



ارزیابی زیست محیطی و بهبود تحلیل نیروهای وارده بر سازه های دریایی و انتقال رسوب با استفاده از تخمین ارتفاع موج شاخص دریا به کمک هوش مصنوعی

امیر وکیلی

روزبه آقامجیدی

محمدحسین احمدی*

استادیار گروه مهندسی عمران، واحد بیضا، دانشگاه آزاد اسلامی، بیضا، ایران

استادیار گروه مهندسی عمران، واحد سپیدان، دانشگاه آزاد اسلامی، سپیدان، ایران

استادیار گروه مهندسی عمران، واحد بیضا، دانشگاه آزاد اسلامی، بیضا، ایران

چکیده مبسوط

مقدمه: تخمین دقیق ارتفاع موج شاخص در تحلیل سازه های دریایی از اهمیت بالایی برخوردار است. این تخمین به بهینه سازی عملکرد سازه ها و کاهش اثرات زیست محیطی ناشی از فعالیت های دریایی کمک می کند. روش های تجربی و عددی موجود معمولاً هزینه بر و زمان بر هستند. به تازگی، استفاده از روش های هوش مصنوعی و محاسبات نرم رونق یافته است، اما این روش ها با چالش هایی مانند خطای آموزشی و کارایی ناکافی مواجه اند. این پژوهش بهبود تخمین ارتفاع موج شاخص را با ترکیب روش های هوش مصنوعی ناهمگن هدف قرار می دهد.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۰۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۲۰

مواد و روش ها: در این پژوهش، داده ها پردازش و به سه دسته آموزش، اعتبارسنجی و تست تقسیم می شوند. سپس داده های آموزش با روش هوش مصنوعی آموزش می بیند تا به دقت مطلوب برسد.

نتایج و بحث: در این پژوهش از داده های سیستم اطلاعات ساحلی برای تخمین ارتفاع موج شاخص و تحلیل نیروهای وارد بر سازه های دریایی و انتقال رسوب استفاده شده است. معیارهای ارزیابی شامل ضریب تعیین، میانگین قدرمطلق خطا و جذر میانگین مربعات خطا هستند. نتایج نشان می دهند که روش هوش مصنوعی ترکیبی پیشنهادی با ضریب تعیین ۰/۹۶، میانگین قدرمطلق خطا برابر ۰/۰۷۹ و جذر میانگین مربعات خطا برابر ۰/۱۰۹۸، و همچنین روش رگرسیون فرآیند گوسی با ضریب تعیین ۰/۹۶، میانگین قدرمطلق خطا برابر ۰/۰۸۳۴ و جذر میانگین مربعات خطا برابر ۰/۱۱۲۹۶، عملکرد مناسبی در تخمین ارتفاع موج شاخص دارند.

واژه های کلیدی: کارایی،

سازه های دریایی، انتقال رسوب، ارتفاع موج شاخص دریا، هوش مصنوعی، تأثیرات زیست محیطی

نتیجه گیری: در این پژوهش، ضریب تعیین در روش پیشنهادی برابر با ۰/۹۶ است که نشان دهنده بالا بین نتایج تخمینی و واقعی است. همچنین، میانگین قدر مطلق خطا روش پیشنهادی کمتر از روش رگرسیون فرآیند گوسی است. نتایج نشان می دهند که روش هوش مصنوعی ترکیبی پیشنهادی دقت بیشتری در تخمین ارتفاع موج شاخص و تحلیل نیروهای وارد بر سازه های دریایی دارد.

نویسنده مسئول: محمدحسین احمدی

نشانی: گروه مهندسی عمران، واحد بیضا، دانشگاه آزاد اسلامی، بیضا، ایران | تلفن: ۰۹۱۷۳۳۹۶۶۲ | پست الکترونیکی: mohammadh.ahmadi@iau.ac.ir

استناد: وکیلی امیر، آقامجیدی روزبه، احمدی محمدحسین. ارزیابی زیست محیطی و بهبود تحلیل نیروهای وارده بر سازه های دریایی و انتقال رسوب با استفاده از تخمین ارتفاع موج شاخص دریا به کمک هوش مصنوعی. پژوهش های نوین در مهندسی محیط زیست. ۱۴۰۳؛ ۷(۲): ۱-۱۳.

حقوق نویسندگان محفوظ است. این مقاله با دسترسی آزاد و تحت مجوز مالکیت خلاقانه <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0> در فصلنامه پژوهش های نوین در مهندسی محیط زیست منتشر شده است. هرگونه استفاده غیرتجاری فقط با استناد و ارجاع به اثر اصلی مجاز است.



مقدمه

پروژه‌های ساخت‌وساز در مناطق دریایی و ساحلی، نظیر سازه‌های دریایی و سیستم‌های انتقال رسوب، به دلیل قرارگیری در محیط‌های پویا و چالش‌برانگیز، نیازمند تحلیل دقیق و بهینه‌سازی هستند. این سازه‌ها در معرض نیروهای پیچیده‌ای از جمله امواج، جزر و مد، و جریان‌های آب قرار دارند. یکی از پارامترهای کلیدی در این تحلیل‌ها، ارتفاع موج شاخص است که به عنوان معیاری برای ارزیابی نیروهای وارده بر سازه‌ها و بررسی تأثیرات آن‌ها استفاده می‌شود. با پیشرفت‌های اخیر در زمینه هوش مصنوعی (AI)، امکانات جدیدی برای بهبود کارایی تحلیل‌های مربوط به این پارامترها فراهم شده است. سازه‌های دریایی، مانند سکوها نفتی، پل‌های دریایی و سیستم‌های دفاعی ساحلی، تحت تأثیر نیروهای مختلفی از جمله امواج، جزر و مد، و جریان‌های آب قرار دارند. این نیروها می‌توانند به‌طور مستقیم بر ایمنی و پایداری سازه‌ها تأثیر بگذارند. ارتفاع موج شاخص، که به‌طور معمول به عنوان میانگین بالاترین یک‌سوم امواج اندازه‌گیری شده در یک دوره زمانی مشخص تعریف می‌شود، به عنوان یک شاخص مهم برای ارزیابی بارهای وارده بر سازه‌ها و تحلیل تأثیرات آن‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد (کاکس و وندمیر ۲۰۱۰). تحلیل دقیق نیروهای وارد بر سازه‌ها معمولاً به وسیله مدل‌های عددی و آزمایش‌های آزمایشگاهی انجام می‌شود. این روش‌ها ممکن است به دلیل پیچیدگی و تنوع شرایط محیطی، نتایج دقیقی ارائه ندهند (ساترلند و همکاران ۲۰۱۶). پارامترهای زیست‌محیطی نظیر دما، شوری، و ترکیب رسوبات می‌توانند تأثیرات قابل توجهی بر ویژگی‌های امواج و نیروهای وارد بر سازه‌ها داشته باشند. تغییرات در دما و شوری می‌تواند بر چگالی آب و سرعت جریان‌های اقیانوسی تأثیر بگذارد، که به نوبه خود می‌تواند بر الگوی امواج و نیروهای وارده مؤثر باشد (دیویس و همکاران ۲۰۱۴). به‌طور مشابه، ترکیب رسوبات در بستر دریا می‌تواند باعث تغییر در الگوی امواج و توزیع انرژی آن‌ها شود، که این مسئله بر تحلیل نیروهای وارده بر سازه‌ها تأثیرگذار است (هریسون و مک دونالد ۲۰۱۵). تخمین دقیق ارتفاع موج شاخص برای تحلیل نیروهای وارد بر سازه‌ها و سیستم‌های انتقال رسوب ضروری است. مدل‌های آماری و عددی مختلفی برای پیش‌بینی ارتفاع موج شاخص وجود دارد که می‌توانند بر اساس داده‌های جوی، دریایی، و بستر دریا تنظیم شوند. این مدل‌ها معمولاً نیاز به داده‌های تاریخی و شرایط محیطی برای به‌دست آوردن پیش‌بینی‌های دقیق دارند (یونگ و وولان ۲۰۱۲). هوش مصنوعی می‌تواند به‌ویژه در ترکیب با داده‌های زیست محیطی بهبود یافته و تحلیل‌های جامع‌تری ارائه دهد. این تکنولوژی قادر است تأثیرات تغییرات زیست محیطی بر

ارتفاع موج شاخص و نیروهای وارد بر سازه‌ها را مدل‌سازی کرده و پیش‌بینی‌های دقیق‌تری برای طراحی و مدیریت سازه‌ها ارائه دهد (لی و همکاران ۲۰۲۱). مطالعات اخیر نشان‌دهنده پیشرفت‌های قابل توجه در تحلیل نیروهای وارد بر سازه‌های دریایی و کاربرد هوش مصنوعی در این زمینه است. کاکس و وندمیر (۲۰۱۰) به کارگیری مدل‌های عددی برای تحلیل نیروهای امواج و تأثیرات آن‌ها بر سازه‌ها را مورد بررسی قرار دادند. ساترلند و همکاران (۲۰۱۶) به محدودیت‌های روش‌های سنتی تحلیل و نیاز به استفاده از داده‌های بزرگ و پیشرفته تأکید کرده‌اند. دیویس و همکاران (۲۰۱۴) تأثیرات دما و شوری بر ویژگی‌های امواج و تحلیل‌های سازه‌ای را مورد بررسی قرار داده‌اند. در زمینه هوش مصنوعی، چن و همکاران (۲۰۱۹) به کاربرد شبکه‌های عصبی مصنوعی در پیش‌بینی ویژگی‌های امواج پرداخته‌اند و نتایج نشان‌دهنده دقت بالاتر این روش‌ها نسبت به مدل‌های سنتی است. لی و همکاران (۲۰۲۱) نیز به بررسی استفاده از یادگیری عمیق برای مدل‌سازی تأثیرات زیست‌محیطی بر ارتفاع موج شاخص و تحلیل نیروهای وارد بر سازه‌ها پرداخته و نتایج این تحقیق نشان‌دهنده توانمندی بالای تکنیک‌های یادگیری عمیق در این زمینه است. ساخت سازه‌های دریایی از جمله سکوها دریایی، در ابعاد و اشکال گوناگون در سالیان اخیر و با بهبود نوع و کیفیت مصالح و پیشرفت فناوری، گسترش چشم‌گیری داشته است. سکوها دریایی اولیه عموماً از جنس چوب ساخته می‌شدند که با توجه به شرایط جوی و هواشناسی حاکم بر دریاها مناسب نبوده است. در عصر جدید استفاده از مصالحی همانند بتن و فولاد در ساخت سازه‌های دریایی همانند سکوها بسیار فراگیر بوده است. مصالح جدید که در ساخت سکوها دریایی استفاده می‌شود به دلایل مختلفی همانند حد ایمنی ناکافی سکو، حوادث غیرمترقبه و خطر ناشی از خطاها ممکن است دچار مشکلاتی همانند فروریزش شده و خسارات جبران‌ناپذیر مالی و زیست‌محیطی بسیاری به جای گذارد (ابوعلی‌گاه و همکاران ۲۰۲۱). به‌طور کلی، مقاومت ناکافی و افزایش نیروهای وارد بر سکوها دریایی را می‌توان مهم‌ترین دلایل شکست این سکوها دانست. چنانچه نیروهایی که بر سکوها دریایی وارد می‌شوند از میزان ظرفیت و تحمل سکوها فراتر باشند، ایمنی آن‌ها را به خطر خواهند انداخت. با توجه به موارد ذکرشده، قبل از ساخت سکوها دریایی و در مرحله طراحی بایستی پیش‌بینی و روند مقاوم‌سازی کافی این سکوها برای غلبه بر نیروهای ذکرشده را مشخص نمود. در تحلیل سازه‌های دریایی از جمله نیروهای وارد بر سکوها دریایی و انتقال رسوب بسیار

بالا اهمیت می‌باشد (اتیا و همکاران ۲۰۲۲). برای تخمین ارتفاع موج شاخص، روش‌های مختلفی تاکنون ارائه شده است. استفاده از روش‌های تجربی ساده بوده اما دارای دقت مناسبی جهت تخمین ارتفاع موج شاخص نمی‌باشند. همچنین روش‌های عددی معمولاً علی‌رغم دقت قابل قبول جهت تخمین ارتفاع موج شاخص، بسیار زمان و هزینه‌بر می‌باشد. با توجه به این موارد، در سالیان اخیر استفاده از روش‌های هوش مصنوعی و محاسبات نرم همانند شبکه‌های عصبی مصنوعی جهت تخمین ارتفاع موج شاخص بسیار فراگیر بوده است (بهار کامران ۲۰۱۱). اتیا و همکاران (۲۰۲۲)، یک رویکرد استخراج ویژگی مبتنی بر یادگیری عمیق برای پیش‌بینی ارتفاع موج شاخص با استفاده از داده‌های ارتفاع سنج حالت رادار دیافراگم مصنوعی ماهواره‌ای (SAR) ارائه نموده‌اند. در این مقاله بیان شده است که پیش‌بینی پارامترهای موج دریا مانند ارتفاع موج شاخص (SWH) اخیراً به‌عنوان یک نیاز حیاتی برای امنیت و اقتصاد دریایی شناسایی شده است. مأموریت‌های ماهواره‌ای رصد زمین منجر به افزایش گسترده حجم و ابعاد داده‌های دریایی شده است. فن‌آوری‌های یادگیری عمیق توانایی‌های خود را برای پردازش مقادیر زیادی از داده‌ها، به‌دست آوردن بینش‌های مفید و کمک به تصمیم‌گیری‌های محیطی ثابت کرده‌اند. رویکرد معرفی شده در این مقاله، قدرت شبکه‌های عصبی عمیق رمزگذار خودکار را در نگاشت ویژگی‌های ورودی به ویژگی‌های فضای پنهان با قدرت انتخاب ویژگی الگوریتم تحلیل مؤلفه اصلی (PCA) ادغام نموده است تا ویژگی‌های قابل‌توجهی از مشاهدات ارتفاع‌سنج ایجاد نماید. در این مقاله چندین مجموعه ویژگی ترکیبی با استفاده از رویکرد پیشنهادی تولید شده و برای مدل‌سازی SWH از رگرسیون فرآیند گاوسی (GPR) و رگرسیون شبکه عصبی (NNR) استفاده شده است. در این مقاله، از داده‌های ارتفاع‌سنج حالت SAR کالیبره شده توسط داده‌های شناور درجا برای آموزش و ارزیابی مدل‌های SWH استفاده شده است. یافته‌های این مقاله برتری شبکه یادگیری عمیق رمزگذار خودکار پیشنهادی را در تولید ویژگی‌های نهفته نشان می‌دهد که به بهبود عملکرد پیش‌بینی مدل‌های SWH نسبت به روش‌های استخراج ویژگی سنتی کمک می‌کند. ژبائزن یو و همکاران (۲۰۲۲)، یک مدل یادگیری عمیق برای پیش‌بینی ارتفاع موج شاخص ارائه نموده‌اند. در این مقاله بیان شده است که پیش‌بینی ارتفاع موج شاخص (SWH) برای ارزیابی و استفاده از انرژی ساحلی، ساخت بندر و برنامه‌ریزی کشتیرانی بسیار مهم است روش‌های فعلی پیش‌بینی ارتفاع موج شاخص یا به اطلاعات قبلی قابل‌اعتماد نیاز دارند یا به حد بالای دقت پیش‌بینی نرسیده‌اند. برای این منظور، در این مقاله یک شبکه مبتنی بر موجک برای پیش‌بینی SWH با دقت

بالا پیشنهاد شده است. فنگ و همکاران (۲۰۲۲)، پیش‌بینی ارتفاع موج شاخص در فراساحل چین بر اساس روش یادگیری ماشین را مورد بررسی قرار داده‌اند نتایج تجربی ارزیابی مقاله نشان داده است که عملکرد شبکه‌های LSTM و GRU بر اساس مکانیسم دروازه‌ای بهتر از شبکه‌های عصبی بازگشتی سنتی بوده است و استفاده از روش EMD در بهبود شبکه LSTM برای پیش‌بینی ارتفاع موج شاخص ۱۲ و ۲۴ ساعته نیز مفید می‌باشد. لی هان و همکاران (۲۰۲۲)، در مقاله‌ای اقدام به پیش‌بینی ارتفاع موج شاخص در دریای چین جنوبی (SCS) بر اساس یادگیری عمیق نموده‌اند. مطابق نتایج ارزیابی تجربی مقاله، اثبات شده است که الگوریتم یادگیری عمیق کانولوشنال پیشنهادی توانسته است در معیارهای مذکور نسبت به روش‌های مورد مقایسه بهبود داشته و کارایی بیشتری جهت پیش‌بینی ارتفاع موج شاخص در دریای چین جنوبی حاصل نماید (هان و همکاران ۲۰۲۲). کوی ژی و همکاران (۲۰۲۲)، یک چارچوب یادگیری عمیق آبشاری دومرحله‌ای برای پیش‌بینی بلادرنگ توزیع ارتفاع موج شاخص در یک بندر مطرح نموده‌اند. مطابق نتایج ارزیابی مقاله، اثبات شده است که روش پیشنهادی از همه مدل‌های دیگر در پیش‌بینی‌های میان‌مدت (۲۵ تا ۴۸ ساعت)، پیش‌بینی‌های بلندمدت (۴۹-۷۲ ساعت) و طولانی‌مدت (۷۳-۹۶ ساعت) کارایی بهتری حاصل نموده است. لطف‌اللهی یقین و همکاران (۱۳۹۲)، در مقاله‌ای اقدام به مدل‌سازی و پیش‌بینی ارتفاع موج شاخص دریای خزر با نظریه آشوب نموده‌اند. در این مقاله بیان شده است که بررسی و پیش‌بینی ارتفاع موج در تحلیل سامانه‌های دریایی ازجمله نیروهای وارد بر سازه‌های دریایی و انتقال رسوب برای طراحی، بهره‌برداری و مطالعات مربوط به گستره دریایی، اهمیت دارد. در این مقاله، خصوصیات دینامیکی سری زمانی ارتفاع موج شاخص ساعتی در ورودی بندر انزلی دریای خزر و پیش‌بینی آن با استفاده از مفاهیم نظریه آشوب انجام شده استبرای بازسازی فضای حالت زمان تأخیر از روش تابع خودهمبستگی و الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه‌های کاذب محاسبه شده است. از روش پیش‌بینی موضعی برای پیش‌بینی سری زمانی ارتفاع موج شاخص استفاده شده است که نتایج حاکی از دقت قابل‌قبول این نظریه در پیش‌بینی کمی ارتفاع موج شاخص دریا دارد. فیاضی و آقاوکچک (۱۳۹۲)، حداکثر ارتفاع موج محتمل طی عمر طراحی سکوها دریایی واقع در خلیج فارس را محاسبه نموده‌اند. در این مقاله بیان شده است که پیش‌بینی حداکثر ارتفاع موج به‌عنوان پارامتری اساسی در طراحی و ارزیابی سازه‌های دریایی با عدم قطعیت همراه است. در این مقاله، دو الگوریتم برای محاسبه حداکثر ارتفاع موج محتمل با توجه به داده‌های آماری موجود در منطقه خلیج فارس پیشنهاد شده است در روش اول از یک تابع

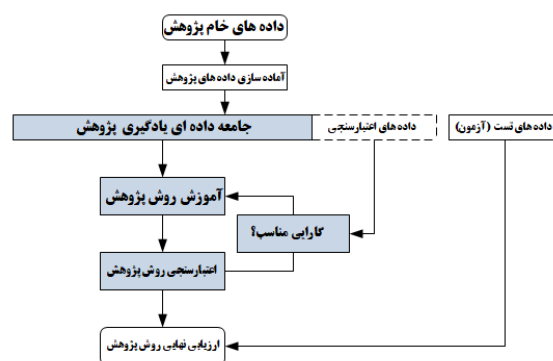
تخمین می‌باشد. جهت حل این مسئله، در این پژوهش تلاش خواهیم نمود تا با بهره‌گیری از سایر روش‌های هوش مصنوعی و ترکیب آن‌ها با یکدیگر، روشی نوین ارائه نماییم که ضمن بهبود فرآیند یادگیری منجر به هم‌پوشانی خطای آموزش و بهبود کارایی تحلیل نیروهای وارد بر سازه‌های دریایی و انتقال رسوب توسط تخمین دقیق‌تر ارتفاع موج شاخص دریا گردد. بنا بر مطالعات و تحلیل‌های به انجام رسیده، استفاده انحصاری از روش‌های مبتنی بر شبکه‌های عصبی مصنوعی (ساده و عمیق) همانند دیوس و همکاران (۲۰۱۴)، چن و همکاران (۲۰۱۹) و بریمن (۱۹۹۶) و غیره جهت تحلیل نیروهای وارد بر سازه‌های دریایی و انتقال رسوب توسط تخمین ارتفاع موج شاخص دریا، موجب خطای آموزش و کارایی ناکافی در این روش‌ها شده است. جهت حل این چالش، در این پژوهش برای نخستین مرتبه ایده استفاده و ترکیب سایر روش‌های هوش مصنوعی جهت هم‌پوشانی خطای آموزش و افزایش کارایی تحلیل نیروهای وارد بر سازه‌های دریایی و انتقال رسوب توسط تخمین ارتفاع موج شاخص دریا، به‌عنوان نوآوری و جنبه جدید بودن پژوهش مطرح شده است. با توجه به مطالب ذکر شده هدف از پژوهش حاضر بهبود کارایی تحلیل نیروهای وارد بر سازه‌های دریایی و انتقال رسوب توسط تخمین ارتفاع موج شاخص دریا و مفاهیم هوش مصنوعی می‌باشد.

توزیع احتمال مشترک درازمدت وابسته به ارتفاع و دوره تناوب موج و در روش دوم از یک تابع توزیع احتمال مشترک برحسب یک تابع احتمالاتی و مجموعه‌ای از توابع احتمال شرطی، بهره‌گیری شده است در پایان نیز با در نظر گرفتن عمر طراحی سکوها دریایی، ارتفاع موجی که در مدت عمر طراحی این سکوها دارای احتمال فراگذشت‌های متفاوت می‌باشد، محاسبه گردیده است. کامران زاد و همکاران (۱۳۹۰)، در مقاله‌ای به تعیین پارامترهای مؤثر در پیش‌بینی ارتفاع موج شاخص در نکا پرداخته‌اند. در این مقاله، پیش‌بینی مشخصات امواج در دریای خزر به کمک شبکه عصبی مصنوعی در منطقه نکا انجام شده است. با انجام سعی و خطا بر روی مدل‌های متفاوت، مشخص شد که در نظر گرفتن سرعت برشی باد به جای سرعت باد سبب افزایش دقت نتایج می‌شود. بررسی مدل‌های مختلف با گام‌های زمانی متفاوت برای سرعت باد نشان داد که در نظر گرفتن سرعت باد تا ۷ ساعت گذشته، دقت مدل‌سازی را افزایش می‌دهد. همچنین استفاده از پارامتر طول موجگاه به‌عنوان ورودی، تأثیر چندانی در بهبود نتایج مدل‌سازی ندارد. روش‌های فعلی مبتنی بر محاسبات نرم جهت تحلیل نیروهای وارد بر سازه‌های دریایی و انتقال رسوب توسط تخمین ارتفاع موج شاخص دریا، عموماً از روش‌های مبتنی بر شبکه‌های عصبی مصنوعی (ساده و عمیق) استفاده نموده‌اند که در عمل به دلیل عدم استفاده از سایر روش‌های هوش مصنوعی دارای خطای آموزش و کارایی ناکافی

مواد و روش‌ها

قابل یک مدل مفهومی مورد بررسی قرار گرفته است که در شکل ۱ قابل مشاهده می‌باشد.

روند انجام این پژوهش جهت تحلیل نیروهای وارد بر سازه‌های دریایی و انتقال رسوب توسط تخمین ارتفاع موج شاخص دریا در



شکل ۱- بررسی روند حل مسئله پژوهش

ارتفاع موج شاخص دریا در محیط نرم‌افزار متلب، ارائه و تشریح شده است.

پیاپیاده‌سازی تخمین ارتفاع موج شاخص دریا توسط روش هوش مصنوعی ترکیبی پیشنهادی

روش هوش مصنوعی ترکیبی پیشنهادی پژوهش جهت تخمین ارتفاع موج شاخص دریا، در ابتدا توسط ۰/۷۵ درصد از جامعه داده‌ای Coastal Data System مورد آموزش قرار گرفته و در ادامه فرآیند اعتبارسنجی این روش توسط ۰/۲۵ از نمونه‌های موجود در این داده‌ها به انجام رسیده است. همچنین جهت پیاده‌سازی روش هوش مصنوعی ترکیبی پیشنهادی در نرم‌افزار متلب برای تخمین ارتفاع موج شاخص دریا، پارامترهای این روش به‌صورت تجربی مشخص و مطابق جدول ۱ تعیین شده است.

همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌گردد، در روند حل مسئله پژوهش ابتدا داده‌های پژوهش پردازش شده و در سه دسته داده‌های آموزش، اعتبارسنجی و تست (آزمون) جداسازی خواهند شد. در ادامه توسط مجموعه داده‌های آموزش، روش هوش مصنوعی پژوهش را توسط نرم‌افزار آموزش داده و در ادامه یادگیری این روش توسط داده‌های اعتبارسنجی و تست تا زمان دستیابی به کارایی مناسب جهت تخمین ارتفاع موج شاخص دریا ادامه خواهد یافت.

طراحی، پیاده‌سازی و اعتبارسنجی روش پژوهش

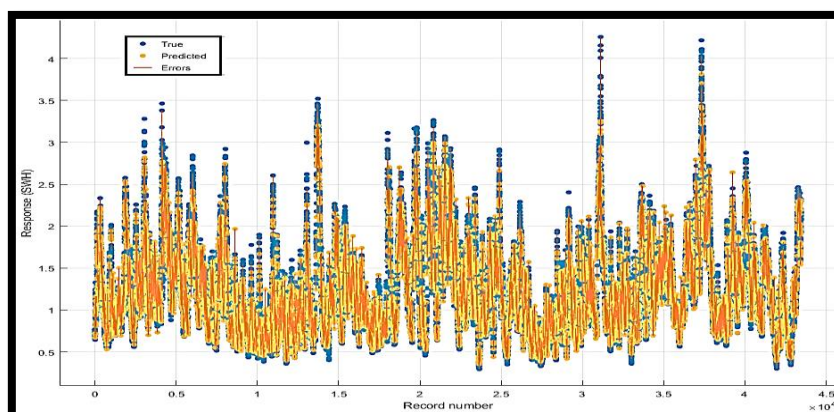
در این بخش روند طراحی، پیاده‌سازی و اعتبارسنجی روش پیشنهادی و روش مورد مقایسه (رگرسیون فرآیند گوسی) تحلیل نیروهای وارد بر سازه‌های دریایی و انتقال رسوب توسط تخمین

جدول ۱- بررسی پارامترهای تخمین ارتفاع موج شاخص دریا توسط روش هوش مصنوعی ترکیبی پیشنهادی

سرعت تخمین (مشاهده/ثانیه)	زمان آموزش (ثانیه)	حداقل اندازه برگ‌ها	تعداد یادگیرنده‌ها	نوع یادگیری ترکیبی	درصد داده‌های یادگیری	درصد داده‌های اعتبارسنجی
۳۹۰۰۰	۳۹۹/۶۹	۸	۳۰	Bagging	۰/۷۵	۰/۲۵

اندازه برگ‌هایی برابر با ۸ در روش هوش مصنوعی ترکیبی پیشنهادی جهت تخمین ارتفاع موج شاخص دریا استفاده شده است. در شکل ۲ نتایج خطای تخمین ارتفاع موج شاخص دریا توسط روش هوش مصنوعی ترکیبی پیشنهادی ارائه شده است.

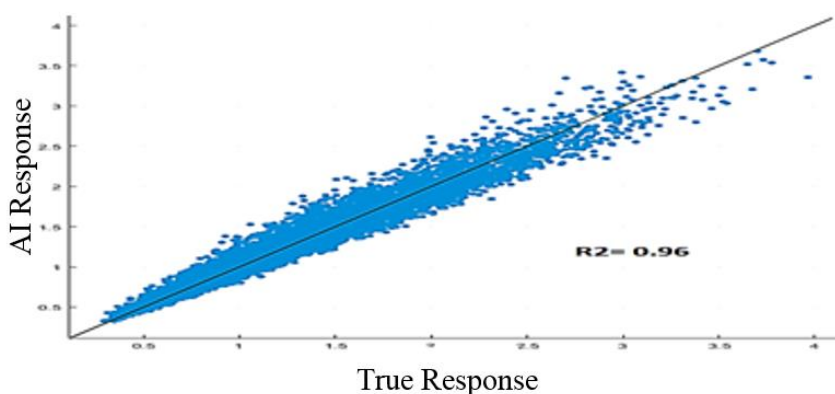
همان‌گونه که در جدول ۱ مشاهده می‌گردد، روش هوش مصنوعی ترکیبی پیشنهادی مورد مقایسه پژوهش در مدت زمان ۳۹۹ ثانیه جهت تخمین ارتفاع موج شاخص دریا آموزش یافته است و سرعت تخمین در این روش برابر با ۳۹۰۰۰ مشاهده/ثانیه می‌باشد. همچنین از روش یادگیری ترکیبی با تعداد ۳۰ یادگیرنده و حداقل



شکل ۲- نتایج خطای تخمین ارتفاع موج شاخص دریا توسط روش هوش مصنوعی ترکیبی پیشنهادی

در شکل ۲، نقاط آبی رنگ نمایانگر ارتفاع حقیقی موج شاخص دریا در مجموعه داده‌های پژوهش می‌باشد و نقاط زرد رنگ نیز نشان‌دهنده ارتفاع تخمینی موج شاخص دریا توسط روش هوش مصنوعی ترکیبی پیشنهادی پژوهش است. خطوط قرمز رنگ در شکل ۲، خطای (فاصله) بین ارتفاع حقیقی و ارتفاع

تخمینی موج شاخص دریا توسط روش هوش مصنوعی ترکیبی پیشنهادی پژوهش می‌باشد. در شکل ۳ نمودار پراکنش تخمین ارتفاع موج شاخص دریا توسط روش هوش مصنوعی ترکیبی پیشنهادی قابل مشاهده می‌باشد.



شکل ۳- نمودار پراکنش تخمین ارتفاع موج شاخص دریا توسط روش هوش مصنوعی ترکیبی پیشنهادی

همان‌گونه که در شکل ۳ مشاهده می‌گردد، در نمودار پراکنش روش هوش مصنوعی ترکیبی پیشنهادی پژوهش جهت تخمین ارتفاع موج شاخص دریا ضریب تعیین یا امتیاز R^2 برابر با ۰/۹۶ می‌باشد. به بیانی دیگر، مقدار پراکنش (نسبت به خط برازش) مقادیر واقعی ارتفاع موج شاخص دریا در جامعه داده‌ای پژوهش نسبت به مقدار تخمینی توسط روش هوش مصنوعی ترکیبی پیشنهادی برابر ۰/۹۶ می‌باشد.

پیاده‌سازی تخمین ارتفاع موج شاخص دریا توسط روش رگرسیون فرآیند گوسی

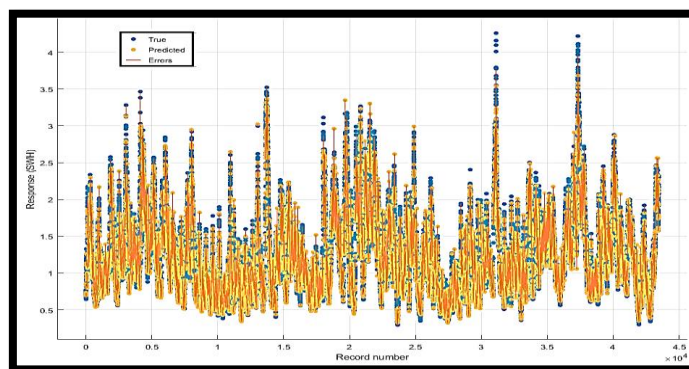
روش رگرسیون فرآیند گوسی مورد مقایسه پژوهش جهت تخمین ارتفاع موج شاخص دریا، در ابتدا توسط ۰/۷۵ درصد از جامعه داده‌ای سیستم داده‌های ساحلی مورد آموزش قرار گرفته و در ادامه فرآیند اعتبارسنجی این روش توسط ۰/۲۵ از نمونه‌های موجود در این داده‌ها به انجام رسیده است. همچنین جهت پیاده‌سازی روش رگرسیون فرآیند گوسی در نرم‌افزار متلب برای تخمین ارتفاع موج شاخص دریا، پارامترهای این روش به صورت تجربی مشخص و مطابق جدول ۲ تعیین شده است.

جدول ۲- بررسی پارامترهای تخمین ارتفاع موج شاخص دریا توسط روش رگرسیون فرآیند گوسی

سرعت تخمین (مشاهده/ثانیه)	زمان آموزش (ثانیه)
۹۴۰	۴۹۴۲

همان‌گونه که از جدول ۲ مشاهده می‌گردد، روش رگرسیون فرآیند گوسی مورد مقایسه پژوهش در مدت زمان ۴۹۴۲ ثانیه جهت تخمین ارتفاع موج شاخص دریا آموزش یافته است و سرعت

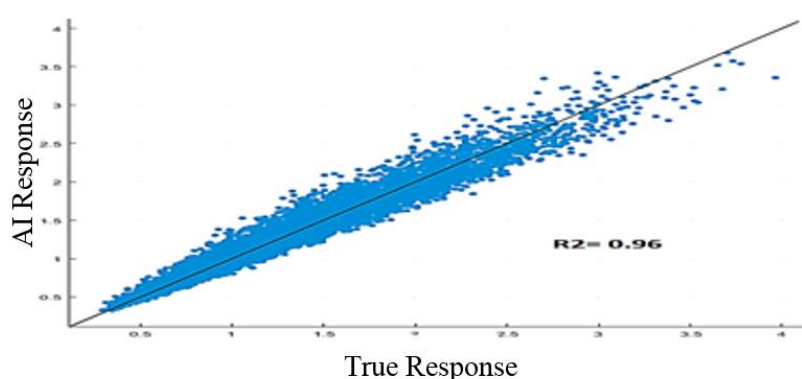
تخمین در این روش برابر با ۹۴۰ مشاهده/ثانیه می‌باشد. در شکل ۴ نتایج خطای تخمین ارتفاع موج شاخص دریا توسط روش رگرسیون فرآیند گوسی ارائه شده است.



شکل ۴- نتایج خطای تخمین ارتفاع موج شاخص دریا توسط روش رگرسیون فرآیند گوسی

تخمینی موج شاخص دریا توسط روش رگرسیون فرآیند گوسی مورد مقایسه پژوهش می‌باشد. در شکل ۵ نمودار پراکنش تخمین ارتفاع موج شاخص دریا توسط روش رگرسیون فرآیند گوسی قابل مشاهده می‌باشد.

در شکل ۴ نقاط آبی رنگ نمایانگر ارتفاع حقیقی موج شاخص دریا در مجموعه داده‌های پژوهش می‌باشد و نقاط زرد رنگ نیز نشان‌دهنده ارتفاع تخمینی موج شاخص دریا توسط روش رگرسیون فرآیند گوسی مورد مقایسه پژوهش است. خطوط قرمز رنگ در شکل خطای (فاصله) بین ارتفاع حقیقی و ارتفاع



شکل ۵- نمودار پراکنش تخمین ارتفاع موج شاخص دریا توسط روش رگرسیون فرآیند گوسی

مقادیر واقعی ارتفاع موج شاخص دریا در جامعه داده‌ای پژوهش نسبت به مقدار تخمینی توسط روش رگرسیون فرآیند گوسی برابر ۰/۹۶ می‌باشد.

همان‌گونه که در شکل ۵ مشاهده می‌گردد، در نمودار پراکنش روش رگرسیون فرآیند گوسی مورد مقایسه پژوهش جهت تخمین ارتفاع موج شاخص دریا ضریب تعیین یا امتیاز R^2 برابر با ۰/۹۶ می‌باشد. به بیانی دیگر، مقدار پراکنش (نسبت به خط برازش)

نتایج و بحث

جامعه داده‌ای پژوهش

جهت آموزش، اعتبارسنجی و تحلیل میزان کارایی تحلیل نیروهای وارد بر سازه‌های دریایی و انتقال رسوب توسط تخمین ارتفاع موج شاخص دریا، در این پژوهش از مجموعه داده‌های Coastal Data System-Waves (Mooloolaba) استفاده شد. این مجموعه داده‌ها در یک بازه زمانی ۳۰ ماهه بین سال‌های ۲۰۱۷ تا ۲۰۱۹ و در دوره‌های زمانی ۳۰ دقیقه‌ای استخراج شده است. مجموعه داده مورد استفاده، توسط شناورهای اندازه‌گیری امواج اقیانوس‌شناسی اقدام به گردآوری ارتفاع موج شاخص دریا نموده است. ورودی‌های مجموعه داده Coastal Data System عبارت‌اند از حداکثر ارتفاع موج در رکورد، دوره موج بالای صفر،

دوره اوج موج انرژی، جهتی که امواج دوره اوج از آن می‌آیند و تقریب دمای سطح دریا. همچنین ارتفاع موج قابل توجه (میانگین بالاترین یک‌سوم امواج در یک رکورد) خروجی این مجموعه داده محسوب می‌گردد.

معیارهای ارزیابی پژوهش

در این بخش، معیارهای ارزیابی مورد استفاده در پژوهش مورد بررسی قرار گرفته است. در این پژوهش جهت تحلیل نیروهای وارد بر سازه‌های دریایی و انتقال رسوب توسط تخمین ارتفاع موج شاخص دریا، ابتدا از معیار ضریب تعیین یا امتیاز R^2 مطابق با معادله ۱ استفاده خواهد شد.

$$R^2(Y, \hat{Y}) = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} = 1 - \frac{MSE(Y, \hat{Y})}{\sigma^2(Y)} \quad (1)$$

رسوب خواهد بود. معیار دیگر مورد استفاده در ارزیابی پژوهش میانگین قدر مطلق خطا^۱ (MAE) مطابق با معادله ۲ می‌باشد.

مطابق معادله ۱ افزایش معیار ضریب تعیین در روش‌های مورد مقایسه پژوهش، نشان‌دهنده بهبود کارایی تخمین ارتفاع موج شاخص دریا و تحلیل نیروهای وارد بر سازه‌های دریایی و انتقال

$$MAE(Y, \hat{Y}) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Y_i - \hat{Y}_i| = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |e_i| \quad (2)$$

وارد بر سازه‌های دریایی و انتقال رسوب خواهد بود. معیار دیگر مورد استفاده در ارزیابی پژوهش جذر میانگین مربعات خطا^۲ (RMSE) مطابق با معادله ۳ می‌باشد.

مطابق معادله ۲، کاهش معیار میانگین قدرمطلق خطا در روش‌های مورد مقایسه پژوهش، نشان‌دهنده کاهش میانگین قدر مطلق خطای تخمین ارتفاع موج شاخص دریا و تحلیل نیروهای

$$RMSE(Y, \hat{Y}) = \sqrt{MSE(Y, \hat{Y})} \quad (3)$$

توسط نرم‌افزار متلب، در این بخش نتایج تجزیه و تحلیل میزان کارایی و دقت این روش جهت تخمین ارتفاع موج شاخص دریا توسط معیارهای ارزیابی پژوهش مطابق با معادلات ۱، ۲ و ۳ استخراج و مورد تحلیل قرار گرفته است. در جدول ۳ و شکل ۶ نتایج ارزیابی کارایی تخمین ارتفاع موج شاخص دریا توسط روش هوش مصنوعی ترکیبی پیشنهادی ارائه شده است.

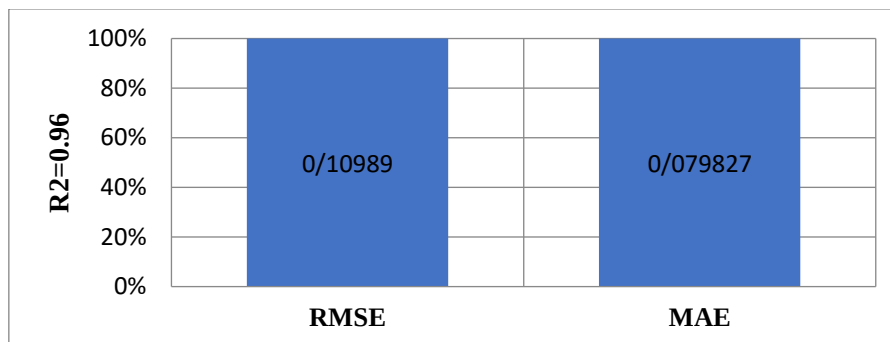
مطابق معادله ۳ کاهش معیار جذر میانگین مربعات خطا در روش‌های مورد مقایسه پژوهش، نشان‌دهنده کاهش میانگین مربعات خطای تخمین ارتفاع موج شاخص دریا و تحلیل نیروهای وارد بر سازه‌های دریایی و انتقال رسوب خواهد بود. تجزیه و تحلیل تخمین ارتفاع موج شاخص دریا توسط روش هوش مصنوعی ترکیبی پیشنهادی پس از انجام فرآیند طراحی، توسعه و اعتبارسنجی روش هوش مصنوعی ترکیبی پیشنهادی

¹ Mean Absolute Error

² Root Mean Squared Error

جدول ۳- نتایج ارزیابی کارایی تخمین ارتفاع موج شاخص دریا توسط روش هوش مصنوعی ترکیبی پیشنهادی

معیار روش	R^2	MAE	RMSE
روش هوش مصنوعی ترکیبی پیشنهادی	۰/۹۶	۰/۰۷۹۸۲۷	0.10989



شکل ۶- نتایج ارزیابی کارایی تخمین ارتفاع موج شاخص دریا توسط روش هوش مصنوعی ترکیبی پیشنهادی

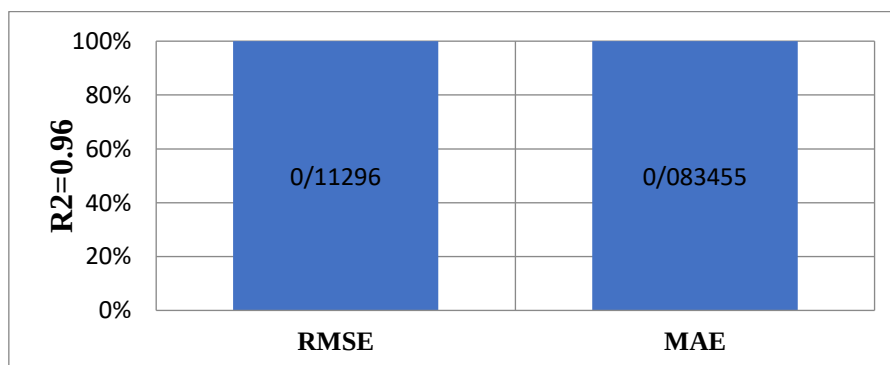
تجزیه و تحلیل تخمین ارتفاع موج شاخص دریا توسط روش رگرسیون فرآیند گوسی

پس از انجام فرآیند طراحی، توسعه و اعتبارسنجی روش رگرسیون فرآیند گوسی مورد مقایسه پژوهش توسط نرم‌افزار متلب، در این بخش نتایج تجزیه و تحلیل میزان کارایی و دقت این روش جهت تخمین ارتفاع موج شاخص دریا توسط معیارهای ارزیابی پژوهش مطابق با معادلات ۱، ۲ و ۳ استخراج و مورد تحلیل قرار گرفته است. در جدول ۴ و شکل ۷ نتایج ارزیابی کارایی تخمین ارتفاع موج شاخص دریا توسط روش رگرسیون فرآیند گوسی ارائه شده است.

همان‌گونه که از جدول ۳ ملاحظه می‌گردد، روش هوش مصنوعی ترکیبی پیشنهادی دارای ۰/۹۶ قدرت توضیح دهنده (معیار ضریب R^2) یا میزان احتمال بین نتایج تخمینی و واقعی ارتفاع موج شاخص دریا در جامعه داده‌ای پژوهش می‌باشد. همچنین مطابق نتایج ارائه شده در جدول ۳، میانگین قدر مطلق خطا (MAE) و جذر میانگین مربعات خطای (RMSE) تخمین ارتفاع موج شاخص دریا توسط روش هوش مصنوعی ترکیبی پیشنهادی به ترتیب برابر با ۰/۰۷۹۸۲۷ و ۰/۱۰۹۸۹ می‌باشد.

جدول ۴- نتایج ارزیابی کارایی تخمین ارتفاع موج شاخص دریا توسط روش رگرسیون فرآیند گوسی

معیار روش	R^2	MAE	RMSE
رگرسیون فرآیند گوسی	۰/۹۶	۰/۰۸۳۴۵۵	۰/۱۱۲۹۶



شکل ۷- نتایج ارزیابی کارایی تخمین ارتفاع موج شاخص دریا توسط روش رگرسیون فرآیند گوسی

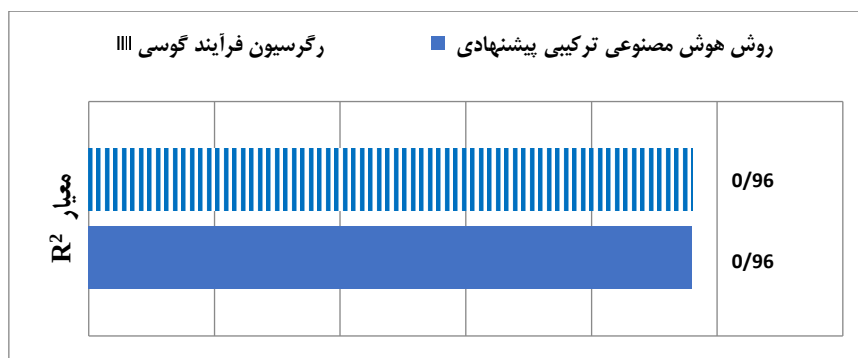
گوسی مورد مقایسه پژوهش به ترتیب برابر با $0/083455$ و $0/11296$ می‌باشد.

در جدول ۵ و شکل ۸ نتایج معیار ضریب تعیین R^2 در روش هوش مصنوعی ترکیبی پیشنهادی، رگرسیون بردار پشتیبان، درخت رگرسیون، رگرسیون خطی و رگرسیون فرآیند گوسی جهت تخمین ارتفاع موج شاخص دریا ارائه شده است.

همان‌گونه که در جدول ۶ ملاحظه می‌گردد، روش رگرسیون فرآیند گوسی مورد مقایسه پژوهش دارای $0/96$ قدرت توضیح دهنده (معیار ضریب R^2) یا میزان احتمال بین نتایج تخمینی و واقعی ارتفاع موج شاخص دریا در جامعه داده‌ای پژوهش می‌باشد. همچنین مطابق نتایج ارائه شده در جدول ۴ میانگین قدر مطلق خطا (MAE) و جذر میانگین مربعات خطای (RMSE) تخمین ارتفاع موج شاخص دریا توسط روش رگرسیون فرآیند

جدول ۵- نتایج ارزیابی روش‌های مورد مقایسه تخمین ارتفاع موج شاخص دریا توسط معیار ضریب تعیین R^2

روش	R^2
روش هوش مصنوعی ترکیبی پیشنهادی	$0/96$
رگرسیون فرآیند گوسی	$0/96$



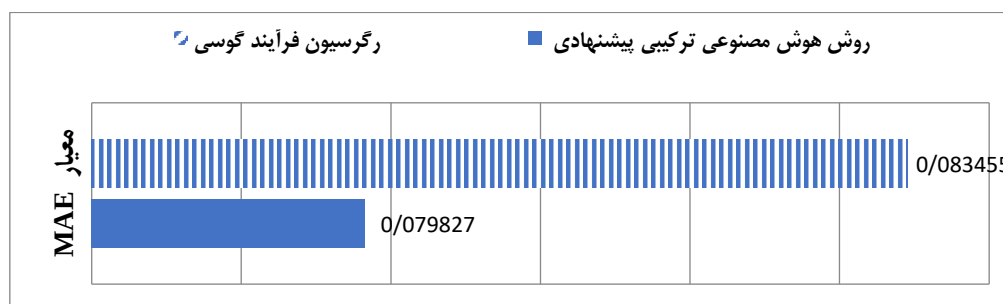
شکل ۸- نتایج ارزیابی روش‌های مورد مقایسه تخمین ارتفاع موج شاخص دریا توسط معیار ضریب تعیین R^2

مطلق خطا (MAE) در روش هوش مصنوعی ترکیبی پیشنهادی و رگرسیون فرآیند گوسی جهت تخمین ارتفاع موج شاخص دریا ارائه شده است.

مطابق نتایج ارائه شده در جدول ۵ معیار ضریب R^2 (قدرت توضیح دهنده و تخمین) در روش پیشنهادی پژوهش برابر با $0/96$ می‌باشد. در جدول ۷ و شکل ۸ نتایج معیار میانگین قدر

جدول ۷- نتایج ارزیابی روش‌های مورد مقایسه تخمین ارتفاع موج شاخص دریا توسط معیار میانگین قدر مطلق خطا (MAE)

روش	MAE
روش هوش مصنوعی ترکیبی پیشنهادی	$0/079827$
رگرسیون فرآیند گوسی	$0/083455$



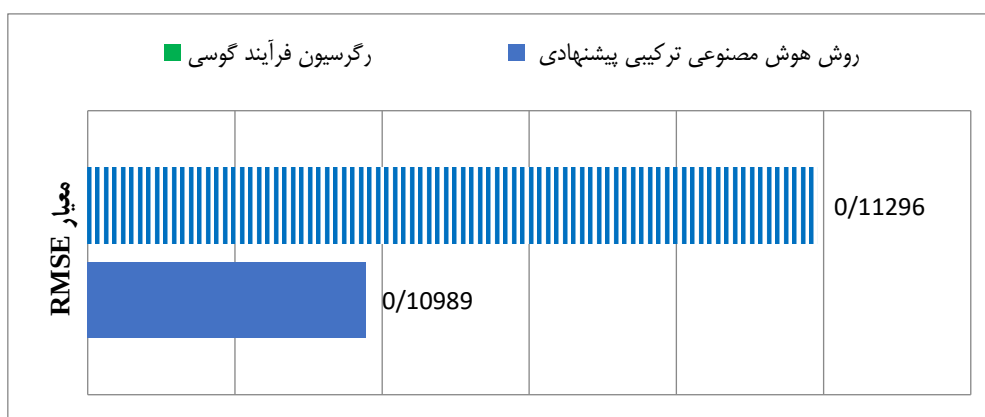
شکل ۹- نتایج ارزیابی روش‌های مورد مقایسه تخمین ارتفاع موج شاخص دریا توسط معیار میانگین قدر مطلق خطا (MAE)

در جدول ۸ و شکل ۹ نتایج معیار جذر میانگین مربعات خطای (RMSE) در روش مورد مقایسه روش هوش مصنوعی ترکیبی پیشنهادی و رگرسیون فرآیند گوسی جهت تخمین ارتفاع موج شاخص دریا ارائه شده است.

