decision-making techniques

Navid Rafiei

* Ph.D., Department of Industrial Engineering,
North Tehran Branch, Islamic Azad University,
Tehran, Iran (Corresponding author):
N.rafiee@iau-tnb.ac.ir

Mohammad Sohani

Master's degree, Department of Industrial
Engineering, Sanandaj Branch, Islamic Azad
University, Sanandaj, Iran.

Received: 2023/04/02

Accepted: 2023/10/29

Document Type: Research article

Doi:10.22038/jreh.2023.72782.1598

ABSTRACT

Background and Purpose: In the contemporary context, hazardous waste management has gained prominence within global environmental regulations. However, impediments pose significant challenges to effectively managing such waste. This study aims to identify ten barriers within the hazardous waste management paradigm, drawing from literature sources and insights from experts in the field.

Materials and Methods: The empirical investigation conducted in 2022 solicited the viewpoints of five managers and experts affiliated with a waste management firm in Kermanshah province, Iran. The decision-making techniques of DEMATEL (Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory) and interpretive structural modeling were employed to comprehensively comprehend the internal interrelationships and hierarchical structure of these barriers in hazardous waste management.

Results: The findings reveal that the primary obstacles, as discerned through the hybrid approach combining decision-making trial and evaluation with interpretive structural modeling, are the lack of public awareness regarding hazardous waste recycling and the absence of comprehensive policies and regulations addressing hazardous waste issues. Notably, the deficiency in public awareness regarding hazardous waste recycling emerges as a causal factor, achieving a score of 0.54. This factor falls within the category of autonomous obstacles, exerting a potent influence with a strength rating of 10 and a relatively weak dependency of 1. Conversely, the inadequacy of policies and regulations addressing hazardous waste is identified as a causal factor with a score of 0.47, belonging to the category of connecting obstacles. It exhibits a robust penetration capability with a rating of 10 and a relatively strong dependency power of 6.

Conclusion: The proposed methodology is a valuable tool for policymakers and decision-makers, enabling them to discern the interconnectedness of barriers and their hierarchical arrangement within the hazardous waste management framework.

Keywords: Management, hazardous waste, barriers, DEMATEL techniques, interpretive structural modeling.

► **Citation:** Rafiei N, Sohani M. Assessment and stratification of barriers to successful implementation of hazardous waste management using decision-making techniques. *Iranian Journal of Research in Environmental Health*. Autumn 2023; 9(3): 309-324.

ارزیابی و سطح‌بندی موانع برای اجرای موفقیت‌آمیز مدیریت پسماندهای خطرناک با استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری

چکیده

زمینه و هدف: امروزه شیوه‌های مدیریت پسماندهای خطرناک با توجه به شرایط قوانین زیست‌محیطی جهانی در حال افزایش است اما وجود موانع، اجرای مدیریت این نوع پسماندها را با مشکل مواجه می‌کند. هدف این مطالعه شناسایی ده مانع در مسئله مدیریت پسماندهای خطرناک در سیستم مدیریت پسماند بر اساس ادبیات و ارجحیت‌های کارشناسان این حوزه می‌باشد.

مواد و روش‌ها: این مطالعه کاربردی در سال ۱۴۰۱ با بهره‌گیری از نظرات پنج نفر از مدیران و کارشناسان یک شرکت مدیریت پسماند استان کرمانشاه اجرا شد. همچنین، به منظور درک ساختار ارتباط درونی و متقابل میان موانع و همچنین ساختار سلسله‌مراتبی موانع مدیریت پسماندهای خطرناک از تکنیک‌های تصمیم‌گیری دیمتل و مدل‌سازی ساختاری تفسیری استفاده شد.

یافته‌ها: یافته‌ها نشان می‌دهد عدم آگاهی عمومی درباره بازیافت پسماندهای خطرناک و عدم وجود سیاست‌هایی برای رسیدگی به مباحث پسماندهای خطرناک اصلی‌ترین موانعی هستند که توسط رویکرد ترکیبی مبتنی بر دیمتل و مدل‌سازی ساختاری تفسیری به تصویر کشیده شده است. عدم آگاهی عمومی درباره بازیافت پسماندهای خطرناک با امتیاز ۰/۵۳/ عاملی علی بوده که با قدرت نفوذ شدید برابر ۱۰ و قدرت وابستگی ضعیف برابر ۱ در دسته موانع مستقل قرار دارد. همچنین، عدم وجود سیاست‌هایی برای رسیدگی به مباحث پسماندهای خطرناک با امتیاز ۰/۴۷/ عاملی علی بوده که با قدرت نفوذ شدید برابر ۱۰ و قدرت وابستگی نسبتاً شدید برابر ۶ در دسته موانع پیوندی قرار می‌گیرد.

نتیجه‌گیری: رویکرد پیشنهادی به سیاست‌گذاران و تصمیم‌گیرندگان کمک می‌کند تا رابطه متقابل و تعاملی بین موانع و ساختار سلسله‌مراتبی آنها را شناسایی کنند.

کلید واژه‌ها: مدیریت، پسماندهای خطرناک، موانع، تکنیک دیمتل، مدل‌سازی ساختاری تفسیری.

نوید رفیعی

* دکتری، گروه مهندسی صنایع، واحد تهران شمال،
دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. (نویسنده مسئول):
N.rafiiei@iau-tnb.ac.ir

محمد سوهانی

کارشناسی ارشد، گروه مهندسی صنایع، واحد سنج،
دانشگاه آزاد اسلامی، سنج، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۱۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۰۷

نوع مقاله: پژوهشی

برنامه‌ریزی به منظور مدیریت موفقیت‌آمیز پسماندهای خطرناک و توجه به اثرات منفی و زیان‌بار آنها بر محیط‌زیست در هر کشوری از مهم‌ترین و ضروری‌ترین اصول در جهت تأمین مزایای بلندمدت و حرکت به سمت توسعه پایدار است. در حال حاضر به علت رشد روزافزون جمعیت، تغییر روش زندگی مردم و افزایش مصرف‌گرایی و صنعتی شدن جوامع انسانی، تولید پسماندهای خطرناک با سرعت غیر قابل باوری صورت می‌گیرد که این امر منجر به آلودگی‌های زیست‌محیطی و در نتیجه تهدید بهداشت و سلامت افراد جامعه شده است. در این بین، مدیریت موفقیت‌آمیز پسماندها به عنوان یکی از راهکارهای پر اهمیت برای کاهش این معضلات مورد توجه قرار گرفته است (۱). در کشور ما استان کرمانشاه بخش وسیعی از جمعیت و گستره‌های طبیعی را به خود اختصاص داده و به نوبه خود نقشی اساسی در حیات اجتماعی و اقتصادی کشور را دارد. از طرف دیگر، مدیریت پسماندها در استان کرمانشاه به دلیل نزدیکی بیشتر به طبیعت و آثار مستقیمی که بر طبیعت دارند و تأثیراتی که از طبیعت می‌گیرند از اهمیت بالایی برخوردار است.

تغییر و تحولات ایجاد شده در روش و کیفیت زندگی مردم استان کرمانشاه که پیشتر سبک زندگی سنتی را تجربه کرده، باعث ورود و مصرف بسیار فراوان کالاهای مصرفی صنعتی و مصنوعی ساخت دست بشر در این مناطق شده است که این امر موجب گردیده که ماهیت پسماندها از مواد فاسدشدنی به سمت مواد غیرفاسدشدنی از قبیل فلز، پلاستیک، کاغذ و امثال آن تغییر پیدا کند. از سوی دیگر، کمیت پسماندها نیز بیش از اندازه افزایش پیدا کرده است. این تغییر و تحولات باعث پیدایش حجم چشمگیری از پسماندهای فاسدشدنی و غیرفاسدشدنی در گذرگاه‌ها و نواحی استان شده است که به سهم خود جدای از تهدیدی برای بهداشت مردم، منظره‌های زشت و نامناسبی را در طبیعت ایجاد کرده است. پسماندها نه تنها باعث ایجاد بوی بد، بیماری و منظره‌های زشت می‌شوند، بلکه با آلوده کردن خاک،

آب، هوا و گذرگاه‌ها محیط‌زیست سالم استان که بزرگترین مزیت بومیان و ساکنان به شمار می‌آید را در معرض خطر و آسیب قرار می‌دهند. در استان کرمانشاه علاوه بر بخش صنعتی، در بخش کشاورزی نیز پسماندها تولید می‌شوند. پسماندهای این بخش در دسته خطرناک‌ترین آلوده‌کننده‌های خاک و آب به حساب می‌آیند و آسیب‌های غیرقابل جبرانی را به محیط‌زیست وارد می‌کنند که می‌تواند منجر به عدم پایداری در طبیعت گردند (۲). این موضوع کیفیت و ارزش پایین محصول، نیاز بالا به واردات، افت درآمد و خطراتی برای موقعیت شغلی تولیدکنندگان به همراه دارد و بحران سخت تأمین سلامتی و غذا را برای نسل‌های بعدی ایجاد می‌نماید.

بر اساس آمار سازمان بین‌المللی داده‌های آمار جمعیتی، ایران در دنیا رتبه ۱۷ در تولید پسماندها را دارد. میزان پسماندهای تولیدی در ایران روزانه حدود ۵۵ هزار تن می‌باشد. میزان سرانه پسماند تولید شده در دنیا ۴۰۰ گرم و میزان سرانه پسماند تولید شده در سطح کشور ۷۰۰ گرم است (۳). این در حالی که به گزارش یک شرکت مدیریت پسماند کرمانشاه در سال ۱۴۰۱ سرانه پسماند تولید شده در استان ۷۵۰ گرم بوده که بالاتر از متوسط کشوری قرار دارد. بر اساس نگرش علمی هر موضوعی که بتواند وضعیت و شرایط نامناسب را سامان‌دهی کند، باید در اولین مرحله با استفاده از شناسایی موانع موجود نسبت به ارائه راه‌کارهای مطلوب و مؤثر اقدام نماید. بنابراین، هدف در این مطالعه شناسایی موانعی است که از اجرای موفقیت‌آمیز مدیریت پسماندهای خطرناک در استان کرمانشاه جلوگیری می‌کنند.

با توجه به بررسی ادبیات برخی از موانع اجرای مدیریت پسماندهای خطرناک شناسایی شد و در ادامه با برگزاری جلسه طوفان فکری با کارشناسان و ذی‌نفعان مختلف که بطور مستقیم در مسئله مدیریت پسماند خطرناک درگیر هستند ده مانع مرتبط تعریف شدند که در ادامه، در قالب جدول ۱ به تشریح هر یک از موانع پرداخته می‌شود.

در سال‌های اخیر، تکنیک‌های تصمیم‌گیری بطور گسترده

جدول ۱. موانع در بکارگیری مدیریت پسماندهای خطرناک

موانع	تشریح موانع
عدم آگاهی عمومی درباره باز یافت پسماندهای خطرناک	اکثر مواقع عموم مردم از سیاست‌ها و دستورالعمل‌های باز یافت‌های پسماندهای خطرناک آگاه نبوده که باعث باز یافت غیر رسمی این پسماندها می‌شود و اثرات مضر بر محیط زیست دارد (۴-۶).
عدم وجود سیاست‌هایی برای رسیدگی به مباحث پسماندهای خطرناک	تأخیر در اجرای مقررات یکی از مشکلات بزرگ برای مدیریت پسماندهای خطرناک است و قانون خاصی به منظور رسیدگی به مسائل و مباحث پسماندهای خطرناک وجود ندارد (۷).
عدم تصویب اصلاحیه ممنوعیت بازل	اصلاحیه ممنوعیت بازل یک توافقنامه جهانی است که برای حذف جابجایی‌های فرامرزی پسماندهای سمی و خطرناک تنظیم شده است. بخصوص، به منظور به حداقل رساندن انتقال پسماندهای خطرناک از کشورهای توسعه یافته به کشورهای در حال توسعه می‌باشد (۸).
رشد بخش غیر رسمی	رشد بخش غیر رسمی به یکی از اصلی ترین موانع مدیریت پسماندهای خطرناک تبدیل شده است و دلایل اصلی آن نیز روش نامناسب باز یافت پسماندهای خطرناک، پیامدهای زیست محیطی و خطرات بهداشتی بسیار بالا برای کارگرانی است که بطور مستقیم درگیر در فعالیت‌های باز یافت می‌باشند (۹).
عدم اجرای شیوه‌های سبز در طراحی محصولات صنعتی	هدف اصلی استفاده از شیوه‌های طراحی سبز کاهش اثرات زیست محیطی استفاده از محصولات صنعتی می‌باشد. به عنوان مثال، حذف یا کاهش نیاز به بسته بندی محصول (۱۰).
کمبود بودجه برای شیوه‌های باز یافت پسماندهای خطرناک	بودجه برای مدیریت پسماندهای خطرناک بسیار مهم است. به دلیل عدم حمایت مالی، آموزش و آزمایش مناسب برای وضع محدودیت بر مواد خطرناک و استارت آپ‌های باز یافت پسماندهای خطرناک وجود ندارد (۱۰).
نبود ابتکارات مسئولیت اجتماعی	سازمان‌ها می‌توانند حداقل سود خود را مصرف نمایند و با باز یافت پسماندهای خود به روشی سازگار با محیط زیست در مسیر رسیدن به پایداری تلاش کنند (۱۱).
عدم به اشتراک گذاری دانش میان شرکت‌ها برای شیوه‌های باز یافت سبز	عدم به اشتراک گذاری دانش بین بخش باز یافت رسمی و غیر رسمی به منظور مدیریت و تکامل شیوه‌های مؤثر پسماندهای خطرناک (تعیین شده توسط کارشناسان).
زیرساخت‌های ناکافی	به دلیل نبود فناوری‌های نوین برای باز یافت، نبود مرکز جمع آوری و ذخیره سازی و امکانات حمل و نقل مؤثر شیوه‌های مدیریت پسماندهای خطرناک با مشکل مواجه شده است (۵).
عدم وجود رویکردهای مسئولیت توسعه یافته	در اینگونه رویکردها تولید کننده می‌تواند مسئولیت کل پایان عمر محصولات صنعتی شامل جمع آوری، فعالیت باز یافت و دفع پسماندهای خطرناک را بر عهده بگیرد (۱۲).

در فرایند تصمیم گیری مرتبط با حوزه‌های مختلف پسماندهای خطرناک استفاده می‌شود. تی‌سنگ فرایند تحلیل شبکه‌ای و دیمتل (DEMATEL)^۱ را به منظور ارزیابی راه‌حل‌های مؤثر برای مدیریت پسماندهای خطرناک بر اساس معیارهای متعدد، بصورت یکپارچه ترکیب کرد (۱۳). مهرگان و همکاران برای تعیین تعامل بین معیارهای پایداری در فرایند مدیریت پسماندها مدل سازی ساختاری تفسیری (ISM)^۲ و دیمتل فازی را ترکیب کردند (۱۴). یزدانی و همکاران به منظور رتبه بندی تأمین کننده

3. Weighted Aggregates Sum Product Assessment

4. Analytic Hierarchy Process

5. Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution

1. Interpretive Structural Modeling

2. Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory

سلسله‌مراتبی فازی و واسپاس بکار گرفتند (۱۷).

با وجود تکنیک‌های تصمیم‌گیری متنوع، کاربرد یکپارچه دیمتل و مدل‌سازی ساختاری تفسیری به یک رویکرد گسترده تبدیل شده است که شامل استفاده از دیمتل برای تجزیه و تحلیل درجه نفوذ در میان عوامل تأثیرگذار یک مسئله پیچیده خاص از طریق نظریه گراف و استفاده از مدل‌سازی ساختاری تفسیری برای تجزیه یک سیستم به ساختار سلسله‌مراتبی می‌باشد. تری‌ودی و همکاران با بکارگیری رویکرد مبتنی بر دیمتل و مدل‌سازی ساختاری تفسیری موانع راه‌های آبی داخلی را به عنوان یک روش حمل‌ونقل پایدار بررسی و سطح‌بندی کردند (۱۸). لیانگ و همکاران بر اساس تکنیک ترکیبی دیمتل و مدل‌سازی ساختاری تفسیری عوامل مؤثر بر عملکرد اقتصادی ایستگاه‌های شارژ خودروهای برقی را تجزیه و تحلیل کردند (۲). ویشواکارما و همکاران با بهره‌گیری از تکنیک یکپارچه دیمتل و مدل‌سازی ساختاری تفسیری موانع زنجیره تأمین پایدار در بخش نساجی و پوشاک را شناسایی و بررسی کردند (۱۹).

بطور کلی با توجه به ارتباط بسیار نزدیک بهداشت و توسعه در همه جوامع به ویژه استان کرمانشاه و همچنین، نقش تأثیرگذار مدیریت پسماندهای خطرناک در ارتقای شرایط بهداشت محیط، آفت فشارهای زیست‌محیطی، کاهش مصرف منابع و حداقل شدن هزینه‌های تحمیل شده بر جامعه، می‌توان بیان نمود توجه به محیط‌زیست و مدیریت پسماندهای خطرناک در استان کرمانشاه نوعی پیشگیری قبل از درمان به شمار می‌آید. در نتیجه، شناسایی موانع مدیریت پسماندهای خطرناک و ارتباط متقابل بین آنها باید مورد توجه ویژه قرار گیرد. این امر می‌تواند به عنوان یک بینش مهم برای سیاست‌گذاران و تصمیم‌گیرندگان به منظور اجرای موفقیت‌آمیز مدیریت پسماندهای خطرناک عمل کند. بررسی مطالعات پیشین در حوزه مدیریت پسماندهای خطرناک نشان داد که توجه کمی به تجزیه و تحلیل موانع بطور مستقل صورت گرفته است. تنها هدف این مطالعه تشخیص وابستگی متقابل بین موانع شناسایی شده در مدیریت پسماندهای خطرناک و ترسیم ساختار آنها

با استفاده از رویکرد ترکیبی دیمتل و مدل‌سازی ساختاری تفسیری، و در نهایت ارائه پیشنهاد‌های مدیریتی و کاربردی می‌باشد.

