

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

فصلنامه پژوهش‌های نوین در مهندسی محیط زیست

دوره دوم، شماره ۱، بهار ۱۴۰۳

صاحب امتیاز: دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز

فهرست

- ❖ **مدلسازی مصرف انرژی در ساختمانهای بلندمرتبه شهری تحت سناریوهای چندگانه و با تاکید بر نما در معماری سبز.....۱-۱۴**
تبسم طبسی، امیر فرج‌اللهی‌راد، وحید احمدی، حمیدرضا شعاعی
- ❖ **مقایسه گیاه پالایی شمعدانی و کلم زیتنی در حذف آلاینده های نفتی و فلزات سنگین سرب و کادمیم.....۱۵-۲۴**
سمیرا عابدینی، شهرزاد خرم‌نژادیان
- ❖ **بررسی رخدادر دو غبار در کشور با نسبت شاخص غلظت PM2.5 به PM10.....۲۵-۳۸**
مهسا تمجیدی، مجید عباسپور طهرانی، یوسف رشیدی، سید علیرضا میرزاحسینی
- ❖ **مدل داده‌کاوی مبتنی بر یادگیری ماشین جهت پیش‌بینی آلودگی هوا در کلان‌شهرهای ایران.....۳۹-۵۳**
عباس ملکی، صادق عابدی، علیرضا ایرج‌پور
- ❖ **تجمع فلزات سنگین در گونه گنجشک خانگی در پارکهای شهر تهران.....۵۴-۶۵**
آنا اسمعیلی، شهرزاد خرم‌نژادیان، بهمن شمس اسفندآباد، سعید رضا عاصمی زواره
- ❖ **شناسایی و اولویت‌بندی مولفه‌های موثر بر بهره‌گیری از فضاهای زیرزمینی به منظور توسعه پایدار فضاهای عمومی شهری با استفاده از روش تاپسیس (مطالعه موردی: شهر تهران).....۶۶-۷۸**
محمد مهدی صفایی، محمد سعید ایزدی، علی افشار، حمیدرضا عامری سیاهویی



مدلسازی مصرف انرژی در ساختمان های بلندمرتبه شهری تحت سناریوهای چندگانه و با تاکید بر نما در معماری سبز

دانشجوی دکتری معماری، گروه معماری، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران
استادیار گروه هنر و معماری، واحد تهران، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
استادیار گروه معماری، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران
استادیار گروه معماری، واحد شاهرود، دانشگاه آزاد اسلامی، شاهرود، ایران

تبسم طبسی
امیر فرج الهی راد*
وحید احمدی
حمید رضا شعاعی

چکیده مبسوط

مقدمه: امروزه، از معماری سبز به عنوان ابزاری برای ارتقای کیفیت محیط شهری، مصرف بهینه انرژی و نیز کاهش آلودگی ها نام برده می شود. هدف از این تحقیق، مدلسازی میزان مصرف انرژی در ساختمان های بلندمرتبه تحت سناریوهای چندگانه و با تاکید بر نمای ساختمان در معماری سبز می باشد.

مواد و روش ها: ابتدا مولفه های مرتبط با نمای ساختمان های بلندمرتبه که در مصرف بهینه انرژی موثر هستند، در دو سبک معماری پارامتریک و سبز استخراج شدند. سپس، با استفاده از پنل خیرگان ۱۵ نفره اقدام به اولویت بندی مولفه ها گردید. در گام سوم، با استفاده از داده های پرسشنامه و نرم افزار SPSS، 22 و ضریب همبستگی تحلیل آماری گردید. در گام چهارم، برای شبیه سازی از یک مدل فرضی ساختمان بلندمرتبه در نرم افزار راینو (RHINO Software) که به وسیله افزونه گرس هاپر (Grasshopper) به طور پارامتریک ساخته شده بود، استفاده شد. در انتها، در قالب سناریوهای چندگانه و شبیه سازی میزان مصرف انرژی تحلیل گردید.

نتایج و بحث: از بین ۱۸ مولفه شناسایی شده مرتبط با اوربگامی، ۴ عامل "رنگ"، "فرم بنا"، "موقعیت بازشوها" و "جنس مصالح" در مصرف بهینه انرژی نقش دارند. نتایج شبیه سازی نشان می دهد، میزان دریافت تابش سالیانه در مدل اولیه (حالت پایه) برابر با ۲۰۲۹،۱۸ کیلووات ساعت می باشد. الگوی معماری پارامتریک، ۸،۳۴ درصد بیشتر از مدل اولیه تابش جذب کرده است. در الگوی معماری سبز میزان افزایش جذب انرژی خورشیدی ۹/۹۸ درصد بیشتر از حالت پایه بوده است. به علاوه، نرخ صرفه جویی مصرف انرژی نیز در الگوی معماری سبز ۲۸/۲۴ درصد بوده که نسبت به معماری پارامتریک (۱۱/۱۷ درصد) بوده است. از میان مولفه های موثر بر مصرف بهینه انرژی که در نماسازی سازه های بلند شهری کاربرد دارند، مولفه "جنس مصالح" با ضریب ۱۳۰ بیشترین سهم را داشته و پس از آن مولفه های "رنگ مصالح" و "آلبدو" به ترتیب با ضرایب ۱۲۰ و ۱۱۰ قرار دارند. در انتهای این رده بندی نیز مولفه "تعداد بازشوها" با ضریب ۴۰ قرار دارد.

نتیجه گیری: توجه بر مواردی نظیر جنس مصالح، رنگ مصالح، نوع پنجره ها، تعداد و موقعیت بازشوها، جنس و زاویه سایبان ها و ... می تواند میزان مصرف انرژی داخلی ساختمان را کاهش دهد و از طرف دیگر، با جذب انرژی حرارتی در فصل سرد سال، نیاز به انرژی را کاهش دهد.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۰۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۲۸

واژه های کلیدی: مدلسازی

انرژی، معماری سبز، معماری پارامتریک، ساختمان های بلندمرتبه، نمای ساختمان

نویسنده مسئول: امیر فرج الهی راد

نشانی: گروه هنر و معماری، واحد تهران، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. تلفن: ۰۹۱۲۱۱۰۶۶۹۲ پست الکترونیکی: amirfrod@modares.ac.ir

استناد: طبسی تبسم، فرج الهی راد امیر، احمدی وحید، حمید رضا شعاعی. مدلسازی مصرف انرژی در ساختمان های بلندمرتبه شهری تحت سناریوهای چندگانه و با تاکید بر نما در معماری سبز. پژوهش های نوین در مهندسی محیط زیست. ۱۴۰۳؛ ۵(۱): ۱-۱۴.

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

که ارزش سالیانه آن بالغ بر شش میلیارد دلار می‌شود. اکثر قریب به اتفاق ساختمان‌های کشور فاقد ضوابط فنی شناخته‌شده برای جلوگیری از هدررفت انرژی سرمایی یا گرمایی هستند (طارطار و معرفت ۱۳۹۲). همچنین ساختمان‌های عمومی و دولتی ۷۰ درصد مصرف این بخش را به خود اختصاص می‌دهند و ساختمان‌های موجود و قدیمی عموماً بین ۴۰ تا ۶۰ درصد اتلاف انرژی دارند (بهمن‌پور و همکاران ۱۳۹۹). براساس تراز مصرف انرژی الکتریکی در یک ساختمان اداری در کشور، سرمایش و تهویه مطبوع با ۴۰ درصد، بیشترین سهم این نوع مصرف را به خود اختصاص داده و پس از آن روشنایی با ۲۵ درصد، گرمایش و آب گرم مصرفی با ۱۹ درصد و سایر لوازم برقی با ۱۵ درصد در رتبه‌های بعدی قرار دارند (وریج کاظمی ۱۳۹۶). تقریباً بیش از ۵۰ درصد انرژی کشور در بخش ساختمان مصرف می‌شود. این در حالیست که بیش از ۴۸ درصد ساختمان‌های ایران نسبت به استانداردهای جهانی هدررفت دارند (وزارت نیرو ۱۴۰۲). مقررات مبحث ۱۹ که ابتدایی‌ترین بحث بهره‌وری انرژی در بخش ساختمان است بیش از ۱۵ سال است که ابلاغ شده، اما هنوز به صورت کامل اجرایی نشده است و دغدغه اصلی وزارت راه و شهرسازی مبحث ۱۹ نیست. در واقع پارامترهای اقتصادی تا اندازه‌ای در بخش مسکن تاثیرگذار است که حوزه بهره‌وری انرژی در آن کم می‌شود (فاضلی و حیدری ۱۳۹۲). منظور از مدیریت انرژی، تنظیم و بهینه‌سازی استفاده از سیستم‌های انرژی شامل روش‌های مهندسی، کنترلی و مدیریتی می‌باشد (سماواتی ۱۳۹۵). مدیریت انرژی باید به اهداف عملیاتی سازمان متصل گردد، نه اینکه در یک مسیر منفک و جداگانه حرکت کند (شعبانزاده و جوان ۱۳۸۲). در همین راستا، شاخص مصرف انرژی برحسب میزان انرژی اولیه مصرفی ساختمان بر واحد زیر بنای مفید (KWh/year.m^2) مشخص می‌شود. منظور از بهینه‌سازی مصرف انرژی، انتخاب الگوها و اتخاذ روش‌ها و سیاست‌هایی در مصرف انرژی است که از نظر اقتصاد ملی مطلوب باشند و استمرار وجود و دوام انرژی را تضمین کنند و موجب ارتقای شاخص‌های زندگی و کاهش هزینه‌ها شوند و زمینه‌گسترش عدالت در جامعه را فراهم کنند (طارطار و معرفت ۱۳۹۲).

در سالیان اخیر، مطالعات متعددی در خصوص بهینه‌سازی مصرف انرژی در کشور صورت گرفته است. از جمله حسامی (۱۳۹۹)؛ به تبیین اثربخشی اجرای مصوبه اصلاح الگوی مصرف انرژی و منابع در ساختمان‌های شهرداری تهران پرداخت. نتایج این بررسی نشان داد که اجرای برنامه مذکور، موجب کاهش مصرف انرژی و منابع در سال‌های ۹۶ و ۹۷ گردیده است. این کاهش به شکل ۳ درصد در مصرف سرانه آب، ۹ درصد در مصرف سرانه برق و ۵ درصد در مصرف سرانه گاز بوده است. همچنین، حسامی (۱۳۹۷)؛

افزایش روزافزون مصرف انرژی در تمام جنبه‌های زندگی و محدودیت منابع انرژی از یک سو و مصرف بی‌رویه آن توسط جوامع مختلف از سوی دیگر، علاوه بر ایجاد آلودگی‌های محیط زیستی و هدر دادن سرمایه‌های ملی، زندگی آینده بشر را با مخاطره مواجه کرده است (خدیوی و همکاران ۱۳۹۵)؛ ارغوان و همکاران (۱۴۰۲). پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد تا سال ۲۰۴۰ میلادی مصرف انرژی در جهان ۴۸ درصد نسبت به میزان مصرف انرژی در سال ۲۰۱۲ افزایش خواهد یافت و کماکان آسیا در سال ۲۰۴۰ بیشترین مصرف‌کننده انرژی است. در این میان بیش از ۵۰ درصد از انرژی جهان در بخش صنعت استفاده خواهد شد (ماریانو و همکاران ۲۰۲۱). ایران بیش از ۲/۵ برابر میانگین مصرف جهانی انرژی مصرف می‌کند. شاخص شدت مصرف انرژی ایران ۰/۶۳ درصد است و بعد از ایران، روسیه و عربستان سعودی به ترتیب با شاخص شدت انرژی ۰/۵۳ و ۰/۵۱ درصد بالاترین مقدار شاخص شدت انرژی را به خود اختصاص داده‌اند (حسامی ۱۳۹۷). مطابق با آمار رسمی، ایران نهمین مصرف‌کننده انرژی در دنیا شناخته شده و این مصرف انرژی معادل ۳/۴ میلیون بشکه نفت خام است (وزارت نیرو ۱۴۰۲). مصرف برق ساختمانی در ایران در طی ۱۰ سال گذشته، ۲ برابر شده است. براساس داده‌های آماری وزارت نیرو، مصرف سرانه انرژی در ایران سه برابر کشورهای صنعتی است و قسمت‌های بسیار زیادی از این اختلاف ناشی از تلفات انرژی در بخش ساختمان است (بهرامی ۱۳۹۰). شدت مصرف انرژی در ایران، ۳ برابر میانگین جهانی است (مرکز پژوهش‌های مجلس ۱۴۰۰). ارتقای بهره‌وری انرژی شهرها صرفاً به ذخیره انرژی کمک نمی‌کند، بلکه منجر به توسعه بودجه شهرها و بهبود خدمات‌رسانی و افزایش رقابت در این عرصه نیز می‌گردد (سازمان حفاظت محیط زیست ۱۳۹۸).

از آنجا که منابع انرژی در کشور بسیار محدود است، با توجه به رویکرد کشور برای کاهش وابستگی به منابع نفتی، و نیاز به کاهش مصرف انرژی در بخش‌های مختلف صنعت و ساختمان به عنوان اولین گزینه در زمینه توجه به راهکارهای صرفه‌جویی در مصرف انرژی محسوب می‌شوند (غفاری جباری ۱۳۹۲)؛ قایدی (۱۴۰۲). در میان چالش‌های محیط‌زیستی در مدیریت شهری که می‌باید به صورت یکپارچه و نظام‌مند برنامه‌ریزی و مدیریت شوند، کاهش هزینه‌های بالای مصرف انرژی در ساختمان‌ها و به ویژه ساختمان‌های بلندمرتبه، توجه به حفظ محیط زیست و کاهش مشکلات زیست محیطی از جمله دغدغه‌هایی هستند که توجه به آنها هر روز بیشتر از گذشته در حال افزایش است. بخش ساختمان بیش از یک‌سوم انرژی مصرفی را به خود اختصاص داده است،

طراحی و ارایه مدلی برای مصرف انرژی در ساختمان‌های اداری کردند. آنها با این پیش فرض که مصرف انرژی ساختمانی در طی ۲۰ سال اخیر حدود ۴۰ درصد افزایش پیدا کرده است، ادعا نمودند که انرژی الکتریسیته بیشترین میزان مصرف انرژی را در ساختمانها دارد. بر اساس نتایج این تحقیق، مشخص گردید که استراتژی‌های بکار گرفته شده برای مدیریت انرژی در ساختمان‌ها متناسب با نوع ساختمان متغیر می‌باشد و در اصل ۲ مدل استراتژی را می‌توان اتخاذ نمود: ساختمان‌های مسکونی و غیرمسکونی. چن و همکاران (۲۰۲۰)؛ اقدام به بررسی عوامل موثر بر اثربخشی انرژی در ساختمان‌ها نمودند. نتایج نشان داد که ۳ دسته از عوامل در این میان مهم هستند. که عبارتند از: ویژگی‌های ساختمان، تجهیزات و فناوری و خصوصیات رفتاری. یافته‌ها نشان داد که بکارگیری تنها یکی از عوامل سه‌گانه فوق امکان دستیابی به اثربخشی در مدیریت انرژی را فراهم نخواهد کرد. نمای ساختمان نقش مهمی در کنترل شرایط محیطی فضاهای داخلی دارد. همچنین از دیدگاه زیبایی‌شناسی نیز حایز اهمیت است. به طوری که می‌تواند در ارتقای کیفیت منظر شهری نقش مهمی ایفا کند (عباسی و همکاران ۲۰۱۵). امروزه، طراحی و معماری ساختمان به موضوعی پیچیده و چندوجهی تبدیل شده است بدین‌سان که طراحان تلاش می‌کنند، به صورت همزمان پارامترها و مولفه‌های متنوع و متضاد را در یک وضعیت متعادل قرار دهند (پیله‌چی‌ها ۲۰۱۴). زیبایی‌زمینه‌های بصری شهر و عناصر فیزیکی معماری آن مانند نمای ساختمان‌ها، بر ادراکات و ترجیحات افراد موثر بوده و از جمله عواملی است که نقش بسزایی در میزان خوشایندی فضا و جذب مردم به سوی فضاهای شهری ایفا می‌کند (حسن‌زاده و همکاران ۲۰۱۱). با این حال، مساله تاثیرگذاری ساختمان‌های بلند بر محیط‌های بلافصل شهری، را نمی‌توان تنها به فرم ساختمان مشروط کرد. ساختمان بلند به صورت گسترده و فراگیری بر شهر اثر می‌گذارد و آن را تغییر می‌دهند (عباسی و همکاران ۲۰۱۵)، از این‌رو، باید به این نکته توجه داشت که هر تغییر کالبدی در پدیده‌ای به نام ساختمان بلندمرتبه، بر ابعاد متنوعی از شهر تاثیر می‌گذارد که همه آن‌ها برای طراح یا معمار پروژه شناخته شده نیستند (امیرسرداری و همکاران ۲۰۲۱). از آن جایی که نخستین و مؤثرترین عامل تأثیرگذار بر ناظر، چشم‌انداز شهر است و نحوه استقرار ساختمان‌ها در چگونگی آن تأثیر زیادی دارند، لذا بلندمرتبه‌سازی و نماهای مرتفع آن با چشم‌انداز ویژه‌ای که ایجاد می‌نماید، از جمله مهمترین عوامل مؤثر و تأثیرگذار بر هر بیننده‌ای در شهر قلمداد می‌شوند (بلخاری قهی ۲۰۲۱). در عصر کنونی نیاز به

در مقاله‌ای با عنوان «اثربخشی اجرای بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌های اداری» اقدامات اجرایی در راستای کاهش مصرف انرژی را بررسی کرد و به این نتیجه رسید که کاهش مصرف انرژی در مناطقی که اقداماتی اجرایی در راستای کاهش مصرف انجام شده بود، عملی و امکان‌پذیر بود. محرمی و همکاران (۱۳۹۷) نیز در یک تحقیق کاربردی، با استفاده از شاخص‌هایی در راستای مدیریت انرژی و مدیریت امنیت محیط اقدام به ارایه چندین طرح نمودند. نتایج این تحقیق در راستای جلوگیری از آسیب‌هایی است که انسان به دلیل مشکلاتی از قبیل مشغله ذهنی، کمبود فرصت یا خطاهای انسانی نتوانسته با آن مقابله کند و منجر به حوادث و ... می‌شود. خدیوی و همکاران (۱۳۹۵)؛ اقدام به شناسایی ۷ شاخص مؤثر بر مصرف انرژی نمودند و با استفاده از نرم‌افزار در یک ساختمان اداری بلندمرتبه ۱۵ طبقه در تهران، داده‌های موجود را شبیه‌سازی کردند. نتایج نشان داد که در صورت صرفه‌جویی در وسایل سرمایشی و گرمایشی امکان کاهش بیش از ۳۵ تا ۴۰ درصد مصرف انرژی سالانه میسر خواهد بود. نیک مقدم حجتی و همکاران (۱۳۹۶)؛ در تحقیقی با عنوان «ساختمان‌های هوشمند؛ انتخابی کارآ در بهره‌وری انرژی» عنوان داشتند که ایران بیشترین شدت مصرف انرژی را در جهان به خود اختصاص داده است. همچنین بخش‌های غیرمولد بیشترین میزان مصرف انرژی (حدود ۴۰ درصد) را به خود اختصاص داده‌اند. بنادرخشان و همکاران (۱۳۹۶)؛ اقدام به ممیزی انرژی در ساختمان نمودند و پارامترهای مؤثر را سنجش کردند. سهم و میزان تاثیر هر یک از عناصر انرژی در اتلاف آن به درصد و به صورت جداگانه مشخص گردید. بر این اساس، راهکارهای انرژی در سه سطح راهکارهای کم‌هزینه، هزینه متوسط و پرهزینه طبقه‌بندی شدند. وریج کاظمی و همکاران (۱۳۹۵)؛ عوامل بازدارنده اجتماعی بهره‌وری مصرف انرژی در ساختمان اداری در ایران را بررسی کردند. سماواتی (۱۳۹۵)؛ مدیریت انرژی در ساختمان‌های هوشمند را با تغذیه منابع تجدیدپذیر بررسی نمود و مشخص گردید که با بکارگیری الگوریتم مدیریت انرژی در یک ساختمان با تغذیه منابع تجدیدپذیر، حدود ۲۸ درصد در هزینه برق ساختمان صرفه‌جویی می‌شود.

مونیکا سالویا^۱ و همکاران (۲۰۲۱)؛ روشهای ارتقای سیاست‌گذاری برای ارتقای بهره‌وری انرژی در ساختمان‌های مربوط به شهرداری را بررسی کردند. در این تحقیق آنها بر روی سیاست‌گذاری عمومی در زمینه مدیریت انرژی متمرکز شدند. نتایج بیانگر آن بوده است که جنبه‌های فنی و مهندسی و مدیریتی به طور یکپارچه می‌باید به کار گرفته شوند. ماریانو هرناندز^۲ و همکاران (۲۰۲۰)؛ اقدام به

² - Mariano-Hernandez

¹ - Monica Salvia

ساختمان‌های بلند به دلایل مختلفی از جمله دلایل اقتصادی، عملکردی و محیط زیستی وجود دارد (پشم‌فروش و همکاران، ۲۰۱۶). این تحولات سبب ایجاد شهرهای جدید و گسترش شهرهای موجود شد و مسائلی از قبیل افزایش جمعیت، نیاز به اسکان بیشتر مردم در شهرها، ضرورت استفاده بیشتر از زمین در مراکز پرتراکم شهرها، ضرورت بازسازی و نوسازی در مناطق شهری، تقاضای مردم برای سکونت و یا کار در مراکز شهرها و ضرورت کاهش هزینه‌های ناشی از گسترش افقی شهرها همگی سبب پیدایش ساختمان بلند به عنوان یکی از راه‌حل‌های توسعه شهری شدند (خطیبی ۲۰۱۵). در واقع می‌توان گفت ساختمان‌های بلندمرتبه، تهاجمی به فضای شهری محسوب می‌شوند. زیرا این پتانسیل و ظرفیت را دارند که محیط مصنوع و طبیعی بلافصل خود را به صورت اساسی و بنیادین تغییر دهند (میرحیدری و همکاران ۲۰۲۱). از همین رو استدلال می‌شود تاثیر ساختمان بلند تنها محدود به حوزه‌ی محدود اطرافشان نیست بلکه به دلیل مقیاس و اندازه غیرمعمول‌شان، می‌توانند بر حال و آینده شهر تاثیر گذار باشند (واید و ایوانز ۲۰۱۶). نمای ساختمان یکی از اجزای اصلی منظر خیابان‌ها و محیط شهری است (دانگ و کین ۲۰۱۷). نمای ساختمان به همراه دیگر عناصر در فضای باز ترکیب می‌شوند تا مناظر خیابان را شکل دهند. جلوه بیرونی ساختمان‌های بلند مرتبه مهمترین بعد در زمینه‌ی ابعاد اجتماعی و هویتی این ساختمان‌ها محسوب می‌شود (امیرسرداری و همکاران ۲۰۲۱). هر فضایی را نمی‌توان فضای شهری دانست؛ یکی از شروط لازم برای تبدیل شدن یک فضای خالی به فضای شهری، توجه به اصول زیبایی‌شناسی است (برزویی و همکاران ۲۰۲۱).

بنابراین، هدف اصلی این تحقیق مدلسازی و مقایسه تطبیقی میزان ذخیره انرژی و مصرف بهینه آن در ساختمان‌های بلندمرتبه شهری براساس چند سناریوی مختلف (وضعیت فعلی، معماری پارامتریک و معماری سبز) و با تاکید بر نمای ساختمان می‌باشد تا از این گذر بتوان نسبت به تدوین راهکارهای متناسب به منظور بهینه‌سازی مصرف انرژی اقدام نمود. مقاله حاضر کوشیده است به این سوال پاسخ دهد: مولفه‌های مرتبط با نمای ساختمان‌های بلندمرتبه که بر ذخیره انرژی موثر هستند، کدامند؟ و این اثرگذاری تحت سناریوهای چندگانه چگونه است؟

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر به لحاظ روش اجرا، از نوع آمیخته (کیفی و کمی) و به لحاظ روش تجزیه و تحلیل داده‌ها از نوع توصیفی – تحلیلی می‌باشد. در گام اول این پژوهش، تلاش گردید تا از طریق مطالعه

عمیق به روی منابع مکتوب (کتاب، مقاله، رساله و ...) و با کمک نرم‌افزار تخصصی MAXODA, 2020 مولفه‌های مرتبط با نمای ساختمان‌های بلندمرتبه که بر میزان مصرف انرژی موثر هستند، استخراج شوند. در گام دوم، از طریق تحلیل نشانه‌شناختی و با استفاده از پنل دلفی اقدام به اولویت‌بندی مولفه‌های موثر بر مصرف بهینه انرژی در ساختمان‌های بلندمرتبه شهری گردید. از آنجا که بنا بر استانداردهای پژوهشی، در گروه‌های همگن تعداد ۱۰-۱۵ نفر برای نظرسنجی کافی می‌باشد (خنیفر و مسلمی ۲۰۱۹)، در پژوهش حاضر، از پنل خبرگان به تعداد ۱۵ نفر به عنوان متخصصین شهرسازی، معماری و طراحی شهری استفاده شد. سپس، پرسشنامه محقق ساخته که توسط ۵ نفر از صاحب‌نظران مورد تایید قرار گرفته بود، به صورت الکترونیکی و حاوی سوالات باز در اختیار آنان قرار گرفت و در نهایت پاسخ‌ها جمع‌آوری گردید. برای ارزیابی میزان پایایی ابزارهای تحقیق از روش همسانی درونی یا آلفای کرونباخ استفاده شده است. در گام سوم، در این پژوهش با استفاده از داده‌های موجود اقدام به مدلسازی مصرف انرژی در ساختمان‌های بلندمرتبه و تحت سناریوهای گوناگون گردید. برای شبیه‌سازی از یک مدل فرضی ساختمان بلندمرتبه در نرم‌افزار راینو (RHINO Software) که به وسیله افزونه گرس هاپر (Grasshopper) ساخته شده بود، استفاده شد. به منظور اعتبارسنجی نرم‌افزارهای مورد استفاده، از روش Black box testing استفاده شد.

سایت مطالعاتی نیز شهر تهران در نظر گرفته شد و داده‌های پیش‌فرض این شهر وارد نرم‌افزار گردید.

در این بخش، سناریوهای مدنظر عبارت بودند از: سناریوی اول: ساختمان بلندمرتبه با ارتفاع ۵۰ متر که فاقد اصول معماری سبز و معماری پارامتریک است؛

سناریوی دوم: ساختمان بلندمرتبه با ارتفاع ۵۰ متر که دارای ضوابط معماری پارامتریک است؛

سناریوی سوم: ساختمان بلندمرتبه با ارتفاع ۵۰ متر که دارای ضوابط معماری سبز است.

معماری پارامتریک سبکی است که مبنای ریاضی و ساختاری الگوریتم‌گونه دارد (ابراهیم‌زاده و قادرمرزی ۲۰۱۶). مطالعات پیرامون کاربری اورینگامی در معماری، یک رویکرد میان‌رشته‌ای به حساب می‌آید و با کمک دیدگاه‌های ریاضی و خلاقیت عملی، ارتباط میان سازه، معماری و فرم بنا را در سازه‌های تاشده مورد بررسی قرار می‌دهد (صاحب‌سرا و همکاران ۲۰۱۹). هنر اورینگامی؛ بر اساس نوعی تفکر هندسی بنا شده است که صفحات تا خورده با امکان‌پذیر کردن تنوع و پراکندگی نور و سایه، شکل‌پذیری و انعطاف‌پذیری فضا و پوشش معماری را نیز به بنا می‌افزایند. این چین‌خوردگی‌ها با ایجاد ساختاری شامل برجستگی‌ها و

استانداردهای مورد مقایسه عبارت بودند از: استاندارد مبحث ۱۹، استاندارد^۳ IECC (کد بین‌المللی انرژی)، (استاندارد ISO7730) (استاندارد شرایط آسایش حرارتی) جهت مدل‌سازی میزان مصرف انرژی در حالت پایه و حالت‌های بهسازی شده با استفاده از نرم افزار شبیه‌سازی محاسبه شدند. این شبیه‌سازی با استفاده از موتور انرژی پلاس انجام شده است و مبنای مقایسه میزان مصرف سالانه انرژی سرمایشی و گرمایشی و روشنایی در ساختمان است. به منظور بررسی کلیه حالت‌های بهسازی، از الگوریتم‌های مولد با استفاده از افزونه گرس‌هاپر در نرم‌افزار راینو استفاده شده است تا با تغییر هر کدام پارامترهای بهسازی در یک محیط پارامتریک، تغییرات در مدل نهایی اعمال شود. همچنین، داده‌های مربوط به مصرف انرژی با استفاده از افزونه رابط هانی‌بی به موتورهای محاسبه مصرف انرژی متصل شدند. در گام نهایی با مقایسه میزان کاهش مصرف با مدل پایه، پارامترهای بهسازی نما از منظر کاهش مصرف انرژی اولویت‌بندی شدند.

نتایج و بحث

در گام نخست، با بررسی مبنای نظری و با استفاده از نرم‌افزار MAXODA مولفه موثر بر نماسازی ساختمان‌های بلندمرتبه در دو سبک معماری پارامتریک و معماری سبز استخراج گردیدند (جدول ۱ و ۲).

فرورفتگی‌ها، ادراک عمیق‌تر فضا را ممکن کرده‌اند (بیبک و همکاران ۲۰۱۷). ورق تاخوردگی مبتنی بر الگوهای اورگامی استحکام و قدرت تحمل بار بیشتری نسبت به صفحات صاف دارد، بر همین اساس این الگوها علاوه بر پوشش معماری قدرت تحمل بار را نیز دارند و می‌توانند به عنوان بخشی از سازه عمل کنند (ژانگ و ژانگ ۲۰۱۷). مفهوم معماری سبز، علم و سبک طراحی ساختمان، مطابق با اصول سازگار با محیط زیست با تولید کمترین آلودگی و به‌طور آشکار کاهش اثرات کوتاه‌مدت و بلندمدت منفی زیست‌محیطی است (USGBC 2016). در معماری سبز، انرژی‌های طبیعت را مهار کرده و به بهترین شکل در ساختمان‌ها و سازه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد و دستیابی به چنین هدفی ممکن است در یک ساختمان سبز و همراه با طبیعت از مواد و مصالحی استفاده می‌شود که برای طبیعت زیان نداشته و بلکه قابل برگشت به چرخه طبیعت باشد (بهزادپور و کاکازند ۲۰۲۱). سعی می‌گردد سازه‌ها با توجه به جهت بهینه تابش خورشید و با هدف استفاده از نور طبیعی و کسب انرژی رایگان احداث شوند و اهمیت در این گونه ساختمان‌ها فراهم کردن راه و امکانی برای ورود طبیعت به بنا و در نهایت، اقتصادی‌ترین شیوه معماری است (فهم حسین و وی‌شاه ۲۰۲۲). استراتژی طراحی این‌گونه ساختمان‌ها بر مبنای استفاده حداکثری از پتانسیل انرژی‌های تجدیدپذیر به منظور کاهش تقاضای انرژی، کاهش استفاده از سوخت‌های فسیلی و کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای می‌باشد که باعث کاهش در روند گرمایش جهانی می‌گردد (عبدل احد و همکاران ۲۰۲۲).

جدول ۱- مولفه‌های معماری پارامتریک و اورگامی موثر بر نماسازی ساختمان‌های بلندمرتبه با استفاده از نرم‌افزار MAXODA

کد	مولفه	کد	مولفه
۰	فرم بنا	۹	هماهنگی با زمینه
۱	ابعاد و تناسبات	۱۰	هندسه طبیعی
۲	توازن و تقارن	۱۱	رنگ
۳	جنس مصالح	۱۲	تزیینات
۴	ریتم	۱۳	سادگی
۵	تکرارپذیری	۱۴	الگوها
۶	نظم	۱۵	موقعیت بازشوها
۷	یافت مصالح	۱۶	منحنی
۸	جزئیات در نما	۱۷	ترکیب‌بندی نما

(برگرفته از یافته‌های پژوهش)

همانطور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، تعداد ۱۸ مولفه به عنوان عوامل اوریکامی موثر بر نماسازی ساختمان‌های بلندمرتبه شناسایی شدند.

جدول ۲- مولفه‌های معماری سبب موثر بر نماسازی ساختمان‌های بلندمرتبه

کد	مولفه	کد	مولفه
۰	جنس مصالح	۴	جنس سایبان
۱	رنگ مصالح	۵	تعداد تاشوها
۲	آلبدو	۶	زاویه سایبان‌ها
۳	نمای سبز و پوشش گیاهی	۷	نوع پنجره‌ها

(برگرفته از یافته‌های پژوهش)

است. ولیکن در خصوص ۴ مورد از مولفه‌های شناسایی شده این رابطه معنی‌دار بوده و الباقی چندان معنادار نبوده‌اند (کمتر از ۰/۰۶). نتایج نشانگر آن است که با در نظر گرفتن سطح معناداری کمتر از ۰/۰۱، با ۹۰ درصد اطمینان می‌توان بیان داشت که بین مصرف بهینه انرژی و چهار مورد از مولفه‌های الگوریتم اوریکامی در معماری پارامتریک رابطه مستقیمی وجود دارد. به این معنا که مولفه "رنگ" به میزان $F=0/822$ و مولفه "فرم بنا" به میزان $F=0/888$ و مولفه "موقعیت بازشوها" به میزان $F=0/711$ و "جنس مصالح" به میزان $F=0/895$ در مصرف بهینه انرژی نقش دارند.

همانطور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، تعداد ۸ مولفه به عنوان عوامل معماری سبب موثر بر نماسازی ساختمان‌های بلندمرتبه شناسایی شدند.

در بخش بعد، داده‌های جمع‌آوری شده از پرسش‌نامه‌ها مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. آلفای کرونباخ در این تحقیق ۰/۸۶۱ تعیین شد که بیشتر از ۰/۷ می‌باشد و این امر بیانگر پایایی و مورد اطمینان بودن پرسش‌نامه مورد نظر به منظور تحلیل‌های بعدی می‌باشد. به منظور سنجش رابطه بین مولفه‌های معماری پارامتریک و الگوریتم اوریکامی بر مصرف بهینه انرژی در ساختمان‌ها، از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد. باتوجه به جدول ۳ مشاهده شد که بین ابعاد کلی الگوریتم اوریکامی با مصرف بهینه انرژی رابطه معنی‌داری برقرار

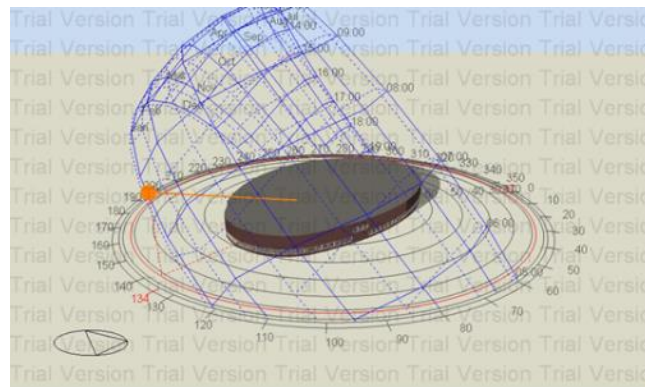
جدول ۳- ضریب همبستگی پیرسون برای بررسی رابطه بین مولفه‌های موثر الگوریتم اوریکامی بر مصرف بهینه انرژی

مولفه‌ها	مصرف بهینه	ترکیب‌بندی نما	رنگ	فرم بنا	جزئیات در نما	تکرارپذیری	هندسه طبیعی	رتیم	تقارن و توازن	بازشوها	جنس مصالح
مصرف بهینه انرژی	۱										
ترکیب‌بندی نما	۰/۵۶۵	۱									
رنگ	۰/۹۵۵	۰/۸۴۶	۱								
فرم بنا	۰/۸۸۸	۰/۷۶۲	۰/۸۲۳	۱							
جزئیات در نما	۰/۴۱۳	۰/۵۶۵	۰/۴۱۲	۰/۵۹۸	۱						
تکرارپذیری	۰/۲۹۶	۰/۴۰۹	۰/۴۵۳	۰/۵۳۵	۰/۵۸۰	۱					
هندسه طبیعی	۰/۵۴۷	۰/۵۷۲	۰/۶۰۱	۰/۴۰۱	۰/۴۲۲	۰/۳۶۰	۱				
رتیم	۰/۲۸۱	۰/۲۸۹	۰/۱۶۶	۰/۱۹۲	۰/۴۹۰	۰/۵۰۳	۰/۴۴۳	۱			
تقارن و توازن	۰/۳۵۱	۰/۴۹۹	۰/۵۹۱	۰/۵۴۸	۰/۳۹۳	۰/۴۹۲	۰/۵۸۶	۰/۵۶۱	۱		

موقعیت بازشوها	مصرف بهینه	ترکیب‌بندی نما	رنگ	فرم بنا	جزئیات در نما	تکرارپذیری	هندسه طبیعی	ریتم	تقارن و توزان	بازشوها	جنس مصالح
	۰/۷۱۱	۰/۶۲۳	۰/۶۷۵	۰/۶۸۹	۰/۷۲۴	۰/۷۸۵	۰/۸۰۳	۰/۷۶۵	۰/۶۱۹		
جنس مصالح	۰/۸۹۵	۰/۷۳۶	۰/۶۷۵	۰/۷۹۲	۰/۶۹۲	۰/۷۷۷	۰/۶۵۱	۰/۸۲۵	۰/۶۹۱	۰/۷۰۵	۱

(برگرفته از یافته‌های پژوهش)

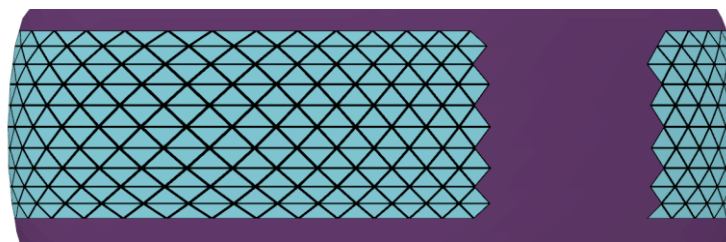
در گام نهایی پژوهش، با توجه به مطالب گفته شده به شبیه‌سازی نمای یک ساختمان بلندمرتبه مسکونی فرضی در شهر تهران پرداخته شد (شکل ۱).



شکل ۱- مسیر حرکت خورشید نسبت به بنا

در نظر گرفته و در ادامه با استفاده از الگوی اوریگامی به بررسی مولفه‌های موثر پرداخته می‌شود (شکل ۲).

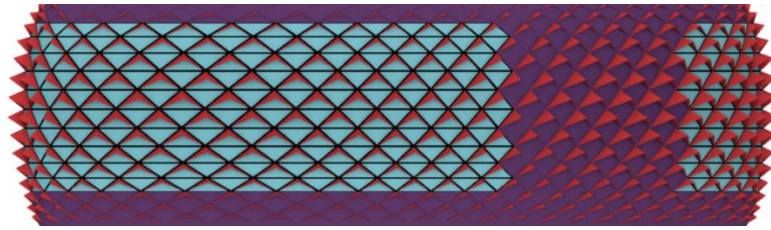
در این میان با توجه به محدوده تحقیق که نمای ساختمان‌ها را در بر می‌گیرد، ابتدا ساختمانی را با نمای شیشه‌ای در حالت پایه



شکل ۲- مدل ساختمان با نمای شیشه‌ای در حالت پایه (برگرفته از یافته‌های پژوهش)

"هندسه"، "ریتم"، "تقارن" و "جزئیات" و ... در نمای ساختمان‌ها، می‌تواند جنبه‌های کیفی محیطی را ارتقا بخشد. الگوریتم اوریگامی می‌تواند با کنار هم قرار دادن تمام مولفه‌های گفته شده، الگویی مناسب در نماسازی ساختمان‌های بلندمرتبه شهری باشد. شکل ۴ نشان‌دهنده قرارگیری پوسته طراحی شده با استفاده از الگوی تاخوردگی الگوریتم اوریگامی است.

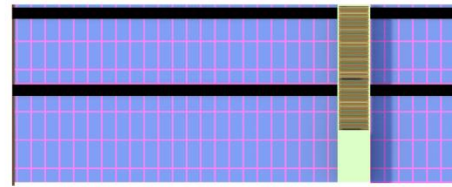
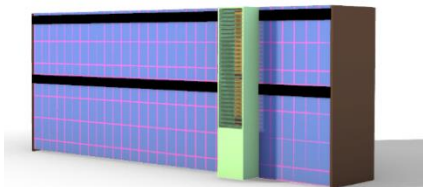
در ادامه، و برای سناریو دوم، با توجه به شکل ۳ مدل مذکور در نرم‌افزار راینو و به وسیله افزونه گرس‌هاپر به طور پارامتریک ساخته شد. در مدل پیشنهادی با استفاده از الگوی تاخوردگی پوسته ای الگوریتم اوریگامی به بررسی مولفه‌های مذکور پرداخته شد. همان‌طور که در تحلیل مولفه‌های مستخرج از مصاحبه خبرگان گفته شد، استفاده از الگوهای دهگانه نظیر "تکرارپذیری"،



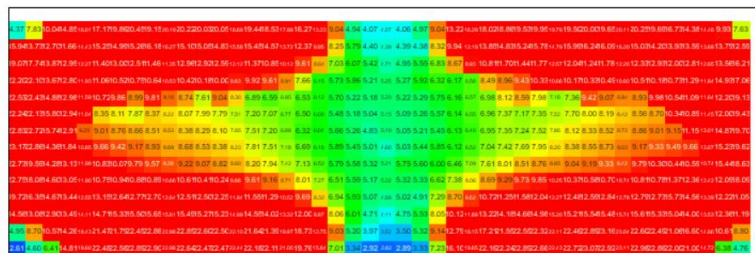
شکل ۳- قرارگیری الگوی تاخورد به عنوان پوسته دوم ساختمان (برگرفته از یافته‌های پژوهش)

در حالت اولیه واحد طراحی شده در فاصله کمی از جدارها دارای بیشترین میزان نورپذیری می‌باشد. در صورتی که هر چه فاصله از جدارها بیشتر شود، میزان دریافت نور کاهش می‌یابد، همانطور که در شکل ۵ مشخص است، میزان نور دریافتی در جداره‌های اصلی به میزان زیادی بوده و باعث خیرگی خواهد شد.

همانطور که آشکار است با توجه به عرض جغرافیایی کشور، نمای جنوب امکان دریافت بیشترین میزان تابش خورشیدی را داراست. در ابتدا با در نظر گرفتن مدل بخشی از یک ساختمان بلندمرتبه با نمایی تک‌پوسته و مصالح مصرفی شیشه و آلومین پلانی آن توسط موتور انرژی پلاس با پلاگین هانی بی، مشخص می‌شود



شکل ۴- مدل اولیه ساختمان مسکونی با نمای شیشه‌ای



شکل ۵- تحلیل پلانی واحد مدل‌سازی شده با نمای شیشه‌ای

شده یکی از گزینه‌های شبیه‌سازی نیز چرخش مدول‌های پایه یک متر مربعی به سمت شیب و زاویه بهینه دریافت تابش است. همانطور که در شکل ۶ نشان داده شده است با توجه به سایه اندازی‌های مدول‌های همجوار انتخاب شد.

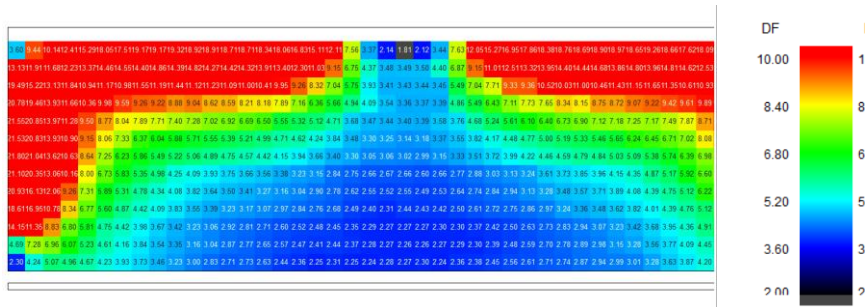
زاویه بهینه نمای ساختمان برای دریافت تابش حداکثری با توجه به عرض جغرافیایی شهر تهران ۳۰ درجه می‌باشد. با توجه به محدودیت نمای ساختمان برای تامین زاویه شیب ۳۰ درجه، تنها حالت ممکن تبدیل نما به مدول‌های پایه و چرخش هر یک از آنها بر اساس زاویه و شیب بهینه می‌باشد. با توجه به مطالب گفته



شکل ۶- استفاده از الگوی قطری و پیچ خوردگی سیلندر به عنوان پوسته دوم ساختمان

ایستگاه هواشناسی غرب تهران (مهرآباد) استفاده شده است. در مدل پیشنهادی و استفاده از پوسته با توجه به تحلیل پلانی آن در شکل ۷ پوسته دوم باعث نورپذیری یکسان در فضای داخلی می‌شود. در این بررسی دیگر خیرگی در جداره اصلی ساختمان وجود ندارد.