مطابق نتایج ارائه شده در جدول ۵ معیار میانگین قدر مطلق خطا (MAE) در روش پیشنهادی پژوهش برابر با ۰/۰۷۹۸۲۸ می‌باشد که نسبت به روش مورد مقایسه رگرسیون فرآیند گوسی به میزان ۰/۰۳۶۲۸ جهت تخمین ارتفاع موج شاخص دریا کمتر می‌باشد.

جدول ۸- نتایج ارزیابی روش‌های مورد مقایسه تخمین ارتفاع موج شاخص دریا توسط معیار جذر میانگین مربعات خطای (RMSE)

روش	RMSE
روش هوش مصنوعی ترکیبی پیشنهادی	۰/۱۰۹۸۹
رگرسیون فرآیند گوسی	۰/۱۱۲۹۶



شکل ۱۰- نتایج ارزیابی روش‌های مورد مقایسه تخمین ارتفاع موج شاخص دریا توسط معیار جذر میانگین مربعات خطای (RMSE)

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

ارتفاع موج شاخص دریا توسط روش ترکیبی هوش مصنوعی پیشنهادی، بهبود کارایی تحلیل نیروهای وارد بر سازه‌های دریایی و انتقال رسوب را به دنبال خواهد داشت که هدف و فرضیه اصلی پژوهش را اثبات می‌نماید. از مهم‌ترین پیشنهادات پژوهش جهت استفاده محققان فعال در زمینه حل مسئله تخمین ارتفاع موج شاخص دریا می‌توان به استفاده از سایر روش‌های داده‌کاوی جهت ترکیب با روش هوش مصنوعی پیشنهادی پژوهش و بهره‌گیری از روش‌های بهینه‌سازی جهت استخراج پارامترهای بهینه تخمین ارتفاع موج شاخص دریا اشاره کرد.

مطابق نتایج تحقیق حاضر معیار جذر میانگین مربعات خطای (RMSE) در روش پیشنهادی پژوهش برابر با ۰/۱۰۹۸۹ می‌باشد که به ترتیب نسبت به روش مورد مقایسه رگرسیون فرآیند گوسی به میزان ۰/۰۳۰۷ جهت تخمین ارتفاع موج شاخص دریا کمتر می‌باشد. همچنین بر اساس نتایج حاصل شده مشاهده گردید که روش ترکیبی هوش مصنوعی پیشنهادی تخمین ارتفاع موج شاخص دریا به دلیل ترکیب غیر انحصاری روش‌های هوش مصنوعی و هم‌پوشانی خطای آموزش توانسته است در معیارهای R^2 ، MAE و RMSE نسبت به روش مورد مقایسه فرآیند گوسی کارایی بهتری داشته باشد. بهبود کارایی تخمین

References

- Atteia G, Collins MJ, Algarni AD, Samee NA. Deep-learning-based feature extraction approach for significant wave height prediction in SAR mode altimeter data. *Remote Sens.* 2022; 14(21):5569. <https://doi.org/10.3390/rs14215569>
- Behar Kamran Z, Amir Etemad S, Mohsen H. Determination of effective parameters in forecasting significant wave height in Neka. In: 4th International Conference on Offshore Industries; 2011. [In Persian]
- Breiman L. Bagging predictors. *Mach Learn.* 1996;24(2):123-40. <https://doi.org/10.1007/BF00058655>
- bualigah L, Diabat A, Mirjalili S, Abd Elaziz M, Gandomi AH. The arithmetic optimization algorithm. *Comput Methods Appl Mech Eng.* 2021; 376:113609. <https://doi.org/10.1016/j.cma.2020.113609>
- Cox DR, van der Meer JW. Wave forces on marine structures. CRC Press; 2010.
- Davis RE, Collins DC, Wu L. Effects of temperature and salinity on wave properties and their impact on coastal infrastructure. *J Coast Res.* 2014;30(3):578-88. <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-13-00048.1>
- Dhodhi J, Sharma K, Hassanin A. Safety of offshore platforms. In: *Encyclopedia of Maritime and Offshore Engineering*. Wiley; 2017. p. 1-10. <https://doi.org/10.1002/9781118476406.emoe0021>
- Feng Z, Hu P, Li S, Mo D. Prediction of significant wave height in offshore China based on the machine learning method. *J Mar Sci Eng.* 2022;10(6):836. <https://doi.org/10.3390/jmse10060836>
- Han L, Ji Q, Jia X, Liu Y, Han G, Lin X. Significant wave height prediction in the South China Sea based on the ConvLSTM algorithm. *J Mar Sci Eng.* 2022;10(11):1683. <https://doi.org/10.3390/jmse10111683>
- Harrison S, MacDonald A. Influence of seabed sediment composition on wave propagation and sediment transport. *Coast Eng.* 2015; 102:1-12. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2015.04.001>
- Li Z, Zhang M, Wang X. Deep learning for predicting wave height and its implications for coastal engineering. *Eng Appl Artif Intell.* 2021;98:104064. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2021.104064>
- Lotfollahi Yeganeh M, Lashtah Neshayi M, Ghorbani M, Larian MB. Modeling and forecasting of significant wave height in the Caspian Sea using chaos theory. *Amirkabir J Civ Eng.* 2013; 45:97-105. [In Persian]
- Mishra JP, Singh K, Chaudhary H. Intelligent Ocean wave height prediction system using light GBM model. *Int J Syst Innov.* 2022;7(2):64-77. <https://doi.org/10.20855/ijsi.2022.7.2.9>
- Obakrim S, Ailliot P, Monbet V, Raillard N. Statistical modeling of the space-time relation between wind and significant wave height. *Authorea Preprints*; 2022. <https://doi.org/10.31219/osf.io/j8vyr>
- Obara Y, Nakamura R. Transfer learning of long short-term memory analysis in significant wave height prediction off the coast of western Tohoku, Japan. *Ocean Eng.* 2022; 266:113048. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.113048>
- Özger M. Significant wave height forecasting using wavelet fuzzy logic approach. *Ocean Eng.* 2010;37(16):1443-53. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2010.06.003>
- Schulz E, Speekenbrink M, Krause A. A tutorial on Gaussian process regression: Modelling, exploring, and exploiting functions. *J Math Psychol.* 2018; 85:1-16. <https://doi.org/10.1016/j.jmp.2018.09.003>
- Segal MR. Machine learning benchmarks and random forest regression. [Unpublished manuscript]. 2004.
- Sutherland J, Smith J, Nairn R. Challenges in numerical modeling of wave forces on offshore structures. *Appl Ocean Res.* 2016;59:84-95. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2016.09.005>
- Xie C, Liu X, Man T, Xie T, Dong J, Ma X, et al. PWPNet: A deep learning framework for real-time prediction of significant wave height distribution in a port. *J Mar Sci Eng.* 2022;10(9):1375.
- Yu X, Liu Y, Sun Z, Qin P. Wavelet-based ResNet: A deep-learning model for prediction of significant wave height. *IEEE Access.* 2022; 10:110026-33. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3217812>



Environmental Assessment and Improvement of The Analysis of Forces on Marine Structures and Sediment Transfer Using Estimation of the Height of the Sea Index

Wave with the Help of Artificial Intelligence

Amir vakili
Roozbeh Aghamajidi
Mohamadhossein
Ahmadi*

Department of Civil Engineering, Beyza Branch, Islamic Azad University, Beyza, Iran.
Department of Civil Engineering, Sepidan Branch, Islamic Azad University, Sepidan, Iran.
Department of Civil Engineering, Beyza Branch, Islamic Azad University, Beyza, Iran.

Received: 29 Aug 2024

Accepted: 10 Dec 2024

Keywords: Efficiency,
Marine Structures,
Sediment Transport,
Significant Wave Height,
Artificial Intelligence

Extended Abstract

Introduction: Accurate prediction of significant wave height is crucial for the analysis of marine structures. This prediction aids in optimizing the performance of structures and reducing the environmental impacts of marine activities. Existing empirical and numerical methods are typically costly and time-consuming. Recently, the use of artificial intelligence and soft computing methods has gained popularity; however, these methods face challenges such as training errors and insufficient performance. This study aims to improve the prediction of significant wave height by employing a combination of heterogeneous artificial intelligence methods.

Materials and Methods: In this research, the data is processed and divided into three categories: training, validation, and testing. Then, the artificial intelligence method is trained using the training data to achieve the desired accuracy.

Results and Discussion: In this research, data from the Coastal Data System is utilized to estimate the significant wave height and analyze the forces acting on marine structures and sediment transport. The evaluation criteria include the coefficient of determination (R^2), mean absolute error (MAE), and root mean square error (RMSE). The results indicate that the proposed hybrid artificial intelligence method achieves a coefficient of determination of 0.96, an MAE of 0.079827, and an RMSE of 0.10989. Similarly, the Gaussian process regression method also demonstrates suitable performance with an R^2 of 0.96, an MAE of 0.083455, and an RMSE of 0.11296 in estimating significant wave height.

Conclusion: In this research, the coefficient of determination (R^2) for the proposed method is 0.96, indicating a high correlation between the estimated and actual results. Additionally, the mean absolute error (MAE) is 0.079827, which is 0.003628 lower than that of the Gaussian process regression method. The root mean square error (RMSE) is also 0.10989, which is 0.00307 lower than that of the Gaussian regression method. These results demonstrate that the proposed combined artificial intelligence method offers greater accuracy in estimating significant wave height and analyzing the forces acting on marine structures.

Corresponding author: Mohammad Hossein Ahmadi

Address: Department of Civil Engineering, Beyza Branch, Islamic Azad University, Beyza, Iran. **Tel:** +989173396962

Email: Mohammad.ahmadi@gmail.com

Citation: Vakili A, Aghamajidi R, Ahmadi M H. Environmental assessment and improvement of the analysis of forces on marine structures and sediment transfer using estimation of the height of the sea index wave with the help of artificial intelligence. Journal of New Researches in Environmental Engineering. 2024; 2(7): 1-13



© 2024, This article published in Journal of New Researches in Environmental Engineering (JNREE) as an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>). Non-commercial use, distribution and reproduction of this article is permitted in any medium, provided the original work is properly cited.



شناسایی و طبقه بندی معیارهای کمی و کیفی موثر در وقوع مخاطرات محیط زیستی (مطالعه موردی: خطر سیلاب در کلان شهر تهران)

علی اکبر کریمی پور

صابر قاسمی*

محسن دهقانی قناتغستانی

حسین پرورش

گروه محیط زیست، واحد بندرعباس، دانشگاه آزاد اسلامی، بندرعباس، ایران

گروه محیط زیست، مرکز تحقیقات محیط زیست دریایی، واحد بندرعباس، دانشگاه آزاد اسلامی، بندرعباس، ایران

گروه محیط زیست، واحد بندرعباس، دانشگاه آزاد اسلامی، بندرعباس، ایران

گروه محیط زیست، واحد بندرعباس، دانشگاه آزاد اسلامی، بندرعباس، ایران

چکیده مبسوط

مقدمه: سیلاب به عنوان رایج ترین مخاطره طبیعی شناخته می شود. سیلاب های شهری به دلایل گوناگون رخ می دهند و سبب وارد آمدن خسارت های مالی و جانی متعددی می شوند. تعداد سیلاب های شهری در تهران در طی ۴۰ سال اخیر روند افزایشی داشته است. هدف از این تحقیق، شناسایی و طبقه بندی معیارهای کمی و کیفی موثر بر وقوع سیلاب و تعیین پهنه خطر است.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۲۷

مواد و روش ها: برای شناسایی معیارهای موثر بر وقوع سیلاب از روش کتابخانه ای و مطالعه عمیق و نیز مراجعه به آرای خبرگان (پنل دلفی ۱۸ نفره) استفاده شد. جهت حصول اطمینان از همبستگی در ماتریس داده ها، از آزمون تحلیل عاملی استفاده شد. به منظور اولویت بندی معیارها از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی استفاده شد. همچنین، با استفاده از نرم افزار Arc GIS SWMM پهنه بندی سیلاب شهری و در نهایت به کمک نرم افزار Arc GIS هم پوشانی و تحلیل نقشه ها انجام شد.

نتایج و بحث: معیار کاربری اراضی با وزن ۰/۵۲۱ بالاترین اهمیت را به خود اختصاص داد و پس از آن معیار میزان رواناب با اهمیت نسبی ۰/۱۸۶ قرار گرفت. همچنین، معیارهای تراکم پوشش گیاهی با وزن ۰/۱۰۳، شیب با وزن ۰/۰۹۷ و فاصله از مسیل و رودخانه با وزن ۰/۰۹۱ در اولویت های بعدی قرار گرفتند. در مجموع، ۲۵ زیرمعیار نیز شناسایی شد. نقشه نهایی رستری در پنج طبقه (از خطر خیلی زیاد تا خطر خیلی کم) حاصل شد که گویای خطر وقوع سیلاب در نقاط مختلف شهر تهران است. بیشترین درصد و مساحت ریسک متعلق به طبقه ریسک کم با ۳۰/۹۴ درصد و کمترین آن نیز متعلق به طبقه ریسک خیلی بالا با ۸/۸ درصد بود.

واژه های کلیدی: سیلاب

شهری، پهنه بندی خطر، کاربری اراضی، درصد شیب، شهر تهران

نتیجه گیری: در مرحله برنامه ریزی، استراتژی های مختلفی برای مدیریت سیلاب در نظر گرفته می شود. این استراتژی ها را می توان به سه دسته کلی طبقه بندی نمود. تلاش در جهت کنترل و مهار سیلاب، تلاش در جهت کاهش آسیب پذیری از سیلاب، و تلاش در جهت کاهش در معرض سیل بودن. اولین دسته بر مبنای حفاظت فیزیکی بوده و عموماً روش های سازه ای را در بر می گیرد. برخی از روش های رایج در این مورد عبارتند از: ساخت کانال، طرح های آبخیزداری در بالادست، احداث لاگون، لایروبی مسیل ها، ایجاد بافرهای جدید و غیره. همچنین، دو دسته دیگر معمولاً گروه روش های غیرسازه ای را شامل می شوند. از جمله این روش ها حفاظت از پوشش گیاهی، تسطیح شیب، اجتناب از ایجاد کاربری در کانون های خطر و توسعه برنامه های آموزشی می باشند.

نویسنده مسئول: صابر قاسمی

نشانی: گروه محیط زیست، مرکز تحقیقات محیط زیست دریایی، واحد بندرعباس، دانشگاه آزاد اسلامی، بندرعباس، ایران. تلفن: ۰۹۱۲۰۸۶۲۵۴۶

پست الکترونیکی: sabergasemi@gmail.com

استاد: کریمی پور علی اکبر، قاسمی صابر، دهقانی قناتغستانی محسن، پرورش حسین. شناسایی و طبقه بندی معیارهای کمی و کیفی موثر در وقوع مخاطرات محیط زیستی (مطالعه

موردی: خطر سیلاب در کلان شهر تهران). پژوهش های نوین در مهندسی محیط زیست. ۱۴۰۳: (۷) ۲۸-۱۴.

حقوق نویسندگان محفوظ است. این مقاله با دسترسی آزاد و تحت مجوز مالکیت خلاقانه <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0> در

فصلنامه پژوهش های نوین در مهندسی محیط زیست منتشر شده است. هرگونه استفاده غیرتجاری فقط با استناد و ارجاع به اثر اصلی مجاز است.



مقدمه

از بلایای هیدرولوژیکی در سال ۲۰۱۶ با ۷۴٪ بالاتر از میانگین سالانه افزایش یافته است (اداره کاهش خطر سوانح طبیعی سازمان ملل متحد ۲۰۱۵). لذا با توجه به گسترش شهرنشینی و تغییرات آب و هوایی، ساخت یک سیستم کنترل سیل مؤثر و مکانیسم زه‌کشی کارآمد در شهرها ضروری است (لوان و همکاران ۲۰۱۹).

طغیان شهری عموماً هنگامی اتفاق می‌افتد که بارندگی‌های شدید بلافاصله به دنبال آن با قابلیت سیستم زه‌کشی محدود رخ دهد (مانجوسری و سورواس ۲۰۱۹). بسته به سیستم زه‌کشی، ویژگی‌های خاص طرح زه‌کشی و محدودیت‌های محلی خاص، طغیان آبخیز در حوضه شهری ممکن است در مراحل مختلف اضافی هیدرولیک اتفاق بیفتد (رابوری و قضاوی ۲۰۱۸). سیل شهری ممکن است به سازه آسیب وارد کند، محیط زندگی روزمره مردم را تحت تأثیر قرار داده و در موارد شدید می‌تواند فاجعه بار باشد. در نتیجه، به همین دلیل مقامات جهانی به پیشگیری از سیلاب و کاهش آن علاقه دارند به این اثر ویرانگر بپردازند (سامسوری و همکاران ۲۰۱۸). مناطق شهری اگرچه به‌عنوان مراکز اقتصادی و جمعیتی خدمت می‌کنند، دارای تأثیرات منفی محیطی چه در داخل و چه در مرزهای شهری هستند. در قرن بیست و یکم، بیشتر مدل‌های آب‌وهوا و شواهد تجربی نشان می‌دهد که آب‌وهوای گرم باعث افزایش بخار آب اتمسفر می‌شود، که منجر به وقوع بارندگی شدیدتر و بیشتر می‌شود (برندسون و همکاران ۲۰۱۹).

از این‌رو آگاهی از میزان خطرپذیری مناطق مختلف شهر و توجه موضوع مدیریت سیلاب‌های شهری به منزله یکی از محورهای مهم توجه به مسائل شهری با تأکید بر حفظ محیط‌زیست شهری حائز اهمیت است (اموآکو و همکاران ۲۰۱۹). اگرچه برخی از شهرها در کشورهای مختلف هنوز رویکردهای قدیمی، خطی و سنتی را دنبال می‌کنند، بسیاری دیگر در حال تغییر از رویکردهای سنتی به استفاده از یک رویکرد یکپارچه، سازگار، هماهنگ و مشارکتی هستند که مورد نیاز مدیریت پایدار آب شهری است (ساهو و اس‌ریجا ۲۰۱۸). افزایش در هزینه خسارات و آسیب‌پذیری انسان، تصمیم‌گیرندگان محلی و دولت‌ها را ملزم ساخته است تا برای سرمایه‌گذاری در کنترل سیل‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت چاره‌ای بیندیشند. بر این اساس، آن‌ها استراتژی‌های مناسبی را بر اساس اقدامات ساختاری و غیرساختاری برای کاهش اثرات حوادث طبیعی اتخاذ نموده‌اند (اصغری عظیم ۱۴۰۲). بنا به نظر کارشناسان یکی از دلایل اصلی ایجاد سیل مدیریت شهری ناکارآمد می‌باشد (اموآکو و همکاران ۲۰۱۹). تغییرات در الگوی

خطر سیل شایع‌ترین خطر طبیعی است که تقریباً نیمی از کل بلایای طبیعی را در سراسر جهان تشکیل می‌دهد (سودهی و تانگ ۲۰۱۴). حداقل سال‌های ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۵ میلادی ۲/۳ میلیارد نفر در اثر سیل متضرر شدند و ۵۶٪ از کل کسانی که در اثر بلایای مرتبط با آب‌وهوا آسیب دیده‌اند، تحت تأثیر سیل قرار گرفته‌اند (ان‌گانگ و همکاران ۲۰۱۷). حداقل یک‌سوم از همه ضرر و زیان ناشی از نیروهای طبیعی را می‌توان به جاری شدن سیل نسبت داد (آبه‌به و همکاران ۲۰۱۸). ناپایداری ناشی از سیلاب متغیر و پیچیده بوده و تولید سیلاب در یک حوزه آبخیز به معیارهای متعددی همچون ویژگی‌های حوزه آبخیز، میزان بار، نفوذپذیری خاک و شرایط پیشین بستگی دارد (واگ‌والا و آگنی‌هوتی ۲۰۱۹). ارزیابی ریسک سیل برای کاهش یا حذف خطرات فاجعه در تمام مناطق کشورهای مستعد سیل ضروری است. اثربخشی اقدامات سازگاری به نقش مدیران آب بستگی دارد و اجرای یک سیستم مدیریت مناسب برای آب در حداقل رساندن تأثیر سیل و هم‌بهنه‌سازی دسترسی به آب آشامیدنی و تصفیه فاضلاب‌ها می‌تواند نقش مهمی داشته باشد (جلیل اف و همکاران ۲۰۱۸). جمع‌آوری و دفع رواناب‌های ناشی از بارندگی در مسیر رودخانه درواقع نوعی از اقدامات ایمنی، بهداشتی و رفاهی تلقی می‌شود (ژایو و همکاران ۲۰۱۹). امروزه گسترش نامتناسب شهرها، باعث شده تا تغییرات شدیدی در مورفولوژی حوزه‌های آبخیز ایجاد شود (وال‌استروم و گوها سایپر ۲۰۱۵). همچنین تسطیح زمین، تجاوز به حریم رودخانه‌ها و مسیل‌ها، باعث تغییر الگوی زه‌کشی طبیعی و جاری شدن رواناب در سطح شهرها می‌شود. با رشد سریع شهرسازی و ایجاد و توسعه زیرساخت‌ها، سیلاب در نواحی شهری بیشتر و شدیدتر شده است (بابایی و همکاران ۱۳۹۷). شهرنشینی منجر به افزایش مناطق ناپایدار و احداث شبکه‌های زه‌کشی آب طوفان می‌شود که زمان لازم برای غلظت و افزایش رواناب مستقیم را کاهش می‌دهد، در نتیجه باعث افزایش سریع‌تر جریان و کاهش سفره‌های آبی می‌شود (محمدی و همکاران ۱۴۰۲). علاوه بر این، آب‌های طبیعی مانند دریاچه‌ها، تالاب‌ها و آبراهه‌ها که می‌توانند مقدار قابل توجهی از آب سیل را مهار کنند، تا حد زیادی کاهش یافته یا پر شده‌اند، بنابراین میزان وقوع سیل افزایش یافته است (جلیل اف و همکاران ۲۰۱۸). فرکانس فزاینده حوادث فاجعه سیل شهری، جان و زیرساخت‌های انسان را تهدید کرده است و منجر به خسارات اقتصادی بیشتر گشته است. تخمین زده می‌شود که وقایع هیدرولوژیکی ۵۱/۷٪ از کل بلایای طبیعی را که در سال ۲۰۱۶ رخ داده است نشان می‌دهد. علاوه بر این، کل هزینه ناشی

فعلی (بازار یا منطقه تجاری) به منطقه کلان‌شهر تهران امروز تدریجی نبوده است. بخش بزرگی از رشد شهری در منطقه و جمعیت در ۵۰ سال گذشته رخ داده است. این شهر در مرکز حوضه تهران با مساحت ۲۰۶۴ کیلومتر مربع واقع شده است (صادقی‌نیا و همکاران ۱۳۹۱).

عمده‌ترین دلایل جاری شدن سیل در شهر تهران پیشرفت فیزیکی تا ارتفاع ۲۲۰۰ متر، دامنه‌های شیب‌دار در مناطق شمالی، اختلاف ارتفاع در حدود ۷۰۰ متر بین مناطق شمالی و جنوبی، ساخت‌وسازهای گسترده، بی‌توجهی به وضعیت اکوسیستم، کاهش جذب خاک، ناسازگاری شبکه فاضلاب و ساخت‌وساز در مناطق بافر رودخانه‌ها است. این امر آستانه بارش برای تولید سیل را نیز کاهش داده است (بناری و همکاران ۱۳۹۵). بررسی سیل‌های گذشته در تهران و بارش در این سیل‌ها نشان می‌دهد که حوادث سیل در تهران در آستانه بارش ۳۵ تا ۵۰ میلی‌متر رخ داده است. بر اساس مطالعات، تعداد حوادث سیل در شهر تهران طی چهار دهه اخیر (۱۴۰۰-۱۳۶۰) رو به افزایش بوده است (بهشتاش و همکاران ۱۴۰۰). به طور مشهود بخش‌هایی از شمال تهران به دلیل تأثیر حوضه‌های بالادست قابلیت بالای سیل‌خیزی دارد (بهروزی و همکاران ۱۳۹۴). از اینرو نیاز به توجه بیش‌تری به مناطق پایین‌دست این شهر الزامی می‌باشد دلیل این امر این است که کانال‌ها توانایی لازم برای عبور و دفع سیلاب شهری را ندارند (رفیعی امام و همکاران ۱۳۹۵). تأثیر زیرساخت‌های سطحی و زیرسطحی جمع‌آوری سیلاب از دیگر معیارها مهم در ایجاد سیلاب‌های شهری می‌باشد (احمدی شرف و همکاران ۱۳۹۶). اگرچه الگوهای توزیع بارش نیز می‌تواند باعث تسهیل سیلاب شهری شود. بنابراین، هدف اصلی از انجام این تحقیق شناسایی و طبقه‌بندی معیارهای کمی و کیفی در وقوع سیلاب در شهر تهران است. در اصل، سوال تحقیق آن است که معیارهای موثر بر وقوع سیلاب شهری در تهران کدامند؟ و اهمیت آن‌ها چگونه ارزیابی می‌شود؟ اهداف فرعی تحقیق عبارت بودند از اولویت‌بندی معیارهای موثر بر وقوع سیلاب شهری در تهران و تعیین سطح ریسک مربوط به هر کدام. فرضیه‌های مطرح شده در این تحقیق عبارت بودند از آنکه معیارهای موثر بر وقوع سیلاب در شهر تهران از وزن یکسانی برخوردار نیستند و همچنین سطح ریسک بالا ارزیابی می‌شود.

کاربری اراضی عمدتاً مسئول سیل است و منجر به خسارت و تلفات شده است (کریمی و همکاران ۱۳۹۴). عدم مدیریت سیل در مناطق شهری، به نوبه خود منجر به افزایش تلفات جانی شدیدی در شهرها خواهد شد (واگ‌والا و آگنی‌هوتتری ۲۰۱۹). اثرات خطر سیل از نظر عمق سیل و منطقه آبگرفتگی پارامترهای اجباری برای مدیریت و برنامه‌ریزی مناسب سیلاب است (ساهو و اس‌راجا ۲۰۱۸). در گذشته رویکردهای مدیریت سیلاب بر اساس جمع‌آوری، انتقال و دفع سیلاب‌های شهری بوده است. در حالی که رویکردهای مدرن در مدیریت سیلاب‌های شهری بر روش‌هایی که حداکثر تطابق را با فرآیندهای چرخه طبیعی آب سطحی داشته باشد، تأکید دارد. هدف از رویکردهای مدرن در مدیریت سیلاب‌های شهری، کنترل و کاهش سیلاب و انتقال آلودگی ناشی از آن می‌باشد (بدیع‌زاده و همکاران ۱۳۹۴). این روش‌ها که در آن‌ها تأکید بر حداکثر تطابق با فرآیندهای چرخه طبیعی آب سطحی می‌باشد را اصطلاحاً روش‌های توسعه کم‌اثر می‌گویند. در روش کم‌اثر سعی بر حفظ و بازگردان شرایط هیدرولوژیکی طبیعی حوزه آبخیز و بهبود شرایط زیست‌محیطی در آن است. این روش عملاً شامل مجموعه‌ای از روش‌های برنامه‌ریزی اراضی و طراحی مهندسی است که به‌کار گرفته می‌شود و ابزاری برای مدیریت رواناب‌های سطحی و سیلاب‌های شهری حوزه آبخیز می‌باشد (احمدیان ۱۳۹۶). این روش تأکیدی بر حفاظت از سیمای طبیعی حوضه برای حفاظت از کمیت و کیفیت آب دارد و از فرصت‌های محیطی، در مدیریت رواناب‌های سطحی در راستای احیاء چرخه طبیعی آب حداکثر استفاده را می‌کند (چن و همکاران ۲۰۰۹).

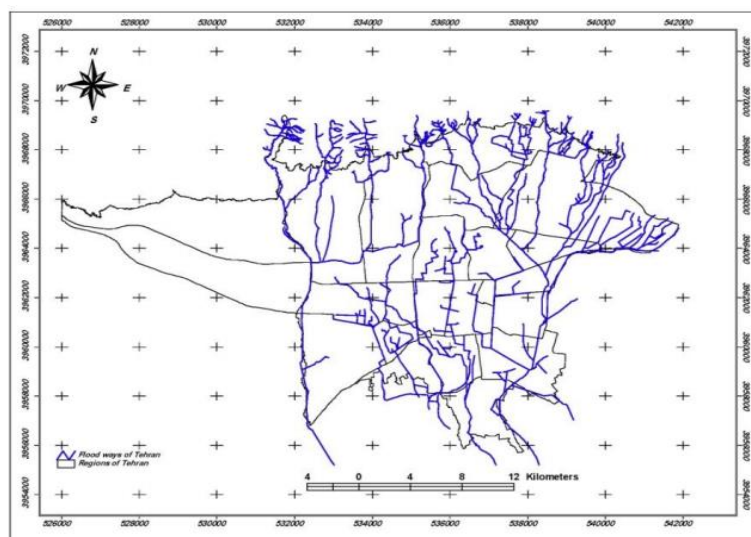
شهر تهران دارای ۲۲ منطقه و ۱۲۳ ناحیه می‌باشد. اگرچه کل ۱۲۳ ناحیه شهری تهران درگیر بحث آب‌گرفتگی نمی‌باشند، ولی در مناطق شمالی خطرات سیلاب و آب‌گرفتگی حاصل از حوضه بالادست و تغییر کاربری‌های انجام‌شده در آن منطقه می‌تواند احتمال وقوع سیلاب را افزایش دهد. در مناطق مرکزی و مخصوصاً جنوب شهر تهران به‌علت چالش‌های اقتصادی-اجتماعی، تراکم جمعیت بالا و عدم رعایت برخی دستورالعمل‌های مدیریت شهری توسط برخی شهروندان می‌تواند خطرات سیلابی شدن این نواحی را افزایش دهد. تهران، پایتخت ایران، ۲۰۰ سال قدمت دارد. تبدیل آن از یک دهکده کوچک در منطقه مرکزی

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مطالعاتی

تهران متغیر است (دبیری و همکاران ۱۳۹۸). توسعه فیزیکی شهر تهران تا ارتفاع ۱۱۳۳ متری و تسطیح زمین، اشغال حریم آبراهه و مسیل‌ها، سبب افزایش رخداد سیلاب‌های شهری شده است. به‌طوری‌که آستانه‌های میزان بارش در تولید سیلاب تهران کاهش یافته است (شهرداری تهران ۱۳۹۴). شکل ۱ نقشه سیستم زه‌کشی شهر تهران را نشان می‌دهد.

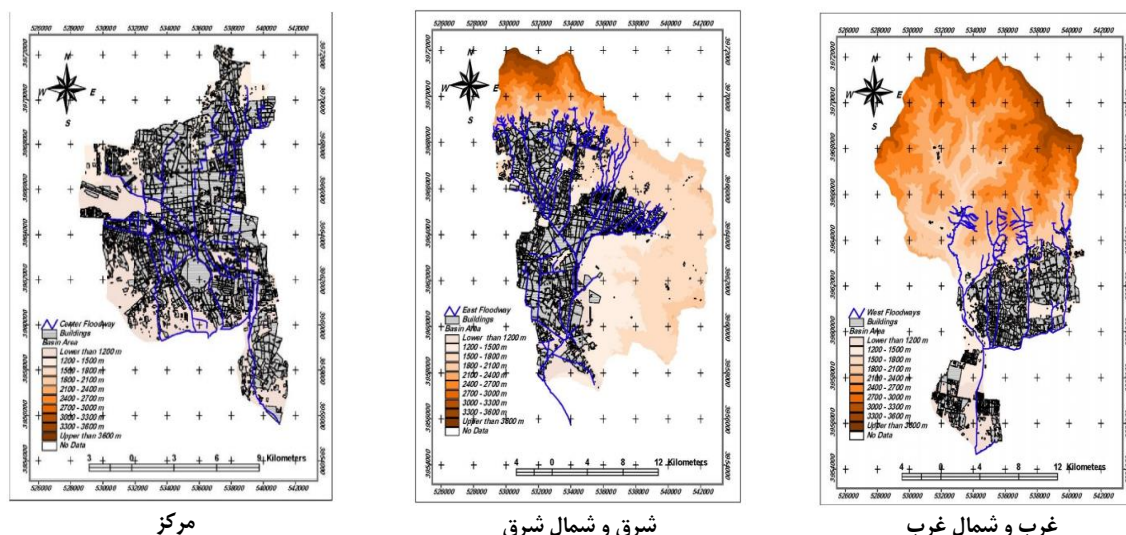
کلان‌شهر تهران در ۵۱ درجه و ۶ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۳۸ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۵۱ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است. حداقل ارتفاع منطقه ۱۰۳۲ متر در جنوبی‌ترین نقطه حوضه و حداکثر ارتفاع ۳۹۰۳ متر در بخش شمالی حوضه می‌باشد. بارش سالانه در محدوده شهر تهران عمدتاً متأثر از تغییرات ارتفاعی محدوده شهر بوده و بین حد بیشتر ۴۲۲ میلی‌متر در شمال تهران تا ۱۴۵ میلی‌متر در جنوب شرق



شکل ۱- نقشه سیستم زه‌کشی شهر تهران

برگردان غرب و شمال غرب (۱۴۷ کیلومترمربع) و سیل برگردان مرکزی (۱۶۵ کیلومترمربع) تقسیم می‌شوند (شکل ۲).

حوضه‌های درون‌شهری تهران به سه حوضه اصلی به نام‌های سیل برگردان شرق و شمال شرق (۲۲۰ کیلومترمربع)، سیل



شکل ۲- نقشه سیستم زه‌کشی در مناطق شهر تهران

روش پژوهش

درجه اهمیتشان رتبه دادند. به منظور ارزش‌گذاری پاسخ‌های ریسک‌های بالقوه از طیف لیکرت پنج درجه (از ۱: بسیار ضعیف تا ۵: بسیار قوی) استفاده شد (جدول ۱). برای روایی ظاهری و محتوایی پرسش‌نامه از نظر ۳ تن از اساتید بهره گرفته شد که در چند نوبت و به شکل رفت و برگشت اصلاحات انجام شد. برای تعیین اعتبار و پایایی پرسش‌نامه، از روش آلفای کرونباخ توسط نرم افزار SPSS, Version 21 استفاده شد که بر این اساس، آلفای کرونباخ ۰/۸۷۶ تعیین شد که نشان از پایایی قابل قبول داشت. پیل دلفی تحقیق شامل ۱۸ نفر از خبرگان حیطه مدیریت سیلاب، مدیریت محیط‌زیست و مدیریت شهری بود و روش نمونه‌گیری نیز از نوع گلوله برفی انتخاب شد که تا رسیدن به اجماع نهایی ادامه یافت. جهت حصول اطمینان از همبستگی در ماتریس داده‌ها، از آزمون تحلیل عاملی استفاده شد.

این تحقیق از نوع کاربردی است که به روش ترکیبی (کتابخانه‌ای و میدانی) انجام شده است. بازه زمانی داده‌های آماری تحقیق حداقل سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۱ بوده است. داده‌های پایه شهر تهران از سازمان‌های تخصصی نظیر هواشناسی، حفاظت محیط‌زیست، شهرداری، استانداری و سازمان جغرافیایی تهیه شدند. دستیابی به معیارهای موثر بر سیلاب شهری در تهران در طی دو مرحله صورت گرفت. در بخش اول، از طریق بررسی اسناد مکتوب (شامل گزارش‌ها، مقاله‌ها، کتاب‌ها و منابع اینترنتی معتبر) اقدام به تهیه فهرست اولیه از معیارهای موثر گردید. سپس، در مرحله دوم با مراجعه به آرای خبرگان نسبت به تایید و رد معیارهای تهیه شده اقدام شد. بدین‌منظور از پرسش‌نامه محقق‌ساخته استفاده شد تا در نهایت فهرست قطعی شکل گرفت. در این پرسش‌نامه پاسخ‌دهندگان به هر یک از معیارها مطابق با

جدول ۱- نمونه سوالات پرسش‌نامه طیفی لیکرت مورد استفاده در تحقیق

معیار نظردهی				سوال
بسیار ضعیف	ضعیف	متوسط	قوی	بسیار قوی
به نظر شما اثرگذاری معیار در وقوع سیلاب شهری در تهران چگونه است؟				

استفاده گردید. اگر چه روش FAHP در هنگام تجزیه و تحلیل مشکلات پیچیده تصمیم‌گیری نیاز به محاسبات یکنواخت دارد، اما قادر است قضاوت عدم قطعیت‌های انسانی را به‌دست آورد

در گام بعد، برای محاسبه وزن معیارها با استفاده از الگوریتم‌های فرآیند سلسله مراتبی، اقدام به مقایسه زوجی شد. برای تعیین وزن معیارها و هم‌چنین طبقات هر معیار از روش Fuzzy AHP

میانگین حسابی به پاسخ‌های دقیق‌تری می‌رسد. این روش در سال ۱۹۹۲ ارایه شد و در سال ۱۹۹۶ توسط چانگ بهبود یافت. او در این روش، از اعداد مثلثی فازی استفاده کرد و برای تعیین وزن نهایی نیز از درجه امکان‌پذیری بهره گرفت. منظور از درجه امکان‌پذیری آن است که مشخص شود چقدر احتمال دارد یک عدد فازی بزرگتر از یک عدد فازی دیگر باشد (حیبی و آفریدی ۱۴۰۱).

در این ارتباط برای ارزیابی اهمیت معیارها متغیرهای زبانی به اعداد فازی مثلثی تبدیل می‌شوند. با توجه به جدول ۲ وزن بالاتر یک پارامتر اهمیت بالایی از آن پارامتر نشان می‌دهد.

(یانگ و همکاران ۲۰۱۳). انعطاف‌پذیری، قاعده‌مند بودن محاسبات و امکان رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها با در نظر گرفتن عدم قطعیت از مزیت‌های اصلی Fuzzy AHP هستند (دبیری و همکاران ۱۳۹۸). برای پیاده‌سازی روش Fuzzy AHP، معیارها با توجه به سطح بالاتر به صورت دو به دو مقایسه می‌شوند. سپس در ادامه تحقیق براساس روش چانگ برای بیان ارجحیت یک معیار بر معیار دیگر یا یک کلاس بر کلاس دیگر از عبارت‌های زبانی استفاده شد و ماتریس مقایسات زوجی تشکیل گردید. یکی از مزیت‌های شناخته‌شده در روش چانگ آن است که این روش زمانی که تعداد پاسخ‌دهندگان بیش از ۵ نفر باشد، با محاسبه

جدول ۲- اصطلاحات زبانی و مقیاس فازی مثلثی مربوطه (یانگ و همکاران ۱۳۹۳)

مقیاس ساعتی	اصطلاحات زبانی	مقیاس فازی مثلثی (TFN)
۱	اهمیت برابر	(۱، ۱، ۱)
۳	اهمیت متوسط یکی بر دیگری	(۲، ۳، ۴)
۵	اهمیت قوی یا ضروری	(۴، ۵، ۶)
۷	اهمیت واضح	(۶، ۷، ۸)
۹	اهمیت شدید	(۸، ۹، ۹)
۲، ۴، ۶، ۸	مقادیر متوسط بین دو داور نزدیک	(۱، ۲، ۳) (۳، ۴، ۵) (۵، ۶، ۷) (۷، ۸، ۹)

SWMM از روش‌های ساده هیدرولوژیکی است که تنها به داده‌های محدود و قابل سنجش متکی است. جهت رسیدن به این هدف از نرم‌افزار SWMM 5.1.013 استفاده گردید. خروجی این نرم‌افزار این قابلیت را دارد که میزان بار آلودگی حاصل از رواناب‌های سطحی سیلاب‌های شهری، همچنین انتقال و روندیابی آلودگی حاصل از سیلاب شهری را مدل‌سازی کند. در نهایت به کمک پهنه‌بندی محدوده‌های با مخاطره مختلف شناسائی می‌گردد و برای هر پهنه بر اساس نوع کاربری اقدام موثر شناسائی می‌گردد.

در مرحله بعد، اقدام به نرمال‌سازی ماتریس اعداد فازی شد، از میانگین هندسی (براساس روش چانگ) به منظور محاسبه وزن‌ها استفاده گردید. در روش میانگین هندسی از قواعد ضرب فازی پیروی می‌کند که با ضرب معمولی متفاوت است. نهایتاً اوزان فازی هر یک از معیارها با استفاده از روش مرکز سطح به یک کمیت کلاسیک تبدیل شدند و به این ترتیب اوزان دیفازی‌سازی شده آماده به‌کارگیری در محیط GIS گردید. این محاسبات در محیط نرم‌افزار تحت اکسل انجام شد.

به کمک نرم‌افزار SWMM پهنه‌بندی سیلاب شهری و در نهایت به کمک نرم‌افزار Arc GIS تحلیل نقشه‌ها انجام شد. مدل

نتایج و بحث

فهرستی از معیارهای موثر بر وقوع سیلاب در شهر گردید (جدول ۳).

در بخش کیفی با استفاده از سوابق و پیشینه تحقیق، اقدام به تهیه

جدول ۳- معیارهای موثر بر وقوع سیلاب شهری استخراج شده از تحقیقات گذشته

مفهوم	معیارهای موثر	منابع
میزان رواناب	میزان رواناب	(قهرودی تالی و همکاران ۱۳۹۵) (ملایی و طیبیان ۱۳۹۹) (اسماعیلی و همکاران ۱۳۹۵)
	بافت فرسوده	(قهرودی تالی و همکاران ۱۳۹۵)
کاربری اراضی	کاربری اراضی	(قهرودی تالی و همکاران ۱۳۹۵) (بهتاش و همکاران ۱۳۹۲) (قبادی و همکاران ۱۳۹۵) (قبادی و سپه‌وند ۱۳۹۸) (گرامی و زیدی ۱۳۸۹) (منفرد و همکاران ۱۴۰۰) (ملایی و طیبیان ۱۳۹۹) (اژدری و رحیمی ۱۳۹۹) (نجیب و همکاران ۱۳۹۹) (اسماعیلی و همکاران ۱۳۹۵) (شیخ شریعتی کرمانی و همکاران ۱۴۰۰)
	توسعه شهرنشینی	(اژدری و رحیمی ۱۳۹۹) (دهقانی نژاد و همکاران ۱۴۰۰) (اسماعیلی و همکاران ۱۳۹۵)
تراکم پوشش گیاهی	تراکم پوشش گیاهی	(قهرودی تالی و همکاران ۱۳۹۵) (بهتاش و همکاران ۱۳۹۲) (قبادی و سپه‌وند ۱۳۹۸) (گرامی و زیدی ۱۳۸۹) (دهقانی نژاد و همکاران ۱۴۰۰) (شیخ شریعتی کرمانی و همکاران ۱۴۰۰)
	شیب	(قهرودی تالی و همکاران ۱۳۹۵) (بهتاش و همکاران ۱۳۹۲) (قبادی و همکاران ۱۳۹۵) (گرامی و زیدی ۱۳۸۹) (منفرد و همکاران ۱۴۰۰) (ملایی و طیبیان ۱۳۹۹) (نجیب و همکاران ۱۳۹۹)
تراکم جمعیت	تراکم جمعیت	(قهرودی تالی و همکاران ۱۳۹۵) (قبادی و همکاران ۱۳۹۵) (قبادی و سپه‌وند ۱۳۹۸) (اژدری و رحیمی ۱۳۹۹) (اسماعیلی و همکاران ۱۳۹۵)
	رشد جمعیت	(اژدری و رحیمی ۱۳۹۹) (اسماعیلی و همکاران ۱۳۹۵)
بارندگی	بارندگی	(بهتاش و همکاران ۱۳۹۲) (گرامی و زیدی ۱۳۸۹) (منفرد و همکاران ۱۴۰۰) (ملایی و طیبیان ۱۳۹۹) (نجیب و همکاران ۱۳۹۹) (شیخ شریعتی کرمانی و همکاران ۱۴۰۰)
	فرسایش خاک	(بهتاش و همکاران ۱۳۹۲)
میزان رطوبت خاک	میزان رطوبت خاک	(بهتاش و همکاران ۱۳۹۲)
	فاصله از مسیل، کانال و رودخانه	(قبادی و همکاران ۱۳۹۵) (دهقانی نژاد و همکاران ۱۴۰۰) (اسماعیلی و همکاران ۱۳۹۵)
خاکشناسی	خاکشناسی	(بهتاش و همکاران ۱۳۹۲) (گرامی و زیدی ۱۳۸۹) (شیخ شریعتی کرمانی و همکاران ۱۴۰۰)
	زمین شناسی	(بهتاش و همکاران ۱۳۹۲) (قبادی و همکاران ۱۳۹۵) (قبادی و سپه‌وند ۱۳۹۸) (گرامی و زیدی ۱۳۸۹) (شیخ شریعتی کرمانی و همکاران ۱۴۰۰)
سنگ‌شناسی	سنگ‌شناسی	(منفرد و همکاران ۱۴۰۰)
	توپوگرافی و ارتفاع حوضه	(قبادی و سپه‌وند ۱۳۹۸) (منفرد و همکاران ۱۴۰۰) (ملایی و طیبیان ۱۳۹۹) (اسماعیلی و همکاران ۱۳۹۵)
میزان رطوبت خاک	میزان رطوبت خاک	(بهتاش و همکاران ۱۳۹۲)
	درجه حرارت	(بهتاش و همکاران ۱۳۹۲)
تراز آب زیرزمینی	تراز آب زیرزمینی	(بهتاش و همکاران ۱۳۹۲)
	شبکه زهکشی	(گرامی و زیدی ۱۳۸۹)
شکل حوضه	شکل حوضه	(گرامی و زیدی ۱۳۸۹) (شیخ شریعتی کرمانی و همکاران ۱۴۰۰)
	شبکه فرسوده جمع‌آوری رواناب	(اژدری و رحیمی ۱۳۹۹)
میزان سطوح نفوذناپذیر	میزان سطوح نفوذناپذیر	(اژدری و رحیمی ۱۳۹۹) (نجیب و همکاران ۱۳۹۹) (دهقانی نژاد و همکاران ۱۴۰۰) (اسماعیلی و همکاران ۱۳۹۵)

فصلنامه پژوهش‌های نوین در مهندسی محیط زیست

در مرحله بعد از تحلیل عاملی برای تایید یا رد معیارهای شناسایی شده استفاده شد و نتایج در جدول ۴ نشان داده شده است. ردیف‌هایی که مقدار ویژه آن‌ها کمتر از ۱ است، حذف شده‌اند. بلوک نخست شامل سه ستون با برچسب مقادیر ارزش ویژه اولیه است که مربوط به مقادیر ویژه ماتریس همبستگی است. مقدار

ویژه مقداری از واریانس آزمون کل است که با یک عامل خاص برآورد می‌شود و واریانس کل آزمون برابر ۱۰۰٪ است. ستون دوم سهم واریانس هر عامل از واریانس کل را نشان می‌دهد که از تقسیم مقدار ویژه هر عامل بر تعداد آزمون‌ها به دست می‌آید.

جدول ۴- جدول مقادیر ارزش ویژه

ردیف	مقادیر ویژه اولیه			مقادیر استخراجی مجدور بار عاملی			مجموع مربعات چرخش یافته		
	مجموع	واریانس	درصد	مجموع	واریانس	درصد	مجموع	واریانس	درصد
	تجمعی	واریانس	واریانس	تجمعی	واریانس	واریانس	تجمعی	واریانس	واریانس
۱	۵/۱۴۴	۲۲/۳۶۶	۲۲/۳۶۶	۵/۱۴۴	۲۲/۳۶۶	۲۲/۳۶۶	۳/۵۱۹	۱۵/۳۰۲	۱۵/۳۰۲
۲	۲/۷۷۸	۱۲/۰۸۰	۳۴/۴۴۶	۲/۷۷۸	۱۲/۰۸۰	۳۴/۴۴۶	۲/۹۳۳	۱۲/۷۵۱	۲۸/۰۵۳
۳	۲/۳۵۸	۱۰/۲۵۳	۴۴/۶۹۸	۲/۳۵۸	۱۰/۲۵۳	۴۴/۶۹۸	۲/۵۹۵	۱۱/۲۸۳	۳۹/۳۳۶
۴	۲/۰۲۵	۸/۸۰۴	۵۳/۵۰۲	۲/۰۲۵	۸/۸۰۴	۵۳/۵۰۲	۲/۵۲۹	۱۰/۹۹۶	۵۰/۳۳۱
۵	۱/۴۸۱	۶/۴۳۸	۵۹/۹۴۰	۱/۴۸۱	۶/۴۳۸	۵۹/۹۴۰	۲/۲۱۰	۹/۶۰۸	۵۹/۹۴۰

ملاک تصمیم‌گیری درباره دسته‌بندی سوالات، مقادیر ویژه بالاتر از ۱ و در جدول مقادیر ویژه بالاتر از ۱ نمایش داده شده‌اند. با توجه به جدول شماره ۳، پنج عامل اصلی با مقدار ویژه بالاتر از ۱ استخراج شدند که عبارت بودند از درصد شیب، کاربری اراضی، فاصله از رودخانه و مسیل، میزان رواناب و پوشش گیاهی. بنابراین زیرمعیارهای موجود را می‌توان در پنج دسته طبقه‌بندی کرد. با توجه به نتایج به دست آمده، دسته‌بندی معیارها و زیرمعیارها در جدول ۵ نشان داده شده است.

جدول ۵- معیارها و زیرمعیارهای موثر بر وقوع سیلاب شهری

مفهوم	عامل اصلی	زیرمعیارها
درصد شیب		شیب $> ۵\%$
		شیب $۵-۱۰\%$
		شیب $۱۰-۲۰\%$
		شیب $< ۲۰\%$
کاربری اراضی		مسکونی
		تجاری و اداری
		کارگاهی و صنعتی
		معبر
		فضای سبز و باغ
		بایر و زمین خالی
		خدمات شهری
مهم ترین معیارها موثر در وقوع سیلاب شهری	فاصله از رودخانه و مسیل	کمتر از ۵۰۰ متر
		۵۰۰-۱۰۰۰ متر
		۱۰۰۰-۱۵۰۰ متر
		۱۵۰۰-۲۵۰۰ متر
		بیشتر از ۲۵۰۰ متر
میزان رواناب		۲۴۶-۸۰ میلی متر
		۲۶۱-۲۵۶ میلی متر
		۲۷۱-۲۶۱ میلی متر
		۲۷۹-۲۷۱ میلی متر
		۲۸۷-۲۷۹ میلی متر
		۲۹۸-۲۸۷ میلی متر
تراکم پوشش گیاهی		مناطق به تراکم پوشش گیاهی پایین
		مناطق به تراکم پوشش گیاهی متوسط
		مناطق به تراکم پوشش گیاهی بالا

در ادامه، با استفاده از طیف‌های فازی AHP به سوالات پرسش‌نامه پاسخ داده شد. وزن‌دهی به هر پارامتر با توجه به اعداد جدول راهنما و بر اساس نظر متخصصان انجام شد. مقادیر وزنی شده با مقایسه عددی برای هر یک از معیارها موثر بر وقوع سیلاب در شهر اختصاص داده شد. متخصصان هر گروه با مقایسه مقیاس متغیرهای زوج با استفاده از مقیاس‌های مثلثی فازی مقایسه

پارامترها را مقایسه کردند. برای وارد کردن مقایسات زوجی بین مولفه‌ها، از اوزان فازی استفاده شده است. به این صورت که در پرسش‌نامه توزیع شده به جای هر کدام از مقیاس‌های نه‌گانه زبانی از طیف ۱ تا ۹ استفاده شد و سپس در نرم‌افزار اکسل اوزان مثلثی مربوط به هر کدام وارد شد. ماتریس مقایسات زوجی بین معیارها اصلی در جدول ۶ ارائه شده است.