روش کار

این مطالعه کاربردی در سال ۱۴۰۱ با بهره‌گیری از نظرات مدیران و کارشناسان یک شرکت مدیریت پسماند استان کرمانشاه انجام شد تا برای اجرای موفقیت‌آمیز مدیریت پسماندهای خطرناک، موانع حیاتی و تأثیرگذار شناسایی، ارزیابی و سطح‌بندی شوند. در ابتدا با بررسی موانع اجرای مدیریت پسماندهای خطرناک، ده مانع اساسی و مهم شناسایی شدند. سپس، به منظور ایجاد روابط علی در میان موانع شناسایی شده، تکنیک تصمیم‌گیری دیمتل بکار گرفته شد تا با استفاده از نظرات مدیران و کارشناسان شرکت مدیریت پسماند روابط بین موانع برقرار گردد. در نهایت، به منظور سطح‌بندی موانع انتخابی مدل‌سازی ساختاری تفسیری مورد اجرا قرار گرفت. از آنجایی که تعداد پاسخ‌دهندگان به پرسشنامه‌های دیمتل، از پنج تا ده نفر مناسب می‌باشد (۲۰)، لذا نمونه پاسخ‌دهندگان به پرسشنامه‌ها پنج نفر از مدیران و کارشناسان شرکت مدیریت پسماند انتخاب شد. لازم به ذکر است که تمامی محاسبات ریاضی تکنیک‌های تصمیم‌گیری با بکارگیری برنامه اکسل تسهیل گشت.

تکنیک دیمتل

تکنیک دیمتل روشی است که برای شناسایی و بررسی رابطه متقابل بین شاخص‌ها و ایجاد نگاشت روابط شبکه بکار گرفته می‌شود. از آنجایی که گراف‌های جهت‌دار می‌توانند روابط عناصر یک سیستم را بهتر نشان دهند، از اینرو تکنیک دیمتل مبتنی بر نمودارهایی است که می‌تواند عوامل درگیر را به دو گروه علت و معلول تقسیم نماید و رابطه بین آنها را بصورت یک مدل ساختاری قابل درک در آورد (۲۱). گام‌های روش دیمتل را می‌توان به شرح زیر توصیف کرد:

گام ۱: تشکیل ماتریس روابط مستقیم (S). در این گام ماتریس اولیه نظرسنجی ایجاد می‌شود، به گونه‌ای که سطرها و ستون‌های

مدل‌سازی ساختاری تفسیری

مدل‌سازی ساختاری تفسیری متدولوژی‌ای با کمک رایانه است که از آن برای ساخت و درک روابط اساسی عناصر در شرایط یا سیستم‌های پیچیده استفاده می‌کند. نظریه مدل‌سازی ساختاری تفسیری بر اساس ریاضیات گسسته، نظریه گراف، علوم اجتماعی، تصمیم‌گیری گروهی و دستیار رایانه‌ای می‌باشد. رویکردهای مدل‌سازی ساختاری تفسیری از طریق مدل‌های ذهنی فردی یا گروهی با هدف محاسبه ماتریس دودویی شروع شد که ماتریس رابطه هم نامیده می‌شود و روابط میان عناصر را نشان می‌دهد. مفاهیم مدل‌سازی ساختاری تفسیری بصورت زیر خلاصه شده است.

یک ماتریس رابطه را می‌توان با پرسیدن این سوال تشکیل داد، آیا ویژگی e_i بر ویژگی e_j اثر دارد؟، اگر جواب مثبت بود π_{ij} برابر ۱ و در غیر این صورت π_{ij} برابر ۰ است. شکل کلی ماتریس رابطه می‌تواند بصورت زیر نمایش داده شود:

$$Dec = \begin{matrix} & \begin{matrix} e_1 & e_2 & \dots & e_n \end{matrix} \\ \begin{matrix} e_1 \\ e_2 \\ e_3 \\ \vdots \\ e_n \end{matrix} & \begin{pmatrix} 0 & \pi_{12} & \dots & \pi_{1n} \\ \pi_{21} & \pi_{22} & \dots & \pi_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \pi_{n1} & \pi_{n2} & \dots & \pi_{nn} \end{pmatrix} \end{matrix} \quad (۴)$$

که e_i عنصر i ام در سیستم است، π_{ij} ($i, j \in \{1, 2, \dots, n\}$) رابطه بین i امین و j امین عنصر را نشان می‌دهد و Dec ماتریس رابطه است. پس از ایجاد ماتریس رابطه، می‌توان با استفاده از رابطه (۵) بصورت زیر ماتریس دسترسی را محاسبه نمود:

$$M = Dec + I \quad (۵)$$

$$M^* = M^k = M^k, \quad k > 1$$

که در اینجا I ماتریس واحد، K بیانگر توان‌ها و M بیانگر ماتریس دسترسی اولیه است. پس از تشکیل ماتریس دسترسی اولیه، باید سازگاری درونی آن رعایت شود. یعنی در ماتریس اصلاح شده روابط از قلم افتاده در نظر گرفته شوند. M^* بدین منظور در نظر گرفته شده است که شرط سازگاری ماتریس را برابر شدن دو توان متوالی ماتریس دسترسی می‌داند. بدین ترتیب ماتریس

این ماتریس را شاخص‌های مسئله تصمیم‌گیری تشکیل می‌دهند. لازم به ذکر است، زمانیکه از دیدگاه چند نفر استفاده می‌شود برای تشکیل ماتریس S میانگین ساده نظرات مورد توجه قرار می‌گیرد.

$$S = \begin{pmatrix} 0 & s_{12} & \dots & s_{1n} \\ s_{21} & s_{22} & \dots & s_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ s_{n1} & s_{n2} & \dots & s_{nn} \end{pmatrix} \quad (۱)$$

گام ۲: بی‌مقیاس کردن ماتریس روابط مستقیم و ایجاد ماتریس نرمالیز (N). برای بدست آوردن ماتریس نرمالیز از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$N = K \times S \quad (۲)$$

$$K = \text{Min} \left(\frac{1}{\max \sum_{j=1}^n S_{ij}}, \frac{1}{\max \sum_{i=1}^n S_{ij}} \right)$$

گام ۳: محاسبه ماتریس ارتباط کامل (T). در این گام ابتدا باید ماتریس معکوس $(I - N)$ محاسبه شود و سپس، ماتریس ارتباط کامل از طریق رابطه (۳) حاصل خواهد شد.

$$T = N \times (I - N)^{-1} \quad (۳)$$

گام ۴: تعیین روابط علی و معلولی. برای تعیین روابط علی و معلولی نیاز است تا موارد زیر در نظر گرفته شود:

- جمع عناصر هر سطر (D) برای هر بعد، نشان‌دهنده میزان تأثیرگذاری آن بعد بر دیگر ابعاد سیستم است. (میزان تأثیرگذاری ابعاد)
- جمع عناصر هر ستون (R) برای هر بعد، نشان‌دهنده میزان تأثیرپذیری آن بعد از دیگر ابعاد سیستم است. (میزان تأثیرپذیری ابعاد)
- مجموع $(D+R)$ برای هر بعد، میزان تأثیر و تأثر آن بعد را در سیستم نشان می‌دهد. به عبارت دیگر، هر چه مقدار $(D+R)$ بعدی بیشتر باشد آن بعد تعامل بیشتری با دیگر ابعاد دارد.
- اختلاف $(D-R)$ برای هر بعد، قدرت تأثیرگذاری آن بعد را در سیستم نشان می‌دهد. بطور کلی، اگر مقدار $(D-R)$ مثبت باشد، بعد یک متغیر علی محسوب می‌شود و اگر مقدار منفی باشد، بعد متغیری معلول به حساب می‌آید (۲۰).

متغیرهای متصل یا پیوندی می‌باشند.

- دسته چهارم: عواملی که دارای قدرت نفوذ قوی ولی وابستگی ضعیف هستند متغیرهای مستقل می‌باشند (۲۲).

یافته‌ها

با بررسی پیشینه در بخش قبل، موانع برای اجرای موفقیت‌آمیز مدیریت پسماندهای خطرناک در استان کرمانشاه انتخاب شدند. در این قسمت، به منظور تسهیل در محاسبات برای هر یک از موانع ده‌گانه نامی اختصاری در نظر گرفته می‌شود. ده مانع در اجرای مدیریت پسماندهای خطرناک و نام اختصاری هر یک در این مطالعه عبارتند از:

- عدم آگاهی عمومی درباره بازیافت پسماندهای خطرناک (B_1)
- عدم وجود سیاست‌هایی برای رسیدگی به مباحث پسماندهای خطرناک (B_2)

- عدم تصویب اصلاحیه ممنوعیت بازل (B_3)
- رشد بخش غیررسمی (B_4)
- عدم اجرای شیوه‌های سبز در طراحی محصولات صنعتی (B_5)
- کمبود بودجه برای شیوه‌های بازیافت پسماندهای خطرناک (B_6)
- نبود ابتکارات مسئولیت اجتماعی (B_7)
- عدم به اشتراک‌گذاری دانش میان شرکت‌ها برای شیوه‌های بازیافت سبز (B_8)

- زیرساخت‌های ناکافی (B_9)
- عدم وجود رویکردهای مسئولیت توسعه یافته (B_{10})

در ابتدا به منظور تشخیص روابط علی میان موانع اجرای مدیریت پسماندهای خطرناک، تکنیک دیمتل مورد استفاده قرار گرفت و بر اساس موانع ده‌گانه مذکور، پرسشنامه تشخیص روابط علی با ۹۰ سؤال طراحی شد و از پنج مدیر و کارشناس شرکت مدیریت پسماند خواسته شد که به پرسشنامه‌ها پاسخ دهند. در این پرسشنامه‌ها ۰ به معنای عدم تأثیرگذاری، ۱ به معنای تأثیر خیلی کم، ۲ به معنای تأثیر کم، ۳ به معنای تأثیر زیاد و ۴ به معنای تأثیر خیلی زیاد است. در مرحله بعدی، با استفاده از میانگین حسابی از نظرات پنج مدیر و کارشناس ماتریس

دسترسی نهایی ایجاد می‌گردد. توجه داشته باشید که ماتریس دسترسی تحت عملگرهای جمع و ضرب بولین می‌باشد.

در مرحله بعد می‌توان بر طبق روابط (۶) و (۷) به ترتیب، مجموعه دستیابی و مجموعه پیش‌نیاز را محاسبه کرد. روابط بدین صورت بکار برده می‌شوند:

$$R(t_i) = \{e_i | m_{ji}^* = 1\} \quad (۶)$$

و

$$A(t_i) = \{e_i | m_{ij}^* = 1\} \quad (۷)$$

که m_{ij} نشان‌دهنده ارزش سطر i و ستون j در ماتریس دسترسی است.

سپس، مطابق با روابط (۶) و (۷)، می‌توان سطوح و ارتباط بین عناصر را تعیین نمود و همچنین ساختار روابط عناصر را می‌توان با استفاده از معادله زیر بیان کرد:

$$R(t_i) \cap A(t_i) = R(t_i) \quad (۸)$$

پس از تعیین سطوح عناصر، از روی ماتریس دسترسی نهایی با حذف انتقال‌پذیری‌ها (روابط از قلم افتاده)، یک گراف جهت‌دار ترسیم می‌شود. علاوه بر این در ادامه مدل‌سازی ساختاری تفسیری می‌توان به تجزیه و تحلیل میک‌مک^۱ پرداخت. جمع سطری مقادیر در ماتریس دسترسی نهایی برای هر عنصر بیانگر قدرت نفوذ و جمع ستونی نشانگر قدرت وابستگی خواهد بود. عواملی که در ستون پایین‌تر مدل قرار دارند به دلیل دارا بودن قدرت پیش‌برندگی بیشتر به عنوان عوامل هدایت‌کننده و عواملی که در سطح بالاتر قرار دارند به دلیل وابستگی به عوامل هدایت‌کننده، پیرو محسوب می‌شوند. در تجزیه و تحلیل میک‌مک متغیرها بر حسب قدرت هدایت و وابستگی به چهار دسته تقسیم می‌شوند:

- دسته اول: عواملی که دارای قدرت نفوذ و وابستگی ضعیف هستند متغیرهای خودمختار می‌باشند.
- دسته دوم: عواملی که دارای قدرت نفوذ کم ولی وابستگی شدید هستند متغیرهای وابسته می‌باشند.
- دسته سوم: عواملی که دارای قدرت نفوذ و وابستگی زیاد هستند

جدول ۲. ماتریس‌های روابط مستقیم، نرمالیز شده و ارتباط کلی موانع در اجرای مدیریت پسماندهای خطرناک

قسمت «الف». ماتریس روابط مستقیم موانع در اجرای مدیریت پسماندهای خطرناک.										
موانع	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅	B ₆	B ₇	B ₈	B ₉	B ₁₀
B ₁	۰/۰۰	۳/۰۰	۳/۵۰	۳/۰۰	۳/۲۵	۳/۲۵	۳/۲۵	۲/۰۰	۱/۵۰	۳/۲۵
B ₂	۲/۰۰	۰/۰۰	۳/۰۰	۴/۰۰	۳/۰۰	۱/۰۰	۲/۰۰	۲/۵۰	۲/۲۵	۳/۰۰
B ₃	۳/۷۵	۱/۷۵	۰/۰۰	۲/۰۰	۳/۲۵	۳/۰۰	۳/۰۰	۲/۵۰	۲/۷۵	۳/۰۰
B ₄	۲/۲۵	۲/۰۰	۳/۵۰	۰/۰۰	۱/۰۰	۱/۵۰	۳/۰۰	۳/۷۵	۳/۷۵	۳/۰۰
B ₅	۳/۷۵	۲/۲۵	۲/۰۰	۲/۰۰	۰/۰۰	۲/۷۵	۴/۰۰	۳/۰۰	۳/۰۰	۴/۰۰
B ₆	۲/۰۰	۲/۰۰	۲/۵۰	۲/۰۰	۱/۰۰	۰/۰۰	۱/۷۵	۱/۵۰	۱/۷۵	۳/۰۰
B ₇	۲/۷۵	۳/۰۰	۲/۷۵	۴/۰۰	۳/۰۰	۱/۰۰	۰/۰۰	۲/۲۵	۳/۵۰	۳/۰۰
B ₈	۳/۲۵	۳/۲۵	۳/۲۵	۳/۵۰	۲/۲۵	۳/۵۰	۳/۵۰	۰/۰۰	۲/۷۵	۴/۰۰
B ₉	۱/۷۵	۱/۷۵	۱/۷۵	۱/۷۵	۲/۰۰	۳/۵۰	۱/۷۵	۲/۷۵	۰/۰۰	۳/۲۵
B ₁₀	۱/۵۰	۱/۵۰	۳/۰۰	۲/۷۵	۴/۰۰	۱/۷۵	۲/۲۵	۲/۰۰	۳/۵۰	۰/۰۰
قسمت «ب». ماتریس نرمالیز شده روابط مستقیم موانع در اجرای مدیریت پسماندهای خطرناک										
موانع	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅	B ₆	B ₇	B ₈	B ₉	B ₁₀
B ₁	۰/۰۰	۰/۱۰	۰/۱۲	۰/۱۰	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۰۷	۰/۰۵	۰/۱۱
B ₂	۰/۰۷	۰/۰۰	۰/۱۰	۰/۱۴	۰/۱۰	۰/۰۳	۰/۰۷	۰/۰۹	۰/۰۸	۰/۱۰
B ₃	۰/۱۳	۰/۰۶	۰/۰۰	۰/۰۷	۰/۱۱	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۱۰
B ₄	۰/۰۸	۰/۰۷	۰/۱۲	۰/۰۰	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۱۰	۰/۱۳	۰/۱۰	۰/۱۳
B ₅	۰/۱۳	۰/۰۸	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۰	۰/۰۹	۰/۱۴	۰/۱۰	۰/۱۴	۰/۱۰
B ₆	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۹	۰/۰۷	۰/۰۳	۰/۰۰	۰/۰۷	۰/۰۵	۰/۱۰	۰/۰۶
B ₇	۰/۰۹	۰/۱۰	۰/۰۹	۰/۱۴	۰/۱۰	۰/۰۳	۰/۰۰	۰/۰۸	۰/۰۷	۰/۱۲
B ₈	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱۲	۰/۰۸	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۰۰	۰/۰۹	۰/۱۴
B ₉	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۱۰	۰/۰۳	۰/۰۷	۰/۱۲	۰/۰۶	۰/۰۹	۰/۰۰	۰/۱۱
B ₁₀	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۱۰	۰/۰۹	۰/۱۴	۰/۰۶	۰/۰۸	۰/۰۷	۰/۱۲	۰/۰۰
قسمت «ج». ماتریس ارتباط کلی موانع در اجرای مدیریت پسماندهای خطرناک										
موانع	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅	B ₆	B ₇	B ₈	B ₉	B ₁₀
B ₁	۰/۳۹	۰/۴۴	۰/۵۵	۰/۵۰	۰/۴۹	۰/۴۶	۰/۵۲	۰/۴۶	۰/۴۷	۰/۵۸
B ₂	۰/۴۱	۰/۳۱	۰/۴۹	۰/۴۹	۰/۴۴	۰/۳۶	۰/۴۴	۰/۴۴	۰/۴۵	۰/۵۲
B ₃	۰/۵۱	۰/۴۱	۰/۴۵	۰/۴۷	۰/۵۰	۰/۴۶	۰/۵۲	۰/۵۰	۰/۵۱	۰/۵۷
B ₄	۰/۴۳	۰/۳۹	۰/۵۲	۰/۳۸	۰/۴۰	۰/۳۹	۰/۴۸	۰/۴۸	۰/۴۸	۰/۵۶
B ₅	۰/۵۱	۰/۴۳	۰/۵۲	۰/۴۸	۰/۴۰	۰/۴۶	۰/۵۵	۰/۵۰	۰/۵۵	۰/۵۸
B ₆	۰/۳۳	۰/۳۰	۰/۳۹	۰/۳۴	۰/۳۱	۰/۲۵	۰/۳۵	۰/۳۲	۰/۳۸	۰/۳۹
B ₇	۰/۴۶	۰/۴۲	۰/۵۱	۰/۵۱	۰/۴۷	۰/۳۸	۰/۴۰	۰/۴۵	۰/۴۶	۰/۵۶
B ₈	۰/۵۳	۰/۴۹	۰/۵۹	۰/۵۶	۰/۵۱	۰/۵۱	۰/۵۷	۰/۴۴	۰/۵۵	۰/۶۵
B ₉	۰/۳۷	۰/۳۴	۰/۴۵	۰/۳۶	۰/۳۸	۰/۴۰	۰/۳۹	۰/۴۰	۰/۳۴	۰/۴۸
B ₁₀	۰/۳۹	۰/۳۵	۰/۴۸	۰/۴۴	۰/۴۶	۰/۳۸	۰/۴۴	۰/۴۱	۰/۴۸	۰/۴۲