با توجه به شکل ۶ مدل مذکور در نرم‌افزار راینو و به وسیله افزونه ی گرس‌هاپر به طور پارامتریک ساخته شده است و با بهره‌گیری از افزونه لیدی باگ که مجهز به داده‌های آب و هوایی نقاط مختلف جهان می‌باشد، مورد بررسی قرار گرفت و میزان دریافت تابش خورشید در طول یکسال بر روی سطح آن اندازه‌گیری شد. برای محاسبه میزان تابش دریافتی آنها داده‌های آب و هوایی



شکل ۷- تحلیل پلانی استفاده از الگوی قطری و پیچ خوردگی سیلندر به عنوان پوسته‌ی دوم ساختمان

سایر حالات بیشتر است، انتخاب می‌شوند. پس از شبیه‌سازی مدل و تکمیل بهینه‌سازی آن از طریق به کارگیری الگوریتم، نتایج ذیل به دست آمد (جدول ۴).

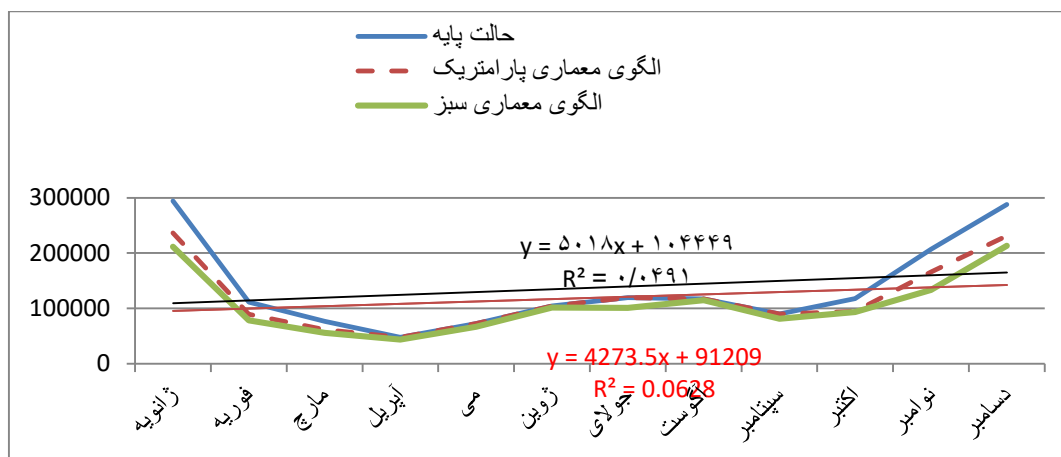
برای الگوی شبیه‌سازی شده، بر اساس پارامترهای شکل‌گیری آن، بی‌نیاهیت حالت به وجود خواهد آمد، که به کمک این افزونه دامنه‌ای از پاسخ‌ها که میزان تابش دریافتی خورشید در آنها از

جدول ۴- نتایج شبیه‌سازی

KWh Radiation	نرخ صرفه‌جویی در مصرف انرژی	نرخ افزایش دریافت تابش
مدل پایه	۲۰۲۹/۱۸	-
الگوی اورینگامی و معماری پارامتریک	۲۲۲۰/۷۰	٪۸/۳۴
الگوی معماری سبز	۲۶۵۸/۸۰	٪۹/۹۸

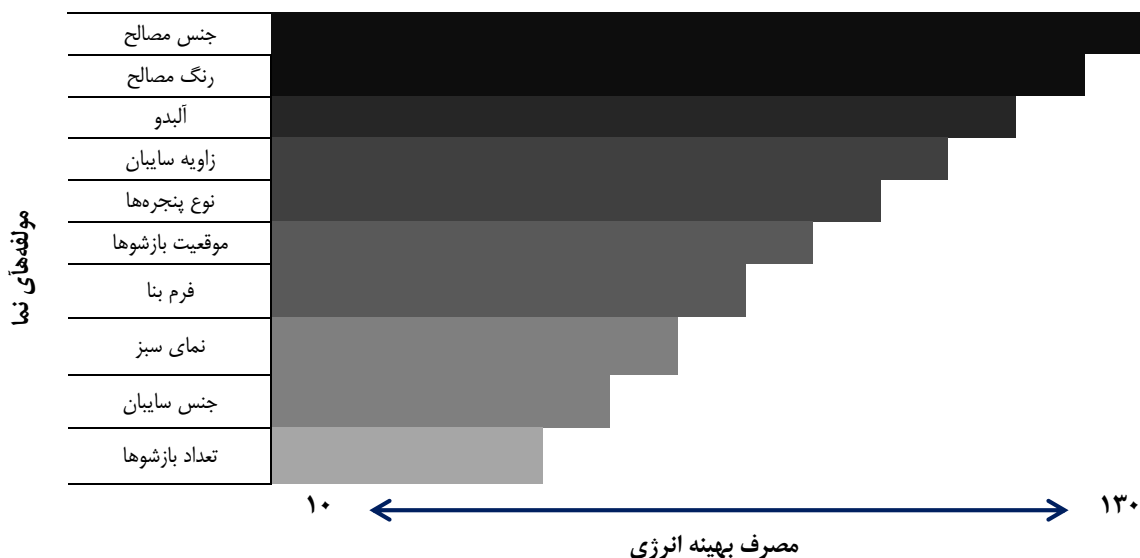
از میزان جذب انرژی تابشی در مدل اولیه است. از سوی دیگر، در الگوی معماری سبز میزان افزایش جذب انرژی خورشیدی ۹/۹۸ درصد بیشتر از حالت پایه بوده است. به علاوه، نرخ صرفه‌جویی مصرف انرژی نیز در الگوی معماری سبز ۲۸/۲۴ درصد بوده که نسبت به معماری پارامتریک (۱۱/۱۷ درصد) بوده است.

همانطور که نتایج جدول شبیه‌سازی نشان می‌دهد، مشخص است، میزان دریافت تابش سالیانه در مدل اولیه (حالت پایه) برابر با ۲۰۲۹،۱۸ کیلووات ساعت می‌باشد. الگوی معماری پارامتریک که مبتنی بر الگوریتم اورینگامی است، تابش بیشتری نسبت به مدل اولیه جذب کرده است. این میزان افزایش ۸،۳۴ درصد بیشتر



شکل ۸- نمودار انرژی مصرفی سیستم گرمایش و سرمایش ساختمان بلندمرتبه در سناریوهای چندگانه

در نهایت، نتایج حاصل از مدل‌سازی نرم‌افزاری نمای ساختمان بلندمرتبه، ضرایب تاثیر هر یک از مولفه‌های اثرگذار را نشان می‌دهد (شکل ۹).



شکل ۹- نمودار مقایسه‌ای ضریب تاثیر مولفه‌های مرتبط با نمای ساختمان‌ها که بر مصرف انرژی موثر هستند (برگرفته از یافته‌های پژوهش)

انرژی نقش دارند، بوده است. بر اساس آنچه از تحلیل عاملی پرسشنامه خبرگان به دست آمده است، چهار مولفه از میان ۱۸ مولفه ابتدایی، واجد بیشترین نقش و اثرگذاری بودند که در برگیرنده انواع الگوهای موجود می‌باشند. همان‌طور که طراحی پوسته ساختمان نشان داده شد، الگوریتم اوربگامی با کنار هم قرار دادن تمام مولفه‌های گفته شده، می‌تواند شاخص‌های مطرح‌شده توسط خبرگان را به صورت کامل به وجود آورد. براساس آنچه که در تحقیقات پیشین بیان شده است، نماهای ساختمان‌های بلندمرتبه در کیفیت محیط شهر نقش بسزایی را ایفا می‌کنند (لیندال و هارتیگ، ۲۰۱۳؛ حیدری و همکاران، ۲۰۱۹). نتایج این

نتایج مندرج در شکل ۹ نشان می‌دهد که از میان مولفه‌های موثر بر مصرف بهینه انرژی که در ناماسازی سازه‌های بلند شهری کاربرد دارند، مولفه "جنس مصالح" با ضریب ۱۳۰ بیشترین سهم را داشته است و پس از آن مولفه‌های "رنگ مصالح" و "آلبدو" به ترتیب با ضرایب ۱۲۰ و ۱۱۰ قرار دارند. در انتهای این رده‌بندی نیز مولفه "تعداد بازشوها" با ضریب ۴۰ قرار دارد.

دیدگاه یک معمار در خصوص مولفه‌های طراحی نما، نشان از نقش و وظایف او در راستای کیفیت‌بخشی به منظر شهری دارد. پژوهش حاضر به دنبال مدلسازی و مقایسه تطبیقی مولفه‌های موثر بر ناماسازی ساختمان‌های بلندمرتبه که در مصرف بهینه

تواند سبب کاهش میزان مصرف انرژی در ساختمان‌های اداری شود.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نمای هر ساختمان بلندمرتبه، عنصری مجزا و مستقل نیست و به عنوان جزئی از دیوارها و پنجره‌های دیگر ساختمان‌های شهر، کلیت نما و منظر شهری را تشکیل می‌دهد. با این حال ذکر این نکته اهمیت دارد که به دلیل اشراف، اندازه، مقیاس و رویت‌پذیری بالای بلندمرتبه‌ها، جلوه بیرونی این ساختمان‌ها، یک عنصر حاشیه‌ای با تاثیرگذاری در مقیاس محدود نیست. بلکه به جرات می‌توان گفت نمای ساختمان بلندمرتبه در مقایسه با دیگر ساختمان‌های شهری، از اهمیت بیشتری در مبحث مدیریت مصرف انرژی برخوردار است. لذا توجه بر مواردی نظیر جنس مصالح، رنگ مصالح، نوع پنجره‌ها، تعداد و موقعیت بازشوها، جنس و زاویه سایبان‌ها و ... می‌تواند میزان مصرف انرژی داخلی ساختمان را کاهش دهد و از طرف دیگر، با جذب انرژی حرارتی در فصل سرد سال، نیاز به انرژی را کاهش دهد. از سوی دیگر، توجه معماران و طراحان به اصول و ضوابط معماری سبز، و پس از آن الگوریتم اورینگامی می‌تواند سبب شود که انرژی دریافتی از نور خورشید توسط یک سازه برای دوره یک‌ساله افزایش یابد و بدین ترتیب نیاز به مصرف انرژی را نیز تحت تاثیر خود قرار خواهد داد. در مجموع، باید بیان داشت که معماری سبز بیش از دو سبک دیگر یعنی اورینگامی و معماری پارامتریک سبب صرفه‌جویی در مصرف انرژی می‌گردد که بر این مبنای الگوبرداری از این سبک معماری، برای کشور توصیه می‌شود.

بررسی نشان می‌دهد، الگوهایی از اورینگامی که وجوه مختلف آن به سوی زوایای متفاوتی قرار می‌گیرند، می‌توانند مجموع تابش دریافتی از خورشید را در طول یک سال افزایش دهند. مدل ساخته شده بر طبق الگوی قطری با توجه به افزایش میزان دریافت تابش خورشیدی به میزان ۸,۳۴٪، بهینه‌ترین شکل بهره‌گیری از تکنیک اورینگامی در نمای جنوبی ساختمان است. هر چند که الگوی معماری سبز با دریافت انرژی خورشیدی به میزان ۹/۹۸ درصد بیشتر از حالت پایه، در اولویت قرار دارد. همچنین، نرخ صرفه‌جویی مصرف انرژی نیز در الگوی معماری سبز ۲۸/۲۴ درصد بوده که نسبت به معماری پارامتریک (۱۱/۱۷ درصد) بیشتر می‌باشد. نتایج این بخش از تحقیق در خصوص امکان کاهش میزان مصرف، با مطالعه صورت گرفته توسط سماواتی (۱۳۹۵) منطبق است. همانطور که خدیوی و همکاران (۱۳۹۵) بیان کردند، در ساختمان‌های اداری امکان کاهش مصرف تا حدود ۴۰ درصد نیز میسر است که این نرخ از آنچه در این تحقیق به دست آمده است، بیشتر می‌باشد. یافته‌های تحقیق حاضر نشان داد که میزان انرژی الکتریسیته بیشترین میزان مصرف انرژی را به خود اختصاص داده بود که این مورد با نتایج تحقیق ماریانو هرناندز و همکاران (۲۰۲۰) در ساختمان‌های اداری مطابقت دارد. از سوی دیگر، شاخص‌های موثر بر میزان مصرف انرژی که در تحقیق حاضر شناسایی شدند، با تحقیقات چن و همکاران (۲۰۲۰) همخوانی دارد. چرا که در هر دو مورد بر عواملی نظیر ویژگی‌های ساختمان، تجهیزات و فناوری و خصوصیات رفتاری تاکید شده بود. در نهایت، همانطور که تحقیقات حسامی (۱۳۹۵ و ۱۳۹۷) نیز موید این نکته بوده است، اتخاذ رویکرد الگوی مصرف بهینه می‌

References

1. Abasi M, Tahbaz M, Vafae R. Introducing an innovative variable building layers system (V.B.L.S), *Naqshe Jahan*, 2015; Vol. 5, No. 2, pp. 55-64. [In Persian] <https://doi.org/10.30475/isau.2021.161914.1144>
2. Abdul Ahad M. Paiva S. Tripathi G. Feroz N. Enabling Technologies and Sustainable Smart Cities. *Sustainable Cities and Society*. 2020.
3. Amirsardari, Yaser, and Manouchehr Fortun, and Manouchehr Moazzami, and Maryam Mohammadi, The meaning of the exterior appearance of the residential tower; Analyzing the discourse semiotics of tall residential buildings in Tehran. *Journal of architecture and urban planning*, 2021; Vol. 27, 5-25. [In Persian]. Doi: 10.30480/aup.2020.796
4. Arghavan M, Metovasal M, Tashakor. Simultaneous location and design of solar and wind power plants in Fars province in order to reduce greenhouse gases, *New researches in environmental engineering*, 2023; 1 (1), pp. 41-54. [In Persian]. 14020523782703
5. Bahmanpour H, Mafi A, Salajeqeh B, Dorbeiki M. Climate change, environmental literacy educational package; Special for educators and facilitators, *publications of Environmental Protection Organization*, 2019, first edition, Tehran, 288 p. [In Persian].
6. Bahrami H, Davoudi T. energy management with smart switchboard, *Iranian Energy magazine*, 2012, 12th year, number 18.
7. Balkhari Qahi H. About beauty: aesthetics in Islamic wisdom and Western philosophy. Tehran:

- University of Tehran. 2021. [In Persian]. file:///C:/Users/pctec/Downloads/403411436020_1.pdf
8. Behzadpour M, khakzand M. Achieving green architecture through the use of BIM Environmental studies haft hesar. 2021
 9. Biyik E, Araz M, Hepbasli A, Shahrestani M, Yao R, Shao L, Atlı YB. A key review of building integrated photovoltaic (BIPV) systems, *Engineering Science and Technology International Journal*, 2017; Vol. 20, No. 3, pp. 833–858. DOI: 10.1016/j.jestch.2017.01.009
 10. Bokharaee S. Oppressive Environments: An Analytical Investigation of the Role of Buildings and Set-tings. *Soffeh*, 2017; 27(77), 5-20. [In Persian]. doi.org/10.1001.1.1683870.1396.27.2.1.3
 11. Borzouei A, Zandieh M, Heidari S. Analyzing the Use of Origami to Increase the Solar Radiation on Photovoltaic Panels through Software Simulation. *Iranian Architecture and Urbanism* [Internet]. 2021; 11(2):189-203. [In Persian]. doi.org/10.30475/isau.2021.161914.1144
 12. Chen S, Zhang G, Xia X, Setaung S, Shi S. A review of internal and external influencing factors on energy efficiency design of buildings, *Energy & Buildings* 216 (2020) 10994
 13. Dong H, Qin B. Exploring the Link between Neighborhood Environment and Mental Wellbeing: A Case Study in Beijing, China. *Landscape and Urban Planning*, 2017; 164, 71-80. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2017.04.005>
 14. Ebrahimzadeh J, Qadermarzi J. An analysis of housing in urban areas; A solution to improve the quality of life of citizens; Case study: neighborhoods of Dehgolan city. *Geography and Development*, 2016; Volume 13, Number 40, 156-139. [In Persian]. 10.22111/gdij.2015.2103
 15. Environmental Protection Organization. Translation of Paris Sustainable Development Goals document, 2018, Tehran, 112 p. [In Persian]
 16. Fahim Huseien G, Wei Shah K. A review on 5G technology for smart energy management and smart buildings in Singapore. *Energy and AI*. 2022
 17. Fazeli AR, Heydari S. Optimizing energy consumption in residential areas of Tehran using the Rotterdam energy planning approach, *Energy Planning and Policy Research*, 2012, first year, number 3, pp. 83-96. [In Persian]. URL: <http://epprjournal.ir/article-44-1-fa.html>
 18. Ghafari J, Ghafari J, Salehi E. Housing design strategies to optimize energy consumption in Tehran, *Journal of Energy Planning and Policy Research*, 2012, second year, number 51. 115-132. [In Persian] URL: <http://epprjournal.ir/article-1-26-fa.html>
 19. Hassanzadeh Firoozi M, Kalani Moghadam M, Bakshi H. Origami as a new construction technology in sustainable architecture. *The first national conference of new ideas and technologies in architecture*, Tabriz. 2011. [In Persian]
 20. Hesami Z. Entrepreneurship workshop to optimize energy consumption and environment, Environmental Management Center and Sustainable Development of Tehran Municipality, *Sharif University of Technology*. 2017. Tehran. [In Persian]
 21. Heydari O, Zebardast L, Asgarirad Fahime. Study and evaluation of outdoor advertising in urban spaces (Case study: distance between Enqelab square and Valiasr intersection in Tehran city). *Journal of Environmental Science and Technology* [Internet]. 2019; 21; 3 (82):265-278. [In Persian]. 10.22034/jsc.2020.234241.1252
 22. Islamic Council Research Center, Comprehensive studies of energy consumption in the country; 2022, first volume. 418 p.
 23. Khadivi S, Abbaspur M, Karbasi A. Evaluation of the implementation of energy management measures in the domestic and commercial sector in metropolises using the SWOT method, *Environmental Science and Technology Quarterly*, 2016; 18th volume, special issue number 2, 11 p. [In Persian]
 24. Khanifar H, Muslimi N. Principles and basics of qualitative research methods. Tehran: *Negha Danesh*. 2019. [In Persian]. https://uswr.ac.ir/uploads/2_57961.pdf
 25. Lindal PJ, Hartig T. Architectural Variation, Building Height, And the Restorative Quality of Urban Residential Streetscapes. *Journal of Environmental Psychology*, 2013. 33, 26-36. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2012.09.003>
 26. Mariano-Hernandez D, Hernandez- Calejo L, Zorita-Lamadrid A, Duque-Perez O, Santos-Garcia F. A review of strategies for building energy management system: Model predictive control, demand side management, optimization, and fault detect & diagnosis, *Journal of Building Engineering*, 33 (2021) DOI: 10.1016/j.jobbe.2020.101692
 27. Ministry of Energy, Energy Balance Sheet, Electricity and Energy Macro Planning Office, Ministry of Energy, 2023, 643 p. Electronic printing. www.energyinformation.ir
 28. Mirheydar Turan B, Ostadi M, Niaye Qaraee f, Ehsaee A. A New Approach to the Analysis of Visual-Perception Illusion on the Spatial Layout of Urban Elements. *Geographical Research* [Internet]. 2021; 36(4):142:407-417. [In Persian]. URL: <http://georesearch.ir/article-1-1088-en.html>

29. Pashmfroosh S, Kohzadi Seifabadi I. Investigating the impact of high-rise buildings on the city landscape with an emphasis on legibility; Case example of Tehran. *Geography, civil engineering and urban management studies*, second period, 2016. vol. 4, 78-90. [In Persian]. https://www.armanshahrjournal.com/article_79972.html?lang=en
30. Pilehchiha P. Optimization methods and algorithms in architectural design and urban planning, basic mathematical solutions. *Naqsh Jahan*, 2014. Volume 10, Volume 3, 205-216. [In Persian]. 20.1001.1.23224991.1399.10.3.4.4
31. Qaedi A. Cursive flow converter as a renewable and environmentally friendly power plant, *New Researches in Environmental Engineering*, 2023, 1(3), pp. 15-27. [In Persian].
32. Sahebsara F, Taghvaeipour A, Ghafarirad H. Kinematic Modelling of Origami-Inspired Continuum Robotic Arm by Constant-Curvature Elements. *Modares Mechanical Engineering* [Internet]. 2019; 19(11): 2729-2735. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.10275940.1398.19.11.11.5>
33. Salvia M, Simoes SG, Herrando M, Cavar M, Cosmi G. Improving policy making and strategic planning competencies of public authorities in the energy management of municipal public buildings: The PrioritEE toolbox and its application in five mediterranean areas, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 135 (2021) 106-110. DOI: 10.1016/j.rser.2020.110106
34. Samavati E. Energy management of smart building by feeding renewable sources, *scientific and promotional quarterly of renewable and new energies*, 2015, third year, first issue, pp. 45-50. [In Persian]. 20.1001.1.24234931.1395.3.1.7.6
35. Shabanzadeh H, Javan A. Energy efficiency standards and labels, guidebook for lighting devices and equipment, *Tehran University Press*, 2004, 36 p. [In Persian].
36. Tartar M, Marafet M. New solutions to reduce energy consumption in buildings through modification of the external shell, *Mechanical Engineering*, 2023, No. 61, Year 22. [In Persian]. 20.1001.1.16059719.1392.22.4.3.3
37. USGBC. U.S.Green Building Council. (2016). *LEED for building design and construction*. Retrieved from <http://leed.usgbc.org/bd-c.html>
38. Vaid U, Evans GW. Housing Quality and Health: An Evaluation of Slum Rehabilitation in India. *Environment and Behavior*, 2016; 49(7), 771-790. <https://doi.org/10.1177/0013916516667975>
39. Verijkazemi M. Providing operational solutions to optimize energy consumption and energy management in Iran's office and residential buildings, the second national conference on future buildings, Tehran. 2016. [In Persian].
40. Zhang Z, Zhang J. Perceived Residential Environment of Neighborhood and Subjective Well-Being among the Elderly in China: A Mediating Role of Sense of Community. *Journal of Environmental Psychology*, 2017; 51, 82-94. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2017.03.004>



Modeling and Comparative Comparison of Energy Consumption in Urban High-Rise Buildings Under Multiple Scenarios and With an Emphasis on the Facade in Green Architecture

Tabbasom Tabasi	Ph.D. Student in Architecture, Department of Architecture, Mashhad Branch, Islamic Azad University, Mashhad, Iran
Amir Farajolahi Rod*	Assistant Professor, Faculty of Art and Architecture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
Vahid Ahmadi	Assistant Professor, Department of Architecture, Mashhad Branch, Islamic Azad University, Mashhad, Iran
Hamid Reza Shoaee	Assistant Professor, Department of Architecture, Shahrood Branch, Islamic Azad University, Shahrood, Iran

Extended Abstract

Received: 22 April 2024

Accepted: 17 June 2024

Keywords: Energy Modeling, Green Architecture, Parametric Architecture, High -Rise Buildings, Building Facades.

Introduction: Today, green architecture is referred to as a tool for improving the quality of the urban environment, optimizing energy consumption and reducing pollution. The purpose of this study is to model the amount of energy consumption in high-rise buildings under multiple scenarios and emphasize the facade of the building in green architecture.

Materials and Methods: First, components related to the facade of high-rise buildings that are effective in optimizing energy consumption were extracted in two parametric and green architectural styles. Then, using the 15-person expert panel, prioritized the components. In the third step, the statistical analysis was analyzed using questionnaire data and software. In the fourth step, it was used to simulate a hypothetical model of the Rhino Software, which was parametric by the Grasshopper plugin.

Results and Discussion: Among the 18 components identified as Origami, 4 are factors "color", "form form", "opening position" and "material of materials" are involved in optimal energy consumption. The simulation results show that the annual radiation receipt in the initial model (base mode) is 2029.18 kWh. The parametric architectural pattern is 8.34 % more than the initial model of radiation. In the green architecture pattern, the increase in solar energy absorption was 9.98 percent higher than the base. In addition, the energy-saving rate in the green architecture pattern was 28.24 %, which was 11.11 % compared to parametric architecture. Among the components of optimal energy consumption used in the facade of high urban structures, the "material of materials" component with the coefficient of 130 has the highest share, followed by "color" and "albedo" components with coefficients of 120 and 110 respectively have. At the end of this ranking is the "number of openings" with a coefficient of 40.

Conclusion: Paying attention to materials such as the material of materials, the color of the materials, the type and position of the pop-up, the sex and angle of the canopies, etc. can reduce the amount of internal energy consumption of the building and on the other hand, by absorbing thermal energy in the cold season, the need To reduce energy.

Corresponding author: Amir Farajolahi Rod

Address: Faculty of Art and Architecture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. **Tel:** +989121106692

Email: amirfrod@modares.ac.ir

Citation: Tabasi T, Farajolahi Rod A, Ahmadi V, Shoaee HR. Modeling and Comparative Comparison of Energy Consumption in Urban High-Rise Buildings Under Multiple Scenarios and With an Emphasis on the Facade in Green Architecture. *New researches in environmental engineering*, 2024; 2(5): 1-14.



© 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.



مقایسه گیاه پالایی شمعدانی و کلم زینتی در حذف آلاینده های نفتی و فلزات سنگین سرب و کادمیم

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

سمیرا عابدینی
شهرزاد خرم نژادیان*

چکیده مبسوط

مقدمه: آلودگی خاک به هیدروکربن های نفتی و فلزات سنگین از مشکلات مربوط به جوامع صنعتی می باشد. روش های متعددی برای حذف آلاینده های از خاک وجود دارد. گیاه پالایی روشی همگام با محیط زیست است که با استفاده از گیاهان آلاینده ها از خاک حذف می گردند. هدف از این تحقیق بررسی پاکسازی خاک از آلودگی های نفتی و همچنین فلزات سنگین (سرب و کادمیم) با استفاده از دو گیاه زینتی کلم زینتی و شمعدانی معطر بود.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۲۹

مواد و روش ها: تعداد ۴۰ نمونه شامل ۲۰ نمونه خاک و ۲۰ گیاه انتخاب شدند. خاک ها در سه رده پا (شاهد)، نیمه آلوده و کاملاً آلوده انتخاب شدند. ۸ هیدروکربن و دوفلز سنگین مورد بررسی قرار گرفتند. از دستگاه HPLC جهت سنجش فلزات سنگین استفاده شد. برای بررسی هیدروکربن های نفتی از دستگاه اسپکتروفتومتر استفاده شد.

نتایج و بحث: بیشترین میزان تجمع در تجمع هیدروکربن در شمعدانی در خاک نیمه آلوده مربوط به تترادکان (۱۶,۰۲۱ mg/Kg) در بافت خشک و اثری از تجمع تری دکان و پنتادکان در بافت تازه و خشک شمعدانی دیده نشد. در کلم زینتی بیشترین مقدار تجمع مربوط به دکان (۱۹,۶۹ mg/Kg) در بافت تازه و کمترین میزان تجمع مربوط به نونان (0.659 mg/Kg) در بافت خشک دیده شد.

واژه های کلیدی: گیاه پالایی، فلزات سنگین، هیدروکربن نفتی، خاک

نتیجه گیری: نتایج این تحقیق نشان داد که هر دو گیاه زینتی بکار رفته در تحقیق برای گیاه پالایی مناسب بودند. در حذف آلودگی های نفتی، گیاه شمعدانی معطر، عملکردی بهتری از خود نشان داد. داشته است. کلم زینتی در حذف فلز سنگین کادمیوم راندمان بالاتری داشت.

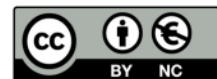
نویسنده مسئول: شهرزاد خرم نژادیان

نشانی: گروه محیط زیست، زیست، واحد دماوند، دانشگاه آزاد اسلامی، دماوند، ایران. **تلفن:** ۰۹۳۵۷۹۷۰۹۷۸ **پست الکترونیکی:** khoramnejad@damavandiau.ac.ir

استناد: عابدینی سمیرا، خرم نژادیان شهرام. مقایسه گیاه پالایی شمعدانی و کلم زینتی در حذف آلاینده های نفتی و فلزات سنگین سرب و کادمیم. پژوهش های نوین در مهندسی

محیط زیست. ۱۴۰۳؛ ۲(۵): ۱۵-۲۴.

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 غیر تجاری فقط با استناد و ارجاع به اثر اصلی مجاز است.



مقدمه

حاصلخیزی آن دارد (معینی و فرح بخش ۱۳۸۶). کل هیدروکربن‌های نفتی (TPH) آلاینده‌هایی هستند که در ذرات آلی یا خاک جذب می‌شوند و حتی به آب‌های زیر زمینی نیز نفوذ می‌کنند. تعداد اتم‌های موجود در هیدروکربن‌ها خواص آن‌ها را تعیین می‌کند (Dehghani et al 2013). هگزا دکان بروی سیستم تنفسی و پوست اثر گذار است (Bouchez- Naitali & Vandecasteele 2008).

آلودگی خاک به فلزات سنگین، یکی موارد مهمی است که در اثر ورود هیدروکربن‌های نفتی به خاک منجر به آلوده شدن آن می‌شود. این فلزات اگرچه به صورت طبیعی و در قالب ترکیبات غیر محلول، کلوییدی و یونی و در مقادیر کم در طبیعت یافت می‌شوند، اما فعالیت‌ها انسانی منجر به تجمع بیش از حد این فلزات در منابع آبی و خاکی شده و به دلیل دارا بودن خاصیت سمیت بالقوه این فلزات، تهدیدی جدی برای سلامت جوامع انسانی و محیط زیست محسوب می‌شوند (اعتصامی و همکاران ۱۳۹۲).

امروزه روش‌های مختلفی برای کاهش آلودگی خاک به هیدروکربن‌های نفتی بکار می‌رود، یکی از این روش‌ها که تأثیر بسزایی در کاهش آلودگی‌ها دارد، گیاه پالایی می‌باشد. این روش نوعی تکنولوژی کم هزینه و ساده است که در طی آن، از با کاشت گیاهانی نظیر گیاهان علفی و ... در خاک‌های مناطق آلوده، و جذب آلاینده‌ها در اندام‌های مختلف این گیاهان، از قبیل ریشه و ... منجر به کاهش میزان آلاینده در خاک می‌گردد. گیاهانی که در طی فرایند گیاه پالایی مورد استفاده قرار می‌گیرند، به دلیل آنکه توانایی جذب فلزات سنگین از محیط‌های آبی و خاکی و همچنین توانایی انتقال و تثبیت آن‌ها و همچنین توانایی تجزیه این آلاینده‌ها را دارند از این رو نقش مهمی در کاهش میزان آلودگی منابع آبی و خاکی دارند (محمدی و همکاران ۱۳۹۴؛ Fataei et al 2010). شناسایی گونه‌هایی که به فلزات مقاوم و متحمل به سطوح بالای هیدروکربن‌های نفتی هستند، کلیدی برای گیاه پالایی مؤثر است (Karnaeva et al 2021). استفاده از گیاهان بومی مناطق آلوده، بهترین انتخاب برای پاکسازی و احیای خاک می‌باشد. منشأ و عمر آلودگی، مسیرهای انتقال احتمالی آن، و اثرات زیست محیطی آن باید به منظور توسعه یک استراتژی اصلاحی مناسب برای گیاه پالایی ارزیابی شود (دوهرتی و همکاران ۲۰۱۹). پاکسازی خاک‌های آلوده به TPH هزینه بر و گران می‌باشد فرایند سختی می‌باشد (Huang et al 2005).

نفت و مشتقات آن از جمله آلاینده‌های آلی محسوب می‌شوند. آلاینده‌های آلی طیف وسیعی از ترکیبات آلی را شامل می‌شوند که عمدتاً توسط پروسه‌های صنعتی تولید و همچنین وارد محیط زیست می‌شوند. این ترکیبات در مقایسه با ترکیبات معدنی (غیر از مواد رادیو اکتیو) از اثرات زیست محیطی بسیار زیادی برخوردارند (Khoshmanesh et al 2018).

کلیه فعالیت‌هایی که در طی فرایندهای اکتشاف، حفاری، تولید فراآلوده‌های نفت، گاز، پترو شیمی و ... در صنعت نفت رخ می‌دهد، پیامدهای اجتناب ناپذیر بسیاری را برای سلامت جوامع انسانی و محیط زیست به همراه دارد (مقدس ۱۳۹۴). نفت خام به دلیل وجود مخلوط پیچیده‌ای از ترکیبات هیدرو کربنی و غیر هیدرو کربنی خود به تنهایی موجب بروز صدمات جدی بر سلامت جوامع انسانی و محیط زیست می‌شود از این رو آلاینده جدی برای محیط زیست محسوب می‌شود. آلودگی نفتی عمدتاً در اثر نشست، فروش و بهره‌گیری از فرآورده‌های نفتی و سر ریز یا شکستگی خطوط لوله و ... رخ می‌دهد. از طرف دیگر اضافه کردن مواد نفتی به خاک که در اثر دفع عمدی زباله‌ها رخ می‌دهد منجر به بروز و یا شدت اثرات ناشی از تماس این ماده و از بین رفتن گیاهان در اثر تماس با مقادیر بالای این ماده و بروز صدمه به بخش‌هایی نظیر کشاورزی و تخریب محیط زیست را در پی دارد، علاوه بر آن مواردی از قبیل انتشار مستقیم آلاینده‌های نفتی، از طریق سوختن و غبارت حاصل از آن منجر به افزایش میزان غلظت این آلاینده‌ها در منابع خاکی می‌گردد (داوودی ۱۳۹۶).

فعالیت‌های صنایع نفت و گاز و تولیدات حاصل از آن‌ها می‌توانند منجر به آلوده شدن منابع مختلفی از قبیل خاک، آب و هوا گردند (Mostofie et al 2014; Bayrami et al 2020). صنایعی نظیر پتروشیمی و صنعت گاز حاوی آلاینده‌های مختلفی از قبیل ازون، اکسید نیتروژن، اکسیدهای سولفور، ترکیبات آلی فرار، فلزات سنگین نظیر نیکل، کروم و آلاینده‌های خطرناک هوا از قبیل بنزن، تولوئن، گزیلن و ... هستند که این مواد که در دسته مواد آلی فرار قرار دارند، به دلیل دارا بودن خاصیت سرطان‌زایی خود، برای سلامت جوامع انسانی تهدیدی جدی محسوب می‌شوند (کشمیری و همکاران ۱۳۹۷). از آنجاییکه ویژگی‌های خاک، نظیر ویژگی‌های ساختمانی شیمیایی خاک نقش مهمی در سلامت و کیفیت آن دارد، لذا ورود و تجمع آلاینده‌هایی از قبیل آلاینده‌های فلزی منجر به بروز تغییر در کیفیت خاک و همچنین کاهش

در این پژوهش از دو گیاه شمعدانی معطر و کلم زینتی جهت پاکسازی خاک‌های آلوده و نیمه آلوده به فلزات سنگین سرب و کادمیوم و نیز هیدروکربن نفت سفید استفاده شد. برای اجرای این تحقیق سه نوع خاک را با درصدهای اختلاط آلودگی متفاوت با هم در سه سطح پاک، آلودگی کم و آلودگی زیاد تهیه شد. در این بررسی ابتدا اجزای لازم برای بررسی را در دسته‌های مناسب قرار گرفت. اجزای این بررسی عبارت از: میزان آلودگی خاک، گیاهان زینتی مورد استفاده، نوع بافت بود، نوع آلودگی، نوع نمونه و اثر کشت. در شکل ۱ مشاهده نمود.

در این تحقیق از گیاهان شمعدانی و کلم زینتی برای حذف TPH و فلزات سنگین استفاده شده است. کلم زینتی گیاهی مقاوم به سرما می‌باشد که در فضای سبز شهری بسیار مورد استفاده است. این گیاه به خانواده کلم تعلق دارد و بخاطر برگ هایش بعنوان گیاه تزئینی استفاده می‌گردد (مرتضوی و همکاران ۱۳۹۵).

مواد و روش‌ها



شکل ۱- بلوک طرح نمونه‌ای دسته‌بندی آزمایش

ارلن‌ها به مدت ۲۴ ساعت زیر هود قرار داده شد. سپس ارلن‌ها را بر روی هیتر با دمای ۸۰ الی ۹۰ درجه سانتی‌گراد در زیر هود قرار داده و عمل حرارت دادن به ملایمت آغاز تا بخار خرمایی رنگی از تمامی نمونه‌ها متصاعد شد. پس از گذشت ۱۰ دقیقه مقدار ۲cc آب اکسیژنه ۳۰ درصد به هر یک از ارلن‌ها اضافه و آن‌ها را به صورت دورانی تکان داده شده و دوباره روی هیتر گذاشته و عمل حرارت دادن شدیدتر شد و هر ۱۵ دقیقه با کم شدن حجم محلول باید دومرتبه ۲cc آب اکسیژنه ۳۰ درصد به آن افزوده شد تا زمانی که محلول به رنگ زرد کم رنگ و یا بی رنگ گشت و در این مرحله اکسیداسیون به اتمام رسید. این عمل تا زمانی ادامه یافت که حجم نمونه به ۲ الی ۳cc کاهش یافته و نمونه کاملاً بی رنگ شد. پس از بی رنگ شدن کامل نمونه و کاهش حجم آن پس از خنک شدن ظرف، سپس مقداری آب مقطر به آن اضافه کرده و با عبور از کاغذ صافی واتمن ۴۰ با استفاده از قیف محلول را به درون بالون ژوژه ۵۰cc که از قبل اسیدشویی شده بود، ریخته و با اسید نیتریک ۱۰٪ آن را به حجم ۵۰cc رسانده شد، سپس آن

گیاهان در سه خاک آلوده، نیمه‌آلوده و پاک کاشته شده و پس از رشد، از اندام‌های آن دو گیاه به دو حالت تازه و خشک‌شده در یک زمان به همراه خاک آن نمونه‌برداری گشت. آلودگی‌ها از دو منبع هیدروکربنی و فلزات سنگین ناشی شده است و طرح نسبت به این عامل مقارن بود.

در این پژوهش از دو گیاه شمعدانی و کلم زینتی جهت پاکسازی خاک‌های آلوده و نیمه آلوده به فلزات سنگین سرب و کادمیوم و نیز هیدروکربن نفت سفید استفاده شد. برای اجرای این تحقیق سه نوع خاک را با درصدهای اختلاط آلودگی متفاوت با هم در سه سطح پاک، آلودگی کم و آلودگی زیاد تهیه شد.

برای هضم نمونه‌ها: ابتدا نمونه‌های جمع‌آوری شده به مدت ۴۸ ساعت در دستگاه آون با دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شده و سپس توسط آسیاب پودر شده و از الک ۶۳ هزار میکرون عبور داده شد. برای هضم نمونه‌ها، ۰/۵ گرم از نمونه پودر شده به ارلن ۱۰۰cc منتقل و سپس توسط پیپت ۵cc اسید نیتریک غلیظ به هر کدام از نمونه‌ها اضافه شده و با گذاشتن شیشه ساعت بر روی

۳۶۵LAMBDA کمپانی پرکین المر برای سنجش هیدروکربن های نفتی مورد استفاده قرار گرفت. طیف سنجی در حلال DMF صورت گرفت (صادقی فر و همکاران ۱۳۸۴). شمعدانی معطر گیاهی چند ساله می‌باشد که دارای برگ‌های خوشبو می‌باشد (جعفری و همکاران ۱۳۹۴).

در این پژوهش با استفاده از ابزارهای آماری و تجزیه و تحلیل مربوطه و با کمک نرم‌افزارهای در (اکسل، SPSS) به بررسی اثر تیمارهای مختلف پرداخته شد.

نتایج و بحث

را به ظرف پلی اتیلنی درب دار منتقل گشت تا میزان نیکل، کادمیوم و سرب موجود در نمونه‌ها توسط دستگاه قرائت گردد (جکسون ۱۹۸۰).

در این بررسی از ۴۰ نمونه استفاده شده است که ۲۰ واحد آن خاک و ۲۰ واحد گیاه موجود است. در این پژوهش از گیاهان زینتی و غیر خوراکی جهت پاکسازی خاک آلوده استفاده شد تا در مناطق با آلودگی کم یا زیاد توانایی پاکسازی خاک را داشته باشند و از جهت زیباسازی نیز می‌توان از این گیاهان بهره برد. در این پژوهش از دو گیاه شمعدانی و کلم زینتی جهت پاکسازی خاک های آلوده و نیمه آلوده به فلزات سنگین سرب و کادمیوم و نیز هیدروکربن نفت سفید استفاده شد. اسپکتروفتومتر UV-Vis مدل

جدول ۲- تعداد نمونه‌های دو گیاه در خاک‌های مختلف

نوع گیاه	نوع بافت	آلوده	نیمه آلوده	پاک	جمع کل
شمعدانی	بافت تازه	۲	۲	۲	۶
	بافت خشک	۲	۲	۲	۶
	خاک	۴	۴	۴	۱۲
کلم زینتی	بافت تازه	۲	۲	۲	۶
	بافت خشک	۲	۲	۲	۶
	خاک	۴	۴	۴	۱۲
جمع کل		۱۶	۱۶	۱۶	۴۸

جدول ۲- تعداد نمونه‌های دو گیاه در خاک‌های مختلف را نشان می‌دهد. از هر گیاه ۱۲ نمونه خاک، ۶ نمونه بافت تازه و ۶ نمونه بافت خشک بدست آمده است. در کل تعداد ۴۸ نمونه برای هر دو گیاه بدست آمده است.

جدول ۳- وضعیت گروه شاهد در جذب آلاینده در خاک‌های پاک (mg/Kg)

نوع گیاه	شمعدانی		کلم زینتی	
	بافت تازه	بافت خشک	بافت تازه	بافت خشک
Nonane	۰	۰	۱,۴۳۲	۰,۰۰۴
Decane	۳۱,۲۵۴	۰	۰,۲۹۲	۰
Undecane	۰	۰	۰,۰۰۳,۰۰۷	۰
Dodecane	۴,۱۲۶	۰	۰,۱۷۱	۰
Tridecane	۰,۲۴۹	۰,۲۷۲	۰,۰۷۱	۰,۱۹۳
Tetradecane	۱۶,۰۰۶	۰,۶۱۲	۰,۲۳۷	۰,۰۹۹
Pentadecane	۰	۰	۰	۰,۰۴۹
Hexadecane	۰,۷۹۱	۱,۴۷۲	۰,۶۰۸	۰,۲۶۱

نفتی وجود دارد که تنها مقدار ناچیزی از آن در گیاهان جذب می‌شود و اکثر آنان نیز در تنها بافت تازه گیاه رصد شده و در بافت

جدول (۳) وضعیت گروه شاهد در خاک‌های پاک را نشان می‌دهد. در خاک پاک نیز سطوحی از این آلاینده‌های هیدروکربن

بالتر از سطح هیدروکربن‌های درون خاک، در بافت تازه این گیاه یافت شده است. دیکان از ترکیبات آلی فرار می‌باشد (Liste et al 2002).

خشک، اثری از اکثر آنان یافت نشده است که در اینجا می‌توان گفت جذب از خاک نبوده است. هرچند هیدروکربن‌های سنگین در بافت خشک گیاهان و به ویژه کلم یافت شده است. همچنین مشاهده می‌شود که در بافت‌های تازه گیاه شمعدانی، سطحی

جدول ۴- جذب فلزات سنگین در بافت گیاهی نمونه‌های شاهد (mg/Kg)

نوع گیاه	نوع بافت	سرب	کادمیم
شمعدانی	بافت تازه	۲۳,۱۱	۸۱,۵
	بافت خشک	۵,۴۹	۲۱
	خاک	۲۰۱,۵±۶,۳	۱۳,۹۳۹±۴,۸۶۱
کلم زینتی	بافت تازه	۷۹,۱۲۵	۵۷,۰۳۷
	بافت خشک	۱۰,۱۳	۲۸,۷۵
	خاک	۱۱۰,۸۵±۲۸,۲۹	۱۰,۹۵,۴۶

جدول (۴) جذب فلزات سنگین در نمونه‌های شاهد را نشان داده است. مشاهده می‌شود که فلزات سنگینی که در خاک وجود دارند و در سطوح بالای آلودگی نیز نیستند، توسط گیاهان جذب و ذخیره سازی نیز می‌شوند. این دو گیاه در حالت طبیعی بسیار تمایل به جذب کادمیم نیز دارد، به گونه‌ای که سطح کادمیم در حتی اندام های خشک گیاهان (هم شمعدانی و هم کلم زینتی) در سطحی بالاتر از سطح باقیمانده در خاک را به خود اختصاص داده‌اند. در تحقیقی که دکتر نوجوان و همکاران در دانشگاه ارومیه (۱۳۸۴) اثر کادمیم را بر روی عدس بررسی کردند نتایج حاکی از آن بود که با افزایش غلظت کادمیم (۱۶۰ میکرومولار) در محیط کشت

عدس مقدار قندها و پروتئین‌های محلول در گیاه افزایش می‌یابد که این افزایش در میزان قندها و پروتئین‌های محلول یکی از سازوکارهای دفاعی گیاهان در برابر فلزات سنگین می‌باشد. در این پژوهش مشاهده شد که سطح کادمیم در هر دو گونه شمعدانی و کلم افزایش یافته است. در کلم سازوکار گیاه همانند عدس بوده و پس از خشک شدن، سطح کادمیم به شدت کاهش پیدا می‌کند در حالی که در شمعدانی این افت چشم‌گیر نیست. میکروارگانیزم های خاک نیز در میزان TPH مؤثر می‌باشند (Khoramejadian et al 2013).