جدول ۶- مقایسه زوجی بین معیارهای اصلی موثر بر سیلاب شهری با توجه به هدف مسئله

تراکم پوشش گیاهی	میزان رواناب	فاصله از مسیل و رودخانه	کاربری اراضی	شیب	
(۱/۰۳، ۰/۸۵، ۰/۶۴)	(۱/۴۸، ۱/۳۸، ۱/۲۸)	(۱/۵۸، ۱/۳۶، ۱/۲۳)	(۱/۳۵، ۱/۱۲، ۱/۰۲)	(۱/۰۰، ۱/۰۰، ۱/۰۰)	شیب
(۱/۵۲، ۱/۲۶، ۱/۰۳)	(۲/۱۴، ۱/۸۶، ۱/۵۸)	(۴/۰۳، ۳/۶۵، ۳/۱۴)	(۱/۰۰، ۱/۰۰، ۱/۰۰)	(۰/۹۸، ۰/۸۹، ۰/۷۴)	کاربری اراضی
(۱/۶۴، ۱/۲۸، ۱/۱۵)	(۲/۶۴، ۲/۳۶، ۲/۱۴)	(۱/۰۰، ۱/۰۰، ۱/۰۰)	(۰/۳۱، ۰/۲۷، ۰/۲۴)	(۰/۸۱، ۰/۷۳، ۰/۶۳)	فاصله از رودخانه و مسیل
(۱/۸۹، ۱/۵۲، ۱/۲۳)	(۱/۰۰، ۱/۰۰، ۱/۰۰)	(۰/۴۶، ۰/۴۲، ۰/۳۷)	(۰/۶۳، ۰/۵۳، ۰/۴۶)	(۰/۷۸، ۰/۷۲، ۰/۶۷)	میزان رواناب
(۱/۰۰، ۱/۰۰، ۱/۰۰)	(۰/۸۱، ۰/۶۵، ۰/۵۲)	(۰/۸۶، ۰/۷۸، ۰/۶۰)	(۰/۹۷، ۰/۷۹، ۰/۶۵)	(۱/۵۶، ۱/۱۷، ۰/۹۷)	تراکم پوشش گیاهی

برای هر یک از سطرهای ماتریس مقایسات زوجی، مقدار S که خود یک عدد مثلثی است، محاسبه می‌شود. پس از محاسبه S برای تمامی ماتریس‌های مقایسات زوجی، درجه اهمیت و وزن

نهایی با استفاده از روش میانگین هندسی محاسبه شد. درجه اهمیت و وزن نهایی برای معیارهای اصلی در جدول ۷ آورده شده است.

جدول ۷- درجه اهمیت برای معیارهای اصلی

تراکم پوشش گیاهی	میزان رواناب	فاصله از مسیل و رودخانه	کاربری اراضی	شیب	
۰/۵۰	۰/۳۵	۰/۹۷	۱/۸۶	۱	شیب
۰/۱۹	۰/۳۷	۰/۱۷	۱	۰/۱۸	کاربری اراضی
۰/۵۱	۰/۳۶	۱	۰/۸۹	۱/۰۲	فاصله از رودخانه و مسیل
۱/۰۸	۱	۱/۵۷	۲/۴۰	۱/۶۰	میزان رواناب
۱	۰/۹۱	۱/۴۶	۲/۲۶	۱/۴۸	تراکم پوشش گیاهی
۰/۱۹۹	۰/۳۵	۰/۱۷	۱	۰/۱۸	مینیمم
۰/۱۰۳	۰/۱۸۶	۰/۰۹۱	۰/۵۲۱	۰/۰۹۷	وزن

همچنین، در جدول ۸ اولویت‌بندی عوامل اصلی موثر درج شده است.

جدول ۸- اولویت‌بندی معیارهای اصلی

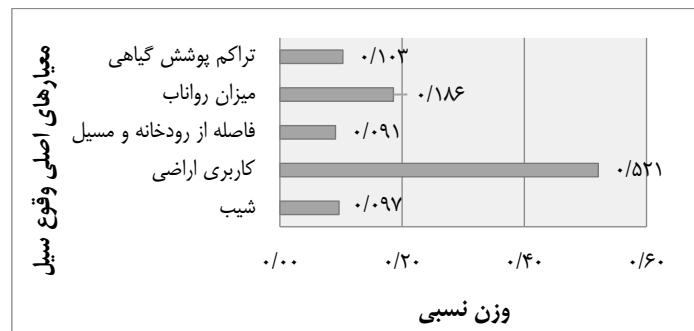
اولویت‌بندی	عامل اصلی موثر
۱	کاربری اراضی
۲	میزان رواناب
۳	تراکم پوشش گیاهی
۴	شیب
۵	فاصله از رودخانه و مسیل

یافته‌های این بخش بیانگر آن بوده است که معیار "کاربری اراضی" با وزن ۰/۵۲۱ بالاترین اهمیت را به خود اختصاص داده

است و پس از آن معیار "میزان رواناب" با اهمیت نسبی ۰/۱۸۶ قرار دارد. همچنین، معیارهای "تراکم پوشش گیاهی" با وزن

شکل ۳ نیز اوزان تمام معیارها در مقایسه با یکدیگر و هدف مسئله‌ای مورد بررسی مشخص گردیده است.

۰/۱۰۳، "شیب" با وزن ۰/۰۹۷ و "فاصله از مسیل و رودخانه" با وزن ۰/۰۹۱ در اولویت‌های بعدی قرار گرفته‌اند. وزن زیرمعیارهای هر کدام از معیارها اصلی نیز در جدول ۹ آورده شده است.



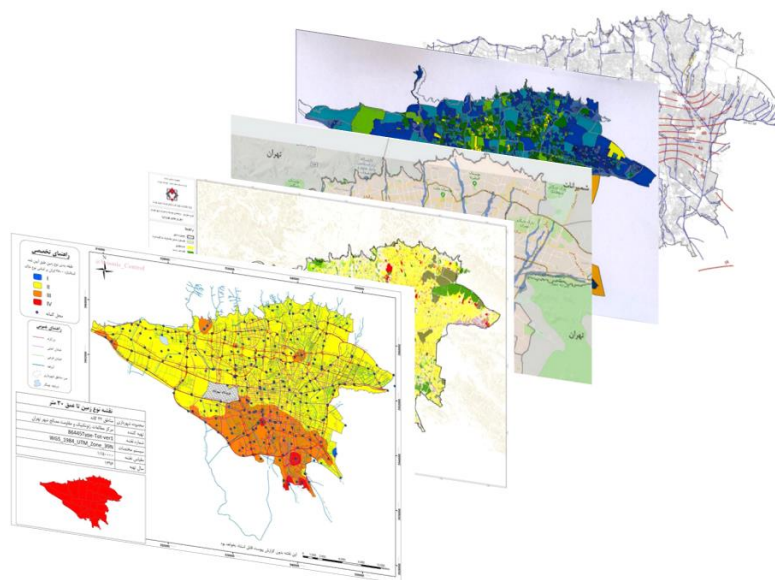
شکل ۳- نمودار مقایسه وزن نسبی و درجه اهمیت معیارهای موثر در وقوع سیلاب در شهر تهران

جدول ۹- اولویت‌بندی معیارها و زیرمعیارهای موثر بر وقوع سیلاب شهری در تهران

معیار	زیرمعیار	وزن	اولویت در هر معیار
رواناب	۲۸۷-۲۹۸ میلی متر	۰/۳۰۰	۱
	۲۷۹-۲۸۷ میلی متر	۰/۲۴۶۴	۲
	۲۷۱-۲۷۹ میلی متر	۰/۲۴۶۲	۳
	۲۶۱-۲۷۱ میلی متر	۰/۱۹۴	۴
	۲۵۶-۲۶۱ میلی متر	۰/۰۱	۵
	۸۰-۲۴۶ میلی متر	۰/۰۰۲	۶
فاصله از رودخانه و مسیل	کمتر از ۵۰۰ متر	۰/۲۸۹	۱
	۵۰۰-۱۰۰۰ متر	۰/۲۳۶	۲
	۱۰۰۰-۱۵۰۰ متر	۰/۱۷۷	۳
	۱۵۰۰-۲۵۰۰ متر	۰/۱۶۷	۴
	بیشتر از ۲۵۰۰ متر	۰/۱۲۹	۵
تراکم پوشش گیاهی	مناطق به تراکم پوشش گیاهی پایین	۰/۵۵۵	۱
	مناطق به تراکم پوشش گیاهی متوسط	۰/۴۰۶	۲
	مناطق به تراکم پوشش گیاهی بالا	۰/۰۳۷	۳
کاربری اراضی	مسکونی	۰/۱۸۲	۱
	تجاری و اداری	۰/۱۶۹	۲
	معبر	۰/۱۶۲	۳
	کارگاهی و صنعتی	۰/۱۳۶	۴
	فضای سبز و باغ	۰/۱۱۹	۵
	بایر و زمین خالی	۰/۱۱۸	۶
	خدمات شهری	۰/۱۱۱	۷
شیب	شیب $< ۲۰\%$	۰/۵۱	۱
	شیب $۱۰-۲۰\%$	۰/۳۱۲	۲
	شیب $۵-۱۰\%$	۰/۱۲۶	۳
	شیب $> ۵\%$	۰/۰۵۲	۴

محركه‌ها با نقشه‌های پایه شهر تهران، پهنه‌بندی نهایی خطر وقوع سیلاب تولید شد. بدین منظور وزن معیارها در لایه‌های مربوط ضرب و همراه با آن عملیات تلفیق لایه‌ها صورت گرفت (شکل ۴).

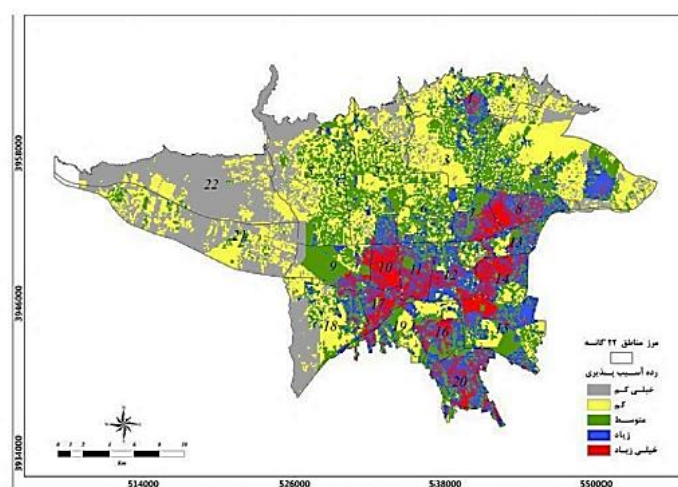
در بخش آخر تحقیق، طبقه‌بندی لایه‌ها با توجه به شرایط حاکم بر منطقه و نظر کارشناسی انجام یافت. براساس طبقه‌بندی ارایه شده در جدول شماره ۷، لایه‌های اطلاعاتی و طبقات مرتبط با آنها تهیه شدند با هم‌پوشانی‌اندازی نقشه‌های حاصل از نیرو



شکل ۴- فرآیند هم‌پوشانی لایه‌های تهیه شده در محیط GIS

که مشاهده می‌شود، بیشترین درصد و مساحت ریسک متعلق به "طبقه ریسک کم" و کمترین آن نیز متعلق به طبقه "ریسک خیلی بالا" است.

بدین ترتیب نقشه نهایی رستری در پنج کلاس (از خطر خیلی زیاد تا خطر خیلی کم) حاصل شد که گویای خطر وقوع سیلاب در نقاط مختلف شهر تهران می‌باشد (شکل ۵). مساحت طبقات ریسک سیلاب در جدول شماره ۱۰ آورده شده است. همان‌طور



شکل ۵- نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب در شهر تهران

جدول ۱۰- مساحت طبقات ریسک سیلاب در تهران

درصد	کیلومتر مربع	کلاس‌های ریسک
۸/۸	۵۳/۳۶	ریسک خیلی بالا
۱۷/۱۸	۷۷/۴۳	ریسک بالا
۲۵/۱۱	۱۵۲/۳۳	ریسک متوسط
۳۰/۹۴	۱۸۷/۷۱	ریسک کم
۱۷/۹۷	۱۰۹/۱۲	ریسک خیلی کم

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

با توجه به رشد سریع شهرها در ایران، مشکلاتی از جمله آبرگرفتنی معابر سطح شهر و انتشار آلودگی‌های زیست‌محیطی به واسطه عدم وجود سیستم زه‌کشی مناسب و نابسمانی کانال‌ها و مسیل‌ها از معضلات اساسی بسیاری از حوزه‌های شهری به شمار می‌آیند. تجارب مطالعاتی و مدیریتی کشورهای مختلف نشان می‌دهد که اولین گام در جهت کاهش آثار زیان‌بار سیل، شناخت مناطق سیل‌گیر و پهنه‌بندی این مناطق از لحاظ میزان خطر سیل‌گیری است. با شناسایی مناطق سیل‌گیر در شهرها می‌توان بر اساس نتایج به‌دست آمده با مدیریت یکپارچه و برنامه‌ریزی شهری جامع تا حد ممکن مانع از آثار زیان‌بار سیلاب‌های شهری شد (جیمز و همکاران ۲۰۱۱). امروزه در اغلب کشورها در مدیریت سیلاب به مباحث غیرسازه‌ای اهمیت بیشتری داده می‌شود تا به مباحث سازه‌ای. این امر به دلیل اهمیت ویژه حفظ اکوسیستم و محیط‌زیست می‌باشد، بنابراین پیشرفت پایدار، جامعیت در مدیریت، برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری بسیار مهم است. جامعیت به معنای توجه به تمام معیارها تأثیرگذار بر سیستم یعنی معیارها اقتصادی، اجتماعی و قانونی و زیست‌محیطی در تمام حوضه و پایش اثرات و عواقب تصمیمات در آینده می‌باشد.

براساس یافته‌های تحقیق، عوامل اصلی موثر بر وقوع سیلاب در شهر تهران به ترتیب اولویت عبارت بودند از: کاربری اراضی، میزان رواناب، تراکم پوشش گیاهی، درصد شیب و فاصله از رودخانه. عامل اصلی کاربری اراضی با اختلاف وزنی زیاد به عنوان مهم‌ترین عامل شناسایی شد. همانطور که آبه و همکاران (۲۰۱۸) اعلام داشته‌اند، نوع کاربری اراضی در وقوع پدیده سیلاب بسیار موثر است. چرا که پوشیده شدن سطح زمین از مصالح نفوذناپذیر نظیر سیمان، آسفالت، بتن، سنگ و غیره توانایی نفوذ آب در زمین را کاهش داده و طبیعتاً روان‌آب شکل می‌گیرد.

البته نکته حایز اهمیت آن است که عامل شیب زمین نیز در این میان موثر است. به نحوی که هر چه درجه شیب بالاتر رود، سرعت روان‌آب افزایش می‌یابد. ولیکن، تراکم پوشش گیاهی به‌عنوان یک عامل محدودکننده عمل می‌کند به نحوی که حتی در شرایط شیب زیاد نیز پوشش گیاهی توانایی کاهش سرعت جریان را خواهد داشت و امکان نفوذ در زمین را فراهم می‌سازد. این مورد با مطالعه احمدیان (۱۳۹۶) و بناری و همکاران (۱۳۹۵) مطابقت دارد. طبق نتایج تحقیق عامل فاصله از مسیل و رودخانه در جایگاه آخر قرار داشته است. دلیل این امر آن است که همانطور که آموآکو و همکاران (۲۰۱۹) بیان کرده‌اند، با روش‌های مدیریتی و مهندسی می‌توان این عامل را کنترل کرد. بدین معنی که بین "فاصله از مسیل و رودخانه" با میزان تأثیر این معیار در احتمال وقوع سیل در شهر رابطه معکوس وجود دارد، به‌طوری‌که با افزایش فاصله از رودخانه و مسیل، احتمال وقوع سیل کم‌تر خواهد شد. یعنی هر چه فاصله از رودخانه و مسیل افزایش یابد احتمال وقوع سیلاب در شهر تهران کاهش می‌یابد.

از آنجا که هر یک از معیارهای اصلی پنجگانه، شامل تعدادی زیرمعیار فرعی نیز می‌باشد، مجموعاً ۲۵ زیرمعیار نیز در این امر موثر هستند. از بین کاربری‌های مختلف موجود در شهر تهران، کاربری مسکونی دارای بیش‌ترین وزن نسبی در وقوع سیل شناخته شده است و کاربری‌های تجاری و اداری و معابر در رتبه‌های بعدی قرار گرفته‌اند. کم‌ترین وزن نیز به کاربری تاسیسات و خدمات شهری با ۰/۱۱۱ اختصاص داده شده است. اولویت‌بندی زیرمعیارهای "میزان رواناب" در تشدید وقوع سیلاب در شهر تهران نشان داد که با افزایش میزان رواناب در سطح معابر شهری، احتمال وقوع سیل بیشتر خواهد شد. یعنی هر چه میزان و حجم رواناب افزایش یابد احتمال وقوع سیلاب در

شهرداری تهران صورت گرفته است، متفاوت است. چرا که در آن تحقیق اشاره شده است که بخش‌های شمالی شهر تهران از درجه آسیب‌پذیری بیشتری برخوردار هستند. در مرحله برنامه‌ریزی، استراتژی‌های مختلفی برای مدیریت سیلاب در نظر گرفته می‌شود. این استراتژی‌ها را می‌توان به سه دسته کلی زیر طبقه‌بندی نمود. اولین دسته بر مبنای حفاظت فیزیکی بوده و عموماً روش‌های سازه‌ای را در بر می‌گیرد. برخی از روش‌های رایج در این مورد عبارتند از: ساخت کانال، طرح‌های آبخیزداری در بالادست، احداث لاگون، لایروبی مسیل‌ها، ایجاد بافرهای جدید و غیره. همچنین، دو دسته دیگر معمولاً گروه روش‌های غیرسازه‌ای را شامل می‌شوند. از جمله این روش‌ها حفاظت از پوشش گیاهی، تسطیح شیب، اجتناب از ایجاد کاربری در کانون‌های خطر و توسعه برنامه‌های آموزشی می‌باشند.

شهر تهران افزایش می‌یابد. این مورد با نتایج تحقیقات بدیع‌زاده و همکاران (۱۳۹۴) مطابقت دارد.

بررسی درجه اهمیت زیرمعیارهای تراکم پوشش گیاهی در میزان وقوع سیل در شهر نشان می‌دهد که مناطق با تراکم پوشش گیاهی بالا وزن نسبی کمتری در احتمال وقوع سیلاب شهری دارند. در این میان نوع پوشش گیاهی نیز مهم است. مناطق جنگلی و شبه‌جنگلی از توان بالاتری برای کنترل سیلاب برخوردار هستند. گیاهانی که ریشه افشان دارند، توان کمتری خواهند داشت. در نهایت، طبقات شیب و درجه اهمیت هر یک نشان می‌دهد که با افزایش درصد شیب در شهر تهران، وقوع سیل شدت بیشتری می‌یابد.

از سوی دیگر، مشخص شد که پهنه مرکزی و جنوبی شهر تهران از آسیب‌پذیری بیشتری در مورد جاری شدن سیلاب و رواناب برخوردار است که این مورد با تحقیقی که در گذشته توسط

References

- 1) Abebe YA, Ghorbani A, Nikolic I, Vojinovic Z, Sanchez A. A coupled flood-agent-institution modeling (CLAIM) framework for urban flood risk management. *Environmental Modelling and Software*, 2018, 1-28.
- 2) Ahmadian M. Evaluation of urban runoff by SWMM model to reduce flood Hazard (Hashgrd New Town). Master's thesis, Islamic Azad University Science and Research, Tehran, Iran, 2017. pp (In Persian).
- 3) Ahmadisharaf E, Kalyanapu AJ, Chung ES. Sustainability-Based Flood Hazard Mapping of the Swannanoa River Watershed. *Sustainability* 2017, 9, 1735.
- 4) Amoako C, Cobbinah P, Brandful D, Rhoda M. Complex twist of fate: The geopolitics of flood management regimes in Accra, Ghana. *Cities*, 2019, 89: 209-217.
- 5) Asghariazim L. Risk analysis of ammonia release in food refrigeration Using FTA technique and fuzzy logic, *APJ*, 2023, Vol. 7 (1), 64-75 pp.
- 6) Babaei S, Ghazavi R, Erfanian M. Urban flood simulation and prioritization of critical urban sub-catchments using SWMM model and PROMETHEE II approach. *Physics and Chemistry of the Earth*, 2018, 9-1.
- 7) Badeizadeh S, Bahremand AA, Dehghani N. Surface runoff simulation through Urban flood management to Use SWMM model in Gorgan City, Golestan province, *Journal of Soil and Water Conservation*, twenty-second volume, the fourth number, 2015. (In Persian)
- 8) Bannari A, Kadhem A, El-Battay NA, Hameid R. Assessment of Land Erosion and Sediment Accumulation Caused by Runoff after a Flash-Flooding Storm Using Topographic Profiles and Spectral Indices. *Advances in Remote Sensing*, 2016, 05(04):315.
- 9) Berndtsson R, Becker P, Persson A, Aspegren H, Haghighatafshar S, Jönsson K, Larsson R, Mobini S, Mottaghi M, Nilsson J. Drivers of changing urban flood risk: A framework for action. *J. Environ. Manag.* 2019, 240, 47-56.
- 10) Darabi H, Choubin B, Rahmati O, Torabi Haghighi A, Biswajeet P. Urban Flood Risk Mapping Using the GARP and QUEST Models: A Comparative Study of Machine Learning Techniques. *Journal of Hydrology*, 2019, 569:142-54.
- 11) Habibi A, Afridi S. Multi-Criteria Decision Making, Tehran: Naroon Publications. 2022, 168 pp.
- 12) Jalilov M, Shokhruxh M, Kefi P, Kumar, Y. Sustainable Urban Water Management: Application for Integrated Assessment in Southeast Asia. *Sustainability*, 2018, 10, 122; doi:10.3390/su10010122.
- 13) Karimi VA, Solimani K, Habibnejad M, Shahedi K. Simulation of Flow in Open & Closed Conduits by EPA-SWMM Model (Case Study: Babolsar Urban Watershed). *Journal of Watershed Management*. 2015. (In Persian).
- 14) Kling H, Fuchs M, Paulin M. Runoff conditions in the upper Danube basin under an ensemble of

- climate change scenarios. *Journal of Hydrology*, 2012, 424 -425 (6): 264-277.
- 15) Luan B, Yin R, Xu P, Wang X, Yang X, Zhang L, Tang X. Evaluating Green Storm water Infrastructure Strategies efficiencies in a Rapidly Urbanizing Catchment using SWMM-based TOPSIS. *Journal of Cleaner Production*, 2019, 42-1.
 - 16) Manjusree P, Surwase T. Urban flood simulation- A case study of Hyderabad city. In *Proceedings of the National Conference on Flood Early Warning for Disaster Risk Reduction*, Hyderabad, India, 2019; pp. 133–143.
 - 17) Mohammadi J, Fataei E, Ojaghi A, Taghavi L. Investigation and determination of land use effects on surface water quality in semi-arid areas: Case study on Qarasu River in Iran, *APJ*, 2023, Vol. 7 (2), 1-7 pp.
 - 18) Ngang CP, Hashim HS, Pereira JJ. Climate change mitigation and adaptation as a sustainable regional development strategy: Lessons from the Selangor River basin, Malaysia. *Int. J. Malay World Civ.* 2017, 5,43–52.
 - 19) Rafiei Emam A, Mishra BK, Kumar P, Masago Y, Fukushi K. Impact Assessment of Climate and Land-Use Changes on Flooding Behavior in the Upper Ciliwung River, Jakarta, Indonesia. *Water* 2016, 8, 559.
 - 20) Rabori AM, Ghazavi R. Urban flood estimation and evaluation of the performance of an urban drainage system in a semi-arid urban area using SWMM. *Water Environ. Res.* 2018, 90, 2075–2082.
 - 21) Rahmati O, Zeinivand H, Besharat M. 2016. Flood Hazard Zoning in Yasooj Region, Iran, Using GIS and Multi-Criteria Decision Analysis. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 2016, 7(3):1000–1017.
 - 22) Sadeghinia A, Alijani B, Ziaeiian-Firoozabadi P. Spatial-temporal analysis of the heat island of Tehran metropolis using remote sensing and geographic information system. *Geography and Environmental Hazards*, 2012, Year 1. Issue 4. pp. 1-17.
 - 23) Sahoo SN, Sreeja P. Detention ponds for managing flood risk due to increased imperviousness: A case study in an urbanizing catchment of India. *Nat. Hazards Rev., ASCE*, 2018, 19(1), 05017008–1 to 05017008–11. doi:10.1061/(ASCE)NH. 1527-6996.0000271.
 - 24) Samsuri N, Abu Bakar R, Unjah T. Flash flood impact in Kuala Lumpur–Approach review and way forward. *Int. J. Malay World Civ.* 2018, 6, 69–76
 - 25) Sodhi MS, Tang CS. Buttressing supply chains against floods in Asia for humanitarian relief and economic recovery. *Prod. Oper. Manag.* 2014, 23, 938–950.
 - 26) Tehran Municipality. Report of characteristics, problems and development strategies in north of Tehran, Tehran, Iran, 2014 (in Farsi).
 - 27) United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNISDR). Sendai Framework for Disaster Risk Reduction, 2015–2030; UNISDR: Geneva, Switzerland, 2015.
 - 28) Waghwalwa R, Agnihotri K. Flood Risk Assessment and Resilience Strategies for Flood Risk Management: A Case Study of Surat City. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 2019, 41-1.
 - 29) Wahlstrom M, Guha-Sapir D. The Human Cost of Weather-Related Disasters 1995–2015; United Nations International Strategy for Disaster Reduction: Geneva, Switzerland, 2015.
 - 30) Yang X, ling J, Ding H, Hui H. Application of a Triangular Fuzzy AHP Approach for Flood Risk Evaluation and Response Measures Analysis. *Natural Hazards*, 2023, 68(2):657-698.
 - 31) Zhao G, Xu Z, Pang J, Tu T, Xu L, Longgang D. An enhanced inundation method for urban flood hazard mapping at the large catchment scale. *Journal of Hydrology*, 2019, 29-1.



Evaluation and classification of quantitative and qualitative criteria effective in the occurrence of environmental hazards (Case study: Flood risk in Tehran metropolis)

Aliakbar Karimipour	Department of Environment, Bandarabbas Branch, Islamic Azad University, Bandarabbas, Iran
Saber Ghasemi*	Department of Environment, Marine Environmental Research Center, Bandar Abbas Branch, Islamic Azad University, Bandar Abbas, Iran.
Mohsen Dehghani Ghanataghestani	Department of Environment, Bandarabbas Branch, Islamic Azad University, Bandarabbas, Iran
Hossein Parvaresh	Department of Environment, Bandarabbas Branch, Islamic Azad University, Bandarabbas, Iran

Extended Abstract

Received: 06 Nov 2024

Accepted: 16 Dec 2024

Keywords: Urban flooding, Risk zoning, Land use, Slope percentage, Tehran city

Introduction: Floods are known as the most common natural hazard. Urban floods occur for various reasons and cause numerous financial and human losses. The number of urban floods in Tehran has been increasing over the past 40 years. The aim of this research is to identify and classify the quantitative and qualitative criteria affecting the occurrence of floods and determine the risk zone.

Materials and Methods: To identify the criteria affecting the occurrence of floods, the library method and in-depth study were used, as well as referring to the opinions of experts (18-member Delphi panel). To ensure the correlation in the data matrix, a factor analysis test was used. The Fuzzy AHP method was used to prioritize the criteria. In addition, urban flood zoning was performed using SWMM software, and finally, the maps were superimposed and analyzed using Arc GIS software.

Results and Discussion: The criterion land use with a weight of 0.521 was assigned the highest importance, followed by the criterion runoff rate with a relative importance of 0.186. In addition, the criteria vegetation density with a weight of 0.103, slope with a weight of 0.097, and distance from stream and river with a weight of 0.091 were placed in the next priorities. In total, 25 sub-criteria identified. The final raster map was obtained in five classes (from very high risk to very low risk), which indicates the risk of flooding in different parts of Tehran. The highest percentage and area of risk belonged to the "low risk class" with 30.94 percent, and the lowest belonged to the "very high risk" class with 8.8 percent.

Conclusion: In the planning stage, various strategies are considered for flood management. These strategies can be classified into three general categories, Efforts to control and contain floods; Efforts to reduce vulnerability to floods; and Efforts to reduce exposure to floods. The first category is based on physical protection and generally includes structural methods. Some common methods in this case include: canal construction, upstream watershed management plans, lagoon construction, dredging of rivers, creation of new buffers, etc. In addition, the other two categories usually include the group of non-structural methods. These methods include vegetation protection, slope leveling, avoidance of land use in risk areas, and development of educational programs.

Corresponding author: Saber Ghasemi

Address: Department of Environment, Marine Environmental Research Center, Bandar Abbas Branch, Islamic Azad University, Bandar Abbas, Iran **Tel:** +989120863546 **Email:** saberghasemi@gmail.com

Citation: Karimipour A, Ghasemi S, DehghaniGhanataghestani M, Parvaresh H. Evaluation and classification of quantitative and qualitative criteria effective in the occurrence of environmental hazards (Case study: Flood risk in Tehran metropolis). Journal of New Researches in Environmental Engineering. 2024; 2(7): 14-28



© 2024, This article published in Journal of New Researches in Environmental Engineering (JNREE) as an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>). Non-commercial use, distribution and reproduction of this article is permitted in any medium, provided the original work is properly cited.



کاربرد مدل STPA-BWM جهت ارزشیابی ایمنی خطوط لوله انتقال گاز میدان نفتی آذر با تکیه بر قابلیت اطمینان

گروه، ایمنی، بهداشت و محیط زیست، واحد علوم تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
گروه، ایمنی، بهداشت و محیط زیست، واحد علوم تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
گروه، ایمنی، بهداشت و محیط زیست، واحد علوم تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
گروه، ایمنی، بهداشت و محیط زیست، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران
گروه، ایمنی، بهداشت و محیط زیست، واحد علوم تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

بهاره لاه آهی زاده
حسن میهن پرست
سیمین دخت زینالی
فرهام امین شرعی*
مجید افشار

چکیده مبسوط

مقدمه: اهمیت نفت و گاز در جهان از زمان اکتشاف آن ها تاکنون هم از بعد تولید انرژی، هم از لحاظ تأمین مواد اولیه مورد نیاز برای تولید کالاهای صنعتی بر هیچ کس پوشیده نیست. با توجه به گستردگی خطوط در مناطق مختلف تأسیساتی و یا حتی مسکونی و همچنین پتانسیل بالای آسیب پذیری، ایمنی خطوط لوله از اهمیت ویژه ای برخوردار است.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۲۹

مواد و روش ها: در این پژوهش (مطالعه موردی شرکت راه اندازی و بهره برداری صنایع نفت - پروژه میدان نفتی آذر واقع در استان ایلام) به بررسی عامل های مربوط به آتش سوزی و انفجار در این خطوط براساس تجزیه و تحلیل فرآیند تئوری سیستم یکپارچه BWM-STPA پرداخته شده است.

نتایج و بحث: پس از تکمیل شدن پرسشنامه به معیارها (ایمنی، بازرسی فنی، پدافند غیر عامل، طراحی، ساخت، تعمیر و نگهداری) وزن داده شد که مشخص شد که سوال ۱۶ پرسشنامه مربوط به معیار بازرسی فنی دارای بیشترین وزن که میانگین آن ۴/۵۲ و سوال ۹ پرسشنامه مربوط به پدافند غیر عامل دارای کمترین وزن است که میانگین آن ۳/۰۵ می باشد. بهترین معیار بازرسی فنی و بدترین معیار پدافند غیر عامل می باشد. روش STPA-BWM به طور موثر خطرات شناسایی شده را رتبه بندی می کند و نشان می دهد عامل بازرسی فنی شدیدترین خطر در خط لوله گاز است. به دنبال آن نشست در خط لوله گاز، انفجار و آتش سوزی اتفاق می افتد. کمی شدن خطرات با استفاده از روش BWM کمک شایانی در انجام اقدامات کنترلی برای اقدامات نا ایمن U3-U11-U15-U16-U17-U20 دارد، چون وزن بالاتری نسبت به بقیه دارند.

واژه های کلیدی: ارزشیابی -
خط لوله - قابلیت اطمینان -
ریسک - میدان نفتی آذر -
STPA-BWM

نتیجه گیری: در نتیجه ۷ اقدام کنترلی (CA) و ۲۰ اقدام کنترلی نا ایمن (UCA) و ۴ سناریو شناسایی تعریف شده است. ارزیابی خطر کمی و کیفی خط لوله گاز میدان نفتی آذر مبنایی برای افزایش ایمنی و قابلیت اطمینان آن را فراهم می کند. در نتایج بدست آمده، پیشنهاد می شود که آموزش های مداوم برای کارکنان در زمینه ایمنی و رعایت دستورالعمل ها ارائه شود. سیستم های بازرسی و کنترل به طور منظم مورد بازبینی قرار گیرند. بر روی بهبود کیفیت مواد و تجهیزات استفاده شده در خطوط انتقال گاز تمرکز شود.

نویسنده مسئول: فرهام امین شرعی

تلفن: ۰۹۳۹۶۰۱۷۷۶۱

نشانی: گروه، ایمنی، بهداشت و محیط زیست، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

پست الکترونیکی: aminsharei.fa@gmail.com

استناد: لاه آهی زاده بهاره، میهن پرست حسن، دخت زینالی سیمین، امین شرعی فرهام، افشار مجید. کاربرد مدل STPA-BWM جهت ارزشیابی ایمنی خطوط لوله انتقال گاز میدان نفتی آذر با تکیه بر قابلیت اطمینان. پژوهش های نوین در مهندسی محیط زیست. ۱۴۰۳؛ (۷): ۴۳-۲۹.

حقوق نویسندگان محفوظ است. این مقاله با دسترسی آزاد و تحت مجوز مالکیت خلاقانه <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0> در فصلنامه پژوهش های نوین در مهندسی محیط زیست منتشر شده است. هرگونه استفاده غیرتجاری فقط با استناد و ارجاع به اثر اصلی مجاز است.



مقدمه

با توجه به اینکه خطوط لوله انتقال گاز در اطراف مناطق مسکونی گسترش یافته‌اند و در صورت بروز نشتی یا پارگی در این خطوط، امکان ایجاد خسارت‌های جانی و مالی وجود دارد، ایمنی افراد ساکن در مناطق اطراف خطوط لوله انتقال از اهمیت زیادی برخوردار است و تأمین این ایمنی از مهم‌ترین دغدغه‌های صنعت انتقال گاز است. ارزیابی ایمنی جامع یک سیستم خط انتقال گاز با استفاده از تجزیه و تحلیل فرآیند تئوری سیستم یکپارچه (BWM-STPA) یک روش کارآمد برای شناسایی و رفع خطرات احتمالی است. این روش ترکیبی از دو روش تفکیک و تحلیل هسته‌ای برای بهبود ایمنی سیستم است. در این روش، ابتدا با استفاده از تفکیک وزنی BWM، عوامل خطرناک و اهمیت آنها مشخص شده و وزن‌بندی می‌شوند. سپس با استفاده از روش تحلیل ریشه علت (STPA)، رویدادهای ایمنی مخاطرات محتمل که می‌توانند منجر به حوادث ناخواسته شوند شناسایی و تحلیل می‌شوند (چاکرون و همکاران ۲۰۱۴). پژوهش حاضر به منظور ارزیابی ایمنی خطوط لوله انتقال گاز با استفاده از تکنیک BWM-STPA برای خطوط انتقال نفت و گاز میدان نفتی آذر انجام شد. خطوط لوله و تجهیزات فرآیندی و مخازن فرآورده‌های نفتی به دلیل ذخیره‌سازی و انتقال حجم بالایی از فرآورده‌های نفتی که دارای ریسک بالایی از خطرات ایمنی، بهداشتی و زیست‌محیطی‌اند از اهمیت به‌سزایی برخوردار می‌باشند بدیهی است که آتش‌سوزی، انفجار و وجود نشتی از این منابع از لحاظ زیست‌محیطی و ایمنی دارای حساسیت بالایی بوده و خطرات زیادی را برای مجموعه کارکنان شاغل در این سایت، محیط‌زیست، و مناطق مسکونی و روستاهای مسیر انتقال خطوط انتقال ایجاد می‌نماید. موارد ذکرشده به اندازه کافی بیانگر بحرانی بودن موضوع و نیاز به بکارگیری ایمنی پیشگیرانه در ارتباط با سیستم‌های موجود می‌باشد. همواره بیم آن می‌رود که حوادث و وقایع دردناک ناشی از کار، خسارات جبران‌ناپذیری به بار آورد. حوادث بر اثر فقدان نظم و انضباط در کار، نقص دستگاه‌ها، بی‌دقتی و سهل‌انگاری، عدم هماهنگی و سازش جسمی یا روانی کارگر با نوع کار، طرز کار خطرناک و امثال آن به‌وجود می‌آیند. واقعیت انکارناپذیر آن است که به‌رغم پیشرفت تکنیک و تکنولوژی، جلوگیری از حوادث به‌طور صددرصد و کامل اجتناب‌ناپذیر بوده و نمی‌توان حوادث را از صفحه زندگی بشر به طور کامل حذف کرد و باید در جهت کاهش آن‌ها تلاش کرد (کریمی و همکاران ۱۳۹۸). میدان نفتی آذر با بهره‌مندی از تأسیسات جانبی واحد فرآورش مرکزی (CPF) در آستانه دستیابی به ظرفیت تولید ۶۵ هزار بشکه نفت در روز است. طبیعتاً شناسایی

و ارزیابی مخاطرات فرآیندی این میدان نفتی می‌تواند کمک شایان‌توجهی در جهت ارزیابی مخاطرات نماید. روش مورد استفاده در این پژوهش استفاده از تکنیک BWM-STPA برای ارزیابی ایمنی خطوط لوله انتقال گاز خواهد بود لذا در این پژوهش قصد داریم تا به ارزیابی ایمنی خطوط لوله انتقال گاز بپردازیم. در مطالعه‌ای که توسط باقری و همکاران (۱۳۹۲) صورت گرفت چگونگی تعیین حریم ایمنی خطوط لوله انتقال گاز ترش، که با توجه به پخش احتمالی گاز سمی هیدروژن سولفید در محیط، نسبت به خطوط لوله گاز شیرین خطرناک‌تر است، مورد بررسی قرار گرفته است. ام آرسو وینیسوس پیرا مونیز و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهشی یک مطالعه موردی را شرح می‌دهند، از روش پاپیون برای ارائه تحلیلی از اثربخشی کنترل‌های موجود در خطوط لوله و ارائه درک بهتر استفاده شد، عمدتاً به اپراتورها و جامعه، به‌عنوان خطرات خط لوله و کنترل آن‌ها، با ارائه یک نمودار رابط مورد بررسی قرار گرفت. ادیب و همکاران (۲۰۱۸) مقاله‌ای درخصوص فاصله ایمنی اطراف خطوط لوله گاز با استفاده از عدد، مواد و روش‌ها انجام دادند. یو و همکاران (۲۰۱۸) پژوهشی بر اساس مدل ارزیابی ریسک مبتنی بر چارچوب ارزیابی کمی ریسک بر اساس AHP و دانش تخصصی انجام دادند. در نتیجه، یک مدل ارزیابی ریسک با فاصله زمانی برای فرآیند تعمیر و نگهداری خط لوله خشکی ایجاد کردند. سلیمان و همکاران (۲۰۱۹) مقاله‌ای را بیان کردند که در آن سیستم‌ها می‌توانند به افراد و سازمان‌های بیشتری آسیب بزنند. روش‌های تحلیل ریسک و خطر این مقاله مقایسه کیفی دو مورد را ارائه می‌کند روش‌های تحلیل خطر، تحلیل حالت و اثر شکست (FMEA) و تئوری سیستم تجزیه و تحلیل فرآیند (STPA)، با استفاده از روش تحقیق مطالعه موردی. سلطانا و همکاران (۲۰۱۹) در مقاله‌ای که به چاپ رساندند توضیح دادند که این مقاله برای ارزیابی امکان‌سنجی استفاده از STPA در کاربردهای صنعت فرآیند نوشته شده است. در تحقیقی که توسط بنهملاوی و همکاران (۲۰۲۰) صورت گرفت دو روش STPA و پاپیون، برای شناسایی خطر در حمل‌ونقل خط لوله، به‌طور دقیق‌تر یک خط لوله میعانات، در منطقه SKIKDA، استفاده شد. در تحقیقی که توسط احمد زاده یوسف (۱۳۹۹) صورت گرفته است که در زمینه محاسبات ابری، انتخاب بهترین ارائه‌دهنده خدمات ابری (CSP) برای مشتریان چالشی پیچیده است. یک رویکرد جدید MCDM پیشنهاد شده که بر اساس TOPSIS و BWM عمل می‌کند و با ترجیحات نسبی، موثرتر از روش‌های سنتی مانند AHP است. این رویکرد با استفاده از یک سناریو آزمایش شده و نشان داده

شبیه‌سازی نشت گاز در خطوط لوله بر اساس تئوری زنجیره مارکوف انجام دادند. نشت خطوط لوله گاز می‌تواند منجر به آتش‌سوزی، انفجارها و مسمومیت گازی شود که منجر به آسیب‌ها و خسارات مالی می‌شود. پارسا راد و همکاران (۲۰۲۴) مطالعه‌ای انجام دادند که از یکی از موضوعات مهم در پروژه‌ها و سازمان‌ها در حوزه پایین‌دستی نفت، گاز و پتروشیمی‌ها بود، هدف این مقاله بررسی و بهبود انتخاب تأمین‌کننده بود. برای این منظور، مجموعه فازی تئوری و اعداد خاکستری در نظر گرفته شد. ابتدا معیارها با قضاوت کارشناسی تعیین شد. سپس، روش فازی بهترین - بدترین (FBWM) برای رتبه‌بندی مورد استفاده قرار گرفت. کاروان و نادو (۲۰۲۴) روش پیشنهادی از رویکرد تحلیل فرآیند نظریه‌ای سیستم (STPA) برای شناسایی فعال خطرات استفاده کردند، در حالی که از قدرت الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) برای محاسبه دقیق و بهینه‌سازی ریسک‌ها، از جمله خطرات مربوط به خطاهای انسانی استفاده می‌شود.

با توجه به اینکه افزایش ایمنی در محیط کار و پیرامون آن تأثیر بسزایی بر روی سلامت انسان، تجهیزات و محیط‌زیست داشته و می‌تواند از نظر روحی و روانی تأثیر مثبتی بر روی افراد داشته باشد، لذا در این پژوهش به ارزیابی ایمنی خطوط لوله انتقال گاز با استفاده از تکنیک BWM-STPA پرداخته شده است. با توجه به اینکه قبلاً در زمینه ارزیابی ایمنی خطوط لوله انتقال گاز میدان نفتی آذر با استفاده از تکنیک BWM-STPA تحقیقی صورت نگرفته است و در این زمینه خلاء پژوهشی وجود دارد نتایج این پژوهش می‌تواند این خلاء پژوهشی را برطرف نماید.

هدف از این پژوهش ارزیابی ایمنی خطوط لوله انتقال گاز با استفاده از تکنیک BWM-STPA می‌باشد. روش STPA-BWM می‌تواند خطرات را به صورت کمی و کیفی تجزیه و تحلیل کند و مبنای قابل اعتمادی برای پیشگیری از حوادث را فراهم کند.

که عملکرد بهتری از AHP دارد. دویدی و همکاران (۲۰۲۰) مطالعه‌ای تحت عنوان "ارزیابی عملکرد یک شرکت بیمه با استفاده از مدل کارت امتیازی متوازن - بهترین بدترین روش (BWM) انجام دادند. شهبازخان و همکاران (۲۰۲۲) در یک تحقیق در مورد موانع فناوری بلاک‌چین در زنجیره تأمین مواد غذایی با استفاده از ارزیابی ریسک BWM کار کرده‌اند. آن‌ها به این نتیجه رسیده‌اند که موانع فناوری و سازمانی مهم‌ترین موانع برای پیاده‌سازی بلاک‌چین هستند. لی آوهو و لیو سی (۲۰۲۲) پژوهشی با عنوان روش تحلیل آسیب‌پذیری بر اساس ارزیابی ریسک برای قابلیت‌های انتقال گاز شبکه‌های خط لوله گاز طبیعی انجام دادند که ریسک-آسیب‌پذیری اجزای حیاتی یک شبکه خط لوله را از سه منظر شناسایی می‌کند: وضعیت عملیاتی خط لوله، عملکرد انتقال و ویژگی‌های شبکه، فرمول ارزش اهمیت هر جزء ایجاد شد. سپس شاخص‌های ریسک مؤلفه ایجاد شد و مقادیر ریسک مؤلفه محاسبه شد. ادیان و سکروسیداس (۲۰۲۲) تحقیقی انجام دادند که هدف از آن مطالعه شناسایی و اولویت‌بندی حریق و انفجار می‌باشد. خطرات در بخش میانی صنعت نفت و گاز بالا است و برای این منظور علل شایع آتش‌سوزی و انفجار برای انجام اقدامات پیشگیرانه یا راهبردهای کاهش ارزیابی شدند. برای اولویت‌بندی عوامل خطر آتش‌سوزی و انفجار در بخش میانی صنعت نفت و گاز، یک چارچوب ارزیابی ریسک جدید که شامل بهترین و بدترین روش (BWM) و مقایسه منطقه تقریبی مرزی چند اسنادی فازی تصویری (PFMABAC) روش مبتنی بر تحلیل حالت و اثر شکست (FMEA) پیشنهاد شد. رائی حق و همکاران (۲۰۲۳) پژوهشی را تحت عنوان به‌کارگیری سیستم استنتاج فازی در ارزیابی ریسک خطوط لوله گاز ترش انجام دادند، در این مقاله، از منطق فازی برای مدل‌سازی عدم قطعیت و ارائه‌ی مدلی جهت ارزیابی ریسک خطوط لوله استفاده شده است. فنگ و همکاران (۲۰۲۴) مطالعه‌ای را در مورد ارزیابی خطر و

مواد و روش‌ها

روش STPA^۱ یک روش تحلیلی است. این روش توسط دکتر وستن سپرون مطرح و در اواخر دهه ۱۹۹۰ به عنوان یک روش نوین برای تحلیل سیستم‌های پیچیده و خطرناک معرفی کرد. استفاده از STPA در تحلیل ایمنی سیستم‌ها و فرآیندها، می‌تواند

به تشخیص و پیشگیری از وقوع حوادث و خطرات مربوط به عملکرد سیستم کمک کند. STPA از الگوریتم‌های نوین و شیوه‌های مدل‌سازی پیچیده برای تحلیل ریشه حوادث استفاده می‌کند. مراحل اصلی روش STPA عبارتند از:

^۱System-Theoretic Process Analysis

۱- تعریف سیستم: در این مرحله، سیستم تعریف می‌شود و اجزای آن، فرآیندها و تعاملات بین اجزای سیستم شناسایی می‌شوند.

۲- تعیین مدل هدف: تعریف موضوعی که قرار است تجزیه و تحلیل شود و به‌عنوان هدف اصلی STPA تعیین می‌شود.

۳- تعیین مرزها و حدود: شناسایی و نظارت بر حدود و مرزهای سیستم برای جلوگیری از وقوع خطرات و خطاها انجام می‌شود.

۴- تشخیص حالات خطرزا: با استفاده از روش STPA، حالاتی که ممکن است به وقوع خطرات و خطاها منجر شوند شناسایی می‌شوند.

۵- تعیین علایم حالات خطرزا: در این مرحله، علایم و نشانه‌هایی که به‌وجود آمدن حالات خطرزا را نشان دهند شناسایی و توصیف می‌شوند.

۶- تشخیص کنش‌ها و تعداد اعمال: به داده‌های ورودی و اعمالی که ممکن است حالت خطرآفرین را ایجاد کنند توجه شده و آن‌ها شناسایی می‌شود.

۷- ارزیابی و تحلیل: در این مرحله، ارتباط بین حالت‌های خطرزا و علامت‌های آن‌ها با کنش‌ها بررسی شده و ارتباطات غیرمستقیم نیز مورد تحلیل قرار گرفته تا بشود از وقوع خطرات جلوگیری کرد.

۸- طراحی و اجرای تدابیر محافظتی: پس از شناسایی و تحلیل خطرات و خطاها، اقدامات محافظتی و اصلاحی طراحی و اجرا می‌شود تا سیستم را برای جلوگیری از وقوع خطرات بهبود بخشد (ویلونوس و همکاران ۲۰۰۸). روش بهترین - بدترین (BWM) بر اساس تکنیک‌های تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و تصمیم‌گیری چندشاخصه (MCDM) استوار است و برای اولین بار در دهه ۱۹۸۰ میلادی معرفی شد. (دنگ و همکاران ۲۰۰۶).

روش (Best Worst Method) BWM یک روش تصمیم‌گیری چند معیاره است که برای رتبه‌بندی و مقایسه گزینه‌ها در مسائل

تصمیم‌گیری استفاده می‌شود. در روش BWM، ابتدا یک مجموعه از معیارها یا ویژگی‌ها انتخاب می‌شوند که بیانگر اهمیت یا وزن هر کدام از این معیارها در تصمیم‌گیری است. سپس برای هر معیار، شرکت‌کنندگان باید یک گزینه به عنوان بهترین و دیگر گزینه‌ها را به عنوان بدترین انتخاب کنند، که به این دلیل این روش به Best Worst Method شهرت دارد. براساس انتخاب‌های شرکت‌کنندگان، وزن هر معیار بر اساس اهمیت آن‌ها در تصمیم‌گیری محاسبه می‌شود. سپس با استفاده از این وزن‌ها، گزینه‌ها بر اساس معیارها و اهمیت‌هایشان رتبه‌بندی می‌شوند. این روش شامل ۶ گام می‌باشد که در ادامه توضیح داده شده است. در این مطالعه، BWM با STPA ترکیب شده است. BWM برای تجزیه و تحلیل کمی سلسله مراتبی خطرات سیستماتیک و مخاطرات فرعی شناسایی شده توسط STPA استفاده می‌شود. STPA-BWM بهبود یافته را می‌توان برای ارزیابی کیفی و کمی ایمنی سیستم استفاده کرد و درک شهودی بیشتری از خطرات درون سیستم را تسهیل می‌کند. معرفی پروژه مورد مطالعه: میدان نفتی آذر یکی از میدان‌های نفتی کشور ایران می‌باشد. این میدان نفتی واقع در استان ایلام می‌باشد. میزان نفت قابل استحصال از این میدان ۴۰۰ میلیون بشکه نفت برآورد می‌شود. همچنین میزان گاز تولیدی حدود ۷۸ میلیون فوت مکعب در روز می‌باشد.