کلّی (T) برای هر مانع، نشان‌دهنده میزان تأثیرپذیری آن مانع از دیگر موانع است (۳) مجموع (D+R) برای هر مانع، میزان تأثیر و تأثر آن مانع را نشان می‌دهد. به عبارت دیگر، هر چه مقدار (D+R) مانعی بیشتر باشد آن مانع تعامل بیشتری با دیگر موانع دارد و (۴) اختلاف (D-R) برای هر مانع، قدرت تأثیرگذاری آن مانع را نشان می‌دهد. در کل، اگر مقدار (D-R) مثبت باشد، مانع یک متغیر علی محسوب شده و اگر مقدار منفی باشد، مانع متغیری معلول به حساب می‌آید. جدول ۳ مقادیر این پارامترها را گزارش می‌کند. از نتایج جدول ۳ می‌توان دریافت که با توجه به (D+R) عدم عدم تصویب اصلاحیه ممنوعیت بازل، عدم اجرای شیوه‌های سبز در طراحی محصولات صنعتی، عدم به اشتراک‌گذاری دانش میان شرکت‌ها برای شیوه‌های بازیافت سبز و عدم وجود رویکردهای مسئولیت توسعه یافته تعامل بیشتری با دیگر موانع دارند و با توجه به (D-R) عدم آگاهی عمومی درباره بازیافت پسماندهای خطرناک، عدم وجود سیاست‌هایی برای رسیدگی به مباحث پسماندهای خطرناک، عدم اجرای شیوه‌های سبز در طراحی محصولات صنعتی و عدم به اشتراک‌گذاری دانش میان شرکت‌ها برای شیوه‌های بازیافت سبز موانع علی محسوب شده و عدم تصویب اصلاحیه ممنوعیت بازل، رشد بخش غیررسمی، کمبود بودجه برای شیوه‌های بازیافت پسماندهای خطرناک، زیرساخت‌های ناکافی، نبود ابتکارات مسئولیت اجتماعی و عدم وجود رویکردهای مسئولیت توسعه یافته موانع معلول به حساب می‌آیند.

جدول ۳. مجموع عناصر سطر و ستون برای معیارها و مقادیر (D+R) و (D-R)

موانع	نماد	D	R	D+R	D-R
عدم آگاهی عمومی درباره بازیافت پسماندهای خطرناک	B ₁	۴/۸۶	۴/۳۳	۹/۱۹	۰/۵۳
عدم وجود سیاست‌هایی برای رسیدگی به مباحث پسماندهای خطرناک	B ₂	۴/۳۵	۳/۸۸	۸/۲۳	۰/۴۷
عدم تصویب اصلاحیه ممنوعیت بازل	B ₃	۴/۹۰	۴/۹۵	۹/۸۵	-۰/۰۵
رشد بخش غیررسمی	B ₄	۴/۵۱	۴/۵۳	۹/۰۴	-۰/۰۲
عدم اجرای شیوه‌های سبز در طراحی محصولات صنعتی	B ₅	۴/۹۸	۴/۳۶	۹/۳۴	۰/۶۲
کمبود بودجه برای شیوه‌های بازیافت پسماندهای خطرناک	B ₆	۳/۳۶	۴/۰۵	۷/۴۱	-۰/۶۹
نبود ابتکارات مسئولیت اجتماعی	B ₇	۴/۶۲	۴/۶۶	۹/۲۸	-۰/۰۴
عدم به اشتراک‌گذاری دانش میان شرکت‌ها برای شیوه‌های بازیافت سبز	B ₈	۵/۴۰	۴/۴۰	۹/۸۰	۱/۰۰
زیرساخت‌های ناکافی	B ₉	۳/۹۱	۴/۶۷	۸/۵۸	-۰/۷۶
عدم وجود رویکردهای مسئولیت توسعه یافته	B ₁₀	۴/۲۵	۵/۳۱	۹/۵۶	-۱/۰۶

روابط مستقیم (S) تشکیل شد که در قسمت «الف» جدول ۲ نشان داده شده است. در گام دوم، با نرمالیز کردن ماتریس روابط مستقیم، ماتریس روابط مستقیم نرمالیز شده (N) حاصل می‌شود. با توجه به رابطه (۲) باید مجموع عناصر هر سطر و هر ستون ماتریس روابط مستقیم محاسبه شود. با انجام این کار، حداکثر مقدار مجموع سطرها در ماتریس روابط مستقیم برابر با ۲۹/۲۵ و حداکثر مقدار مجموع ستون‌ها در ماتریس روابط مستقیم برابر با ۲۳/۲۵ محاسبه گشت. در نتیجه، مقدار انتخابی برای K برابر با ۰/۰۳۴ تعیین شد. سپس، باید تمامی درایه‌های ماتریس ارتباط مستقیم (S) در این عدد ضرب شده تا ماتریس ارتباط مستقیم نرمالیز شده (N) حاصل شود. با اجرای این مرحله، نتایج حاصل از آن در قسمت «ب» جدول ۲ قرار گرفت. در گام سوم، باید ماتریس ارتباط کلّی (T) با استفاده از رابطه (۳) تشکیل شود که پس از انجام محاسبات مربوط، یافته‌های این ماتریس نیز در قسمت «ج» جدول ۲ قابل مشاهده می‌باشد.

در گام نهایی تکنیک دیمتل، نیاز است که روابط علی و معلولی برای موانع اجرای مدیریت پسماندهای خطرناک در استان کرمانشاه تعیین شود. در بخش روش کار شرح داده شد که به منظور تعیین روابط علی و معلولی نیاز است تا چهار دسته از پارامترها در نظر گرفته شود، یعنی (۱) جمع عناصر هر سطر (D) در ماتریس ارتباط کلّی (T) برای هر مانع، نشان‌دهنده میزان تأثیرگذاری آن مانع بر دیگر موانع است (۲) جمع عناصر هر ستون (R) در ماتریس ارتباط

ایجاد گردد. بدین صورت ماتریس دسترسی اولیه همان ماتریس رابطه (Dec) خواهد بود با این تفاوت که عناصر روی قطر اصلی آن عدد ۱ می‌باشند. ماتریس دسترسی اولیه (M) بصورت قسمت «الف» جدول ۴ نمایش داده می‌شود. در ادامه، برای دستیابی به سازگاری در ماتریس دسترسی و پایداری روابط مستقیم و غیرمستقیم، بر اساس رابطه (۵) ماتریس‌های دسترسی به توان رسانده می‌شوند. با انجام چنین فرایندی مشخص می‌شود که به عنوان مثال، اگر مانع اول بر روی مانع دوم اثر دارد و مانع دوم بر مانع سوم اثر دارد، بنابراین، مانع اول باید بر مانع سوم اثر داشته باشد. در نتیجه، ماتریس دسترسی سازگار و نهایی با اضافه شدن انتقال پذیری‌ها (روابط از قلم افتاده) بصورت قسمت «ب» جدول ۴ شکل می‌گیرد.

در ادامه این مطالعه، به منظور سطح‌بندی موانع برای اجرای موفقیت‌آمیز مدیریت پسماندهای خطرناک، مدل‌سازی ساختاری تفسیری مورد استفاده قرار گرفت و از مدیران و کارشناسان شرکت مدیریت پسماند خواسته شد تا پرسشنامه مربوط را تکمیل نمایند. شرح داده شد که در پرسشنامه به این سؤال پاسخ داده می‌شود که آیا موانع بر یکدیگر اثر دارند یا خیر. در صورت تأثیر یک مانع بر مانع دیگر امتیاز ۱ به آن تعلق می‌گیرد و در غیر اینصورت، امتیاز ۰ خواهد بود. پس از گردآوری نظرات مدیران و کارشناسان، با بکارگیری شاخص مرکزی نما در داده‌های جمع‌آوری شده، ماتریس رابطه (Dec) تشکیل می‌شود. در مرحله بعد باید ماتریس رابطه (Dec) را با ماتریس واحد جمع کنیم تا ماتریس دسترسی اولیه (M)

جدول ۴. ماتریس‌های دسترسی اولیه و دسترسی نهایی موانع در اجرای مدیریت پسماندهای خطرناک

قسمت «الف». ماتریس دسترسی اولیه موانع در اجرای مدیریت پسماندهای خطرناک											
موانع	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅	B ₆	B ₇	B ₈	B ₉	B ₁₀	
B ₁	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	
B ₂	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۱	
B ₃	۰	۰	۱	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۰	
B ₄	۰	۰	۰	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۰	
B ₅	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۱	۰	۰	۰	
B ₆	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	
B ₇	۰	۰	۱	۱	۰	۰	۰	۱	۰	۰	
B ₈	۰	۰	۱	۰	۱	۱	۰	۰	۰	۰	
B ₉	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	
B ₁₀	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۰	۰	۰	۰	
قسمت «ب». ماتریس دسترسی نهایی موانع در اجرای مدیریت پسماندهای خطرناک											
موانع	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅	B ₆	B ₇	B ₈	B ₉	B ₁₀	قدرت نفوذ
B ₁	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱۰
B ₂	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱۰
B ₃	۰	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۶
B ₄	۰	۰	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۸
B ₅	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۷
B ₆	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۱	۰	۰	۰	۵
B ₇	۰	۰	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۰	۷
B ₈	۰	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۷
B ₉	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۷
B ₁₀	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۱	۰	۱	۰	۶
قدرت وابستگی	۲	۶	۸	۹	۹	۹	۹	۷	۹	۶	۸

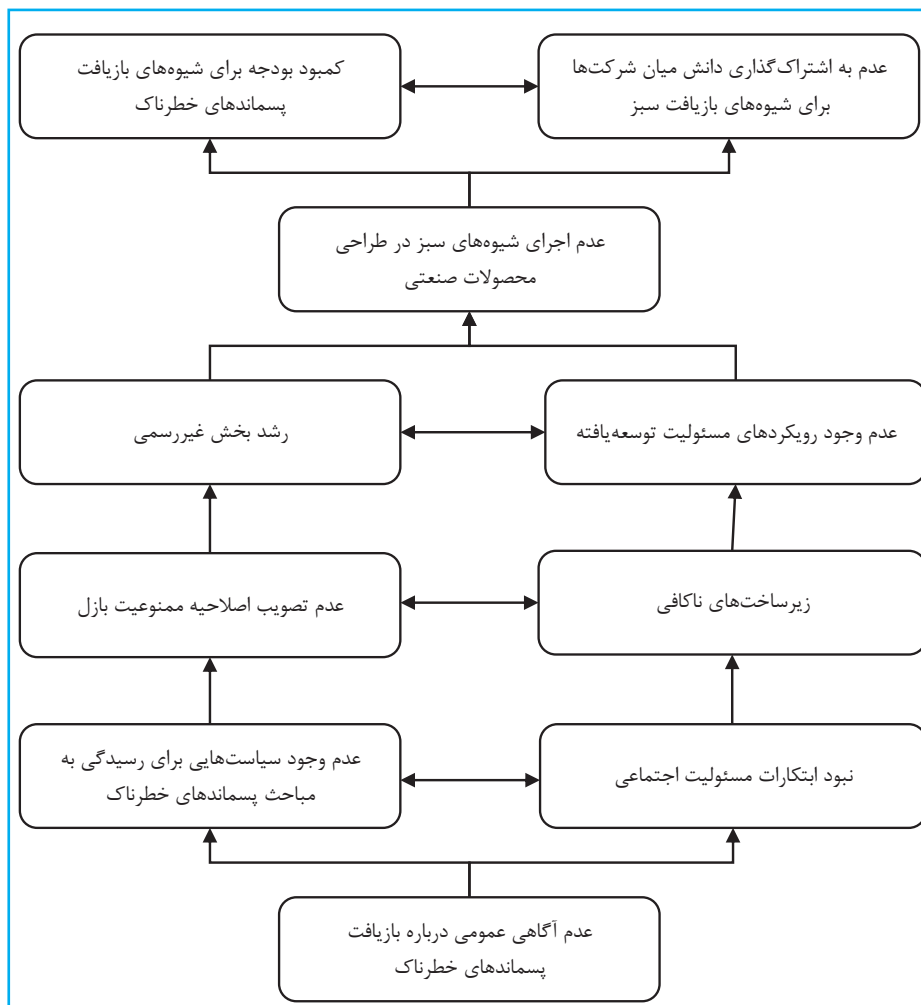
جدول ۵. سطح بندی موانع ده گانه در اجرای مدیریت پسماندهای خطرناک

تکرار اول اولویت بندی سطوح موانع			
موانع	مجموعه دستیابی	مجموعه پیش نیاز	مجموعه اشتراک
B ₁	۱۰.۹.۸.۷.۶.۵.۴.۳.۲.۱	۲.۱	۲.۱
B ₂	۱۰.۹.۸.۷.۶.۵.۴.۳.۲.۱	۱۰.۷.۵.۴.۳.۲.۱	۱۰.۷.۵.۴.۳.۲.۱
B ₃	۱۰.۸.۶.۵.۴.۳	۹.۸.۷.۵.۴.۳.۲.۱	۸.۵.۴.۳
B ₄	۱۰.۸.۷.۶.۵.۴.۳.۲	۱۰.۹.۸.۷.۶.۴.۳.۲.۱	۱۰.۸.۷.۶.۴.۳.۲
B ₅	۹.۸.۶.۵.۳.۲	۱۰.۹.۸.۷.۵.۴.۳.۲.۱	۹.۸.۵.۳.۲
B ₆	۱۰.۹.۸.۶.۴	۱۰.۹.۸.۶.۵.۴.۳.۲.۱	۱۰.۹.۸.۶.۴
B ₇	۱۰.۸.۷.۵.۴.۳.۲	۱۰.۸.۷.۵.۴.۳.۲.۱	۱۰.۸.۷.۴.۳.۲
B ₈	۹.۸.۷.۶.۵.۴.۳	۹.۸.۷.۶.۵.۴.۳.۲.۱	۹.۸.۷.۶.۵.۴.۳
B ₉	۱۰.۹.۵.۴.۳	۹.۸.۷.۶.۵.۴.۳.۲.۱	۹.۵.۳
B ₁₀	۱۰.۷.۶.۵.۴.۲	۱۰.۹.۷.۶.۴.۳.۲.۱	۱۰.۷.۶.۴.۲
تکرار دوم اولویت بندی سطوح موانع			
B ₁	۱۰.۹.۷.۵.۴.۳.۲.۱	۲.۱	۲.۱
B ₂	۱۰.۹.۷.۵.۴.۳.۲.۱	۱۰.۷.۵.۴.۳.۲.۱	۱۰.۷.۵.۴.۳.۲.۱
B ₃	۱۰.۵.۴.۳	۹.۷.۵.۴.۳.۲.۱	۵.۴.۳
B ₄	۱۰.۷.۵.۴.۳.۲	۱۰.۹.۷.۴.۳.۲.۱	۱۰.۷.۴.۳.۲
B ₅	۹.۵.۳.۲	۱۰.۹.۷.۵.۴.۳.۲.۱	۹.۵.۳.۲
B ₇	۱۰.۷.۵.۴.۳.۲	۱۰.۷.۵.۴.۳.۲.۱	۱۰.۷.۴.۳.۲
B ₉	۱۰.۹.۵.۴.۳	۹.۷.۵.۴.۳.۲.۱	۹.۵.۳
B ₁₀	۱۰.۷.۵.۴.۲	۱۰.۹.۷.۴.۳.۲.۱	۱۰.۷.۴.۲
تکرار سوم اولویت بندی سطوح موانع			
B ₁	۱۰.۹.۷.۴.۳.۲.۱	۲.۱	۲.۱
B ₂	۱۰.۹.۷.۴.۳.۲.۱	۱۰.۷.۴.۳.۲.۱	۱۰.۷.۴.۳.۲.۱
B ₃	۱۰.۴.۳	۹.۷.۴.۳.۲.۱	۴.۳
B ₄	۱۰.۷.۴.۳.۲	۱۰.۹.۷.۴.۳.۲.۱	۱۰.۷.۴.۳.۲
B ₇	۱۰.۷.۴.۳.۲	۱۰.۷.۴.۳.۲.۱	۱۰.۷.۴.۳.۲
B ₉	۱۰.۹.۴.۳	۹.۷.۴.۳.۲.۱	۹.۳
B ₁₀	۱۰.۷.۴.۲	۱۰.۹.۷.۴.۳.۲.۱	۱۰.۷.۴.۲
تکرار چهارم اولویت بندی سطوح موانع			
B ₁	۷.۳.۲.۱	۲.۱	۲.۱
B ₂	۹.۷.۳.۲.۱	۷.۲.۱	۷.۲.۱
B ₃	۳	۹.۷.۳.۲.۱	۳
B ₇	۷.۳.۲	۷.۲.۱	۷.۲
B ₉	۹.۳	۹.۷.۳.۲.۱	۹.۳
تکرار پنجم اولویت بندی سطوح موانع			
B ₁	۷.۲.۱	۲.۱	۲.۱
B ₂	۷.۲.۱	۷.۲.۱	۷.۲.۱
B ₇	۷.۲	۷.۲.۱	۷.۲
تکرار ششم اولویت بندی سطوح موانع			
B ₁	۱	۱	۱
ششم			

از محاسبات کنار گذاشته شده و مجدداً مراحل بالا برای تعیین سطح دوم تکرار می‌شود. موانع سطح دوم بر روی موانع سطح اول اثر گذاشته و تحت تأثیر موانع موجود در سطح سوم قرار می‌گیرند. این فرایند تا سطح بندی تمامی موانع ادامه پیدا می‌کند. جدول ۵ سطح بندی موانع اجرای مدیریت پسماندهای خطرناک را گزارش می‌کند.