جدول ۵- وضعیت آلودگی در بافت گیاهان در خاک نیمه آلوده (mg/Kg)

نوع گیاه	شمعدانی		کلم زینتی	
	بافت تازه	بافت خشک	بافت تازه	بافت خشک
Nonane	۱,۰۱۶	۳,۳۲۸	۰,۶۵۹	۰,۰۳۴
Decane	۶۱,۳۲۱	۱۴,۹۲۴	۱۳,۰۰۷±۶,۵۲	۰,۴۸۷
Undecane	۰,۴۳۳	۰	۰,۰۱۲,۰۰۹۳	۰,۰۷۲
Dodecane	۹,۶۳	۳۷,۳۰۱	۱,۰۶۶۸۰۳	۰,۱۹۷
Tridecane	۰	۰,۳۲۸	۰,۰۱۶,۰۱۳۲	۰,۹۸۴
Tetradecane	۳,۸۲	۱۶,۰۲۱	۰,۵۳۴,۳۶۴۶	۰,۹۷۹
Pentadecane	۰,۰۳۱	۰	۰,۰۷,۰۷۰۱	۰,۶۴۴
Hexadecane	۲,۵۱۸	۵,۹۶۱	۰,۳,۱۲۰۲	۱,۰۶۵

شمعدانی دیده نشد. در کلم زینتی بیشترین مقدار تجمع مربوط به دکان (mg/Kg ۱۹,۶۹) در بافت تازه و کمترین میزان تجمع مربوط به نونان (mg/Kg ۰,۶۵۹) در بافت خشک دیده شد. ترکیبات هیدروکربنی و آروماتیک در گیاهان معطر مانند رز بسیار می‌باشند (Ghavam 2021).

جدول (۵) وضعیت آلودگی گیاهان در خاک نیمه آلوده به آلودگی نفتی را نشان می‌دهد. میزان تجمع در بافت خشک شمعدانی بیشتر بوده است و تجمع در کلم زینتی کمتر بوده است. بیشترین میزان تجمع در تجمع هیدروکربن در شمعدانی در خاک نیمه آلوده مربوط به تترادکان (mg/Kg ۱۶,۰۲۱) در بافت خشک و اثری از تجمع تری دکان و پنتادکان در بافت تازه و خشک

جدول ۶- وضعیت تجمع آلودگی نفتی در بافت گیاهان در خاک آلوده (mg/Kg)

نوع گیاه	شمعدانی		کلم زینتی		نمونه
	بافت تازه	بافت خشک	بافت تازه	بافت خشک	
Nonane	۰,۰۱۵	۱,۰۲۵	۲,۰۸۶	۰,۰۱۹	۰,۲۷۲,۲۳۴۸
Decane	.	۰,۲۹	۰,۰۰۳	.	۱۸,۰۸۲±۱۰,۵۸۶۵
Undecane	.	۰,۴۱۷	۰,۰۴۸,۰۰۵۸	.	۰,۰۱۷,۰۰۴۵
Dodecane	.	۲,۳۷۱	۵,۵۱۵,۷۴۳	۰,۳۷۱	۳,۵۳±۲,۹۴۷۳
Tridecane	۰,۰۱۷	۰,۵۴۶	۰,۰۷۵,۰۷۴۶	۰,۱۸۵	۰,۰۰۲,۰۰۲۵
Tetradecane	۰,۳۹۷	۷,۰۲۸	۲,۶۵۵,۶۶۴۹	۰,۴۱۹	۱,۷۲۷±۱,۶۳۷۸
Pentadecane	۰,۱۴۴	۱,۳۵۵	۰,۱۹۱,۱۹۱۵	۵,۲۵۵	.
Hexadecane	۰,۴۴۷	۲,۸۶۱	۰,۹۰۵,۲۳۳۳	۰,۶۲۸	۰,۶۷۲,۶۱۷

بافت خشک شمعدانی اندازه‌گیری شد. در کلم تزینتی میزان جذب در بافت تازه به میزان ۲۵۵/۵ میلی گرم در کیلوگرم می‌باشد. با توجه به اینکه میزان دیکان در خاک بیشتر از سایر هیدروکربن‌ها بوده است اما در گیاهان نبوده است می‌توان نتیجه گرفت که از نظر زیستی در دسترس نبوده است. پنتادگان در خاک وجود نداشته است و در بافت خشک کلم تزینتی دیده نشده است. اما در نمونه‌ها دیده شده است پس منبع آن غیر از خاک بوده است. میزان هیدروکربن در گیاهان به اقلیم و منطقه نیز بستگی دارد (Amiri et al 2018).

جدول (۶) وضعیت تجمع آلودگی نفتی در گیاهان در خاک آلوده را نشان می‌دهد. هیدروکربن‌های دیکان، اندیکان و دودیکان در بافت تازه شمعدانی دیده نشدند. اندیکان در بافت تازه کلم زینتی نیز رؤیت نشد. در بافت خشک کلم زینتی هیدروکربن‌های دیکان، اندیکان و دودیکان دیده نشد. دیکان از ترکیبات آلی فرار می‌باشد (Hans-holger liste et al 2002). دیکان در مقادیر کم در گازوئیل و کروژین وجود دارد و سبب آسیب به شش می‌شود. بیشترین میزان تجمع مربوط به تترادیکان در بافت خشک شمعدانی می‌باشد. کمترین میزان مربوط به دیکان است که در

جدول ۷- مقایسه عملکرد گیاهان در خاک‌های آلوده و نیمه آلوده به فلزات سنگین (mg/Kg)

نوع گیاه	نوع بافت	وضعیت نیمه آلوده		وضعیت آلوده	
		سرب	کادمیم	سرب	کادمیم
شمعدانی	بافت تازه	۲۹,۱۳	۱۶,۳۶۳	۴۸,۱۴	۲۱,۴۲
	بافت خشک	۱۸,۷۳	۳۶,۵	۳۹,۷۳	۱۱۰,۹۲
کلم زینتی	بافت تازه	۷۵۰,۲۷۵±۲۷۲,۱۲۵	۷۹۶,۹۶۵±۶۶۴,۱۰۵	۱۹۷۴,۶۱۵±۱۹۱۴,۶۱۵	۶۲۵,۹۶۸±۵۹۳,۹۷۲۵
	بافت خشک	۳۲,۱۹	۵۹,۰۵	۵۱,۱۹	۸۷,۸۴
	خاک	۱۱۶۵,۸۹±۱۰۱۳,۴۷	۱۵۰,۴۷۴±۴۸,۰۰۶۵	۱۶۵۰,۰۲±۷۸۷,۸۸	۱۶۵,۱۵۶±۱۵۲,۹۴۴۵

شمعدانی و کلم در جذب در خاک نیمه آلوده تقریباً یکسان است اما در بافت خشک کلم زینتی تجمع بیشتری را نشان داده است. در پاکسازی گیاهی انتخاب نوع گیاه اهمیت ویژه‌ای دارد که بر راندمان فرآیند اثرگذار است، فراهمی زیستی عنصر و نوع خاک بر جذب آلاینده‌ها اثرگذار می‌باشد (Saeb et al., 2013).

جدول (۷) عملکرد گیاهان در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین را نشان می‌دهد. در خاک نیمه آلوده میزان تجمع کادمیم در بافت تازه کلم زینتی ۱۰۴٫۵۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم بوده است. در خاک آلوده نیز بیشترین میزان جذب کادمیم مربوط به بافت تازه کلم زینتی (۱۴۶٫۵ mg/Kg) بوده است. در بافت خشک میزان تجمع کادمیم کمتر بوده است. در مورد سرب نیز تفاوت بافت تازه

جدول ۸- تغییرات میزان آلاینده‌های نفتی با کشت گیاهان زینتی شمعدان و کلم زینتی (mg/Kg)

آلودگی	زمان	میانگین \pm خطای استاندارد	میانگین	واریانس	انحراف استاندارد	مینیمم	ماکزیمم	دامنه تغییرات
Nonane	قبل	۰٫۱۵ \pm ۰٫۰۴۲	۰٫۱۵	۰	۰	۰٫۱۵	۰٫۱۵	۰٫۰۱
	بعد	۰٫۲۲ \pm ۰٫۰۷۱۱	۰٫۲۲	۰٫۰۱	۰٫۰۸	۰٫۱۶	۰٫۳۷	۰٫۱۱
Decane	قبل	۸٫۰۷ \pm ۸٫۸۶	۸٫۰۷	۰٫۹۷	۰٫۹۹	۷٫۳۸	۸٫۷۷	۱٫۳۹
	بعد	۴٫۱۳ \pm ۴۳٫۳۶۶	۴٫۱۳	۲۳٫۳	۴٫۸۳	۰٫۷۲	۷٫۵۴	۶٫۸۳
Undecane	قبل	۰ \pm ۰٫۰۰۴	۰	۰	۰	۰	۰	۰
	بعد	۰٫۱۷ \pm ۲٫۱۸۶	۰٫۱۷	۰٫۰۶	۰٫۲۴	۰	۰٫۳۵	۰٫۳۴
Dodecane	قبل	۰٫۵۳ \pm ۰٫۶۶۴	۰٫۵۳	۰٫۰۱	۰٫۰۷	۰٫۴۷	۰٫۵۸	۰٫۱
	بعد	۰٫۶ \pm ۱٫۰۶۶	۰٫۶	۰٫۰۱	۰٫۱۲	۰٫۵۱	۰٫۶۸	۰٫۱۷
Tetradecane	قبل	۰٫۰۶ \pm ۰٫۰۳۱	۰٫۰۶	۰	۰	۰٫۰۶	۰٫۰۶	۰
	بعد	۱٫۵۷ \pm ۱۹٫۱۴۲	۱٫۵۷	۴٫۵۴	۲٫۱۳	۰٫۰۷	۳٫۰۸	۳٫۰۱
Hexadecane	قبل	۰٫۰۱ \pm ۰٫۰۱۶	۰٫۰۱	۰	۰	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰
	بعد	۱٫۰۳ \pm ۱۱٫۹۹۱	۱٫۰۳	۱٫۷۸	۱٫۳۳	۰٫۰۹	۱٫۹۸	۱٫۸۹
Tridecane	بعد	۰٫۵۱ \pm ۶٫۵۱	۰٫۵۱	۰٫۵۳	۰٫۷۲	۰	۱٫۰۲	۱٫۰۲
Pentadecane	بعد	۰٫۰۷ \pm ۰٫۹۲۴	۰٫۰۷	۰٫۰۱	۰٫۱	۰	۰٫۱۵	۰٫۱۵

شده است که میزان برخی از این هیدروکربن‌ها از میزان قبل از کشت بیشتر باشد، که این امر بدلیل تولید این مواد توسط سلول های گیاهی می‌باشد. برای آلاینده‌های آلی، استفاده از باکتری‌ها به عنوان یک پیش تصفیه که مواد آلی موجود در خاک را مصرف می‌کند، می‌تواند روند اصلاح خاک را بهبود بخشد (Huang et al 2005). شمعدانی معطر دارای ترکیبات آروماتیک می‌باشد و میزان رطوبت خاک بر میزان اسانس آن اثر دارد (جعفری و همکاران ۱۳۹۴).

در بررسی اثر گیاه‌پالایی مشاهده شد که میزان آلودگی‌های هیدروکربن موجود در خاک به جز در سه آلودگی اندیکان، تریدکان و پنتادکان تغییری نداشته ولی میزان پالایش در سایر موارد معنی‌دار بوده است. در بررسی گیاه پالایی خاک به این نتیجه می‌رسیم که دیکان خاک کاهش یافته است که بدلیل جذب توسط گیاهان بوده است. اما در مورد هگزا دیکان و تری دیکان میزان در خاک افزایش یافته است. می‌توان گفت ترکیبات از گیاه به خاک وارد شده‌اند. ترکیبات هگزا دیکان در گیاهان نیز وجود دارند مثل چای و نعنا فلفلی (Francke & schulz).

این اختلاف نشان از این موضوع دارد که هرچند گیاه‌پالایی باعث کاهش آلودگی‌های درون خاک شده است، اما در حالت کلی باعث

جدول ۹- تغییر مقادیر فلزات سنگین خاک قبل و بعد از کشت گیاهان

فلز سنگین	سرب		کادمیم	
	قبل	بعد	قبل	بعد
میانگین \pm خطای استاندارد	۲۶۷,۵۳ \pm ۵۳۰,۶۵۴	۷۷۲,۳۵ \pm ۹۸۰,۲۳۹	۳۳۷,۰۵ \pm ۷۸۲,۱۱۷	۸۵,۱۶ \pm ۶۷,۷۹۳
میانگین	۵۱,۱۹	۱۵۲,۴۲	۸۷,۸۴	۱۰۲,۴۷
واریانس	۱۸۲۶۴۷,۶۹	۱۱۲۳۳۷۶,۱۲	۳۹۶۷۶۶,۷۹	۵۳۷۳,۱۲
انحراف استاندارد	۴۲۷,۳۷	۱۰۵۹,۸۹	۶۲۹,۸۹	۷۳,۳
مینیمم	۲۹,۱۳	۲۸,۴۹	۹,۰۸	۱۰,۴۹
ماکزیمم	۱۰۲۲,۴	۲۴۳۷,۹	۱۴۶۱,۰۷	۱۹۸,۴۸
دامنه تغییرات	۹۹۳,۲۷	۲۴۰۹,۴۱	۱۴۵۱,۹۹	۱۸۷,۹۹

کاهش محسوس می‌باشد بنابراین گیاه پالایی بروی کادمیم خاک اثر مثبتی داشته است.

جدول (۹) تغییر مقادیر فلزات سنگین خاک قبل و بعد از کشت گیاهان را نشان داده است. در مورد سرب میزان کاهش رویت نشده است و افزایش قابل توجهی دیده شده است. در مورد کادمیم

آلودگی‌های کل هیدروکربن‌ها نفتی موجود در خاک به جز در سه آلودگی اندیکان، تریدکان و پنتادکان تغییری نداشت. در مورد جذب فلزات سنگین، کلم زینتی توان بالاتری در جذب کادمیم داشت.

در تجمع بررسی شده در شمعدانی ترکیبات نفتی در بافت خشک بیشتر می‌باشند اما در کلم زینتی تجمع هیدروکربن‌های نفتی در بافت تازه بیشتر است. بر اساس نتایج بدست آمده بافت خشک و تر (رطوبت بافت) در میزان تجمع اثرگذار هستند، پیشنهاد می‌گردد در تحقیقات آتی نقش رطوبت گیاهان در جذب آلاینده‌ها بررسی گردد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

آلودگی خاک با مواد نفتی سبب تغییر خواص خاک و ایجاد سمیت در خاک می‌گردد. پاکسازی خاک در نقاطی که نشت ترکیبات نفتی صورت گرفته است ضروری می‌باشد. استفاده از راهکارهای همگام با محیط زیست جهت کاهش آلودگی خاک ضروری می‌باشد. در این تحقیق از گونه‌های گیاهی شمعدانی و کلم زینتی برای جذب هیدروکربن‌های نفتی و فلزات سنگین استفاده شده است. بیشترین میزان تجمع مربوط به ترادیکان در بافت خشک شمعدانی می‌باشد. کمترین میزان مربوط به دیکان است که در بافت خشک شمعدانی اندازه‌گیری شد. میزان

References

- Huang XD, El-Alawi Y, Gurska J, Glick BR, Greenberg BM. A multi-process phytoremediation system for decontamination of persistent total petroleum hydrocarbons (TPHs) from soils. *Microchem J*. 2005;81(1):139-47. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2005.01.009>.
- Bouchez-Naitali M, Vandecasteele JP. Biosurfactants, an help in the biodegradation of hexadecane? The case of Rhodococcus and Pseudomonas strains. *World J Microbiol Biotechnol*. 2008;24:1901-7. DOI:10.1007/s11274-008-9691-9.
- Dehghani M, Taatizadeh SB, Samaei MR. Biodegradation of N-Hexadecane In *Acinteobacter Radioresistern* Liquid Culture. *Health Scope*. 2013;2(3):162-7.
- Khoramnejadian S, Matinfar F, Khoramnejadian S. Phytoremediation of petroleum hydrocarbons by native plants of Damavand region. *GJMPR*. 2013;1(1):8-11.
- Amiri N, Yadegari M, Hamed B. Essential oil composition of *Cirsium arvense* L. produced in different climate and soil properties. *Rec Nat Prod*. 2018;12(3):251-62. DOI: <http://doi.org/10.25135/rnp.27.17.06.043>.
- Khoshmanesh B, Ghadami R, Ghafourinejad AA. The assessment of efficiency of saponin as biosurfactant in removal of nickel and vanadium from soil contaminated by petroleum, Case study: Ahwaz oil pumping unit. *Anthropog pollut*. 2018;2(1):18-26.
- Ghavam M. Relationships of irrigation water and soil physical and chemical characteristics with

- yield, chemical composition and antimicrobial activity of Damask rose essential oil. *PLoS One*. 2021;16(4).
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0249363>.
8. Karnaeva A, Kulikova O, Mazlova E, Buryak A. Aged diesel and heavy metal pollution in the Arctic tundra (Yamal Peninsula, Russia). *Sci Total Environ*. 2021;792:148471.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148471>.
 9. Fataei E, Monavari SM, Hasani AH, Karbasi AR, Mirbagheri SA. Heavy metal and agricultural toxics monitoring in Garasou river in Iran for water quality assessment. *Asian J Chem*. 2010;22(4):2991-3000.
 10. Bayrami N, Fataei E, Kharrat Sadeghi M, Javanshir Khoei A. Evaluation of bioaccumulation of lead metal pollutant in two biotic and abiotic compartments of the Caspian Sea coastal sediments. *J Mar Biol*. 2020;12(3):1-14.
 11. Mostofie N, Fataei E, Kheikhah Zarkesh MM, Hezhabrpour Gh. Assessment centers and distribution centers dust (case study: NorthWest, Iran). *Int J Farming Allied Sci*. 2014;3(2):235-43.
 12. Saeb K, Khadami R, Khoramnejadian S, Abdollahi E. Use of vetiver (*Vetiveria zizanioides*) in remediation of cyanide soil contamination. *J Biol Today's World*. 2015;4(7):150-5.
 13. Liste HH, Quiñones-Rivera A, Tang J. Availability of aged toluene and decane for biodegradation in soil. *Wat Air Soil Pollut*. 2002;133:227-34.
 14. Kashmiri S, Pardel S, Raisi A, Nabipour I, Darabi H, Jamali S, et al. Investigating environmental pollution caused by gas and petrochemical industries and its effects on the health of residents of Asalouye region, the energy capital of Iran: a review study. *ISMJ*. 2017;21(2):162-85.
 15. Jafari M, Rezainejad AH, Faizian M. The effect of superabsorbent, manure and irrigation on some growth, physiological and biochemical characteristics of aromatic geranium. *Agric Agric*. 2015;18(2):467-80.
 16. Mortazavi S, Khodabandelu F, Azimi MH. Effect of Cycocel and Salisilic acid on Morphologic Traits of Brassica Oleracea, Pink Type. *J Hortic Sci*. 2017;30(4):590-6.
 17. Sadeghi Far H, Mirshkarai SA. Investigation of poplar wood lignin 2-Determination of properties by FTIR and UV-ViS spectroscopic methods. *Agric Sci*. 2005;11(3):49-58.
 18. Moini M, Farah Bakhsh AN. Plant treatment of heavy metals from soil. 2016. Available from: <https://sid.ir/paper/809769/fa>. [In Persian].
 19. Mohammadi M, Abdousi V, Moradi P. Investigating the effect of EDTA on phytoremediation of lead and cadmium by rosemary plant. 2014. Available from: <https://sid.ir/paper/879459/fa>. [In Persian].
 20. Moghaddas B. Environmental effects of attitude towards oil industries. 2014. Available from: <https://sid.ir/paper/861996/fa>. [In Persian].
 21. Etsami M, Biabani A, Suleimangli E. Plant breeding in sustainable agriculture. 2012. Available from: <https://sid.ir/paper/883775/fa>. [In Persian].

Comparison the Phytoremediation ability of *Pelargonium Graveolens* and *Brassica Oleracea Acephala* in Removing Total Petroleum Pollutants and Heavy Metals (Lead and Cadmium)

Samira Abedini

MSc graduated, Department of Environment, Damavand Branch, Islamic Azad University, Damavand, Iran.

Shahrzad Khoramnejadian *

Department of Environment, Damavand Branch, Islamic Azad University, Damavand, Iran.

Received: 31 May 2023

Accepted: 18 June 2024

Keywords: Phytoremediation, Heavy metal, Petroleum Hydrocarbon, Soil.

Extended Abstract

Introduction: Soil pollution with petroleum hydrocarbons and heavy metals is one of the problems related to industrial societies. There are several methods to remove pollutants from the soil. Phytoremediation is a method in sync with the environment that uses plants to remove pollutants from the soil. The purpose of this research was to investigate the cleaning of soil from oil pollution and also heavy metals using two ornamental plants, ornamental cabbage and aromatic geranium.

Materials and Methods: 40 samples including 20 soil samples and 20 plants were selected. Soils were selected in three categories: clean (control), semi-contaminated and completely contaminated. Soils were selected in three categories: clean (control), semi-contaminated and completely contaminated. HPLC device was used to measure heavy metals. A spectrophotometer was used to measure the total petroleum hydrocarbons.

Results and Discussion: The highest amount of hydrocarbon accumulation in geranium in semi-contaminated soil is related to tetradecane (16.021 mg/Kg) in dry tissue and there was no effect of tridecane and pentadecane accumulation in fresh and dry geranium tissue. In ornamental cabbage, the highest amount of accumulation related to decan (19.69 mg/Kg) was seen in fresh tissue and the lowest amount of accumulation related to nonan (0.659 mg/Kg) was seen in dry tissue.

Conclusion: The results of this research showed that both ornamental plants used in the research were suitable for herbal treatment. In removing oil pollution, the aromatic geranium plant showed a better performance. Ornamental cabbage had a higher efficiency in removing the heavy metal cadmium.

Corresponding author: Shahrzad Khoramnejadian

Address: Department of Environment, Damavand Branch, Islamic Azad University, Damavand, Iran. **Tel:** +989357970978

Email: khoramnejad@damavandiau.ac.ir

Citation: Abedini S, Khoramnejadian S. Comparison the Phytoremediation ability of *Pelargonium Graveolens* and *Brassica Oleracea Acephala* in Removing Total Petroleum Pollutants and Heavy Metals (Lead and Cadmium). *Journal of New Researches in Environmental Engineering*, 2024; 2(5): 15-24.



© 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 رخداد گردو غبار در کشور با نسبت شاخص غلظت PM2.5 به PM10

مهسا تمجیدی

دانشجوی دکتری، گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی تهران، ایران

مجید عباسپور طهرانی*

استاد، گروه مهندسی مکانیک، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه شریف، تهران، ایران

یوسف رشیدی

استادیار، گروه فناوری های محیط زیست، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

سید علیرضا میرزاحسینی

دانشیار، گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی تهران، ایران

چکیده مبسوط

مقدمه: گرد و غبار به عنوان یکی از بحران های مهم زیست محیطی در خاورمیانه، تأثیرات گسترده ای بر کیفیت زندگی، سلامت انسان، حاصل خیزی خاک، دید، اقتصاد و جنبه های اجتماعی دارد. این پدیده در مناطق خشک و بیابانی، به ویژه در ایران که بخش بزرگی از آن در مناطق خشک و نیمه خشک قرار دارد، رایج است. با توجه به اهمیت این موضوع، شناسایی منابع و عوامل تشدیدکننده آن ضروری است. گرد و غبار شامل ذرات معلق با قطر کمتر از ۱۰ میکرومتر (PM10) است. این مطالعه به بررسی نسبت غلظت ذرات PM2.5/PM10 به عنوان شاخصی برای تعیین زمان وقوع گرد و غبار در سامانه پایش محیط زیست کشور می پردازد.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۲۲

مواد و روش ها: در این مطالعه یک روش ساده و کاربردی برای تعیین روزهای گرد و غبار ارائه شده است. بر اساس داده های دریافتی وقوع رخداد گرد و غبار از مراجع معتبر، نسبت PM2.5/PM10 در روزهای مذکور محاسبه و بر اساس نتایج محاسبات صورت گرفته، شاخص عددی احتمال وقوع گرد و غبار ارائه شده است. بدین منظور ابتدا یک رویداد گرد و غبار در تاریخ مشخص (۲۵ تیر ۱۳۹۸) در استان خوزستان (شهر اهواز) مورد بررسی قرار گرفت و بر این اساس نسبت داده های PM2.5/PM10 در استان های خوزستان، کرمان، یزد، بوشهر، قم، زنجان، مرکزی، لرستان، کرمانشاه، کردستان، گیلان و تهران محاسبه شد.

نتایج و بحث: بر اساس وقوع طوفان های گرد و غبار در استان های خوزستان، کرمان، یزد، بوشهر، قم، زنجان، مرکزی، لرستان، کرمانشاه، کردستان، گیلان و تهران در بازه زمانی سال ۱۳۹۸ و محاسبه میانگین ساعتی نسبت PM2.5/PM10 عدد شاخص محاسبه شد. نتایج نشان می دهد، زمانی که نسبت PM2.5/PM10 کمتر از ۰.۱ باشد، رخداد گرد و غبار وجود دارد. بر همین اساس روزهای وقوع رویداد به سه دسته روزهای وقوع گرد و غبار $PM2.5/PM10=0.1$ ، روزهای سبک گرد و غبار $PM2.5/PM10=0.5$ و روزهای متوسط گرد و غبار $PM2.5/PM10=0.1-0.5$ تقسیم شد.

واژه های کلیدی: گردو غبار،

غلظت PM10 و PM2.5، غلظت آلودگی

نتیجه گیری: نتایج نشان داد در بین استان های بررسی شده، میانگین غلظت PM10 و PM2.5 در ایستگاه اهواز به ترتیب عدد ۳۵۵ میکروگرم بر مترمکعب و ۲۷،۱۵ میکروگرم بر مترمکعب می باشد و هر دو غلظت در محدوده خطرناک می باشند. همچنین با توجه به نتایج بدست آمده، نسبت PM2.5/PM10 و ارتباط موضوعی آن با شاخص کیفیت هوا مورد تایید قرار گرفت و نتایج حاصل می تواند توسط سیاست گزاران برای طراحی و اجرای اقدامات کنترلی موثر، در هنگام وقوع رخداد گرد و غبار مورد استفاده قرار گیرد. نتایج این تحقیق نشان می دهد نسبت PM2.5 به PM10 می تواند به عنوان شاخصی در خصوص زمان وقوع رخداد گرد و غبار مورد توجه قرار گیرد.

نویسنده مسئول: مجید عباسپور طهرانی

نشانی: گروه مهندسی مکانیک، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه شریف، تهران، ایران. تلفن: ۰۹۱۲۱۱۲۶۶۸. پست الکترونیکی: abbp@sharif.edu

استاد: تمجیدی مهسا، عباسپور طهرانی مجید، رشیدی یوسف، میرزاحسینی سیدعلیرضا. بررسی رخداد گردو غبار در کشور با نسبت شاخص غلظت PM2.5 به PM10. پژوهش های نوین در مهندسی محیط زیست. ۱۴۰۳؛ ۵(۲): ۲۵-۳۸.

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

می‌باشد. با توجه به قرارگیری ایران در منطقه بیابانی و از طرفی نزدیکی آن به بیابانهای بزرگی چون عربستان و عراق، نفوذ طوفانهای گرد و غبار یکی از منابع اصلی ذرات معلق در کشور می‌باشد. طوفانهای گرد و غبار مکرراً در نواحی خشک و نیمه خشک و در فصلهای بهار و تابستان با توالی بیشتر و در پاییز و زمستان با توالی کمتر اتفاق افتاده است.

در مطالعات انجام شده توسط میرزایی نوروزانی و همکاران در سال ۱۴۰۲ بر روی ردیابی کانون‌های گردو غبار در مرز مشترک ایران و عراق در دوره ده ساله ۲۰۱۲-۲۰۲۲، محدوده کلاس کاربری زمین براساس شاخص NDVI به سه دسته (آب، پوشش گیاهی و خاک) تقسیم شده است و با توجه به روند کاهش پوشش گیاهی و کشت آبی و تبدیل به بیابان گرم و خشک، خاک به صورت بدون پوشش درآمده است و در معرض بادهای شدید قرار می‌گیرد و باعث ایجاد طوفان‌های شدید گردو غبار در منطقه و مناطق استان‌های همجوار قرار می‌گیرد.

بر اساس نتایج مطالعات اسراری و همکاران در سال ۲۰۱۸ که بر روی روند تغییرات غلظت ذرات معلق در شهر مشهد انجام شده است، دما و تبخیر اثری مستقیم و رطوبت و بارندگی اثری معکوس بر PM10 دارند و PM2.5 با جهت باد ارتباط مستقیم و با حداقل دما، روزهای آفتابی، بارندگی و سرعت باد رابطه معکوس دارد. به طور متفاوت، نسبت PM2.5/PM10 در زمستان بالاترین و در بهار کمترین است (هاو و همکاران ۲۰۲۱).

ونگ و لین در سال ۲۰۱۵ در پژوهشی مرگ میر مرتبط با غلظت ذرات ریز و طوفانهای گردو غبار در متروپلیتن تایپه را مورد بررسی قرار دادند و نتایج حاصل نشان داد غلظت ذرات PM10 در اثر گرد و غبار و افزایش توفانها موجب افزایش مرگ و میر در این کلانشهر شده است.

طوفانهای گرد و غبار یکی از خطرناکترین پدیده‌های هواشناسی در مناطق خشک است و تأثیرات قابل توجهی بر محیط زیست، اقتصاد و سلامت انسان دارد، کروسبی و همکاران (۲۰۱۴). کشور ایران با توجه به موقعیت جغرافیایی خود با مشکلات جدی در زمینه پدیده گرد و غبار در مناطق شرقی، غربی و جنوب رو به رو است (راشکی و همکاران ۲۰۲۱).

ذرات معلق معمولاً براساس قطر آیرودینامیکی آنها تقسیم‌بندی و نام گذاری می‌شوند و بیشتر ذرات تحت نظارت جهت پایش

آلودگی هوا یکی از مهمترین و تأثیرگذارترین عوامل بر سلامت انسان و مهمترین عامل خطر محیطی محسوب می‌شود (لاندریگان و همکاران ۲۰۱۸). امروزه بسیاری از انسانها در معرض آلودگی هوا قرار دارند و این پدیده، سلامت انسانها را از جنبه‌های مختلفی تهدید می‌کند. سازمان ملل متحد، طی گزارشی اعلام نموده است که ۹۲ درصد از جمعیت کره زمین، در محیط‌هایی زندگی می‌کنند که آلودگی هوا از میزان توصیه شده تجاوز می‌کند، این واقعیات، در کنار تشدید مشکلات آلودگی هوا در کشور ما اهمیت بررسی اثرات این پدیده روی شاخص‌های سلامت جامعه را بیش از پیش نشان می‌دهد (رحمتی و همکاران، ۲۰۲۰).

گرد و غبار جز مسائل و مشکلات جدی زیست محیطی در مناطق خشک و نیمه خشک مطرح می‌گردد و از آنجایی که بر روی کیفیت و آلودگی هوا، سلامت بشر، حاصل خیزی خاک، قدرت دید، اقتصاد و بسیاری از جنبه‌های اجتماعی و محیط زیست جامعه تأثیرگذار است، بررسی میزان آن در مناطق مختلف کشور از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. مطالعات متعددی که در خصوص ذرات معلق صورت گرفته، نشان داده است که پارامترهای هواشناسی، توپوگرافی، فرآیندهای شیمیایی جو و تابش خورشیدی می‌توانند سبب تغییرات زمانی- مکانی در میزان ذرات معلق منتشرشده شوند (اسراری و همکاران ۲۰۱۸). رطوبت نسبی، دما، سرعت و جهت وزش باد از جمله پارامترهای هواشناسی مؤثر بر افزایش غلظت ذرات می‌باشند. که از این میان، سرعت باد مهمترین عامل در تولید گرد و غبار و در نتیجه، افزایش ذرات معلق محسوب می‌شود (ترکاشوند و همکاران ۲۰۱۷). بر اساس بررسی‌های انجام شده دو جزء اصلی آلاینده‌های هوا PM2.5 و PM10 هستند (سیرا و همکاران ۲۰۲۳) و کاهش کیفیت هوا در یک منطقه با افزایش غلظت PM2.5 و PM10 ارتباط دارد (ابراهیم و همکاران ۲۰۲۱ و لوپس و همکاران ۲۰۲۳). ذرات معلق (PM) به دلیل تأثیر شدید آن بر سلامت انسان و کاهش قابل توجه دید جوی، توجه روزافزونی را در سراسر جهان به خود جلب کرده است (زوا و همکاران ۲۰۲۰).

بر اساس مطالعات موجود، منشاء گرد و غبارها در ۷۰ نقطه دنیا شناسایی شده است که ۱۴ نقطه آن نقش مهم تری در ایجاد گرد و غبار دارند و از این تعداد، ۷ نقطه فعال مربوط به کشور عراق

کیفیت هوا، ذرات PM10 و PM2.5 هستند که به ترتیب ذرات با قطر آیرودینامیکی کمتر یا برابر ۱۰ یا ۲/۵ میکرومتر را نشان می‌دهند (نیل و همکاران ۲۰۱۵). استانداردهای زیست محیطی برای PM2.5 (ذرات با قطر ۲/۵ میکرون یا کمتر) در ژاپن، چین و کره وضع شده است و پیش بر PM2.5 در ایستگاه‌های پیش بر محیط زیست رایج شده است. در شرق آسیا، بیابان‌ها و مناطق شهری و صنعتی نزدیک به هم قرار دارند، بنابراین ذرات معلق هوا و گرد و غبار آسیایی اغلب در کنار هم وجود دارند (اونیش و همکاران ۲۰۱۳). PM2.5 خطرناک تر از PM10 برای سلامت انسان است. بنابراین، استانداردهای ملی و بین‌المللی برای PM2.5 سختگیرانه تر PM10 می‌باشد (تاهان ۲۰۲۱).

ذرات بین ۲،۵ تا ۱۰ میکرومتر عمدتاً از منابع طبیعی مانند بیابان‌ها هستند، در حالی که ممکن است توسط فعالیت‌های انسانی مانند گرد و غبار جاده‌ها و انتشارات صنعتی ایجاد شوند، در مقابل، PM2.5 عمدتاً از احتراق سوخت‌های فسیلی مانند احتراق زغال سنگ صنعتی، آگروز وسایل نقلیه موتوری و غیره ناشی می‌شود. (فن و همکاران ۲۰۲۰).

برای اندازه‌گیری PM2.5، دانستن سهم گرد و غبار منتشره در منطقه آسیا حائز اهمیت است. PM2.5 همزمان با PM10 یا ذرات معلق (استاندارد زیست محیطی ژاپن برای ذرات معلق که تقریباً با PM7 مطابقت دارد) در بسیاری از ایستگاه‌های پیش محیطی اندازه‌گیری می‌شود. استفاده از PM2.5 و PM10 (SPM) برای مشخص کردن ذرات معلق در هوا عملاً کارآمد است (نوبو و همکاران ۲۰۱۵). در مطالعات انجام شده توسط Nobuo Sugimoto و همکاران، روشی برای استفاده از نسبت‌های PM2.5 به PM10 برای تخمین گرد و غبار آسیایی در آنها ارائه شده است. این روش یک تقسیم‌بندی ساده مبتنی بر فرض اختلاط دو نوع آئروسول بود. بر اساس نتایج مطالعه فوق که یک روش ساده برای تخمین کسر گرد و غبار در PM2.5، PM10 و TSP با استفاده از نسبت PM2.5 به PM10 است. مقایسه با اندازه‌گیری‌های لیدار و تصاویر ماهواره‌ای نشان داد که این روش برای تشخیص رویدادهای گرد و غبار و اختلاط کیفی آن در هوا کارآمد است (نوبو و همکاران ۲۰۱۵).

Munir و همکاران در سال ۲۰۱۷ نسبت‌های PM2.5/PM10 در تنوع زمانی و مکانی قابل توجهی در انگلستان را بررسی کردند. میانگین ۵ ساله از ۰،۴ تا ۰،۸ میکروگرم بر مترمکعب متغیر بود که منجر به میانگین کلی ۰،۶۵ میکروگرم بر مترمکعب شد. تجزیه و تحلیل روند زمانی Sen-Theil نشان داد که نسبت PM2.5/PM10 در چندین سایت نظارتی در بریتانیا افزایش یافته است، علیرغم این واقعیت که هر دو سطح PM2.5 و PM10 عمدتاً کاهش یافته‌اند. با این حال، روند در نسبت

روش نسبت PM2.5/PM10 یک روش ساده و تک پارامتری است. با این حال، دانش اقلیم‌شناسی ذرات معلق در هر محل اندازه‌گیری، تفسیر نتایج به دست آمده با این روش را بهبود می‌بخشد و نسبت مقدار فوق باید به زمان انتقال گرد و غبار و شرایط رویداد گرد و غبار بستگی داشته باشد. روش نسبت PM2.5/PM10 بر اساس موقعیت مکانی و شرایط جوی غالب متفاوت است. همچنین لازم به ذکر است که ذرات غیر گرد و غبار درشت مانند نمک دریا و نیترات درشت نیز وجود دارد (کوباشی و همکاران ۲۰۱۵). نتایج مطالعات نشان می‌دهد، نسبت های PM2.5/PM10 تحت تأثیر عوامل متعددی مانند فعالیت های انسانی و شرایط هواشناسی قرار می‌گیرند و در نتیجه تغییرات مکانی-زمانی بزرگی ایجاد می‌کنند (آن و همکاران، ۲۰۱۹). در مطالعه انجام شده توسط هاو و همکاران، در طول دوره مورد مطالعه، غلظت PM2.5 و PM10 روند کاهشی قابل توجهی را نشان می‌دهد. میانگین سالانه نسبت PM2.5/PM10 نیز سالانه کاهش می‌یابد، اما این تغییر اندک است. نسبت‌های PM2.5، PM10 و PM2.5/PM10 همگی تغییرات ماهانه و فصلی آشکاری در طول دوره مطالعه دارند. در این میان، نسبت PM2.5/PM10 در زمستان بالاترین، در بهار کمترین و در تابستان و پاییز با نوسان کمی مشابه است (هاو و همکاران، ۲۰۲۱). طبقه بندی تغییرات نسبت PM2.5/PM10 می‌تواند به طور موثرتری فرآیندهای جوی زیربنایی را در مقیاس منطقه‌ای مشخص کند (تالی، ۲۰۱۸).

داده‌های بین‌المللی حاکی از آن است که منشاء ذرات معلق کاهنده کیفیت هوای تنفس، هم می‌تواند ناشی از فعالیت‌های انسان ساخت باشند و هم سرچشمه طبیعی داشته باشند. منابع متحرک، نیروگاه‌های سوختی، کشاورزی، سوزاندن پسماندها و فعالیت‌های صنعتی دیگر، از یک سو و شن‌های صحرایی از سوی دیگر، عامل اصلی وجود ذرات معلق در هوا به شمار می‌روند. هند و چین به ترتیب بیشترین میزان غلظت PM10 و PM2.5 را در جهان دارند. به طور کلی AQI شاخصی جهت گزارش روزانه کیفیت هوا است. این شاخص مردم را از کیفیت هوا (پاک بودن یا آلوده بودن) آگاه می‌سازد و اثرات سلامتی مرتبط با آن را ارائه می‌کند. برای پنج آلاینده اصلی هوا یعنی ذرات معلق، دی‌اکسیدنیترژن، ازن سطح زمین، منوکسیدکربن و دی‌اکسیدگوگرد محاسبه می‌شود. با توجه

برای PM2.5 (ذرات با قطر ۲/۵ میکرون یا کمتر) در ژاپن، چین و کره وضع شده است و پیش بر PM2.5 در ایستگاه‌های پیش بر محیط زیست رایج شده است. در شرق آسیا، بیابان‌ها و مناطق شهری و صنعتی نزدیک به هم قرار دارند، بنابراین ذرات معلق هوا و گرد و غبار آسیایی اغلب در کنار هم وجود دارند (اونیش و همکاران ۲۰۱۳). PM2.5 خطرناک تر از PM10 برای سلامت انسان است. بنابراین، استانداردهای ملی و بین‌المللی برای PM2.5 سختگیرانه تر PM10 می‌باشد (تاهان ۲۰۲۱).

ذرات بین ۲،۵ تا ۱۰ میکرومتر عمدتاً از منابع طبیعی مانند بیابان‌ها هستند، در حالی که ممکن است توسط فعالیت‌های انسانی مانند گرد و غبار جاده‌ها و انتشارات صنعتی ایجاد شوند، در مقابل، PM2.5 عمدتاً از احتراق سوخت‌های فسیلی مانند احتراق زغال سنگ صنعتی، آگروز وسایل نقلیه موتوری و غیره ناشی می‌شود. (فن و همکاران ۲۰۲۰).

برای اندازه‌گیری PM2.5، دانستن سهم گرد و غبار منتشره در منطقه آسیا حائز اهمیت است. PM2.5 همزمان با PM10 یا ذرات معلق (استاندارد زیست محیطی ژاپن برای ذرات معلق که تقریباً با PM7 مطابقت دارد) در بسیاری از ایستگاه‌های پیش محیطی اندازه‌گیری می‌شود. استفاده از PM2.5 و PM10 (SPM) برای مشخص کردن ذرات معلق در هوا عملاً کارآمد است (نوبو و همکاران ۲۰۱۵). در مطالعات انجام شده توسط Nobuo Sugimoto و همکاران، روشی برای استفاده از نسبت‌های PM2.5 به PM10 برای تخمین گرد و غبار آسیایی در آنها ارائه شده است. این روش یک تقسیم‌بندی ساده مبتنی بر فرض اختلاط دو نوع آئروسول بود. بر اساس نتایج مطالعه فوق که یک روش ساده برای تخمین کسر گرد و غبار در PM2.5، PM10 و TSP با استفاده از نسبت PM2.5 به PM10 است. مقایسه با اندازه‌گیری‌های لیدار و تصاویر ماهواره‌ای نشان داد که این روش برای تشخیص رویدادهای گرد و غبار و اختلاط کیفی آن در هوا کارآمد است (نوبو و همکاران ۲۰۱۵).

Munir و همکاران در سال ۲۰۱۷ نسبت‌های PM2.5/PM10 در تنوع زمانی و مکانی قابل توجهی در انگلستان را بررسی کردند. میانگین ۵ ساله از ۰،۴ تا ۰،۸ میکروگرم بر مترمکعب متغیر بود که منجر به میانگین کلی ۰،۶۵ میکروگرم بر مترمکعب شد. تجزیه و تحلیل روند زمانی Sen-Theil نشان داد که نسبت PM2.5/PM10 در چندین سایت نظارتی در بریتانیا افزایش یافته است، علیرغم این واقعیت که هر دو سطح PM2.5 و PM10 عمدتاً کاهش یافته‌اند. با این حال، روند در نسبت

مکعب و برای ذرات معلق کمتر از ۲٫۵ میکرون ۳۵ میکروگرم بر متر مکعب است. در جدول (۱) نمایان است که میانگین غلظت ۲۴ ساعته PM_{10} در بسیاری از کشورها بالاتر از حدود استاندارد کیفیت هوای آزاد محیط، است. همانطور که مشاهده می‌شود میزان ذرات معلق کمتر از ۱۰ میکرون در شهر اهواز دو برابر بیشتر از حدود استاندارد کیفیت هوای آزاد محیط می‌باشد. سطوح استاندارد آلاینده‌های مختلف در کشورهای مختلف، متفاوت است با این حال برخی از استانداردهای مورد استفاده برای تعیین وضعیت کیفیت هوای محیط رایج تر بوده که شامل استاندارد سازمان بهداشت جهانی (WHO) و سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (EPA) می‌باشد، جدول (۲) بیانگر حدود استاندارد کیفیت هوای آزاد ذرات معلق سازمان بهداشت جهانی و سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا می‌باشد، لازم به ذکر است حدود استاندارد مورد استفاده در کشور ایران مطابق با حدود استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا می‌باشد.