تأسیسات فرآورش مرکزی^۱ (CPF): در سایت CPF روی نفت خام نمک‌زدایی صورت و سپس در واحد مذکور نفت شیرین‌سازی، H_2S که یک گاز ترش سمی است و مقدار این گاز در این میدان بسیار بالاست جدا شده و محصولات نهایی تولید می‌شود. اکثر چاه‌ها در اطراف مخزن نفتی قرار دارند.

¹ Central Processing Facility



شکل ۱- تأسیسات مرکزی فرآورش (CPF)

می‌شود. در مسیر این خط لوله تعداد ۱۶ ایستگاه LBV نیز استقرار یافته است. در این پژوهش که از روش STPA استفاده شده است گام‌های زیر مورد بررسی و اجرا قرار گرفت:

گام اول: در این پژوهش از روش STPA استفاده شده است که در گام نخست سیستم خطوط انتقال گاز با U که نماد شناسایی اقدامات نایمن از جمله وجود خطاهای انسانی، شرایط عملیات نامناسب، خرابی تجهیزات و غیره) در جدول مشخص و برای هر یک از آن‌ها وزن‌دهی شده است. در این شناسایی اقدامات نایمن تعداد ۲۰ مورد که با حرف U مشخص شد. جدول ۱ هدف از تجزیه و تحلیل را نشان می‌دهد.

تأسیسات مرکزی فرآورش (CPF) درواقع کارخانه اصلی ورود، شیرین‌سازی، ذخیره و ارسال نفت خام و گازی است که از چاه به این مرکز فرستاده می‌شود. لذا برای عملی شدن این فرآیند نفت خام از واحدهای مختلفی عبور کرده تا به محصول نهایی و Spec مورد نظر برسد. (CPF Operation Manual 2016) چاه‌های مورد بهره‌برداری در میدان نفتی آذر ۱۸ حلقه چاه تولیدی است که ۶۵ هزار بشکه نفت را برای ارسال تحویل می‌دهد. نفت تولیدی با ۱۳۰ کیلومتر خط ۱۶ اینچ به دهلران انتقال داده شده و از آنجا با ۶۵ کیلومتر مسیر خط نفت شیرین به واحد چشمة خوش برای صادرات تحویل داده می‌شود. همچنین گاز تولیدی نیز با ۱۲۹ کیلومتر خط ۱۶ اینچ به NGL₃₁₀₀ دهلران انتقال داده

جدول ۱- هدف از تجزیه و تحلیل

ردیف	هدف از تجزیه و تحلیل
۱	کاهش مرگ و میر تجمعی
۲	کاهش آتش سوزی و انفجار
۳	کاهش رابی تجهیزات تجهیزات
۴	کاهش ریسک فردی و اجتماعی
۵	کاهش صدمات محیطی

که در جدول ۲ نشان داده شده است. که از قبیل رعایت فاصله مناسب میان لوله‌های انتقال گاز تا مناطق مسکونی، نصب آلام و علائم هشداردهنده حساس به نشستی گاز، آموزش کارکنان و غیره می‌باشد. جدول ۲ اقدامات کنترلی (CA) را نشان می‌دهد.

گام دوم: همانطور که در این پژوهش مشخص شده است اقدامات کنترلی در راستای بهبود، کاهش و حذف خطر در سیستم انتقال خط لوله گاز وجود دارد که این عوامل موجب کاهش خطر در این سیستم می‌شود. اقدامات کنترلی با نماد CA مشخص شده است

جدول ۲- اقدامات کنترلی (CA)

ردیف	اقدامات کنترلی (CA)
۱	رعایت فاصله مناسب میان لوله‌های انتقال گاز تا مناطق مسکونی (مقررات حریم خطوط لوله شرکت ملی گاز ایران)
۲	نصب آلارم و علائم هشداردهنده حساس به نشتی گاز (سیستم نشت‌یاب)
۳	برقراری سامانه‌های بازرسی به‌صورت منظم و دوره‌ای
۴	به حداقل رساندن تعداد اتصالات و استفاده از تجهیزات استاندارد
۵	آموزش کارکنان
۶	استفاده از تجهیزات کنترلی و شیرهای ایمنی مناسب
۷	قطع کامل منابع جرقه و انجام کارهای گرم بر روی خطوط

گام سوم: در این بخش شناسایی اقدامات نا ایمن پس از اقدامات کنترلی ذکر شده است که جهت شناسایی شرایط و وجود خطاها در تجهیزات و عملیات مشخص و با نماد U ثبت شده است.

جدول ۳- شناسایی اقدامات نا ایمن^۱ (UCAS)

ردیف	شناسایی اقدامات نا ایمن (UCAS)
۱	وجود خطاهای انسانی
۲	عدم قطع کامل منابع جرقه و انجام کارهای گرم بر روی خطوط
۳	خوردگی و فرسودگی لوله‌ها و اتصالات (خوردگی محیطی لوله، خوردگی ناشی از محیط اسیدی)
۴	برخورد فیزیکی و سخت با خطوط لوله
۵	نشت از ولوها (شیرها) و فلنج‌ها
۶	شرایط عملیات نامناسب (دما، فشار و غیره)
۷	خرابی تجهیزات
۸	انجام عملیات‌های نادرست
۹	عوامل طبیعی (سیل، زلزله، طوفان و غیره)
۱۰	انجام اقدامات خرابکارانه
۱۱	عایق نامناسب خطوط انتقال در برابر عوامل محیطی
۱۲	نداشتن سیستم تعمیر و نگهداری خطوط و ایستگاه‌های فشار
۱۳	عدم اطلاع‌رسانی شرکت‌ها و پیمانکاران اجرایی در فعالیت نزدیک به خطوط انتقال
۱۴	در اختیار قرار ندادن مستندات مربوط به مسیر انتقال خطوط و مشخص کردن مسیر به سایر ارگان‌ها و شرکت‌های اجرایی
۱۵	کیفیت نامناسب متریال به کار رفته در خطوط و تجهیزات
۱۶	جوشکاری نامناسب محل اتصالات خطوط لوله و تایید نشدن تست‌های RT-PT, MT
۱۷	انجام ندادن آزمایشات هیدرواستاتیک خطوط لوله بعد از اتمام عملیات لوله‌گذاری و قبل از بهره‌برداری
۱۸	رعایت فاصله نامناسب بین خطوط انتقال لوله‌های گاز تا مناطق مسکونی، تأسیسات، ابنیه، راه‌ها و راه‌آهن، مجاورت خطوط لوله نفت و آب، معادن و غیره
۱۹	شیرهای کنترلی و ایمنی غیر استاندارد و کالیبره نشده
۲۰	عملیات پیک‌رانی نادرست

¹ unsafe control action

آن ۴ مورد می‌باشد (جدول ۴). با توجه به ارزیابی ریسک‌های انجام شده در پروژه و نیز کارگروه تشکیل شده از اساتید و دانشجویان رشته دکتری HSE و متخصصین این پروژه کلیه سناریوها و عوامل خطر به‌طور جامع شناسایی شدند.

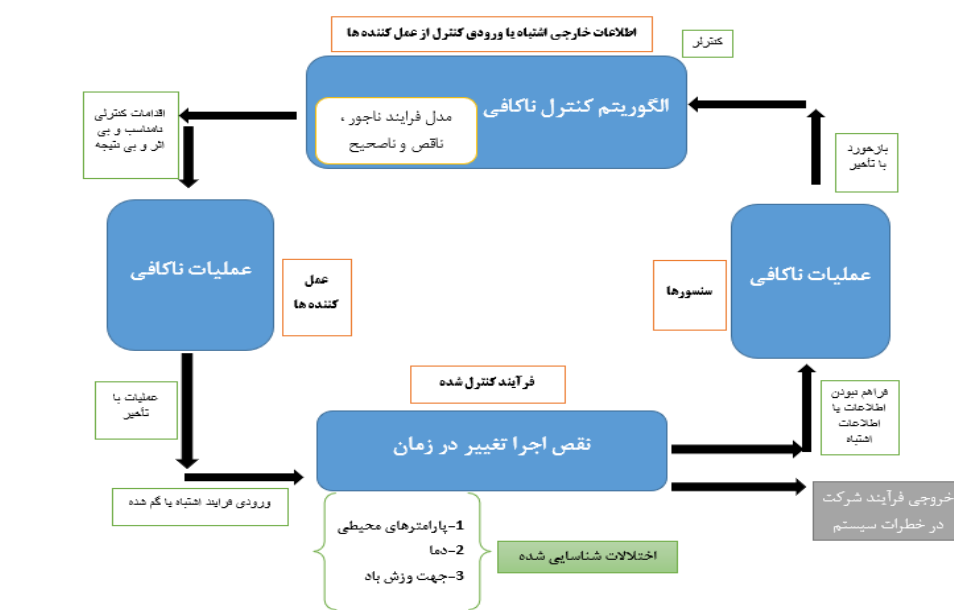
گام چهارم: در گام نهایی این پژوهش توضیحاتی جهت سناریو، الزامات ضرر و حوادث ناگوار می‌باشد. هدف از این گام اطلاعاتی درخصوص صدمات و آسیب‌هایی که به اموال، تجهیزات و انسان می‌رساند بحث و بررسی شده است که با نماد M مشخص و تعداد

جدول ۴- سناریوها، الزامات ضرر و حوادث ناگوار

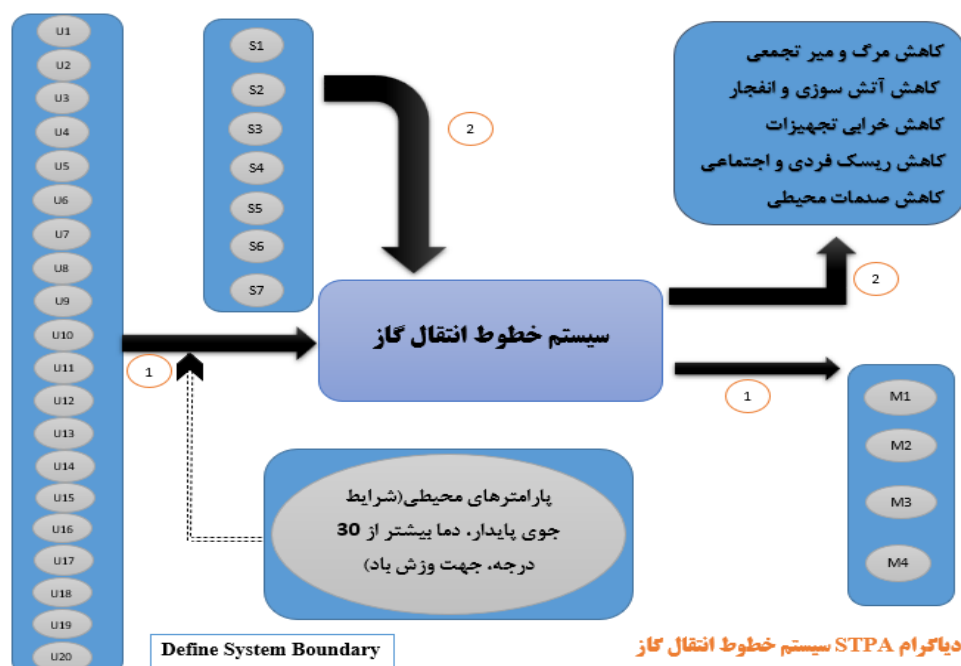
ردیف	سناریوها، الزامات ضرر و حوادث ناگوار
۱	افزایش مرگ‌ومیر تجمعی
۲	صدمات انسانی
۳	آسیب به اموال و آسیب به تجهیزات
۴	صدمات زیست‌محیطی

STPA سیستم خطوط انتقال گاز طراحی شد (شکل ۱).

در مرحله ی بعد با توجه به اطلاعات به‌دست آمده دیاگرام‌های



شکل ۱- دیاگرام STPA سیستم خطوط انتقال گاز



شکل ۲- دیاگرام STPA سیستم خطوط انتقال گاز

نتایج و بحث

به آتش سوزی و انفجار در این خطوط می‌باشد. جامعه آماری مورد بررسی کلیه دانشجویان مقطع دکتری تخصصی اهمیت می‌باشد) نشت از ولوها (شیرها) و فلنچ‌ها تا چه میزان در آتش سوزی و انفجار خطوط گاز دارای اهمیت می‌باشد- فشار بالا در خطوط و تجهیزات تا چه میزان در آتش سوزی و انفجار خطوط گاز دارای اهمیت می‌باشد- انجام عملیات‌های نادرست تا چه میزان در آتش سوزی و انفجار خطوط گاز دارای اهمیت می‌باشد) بازرسی فنی (فرسایش و خوردگی تا چه میزان در آتش سوزی و انفجار خطوط گاز دارای اهمیت می‌باشد- عدم عایق مناسب خطوط انتقال در برابر عوامل محیطی تا چه میزان در آتش سوزی و انفجار خطوط گاز دارای اهمیت می‌باشد- کیفیت متریکال بکار رفته در خطوط و تجهیزات (از لحاظ تطابق کلاس لوله با جنس مواد که از داخل لوله عبور می‌کند) تا چه میزان در آتش سوزی و انفجار خطوط گاز دارای اهمیت می‌باشد- جوشکاری محل اتصالات خطوط لوله و تایید تست‌های RT, PT, MT تا چه میزان در آتش سوزی و انفجار خطوط گاز دارای اهمیت می‌باشد- آزمایشات هیدرواستاتیک خطوط لوله بعد از اتمام عملیات لوله‌گذاری و قبل از بهره‌برداری تا چه میزان در آتش سوزی و انفجار خطوط گاز دارای اهمیت می‌باشد. عملیات‌های پیکرانی تا چه میزان در آتش سوزی و انفجار خطوط گاز دارای اهمیت

در این پژوهش از پرسشنامه با ۲۰ سوال استفاده گردید که هدف از تهیه آن اهمیت موضوع خطوط انتقال گاز و عامل‌های مربوط HSE^۱ و اساتید این رشته در دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات تهران به تعداد ۲۰ نفر می‌باشد. پس از تکمیل شدن پرسشنامه توسط جامعه مورد نظر، پرسشنامه‌ها مورد بررسی قرار گرفت و به معیارها (ایمنی، بازرسی فنی، پدافند غیرعامل، طراحی، ساخت، تعمیر و نگهداری (PM)^۲ وزن داده شد که مشخص شد که سوال ۱۶ پرسشنامه مربوط به معیار بازرسی فنی دارای بیشترین وزن که میانگین آن ۴/۵۲ و سوال ۹ پرسشنامه مربوط به پدافند غیرعامل دارای کمترین وزن است که میانگین آن ۳/۰۵ می‌باشد. پس از مشخص شدن بهترین و بدترین معیار مقادیر ترجیحات مقایسات زوجی در جدول همراه با مقدار عددی ثبت گردید. بهترین معیار در این بررسی بازرسی فنی و بدترین معیار پدافند غیرعامل می‌باشد. معیارها و گویه‌های مرتبط عبارتند از: ایمنی (نقش شیرهای کنترلی و ایمنی تا چه میزان در آتش سوزی و انفجار خطوط گاز دارای اهمیت می‌باشد- خطاهای انسانی تا چه میزان در آتش سوزی و انفجار خطوط گاز دارای اهمیت می‌باشد. انجام کار گرم بر روی خطوط گاز در ایجاد آتش سوزی و انفجار تا چه میزان دارای اهمیت می‌باشد (برخورد فیزیکی و سخت تا چه میزان در آتش سوزی و انفجار خطوط گاز دارای

^۱Health Safety Environment

^۲Preventive Maintenance

ایستگاه‌های فشار تا چه میزان در آتش‌سوزی و انفجار خطوط گاز دارای اهمیت می‌باشد- خرابی تجهیزات تا چه میزان در آتش‌سوزی و انفجار خطوط گاز دارای اهمیت می‌باشد). برای کمی‌سازی معیارها و خطرات از روش BWM استفاده شده است. برای انجام روش BWM باید ۶ گام طی شود.

گام اول: تعیین تمام معیارهای تصمیم‌گیری است و در این تحقیق ۵ معیار مورد بررسی قرار گرفت که عبارتند از: معیار اول (ایمنی)، معیار دوم (طراحی و ساخت)، معیار سوم (بازرسی فنی)، معیار چهارم (تعمیر و نگهداری) و معیار پنجم (پدافند غیرعامل). بهترین معیار در این بررسی بازرسی فنی و بدترین معیار پدافند غیرعامل می‌باشد.

گام دوم: تعیین بهترین معیار یا B و بدترین معیار یا W است، در این پژوهش بهترین معیار در این بررسی بازرسی فنی و بدترین معیار پدافند غیرعامل می‌باشد. بقیه معیارها بر اساس مقیاس ساعتی ۱ تا ۹ است که در جدول ۵ قابل مشاهده است.

می‌باشد) پدافند غیرعامل (عوامل طبیعی (سیل، زلزله، طوفان و غیره) تا چه میزان در آتش‌سوزی و انفجار خطوط گاز دارای اهمیت می‌باشد- اقدامات خرابکارانه تا چه میزان در آتش‌سوزی و انفجار خطوط گاز دارای اهمیت می‌باشد) طراحی و ساخت (حریم خطوط انتقال گاز در مجاورت خطوط توزیع و انتقال نیرو، مقررات حریم خطوط انتقال گاز در موازات راه‌ها و راه‌آهن، مقررات حریم خطوط انتقال گاز در مجاورت خطوط لوله نفت و آب، معادن و غیره تا چه میزان در آتش‌سوزی و انفجار خطوط گاز دارای اهمیت می‌باشد- در اختیار قرار دادن مستندات مربوط به مسیر انتقال خطوط و مشخص کردن مسیر به سایر ارگان‌ها و شرکت‌های اجرایی تا چه میزان در آتش‌سوزی و انفجار خطوط گاز دارای اهمیت می‌باشد- مشارکت در اطلاع‌رسانی شرکت‌ها و پیمانکاران اجرایی در فعالیت نزدیک به خطوط انتقال تا چه میزان در آتش‌سوزی و انفجار خطوط گاز دارای اهمیت می‌باشد) تعمیر و نگهداری (نقص در سیستم تعمیر و نگهداری خطوط و گام سوم: تعیین درجه اهمیت یا میزان برتری معیار B نسبت به

جدول ۵- تعیین درجه اهمیت یا میزان برتری معیار B نسبت به بقیه معیارها

مقدار عددی	ترجیحات
۹	کاملاً مرجح یا کاملاً مهم‌تر یا کاملاً مطلوب‌تر
۷	ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت خیلی قوی
۵	ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت قوی
۳	کمی مرجح یا کمی مهم‌تر یا کمی مطلوب‌تر
۱	ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت یکسان
۲، ۴، ۶، ۸	ترجیحات بین فواصل فوق

با توجه به جدول مقایسات زوجی بردار BO مقایسه بهترین معیار با بقیه معیارها و بردار OW مقایسه معیارهای دیگر با بدترین معیار در جدول ۶ و ۷ انجام شده است.

$$A_B = \{\alpha_{B1}, \alpha_{B2}, \dots, \alpha_{Bn}\} \quad (۱)$$

α_{B2} : مقایسه درجه اهمیت بهترین معیار (B) نسبت به معیار ۲

α_{Bn} : مقایسه درجه اهمیت بهترین معیار (B) نسبت به معیار n

A_B : ارجحیت بهترین معیار نسبت به سایر معیارها

α_{B1} : مقایسه درجه اهمیت بهترین معیار (B) نسبت به معیار ۱

جدول ۶ - مقایسه بهترین معیار با سایر معیارها

بردار BO	ایمنی	طراحی و ساخت	بازرسی فنی	تعمیر و نگهداری	پدافند غیرعامل
بازرسی فنی	۲	۴	۱	۶	۸

گام چهارم تعیین درجه اهمیت یا میزان برتری سایر معیارها نسبت به معیار W بر مبنای مقیاس ساعتی ۱ تا ۹ است. که در رابطه ۲ نمایش داده شده است.

$$A_W = \{\alpha_{1W}, \alpha_{2W}, \dots, \alpha_{nW}\} \quad (2)$$

A_W : ارجحیت سایر معیارها نسبت به بدترین معیار α_{2W} : مقایسه درجه اهمیت معیار ۲ نسبت به بدترین معیار (W)

α_{1W} : مقایسه درجه اهمیت معیار ۱ نسبت به بدترین معیار (W) α_{nW} : مقایسه درجه اهمیت معیار n نسبت به بدترین معیار (W)

جدول ۷ - مقایسه سایر معیارها نسبت به بدترین معیار

پدافند غیر عامل	بردار OW
۷	ایمنی
۵	طراحی و ساخت
۸	بازرسی فنی
۴	تعمیر و نگهداری
۱	پدافند غیر عامل

گام پنجم مجاسبه بردار وزن‌های بهینه برای معیارها بر مبنای مدل OR است. با انجام مراحل قبل به مرحله وزن‌دهی می‌رسیم با استفاده از رابطه ۳ انجام شده و در جدول ۸ آورده شده است.

$$\begin{aligned} s. t. \\ |w_B - \alpha_{Bj}w_j| &\leq \xi L, \text{ for all } j \\ |w_j - \alpha_{jW}w_W| &\leq \xi L, \text{ for all } j \\ \sum_j w_j &= 1 \\ w_j &\geq 0, \text{ for all } j \end{aligned} \quad (3)$$

w_B : وزن بهترین معیار α_{jW} : ارجحیت سایر معیارها نسبت به بدترین معیار

α_{Bj} : ارجحیت بهترین معیار نسبت به سایر معیارها w_W : وزن بدترین معیار

w_j : وزن سایر معیارها

جدول ۸ - وزن معیارها

ایمنی	طراحی و ساخت	بازرسی فنی	تعمیر و نگهداری	پدافند غیرعامل
-------	--------------	------------	-----------------	----------------

وزن ها	۰/۲۷۲	۰/۱۳۶	۰/۴۵۴	۰/۰۹۰	۰/۰۴۵
--------	-------	-------	-------	-------	-------

گام ششم محاسبه نرخ ناسازگاری بر مبنای ξ^* محاسبه شده در گام پنجم است. در انتها به دست آوردن نسبت سازگاری با استفاده از ξ^* و شاخص سازگاری و رابطه ۴ در جدول های ۹ و ۱۰ انجام شده است.

$$Consistency Ratio = \frac{\xi^*}{Consistency Index} \quad (4)$$

جدول ۹ - شاخص سازگاری روش BWM

ABW	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
شاخص سازگاری	۰/۰۰	۰/۴۴	۱/۰۰	۱/۶۳	۲/۳۰	۳/۰۰	۳/۷۳	۴/۴۷	۵/۲۳

جدول ۱۰ - شاخص سازگاری معیارها

ABW	۲	۳	۴	۵
شاخص سازگاری	۰/۲۰	۰/۰۹	۰/۰۵	۰/۰۳

در مرحله آخر UCA^۱ های مرتبط با هر معیار در جدول ۱۱ نشان داده شده است، ترجیحا رفتارهای کنترل نایمن با وزن بیش تر را باید برای مهار انتخاب کرد.

جدول ۱۱ - اقدامات نا ایمن مرتبط با هر معیار

وزن معیارها	UCAS	معیار
۰/۴۵۴	U3-U11-U15-U16-U17-U20	بازرسی فنی
۰/۲۷۲	U19-U1-U2-U4-U5-U6-U8	ایمنی
۰/۱۳۶	U14-U18-U13	طراحی و ساخت
۰/۰۹۰	U12-U7	تعمیر و نگهداری
۰/۰۴۵	U9-U10	پدافند غیرعامل

نتیجه گیری و پیشنهادها

ایمنی در کار، کنترل بازرسی فنی بود که از طریق آن رفتارهای کنترل نایمن شناسایی گردید و شامل خوردگی، فرسودگی لوله ها و اتصالات (خوردگی محیطی لوله، خوردگی ناشی از محیط اسیدی)، عایق نامناسب خطوط انتقال در برابر عوامل محیطی، کیفیت نامناسب مواد به کار رفته در خطوط و تجهیزات،

تمرکز این تحقیق تحلیل مسائل ایمنی در خط لوله گاز میدان نفتی آذر با استفاده از روش STPA-BWM است، که خطرات و محدودیت های ایمنی در آن را شناسایی می کند. روش BWM با STPA برای تعیین کمیت خطرات شناسایی شده ادغام شد. نتایج نشان داد که بازرسی فنی بسیار مهم است، مهم ترین محدودیت

^۱ unsafe control action

جوشکاری نامناسب محل اتصالات خطوط لوله و تأیید نشدن تست‌های RT-PT, MT، انجام ندادن آزمایشات هیدرواستاتیک خطوط لوله بعد از اتمام عملیات لوله‌گذاری و قبل از بهره‌برداری و عملیات پیک‌رانی نادرست شناسایی شد و سناریوی ایجاد حوادث، تجزیه و تحلیل و بررسی رفتارهای کنترل نایمن انجام گرفت. در نهایت، نتایج کمی از BWM برای توسعه یک استراتژی کنترل ریسک برای خط لوله گاز، روش‌شناسی حوادث احتمالی را شناسایی کرد که ناشی از خرابی اجزای سیستم و فعل و انفعالات نایمن اجزا بود که به وضوح خطرات حوادث را مشخص می‌کند. کمی شدن خطرات با استفاده از روش BWM کمک شایانی برای انجام اقدامات کنترلی جهت اقدامات نایمن U3-U11-U15-U16-U17-U20 دارد، چون وزن بالاتری نسبت به بقیه دارند و باید برای مهار آن‌ها اقدامات کنترلی را نسبت به بقیه بیشتر مورد توجه قرار داد. با این حال، هنوز محدودیت‌هایی برای این مطالعه وجود دارد. تجزیه و تحلیل با استفاده از STPA-BWM نیاز به بررسی بیشتر دارد. رایی حق و همکاران (۲۰۲۳) از منطق فازی برای مدل‌سازی عدم قطعیت و ارائه مدلی جهت ارزیابی ریسک خطوط لوله با استفاده از روش مالباير و نرم‌افزار متلب انجام دادند، نتایج نشان داد که روش پیشنهادی، نتایج دقیق‌تر و صحیح‌تری را نسبت به روش‌های سنتی ارائه می‌دهد. در مقاله حاضر از روش BWM و STPA استفاده شده است که روش STPA بر خلاف روش‌های سنتی دید جامع‌نگر دارد و استفاده از آن به همراه BWM باعث می‌شود ارزیابی خطوط لوله گاز هم به صورت کمی و هم کیفی مورد بررسی قرار گیرد. احمدزاده و همکاران (۲۰۲۰) ارزیابی ریسک‌های زیست‌محیطی احداث خط لوله گاز را با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره تلفیقی (VIKOR و ENVID) برای تخمین میزان ریسک‌های پروژه استفاده کردند و در مطالعه حاضر علاوه بر استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره برای ارزیابی خطرات از روش جامع‌نگر STPA استفاده شده است. سان‌هی و همکاران (۲۰۲۳) ارزیابی ریسک کار گرم خطوط لوله نفت و گاز بر اساس AHP-FCE را انجام دادند، ابتدا عوامل خطر با استناد به تجزیه و تحلیل ایمنی شغلی^۱ (JSA) تعیین شده و سپس از کارشناسان دعوت شد تا پرسشنامه‌ای را برای جمع‌آوری نظرات خود پر کنند. با توجه به نتایج پرسشنامه، برای محاسبه ضرایب وزنی شاخص‌های ارزیابی از AHP و برای ارزیابی سطح

ریسک کار داغ از FCE استفاده کردند و ریسک را فقط به صورت کمی مورد بررسی قرار دادند ولی در پژوهش حاضر ریسک خط لوله به صورت کمی و کیفی مورد ارزیابی قرار گرفته است. یوچی‌دو و همکاران (۲۰۲۳) روش ارزیابی ریسک شبکه‌های خطوط لوله گاز بر اساس فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی و ضریب تغییرات بهبود یافته را مورد بررسی قرار دادند، در این کار، بر اساس داده‌های شبکه‌های خطوط لوله گاز و اطراف آن، روش سنتی ارزیابی ریسک برای شبکه‌های خطوط لوله گاز از نظر سیستم شاخص و تعیین معیارهای وزن‌دهی و امتیازدهی با استفاده از روش‌های آماری بهبود یافت، در نهایت، یک روش ارزیابی یکپارچه خطی برای محاسبه مقادیر ریسک نسبی مقاطع لوله برای دستیابی به رتبه‌بندی و طبقه‌بندی ریسک استفاده شد. استفاده از روش STPA در این پژوهش نشان داد که این متد به دلیل دیدگاه سیستماتیک و جامع‌نگر خود، می‌تواند به شناسایی و کاهش ریسک‌های موجود در خطوط انتقال گاز کمک شایانی کند. این روش به ما این امکان را می‌دهد تا تعاملات پیچیده بین انسان، ماشین و تکنولوژی را بهتر درک کنیم. این رویکرد نه تنها خطرات را شناسایی، بلکه راهکارهای مؤثری برای کاهش و مدیریت آن‌ها ارائه می‌دهد. نتایج کمی BWM همراه با نتایج تحلیلی STPA می‌تواند خطر استراتژی‌های کنترل برای تصمیم‌گیرندگان را ایجاد کند. شناسایی ۲۰ اقدام نایمن و ۷ اقدام کنترلی، نشان‌دهنده ضرورت پایش و بهبود مداوم در فرآیندهای عملیاتی است که عدم توجه به این عوامل می‌تواند منجر به حوادث جدی از جمله آتش‌سوزی و انفجار شود. رعایت استانداردهای ایمنی و انجام بازرسی‌های منظم می‌تواند به کاهش حوادث و خطرات کمک کند. نصب آلارم‌های حساس به نشت گاز و برقراری سیستم‌های بازرسی منظم می‌تواند به شناسایی و رفع مشکلات قبل از بروز حوادث کمک کند. آموزش مداوم کارکنان در زمینه ایمنی و رعایت دستورالعمل‌ها از دیگر عوامل کلیدی در این راستا هستند. نتایج حاصل از پرسشنامه نشان‌دهنده اهمیت بالای عوامل انسانی و تجهیزات در ایجاد حوادث است. به ویژه، خطاهای انسانی و عدم رعایت استانداردهای بازرسی فنی از مهم‌ترین عوامل شناسایی شده‌اند. سیستم‌های بازرسی و کنترل به طور منظم مورد بازرسی قرار گیرند. بر روی بهبود کیفیت مواد و تجهیزات استفاده شده در خطوط انتقال گاز تمرکز شود. در نهایت، با توجه به پتانسیل‌های موجود در میدان نفتی آذر و اهمیت

^۱ Job safety analysis

استفاده از فناوری‌های نوین مانند حسگرها و سیستم‌های هوشمند برای نظارت بر وضعیت خطوط انتقال است. سرمایه‌گذاری در تجهیزات و فناوری‌های جدید، به‌کارگیری تجهیزات مدرن و فناوری‌های جدید که می‌توانند به کاهش خطرات و افزایش ایمنی کمک کنند. در نهایت، توجه به مدیریت ریسک و ایمنی در میدان نفتی آذر و دیگر میادین نفتی کشور، با توجه به وابستگی روزافزون اقتصاد ایران به منابع نفت و گاز، اتخاذ راهکارهای مؤثر در این زمینه ضروری است.

آن در تأمین انرژی کشور، توجه به مدیریت ریسک و ایمنی در این حوزه ضروری است. این موضوع نه تنها به حفظ منابع طبیعی کمک می‌کند، بلکه به کاهش خطرات زیست‌محیطی و اجتماعی نیز منجر خواهد شد. ایجاد برنامه‌های آموزشی منظم، برگزاری کارگاه‌ها و دوره‌های آموزشی برای کارکنان به منظور افزایش آگاهی نسبت به خطرات و روش‌های ایمنی. بهبود سیستم‌های بازرسی و نظارت، توسعه و به‌روزرسانی سیستم‌های بازرسی به‌منظور شناسایی و رفع مشکلات پیش از بروز این حوادث شامل

References

1. Adibi O, Najafpour N, Farhanieh B, Afshin H. Determination of safety distance around gas pipelines using numerical methods. *International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering*. 2018 ;3:12(2):120-4. doi: scholar.waset.org/1307-6892/10008545.
2. Ahmadzade SH, Robati M, Nikoomaram H. Environmental Risk Assessment for Gas Pipeline Construction Using the Multi-Index Compilation Decision Method (Case study: Gachsaran to Bidboland). *Environmental science and technology*. 2020; 22;59-74.doi : 10.22034/jest.2021.38743.4416. [In Persian.]
3. Bagheri M, Badri N, Rashtchian D, Iqbalian H. Determining the safety of sour gas transmission pipelines by the method of quantitative risk assessment. *Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering*. 2013; 32(2): 57-71. https://www.nsmsi.ir/article_6714.html. [In Persian.]
4. Dwivedi R, Prasad K, Mandal N, Singh S, Vardhan M, Pamucar D. Performance evaluation of an insurance company using an integrated Balanced Scorecard (BSC) and Best-Worst Method (BWM). *Decision Making: Applications in Management and Engineering*. 2021 ;13;4(1):33-50.doi: 10.31181/dmame2104033d.
5. Feng Y, Gao J, Yin X, Chen J, Wu X. Risk assessment and simulation of gas pipeline leakage based on Markov chain theory. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2024 ;10:105370.doi:10.1016/j.jlp.2024.105370.
6. Karami J, Karimi S. HSE Hazard Analysis in Iran Yasa Rubber Industry Using the Approach HEMP& BOW-TIE. *ohhp* 2019; 3 (1) :51-62. Doi: 10.18502/ohhp.v3i1.964.[In Persian.]
7. Karevan A, Nadeau S. A comprehensive STPA-PSO framework for quantifying smart glasses risks in manufacturing. *Heliyon*. 2024 ; 15;10(9).doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e30162.
8. Khan S, Kaushik MK, Kumar 14.R, Khan W. Investigating the barriers of blockchain technology integrated food supply chain: a BWM approach. *Benchmarking: An International Journal*. 2023 ;21;30(3):713-35.. doi: 10.1108/BIJ-08-2021-0489.
9. Muniz MV, Lima GB, Caiado RG, Quelhas OL. Bow tie to improve risk management of natural gas pipelines. *Process safety progress*. 2018;37(2):169-75.. doi: 10.1002/prs.11901.
10. Nezir A, Sukran S, Ceyda S. A new risk assessment framework for safety in oil and gas industry: Application of FMEA and BWM based picture fuzzy MABAC. *Journal of Petroleum Science and Engineering*.2022;219.doi : <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2022.111059>.
11. Leveson N. *Engineering a Safer World Systems Thinking Applied to Safety*. 9780262533690. The MIT Press;2016.
12. Parsa Rad A, Khalilzadeh M, Banihashemi SA, Božanić D, Milić A, Ćirović G. Supplier Selection in Downstream Oil and Gas and Petrochemicals with the Fuzzy BWM and Gray COCOSO Methods Considering Sustainability Criteria and Uncertainty

- Conditions. Sustainability. 2024;16(2):880. doi: 10.3390/su16020880.
13. RaeHaqh, Behbahani Nia, Al Agha, and Mina Makki. Applying fuzzy inference in the evaluation system of sour gas pipelines. Occupational health and safety.2023; 13(2): 345-367.doi: 20.1001.1.2251807.1402.13.2.9.8.
 14. San He , Huilan Xu, Jianxiong Zhang, Peiqiang Xue. Risk assessment of oil and gas pipelines hot work based on AHP-FCE. Petroleum.2023;1:94-100. Doi : <https://doi.org/10.1016/j.petlm.2022.03.006>.
 15. Sulaman SM, Beer A, Felderer M, Höst M. Comparison of the FMEA and STPA safety analysis methods—a case study. Software quality journal. 2019 ; 15;27:349-87.. doi: 10.1007/s10664-005-1290-x
 16. Sultana S, Okoh P, Haugen S, Vinnem JE. Hazard analysis: Application of STPA to ship-to-ship transfer of LNG. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2019;60:241-52. doi: 10.1016/j.jlp.2019.04.005.
 17. Wafia B, Mounira R, , Yiliu L, Mohammed Salah M. Comparative Study of STPA and Bowtie Methods: Case of Hazard Identification for Pipeline Transportation. ASM International. 2020;20:2003-2016. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11668-020-01010-9>.
 18. Wang W, Zhang Y, Li Y, Hu Q, Liu C, Liu C. Vulnerability analysis method based on risk assessment for gas transmission capabilities of natural gas pipeline networks. Reliability Engineering & System Safety. 2022 ;218:108150.. doi: 10.1016/j.jlp.2024.105370.
 19. Wallenius J, Dyer J, Fishburn P, Steuer R, Zionts S, Deb K. Multiple Criteria Decision Making, Multiattribute Utility Theory: Recent Accomplishments and What Lies Ahead. Management Sciences.2008;doi: DOI:10.1287/MNSC.1070.0838.
 20. Youssef, A. E. An integrated MCDM approach for cloud service selection based on TOPSIS and BWM. IEEE Access.2020; 8:71851-71865. doi: 10.1109/ACCESS.2020.2987111.
 21. Yuji DU, Ming FU, Weike DUANMU, Longfei HOU, Jing LI. Risk assessment method of gas pipeline networks based on fuzzy analytic hierarchy process and improved coefficient of variation. Journal of Tsinghua University (Science and Technology). 2023;63:6.941-950.doi : 10.16511/j.cnki.qhdxxb.2023.22.010.
 22. Yu X, Liang W, Zhang L, Reniers G, Lu L. Risk assessment of the maintenance process for onshore oil and gas transmission pipelines under uncertainty. Reliability engineering & system safety. 2018 ; 1;177:50-67.. doi: 10.1016/j.jlp.2024.105370.



Application of STPA-BWM model to evaluate the safety of Azar oil field gas transmission pipelines based on reliability

Bahareh Lellahizadeh

Department of Safety, Health and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Hassan Mihanparast

Department of Safety, Health and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Simin Dokht Zinali

Department of Safety, Health and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Farham aminsharei*

Department of Safety, Health and Environment, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran

Majid Afshar

Department of Safety, Health and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Extended Abstract

Received: 12 Nov 2024**Accepted:** 19 Dec 2024**Keywords:** Evaluation - pipeline - reliability - risk - Azar oil field - STPA - BWM

Introduction: The importance of oil and gas in the world since their discovery until now both in terms of energy production and in terms of providing the raw materials needed for the production of industrial goods, is not hidden from anyone. Due to the spread of lines in various institutional or even residential areas as well as the high potential of vulnerability the safety of pipelines is of particular importance.

Materials and Methods: In this research (a case study of the oil industry startup and operation company - Azar oil field project located in Ilam province) the factors related to fire and explosion in these lines have been investigated based on the analysis of the BWM-STPA integrated system theory process.

Results and Discussion: After completing the questionnaire, weight was given to the criteria (safety, technical inspection, non-operating protection, design, construction, and maintenance) and it was found that question 16 of the questionnaire related to the technical inspection criteria has the highest weight, the average of which is 4.52 and Question 9 of the questionnaire related to non-agent defense has the lowest weight, the average of which is 3.05. The best criterion is technical inspection and the worst criterion is non-functional defense. The BWM-STPA method effectively ranks the identified risks and indicates that the technical inspection factor is the most severe risk in the gas pipeline. This is followed by a leak in the gas pipeline an explosion and a fire. Risk quantification using the BWM method is helpful in carrying out control measures for unsafe measures U3-U11-U15-U16-U17-U20, because they have a higher weight than the others.

Conclusion: As a result 7 control actions (CA) and 20 unsafe control actions (UCA) and 4 identification scenarios have been defined. Quantitative and qualitative risk assessment of Azar oil field gas pipeline provides a basis for increasing its safety and reliability. In the obtained results, it is suggested to provide continuous training for employees in the field of safety and compliance with instructions. Inspection and control systems are reviewed regularly. Focus on improving the quality of materials and equipment used in gas transmission lines.

Corresponding author: Farham aminsharei**Address:** Department of Safety, Health and Environment, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran**Tel:** +989396017761**Email:** aminsharei.fa@gmail.com**Citation:** Lellahizadeh B, Mihanparast H, Dokht Zinali S, Aminsharei F, Afshar M. Application of STPA-BWM model to evaluate the safety of Azar oil field gas transmission pipelines based on reliability. 2024; 2(7): 29-43

© 2024, This article published in Journal of New Researches in Environmental Engineering (JNREE) as an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>). Non-commercial use, distribution and reproduction of this article is permitted in any medium, provided the original work is properly cited.



کاربرد هوش مصنوعی در بهبود مدیریت پسماندهای ساختمانی: مطالعه‌ای بر سیستم‌های یکپارچه در شهر اصفهان

دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، واحد سبزوار، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران
استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد سبزوار، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

محمدرضا طباطبایی
هادی شکیبازاهد*

چکیده مبسوط

مقدمه: با توجه به افزایش تولید پسماند و دل‌نگرانی‌های حاصل از خسارات اکولوژیکی ناشی از آن‌ها، سیاست‌گذاری مدیریت پسماند از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار شده است. پسماند محصول جانبی فعالیت‌های انسانی و شامل انواع پسماندهای خانگی، پزشکی، کشاورزی، صنعتی، تجاری، ویژه و خطرناک است. بازیابی نخاله‌های ساختمانی می‌تواند نیاز به انرژی، منابع طبیعی، منابع استخراج و زمین لازم برای دفن بهداشتی و کنترل شده را کاهش دهد. در این میان صنعت ساخت‌وساز با چالش‌های متعددی نظیر هزینه‌های بالا، زمان طولانی پروژه‌ها، مسائل ایمنی و سلامت، و کمبود نیروی کار مواجه است. به علاوه، این صنعت در مقایسه با دیگر صنایع، به‌طور محدود دیجیتالی شده که بر پیچیدگی‌ها و مشکلات آن افزوده است. یکی از فناوری‌های نوین که می‌تواند به حل این مسائل کمک کند، هوش مصنوعی است. هدف از پژوهش حاضر بررسی نقش و کاربرد هوش مصنوعی در سیستم مدیریت پسماند ساختمانی در شهر اصفهان است و این هدف با فرض اینکه تصمیم‌گیری مبتنی بر هوش مصنوعی در مدیریت پسماند ساختمانی در شهر اصفهان نقش دارد دنبال می‌شود.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۲۶

مواد و روش‌ها: این پژوهش به بررسی نقش هوش مصنوعی در سیستم مدیریت پسماندهای ساختمانی در شهر اصفهان پرداخته است. برای این منظور، داده‌ها از طریق اسناد و مطالعات میدانی در مناطق مختلف شهر اصفهان جمع‌آوری و با استفاده از نرم‌افزارهای آماری مانند SPSS و Smart PLS تجزیه و تحلیل شدند.

نتایج و بحث: نتایج نشان داد که استفاده از فناوری‌هایی همچون هوش مصنوعی و سنسورها می‌تواند به بهینه‌سازی فرآیندهای جمع‌آوری و پردازش پسماندهای ساختمانی کمک کند. به‌ویژه، استفاده از سنسورها برای نظارت بر میزان پر شدن سطل‌های پسماند، بهینه‌سازی مسیر جمع‌آوری با استفاده از GPS، و بهره‌گیری از سطل‌های هوشمند برای تفکیک و فشرده‌سازی پسماند از جمله راهکارهای موثر به‌شمار می‌آیند. همچنین، هدایت جریان پسماندها به سوی فناوری‌های پیشرفته مانند بازیافت و پسماندسوزی، می‌تواند به کاهش هزینه‌ها و آلاینده‌ها کمک کند. طبق نتایج به دست آمده بیش‌ترین میزان همبستگی بین شاخص کاربرد هوش مصنوعی با مدیریت پسماند ساختمانی ۰/۸۲ و بعد از آن بین شاخص هوش مصنوعی با شهر اصفهان ۰/۷۹ و سپس شاخص مدیریت پسماند ساختمانی با شاخص شهر اصفهان ۰/۶۷ است که بیانگر تأثیرگذاری شاخص‌های کاربرد هوش مصنوعی بر مدیریت پسماند ساختمانی در شهر اصفهان است.

واژه‌های کلیدی:

دیجیتال‌سازی صنعت
ساخت‌وساز، هوش مصنوعی،
تکنولوژی‌های پیشرفته در
مدیریت پسماند

نتیجه‌گیری: این یافته‌ها نشان می‌دهند که هوش مصنوعی می‌تواند به بهبود کارایی و کاهش اثرات زیست‌محیطی سیستم‌های مدیریت پسماند ساختمانی در شهر اصفهان کمک کند. در این راستا، جداسازی مواد قابل بازیافت در مرحله تولید و در مبدأ، به دلیل سهولت، صرفه‌جویی در زمان و هزینه و کاهش آلودگی و تخریب کمتر مواد قابل بازیافت بسیار مطلوب، کارآمدتر و کاربردی‌تر است.

نویسنده مسئول: هادی شکیبازاهد

نشانی: استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد سبزوار، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

استناد: طباطبایی محمدرضا، شکیبازاهد هادی. کاربرد هوش مصنوعی در بهبود مدیریت پسماندهای ساختمانی: مطالعه‌ای بر سیستم‌های یکپارچه در شهر اصفهان. پژوهش‌های نوین

در مهندسی محیط زیست. ۱۴۰۳؛ (۷)۲: ۴۴-۶۱.

حقوق نویسندگان محفوظ است. این مقاله با دسترسی آزاد و تحت مجوز مالکیت خلاقانه <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0> در فصلنامه پژوهش‌های نوین در مهندسی محیط زیست منتشر شده است. هرگونه استفاده غیرتجاری فقط با استناد و ارجاع به اثر اصلی مجاز است.