پس از تعیین سطوح موانع، با حذف انتقال پذیریها (روابط از قلم افتاده) از روی ماتریس دسترسی نهایی، می‌توان یک گراف جهت دار را ترسیم کرد. از اینرو، شکل ۱ مدل پایانی این مطالعه بوده و نشان‌دهنده روابط تعاملی میان موانع در اجرای مدیریت پسماندهای خطرناک در استان کرمانشاه مورد مطالعه می‌باشد.

برای سطح بندی و اولویت بندی موانع اجرای مدیریت پسماندهای خطرناک باید بر طبق روابط (۶) تا (۸) به ترتیب، مجموعه دستیابی، مجموعه پیش نیاز و مجموعه اشتراک برای هر مانع را محاسبه کرد. مجموعه دستیابی هر مانع شامل موانعی است که در ماتریس دسترسی نهایی از این مانع می‌توان به آنها رسید و مجموعه پیش نیاز هر مانع شامل موانعی است که در ماتریس دسترسی نهایی از آنها می‌توان به این مانع رسید. در این سطح بندی موانعی که در سطح اول قرار گرفته تحت تأثیر دیگر موانع بوده و بر مانع دیگری اثر نمی‌گذارند. سطح اول سطحی است که مجموعه دستیابی و مجموعه اشتراک یکسانی داشته باشد. پس از اینکه سطح اول مشخص شد تمامی موانعی که در این سطح قرار گرفتند



شکل ۱. گراف جهت‌دار موانع ده‌گانه در اجرای مدیریت پسماندهای خطرناک

مختلف هر کشور است. بر این اساس، برنامه‌ریزی به منظور مدیریت موفقیت‌آمیز پسماندهای خطرناک و توجه به اثرات منفی و زیان‌بار آنها بر محیط‌زیست یکی از ضروری‌ترین اصول در مسیر دستیابی به مزایای بلندمدت توسعه پایدار در هر کشور است. برنامه‌ریزی برای مدیریت موفقیت‌آمیز پسماندهای خطرناک در هر منطقه‌ای از کشور نیازمند اطلاعات صحیحی از شرایط موجود بوده و بی‌اطلاعی از این شرایط پیامدهای نامطلوبی را به دنبال دارد. بنابراین، شناسایی موانع مدیریت پسماندهای خطرناک می‌تواند در مسیر برنامه‌ریزی مؤثرتر بسیار کاربردی باشد. با توجه به اندک مطالعات انجام شده در زمینه موانع مدیریت پسماندهای خطرناک که به آنها پرداخته شد، این مطالعات معطوف به شناسایی و اولویت‌بندی موانع شده است و موردی که به کشف روابط ساختاریافته بین موانع تمرکز کند وجود ندارد. برای مثال، یوکالانگ و همکاران در تحقیقی به تعیین موانع مدیریت مؤثر پسماندهای جامد شهری در یک منطقه شهری در تایلند پرداختند و عمده‌ترین موانع مؤثر بر مدیریت پسماندها را در شش حوزه اجتماعی-فرهنگی، فنی، مالی، سازمانی، حقوقی-سیاسی و رشد جمعیت شناسایی و طبقه‌بندی کردند (۲۳). مطالعه کومار و دیکسیت با هدف شناسایی موانع حیاتی مدیریت ضایعات تجهیزات الکترونیکی و الکترونیکی در هند انجام شد و یافته‌ها نشان داد که موانع سیاستی و نظارتی و همچنین موانع زیرساختی برجسته‌ترین موانع برای مدیریت مؤثر ضایعات هستند (۲۴). بیویی و همکاران موانع مدیریت پایدار پسماند جامد را مورد بررسی قرار دادند و نتایج نشان داد که ۴۴ مانع اساسی در مسیر مدیریت پایدار جامد وجود دارد که از مهم‌ترین آنها می‌توان به پسماندهای خطرناک خانگی، بودجه ناکافی برای تحقیقات مدیریت پسماند جامد، معماری محلی، فقدان توانایی کارکنان و فقدان یک فرایند استاندارد به منظور جمع‌آوری و تجزیه پسماندها اشاره کرد (۲۵). تحلیل موانع مدیریت پسماندهای روستایی در بخش مرکزی شهرستان ارومیه توسط کاظمیه و همکاران انجام شد و خروجی‌های این مطالعه نشان داد که موانع مدیریت

همانطور که از شکل ۱ مشخص است موانع در این پژوهش در شش سطح قرار گرفتند که در بالاترین سطح مانع کمبود بودجه برای شیوه‌های بازیافت پسماندهای خطرناک و مانع عدم اشتراک‌گذاری دانش میان شرکت‌ها برای شیوه‌های بازیافت سبز و در پایین‌ترین سطح مانع عدم آگاهی عمومی درباره بازیافت پسماندهای خطرناک قرار گرفتند.

علاوه بر این می‌توان در ادامه مدل‌سازی ساختاری تفسیری به تجزیه و تحلیل میک‌مک پرداخت. در واقع هدف از میک‌مک تشخیص قدرت وابستگی و قدرت نفوذ موانع در تجزیه و تحلیل‌های ساختاری است. بدین ترتیب، جمع سطری مقادیر در ماتریس دسترسی نهایی برای هر مانع بیانگر قدرت نفوذ و جمع ستونی نشانگر قدرت وابستگی خواهد بود که در قسمت «ب» جدول ۴ ارائه شده است. بر اساس تجزیه و تحلیل میک‌مک، موانع اجرای مدیریت پسماندهای خطرناک با توجه به قدرت وابستگی و نفوذ به سه دسته تقسیم شدند. دسته اول موانع وابسته را به خود اختصاص می‌دهند که در این تحقیق شامل کمبود بودجه برای شیوه‌های بازیافت پسماندهای خطرناک و نبود ابتکارات مسئولیت اجتماعی شدند. دسته دوم موانع پیوندی می‌باشند چرا که دارای قدرت وابستگی و نفوذ شدید بوده و عدم وجود سیاست‌هایی برای رسیدگی به مباحث پسماندهای خطرناک، عدم تصویب اصلاحیه ممنوعیت بازل، رشد بخش غیررسمی، عدم اجرای شیوه‌های سبز در طراحی محصولات صنعتی، عدم اشتراک‌گذاری دانش میان شرکت‌ها برای شیوه‌های بازیافت سبز، زیرساخت‌های ناکافی و عدم وجود رویکردهای مسئولیت توسعه‌یافته در این دسته قرار گرفتند. مانع عدم آگاهی عمومی درباره بازیافت پسماندهای خطرناک به دلیل قدرت نفوذ شدید و قدرت وابستگی ضعیف در دسته موانع مستقل قرار می‌گیرد.

بحث

امروزه ریسک‌های زیست‌محیطی بر آمده از مدیریت ناکارآمد پسماندهای خطرناک یکی از اساسی‌ترین مشکلات در مناطق

پسماند روستایی به ترتیب در شش گروه موانع آموزشی فرهنگی، بهداشتی محیطی، دانشی، زیست محیطی، مدیریت دفع و تجهیزاتی طبقه بندی شدند (۳). در این پژوهش تلاش شد تا تعدادی از موانع کلیدی در مدیریت پسماندهای خطرناک در استان کرمانشاه در نظر گرفته شود و بررسی ارتباط متقابل بین آنها با بکارگیری تکنیک های دیمتل و مدل سازی ساختاری تفسیری انجام صورت پذیرد.

از یافته های شکل ۱ می توان مشاهده نمود که عدم آگاهی عمومی درباره بازیافت پسماندهای خطرناک یکی از تأثیرگذارترین موانع با قدرت نفوذ بالا و وابستگی پایین است، در نتیجه این مانع برای اجرای مدیریت پسماندهای خطرناک در استان کرمانشاه بسیار پر اهمیت می باشد. این مانع به روشی سازگار با محیط زیست بر عدم وجود سیاست ها و نبود ابتکارات مسئولیت اجتماعی به منظور رسیدگی به مباحث پسماندهای خطرناک تمرکز دارد. عدم وجود سیاست هایی برای رسیدگی به مباحث پسماندهای خطرناک دارای قدرت نفوذ بالا و وابستگی متوسط است. از اینرو، به عنوان یک مانع تأثیرگذار در نظر گرفته می شود. همچنین، با توجه به تجزیه و تحلیل میک مک عدم اجرای شیوه های سبز در طراحی محصولات صنعتی مانعی قطعی در اجرای مدیریت پسماندهای خطرناک بوده و دارای قدرت نفوذ و وابستگی بالا است. بنابراین، بر اساس مدل سازی ساختاری تفسیری می توان ادعا داشت که به دلیل عدم وجود موانع مستقل، موانع شناسایی شده بطور قابل توجهی بر رویکرد اجرای مدیریت پسماندهای خطرناک تأثیر می گذارند.

با توجه به تجزیه و تحلیل تکنیک دیمتل مشاهده شد که عدم آگاهی عمومی درباره بازیافت پسماندهای خطرناک، عدم وجود سیاست هایی برای رسیدگی به مباحث پسماندهای خطرناک، عدم اجرای شیوه های سبز در طراحی محصولات صنعتی و عدم اشتراک گذاری دانش میان شرکت ها برای شیوه های بازیافت سبز در گروه موانع علی قرار می گیرند و به عنوان تأثیرگذارترین موانع در نظر گرفته می شوند. تأکید بر سیاست های رسیدگی به

پسماندهای خطرناک و آگاهی عمومی، درک اهمیت مدیریت پسماندهای خطرناک را افزایش می دهد. مهم تر از آن، استفاده از به اشتراک گذاری دانش برای شیوه های بازیافت سبز، مفهوم اساسی حفاظت از اکوسیستم و توسعه پایدار را تقویت می کند. در هر دو تکنیک دیمتل و مدل سازی ساختاری تفسیری، عدم آگاهی عمومی درباره بازیافت پسماندهای خطرناک و عدم وجود سیاست هایی برای رسیدگی به مباحث پسماندهای خطرناک، به عنوان تأثیرگذارترین موانع شناخته می شوند. از اینرو، این موانع تأثیرگذار و علی را می توان علت اصلی و ریشه ای موانع وابسته و تحت تأثیر تعریف کرد. بنابراین، به منظور اجرای مؤثر مدیریت پسماندهای خطرناک، موانعی که متعلق به گروه علی یا تأثیرگذار هستند باید بر اساس اولویت در نظر گرفته شوند. در نتیجه، برای کاهش اثر و یا رفع موانع تأثیرگذار، تصمیم گیرندگان باید اطمینان حاصل کنند که چارچوب تعیین موانع تحت کنترل و استوار می باشد. بر طبق مقایسه یافته های بدست آمده از دیمتل و مدل سازی ساختاری تفسیری، پر واضح است که نتایج دو تکنیک نسبت به یکدیگر تا حدودی سازگار هستند.

بطور کلی دانش ناکافی و آگاهی ضعیف مصرف کننده در رابطه با ادراک زیست محیطی بر اجرای مدیریت پسماندهای خطرناک تأثیر می گذارد. به دلیل نبود چارچوب سختگیرانه دولتی در اتخاذ سیاست های زیست محیطی، رشد بخش غیررسمی و جابجایی های غیرقانونی پسماندها از حیاتی ترین نگرانی ها برای استان کرمانشاه به حساب می آید. قوانین، مقررات و سیاست های مدیریت پسماند این استان نیاز است با الگو قرار دادن سیاست های کشورهای توسعه یافته دوباره طراحی شود. بنابراین، آگاهی مصرف کننده درباره پسماندهای خطرناک باید بیشتر گردد و برای نظارت و کنترل افزایش پسماندها در آینده سیاست های مناسبی بکار گرفته شود. علاوه بر این، اتخاذ شراکت عمومی- خصوصی در طراحی سیاست های مربوط به مدیریت پسماندهای خطرناک به منظور توسعه فرایند بازیافت سازگار با محیط زیست پسماندهای خطرناک در استان کرمانشاه نیاز است.

برای سیاست‌گذاران طراحی راهبردهای تصمیم‌گیری انعطاف‌پذیر فراهم کند تا به روشی سازگار با محیط‌زیست، شیوه‌های مدیریت پسماندهای خطرناک را بکار گیرند و به دنبال آن به هدف پایداری اقتصادی و اجتماعی دست یابند.

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان کلیه نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند. همچنین هر گونه تضاد منافع حقیقی یا مادی که ممکن است بر نتایج یا تفسیر مقاله تأثیر بگذارد را رد می‌کنند.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله مراتب تقدیر و تشکر خود را از حمایت‌های متخصصان و کارشناسان شرکت مدیریت پسماند در استان کرمانشاه اعلام می‌دارند.

نتیجه‌گیری

با توجه به مقالاتی که در زمینه موانع در مدیریت موفقیت‌آمیز پسماندهای خطرناک مورد بررسی قرار گرفته‌اند به نظر می‌رسد این اولین مطالعه‌ای است که به درک ساختار ارتباط درونی و متقابل میان موانع و همچنین ساختار سلسله‌مراتبی موانع مدیریت پسماندهای خطرناک پرداخته است. نتایج این پژوهش نشان داد که عدم آگاهی عمومی درباره بازیافت پسماندهای خطرناک و عدم وجود سیاست‌هایی برای رسیدگی به مباحث پسماندهای خطرناک تأثیرگذارترین و علی‌ترین موانع در هر دو تکنیک دیمتل و مدل‌سازی ساختاری تفسیری هستند. بنابراین، به منظور اجرای موفقیت‌آمیز مدیریت پسماندهای خطرناک در استان کرمانشاه نیاز به تمرکز بیشتر بر روی این موانع احساس می‌شود. در نهایت، نتایج این پژوهش می‌تواند بینش‌های ثمربخشی را

References

- Hosseini Largani SA, Rafiee S, Mohtasebi SS. Modeling and optimization in a municipal solid waste management system with emission reduction approach - Case study: Tehran, Iran. *Journal of Research in Environmental Health* 2021; 7(3): 226-34. (Persian)
- Jabbari I, Ahmadi-Molaverdi M, Jami Alahmadi N, Rezapoor A, Mohammadnejad M. Geographical thinking is the basis of optimal sit selection for sensitive projects (Case study: Special wastes in Kermanshah province). *Journal of Geography and Planning* 2023; 27(84). (Persian)
- Kazemiyeh F, Eidi A, Motalem, M. Analysis of Barriers to Rural Waste Management (Case Study: Central District of Urmia County). *Environmental Sciences* 2023; 21(1): 147-62. (Persian)
- Godfrey L, Scott D, Trois C. Caught between the global economy and local bureaucracy: the barriers to good waste management practice in South Africa. *Waste Manag Res* 2013; 31(3): 295-305.
- Kumar A, Holuszko M, Espinosa DC. E-waste: An overview on generation, collection, legislation and recycling practices. *Resour Conserv Recyc* 2017; 122: 32-42.
- Welfens MJ, Nordmann J, Seibt A. Drivers and barriers to return and recycling of mobile phones. Case studies of communication and collection campaigns. *J Clean Prod* 2016; 132: 108-21.
- Srivastava R, Sharma D. Factors affecting e-waste management: an interpretive structural modeling approach. 2015 Fifth International Conference on Communication Systems and Network Technologies. 2015 Apr 4: pp. 1307-12.
- Um N, Park YS, Jeon TW. An improved strategy for effectively managing the transboundary movement of waste based on the basel convention: A case study in South Korea. *Heliyon* 2023; 9(6): e16496.
- Chi X, Streicher-Porte M, Wang MY, et al. Informal electronic waste recycling: A sector review with special focus on China. *Waste manag* 2011; 31(4): 731-42.
- Ravi V, Shankar R. Reverse logistics: insights from sectoral analysis of Indian manufacturing industries. *Int J Logist Syst Manag* 2014; 17(2): 234-59.
- Mulliner E, Smallbone K, Maliene V. An assessment of sustainable housing affordability using a multiple criteria decision making method. *Omega* 2013; 41(2): 270-9.
- Garlapati VK. E-waste in India and developed countries: Management, recycling, business and biotechnological initiatives. *Renew Sustain Energy Rev* 2016; 54: 874-81.
- Tseng ML. Importance-performance analysis of municipal solid waste management in uncertainty. *Environ Monit Assess* 2011; 172: 171-87.
- Mehregan MR, Hashemi SH, Karimi A, et al. Analysis of interactions among sustainability supplier selection criteria using ISM and fuzzy DEMATEL. *Int J Appl Decis Sci* 2014; 7(3): 270-94.
- Yazdani M, Hashemkhani Zolfani S, Zavadskas EK. New integration of MCDM methods and QFD in the selection of

- green suppliers. *J Bus Econ Manag* 2016; 17(6): 1097-113.
- Pires A, Chang NB, Martinho G. An AHP-based fuzzy interval TOPSIS assessment for sustainable expansion of the solid waste management system in Setúbal Peninsula, Portugal. *Resour Conserv Recycl* 2011; 56(1): 7-21.
- Chakraborty S, Saha AK. A framework of LR fuzzy AHP and fuzzy WASPAS for health care waste recycling technology. *Appl Soft Comput* 2022; 127: 109388.
- Trivedi A, Jakhar SK, Sinha D. Analyzing barriers to inland waterways as a sustainable transportation mode in India: a dematel-ISM based approach. *J Clean Prod* 2021; 295: 126301.
- Vishwakarma A, Dangayach GS, Meena ML, et al. Analysing barriers of sustainable supply chain in apparel & textile sector: A hybrid ISM-MICMAC and DEMATEL approach. *Cleaner Logistics and Supply Chain* 2022; 5: 100073.
- Garg CP. Modeling the e-waste mitigation strategies using Grey-theory and DEMATEL framework. *J Clean Prod* 2021; 281: 124035.
- Saadatlu EA, Barzinpour F, Yaghoubi S. A sustainable municipal solid waste system under leachate treatment impact along with leakage control and source separation. *Process Saf Environ Prot* 2023; 169: 982-98.
- Chandramowli S, Transue M, Felder FA. Analysis of barriers to development in landfill communities using interpretive structural modeling. *Habitat Int* 2011; 35(2): 246-53.
- Yukalang N, Claeke B, Ross K. Barriers to Effective Municipal Solid Waste Management in a Rapidly Urbanizing Area in Thailand. *Int J Environ Res Public Health* 2017; 14(9): 1013.
- Kumar A, Dixit G. Evaluating critical barriers to implementation of WEEE management using DEMATEL approach. *Resour Conserv Recycl* 2018; 131: 101-21.
- Bui TD, Tsai FM, Tseng M-L, Ali MH. Identifying sustainable solid waste management barriers in practice using the fuzzy Delphi method. *Resour Conserv Recycl* 2020; 154: 104625.