به اینکه محور اصلی این پژوهش ذرات معلق می‌باشد ارتباط موضوعی با AQI نیز در این مطالعه برآورد می‌گردد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

این مطالعه بر روی داده‌های $PM_{2.5}/PM_{10}$ ثبت شده در سامانه پایش محیط زیست کل کشور انجام شده است. بازه زمانی مورد مطالعه در سال ۱۳۹۸ می‌باشد، همانگونه که در جدول (۱) مشاهده می‌گردد، میانگین غلظت ذرات معلق در بازه زمانی ۲۴ ساعته با قطر کمتر از ۱۰ میکرون در سال ۲۰۱۳ برای شهرهای جهان نشان داده شده است. شهر اهواز به‌عنوان آلوده‌ترین شهر جهان به لحاظ آلاینده ذرات معلق موجود در هوا، می‌باشد. حدود استاندارد زمانی ۲۴ ساعته مطابق با حدود استاندارد کیفیت هوای آزاد، برای ذرات معلق کمتر از ۱۰ میکرون ۱۵۰ میکروگرم بر متر

جدول ۱- میانگین غلظت ۲۴ ساعته PM_{10} در شهرهای دارای غلظت‌های بالاتر از ۱۵۰ میکروگرم بر متر مکعب (سال ۲۰۱۳)

نام کشور	نام شهر	میانگین غلظت (میکروگرم بر متر مکعب)
ایران	اهواز	۳۷۲
مغولستان	اولان باتور	۲۷۹
ایران	سنندج	۲۵۴
هندوستان	لودهیانا	۲۵۱
پاکستان	کوئته	۲۵۱
ایران	کرمانشاه	۲۲۹
پاکستان	پیشاور	۲۱۹
بوتسوانا	گابورون	۲۱۶
ایران	یاسوج	۲۱۵
هندوستان	کانپور	۲۰۹
پاکستان	لاهور	۲۰۰
هندوستان	دهلی	۱۹۸
پاکستان	کراچی	۱۹۳
پاکستان	اسلام آباد	۱۸۹
پاکستان	روال پندی	۱۸۵
ایران	ارومیه	۱۸۳
ایران	قم	۱۷۶
هندوستان	ایندور	۱۷۴
ایران	خرم آباد	۱۶۸
هندوستان	آگرا	۱۶۵
امارات متحده عربی	العین	۱۵۸
عربستان سعودی	ریاض	۱۵۷

نام کشور	نام شهر	میانگین غلظت (میکروگرم بر مترمکعب)
عربستان سعودی	الهفوف	۱۵۱
چین	لانژو	۱۵۰

جدول ۲- استاندارد جهانی ذرات معلق (سازمان بهداشت جهانی و سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا)

استاندارد	حد مجاز	(PM _{2.5}) µg/m ³	(PM ₁₀)µg/m ³
WHO	۲۴ ساعته	۲۵	۵۰
	سالانه	۱۰	۲۰
EPA	۲۴ ساعته	۳۵	۱۵۰
	سالانه	۱۵	

و اولین مرکز هواشناسی تخصصی منطقه‌ای با تمرکز فعالیت در زمینه پیش بینی گردوغبار جو ی می‌باشد. مدل مرجع برای ارائه پیش بینی‌های عملیاتی گردوغبار در مرکز، مدل MONARCH است که توسط مرکز ابر محاسباتی بارسلونا توسعه یافته است. این مدل روزانه در رزولوشن افقی ۰٫۱ درجه طول جغرافیایی در هر ۰٫۱ درجه عرض جغرافیایی با ۴۰٪ لایه‌های عمودی بر روی حوزه مورد نظر اجرا می‌شود. داده‌های مورد نیاز از سایت بارسلونا برای رخدادهای گرد و غبار بر اساس موقعیت جغرافیایی استان های کشور (شکل ۱) استخراج شد (aemet.dust).

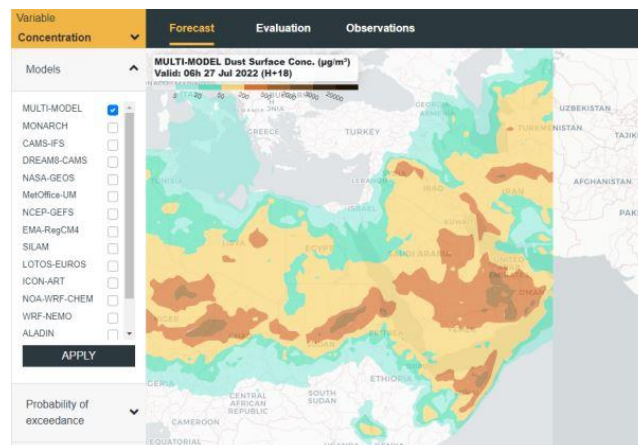
با توجه به ثبت بیشترین رخداد گرد و غبارهای در سال ۱۳۹۸، این سال به عنوان بازه زمانی مطالعه در نظر گرفته شده است و داده‌های وقوع طوفان‌های گرد و غبار کشور در ابتدا از سازمان حفاظت محیط زیست اخذ گردیده است.

روش انجام پژوهش

استخراج داده‌های گرد و غبار از مرکز منطقه‌ای گردوغبار

Barcelona

این مرکز به طور عملیاتی پیش بینی گرد و غبار را برای شمال آفریقا (شمال خط استوا)، خاورمیانه و اروپا تولید و توزیع می‌کند



شکل ۱: نمایی از داده‌های مرکز منطقه‌ای گردوغبار (Barcelona(es.aemet.dust))

PM_{2.5}: غلظت آلاینده ذرات معلق کمتر از ۲٫۵

میکرون به واحد میکروگرم بر مترمکعب

PM₁₀: غلظت آلاینده ذرات معلق کمتر از ۱۰ میکرون به واحد

میکروگرم بر مترمکعب

جهت تعیین شاخص، نسبت جرم PM_{2.5} به کل برای ذرات ریز و درشت، حالت غالب ذرات معلق در هوا، به ترتیب، سپس PM_{2.5} و PM₁₀ می‌تواند باشد که به صورت نسبت ذیل تعریف می‌گردد.

$$R = \frac{PM_{2.5}}{PM_{10}} \quad (۱)$$

شود. در جدول (۳) و (۴) روش محاسبه شاخص کیفیت هوا و اثرات مخرب آلاینده بر سلامتی بیان شده است. با استفاد از داده های غلظت ثبت شده در ایستگاه اهواز (ایستگاه اداره کل) محاسبه شاخص کیفیت هوا براساس جداول فوق انجام پذیرفته و رابطه آن با $PM_{2.5}/PM_{10}$ ارائه گردیده است.

همانطور که بیان شد AQI شاخصی جهت گزارش روزانه کیفیت هوا است. این شاخص مردم را از کیفیت هوا (پاک بودن یا آلوده بودن) آگاه می‌سازد و اثرات سلامتی مرتبط با آن را ارائه می‌کند. برای پنج آلاینده اصلی هوا یعنی ذرات معلق، دی‌اکسیدنیترژن، ازن سطح زمین، منوکسیدکربن و دی‌اکسیدگوگرد محاسبه می

جدول ۳- شاخص کیفیت هوا (AQI)، رنگ‌های مربوط به هر گروه و اثرات مخرب بر روی سلامت (AQI)

AQI	وضعیت	رنگ	اثرات مخرب بر روی سلامت
۵۰-۰	پاک	سبز	کیفیت هوا رضایت‌بخش بوده و آلودگی هوا کم یا بی‌خطر است.
۱۰۰-۵۱	سالم	زرد	کیفیت هوا قابل‌قبول است. با این حال، در مورد برخی از آلاینده‌ها ممکن است برای تعداد بسیار کمی از افراد که به‌طور غیرمنتظره‌ای نسبت به آلودگی هوا حساس هستند، اندکی مشکل‌ساز باشد.
۱۵۰-۱۰۱	ناسالم برای گروه‌های حساس	نارنجی	تشدید خفیف علائم در میان افراد مستعد. عموم مردم به‌احتمال زیاد تحت تأثیر قرار ندارد.
۲۰۰-۱۵۱	ناسالم	قرمز	سلامتی همه مردم در معرض تهدید قرار دارد. گروه‌های حساس ممکن است با عوارض جدی‌تری مواجه شوند.
۳۰۰-۲۰۱	بسیار ناسالم	بنفش	هشدار، عموم مردم به‌احتمال زیاد با عوارض جانبی آلودگی هوا مواجه می‌شوند.
۵۰۰-۳۰۱	خطرناک	خرمایی	شرایط اضطراری برای سلامتی عموم مردم

جدول ۴- روش محاسبه شاخص کیفیت هوا (AQI)

نقاط شکست							طبقه‌بندی کیفیت هوا AQI
O_3 (ppm) ۸ ساعته	O_2 (ppm) یک ساعته	$PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$) ۲۴ ساعته	PM_{10} ($\mu g/m^3$) ۲۴ ساعته	CO (ppm) ۸ ساعته	SO_2 (ppm) ۲۴ ساعته	NO_2 (ppm) یک ساعته	
۰-۰/۰۵۹	-	۰/۰-۱۵/۴	۰/۰-۵۴	۰/۰-۴/۴	۰/۰۰۰۰-۰/۰۳۴	۰-۰/۰۵۳	خوب ۰-۵۰
۰-۰/۰۷۵ ۰/۰۶۰	-	۱۵/۵-۳۵/۰	۱۵-۱۵۴	۴/۵-۹/۴	۰/۰۳۵-۰/۱۴۴	۰/۰۵۴-۰/۱	متوسط ۵۱-۱۰۰
۰-۰/۰۹۵ ۰/۰۷۶	۰/۱۲۵-۰/۱۶۴	۳۵/۱-۶۵/۴	۱۵۵-۲۵۴	۹/۵-۱۲/۴	۰/۱۴۵-۰/۲۲۴	۰/۱۰۱-۰/۳۶۰	ناسالم برای گروه های حساس ۱۰۱-۱۵۰
۰-۰/۱۱۵ ۰/۰۹۶	۰/۱۶۵-۰/۲۰۴	۶۵/۵-۱۵۰/۴	۲۵۵-۳۵۴	۱۲/۵-۱۵/۴	۰/۲۲۵-۰/۳۰۴	۰/۳۶۱-۰/۶۴۰	ناسالم ۱۵۱-۲۰۰
۰-۰/۳۷۴ ۰/۱۱۶	۰/۲۰۵-۰/۴۰۴	۱۵۰/۵-۲۵۰/۴	۳۵۵-۴۲۴	۱۵/۵-۳۰/۴	۰/۳۰۵-۰/۶۰۴	۰/۶۵-۱/۲۴	خیلی ناسالم ۲۰۱-۳۰۰
-	۰/۴۰۵-۰/۵۰۴	۲۵۰/۵-۳۵۰/۴	۴۲۵-۵۰۴	۳۰/۵-۴۰/۴	۰/۶۰۵-۰/۸۰۴	۱/۲۵-۱/۶۴	خطرناک ۳۰۱-۴۰۰
-	۰/۵۰۵-۰/۶۰۴	۳۵۰/۵-۵۰۰/۴	۵۰۵-۶۰۴	۴۰/۵-۵۰/۴	۰/۸۰۵-۱/۰۰۴	۱/۶۵-۲/۰۴	۴۰۱-۵۰۰

ایستگاه ثبت می‌شود و هر ایستگاه به طور مداوم غلظت $PM_{2.5}$ ، PM_{10} ، SO_2 ، NO_2 ، O_3 و CO را جمع‌آوری می‌کند. جهت انجام این مطالعه در یک دوره ۱ ساله (۱۳۹۸) بر روی آلاینده های $PM_{2.5}$ و PM_{10} داده‌های خام جمع‌آوری شده و در فایل‌های

استخراج داده‌ها و سامانه ملی پایش کیفیت هوا

ایستگاه‌های سامانه ملی پایش کیفیت هوا در کشور در جدول (۵) مشخص شده است (سایت سازمان محیط زیست <https://aqms.doe.ir>) داده‌های غلظت آلاینده‌های گازی و ذرات به صورت روزانه، ساعتی، ماهانه، فصلی و سالانه در هر

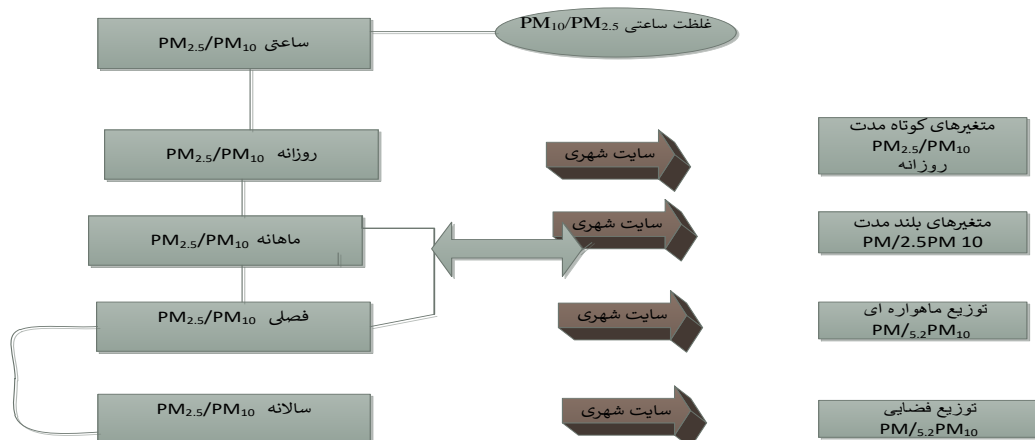
اکسل مورد پردازش قرار گرفت و داده‌های مورد نیاز اندازه‌گیری شده به صورت ساعتی، روزانه استفاده شده است.

جدول ۵- محل ایستگاه‌های سامانه ملی پایش کیفیت هوا در کشور

محل ایستگاه	استان
ایستگاه بوکان	آذربایجان غربی
ایستگاه زنجان - قائم	زنجان
ایستگاه فهرج	کرمان
ایستگاه برازجان	بوشهر
ایستگاه قائم	قم
ایستگاه قروه	کردستان
ایستگاه سقز	کردستان
ایستگاه قصر شیرین	کرمانشاه
ایستگاه پل دختر	لرستان
ایستگاه بروجرد	لرستان
ایستگاه خیابان میرزای شیرازی	مرکزی
ایستگاه کبودرآهنگ	همدان
ایستگاه نهاوند	همدان
ایستگاه رسالت	هرمزگان
ایستگاه باقرشهر	تهران
ایستگاه شهریار	تهران

و تهران اخذ شده است و نسبت $PM_{2.5}/PM_{10}$ در استان‌های نیمه غربی کشور محاسبه شده است و براساس رفرنس مراجع معتبر دسته بندی روزهای دارای گردو غبار انجام شده است .

در شکل (۲) متدلوژی اخذ داده‌ها و تجزیه و تحلیل داده‌های گرفته شده توضیح داده شده است داده‌ها از سامانه ملی پایش کیفیت هوا برای شهرهای استان غربی کشور خوزستان، کرمان، یزد، بوشهر، قم، زنجان، مرکزی، لرستان، کرمانشاه، کردستان، گیلان

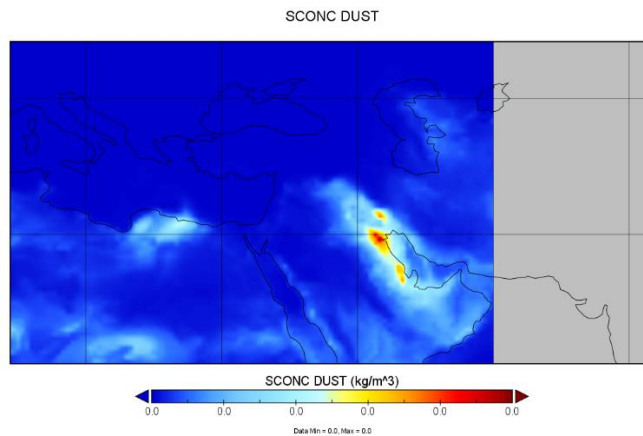


شکل ۲- متدلوژی اخذ داده‌ها و تجزیه و تحلیل تغییرپذیری مکانی-زمانی نسبت $PM_{2.5}/PM_{10}$

نتایج و بحث

کل کشور بر اساس داده‌های ساعتی ایستگاه‌ها وقوع رخداد گرد و غبار را نشان می‌دهد. همانگونه که در داده‌های ایستگاه استان های خوزستان، کرمان، یزد، بوشهر، قم، زنجان، مرکزی، لرستان، کرمانشاه، کردستان، گیلان و تهران مشاهده می‌شود میزان غلظت PM_{10} در روزهای وقوع گرد و غبار به حداکثر رسیده است. برای نمونه در روز ۲۵ تیر ۱۳۹۸ میزان غلظت ذرات معلق کمتر از ۱۰ میکرون در ایستگاه اداره کل محیط زیست اهواز استان خوزستان ۱۴۲۲ میکروگرم بر متر مکعب، در شهر پل دختر استان لرستان ۲۱۱ میکروگرم بر متر مکعب، در ایستگاه امام شهر قم ۱۵۷ میکروگرم بر متر مکعب، در ایستگاه بوکان آذربایجان غربی ۵۸ میکروگرم بر متر مکعب و در ایستگاه برازجان استان بوشهر ۲۱۹ میکروگرم بر متر مکعب گزارش شده است.

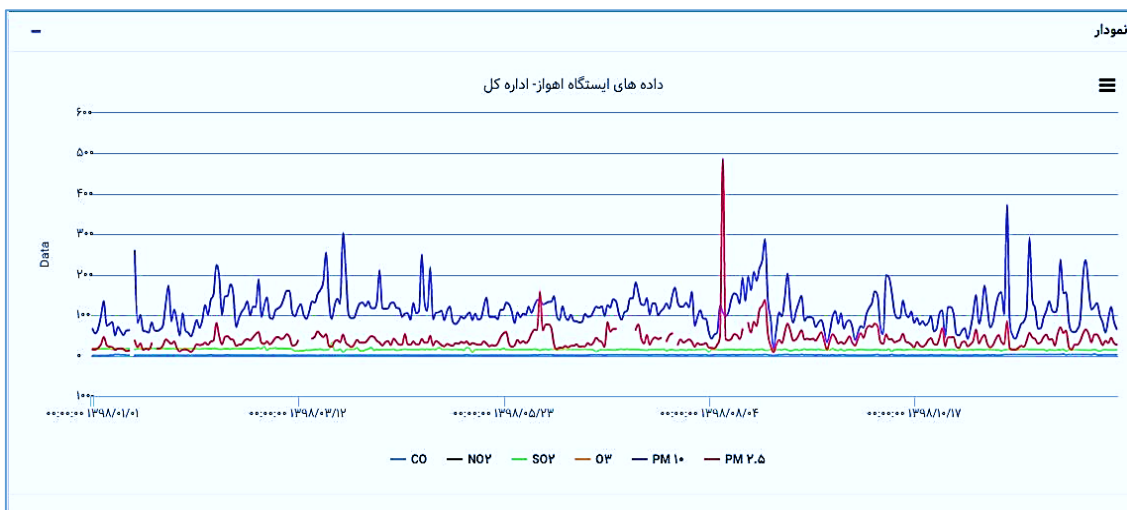
طبق گزارش رسمی سازمان حفاظت محیط زیست، در روز ۲۵ تیر ۱۳۹۸ گرد و غباری در زمین‌های خالی اطراف شهر اهواز رخ داده است و مدت زمان وقوع پدیده گرد و غبار در سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ بسیار کوتاه بوده است. با توجه به مشخص بودن پهنه های وقوع گرد و غبار مدر کشور، از داده‌های مرکز منطقه‌ای گردو غبار Barcelona برای راستی آزمایی روزهای دارای گرد و غبار استفاده شده است. اطلاعات مربوط به داده‌های مرکز منطقه ای گرد و غبار Barcelona در شکل ۳ نشان دهنده وقوع رخداد گرد و غبار در منطقه می‌باشد. تنوع مکانی- زمانی نسبت $PM_{2.5}/PM_{10}$ بر اساس مشاهدات ساعتی PM در سال ۱۳۹۸ در



شکل ۳- آشکارسازی گرد و غبار در ۲۵ تیر ۱۳۹۸ در استان خوزستان برگرفته از سایت بارسلونا

۱۳۹۸ (بازه زمانی اعلام شده توسط سازمان حفاظت محیط زیست) ۴۶۶,۵۵ میکروگرم بر متر مکعب محاسبه گردیده است .

در شکل (۴) نمودار روند تغییرات داده‌های غلظت ایستگاه اهواز - اداره کل (سازمان حفاظت محیط زیست) آورده شده است. بر اساس داده‌های سایت بارسلونا میانگین غلظت ماهانه در تیرماه



شکل ۴- نمودار داده‌های غلظت ایستگاه اهواز- اداره کل (سازمان حفاظت محیط زیست- سال ۱۳۹۸)

در جدول (۶)، اطلاعات مربوط به نسبت PM_{2.5} به PM₁₀، غلظت PM₁₀ و فصل مربوط به ایستگاه اهواز - اداره کل، آذربایجان غربی، زنجان، کرمانشاه، کردستان و تهران نشان داده شده است.

جدول ۶- گزارش غلظت فصلی آلاینده PM_{2.5}، PM₁₀ و نسبت PM_{2.5}/PM₁₀ در ایستگاه‌های منتخب (۱۳۸۹)

نام ایستگاه	فصل	PM ₁₀ (µg/m ³)	PM _{2.5} (µg/m ³)	نسبت PM _{2.5} /PM ₁₀
اهواز- اداره کل	بهار	۱۱۲,۲۱	۳۱,۸۲	۰,۲۸۳۵۷۵۴۳۹
	تابستان	۱۱۳,۲۴	۲۰,۲۳	۰,۱۷۸۶۴۷۱۲
	پاییز	۱۱۳,۹۷	۵۱,۰۱	۰,۴۴۷۵۷۳۹۲۳
	زمستان	۱۰۹,۳۹	۳۸,۸۹	۰,۳۵۵۵۱۶۹۵۸
آذربایجان غربی - بوکان	بهار	۵۷,۸۰	۱۶,۳۳	۰,۲۸۲۵۲۹۵۲
	تابستان	۸۳,۲۰	۲۵,۷۸	۰,۳۰۹۸۵۵۷۶۹
	پاییز	۷۵,۰۸	-	-
	زمستان	۷۲,۸۶	-	-
زنجان - قائم	بهار	۳۹,۴۹	۱۳,۲۲	۰,۳۳۴۷۶۸۲۹۶
	تابستان	۵۱,۴۴	۱۵,۰۴	۰,۲۹۲۳۷۹۴۷۱
	پاییز	۴۳,۸۲	۱۶,۷۷	۰,۳۸۲۷۰۱۹۶۳
	زمستان	۴۱,۸۴	۱۵,۸۵	۰,۳۷۸۱۲۴۰۹۲
کردستان - قروه	بهار	۲۲,۶۲	۱۱,۳۴	۰,۵۰۱۳۲۶۲۶
	تابستان	۳۷,۰۲	۱۸,۶۶	۰,۵۰۴۰۵۱۸۶۴
	پاییز	۲۴,۲۴	۱۴,۷۳	۰,۶۰۷۶۷۳۲۶۷
	زمستان	۱۹,۷۸	۱۴,۰۰	۰,۷۰۷۷۸۵۶۴۲
کرمانشاه - قصرشیرین	بهار	۴۸,۰۴	۳۱,۱۷	۰,۶۴۸۱۳۳۴۰۵
	تابستان	۶۵,۸۲	۵۲,۳۳	۰,۷۹۵۰۴۷۰۹۸
	پاییز	۱۰۶,۵۳	۳۴,۱۸	۰,۳۲۰۸۴۸۵۸۷
	زمستان	۶۹,۵۴	۲۸,۸۰	۰,۴۱۴۱۵۰۱۲۹
تهران - باقرشهر	بهار	۶۸,۱۶	۱۹,۷۴	۰,۲۸۹۶۱۲۶۷۶
	تابستان	۱۱۶,۳۹	۲۹,۷۳	۰,۲۵۵۴۳۴۳۱۶
	پاییز	-	۳۳,۰۶	-
	زمستان	-	۳۳,۵۴	-

است. غلظت PM₁₀ نیز از ۱۱۲,۲۱ میکروگرم در متر مکعب در بهار تا ۱۱۳,۹۷ میکروگرم در متر مکعب در پاییز متغیر است. این غلظت‌ها نیز از استاندارد کیفیت هوای WHO برای PM₁₀ (۵۰ میکروگرم در متر مکعب) بیشتر است. غلظت PM_{2.5} و PM₁₀ در

غلظت PM_{2.5} در ایستگاه اهواز از ۲۰,۲۳ میکروگرم در متر مکعب در تابستان تا ۵۱,۰۱ میکروگرم در متر مکعب در پاییز متغیر است. این غلظت‌ها از استاندارد کیفیت هوای سازمان بهداشت جهانی (WHO) برای (PM_{2.5} ۱۰ میکروگرم در متر مکعب) فراتر رفته

ایستگاه اهواز - اداره کل به ترتیب عدد ۳۵۵ میکروگرم بر مترمکعب و ۲۷،۱۵ میکروگرم بر مترمکعب بوده و از نظر شاخص کیفیت هوا در محدوده خطرناک می‌باشند. با توجه به محاسبه نسبت $PM_{2.5}/PM_{10}$ و ارتباط موضوعی با شاخص کیفیت هوا کاملاً منطقی و قابل قبول می‌باشد.

در بررسی انجام شده در اغلب روزها میانگین غلظت ذرات معلق PM_{10} ایستگاه اهواز بیشتر از مقدار Dust بدست آمده از داده‌های مرکز منطقه‌ای گرد و غبار Barcelona است. علت این امر آن است که ایستگاه‌های سنجش کیفیت هوا مقدار ذرات معلق منتشر شده از منابع طبیعی و انسان ساز را با هم اندازه گیری می‌کند اما داده‌های مرکز منطقه‌ای گردوغبار Barcelona مقدار گرد و غبار (DUST) را نشان می‌دهد. با توجه برآورد نسبت $PM_{2.5}/PM_{10}$ در جدول ۷ طبقه بندی روزهای گرد و غبار در استان نیمه غربی کشور با یک نسبت ساده در ایستگاه ثبت داده انجام پذیرفته است.

پاییز بالاترین سطوح را در جدول ارائه شده نشان می‌دهد. استفاده از آزمون ANOVA تک عاملی، مشخص شد که تفاوت معنی‌داری بین نسبت $PM_{2.5}$ به PM_{10} بین فصل‌ها وجود دارد ($p = 0.02$). نسبت $PM_{2.5}$ به PM_{10} در پاییز و زمستان به طور معنی‌داری بیشتر از بهار و تابستان است.

نتایج نشان می‌دهد در آذربایجان غربی (ایستگاه بوکان) ، تهران (ایستگاه رسالت) وقوع رخداد گرد و غبار اتفاق افتاده است. با بررسی انجام شده داده‌های ثبت شده در ایستگاه‌ها با داده‌های سایت بارسلونا همپوشانی دارد.

نتایج نشان می‌دهد شاخص $PM_{2.5}/PM_{10}$ یک روش کاربردی و تک پارامتری برای تخمین گرد و غبار ، این ویژگی‌ها بر اساس موقعیت مکانی و هواشناسی غالب متفاوت بوده و ممکن است ذرات معلق گرد و غبار از ذرات مانند نمک دریا و نیترات درشت تشکیل شده باشد. در جدول (۷) نسبت غلظت $PM_{2.5}/PM_{10}$ در تاریخ ۲۵ تیر ۱۳۹۸ در ایستگاه‌های نیمه غربی کشور که دارای داده ثبت شده می‌باشند ارائه گردیده است. براساس محاسبه شاخص کیفیت هوا (AQI) میانگین غلظت $PM_{2.5}$ و PM_{10} در

جدول ۷- نسبت $PM_{2.5}/PM_{10}$ در استان‌های منتخب

استان	نسبت $PM_{2.5}/PM_{10}$
آذربایجان غربی (ایستگاه بوکان)	۰٫۴-۰٫۱
ایستگاه زنجان (زنجان)	۰٫۳-۰٫۲
ایستگاه بوشهر (بوشهر)	۰٫۰۶-۰٫۰۲
ایستگاه قائم (قم)	۰٫۴
کردستان (ایستگاه قروه)	۰٫۷-۰٫۵
کردستان (ایستگاه سقر)	۰٫۹-۰٫۳
کرمانشاه (ایستگاه قصرشیرین)	۰٫۷-۰٫۳
لرستان (ایستگاه پل دختر)	۰٫۹-۰٫۳
مرکزی (ایستگاه خیابان میرزایی شیرازی)	۰٫۵-۰٫۳
همدان (ایستگاه کیودر آهنگ)	۰٫۳-۰٫۲
همدان (ایستگاه نهوند)	۰٫۳-۰٫۲
تهران (ایستگاه رسالت)	۰٫۱-۰٫۲
تهران (ایستگاه باقر شهر)	۰٫۲
خوزستان (ایستگاه اداره کل)	۰٫۱

کشور ایران علاوه بر داشتن مناطق بیابانی وسیع، در مجاورت کانون‌های اصلی منطقه‌ای و فرامرزی و نواحی گرد و غبار قرار گرفته است. از مهمترین این کانون‌ها می‌توان به بیابانهای عربستان، عراق، سوریه، اردن و سایر کشورهای حاشیه خلیج فارس در جنوب و جنوب غرب، کشورهای پاکستان و افغانستان در شرق و همچنین کشورهای ترکمنستان و ازبکستان در شمال اشاره نمود. که کشور ایران تحت تاثیر این کانون‌های گرد و غبار قرار می‌گیرد. نتایج نشان می‌دهد که غلظت ذرات معلق $PM_{2.5}$ و

غلظت $PM_{2.5}$ و PM_{10} در همه ایستگاه‌ها و فصل‌ها از حد مجاز سازمان بهداشت جهانی بیشتر بوده است. این امر می‌تواند نگرانی‌های جدی برای سلامت عمومی ایجاد کند. همانطور که ذکر شد، تفاوت‌های معنی‌داری بین میانگین نسبت $PM_{2.5}/PM_{10}$ ، غلظت $PM_{2.5}$ و غلظت PM_{10} در بین ایستگاه‌ها و فصل‌ها مشاهده شده است.

کیفیت هوا به ویژه از نظر آلاینده PM₁₀ یکی از استراتژیهای اصلی برای کنترل آلودگی هوا در شهرها می‌باشد.

در مطالعه‌ی شرعی پور و همکاران نیز تغییرات ذرات معلق PM_{2.5} و PM₁₀ جوی شهر تهران بررسی و همبستگی مثبت معنی داری (سطح اعتماد ۹۹٪) بین غلظت ذرات معلق ساعتی PM₁₀ و PM_{2.5} محاسبه شده است.

نتایج این تحقیق نشان داد با توجه به میزان غلظت ثبت شده فصلی (بهار، تابستان، پاییز و زمستان) آلاینده PM_{2.5}, PM₁₀ در ایستگاه‌های مورد مطالعه، میزان تغییرات PM₁₀ بیشتر از PM_{2.5} است؛ بنابراین PM₁₀ تاثیر بیشتری در تولید گرد و غبار دارد. لذا پیشنهاد می‌شود در سامانه ملی پایش کشور متعلق به سازمان حفاظت محیط زیست کشور ستونی تحت عنوان نسبت PM_{2.5} به PM₁₀ ایجاد گردد و وقوع رخداد گرد و غبار توسط سازمان مرجع ثبت و گزارش گردد و همچنین نقش عناصر اقلیمی و غیراقلیمی (از قبیل پوشش گیاهی، تغییرات کاربری اراضی، خشک شدن دریاچه‌ها، منابع آب سطحی و عوامل انسانی از جمله کشاورزی، تخریب مراتع، دامداری و که در ارتباط مستقیم با گرد و غبار است مورد بررسی قرار گیرد.

تشکر و قدردانی:

از سازمان حفاظت محیط زیست و اداره کل محیط زیست استان خوزستان بابت قراردادن داده‌های سامانه پایش کیفیت هوای کشور و ارائه رخدادهای گرد و غبار در استان بی نهایت سپاسگزارم

PM₁₀ در تمام ایستگاه‌های بررسی شده در فصول مختلف از حد مجاز سازمان بهداشت جهانی (WHO) بیشتر است و غلظت ذرات معلق در فصل‌های پاییز و زمستان به طور قابل توجهی بیشتر از فصل‌های بهار و تابستان است.

بر اساس نتایج بدست آمده و با یک نسبت ساده، روزهای گرد و غبار را به سه دسته شامل؛ روزهای وقوع گرد و غبار $PM_{2.5}/PM_{10} = 0.1$ ، روزهای سبک گرد و غبار $PM_{2.5}/PM_{10} = 0.5$ ، و روزهای متوسط گرد و غبار $PM_{2.5}/PM_{10} = 0.5$ تا 1.0 تقسیم می‌شود. این نسبت در استان خوزستان برابر $PM_{2.5}/PM_{10} = 0.1$ است لازم به ذکر است در همان تاریخ یک رخداد گرد و غبار برای استان گزارش شده است.

در مقایسه یک روز پاک و یک روز دارای گرد و غبار، نسبت میانگین غلظت روزانه (ذرات ریز) PM_{2.5} به ذرات درشت PM₁₀ در روز رخداد کمتر است. همچنین ذرات معلق در روزهای دارای گرد و غبار اغلب منبع طبیعی دارند و نسبت $PM_{2.5}/PM_{10}$ می‌تواند به عنوان شاخصی از سهم گرد و غبار ذرات معلق باشد.

بر اساس مطالعه محمودپاشی و همکاران در سال ۱۴۰۰ بر روی مقایسه میزان و روند غلظت ذرات گرد و غبار، ارتباط وقوع رخداد با متغیرهای اقلیمی در نیمه غربی ایران بررسی شد. نتایج بیان می‌کند که مقادیر گرد و غبار در مناطق مختلف بسته به موقعیت جغرافیایی، شرایط توپوگرافی، اقلیمی، پارامترهای هواشناسی و همچنین منشاء آنها تفاوت دارد. نتایج حاصل از مطالعه هدایتی و همکاران در سال ۱۳۹۸ نشان داد که نظارت و پایش مستمر

References

- Asrari A and Padayar M. Investigating changes in the concentration of suspended particles in Mashhad using meteorological data in the years 2010-2015. *Journal of Environmental Health Research*, 2018 (1): 86-91. <https://DOI.org/10.22038/jreh.2018.30872.1208>. [InPersian].
- An, Z., Huang, R.-J., Zhang, R., Tie, X., Li, G., Cao, J., et al. (2019). Severe Haze in Northern China: A Synergy of Anthropogenic Emissions and Atmospheric Processes. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 116 (18), 8657-8666. DOI:10.1073/pnas.1900125116.
- Barnpadimos, I., Keller, J., Oderbolz, D., Hueglin, C., & Prevot, A. S. H. (2012). One decade of parallel fine (PM_{2.5}) and coarse (PM_{10-PM2.5}) particulate matter measurements in Europe: Trends and variability. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 12, 3189-320. www.atmos-chem-phys.net/12/3189/2012/3. DOI:10.5194/acp-12-3189-2012.
- Baghbanan P. Ghavidel Y. Farajzadeh M. Temporal long-term variations in the occurrence of dust storm days in Iran. *Meteorol Atmos Phys*. 2020; 132: 885-898. <https://DOI.org/10.1007/s00703-020-00728-3>. [IN Persian].
- Al-Hemoud A. Al-Dousari A. Misak R. Al-Sudairawi M. Naseeb A. Al-Dashti H. Al-Dousari N. *Economic Impact and Risk Assessment of Sand and Dust Storms (SDS) on the Oil and Gas Industry in Kuwait. Sustainability*. 2019; 11(1):1-19. <https://DOI.org/10.3390/su1101020>.
- Bahiraee, H., Ayazi, M. H., Rajaei, M. and Ahmadi, H. 2011. Synoptic Statistical Analysis of Dust Occurrence in Ilam Province. *Journal of New Attitudes in Human Geography*. 4, 47-67. <https://www.sid.ir/paper/177129/fa>. [InPersian].
- Broomandi P, Crape B, Jahanbakhshi A, Janatian N, Nikfal A, Tamjidi M, Kim JR,

- Middleton N, Karaca F. Assessment of the association between dust storms and COVID-19 infection rate in southwest Iran. 2022 May; 29(24):36392-36411. DOI: 10.1007/s11356-021-18195-7. Epub 2022 Jan 21.
29. Crosbie, E., Sorooshian, A., Monfared, N.A., Shingler, T. and Esmaili, O., 2014. A multi-year aerosol characterization for the greater tehran area using satellite, surface, and modeling data. *Atmosphere*. 5(2), 178-197. *Atmosphere* 2014, 5(2), 178-197; [https://DOI.org/10.3390/atmos5020178](https://doi.org/10.3390/atmos5020178)
 30. Cao H. Amiraslani F. Liu J. Zhou N. Identification of dust storm source areas in West Asia using multiple environmental datasets. *Sci Total Environ*. 2015; 502: 224-235. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2014.09.025](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.09.025).
 31. Cao H. Fu C. Zhang W. Liu J. Characterizing Sand and Dust Storms (SDS) Intensity in China Based on Meteorological Data. *Sustainability*. 2018; 10(7): 2372. [https://DOI.org/10.3390/su1007237](https://doi.org/10.3390/su1007237)
 32. Fan, H., Zhao, C., and Yang, Y. (2020). A Comprehensive Analysis of the Spatio-Temporal Variation of Urban Air Pollution in China during 2014-2018. *Atmos. Environ*. 220, 117066. DOI: [10.1016/j.atmosenv.2019.117066](https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.117066)
 33. Gang, X., Limin, J., Boen, Z., & Suli, Z. (2015). Spatial and Temporal Variability of the PM_{2.5}/PM₁₀ Ratio in Wuhan, Central China. *Aerosol and Air Quality Research*, 17: 741-751, 2017. 1680-8584 print / 2071-1409 online. DOI: [10.4209/aaqr.2016.09.0406](https://doi.org/10.4209/aaqr.2016.09.0406)
 34. Hao Fan, Chuanfeng Zhao, Yikun Yang, Xingchuan Yang, Spatio-Temporal Variations of the PM_{2.5}/PM₁₀ Ratios and Its Application to Air Pollution Type Classification in China. 2021, Volume 9 - 2021 [https://DOI.org/10.3389/fenvs.2021.692440](https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.692440)
 35. Ibrahim M. F., R. Hod, A. M. Nawi, and M. Sahani, "Association between ambient air pollution and childhood respiratory diseases in low- and middle-income Asian countries: A systematic review," *Atmos. Environ.*, vol. 256, p. 118422, Jul. 2021, DOI: [10.1016/J.ATMOSENV.2021.118422](https://doi.org/10.1016/J.ATMOSENV.2021.118422).
 36. Landrigan PJ, Fuller R, Acosta NJ, Adeyi O, Arnold R, Baldé AB, et al. The Lancet commission on pollution and health. *The Lancet*. 2018; 391(10119):462-512, DOI: [10.1016/S0140-6736\(17\)32345-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(17)32345-0)
 37. Lewis S. L., L. M. Russell, J. A. McKinsey, and W. J. Harris, "Small contributions of dust to PM_{2.5} and PM₁₀ concentrations measured downwind of Oceano Dunes," *Atmos. Environ.*, vol. 294, p. 119515, Feb. 2023, DOI: [10.1016/J.ATMOSENV.2022.119515](https://doi.org/10.1016/J.ATMOSENV.2022.119515).
 38. Li, C., Tsay, S.-C., Fu, J. S., Dickerson, R. R., Ji, Q., Bell, S. W., et al. (2010). Anthropogenic air pollution observed near dust source regions in northwestern China during springtime 2008. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 115, D00K22. 13 October 2010. [https://DOI.org/10.1029/2009JD013659](https://doi.org/10.1029/2009JD013659).
 39. Nel A. Air pollution-related illness: effects of particles. June 2005. *Science* 308(5723): 804-6. DOI: [10.1126/science.1108752](https://doi.org/10.1126/science.1108752).
 40. Nowroozi A. Shoaei Z. Dust production centers in the western and southern half of Iran: satellite data and field information. *J Agric Sci Technol*. 2019; 2(2): 29-35. [IN Persia]. DOI: [10.22092/AISTJ.2020.342192.1040](https://doi.org/10.22092/AISTJ.2020.342192.1040).
 41. Namdari S. Hajibaglo A. Abazari GH. Analysis of changes in Iran's internal dust centers in the last twenty years. *J geogr Plan*. 2022; 25(78): 345-361. DOI: [10.22034/GP.2021.42751.2739](https://doi.org/10.22034/GP.2021.42751.2739). [IN Persian].
 42. Mirzae A. Nekahd A. Alshevili A. Tracking dust centers on the common border of Iran and Iraq in the ten-year period of 2012-2022. DOR: 20.1001.1.29810930.1402.1.2.3.1. [IN Persia].
 43. Munir, S. (2017b). Analysing temporal trends in the ratios of PM_{2.5}/PM₁₀ in the UK. *Aerosol and Air Quality Research*, 17(1), 34-48. [https://DOI.org/10.4209/aaqr.2016.02.0081](https://doi.org/10.4209/aaqr.2016.02.0081)
 44. Pan, X., Uno, I., Hara, Y., Kuribayashi, M., Kobayashi, H., Sugimoto, N., et al. (2015). Observation of the simultaneous transport of Asian mineral dust aerosols with anthropogenic pollutants using a POPC during a long-lasting dust event in late spring 2014. *Geophysical Research Letters*, 42, 1593-1598. 04 February 2015. [https://DOI.org/10.1002/2014GL062491](https://doi.org/10.1002/2014GL062491).
 45. Onishi, K., Kurosaki, S., Otani, S., Yoshida, A., Sugimoto, N., & Kurozawa, Y. (2012). Atmospheric transport route determines components of Asian dust and health effects in Japan, [https://DOI.org/10.1016/j.atmosenv.2011.12.018](https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.12.018)
 46. Sugimoto, N., Hara, Y., Shimizu, A., Nishizawa, T., Matsui, I., & Nishikawa, M. (2013). Analysis of dust events in 2008 and 2009 using the lidar network, surface observations and the CFORS model. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*, 49(1), 27-39. [https://DOI.org/10.1007/s13143-013-0004-3](https://doi.org/10.1007/s13143-013-0004-3)
 47. Nobuo Sugimoto, Atsushi Shimizu, Ichiro Matsui, Masataka Nishikawa. (2015). A method for estimating the fraction of mineral dust in particulate matter using PM_{2.5}-to-PM₁₀ ratios. [http://DOI.org/10.1016/j.partic.2015.09.005](https://doi.org/10.1016/j.partic.2015.09.005)
 48. Ishizuka, M., Mikami, M., Leys, J., Yamada, Y., Heidenreich, S., Shao, Y., et al. (2008). Effects of soil moisture and dried rain droplet crust on saltation and dust emission. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*,

- 113, D24212. DOI:10.1029/2008JD009955, 2008.
49. Indoitu R. Orlovsky L. Orlovsky N. Dust storms in Central Asia: spatial and temporal variations. *J Arid Environ.* 2012; 85: 62-70. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2012.03.018>.
 50. Furman H.K.H. Dust storms in the Middle East: sources of origin and their temporal characteristics. *Indoor Built Environ.* 2003; 12(6): 419-426. <https://doi.org/10.1177/1420326X03037110>.
 51. Fallah Zozli M. A. Vafainejad M. Khairkhan Z. F. Ahmadi D. Finding the origin of dust in southern Iran and its synoptic analysis using remote sensing and geographic information system. *RS GIS Natur Res.* 2013; 5(4): 61-78. <http://girs.iaubushehr.ac.ir>. [IN Persian].
 52. Faridi S. Rahmani S. Hashemi N. Qobadian S. Zokaei M. Economic effects of dust storms. *J health.* 2019; 11(5): 699-713. Doi. 10.52547/j.health.11.5.699. [IN Persia].
 53. Kobayashi, H., Hayashi, M., Shiraishi, K., Nakura, Y., Enomoto, T., Miura, K., et al. (2014). Development of a polarization optical particle counter capable of aerosol type classification. *Atmospheric Environment*, 97, 486–492. 1 Nov 2014 . DOI: 10.1016/j.atmosenv.2014.05.006.
 54. Khojasteh N. Morad E. Comparison of interpolation methods for wind erosion mapping using the USEPA model. *Soil. Water. Sci. Agric. Sci and Tech and Nat Resour.* 2021; 24(4): 93-110. DOI. 10.47176/jwss.24.4.2251. [IN Persian].
 55. Jalali Farahani, V. and Arhami, M., 2019. Contribution of Iraqi and Syrian dust storms on particulate matter concentra. December 2019. *Atmospheric Environment* 222(24):117163. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2019.117163.
 56. Sugimoto, N., Nishizawa, T., Shimizu, A., Matsui, I., & Kobayashi, H. (2015). Detection of internally mixed Asian dust with air pollution aerosols using a polarization optical particle counter and a polarization-sensitive two-wavelength lidar. *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer*, 150, 107–113. Sun, C.-H., Lin, Y.-C., & Wang, C.-S. (2003). DOI: 10.1016/j.jqsrt.2014.08.003.
 57. Rahmati M H. Moghani V. Vesal M. The Effects of Short Term Exposure to Air Pollution on Mortality Rates: The Case of Six Metropolitan Areas in Iran. *QJER* 2020; 20(2): 53-76. DOR:20.1001.1.17356768.1399.20.2.6.9.
 58. Rashki, A., Middleton, N.J. and Goudie, A.S., 2021. Dust storms in Iran – Distribution, causes, frequencies and impacts. *Aeol. Res.* 48, 100655, January 2021. DOI: [10.1016/j.aeolia.2020.100655](https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2020.100655).
 59. Reyadh A. Venkataraman L. Monitoring Dust Storms in Iraq Using Satellite Data. *Dep .Eng Sys Environ.* 2019; 19(17): 3687. DOI: 10.3390/s19173687.
 60. Rayegani B. Barati S. Khoshnava A. Dust and Sand Source Identification Using Remotely Sensed Data: a comprehensive Approach. *Sci Total Environ.* 2019; 72(1): 83-105. <https://doi.org/10.22059/jrwm.2019.251015.1223>. [IN Persian].
 61. D. Sierra-Porta, Y. T. Solano-Correa, M. Tarazona-Alvarado, and L. A. N. de Villavicencio, "Linking PM10 and PM2.5 Pollution Concentration through Tree Coverage in Urban Areas," *CLEAN – Soil, Air, Water*, vol. 51, no. 5, p. 2200222, 2023. <https://doi.org/10.1002/clen.202200222>
 62. Talbi, A., Kerchich, Y., Kerbach, R., and Boughedaoui, M. (2018). Assessment of Annual Air Pollution Levels with PM1, PM2.5, PM10 and Associated Heavy Metals in Algiers, Algeria. *Environ. Pollut.* 232, 252–263. DOI:10.1016/j.envpol.2017.09.041, DOI: 10.1016/j.envpol.2017.09.041.
 63. Turkashund M and Kiani M. Analysis of the state of air pollution caused by the climatic effects of fine dust and dust storms in the southern regions of Hamadan province. *Environmental Science and Technology Quarterly.* 2017. (4) 15-33. <https://www.sid.ir/paper/87471/fa>. DOI: 10.22034/jest.2017.11622. [In Persian].
 64. Wang, Y.-C. And Lin, Y.-K. 2015. Mortality associated with particulate concentration and Asian dust storms in Metropolitan Taipei. *Atmospheric Environment*, 117:32-40. September 2015. DOI : [10.1016/j.atmosenv.2015.06.055](https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.06.055).
 65. Zhao, C., Yang, Y., Fan, H., Huang, J., Fu, Y., Zhang, X., et al. (2020). Aerosol Characteristics and Impacts on Weather and Climate over the Tibetan Plateau. *Natl. Sci. Rev.* 7 (3), 492–495. DOI:10.1093/nsr/nwz184



Investigating the Occurrence of Dust in the Country with the Ratio of PM_{2.5} to PM₁₀ Concentration Index

Masha Tamjidi

Ph.D candidate ,Department of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Majid Abbaspour
Tehrani *

Professor, Mechanical Engineering Department, School of Mechanical Engineering Sharif University of Technology, Tehran Iran

Yusuf Rashidi

Assistant Professor , Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Seyed Alireza
Mirzahosseini

Associate Professor , Department of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Received: 22 Feb 2024

Accepted: 11 June 2024

Keywords: *Dust, Concentration of PM₁₀ and PM_{2.5}, Concentration of Pollution*

Extended Abstract

Introduction: Dust storms, as one of the major environmental crises in the Middle East, have widespread impacts on the quality of life, human health, soil fertility, visibility, the economy, and social aspects. This phenomenon is common in arid and desert regions, especially in Iran, where a significant portion of the country is located in dry and semi-arid areas. Given the importance of this issue, identifying the sources and aggravating factors is essential. Dust storms consist of particulate matter with a diameter of less than 10 micrometers (PM₁₀). This study examines the PM_{2.5}/PM₁₀ concentration ratio as an indicator for determining the occurrence of dust storms within the country's environmental monitoring system.