مقدمه

صنعت ساخت‌وساز نقش مهمی در توسعه اجتماعی و اقتصادی ایفا می‌کند. چراکه حدود ۲۵ درصد از تولید ناخالص داخلی جهان را تشکیل داده و ۷ درصد از جمعیت را به کار می‌گیرد (نوروزی و همکاران ۲۰۲۱). در اتحادیه اروپا، در سال ۲۰۲۰ حدود ۱۸ میلیون نفر در بخش ساخت‌وساز مشغول به کار بودند (بناچیو و همکاران ۲۰۲۰). با این حال، این بخش مسئول مصرف بالای منابع اولیه و تولید انبوه پسماند است. در سطح جهانی، تخمین زده می‌شود که صنعت ساختمان بیش از ۳۰ تا ۴۰ درصد از کل منابع طبیعی استخراج شده را مصرف می‌کند (دارکو و همکاران ۲۰۲۰، پورچز و همکاران ۲۰۲۱). حدود ۲۵ تا ۴۰ درصد از کل زباله‌های جامد را تولید می‌کند (نصیر و همکاران ۲۰۱۷) و تا ۲۵ درصد از انتشار گازهای گلخانه‌ای CO2 را به خود اختصاص می‌دهد (ماهپور ۲۰۱۸). در اتحادیه اروپا، در سال ۲۰۲۰ تولید زباله‌های ساختمانی و تخریب حدود ۷۴۷.۳ میلیون تن بود که معادل ۱۶۸۵ کیلوگرم به ازای هر نفر است. با افزایش جمعیت انسانی میزان تولید پسماند افزایش یافته است و به تبع آن نیاز به زمین برای دفن زباله افزایش یافته است (ضرابی و همکاران ۱۳۹۱، اجاقی و همکاران ۲۰۲۱). مسئولیت جمع‌آوری، انتقال، پردازش و دفن زباله در اختیار شهرداری‌ها می‌باشد که این امر نیاز به هزینه، تجهیزات و نیروی انسانی دارد (شریف زاده ۱۳۸۹، اولیائی و فتائی ۲۰۱۶). مواد زاید جامد شهری شامل ضایعات آلی و غیر آلی مانند بسته‌بندی محصول، شیشه، پلاستیک، غذا، بطری و مواد چوبی است که از منابع خانگی، تجاری، موسسات اداری، نخاله و پسماند ساختمانی، فضای سبز شهری و تصفیه فاضلاب در شهرها تولید می‌گردند. مواد زاید شهری طیف وسیعی را تشکیل می‌دهند که از نظر منبع و خواص فیزیکی و شیمیایی بسیار متنوع هستند (حسین و همکاران ۲۰۲۲، زودسکا ۲۰۰۰). برای دستیابی به توسعه پایدار، باید پسماندها به طور دقیق و با هزینه مؤثر مدیریت شوند و اصول اقتصاد دایره‌ای به کار گرفته شود (جونسو و همکاران ۲۰۲۰، آلی و همکاران ۲۰۲۲). در این راستا پارلمان اروپا و کمیسیون، دستورالعمل شماره ۲۰۰۸/۹۸ را صادر کردند که بر اساس آن، کشورهای عضو اتحادیه اروپا ملزم شدند تا میزان بازیافت زباله‌ها را از سال ۲۰۲۰ به حداقل ۷۰ درصد وزنی افزایش دهند. اگرچه میزان بازیافت زباله‌های ساختمانی در اتحادیه اروپا به طور کلی تقریباً ثابت مانده و در حدود ۹۰ درصد است، اما سهم بازیافت در برخی کشورها به طور جزئی کاهش یافته است. در سطح جهانی، کشورهایی که به سرعت در حال توسعه هستند، مانند چین که سالانه ۲ میلیارد تن زباله ساختمانی تولید می‌کند، حتی از مجموع تولید زباله‌های ساختمانی و تخریب در تمامی

کشورهای اتحادیه اروپا پیشی گرفته‌اند (ژنگ و همکاران ۲۰۱۷). متداول‌ترین مواد بازیافتی از زباله‌های ساختمانی و تخریب، علاوه بر خاک، بتن و سرامیک هستند که معمولاً برای استفاده در خاک‌ریزها، پشت‌بندها، پرکننده‌ها، یا بسترهای زیر دال‌های فونداسیون یا سنگ‌فرش‌ها به کار می‌روند. به ندرت، قطعات بازیافتی به عنوان سنگ‌دانه در تولید مخلوط‌های بتن جدید یا به عنوان ریزپرکننده‌ها استفاده می‌شوند (کلوزک و همکاران ۲۰۲۰، نرکا و همکاران ۲۰۲۰، پروسک و همکاران ۲۰۲۳، والتین و همکاران ۲۰۲۱). عامل محدودکننده اصلی در ارزش‌گذاری زباله‌های ساختمانی خرد شده در کاربردهایی مانند تولید بتن، مرتب‌سازی نامناسب است (هونگ و همکاران ۲۰۲۰). سو (۲۰۲۰) در یک مطالعه تکاملی چندعاملی به این نتیجه رسید که تحقیقات در زمینه طبقه‌بندی زباله‌های ساختمانی و تخریب بیش‌ترین پتانسیل را برای ترویج بازیافت و استفاده مجدد دارند. دیویس و همکاران (۲۰۲۱) نیز اشاره کردند که طبقه‌بندی خودکار مواد زباله‌های ساختمانی و تخریب به طور قابل توجهی هزینه‌های مربوط به مرتب‌سازی را کاهش می‌دهد. مجموعه ادبیات فعلی آینده امیدوارکننده‌ای را برای هوش مصنوعی در مدیریت زباله و بازیابی منابع نشان می‌دهد. با این حال، پژوهش‌های بیش‌تری برای کشف پتانسیل کامل هوش مصنوعی در زمینه‌های متنوع و گسترده‌تر مورد نیاز است. مطالعات آتی باید روی غلبه بر مسائل کیفیت داده‌ها، توسعه مدل‌های هوش مصنوعی سازگار که می‌توانند تنوع در انواع و حجم زباله‌ها را مدیریت کنند، و ایجاد محیط‌های نظارتی حمایتی که نوآوری‌های فناورانه در مدیریت زباله را تسهیل می‌کند، تمرکز کنند. در کشور در حال توسعه ایران، با افزایش روزافزون جمعیت و از طرفی افزایش تمایل به زندگی شهرنشینی، نیاز روزافزون به مسکن احساس می‌شود. ادبیات موجود آینده‌ای امیدوارکننده برای کاربرد هوش مصنوعی در مدیریت پسماند و ارزیابی منابع ترسیم می‌کند. با این حال، تحقیقات بیش‌تری لازم است تا پتانسیل کامل هوش مصنوعی در زمینه‌های مختلف و به ویژه در حوزه‌های گسترده‌تر، آشکار شود. مطالعات آینده باید به منظور غلبه بر مشکلات کیفیت داده‌ها، مدل‌های هوش مصنوعی تطبیقی را توسعه دهند که قادر به مدیریت تنوع انواع و حجم پسماندها باشند. هم‌چنین، این مطالعات باید بر ایجاد محیط‌های نظارتی متمرکز شوند که نوآوری‌های فناوری در مدیریت پسماند را تسهیل کنند. آواد و مالیک (۲۰۲۴) در تحقیقی با عنوان چارچوب تصمیم‌گیری برای انتخاب محل دفن زباله در عربستان سعودی با استفاده از هوش مصنوعی قابل توضیح و تجزیه و تحلیل چندمعیاره بیان

کردند که این پژوهشگرها روی تعامل پارامترهای ژئوفیزیکی، ژئو اکولوژیکی و اجتماعی - اقتصادی تمرکز کرده و از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی برای وزن‌دهی پارامترها برای رسیدگی به چالش‌های انتخاب مکان بهره بردند و سپس یک نقشه شاخص به نام شاخص بالقوه مکان دفن زباله ارائه دادند که تمام پارامترهای کلیدی را برای نشان‌دادن مناطق مناسب برای مکان‌های دفن زباله یکپارچه می‌کرد. مینگ و همکاران (۲۰۲۴) در تحقیقی با عنوان هوش مصنوعی به‌عنوان محرک کارایی در مدیریت زباله و بازیابی منابع معاملات بین‌المللی در زمینه هوش مصنوعی نشان دادند که هوش مصنوعی می‌تواند دقت طبقه‌بندی زباله، پیش‌بینی حجم زباله و شناسایی فرصت‌های بازیابی منابع را به میزان قابل‌توجهی بهبود بخشد. پیاده‌سازی راه‌حل‌های هوش مصنوعی در این پژوهش منجر به افزایش ۱۵ درصدی کارایی بازیابی منابع و کاهش ۲۰ درصدی در هزینه‌های عملیاتی شد. پیتاکاسو و همکاران (۲۰۲۴) در تحقیقی با عنوان هوش مصنوعی پیشرفته برای سیستم طبقه‌بندی زباله‌های شهری عفونی بیان کردند که این پژوهش‌گرها با استفاده از تکنیک‌های پیشرفته هوش مصنوعی، دسته‌بندی و بهینه‌سازی زباله‌های عفونی را اولویت‌بندی کردند و یک چارچوب دوگانه قوی ایجاد کردند. تقویت تصویر هندسی نوآورانه استحکام مدل را افزایش داد، داده‌های آموزشی را متنوع کرد و دقت را در انواع زباله‌ها بهبود بخشید، به‌طوری‌که نتایج محاسباتی، دقت این مدل را بیش از ۹۶/۵۴ درصد نشان داد. گائو و همکاران (۲۰۲۴) در تحقیقی با عنوان بررسی یادگیری ماشین در مدیریت زباله‌های ساخت‌وساز و تخریب بیان می‌کنند که یادگیری ماشین در چهار حوزه اصلی و ۱۵ زیرشاخه، به‌طور خاص در زمینه‌های تولید زباله‌های ساخت‌وساز و تخریب، جابجایی در محل، حمل‌ونقل و دفع استفاده می‌شود. مدل‌های مختلفی مانند شبکه‌های عصبی مصنوعی، یادگیری عمیق، شبکه‌های عصبی پیچیده و ماشین‌های بردار پشتیبان، اثربخشی خود را در فرآیندهای مختلف مدیریت زباله‌های ساخت و ساز و تخریب نشان داده‌اند. فدوی (۱۴۰۱) در بررسی روشی نوین در مدیریت پسماند با کمک هوش مصنوعی و اینترنت اشیا نشان داد که هشت راه اساسی برای استراتژی مدیریت پسماند وجود دارد که هر کدام به دسته‌های مختلفی تقسیم می‌شوند. آن‌ها شامل بازیافت و استفاده از زباله، خوراک دام، بازیافت، کمپوست‌سازی، تخمیر، دفن زباله، سوزاندن و کاربرد خاک است. ما چندین تکنیک صوتی مانند احیا و استفاده از زباله برای کمک به استفاده مجدد از مواد قابل‌بازیافت را بررسی می‌کنیم. خوشبختانه، اینترنت اشیا می‌تواند در هر مرحله از مدیریت زباله کمک کند. دوستی و بیژنی (۱۴۰۰) در بررسی استفاده از هوش مصنوعی در پیش‌بینی دبی بحرانی مایعات زباله

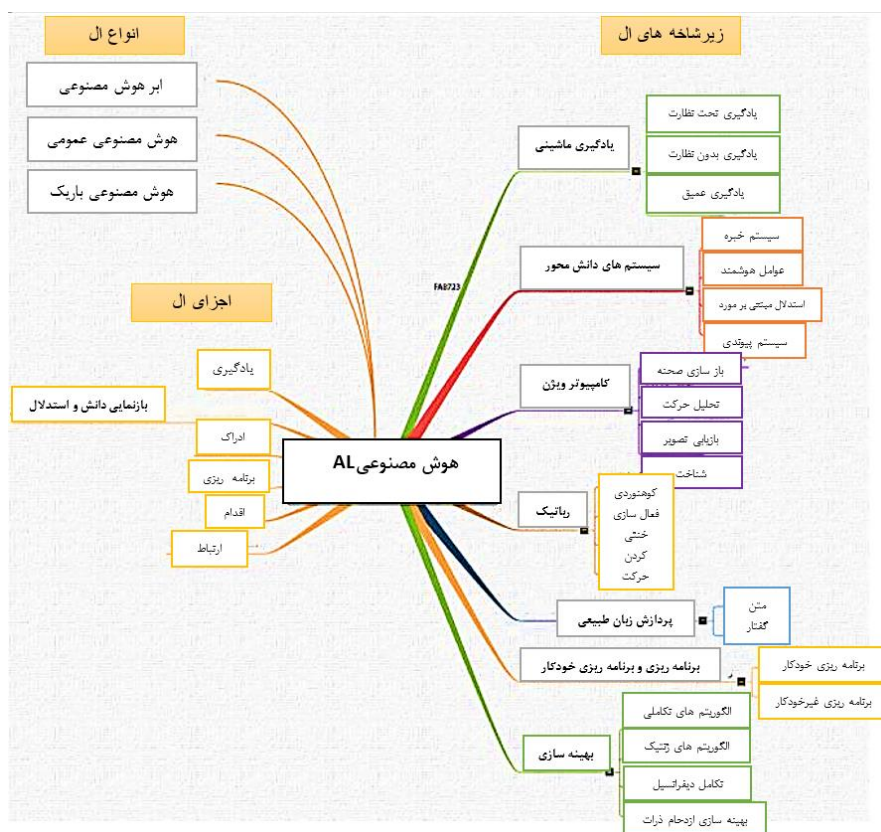
در چاه‌های گاز بیان نمودند که یکی از این چالش‌ها هدررفت مایعات در چاه‌های گاز است که ناشی از افت فشار در مخزن و کاهش دبی تولید گاز پس از یک دوره تولید از چاه است. تجمع قطرات مایع در چاه گاز می‌تواند با تشکیل ستونی از مایع از تولید گاز جلوگیری کند و سرمایه زیادی از تولید گاز به صفر می‌رسد. به همین دلیل لازم است با تنظیم دبی به مقداری بالاتر از نرخ بحرانی قبل از وقوع این پدیده به کاهش وقوع این پدیده کمک کرد تا تولید از چاه گاز ادامه یابد و سرمایه فراوان گاز به‌وجود آید. تولید از مخزن در دسترس است. تاکنون مطالعات زیادی در ارتباط با مدیریت پسماند و هوش مصنوعی صورت گرفته است، اما هیچ‌کدام به کاربرد هوش مصنوعی در مدیریت پسماند تمرکز نکردند. بیشتر کاربرد هوش مصنوعی در مدیریت منابع انسانی مانند مشخص کردن حقوق، غربالگری داوطلبان، اشتغال داوطلبان، مشارکت و توسعه کارکنان و غیره بوده است. اما پژوهش حاضر سعی در کاربرد هوش مصنوعی در مدیریت پسماند جهت حفظ محیط‌زیست در مقابل نخاله‌های ساختمانی دارد. هر ساله پسماندهای ساختمانی در حال افزایش است. انجام فعالیت‌های عمرانی امری لازم و اجتناب‌ناپذیر بوده که باعث توسعه وضعیت اجتماعی و اقتصادی می‌شود. اما تولید گردوغبار و سروصداها و مختلف نیز بر روی شرایط محیط‌زیست تاثیر زیادی خواهد گذاشت و ضایعات نیز نه تنها جلوه ناخوشایندی ایجاد کرده، بلکه سبب از بین بردن طبیعت بکر و دست‌نخورده خواهند شد. تجمع مصالح و ضایعات عمرانی باعث ایجاد مکان مناسب جهت رشد حشرات موذی و در نتیجه بروز بیماری و آلودگی خواهد شد. در برخی از مواقع انباشته شدن نخاله‌ها در کنار مناطق مسکونی، سلامت اهالی آن منطقه را تهدید کرده و پناهگاهی برای حیوانات و حشرات ایجاد می‌نماید. علاوه بر این مسائل، تخلیه نخاله‌ها در جاده‌ها و راه‌ها نیز منجر به آلودگی زیست‌محیطی شده و همچنین باعث ایجاد خسارت‌های مال و سد معبر بودن گردد.

مروری بر هوش مصنوعی و زیرشاخه‌های آن

ایده توسعه ماشین‌هایی با هوش انسانی به بسیاری از حوزه‌ها از جمله فلسفه، داستان، تخیل، محاسبات، الکترونیک و اختراعات فنی باز می‌گردد (بوکان ۲۰۱۵). آزمون آلن تورینگ (۲۰۱۹) نقطه عطفی در زمینه هوش مصنوعی بود، زیرا این آزمون فراتر از دیدگاه‌های الهیاتی سنتی و نتایج ریاضی در خصوص امکان‌پذیری ماشین‌های هوشمند را بررسی کرد. شصت سال پس از آن، ماشین‌های هوشمند در بسیاری از زمینه‌ها، به‌ویژه در یادگیری (ارتل ۲۰۱۸)، به پیشرفت‌های چشم‌گیری دست یافته‌اند و موفق‌تر از همیشه در بهره‌گیری از دستاوردهای فناوری‌های دیگر مانند داده‌های کلان و قدرت محاسباتی هستند (برینیولفسون و همکاران ۲۰۱۹). فرضیه‌های این تحقیق به شرح زیر می‌باشند:

هدف از انجام این مطالعه بهینه سازی فرآیند تخریب، بازیافت و کاهش زباله های ساختمانی با استفاده از یادگیری ماشین و بررسی امکان ایجاد سیستم یا نرم افزار مدیریت پسماند ساختمانی مبتنی بر هوش مصنوعی در شهر اصفهان می باشد.

الف) مهارت های هوش مصنوعی در مدیریت پسماند ساختمانی در شهر اصفهان نقش دارد.
ب) تمایل به هوش مصنوعی در مدیریت پسماند ساختمانی در شهر اصفهان نقش دارد.



شکل ۱- اجزاء، انواع و زیرشاخه های هوش مصنوعی

مواد و روش ها

روند کاربرد هوش مصنوعی در صنعت ساخت و ساز

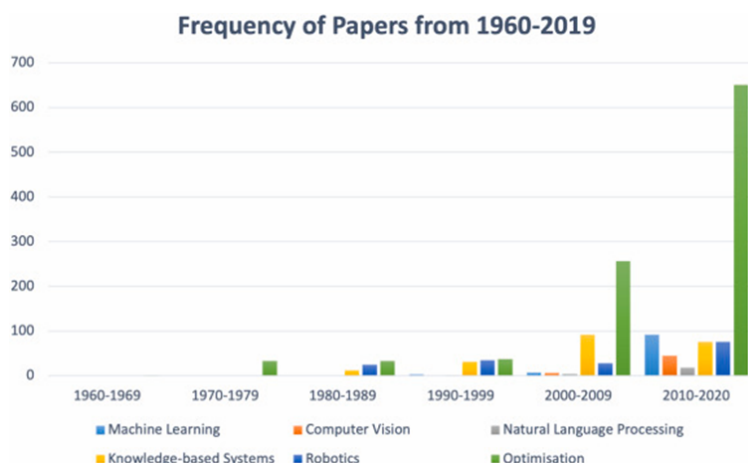
رف و همکاران (۲۰۲۰) در تعریف هوش مصنوعی بیان می کنند که «هوش مصنوعی مطالعه چگونگی وادار کردن ماشین ها به انجام کارهایی است که در حال حاضر انسان ها بهتر از ماشین ها انجام می دهند»، که به خوبی مفهوم هوش مصنوعی را بیان می کند. شکل ۱ یک نمای کلی از انواع، اجزا و زیرشاخه های هوش مصنوعی را نشان می دهد. سه نوع اصلی هوش مصنوعی وجود دارد: هوش مصنوعی محدود (باریک)، هوش مصنوعی عمومی و هوش مصنوعی فوق العاده (یا ابرهوش). ابرهوش به توسعه ماشین هایی می پردازد که توانایی هایی فراتر از انسان در چندین حوزه دارند (بام و همکاران ۲۰۱۷).

اجزای اصلی هوش مصنوعی، همان طور که در شکل ۱ نشان داده شده است، عبارتند از:

۱- یادگیری، ۲- بازنمایی دانش، ۳- ادراک، ۴- برنامه ریزی، ۵- عمل و ۶- ارتباط (راسل و نوروینگ ۲۰۱۶). برخی از مطالعات نیز این اجزا را به عنوان وظایف قابل انجام توسط هوش مصنوعی در مقایسه با حواس انسان طبقه بندی کرده اند. شکل ۲ به وضوح روند افزایش تعداد انتشارات در حوزه هوش مصنوعی را از دهه ۱۹۶۰ به بعد نشان می دهد. در دهه ۱۹۶۰، استفاده از هوش مصنوعی هنوز در مراحل ابتدایی خود بود و تنها تعداد محدودی از نشریات به بررسی تکنیک های بهینه سازی می پرداختند. با گذشت زمان، بهینه سازی به یکی از حوزه های اصلی تحقیقاتی در کاربرد زیرشاخه های هوش مصنوعی

این صنعت بازمی‌گردد. علاوه بر این، رباتیک نیز با معرفی فناوری‌هایی مانند چاپ سه‌بعدی، اسکلت‌های بیرونی و هواپیماهای بدون سرنشین در فرآیندهای ساخت‌وساز، در خط مقدم کاربردهای هوش مصنوعی در این بخش قرار گرفته است (توریز و همکاران ۲۰۱۷). با این حال، پردازش زبان طبیعی همچنان کم‌ترین حوزه مورد مطالعه در صنعت ساخت‌وساز باقی مانده است.

در صنعت ساخت‌وساز تبدیل شد. این تغییر روند را می‌توان به تلاش طولانی‌مدت این بخش برای غلبه بر مشکلات بهره‌وری پایین نسبت داد. یکی دیگر از جنبه‌های مهم روند تحقیقات در طول سال‌ها این است که یادگیری ماشینی در دهه‌های اخیر از سیستم‌های مبتنی بر دانش پیشی گرفته و به زیرگروه مورد علاقه در صنعت ساخت‌وساز تبدیل شده است. این تحول به نیاز رو به رشد برای مقابله با کمبود نیروی کار و مهارت‌های تخصصی در

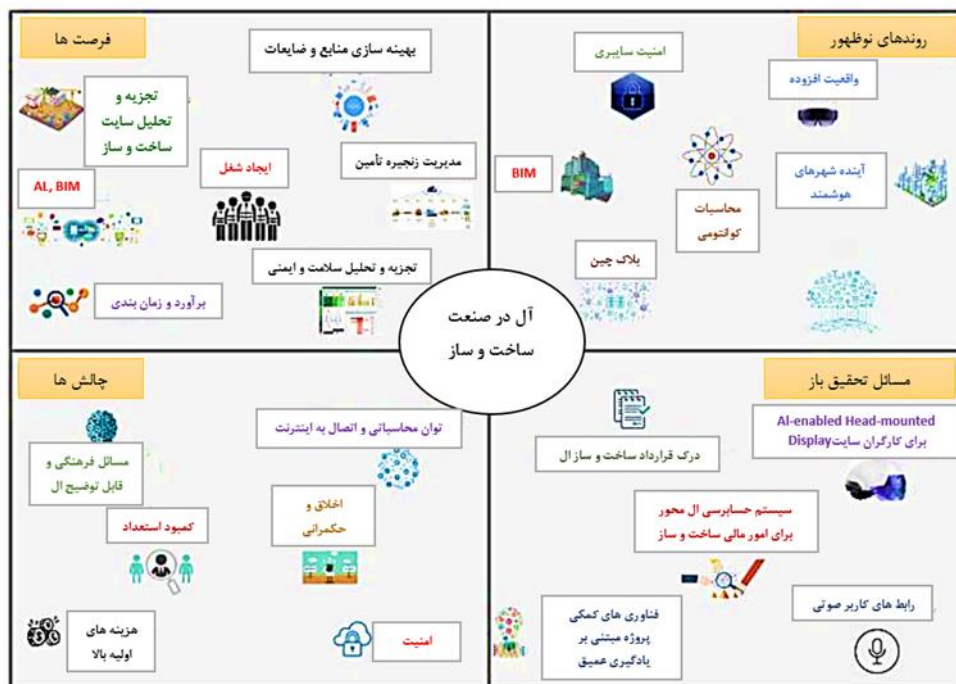


شکل ۲- فراوانی مقالات از ۱۹۶۰ تا ۲۰۲۰

استراتژی‌های ساخت‌وساز بستگی دارد که امکان انجام محاسبات با کارایی بالا و پردازش در زمان واقعی را فراهم می‌کند (آکینده و اویدل ۲۰۱۹). حجم زیاد داده‌ها نیازمند استفاده از تکنیک‌های تجزیه و تحلیل داده‌های پیشرفته است تا این داده‌ها به اطلاعات مرتبط و قابل استفاده برای به حداقل رساندن زباله تبدیل شوند. این امر مستلزم به‌کارگیری تکنیک‌های هوش مصنوعی برای مدیریت مؤثر زباله است (آکینده و همکاران ۲۰۱۹). به‌ویژه، استفاده از تکنیک‌های پیشرفته هوش مصنوعی همراه با بیم برای بهینه‌سازی طراحی ساخت‌وساز خارج از سایت، انتخاب مواد، استفاده مجدد و بازیابی، تدارکات کم‌مصرف، ساختار شکنی و انعطاف‌پذیری بسیار کارآمد است. جدول ۳ به‌طور خلاصه فرصت‌های پیشرفته و بالقوه در این زیردامنه را نشان می‌دهد. به امروز، این مطالعه فرصت‌ها و روندهای نوظهور را در کاربرد هوش مصنوعی در فرآیندهای ساخت‌وساز شناسایی کرده است. برای تقویت بیشتر این حوزه از دانش، شناسایی و بحث در مورد چالش‌های کلیدی ضروری است. شکل ۳ فرصت‌ها، روندهای نوظهور، چالش‌ها و مسائل تحقیقاتی باز در حوزه هوش مصنوعی در صنعت ساخت‌وساز را نشان می‌دهد.

بهینه‌سازی منابع و ضایعات

با توجه به توسعه مداوم و سریع صنعت ساخت‌وساز، هر ساله میزان قابل توجهی زباله‌های ساختمانی و تخریب تولید می‌شود (داهو و همکاران ۲۰۱۵، شان و همکاران ۲۰۱۸). این فعالیت‌ها اثرات منفی بر محیط‌زیست، منابع طبیعی و انسانی در سراسر جهان دارند (بالل و همکاران ۲۰۱۶). در این راستا، شاهد یک تغییر پارادایم در رویکردهای مدیریت پسماند هستیم که از هوشمندی زباله به رویکردهای پیش‌گیرانه مبتنی بر داده منتقل شده است. این رویکرد جدید شامل تجزیه و تحلیل زباله است که هدف آن کاهش ضایعات از طریق طراحی بهینه است. به‌طور فزاینده‌ای از محیط‌های محاسباتی مجازی کم هزینه، مانند بیم، برای فعال‌سازی طراحی‌های ساخت‌وساز با هدف کاهش تولید زباله استفاده می‌شود (آش کومار و ورگزه ۲۰۱۸). پتانسیل تکنیک‌های تجزیه و تحلیل داده‌های پیشرفته برای ایجاد پروفایل‌های دقیق‌تر از تولید زباله، به‌طور چشم‌گیری برجسته شده است. بنابراین، استفاده از تجزیه و تحلیل داده‌های پیشرفته می‌تواند به‌طور قابل توجهی ضایعات را کاهش دهد. تجزیه و تحلیل زباله به انواع داده‌ها از منابع مختلف مانند طرح‌های ساخت‌وساز، خواص مواد و



شکل ۳- فرصت‌ها، روندهای نوظهور، چالش‌ها و مسائل تحقیقاتی باز

پسماند

اجتماعی و اقتصادی مطلوب در یک منطقه خاص به‌دست آید. به‌عبارت دیگر، مدیریت پایدار پسماند باید از نظر زیست‌محیطی مؤثر، از نظر اجتماعی مقبول و از نظر اقتصادی مقرون‌به‌صرفه باشد. بر اساس دیدگاه اندیشمندان، مؤثرترین ویژگی‌های یک سیستم مدیریت پایدار پسماند عبارتند از:

- **جامعیت سیستم:** این سیستم باید تمامی انواع مواد و منابع تولیدکننده پسماند را پوشش دهد. این رویکرد دیدگاهی کلی از فرآیند مدیریت پسماند فراهم می‌کند که برای برنامه‌ریزی استراتژیک ضروری است.
- **مقبولیت اقتصادی و بازار-محوری:** فرآیندها باید به‌گونه‌ای طراحی شوند که ارزیابی اقتصادی و کارایی سیستم به‌طور کلی امکان‌پذیر باشد. دستیابی به یک سیستم جامع مدیریت پسماند نیازمند تغییرات اساسی در وضعیت کنونی است.
- **انعطاف‌پذیری:** یک سیستم مؤثر باید در طراحی، انطباق و اجرای خود انعطاف‌پذیر باشد تا در طول زمان و تحت شرایط مختلف، کارایی خود را حفظ کند. از منظر زیست‌محیطی، تمامی سیستم‌های مدیریت پسماند بخشی از اکوسیستم کلی هستند و تنها با یک دیدگاه کل‌نگر می‌توان از بروز فشارهای مضاعف در مناطق دیگر جلوگیری کرد.

طبق تعریف سازمان همکاری و توسعه اقتصادی، پسماندها مواد اجتناب‌ناپذیری هستند که به‌دنبال فعالیت‌های انسانی تولید می‌شوند و در حال حاضر و در آینده نزدیک نیازی به آنها نیست. بنابراین تصفیه یا دفع آنها ضروری است. از سوی دیگر، برنامه محیط‌زیست سازمان ملل، زباله را به‌عنوان اشیائی تعریف می‌کند که صاحب آن دیگر نیازی به آن ندارد، نمی‌خواهد از آن استفاده کند و باید تغییر شکل داده یا از بین برود. با این حال، زباله‌ها محصول جانبی فعالیت‌های انسانی هستند. از نظر فیزیکی، زباله حاوی موادی مشابه محصولات مفید است و تنها تفاوت آنها این است که این مواد دیگر بی‌فایده یا غیرارزشمند تلقی می‌شوند. در بسیاری از موارد، این عدم ارزش به‌دلیل مخلوط شدن یا ناشناخته بودن مواد در زباله‌ها است. طبقه‌بندی زباله‌ها می‌تواند یکی از روش‌های افزایش ارزش مواد و یافتن کاربردهای جدید برای آنها باشد. به‌طور کلی، بین مقدار زباله مخلوط و ارزش آن رابطه معکوس وجود دارد (مرکز تحقیقات و برنامه‌ریزی شهری تهران ۲۰۱۳: ۲۰۷).

مدیریت جامع پسماند و پیاده‌سازی آن

مدیریت یکپارچه پسماند یک سیستم است که جریان، جمع‌آوری، روش‌های تصفیه، بازیافت و دفع پسماند را به‌طور هماهنگ و در تعامل با دیگر بخش‌ها مدیریت می‌کند تا اهداف زیست‌محیطی،

• **مقیاس:** برای دستیابی به یکنواختی در کمیت و کیفیت مواد بازیافتی، کمپوست یا انرژی، نیاز به گزینه‌های مدیریتی مختلف و مزایای اقتصادی، مقیاس بزرگتر و منطقه‌ای ترجیح داده می‌شود.

• **مقبولیت اجتماعی:** برای اجرای مؤثر سیستم مدیریت پسماند، مشارکت عمومی ضروری است (گارنت و همکاران ۲۰۱۷: ۲۲۱-۲۱۰). مردم باید نقش خود را در سیستم به‌خوبی درک کرده و با آن همکاری کنند. فرآیندهای مختلف در یک سیستم مدیریت جامع پسماند (جمع‌آوری، انتقال، دفع، پردازش و بازیافت) باید کاملاً با یکدیگر در ارتباط باشند. بنابراین، داشتن یک چشم‌انداز جامع از کل سیستم مدیریت پسماند ضروری است، زیرا هدف این سیستم، دستیابی به پایداری اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی به‌طور همزمان است.

روش تحقیق

پژوهش حاضر از نظر هدف کاربردی، از نوع توصیفی-تحلیلی بوده و روش جمع‌آوری داده‌ها به‌صورت اسنادی و پیمایشی انجام می‌شود. به‌منظور ارزیابی معیارها و شاخص‌هایی که از مستندات علمی استخراج شده‌اند، از ابزار پرسش‌نامه استفاده گردید. تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار اسپاس و آزمون فریدمن و

تحلیل واریانس انجام خواهد شد تا مؤلفه‌های تأثیرگذار بر مدیریت پسماند ساختمانی که می‌توانند در کاربرد هوش مصنوعی مورد استفاده قرار گیرند، استخراج شوند. پس از گردآوری داده‌ها و تکمیل پرسش‌نامه‌ها، از مدل‌یابی معادلات ساختاری برای تحلیل نهایی استفاده خواهد شد.

برای تهیه پرسش‌نامه، ابتدا موضوعات و مقالات مشابه مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. با توجه به تطابق نتایج به‌دست آمده با پرسش‌نامه مدیریت هوش مصنوعی طراحی شده توسط چن و همکاران (۲۰۲۲)، پنج بعد اصلی شامل مدیریت هوش مصنوعی، تصمیم‌گیری مبتنی بر هوش مصنوعی، زیرساخت‌های هوش مصنوعی، مهارت‌های هوش مصنوعی و تمایل به هوش مصنوعی به‌عنوان زمینه اصلی طراحی سوالات انتخاب شدند (جدول ۱). این پرسش‌نامه شامل ۲۲ سوال بوده که با روش دلفی و نظر کارشناسان ارگان دولتی (مهندسين عمران شاغل در مراکز دولتی، نظام مهندسی، سازمان خدمات عمرانی شهر اصفهان) تدقیق گردید و هدف آن بررسی کاربرد هوش مصنوعی در مدیریت پسماند ساختمانی است. طیف پاسخ‌گویی پرسش‌نامه از نوع لیکرت بوده و روایی پرسش‌نامه از طریق ضریب همبستگی به‌دست آمد.

جدول ۱- سازه‌های هوش مصنوعی مدیریت

سازه‌ها	نماد	تعداد گویه‌ها	شماره پرسش‌ها
مدیریت هوش مصنوعی ^{۱۰}	AIM	۳	۱ تا ۳
تصمیم‌گیری مبتنی بر هوش مصنوعی ^{۱۱}	AIDM	۴	۴ تا ۷
زیرساخت‌های هوش مصنوعی ^{۱۲}	AIB	۵	۸ تا ۱۲
مهارت‌های هوش مصنوعی ^{۱۳}	AIS	۵	۱۳ تا ۱۷
تمایل به هوش مصنوعی ^{۱۴}	AIP	۵	۱۸ تا ۲۲
کل پرسشنامه	AI	۲۲	۱ تا ۲۲

روایی و پایایی

برای سنجش روایی پرسش‌نامه از تحلیل عاملی تاییدی استفاده کردند. روایی هم با استفاده از روایی واگرا و هم روایی همگرا

ارزیابی و تایید شد. برای سنجش پایایی نیز آلفای کرونباخ محاسبه شد. آلفای کرونباخ کلی پرسشنامه ۰/۹۱۳ محاسبه شد و برای تک تک ابعاد نیز بالای ۰/۷ گزارش شده است.

^۱ Artificial intelligence management

^۲ Artificial intelligence driven decision making

^۳ Artificial intelligence basic

^۴ Artificial intelligence skills

^۵ Artificial intelligence proclivity

نتایج و بحث

یافته‌های تحقیق، که به صورت کمی است، در دو بخش توصیفی و استنباطی بیان شده است. برای آزمون از ابزار گردآوری داده‌ها که شامل پرسش‌نامه‌ای با ۲۲ سؤال است و نیز برای جواب سؤالات از طی پنج گزینه‌ای لیکرت استفاده شده است. این پرسش‌نامه در اختیار ۱۲۷ نفر از مهندسين گرایش عمران قرار گرفته است. پرسش‌نامه موردنظر با توجه به شش شاخصه مربوط به هوش مصنوعی تدوین شده است.

محاسبه آلفای کرونباخ

پایایی پرسش‌نامه با استفاده از آزمون آلفای کرونباخ مشخص شده است. آزمون آلفای کرونباخ، که برای ارزیابی قابلیت اعتماد یا پایایی پرسش‌نامه‌های طراحی شده به صورت طیف لیکرت و با

پاسخ‌های چندگزینه‌ای استفاده می‌شود، یک آزمون آماری است که حاصل آن یک ضریب به نام آلفای کرونباخ می‌باشد. معمولاً هرچه میزان این ضریب از ۰/۷ بیشتر و به ۱ نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده مناسب بودن پرسش‌نامه است. اگر ضریب آلفای کرونباخ بین ۰/۵ تا ۰/۷ باشد، پرسش‌نامه قابل قبول و اگر کمتر از ۰/۵ باشد، آن را نامناسب ارزیابی می‌کنند. از مجموع ۱۲۷ نفر نمونه موردنظر در این پژوهش، ۱۲۳ نفر به کلیه سؤالات پاسخ داده‌اند و تنها ۴ نفر از پاسخ‌دهندگان به تمامی سؤالات پاسخ نداده‌اند. پس از محاسبه ضریب آلفای کرونباخ، میزان این ضریب برابر با ۰/۸۴۸ به دست آمد که نشان‌دهنده مناسب بودن پرسش‌نامه و انسجام بیشتر بین متغیرهاست (جدول ۲).

جدول ۲- آزمون پایایی و آمار قابل اعتماد با استفاده از آلفای کرونباخ (نگارندگان)

آلفای کرونباخ	تعداد سؤالات
۰/۸۴۸	۲۲

یافته‌های توصیفی

بررسی ویژگی‌های پاسخ‌دهندگان به سؤالات تحقیق در جدول ۳ ارائه شده است. نتایج حاصل از یافته‌های توصیفی نشان می‌دهد

که از میان پاسخ‌دهندگان، گروه سنی ۲۰ تا ۴۰ سال با بیش از ۵۴ درصد و از نظر سطح تحصیلات، افراد با مدرک لیسانس با بیش از ۶۰ درصد بیش‌ترین تعداد را به خود اختصاص داده‌اند.

جدول ۳- ویژگی‌های پاسخگویان به سؤالات تحقیق (نگارندگان)

ویژگی	طبقات	تعداد	درصد
سن	۲۰-۳۰ سال	۴۷	۲۵/۸۲
	۳۱-۴۰ سال	۵۲	۲۸/۵۷
	۴۱-۵۰ سال	۵۶	۳۰/۷۷
	بالتر از ۵۱ سال	۲۷	۱۴/۸۴
سطح تحصیلات	فوق دیپلم	۴۵	۲۴/۴۵
	لیسانس	۱۱۰	۶۰/۴۴
	فوق لیسانس	۲۷	۱۴/۸۳
	دکتری	۱۱	۷/۰۵

آزمون پیرسون

در آزمون پیرسون، ضریب هم‌بستگی پیرسون مقداری بین ۱ تا ۱- را نشان می‌دهد. هرچه این مقدار به ۱ نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده هم‌بستگی مثبت بین متغیرهاست. از

سوی دیگر، هر چه این مقدار به ۱- نزدیک‌تر شود، نشان‌دهنده هم‌بستگی منفی بین متغیرهاست. همچنین، هر چه مقدار ضریب معناداری کمتر از ۰/۰۵ باشد، نشان‌دهنده رابطه معنادار بین متغیرهاست.

بررسی فرضیات پژوهش با استفاده از آزمون پیرسون فرضیه‌های اختصاصی:

- زیرساخت‌های هوش مصنوعی در مدیریت پسماند ساختمانی در شهر اصفهان نقش دارند.
- تصمیم‌گیری مبتنی بر هوش مصنوعی در مدیریت پسماند ساختمانی در شهر اصفهان نقش دارد.

در این جا، هوش مصنوعی به عنوان متغیر مستقل و پسماند ساختمانی به عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شده است. با توجه به محاسبات انجام شده و مقدار رابطه به دست آمده، مشخص شد که زیرساخت‌ها و تصمیم‌گیری مبتنی بر هوش مصنوعی در مدیریت پسماند ساختمانی در شهر اصفهان تأثیرگذار هستند، چرا که مقدار سیگ به دست آمده کمتر از ۰/۰۵ است و بنابراین این فرضیه تأیید می‌شود (جدول ۴).

جدول ۴- آزمون همبستگی پیرسون (نگارندگان)

زیرساخت‌ها و تصمیم‌گیری مبتنی هوش مصنوعی		
پسماند ساختمانی	Pearson Chi-Square	۰/۵۳۵
	Sig	۰/۰۰۰

فرضیه اختصاصی:

- مهارت‌های هوش مصنوعی در مدیریت پسماند ساختمانی در شهر اصفهان نقش دارند.
- تمایل به هوش مصنوعی در مدیریت پسماند ساختمانی در شهر اصفهان نقش دارد.

در این فرضیه، مهارت‌ها و تمایل به هوش مصنوعی به عنوان متغیرهای مستقل و پسماند ساختمانی به عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شده‌اند. با توجه به اینکه ضریب معناداری کمتر از ۰/۰۵ است، می‌توان نتیجه گرفت که بین مهارت‌ها و تمایل به هوش مصنوعی با مدیریت پسماند ساختمانی در شهر اصفهان رابطه معناداری وجود دارد (جدول ۵).

جدول ۵- آزمون همبستگی پیرسون (نگارندگان)

مهارت‌ها و تمایل به هوش مصنوعی		
مدیریت پسماند ساختمانی	Pearson Chi-Square	۰/۳۱۵
	Sig	۰/۰۰۰

مدل‌سازی معادلات ساختاری

بر اساس مدل مفهومی تحقیق، این پژوهش شامل ۲۳ متغیر تأثیرگذار است که در سه بخش اصلی (هوش مصنوعی، مدیریت پسماند، شهر اصفهان) اندازه‌گیری می‌شود. برای انجام این تحلیل، از نرم‌افزار لیزرل استفاده شده است. به عبارت دیگر، پس از بررسی نظریه‌های تحقیق و ارزیابی مدل مفهومی، با استناد به نتایج اولیه مدل به دست آمده در لیزرل، عمده‌ترین متغیرهایی که می‌توانستند برای الگوسازی مفید واقع شوند، انتخاب شدند. در مجموع، مدل معادلات ساختاری به عنوان روشی برای توضیح یک سیستم ارتباطی میان متغیرها در نظر گرفته می‌شود. در تحلیل مسیر، ۲۳ متغیر تأثیرگذار بر سه متغیر مستقل، وابسته و میانجی مشخص شدند. هوش مصنوعی (۵ گویه ۱ eg: تا ۵)، مدیریت

پسماند ساختمانی (۱۳ گویه ۱ ej: تا ۱۳)، شهر اصفهان (۵ گویه ۱ fa: تا ۵). این مدل، مطابق با شاخص‌های برازش الگویی که در آزمون شده‌اند، برازش مناسبی با داده‌های گردآوری شده دارد. شاخص‌های برازش به شرح جدول ۶ است و شاخص ریشه میانگین مربعات خطای برآورد برابر با ۰/۶۲ است که در محدوده قابل قبول قرار دارد. بنابراین، با توجه به این مقدار، مدل از برازش قابل قبولی برخوردار است. همچنین، شاخص نیکویی برازش مطلوب مدل بیشتر از ۰/۹۴ است که نشان‌دهنده برازش قابل قبول است. شاخص برازش هنجار شده برابر با ۱ است که در محدوده قابل قبول قرار دارد و چون مقدار آن برای برازش مطلوب مدل باید برابر یا بیشتر از ۰/۹ باشد، مدل از برازش مناسب برخوردار است.

نشان‌دهنده برازش مناسب مدل است. در نهایت، شاخص تطبیقی برابر با ۱ است که از نظر مقادیر قابل قبول برای برازش مطلوب مدل نیز بیشتر از ۰/۹ است، لذا مدل از برازش خوبی برخوردار است. بر اساس برآورد ضرایب استاندارد شده مدل ساختاری تحقیق، سطح معناداری $a = ۰/۰۶۲$ به دست آمده است.

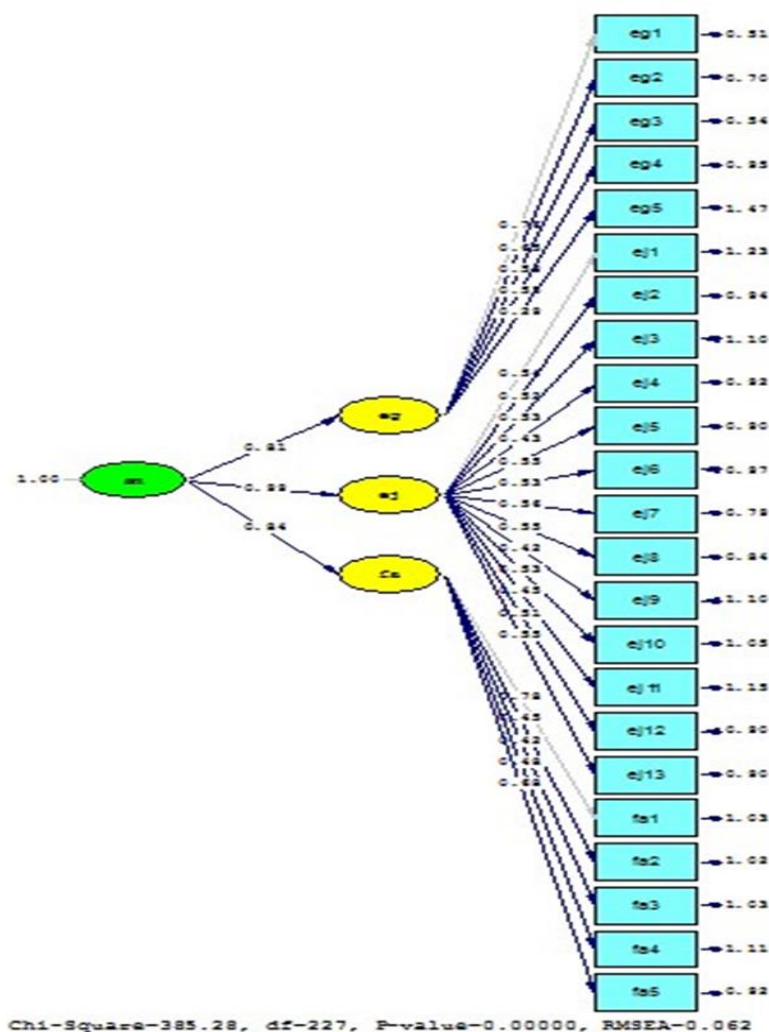
شاخص برازش هنجار نشده برابر با ۱/۱۳ است که در محدوده بالاتر از یک قرار دارد، اما چون مقدار قابل قبول آن برای برازش مطلوب مدل باید برابر یا بیشتر از ۰/۹ باشد، این شاخص نیز نشان‌دهنده برازش قابل قبول مدل است. شاخص برازش افزایشی برابر با ۱/۱۱ است که همچنان در محدوده قابل قبول قرار دارد و

جدول ۶- شاخص‌های نیکویی برازش مدل ساختاری امنیت محیطی، مأخذ: نگارندگان

نام شاخص	نتایج به دست آمده	برازش قابل قبول و مطلوب (درصد)
شاخص نیکویی برازش	0.94	$GFI \leq 0.9$ (مساوی یا بیشتر از 0.9)
شاخص برازش ناهنجار	1.13	$NNFI \leq 0.9$ (مساوی یا بیشتر از 0.9)
شاخص برازش تطبیقی		$CFI \leq 0.9$ (مساوی یا بیشتر از 0.9)
شاخص برازش افزایشی		$IFI \leq 0.9$ (مساوی یا بیشتر از 0.9)
	۱	
	۱.۱۱	
شاخص نیکویی برازش اصلاح شده	۱	$RFI \leq 0.9$ (مساوی یا بیشتر از 0.9)
	۱	
	۰.۹۰	
	۰.۰۶۲	
شاخص برازش ناهنجار		$NFI \leq 0.9$ (مساوی یا بیشتر از 0.9)
شاخص برازش تعدیل یافته هنجار شده		$PNFI \leq 0.6$ (مساوی یا بیشتر از 0.6)
شاخص ریشه میانگین مربعات خطای		(مساوی یا کمتر از 0.1)
برآورد		$RMSEA \leq 0.1$

مورد نظر، چهار عامل امتیازهای بالای ۰/۳ دارند. در حالی که در بخش مدیریت پسماند ساختمانی، از ۱۳ عامل، تمامی ۱۳ عامل فعال هستند و از ۵ عامل در بخش شهر اصفهان، ۵ عامل امتیازات بالای ۰/۳ دارند. در تحقیق حاضر، مهم‌ترین شاخص‌های تأثیرگذار در کاربرد هوش مصنوعی مشخص شدند که مطابق با نتایج جزئی حاصل از بررسی‌ها و مطالعات مدل ساختاری در شکل ۴ قابل مشاهده است، به ترتیب در شکل ۵، همبستگی بین متغیر مستقل بیرونی (متغیر مستقل) و مؤلفه‌های متغیر مستقل درونی و متغیر وابسته مشاهده می‌شود.

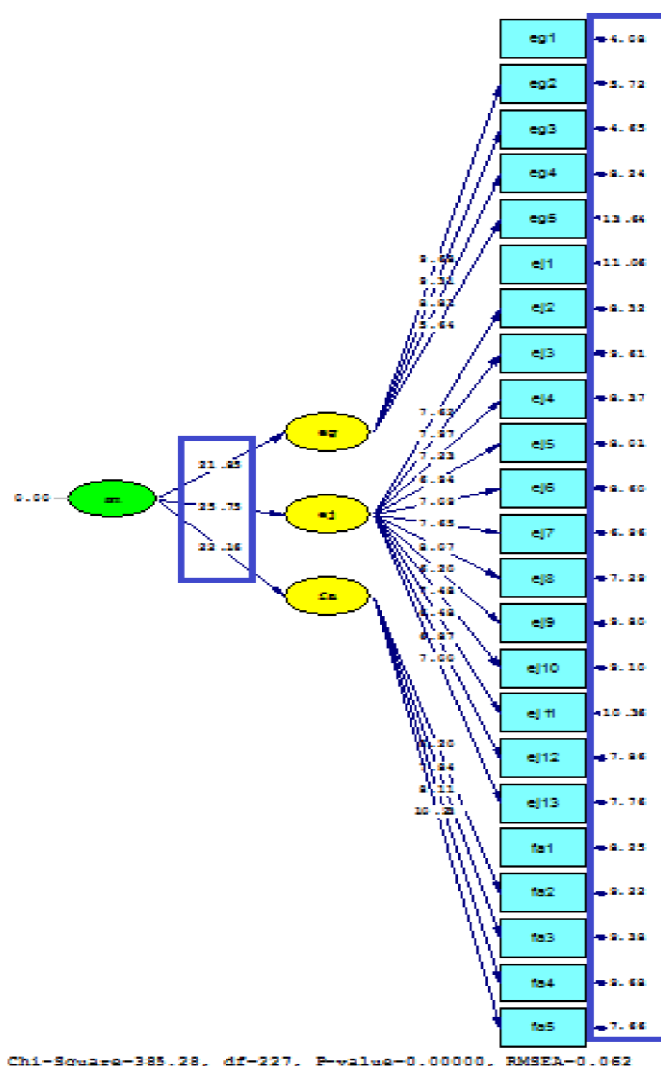
هرچه بار عاملی بزرگ‌تر و به عدد یک نزدیک‌تر باشد، به این معناست که متغیر مشاهده شده می‌تواند بهتر متغیر پنهان را تبیین کند. به عبارت دیگر، اگر بار عاملی نزدیک به یک باشد، نشان‌دهنده بالاترین تأثیرگذاری میان سایر عوامل است. از سوی دیگر، اگر بار عاملی کمتر از ۰/۳ باشد، رابطه ضعیف در نظر گرفته می‌شود (که نشان‌دهنده کم‌ترین تأثیرگذاری میان عوامل است). همچنین، بار عاملی بین ۰/۳ تا ۰/۶ قابل قبول در نظر گرفته می‌شود و نشان‌دهنده تأثیرگذاری متوسط است. نتایج شکل ۴ نشان می‌دهد که بین سه بخش (هوش مصنوعی، مدیریت پسماند ساختمانی و شهر اصفهان) در بخش هوش مصنوعی از پنج عامل



شکل ۴- خروجی استاندارد شده مدل‌سازی معادلات ساختاری برای کاربرد هوش مصنوعی در مدیریت پسماند ساختمانی در شهر اصفهان

باشد، رابطه به عنوان "مشکل‌دار" به رنگ قرمز نشان داده می‌شود که نشان‌دهنده این است که هم‌بستگی مشاهده شده در حالت استاندارد نیست. بنابراین، با توجه به مقادیر به دست آمده در تحقیق، همه مقادیر (T-value) پذیرفته شده‌اند و نتایج نشان‌دهنده و تأییدکننده معناداری رابطه بین شاخص‌های کاربرد هوش مصنوعی و مدیریت پسماند ساختمانی در شهر اصفهان است.

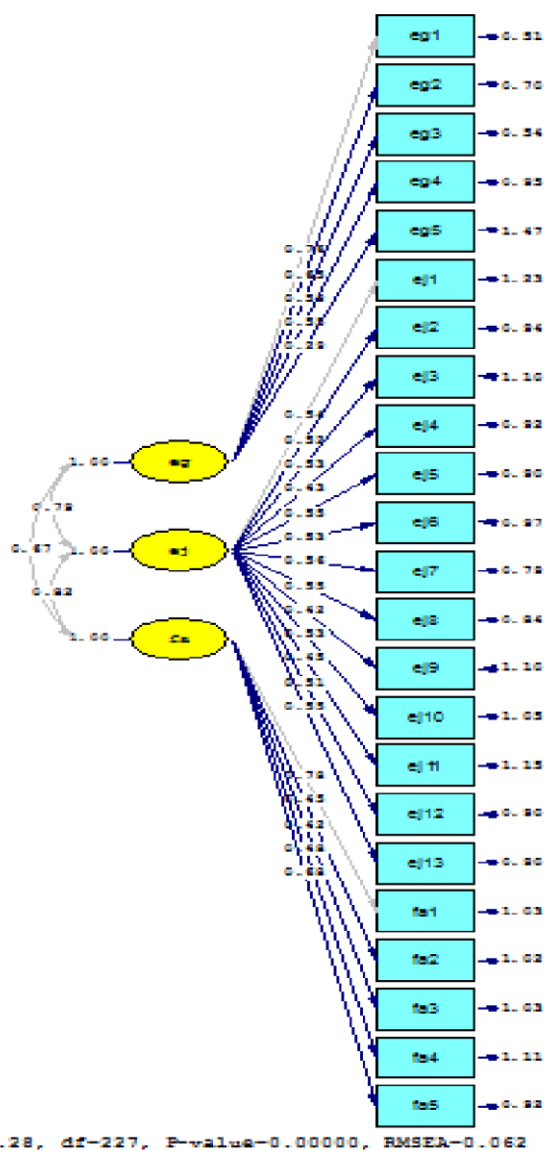
نتایج و یافته‌ها نشان‌دهنده اعداد معناداری مربوط به مؤلفه‌ها و متغیرهای مکنون درونی و بیرونی مرتبط با هر کدام (اعم از بار عاملی و خطاهای آن) و همچنین همبستگی بالا بین متغیرهای مکنون است، چراکه معناداری اعداد (T-value) از ۱/۹۶ بزرگ‌تر است. مطابق شکل ۵، معناداری اعداد در (T-value) به این صورت است که از ۱/۹۶ بیش‌تر است و اگر مقدار عددی مطلق در هر کدام از اعداد جلو مربع‌ها در سمت راست کمتر از ۱/۹۶



شکل ۵- خروجی T-value مدل سازی معادلات ساختاری برای کاربرد هوش مصنوعی در مدیریت پسماند ساختمانی در شهر اصفهان

همبستگی بین شاخص هوش مصنوعی و شهر اصفهان برابر با ۰/۷۹ و سپس همبستگی بین شاخص مدیریت پسماند ساختمانی و شاخص شهر اصفهان برابر با ۰/۶۷ است. این نتایج بیانگر تأثیرگذاری شاخص‌های کاربرد هوش مصنوعی بر مدیریت پسماند ساختمانی در شهر اصفهان است.