Investigation and quantification of air pollution distribution from industrial stacks by AERMOD software in the southwest of Bandar Abbas County

Reza Peykanpour Fard

Ph.D, Faculty of Natural Resources Engineering, Isfahan University of technology, Isfahan, Iran.

Parvaneh Peykanpour Fard

* Ph.D, Human Environment and Sustainable Development Research Center, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran. (corresponding author): boom_payesh@yahoo.com

Hadi Hadian Ghahdarjani

Msc, Department of Environmental Management (HSE), Technical and Engineering Faculty, Islamic Azad University, Zahedan Branch, Zahedan, Iran.

Received: 2023/05/25

Accepted: 2023/10/22

Document Type: Research article

Doi:10.22038/jreh.2023.66934.1536

ABSTRACT

Background and Purpose: One of the fundamental problems of air pollution is that it often affects large areas of various land uses, such as cities and agricultural products hundreds of kilometers away from the source of pollutants, or results in cumulative effects with other industries. This research aims to quantify the concentration of pollutants in residential areas around industrial areas.

Materials and Methods: In this study, the AERMOD software was used for modeling air pollutants. This software uses meteorological data, digital elevation models, and information about pollutant sources. It assesses and quantifies air pollution levels related to PM₁₀, SO_x, NO_x, and CO pollutants in a specific location.

Results: The results of this study indicate that in these 28 population points surrounding the targeted industrial land use, pollutant concentrations in both scenarios with and without background concentrations did not exceed the standard limits for any pollutant. The most significant pollutant in this research was NO_x, which showed the slightest difference from the permissible pollution limit. Furthermore, due to the closer proximity of pollutants to environmental standards in this region, increased loading of industrial land uses can lead to various health, economic, and social problems.

Conclusion: The findings of this research demonstrate that to assess and quantify pollutant concentrations in the areas surrounding industrial pollutant points, it is advisable to consider background pollution in addition to modeling point sources for greater accuracy in the direction of sustainable development in such areas.

Keywords: Air pollution, Bandar Abbas, Modelling, Particulate Matter, AERMOD

► **Citation:** Peykanpour Fard R, Peykanpour Fard P, Hadian Ghahdarjani H. Investigation and quantification of air pollution distribution from industrial stacks by AERMOD software in the southwest of Bandar Abbas County. *Iranian Journal of Research in Environmental Health*. Autumn 2023; 9(3): 325-337.

بررسی و کمی‌سازی پراکنش آلودگی هوای حاصل از دودکش‌های صنعتی توسط نرم‌افزار AERMOD در جنوب غربی شهرستان بندرعباس

چکیده

زمینه و هدف: یکی از اساسی‌ترین مشکلات آلودگی هوا این است که معمولاً مناطق وسیعی از کاربری‌های مختلف همچون شهرها و محصولات کشاورزی را در صدها کیلومتر از منشأ تولید آلاینده‌ها تحت تأثیر خود قرار داده و یا موجب اثرات تجمعی با دیگر صنایع شده است. هدف از این پژوهش کمی‌سازی غلظت آلاینده‌ها در مناطق مسکونی اطراف کاربری‌های صنعتی است.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه به منظور مدل‌سازی آلاینده‌های هوا از نرم‌افزار AERMOD استفاده گردید. این نرم‌افزار با استفاده از داده‌های هواشناسی، مدل رقومی ارتفاع و اطلاعات مربوط به منابع آلاینده میزان آلودگی هوای مربوط به آلاینده‌های NO_x ، SO_x ، PM_{10} و CO را در یک مکان مشخص ارزیابی و کمی‌سازی می‌کند.

یافته‌ها: نتایج حاصل از پژوهش حاضر حاکی از این است که در این ۲۸ نقطه جمعیتی پیرامون کاربری صنعتی مورد نظر از نظر غلظت آلاینده‌ها در هر دو حالت با و بدون غلظت زمینه، غلظت هیچ آلاینده‌ای بالاتر از حد استاندارد نبوده است؛ و مهم‌ترین آلاینده در این پژوهش NO_x سالینه تشخیص داده شد که کمترین اختلاف را با حد مجاز آلودگی دارد. همچنین به دلیل نزدیکی بیشتر آلاینده‌ها به حد مجاز محیط زیست در این منطقه بارگذاری بیشتر کاربری‌های صنعتی می‌تواند باعث بروز مشکلات زیادی از لحاظ سلامتی، اقتصادی و اجتماعی شود.

نتیجه‌گیری: یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که به‌منظور ارزیابی و کمی‌سازی غلظت آلاینده‌های مناطق پیرامون نقاط آلاینده صنعتی علاوه بر مدل‌سازی منابع نقطه‌ای بهتر است آلودگی‌های موجود در زمینه نیز برای دقت بیشتر در راستای توسعه پایدار و درخور اینگونه مناطق بکار گرفته شوند.

کلید واژه‌ها: آلودگی هوا، بندرعباس، مدل‌سازی، ذرات معلق، AERMOD

رضا پیکانیپور فرد

دانشجوی دکتری، گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

پروانه پیکانیپور فرد

* استادیار، مرکز تحقیقات محیط زیست انسانی و توسعه پایدار، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران. (نویسنده مسئول): boom_payesh@yahoo.com

هادی هادیان قهدریجانی

کارشناسی ارشد، گروه مدیریت محیط زیست (HSE)، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد زاهدان، زاهدان، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۳۰

نوع مقاله: پژوهشی

◀ **استناد:** پیکانیپور فرد ر، پیکانیپور فرد ب، هادیان قهدریجانی ه. بررسی و کمی‌سازی پراکنش آلودگی هوای حاصل از دودکش‌های صنعتی توسط نرم‌افزار AERMOD در جنوب غربی شهرستان بندرعباس. فصلنامه پژوهش در بهداشت محیط. پاییز ۱۴۰۲: ۳۲۵-۳۳۷.

امروزه بسیاری از انسان‌ها در معرض آلودگی هوا قرار دارند و این پدیده، سلامت انسان‌ها را از جنبه‌های مختلفی تهدید می‌کند. سازمان ملل متحد، طی گزارشی اعلام نموده است که ۹۲ درصد از جمعیت کره زمین، در محیط‌هایی زندگی می‌کنند که آلودگی هوا از میزان توصیه شده تجاوز می‌کند. این واقعیات، در کنار تشدید مشکل آلودگی هوا در کشور ما اهمیت بررسی اثرات این پدیده روی شاخص‌های سلامت جامعه را بیش از پیش نشان می‌دهد (۱، ۲ و ۳).

آلودگی هوا بخش جدایی ناپذیری از توسعه صنعتی و زندگی شهری در چندین دهه اخیر بوده است. وجود منابع متنوع آلودگی هوا اعم از منابع متحرک، منابع صنعتی، منابع طبیعی (مانند طوفان‌های گردوغبار) و همچنین تنوع وسیع و روزافزون آلاینده‌های آلی و شیمیایی باعث پیچیدگی هرچه بیشتر این پدیده گردیده و نحوه مدیریت آلودگی هوا، کنترل و ارزیابی خسارات را دشوارتر از قبل نموده است (۴).

تاریخچه آلودگی هوا و بحث در مورد آن به قرون وسطی و حتی سال‌های پیش از آن مربوط می‌شود؛ بنابراین آلودگی هوا و قوانین وضع شده در مورد آن پدیده جدیدی نیست. برای مثال در سال ۶۸۵ شمسی استفاده از زغال سنگ در کوره‌های آهک‌پزی به دلیل آلوده کردن هوای شهر لندن ممنوع شد. چنین قوانینی در سایر نقاط جهان نیز در گذشته وضع شده است. امروز پیامدهای مختلف آلودگی هوا باعث شده که نظارت و کنترل کیفیت هوا به صورت امری گریز ناپذیر در تمام جوامع در رأس مسائل ملی مطرح شود (۵).

در جو زمین عناصر گوناگونی وجود دارد، ماده‌هایی چون مونوکسید کربن، اکسیدهای نیتروژن، هیدروکربن‌ها، اکسیدهای سولفور و ذرات معلق به عنوان آلوده‌کننده‌های اصلی هوا شناخته شده و باعث به وجود آمدن بیش از ۹۰ درصد آلودگی هوا می‌شوند (۶). چگونگی ورود آلاینده‌ها و همچنین سرعت آزادسازی آلاینده‌ها به اتمسفر بر آلودگی هوا تأثیر دارد. آلاینده‌ها ممکن است به طور متناوب یا پیوسته یا دوره‌ای آزاد شوند یا از یک منبع یا از چندین منبع یا از منابع نقطه‌ای و غیر نقطه‌ای آزاد شوند. همچنین

پراکندگی آلاینده‌ها به طریقه ورود آن‌ها به اتمسفر بستگی دارد. فقدان اطلاعات از نحوه پراکنش آلاینده‌ها باعث می‌شود تعیین تأثیر انتشار آن‌ها بر خارج از مرزهای سایت و در مناطق مسکونی اطراف دشوار باشد (۷).

اصلی‌ترین عوامل حرکت ذرات و آلاینده‌های موجود در هوا سرعت و جهت باد است؛ اما پارامترهایی دیگری مانند رطوبت، بارش و ارتفاع دودکش‌ها نیز پراکندگی گازها را تحت تأثیر قرار می‌دهند (۸). مدل AERMOD یک مدل گوسی پراکنش آلاینده‌های گازی بوده که رفتار توده هوای حاوی آلاینده‌ها را بر مبنای حل معادلات پراکنش در حالت دائمی مدل‌سازی می‌کند. توزیع جرم آلاینده در راستای افقی گوسی و در راستای عمودی دو-گوسی بوده و جهت انتقال آلاینده باد محور است. عملکرد مدل AERMOD برای مدل‌سازی نزدیک منطقه (حداکثر ۵۰ کیلومتر) برای شرایط پایداری مختلف بر مبنای مفاهیم تلاطم لایه مرزی سیاره‌ای استوار است (۹).

کمیسیون اروپا اهمیت جوامع محلی و منطقه‌ای را در تلاش برای مقابله با تغییرات آب و هوایی اذعان کرده است. در این راستا تعدادی از برنامه‌ها برای ایجاد شهرک‌های اروپایی در تلاش برای دستیابی به آینده کم کربن و بهبود کیفیت زندگی از طریق توسعه اقتصادی پایدار انجام داده است. این ابتکارها به طور کلی موفقیت آمیز بوده و منجر به تعهد تعداد بیشتری از شهرهای اروپایی در این راستا شده است. در عین حال مشخص شده است که یک نیاز کلیدی برای بهبود برنامه جامع شهرها به وسیله یک رویکرد یکپارچه و استراتژیک که بر ارزیابی هزینه‌ها در برابر استفاده از انرژی پایدار تمرکز دارد، موجود است (۱۰).

تأثیر سلامتی و هزینه‌های مربوط به آلودگی هوای ناشی از ذرات $PM_{2.5}$ در پایتخت ایران در سال ۲۰۱۷ برآورد شده است. در مطالعه‌ای که در شهر تهران انجام شد. علاوه بر میزان مرگ و میر ناشی از آلودگی هوای محیط در تهران، تأثیر اقتصادی مرتبط

با این اثرات نیز تخمین زده شده است. نتایج آن‌ها نشان داد که بیش از ۷۰۰۰ کشته یا ۱۰۰۰۰۰ سال زندگی از دست رفته است؛ و هزینه اقتصادی مربوط به آن حدود ۳ میلیارد دلار در سال ۲۰۱۷ بوده است. استراتژی‌های قاطع و پایدار کاهش آلودگی هوا می‌تواند صرفه‌جویی قابل توجهی در هر دو بخش سلامت و اقتصاد به همراه داشته باشد که بدون توجه متمرکز در سطح دولت و سیاست‌گذاران مسئول قابل دستیابی نیست (۱۱).

در مطالعه‌ای دیگر در شهر تهران نویسندگان به آسیب‌پذیری فضایی و بحران آلودگی هوا در این کلانشهر پرداختند. در این پژوهش، هدف شناسایی و تعیین این نقاط و محدوده‌ها در سطح شهر تهران بوده است. روش تحقیق به کارگرفته شده در این پژوهش از نوع توصیفی-تحلیلی بوده و اطلاعات مورد نیاز نیز از طریق روش کتابخانه‌ای و میدانی گردآوری شده است. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داده که نواحی غرب و جنوب شهر تهران به سبب تراکم بالای جمعیت و همچنین منابع آلاینده، آسیب‌پذیری بیشتری را نسبت به سایر بخش‌های شهر داشته که می‌تواند زنگ خطری برای سلامت شهروندان ساکن در این بخش باشد (۱۲).

در شهر اهواز نیز مطالعه‌ای بر روی ذرات معلق کمتر از ۱۰ میکرون و تاثیر آن در سلامت شهروندان در شهر اهواز انجام شده است. برای این منظور ابتدا داده‌های خام جمع‌آوری شده و در مرحله آخر به کمک داده‌های پردازش شده اثرات بهداشتی آلاینده ذرات معلق کمتر از ۱۰ میکرون محاسبه گردیده است. نتایج نشان داد که تعداد کل مرگ ناشی از بیماری‌های قلبی-عروقی و موارد مراجعات بیمارستانی به علت بیماری تنفسی متناسب به ذرات معلق کمتر از ۱۰ میکرون در یک سال ۷۱۴ و ۲۰۲۸ نفر بود (۱۳ و ۱۴).

در مطالعه‌ای دیگر، غلظت‌های سالانه و فصلی ذرات معلق $PM_{2.5}$ و PM_{10} را با استفاده از مدل رگرسیون کاربری زمین برآورد کردند. این مطالعه در شهرستان سبزوار در استان خراسان رضوی صورت گرفت و در ۲۶ ایستگاه پایش، مقادیر ذرات معلق ذکر شده را اندازه‌گیری کردند. همچنین نتایج پژوهش ایشان نشان داد که غلظت‌های ذرات معلق در این شهرستان از دستورالعمل‌های

سازمان بهداشت جهانی فراتر است که این مورد می‌تواند برای سلامت مردم و ساکنان این شهرستان، زنگ خطر باشد (۱۵ و ۱۶).

شرکت‌های پتروشیمی تاثیر منفی قابل توجهی بر کیفیت هوا، محیط زیست و سلامت مردم دارند. بنابراین اندازه‌گیری میزان انتشار آلاینده‌ها و پراکندگی آنها برای تعیین سیاست‌ها و محدودیت‌های انتشار آلاینده‌ها ضروری است. در این تحقیق، پژوهشگران غلظت برخی از آلاینده‌های خطرناک مانند CO ، NO_x و SO_x را برای تمام فصول سال اندازه‌گیری کرده‌اند. در تمام مناطق مسکونی نزدیک به این پتروشیمی در جنوب ایران، از مدل AERMOD برای مدل‌سازی پراکندگی و پیش‌بینی غلظت آلاینده‌های آزاد شده در جو استفاده شده بود. نتایج اندازه‌گیری در این تحقیق نشان داد که بیشترین میزان آلاینده منتشر شده از آلاینده NO_x است و در نتیجه میزان انتشار NO_x در فصول مختلف به طور قابل توجهی بیشتر از میزان انتشار CO و SO_x است (۱۷ و ۱۸).