Materials and Methods: In this study, a simple and practical method for determining dust days is presented. Based on the received data of dust occurrence from reliable authorities, the ratio of PM_{2.5}/PM₁₀ was calculated on the mentioned days and based on the results of the calculations, a numerical index of the probability of dust occurrence was presented. For this purpose, first a dust event on a specific date (July 25, 2018) was investigated in Khuzestan province (Ahvaz city) and based on this, the ratio of PM_{2.5}/PM₁₀ data in the provinces of Khuzestan, Kerman, Yazd, Bushehr, Qom, Zanjan, Markazi, Lorestan, Kermanshah, Kurdistan, Gilan and Tehran were calculated.

Results and Discussion: Based on the occurrence of dust storms in the provinces of Khuzestan, Kerman, Yazd, Bushehr, Qom, Zanjan, Markazi, Lorestan, Kermanshah, Kurdistan, Gilan and Tehran in the period of 2018 and calculating the hourly average ratio of PM_{2.5}/PM₁₀ index number Calculated. The results show that when the PM_{2.5}/PM₁₀ ratio is less than 0.1, there is dust occurrence. Based on this, the days of the event are divided into three categories: PM_{2.5}/PM₁₀ =0.1 dust days, PM_{2.5}/PM₁₀ =0.5 light dust days, and PM_{2.5}/PM₁₀ =0.1-0.5 medium dust days.

Conclusion: The results showed that among the investigated provinces, the average concentration of PM₁₀ and PM_{2.5} in Ahvaz station is 355 micrograms per cubic meter and 27.15 micrograms per cubic meter, respectively, and both concentrations are in the dangerous range. Also, according to the obtained results, the PM_{2.5}/PM₁₀ ratio and its relation with the air quality index were confirmed, and the results can be used by policymakers to design and implement effective control measures during dust incidents. The results of this research show that the ratio of PM_{2.5} to PM₁₀ can be considered as an indicator regarding the time of dust occurrence.

Corresponding author: Shahrzad Khoramnejadian

Address: Mechanical Engineering Department, School of Mechanical Engineering Sharif University of Technology, Tehran Iran

Tel: +989121112668

Email: abbpor@sharif.edu

Citation: Tamjidi M, Abbaspour Tehrani M, Rashidi Y, Mirzahosseini S A. Investigating the Occurrence of Dust in the Country with the Ratio of PM_{2.5} to PM₁₀ Concentration Index. *Journal of New Researches in Environmental Engineering* 2024; 2(5): 25-38.



© 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.

مدل داده‌کاوی مبتنی بر یادگیری ماشین جهت پیش‌بینی آلودگی هوا در کلان‌شهرهای ایران

دانشجوی دکترا، رشته مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین، قزوین، ایران
استادیار، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین، قزوین، ایران
استادیار، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین، قزوین، ایران

عباس ملکی
صادق عابدی*
علیرضا ایرج‌پور

چکیده مبسوط

مقدمه: در پاسخ به همه‌گیری کووید-۱۹، دولت‌ها در سراسر دنیا محدودیت‌های شدیدی را اعمال نموده و سناریوهای متفاوتی از کاهش انتشار آلاینده‌های ناشی از منابع ترافیکی را ارائه کردند. با اعمال محدودیت‌های ترافیکی ناشی از همه‌گیری کووید-۱۹ و قرنطینه، به نظر می‌رسد کاهش در تردد وسایل نقلیه و غلظت آلاینده‌ها صورت پذیرفته و به نوعی شاخص کیفیت هوا به استانداردهای کیفیت نزدیک گردد. بنابراین انتظار می‌رفت تغییراتی در غلظت آلاینده‌های منواکسید کربن (CO)، ازن (O₃)، منواکسید نیتروژن (NO)، دی اکسید نیتروژن (NO₂)، اکسیدهای نیتروژن (NO_x)، دی اکسید گوگرد (SO₂)، ذرات معلق با اندازه ۲.۵ میکرومتر یا کمتر (PM_{2.5}) و ذرات معلق با اندازه ۱۰ میکرومتر یا کمتر (PM₁₀) که از عوامل بیماری‌زا و بعضاً مرگ‌زودرس می‌باشند، مشاهده گردد.

مواد و روش‌ها: با استفاده از روش یادگیری ماشین، در مرحله اول تغییر غلظت آلاینده‌ها در دوره همه‌گیری کووید-۱۹ نسبت به دوره قبل از آن مورد بررسی قرار گرفت تا مشخص گردد که اعمال محدودیت‌های ترافیکی چه تاثیری در تغییر غلظت آلاینده‌ها در هر یک از کلان‌شهرهای مشهد و شیراز داشته است. در مرحله دوم، الگوهای پیش‌بین با استفاده از شبکه‌های عصبی پیشخور و عمیق جهت پیش‌بینی سطح اهمیت بهداشتی بر اساس اعمال هر یک از محدودیت‌های ترافیکی در هر کلان‌شهر ارائه گردید.

نتایج و بحث: این مطالعه نشان داد که تغییر غلظت آلاینده‌ها در دوران کووید-۱۹ نسبت به قبل از آن، در کلان‌شهرهای مشهد و شیراز متفاوت بوده است. با توجه به نتیجه حاصل شده و تفاوت در روند تغییر غلظت آلاینده‌ها، جهت کنترل شاخص کیفیت هوا، الگوهای پیش‌بین برای هر کلان‌شهر ارائه گردید.

نتیجه‌گیری: برای آلاینده‌ها، الگوی افزایشی و یا کاهشی یکسانی در کلان‌شهرهای مورد مطالعه مشاهده نشد، پس می‌توان گفت که تاثیر محدودیت‌های یکسان بر روی تغییر غلظت آلاینده‌ها در شهرهای مختلف، متفاوت بوده است؛ لذا اعمال محدودیت‌های یکسان در تمامی شهرها، لزوماً منجر به کاهش آلودگی نشده و می‌بایست برای هر موقعیت شهری و زیست‌محیطی، الگوی محدودیت‌های ترافیکی مختص آن موقعیت تهیه گردد. الگوی حاصل از این تحقیق را می‌توان به صورت روزانه، هفتگی، ماهانه و سالانه برای هر یک از دو کلان‌شهر مورد استفاده قرار داد و مشخص کرد که کدام محدودیت‌ها در کدام شهر سبب خواهد شد تا بتوانیم شاخص کیفیت هوا را کنترل نماییم.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۰۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۱۹

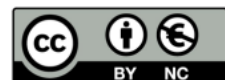
واژه‌های کلیدی: پیش‌بینی آلودگی هوا، کلان‌شهرهای ایران، یادگیری ماشین، شبکه عصبی، کووید-۱۹.

نویسنده مسئول: صادق عابدی

نشانی: دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین، قزوین، ایران. **تلفن:** ۰۹۱۲۸۱۷۳۶۶۲ **پست الکترونیکی:** abedi.sadegh@gmail.com

استناد: ملکی عباس، عابدی صادق، ایرج‌پور علیرضا. مدل داده‌کاوی مبتنی بر یادگیری ماشین جهت پیش‌بینی آلودگی هوا در کلان‌شهرهای ایران. پژوهش‌های نوین در مهندسی محیط زیست. ۱۴۰۳؛ ۲(۵): ۱-۱۴.

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

آلودگی هوا یکی از مهمترین عوامل خطر محیطی است که می‌تواند منجر به زیان‌های اقتصادی و سلامت قابل توجهی شود. در حال حاضر ۹۱ درصد از جمعیت جهان به ویژه در آسیا، خاور میانه و آفریقا در مناطقی با غلظت میانگین بالای ۱۰ میکروگرم بر متر مکعب آلاینده ذرات معلق با اندازه ۲٫۵ میکرومتر یا کمتر ($PM_{2.5}$) زندگی می‌کنند (مک دافی و همکاران ۲۰۲۱).

گسترش جهانی همه‌گیری Covid-19 در اوایل سال ۲۰۲۰، بزرگترین بحران بهداشتی در سال‌های اخیر بوده است حتی در مقایسه با آنفلانزای اسپانیایی اوایل قرن بیستم (سانچز لورنزو و همکاران ۲۰۲۰؛ مونولی و همکاران ۲۰۲۰). در پاسخ به مرگومیر بالای ناشی از ویروس SARS-COV-2 و گسترش سریع آن، دولت‌های سراسر جهان اقدامات و محدودیت‌های کنترل شدیدی را اعلام کردند. برخی از محدودیت‌های اجرا شده شامل محدودیت‌های رفت‌وآمد و یا مقررات فاصله‌گذاری اجتماعی بود. محدودیت‌های اعمال شده به دلیل پاندمی Covid-19، یک سناریوی را ارائه می‌دهد که در واقع تاثیر این همه‌گیری در پارامترهای آلودگی هوا می‌باشد که ناشی از کاهش ترافیک و محدودیت‌های رفت‌وآمد بوده است. (جیم گونزالس پاردو و همکاران ۲۰۲۲). انتظار می‌رفت قرنطینه اعمال شده در دوره همه‌گیری، تاثیر به‌سزایی در کاهش آلودگی هوا داشته باشد. منابع آلاینده‌های هوا در منطقه شهری عمدتاً از سوخت وسایل نقلیه، فعالیت سوختی زیست محیطی و تعلیق مجدد گرد و غبار در شهرها ایجاد می‌شود؛ پس قرنطینه می‌توانست در کاهش آمد و شد وسایل نقلیه و کاهش غلظت آلاینده‌ها تاثیرگذار بوده و به نوعی شاخص کیفیت هوا را به استانداردهای کیفیت نزدیک نماید. کشور ایران، مدت‌ها است که با مشکل آلودگی هوا مواجه است. این آلودگی که پیش‌تر و تحت تاثیر تمرکز جمعیت، منحصر به پایتخت - تهران - بود، در سال‌های پیشین در سایر شهرهای ایران نیز به شدت افزایش یافته است؛ تا جایی که در آمارهای منتشر شده از آلوده‌ترین شهرهای جهان از سوی سازمان جهانی بهداشت، نام چندین شهر از ایران در رتبه‌های نخست این فهرست به چشم می‌خورد (شاهرخ ملک زاده ۱۳۹۷).

مطالعات مختلفی در مورد تاثیر آلاینده‌های هوا و عوامل هواشناسی در طول دوره همه‌گیری کووید-۱۹ انجام شده است. برخی از مطالعات اخیر کاهش آلاینده‌های هوا مانند ذرات معلق با اندازه ۲٫۵ میکرومتر یا کمتر ($PM_{2.5}$)، ذرات معلق با اندازه

۱۰ میکرومتر یا کمتر (PM_{10})، دی اکسید نیتروژن (NO_2) و غلظت دی اکسید گوگرد (SO_2) و اثرات مثبت را با توجه به کیفیت هوا در برخی از شهرهای هند در طول همه‌گیری کووید-۱۹ (گاتام ۲۰۲۰؛ چلانی و گاتام ۲۰۲۲؛ بهروانی و همکاران ۲۰۲۱؛ بهروانی و همکاران ۲۰۲۱) و با همبستگی شدید و منفی نشان می‌دهد. نتیجه پژوهش بیکان ما و همکاران (۲۰۲۴) نشان داد که قرنطینه سبب کاهش آلاینده‌های $PM_{2.5}$ و NO_2 در چین، ایالات متحده، ایتالیا و آلمان شده است. فاضل رستگار و سیواکومار (۲۰۲۳) در پژوهشی تحت عنوان مطالعه موردی تاثیر آب و هوا بر آلودگی هوا در دوره همه‌گیری Covid-19 در آفریقای جنوبی نشان دادند که غلظت آلاینده‌های NO_2 و SO_2 کاهش یافتند و تغییر قابل توجهی در غلظت آلاینده O_3 مشاهده نشد. نتیجه پژوهش ژیاو فنگ و همکاران (۲۰۲۳) در پژوهشی که با موضوع تغییرات در آلودگی هوا و دمای سطح زمین در طول قرنطینه COVID-19 در سه شهر چین انجام دادند نشان داد که غلظت آلاینده‌های $PM_{2.5}$ ، NO_2 و CO کاهش یافتند. غلظت آلاینده‌های $PM_{2.5}$ ، NO_2 بیش از ۱۴ درصد کاهش یافتند و دمای سطح زمین در این سه شهر بیش از یک درجه سانتیگراد افزایش یافت. مهران شایگان و مرضیه مکرم (۱۴۰۲)، آلودگی هوا در دوران کرونا و پیش از آن در کلانشهرهای تهران، اصفهان و قم مورد بررسی قرار دادند و نتایج حاصل شده نشان داد که آلودگی هوا در دوران کرونا نسبت به قبل از آن کاهش یافته است، آلودگی هوای در تهران نسبت به سایر شهرهای مورد مطالعه بیشتر است و همچنین مشخص شد که افزایش دما با میزان آلودگی ارتباط معناداری دارد.

جیم گونزالس پاردو و همکاران (۲۰۲۲) در پژوهش خود به تخمین تغییرات سطوح آلودگی هوا ناشی از کووید-۱۹ با استفاده از تکنیک داده‌کاوی پرداختند که در آن پارامترهای منواکسید کربن (NO)، NO_2 ، ازن (O_3)، $PM_{2.5}$ و PM_{10} را مورد بررسی قرار داده بودند. در این تحقیق که سال ۲۰۲۰ به پنج دوره پیش از قرنطینه، قرنطینه، شدید، عادی و قرنطینه مجدد تقسیم شده بود، مشاهده شد که پارامتر اکسیدهای نیتروژن (NO_x) بیش از ۵۰٪ کاهش یافت، پارامتر O_3 در تضاد با پارامتر NO_x ، ۲۳/۹٪ افزایش یافت و همچنین پارامترهای PM_{10} و $PM_{2.5}$ نیز دارای کاهش جزئی به میزان ۴٫۱٪ و ۲٫۳٪ بودند که نشان‌دهنده

۱. Particulate Matter
۲. Nitrogen dioxide
۳. Sulfur dioxide

۴. Nitrogen monoxide
۵. Ozone
۶. Nitrogen dioxide

۱. Particulate Matter
۲. Nitrogen dioxide
۳. Sulfur dioxide

کنند، از این الگوها استفاده نموده و بدین ترتیب امکان پیش‌بینی شاخص کیفیت هوا و سطح اهمیت بهداشتی با اعمال محدودیت‌های مختلف فراهم گردد. در این مطالعه از روش داده‌کاوی که یک روش مبتنی بر داده می‌باشد استفاده خواهد شد. داده‌کاوی فرآیند به خدمت گرفتن یک روش‌شناسی رایانه‌ای است که با استفاده از تکنیک‌ها و الگوریتم‌های مختلف در جستجوی دانش نهفته در داده‌هاست (کانتاردزیچ ۲۰۰۳). این فرآیند مشارکتی میان انسان و رایانه (برسون و همکاران ۲۰۰۰) در نهایت به دنبال کشف الگوها و قواعد معنادار در میان داده‌ها بوده (بری و لینف ۲۰۰۰) و پایگاه‌های داده‌ای بزرگ را به عنوان منبع دانش در نظر می‌گیرد (لاروس ۲۰۰۵). هدف از انجام این پژوهش، مقایسه غلظت آلاینده‌ها در دوره کووید-۱۹ نسبت به قبل از آن و همچنین ارائه الگوهای پیش‌بین با استفاده از یادگیری ماشین برای کلان‌شهرهای شیراز و مشهد می‌باشد. با استفاده از الگوهای پیش‌بین، سازمان‌های مربوطه می‌توانند در شرایطی مشابه همه‌گیری کووید-۱۹ و یا در صورت عدم وجود همه‌گیری و صرفاً به منظور کنترل غلظت آلاینده‌ها در مقاطعی از سال از آنها استفاده نمایند.

مواد و روش‌ها

روش کار

در این پژوهش، برای استفاده بهینه از مجموعه داده، در برخی روزها که اطلاعات ویژگی مربوط به آن روز در دسترس نبود، از روزهای قبل استفاده شده است تا فیلدهای مربوط به آن روز کامل شود. تجمیع اطلاعات چندین ایستگاه با روش میانگین انجام شده است. قابل ذکر است که برای استفاده از این مجموعه داده در شبکه‌های عصبی لازم است استانداردسازی و نرمال‌سازی روی داده‌ها صورت پذیرد. در زمینه شبکه‌های عصبی، روش مقیاس‌کننده استاندارد (Standard Scaler) بخشی از مراحل پیش‌پردازش است و برای استانداردسازی یا عادی‌سازی داده‌های ورودی استفاده می‌شود. استانداردسازی یک روش معمول در یادگیری ماشینی، از جمله شبکه‌های عصبی، برای رساندن همه ویژگی‌ها به مقیاس مشابه است. در روش Standard Scaler اغلب از کتابخانه‌هایی مانند Scikit-learn در پایتون استفاده می‌شود. روش Standard Scaler ویژگی‌ها را با حذف میانگین و مقیاس‌بندی به واریانس واحد استاندارد می‌کند. میانگین و انحراف استاندارد هر ویژگی در داده‌های آموزشی را محاسبه می‌کند و سپس تبدیل را به مجموعه داده‌های آموزشی و آزمایشی اعمال می‌کند. فرمول تبدیل به شرح رابطه شماره ۱ است

تأثیرپذیری کم پارامترهای PM_{10} و $PM_{2.5}$ از منابع ترافیک و قرنطینه می‌باشد. سینگ ساهاران و همکاران (۲۰۲۲) در پژوهشی، عوامل تغییر آلودگی هوا را در موج دوم کووید-۱۹ در دهلی هند مورد بررسی قرار دادند که در این پژوهش مشخص شد که در سال ۲۰۲۱، غلظت آلاینده‌های PM_{10} ، $PM_{2.5}$ ، آمونیاک $(NH_3)^2$ ، NO_x ، منواکسید کربن $(CO)^3$ ، بنزن و تولوئن در طول منع رفت‌وآمد شبانه در مقایسه با دوره قبل از قرنطینه به میزان ۴٪ تا ۱۶٪ کاهش یافت. یانگ و همکارانش (۲۰۲۲) در مطالعه‌ای، پیامدهای کووید-۱۹ را بر آلودگی محیط زیست و انتشار کربن بررسی نمودند که طی این مطالعه مشاهده شد که سطوح $PM_{2.5}$ ، PM_{10} ، NO_2 و CO در بیشتر مناطق جهان کاهش یافت اما سطوح SO_2 و O_3 افزایش یافت یا تغییر قابل‌توجهی نشان نداد. آدای و همکاران (۲۰۲۲) نشان دادند که قرنطینه به دلیل کووید-۱۹ منجر به کاهش سطوح آلاینده از جمله CO_2 و NO_2 همراه با سطوح $PM_{2.5}$ شده است. در مطالعه جاسپر ویچاندز و همکاران (۲۰۲۲)، بیشترین کاهش NO_2 در طول قرنطینه اولیه در چین، اروپا و هند مشاهده شد. مطالعه ژوان یولین و همکاران (۲۰۲۲) نشان داد که کاهش قابل‌توجهی در غلظت NO_2 به میزان ۲۰٪ و ۲۵٫۹٪ در طول هشدار سطح ۳ کووید-۱۹ از ژوئن تا ژوئیه ۲۰۲۱ در مقایسه با مدت مشابه در سال‌های ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰ با سیاست دورکاری، آموزش از راه دور و کاهش جریان ترافیک رخ داده است. نتایج تحقیق گالتیری و همکاران (۲۰۲۰) حاکی از کاهش قابل توجه سطوح NO_2 ، افزایش جزئی غلظت O_3 ، کاهش PM_{10} تا ۳۱/۵٪ در پالمو و افزایش این پارامتر در ناپولی تا ۷/۳٪ و همچنین کاهش $PM_{2.5}$ بین ۱۳٪ تا ۱۷٪ بود. مطالعه دیوید هیدالگو گارسیا و جولیان آرکو دیاز (۲۰۲۱) بیانگر کاهش غلظت SO_2 به میزان ۳۳٫۵٪، NO_2 به میزان ۴۴٪، PM_{10} به میزان ۳۸٫۳٪، CO به میزان ۲۶٫۵٪ و افزایش غلظت O_3 به میزان ۵٫۹٪ بود.

در مطالعات فوق، بعضاً نتیجه‌گیری‌ها و بررسی‌ها به صورت کلی می‌باشد و یا اینکه مطالعات صورت گرفته برای یک و یا چند شهر به کل کشور تعمیم داده شده است. می‌توان گفت که در بیشتر مطالعات صورت گرفته، به توصیف و بررسی تغییر غلظت آلاینده‌ها در دوره همه‌گیری کووید-۱۹ پرداخته شده است؛ درحالی که در این مطالعه علاوه بر بررسی تغییر غلظت آلاینده‌ها در دوره همه‌گیری و مقایسه آن با دوره قبل از شروع همه‌گیری برای هر یک از کلان‌شهرها، الگوهای پیش‌بین برای هر کدام از آنها نیز به صورت جداگانه ارائه خواهد شد تا در شرایط مشابه و یا شرایطی که مسئولان مربوطه بخواهند غلظت آلاینده‌ها را کنترل

⁸ Carbon monoxide

⁷ Ammonia

الگوهای پیش‌بین مطابق با محدودیت‌های ترافیکی اعمال شده استخراج شد.

در این مرحله، داده‌های مربوطه با استفاده از نرم افزار پایتون آموزش داده شده و تست گردید. سازمان حفاظت محیط زیست ایران، برای تعیین شاخص کیفیت هوا (AQI) در هر یک از شهرهای کشور از رابطه ۲ استفاده می‌کند. در این رابطه بیشترین مقدار ثبت شده برای پارامترهای CO ، O_3 ، NO_2 ، SO_2 ، $PM_{2.5}$ و PM_{10} به عنوان شاخص کیفیت هوا مشخص و مطابق با آن، سطح اهمیت بهداشتی برای آن شهر تعیین می‌شود.

$$AQI = \text{Max}(CO, O_3, NO_2, SO_2, PM_{2.5}, PM_{10}) \quad (2)$$

در جدول ۱، شاخص کیفیت هوا متناسب با سطح اهمیت بهداشتی، دسته‌بندی شده است.

جدول ۱- شاخص کیفیت هوا براساس استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست ایران

شاخص کیفیت هوا	شماره کلاس	سطح اهمیت بهداشتی
۰-۵۰	۱	پاک
۵۱-۱۰۰	۲	سالم
۱۰۱-۱۵۰	۳	ناسالم برای گروه‌های حساس
۱۵۱-۲۰۰	۴	ناسالم
۲۰۱-۳۰۰	۵	بسیار ناسالم
۳۰۱-۵۰۰	۶	خطرناک

بیولوژیکی تشکیل‌دهنده مغز حیوانات کشف شده است، ساخته شده‌اند (هاردستی ۲۰۱۷). یک ANN بر اساس مجموعه‌ای از واحدها یا گره‌های متصل به نام نورون‌های مصنوعی است که نورون‌ها را در یک مغز بیولوژیکی مدل‌سازی می‌کنند. هر اتصال، مانند سیناپس‌های یک مغز بیولوژیکی، می‌تواند سیگنالی را به شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANNs)‌ها که به صورت مخفف به آنها شبکه‌های عصبی (NNs) هم گفته می‌شود) شاخه‌ای از مدل‌های یادگیری ماشینی هستند که با استفاده از اصول سازمان‌دهی عصبی که توسط پیوندگرایی در شبکه‌های عصبی بیولوژیکی تشکیل‌دهنده مغز حیوانات کشف شده است، ساخته شده‌اند (هاردستی ۲۰۱۷). یک ANN بر اساس مجموعه‌ای از واحدها یا گره‌های متصل به نام نورون‌های مصنوعی است که نورون‌ها را در یک مغز بیولوژیکی مدل‌سازی می‌کنند. هر اتصال، مانند سیناپس‌های یک مغز بیولوژیکی، می‌تواند سیگنالی را به نورون‌های دیگر منتقل کند. یک نورون مصنوعی سیگنال‌ها را دریافت می‌کند و سپس آنها را پردازش می‌کند و می‌تواند به نورون‌های متصل به آن سیگنال دهد.

$$X_{\text{standardized}} = X - \text{mean}(X) / \text{std}(X) \quad (1)$$

X: داده اصلی

Mean (x): میانگین x

Std(x): انحراف معیار x

در زمینه شبکه‌های عصبی، Standard Scaler بر روی ویژگی‌های ورودی قبل از تغذیه آنها به شبکه اعمال می‌گردد که معمولاً به عنوان یک مرحله پیش پردازش انجام می‌شود.

در پژوهش حاضر، با استفاده از روش یادگیری ماشینی و با نرم‌افزار پایتون (Python)، میانگین غلظت آلاینده‌ها در دوره کووید-۱۹ و قبل از آن با یکدیگر مقایسه گردید تا مشخص گردد که محدودیت‌های اعمال شده در دوره کووید-۱۹ چه تاثیری بر غلظت آلاینده‌ها داشته است. در مرحله بعد، با استفاده از شبکه‌های عصبی پیشخور^۴ (FNN) و عمیق با Dropout^۵ (DNN)،

در این تحقیق، به منظور پیش بینی سطح اهمیت بهداشتی هر یک از کلان‌شهرهای مورد مطالعه، با توجه به داده‌های موجود در طول دوره همه‌گیری که شامل غلظت آلاینده‌ها و محدودیت‌های ترافیکی می‌باشد، از محدودیت‌های اعمالی به عنوان ویژگی استفاده شد. به همین منظور، محدودیت‌های ترافیکی به عنوان هدف (Target) در نظر گرفته شد. سطح اهمیت بهداشتی شامل شش کلاس می‌باشد که عبارتند از: هوای پاک، سالم، ناسالم برای گروه‌های حساس، ناسالم، بسیار ناسالم و خطرناک. با استفاده از شبکه آموزش داده شده توسط شبکه‌های عصبی فوق، می‌توان داده‌های روزانه، ماهانه و سالانه را در شبکه آموزش دیده قرار داد و بدین ترتیب پیش‌بینی لازم صورت خواهد پذیرفت.

شبکه عصبی مصنوعی (ANN)

شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANNs)‌ها که به صورت مخفف به آنها شبکه‌های عصبی (NNs) هم گفته می‌شود) شاخه‌ای از مدل‌های یادگیری ماشینی هستند که با استفاده از اصول سازمان‌دهی عصبی که توسط پیوندگرایی در شبکه‌های عصبی

³Artificial Neural Network

⁴ Feedforward neural network

⁵ Deep neural network

گرفته نمی‌شوند. به عبارتی، Dropout یعنی اینکه در هر مرحله از آموزش، نودهایی از شبکه، با احتمال P-1 کنار گذاشته شده و نودهای دیگری با احتمال P، حفظ می‌شوند. بنابراین یک شبکه کاهش یافته باقی می‌ماند. Dropout از over-fitting جلوگیری می‌کند.

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، کلان‌شهرهای شیراز و مشهد می‌باشند. برای این تحقیق ۷ ایستگاه تحت نظارت ثبت پارامترهای آلودگی هوا انتخاب شدند. کلان‌شهر مشهد دارای ۵ ایستگاه تحت عنوانین سجاده، ساختمان، لشگر، نخریسی و ویلا و کلان‌شهر شیراز دارای ۲ ایستگاه تحت عنوانین دروازه کازرون و امام حسین می‌باشد. از هر ایستگاه، ۱۵۲۰ نمونه داده جمع‌آوری شد که ۷۹۰ نمونه مربوط به دوره Covid-19 و ۷۳۰ نمونه مربوط به دوره قبل از آن می‌باشد. لازم به ذکر است که شهرهای مورد مطالعه صرفاً شهرهای شیراز و مشهد بوده و کل استان‌های فارس و خراسان رضوی را شامل نمی‌شود. شکل ۱ موقعیت این شهرها نشان می‌دهد. داده‌های مرتبط با آلاینده‌های هوا از سازمان حفاظت محیط زیست کشور ایران به صورت روزانه از تاریخ ۱۳۹۶/۱۱/۰۱ الی ۱۴۰۰/۱۲/۲۹ در کلان‌شهرهای مشهد و شیراز جمع‌آوری شد. پارامترهای آلودگی هوا شامل CO ، O_3 ، NO_2 ، NO ، NO_x ، SO_2 ، $PM_{2.5}$ ، PM_{10} می‌باشد. داده‌های مربوط به دوران قبل از کرونا از تاریخ ۹۶/۱۱/۰۱ الی ۹۸/۱۰/۳۰ و داده‌های مربوط به دوره کرونا از تاریخ ۹۸/۱۱/۰۱ الی ۱۴۰۰/۱۲/۲۹ است.

داده‌های مرتبط با محدودیت‌های ترافیکی در دوره همه‌گیری کووید-۱۹ از وزارت کشور (مرکز ستاد ملی کرونا) دریافت شد که با توجه به تکامل محدودیت‌های کووید-۱۹ به پنج دوره تقسیم می‌شوند که عبارتند از محدودیت تردد بین استانی (ITR)، حضور یک سوم کارکنان (ATE)، تمدید خودکار اجازه‌نامه مستاجران (ART^۴)، تعطیلی همه مشاغل از ساعت ۱۸:۰۰ به غیر از مشاغل گروه یک (CAB^۵) و محدودیت تردد شبانه (NTR).

شبکه عصبی پیشخور با استفاده از TensorFlow و Keras

شبکه عصبی پیشخور (FNN) یکی از دو نوع گسترده شبکه عصبی مصنوعی است که با جهت جریان اطلاعات بین لایه‌های آن مشخص می‌شود (زل ۱۹۹۴). جریان آن یک طرفه است، به این معنی که اطلاعات در مدل تنها در یک جهت (به جلو) از گره‌های ورودی، از طریق گره‌های پنهان (در صورت وجود)، به گره‌های خروجی، بدون هیچ چرخه یا حلقه، جریان می‌یابد. برخلاف شبکه‌های عصبی بازگشتی (اشمایدهابر ۲۰۱۵) که دارای جریان دو جهته هستند، شبکه‌های پیش‌خور مدرن با استفاده از روش پس انتشار آموزش داده می‌شوند.

شبکه عصبی عمیق با Dropout

شبکه عصبی عمیق یک شبکه عصبی مصنوعی با چندین لایه بین لایه‌های ورودی و خروجی است (اشمایدهابر ۲۰۱۵؛ بنگیو ۲۰۰۹). شبکه‌های عصبی عمیق نیز مانند همه شبکه‌های عصبی دیگر از اجزای یکسانی تشکیل شده‌اند: نورون‌ها، سیناپس‌ها، وزن‌ها، سوگیری‌ها و توابع (گاوریلووا ۲۰۲۰) به دلیل اینکه DNN‌های پیچیده دارای لایه‌های زیادی هستند، شبکه‌های "عمیق" نامیده می‌شوند.

DNN‌ها می‌توانند روابط پیچیده غیرخطی را مدل کنند. معماری‌های DNN مدل‌های ترکیبی را تولید می‌کنند که در آن شی به عنوان ترکیب لایه‌ای از موارد اولیه بیان می‌شود (اسزیدی و همکاران ۲۰۱۳). لایه‌های اضافی ترکیب ویژگی‌ها را از لایه‌های پایین‌تر امکان‌پذیر می‌کنند و به طور بالقوه داده‌های پیچیده با واحدهای کمتر را نسبت به یک شبکه کم عمق با عملکرد مشابه مدل‌سازی می‌کنند (بنگیو ۲۰۰۹).

Dropout به معنای کنار گذاشتن بخش‌هایی از یک شبکه عصبی است. در یک شبکه عصبی که شامل تعدادی نورون است، Dropout به این معنا است که در حین آموزش این نورون‌ها، از تعدادی از آن‌ها به صورت تصادفی چشم‌پوشی شود. چشم‌پوشی یعنی اینکه آن نورون‌های خاص، در مسیر رفت یا برگشت در نظر

⁴. Closing of All Businesses from 18:00, except for group 1 businesses

⁵. Night Traffic Restrictions

¹. Interprovincial TRffic

². Attendance limit of one third of Employees

³. Automatic Renewal of Tenants' leases



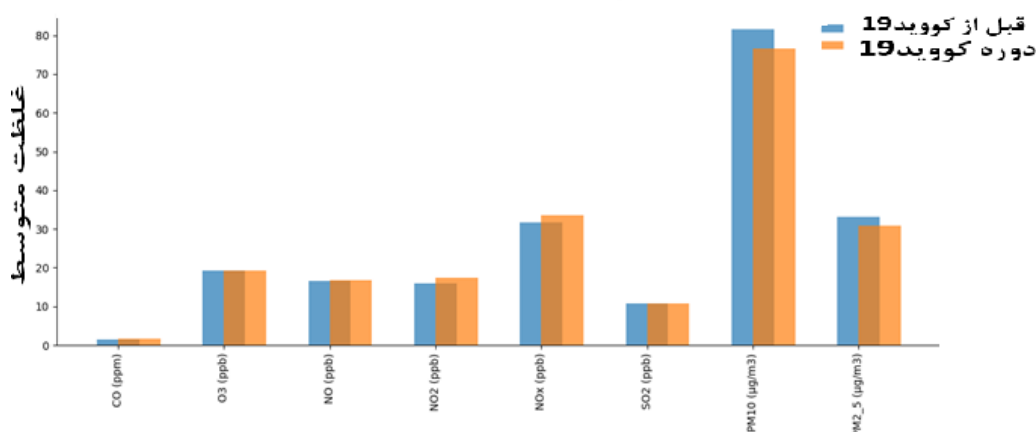
شکل ۱- موقعیت شهرهای مورد مطالعه

در این قسمت، تغییر غلظت آلاینده‌ها در دوره کووید-۱۹ نسبت به دوره قبل از همه‌گیری به تفکیک کلان‌شهرها در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است تا مشخص گردد که اعمال محدودیت‌های ترافیکی چه تاثیری بر غلظت آلاینده‌ها داشته است. این مقایسه، بینش‌هایی را در مورد تغییرات مقادیر میانگین غلظت آلاینده‌ها در دوره‌های "قبل از همه‌گیری" و "در طول همه‌گیری" ارائه می‌دهد. جدول شماره ۲ نیز نتایج تغییر غلظت آلاینده‌ها را با سایر تحقیقات مقایسه می‌کند.

نتایج و بحث

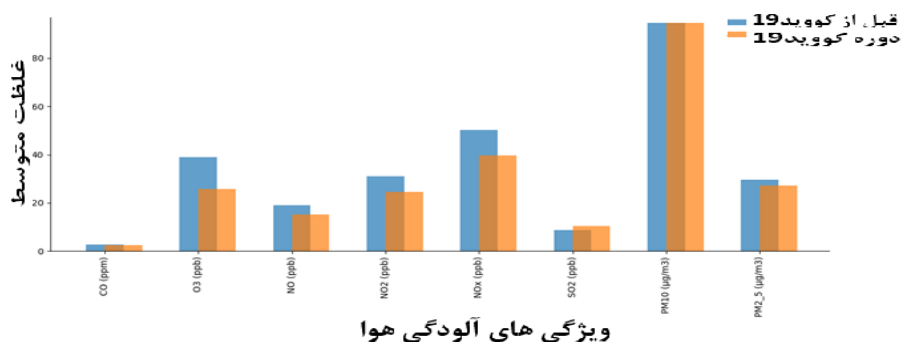
در این بخش، نتایج آزمایش و مدل‌های پیش‌بینی ارائه می‌شود. آزمایشات بر روی مجموعه داده تهیه شده برای آلودگی هوای کلان‌شهرهای مشهد و شیراز انجام می‌شود.

تغییر غلظت آلاینده‌ها در دوره کووید-۱۹ نسبت به قبل از آن



ویژگی‌های آلودگی هوا

شکل ۲- مقایسه غلظت آلاینده‌های هوا (شهر مشهد)



شکل ۳- مقایسه غلظت آلاینده‌های هوا (شهر شیراز)

۲۰۲۲ بیان نمودند که غلظت آلاینده‌های PM_{10} ، $PM_{2.5}$ ، NH_3 ، CO ، NO_x ، بنزن و تولوئن در طول منع رفت و آمد شبانه در مقایسه با دوره قبل از قرنطینه به میزان ۴٪ تا ۱۶٪ کاهش یافته است که این تغییرات بسته به اینکه محدودیت‌های مربوط به کووید-۱۹ در طول شب یا روز اعمال می‌شد و اینکه چه فعالیت‌هایی محدود بود، بسته به زمان روز، متفاوت بود. نکته قابل توجه، عدم کاهش پارامترهای SO_2 و O_3 در این دوره بود. در مقایسه با دوره قرنطینه مشابه در سال ۲۰۲۰، به جز پارامتر O_3 ، در سایر پارامترها، به میزان ۳۱٪ تا ۱۲۹٪ افزایش مشاهده شد. باتی و همکاران در سال ۲۰۲۲، بیان کردند که میانگین تغییر $PM_{2.5}$ از قبل از کووید به کووید فعال، ۱۸٪ کاهش یافته است. پس از کووید-۱۹ فقط ۲٪ کاهش یافته است. PM_{10} از قبل از کووید به کووید فعال، ۱۹٪ کاهش یافته است، اما غلظت آلاینده پس از کووید، ۲۳٪ افزایش داشته است. جدول ۲ مقایسه نتایج تحقیق حاضر با سایر تحقیقات را نشان داد.

در مقایسه با سایر تحقیقات مشابه صورت گرفته نیز می‌توان گفت که جیووانی کالتیری و همکاران در سال ۲۰۲۰، شش شهر از هشت شهر پرجمعیت ایتالیا با شرایط آب و هوایی متفاوت را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند که در آنها سطوح NO_2 به طور قابل توجهی در تمام مناطق شهری کاهش یافت (از ۲۴٫۹٪ در میلان به ۵۹٫۱٪ در ناپل). در مقابل، غلظت O_3 تقریباً بدون تغییر باقی ماند و حتی کمی افزایش یافت (تا ۱۳٫۷٪ در پالرمو و ۱۴٫۷٪ در رم). PM_{10} ، کاهش تا ۳۱٫۵٪ (پالرمو) و افزایش تا ۷٫۳٪ (ناپل) را نشان داد؛ در حالی که $PM_{2.5}$ ، کاهش ۱۳٪ الی ۱۷٪ را نشان داد. در تحقیق جیم گونزالس و همکاران در سال ۲۰۲۲، پارامتر NO_x بیش از ۵۰٪ کاهش یافت، پارامتر O_3 در تضاد با پارامتر NO_x ، ۲۳٫۹٪ افزایش یافت و همچنین پارامترهای PM_{10} و $PM_{2.5}$ نیز دارای کاهش جزئی به میزان ۴٫۱٪ و ۲٫۳٪ بودند که نشان دهنده تاثیرپذیری کم پارامترهای PM_{10} و $PM_{2.5}$ از منابع ترافیک و قرنطینه می‌باشد. سینگ ساهاران و همکاران در سال

جدول ۲- مقایسه نتایج تغییر غلظت آلاینده‌ها در دوره کووید-۱۹ نسبت به قبل از آن با سایر تحقیقات

آلاینده	تغییرات	کلان‌شهر	مطالعات همسو
CO	افزایش	مشهد	چانگ (۲۰۲۱)
	کاهش	شیراز	سahاران (۲۰۲۲) - یانگ (۲۰۲۲) - ژیانو فنگ (۲۰۲۳)
O ₃	ثابت	مشهد	فاضل رستگار و سیواکومار (۲۰۲۳)
	کاهش	شیراز	لین (۲۰۲۲)
SO ₂	افزایش	شیراز	چانگ (۲۰۲۱) - ساهاران (۲۰۲۲) - یانگ (۲۰۲۲)
	ثابت	مشهد	-
NO, NO ₂ , NO _x	افزایش	مشهد	-
	کاهش	شیراز	پاردو (۲۰۲۲) - گالتیری (۲۰۲۰) - ساهاران (۲۰۲۲) - یانگ (۲۰۲۲) - آدای (۲۰۲۲) - ویجناندز (۲۰۲۲) - لین (۲۰۲۲) - فاضل رستگار و سیواکومار (۲۰۲۳) - ژیانو فنگ (۲۰۲۳) - بیکان (۲۰۲۴)
PM ₁₀	ثابت	شیراز	-
	کاهش	مشهد	پاردو (۲۰۲۲) - گالتیری (۲۰۲۰) - ساهاران (۲۰۲۲) - یانگ (۲۰۲۲) - ویجناندز (۲۰۲۲)
PM _{2.5}	افزایش	-	-
	کاهش	مشهد و شیراز	پاردو (۲۰۲۲) - گالتیری (۲۰۲۰) - ساهاران (۲۰۲۲) - یانگ (۲۰۲۲) - آدای (۲۰۲۲) - ویجناندز (۲۰۲۲) - ژیانو فنگ (۲۰۲۴) - بیکان (۲۰۲۳)

جدول ۲ نشان داد که وضعیت غلظت آلاینده‌ها در دوره کووید-۱۹ نسبت به قبل از آن در شیراز بهتر از مشهد بوده است؛ به گونه‌ای که در شهر شیراز فقط غلظت آلاینده SO_2 افزایش، آلاینده PM_{10} ثابت و غلظت سایر آلاینده‌ها کاهش یافته بود؛ اما در مشهد، غلظت آلاینده‌های PM_{10} و $PM_{2.5}$ کاهش، آلاینده‌های O_3 و SO_2 ثابت و سایر آلاینده‌ها افزایش یافتند. علت افزایش آلاینده SO_2 در شیراز می‌تواند مازوت سوزی، استفاده از ماشین‌های سنگین و همچنین صناعی باشد که سوخت آنها سبب تولید زیاد آلاینده SO_2 می‌شود. لازم به ذکر است که تقریباً همه سوخت‌های فسیلی دارای گوگرد هستند که در جریان احتراق به صورت دی‌اکسید گوگرد وارد هوا می‌شوند. گوگرد موجود در بنزین در مقایسه با سایر منابع تولید آن ناچیز است. عموماً بالاترین سطوح SO_2 نزدیک به مجتمع‌های صنعتی است، لذا علت افزایش این آلاینده در این شهر می‌تواند این موضوع باشد که مطالعه جداگانه‌ای را نیاز دارد. پس می‌توان نتیجه گرفت که بالا بودن غلظت آلاینده SO_2 لزوماً به دلیل افزایش تردد خودروهای شخصی نبوده است. نکته جالب توجه دیگر، افزایش اکسیدهای نیتروژن و مونوکسید کربن در مشهد می‌باشد. مهم‌ترین منابع انسانی انتشار NO_2 ، فرآیندهای احتراق نظیر وسایط نقلیه، سیستم‌های گرمایش و نیروگاه‌ها می‌باشد. منبع عمده آن در مناطق شهری، حمل و نقل است. در خصوص CO نیز می‌توان گفت که منابع طبیعی و انسان‌ساخت هر دو در تشکیل مونوکسیدکربن سهیم هستند. به طور کلی منابع طبیعی در تولید مونوکسیدکربن نسبت به منابع انسان‌ساخت، سهم بیشتری دارند. علی‌رغم سهم کوچک منابع انسان‌ساخت در مقایسه با انتشار جهانی مونوکسیدکربن، تأثیر آنها نباید نادیده گرفته شود؛ زیرا منابع مصنوعی در مناطق بسیار کوچکی متمرکز شده‌اند. برای مثال ۹۸٪-۹۵٪ از مونوکسیدکربن در مناطق شهری در اثر فعالیت‌های انسانی حاصل می‌شود. بدیهی است حمل و نقل بیش از سایر فعالیت‌های انسانی (کارخانجات ذوب و پردازش فلزات، صنایع شیمیایی و زباله سوزها) در این امر نقش دارد.