در شکل ۶، نتایج و یافته‌های حاصل از تحلیل در مدل ساختاری مربوط به ارتباط بین مؤلفه‌های متغیر پنهان درونی پژوهش نشان داده شده است. طبق این نتایج، نوعی همبستگی و ارتباط منطقی و معنادار بین مؤلفه‌ها به وجود آمده است. به طوری که بیشترین میزان همبستگی بین شاخص کاربرد هوش مصنوعی و مدیریت پسماند ساختمانی با مقدار ۰/۸۲ مشاهده می‌شود. پس از آن،



شکل ۶- خروجی Y-Model مدل‌سازی معادلات ساختاری برای کاربرد هوش مصنوعی در مدیریت پسماند ساختمانی در شهر اصفهان

یافته‌های حاصل از مصاحبه

علاوه بر پرسش‌نامه ارزیابی مؤلفه‌ها و معیارهای تأثیرگذار بر کاربرد هوش مصنوعی در مدیریت پسماند ساختمانی، بر اساس

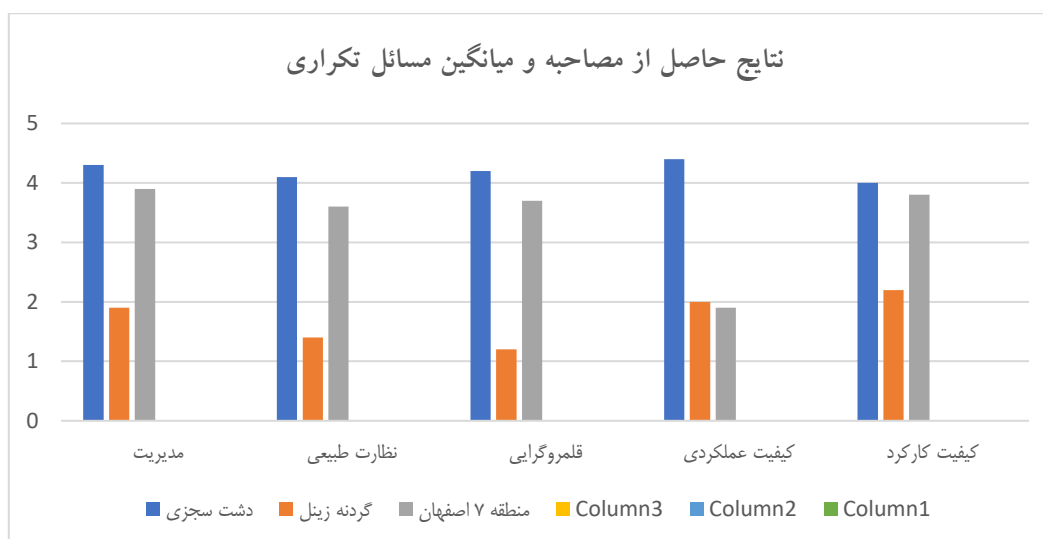
مصاحبه‌های انجام‌شده با مهندسین عمران در شهر اصفهان، مناطق گردنه زینل، دشت سجزی و منطقه ۷ اصفهان به‌عنوان نمونه‌های موردی برای بررسی انتخاب شدند (جدول ۷).

جدول ۷- بررسی نمونه های مورد مطالعه (نگارندگان)

عنوان	توضیحات	مصادیق
دشت سجزی	به گفته فعالان حوزه محیط‌زیست بیش از ده سال دشت سجزی به محلی برای انباشت زباله‌های عفونی و نخاله‌های ساختمانی تبدیل شده است (خبرگزاری انصاف ۱۴۰۳).	
گردنه زینل	ورودی پارک گردنه زینل (محل تخلیه زباله‌های شهری اصفهان) محلی شده است برای تخلیه نخاله‌های ساختمانی، نخاله‌هایی که در شهر بی‌ضابطه‌ای مانند اصفهان و بی‌ضابطه‌تر از آن بهارستان تمامی ندارد و مطمئناً به ورودی منطقه کفایت نمی‌کند. نخاله‌ها فقط ساختمانی نیست، نخاله‌های صنعتی و تکه‌های بزرگ آسفالت. که می‌گوید نهادهای رسمی نیز در این تخلف سهیم هستند. ارگان‌هایی که خودشان باید حافظ محیط‌زیست باشند (خبرگزاری ایسنا ۱۴۰۳).	
منطقه هفت اصفهان	منطقه ۷ شهرداری اصفهان محل انباشت پسماند و نخاله‌های ساختمانی (خبرگزاری شهر زندگی ۱۴۰۲).	

مشاهده می‌شود، مدیریت پسماند ساختمانی از کیفیت نسبتاً پایینی برخوردار است و میزان رضایتمندی از آن نامناسب ارزیابی می‌شود.

معضلات و مسائل روز پاسخ‌دهندگان بر اساس تکرار پاسخ‌ها با استفاده از نرم‌افزار جی‌پاور، در قالب نمودار ستونی مقایسه وضعیت پسماند ساختمانی در نمودار ۱ ارائه شده است. همان‌طور که



نمودار ۱- نتایج حاصل از مصاحبه و میانگین مسائل تکراری (نگارندگان)

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در یک سیستم مدیریت یکپارچه پسماند شهری، اگر جریان پسماندها از دفن مستقیم به سمت سایر فناوری‌های پردازش و دفع مانند جداسازی مواد بازیافتی، هضم هوازی، هضم بی‌هوازی و پسماندسوزی هدایت شود، میزان قابل توجهی از هزینه‌ها و انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی ناشی از پسماند کاهش می‌یابد. لازم به ذکر است که در یک سیستم مدیریت پسماند نیازی به داشتن تمام فناوری‌های تصفیه و دفع نیست. برعکس، سیستمی که آلاینده‌های کمتری منتشر کرده و هزینه‌های کمتری داشته باشد، می‌تواند مفیدتر باشد. با این حال، به دلیل افزایش سهم

پسماندهای ساختمانی خشک از کل زباله‌های تولیدی، بازیافت آن به یک ضرورت تبدیل شده است. در این راستا، جداسازی مواد قابل بازیافت در مرحله تولید و در مبدأ، به دلیل سهولت، صرفه‌جویی در زمان و هزینه، و کاهش آلودگی و تخریب کمتر مواد قابل بازیافت، بسیار مطلوب، کارآمدتر و کاربردی‌تر است. مهم‌ترین شاخص‌های تأثیرگذار در کاربرد هوش مصنوعی در سه بخش هوش مصنوعی، مدیریت پسماند ساختمانی و شهر اصفهان در جدول ۸ آورده شده است.

جدول ۸ - مهم‌ترین شاخص‌های تأثیرگذار در کاربرد هوش مصنوعی، مأخذ: نگارندگان

شاخص	کاربرد	ضریب تأثیر
در بخش هوش مصنوعی	کنترل هزینه‌ها با ضریب مستقیم و مثبت	۰/۷۶
	تصمیم‌گیری با ضریب مستقیم و مثبت	۰/۶۵
	تمایل با ضریب مستقیم و مثبت	۰/۵۹
	مهارت با ضریب مستقیم و مثبت	۰/۵۵
	مدیریت با ضریب مستقیم و مثبت	۰/۳۹
	نظارت با ضریب مستقیم و مثبت	۰/۵۶
در بخش مدیریت پسماند ساختمانی	جمع‌آوری با ضریب مستقیم و مثبت	۰/۵۵
	دفع پسماند با ضریب مستقیم و مثبت	۰/۵۵
	خطرات زیست‌محیطی با ضریب مستقیم و مثبت	۰/۵۵
	بهینه نبودن روش‌های جمع‌آوری پسماند فعلی با ضریب مستقیم و مثبت	۰/۵۴
	پیچیدگی و زمان‌بر بودن با ضریب مستقیم و مثبت	۰/۵۳
	عدم استقبال افراد با ضریب مستقیم و مثبت	۰/۵۳
	مقیاس پروژه با ضریب مستقیم و مثبت	۰/۵۳
	اشرافیت ناظران با ضریب مستقیم و مثبت	۰/۷۸
	چشمان ناظر بر محیط با ضریب مستقیم و مثبت	۰/۶۸
	مراقبت طبیعی با ضریب مستقیم و مثبت	۰/۴۸
در بخش شهر اصفهان	فعالیت در محیط طبیعی با ضریب مستقیم و مثبت	۰/۴۵
	مکان انباشت در شهر با ضریب مستقیم و مثبت	۰/۴۲

در ادامه، برخی از راهکارهای کاربرد هوش مصنوعی در جهت بهبود مدیریت پسماند ساختمانی ارائه شده است:

ساختمانی، به‌منظور تخصیص بهینه کامیون‌ها به مسیرها و استفاده بهینه از ظرفیت هر کامیون.

- استفاده از پلتفرم‌های آنلاین و نرم‌افزارهای تخصصی برای ثبت و برنامه‌ریزی آسان‌تر سفارش‌های جمع‌آوری انواع پسماند.
- ارائه پنل مدیریتی برای تجزیه و تحلیل بهتر داده‌ها و اطلاعات مربوط به پسماند در سطح فردی، صنعتی یا شهری.
- استفاده از سطل‌های زباله هوشمند برای پایش لحظه‌ای، فشرده‌سازی و تفکیک پسماند، پیش‌بینی و برنامه‌ریزی برای تکمیل ظرفیت و بهینه‌سازی زمان جمع‌آوری.

- استفاده از سنسورها برای نظارت بر محل جمع‌آوری پسماندهای ساختمانی و پیش‌بینی زمان پر شدن هر سطح، با تجزیه و تحلیل داده‌ها به‌منظور جلوگیری از سرریز پسماند در مناطق شهری شلوغ و کاهش هزینه‌ها با تنظیم دفعات جمع‌آوری پسماند در مناطق حاشیه‌ای و خلوت‌تر شهر.

- بهینه‌سازی مسیر جمع‌آوری پسماند برای کامیون‌ها با استفاده از جی‌پی‌اس و اطلاعات میزان پسماند در فضای مختص پسماند

- استفاده از پلتفرم‌های نرم‌افزاری و آنلاین برای ثبت سفارش و پیگیری جمع‌آوری و دفع پسماندهای ویژه ساختمانی.
- ارائه پلتفرم نرم‌افزاری آنلاین برای ثبت سفارش و خرید پسماندهای قابل تجزیه به عناصر بارزش، مانند پسماندهای ساختمانی (مثلاً بتن).

- ارائه تجزیه و تحلیل دقیق شامل مقدار، نوع و هزینه ضایعات تولید شده در طول فرآیند ساخت و ساز.
- ارائه تحلیل‌های کلان در سطح محله و شهری برای ارزیابی میزان و نوع پسماند تولیدی و الگوی رفتاری ناظران.

References

1. Ashokkumar, V., & Varghese, S. BIM based 3D model for construction waste quantification. *International Research Journal of Engineering and Technology*, Volume: 05 Issue: 05 | May-2018, 5(5), 3069-3076.
2. Akinade, O. O., & Oyedele, L. O. Integrating construction supply chains within a circular economy: An ANFIS-based waste analytics system (A-WAS). *Journal of Cleaner Production*, 2019, 229, 863-873. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.232>
3. Akanbi, L., Oyedele, L., Davila Delgado, J. M., Bilal, M., Akinade, O., Ajayi, A., & Mohammed-Yakub, N. Reusability analytics tool for end-of-life assessment of building materials in a circular economy. *World Journal of Science, Technology and Sustainable Development*, 2019, 16(1), 40-55. ISSN: 2042-5945
4. Buchanan, B. G.. A (very) brief history of artificial intelligence. *AI Magazine*, 2015, 26(4), 53-53. <https://doi.org/10.1609/aimag.v26i4.1848>
5. Brynjolfsson, E., Rock, D., & Syverson, C. Artificial intelligence and the modern productivity paradox. *The Economics of Artificial Intelligence: An Agenda*, 2019, 23, 23-57. <https://doi.org/10.7208/9780226613475-003>
6. Baum, S. D., Barrett, A. M., & Yampolskiy, R. V. Modeling and interpreting expert disagreement about artificial superintelligence. *Informatica*, 2017, 41(4). Home > Vol 41, No 4 (2017) > Baum
7. Bilal, M., Oyedele, L. O., Akinade, O. O., Ajayi, S. O., Alaka, H. A., Owolabi, H. A., & Bello, S. A. Big data architecture for construction waste analytics (CWA): A conceptual framework. *Journal of Building Engineering*, 2016.6, 144-156. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2016.03.002>
8. Benachio, G. L. F., et al. Circular economy in the construction industry: A systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*. 2020 <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121046>
9. Dahlbo, H., Bachér, J., Lähäntinen, K., Jouttijärvi, T., Suoheimo, P., Mattila, T., & Saramäki, K. Construction and demolition waste management – a holistic evaluation of environmental performance. *Journal of Cleaner Production*, 2015, 107, 333-341. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.02.073>
10. Darko, A., et al. Artificial intelligence in the AEC industry: Scientometric analysis and visualization of research activities. *Automation in Construction*. 2020 <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103081>
11. Davis, P., et al. The classification of construction waste material using a deep convolutional neural network. *Automation in Construction*. 2021 <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103481>
12. Ertel, W. Introduction to artificial intelligence. Springer Nature. 2024
13. Gundupalli, S. P., et al. A review on automated sorting of source-separated municipal solid waste for recycling. *Waste Management*. 2017 <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.09.015>
14. Hossain R. Islam MT, Shanker R, Khan D, Locock K E S, Ghose A, Schandl H, Dhodapkar R, Sahajwalla V. Plastic Waste

- Management in India: Challenges, Opportunities, and Roadmap for Circular Economy. *Sustainability*. 2022; 14: 4425. <https://doi.org/10.3390/su14084425>.
15. Joensuu, T., et al. Circular economy practices in the built environment. *Journal of Cleaner Production*. 2020 <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124215>
 16. Lu, W., et al. Computer vision for solid waste sorting: A critical review of academic research. *Waste Management*. 2022 <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.02.009>
 17. Norouzi, M., et al. Circular economy in the building and construction sector: A scientific evolution analysis. *Journal of Building Engineering*. 2021 <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.102704>
 18. Nežerka, V., et al. Recycling of fines from waste concrete: Development of lightweight masonry blocks and assessment of their environmental benefits. *Journal of Cleaner Production*. 2023 <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135711>
 19. Oluleye, B. I., et al. Circular economy research on building construction and demolition waste: A review of current trends and future research directions. *Journal of Cleaner Production*. 2022 <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131927>
 20. Ojaghi A, Fataei E, Gharibi Asl S, Imani AA. Construction, Design and Testing of Infectious Waste Decontamination Device by Mechanical and Chemical Methods, Imam Khomeini Hospital, Sarab, Iran: A Case Study. *J. of Health Sci. and Survei. Sys.* 2021; 9(3): 184-190. Doi: 10.30476/jhss.2021.90162.1187.
 21. Oliaei AS B. Fataei, E. Breakdown of Urban Waste Repository Location Using GIS (Case study District 3 Region 1 Tabriz), Iran. *Eco., Env. and Conser.* 2016; 22: 2115-2120.
 22. Prošek, Z., et al. Recovery of residual anhydrous clinker in finely ground recycled concrete. *Resources, Conservation and Recycling*. 2020 <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104640>
 23. Rich, E., Knight, K., & Nair, S. B. *Artificial Intelligence*. 2020
 24. Russell, S. J., & Norvig, P. *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. Pearson. 2016
 25. Shan, N. L., Wee, S. T., Wai, T. L., & Chen, G. K. Construction waste management of Malaysia: Case study in Penang. *Advanced Science Letters*, 2018, 24(6), 4698-4703. <https://doi.org/10.1166/asl.2018.11684>
 26. Su, Y. Multi-agent evolutionary game in the recycling utilization of construction waste. *Science of the Total Environment*. 2020 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139826>
 27. Sharifzadeh F. Analyzing Factors that Influence Productivity Management Improvement in Urban Solid Waste Material. *Management Study*. in Dev. and Eval. 2010; 20(60): 89-114. [In persian].
 28. Turing, A. M. *Computing machinery and intelligence* (pp. 23-65). Springer Netherlands. 2019
 29. Valentin, J., et al. Characterization of quarry dusts and industrial by-products as potential substitutes for traditional fillers and their impact on water susceptibility of asphalt concrete. *Construction and Building Materials*. 2021 <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124294>
 30. Zarrabi A, Mohammadi J, Ahangari S. An Analysis of Municipal Solid Waste Management Emphasizing on the Recovering of Waste (Case study: Boukan). *Geography and Environmental Planning*. 2013; 23(4): 91-108. [In Persian]. DOR: 20.1001.1.20085362.1391.23.4.6.0.
 31. Zavodska A A. Study of Residential Solid Waste Composition and Management in a Selected Developing Country – Guyana. *J. of Solid Was. Tech. and Management*. 2000; 29 (1): 1-7.



Application of Artificial Intelligence in Improving Construction Waste Management: A Study on Integrated Systems in Isfahan City

Mohammad Reza
Tabatabaei

Master's student, Department of Civil Engineering, Sabzevar Branch, Hakim Sabzevari
University, Sabzevar, Iran

Hadi Shakibazahed*

Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Sabzevar Branch, Hakim Sabzevari
University, Yabzvar, Iran.

Received: 05 Nov 2024

Accepted: 16 Dec 2024

Keywords: Digitalization
of the construction
industry, artificial
intelligence, advanced
technologies in waste
management

Extended Abstract

Introduction: Due to the increase in waste generation and concerns about the ecological damage caused by them, waste management policy has become of great importance. Waste is a by-product of human activities and includes various types of household, medical, agricultural, industrial, commercial, special and hazardous waste. Recycling construction waste can reduce the need for energy, natural resources, extraction resources and land required for sanitary and controlled landfill. Meanwhile, the construction industry faces numerous challenges such as high costs, long project duration, safety and health issues, and labor shortage. In addition, this industry is limitedly digitized compared to other industries, which has added to its complexities and problems. One of the new technologies that can help solve these problems is artificial intelligence. The purpose of the present study is to investigate the role and application of artificial intelligence in the construction waste management system in the city of Isfahan, and this goal is pursued by assuming that artificial intelligence-based decision-making plays a role in construction waste management in the city of Isfahan.

Materials and Methods: This study investigated the role of artificial intelligence in the construction waste management system in Isfahan. For this purpose, data were collected through documents and field studies in different areas of Isfahan and analyzed using statistical software such as SPSS and Smart PLS.

Results and Discussion: The results showed that the use of technologies such as artificial intelligence and sensors can help optimize the collection and processing processes of construction waste. In particular, the use of sensors to monitor the filling level of waste bins, optimizing the collection route using GPS, and utilizing smart bins to separate and compress waste are effective solutions. Also, directing the waste flow towards advanced technologies such as recycling and waste incineration can help reduce costs and pollutants. According to the results obtained, the highest correlation between the artificial intelligence application index and construction waste management is (0.82), followed by the artificial intelligence index and the city of Isfahan (0.79), and then the construction waste management index and the city of Isfahan index (0.67), which indicates the impact of artificial intelligence application indices on construction waste management in Isfahan.

Conclusion: These findings indicate that artificial intelligence can help improve the efficiency and reduce the environmental impacts of construction waste management systems in Isfahan. In this regard, separating recyclable materials at the production stage and at source is highly desirable, more efficient, and more practical due to its ease, time and cost savings, and reduced pollution and less destruction of recyclable materials.

Corresponding author: Hadi Shakibazahed

Address: Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Sabzevar Branch, Hakim Sabzevari University, Yabzvar, Iran.

Tel: +989122154338

Email: h.shakiba@hsu.ac.ir

Citation: Tabatabaei MR, Shakibazahed H. Application of Artificial Intelligence in Improving Construction Waste Management: A Study on Integrated Systems in Isfahan City. Journal of New Researches in Environmental Engineering. 2024; 2(7): 44-61



© 2024, This article published in Journal of New Researches in Environmental Engineering (JNREE) as an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>). Non-commercial use, distribution and reproduction of this article is permitted in any medium, provided the original work is properly cited.



طراحی و شبیه سازی نیروگاه خورشیدی متصل به شبکه مجموعه آموزشی دانشگاه آزاد فسا به

منظور کاهش کربن تولیدی

استادیار، گروه مهندسی برق، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران
 دانشیار، گروه مهندسی انرژی تجدیدپذیر، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران
 کارشناسی ارشد مهندسی انرژی های تجدیدپذیر، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران

مهدی متوسل*

سامان تشکر

آرمان خوشنواز

چکیده مبسوط

مقدمه: در سال های اخیر، مصرف انرژی در بسیاری از کشورها به دلایل گوناگون افزایش یافته است. امروزه، تأمین بخشی از نیاز انرژی برای رشد و توسعه پایدار جوامع بشری از طریق منابع انرژی نو و تجدیدپذیر به عنوان راه حل مطمئن و سازگار با ملاحظات زیست محیطی مدنظر بسیاری از دولت ها، کارشناسان و دانشمندان در سراسر جهان مطرح شده است. نیروگاه های خورشیدی سازگاری بیشتری با محیط زیست دارند. تأسیس و بهره برداری از نیروگاه های خورشیدی در آینده، زمینه های گسترده ای را برای کمک به خودکفایی و کاهش وابستگی کشور به صادرات نفت فراهم خواهد کرد. در این پژوهش، به بررسی و ارزیابی نوع طراحی نیروگاه خورشیدی برای مجموعه آموزشی دانشگاه آزاد فسا پرداخته شده است.

مواد و روش ها: در این پژوهش میزان بهره وری نیروگاه خورشیدی در منطقه فارس، شهرستان فسا، مورد بررسی قرار گرفته است. شبیه سازی تولید انرژی در نیروگاه فتوولتائیک متصل به شبکه به میزان ۲/۲۵۵۴ مگاوات ساعت نامی با کمک نرم افزارهای پی وی سیست و رت اسکرین مورد بررسی قرار گرفت. میزان کاهش انتشار دی اکسید کربن و اثر زیست محیطی آن مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج و بحث: در نرم افزار شبیه سازی پی وی سیست انرژی خروجی نیروگاه، انرژی تزریقی به شبکه ۳۸۴۶۹۱۴ کیلووات ساعت در سال خواهد بود. در نرم افزار شبیه سازی رت اسکرین انرژی خروجی نیروگاه، انرژی تزریقی به شبکه ۳۸۴۶۴۲۹ کیلووات ساعت در سال خواهد بود. در بخش زیست محیطی شبیه سازی نیروگاه فتوولتائیک دانشگاه آزاد فسا در نرم افزار رت اسکرین، قابل مشاهده است که با استفاده از سیستم پیشنهادی از انتشار ۹/۲۲۲۱ تن دی اکسید کربن در جو جلوگیری خواهد شد، که این کاهش ۹۳ درصدی تاثیر بسزایی در عدم آلودگی هوا خواهد داشت.

نتیجه گیری: هدف اصلی تحقیق طراحی نیروگاه خورشیدی برای مجموعه آموزشی دانشگاه آزاد فسا برای کاهش اثر گاز دی اکسید کربن در منطقه بوده که در این راستا نیروگاه خورشیدی با توان نامی ۲۲۵۵ کیلووات برای یک هکتار زمین طراحی شده که نشان دهنده عملی بودن طرح است که امکان بسط دادن طرح با مساحت بیشتر نیز با توجه به شرایط طراحی وجود دارد. هدف فرعی این تحقیق بررسی ضریب عملکرد، راندمان مفید، بازده آرایه ها، چیدمان بهینه و زاویه مناسب پنل ها در شبیه سازی بوده است. در طراحی ما به ضریب نسبت عملکرد ۶۸ درصد برای کل نیروگاه دست پیدا کردیم که ضریب خوب و قابل قبولی است، با بهینه بودن زوایای پنل، چیدمان پنل ها و بازده خوب هر آرایه امکان پذیر شده است. در راستای ارتقای دقت در انتخاب محل مناسب برای احداث نیروگاه های خورشیدی فتوولتائیک، استفاده از متدهای بهینه سازی و تحلیل سیستماتیک مورد نیاز است. توجه به چندجانبگی معیارهای انتخابی و تأثیرات آن ها بر گزینه های پیشرو می تواند به افزایش کارایی نیروگاه ها در مقیاس های گوناگون کمک نماید. همچنین، اجرای مدل های پیش بینی پیچیده ای که بتواند متغیرهای بیشتری از جمله تغییرات اقلیمی، توسعه شهری و روندهای اقتصادی را در بر بگیرد، می تواند در شناسایی صحیح ترین مکان برای سرمایه گذاری های آینده مؤثر واقع شود.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۲۰

واژه های کلیدی:

شهرستان فسا، نیروگاه

فتوولتائیک، پی وی سیست،

رت اسکرین

نویسنده مسئول: مهدی متوسل

نشانی: استادیار، گروه مهندسی برق، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران. تلفن: ۰۹۱۷۳۰۹۹۵۶۳. پست الکترونیکی: mehdi_motevasel@yahoo.com

استناد: متوسل مهدی، تشکر سامان، خوشنواز آرمان. طراحی و شبیه سازی نیروگاه خورشیدی متصل به شبکه مجموعه آموزشی دانشگاه آزاد فسا به منظور کاهش کربن تولیدی. پژوهش های نوین در مهندسی محیط زیست. ۱۴۰۳؛ ۷(۷): ۷۷-۶۲.

حقوق نویسندگان محفوظ است. این مقاله با دسترسی آزاد و تحت مجوز مالکیت خلاقانه http://creativecommons.org/licenses/by/4.0 در فصلنامه پژوهش های نوین در مهندسی محیط زیست منتشر شده است. هرگونه استفاده غیرتجاری فقط با استناد و ارجاع به اثر اصلی مجاز است.



مقدمه

• متصل به شبکه: این نوع نیروگاه به مزایایی از قبیل نیاز نداشتن به باتری، افزایش ظرفیت انرژی‌های تجدیدپذیر در کشور و کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی، همچنین تقویت شبکه برق سراسری برخوردار است (کونگان و همکاران ۲۰۲۱).

• منفصل از شبکه: نیروگاه‌های خورشیدی فتوولتائیک به این شکل، طول عمر مناسبی دارند و برای نقاط دوردست نیز مناسب هستند، اما نیاز به سیستمی برای ذخیره‌سازی انرژی دارند (ناوینکومار ۲۰۲۲).

نوع اول با واسطه اینورتر، شبکه برق را تغذیه می‌کند و نوع دوم برای مصارف داخلی (مثل خانه‌ها، شرکت‌ها و سازمان‌ها) به کار برده می‌شود. در نوع دوم نیروگاه، از باتری برای ذخیره‌سازی انرژی استفاده می‌شود (حاسان و همکاران ۲۰۲۳).

نیروگاه‌های فتوولتائیک کار خود را بر پایه تبدیل انرژی خورشیدی به انرژی برقی انجام می‌دهند. در این نیروگاه‌ها، جریان برق مستقیم تولید شده در سلول‌های فتوولتائیک توسط دستگاهی به نام اینورتر (مبدل) به جریان متناوب تبدیل می‌شود. اکثریت این سلول‌ها از ماده‌ای به نام سیلیسیم ساخته شده‌اند که از شن و ماسه در مناطق کویری استخراج می‌شود. از این‌رو، کمبود ماده اولیه برای ساخت این سلول‌ها وجود ندارد. با این حال، مواد متفاوتی نیز در ساخت سلول‌های خورشیدی استفاده شده‌اند که بازده و هزینه‌های ساختشان متفاوت است. به‌خاطر این موضوع، این سلول‌ها باید به‌گونه‌ای طراحی شوند که بتوانند طول‌موج‌های نور خورشید را که به سطح زمین می‌رسد، با بازده بالا به انرژی مفید تبدیل کنند (میتراسینوویک و همکاران ۲۰۲۳).

نرم‌افزار RetScreen ساخت دولت کانادا کمک می‌کند تا تحلیل‌های پیشرفته اقتصادی، برنامه‌ریزی، ارزیابی و اجرای پروژه‌های انرژی تجدیدپذیر و پاک را ارائه دهد. نرم‌افزار PVSyst یکی از محصولات شبیه‌سازی پیشرفته برای نیروگاه‌های خورشیدی فتوولتائیک است. این نرم‌افزار بازایی داده‌ها، تحلیل‌های مکانی، شبیه‌سازی سیستم‌های زمینی و تولید گزارش‌هایی مربوط به انرژی‌های تجدیدپذیر ارائه می‌دهد. متئونورم یک ابزار مرجع جامع هواشناسی است، که دسترسی به طیف گسترده‌ای از داده‌های هواشناسی را برای کاربردهای خورشیدی و طراحی سیستم در سطح جهانی فراهم می‌کند. در آخرین نسخه، سری‌های زمانی تاریخی تابش، دما، رطوبت، بارندگی و باد را با داده‌های ساعتی در دسترس از سال ۲۰۱۰ و به‌روزرسانی دائمی ارائه می‌دهد. این نرم‌افزار به کاربران اجازه می‌دهد تا داده‌های هوایی دقیق را برای هر مکان روی زمین، با

در سال‌های اخیر، مصرف انرژی در بسیاری از کشورها به دلایل گوناگون افزایش یافته است. عواملی همچون صنعتی شدن، افزایش نرخ شهرنشینی و افزایش سریع جمعیت به این افزایش موجب شده‌اند (پاتا ۲۰۲۱). امروزه، تأمین بخشی از نیاز انرژی برای رشد و توسعه پایدار جوامع بشری از طریق منابع انرژی نو و تجدیدپذیر به‌عنوان راه‌حلی مطمئن و سازگار با ملاحظات زیست‌محیطی مدنظر بسیاری از دولت‌ها، کارشناسان و دانشمندان در سراسر جهان مطرح شده است. اما برای رسیدن به یک توسعه پایدار واقعی، لازم است تا در همان زمان به جنبه‌های فنی، اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی توجه کرده و تعادلی پویا و پایا بین این عوامل برقرار شود (هیچل ۲۰۱۹). همچنین، در نظر گرفتن شرایطی که ممکن است منجر به مخاطره یا کاهش فرصت‌های آینده برای پیشرفت شود، بسیار حائز اهمیت است. به عبارت دیگر، برای برنامه‌ریزی در خصوص آینده پایدار جوامع انسانی، ارزیابی و بررسی عملکرد سیستم‌های مختلف نیز از اهمیت بالایی برخوردار است. همچنین، به دلیل تغییرات سریع در جوامع جهانی، فناوری‌ها، نگرش ما نسبت به محیط‌زیست و تأثیر ما بر آن نیز در حال تغییر است (بلاتی ۲۰۱۹). از این‌رو، انجام تحقیقات جامع و گسترده برای افزایش و ترویج توسعه پایدار و شناسایی راه‌حل‌های پایدار و قابل انعطاف برای توسعه هر کشوری امری ضروری و حیاتی است (چانکسلایانی و همکاران ۲۰۲۱).

خورشید به‌تنهایی یک منبع عظیم انرژی است، بلکه سرآغاز حیات و منشأ تمام انرژی‌های طبیعی موجود دیگر است. برآوردهای علمی نشان می‌دهد که خورشید حدود ۴/۲ میلیون تن از جرم خود را در هر ثانیه به انرژی تبدیل می‌کند و تقریباً ۶/۶ میلیارد سال از تولد خورشید می‌گذرد. با توجه به وزن خورشید که تقریباً ۳۳۳ هزار برابر وزن زمین است، می‌توان آن را به‌عنوان یک منبع عظیم انرژی تا ۵ میلیارد سال آینده در نظر گرفت. قطر خورشید حدود ۱/۳۹ میلیون کیلومتر است و از گازهایی نظیر هیدروژن (۸۰/۸٪)، هلیوم (۲/۱۸٪) و اسیدهای دیگر که مهم‌ترین آن‌ها اکسیژن، کربن، نئون و نیتروژن است، تشکیل شده است. دمای مرکزی خورشید حدود ۱۶-۱۴ میلیون درجه سانتی‌گراد است، درحالی که دمای سطح آن نزدیک به ۵۵۰۶ درجه سانتی‌گراد است. خورشید امواج الکترومغناطیسی را در فضا منتشر می‌کند (کانان و همکاران ۲۰۱۶).

نیروگاه‌های خورشیدی فتوولتائیک به‌طور مستقیم انرژی خورشیدی دریافتی را به برق تبدیل می‌کنند. این نوع نیروگاه خورشیدی با دو شکل وجود دارد:

این گونه تحلیل‌ها کمک می‌کنند تا با در نظر گرفتن همه جوانب، مکان‌هایی که بیشترین پتانسیل را برای استفاده بهینه و مؤثر از منابع انرژی تجدیدپذیر دارند، برگزیده شوند.

چارابی و همکاران (۲۰۱۱) به ارزیابی و شناسایی مکان‌های مناسب برای ایجاد نیروگاه‌های خورشیدی پرداختند و در این راستا، معیارهایی نظیر تابش خورشید، فاصله از جاده‌های اصلی و توپوگرافی را در انتخاب مکان احداث نیروگاه‌ها در نظر گرفته‌اند. این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) انجام شده است. با تجزیه و تحلیل نقشه‌های به‌دست‌آمده از GIS، نتایج نشان داده‌اند که تنها نیم درصد از کل سطح زمین دارای شرایط مناسب برای احداث یک نیروگاه خورشیدی بوده است. این یافته‌ها می‌توانند در تصمیم‌گیری‌های مرتبط با توسعه پتانسیل‌های انرژی تجدیدپذیر مفید باشند، چرا که تعیین مکان‌های دارای بیشترین تابش خورشید و دسترسی مناسب به زیرساخت‌های حمل‌ونقل و با توجه به توپوگرافی، می‌تواند به حداکثر رساندن بازدهی و کاهش هزینه‌های سرمایه‌گذاری کمک کند. آیدین و همکاران (۲۰۱۳) تحقیقی را انجام دادند که در آن ابتدا معیارهای مانند فاصله از خطوط برق، فاصله از شهر، شیب زمین و جهت شیب را به‌عنوان عوامل مهم و استراتژیک برای مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی انتخاب کردند. این عوامل می‌توانند تأثیر قابل‌توجهی بر هزینه‌های احداث و بهره‌برداری از نیروگاه، به‌ویژه در زمینه‌های مربوط به ساخت‌وساز و اتصال به شبکه برق داشته باشند. آن‌ها در ادامه با استفاده از نرم‌افزار سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) که ابزاری قدرتمند برای تحلیل مکانی و گردآوری اطلاعات جغرافیایی محسوب می‌شود، و همچنین تصمیم‌گیری فازی که به تحلیل داده‌های پیچیده با عدم قطعیت کمک می‌کند، به عملیات مکان‌یابی پرداختند. در این زمینه، تصمیم‌گیری فازی اجازه می‌دهد که داده‌های مبهم یا غیرقطعی در فرآیند مکان‌یابی در نظر گرفته شود که این امر به بررسی دقیق‌تر و جامع‌تر مناطق مناسب برای احداث نیروگاه‌های خورشیدی کمک می‌کند و به پروژه‌های توسعه انرژی خورشیدی منجر می‌شود که نه تنها از نظر اقتصادی بلکه در زمینه‌های اجتماعی و زیست‌محیطی نیز بهینه‌سازی شده‌اند.

در تحقیقی که توسط رن و همکاران (۲۰۱۳) انجام شده و با عنوان نیروگاه خورشیدی منتشر شده است، روی نقش کلیدی انرژی در جوامع بشری و تأثیر آن بر تکامل و پیشرفت آن‌ها تمرکز شده است. این پژوهش به چالش‌های استفاده از سوخت‌های فسیلی که به حداکثر خود رسیده‌اند و پیامدهای آن بر محیط‌زیست، از جمله آلودگی هوا، گرمایش جهانی و تخریب لایه اوزون اشاره دارد. تحقیق توجه ویژه‌ای به ضرورت روی آوردن به منابع انرژی تجدیدپذیر و پاک به‌عنوان جایگزین‌های

دسترس‌ی به بیش از ۳۰ پارامتر مختلف آب‌وهوا از بیش از ۸۰۰۰ ایستگاه هواشناسی و پنج ماهواره تولید کنند.

مکان‌یابی به معنی انتخاب بهینه مکان‌ها برای هدف خاصی بر اساس معیارهای مشخص است. این مفهوم یکی از پرکاربردترین عناصر کلیدی را در موفقیت و بقای مراکز صنعتی تشکیل می‌دهد که تحت تأثیر بسیاری از عوامل قرار می‌گیرد. هدف از مکان‌یابی، یافتن مکان‌های بهینه است برای کاهش هزینه‌های حمل‌ونقل، بهبود و بهینه‌سازی گردش مواد و خدمات (یو و همکاران ۲۰۲۱). انتخاب مکان مناسب نیازمند به مطالعات منطقه‌ای و استفاده از روش‌های ریاضی، جغرافیایی، اقتصادی، مهندسی و تصمیم‌گیری است. استفاده صحیح از این روش‌ها منجر به دستیابی به مکان بهینه خواهد شد که اثرات مثبت اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی و فرهنگی در آینده دارد (جینگ و همکاران ۲۰۲۱، هویو و همکاران ۲۰۲۰). کاریون و همکاران (۲۰۰۸) تحقیقی را انجام دادند که در آن محیط‌زیست، هواشناسی، جغرافیا و شرایط قانونی را به‌عنوان عوامل کلیدی برای تعیین مکان احداث نیروگاه خورشیدی مورد بررسی قرار دادند. بررسی‌های انجام شده توسط آن‌ها نشان داد که مناطق مختلف در نیجریه دلیل که دارای میزان بالایی از تابش خورشید و دمای متوسط هستند، پتانسیل مناسبی برای ایجاد نیروگاه‌های خورشیدی فتوولتائیک دارند. این نوع بررسی‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است زیرا انتخاب مکان مناسب برای احداث نیروگاه خورشیدی می‌تواند تأثیر بسزایی در کارایی و موفقیت اقتصادی پروژه‌های انرژی تجدیدپذیر داشته باشد. شناسایی و انتخاب منطقه‌ای که دارای شرایط ایده‌آل هواشناسی و جغرافیایی است و همچنین مطابق با مقررات و قوانین محلی باشد، می‌تواند به کاهش هزینه‌ها، افزایش بازدهی، و پایداری سیستم‌های فتوولتائیک کمک نماید (کاریون و همکاران ۲۰۰۷).

چنانکه (۲۰۱۰) تحقیقی را انجام داد که در آن عوامل مختلفی مانند پتانسیل باد، پتانسیل خورشیدی، کاربری اراضی، تراکم جمعیت، موقعیت نسبت به زمین‌های فدرال، فاصله تا جاده‌ها، فاصله تا خطوط انتقال نیرو و فاصله از شهرها را به‌عنوان معیارهای مهم برای احداث نیروگاه برگزیدند. ایشان از روش چندضلعی در نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS استفاده کرده‌اند تا مناطق مناسب برای احداث نیروگاه‌های خورشیدی را شناسایی کنند. در مطالعه مذکور، شمال غرب کلرادو و شرق دنور به دلیل داشتن میزان مناسبی از تابش خورشیدی، به‌عنوان مناطق مستعد برای ایجاد نیروگاه‌های خورشیدی شناخته شده‌اند. انتخاب این مناطق بر اساس ارزیابی و تجزیه و تحلیل داده‌های جمع‌آوری شده با استفاده از GIS و بررسی چگونگی تأثیر این فاکتورها بر کارایی و موفقیت نهایی پروژه‌های نیروگاهی انتخاب شده است.

مختلف مانند شکل زمین، شرایط طبیعی و اقلیمی، دسترسی به تابش خورشیدی، دما، و شیب زمین، از GIS برای شناسایی مناطق با پتانسیل بالا استفاده شد. از آنجایی که هر یک از این معیارها اهمیت متفاوتی داشت، نظر خبرگان به کمک AHP در تعیین وزن هر معیار به کار رفت. سپس، با استفاده از روش TOPSIS و وزن‌دهی به این معیارها در GIS، مناطق مختلف از لحاظ پتانسیل ساخت نیروگاه‌های خورشیدی رتبه‌بندی شدند. استان کرمان در کشور عراق به عنوان مورد مطالعه عملی انتخاب شد تا این روش‌های نوین در یک محیط واقعی بررسی گردند. این مطالعه از آن جهت اهمیت دارد که با وجود پتانسیل بالای عراق برای استفاده از انرژی خورشیدی، تاکنون مطالعات کافی صورت نگرفته بوده و این تحقیق می‌تواند رهنمودهایی برای تصمیم‌گیری‌های آتی در این بخش فراهم آورد.

فچریزال و همکاران (۲۰۲۲) تحقیقی را با عنوان "تعیین اندازه بهینه PV-EV در ایستگاه‌های شارژ محل کار با انرژی خورشیدی با طرح‌های شارژ هوشمند با در نظر گرفتن تعادل خودمصرفی و خودکفایی" ارائه دادند. تحقیق روی یکپارچه‌سازی سیستم‌های فتوولتائیک (PV) و وسایل نقلیه الکتریکی (EVs) در محیط‌های کاری تمرکز داشته و به دنبال کاهش چالش‌های فنی ناشی از بارهای اوج و افزایش بار بیش از حد در سیستم‌های قدرت بوده است. تأکید این مطالعه بر تطبیق بهینه بین تولید انرژی خورشیدی و نیاز به شارژ EV ها بوده است. در این تحقیق یک چارچوب برای تعیین اندازه بهینه PV-EV ارائه شده که در آن از متریک جدیدی به نام تعادل خودکفایی مصرف (SCSB) استفاده می‌شود. این شاخص بر خودکفایی سیستم بدون نیاز به صادرات انرژی یا محدود کردن مصرف تولید خود هم اشاره دارد. نتایج نشان داده‌اند که با افزایش اندازه سیستم ترکیبی PV-EV، عملکرد SCSB بهبود یافته و همچنین نشان داده شده است که طرح‌های شارژ هوشمند می‌توانند عملکرد تطبیق بار و خودکفایی سیستم را به طور قابل توجهی بهبود بخشند. این یافته‌ها می‌توانند مبنایی برای تصمیم‌گیری‌های آتی در ایستگاه‌های شارژ و همچنین در سایر زمینه‌های مرتبط با تولید پراکنده انرژی و بارهای الکتریکی و EV ها باشند. معیار ارائه شده برای تعیین اندازه بهینه PV-EV می‌تواند در مطالعات آینده مورد استفاده قرار گیرد و به عنوان یک الگو در پروژه‌های مشابه به کار گرفته شود. با توجه به مطالب ارایه شده، هدف این مقاله طراحی یک نیروگاه خورشیدی در منطقه جغرافیایی دانشگاه آزاد اسلامی واحد فسا جهت تولید ماکزیمم توان الکتریکی و با در نظر گرفتن مینیمم کردن آلودگی زیست‌محیطی می‌باشد.

مؤثر برای مقابله با این چالش‌ها مبذول داشته است. رن و ساتانو تأکید می‌کنند که انرژی‌های تجدیدپذیر همچون انرژی خورشیدی دارای مزایای بارزی هستند که شامل عدم آلوده‌سازی محیط‌زیست، تجدیدپذیر و بی‌پایان بودن منابع، رایگان بودن و غیرخطرناک بودن این گونه انرژی‌ها می‌شود. کاربرد انرژی خورشیدی، به عنوان یک منبع انرژی پاک و دسترس‌پذیر، می‌تواند نقش مهمی در تأمین انرژی پایدار جامعه داشته باشد و هم‌زمان به کاهش اثرات منفی محیطی ناشی از سوخت‌های فسیلی کمک کند. در تحقیق انجام شده توسط قربان نژاد و همکاران (۱۳۹۷)، موضوع "بررسی نیروگاه هیبریدی بادی-خورشیدی و موردکاوی هیبریدیزاسیون نیروگاه بادی ۱۶۸ مگاواتی منجیل" مورد بررسی قرار گرفته است. تغییرات آب‌وهوایی و افزایش میزان گازهای گلخانه‌ای، بحران‌های اصلی که بشر با آن روبرو است را شامل شده و نقش جایگزین‌های تجدیدپذیر نظیر انرژی‌های بادی و خورشیدی به عنوان یک طرح مطرح می‌شود. این پژوهش تمرکز خود را بر امکان‌سنجی و ارزیابی تبدیل نیروگاه ۱۶۸ مگاواتی بادی منجیل به یک نیروگاه هیبریدی با ظرفیت ۲۶۶ مگاوات که ترکیبی از انرژی‌های هیبریدی باد و خورشید است، قرار داده است و به بررسی توجیه اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی طرح پرداخته است. علاوه بر این، این تحقیق آثار زیست‌محیطی ناشی از اضافه کردن ۱۶۸ مگاوات انرژی فتوولتائیک به سایت بادی منجیل را مدنظر قرار داده است که شامل مصرف سوخت، مصرف آب و میزان آلاینده‌ها است. نتایج به دست آمده در این مطالعه که در اسفندماه سال ۱۳۶۰ به پایان رسید، نشان می‌دهد که طرح نیروگاه هیبریدی با هزینه کمتری امکان‌پذیر بوده، بازده مطمئن و مؤثرتری داشته و زمان بازگشت سرمایه ۵ ماه کوتاه‌تر نسبت به یک نیروگاه فتوولتائیک با مقدار تولید برابر دارد. همچنین، محاسبات نشان داده است که هزینه‌های پروژه احداث نیروگاه فتوولتائیک به طور میانگین ۵/۸٪ بیشتر از ساخت نیروگاه هیبریدی بادی-خورشیدی بر اساس استانداردهای فعلی ایران است.

طیار و همکاران (۱۳۹۸) تحقیق خود با عنوان "ارزیابی مکان‌های مناسب برای احداث نیروگاه‌های خورشیدی در مقیاس بزرگ با بهره‌گیری از سیستم‌های اطلاعاتی جغرافیایی (GIS)، روش‌های فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و TOPSIS، مطالعه موردی: استان کرمان، کشور عراق"، به این موضوع پرداخته‌اند که چگونه می‌توان با استفاده از ابزارهای پیشرفته GIS و روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM)، بهترین مکان‌ها برای ایجاد نیروگاه‌های خورشیدی در مقیاس بزرگ را شناسایی کرد. در این تحقیق، با در نظر گرفتن مجموعه‌ای از محدودیت‌ها و معیارهای

مواد و روش‌ها

روش انجام پژوهش:

دیدگاه کاربردی به نحوه تحلیل و بررسی انرژی خورشیدی و نقش آن در تولید پایدار انرژی می‌پردازد. در این راستا، از نرم‌افزارهای RetScreen و PVSyst به عنوان ابزارهایی برای شبیه‌سازی عملکرد و تحلیل‌های مالی به کار گرفته شده و به ارزیابی پتانسیل منطقه فسا به عنوان نمونه موردی از نقاط دارای ظرفیت بالا برای استفاده از این انرژی پرداخته شده است.

این پژوهش با یک هدف کاربردی طراحی شده است و در طبقه‌بندی، به صورت توصیفی و تحلیلی است. جمع‌آوری داده‌های لازم و نیاز پژوهش، یکی از مراحل بنیادین در این فرآیند است و با توجه به اهمیت این مرحله، باید به صورت دقیق تعریف و مشخص شود. مرحله جمع‌آوری داده‌ها با فرآیندی که در آن پژوهش‌گر یافته‌های میدانی و کتابخانه‌ای را جمع‌آوری می‌کند، آغاز می‌گردد. در ادامه، یافته‌ها را به وسیله طبقه‌بندی خلاصه می‌کند و به تحلیل آنها می‌پردازد. همچنین فرضیه‌های تدوین شده توسط پژوهشگر، بازنگری می‌شوند. در نهایت، با استناد به این یافته‌ها، پژوهش‌گر به نتایج نهایی می‌رسد و جواب سؤال اصلی پژوهش را می‌یابد.

این پژوهش با بهره‌گیری از رویکردها و ابزارهای نوین در تحلیل و برنامه‌ریزی، می‌تواند دیدگاه‌های ارزشمندی را در زمینه توسعه پایدار نیروگاه‌های فتوولتائیک ارائه دهد و پایه‌گذار معیارهایی برای تحقیقات آتی در این حوزه باشد.

برای تحقق این پژوهش، داده‌های هواشناسی مورد نیاز مکان انتخابی، برگرفته از پایگاه داده هواشناسی Meteonorm، برای استفاده در روند شبیه‌سازی احداث نیروگاه، در نرم‌افزار PVSyst وارد شده‌اند.

پژوهش مورد نظر ابتکار و نوآوری‌های خاصی را به کار گرفته است که در چند بخش قابل توضیح است:

- استفاده از تحقیقات پیشین: این روش شامل جمع‌آوری نظرات متخصصان مختلف از طریق تحقیق میدانی برای پیش‌بینی و آینده‌نگری است. استفاده تحلیل تحقیقات پیشین به شناسایی و احراز معیارهای مؤثر، دقیق و بروز برای احداث نیروگاه خورشیدی فتوولتائیک کمک کرده است.

- بررسی میزان کارایی مکان‌های انتخاب شده: استفاده از روش‌ها و ابزارهای تحلیلی معتبر برای ارزیابی کارایی مکان‌های انتخاب شده برای نیروگاه خورشیدی، از جمله تابش خورشیدی دریافتی، اتصال به شبکه و منابع مورد نیاز.

- استفاده از نرم‌افزار PVSyst: این نرم‌افزار راه‌کاری قدرتمند برای تجزیه و تحلیل سخت‌افزاری و موقعیت مکانی نیروگاه‌های خورشیدی است که امکان شبیه‌سازی دقیق خروجی انرژی و بهینه‌سازی طراحی را فراهم می‌آورد.

- استفاده از روش RetScreen: این ابزار به انجام آنالیزهای اقتصادی و زیست‌محیطی مربوط به پروژه‌های انرژی پاک می‌پردازد. با استفاده از RetScreen می‌توان هزینه‌ها، درآمدها، کاهش انتشار کربن و سایر مزایای محیطی را تخمین زد که به ارزیابی موفقیت‌آمیز و توجیه‌پذیری بلندمدت پروژه‌های نیروگاه خورشیدی کمک خواهد کرد.

منطقه مورد مطالعه:

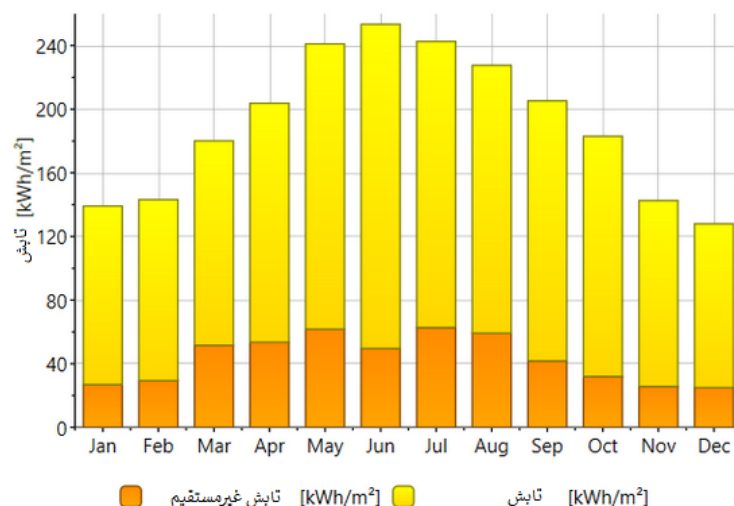
مکان مورد نظر برای احداث نیروگاه فتوولتائیک در موقعیت جغرافیایی (۲۹.۰۷۴۴۹۹۳ درجه و ۵۳.۶۲۴۴۴۴۴ درجه) و با ارتفاع ۱۹۸۰ متر از سطح دریا است، و در فاصله ۱۸ کیلومتری شهرستان فسا نزدیکی دانشگاه آزاد اسلامی واحد فسا قرار دارد. فاصله این نقطه با مرکز استان برابر ۱۳۶ کیلومتر است. بر اساس داده‌های ذکر شده در جدول مربوطه، بیان می‌شود که شهرستان فسا در طی ماه‌های گرم سال، یعنی خرداد و تیر، حداکثر میزان تابش خورشیدی مستقیم را تجربه می‌کند که این مقدار تابش به طور تقریبی ۲۵۳ کیلووات ساعت به ازای هر متر مربع است. در مقابل، حداقل میزان تابش مستقیم خورشیدی در طول ماه‌های زمستانی، آذر و دی، به ثبت رسیده که معادل ۱۲۸ کیلووات ساعت بر متر مربع برآورد می‌شود. از سوی دیگر، حداکثر میانگین دمای هوای گزارش شده در ماه‌های تیر و مرداد، معادل ۲۸/۹ درجه سانتی‌گراد است، در حالی که حداقل میانگین دمای ثبت شده در ماه‌های دی و بهمن، ۴/۴ درجه سانتی‌گراد گزارش گردیده است.