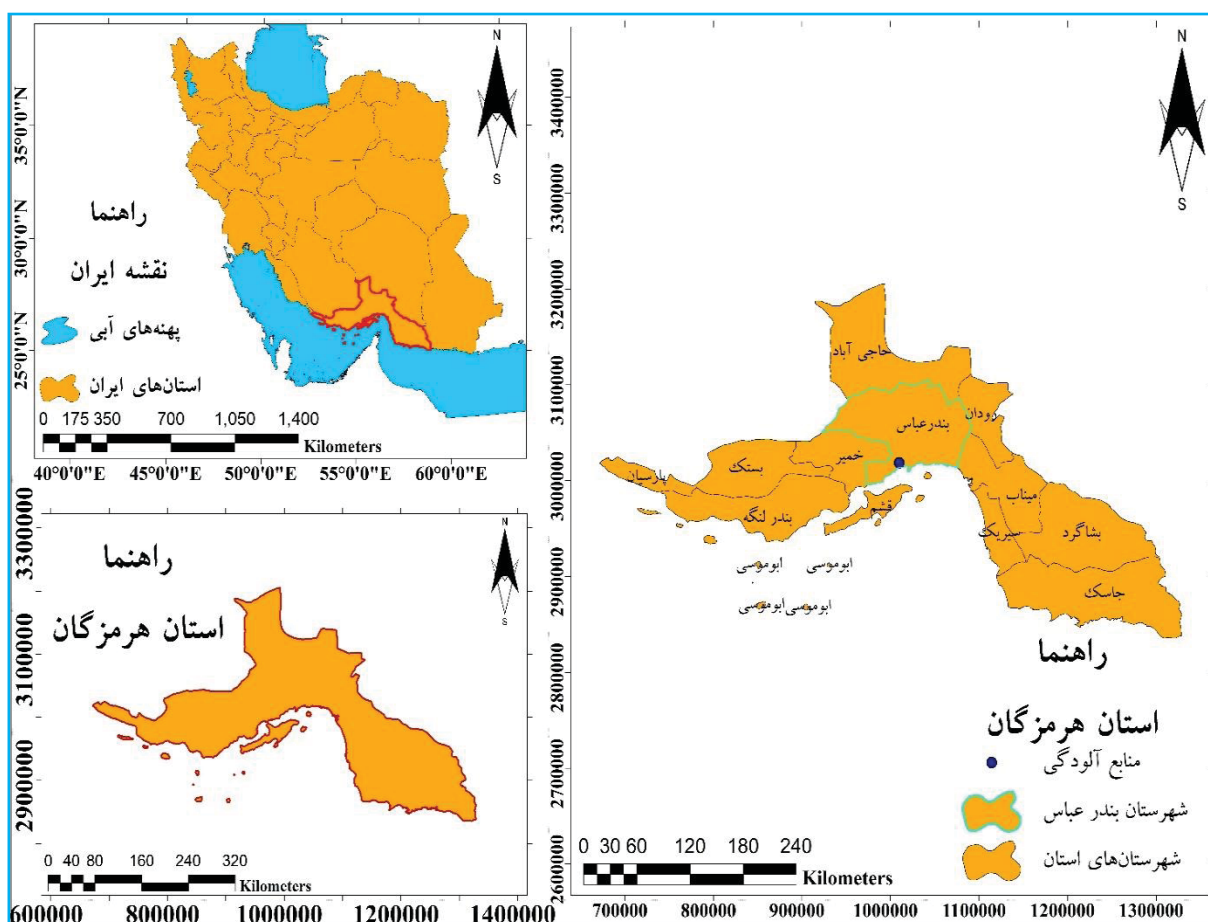
براساس نتایج یک پژوهش در شهرستان مبارکه استان اصفهان، به منظور ارزیابی توان کاربری‌های کشاورزی، صنعتی و شهری علاوه بر فاکتورهای سنتی، فاکتورهای آلودگی هوا از جمله PM_{10} و NO_2 نیز بکار گرفته شده است. پژوهشگران در این پژوهش دریافته‌اند که با توجه به موقعیت مکانی شهرستان مبارکه و در نظر گرفتن سه کاربری اصلی این شهرستان (کشاورزی، شهری، صنعتی) و تعارضاتی که بیشتر به دلیل آلودگی هوای منطقه که از صنایع فولاد حاصل شده‌اند و با رشد جمعیت بیشتر خواهد شد بهتر است برای طرح‌های آمایشی اینگونه مناطق فاکتورهای آلودگی هوای با وزن بالادخیل شوند (۱۹ و ۲۰).

باتوجه به مطالعات صورت گرفته در حوزه مدل‌سازی آلودگی هوا مشخص شد که ایجاد پهنه بندی آلودگی هوا بدون توجه به مناطق مسکونی اطراف هر نوع منبع آلوده کننده نمی‌تواند به تنهایی در مدیریت اراضی مختلف در جهت توسعه پایدار و درخور ثمر بخش باشد. در نهایت تحقیق حاضر با هدف بررسی کارایی این روش در شهرستان بندرعباس به ارزیابی و کمی‌سازی غلظت آلاینده‌ها با استفاده از مدل‌سازی آلودگی هوا در مدیریت اراضی شهرستان بندرعباس پرداخته است.

روش کار

معرفی محدوده مورد مطالعه

استان هرمزگان در جنوب ایران و در شمال تنگه هرمز قرار دارد. این استان در حدفاصل بین مختصات جغرافیایی ۲۵ درجه و ۲۴ دقیقه تا ۲۸ درجه و ۵۷ دقیقه عرض شمالی و ۵۳ درجه و ۴۱ دقیقه تا ۵۹ درجه و ۱۵ دقیقه طول شرقی واقع شده است. شهرستان بندرعباس در موقعیت ۲۷ درجه و ۱۱ دقیقه عرض شمالی و ۵۶ درجه و ۱۸ دقیقه طول شرقی واقع شده است (شکل ۱). جمعیت بندرعباس طبق نتایج سرشماری نفوس و مسکن در سال ۱۳۹۵، برابر با ۵۲۶۶۴۸ نفر بوده است. این شهرستان از شمال هم مرز با شهرستان های حاجی آباد از شرق با میناب و از غرب با خمیر و از شمال غرب همجوار با استان فارس و از جنوب هم به آب های خلیج فارس محدود می‌گردد. شهرستان بندرعباس با مساحت ۱۰۴۹۳ کیلومتر مربع، حدود ۱۴/۶ درصد از کل مساحت خاکی استان هرمزگان را تشکیل می‌دهد (۲۱).



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی شهرستان بندرعباس

حدود آستانه‌های انواع آلاینده‌های هوا

سازمان حفاظت از محیط زیست ایران در رابطه با میزان ماندگاری آلاینده‌ها در اتمسفر، دستورالعمل کیفیت هوا را برای برخی آلاینده‌ها مثل ذرات معلق، اوزون، دی‌اکسید نیتروژن و دی‌اکسید گوگرد، در غلظت‌های مختلف و زمان حضور آن‌ها را با توجه به سلامت انسان بررسی کرده است که استاندارد هوای پاک ایران مصوب سال ۱۳۹۵ در جدول ۱ نشان داده شده است. آلودگی

مدلسازی، با توجه با شعاع ۲۵ کیلومتری در نظر گرفته شده از یک شبکه با سلول‌هایی به ابعاد ۱۰۰۰ متر در ۱۰۰۰ متر استفاده گردید (شکل ۲).

عمده‌ترین آلاینده‌های هوا شامل $PM_{2.5}$ ، O_3 ، CO ، SO_x ، NO_x و PM_{10} می‌باشد. منابع آلودگی هوا به صورت متحرک و غیر متحرک، انسانی و غیرانسانی، خطی، نقطه‌ای، پلی‌گونی و حجمی یا سطحی می‌باشد. AERMOD به صورت غیر متحرک، انسانی، نقطه‌ای و حجمی و همچنین جز مدل‌های پراکندگی می‌باشد. داده‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل اطلاعات اندازه‌گیری شده نرخ انتشار از سه دودکش در مجتمع بازیافت فولاد از ضایعات حاصل از ذوب بندرعباس برای آلاینده‌های NO_x ، SO_x ، PM_{10} و CO می‌باشد. همچنین از اطلاعات هواشناسی ایستگاه بندرعباس از تاریخ ۱۳۹۱/۱۰/۱۲ تا ۱۳۹۶/۱۰/۱۱ شمسی استفاده شده که شامل فاکتورهایی مختلف هواشناسی از جمله ابرناکی، جهت باد، سرعت باد، بارندگی یک‌ساعته، رطوبت نسبی و دمای خشک می‌باشد.



شکل ۲. مناطق مسکونی در شعاع ۲۵ کیلومتری از منابع آلاینده

روش کار در این پژوهش شامل ۳ گام اصلی است که به ترتیب زیر می‌باشد:

۱. پیش‌پردازشگر AERMET^۳: پیش‌پردازنده AERMET با در نظر گرفتن داده‌های خام هواشناسی به صورت یک ساعته برای فاکتورهایی مختلف هواشناسی از جمله ابرناکی، جهت

هوا مخلوطی از ذرات معلق (مانند PM_{10} ، $PM_{2.5}$)، گازها (مانند مونواکسید کربن، دی‌اکسید نیتروژن، ازن و دی‌اکسید گوگرد)، ترکیبات آلی (مانند هیدروکربن‌های آروماتیک حلقوی) و فلزات می‌باشد. کیفیت هوا مرتبط با این ترکیبات با شاخص آلودگی هوا (API)^۱ و شاخص کیفیت هوا (AQI)^۲ بیان می‌شود. در مطالعات مرتبط با آلودگی هوا، به طور گسترده‌ای از ذرات معلق ($PM_{2.5}$ و PM_{10}) و سایر آلاینده‌ها برای ارزیابی و کمی‌سازی میزان آلودگی هوا استفاده می‌شود.

جدول ۱. استاندارد هوای پاک ایران مصوب ۱۳۹۵

نوع آلاینده	۱۳۹۵	
	میکروگرم بر مترمکعب	تکرار مجاز برای تکرار در یک سال
CO	حد اکثر ۱ ساعته	۴۰۰۰۰
	حد اکثر ۸ ساعته	۱۰۰۰۰
(SO_x)	حد اکثر ۱ ساعته	۱۹۶
	حد اکثر ۲۴ ساعته	۳۹۵
(NO_x)	حد اکثر ۱ ساعته	۲۰۰
	حد اکثر سالیانه	۱۰۰
PM_{10}	حد اکثر ۲۴ ساعته	۱۵۰

هیچ‌گونه شاخصی اعلام نشده است.

مدلسازی آلودگی هوا با استفاده از نرم‌افزار AERMOD

نرم‌افزار AERMOD برای شبیه‌سازی پراکندگی آلاینده‌ها از نقطه، منطقه و منابع حجمی استفاده می‌کند و برای دامنه کوتاه برد (۵۰ کیلومتر در ۵۰ کیلومتر) پیشنهاد می‌شود (۲۲) در این مطالعه شعاع مدلسازی ۲۵ کیلومتر از مرز بلافصل پروژه در نظر گرفته شد زیرا شعاع ۲۵ کیلومتری اکثر مناطق جمعیتی پیرامون سایت مورد نظر را در بر می‌گرفت؛ همچنین به منظور تعیین مقیاس

1. Air Pollution Index
2. Air Quality Index

3. AMS EPA Regulatory Meteorological

و S خروجی بر حسب متر بر ثانیه می‌باشد.

بررسی اثرات تجمعی آلودگی هوا

به منظور بررسی اثرات تجمعی آلودگی هوا، پس زمینه منطقه مورد مطالعه از لحاظ غلظت آلاینده‌های ذکر شده مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور ۷ نقطه در منطقه مورد مطالعه (جدول ۲) و مراکز جمعیتی پیرامون آن و در جهات مختلف باد انتخاب و توسط آزمایشگاه معتمد محیط زیست نمونه‌گیری صورت گرفت. در نهایت با استفاده از ماژول بک گراند در نرم افزار AERMOD ارزیابی اثرات تجمعی صورت گرفت. این ماژول در ابتدا بدون در نظر گرفتن آلودگی هوای ایجاد شده توسط سه دودکش در منطقه یاد شده، میزان آلودگی هوا را برای آلاینده‌های NO_x ، SO_x ، PM_{10} و CO در منطقه مورد مطالعه محاسبه می‌کند. در مرحله بعد پس از محاسبه غلظت زمینه در این منطقه به تجمیع جبری و کمی سازی میزان غلظت زمینه با آلودگی حاصل از سه دودکش یاد شده می‌پردازد.

جدول ۲. غلظت زمینه اندازه‌گیری شده

نام	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	تاریخ نمونه
			برداری
شهرک باهنر	۵۶°۱۳'۴۷۱	۲۷°۹'۹۴۳	۱۳۹۸/۰۶/۰۷
بوستانو	۵۵°۵۹'۹۷	۲۷°۴'۸۸۲	۱۳۹۸/۰۶/۰۷
مرکز شهر بندرعباس	۵۶°۱۶'۰۳۷	۲۷°۱۱'۰۳۵	۱۳۹۸/۰۶/۰۷
شهرک مروارید	۵۶°۹'۱۳۴	۲۷°۱۶'۷۹۲	۱۳۹۸/۰۶/۰۷
تل سیاه	۵۶°۱۳'۲۴۷	۲۷°۱۳'۷۳۰	۱۳۹۸/۰۶/۰۷
جاده اسکله رجایی به موازات مرزبلافضل	۵۶°۵'۷۸۵	۲۷°۹'۳۹۹	۱۳۹۸/۰۶/۰۷
جاده اسکله رجایی به موازات منطقه ویژه صنعتی	۵۶°۵'۷۸۵	۲۷°۸'۷۷۴	۱۳۹۸/۰۶/۰۷

یافته‌ها

در جدول ۳ اطلاعات مربوط به اندازه‌گیری سه دودکش بر حسب (گرم بر ثانیه) و در جدول ۴ مشخصات مربوط به دودکش‌ها قابل مشاهده است. در جدول ۵ خلاصه‌ای از نتایج هواشناسی ایستگاه سینوپتیک عباس آباد از تاریخ ۱۳۹۱/۱۰/۱۲ تا ۱۳۹۶/۱۰/۱۱

باد، سرعت باد، بارندگی یک‌ساعته، رطوبت نسبی و دمای خشک شروع به اقدام محاسباتی همچون ارتفاع اختلاط همرفتی و مکانیکی، مقیاس سرعت همرفتی و غیره می‌نماید که این اطلاعات به صورت خروجی وارد مدل AERMOD شد. در این مرحله اطلاعات اخذ شده از سازمان هواشناسی کشور (ایستگاه سینوپتیک بندرعباس) از تاریخ ۱۳۹۱/۱۰/۱۲ تا ۱۳۹۶/۱۰/۱۱ شمسی بوده است، که این اطلاعات به طور کلی به صورت سه ساعته گزارش می‌شوند؛ و برای تبدیل اطلاعات سه ساعته به یک ساعته از نرم‌افزار Excel ۲۰۱۳ استفاده شد.

۲. پیش‌پردازشگر AERMAP¹: برای مباحث توپوگرافی و مدل رقومی ارتفاع منطقه مطالعاتی طبق فرمت نرم‌افزار از داده‌های SRTM ۹۰ متری استفاده و خروجی آن نیز وارد مدل AERMOD شد.

۳. ماژول اصلی AERMOD: مدل AERMOD یک مدل گوسی پخش و پراکنش آلاینده‌های گازی بوده که رفتار توده حاوی آلاینده‌ها را بر مبنای حل معادلات پخش و پراکنش در حالت دائمی برای هر آلاینده به صورت جداگانه مدل‌سازی می‌کند. در نتیجه در این پژوهش میزان آلودگی هوا برای آلاینده‌های NO_x ، SO_x ، PM_{10} و CO هر بار به صورت جداگانه محاسبه شده‌اند. عملکرد مدل AERMOD برای مدل‌سازی نزدیک منطقه (حداکثر ۵۰ کیلومتر) برای شرایط پایداری مختلف بر مبنای تلاطم لایه مرزی سیاره‌ای استوار است؛ همچنین این نرم‌افزار میزان آلاینده‌ها را به صورت مکانمند بر اساس میکروگرم بر مترمکعب گزارش می‌دهد (۹ و ۱۹). برای این پژوهش بالاترین غلظت، دما و سرعت خروجی مربوط به دودکش در بازه زمانی ۵ ساله به صورت به دست آمده است:

$$E=Q*C$$

$$Q=A*S$$

در این رابطه E نرخ انتشار بر اساس واحد Q (g/s) دبی حجمی بر اساس واحد (مترمکعب در ثانیه)، C غلظت جرمی آلاینده بر اساس واحد (گرم بر مترمکعب)، A سطح مقطع بر حسب مترمربع

1. AMS EPA Regulatory Map

جدول ۳. نرخ انتشار دودکش‌ها

آلاینده	واحد	دودکش ۱	دودکش ۲	دودکش ۳
نرخ خروجی NO _x	گرم بر ثانیه	۰	۰	۰/۱۴۴۲
نرخ خروجی CO	گرم بر ثانیه	۰/۰۶۶	۰/۰۶۶	۱/۴۴۲
نرخ خروجی SO _x	گرم بر ثانیه	۰	۰	۰/۱۵۸۷
نرخ خروجی PM ₁₀	گرم بر ثانیه	۱/۳۸	۱/۳۸	۰/۰۴۲۵

جدول ۴. مشخصات دودکش‌ها

مشخصات	خروجی ۱	خروجی ۲	خروجی ۳
عرض جغرافیایی	۳۰۱۶۹۰	۳۰۱۶۹۰	۳۰۱۶۹۰
طول جغرافیایی	۱۰۰۹۱۹۰	۱۰۰۹۱۹۰	۱۰۰۹۱۹۰
دمای گاز خروجی	۵۹/۱	۵۹/۱	۵۹/۱
قطر دودکش	۲/۶۴	۲/۶۴	۲/۶۴
ارتفاع دودکش	۱۲	۱۲	۱۲
سرعت گاز خروجی	۱۱/۱	۱۱/۱	۱۱/۱
دبی خروجی	۶۰/۷۶	۶۰/۷۶	۶۰/۷۶

جدول ۵. وضعیت هواشناسی منطقه

ماه	بارندگی ماهانه حداکثر بارندگی در رطوبت نسبی (درصد)	تعداد روزهای یخبندان	تعداد روزهای با گرد و غبار	تعداد روزهای همراه ساعات آفتابی (ساعت)	حداکثر سرعت وزش باد (متر بر ثانیه)	میانگین دمای هوا
فروردین	۱۱	۰	۷	۲۲۲/۴	۱۴	۱۶/۷۶
اردیبهشت	۰	۰	۱۷	۳۲۰/۱	۱۴	۱۸/۸۱
خرداد	۰	۰	۱۵	۳۳۶/۸	۱۲	۲۲/۹۹
تیر	۱/۳	۰	۱۷	۲۰۴/۵	۹	۲۸/۲۹
مرداد	۰	۰	۱۶	۳۰۴/۴	۹	۳۲/۵۴
شهریور	۰	۰	۱۹	۲۸۸/۶	۹	۳۵/۰۷
مهر	۰	۰	۸	۲۳۶/۶	۸	۳۵/۶۶
آبان	۰	۰	۴	۲۶۸/۳	۷	۳۵/۳۲
آذر	۰/۱	۰/۱	۲	۲۰۸/۶	۱۶	۳۲/۹۶
دی	۰	۰	۶	۲۲۵/۴	۱۲	۲۹/۸۸
بهمن	۱۰۸/۶	۱۸/۵	۷	۱۵۷/۷	۱۲	۲۳/۵۸
اسفند	۱۲/۷	۵/۵	۲	۲۰۶/۷	۱۱	۱۸/۷۹

بحث

اما در میان آن‌ها دو آلوده‌کننده مهم اکسید نیتریک NO و دی اکسید ازت NO₂ می‌باشند. دی اکسید نیتروژن یکی از اجزاء اصلی تشکیل‌دهنده باران اسیدی یا آئروسول‌های اسیدی بوده که می‌تواند درختان یا برکه‌ها یا دریاچه‌ها را تخریب نماید و به آن‌ها آسیب بزند.