همان‌گونه که از روند افزایش و یا کاهش غلظت آلاینده‌ها مشخص شد، شهرها از یک الگوی خاص پیروی نمی‌کنند و هر شهر الگوی خاص خود را دارد و در صورت اعمال محدودیت‌های یکسان برای شهرها، تغییر غلظت آلاینده‌ها متفاوت می‌باشد. عدم پیروی شهرها از الگوی یکسان در دوره کووید-۱۹، علی‌رغم اعمال محدودیت‌های مشابه را در تحقیق گالتیری و همکاران ایشان در سال ۲۰۲۰ در ایتالیا نیز می‌توان به وضوح مشاهده نمود. نتایج تحقیق گالتیری (۲۰۲۰) نشان داد که آلاینده PM_{10} در شهر پالمو، ۳۱/۵٪ کاهش و در شهر ناپولی تا ۷٪ افزایش یافته است. با مشاهده نتایج تحقیقات پیشین مشاهده شد

که آلاینده‌ها در کشورهای مختلف، تغییرات متفاوتی را در دوره کووید-۱۹ نسبت به قبل از آن از خود نشان داده‌اند. با نتایج حاصل شده می‌توان گفت که اعمال محدودیت‌های ترافیکی در دوره همه‌گیری، تأثیر قابل توجه و محسوسی در کاهش غلظت آلاینده‌های هوا در کلان‌شهر مشهد نداشته است. البته این موضوع می‌تواند دلایل مختلفی داشته باشد که از آن جمله می‌توان به تردد با وسیله نقلیه شخصی به جای استفاده از وسایل نقلیه عمومی در اثر ترس و نگرانی از ابتلا به بیماری اشاره کرد. دلیل دیگر آن برداشته شدن برخی از محدودیت‌های ترافیکی و طرح‌های ترافیک به دلیل فراهم نمودن امکان استفاده از وسایل نقلیه شخصی توسط افراد در راستای رعایت فاصله‌گذاری اجتماعی می‌باشد. یکی از دلایل مهم دیگر که جای تامل داشته و می‌تواند در تحقیقات آتی نیز مورد توجه قرار گیرد، تأثیر سایر عوامل ایجاد آلودگی هوا شامل صنایع، کارخانجات، پالایشگاه‌ها، نیروگاه‌ها، وارونگی دما، مصارف خانگی، زباله سوزی و موارد مشابه می‌باشد که ممکن است درصد بالایی از سهم آلودگی را شامل شده و به عبارتی در مقایسه با تأثیر آلودگی ناشی از تردد خودروها سهم قابل توجهی داشته باشد. نکته مهم دیگری که می‌توان به آن اشاره نمود، موقعیت جغرافیایی دو کلان‌شهر مشهد و شیراز می‌باشد که می‌تواند به عنوان یک عامل تأثیرگذار در میزان غلظت آلاینده‌ها عمل نماید.

در تحقیقی که احمدی و همکاران ایشان (۱۳۹۸) با موضوع بررسی تغییرات مکانی و زمانی انتشار آلاینده‌های CO و NO_x ناشی از وسایل نقلیه موتوری در شهر رشت انجام دادند، مشاهده شد که سهم اصلی انتشار CO در ترافیک رشت را خودروهای سواری دارا می‌باشند؛ به گونه‌ای که حدود ۸۸٪ آلاینده CO توسط خودروهای سواری تولید می‌شود. در مورد NO_x نیز وضعیت مشابه CO می‌باشد، با این تفاوت که حدود ۵۵٪ آلاینده NO_x توسط سواری‌ها تولید می‌شود. افزایش این آلاینده در کلان‌شهر مشهد می‌تواند موبد این موضوع باشد که علی‌رغم اعمال محدودیت‌های تردد، تردد با خودروی شخصی در دوره کووید-۱۹ به دلایلی که در بالا عنوان گردید افزایش یافته است.

الگوهای پیش بین با استفاده از شبکه‌های عصبی

اساس این تحقیق، بررسی آلاینده‌های هر شهر به صورت جداگانه و عدم تعمیم آنها به یکدیگر می‌باشد؛ به گونه‌ای که برای هر یک از کلان‌شهرها، الگوی جداگانه‌ای در نظر گرفته شود. بدین منظور، شبکه‌های عصبی پیش‌خور و عمیق در نظر گرفته می‌شود و بر همین اساس اقدام به کدنویسی برای هر شهر شده و سپس نمودارهای مربوطه استخراج و تحلیل می‌گردد. مدل‌های به دست آمده می‌توانند در پیش‌بینی کیفیت هوا بر اساس ویژگی‌های در نظر گرفته شده مورد استفاده قرار گرفته و مسئولان مربوطه را در

لیبل که دارای ۶ کلاس سطح اهمیت بهداشتی به صورت زیر است، در داده‌ها نمایش داده می‌شود.
 کلاس ۱: پاک کلاس ۲: سالم کلاس ۳: ناسالم برای گروه‌های حساس کلاس ۴: ناسالم کلاس ۵: بسیار ناسالم کلاس ۶: خطرناک
 مشخصات ساختارها در شبکه‌های عصبی استفاده شده نیز در جدول ۳ عنوان شده است:

تصمیم‌گیری‌های مرتبط با آلودگی هوا یاری رسانند. محدودیت‌های ترافیکی تعریف شده عبارتند از محدودیت تردد بین استانی (ITR)، حضور یک سوم کارکنان (ATE)، تمدید خودکار اجاره نامه مستاجران (ART)، تعطیلی همه مشاغل از ساعت ۱۸ به غیر از مشاغل گروه یک (CAB) و محدودیت تردد شبانه (NTR). اگر این محدودیت‌ها (ویژگی‌ها) وجود داشته باشند مقدار ۱ و در غیر اینصورت مقدار ۰ می‌گیرند. هدف، طبقه‌بندی نمونه‌ها به کلاس‌های مختلف است که توسط ستون

جدول ۳- مشخصات ساختار شبکه‌های عصبی

ساختار	نام شبکه	مدل شبکه عصبی
FNN	شبکه عصبی پیشخور با استفاده از TensorFlow و Keras	لایه ورودی با ۶۴ نورون و عملکرد فعال سازی ReLU. لایه پنهان با ۳۲ نورون و عملکرد فعال سازی ReLU. لایه خروجی با ۶ نورون (برای ۶ کلاس) و عملکرد فعال سازی softmax.
DNN	شبکه عصبی عمیق با Dropout	لایه ورودی: لایه متراکم با ۱۲۸ نورون (واحد). بعد ورودی با تعداد ویژگی‌های مجموعه داده ما تعیین می‌شود (input_dim=X_train.shape[1]). تابع فعال سازی واحد خطی اصلاح شده (ReLU) است. لایه حذفی: لایه‌های Dropout با تنظیم تصادفی کسری از واحدهای ورودی بر روی ۰ در طول تمرین، به جلوگیری از برآزش بیش از حد کمک می‌کنند. در این حالت، پس از اولین لایه متراکم، یک لایه حذف با نرخ افت ۰.۵ (۵۰٪) اضافه می‌شود. لایه پنهان: لایه متراکم با ۶۴ نورون. تابع فعال سازی ReLU است. لایه حذفی: بعد از لایه دوم Dense یک لایه دیگر با نرخ افت ۰.۵ اضافه می‌شود. لایه پنهان: لایه متراکم با ۳۲ نورون. تابع فعال سازی ReLU است.

مطلق^۴، حداکثر خطای مطلق^۵ و ضریب همبستگی^۶ استفاده شد. هر چقدر مقدار خطا در شبکه کمتر باشد نشان از آن است که شبکه به خوبی آموزش دیده است و داده‌های تست را با درصد خطای کمتری می‌تواند پیش‌بینی کند.

شایان ذکر است به منظور به دست آوردن میزان خطای مدل با توجه به داده‌های ورودی داده شده به مدل جهت آموزش و براساس معیارهای مختلف محاسبه خطا، از معیارهای میانگین مربعات خطا (MSE) میانگین مربعات خطای نرمال شده (NMSE)، میانگین خطای مطلق (MAE)، حداقل خطای

⁴. Minimum Absolute Error

⁵. Maximum Absolute Error

⁶. Correlation Coefficient

¹. Mean Squared Error

². Normalized Mean Squared Error

³. Mean Absolute Error

داد. دقت بالای تست نشان داد که مدل روی داده‌های دیده نشده عملکرد خوبی داشته است. نتایج ساختارها در شبکه های عصبی استفاده شده در جدول ۴ ارائه شده است که دارای معیارهای عملکردی برای مدل‌های مختلف است که به نوعی به پیش‌بینی یا تخمین مربوط می‌شود.

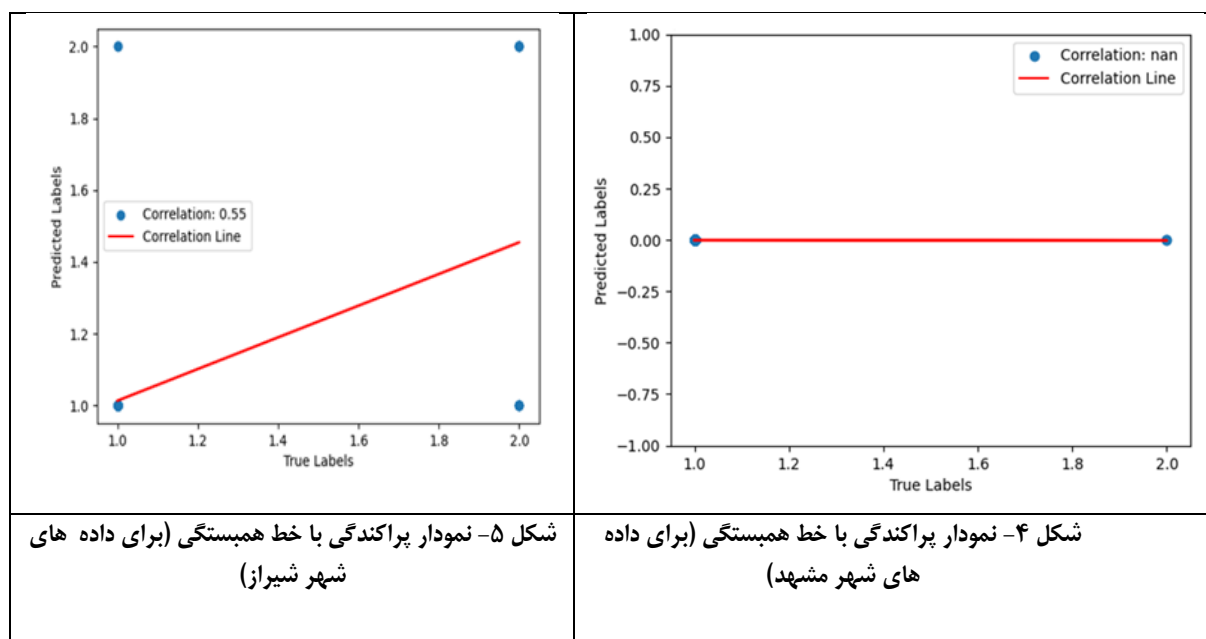
در این مرحله به بررسی داده های هر یک از کلان‌شهرها با استفاده از پایتون پرداخته شده است. دقت تست شبکه عصبی آموزش دیده بر روی مجموعه داده شهر مشهد تقریباً ۹۸٪ و داده شهر شیراز ۹۵٪ بود. این معیار نسبت نمونه‌های به‌درستی طبقه‌بندی شده در مجموعه آزمایشی را نشان

جدول ۴- نتایج معیارهای عملکردی برای مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی در شهرهای مشهد و شیراز

شهر	ساختار	میانگین مربعات خطا	میانگین مربعات خطای نرمال شده	میانگین خطای مطلق	مینیمم خطای مطلق	ماکزیمم خطای مطلق	ضریب همبستگی
مشهد	FNN	۰/۰۱۲۴۵	۰/۰۱۲۴۵	۰/۰۱۲۵۳	۰	۱	۰
	DNN	۰/۰۱۲۲۱	۰/۰۱۲۲۱	۰/۰۱۱۸۸	۰	۱	۰
شیراز	FNN	۰/۰۵۰۶۳	۰/۰۵۰۶۳	۰/۰۴۸۳۶	۱	۲	۰/۵۵۳۰۲
	DNN	۰/۰۵۱۲۹	۰/۰۵۱۲۹	۰/۰۴۹۰۱	۱	۲	۰/۵۴۵۳۷

مقادیر ارائه شده برای هر مدل (DNN و FNN) نشان داد که آنها عملکرد مشابهی در اکثر معیارها، با تغییرات جزئی داشته‌اند. مدل‌ها عموماً دارای میانگین مربعات خطاهای پایین، میانگین مربعات خطاهای نرمال شده و میانگین خطاهای مطلق هستند. حداقل خطای مطلق ۰ بود که نشان داد مواردی وجود دارد که پیش‌بینی‌ها کاملاً با مقادیر واقعی مطابقت داشته‌اند.

مقدار ضریب همبستگی نشان دهنده عدم همبستگی و یا همبستگی خیلی ضعیف بین مقادیر پیش‌بینی شده و واقعی برای این مدل می‌باشد. نمودار پراکندگی با خط همبستگی به ما بینشی در مورد رابطه بین برچسب‌های واقعی (y_{true}) و برچسب‌های پیش‌بینی شده (y_{pred_labels}) داد. ضریب همبستگی یک معیار عددی برای قدرت و جهت این رابطه است و نمودار پراکندگی به صورت بصری این رابطه را نشان می‌دهد. شکل‌های شماره ۴ و ۵، به ترتیب نمودار پراکندگی با خط همبستگی برای داده‌های شهر مشهد و شیراز را نشان می‌دهد.



شکل ۵- نمودار پراکندگی با خط همبستگی (برای داده های شهر شیراز)

شکل ۴- نمودار پراکندگی با خط همبستگی (برای داده های شهر مشهد)

است. در شهر مشهد، همبستگی ضعیف و یا عدم همبستگی مشاهده شد، در حالی که در شهر شیراز، شاهد یک ضریب همبستگی مثبت و برابر با ۰/۵۵ بودیم که نشان داد پیش‌بینی‌های مدل با افزایش مقادیر واقعی تمایل به افزایش داشتند. در مرحله بعد، مدل شبکه عصبی از پیش آموزش دیده از فایل ذخیره شده بارگیری گردید. این فایل باید شامل معماری و وزن مدل آموزش دیده باشد. داده‌های تست جدید با استفاده از مقیاس‌کننده مشابهی که در طول آموزش شبکه عصبی استفاده شده بود، استاندارد شد. این موضوع تضمین کرد که ویژگی‌ها به طور مداوم تغییر می‌کنند. مدل از پیش آموزش داده شده برای پیش‌بینی داده‌های آزمون جدید مقیاس شده استفاده شد. سپس داده‌های جدول ۵ را به عنوان مجموعه داده ورودی به برنامه در نظر گرفتیم.

هر نقطه در نمودار پراکندگی نشان دهنده یک جفت برچسب درست و پیش‌بینی شده برای یک نمونه خاص در مجموعه آزمایشی بود. هر نقطه در نمودار مربوط به یک نمونه در مجموعه آزمایشی است و موقعیت آن نشان داد که پیش‌بینی‌های مدل چقدر با برچسب‌های واقعی همسو بودند. اگر خط همبستگی دارای شیب مثبت باشد، همبستگی مثبت را نشان می‌دهد، به این معنی که با افزایش مقادیر واقعی، مقادیر پیش‌بینی شده نیز تمایل به افزایش دارند. مقدار عددی ضریب همبستگی، قدرت و جهت رابطه خطی بین برچسب‌های واقعی و پیش‌بینی شده را نشان می‌دهد. ضریب همبستگی نزدیک به ۱، یک همبستگی خطی مثبت قوی را نشان می‌دهد، در حالی که مقدار نزدیک به -۱ نشان دهنده یک همبستگی خطی منفی قوی است. مقدار نزدیک به ۰ نشان دهنده یک همبستگی خطی ضعیف یا بدون همبستگی

جدول ۵- مجموعه داده ورودی جهت پیش‌بینی سطح اهمیت بهداشتی

روزهای هفته	ITR	ATE	ART	CAB	NTR
روز اول	۱	۱	۰	۰	۰
روز دوم	۱	۱	۰	۰	۰
روز سوم	۱	۱	۰	۰	۰
روز چهارم	۱	۱	۰	۱	۰
روز پنجم	۱	۱	۰	۰	۰
روز ششم	۱	۰	۰	۰	۰
روز هفتم	۱	۰	۰	۰	۰

به عنوان ورودی به برنامه در نظر گرفتیم. برنامه با استفاده از مدل از پیش آموزش دیده، مقادیر هدف که همان کلاس‌های ۶ گانه مورد نظرمان درباره هوا بود را پیش‌بینی کرد. قابل ذکر است که داده‌ها برای یک هفته در نظر گرفته شده بودند و این داده‌ها می‌توانستند به صورت روزانه، هفتگی، ماهانه یا سالانه در نظر گرفته شوند. نتیجه خروجی برنامه برای پیش‌بینی مقادیر هدف در جدول ۶ آورده شده است.

ستون اول مربوط به ویژگی محدودیت تردد بین استانی، ستون دوم مربوط به ویژگی حضور یک سوم کارکنان، ستون سوم مربوط به ویژگی تمدید خودکار اجازه نامه مستاجران، ستون چهارم مربوط به ویژگی تعطیلی همه مشاغل از ساعت ۱۸ به غیر از مشاغل گروه یک و در نهایت ستون پنجم مربوط به ویژگی محدودیت تردد شبانه بود. در این حالت اگر هر ویژگی‌ای در روز مختص به خودش وجود داشت، مقدار عددی ۱ و در غیر اینصورت ۰ در نظر گرفته شد. پس از آماده‌سازی مجموعه داده، این مجموعه داده را

جدول ۶- پیش‌بینی کلاس و سطح اهمیت بهداشتی مطابق با مجموعه داده ورودی شهرهای مشهد و شیراز

روز	مشهد		شیراز	
	کلاس پیش‌بینی شده	سطح اهمیت بهداشتی	کلاس پیش‌بینی شده	سطح اهمیت بهداشتی
اول	۲	سالم	۲	سالم
دوم	۲	سالم	۲	سالم
سوم	۲	سالم	۲	سالم
چهارم	۲	سالم	۳	ناسالم برای گروه‌های حساس
پنجم	۲	سالم	۲	سالم
ششم	۲	سالم	۲	سالم
هفتم	۲	سالم	۲	سالم

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

با توجه به اعمال محدودیت‌های ترافیکی صورت گرفته در دوره همه‌گیری کووید-۱۹، تصمیم بر آن شد تا برای هر یک از کلان‌شهرهای شیراز و مشهد الگویی استخراج شود تا با استفاده از آموزش داده‌های جمع‌آوری شده، بتوان شاخص کیفیت هوا را با اعمال محدودیت‌های مختلف در روزها، هفته‌ها، ماه‌ها و حتی سالهای متفاوت پیش‌بینی کرد. به همین منظور با استفاده از شبکه‌های عصبی، اقدام به کدنویسی شد تا با توجه به داده‌های جمع‌آوری شده برای هر شهر، الگوی هر شهر استخراج گردد. جهت تست مدل نیز، هفت روز در نظر گرفته شد و ملاحظه شد که با اعمال محدودیت‌های یکسان در دو کلان‌شهر، شاخص کیفیت هوا می‌تواند در آنها متفاوت باشد. با توجه به توضیحات فوق می‌توان گفت مطالعاتی که به بررسی داده‌های یک یا چند شهر پرداخته و یا نتایج چند شهر را با هم ادغام نموده و آن را به کل کشور و یا حتی جهان تعمیم می‌دهند، ممکن است دارای خطا بوده و تصمیم‌گیران حوزه زیست محیطی را دچار اشتباه نمایند. مطالعه حاضر نتیجه تغییرات غلظت آلاینده‌های هوا در اثر محدودیت‌های ترافیکی اعمال شده در کلان‌شهرهای مشهد و شیراز در طول دوره همه‌گیری کووید-۱۹ را نیز نشان داد.

در مقایسه غلظت آلاینده‌ها در دوره کووید-۱۹ نسبت به قبل از آن در شهر شیراز، مشاهده شد که بیشترین کاهش مربوط به O_3 و اکسیدهای نیتروژن به ترتیب به میزان ۳۴ درصد و ۲۱ درصد می‌باشد؛ این درحالی است که در شهر مشهد، غلظت آلاینده O_3 تغییر محسوسی نداشته و غلظت اکسیدهای نیتروژن نیز به طور متوسط به میزان ۷ درصد افزایش یافته است. تغییر غلظت آلاینده $PM_{2.5}$ در هر دو شهر تقریباً نزدیک به هم می‌باشد به گونه‌ای که غلظت آن در شهر شیراز، ۸ درصد و در شهر مشهد ۷ درصد کاهش یافته است. غلظت آلاینده CO در شهر شیراز، ۱۱ درصد کاهش و در شهر مشهد، ۹ درصد افزایش یافته است. نکته جالب توجه در این تحقیق، عدم تغییر محسوس آلاینده PM_{10} و همچنین افزایش غلظت آلاینده SO_2 به میزان ۱۸ درصد در شهر شیراز می‌باشد و این در حالی است که در شهر مشهد، غلظت آلاینده PM_{10} به میزان ۶ درصد کاهش یافته و غلظت آلاینده

SO_2 نیز تغییر محسوسی نداشته است. عدم تغییر غلظت آلاینده PM_{10} در شهر شیراز که دارای محدودیت تردد خودرو در دوره همه‌گیری بوده است، می‌تواند مصرف بالای سوخت‌های فسیلی (به ویژه سوخت‌های سرب‌دار)، وجود کارخانه سیمان، تخریب پوش گیاهی و تغییر کاربری مراتع و زمین‌های کشاورزی رها شده در اطراف شهر شیراز باشد.

با توجه به نتایج حاصل شده از مقایسه غلظت آلاینده‌ها در دو کلان‌شهر مشهد و شیراز، الگوی افزایشی و یا کاهشی یکسانی در این دو شهر دیده نمی‌شود، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که تاثیر محدودیت‌ها در شهرهای مختلف، بر روی غلظت آلاینده‌ها متفاوت می‌باشد. لذا اعمال محدودیت‌های یکسان در تمامی شهرها، لزوماً منجر به کاهش آلودگی نشده و می‌بایست برای برای هر موقعیت شهری و زیست‌محیطی، الگوی محدودیت‌های ترافیکی مختص آن موقعیت تهیه گردد. از تحقیق حاضر و همچنین سایر تحقیقات مشابه صورت گرفته می‌توان نتیجه گرفت که نمی‌توان نتایج تحقیق یک یا چند شهر و یا کشور را به سایر مناطق تعمیم داد.

به منظور تهیه و تدوین سند راهبردی و مدیریت بحران آلودگی، می‌توان از الگوهای پیش بین استخراج شده از تحقیق حاضر بهره برد. الگوی حاصل از این تحقیق را می‌توان به صورت روزانه، هفتگی، ماهانه و سالانه برای هر یک از دو کلان‌شهر مورد استفاده قرار داد و نتیجه گرفت که کدام محدودیت‌ها در کدام شهر سبب خواهد شد تا بتوان شاخص کیفیت هوا را کنترل کرد. پیشنهاد می‌گردد که تعداد ایستگاه‌های پایش آلودگی هوا در هر شهر به صورت استاندارد در نظر گرفته شود تا خطای الگوهای پیش بین استخراج شده کاهش یابد و سازمان‌های ذیربط از تعمیم الگوها به شهرهای دیگر خودداری نموده و برای هر شهر، مطالعه جداگانه‌ای انجام داده و الگوهای مربوطه را استخراج و بکار گیرند. همچنین جهت تاثیرپذیری غلظت آلاینده‌ها از منابع انتشار مختلف، پیشنهاد می‌گردد درصد سهم منابع انتشار آلودگی در تولید و افزایش غلظت هر یک از آلاینده‌ها مشخص گردد که در این مورد نیز با توجه به متفاوت بودن تراکم جمعیت در شهرهای مختلف، صنعتی بودن شهر، شرایط جغرافیایی و ...، نتایج به دست آمده می‌تواند در نوع خود جالب باشد.

References

1. Ahmadi Arkami A, Kamkar A, Aghajani Z. Investigating the spatial and temporal changes of CO and NOX emissions caused by motor vehicles using MOVES software: a case study of Beheshti Boulevard and Modares in Rasht. Iranian Journal

of Health and Environment. 1398. 12th volume, 2nd issue. pages 203-216. . <https://ijhe.tums.ac.ir/article-1-6212-fa.html> [In Persian]

2. Bengio Y. Learning Deep Architectures for AI (PDF). Foundations and Trends in Machine Learning. 2009. 2 (1): 1–127. CiteSeerX 10.1.1.701.9550. S2CID 207178999. Archived from the original (PDF) on 4 March 2016. Retrieved 3 September 2015. doi: 10.1561/2200000006
3. Berry M, Linoff G. Mastering Data Mining, John Wiley, Hoboken, NJ. 2000. doi.org/10.1108/imds.2000.100.5.245.2
4. Berson A, Smith S, Thearling K. Building Data Mining Applications for CRM, McGraw Hill. 2000. <https://search.worldcat.org/title/building-data-mining-applications-for-crm/oclc/47008776>
5. Bhatti U.A, Zeeshan Z, Nizamani M.M, Bazai S, Yu Z, Yuan.L. Assessing the change of ambient air quality patterns in Jiangsu Province of China pre-to post-COVID-19. 2022. Chemosphere, Vol.288, 132569. doi: 10.1016/j.chemosphere.2021.132569
6. Bherwani H, Gautam S, Gupta A. Qualitative and quantitative analyses of impact of COVID-19 on sustainable development goals (SDGs) in Indian subcontinent with a focus on air quality. 2021. Int. J. Environ. Sci. Technol. 18 (4) (2021) 1019–1028. doi.org/10.1007/s13762-020-03122-z
7. Bherwani H, Kumar S, Musugu K, Nair M, Gautam S, Gupta A, Ho C-H, Anshul A, Kumar R. Assessment and valuation of health impacts of fine particulate matter during COVID-19 lockdown: a comprehensive study of tropical and sub tropical countries, Environ. Sci. 2021. Pollut. Res. 28 (32) (2021) 44522–44537. doi.org/10.1007/s11356-021-13813-w
8. Chang H, Chad D, Feng A. COVID-19 prevention, air pollution and transportation patterns in the absence of a lockdown. 2021. Journal of Environmental Management 298 (2021) 113522. doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113522
9. Chelani A, Gautam S. Lockdown during COVID-19 pandemic: a case study from Indian cities shows insignificant effects on persistent property of urban air quality, Geosci. Front. 2022. 13 (6) (2022), 101284. doi.org/10.1016/j.gsf.2021.101284
10. Fazel-Rastegar F, Sivakmar V. A case study of weather impact on air pollution during the COVID-19 pandemic in South Africa. Scientific African. 2023. Volume 22, November 2023, e01914. doi.org/10.1016/j.sciaf.2023.e01914
11. Gautam S, Samuel C, Gautam A, Kumar S. Strong link between coronavirus count and bad air: a case study of India. 2021. Environ. Dev. 2021. Sustain. 23 (11) (2021) 16632–16645. doi.org/10.1007/s10668-021-01366-4
12. Gautam S. The influence of COVID-19 on air quality in India: a boon or inutile, Bull. Environ. 2020. Contam. Toxicol. 104 (6) (2020) 724–726. doi.org/10.1007/s00128-020-02877-y
13. GavriloVA Y. A Guide to Deep Learning and Neural Networks. archived from the original on 2020-11-02, retrieved 2020-11-16. 2020. <https://serokell.io/blog/deep-learning-and-neural-network-guide>
14. Gonzalez-pardo J, Ceballos-Santos S, Manzanas R, Santibanez M, Fernandez-Olmo I. Estimating change in air pollutant levels due to COVID-19 lockdown measures based on a business-as-usual prediction scenario using data mining models: A case-study for urban traffic sites in Spain. 2022. Sci. Total Environ. 823, 153786. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153786
15. Gualtieri G, Brilli L, Carotenuto F, Vagnoli C, Zaldei A, Gioli B. Quantifying road traffic impact on air quality in urban areas: A COVID-19 –induced lockdown analysis in Italy. 2020. Environmental pollution 267(2020) 115682. doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115682
16. Hardesty L. "Explained: Neural networks". MIT News Office. 2017. Retrieved 2 June 2022. <https://news.mit.edu/2017/explained-neural-networks-deep-learning-0414>
17. Hidalgo García D, Diaz J.A, Impacts of the COVID-19 confinement on air quality, the Land Surface Temperature and the urban heat island in eight cities of Andalusia (Spain). 2021. Remote Sensing Applications: Society and Environment. 25. doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100667
18. Kantardzic M. Data Mining: Concepts, Models, Methods, and Algorithms. 2003. John Wiley. <https://ieeexplore.ieee.org/book/5265979>
19. Kolluru S.S.R, Nagendra S.M, Patra A.K, Gautam S, Alshetty V.D, Kumar P. Did unprecedented air pollution levels cause spike in Delhi's COVID cases during second wave? 2022. in: Stochastic Environmental Research and Risk Assessment. pp. 1–16. doi.org/10.1007/s00477-022-02308-w
20. Larose D, Larose C. Discovering Knowledge in Data. 2014. John Wiley. doi:10.1002/9781118874059
21. Lin G. Y, Chen W. Y, Chieh S. H, & Yang Y. T. Chang impact analysis of level 3 COVID-19 alert on air pollution indicators using artificial neural network. 2022. Ecological informatics. 69, 101674. doi.org/10.1016/j.ecoinf.2022.101674
22. Malekzadeh Sh. Investigation and assessment of air pollution in cities and the need to implement laws to reduce pollution, the fourth national conference on urban planning, architecture, construction and environment. 1397. Shirvan. <https://civilica.com/doc/774175> [In Persian]
23. McDuffie E, Martin R, Yin H, Brauer M. Global Burden of Disease from Major Air Pollution Sources (GBD MAPS): A Global

- Approach. Research Report 210. 2021. Boston, MA:Health Effects Institute. PMID: PMC9501767. PMID: 36148817 <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36148817>
24. Munnoli P M, Nabapure S, Yeshavanth G. Post-COVID-19 precautions based on lessons learned from past pandemics: a review. 2020. J. Public Health 1–9. doi.org/10.1007/s10389-020-01371-3
 25. Sanchez-Lorenzo A, Vaquero-Martínez J, Calbó J, Wild M, Santurtún A, Lopez-Bustins J, Vaquero J, Folini D, Antón M. Did anomalous atmospheric circulation favor the spread of COVID-19 in Europe? 2020. Environ. Res. 194, 110626. doi.org/10.1016/j.envres.2020.110626
 26. Schmidhuber J. Deep Learning in Neural Networks: An Overview". Neural Networks. 2015. 61: 85–117. arXiv:1404.7828. PMID 25462637. S2CID 11715509. doi:10.1016/j.neunet.2014.09.003
 27. Shaygan M, Mokarram M. Investigating Air Pollution during the Corona Era and before that in the Metropolises of Tehran, Isfahan and Qom. 1402. doi.org/ 10.48308/GISJ.2023.103607 [In Persian]
 28. Singh Saharan U, Kumar R, Tripathy P, Sateesh M, Grag J, Kumar Sharma S, Kumar Mandal T. Drivers of air pollution variability during second wave of COVID-19 in Delhi, India. 2022. Urban climate 41 (2022) 101059. doi.org/10.1016/j.uclim.2021.101059
 29. Szegedy C, Toshev A, Erhan D. Deep neural networks for object detection. 2013. Advances in Neural Information Processing Systems: 2553–2561. Archived from the original on 2017-06-29. Retrieved 2017-06-13. https://proceedings.neurips.cc/paper_files/paper/2013/file/f7cade80b7cc92b991cf4d2806d6bd78-Paper.pdf
 30. Uday U, Bethineedi L. D, Hasanain M, Ghazi B. K, Nadeem A, Patel P, Khalid Z. Effect of COVID-19 on air pollution related illnesses in India. 2022. Annals of medicine and surgery 78, 103871. doi.org/10.1016/j.amsu.2022.103871
 31. Wijnands J. S, Nice K.A, Seneviratne S, Thompson J, Stevenson M. The impact of the COVID-19 pandemic on air pollution: A global assessment using machine learning techniques. Atmospheric pollution research. 2022. doi.org/10.1016/j.apr.2022.101438
 32. Yang M, Chen L, Msigwa G, Tang K.H.D, Yap p-s. Implications of COVID-19 on global environmental pollution and carbon emissions with strategies for sustainability in the COVID-19 era. 2022. Sci. Total Environ, Vol.809, 151657. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151657
 33. Yiqun M, Federica N, Anne M, Robert D, Patrick L, Annette P, Massimo S, Susanne B, Kai C. Air pollution changes due to COVID-19 lockdowns and attributable mortality changes in four countries. 2024. doi.org/10.1016/j.envint.2024.108668
 34. Zell A. Simulation Neuronaler Netze [Simulation of Neural Networks] (in German) (1st ed.). 1994. Addison-Wesley. p. 73. ISBN 3-89319-554-8. <https://www.amazon.com/Simulation-Neuronaler-Netze-German-Andreas/dp/3486243500>
 35. Zihao F, Xuhong W, Jiabin Y, Ying Z, Mengqianxi Y. Changes in air pollution, land surface temperature, and urban heat islands during the COVID-19 lockdown in three Chinese urban agglomerations. 2023. Science of the Total Environment 892 (2023) 164496. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164496



Data Mining Model Based on Machine Learning to Predict Air Pollution in The Metropolises of Iran

Abbas Maleki PhD Student, Department of Industrial Management, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran
Sadegh Abedi * Assistant Professor, Department of Industrial Management, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran
Alireza Irajpour Assistant Professor, Department of Industrial Management, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran

Extended Abstract

Received: 28 April 2024

Accepted: 29 May 2024

Keywords: Covid-19, Iranian Metropolises, Machine Learning, Neural Network, Prediction Of Air Pollution.

Introduction: In response to the Covid-19 pandemic, governments around the world have imposed severe restrictions and presented different scenarios of reducing emissions from traffic sources. With the application of traffic restrictions due to the covid-19 epidemic and quarantine, it seemed that there was a reduction in the traffic of vehicles and the concentration of pollutants and the air quality index approached the quality standards. Therefore, it was expected to see changes in the concentration of CO, O₃, NO, NO₂, NO_x, SO₂, PM_{2.5} and PM₁₀ pollutants, which are pathogenic factors and sometimes premature death.

Materials and Methods: Using the data mining method, in the first stage, the change in the concentration of pollutants in the period of the Covid-19 epidemic compared to the period before it is investigated in order to determine what effect the application of traffic restrictions has on the change in the concentration of pollutants in each from the metropolises of Tehran and Shiraz. In the second stage, predictive models are presented using feedforward and deep neural networks to predict the level of health importance based on the application of each of the traffic restrictions in each metropolis.

Results and Discussion: This study shows that the change in the concentration of pollutants during the covid-19 era is different compared to before, in the cities of Tehran and Shiraz; In such a way that the concentration of most pollutants increased in Tehran metropolis and decreased in Shiraz metropolis. According to the result obtained and the difference in the process of changing the concentration of pollutants, in order to control the air quality index, predictive models were presented for each metropolis.

Conclusion: For pollutants, the same increasing or decreasing pattern is not seen in the studied metropolises, so it can be said that the effect of the same restrictions on changing the concentration of pollutants is different in different cities; Therefore, applying the same restrictions in all cities does not necessarily lead to a reduction in pollution, and for each urban and environmental situation, a model of traffic restrictions specific to that situation should be prepared.

Corresponding author: Sadegh Abedi

Address: Department of Industrial Management, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran. **Tel:** +989128173662

Email: abedi.sadegh@gmail.com

Citation: Maleki A, Abedi S, Irajpour A. Data Mining Model Based on Machine Learning to Predict Air Pollution in The Metropolises of Iran, *New Researches in Environmental Engineering*, 2024; 2(5): 1-9.



© 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.



تجمع فلزات سنگین در گونه گنجشک خانگی در پارک های شهر تهران

آنا اسمعیلی

شهرزاد خرم نژادیان*

بهمن شمس اسفند آباد

سعید رضا عاصمی زواره

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

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

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

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

چکیده مبسوط

مقدمه: با افزایش ورود آلاینده ها به محیط، تجمع فلزات سنگین در بافت های زنده دیده می شود. پایش زیستی روشی برای برآورد انتقال فلزات سنگین از محیط به زنجیره غذایی و بافت های زنده می باشد. هدف از این تحقیق تعیین توانایی بافت پر گنجشک خانگی بعنوان پایشگر آلاینده ها در محیط شهری می باشد. گنجشک خانگی در بسیاری از شهرها پراکنش قابل توجهی دارد. در این پژوهش تجمع فلزات سنگین در بافت عضلانی و پر گنجشک خانگی در پارک های مختلف شهر تهران اندازه گیری شده است.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۲۸

مواد و روش ها: از پر گنجشک های پارک های نیاوران، ساعی، ملت، لاله، طالقانی، فدک، شهر و یادمان نمونه برداری شده است. جمع آوری پرها از نزدیکی آشپزخانه ها صورت گرفت. اندازه گیری تجمع فلزات سنگین با استفاده از دستگاه ICP انجام گرفت. پهنه بندی تجمع فلزات سرب، کروم و کادمیم به روش IDW در نرم افزار GIS انجام شد. تحلیل آماری با استفاده از نرم افزار SPSS انجام شد.

نتایج و بحث: تجمع غلظت فلزات سنگین در پر گنجشک ها، در پارک شهر $Ni > Zn > Cu > Cr > Fe$ ، در پارک ملت $Mn > Ni > Zn > Cr > Cu > Fe > Ni > Co$ ، در پارک فدک $Fe > Ni > Zn > Cr > Cu > Mn > Al$ ، در پارک ساعی $Mn > Al > Ni > Co > Fe > Zn > Cu > Hg$ ، در پارک لاله $Ni > Zn > Cr > Cu > Fe > Ni > Co$ ، در پارک نیاوران $Ni > Zn > Fe > Cr > Mn > Cu > Ni > Co$ ، در پارک طالقانی $Ni > Zn > Fe > Cr > Mn > Cu > Ni > Co$ ، در پارک یادمان بصورت $Fe > Mn > Cu > Cr > Zn > Al > Ni > Cd$ بود است.

واژه های کلیدی: تجمع زیستی،

پرندگان، زنجیره غذایی، فضای

سبز

نتیجه گیری: در پارک های مختلف میزان تجمع متفاوت است که این مسأله را می توان به موقعیت جغرافیایی و رژیم غذایی نسبت داد. با توجه به فاصله به مراکز پرتردد و بزرگراه ها میزان تجمع آلاینده های ناشی از ترافیک بیشتر می شود.

نویسنده مسئول: شهرزاد خرم نژادیان

نشانی: گروه محیط زیست، زیست، واحد دماوند، دانشگاه آزاد اسلامی، دماوند، ایران. تلفن: ۰۹۳۵۷۹۷۰۹۷۸. پست الکترونیکی: khoramnejad@damavandiau.ac.ir

استناد: اسمعیلی آنا، خرم نژادیان شهرام، شمس اسفند آباد بهمن، عاصمی زواره سعید. تجمع فلزات سنگین در گونه گنجشک خانگی در پارک های شهر تهران. فصلنامه پژوهش

های نوین در مهندسی محیط زیست، ۱۴۰۳؛ ۵(۲): ۶۵-۵۴.

حقوق نویسندگان محفوظ است. این مقاله با دسترسی آزاد و تحت مجوز مالکیت خلاقانه 4.0 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

استفاده از پر پرنده راهکاری آسان برای تعیین فلزات سنگین می باشد. استفاده از پر به سلامت پرنده آسیب نمی‌رساند و جمع‌آوری آن آسانتر می‌باشد (Adout et al 2007). پر نقش نگهدارنده و خارج‌کننده عناصر خون را دارد (Zolfaghari et al 2012).

پارک‌ها و فضای سبز کلانشهر تهران محل زندگی گونه‌های متعدد پرندگان می‌باشند. وجود پناه، درختان انبوه، آب و مواد غذایی سبب شده است که تجمع پرندگان در پارک‌های تهران بیش از سایر نقاط شهر می‌باشد. پارک‌هایی که در این تحقیق انتخاب شده‌اند از پارک‌های قدمت دار شهر تهران می‌باشند که دارای درختان کهنسال می‌باشند که در طی سال‌ها مأمین پرندگان بسیاری بوده‌اند.

Passer domesticus نام علمی گنجشک خانگی می‌باشد که در نواحی مسکونی در تعداد زیاد زندگی می‌کند. با توجه به پراکنش جهانی گنجشک خانگی و در نظر گرفتن خواستگاه اولیه آن، می‌توان نتیجه گرفت که این پرنده انعطاف‌پذیری بالایی نسبت به محیط زندگی خود دارد. گنجشک‌ها تقریباً در تمام نقاط تهران حضور دارند و با توجه به آلودگی هوای شهر تهران به نظر می‌رسد که نسبت به آلاینده‌ها مقاوم می‌باشند. در این پژوهش تجمع فلزات سنگین در پر گنجشک‌هایی که از پارک‌های مختلف جمع‌آوری شده است مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

در مدت زمان ۱۰ روز در فصل تابستان نمونه‌برداری انجام شد. از پارک‌های ملت، لاله، نیاوران، شهر، ساعی و فدک، پر گنجشک‌ها از آشیانه یا اطراف آشیانه جمع شد. جدول (۱) موقعیت جغرافیایی نقاط نمونه‌برداری را نشان می‌دهد.

آلاینده‌ها از طرق مختلفی وارد محیط زیست می‌گردند، ورود آلاینده‌ها با رشد شهرنشینی و استفاده از سوخت در منازل، کارخانجات و وسایط نقلیه افزایش یافته است (Abbasi et al 2013; Markowski et al 2017). موجودات زنده بازتابی از وضعیت زیستگاه خود هستند. استفاده از موجودات زنده بعنوان پایشگر اطلاعات مفیدی از اکوسیستم را فراهم می‌نماید. گونه‌ای که در یک محل ساکن باشد و در طول سال در دسترس باشد بهترین گزینه برای پایش محیط است. پایش زیستی راهکاری نوین در راستای شناسایی تجمع آلاینده‌ها در محیط می‌باشد. فلزات سنگین در بدن تجزیه نمی‌شوند بلکه در بافت‌های استخوان، چربی و ... انباشت می‌شوند (Harikumar et al 2009; Bayrami et al 2020). فلزات سنگین دارای منابع طبیعی و انسان ساخت می‌باشند (آکاتی و همکاران، ۱۳۹۹; Fataei et al 2010). پرندگان از طریق محیط زندگی و یا مواد غذایی مصرفی در معرض فلزات سنگین قرار می‌گیرند. پرندگان بعلت توانایی پرواز در صورت نامناسب بودن محیط زندگی، مهاجرت می‌نمایند بنابراین حساسیت پرندگان نسبت به تغییرات محیطی بالاست. پرندگان در سطوح بالایی و میانی هرم غذایی منطقه زیست می‌کنند و چون بسیاری از آن‌ها رژیم غذایی متنوعی دارند بازتابی از آلاینده‌های سطوح مختلف شبکه غذایی منطقه هستند. تجمع فلزات سنگین در هر بخش بدن نمایانگر شرایط متفاوت بدنی است، تجمع در پر خروج فلزات از بدن و تجمع در قسمت‌های خارجی است اما تجمع در بدن خطرات مزمن را بدنبال خواهد داشت (Janaydeh et al 2016; Alidadi et al 2020). انتقال فلزات سنگین در طول زنجیره غذایی از راه‌های مختلفی به بدن پرنده وارد شود و از طریق پرریزی از بدن پرنده خارج گردد (Janaydeh et al., ۲۰۱۷). پرندگان از طریق هوا، مواد غذایی و تماس فیزیکی در معرض فلزات سنگین قرار می‌گیرند (Roux & Marra 2007).