جدول ۱- اطلاعات خروجی Meteororm

ماه	میزان تابش مستقیم (Wh/m ²)	میزان تابش غیرمستقیم (Wh/m ²)	درجه حرارت (°C)	سرعت باد (m/s)
ژانویه	۱۳۹	۲۷	۴/۴	۱/۳
فوریه	۱۴۳	۲۹	۶/۹	۱/۷
مارس	۱۸۰	۵۲	۱۱	۲/۱
آوریل	۲۰۴	۵۴	۱۵/۸	۲/۲
می	۲۴۱	۶۲	۲۲/۳	۲/۶
جون	۲۵۳	۵۰	۲۷	۲/۲
جولای	۲۴۳	۶۳	۲۸/۹	۲/۲
آگوست	۲۲۸	۵۹	۲۷/۴	۲
سپتامبر	۲۰۵	۴۲	۲۳/۵	۱/۸
اکتبر	۱۸۳	۳۲	۱۷/۸	۱/۵
نوامبر	۱۴۳	۲۶	۱۰/۱	۱/۳
دسامبر	۱۲۸	۲۵	۵/۹	۱/۲
سالانه	۲۲۸۸	۵۱۹	۱۶/۸	۱/۸

در شکل ۱ مجموع تابش ماهانه بر حسب کیلووات ساعت بر مترمربع شهر فسا استان فارس قابل مشاهده است. رنگ زرد در شکل جمع تابش ماهانه، و بیانگر جمع انرژی روزانه در طی ماه‌های متفاوت سال بر حسب کیلووات ساعت بر متر مربع است.

حال آن که قسمتی از این انرژی به صورت تابش غیرمستقیم است. رنگ نارنجی انرژی تابشی غیرمستقیم را نشان می‌دهد. همانطور که قابل مشاهده است، در ماه جون تابش به بیش‌ترین حد خود با میزان تقریبی ۲۵۰ کیلووات ساعت بر مترمربع می‌رسد.



شکل ۱- مجموع تابش و تابش غیرمستقیم بر حسب کیلووات ساعت بر متر مربع در ماه شهر فسا

مترمربع شهر فسا قابل مشاهده است. این نمودار یک نمودار خطی است، این خط را تابش روزانه شهر فسا تشکیل داده است.

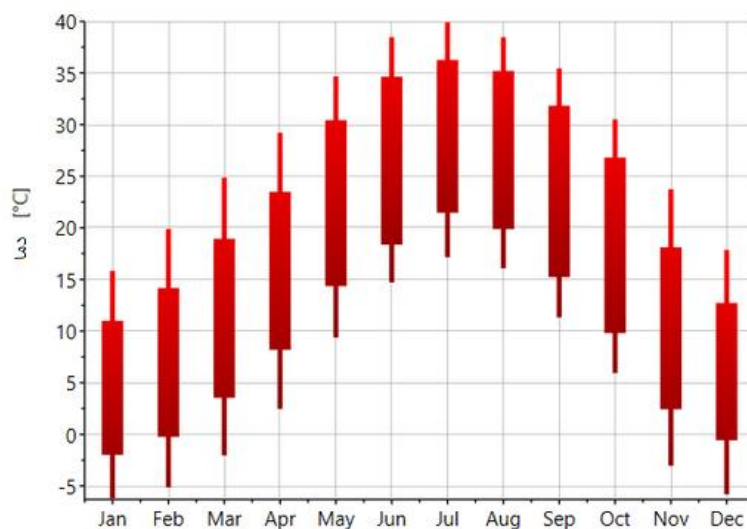
به صورت کلی ماکزیمم تابش تقریباً ۹/۵ کیلووات ساعت بر مترمربع و مینیمم آن تقریباً ۲ کیلووات ساعت بر مترمربع است. در شکل ۲ نمودار تابش کلی روزانه بر حسب کیلووات ساعت بر



شکل ۲- نمودار تابش کلی بر حسب کیلووات ساعت بر مترمربع، روزانه شهر فسا

سال ۲۹ درجه سانتی گراد است. مرداد با مینیمم ۱۵ و ماکزیمم ۴۰ درجه سانتی گراد دما به عنوان گرم‌ترین ماه سال در فسا شناخته می‌شود.

بازه دما بر حسب سانتی گراد در شهر فسا در شکل ۳ قابل رویت است. میانگین دما در سردترین ماه ۴/۴ سانتی گراد است. میانگین روزهای سرد ماه دی ۴/۵- درجه سانتی گراد و ماکزیمم دما در این ماه ۱۵ درجه سانتی گراد است. میانگین دما در گرم‌ترین ماه



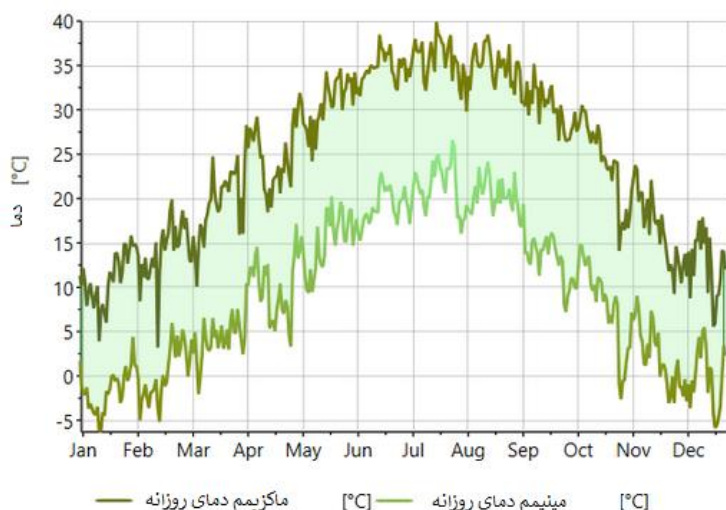
شکل ۳- نمودار دما بر حسب درجه سانتی گراد شهر فسا

هوا در این فصل‌ها بالاتر است. حال آن‌که در بهره‌برداری از توان سیستم فتوولتائیک هرچه تابش بیش‌تر باشد تولید انرژی بیش‌تر

همانطور که در اشکال ۱ تا ۳ مشاهده شد، در فصل‌های بهار و تابستان سطح تابش از فصل پاییز و زمستان بیشتر است اما دمای

یک خط سبز پررنگ و دماهای مینی‌م با یکدیگر به صورت یک خط سبز کم‌رنگ بر حسب روز به نمایش در آمده است. کم‌ترین دما روزانه در سال در ماه دی با $-5/5$ درجه و بیش‌ترین دما در سال در ماه مرداد 40 درجه سانتی‌گراد است.

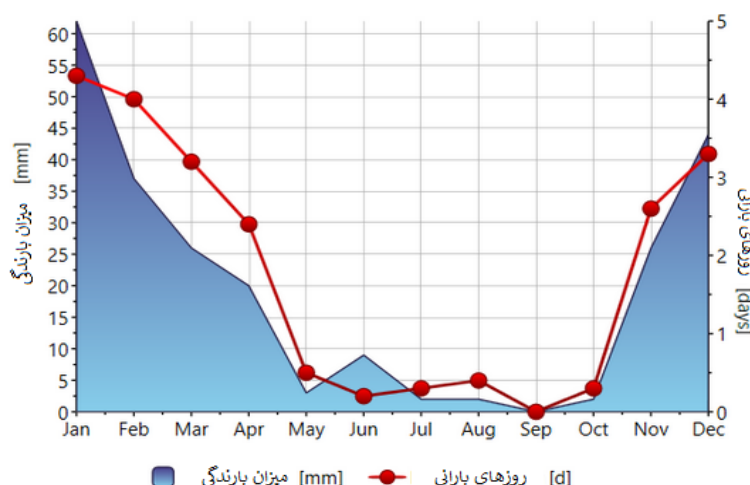
است، مادامی که ضریب حرارتی ناشی از دمای محیطی پنل‌ها به کاهش بازدهی ختم نشود. نمودار مینی‌م و ماکزیم دمای روزانه بر حسب درجه سانتی‌گراد شهر فسا در شکل ۴ قابل مشاهده است. در این شکل مجموعه دماهای ماکزیم با یکدیگر به صورت



شکل ۴- مینی‌م و ماکزیم دمای روزانه بر حسب درجه سانتی‌گراد شهر فسا

بارش‌های این ماه 60 میلی‌متر است. بیش‌ترین تعداد روز متوالی دارای بارندگی در ماه دی و برابر 3 روز است. حجم بارش‌ها با نمودار حجمی آبی رنگ و تعداد روز بارانی با میانگین متحرک ماهانه با خط قرمز رنگ نشان داده شده است.

نمودار میزان بارش ماهیانه بر حسب میلی‌متر شهر فسا در شکل ۵ قابل مشاهده است. محور عمودی چپ میزان بارش بر حسب میلی‌متر را نشان می‌دهد. محور عمودی سمت راست تعداد روزهای بارانی را نشان می‌دهد. محور افقی ماه‌های سال را نشان می‌دهد. ماکزیم بارش باران در ماه دی و میزان تقریبی



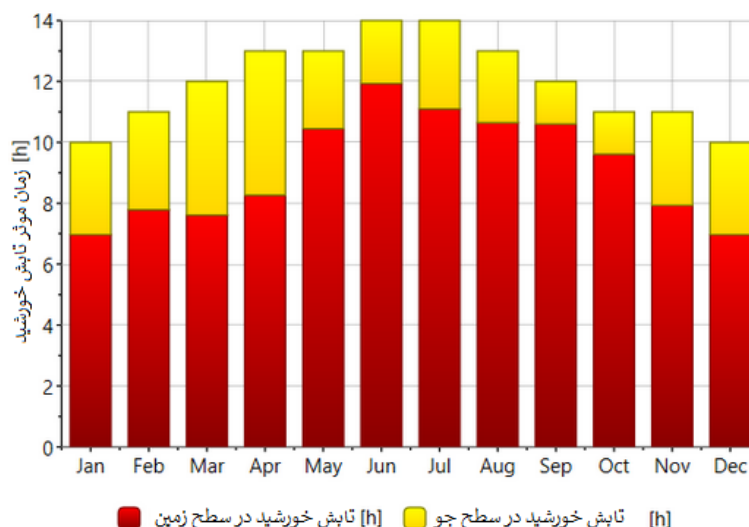
شکل ۵- نمودار میزان بارش بر حسب میلی‌متر شهر فسا

محاسبه انرژی تولیدی نیروگاه فتوولتائیک بازی می‌کند. هرچه ساعت تابش نور خورشید بیشتر باشد میزان تولید انرژی نیز بیشتر خواهد بود. حجم زرد رنگ میانگین ساعات تابش خورشید بر سطح

ساعت تابش خورشیدی شهر فسا در شکل ۶ قابل مشاهده است. حجم قرمز رنگ میانگین ساعات تابش خورشید بر سطح زمین به صورت ماهیانه است. این مؤلفه بسیار مهم، نقش کلیدی در

جو به صورت ماهیانه است. همان طور که قابل رویت است در شهرستان فسا میانگین ساعت تابش خورشیدی تقریباً ۹ ساعت در طول سال است، این بدان معنی است که اگر سیستم

فتوولتائیک با توان نامی ۱۰ کیلووات داشته باشیم، این سیستم به صورت میانگین در تمامی روزهای سال ۹۰ کیلووات ساعت انرژی تولید می‌نماید.



شکل ۶- نمودار ساعت تابش خورشیدی بر حسب ساعت شهر فسا

شهرستان فسا با توجه به شدت تابش خوبی که دارد و دما کم هوا نسبت به مناطقی با همین شدت تابش مکان بسیار مناسبی برای احداث نیروگاه خورشیدی است به دلیل این که دمای پنل‌ها

به خوبی قابل کنترل بوده و به دلیل وزش باد منطقه به خوبی به صورت طبیعی خنک می‌شوند که باعث افزایش راندمان نیروگاه شده و هزینه‌ها کاهش خواهد یافت.

نتایج و بحث

پیش‌بینی توان خروجی را برای مساحت یک هکتاری در نظر می‌گیرند که یک مقیاس کلی بوده و برای ساخت نیروگاه با مساحت بیش‌تر می‌توان از این مقیاس استفاده کرد. ابتدا به صورت خلاصه ترتیب عملیاتی طراحی سیستم را مرور و سپس به نتایج حاصله پرداخته می‌شود.

تعداد پنل‌های استفاده شده در یک هکتار برابر ۳۲۲۲ عدد پنل ۷۰۰ وات می‌باشد. بر این اساس توان نامی نیروگاه ما ۲۲۵۵ کیلووات پیک، حداکثر توان در ۵۰ درجه سانتی‌گراد ۲۱۰۹ کیلووات پیک، حداکثر ولتاژ ۷۰۹ ولت و حداکثر آمپر خروجی از پنل‌ها ۲۹۷۹

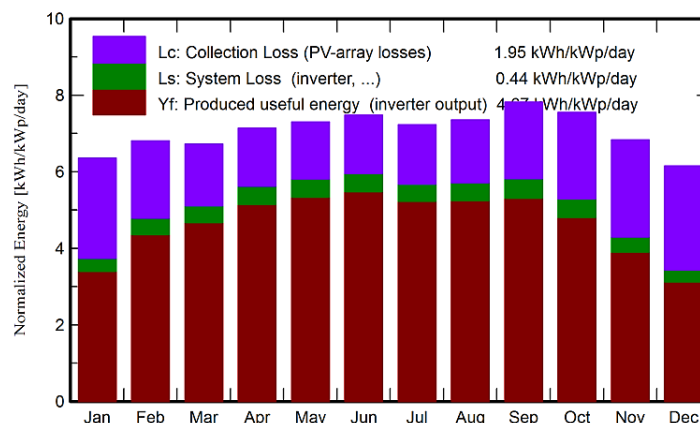
آمپر می‌باشد. سطح مورد اشغال نیروگاه ۹۹۹۷ مترمربع است و در ۱۷۹ ردیف که در هر ردیف ۱۸ پنل جانمایی شده است. تعداد اینورترها برابر با یک عدد اینورتر ۲۲۰۰ کیلوواتی با محدوده ولتاژ ۵۷۰ تا ۹۵۰ ولت تعیین می‌گردد. در نتیجه توان اینورتر ۲۲۰۰ کیلووات است که این اینورترها براساس این اصل که اینورتر تا ۱۱۰ درصد توان را به خوبی پاسخ‌گو است در نتیجه ۲۲۰ کیلووات توان بیشتر این‌جا مشکلی به وجود نخواهد آورد. جدول ۲، نتایج خروجی نرم‌افزار شبیه‌سازی PVsyst را نشان می‌دهد.

جدول ۲- نتایج خروجی نرم‌افزار شبیه‌سازی PVsyst

ماه	GlobHor (kWh/m ²)	DiffHor (kWh/m ²)	T_Amb (°C)	GlobInc (kWh/m ²)	GlobEff (kWh/m ²)	EArray (kWh)	E_Grid (kWh)	PR ratio
January	۱۲۹/۵	۳۰/۸۰	۴/۷۴	۱۹۷/۰	۱۲۱/۶	۲۶۱۶۳۲	۲۳۷۹۶۶	۰/۵۳۶
February	۱۴۱/۱	۳۱/۷۰	۷/۲۶	۱۹۰/۶	۱۴۲/۱	۳۰۲۸۸۷	۲۷۵۷۱۳	۰/۶۴۱
March	۱۷۹/۰	۵۳/۸۰	۱۱/۶۰	۲۰۸/۵	۱۶۹/۰	۳۵۷۶۵۲	۳۲۶۹۷۶	۰/۶۹۵
April	۲۰۹/۵	۶۰/۵۰	۱۶/۳۵	۲۱۴/۲	۱۸۲/۱	۳۸۰۷۱۹	۳۴۸۹۲۳	۰/۷۲۲
May	۲۴۴/۵	۵۹/۱۰	۲۳/۱۶	۲۲۶/۲	۱۹۷/۶	۴۰۶۶۳۲	۳۷۳۷۹۱	۰/۷۳۳
June	۲۵۵/۰	۵۰/۵۰	۲۷/۴۴	۲۲۴/۵	۱۹۸/۷	۴۰۳۱۸۷	۳۷۰۹۴۴	۰/۷۳۳
July	۲۴۷/۱	۶۵/۲۰	۲۹/۸۲	۲۲۴/۰	۱۹۶/۷	۳۹۷۴۳۴	۳۶۶۱۳۰	۰/۷۲۵
August	۲۳۱/۴	۵۵/۳۰	۲۸/۳۶	۲۲۷/۹	۱۹۷/۷	۳۹۹۶۱۴	۳۶۷۲۳۰	۰/۷۱۵
September	۲۱۰/۲	۳۳/۶۰	۲۴/۰۷	۲۳۴/۴	۱۹۵/۳	۳۹۴۰۹۷	۳۵۹۵۱۰	۰/۶۸۰
October	۱۸۰/۸	۳۰/۸۰	۱۸/۵۷	۲۳۴/۰	۱۸۱/۰	۳۷۰۱۸۴	۳۳۶۷۵۱	۰/۶۳۸
November	۱۳۹/۰	۲۵/۲۰	۱۰/۵۲	۲۰۵/۰	۱۳۸/۵	۲۹۰۹۳۶	۲۶۴۳۸۱	۰/۵۷۲
December	۱۲۲/۰	۲۸/۴۰	۶/۳۱	۱۹۰/۷	۱۱۲/۷	۲۴۰۶۱۴	۲۱۸۵۹۹۳۸	۰/۵۰۸
Year	۲۲۸۹/۱	۵۲۴/۹۰	۱۷/۴۱	۲۵۷۶/۹	۲۰۳۳/۱	۴۲۰۵۶۸۷	۳۸۴۶۹۱۴	۰/۶۶۲

با توجه به نتایج به‌دست آمده، میزان تابش و انرژی تزریقی به شبکه به‌صورت ماهیانه درج شده که بیش‌ترین انرژی تابشی عمودی خورشید در واحد سطح در ماه خرداد و بیش‌ترین میزان انرژی تزریقی به شبکه در ماه اردیبهشت به‌دست آمده است. میزان تابش غیرمستقیم سالیانه ۵۲۴ کیلووات ساعت بر مترمربع، میانگین دمای سالیانه ۱۷/۴۱ درجه سانتی‌گراد، میزان تابش بر سطح شیب‌دار سالیانه ۲۵۷۶ کیلووات ساعت بر مترمربع، تابش خورشیدی موثر سالیانه ۲۰۳۳ کیلووات ساعت بر مترمربع و انرژی خروجی موثر سالیانه ۴۲۰۵۶۸۷ کیلووات ساعت در سال به‌دست آمده است. نسبت عملکرد سالیانه برابر با ۰/۶۶۲ است. ضریب نسبت عملکرد، نسبت انرژی واقعی تولید شده یا تزریق شده به شبکه به انرژی که اگر سیستم به‌طور مداوم در توان نامی STC

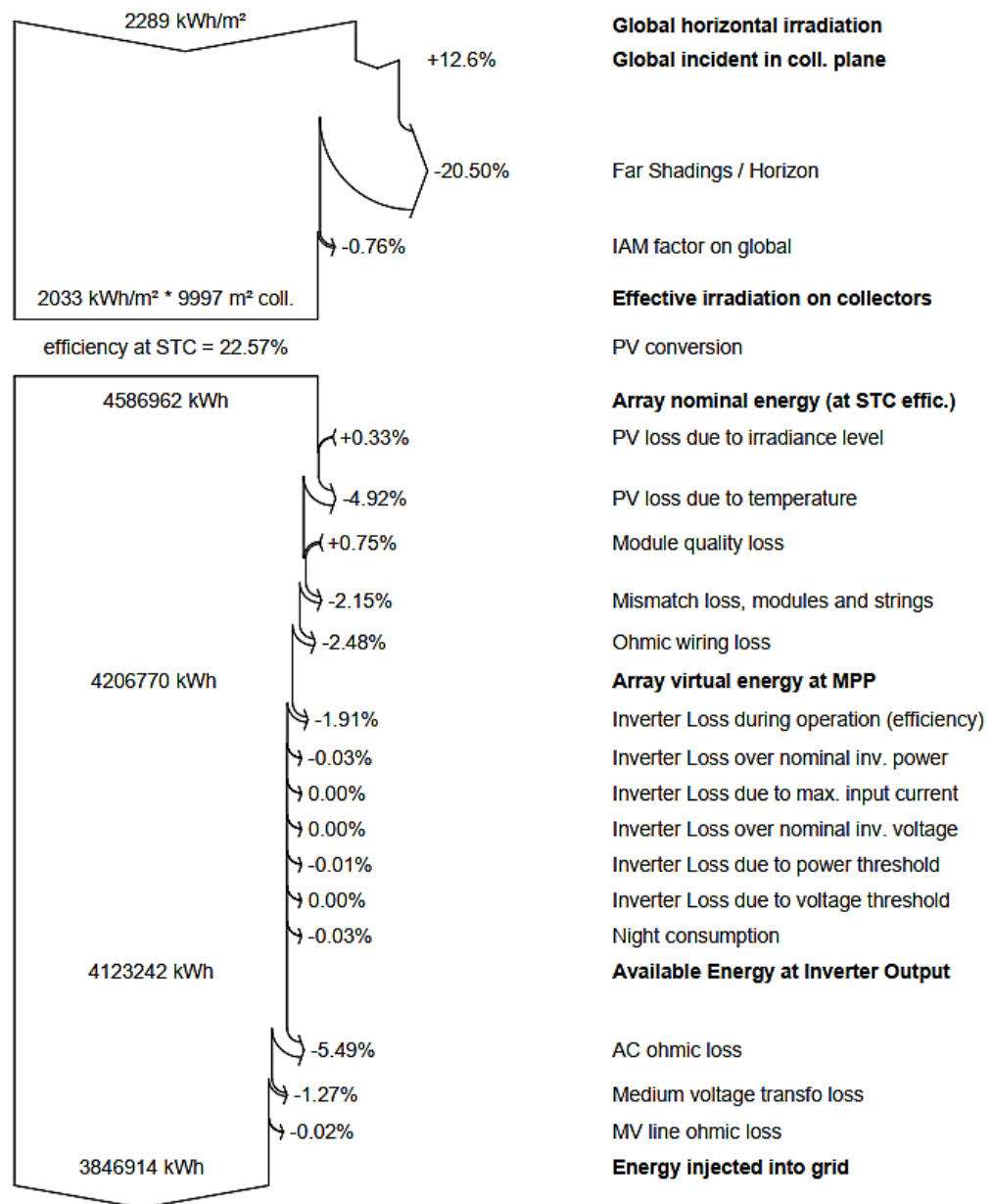
تولید می‌نمود، است. نسبت عملکرد مستقل از تابش می‌باشد و وابسته به تلفات ایجاد شده در اثر گرمای هوا و تلفات اهمی ایجاد شده می‌باشد. تولید سالانه ما برای منطقه مورد مطالعه برابر با ۳۸۴۶۹۱۴ کیلووات ساعت است. تولید انرژی در ماه‌های مختلف در محدوده ۶ تا ۸ کیلووات ساعت در روز است. با کم کردن تلفات اینورتر و پنل، میزان انرژی تحویل داده شده به شبکه در ماه‌های مختلف در محدوده ۳ تا ۶ کیلووات ساعت در روز است که بیش‌ترین تلفات مربوط به آرایه‌های پنل است که کم‌ترین تولید مربوط به ماه آذر و بیش‌ترین تولید مربوط به ماه خرداد است (شکل ۷). بخش زرشکی رنگ مربوط به مقدار انرژی الکتریکی تزریقی به شبکه است و بخش سبز رنگ مربوط به تلفات AC و بخش یاسی رنگ مربوط به تلفات DC می‌باشد.



شکل ۷- نمودار تولید به تفکیک ماهانه (خروجی شبیه‌سازی) PVSyst

می‌شود و با افزایش عمر پنل افزایش می‌یابد. تلفات اهمی بخش DC، ۲/۴۸- درصد، تلفات بر اثر مقاومت و تبدیل شدن انرژی به حرارت در بخش جریان مستقیم سیستم، اتلاف در اینورتر ۱/۹۱- درصد، تلفات اینورتر به صورت مستقیم به بازدهی اینورتر در ارتباط است که نشأت گرفته از پارامترهای مختلفی همچون تکنولوژی ساخت، کیفیت قطعات، دما، شرایط نگهداری، کیفیت شبکه برق، سیستم سنکرون با شبکه می‌باشد. اتلاف اینورتر در اثر قرار گرفتن بالای توان نامی = ۰/۰۳- درصد، زمانی که توان خروجی پنل و به صورت مشخص با افزایش ولتاژ، توان DC تولیدی پنل‌ها بالاتر از خط نمودار جریان-ولتاژ ورودی اینورتر باشد اما از محدوده نهایی آن عبور نکند. اتلاف اینورتر در اثر قرارگیری در آستانه توان ۰/۰۱- درصد، اتلاف انرژی زمانی که آرایه‌ها توانی کمتر از آستانه توان کار اینورتر را تولید نمایند. اتلاف مصارف شبانه اینورتر ۰/۰۳- درصد، این تلفات که با نام آگزری شناخته می‌شوند به میزان مصرف انرژی توسط اینورتر در زمان عدم تابش خورشید است که صرف روشن نگه داشتن فن‌ها و سیستم‌های کنترلی می‌گردد. تلفات اهمی بخش AC، ۵/۴۹- درصد، تلفات بر اثر مقاوت و تبدیل شدن انرژی به حرارت در بخش جریان متناوب سیستم. اثر تبدیل به ولتاژ متوسط ۱/۲۷- درصد، ولتاژ خروجی اینورتر باید با ولتاژ ورودی شبکه به صورت مداوم هماهنگ باشد، میزان اتلاف در اثر هماهنگ‌سازی و هم‌سطح‌سازی ولتاژها عامل این تلفات است. اتلاف اهمی در لاین MV ۰/۰۲- درصد، این تلفات اهمی در اثر اتصال به خط با ولتاژ متوسط برای انتقال به شبکه قدرت است. در نهایت با در نظر گرفتن تمامی عوامل تاثیرگذار در انرژی خروجی نیروگاه، انرژی تزریقی به شبکه ۳۸۴۶۹۱۴ کیلووات ساعت در سال خواهد بود. شکل ۸ دیاگرام خروجی از اتلافات سیستم در PVSyst را نشان می‌دهد.

انرژی اولیه همان تابش عمودی سالیانه که برابر با ۲۲۸۹ کیلووات ساعت بر مترمربع می‌باشد. قابل مشاهده است که ۱۲/۶ درصد به علت انتخاب زاویه مناسب برای پنل‌ها به انرژی ورودی ما افزوده شده است. بیش‌ترین میزان اتلاف در سیستم به علت اثرات سایه‌اندازی به میزان ۲۰/۵- درصد می‌باشد. فاکتور آی.ام.ای اثر انعکاس نور از سطح پنل‌ها است که به دلیل انعکاس روی پوشش شیشه‌ای است که با زاویه تابش افزایش می‌یابد و معادل ۰/۷۶- درصد بدست آمده است. با در نظر گرفتن این اثرات انرژی ورودی به پنل‌ها ۲۰۳۳ کیلووات ساعت بر مترمربع خواهد بود. از حاصل ضرب این انرژی ورودی و متراژ کل پنل‌ها و در نظر گرفتن راندمان ۲۲/۵۷ درصدی پنل‌ها در شرایط استاندارد، کل انرژی خروجی نامی پنل‌ها بدون در نظر گرفتن اتلافات بخش‌های AC و DC برابر با ۴۵۸۶۹۶۲ کیلووات ساعت به دست آمده است. قابل مشاهده است که تلفات دیگری در بخش‌های DC و AC تاثیرگذار است. این اثرات عبارتند از: اثر کم بودن سطح تابش = ۰/۳۳+ درصد، در صورتی که در منطقه مورد نظر شدت تابش از مناسب برخوردار نباشد این تلفات اضافه می‌گردد. اثر گرما بر روی پنل‌ها ۴/۹۲- درصد، هرچه دمای محیط بیش‌تر باشد بازدهی پنل‌ها کاهش می‌یابد. از این رو تلفات بر اثر دما برای سیستم تلفات مهم و تاثیرگذاری محسوب می‌شود. اثر کیفیت ساخت پنل‌ها ۰/۷۵+ درصد، تکنولوژی ساخت و کیفیت مواد اولیه و اتصالات پنل همگی کیفیت ساخت پنل محسوب می‌شوند. اثر ناهماهنگی بین پنل‌ها ۲/۱۵- درصد، اثر ناهماهنگی یا از دست دادن عدم تطابق پنل عمدتاً به این دلیل است که در اتصال سری یا موازی ماژول‌ها (یا سلول‌ها)، کم‌ترین جریان جریان کل رشته را هدایت می‌کند. اکنون هنگام نصب ماژول‌های واقعی در این زمینه، ویژگی‌های هر ماژول هرگز به طور دقیق یکسان نیست. این تلفات از عدم تطبیق کامل پارامترهای (Pmpp، Vco، Isc) حاصل



شکل ۸- دیاگرام خروجی از اتلافات سیستم در PVSyst

همان‌طور که قابل مشاهده است انرژی تولید شده معادل ۳۸۴۶۴۲۹ کیلووات ساعت در سال خواهد بود.

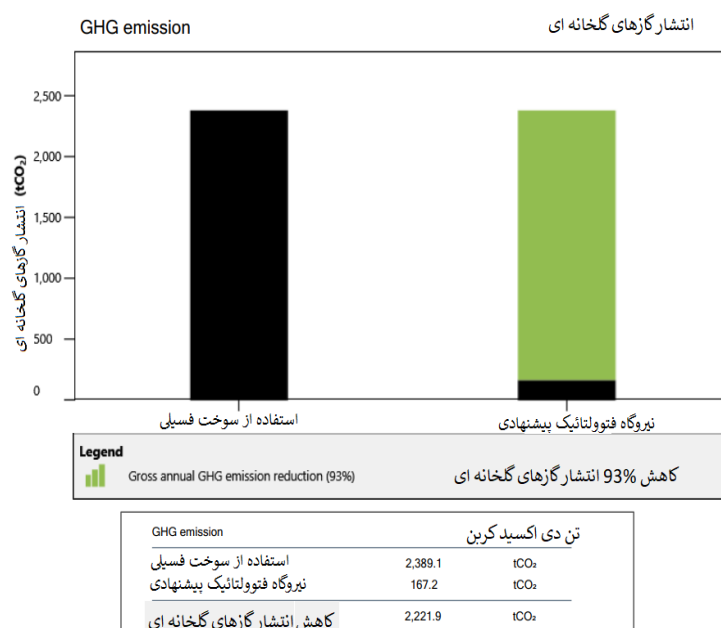
سیستم فتوولتائیک در نرم‌افزار RetScreen به صورت شکل ۹ طراحی شده است و دقیقاً مانند PVSyst سیستم طراحی می‌شود.

Photovoltaic		فتوولتائیک	
Type	Other	نوع سلول خورشیدی	
Power capacity	2,255 kW	ظرفیت سیستم خورشیدی	
Manufacturer	AE Solar	سازنده	
Model	AE700TME	مدل	
Number of units	3,222	تعداد پنل	
Efficiency	22.56%	بازدهی	
Nominal operating cell temperature	44 °C	دمای نامی عملیاتی	
Temperature coefficient	0.26% / °C	ضریب دمایی	
Solar collector area	9,996 m ²	مساحت پنل‌ها	
Bifacial cell adjustment factor	75%	فاکتور سلول‌های دو طرفه	
Miscellaneous losses	51.74%	میزان تلفات کلی	
Inverter		اینورتر	
Efficiency	98.6%	بازدهی اینورتر	
Capacity	2,200 kW	توان نامی اینورتر	
Miscellaneous losses	1.5%	میزان تلفات کلی	
Summary		خلاصه	
Capacity factor	19.5%	فاکتور ظرفیت	
Electricity exported to grid	3,846,429 kWh	میزان تولید انرژی سالانه برحسب کیلووات ساعت	

شکل ۹- طراحی و نتایج سیستم فتوولتائیک در نرم‌افزار RetScreen

می‌شود. حال، آن در حالی است که با استفاده از نیروگاه فتوولتائیک پیشنهادی این میزان به ۱۶۲/۷ تن دی‌اکسیدکربن تقلیل خواهد یافت. یعنی با استفاده از سیستم پیشنهادی از انتشار ۲۲۲۱/۹ تن دی‌اکسیدکربن در جو جلوگیری خواهد شد، که این کاهش ۹۳ درصدی تاثیر بسزایی در عدم آلودگی هوا خواهد داشت.

در بخش زیست‌محیطی شبیه‌سازی نیروگاه فتوولتائیک دانشگاه آزاد فسا در نرم‌افزار RetScreen، نمودار گزارش به ۲ بخش استفاده از سوخت فسیلی و استفاده از نیروگاه پیشنهادی تقسیم شده است. همان‌طور که در شکل ۱۰ قابل مشاهده است اگر بخواهیم از سوخت فسیلی برای تولید ۳۸۴۶۴۲۹ کیلووات ساعت در سال استفاده کرد، ۲۳۹۸/۱ تن دی‌اکسیدکربن در جو آزاد



شکل ۱۰- محاسبه میزان کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن در نرم‌افزار RetScreen

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

تقلیل خواهد یافت. یعنی با استفاده از سیستم پیشنهادی از انتشار ۲۲۲۱/۹ تن دی‌اکسیدکربن در جو جلوگیری خواهد شد، که این کاهش ۹۳ درصدی تأثیر به‌سزایی در عدم آلودگی هوا خواهد داشت. به‌کارگیری روش‌های تصمیم‌گیری متفاوت و نوین می‌تواند به تعیین بهترین گزینه مکانی برای برپاکردن این نوع نیروگاه‌ها کمک شایانی نماید. در راستای ارتقای دقت در انتخاب محل مناسب برای احداث نیروگاه‌های خورشیدی فتوولتائیک، استفاده از متدهای بهینه‌سازی و تحلیل سیستماتیک موردنیاز است. توجه به چندجانبگی معیارهای انتخابی و تأثیرات آن‌ها بر گزینه‌های پیشرو می‌تواند به افزایش کارایی نیروگاه‌ها در مقیاس‌های گوناگون کمک نماید. همچنین، اجرای مدل‌های پیش‌بینی پیچیده‌ای که بتواند متغیرهای بیشتری از جمله تغییرات اقلیمی، توسعه شهری و روندهای اقتصادی را شامل شود، می‌تواند در شناسایی صحیح‌ترین مکان برای سرمایه‌گذاری‌های آینده مؤثر واقع شود.

هدف اصلی تحقیق طراحی نیروگاه خورشیدی برای مجموعه آموزشی دانشگاه آزاد فسا بوده که در این راستا نیروگاه خورشیدی با توان نامی ۲۲۵۵ کیلووات برای یک هکتار زمین طراحی شده که نشان‌دهنده عملی‌بودن طرح است که امکان بسط دادن طرح با مساحت بیشتر نیز با توجه به شرایط طراحی وجود دارد. هدف فرعی این تحقیق بررسی ضریب عملکرد، راندمان مفید، بازده آرایه‌ها، چیدمان بهینه و زاویه مناسب پنل‌ها در شبیه‌سازی بوده است. در طراحی ما به ضریب نسبت عملکرد ۶۸ درصد برای کل نیروگاه دست پیدا کردیم که ضریب خوب و قابل‌قبولی است، با بهینه‌بودن زوایای پنل، چیدمان پنل‌ها و بازده خوب هر آرایه امکان‌پذیر شده است، تا بهینه‌ترین نقطه برای طراحی و همچنین نقطه بهینه مالی دست‌یافتنی باشد. همچنین با توجه به نتایج اگر بخواهیم از سوخت فسیلی برای تولید ۳۸۴۶۴۲۹ کیلووات ساعت در سال استفاده کنیم، ۲۳۹۸/۱ تن دی‌اکسیدکربن در جو آزاد می‌شود. حال، آن در حالی است که با استفاده از نیروگاه فتوولتائیک پیشنهادی این میزان به ۱۶۲/۷ تن دی‌اکسیدکربن

References

1. A. M. Mitrašinović and M. Radosavljević, "Photovoltaic Materials and Their Path toward Cleaner Energy," *Global Challenges*, vol. 7, no. 2, Feb. 2023, doi: 10.1002/gch2.202200146.
2. F. Ren, M. Zhang, and D. Sutanto, "A Multi-Agent Solution to Distribution System Management by Considering Distributed Generators," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 28, no. 2, pp. 1442–1451, May 2013, doi: 10.1109/TPWRS.2012.2223490.
3. J. A. Carrión, A. Espín Estrella, F. Aznar Dols, and A. R. Ridao, "The electricity production capacity of photovoltaic power plants and the selection of solar energy sites in Andalusia (Spain)," *Renew Energy*, vol. 33, no. 4, pp. 545–552, Apr. 2008, doi: 10.1016/j.renene.2007.05.041.
4. J. L. Blatti et al., "Systems Thinking in Science Education and Outreach toward a Sustainable Future," *J Chem Educ*, vol. 96, no. 12, pp. 2852–2862, Dec. 2019, doi: 10.1021/acs.jchemed.9b00318.
5. J. R. Janke, "Multicriteria GIS modeling of wind and solar farms in Colorado," *Renew Energy*, vol. 35, no. 10, pp. 2228–2234, Oct. 2010, doi: 10.1016/j.renene.2010.03.014.
6. M. Chankseliani and T. McCowan, "Higher education and the Sustainable Development Goals," *High Educ (Dordr)*, vol. 81, no. 1, pp. 1–8, Jan. 2021, doi: 10.1007/s10734-020-00652-w.
7. M. Koengkan, J. A. Fuinhas, and N. Silva, "Exploring the capacity of renewable energy consumption to reduce outdoor air pollution death rate in Latin America and the Caribbean region," *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 28, no. 2, pp. 1656–1674, Jan. 2021, doi: 10.1007/s11356-020-10503-x.
8. N. Kannan and D. Vakeesan, "Solar energy for future world: - A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 62, pp. 1092–1105, Sep. 2016, doi: 10.1016/j.rser.2016.05.022.
9. N. Y. Aydin, E. Kentel, and H. Sebnem Duzgun, "GIS-based site selection methodology for hybrid renewable energy systems: A case study from western Turkey," *Energy Convers Manag*, vol. 70, pp. 90–106, Jun. 2013, doi: 10.1016/j.enconman.2013.02.004.
10. R. Fachrizal, M. Shepero, M. Åberg, and J. Munkhammar, "Optimal PV-EV sizing at solar powered workplace charging stations with smart charging schemes considering self-consumption and self-sufficiency balance," *Appl Energy*, vol. 307, p. 118139, Feb. 2022, doi: 10.1016/j.apenergy.2021.118139.
11. R. Jing, Y. He, J. He, Y. Liu, and S. Yang, "Global sensitivity based prioritizing the parametric

- uncertainties in economic analysis when co-locating photovoltaic with agriculture and aquaculture in China,” *Renew Energy*, vol. 194, pp. 1048–1059, Jul. 2022, doi: 10.1016/j.renene.2022.05.163.
12. R. Naveenkumar et al., “Review on phase change materials for solar energy storage applications,” *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 29, no. 7, pp. 9491–9532, Feb. 2022, doi: 10.1007/s11356-021-17152-8.
 13. S. Haviv et al., “Luminescent Solar Power—PV/Thermal Hybrid Electricity Generation for Cost-Effective Dispatchable Solar Energy,” *ACS Appl Mater Interfaces*, vol. 12, no. 32, pp. 36040–36045, Aug. 2020, doi: 10.1021/acsami.0c08185.
 14. X. Yu, W. Li, A. Maleki, M. A. Rosen, A. Komeili Birjandi, and L. Tang, “Selection of optimal location and design of a stand-alone photovoltaic scheme using a modified hybrid methodology,” *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, vol. 45, p. 101071, Jun. 2021, doi: 10.1016/j.seta.2021.101071.
 15. Y. B. Hassan, M. Orabi, and M. A. Gaafar, “Real-time mode of operation data analysis to catch the thread-tip denotes the failure cause of the grid-tie PV central inverter,” *Sci Rep*, vol. 13, no. 1, p. 14821, Sep. 2023, doi: 10.1038/s41598-023-41520-8.
 16. Y. Charabi and A. Gastli, “PV site suitability analysis using GIS-based spatial fuzzy multi-criteria evaluation,” *Renew Energy*, vol. 36, no. 9, pp. 2554–2561, Sep. 2011, doi: 10.1016/j.renene.2010.10.037.
 17. A. Tayar, M. Rizvan, H. Hashemi Dezaki, “Evaluation of suitable locations for the construction of large-scale solar power plants using geographic information systems (GIS), analysis hierarchy process (AHP) and TOPSIS (case study: Karbala Province, Iraq)” *Energy Engineering and Management Quarterly*, vol. undefined, no. undefined, 2018, [Online]. Available: <https://civilica.com/doc/1556134> [In Persian].
 18. M. Ghorban Nejad and A. Fallah Murad, “Investigation of wind-solar hybrid power plant and case study of hybridization of 100 MW Manjil wind power plant,” *Future Research and Policy Studies Quarterly*, vol. undefined, no. undefined, 2017, [Online]. Available: <https://civilica.com/doc/1502542> [In Persian].
 19. J. Hickel, “The contradiction of the sustainable development goals: Growth versus ecology on a finite planet,” *Sustainable Development*, vol. 27, no. 5, pp. 873–884, Sep. 2019, doi: 10.1002 / sd. 2019.
 20. U. K. Pata, “Renewable and non-renewable energy consumption, economic complexity, CO2 emissions, and ecological footprint in the USA: testing the EKC hypothesis with a structural break,” *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 28, no. 1, pp. 846–861, Jan. 2021, doi: 10.1007/s11356-020-10446-3.



Design and simulation of grid-connected solar power plants in educational complex of Fasa Azad University to reduce carbon emissions

Mehdi Motevasel * Assistant Professor, Department of electrical engineering, Shiraz branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran
Saman Tashakor Associate Professor, Renewable Energy Engineering Department, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran
Arman Khoshnavaz Master of Science in Renewable Energy Engineering, Islamic Azad University, Shiraz, Iran

Extended Abstract

Received: 15 Sep 2024

Accepted: 10 Dec 2024

Keywords: Fasa, photovoltaic power plant, Pvsyst, RetScreen

Introduction: In recent years, energy consumption has increased in many countries due to various reasons. Today, providing part of the energy needs for sustainable growth and human development through new and renewable energy sources is proposed as a reliable and environmentally compatible solution, which is considered by many governments, experts, and scientists worldwide. Solar power plants are particularly environmentally compatible. The establishment and operation of solar power plants in the future will provide wide fields for self-sufficiency and reduce the country's dependence on oil exports. This research investigates and evaluates the design type of solar power plant for the educational complex of Fasa Azad University.

Materials and Methods: In this research, the efficiency of solar power plant in Fars region, Fasa city has been investigated. The simulation of energy production in the photovoltaic power plant connected to the grid at the rate of 2.2554 nominal megawatt hours was investigated with the help of PVsyst and RetScreen software. The reduction of carbon dioxide emissions and its environmental effect were investigated.

Results and Discussion: In PVsyst simulation software, the energy output of the power plant, the energy injected into the grid will be 3846914 kilowatt hours per year. In the RetScreen simulation software, the output energy of the power plant, the energy injected into the grid will be 3846429 kilowatt hours per year. In the environmental part of the simulation of the Photovoltaic Power Plant of Fasa Azad University in the RetScreen software, it can be seen that by using the proposed system, the emission of 2221.9 tons of carbon dioxide in the atmosphere will be prevented, which is a reduction 93% will have a significant impact on air pollution.

Conclusion: The main goal of the research is to design a solar power plant for the educational complex of Fasa Azad University to reduce the effect of carbon dioxide gas in the region, and in this regard, a solar power plant with a nominal power of 2255 kW has been designed for one hectare of land, which shows the practicality of the plan and the possibility of expanding the plan. It is also available with a larger area according to the design conditions. The sub-goal of this research was to investigate the performance factor, useful efficiency, efficiency of arrays, optimal layout and appropriate angle of panels in simulation. In our design, we achieved an efficiency ratio of 68% for the entire power plant, which is a good and acceptable coefficient, made possible by the optimal panel angles, the arrangement of the panels, and the good efficiency of each array. In order to improve the accuracy in choosing the right place for the construction of photovoltaic solar power plants, it is necessary to use optimization methods and systematic analysis. Paying attention to the multifaceted selection criteria and their effects on leading options can help to increase the efficiency of power plants in various scales. Also, the implementation of complex forecasting models that can include more variables such as climate change, urban development and economic trends can be effective in identifying the most correct place for future investments.

Corresponding author: Mehdi Motevasel

Address: Assistant Professor, Department of electrical engineering, Shiraz branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran

Tel: +989173099563 **Email:** mehdi_motevasel@yahoo.com

Citation: Motevasel M, Tashakor S, Khoshnavaz A. Design and simulation of grid-connected solar power plants in educational complex of Fasa Azad University to reduce carbon emissions. Journal of New Researches in Environmental Engineering. 2024; 2(7): 62-77



© 2024, This article published in Journal of New Researches in Environmental Engineering (JNREE) as an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>). Non-commercial use, distribution and reproduction of this article is permitted in any medium, provided the original work is properly cited.



بررسی و پهنه بندی آلودگی صوتی در منطقه ۳ شهر تهران با استفاده از روش کریجینگ و عکس فاصله (مطالعه موردی: بلوار میرداماد)

دانش آموخته کارشناسی ارشد آلودگی محیط زیست، گروه محیط زیست، واحد دماوند، دانشگاه آزاد اسلامی، دماوند، ایران
دانشیار، گروه محیط زیست، واحد دماوند، دانشگاه آزاد اسلامی، دماوند، ایران
استادیار، گروه محیط زیست، واحد دماوند، دانشگاه آزاد اسلامی، دماوند، ایران

پگاه عطایی
شهرزاد خرم نژادیان*
مینا ترابی فرد

چکیده مبسوط

مقدمه: آلودگی صوتی از مشکلات جوامع شهری می باشد. مراکز پر تردد و پرترافیک از منابع مهم تولید آلودگی صوتی در مناطق شهری می باشد. آلودگی صوتی در ترازهای بالا به یکباره خود را نشان می دهد اما در ترازهای پایین تر اثر تدریجی دارد. گسترش شهرها و صنعتی شدن سبب پیدایش این آلودگی در سطح شهرها شده است.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۲۲

مواد و روش ها: این پژوهش به صورت توصیفی-تحلیلی و مقطعی در سال ۱۴۰۰ با هدف برآورد میزان آلودگی صوتی در بلوار میرداماد تهران صورت گرفت. تراز معادل صدا با دستگاه صداسنج در سه نوبت صبح و ظهر شنبه و جمعه ظهر در ۷ ایستگاه اندازه گیری گردید. محل ایستگاه ها به گونه ای انتخاب گردید که کل منطقه را پوشش دهد و شامل همه کاربری ها، از جمله مسکونی، تجاری، مسکونی-تجاری گردد. به منظور پهنه بندی و اتصال نقاط مشابه آلودگی صوتی از روش های درون یابی کریجینگ معمولی (OK) و عکس فاصله (IDW) استفاده گردید، همچنین از نرم افزار Arc GIS برای تهیه نقشه های پهنه بندی تراز شدت صوت بهره گرفته شد.

نتایج و بحث: نتایج حاصل از اندازه گیری های میدانی با استفاده از صداسنج در سه بازه زمانی متفاوت (صبح شنبه، ظهر شنبه و ظهر جمعه) نشان دهنده وجود تفاوت معناداری میان آلودگی صوتی روز شنبه صبح با سایر بازه های اندازه گیری بود. همچنین گسترش آلودگی صوتی در منطقه، در روز شنبه ظهر، بیش تر از سایر مواقع بود. میزان آلودگی صدا در پهنه های مورد مطالعه و در هر دو مدل کریجینگ معمولی و وزن دهی بر مبنای عکس فاصله در مقایسه با استاندارد صدا در هوای آزاد ایران، بالاتر از حد استاندارد بود. بیش ترین میزان آلودگی صوت در روزهای کاری ۸۰ دسی بل و کم ترین میزان صوت ۶۸ دسی بل اندازه گیری شد.

واژه های کلیدی: آلودگی صوتی، بلوار میرداماد تهران، پهنه بندی، تراز معادل صدا

نتیجه گیری: عبور و مرور خودروها و ترافیک در سطح بلوار و همچنین آلودگی ناشی از مراکز تجاری عوامل اصلی ایجادکننده آلودگی صوتی بودند که با توجه به بالاتر بودن آلودگی صدا از حد استاندارد، می تواند اثرات جدی برای شهروندان داشته باشد. لازم است تا راه کارهای اصولی برای حذف و یا کاهش آلودگی صوتی اتخاذ گردد.

نویسنده مسئول: شهرزاد خرم نژادیان

نشانی: دانشیار، گروه محیط زیست، واحد دماوند، دانشگاه آزاد اسلامی، دماوند، ایران
تلفن: ۰۹۳۵۷۹۷۰۹۷۸
پست الکترونیکی: khoramnejad@damavandiau.ac.ir
استاد: خرم نژادیان شهرزاد، عطایی پگاه، ترابی فرد مینا. بررسی و پهنه بندی آلودگی صوتی در منطقه ۳ شهر تهران با استفاده از روش کریجینگ و عکس فاصله (مطالعه موردی: بلوار میرداماد). پژوهش های نوین در مهندسی محیط زیست. ۱۴۰۳: (۷) ۲: ۷۸-۸۹.

حقوق نویسندگان محفوظ است. این مقاله با دسترسی آزاد و تحت مجوز مالکیت خلاقانه <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0> در فصلنامه پژوهش های نوین در مهندسی محیط زیست منتشر شده است. هرگونه استفاده غیرتجاری فقط با استناد و ارجاع به اثر اصلی مجاز است.