شمسی آورده شده است. در نهایت غلظت‌های پیش بینی شده بدون و با در نظر گرفتن غلظت زمینه برای آلاینده‌های مختلف به ترتیب در جدول ۶ و ۷ آورده شده‌اند. همانطور که در این جداول (۶ و ۷) قابل مشاهده است، شهر بندرعباس به همراه ۲۷ مرکز جمعیتی در این محدوده مورد بررسی قرار گرفته‌اند. طبق نتایج نه تنها در حالت بدون در نظر گرفتن غلظت زمینه بلکه در حالت تجمعی نیز میزان غلظت هرکدام از آلاینده‌ها باز هم بسیار کمتر از حد استاندارد تعیین شده توسط سازمان محیط زیست می‌باشد. همچنین در جدول ۸ بیشترین و کمترین مناطقی که تحت تاثیر آلاینده‌های مختلف بوده‌اند در حالت حداکثر تاثیر آلودگی هوا (دخیل کردن غلظت زمینه) آورده شده‌اند.

در مطالعه (۲۳) به این موارد اشاره شده است که نیتروژن گازی است بی‌طعم و بی‌بو که ۸۷ درصد از اتمسفر را تشکیل می‌دهد. برخلاف نیتروژن که گازی بی‌ضرر است، اکسیدهای نیتروژن برای انسان خطرناک هستند. تعداد اکسیدهای نیتروژن زیاد است

جدول ۶. غلظت آلاینده‌ها در مناطق مختلف بدون در نظر گرفتن غلظت زمینه

نام	PM ₁₀ (max24)	SO _x (max24)	SO _x (max1)	NO _x (max1)	NO _x (annual)	CO(max8)	CO(max1)
حد استاندارد (میکروگرم بر متر مکعب)	۱۵۰	۳۹۵	۱۹۶	۲۰۰	۱۰۰	۱۰۰۰۰	۴۰۰۰۰
تل سیاه	-/۲۴۴۴۴	-/۰۱۳۵۵	-/۱۱۰۸۲	-/۲۲۱۶۳	-/۰۰۰۵۲	-/۰۴۵۶۵۸	۱/۰۰۰۷۷
جمال احمد	-/۰۳۱۰۵	-/۰۱۴۷۴	-/۱۱۴۵۹	-/۲۲۹۱۸	-/۰۰۰۵۶	-/۰۵۰۰۸۶	۱/۰۴۶۸۲
شهرک مروارید	-/۰۹۰۵۴۸	-/۰۳۹۷۸	-/۰۵۴۹۳۲	۱/۰۹۸۶۳	-/۰۰۰۱۰۶	-/۰۹۸۵۱۱	۵/۵۲۳۵۱
شهر و	۱/۳۴۰۵۱	-/۰۸۷۴۴	-/۰۵۴۱۱۷	۱/۰۸۲۳۴	-/۰۰۰۹۲	۱/۲۴۵۷۸	۵/۳۸۱۲۹
تازیان	-/۰۷۸۶۲۳	-/۰۵۱۷۵	-/۰۵۴۴۲۳	۱/۰۶۸۴۶	-/۰۰۰۱	۱/۱۵۶۵۳	۵/۰۲۳۷۳
چاهو	-/۰۹۱۹۲	-/۰۴۶۹۵	-/۰۵۲۳۷۷	۱/۰۴۷۵۳	-/۰۰۰۶۳	۱/۶۷۸۰۲	۵/۴۹۹۵۹
گاریند	۱/۰۰۰۱۵۵	-/۰۵۲۱	-/۰۴۹۱۵۵	-/۰۹۸۳۰۹	-/۰۰۰۸۴	۱/۲۴۲۸۹	۴/۲۳۹۹۴
بلندو	-/۰۹۰۷۲۲	-/۰۴۷۲۳	-/۰۴۷۱۲۸	-/۰۹۴۲۵۷	-/۰۰۰۷۹	۱/۷۷۹۰۳	۴/۰۵۴۶۲
سودارو	-/۰۵۶۷۴	-/۰۳۲۵۵	-/۰۴۲۱۶۹	-/۰۸۴۳۳۹	-/۰۰۰۷۴	-/۰۸۰۴۵۸	۳/۶۲۸۵۷
مق احمد پایین	-/۰۴۲۸۱۴	-/۰۲۵۳۹	-/۰۲۸۵۸۶	-/۰۵۷۱۷۳	-/۰۰۰۴۷	-/۰۶۶۱۲۷	۲/۵۲۶۵۳
بوستانو	-/۰۶۷۶۹۹	-/۰۳۵۰۴	-/۰۳۱۹۱۹	-/۰۶۳۸۳۸	-/۰۰۰۱۱۸	۱/۳۲۸۹۳	۳/۰۰۲۳۶
فرودگاه رجائی	-/۰۸۰۸۶۱	-/۰۴۰۹۹	-/۰۴۲۲۶۶	-/۰۸۴۴۹۲	-/۰۰۰۲۳	۱/۱۴۲۷۴	۴/۲۴۱۳۸
باراخین	۱/۲۶۷۲۶	-/۰۴۴۳۳	-/۰۳۴۸۳۱	-/۰۶۹۶۶۳	-/۰۰۰۳۵۹	۱/۳۸۲۳۹	۵/۹۷۳۴۱
تیاب	۱/۱۹۷۸۵	-/۰۶۱۶۹	-/۰۴۷۱۷۴	-/۰۹۴۳۴۹	-/۰۰۰۵۱۵	۲/۰۲۴۲۷	۵/۰۵۶۹۱
بندر باهنر	-/۰۳۴۳۹	-/۰۱۸۵۷	-/۰۱۳۷۰۱	-/۰۲۷۴۰۳	-/۰۰۰۶۵	-/۰۵۹۷۹۹	۱/۲۵۰۵۵
شهرک باهنر	-/۰۳۹۹۴۱	-/۰۲۶۰۵	-/۰۱۲۳۹۲	-/۰۲۴۷۸۵	-/۰۰۰۵۵	-/۰۷۰۹۵	۱/۰۹۵۹۲
پاتال ایسین	-/۰۱۷۲۶۸	-/۰۰۰۸۳	-/۰۶۸۷۶	-/۰۱۳۷۵۱	-/۰۰۰۲۹	-/۰۲۱۲۱	-/۰۶۳۰۶
قلات بالا	۱/۲۴۷۴۲	-/۰۸۱۴۲	-/۰۳۷۳۹۲	-/۰۷۴۷۸۵	-/۰۰۰۵۶	-/۰۹۸۴۱۲	۳/۸۵۶۲۵
قلات پایین	-/۰۶۱۵۰۶	-/۰۴۰۱۶	-/۰۴۵۶۲۴	-/۰۹۱۲۴۸	-/۰۰۰۶۱	-/۰۸۵۰۳۹	۳/۹۲۵۵۵
چاه گود	-/۰۹۸۳۸۹	-/۰۲۸۵۷	-/۰۳۸۵۱۶	-/۰۷۷۰۳۳	-/۰۰۰۴	۱/۱۸۶۸۷	۳/۷۸۵۰۸
چامردان	-/۰۸۸۲۳۸	-/۰۴۳۰۹	-/۰۴۰۹۱۶	-/۰۸۱۸۳۲	-/۰۰۰۶	۱/۱۱۴۱۲	۳/۶۷۰۵۸
کشار بالا	-/۰۴۵۸۴۸	-/۰۲۷۴۵	-/۰۳۶۵۳۶	-/۰۷۳۰۷۳	-/۰۰۰۴	-/۰۷۰۷۷۶	۳/۱۷۶۸۲
سارگپ	-/۰۶۳۶۸۴	-/۰۳۳۳۳	-/۰۳۴۱۵۲	-/۰۶۸۳۰۳	-/۰۰۰۵۳	-/۰۹۳۹۹۴	۲/۹۴۲۱۳
کشار پایین	-/۰۶۵۴۳۴	-/۰۳۷۸۳	-/۰۳۱۶۴۷	-/۰۶۳۲۹۳	-/۰۰۰۴۴	۱/۲۰۳۶۹	۲/۷۲۴۵۲
تولا	-/۰۱۸۰۹۲	-/۰۰۰۱	-/۰۳۸۷۹	-/۰۰۷۷۵۷	-/۰۰۰۱۰۵	-/۰۲۷۱۴۷	-/۰۳۵۴۵۲
بندرعباس	-/۰۱۵۶۹۶	-/۰۰۹۰۳	-/۰۰۷۷۸۶	-/۰۱۵۵۷۲	-/۰۰۰۳	-/۰۲۹۹۸۲	-/۰۷۱۱۲۶
منطقه ویژه خلیج فارس	-/۰۹۰۹۱۲	-/۰۴۶۵۳	-/۰۳۸۵۵۴	-/۰۷۷۱۰۸	-/۰۰۰۳۰۷	۱/۰۰۶۶۶	۳/۳۴۴۳۶
قشم	-/۰۱۱۷۹۸	-/۰۰۶۴۲	-/۰۶۳۳۷	-/۰۱۲۶۷۴	-/۰۰۰۵	-/۰۱۸۲۱۷	-/۰۵۴۳۷۳

بالتر از حد استاندارد نخواهد بود؛ اما این شرایط به معنی اینکه هیچ خطری ساکنان این مناطق را تهدید نمی‌کند نمی‌باشد. مهم‌ترین آلاینده در این پژوهش NO_x بوده است که کمترین اختلاف را با حد مجاز آلودگی دارد (حدود ۲۰ میکروگرم بر متر مکعب) که این حد مجاز در سال ۱۳۹۵ شمسی توسط سازمان محیط زیست تهیه شده است. طبق جدول ۸ حد مجاز آلودگی برای NO_x در حالت

آئروسول‌های اسیدی میزان بینایی را کاهش می‌دهند. همچنین آئروسول‌های اسیدی می‌توانند سنگ‌های مورد استفاده در نمای ساختمان‌ها، مجسمه‌ها و بناهای تاریخی را تخریب نمایند.

نتایج حاصل از پژوهش حاضر حاکی از این است که در این ۲۸ نقطه جمعیتی پیرامون مرز بلافاصل از نظر غلظت آلاینده‌ها در هر دو حالت با و بدون غلظت زمینه، غلظت هیچ آلاینده‌ای غلظت

جدول ۷. غلظت آلاینده‌ها در مناطق مختلف با در نظر گرفتن غلظت زمینه

نام	PM ₁₀ (max24)	SO _x (max24)	SO _x (max1)	NO _x (max1)	NO _x (annual)	CO(max8)	CO(max1)
حد استاندارد (میکروگرم بر مترمکعب)	۷۷/۲۴۴۴۴	۸۴/۰۱۳۵۵	۸۴/۱۱۰۸۲	۸۰/۲۲۱۶۳	۸۰/۰۰۰۵۲	۱۹۶۲/۳۷	۱۹۶۳/۰۰۱
تل سیاه	۷۷/۳۱۰۵	۸۴/۰۱۴۷۴	۸۴/۱۱۴۵۹	۸۰/۲۲۹۱۸	۸۰/۰۰۰۵۶	۱۹۶۲/۳۹۲	۱۹۶۳/۰۴۷
جمال احمد	۷۷/۹۰۵۴۸	۸۴/۰۳۹۷۸	۸۴/۵۴۹۳۲	۸۱/۰۹۸۶۳	۸۰/۰۰۰۱۰۶	۱۹۶۲/۹۸۵	۱۹۶۷/۵۲۴
شهرک مروارید	۷۸/۳۴۰۵۱	۸۴/۰۸۷۴۴	۸۴/۵۴۱۱۷	۸۱/۰۸۲۳۴	۸۰/۰۰۰۹۲	۱۹۶۳/۰۴۵	۱۹۶۷/۳۸۱
شهری	۷۷/۷۸۶۲۳	۸۴/۰۵۱۷۵	۸۴/۵۳۴۲۳	۸۱/۰۶۸۴۶	۸۰/۰۰۰۱	۱۹۶۳/۱۵۷	۱۹۶۷/۰۲۴
نازیان	۷۷/۸۵۵۲۱	۸۴/۰۴۶۹۵	۸۴/۵۲۳۷۷	۸۱/۰۴۷۵۳	۸۰/۰۰۰۶۳	۱۹۶۳/۲۴۸	۱۹۶۷/۵
چاهو	۷۷/۷۹۹۶۷	۸۴/۰۵۲۱	۸۴/۴۹۱۵۵	۸۰/۹۸۳۰۹	۸۰/۰۰۰۸۴	۱۹۶۳/۲۴۳	۱۹۶۶/۲۴
گاربند	۷۷/۹۰۷۲۲	۸۴/۰۴۷۲۳	۸۴/۴۷۱۲۸	۸۰/۹۴۲۵۷	۸۰/۰۰۰۷۹	۱۹۶۳/۷۷۹	۱۹۶۶/۰۵۵
بلندو	۷۷/۵۶۷۴	۸۴/۰۳۲۵۵	۸۴/۴۲۱۶۹	۸۰/۸۴۳۳۹	۸۰/۰۰۰۷۴	۱۹۶۲/۷۵۹	۱۹۶۵/۶۲۹
سودارو	۷۷/۴۲۸۱۴	۸۴/۰۲۵۳۹	۸۴/۲۸۵۸۶	۸۰/۵۷۱۷۳	۸۰/۰۰۰۴۷	۱۹۶۲/۵۵	۱۹۶۴/۵۲۷
مق احمد پایین	۷۷/۶۷۶۹۹	۸۴/۰۳۵۰۴	۸۴/۳۱۹۱۹	۸۰/۶۳۸۳۸	۸۰/۰۰۰۱۱۸	۱۹۶۲/۹۵۹	۱۹۶۵/۰۰۲
بوستانو	۷۷/۸۰۸۶۱	۸۴/۰۴۰۹۹	۸۴/۴۲۲۴۶	۸۰/۸۴۴۹۲	۸۰/۰۰۰۲۳	۱۹۶۳/۰۳۱	۱۹۶۶/۲۴۱
فردگاه رجائی	۷۸/۲۶۷۲۶	۸۴/۰۴۴۳۳	۸۴/۳۴۸۳۱	۸۰/۶۹۶۶۳	۸۰/۰۰۰۳۵۹	۱۹۶۳/۳۸۲	۱۹۶۷/۹۷۳
باراخین	۷۸/۱۹۷۸۵	۸۴/۰۶۱۶۹	۸۴/۴۷۱۷۴	۸۰/۹۴۳۴۹	۸۰/۰۰۰۵۱۵	۱۹۶۴/۰۲۴	۱۹۶۷/۰۵۷
تیاب	۷۷/۳۴۳۹	۸۴/۰۱۸۵۷	۸۴/۱۳۷۰۱	۸۰/۲۷۴۰۳	۸۰/۰۰۰۶۵	۱۹۶۲/۵۹۸	۱۹۶۳/۲۵۱
بندر باهنر	۷۷/۳۹۹۴۱	۸۴/۰۲۶۰۵	۸۴/۱۲۳۹۲	۸۰/۲۴۷۸۵	۸۰/۰۰۰۵۵	۱۹۶۲/۴۳۱	۱۹۶۳/۰۹۶
شهرک باهنر	۷۷/۱۷۲۶۸	۸۴/۰۰۸۳	۸۴/۰۶۸۷۶	۸۰/۱۳۷۵۱	۸۰/۰۰۰۲۹	۱۹۶۲/۲۱۲	۱۹۶۲/۶۳۱
پاتال ایسین	۷۸/۲۴۷۴۲	۸۴/۰۸۱۴۲	۸۴/۳۷۳۹۲	۸۰/۷۴۷۸۵	۸۰/۰۰۰۵۶	۱۹۶۲/۹۷۵	۱۹۶۵/۸۵۶
قلات بالا	۷۷/۶۱۵۰۶	۸۴/۰۴۰۱۶	۸۴/۴۵۶۲۴	۸۰/۹۱۲۴۸	۸۰/۰۰۰۶۱	۱۹۶۲/۸۵	۱۹۶۵/۹۲۶
قلات پایین	۷۷/۴۷۲	۸۴/۰۲۸۵۷	۸۴/۳۸۵۱۶	۸۰/۷۷۰۳۳	۸۰/۰۰۰۴	۱۹۶۳/۱۸۷	۱۹۶۵/۷۸۵
چاه گود	۷۷/۷۴۹۱۸	۸۴/۰۴۳۰۹	۸۴/۴۰۹۱۶	۸۰/۸۱۸۳۲	۸۰/۰۰۰۶	۱۹۶۳/۱۱۴	۱۹۶۵/۶۷۱
چامردان	۷۷/۴۵۸۴۸	۸۴/۰۲۷۴۵	۸۴/۳۶۵۳۶	۸۰/۷۳۰۷۳	۸۰/۰۰۰۴	۱۹۶۲/۷۰۸	۱۹۶۵/۱۷۷
کشار بالا	۷۷/۶۳۶۸۴	۸۴/۰۳۳۳۳	۸۴/۳۴۱۵۲	۸۰/۶۸۳۰۳	۸۰/۰۰۰۵۳	۱۹۶۲/۹۴	۱۹۶۴/۹۴۲
سارگب	۷۷/۶۵۴۳۴	۸۴/۰۳۷۸۳	۸۴/۳۱۶۴۷	۸۰/۶۳۲۹۳	۸۰/۰۰۰۴۴	۱۹۶۳/۱۰۴	۱۹۶۴/۷۲۵
کشار پایین	۷۷/۱۸۰۹۲	۸۴/۰۱۰۱	۸۴/۰۳۸۷۹	۸۰/۰۷۷۵۷	۸۰/۰۰۰۱۰۵	۱۹۶۲/۲۷۱	۱۹۶۲/۳۵۵
تولا	۷۷/۱۵۶۹۶	۸۴/۰۰۹۰۳	۸۴/۰۷۷۸۶	۸۰/۱۵۵۷۲	۸۰/۰۰۰۳	۱۹۶۲/۳	۱۹۶۲/۷۱۱
بندرعباس	۷۷/۷۵۵۵۴	۸۴/۰۴۶۵۳	۸۴/۳۸۵۵۴	۸۰/۷۷۱۰۸	۸۰/۰۰۰۳۰۷	۱۹۶۳/۰۰۷	۱۹۶۵/۳۴۴
منطقه ویژه خلیج فارس	۷۷/۱۱۷۹۸	۸۴/۰۰۶۴۲	۸۴/۰۶۳۳۷	۸۰/۱۲۶۷۴	۸۰/۰۰۰۵	۱۹۶۲/۱۸۲	۱۹۶۲/۵۴۴
قشم	۷۷/۲۴۴۴۴	۸۴/۰۱۳۵۵	۸۴/۱۱۰۸۲	۸۰/۲۲۱۶۳	۸۰/۰۰۰۵۲	۱۹۶۲/۳۷	۱۹۶۳/۰۰۱