جدول ۱- موقعیت جغرافیایی نقاط نمونه برداری

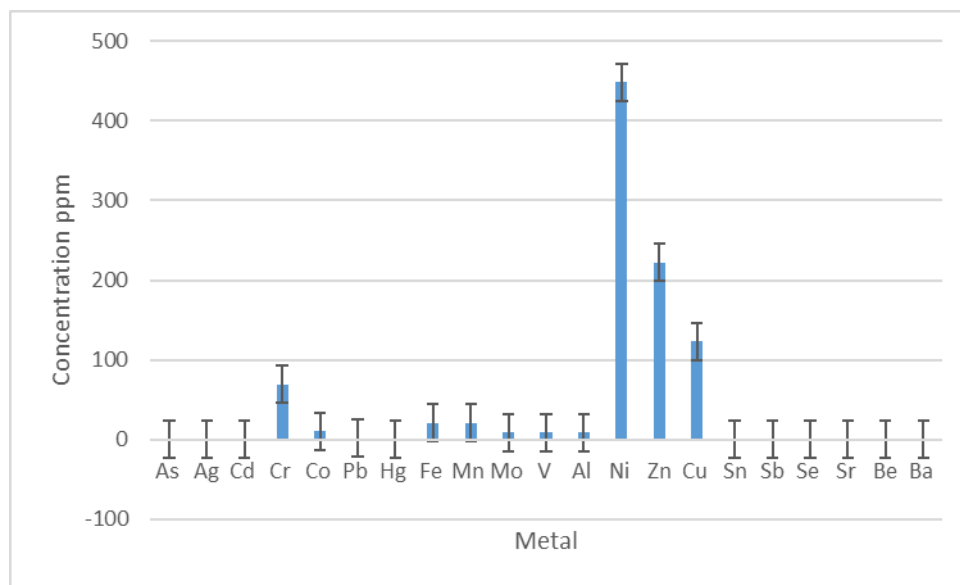
موقعیت جغرافیایی	ایستگاه‌ها	ردیف
۵۱,۳۷۶۵۰۱, ۳۵,۷۵۵۱۳۹	پارک فدک	۱
۵۱,۴۷۱۷۸۱, ۳۵,۸۰۸۶۷۳	پارک نیاوران	۲
۵۱,۴۱۰۶۹۱, ۳۵,۷۳۶۳۳۸	پارک ساعی	۳
۵۱,۴۰۹۷۵۹, ۳۵,۶۸۳۰۱۶	پارک شهر	۴
۵۱,۳۹۰۸۹۹, ۳۵,۷۱۴۰۳۶	پارک لاله	۵
۵۱,۴۱۱۶۵۲, ۳۵,۷۷۸۷۰۶	پارک ملت	۶
۵۱,۳۹۴۹۴۹, ۳۵,۷۳۵۷۸۵	پارک یادمان (بلوار آزادگان)	۷
۵۱,۴۲۳۳۴۸, ۳۵,۷۵۳۲۹۳	پارک جنگلی طالقانی	۸

پره‌های جمع شده با آب دیونیزه شسته شدند که اینکار برای حذف آلودگی فلزی محیط بود. ابتدا پرها به مدت زمان ۲۴ ساعت در دمای ۶۵ درجه سانتیگراد در آون قرار داده شدند تا خشک شوند. پس از خشک شدن نمونه‌ها توسط آسیاب برقی به شکل پودر در آمده و با استفاده از الک ۶۳ میکرون نمونه آماده تزریق به دستگاه شد. پس از هضم با اسید نیتریک، در دستگاه ICP-OES مدل VISTA MPX ساخت واریان استرالیا تعیین فلزات سنگین موجود در پر انجام شد. برای انتخاب آزمون آماری مناسب ابتدا با انجام آزمون کولموگروف-اسمیرنوف از نرمال بودن داده‌ها اطمینان حاصل گردید. سپس برای بررسی تفاوت بین غلظت فلزات در پارک‌های مختلف از تحلیل واریانس و آزمون دانکن استفاده شد. کلیه تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار

SPSS (ver.22) انجام گرفت. پهنه‌بندی فلزات سنگین سرب، نیکل و کادمیم به روش درون‌یابی معکوس IDW استفاده شد. در روش درون‌یابی IDW فرض این بود که تأثیر هر پدیده متناسب با توانی از معکوس فاصله آن بوده است. برای پهنه‌بندی از نرم‌افزار Arcmap GIS - ورژن ۱۰/۶ استفاده شد.

نتایج و بحث

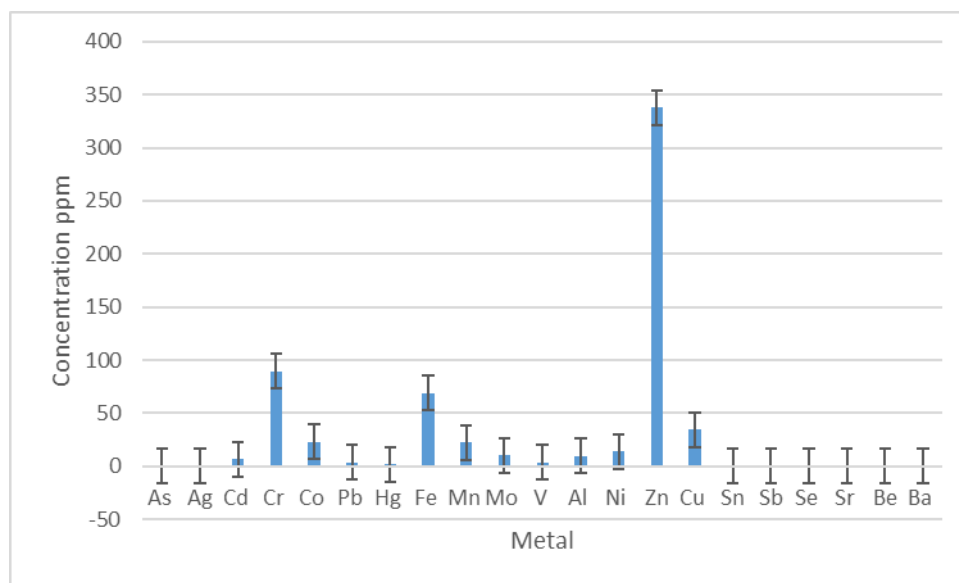
میزان تجمع عناصر در پر گنجشک‌های پارک شهر تهران در شکل (۱) آمده است. بیشترین میزان تجمع مربوط به نیکل در پارک شهر بوده است.



شکل ۱- تجمع فلزات در پر گنجشک‌های پارک شهر

گنجشک‌های این منطقه می‌تواند دلیل وجود کارگاه‌های متعدد آبرکاری در بازار تهران باشد. کمتر بودن سرب در پر پرندگان در بسیاری از مناطق تهران بعلت حذف آن از بنزین می‌باشد. بسیاری از فلزات سنگین از جمله سرب از طریق رنگ‌آمیزی نیز به محیط وارد می‌شوند. پراوری پرنده یکی از عواملی است که فلزات سنگین وارد بدن پرنده می‌گردند (شیبانی فر و همکاران ۱۳۹۵). بازار تهران یکی از مناطق پرتردد در سطح تهران می‌باشد و وجود مشاغل مختلف در این محدوده سبب تراکم ترافیک شده است. میزان تجمع عناصر در پر گنجشک‌های پارک ملت در شکل (۲) آمده است. بیشترین میزان تجمع مربوط به روی بوده است.

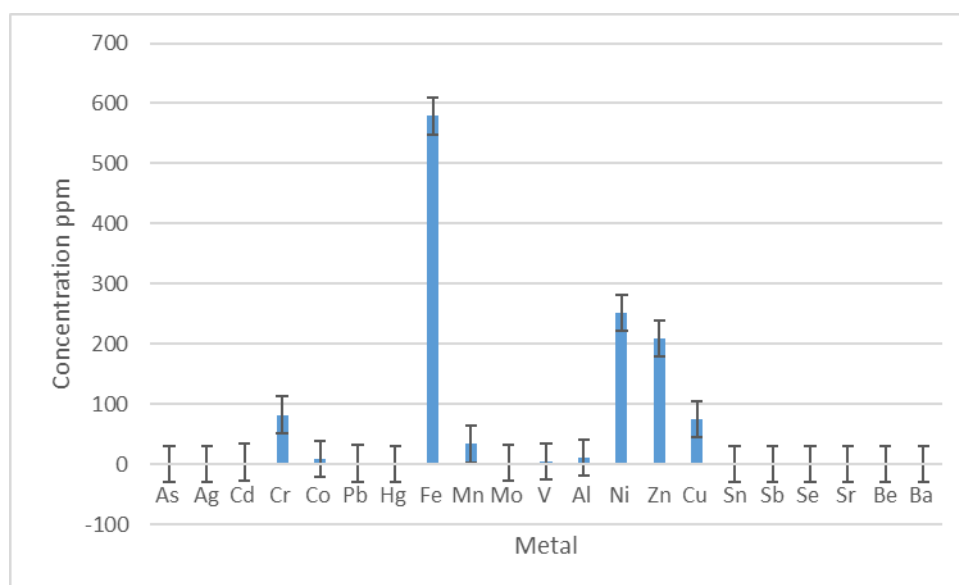
تجمع فلزات در پر گنجشک‌های پارک شهر را نشان می‌دهد. نیکل، روی، آهن، مس و کروم بیشترین مقادیر فلزات سنگین در پر گنجشکان این منطقه را شامل می‌شوند. نیکل بر اثر آلودگی هوا در هوای تنفسی شهر تهران وجود دارد (نور پور و صدری ۱۳۹۴). پارک شهر در یکی از پرترددترین مناطق شهر تهران قرار دارد و آلودگی هوا در طی روز بالا است. اغذیه فروشی‌های متعددی در نزدیکی این پارک وجود دارند که پرندگان از پسماند آن‌ها تغذیه می‌نمایند. نشست آلاینده‌ها بروی زمین باعث آغشته شدن خرده نان و مواد غذایی مورد استفاده پرندگان به آلاینده های فلزی می‌گردد. گنجشک پرنده‌ای است که ساکن محل می‌باشد و غیر مهاجر است. بالا بودن روی، مس، کروم در پر



شکل ۲- تجمع فلزات در پر گنجشک‌های پارک ملت

می‌باشد که مقدار آن در محیط کم است. کادمیم در کودهای فسفاته واز صنایع ذوب فلزی وارد محیط می‌گردد. می‌توان گفت کاربری منطقه نقش مهمی در پراکنش فلزات سنگین در محیط دارد. منشأ کادمیم فعالیت‌های بشری است و با افزایش عمر پرنده به میزان آن افزوده می‌شود. میزان تجمع عناصر در پر گنجشک‌های پارک فدک شهرک غرل در شکل (۳) آمده است. بیشترین میزان تجمع مربوط به آهن می‌باشد.

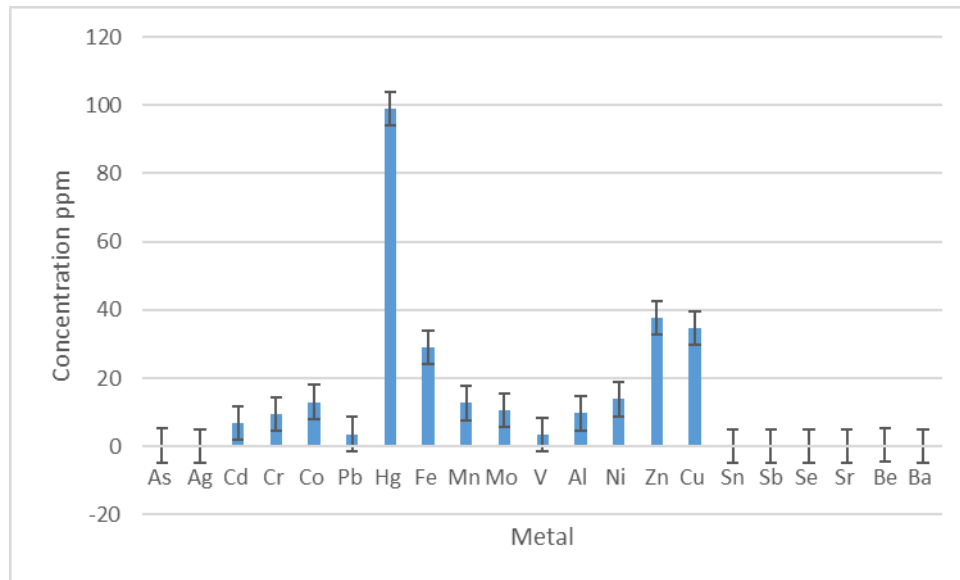
تجمع فلزات در پر گنجشک‌های پارک ملت را نشان می‌دهد. روی، کروم و آهن بیشترین سهم فلزات سنگین در پر گنجشکان پارک ملت را به خود اختصاص داده‌اند. به نظر می‌رسد آبیاری، سم پاشی و کود دهی در بوستان‌های تهران سبب ورود فلزات سنگین می‌گردد. سازمان بهداشت جهانی در سال ۲۰۰۴ حداکثر مقدار مجاز کادمیم برای خاک‌های کشاورزی حدود ۰/۲ میلی گرم در کیلوگرم در نظر گرفته است. کادمیم فلزی نسبتاً متحرک



شکل ۳- تجمع فلزات در پر گنجشک‌های پارک فدک شهرک غرل

فاضلاب آغشته شده‌اند تغذیه نموده باشند و یا از فاضلاب بعنوان منبع آبی استفاده نموده باشند. میزان تجمع عناصر در پر گنجشک های پارک ساعی در شکل (۴) آمده است. بیشترین میزان تجمع مربوط به جیوه بوده است.

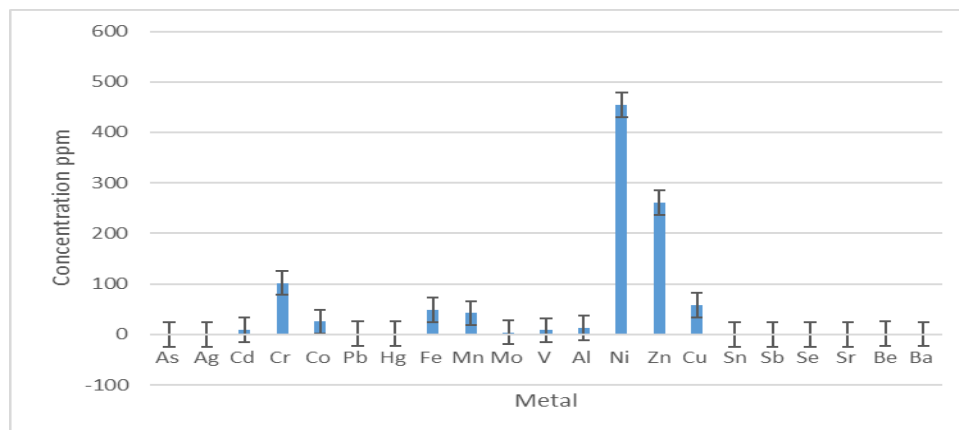
تجمع فلزات در پر گنجشک‌های پارک فدک شهرک غرب را نشان می‌دهد. آهن، کروم و منیزیم بیشترین مقادیر را در بین فلزات سنگین نشان می‌دهند. تجمع بالای این عوامل را می‌توان به ورود فاضلاب در محدوده نسبت داد (کریمی و همکاران، ۱۳۸۴). ممکن است پرندگان از مواد غذایی که با



شکل ۴- تجمع فلزات در پر گنجشک‌های پارک ساعی

وجود دارد و متیل جیوه به این گروه‌ها سریعاً متصل شده و در زنجیره غذایی انتقال می‌یابد. میزان جیوه در پر گنجشک‌هایی که از پارک ساعی جمع‌آوری شده است 2/91 ppm بوده است که این میزان در پرندگان ماهیخوار دیده شده است (ذوالفقاری و همکاران ۱۳۸۴). می‌توان بالا بودن جیوه در این پارک را به استفاده از آفتکش‌ها نسبت داد (Schweiger et al 2006). گنجشک‌ها از مواد گیاهی و جانوری استفاده می‌کنند احتمالاً استفاده از دور ریز استخرها سبب افزایش این فلز شده است این امر در پژوهش‌های دیگر نیز رؤیت شده است (حسین پور و ملکیان ۱۳۹۴). میزان تجمع عناصر در پر گنجشک‌های پارک لاله در شکل (۵) آمده است.

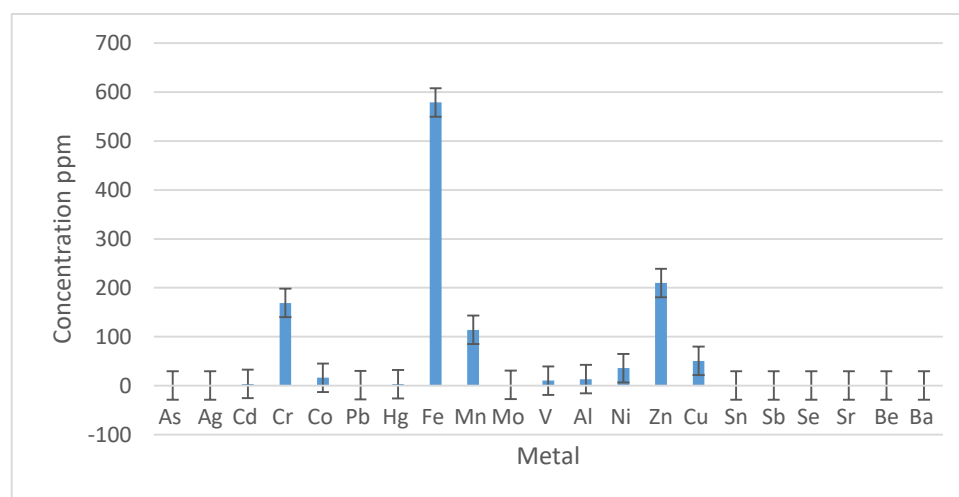
تجمع فلزات در پر گنجشک‌های پارک ساعی را نشان می‌دهد. نکته قابل توجه بالا بودن میزان جیوه است که در هیچیک از مناطق مورد بررسی دیده نشده است. معمولاً در پرندگان نزدیک به منابع آبی تجمع جیوه بالاتر است، به نظر می‌رسد پرندگان خشکی زی از طریق دانه‌ها در معرض جیوه قرار می‌گیرند (حسین پور و همکاران ۲۰۱۵). بقیه موارد آلاینده را می‌توان به آلودگی هوا، استفاده از سموم و کودهای شیمیایی نسبت داد. پرندگان در چینه‌دان خود دانه‌های سنگ و شن ریزه را برای کمک به آسیاب کردن غذا ذخیره می‌نمایند که این امر می‌تواند سبب ورود فلزات به بدن پرنده شود. جیوه در اکوسیستم‌های آبی بصورت متیل جیوه انتقال می‌یابد. در ساختار پروتئین گروه‌های سولفیدریل



شکل ۵- تجمع فلزات در پر گنجشک‌های پارک لاله

می‌تواند میزان تجمع را در پر افزایش دهد. هرچه میزان آلودگی موجود در محیط بیشتر باشد امکان نشت آلاینده‌ها بروی پر بیشتر است. برای اینکه اثر آلاینده‌های خارجی کاهش یابد پرها پیش از آزمایش باید شسته شوند (Eisler 1985). غلظت فلزات سنگین در بافت گنجشک نشانگر میزان وجود این عناصر در محیط است. تجمع فلزات سنگین در پر تحت تأثیر زیستگاه، آلودگی هوا و رژیم غذایی می‌باشد (Burger & Gushfeld 2007). میزان تجمع عناصر در پر گنجشک‌های پارک نیاوران در شکل (۶) آمده است.

تجمع فلزات در پر گنجشک‌های پارک لاله را نشان می‌دهد. نیکل، روی، مس و کروم بیشترین تجمع را نشان می‌دهند. کبالت و وانادیم نیز در پر گنجشک‌های این منطقه رؤیت شده است. وجود نیکل و وانادیم شاخص آلودگی نفتی می‌باشد که احتمال می‌رود ناشی از سوخت اتومبیل‌ها باشد. به علت اینکه پارک لاله در نزدیکی بسیاری از مناطق پرتراфик تهران آلودگی هوا بالا است و نشست دوده و آلاینده‌ها بروی مواد غذایی مورد استفاده پرندگان سبب افزایش عناصر سنگین در پرندگان می‌گردد. آلودگی هوا در محدوده خیابان انقلاب عامل اصلی وجود فلزات سنگین است (نور پور و صدری ۱۳۹۴). آلودگی‌های محیط

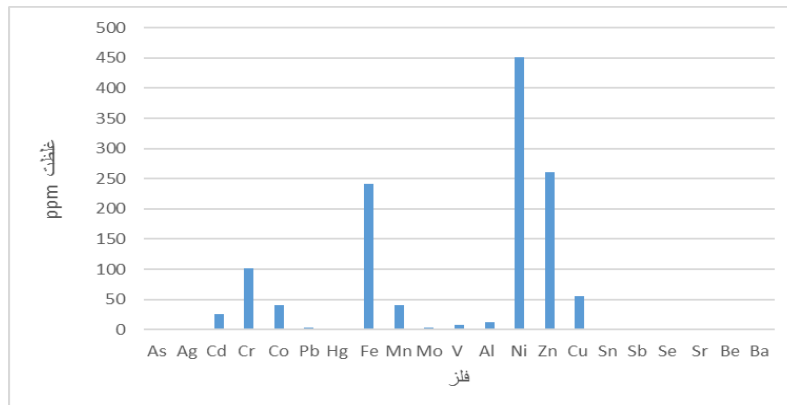


شکل ۶- تجمع فلزات در پر گنجشک‌های پارک نیاوران

مشخص شد که دانه‌هایی که افراد بازدیدکننده برای پرندگان میریزند حاوی می‌نرال‌هایی مانند آهن و روی می‌باشد. بالا بودن نیکل در محیط می‌تواند به نزدیک بودن به کارخانجات الکترونیک در منطقه مرتبط باشد. گونه‌هایی که رژیم غذایی گیاهی و جانوری دارند می‌توانند اطلاعاتی رادر زمینه فراهمی زیستی عناصر در خاک نیز نشان دهند (Zolfaghari et al

تجمع فلزات در پر گنجشک‌های پارک نیاوران را نشان می‌دهد. آهن، نیکل، روی، مس و کروم مقادیر بالاتری نسبت به سایر فلزات دارند. به نظر می‌رسد در مناطقی که پرندگان به پسماند میوه و سبزی یا گیاهان سبز دسترسی بهتری داشته‌اند میزان تجمع آهن بیشتر بوده است. وجود منیزیم در صورت رژیم گوشتخواری طبیعی می‌باشد. همچنین در بررسی می‌دانی

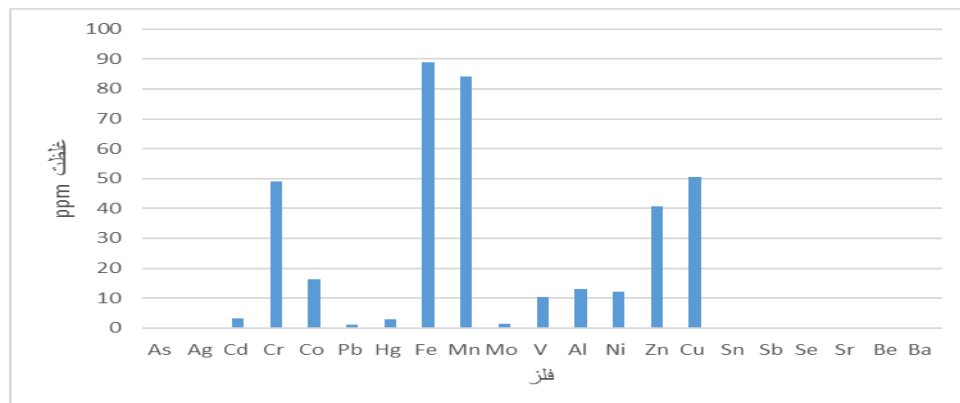
2012). میزان تجمع عناصر در پر گنجشک‌های پارک جنگلی طالقانی در شکل (۷) آمده است.



شکل ۷- تجمع فلزات در پر گنجشک‌های پارک جنگلی طالقانی

دید می‌شود که از رسوبات یا ماهی تغذیه می‌نمایند (Marnov et al 2019).
میزان تجمع عناصر در پر گنجشک‌های پارک یادمان در شکل (۸) آمده است.

پارک جنگلی طالقانی در مجاورت بزرگراه‌های پرتردد شهر تهران واقع شده است. میزان تجمع فلزات سنگین در پرهای گنجشک‌های این پارک بصورت $Ni > Zn > Fe > Cr > Cu$ بوده است. در برخی پژوهش‌ها آمده است که میزان بالای نیکل در پرندگانی



شکل ۸- تجمع فلزات در پر گنجشک‌های پارک یادمان

بطور معمول، از پرندگان برای پایش محیط زیست و فرآیندهایی مانند ساختار شبکه غذایی و دینامیک استفاده می‌گردد. به نظر می‌رسد که تجمع فلزات سنگین در بافت‌های گنجشک‌های مناطق مختلف تهران تفاوت معنی داری دارد. بدین منظور از آزمون تحلیل واریانس استفاده می‌کنیم

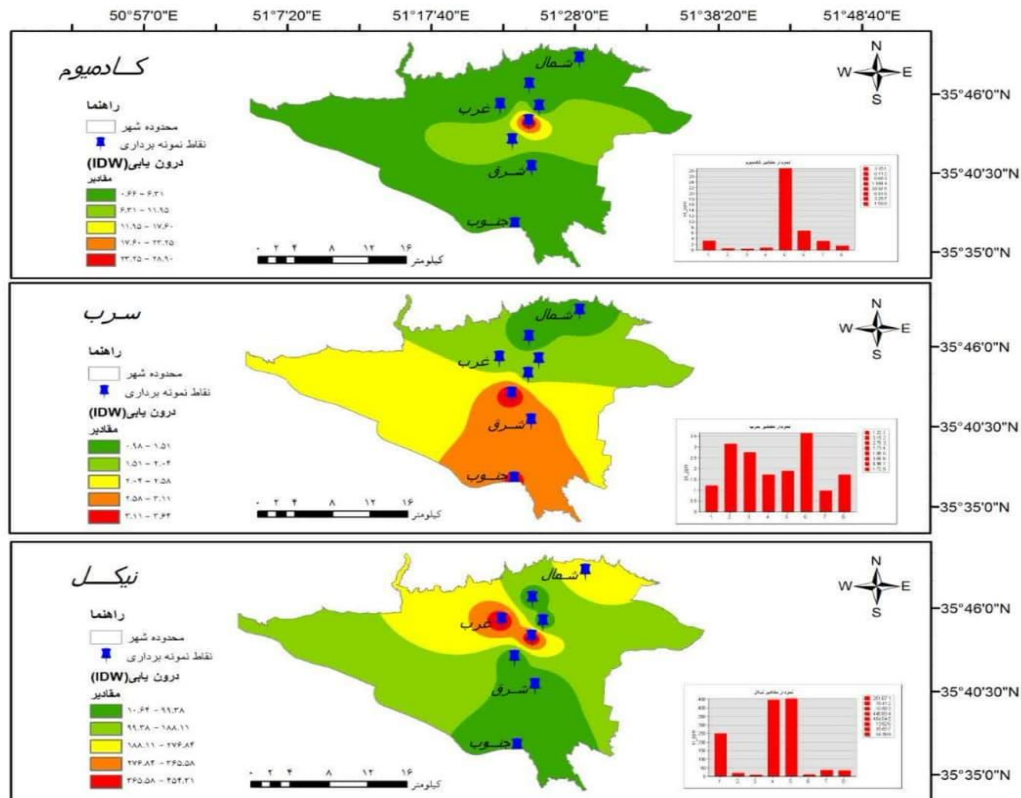
پارک یادمان، پارک محله‌ای کوچکی می‌باشد که در منطقه مسکونی با فاصله از بزرگراه‌ها و مراکز پرتردد واقع شده است. نحوه تجمع در این پارک بصورت $Fe > Mn > Cu > Cr > Zn$ می‌باشد. $Al > Ni > Cd$

جدول ۲- آزمون تحلیل واریانس

سطح معنی داری	F	Report Number
۰,۸۶۰	۰,۴۸۶	As
۰,۹۶۹	۰,۲۸۰	Ag
۰,۷۲۶	۰,۶۶۶	Cd
۰,۴۳۴	۱,۰۸۴	Cr
۰,۰۶۹	۲,۴۵۸	Co
۰,۳۵۴	۱,۲۳۴	Pb
۰,۰۰۱	۷,۹۴۵	Hg
۰,۷۵۰	۰,۶۳۵	Fe
۰,۱۱۴	۲,۰۶۶	Mn
۰,۰۰۰	۲۲,۷۰۰	Mo
۰,۴۱۲	۱,۱۲۳	V
۰,۰۴۸	۲,۷۵۴	Al
۰,۰۰۴	۵,۱۲۵	Ni
۰,۱۹۰	۱,۶۸۶	Zn
۰,۰۰۰	۱۹,۳۴۹	Cu
۰,۵۵۹	۰,۸۹۰	Sn
۰,۷۲۶	۰,۶۶۶	Sb
۰,۴۷۸	۱,۰۱۱	Se
۰,۷۲۶	۰,۶۶۶	Sr
۰,۷۲۶	۰,۶۶۶	Be
۰,۲۴۶	۱,۴۹۶	Ba
۰,۰۰۳	۵,۳۷۹	

داد که غلظت آلاینده در هر پارک بطور معنی داری متفاوت از غلظت آلاینده در سایر پارک‌ها می‌باشد ($P < 0.05$). شکل (۹) پهنه‌بندی تجمع فلزات سنگین در پر گنجشک‌ها در مناطق مختلف تهران را نشان می‌دهد.

بر اساس جدول (۱) مشاهده می‌شود که سطح معنی داری فقط برای Pb، Mn، V، Al و Zn کمتر از ۰/۰۵ است یعنی Pb، Mn، V، Al و Zn در بافت‌های گنجشک‌های پارک‌های مختلف تهران تفاوت معنی داری دارد. انجام آزمون دانکن نشان



شکل ۹- پهنه‌بندی تجمع فلزات سنگین در پر گنجشک‌ها در مناطق مختلف تهران.

اقلیم‌های متفاوتی می‌باشد شرایط محیطی در تمامی قسمت‌ها مشابه نبوده و این مورد بر تجمع فلزات سنگین در پر پرنده اثر گزار می‌باشد. تجمع در بافت‌های زنده به عوامل مختلفی وابسته است که نرخ رشد، سرعت متابولیسم، حساسیت بافت زنده به فلزات سنگین و نیاز به برخی فلزات از این جمله است. فرآیند پر آرایی هم باعث می‌شود فلزات سنگین که روی پر نشسته‌اند از طریق منقار و سیستم گوارش وارد بدن می‌گردد. وجود آلاینده‌ها در خون سبب انتقال آن به پرها می‌گردد که این امر از هنگام تشکیل پر آغاز می‌گردد. فلزات سنگین در طول دوره رشد پر می‌توانند به پروتئین‌های پر متصل شوند و از طریق رگ خونی نازکی از طریق خون وارد پر می‌گردند. فلزات موجود در خون در ساختار کراتین وارد می‌شوند (Dauwe et al 2006). با رشد پر و قطع ارتباط رگ خونی با پر، میزان فلزات سنگین وارده از بدن به پر ثابت می‌ماند (Lewis & Furness 1991).

سرب بسیار سمی است و سبب مرگ و میر پرنده‌گان می‌گردد (Burger et al 1995). سرب از نظر ساختاری مشابه کلسیم است و می‌تواند در استخوان، پر، مو و... جایگزین کلسیم گردد. پایین بودن سرب در بسیاری از مناطق بدلیل حذف سرب از بنزین می‌باشد.

بیشترین میزان جیوه در پارک ساعی اندازه‌گیری شد که ۲/۹۱ ppm بود که می‌توان آنرا به محیط آبی آن نسبت داد اما این

با توجه به اینکه سرب، کروم و کادمیم بعنوان شاخصی برای آلودگی وسایط نقلیه در نظر گرفته شده بود، پهنه‌بندی تجمع این عناصر نشان‌دهنده آلودگی این عناصر در نقاط مختلف شهر تهران می‌باشد. میزان تجمع سرب در مرکز و جنوب شهر تهران بیشتر است. بدلیل حذف سرب از بنزین میزان آن در محیط‌های شهری کاهش یافته است، اما مقادیری از آن در خاک سالهاست که تجمع یافته‌اند (قبادی و همکاران ۱۳۹۹). به نظر می‌رسد در مناطقی که تجمع در پر بیشتر است میزان سرب باقیمانده در خاک بیشتر بوده است. میزان تجمع نیکل در پر گنجشک در قسمت‌های غربی تهران بیشتر بوده است، در تحقیقی که توسط مردانی و همکاران در سال ۱۳۸۹ انجام شده بود میزان تجمع نیکل در خاک مناطق غربی بیشتر گزارش شده بود (مردانی و همکاران ۱۳۸۹). میزان کادمیم در مناطق مرکزی بیشتر دیده شده است، به نظر می‌رسد استفاده از کودهای فسفات دار سبب افزایش کادمیم در این مناطق شده است، لجن فاضلاب نیز سبب افزایش کادمیم خاک می‌شود (Zombak & Evanko 1977).

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

تغییر مقادیر تجمع یافته در پر به محل زندگی و نوع تغذیه بستگی دارد. با توجه به اینکه شهر تهران بدلیل وسعت زیاد دارای خرد

نسبت می‌دهند ویتامین C موجود در بدن نیز به جذب آن کمک می‌کند (Sheppard & Diernfeld 2002). با توجه به اینکه معمولاً آهن در کبد پرنده ذخیره می‌گردد و اینکه در پارک‌های دیگر چنین شرایطی دیده نشده است می‌توان گفت که آهن از محیط به پر وارد شده و شستشو تأثیری در حذف آن نداشته است.

مسئله در سایر پارک‌ها رؤیت نشد. بیشترین مقدار آهن در پارک نیاوران ۵۷۸/۸۵ ppm اندازه‌گیری شد. در پرندگان با رژیم غذایی متنوع این مسئله دیده می‌شود این امر را می‌توان به استفاده از پسماند میوه و یا مواد غذایی خاصی که شهروندان برای پرندگان پارک نیاوران میریزند نسبت داد. برخی پژوهشگران این مسئله را به فراهمی زیستی این عنصر در خاک برای گونه‌های طعمه

References

66. Abbasi S., Ali Mohammadian H., Hosseini S.M., Khorasani N., Karbasi A.A., Aslani A. The Concentration of Heavy Metals in Precipitated Particles on the Leaves of Street Side Trees in the Urban Environments (Tehran-Iran). *Anthropogenic Pollution*. 2017;1(1):1-8. doi: 10.22034/apj.2017.1.1.18.
67. Alidadi R., Mansouri N., Hemmasi A., Mirzahosseini S.A. Risk Assessment of Heavy Metal in Ambient Air (Case Study: Ahvaz, Iran). *Anthropogenic Pollution*. 2020;4(2):1-7. doi: 10.22034/ap.2020.1906395.1074.
68. Bayrami N., Fataei E., Kharrat Sadeghi M., Javanshir Khoei A. Evaluation of bioaccumulation of lead metal pollutant in two biotic and abiotic compartments of the Caspian Sea coastal sediments. *Journal of Marine Biology (In Persian)*. 2020;12(3):1-14.
69. Burger J. A risk assessment for lead in birds. *J. Toxicol. Environ.* 1995;45:369-396.
70. Burger J., Gochfeld M. Mercury, arsenic, cadmium, chromium, lead, and selenium in feathers of pigeon guillemots (*Cephus columba*) from Prince William Sound and the Aleutian Islands of Alaska. *Sci. Total Environ.* 2007;387:175-184. doi: 10.1016/j.scitotenv.2007.07.049. Epub 2007 Aug 31.
71. Dauwe T., Janssens E., Eens M. Effects of heavy metal exposure on the condition and health of adult great tits (*Parus major*). *Environ Pollut.* 2006;140(1):71-8. doi: 10.1016/j.envpol.2005.06.024.
72. Eisler R. Cadmium hazards to fish, wildlife, and invertebrates. A synoptic review. *U.S. Fish and Wildlife Service Biological Report*. Patuxent Wildlife Research Center, Laurel, Maryland. 1985.
73. Ekati N., Ismaili Sari A., Ain Elahi Pir F. Investigating the amount of heavy metals lead and cadmium in some birds of Khuzestan. *J. Sus. Dev. & Env.* 2019;1(3):25-34. [In Persian].
74. Evanko C.R., Zombak D.A. Remediation of metals-contaminated soils and groundwater. 1997.
75. Fataei E., Monavari S.M., Hasani A.H., Karbasi A.R., Mirbagheri S.A. Heavy metal and agricultural toxics monitoring in Garasou river in Iran for water quality assessment. *Asian Journal of Chemistry*. 2010;22(4):2991-3000.
76. Ghobadi F., Khoramnejadian S., Alipour S. Accumulation of heavy metals in the soil of the middle areas of Tehran and their transfer to plants (case study: 6th region). *J. Environ. Sci. Stud.* 2020;5(4):3166-3172. [In Persian].
77. Harikumar P.S., Nasir V.P., Mujeebu Rahman M.P. Distribution of heavy metal in the core sediments of a tropical wetland system. *Environ. Sci. Tech.* 2009;6(2):225-232. doi: 10.1007/BF03327626.
78. Hosseinpour Z., Malekian M. Investigating mercury contamination in some of the wild birds in Isfahan city and Zayandehroud river. *Veterinary Researches Biological Products (Pajouhesh-va-Sazandegi)* [Internet]. 2015;28(1(106)):10-17. Available from: <https://sid.ir/paper/200890/fa>. doi: 10.22034/vj.2015.100909. [In Persian].
79. Janaydeh M., Ismail A., Omar H., Zulkifli SZ., Bejo MH., Aziz NAA. Relationship between Pb and Cd accumulations in house crow, their habitat, and food content from Klang area, Peninsular Malaysia. *Environ Monit Assess.* 2017;190(1):47. doi: 10.1007/s10661-017-6416-2. PMID: 29282545.
80. Janaydeh M., Ismail A., Zulkifli SZ., Bejo MH., Aziz NA., Taneenah A. The use of feather as an indicator for heavy metal contamination in house crow (*Corvus splendens*) in the Klang area, Selangor, Malaysia. *Environ Sci Pollut Res Int.* 2016;23(21):22059-22071.
81. Lewis S.A., Furness R.W. Mercury accumulation and excretion in laboratory reared black-headed gull *Larus ridibundus* chicks. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 1991;21:316-320. doi: 10.3161/068.035.0209.
82. Mardani G., Sadeghi Mehrban, Ahankoub Maryam. Soil pollution along the surface runoff in southern Tehran. *WWJ* [Internet]. 2010;21(3 (75)):108-113. Available from: <https://sid.ir/paper/104137/fa>. [In Persian].
83. Marinov M.I., Burada A.D., Dorosencu A., Alexe V.A., Teodorof L.I., Tiganus M., Tudor M.A. Report on the accumulation of heavy

- metals in the feathers of some wetland birds in the Danube delta (Romania). *Rom J Biol-Zool*. 2019;64:73-84.
84. Markowski M., Kaliński A., Skwarska J. et al. Avian feathers as bioindicators of the exposure to heavy metal contamination of food. *Bull Environ Contam Toxicol*. 2013;91:302-305. doi: 10.1007/s00128-013-1065-9.
85. Metcheva R., Yurukova L., Teodorova S., Nikolova E. The penguin feathers as bioindicator of Antarctica environmental state. *Sci Total Environ*. 2006;362(1-3):259-265. doi: 10.1016/j.scitotenv.2005.05.008.
86. Mostofie N., Fataei E., Kheikhah Zarkesh M.M., Hezhabrpour Gh. Assessment centers and distribution centers dust (case study: NorthWest, Iran). *International Journal of Farming and Allied Sciences*. 2014;3(2):235-243.
87. Noorpoor Alireza, Sadri Jahanshahi Arash. Evaluation of health risk assessment by heavy metals in the ambient air of Tehran. *Journal of Environmental Studies* [Internet]. 2014;39(4(68)):181-192. Available from: <https://sid.ir/paper/2961/fa>. [In Persian].
88. Schweiger L., Stadler F., Bowes C. Poisoning wildlife: The reality of mercury pollution. *National Wildlife Federation, Reston, Virginia, USA*. 2006.
89. Sheppard C., Dierenfeld E. Iron storage disease in birds: Speculation on etiology and implications for captive husbandry. *J. Avian Med. Surg*. 2002;16(3):192-197.
90. Sheybanifar F., Mortazavi S., Mirsanjari M.M. The study of heavy metal accumulation (Zn, Cu, Pb and Cd) in feathers of great white heron (*Egretta alba*) in Hara Biosphere Reserve. *Journal of Marine Science and Technology*. 2016;15(1):65-73. doi: 10.22113/jmst.2016.8581. [In Persian].
91. Technology Evaluation Report, Gwarac.
92. Zou Alfaghari Gh., Esmaeili Sari A., Ghasempouri S.M., Hasanzadeh Kiabi Bahram. Mercury concentrations in feathers of 37 species from Iranian birds: Influence of food type, feeding strategy and taxonomic affiliation. *J. Mar. Sci. Technol*. [Internet]. 2006;4(3-4):1-11. Available from: <https://sid.ir/paper/74649/fa>. [In Persian].



Accumulation of Heavy Metals in House Sparrow Species in The Parks of Tehran City

Ana Esmaili

Department of Environment, Damavand branch, Islamic Azad University, Damavand, Iran

Shahrazad Khoramnejadian *

Department of Environment, Damavand branch, Islamic Azad University, Damavand, Iran

Bahman Shams Esfandabad

Department of Environment, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran

Saeed Reza Asemi Zavareh

Department of Environment, Damavand branch, Islamic Azad University, Damavand, Iran

Received: 7 May 2024

Accepted: 17 June 2024

Keywords: *Biological Accumulation, Birds, Food Chain, Green Space.*

Extended Abstract

Introduction: With the increase of pollutants entering the environment, the accumulation of heavy metals is seen in living organisms. Biomonitoring is a method to estimate the transfer of heavy metals from the environment to the food chain and living tissues. The aim of this research is to determine the ability of house sparrow feather tissue as a pollutant indicator in the urban environment. The house sparrow has a significant distribution in many cities. In this research, the accumulation of heavy metals in the muscle tissue and feathers of house sparrows was measured in different parks of Tehran.

Materials and Methods: The sparrow feathers of Niavaran, Sai, Mellat, Laleh, Taleghani, Fadak, Shahr and Yadman parks were sampled. Feathers were collected around the nest. Heavy metal accumulation was measured using an ICP device. Zoning of the accumulation of lead, chromium and cadmium metals was done by IDW method in GIS software. Statistical analysis was done using SPSS software.

Results and Discussion: Accumulation of heavy metal concentration in sparrow feathers, in Shahr Park Ni > Zn > Cu > Cr > Fe > Mn, in Mellat Park, Zn > Cr > Fe > Cu > Mn > Co > Ni, in Fadak Park Fe > Ni > Zn > Cr > Cu > Mn > Al, in Sai Park; Hg > Zn > Cu > Fe > Ni > Co, in Lale Park Ni > Zn > Cr > Cu > Fe > Mn, in Niavaran Park; Fe > Zn > Cr > Mn > Cu > Ni > Co, in Taleghani Park Ni > Zn > Fe > Cr > Cu > Cd and in Yadman Park as Fe > Mn > Cu > Cr > Zn > Al > Ni > Cd.

Conclusion: In different parks, the amount of accumulation is different, which can be attributed to the geographical location and diet. According to the distance to high traffic centers and highways, the accumulation of pollutants caused by traffic increases.

Corresponding author: Shahrzad Khoramnejadian

Address: Department of Environment, Damavand Branch, Islamic Azad University, Damavand, Iran. **Tel:** +989357970978

Email: khoramnejad@damavandiau.ac.ir

Citation: Esmaili A, Khoramnejadian S, Shams Esfandabad, B, Asemi Zavareh, S R Accumulation of heavy metals in house sparrow species in the parks of Tehran city. *Journal of New Researches in Environmental Engineering*, 2024; 2(5): 54-65.



© 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 اولویت بندی مولفه های موثر بر بهره گیری از فضاهای زیرزمینی به منظور توسعه پایدار فضاهای عمومی شهری با استفاده از روش تاپسیس (مطالعه موردی: شهر تهران)

دانشجوی دکتری معماری، واحد بین الملل کیش، پردیس دانشگاه آزاد اسلامی، کیش، ایران
عضو هیئت علمی دانشکده هنر و معماری دانشگاه بوعلی سینا
موسسه آموزش عالی اقبال لاهوری، مشهد
دانشیار گروه هنر و معماری دانشگاه پیام نور

محمد مهدی صفایی*
محمد سعید ایزدی
علی افشار
حمیدرضا عامری سیاهویی

چکیده مبسوط

مقدمه: یکی از مشکلات عمده شهرهای امروز، افزایش جمعیت و رشد سریع آنها و کاهش سرانه کاربری های شهری است که به طور نامحسوسی تعاملات اجتماعی را کاهش داده است. شهرسازی زیرزمینی می تواند به ارتقای پایداری و تاب آوری شهری کمک کند. این فضاها می توانند به ایجاد شهرهای فشرده، افزایش تراکم و جلوگیری از گسترش بی رویه شهر کمک کنند. هدف تحقیق شناسایی و اولویت بندی مولفه های موثر بر توسعه پایدار فضاهای زیرزمینی به عنوان بخشی از فضاهای عمومی شهری در تهران و ۶ منطقه منتخب بود.

مواد و روش ها: تحقیق از نوع کاربردی بود که به روش ترکیبی و در ۴ گام انجام شد. ابتدا با مطالعه عمیق فهرستی از مولفه ها و عوامل موثر تهیه شد و سپس از ۲۳ نفر خبره به منظور ارزیابی و رتبه بندی عوامل و گزینه ها استفاده شد. روش نمونه گیری از نوع هدفمند بود که تا رسیدن به نقطه اشباع نظری ادامه یافت. روش تحلیل عاملی تاییدی برای برازش مدل استفاده شد. بدین شکل که از مدل معادلات ساختاری به روش حداقل مربعات جزئی (PLS) بر اساس نرم افزار SmartPLS نسخه ۲ استفاده گردید. همچنین، تکنیک تاپسیس برای نرمالیزه کردن، بی مقیاس سازی و در نهایت رتبه بندی بکار گرفته شد.