مقدمه

یکی از بزرگ‌ترین مولفه‌های آلودگی محیط‌زیست در شهرها، سروصدا می‌باشد. (غیبی و همکاران ۲۰۲۴) صدای ناخوشایند و نامطلوب خطر قابل توجهی برای زندگی شهری به حساب می‌آید. (شیرزاد و همکاران ۲۰۲۲) آلودگی صدا از جمله آلودگی‌های فیزیکی و روانی برشمرده می‌شود (ازالدین حسن ۲۰۲۴) که می‌تواند بر زندگی انسان اثرگذار باشد. آلودگی صدا بعد از آلودگی هوا و آب به‌عنوان سومین نوع خطرناک آلودگی به حساب می‌آید. (ووکرو ۲۰۲۰) سروصدای نامطلوب در اطراف ما به‌عنوان یک چالش مهم زندگی شهری به حساب می‌آید. (الگان و همکاران ۲۰۲۴) آلودگی صوتی در ترازهای بالا به یک‌باره خود را نشان می‌دهد اما در ترازهای پایین‌تر اثر تدریجی دارد (فتحی و همکاران ۲۰۱۵). از سویی دیگر اثرات آن در کوتاه‌مدت قابل رویت نمی‌باشد و به این دلیل کم‌تر مورد توجه قرار می‌گیرد، این در حالی‌ست که از ساده‌ترین و محسوس‌ترین اثرات مستقیم آلودگی صدا از دست دادن قدرت شنوایی از یک‌سو و از سوی دیگر اثرات غیرمستقیم نظیر تحریک‌پذیری، حساسیت عصبی، سرگیجه، اضطراب و استرس می‌باشد. (کیامهر و غفاری ۲۰۲۱) سروصدا بر سلامت روح و روان اثر دارد (معاشری و همکاران ۲۰۱۲)، می‌تواند موجبات افت شنوایی، خستگی مفرط، مشکلات گوارشی، افسردگی، (امام‌جمعه و همکاران ۲۰۱۱) اختلال خواب، افزایش فشار خون و بروز بیماری‌های عروق کرونری قلب را فراهم نماید. در سال‌های اخیر اثرات ناشی از آلودگی صدا بر سلامت انسان بیشتر شده است و کارایی افراد را در شغلشان نیز تحت تاثیر قرار داده است. (رحیمی و همکاران ۲۰۱۹). آلودگی صوتی در نواحی شهری یک نگرانی قابل توجه برای سلامتی شهروندان است که سطح آن اغلب از حد مجاز فراتر می‌رود (سارکر و همکاران ۲۰۲۳). در گذشته صنایع و برخی مشاغل در محیط شهری آلودگی صوتی ایجاد می‌کردند اما در این دوره اتومبیل‌ها عامل مهمی در آلودگی صوتی محیط شهری به حساب می‌آیند. (سلیمانی و بایرامزاده ۲۰۱۷) آلودگی صدا ناشی از ترافیک می‌تواند سلامت افراد را به‌خطر بیندازد. (نصیری و همکاران ۲۰۱۶) کوچه‌ها، معابر، شکل ساختمان‌ها و موادی که در ساخت بناها استفاده می‌شود به انعکاس صوت کمک می‌کند و محیط شهری مملو از امواج بازتابی می‌گردد. همچنین جمعیت، نوع معابر و پوشش گیاهی بر آلودگی صدا اثرگذار است. (آریزا و همکاران ۲۰۱۴) در شهرهای ایران (کلان شهرها) سیستم‌های حمل‌ونقل، کاربری صنعتی داخل شهرها، (حسینی و همکاران

۲۰۱۷) وجود خودروهای فرسوده، کارگاه‌ها و ساخت‌وسازها، و بسیاری عوامل دیگر باعث گردیده است که آلودگی صوتی به یکی از جدی‌ترین مشکلات شهرها، تبدیل شود. (زارعی و همکاران ۲۰۲۴) در شهر تهران علاوه بر تردد وسایط نقلیه، ساخت‌وساز به‌خصوص در شب نیز آلودگی صوتی زیادی را تولید می‌کند. (فتحی و همکاران ۲۰۱۵)، لذا مطالعه پیرامون آلودگی صوتی و ارائه راه‌حل مناسب جهت کاهش آن ضروری به‌نظر می‌رسد. تهیه نقشه‌های صوتی برای مناطقی که دارای آلودگی صدای زیادی هستند، به‌منظور کنترل و مدیریت آلودگی می‌تواند موثر باشد. (رحیمی و همکاران ۲۰۱۹) بر همین اساس مطالعات زیادی در زمینه بررسی تراز صوتی و پهنه‌بندی آلودگی صدا پرداخته اند. (سای و همکاران ۲۰۱۵). مطالعه‌ای در سال ۲۰۲۴ توسط غریبی و شایسته در شهر همدان انجام شد، در این مطالعه کاهش میزان صدا بر اثر ایجاد زیرساخت‌های سبز شهری مورد ارزیابی قرار گرفت و پهنه‌بندی آن به‌وسیله روش کریجینگ انجام پذیرفت. نتایج حاصله کاهش قابل توجه صدا در فواصل مختلف از جاده‌های اصلی را با به‌کارگیری انواع مختلف فضاهای سبز نشان داد. ویکراماتیلاکا و همکاران (۲۰۱۴) با روش‌های درون‌یابی کریجینگ و IDW مبادرت به تهیه نقشه آلودگی صدا ناشی از ترافیک کردند و تاثیر ناهمواری زمین را بر دقت این روش‌ها بررسی کردند. و نتایج حاصله نشان داد روش کریجینگ برای مناطق ناهموار مناسب‌تر می‌باشد. کاندو و همکاران (۲۰۲۲) به ارزیابی سطح آلودگی صوتی ناشی از ترافیک در مناطق شهری، به‌ویژه در اطراف مدارس با استفاده از روش IDW مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)^۱ در شهر بورداوان پرداختند. اثرات آلودگی صدا بر سلامت ساکنان اطراف مدارس نیز مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد که آلودگی صوتی ناشی از ترافیک در نزدیکی مدارس تاثیرات منفی زیادی بر سلامت افراد، نظیر اختلالات خواب دارد. ولاستیک و همکاران (۲۰۲۳) سطوح آلودگی صدای شهری را با استفاده از داده‌های جمع‌آوری‌شده از دانش‌آموزان تحلیل کردند و از روش‌های درون‌یابی کریجینگ معمولی (OK) و IDW برای تولید نقشه‌های آلودگی صدا استفاده کردند. نتایج حاکی از آن است که بخش غربی شهر بالاترین میزان صدا را داراست، درحالی‌که آرام‌ترین نواحی در ورودی و شمال شرقی شهر بوده است. در مطالعه‌ای که توسط غفوری و همکاران (۲۰۱۹) در شهر اصفهان انجام گرفته است، آلودگی ناشی از ترافیک در مناطق ۳

^۱ Geographical Information System

بررسی قرار گرفت. این بررسی یک‌ماه در پاییز انجام شد. سنجش آلودگی صوت در بازه زمانی ۹-۷ صبح، ۱۴-۱۲ ظهر و ۲۱-۱۹ شب و در سه منطقه تجاری، تجاری-مسکونی و مسکونی انجام شد. شدت تراز صوت در تمامی زمان‌ها و در همه مناطق تحت بررسی بیش‌تر از حد مجاز بود. فتحی و همکاران (۲۰۱۵) نیز به بررسی آلودگی صدا در منطقه ۵ تهران پرداختند. در این مطالعه شاخص‌های نویز در سه بازه زمانی صبح، ظهر و شب در ایستگاه‌های نمونه‌برداری جمع‌آوری گردید. سپس داده‌ها وارد نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS شد و لایه‌های اطلاعاتی جهت ارایه مقدار آلودگی در منطقه، تعیین پراکنش آلودگی صوتی، نقاط بحرانی، مناطق بدون آلودگی صدا و غیره مشخص گردید. نتایج تحقیق نشان داد در کل ایستگاه‌های سنجش صدا میزان تراز معادل صدای اندازه‌گیری شده بیش از حد استاندارد روز ایران بوده است. در مطالعه دیگری که توسط یاری و همکاران در سال ۲۰۱۶ در شهر قم انجام گرفت، از آزمون تی یک نمونه‌ای در سطح معناداری ۰/۰۵ برای مقایسه میانگین تراز معادل صوت با مقدار ثابت استاندارد شهر قم استفاده گردید. نتایج حاصله نشان داد میانگین تراز معادل صوت در کل ایستگاه‌های اندازه‌گیری شده بالاتر از حد استاندارد هوای آزاد ایران می‌باشد. رحیمی و همکاران نیز در سال ۲۰۱۹ به ارزیابی میزان آلودگی صدا در منطقه ۱۶ تهران پرداختند، نتایج این مطالعه حاکی از بالا بودن تراز صوت در همه ایستگاه‌ها نسبت به استاندارد ایران بوده است. هدف از انجام این مطالعه، بررسی و پهنه‌بندی آلودگی صوتی در بلوار میرداماد، واقع در منطقه ۳ تهران به‌عنوان یکی از مناطق پرتردد این شهر می‌باشد که با استفاده از روش‌های کریجینگ معمولی و عکس‌فاصله صورت گرفت.

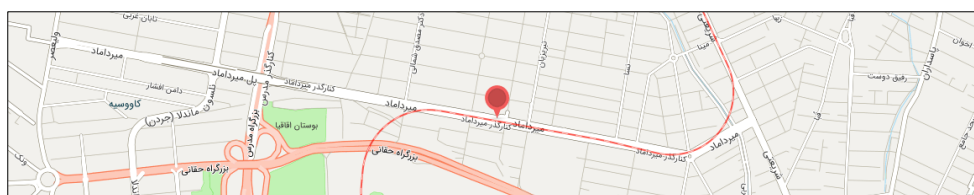
و ۴ اصفهان مورد بررسی قرار گرفته شد. بیش‌ترین میزان تراز صوت در نزدیکی پل بزرگمهر به میزان ۱۰۷ دسی‌بل بود که با دور شدن از مناطق پرترافیک تراز فشار صوت کاهش می‌یافت (غفوری و همکاران ۲۰۱۹). حقیقی کفاش و همکاران (۲۰۲۲) در بررسی که بر روی گیاهان مناطق شهری انجام دادند، دریافتند که در مناطق پرتردد که تراز فشار صوت بالا است، میزان رشد گیاهان کاهش می‌یابد. سروصدای ناشی از ترافیک سبب اثرات فیزیولوژیک (آسیب‌های اکسیداتیو و تغییر در بالانس هورمونی) می‌گردد (حقیقی کفاش و همکاران ۲۰۲۲). امام‌جمعه و همکاران (۲۰۱۰) در مطالعه‌ای آلودگی صوتی در شهر قزوین را بررسی نمودند. در این مطالعه شهر قزوین را به سه ناحیه تقسیم نمودند و در تقاطع‌ها و خیابان‌های پرتردد تراز فشار صوت را اندازه‌گیری نمودند. نتایج نشان داد که تراز فشار صوت در مناطق مسکونی و تجاری بیش‌تر از حد استاندارد می‌باشد. در خیابان‌های کوچک که انعکاس صوت بیشتر است آلودگی صوتی بیش‌تری مشاهده گردید. در تحقیقی که توسط یانگ و همکاران (۲۰۲۰) انجام گرفت، مشخص شد که ساکنین مناطق پرتردد شهری در ساعت‌های غیر اوج ترافیک، به دلیل سرعت بالای خودروها با ترازهای بالای صوت روبه‌رو هستند (یانگ و همکاران ۲۰۲۰). کریمی و همکاران (۲۰۱۳) به ارزیابی میزان آلودگی صدا در منطقه ۱۴ تهران پرداختند که نتایج حاصله بیانگر بالا بودن تراز صوت در ایستگاه‌های مورد مطالعه نسبت به حد استاندارد ایران بود. ارزیابی مشابه‌ای توسط مجیدی و خسروی در سال ۲۰۱۵ در شهر زنجان صورت گرفت. این بررسی در دو فصل زمستان و بهار و در ساعت‌های مختلف انجام شده است. نتایج نشان داد که بار ترافیکی و عادات مردم در جابه‌جایی بر آلودگی صوتی اثر دارد، مناطق مرکزی و تجاری شهر دارای آلودگی صوتی بیش‌تری بودند. در شهر امیدیه اثرات آلودگی صوتی ترافیک بر سلامت شهروندان توسط نریموسی و سلطانیان در سال ۲۰۱۵ مورد

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

این خیابان عبارتند از بزرگراه آفریقا، بزرگراه مدرس و خیابان مصدق. بلوار میرداماد در بخش شرقی خود از میدانی به نام میدان مادر می‌گذرد. در تقاطع بزرگراه مدرس و بلوار میرداماد بخشی از این خیابان از پلی روگذر به نام پل میرداماد عبور می‌کند. (شکل ۱)

بلوار میرداماد که خیابان میرداماد نیز نامیده می‌شود، یکی از معابر شریانی شهر تهران است که در محله داودیه و در منطقه ۳ شهرداری تهران واقع شده است. بلوار شرقی-غربی میرداماد به طول ۳/۳ کیلومتر از سوی شرق به خیابان شریعتی و از سوی غرب به خیابان ولی‌عصر منتهی می‌شود. راه‌های اصلی متقاطع با



شکل ۱- موقعیت بلوار میرداماد

روش کار

این پژوهش به صورت توصیفی-تحلیلی و مقطعی در سال ۱۴۰۰ با هدف برآورد میزان آلودگی صوتی در بلوار میرداماد تهران صورت گرفته است. نخست ۷ ایستگاه با مختصات تعیین شده در جدول ۱ به منظور اندازه‌گیری تراز معادل صدا با دستگاه صدا سنج

در سه نوبت صبح، ظهر شنبه و جمعه ظهر تعیین گردیدند. محل ایستگاه‌ها (شکل ۲) نیز به گونه‌ای انتخاب گردید که کل منطقه را پوشش دهد و شامل همه کاربری‌ها، از جمله مسکونی، تجاری، مسکونی-تجاری، آموزشی، تفریحی، درمانی و خیابان‌ها گردد. (رحیمی و همکاران ۲۰۱۹)

جدول ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های اندازه‌گیری صدا

ایستگاه	محل اندازه‌گیری صدا	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
۱	شریعتی، تقاطع میرداماد	۵۱/۴۴۵۴۴۶	۳۵/۷۶۰۰۶۳
۲	میدان مادر	۵۱/۴۴۲۹۷۶	۳۵/۷۵۸۷۶۸
۳	میرداماد، جنب مسجد الغدير	۵۱/۴۳۷۵۸۷	۳۵/۷۵۹۴۴۷
۴	میرداماد، جنب متروی میرداماد	۵۱/۴۳۳۸۷۲	۳۵/۷۵۹۸۵۱
۵	میرداماد، روبه‌روی مرکز پایتخت	۵۱/۲۴۴۰۷۵۹	۳۵/۴۵۴۶۸۹۵
۶	میرداماد، خیابان افشار	۵۱/۲۴۴۹۴۳۰	۳۵/۴۵۴۲۲۴۱
۷	میرداماد، کوچه نور	۵۱/۴۱۴۵۰۸	۳۵/۷۶۳۲۷۱



شکل ۲- محل ایستگاه‌های اندازه‌گیری صدا

پس از اندازه‌گیری میزان تراز معادل صدا L_{eq} ، نقشه‌های پهنه‌بندی تراز شدت صوت با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS تهیه گردید. به منظور پهنه‌بندی و اتصال نقاط مشابه در آلودگی صوتی معمولاً از روش‌های درون‌یابی استفاده می‌گردد. روش تخمین و برآورد میزان متغیر پیوسته در مناطق نمونه‌گیری نشده در داخل ناحیه‌ای که مشاهدات نقطه‌ای پراکنده نشده‌اند، درون‌یابی گفته می‌شود. (قاسمی و همکاران ۲۰۱۴) درون‌یابی در ریاضیات

به‌معنای یافتن مقادیر یک تابع در نقاطی است که داده‌ای برای آن‌ها وجود ندارد، اما داده‌هایی از نقاط اطراف آن‌ها در اختیار است. به عبارت دیگر، با استفاده از داده‌های موجود، تابعی تخمین زده می‌شود که بتواند مقادیر نقاط نامعلوم را پیش‌بینی کند. در این مطالعه به منظور پهنه‌بندی و اتصال نقاط مشابه از روش درون‌یابی

با فاصله بین آن‌ها متناسب و تابع عکس‌فاصله از نقاط مجاور است. چنانچه نقاط نمونه به اندازه کافی با پراکنش مناسب در سطوح مقیاس محلی قرار گرفته باشند، این روش قابل کاربرد خواهد بود. (عدل و همکاران ۲۰۲۳). درون‌یابی عکس‌فاصله از روابط ۱ و ۲ انجام می‌شود. (محمدی‌زاده و محمدی‌تراب ۲۰۱۶)

$$Z^* = \sum_{i=1}^n w_i \times Z_i \quad (1)$$

$$w_i = \frac{\left(\frac{1}{d_i}\right)^a}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{d_i}\right)^a} \quad (2)$$

واریانس برآورد کند. (قاسمی و همکاران ۲۰۱۴) در روش کریجینگ معمولی مقدار متغیر در هر نقطه‌ای که اندازه‌گیری انجام نشده است با استفاده از یک متوسط‌گیری متحرک وزنی خطی مقادیر اندازه‌گیری شده در مجاورت نقطه موردنظر تخمین زده می‌شود (رابطه ۳). (دلبری و افراسیاب ۲۰۱۵) روش درون‌یابی کریجینگ دقت بالاتری نسبت به روش عکس‌فاصله دارد. (شعبانی ۲۰۱۲)

$$Z^*(X_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i \times Z(x_i) \quad (3)$$

تخمین زده می‌شود. λ_i وزن نسبت داده شده به Z در موقعیت X_i و n تعداد نقاط مجاور می‌باشد.

کریجینگ معمولی^{۱۶} و وزن‌دهی بر مبنای عکس‌فاصله IDW^{17} استفاده شده است. روش درون‌یابی عکس‌فاصله بر اساس مقادیر نقاط نزدیک به نقطه برآورد که بنابر عکس‌فاصله وزن‌دهی می‌شود، انجام می‌گیرد، به عبارت دیگر به نقاط نزدیک به نقطه برآورد وزن بیش‌تری داده می‌شود تا به نقاط دورتر. در واقع در این روش فرض بر آن است که میزان همبستگی و تشابه داده‌ها

که در آن مقدار هر نقطه مجهول Z^* براساس ترکیب خطی از نقاط معلوم Z_i ، واقع در مجاورت آن و وزن‌دادن به نقاط شرکت‌کننده در درون‌یابی W_i بر حسب فاصله d_i و توان عکس‌فاصله a محاسبه می‌شود.

کریجینگ روش درون‌یابی و برآورد است که قادر است بر اساس مدل برازش شده بر واریوگرام تجربی و نمونه‌های اندازه‌گیری شده در جامعه نقاط نمونه‌برداری نشده را بدون اریب و با حداقل

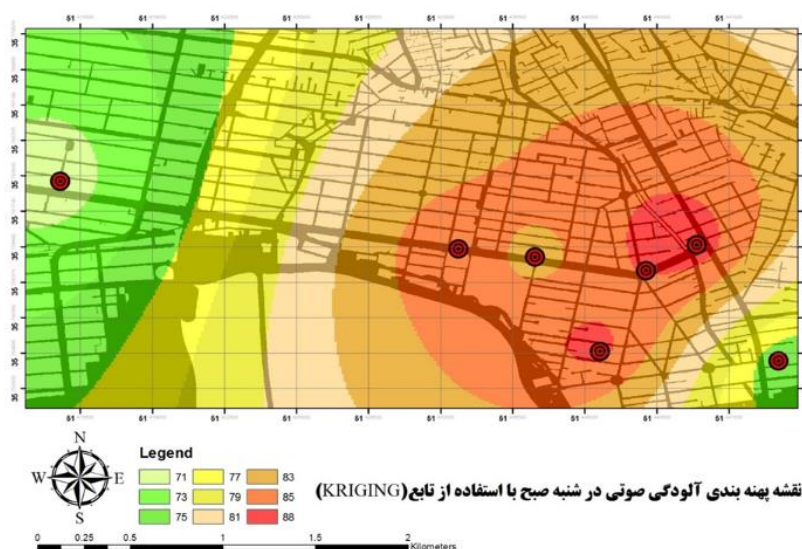
در این رابطه $Z^*(X_0)$ ، مقدار Z است که در موقعیت X_0

نتایج و بحث

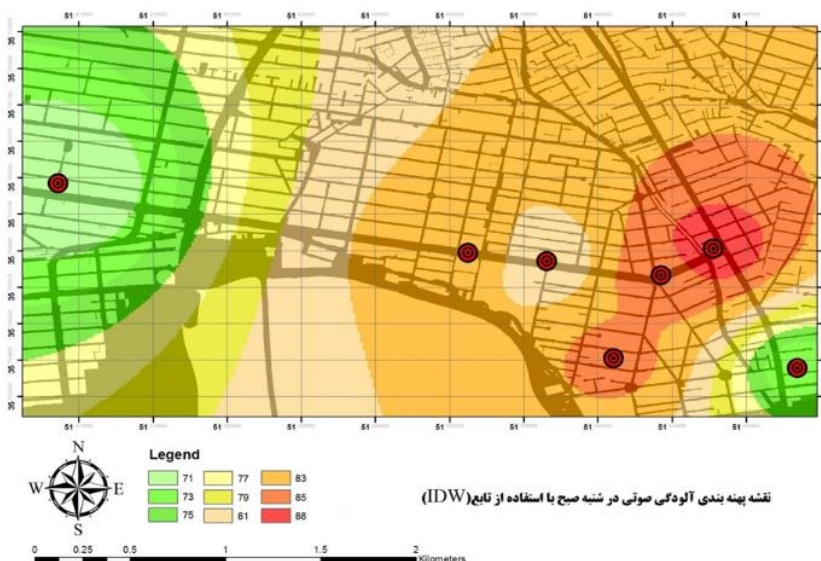
آلودگی صوتی می‌باشد و همچنین با فاصله گرفتن از این گره ترافیکی، شدت آلودگی صوتی نیز کاهش می‌یابد. شدت آلودگی در گره ترافیکی مشاهده شده بیش از ۸۸ دسی‌بل و در پهنه‌ای که کم‌ترین آلودگی صوتی را دارا می‌باشد، بیشتر از ۷۱ دسی‌بل برآورد شده است. در بررسی که در تبریز انجام گرفت بیش‌ترین میزان تراز صوت ۷۱/۴ دسی‌بل و کم‌ترین میزان ۶۸/۵ دسی‌بل اندازه‌گیری شد (قنبری و همکاران ۲۰۱۱)

میزان صدا در شنبه صبح به‌عنوان زمان پیک کاری، در ایستگاه‌های مد نظر اندازه‌گیری گردید و با استفاده از روش‌های کریجینگ معمولی و IDW درون‌یابی و در ادامه پهنه‌بندی آلودگی صدا صورت پذیرفت. براساس نتایج به‌دست آمده (شکل ۳ و ۴) می‌توان اذعان نمود در روز شنبه صبح که پیک کاری محسوب می‌شود، میزان آلودگی صدا در هر دو مدل، با نتایج مشابه، در شدت بیش‌تری می‌باشد. تقاطع شریعتی و میرداماد که به‌عنوان گره ترافیکی شناخته می‌شود دارای بیش‌ترین میزان

^{۱۶} Ordinary Kriging



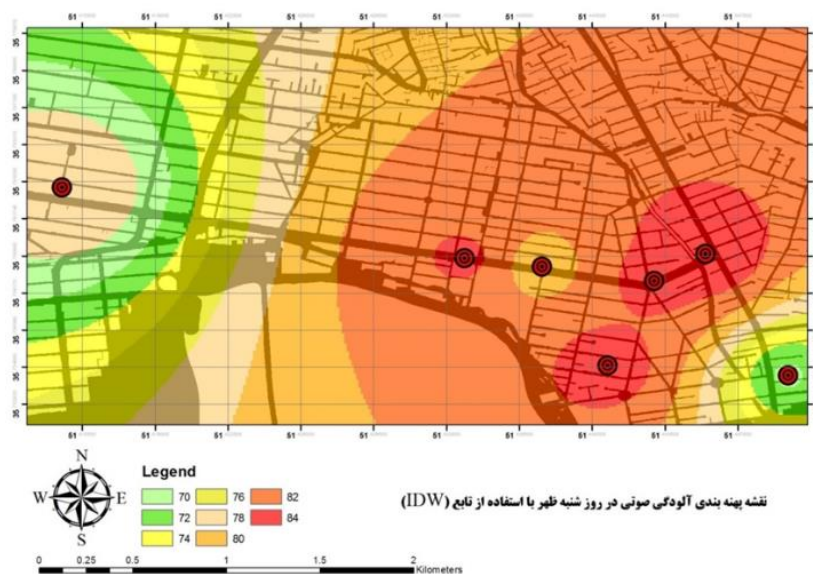
شکل ۳- پهنه‌بندی آلودگی صوتی به روش کریجینگ، شنبه صبح



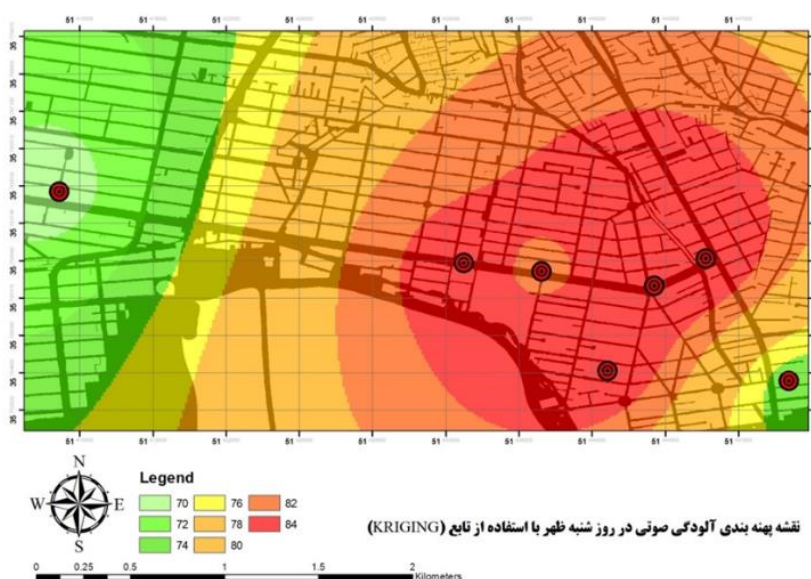
شکل ۴- پهنه‌بندی آلودگی صوتی به روش عکس فاصله، شنبه صبح

این آلودگی صوتی برابر با بیش از ۷۰ دسی‌بل است. آلودگی صوتی، به‌ویژه سطوح بالای ۸۰ دسی‌بل، خطرات قابل‌توجهی برای سلامتی انسان و حیوانات به‌همراه دارد. قرارگرفتن در معرض سطوح بالای سروصدا می‌تواند منجر به مشکلات قلبی-عروقی، کاهش شنوایی و مشکلات رشدی در کودکان شود (کومار و همکاران ۲۰۲۲).

درون‌یابی و پهنه‌بندی آلودگی صدا در شنبه ظهر به روش‌های عکس‌فاصله و کریجینگ (شکل ۵ و ۶) نشان‌دهنده این مسئله می‌باشد که شدت آلودگی صوتی در این زمان از تمامی مواقع دیگر اندازه‌گیری شده، گسترده‌تری دارد. همچنین مشاهده می‌شود که آلودگی صوتی در تقاطع بین میرداماد و شریعتی بیشینه و با شدت بیش از ۸۴ دسی‌بل می‌باشد. همچنین در کم‌ترین منطقه‌ای که آلودگی صوتی مشاهده می‌شود، میزان



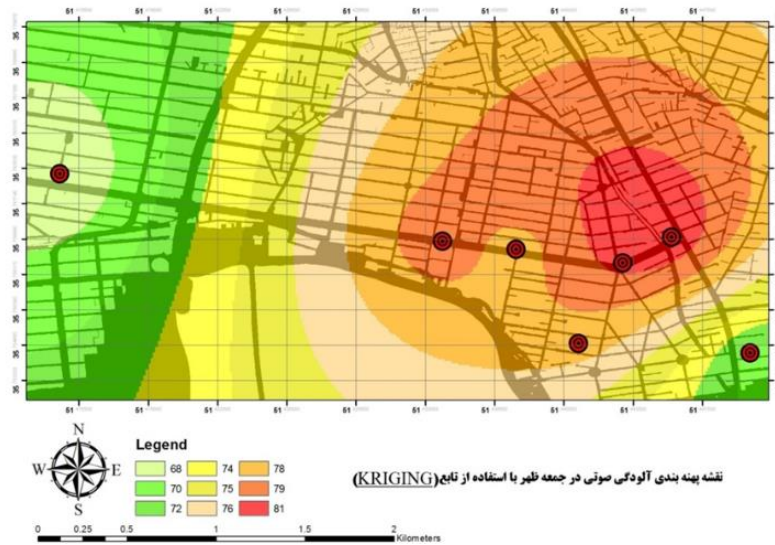
شکل ۵- درون‌یابی و پهنه‌بندی آلودگی صوتی به روش عکس فاصله، شبیه ظهر



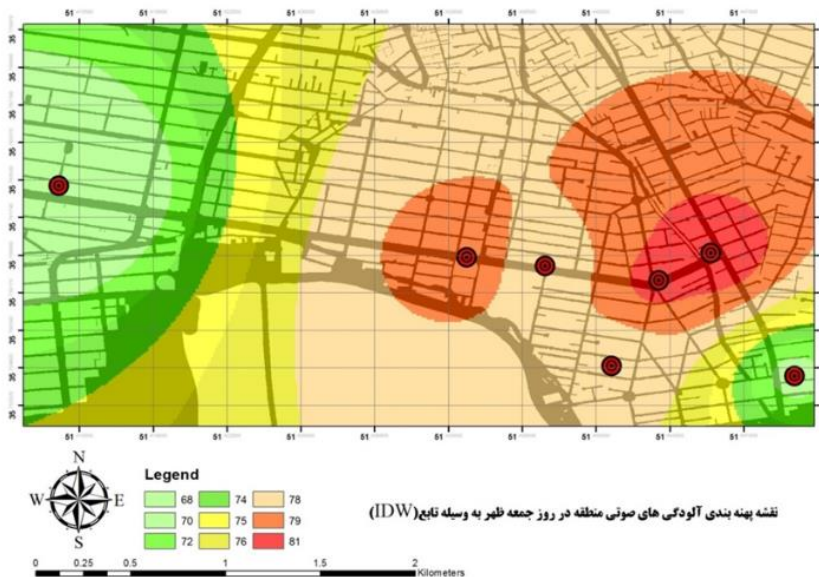
شکل ۶- درون‌یابی و پهنه‌بندی آلودگی صوتی به روش کریجینگ معمولی، شبیه ظهر

است. بر این اساس بیشینه آلودگی صدا با شدت ۸۱ دسی‌بل و کمینه آن با شدت ۶۸ دسی‌بل برآورد شده است. ترافیک منبع اصلی آلودگی صوتی در نواحی شهری است که در مراکز شلوغ شهرها اغلب به ۸۵ دسی‌بل می‌رسد (سینگوای ۲۰۱۳)

در ادامه درون‌یابی و پهنه‌بندی آلودگی صدا در جمعه ظهر نیز به روش‌های IDW و کریجینگ معمولی (شکل ۷ و ۸) انجام پذیرفت. با توجه به نتایج حاصل شده مطابق شکل ۶ و ۷ مشاهده می‌شود که ۹ پهنه، هر یک با میزان آلودگی صوتی متفاوت شکل گرفته



شکل ۷- درون‌یابی و پهنه‌بندی آلودگی به روش کریجینگ معمولی، روز جمعه



شکل ۸- درون‌یابی و پهنه‌بندی آلودگی به روش عکس فاصله، روز جمعه

در آلودگی صوتی منطقه می‌باشند. لازم به ذکر است میزان آلودگی صدا در پهنه‌های مورد مطالعه و در هر دو مدل کریجینگ معمولی و IDW در مقایسه با استاندارد صدا در هوای آزاد ایران، (برای ساعات ۷ صبح تا ۱۰ شب برای مناطق با کاربری مسکونی-تجاری که معادل ۶۰ دسی‌بل می‌باشد)، بالاتر از حد استاندارد می‌باشد. نقشه‌برداری آلودگی صوت مبتنی بر GIS برای ارزیابی و تجسم آلودگی صوتی و برجسته کردن مناطق آسیب‌پذیر در کلان‌شهرهای دیگر نیز استفاده شده است (عالم ۲۰۱۱).

نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌های میدانی با استفاده از صداسنج در سه بازه زمانی متفاوت (صبح شنبه، ظهر شنبه و ظهر جمعه)، (جدول ۲) نشان‌دهنده وجود تفاوت معناداری میان آلودگی صوتی روز شنبه صبح با سایر بازه‌های اندازه‌گیری وجود دارد. همچنین گسترش آلودگی صوتی در منطقه، در روز شنبه ظهر، بیش‌تر از سایر مواقع می‌باشد. در پهنه‌بندی‌های صورت پذیرفته، مشاهده می‌شود که به ازای فاصله گرفتن از نقاط گره‌های ترافیکی، از شدت این آلاینده‌ها کاسته می‌شود. می‌توان به تعبیری بیان داشت که ازدحام جمعیت و ترافیک شهری یکی از عوامل موثر

جدول ۲- نتایج اندازه‌گیری میزان صدا

زمان اندازه‌گیری صدا	میزان بیشینه صدا (dB)	میزان کمینه صدا (dB)	استاندارد صدا در هوای آزاد ایران (۷ صبح تا ۱۰ شب) برای مناطق مسکونی-تجاری
شنبه صبح	۸۸	۷۱	
شنبه ظهر	۸۴	۷۰	۶۰ دسی‌بل
جمعه ظهر	۸۱	۶۸	

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

بر اساس مطالعات انجام گرفته می‌توان اذعان نمود اکثر کلان‌شهرها با آلودگی صدا مواجه هستند که باید با توجه به اهمیت موضوع و کاهش اثرات سوء آن بر سلامتی افراد اقداماتی جهت کاهش مضرات آن انجام پذیرد (رحیمی و همکاران ۲۰۱۹). بدین منظور مطالعه و بررسی دقیق آلودگی صدا در مناطق مختلف کلان‌شهرها و شناسایی منابع آن لازم به نظر می‌رسد. از این‌رو، این مطالعه نیز با هدف بررسی میزان آلودگی صدا و ارائه راه‌کارهای کاهش اثرات آن، در بلوار میرداماد، واقع در منطقه ۳ شهرداری تهران انجام پذیرفت. نقشه‌های پهنه‌بندی آلودگی صدا که بر اساس نتایج حاصل از اندازه‌گیری آلودگی صدا در ۷ ایستگاه در سه بازه زمانی متفاوت (صبح شنبه، ظهر شنبه و ظهر جمعه) در این بلوار به‌دست آمده است، حاکی از میزان بالای آلودگی صدا و گستردگی آن به ترتیب در شنبه صبح و شنبه ظهر می‌باشد. میزان آلودگی صدا در پهنه‌های مورد مطالعه و در هر دو مدل کربجینگ معمولی و IDW در مقایسه با استاندارد صدا در هوای آزاد ایران (برای ساعات ۷ صبح تا ۱۰ شب برای مناطقی با کاربری مسکونی-تجاری که معادل ۶۰ دسی‌بل می‌باشد)، بالاتر از حد استاندارد می‌باشد. از منس‌های این آلاینده‌ها می‌توان به عبور و مرور خودروها و ترافیک در سطح بلوار و همچنین آلودگی ناشی از مراکز تجاری نام برد که می‌تواند اثرات جدی را برای شهروندان فراهم آورد. لذا لازم است تا راه‌کارهای اصولی برای حذف و یا کاهش آلودگی صوتی اتخاذ گردد. با توجه به نتایج حاصله و مطالعه تحقیقات مشابه لازم است تا اقدامات فنی و مدیریتی در زمینه کاهش آلودگی صدا انجام شود. راه‌کارهایی نظیر افزایش وسایل نقلیه عمومی، افزایش عرض خیابان‌ها، افزایش فضای سبز و پوشش گیاهی در خیابان‌های پرتردد، نصب

دیواره‌های صوتی و غیره می‌تواند در بهبود وضعیت آلودگی صدا نقش مهمی داشته باشد (رحیمی و همکاران ۲۰۱۹). استفاده از دیواره‌های سبز و پوشش گیاهی راه‌کاری جهت کاهش آلودگی صوتی است (حقیقی‌کفاش و همکاران ۲۰۲۱). از اقدامات موثر دیگر برای کنترل آلودگی صوتی می‌توان به موسسات آسیب‌پذیر به دور از خیابان‌های شلوغ و توسعه استراتژی‌های مدیریت عملی اشاره نمود (سارکر و همکاران ۲۰۲۳).

مطالعه کریمی و همکاران (۲۰۱۳) همچنین رحیمی و همکاران در سال ۲۰۱۹ که به ترتیب به ارزیابی میزان آلودگی صدا در منطقه ۱۴ و ۱۶ تهران پرداختند، حاکی از آن است که تراز صوت در همه ایستگاه‌ها نسبت به استاندارد ایران بالاتر بوده است. در سال ۲۰۱۵ فتحی و همکاران آلودگی صدا را در منطقه ۵ شهرداری تهران، پراکنش آلودگی صوتی، نقاط بحرانی و مناطق بدون آلودگی صدا را مورد مطالعه قرار دادند، نتایج تحقیق آنها نشان داد در کل ایستگاه‌های سنجش صدا میزان تراز معادل صدای اندازه‌گیری شده بیش از حد استاندارد روز ایران بوده است. نتایج به‌دست آمده در این مطالعات با نتایج تحقیق حاضر هم‌خوانی دارد.

این مطالعه نیاز به اقدامات سخت‌گیرانه‌تر برای کنترل آلودگی صوتی، از جمله مدیریت ترافیک، برنامه‌های آموزشی، و مداخله قانونی را نشان می‌دهد و بر ضرورت راهبردهای مؤثر کاهش صدا در مناطق مسکونی تأکید می‌کند. روش‌هایی مانند استفاده از پوشش‌های درختی متناسب با اقلیم تهران، اجرای طرح‌های محدودیت تردد در ساعات پیک‌کاری و همچنین ایجاد کاربری‌های همگون با کاربری‌های تجاری و مسکونی در منطقه می‌تواند در این منطقه و کلان‌شهرهای دیگر کمک چشم‌گیری به کاهش آلودگی صدا نماید.

References

- 1- Adl. M, Mahmoudi. L, Azizi. Sh, Taherianfar. A, Analysis and evaluation of noise pollution in Karaj city, J. Env. Sci. Tech, 2023, 24 (10), 133-144, [In Persian]
- 2- Alam, W. (2011). GIS based Assessment of Noise Pollution in Guwahati City of Assam, India. IJES, 2011; 2: 731-740, DOI: 10.6088/ijes.00202020034.
- 3- Ariza-Villaverde. AB, Jiménez-Hornero. FJ, Gutiérrez DeRavé. E, Influence of urban morphology on total noise pollution: Multifractal description. JSTE, 2014; (472):8-1, doi:10.1016/j.scitotenv.2013.10.091
- 4- Cai. M, Zou. J, Xie. J and Ma. X, Road traffic noise mapping in Guangzhou using GIS and GPS. Applied Acoustics, 2015; (87) :94-102, 10.1016/j.apacoust.2014.06.005
- 5- Delbari. M, Afrasiab. P, Application of index and ordinary kriging in modeling groundwater chlorine, JES, 2015, 40 (3), 751-764, [In Persian]
- 6- Ezaldin Hasan. N, Noise pollution and Its effects on human health- A review, IJMR. 2024; 10 (11):24-37, doi.org/10.36713/epra18872
- 7- Fathi. S, Nasiri. P, esmaelpoor Monazam. MR, Moradi. R, Razaghi. F, Investigating the level of noise pollution in the 5th district of Tehran, J. Env. Sci. Tech, 2015; 17 (2): 1-8, [In Persian]
- 8- Ghafoori. M. , Ahmadi Nadoushan. M. , & Moshtaghi. M. (2021). Assessment the distribution of noise pollution due to traffic in regions 3 and 4 of Isfahan. Journal of Natural Environment, 73(4), 729-743. doi: 10.22059/jne.2021.305539.2033[In Persian]
- 9- Ghanbari. M, Nadafi. K, Mosaferi. M, Yunesian. M, & Aslani. H, noise pollution evaluation in residential and residential commercial area in Tabriz-Iran, IJHE, 2011; 4, 375-384, [In Persian]
- 10- Gharibi. Sh, Shayesteh. K, Evaluation of flow, supply, and demand for noise reduction in urban area, Hamadan in Iran, PLoS ONE, 2024, 19(6), 1-19
- 11- Ghasemi. M, Mahdavi. A, Jafarzadeh. A, 2014, Comparison of two interpolation methods, Kriging and IDW, for preparing soil maps, Zagros National Conference on Environmental Hazards, 5 march, Tehran, Iran, <https://civilica.com/doc/373196>, [In Persian]
- 12- Gheybi. M, Karrabi. M, Latifi. P, Fathollahi fard. A, Evaluation of traffic noise pollution using geographic information system and descriptive statistical method: a case study in Mashhad, Iran, Environ Sci Pollut Res Int, 2022; doi.org/10.1007/s11356-022-18532-4
- 13- HaghighiKafash Z, Khoramnejadian S, GhotbiRavandi A, FarhangDehghan S. Effect of traffic noise on the physiological characteristics of *Salvia Splendens*. Plant Process and Function 2021; 10 (42) :115-126[in Persian]
- 14- Hassani. F, Nasiri. P and Monazam. M, Study of noise pollution in workshops and noise making jobs in Zone 3 of District 12 of Tehran (Bazar Bozorg) using GIS, Env. Sci. Tech, 2017; 19(4): 1-11, doi:10.22034/jest.2017.10698, [In Persian]
- 15- Imam Jomeh. M, Nikpi. A, and Safari Variiani. A, Study of noise pollution in Qazvin (2010), J Inflamm Dis, 2011; 15(1):63-70, [In Persian]
- 16- Kafash. Z. H., Khoramnejadian. S., Ghotbi-Ravandi. A. A., & Dehghan. S. F. (2022). Traffic noise induces oxidative stress and phytohormone imbalance in two urban plant species. Basic and Applied Ecology, 60, 1-12
- 17- Karimi. A, Nasiri. P, Abbaspour. M, Monazam.M and Taghavi. L, Evaluation of noise pollution in district 14 of Tehran, Human and environmental, 2013; 10(34):1-12, [In Persian]
- 18- Kiamehr. R, Ghaffari. M.R, 2022, Zoning of noise pollution in the central part of Abhar city with geographic information system, the forth international and the eighth national conference of architecture, Restoration, urbanism and stable environment, 14 march, Hamadan, Iran, <https://civilica.com/doc/1425926>, [In Persian]
- 19- Kumar. A.M, Sampath. K, Madhusudan. Ch & Sowmya. G, (2022). Noise pollution in educational institution, IJETMS, 2022; 4(6): 260-265, DOI:10.46647/ijetms.2022.v06i04.0044
- 20- Kundu. S, Sen. K, Mondal. N.K, GIS-Based Mapping and Assessment of Road Traffic Noise in and around of Schools Situated near Busy Roadside, International Journal of Automotive Science and Technology, 2022, 6(1), 26-38, doi: 10.30939/ijastech.1039491
- 21- Majidi. F, KHosravi. Y, noise pollution evaluation of city center of zanzan by geographic information system (GIS), Iranian journal of health and environment, 2016; 9(1):91-102, [In Persian]
- 22- Moasheri. N, esmaelpoor monazam. MR, Abolhasan.V, Abbaszadeh. M, Movahedi. E, Assessment of noise pollution indices in Birjand old districts in 2010, Journal of Scientific Research in Medical Sciences, 2012; 19 (4): 439-47, [In Persian]
- 23- Mohammadizadeh. M, Mohammadtorab. F, A New Algorithm for Developing Inverse-Distance Weighting Interpolation Method in Hararan Region, Analytical and Numerical Methods in Mining Engineering, 2015, 5(9): 39-50, [http://dx.medra.org/10.17383/S2251-6565\(15\)940914-X](http://dx.medra.org/10.17383/S2251-6565(15)940914-X), [In Persian]

- 24- Narimousa. Z, Soltanian. S, The Impact of Noise Pollution Caused by Traffic on Public Health of Omidiyeh Citizens in 2015, JRUMS, 2016; 15 (3) :247-256, [In Persian]
- 25- Nassiri. P, Karimi. E, Monazzam. M, Abbaspour. M, Taghavi. L, Analytical comparison of traffic noise indices—A case study in District 14 of Tehran City, Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control, 2016; 35(3):221-29, doi: 0.1177/0263092316660917
- 26- Olgun, R., Karakuş, N., Selim, S. et al. Assessment and mapping of noise pollution in recreation spaces using geostatistic method after COVID-19 lockdown in Turkey. Environ Sci Pollut Res, 2024;31: 33428–33442, <https://doi.org/10.1007/s11356-024-33434-3>
- 27- Rahimi, F., Sadeghi Niaraki, A., Ghodousi, M. Assessment of noise pollution in region 16 of Tehran. Environmental Sciences, 2019; 17(4): 179-192, doi: 10.29252/envs.17.4.179, [In Persian]
- 28- Ranjbar. H, Gharagozlu. A, Vafaei nejad. A and Deklujver. H, The GIS approach for 3D modeling of noise pollution using the city's 3 D models (case study: part of 3 Tehran region), JES, 2012; 38(4): 125-140, doi:10.22059/JES.2013.29868, [In Persian]
- 29- Sarker, P. C., Siddique, M. N.-E.-A. & Sultana, S., A Review of Environmental Noise Pollution and Impacts on Human Health in Rajshahi City, Bangladesh. Indonesian, JOSEM, 2023; 7(3), 80-87. doi.org/10.26554/ijems.2023.7.3.80-87
- 30- Shabani. M, Determining the most suitable interpolation method for groundwater chemical characteristics mapping, Watershed Engineering and Management, 2011, 3(4), 196-204, doi.org/10.22092/ijwmse.2012.101859, [In Persian]
- 31- Shirzad, W. Behsoodi, M. M. Samir, S. Pasarlay, S, A comprehensive review of noise pollution and its impact on the urban environment ,KJET, 2022; 4 (1), 29-4, doi: 10.31841/KJET.2022.26, [In Persian]
- 32- Singhvi, N, Research Article an Analysis of noise pollution in Tirupur city, Environmental Science, 2013
- 33- Soleymani. AR, Bayram zadeh. N, Investigating noise pollution in urban squares and ways to reduce it (a case study of a square in Urmia), Shabak monthly, 2014; 21: 5-13, [In Persian]
- 34- Velastegui-Montoya A, Guerrero-Cabrera. G, Marquez. J O, Saad El Imanni. H, Galarza, Christian. E, Hidalgo-Crespo. J, Geospatial Analysis of Guayaquil's Sound Landscape After the Covid-19 Isolation Period, IGARSS, 2023, 2504-2507, DOI: 10.1109/IGARSS52108.2023.10283239
- 35- Wickramathilaka, N. ,Ujang, U. ,Azri, S. ,Choon, T.L., performance assessment of spatial interpolations for traffic noise mapping on undulating and level terrain, Geodesy and cartography, 2024, 50(1), 35-42
- 36- Wokekoro, E, Public awareness of the impacts of noise pollution on human health World WJRR, 2020; 10(6): 27-32
- 37- Yang, W., He, J., He, C., & Cai, M. (2020). Evaluation of urban traffic noise pollution based on noise maps. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 87, 102516.
- 38- Yari. A, Dezhdar. B, Koohpaei. A, Ebrahimi. A, Mashkooi. A, Mohammadi. M and Arsang. S, Evaluation of Traffic Noise Pollution and Control Solutions Offering: A Case Study in Qom, Iran. JSUMS, 2016; 23(2): 600-607, [In Persian]
- 39- Zamingard Rouzbahani. A, Vafaeinejad, A R. Traffic Noise Mapping in Urban 3D Area by Using GIS and CORTN Model, JGST 2020; 9 (4) :115-130
- 40- Zarei. S, Mahmoudzadeh. H, Jafari. F, Evaluation of the soundscape of district 2 of Tabriz metropolis using linear regression model, Journal of Environmental Studies, 2024; 50(1): 43-61. doi: 10.22059/jes.2024.358888.1008408, [In Persian]



Investigating and zoning of noise pollution in District 3 of Tehran using Kriging and IDW methods (Case study: Mirdamad Boulevard)

Pegah Ataee

Msc of environment, department of environment, Damavand branch, Islamic azad university, Damavand, iran.

Shahrzad
Khoramnejadian*

associate professor, department of environment, Damavand branch, Islamic azad university, Damavand, iran

Mina Torabifard

assistant professor, department of environment, Damavand branch, Islamic azad university, Damavand, iran.

Extended Abstract

Received: 31 Oct 2024

Accepted: 12 Dec 2024

Keywords: Noise pollution, sound equivalent level, Tehran Mirdamad Boulevard, zoning

Introduction: Noise pollution is one of the problems of urban societies. High-traffic centers are important sources of noise pollution in urban areas. Noise pollution manifests itself at high levels at once, but at lower levels it has a gradual effect. The expansion of cities and industrialization has caused this pollution to appear in cities.

Materials and Methods: This descriptive-analytical and cross-sectional research was conducted in the year 1400 with the aim of estimating the amount of noise pollution in Mirdamad Boulevard, Tehran. The sound equivalent level was measured with a sound level meter in three times: morning, noon, Saturday and Friday noon in 7 stations. The location of the stations was chosen to cover the entire area and include all uses, including residential, commercial, residential-commercial. Kriging and IDW interpolation methods were used in order to zone and connect similar noise pollution points, and Arc GIS software was also used to prepare sound intensity level zoning maps.

Results and Discussion: The results of field measurements using a sound meter in three different time periods (Saturday morning, Saturday noon, and Friday noon) show that there is a significant difference between the noise pollution on Saturday morning and other measurement periods. Also, the spread of noise pollution in the region is more on Saturday noon than other times. The amount of noise pollution in the studied areas and in both ordinary KRIGING and IDW models compared to the sound standard in the open air of Iran (for the hours of 7 am to 10 pm for areas with residential-commercial use, which is equivalent to 60 decibels), It is higher than the standard. The highest level of noise pollution on working days was measured at 80 dB and the lowest at 68 dB.

Conclusion: The passage of cars and traffic on the level of the boulevard as well as the pollution caused by commercial centers were the main causes of noise pollution, which can have serious effects on citizens due to the fact that the noise pollution is higher than the standard. Therefore, it is necessary to Basic methods should be adopted to eliminate or reduce noise pollution.

Corresponding author: shahrzad khoramnejadian

Address: associate professor, department of environment, Damavand branch, Islamic azad university, Damavand, iran

Tel: +989357970978

Email: shkhoramnejad@iau.ir

Citation: Ataee P, Khoramnejadian Sh, Torabifard M . Investigating and zoning of noise pollution in District 3 of Tehran using Kriging and IDW methods (Case study: Mirdamad Boulevard). Journal of New Researches in Environmental Engineering. 2024; 2(7): 78-89



© 2024, This article published in Journal of New Researches in Environmental Engineering (JNREE) as an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>). Non-commercial use, distribution and reproduction of this article is permitted in any medium, provided the original work is properly cited.