جدول ۸. حداقل و حداکثر غلظت‌های اندازه گیری شده در مناطق مختلف

آلاینده	حد استاندارد (میکروگرم بر مترمکعب)	منطقه با کمترین آلودگی		منطقه با بیشترین آلودگی	
		غلظت (میکروگرم بر مترمکعب)	نام منطقه مسکونی	غلظت (میکروگرم بر مترمکعب)	نام منطقه مسکونی
CO (۱ ساعته)	۴۰۰۰۰	۱۹۶۲/۳۵۵	تولا	۱۹۶۷/۹۷۳	باراخین
CO (۸ ساعته)	۱۰۰۰۰	۱۹۶۲/۱۸۲	قشم	۱۹۶۴/۰۲۴	تیاب
NO _x (سالانه)	۱۰۰	۸۰/۰۰۰۲۹	پاتال ایسین	۸۰/۰۰۰۵۱۵	تیاب
NO _x (۱ ساعته)	۲۰۰	۸۰/۰۷۷۵۷	تولا	۸۱/۰۹۸۶۳	شهرک مروارید
SO _x (۱ ساعته)	۱۹۶	۸۴/۰۳۸۷۹	تولا	۸۴/۵۴۹۳۲	شهرک مروارید
SO _x (۲۴ ساعته)	۳۹۵	۸۴/۰۰۶۴۲	قشم	۸۴/۰۸۷۴۴	شهری
PM ₁₀ (۲۴ ساعته)	۱۵۰	۷۷/۱۱۷۹۸	قشم	۷۸/۳۴۰۵۱	شهری

نتیجه‌گیری

براساس نتایج پژوهش حاضر، به‌منظور ارزیابی و کمی‌سازی غلظت آلاینده‌های مناطق پیرامون نقاط آلاینده صنعتی علاوه بر مدل‌سازی سه منبع نقطه‌ای برای آلاینده‌های NO_x ، SO_x ، PM_{10} و CO ، آلودگی‌های موجود در زمینه نیز بهتر است بکار گرفته شوند. معیار آلودگی هوا از یک سو می‌تواند نقش مؤثری در مدیریت چیدمان بهینه کاربری‌ها داشته باشند و از سوی دیگر به تعیین سیاست‌های کلی جامعه در جهت تعیین و توسعه کاربری‌ها کمک می‌کند. با توجه به موقعیت مکانی شهرستان بندرعباس و در نظر گرفتن دو کاربری اصلی این شهرستان (شهری و صنعتی) و تعارضاتی که بیشتر به دلیل آلودگی هوای منطقه که از صنایع آلاینده حاصل شده‌اند و با رشد جمعیت بیشتر خواهد شد بهتر است برای مدیریت اراضی اینگونه مناطق از ادغام مدل‌سازی آلودگی هوا و آلودگی‌های موجود در زمینه نیز همراه با سایر مؤلفه‌های اقتصادی و اجتماعی استفاده شود. خلاصه آنکه، بهبودهای ذکر شده در این پژوهش ارتباطی به زمان یا مکان معینی ندارد و قابلیت استفاده در هر منطقه‌ای از زمین را دارد.

پیشنهادها برای پژوهش‌های آتی می‌تواند شامل آن تحقیقات پیگیرانه‌ای باشند که با استفاده از پردازش داده‌ها توسط نرم افزار $AirQ$ خطر نسبی آلاینده‌های مختلف را بر سلامت افراد جامعه محاسبه نموده و حاصل کار را به صورت کمی نمایش دهد. همچنین مدل $AirQ$ یکی از معتبرترین روش‌ها جهت کمی‌سازی اثرات آلودگی هوا بر مبنای روش ارزیابی خطر است که بیشتر از نوع آماری همه‌گیرشناسی بوده و توسط WHO در سال ۲۰۰۴ ارائه شده است. این مدل کاربر را قادر می‌سازد که اثرات بالقوه ناشی از تماس با یک آلاینده مشخص بر انسان را در یک ناحیه معین و طی دوره زمانی خاص ارزیابی نماید و یک ابزار معتبر و قابل اعتماد به منظور برآورد اثرات کوتاه مدت آلاینده‌های هوا است.

ملاحظات اخلاقی

این مقاله حاصل طرح تحقیقاتی مطالعات ارزیابی اثرات زیست

سالانه ۱۰۰ میکروگرم بر متر مکعب می‌باشد که درحال حاضر غلظت این آلاینده برابر ۸۰ میکروگرم بر متر مکعب است. در نتیجه در این محدوده مطالعاتی اگر در کاربری صنعتی بارگذاری بیشتری انجام شود به احتمال زیاد اختلاف ۲۰ میکروگرمی NO_x با حد مجاز خود شکسته خواهد شد؛ و ممکن است ساکنان با مشکلات یاد شده در مطالعه (۲۳) مواجه شوند.

تاکنون پژوهش‌های متعددی در رابطه با ارزیابی توان انواع کاربری‌ها و برنامه‌ریزی کاربری اراضی در مناطق مختلف بدون لحاظ معیار آلودگی هوا انجام شده است (۲۴، ۲۵، ۲۶ و ۲۷). برای نمونه در انتخاب مکان‌های مناسب برای مناطق صنعتی با استفاده از معیارها و زیرمعیارهای سنتی و بدون در نظر گرفتن تأثیر معیار آلودگی هوا مکان‌یابی این مناطق انجام شده است. به عبارتی تعارضات کاربری صنعتی و آلودگی هوای حاصل از آن با سایر کاربری‌های موجود در منطقه دیده نشده است (۲۸ و ۲۹). هدف از انجام این پژوهش برخلاف تحقیقات یاد شده دخیل کردن معیار آلودگی هوا در سیاست‌های توسعه شهری است.

در نتیجه پژوهشگران با تعیین و کمی‌سازی میزان آلودگی هوا در حالت پیشینه برای کاربری شهری در یکی از مناطق مهم و پرچالش از لحاظ مخاطرات محیط‌زیستی و در جهت دستیابی به توسعه پایدار بوده‌اند. براساس نتایج پژوهش حاضر و طبق جدول ۸ مناطق مسکونی باراخین، تیاب، شهرک مروارید و شهرک بیشترین تأثیر را از آلاینده‌های NO_x ، SO_x ، PM_{10} و CO می‌گیرند. از طرف دیگر مناطق مسکونی تولا، قشم و پاتال ایسین کمترین مقدار آلودگی را از آلاینده‌های یاد شده به خود اختصاص داده‌اند در نتیجه می‌توان بیان کرد که مناطق مسکونی تولا، قشم و پاتال ایسین بهترین مناطق برای توسعه کاربری شهری می‌باشد اما مناطق مسکونی باراخین، تیاب، شهرک مروارید و شهرک بدترین مناطق از لحاظ آلودگی هوا برای توسعه شهری است. همچنین با غلظت‌های اندازه‌گیری شده که در جدول ۷ قابل مشاهده است می‌توان نتیجه گرفت که در این منطقه بارگذاری بیشتر کاربری‌های صنعتی می‌تواند باعث بروز مشکلات زیادی از لحاظ سلامتی، اقتصادی و اجتماعی شود.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل پژوهش و تحقیقات نویسندگان بوده است که با حمایت مجتمع بازیافت فولاد آبانگان معادن هرمزگان اجرا شد. بدین وسیله از تمام کسانی که در به ثمر رسیدن این مقاله کمک‌رسانی کرده‌اند بخصوص دکتر امید قدیریان که در جهت تأمین داده و اطلاعات راهنمایی بسیار کرده‌اند، تشکر و قدردانی می‌شود.

محیطی طرح احداث مجتمع بازیافت فولاد از ضایعات حاصل از ذوب با کد ۱۶۱۳۴ مصوب شورای پژوهشی کمیته تحقیقات شرکت بوم پایش اصفهان می‌باشد. نویسندگان تمام نکات اخلاقی را از جمله عدم سرقت ادبی، انتشار چندگانه، داده‌سازی و یا تحریف اطلاعات را در این تحقیق رعایت کرده‌اند. همچنین هرگونه تضاد منافع حقیقی، حقوقی یا مادی که ممکن است بر نتایج یا تفسیر این تحقیق تأثیر بگذارد را رد می‌کنند.

References

- Rahmati M H. Moghani V. Vesal M. The Effects of Short-Term Exposure to Air Pollution on Mortality Rates: The Case of Six Metropolitan Areas in Iran. QJER 2020; 20(2): 53-76. (Persian)
- Kelishadi R. Moeini R. Poursafa P. et al. Independent association between air pollutants and vitamin D deficiency in young children in Isfahan, Iran. Paediatrics and international child health 2014; 34(1), 50-55.
- Cai J. Yu S. Pei Y. et al. Association between airborne fine particulate matter and residents' cardiovascular diseases, ischemic heart disease and cerebral vascular disease mortality in areas with lighter air pollution in China. International journal of environmental research and public health 2018; 15: 1-17.
- Esmailzadeh M. Bazrafshan E. Nasrabadi M. Dispersion Modeling of NOX and SO2 Emissions from Tous Gas Power Plant, Mashhad. Health & Environ 2013; 6(1): 77-90. (Persian)
- Erfanmanesh M. Afyuni M. Environmental pollution water, soil. 8th ed. Arkan danesh; 2012. P. 115-120. (Persian)
- Abbaspour M. Air pollution modeling. First. Sharif University of Technology; 2012. P. 9-12. (Persian)
- Shin U. Ucan O. Bayat C. et al. Modeling of SO2 distribution in Istanbul using artificial neural networks. Environmental Modeling & Assessment 2005; 10(2): 135-142.
- Seangkiatyuth K. Surapipth V. Tantrakamapa k. et al. Application of the AERMOD modeling system for environmental impact assessment of NO2 emissions from a cement complex. Environmental Science 2011; 23(6): 931-940.
- Kalhor M. Ghalrh Askari S. Bozorgi M. AERMET performance in evaluation of boundary layer parameters and its effect on carbon monoxide concentration outputs in AERMOD model compared to upper air data. Health & Environ 2018; 11(3): 365-376. (Persian)
- Gargiulo M. Chiodi A. De Miglio R. et al. An integrated planning framework for the development of sustainable and resilient cities—the case of the InSMART project. Procedia engineering 2017; 198: 444-453.
- Bayat R. Ashrafi K. Motlagh M S. et al. Health impact and related cost of ambient air pollution in Tehran. Environmental research 2019; 176: 1-12.
- Issaloo A. Shahmoradi B. Bahrami S. editors. Islamic Azad University-Sanandaj Branch. Proceedings of the third national conference on urban development. 2011 Oct. 26-27. Sanandaj. Iran. Civilica; 2011. (Persian)
- Mohammadi M. Grakvandi S. Godarzi Gh. editors Sharif University of Technology. Proceedings of the 6th national conference on air and noise pollution management. 2018 Jan. 23-24. Tehran. Iran. Civilica; 2018. (Persian)
- Clougherty J E. Levy J I. Kubzansky L D. et al. Synergistic effects of traffic-related air pollution and exposure to violence on urban asthma etiology. Environmental health perspectives 2007; 115(8): 1140-1146.
- Miri M. Ghassoun Y. Dovlatbadi A. et al. Estimate annual and seasonal PM1, PM2.5 and PM10 concentrations using land use regression model. Ecotoxicology and environmental safety 2019; 174(15): 137-145.
- Bergstra A D. Brunekreef B. Burdorf A. The effect of industry-related air pollution on lung function and respiratory symptoms in school children. Environmental Health 2018; 17(1): 1-9.
- allaji H. Bohloul M.R. Peyghambarzadeh S.M. et al. Measurement of air pollutants concentrations from stacks of petrochemical company and dispersion modeling by AERMOD coupled with WRF model. Int. J. Environ. Sci. Technol 2023; 7217-7236.
- Han L. Zhao J. Gao Y. et al, J. Spatial distribution characteristics of PM2.5 and PM10 in Xi'an City predicted by land use regression models. Sustainable Cities and Society 2020; 61: 1-16.
- Peykanpour Fard R. Moradi H. Lotfi A. et al. Advancing the mapping of optimal land use structure in industrialized areas: incorporating AERMOD modeling and MCE

- approach. *GeoJournal* 2022; 1-17.
20. Sarwar M T. Maqbool A. Causes and control measures of urban air pollution in China. *Environment & Ecosystem Science (EES)* 2019; 3(1): 35-36.
21. Deputy of the organization of Statistics and Information of Iran. Statistical yearbook of Hormozgan province in 1395. Hormozgan: Hormozgan Province Management and Planning Organization; 1396. (Persian)
22. Shaikh K. Imran U. Khan A. et al. Health risk assessment of emissions from brick kilns in Tando Hyder, Sindh, Pakistan using the AERMOD dispersion model. *SN Applied Sciences* 2020; 2(7): 1-11.
23. Echeverría R.S. Jiménez A.L.A. Barrera M.D.C.T. et al. Nitrogen and sulfur compounds in ambient air and in wet atmospheric deposition at Mexico city metropolitan area. *Atmospheric Environment* 2023; 292, 119411.
24. Arefiev N. Terleev V. Badenko V. GIS-based fuzzy method for urban planning. *Procedia Engineering* 2015; 117(1): 39-44.
25. Romano G. Dal Sasso P. Liuzzi G.T. et al. Multi-criteria decision analysis for land suitability mapping in a rural area of Southern Italy. *Land Use Policy* 2011; 48: 131-143.
26. El Baroudy A.A. Mapping and evaluating land suitability using a GIS-based model. *Catena* 2016; 140: 96-140.
27. Memarbashi E. Azadi H. Barati A.A. et al. Land-use suitability in Northeast Iran: application of AHP-GIS hybrid model. *ISPRS International Journal of Geo-Information* 2017; 6(12): 396-410.
28. Kuo Y. Lu S. Tzeng G. et al. Using fuzzy integral approach to enhance site selection assessment—a case study of the optoelectronics industry. *Procedia Computer Science* 2013; 17: 306-313.
29. Khavarian-Garmsir A.R. Rezaei M.R. Selection of appropriate locations for industrial areas using GIS-fuzzy methods. A case study of Yazd Township, Iran. *Journal of Settlements and Spatial Planning* 2013; 6(1): 19-25.