نتایج و بحث: نتایج نشان داد که مولفه های موثر شامل ۴ عامل اصلی و ۲۰ عامل فرعی بودند و تمام مولفه در بخش شرایط علی (عوامل اصلی و فرعی) از ضریب آلفای کرونباخ و مقدار پایایی ترکیبی مورد تایید برخوردار بودند. میانگین مقادیر ضرایب R^2 (۰/۰۸۸) و مقدار میانگین مقادیر اشتراکی (۰/۹۳) آن بدست آمد. مقدار GOF معادل (۰/۳۸۲) بدست آمد که نشان از برازش قوی مدل نهایی پژوهش است. در نهایت، گزینه برتر مجموعه فرهنگی آزادی (۰/۸۶۱) و پس از آن زیگذر چهارراه ولیعصر (۰/۷۷۴) انتخاب شدند. همچنین مجموعه تفریحی بام لند و موزه قرآن نیز به ترتیب با ۰/۶۶۱ و ۰/۵۷۳ رتبه های آخر را اخذ کردند.

نتیجه گیری: استفاده و توسعه فضاهای زیرزمینی به عنوان فضاهای عمومی شهری با چالش هایی مواجه است. این مشکلات شامل عدم کارایی و رونق، افزایش جرم خیزی و عدم امنیت، دسترسی محدود در حوادث، و هزینه های اضافی برای تهویه و روشنایی است. همچنین، نگرش منفی جامعه نسبت به فضاهای زیرزمینی و مشکلاتی در برقراری ارتباط و مکان یابی از دیگر محدودیت ها هستند. با بهبود طراحی این فضاها و پذیرش افکار عمومی، استفاده از معماری زیرزمینی می تواند به حل مشکل کمبود فضاهای عمومی در تهران کمک کند و استقبال بیشتری را به دنبال داشته باشد.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۰۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۲۹

واژه های کلیدی: فضای

عمومی شهری، توسعه پایدار، فضای زیرزمینی، روش تاپسیس - شهر تهران

نویسنده مسئول: محمد مهدی صفایی

نشانی: واحد بین الملل کیش، پردیس دانشگاه آزاد اسلامی، کیش، ایران. تلفن: ۰۹۱۲۱۲۱۱۵۴۱ پست الکترونیکی: mm_safaee@azad.ac.ir

استناد: صفایی محمد مهدی، ایزدی محمد سعید، افشار علی، عامری سیاهویی حمیدرضا. شناسایی و اولویت بندی مولفه های موثر بر بهره گیری از فضاهای زیرزمینی به منظور توسعه پایدار فضاهای عمومی شهری با استفاده از روش تاپسیس (مطالعه موردی: شهر تهران). پژوهش های نوین در مهندسی محیط زیست. ۱۴۰۳؛ ۵(۳): ۶۶-۷۸.

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

(بهادری و همکاران ۱۴۰۰). استفاده از فضاهای زیرزمینی سابقه کهن در اغلب نقاط کره زمین دارد. بسیاری از معماران بومی باتوجه به شرایط اقلیم و دفاع شهرها و روستاها و پاسخ به نیازها به استفاده از معماری زیرزمینی پرداخته‌اند (روانشاد و همکاران ۱۴۰۱). استفاده از معماری زیرزمینی با اهداف متناسب با شرایط مکانی و موضوعی در حال انجام است و معماران و مدیران شهری در مناطق مختلف جهان از این روش برای حل مشکلات شهری بهره می‌برند (نصرافهانی و همکاران ۱۳۹۷). امروزه تجارب جهانی در استفاده از فضاهای زیرزمینی در گوشه و کنار کره زمین و با فرهنگ‌ها و معماری‌های مختلف از گذشته تا کنون به چشم می‌خورد. اگرچه این تجارب با توجه به منطقه جغرافیایی، مسایل فرهنگی، اجتماعی و نیازهای آن منطقه متفاوت می‌باشد. بطور کلی، یک فضای زیرزمینی برای آنکه بتواند موانع پیش روی خود را بردارد و به عنوان یک فضای شهری موفق عمل نماید باید از ابعاد مختلف انتظارات استفاده‌کنندگان خود را تامین نماید. در غیر این صورت به عنوان فضایی متروک، پس از گذشت زمان هویت خود را به طور کامل از دست می‌دهند. این ابعاد مختلف را می‌توان در گروه‌های اجتماعی، روان‌شناسی، فرهنگی، کالبدی، عملکردی، ترافیک و دسترسی، زیست محیطی، فنی و اجرایی، اقتصادی و حقوقی قلمداد نمود که هر یک از این موارد انتظاراتی را برای بهره‌برداران به وجود می‌آوردند.

بنابراین، هدف از این تحقیق شناسایی و معرفی الگویی برای طرح‌ریزی و استفاده از فضاهای زیرزمینی به عنوان گزینه‌ای برای توسعه پایدار فضاهای عمومی شهری در تهران می‌باشد. براساس گزارش سازمان ملل متحد، امروزه بیش از نیمی از جمعیت جهان در شهرها زندگی می‌کنند (پایول و سن ۲۰۱۸). فضاهای عمومی از دیدگاه‌های مختلف قابل تعریف می‌باشند؛ از دیدگاه اجتماعی؛ فضای عمومی فضایی است که در آن روابط بین انسان‌ها شکل می‌گیرد، فعالیت‌های اجتماعی در آن صورت می‌پذیرد و باعث پیوند بین اقشار متفاوت جامعه می‌شود. از دیدگاه سیاسی؛ فضای عمومی مکانی است برای بیان مطالبات سیاسی و اعتراضات مردمی. از دیدگاه روان‌شناسی؛ فضای عمومی محیطی جهت ارتقا کیفیت زندگی است که در سلامت روانی جامعه و سرزندگی اجتماعی نقش مهمی ایفا می‌کند.

در مفاهیم معماری، فضای عمومی مکانی باز و قابل دسترس برای همه شهروندان است که مقابل فضای خصوصی قرار می‌گیرد، یعنی جایی که دسترسی به آن محدود و کنترل شده

فضاهای عمومی در محیط شهری، به عنوان امری ضروری برای شهروندان، روابط اجتماعی و سلامت روان جامعه محسوب می‌شوند. فضاهای شهری بخشی از فضاهای باز و عمومی شهرها هستند که به نوعی تبلور ماهیت زندگی جمعی می‌باشند، یعنی جایی که شهروندان در آن حضور دارند (نیک‌پور و یاراحمدی ۱۳۹۹). این فضاها، ابزاری برای ارتباطات، مکان فرصت‌سازی برای رویارویی مستقیم شهروندان و محلی برای مدیریت و هماهنگ کردن شهروندان محسوب می‌گردند (کاستا و همکاران ۲۰۱۸). این قبیل فضاها، در صورتی که دارای طراحی و مدیریت مناسبی باشند، می‌توانند نقش تعیین‌کننده‌ای در ارتقای رفاه فردی و ایجاد ارزش‌های مثبت اجتماعی ایفا کنند (لاولر و نیکولز؛ ۲۰۰۸). امروزه کیفیت فضایی در فضاهای عمومی به طور فزاینده‌ای به صورت یک عنوان پژوهشی مهم در رشته‌های گوناگون توسعه شهری مطرح می‌شود. مفهوم کیفیت فضایی خود زیرمجموعه‌ای از مقوله کیفیت فضاهای شهری است. فضاهای عمومی از لحاظ تاریخی نقش پویای اجتماعی و بسیار تأثیرگذار در ساختار شهر ایفا می‌کنند. در بافت‌های شهری، انتظارات اولیه هر فرد با شاخص‌های کیفی فضایی، زیبایی‌شناختی و نیز دسترسی به بخش‌های اطراف شکل می‌گیرد. امروزه، فضاهای عمومی با چالش‌های زندگی شهری دست‌به‌گریبان هستند (مولر و همکاران ۲۰۱۸). یکی از مشکلات عمده شهرهای امروز، افزایش جمعیت و رشد شتابان شهرها و کاهش سرانه کاربری‌های شهری است که حضور شهروندان در فضاهای شهری و همچنین تعاملات اجتماعی آن‌ها را به طور نامحسوسی کاهش داده و عمدتاً خیابان‌ها را به فضایی عبور و مرور سواره تبدیل کرده است (محتشم‌نیا ۱۴۰۲؛ منزه و همکاران ۲۰۱۹). کمبود فضاهای عمومی شهری می‌تواند زمینه‌ساز بروز آسیب‌های روانی و جسمی برای شهروندان و مشکلات اجتماعی فراوان باشد. کوچ بسیاری از افراد به شهر تهران باعث توسعه سریع بی‌رویه این شهر گردیده است که طی دهه‌های اخیر باعث افزایش تراکم شهر، جمعیت و ساخت سرپناهمای بیشتر بوده است. در نتیجه شهر تهران با کمبود فضاهای خدمات شهری و مخصوصاً فضاهای عمومی مواجه گردیده است. از یک طرف اشغال زمین‌های شهری و ساخت خانه‌های مسکونی و از طرف دیگر محدودیت‌های پیرامون شهر باعث کمبود زمین‌هایی می‌شود که قابلیت تبدیل به فضاهای عمومی را دارند. بنابراین در حال حاضر احداث و یا توسعه فضاهای عمومی در تهران، با هزینه‌های بسیار زیاد همراه است

²Paul & Sen

¹Lawlor & Nicholls

عمومی از جمله رویکردهای مورد توجه شهرسازی زیرزمینی می‌باشد (گورر و همکاران ۲۰۱۷).

شهرسازی زیرزمینی می‌تواند نقش مهمی در ارتقای پایداری و تاب‌آوری شهری ایفا نماید. فضاهای زیرزمینی می‌تواند به ایجاد شهر فشرده و افزایش تراکم در شهر کمک نموده و از گسترش بی‌رویه شهر جلوگیری نماید. همچنین فضاهای زیرزمینی را می‌توان در راستای شهر قابل زندگی بکار گرفت، بطوری که با رویکرد شهرسازی زیرزمینی، کیفیت فضاهای عمومی، میزان فضاهای سبز و تفریحی و زیرساخت‌های لازم را افزایش داد (بروار، ۲۰۱۶). شهرسازی زیرزمینی قابلیت‌های زیادی در حل مسائل شهری داراست. حل مشکلات ترافیکی مانند ازدحام و شلوغی ترافیک سواره، کاهش آلودگی‌های هوا و صدا، حفاظت در برابر بلایای طبیعی، حل مشکل کمبود فضا و حفاظت از میراث فرهنگی و محیط‌زیست از جمله قابلیت‌های مثبت شهرسازی زیرزمینی است. شهرسازی زیرزمینی تفکری است که با بهره‌گیری از فضاهای زیرزمینی سعی دارد مسائل و مشکلات شهری را حل نموده و شهری زیست‌پذیر و ایمن را ایجاد نماید (هانان و همکاران ۲۰۱۶).

در مجموع می‌توان گفت این فضاها به عنوان بخش مهمی از منابع فضایی شهری، اهمیت زیادی برای بهبود بهره‌وری استفاده از زمین و کاهش تراکم ترافیکی در مناطق مرکزی شهر دارند. توسعه استفاده از این فضاها، به بهبود محیط‌زیست محیطی شهری کمک خواهد کرد. با سرعت بخشیدن به شهرنشینی، گستردگی و عمق استفاده از فضای زیرزمینی به اندازه بی‌سابقه‌ای رسیده است و بسیاری از مشکلات در رونق توسعه فضای زیرزمینی از قبیل: عدم برنامه‌ریزی، طرح غیرمنطقی و استفاده بی‌رویه، ناشی می‌شود. فضای زیرزمینی، منبع ارزشمند غیرقابل تجدید است و بسیاری از حفره‌هایی که در زیرزمین ایجاد شده‌اند، عواقب برگشت‌ناپذیری دارند (مارگریتا و همکاران ۲۰۱۸؛ مولایی ۱۳۹۷).

بنابراین، توسعه فضای زیرزمینی باید با دقت و حرفه‌ای انجام شود. برای اطمینان از بهره‌برداری پایدار از فضای زیرزمینی، قبل از حفاری و ساخت‌وساز باید عوامل موثر بر پتانسیل توسعه فضای زیرزمینی شهر را مورد بررسی قرار داد. تونگ (۲۰۰۶) در مطالعات خود رشد اقتصادی را به عنوان عامل اصلی توسعه فضایی زیرزمینی پیشنهاد کرد. چن و وانگ (۲۰۰۵) در تحقیقی رابطه مثبت بین استفاده از فضای زیرزمینی شهری با درآمد سرانه

است (لیو^۱ و همکاران ۲۰۱۱). در بیان دیگر فضاهای عمومی به تمام بخش‌هایی از محیط طبیعی و ساخته شده اطلاق می‌شود، جایی که عموم به آن‌ها دسترسی آزاد دارند (ساکیر و همکاران ۲۰۱۸). شرط اصلی فضاهای عمومی این است که در آن‌ها تعامل و مرادۀ اجتماعی صورت گیرد و عموم مردم به آن دسترسی فیزیکی و بصری داشته باشند.

فرانسیس تیبالز^۲ از مهم‌ترین شاخصه‌های فضاهای عمومی شهری را تماس و تعامل انسان‌ها با یکدیگر می‌داند. جان لنگ^۳ معتقد است چگونگی تصمیم‌گیری‌های جمعی در یک شهر وابسته به فضاهای عمومی آن شهر است. کرمونا^۴ عرصه‌های کالبدی و عرصه‌های عمومی، فرهنگی و اجتماعی را مورد بررسی قرار داده است. نانسی فریزر^۵ فضاهای عمومی را تامین‌کننده منافع عمومی شهروندان تلقی می‌کند. سعید ایزی^۶ استفاده مداوم از فضاهای عمومی را باعث امنیت شهر می‌داند و توسعه این فضاها را عامل زندگی با کیفیت‌تر شهروندان و مرغوبیت یک شهر قلمداد می‌کند (پوو و همکاران ۲۰۲۱).

برای ایجاد فضاهای عمومی چندین هدف را می‌توان مورد نظر و بررسی قرار داد و آنها را می‌توان چنین بیان کرد: اولین و در عین حال مهم‌ترین هدف فضاهای عمومی این است که مردم را از خانه خارج کند و به اجتماع بازگرداند. دعوت مردم به حضور در اجتماع در دورانی که انسان هر روز بیشتر از روز قبل به سمت انزوا کشیده می‌شود، هدف بزرگی است که اگر محیطی بتواند تنها همین وظیفه اجتماعی را به انجام برساند، به جرات می‌توان گفت که در رسالت خود به عنوان یک فضای عمومی کاملاً موفق عمل کرده است (دارابی و همکاران، ۲۰۱۹). همچنین فضاهای عمومی شهری با داشتن فاکتورهای یک فضای جمعی مناسب، می‌تواند در ارتقای تعاملات اجتماعی تاثیرگذار باشند. در واقع حضور در چنین فضایی برای شهروندان می‌تواند نوعی تمرین جهت تجمع و گردهمایی باشد. این موضوع کاربرد فضاهای عمومی را از محلی صرفاً برای تفریح و وقت‌گذرانی خارج کرده و می‌تواند موجب افزایش همبستگی اجتماعی و تقویت یکپارچگی جامعه شود که خود عاملی جهت ایجاد سرمایه‌های اجتماعی در جامعه، کاهش فشارهای اجتماعی و ارتقای کیفیت زندگی شهری می‌شود (دینسر و همکاران ۲۰۱۶). امروزه رهیافت‌های گوناگونی برای برون رفت و مواجهه با مشکلات شهرنشینی مطرح شده است؛ یکی از جدیدترین این موارد پیشنهادی، استفاده از قابلیت‌های توسعه زیرزمینی در شهرها و به ویژه کلان‌شهرها است (کی‌هو ۲۰۱۶). توسعه فضاهای زیرزمینی شهری با هدف تامین زیرساخت‌های مورد نیاز شهرها در حوزه حمل‌ونقل و تاسیسات و شریان‌های حیاتی، حل مسائل شهری، ایجاد فضاهای امن و پناهگاه‌های چندمنظوره به ویژه در مکان‌های

(۱۳۹۵) معادل با ۸۴۲۹۸۰۷ نفر اعلام شده است (دارابی و همکاران، ۲۰۱۹). ارتفاع تهران بین ۱۰۵۰ تا ۱۸۰۰ متر از سطح دریا است. متوسط دمای سالانه و رطوبت نسبی در تهران به ترتیب حدود ۱۵ درجه سانتیگراد و ۴۰٪. و متوسط بارندگی سالانه تهران حدود ۲۴۲ میلیمتر است. ناهمواری‌های تهران شامل: رشته کوه‌های البرز در شمال، بخش‌های مرکزی و کوهپایه‌های جنوبی البرز و دشت‌های آن است و اقلیمی نیمه خشک دارد. آب و هوای استان تهران تحت تاثیر رشته کوه البرز در شمال، دشت کویر در جنوب و بادهای باران‌زا غربی قرار دارد که باعث شده تا در مناطق مختلف تهران آب و هوای مختلفی شکل بگیرد. این استان دارای ۱۶ شهرستان، ۴۵ شهر و ۷۸ دهستان است و به ۲۲ منطقه و ۱۲۲ ناحیه شهری تقسیم شده است. بررسی‌های زمین‌شناسی صورت گرفته بیانگر آن است که شهر تهران روی چندین گسل، از جمله گسل‌های شمال تهران، مشا، نیاوران، شیان و کوثر، شمال ری، جنوب ری، کهریزک، پارچین، دارآباد، عباس‌آباد، نارمک، قصر فیروزه و جز آن‌ها قرار دارد (رودباری ۱۴۰۱).

از جمله مهمترین دلایل انتخاب شهر تهران به عنوان نمونه موردی پژوهش، به موارد زیر می‌توان اشاره کرد: شهر تهران به لحاظ تاریخی و باستان‌شناسی دارای سوابقی از سکونتگاه‌های زیرزمینی بوده است؛ توسعه خطوط مترو در تهران توام با مطالعات و طراحی‌های اولیه در این خصوص بوده است؛ با توجه به گسترش فیزیکی شهر و افزایش جمعیت، نیاز و ضرورت استفاده بهینه از فضاهای زیرزمینی احساس می‌گردد؛ در طرح جامع شهری تهران (سال ۱۳۸۵) بر لزوم استفاده از فضاهای زیرزمینی تاکید شده است؛ تهران می‌تواند به عنوان الگویی برای سایر شهرهای کشور مطرح باشد. شکل (۱) نقشه سیستم زهکشی شهر تهران را نشان می‌دهد.

سالانه شهروندان را تایید کردند. وانگ^۱ و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی عوامل موثر بر توسعه بالقوه فضای شهری زیرزمینی در بخشهایی از شهر نانینگ چین پرداختند. عوامل متعددی از قبیل: زمین‌شناسی، قیمت زمین، شرایط مکانی، سطح توسعه اقتصادی، مزایای توسعه فضای شهری زیرزمینی و سازگاری با برنامه‌ریزی شهری برای بررسی انتخاب شدند. نتایج نشان دادند هر چه قیمت متوسط مناطق بالاتر باشد، ارتباط مثبت و معناداری با توسعه بالقوه فضای شهری زیرزمینی وجود دارد؛ لذا مناطق با قیمت بالاتر زمین و شرایط مطلوب مکانی، دارای اولویت توسعه هستند. بایلیف^۳ (۲۰۱۱) مشکلات زیرساختاری فضای شهری زیرزمینی در مسکو را بررسی کرد.

نگاهی به تاریخ کهن تهران نشان می‌دهد که تهران در ابتدا آبادی در نزدیکی ری بوده که دارای محلاتی در زیرزمین بوده است و اهالی آن در زیرزمین زندگی می‌کرده‌اند. با توجه به توصیفات تاریخ‌نگاران از تهران، ساختن خانه‌ها در زیر زمین به دو دلیل توجیه‌پذیر است: گرمای شدید منطقه در فصل تابستان و دفاع در برابر دشمن خارجی. همچنین فضاهای زیرزمینی در تهران قدیم بیشتر به صورت قنات و یا آب انبار مورد استفاده قرار می‌گرفتند و با گذشت زمان بسیاری از این فضاها جهت استفاده مجدد، تغییر کاربری داده‌اند.

مواد و روش‌ها

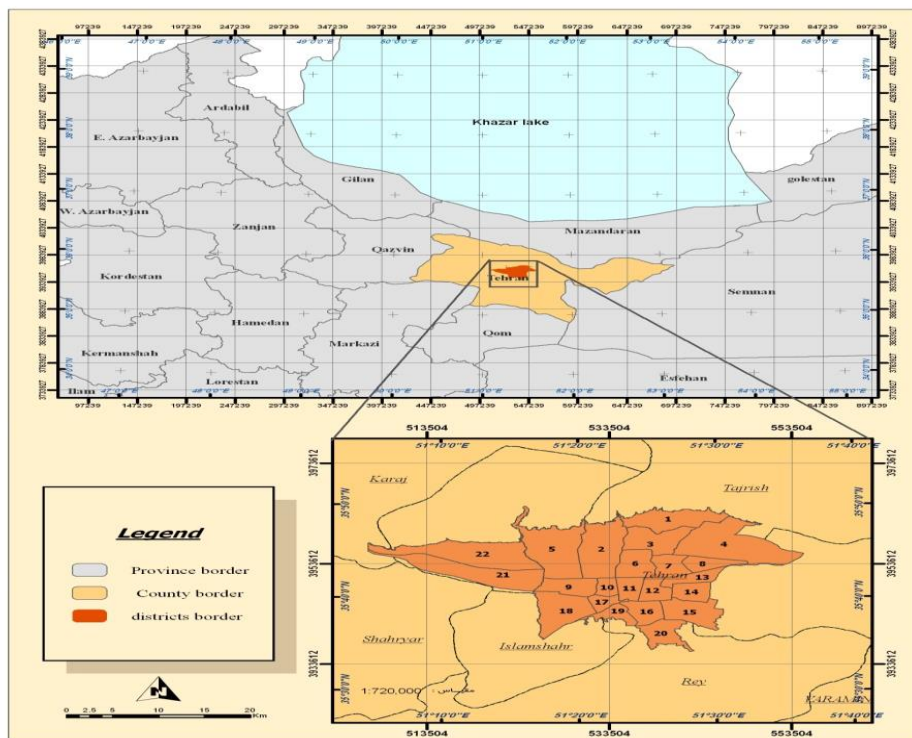
منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی در این پژوهش، شهر تهران است که در دامنه‌های جنوبی رشته کوه البرز قرار دارد. تهران با مساحت ۷۳۰ کیلومتر مربع، عنوان بیست و هفتمین شهر بزرگ جهان را به خود اختصاص داده است. جمعیت تهران طبق سرشماری ملی اخیر

⁵Bobylev

³Wang

⁴Nanning



شکل ۱- نقشه موقعیت منطقه مطالعاتی

مواد و روش‌ها

با توجه به اینکه مقدار میانگین واریانس استخراجی (AVE) در تمامی متغیرها بزرگ‌تر از ۰/۴ بوده است، مناسب بودن میزان روایی همگرا نیز مورد تأیید و تصدیق قرار گرفت. برای سنجش روایی همگرا از رابطه ۱ استفاده شد.

$$AVE = \frac{\sum \lambda_i^2}{\sum \lambda_i^2 + \sum \text{var}(\varepsilon_i)} \quad \text{رابطه (۱)}$$

در این فرمول، λ مقدار بار عاملی و واریانس خطا (ε) در محاسبات در نظر گرفته شده است.

همچنین، در این تحقیق پایایی ابزار تحقیق بر اساس ضریب آلفای کرونباخ و پایایی ترکیبی مورد بررسی قرار گرفت. پایایی ترکیبی (مرکب) باید مقداری بیش از ۰/۷ را به دست آورد تا بیانگر ثبات درونی سازه باشد (کامیابی و همکاران، ۱۳۹۴). ضریب پایایی مرکب به صورت رابطه (۲) محاسبه شده است:

$$CR = \frac{\left(\sum_{i=1}^n \lambda_i\right)^2}{\left(\sum_{i=1}^n \lambda_i\right)^2 + \left(\sum_{i=1}^n \delta_i\right)} \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در آن λ مقدار بار عاملی و δ واریانس خطا است. نتایج ضریب

این تحقیق بر مبنای روش ترکیبی (آمیخته) انجام پذیرفته است. پژوهش‌های ترکیبی، مجموعه اقداماتی است که برای جمع‌آوری، تحلیل و ترکیب اطلاعات کمی و کیفی در یک مطالعه واحد و به منظور شناخت مسئله تحقیق انجام می‌شوند. گام‌ها و مراحل تحقیق به شرح ذیل می‌باشند:

گام اول: در ابتدا با روش مطالعات کتابخانه‌ای و بررسی نمونه‌های موجود داخلی و خارجی، پیشینه تحقیق و مبانی نظری داده‌های مورد نیاز گردآوری شد. سپس از طریق کدگذاری چندمرحله‌ای، نسبت به تدوین مولفه‌های اثرگذار بر طراحی مدل اقدام گردید. در پایان این مرحله، فهرست اولیه از عوامل موثر تهیه شد.

گام دوم: در این مرحله اقدام به منظور بازشناسایی و تأیید فهرست استخراج‌شده از مرحله پیشین، اقدام به طراحی پرسشنامه محقق‌ساخته گردید. روایی صوری و محتوایی آن توسط ۳ نفر از اساتید دانشگاهی ارزیابی شد. سپس، از میان متخصصان و خبرگان حوزه‌های دانشی مرتبط با رشته‌های معماری، شهرسازی، طراحی شهری و برنامه‌ریزی منطقه‌ای، نمونه آماری انتخاب شد. نمونه‌گیری در این پژوهش با استفاده از روش غیراحتمالی به صورت هدفمند انجام شد و تا اشباع نظری ادامه پیدا کرد. تعداد نمونه‌ها ۲۳ نفر به دست آمد. در این بخش از روش تحلیل عاملی تأییدی استفاده شد.

"موافق" و "مخالف" ضریب ۲ در نظر گرفته شده است. امتیاز بدست آمده از تمامی "موافق"ها، عددی مثبت و "مخالف"ها، عددی منفی در نظر گرفته شده‌اند و سپس امتیازات منفی از امتیازات مثبت کم شده است تا برای هر مورد از پرسشنامه در هر فضا یک امتیاز بدست آید.

نتایج و بحث

مدل پارادایمی براساس یافته‌های تحقیق مشتمل بر ۴ عامل اصلی و ۲۰ عامل فرعی به شرح ذیل بوده است:

الف) عوامل بهداشتی و محیط زیستی

رعایت زیبایی بصری، ملاحظات کنترل آلودگی‌های محیطی، رعایت نظافت و پاکیزگی، تهویه و تصفیه هوا به شکل مناسب

ب) عوامل ایمنی و امنیتی

احساس امنیت توسط شهروندان هنگام وقت‌گذرانی در فضا، احساس راحتی شهروندان هنگام وقت‌گذرانی در فضا، رعایت مسائل ایمنی، فاصله از گسل‌های فعال، کنترل آب‌های زیرزمینی، در نظر گرفتن خطر رانش و نشست زمین

پ) عوامل کالبدی، دسترسی به فضا، سازمان‌یافتگی فضایی، خوانایی فضایی و ایجاد حس دعوت‌کنندگی، استفاده از مبلمان شهری مناسب، قابلیت استفاده برای کاربری‌های مختلف، دارا بودن وجه تمایز فضا با سایر فضاهای عمومی زیرزمینی، القا کردن حس تعلق به فضا

ت) عوامل اجتماعی و فرهنگی

دارا بودن ویژگی سرزندگی، دارا بودن ویژگی جامعیت و قابل استفاده بودن برای اقشار مختلف، وجود فعالیت‌های متنوع جهت جذب کاربران

پیش از اجرای معادلات ساختاری، شاخص کفایت نمونه‌گیری (KMO) جدول (۱) محاسبه گردید. این شاخص برابر با ۰/۸۹ محاسبه شد. بنابراین، نتایج بیانگر آن است که انجام مدل معادلات ساختاری تحقیق مجاز و دارای اعتبار لازم است.

همبستگی درونی گویه‌ها و مولفه‌های پرسشنامه با استفاده از آزمون آلفای کرونباخ و ضریب پایایی ترکیبی نشان داد که ضرایب تمامی آنان بالاتر از ۰/۷ می‌باشد و بیانگر آن است که پرسشنامه و مولفه‌ها از قابلیت پایایی و اعتبار مناسبی برخوردار است.

گام سوم: پس از جمع‌بندی مراحل اول و دوم و تدوین الگوی کلی، با استفاده از روش به منظور بررسی روایی همگرا و واگرا ابزار تحقیق از ضرایب میانگین واریانس به اشتراک گذاشته شده (AVE) بر اساس تحلیل عاملی استفاده شده است. همچنین از مدل معادلات ساختاری به روش حداقل مربعات جزئی (PLS) بر اساس نرم‌افزار SmartPLS نسخه ۲ استفاده گردید.

گام چهارم: پس از شناسایی مهمترین معیارها با تکمیل ماتریس تصمیم‌گیری و بهره‌گیری از روش تاپسیس (TOPSIS) نسبت به اولویت‌بندی و تعیین گزینه ایده‌آل توسط گروه خبره، اقدام شد. در روش TOPSIS، m گزینه به وسیله n شاخص ارزیابی می‌گردد. بر این اساس گزینه‌ها بر اساس حداقل فاصله از راه‌حل ایده‌آل (راه‌حل ایده‌آل مثبت یا بهترین حالت ممکن A_i^+) و حداکثر فاصله از راه‌حل ایده‌آل منفی (راه‌حل ایده‌آل منفی یا بدترین حالت ممکن) دارند، انتخاب می‌شوند (یو و همکاران، ۲۰۲۱).

به منظور مقایسه و اولویت‌بندی گزینه‌ها، شش فضای منتخب توسط تیم تحقیق شناسایی و به گروه خبرگان معرفی شدند. این فضاها شامل: ۱. زیرگذر چهارراه ولیعصر، ۲. ایستگاه مترو امام خمینی، ۳. کتابخانه دانشگاه علم و صنعت، ۴. مجموعه تفریحی و تجاری بام‌لند، ۵. موزه قرآن، ۶. مجموعه فرهنگی آزادی؛ می‌باشند.

برای امتیازدهی به آمارهای بدست آمده از پرسشنامه‌ها از روش وزن‌دهی به آنها استفاده شده است. در ابتدا پاسخ‌های "بدون نظر" از مجموع پاسخ‌ها حذف شده تا به بررسی پاسخ‌های روشن پرداخته شود. سپس برای هر یک از گزینه‌های پرسشنامه ضریبی در نظر گرفته شده است تا درجه اهمیت هر یک از دیگری متمایز باشد. برای "کاملاً موافق" و "کاملاً مخالف" ضریب ۳ و برای

جدول ۱- نتایج آزمون KMO برای کفایت نمونه‌ها

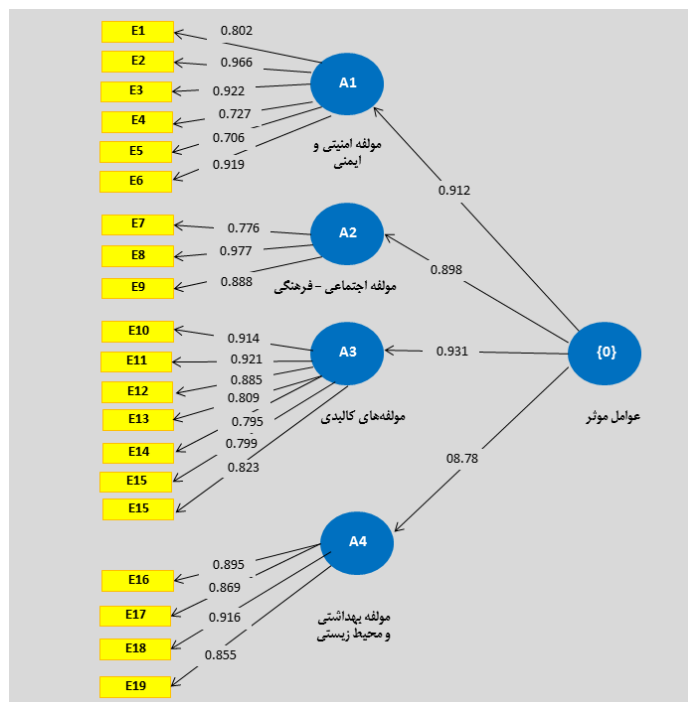
Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy	۰/۸۹
Chi-square	۱۴۴۰/۳۳۱۱
Df	۲۲۳۱
Sig.	۰/۰۰۰

استخراج شده (AVE) بزرگتر از ۰/۴ است، بنابراین روایی همگرا نیز تایید می‌شود (جدول ۲). معیار دیگری که برای بررسی پایایی ابزار استفاده می‌شود، مقدار بارهای عاملی است که از طریق محاسبه مقدار همبستگی شاخص‌های یک سازه با آن سازه محاسبه می‌شوند. هالند (۱۹۹۹) معتقد است که اگر این مقدار (بارعاملی) برابر یا بیش از ۰/۴ شود، پایایی آن عامل در مدل قابل قبول است. نتایج نشان می‌دهد که، تمامی گویه‌ها دارای بار عاملی قابل قبولی بوده‌اند، و مقادیر ضرایب معناداری (T) برای تمام موارد بزرگتر از ۱/۹۶ است، بنابراین در سطح اطمینان ۰/۹۵ معنادار هستند (شکل ۲).

برای برازش مدل اندازه‌گیری در روش حداقل مربعات جزئی (PLS) ابتدا باید سه معیار مورد سنجش قرار گیرد، (۱) آلفای کرونباخ (۲) پایایی ترکیبی، (۳) ضرایب بارهای عاملی. پس از آن، روایی همگرا و واگرا مورد بررسی قرار می‌گیرد. در صورتی که آلفای کرونباخ بالاتر از ۰/۷ باشد، قابل قبول است. همچنین اگر مقدار پایایی ترکیبی برای هر مولفه بیشتر از ۰/۷ تعیین شود، نشان از پایداری درونی مناسب برای مدل اندازه‌گیری دارد. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که تمام مولفه در بخش شرایط علی (عوامل اصلی و فرعی) از ضریب آلفای کرونباخ و مقدار پایایی ترکیبی مورد تایید برخوردار هستند. همچنین مقدار AVE باید بالاتر از ۰/۴ باشد. که بر این اساس، در این بخش مقدار میانگین واریانس

جدول ۲- بررسی ضرایب پایایی عوامل موثر

عوامل اصلی	عوامل فرعی	ضریب آلفای کرونباخ (α)	پایایی ترکیبی (CR)	میانگین واریانس استخراج شده (AVE)
بهداشتی و محیط زیستی	رعایت زیبایی بصری	۰/۸۲۳	۰/۷۸۲	۰/۵۵۵
	ملاحظات کنترل آلودگی‌های محیطی	۰/۹۲۲	۰/۹۳۵	۰/۹۴۴
	رعایت نظافت و پاکیزگی	۰/۷۳۱	۰/۸۰۱	۰/۷۱۳
	تهویه و تصفیه هوا به شکل مناسب	۰/۸۱۹	۰/۸۶۰	۰/۷۱۴
امنیتی و ایمنی	احساس امنیت توسط شهروندان	۰/۸۲۲	۰/۷۹۹	۰/۷۱۱
	احساس راحتی شهروندان هنگام وقت‌گذرانی در فضا	۰/۷۶۶	۰/۷۰۹	۰/۷۱۵
	رعایت مسائل ایمنی	۰/۸۶۷	۰/۹۱۵	۰/۷۷۵
	فاصله از گسل‌های فعال	۰/۷۴۴	۰/۷۹۸	۰/۶۶۶
	کنترل آب‌های زیرزمینی	۰/۸۱۱	۰/۸۰۱	۰/۶۰۹
کالبدی	در نظر گرفتن خطر رانش و نشست زمین	۰/۷۲۶	۰/۸۱۴	۰/۶۵۵
	دسترسی به فضا	۰/۷۵۴	۰/۷۳۵	۰/۷۱۶
	سازمان‌یافتگی فضایی	۰/۸۱۷	۰/۷۶۵	۰/۷۰۳
	خوانایی فضایی و ایجاد حس دعوت‌کنندگی	۰/۸۶۶	۰/۷۳۵	۰/۶۱۹
	استفاده از مبلمان شهری مناسب	۰/۷۸۷	۰/۷۵۰	۰/۷۶۲
	قابلیت استفاده برای کاربری‌های مختلف	۰/۸۱۸	۰/۷۴۴	۰/۶۹۸
	دارا بودن وجه تمایز فضا با سایر فضاهای عمومی	۰/۸۳۲	۰/۷۴۵	۰/۶۹۳
اجتماعی و فرهنگی	القا کردن حس تعلق به فضا	۰/۷۷۷	۰/۷۵۲	۰/۶۹۹
	دارا بودن ویژگی سرزندگی	۰/۸۱۷	۰/۷۰۳	۰/۶۱۱
	ویژگی جامعیت برای اقشار مختلف	۰/۷۹۵	۰/۷۱۴	۰/۶۸۴
	وجود فعالیت‌های متنوع جهت جذب کاربران	۰/۸۱۶	۰/۹۱۲	۰/۸۷۲



شکل ۲- مقادیر بار عاملی عوامل موثر و مولفه‌های اصلی و فرعی

شوند. لذا داده‌ها استاندارد و ماتریس نرمالیزه (R_{ij}) به کمک رابطه ۳ تهیه گردید.

$$R_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m a_{ij}^2}} \quad \text{رابطه (۳)}$$

به منظور هم‌ارزش نمودن درایه‌های ماتریس نرمالیزه، باید اوزان مقیاس‌های عوامل مورد نظر را نسبت به یکدیگر محاسبه نمود. اما به دلیل اینکه وزن معیارها در این مطالعه با کمک نظر کارشناسان یکسان در نظر گرفته شده است، ماتریس بی‌مقیاس موزون (R_i) با ماتریس نرمالیزه موزون (V_{ij}) برابر می‌شود. بنابراین نیازی به محاسبه ماتریس V_{ij} و نمایش آن در جدول نیست. مقادیر ایده‌آل‌های مثبت A^+ و منفی A^- هر کدام از عوامل موثر، به ترتیب از طریق رابطه‌های (۴) و (۵) در جدول (۳) تعیین گردید.

$$A^+ = \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$\{(Max\ vij | j^+), (min\ vij | j^-)\}$$

$$A^- = \quad \text{رابطه (۵)}$$

$$\{(Min_{i=1}^m\ vij | j^+), (max\ vij | j^-)\}$$

میانگین مقادیر ضرایب R^2 (۰/۰۸۸) و مقدار میانگین مقادیر اشتراکی (۰/۹۳) آن بدست آمد. با توجه به فرمول زیر مقدار GOF معادل (۰/۳۸۲) بدست آمد که با توجه به دسته بدنی و ترنس و همکاران (۲۰۰۹) نشان از برازش قوی مدل نهایی پژوهش است.

$$GOF = \sqrt{Communality \times R^2} =$$

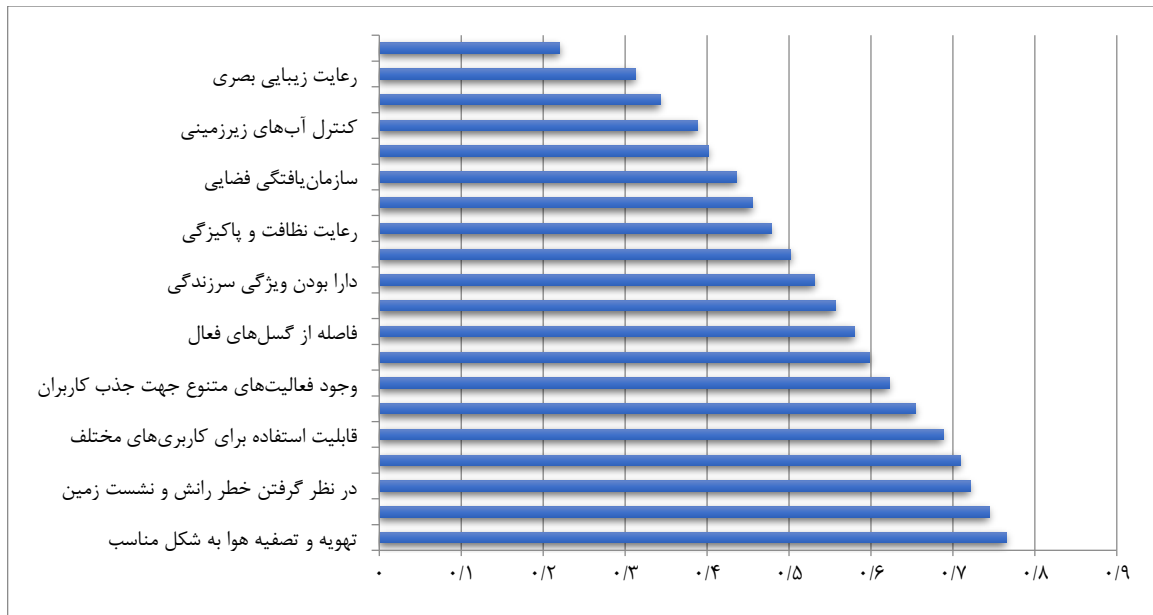
در گام بعدی با کمک روش TOPSIS اقدام به استاندارد سازی معیارها برای اولویت‌بندی نهایی این معیارها شد. در روش تاپ‌سیس ابتدا باید ماهیت شاخص‌ها مشخص گردد که در این مورد ماهیت همه شاخص‌ها مثبت بود. همچنین وزن‌های شاخص‌ها و امتیازهای هر یک از معیارها با توجه به نظرات کارشناسان تعیین شد. در این روش پس از شناسایی و دسته‌بندی معیارها، ماتریس داده‌های اولیه (A_{ij}) تشکیل یافت. پس از آن به جهت این که مقادیر مربوط به هر کدام از عوامل، دارای واحدی متفاوت هستند، لازم است تا آنها به ارقام بی‌بعد تبدیل

جدول ۳- مقادیر ایده‌آل مثبت و منفی عوامل موثر در توسعه فضاهای زیرزمینی در شهر تهران

عامل ایمنی و امنیت	عامل بهداشتی و محیط زیستی	عامل کالبدی	عامل اجتماعی و فرهنگی	عامل
--------------------	---------------------------	-------------	-----------------------	------

ایده‌آل				
A^+	۰/۲۸	۰/۲۷۶	۰/۳۶۹	۰/۴۷۵
A^-	۰/۰۵۶	۰/۰۲۷	۰/۰۰۵	۰/۰۳

براین اساس، اولویت‌بندی مولفه‌ها (عوامل اصلی و فرعی) تعیین شد که در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳- رتبه‌بندی عوامل موثر بر توسعه زیرزمینی فضاهای عمومی در شهر تهران

همچنین ضریب نزدیکی نسبی عوامل موثر مورد مطالعه نیز از رابطه (۶) تعیین گردید و در جدول (۴) نمایش داده شده است.

$$Cl_i^- = \frac{d_i^+}{d_i^- + d_i^+} \text{ or } Cl_i^+ = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+} \quad (\text{رابطه } 6)$$

رتبه‌بندی گزینه‌ها بر اساس میزان Cl_i . مقدار Cl_i بین صفر و یک در نوسان است. $Cl_i = 1$ نشان‌دهنده بالاترین رتبه و $Cl_i = 0$ نیز نشان‌دهنده کم‌ترین رتبه است.

جدول ۴- رتبه‌بندی گزینه‌های منتخب به منظور توسعه فضاهای عمومی زیرزمینی در شهر تهران

رتبه بندی نهایی	(Cl_i)	عوامل موثر
۱	۰/۸۶۱	مجموعه فرهنگی آزادی
۲	۰/۷۷۴	زیرگذر چهارراه ولیعصر
۳	۰/۷۷۱	ایستگاه مترو امام خمینی
۴	۰/۷۰۲	کتابخانه دانشگاه علم و صنعت
۵	۰/۶۶۱	مجموعه تفریحی و تجاری بام‌لند
۶	۰/۵۷۳	موزه قران

نتیجه گیری و پیشنهادها

در مجموع و پس از پایان ارزیابی‌های صورت گرفته بر روی نمونه‌های مورد مطالعه، نتایج به شرح ذیل حاصل گردید. عامل "تصفیه و تهویه هوا" به عنوان مهمترین عامل موثر و نیز عامل "القا کردن حس تعلق به فضا" به عنوان کم‌اهمیت‌ترین عامل شناسایی شدند. فضاهایی که از لحاظ طراحی معماری کیفیت بالاتری دارند، از مقبولیت و جذابیت بیشتری برخوردارند. به همین دلیل گزینه "مجموعه فرهنگی آزادی تهران" که از پیشینه تاریخی و سبک معماری بهتری برخوردار است، به عنوان گزینه برتر انتخاب شده است. احتمالاً یکی دیگر از دلایل انتخاب مجموعه فرهنگی آزادی تهران به عنوان گزینه برتر در این تحقیق آن بوده است که با توجه به جاذب جمعیت بودن مناطق مرکزی شهر تهران، پیش‌بینی فضاهای عمومی چه در روی زمین و چه در زیر زمین می‌تواند نسبت به مناطق دیگر شهر، مخاطبان بیشتری داشته باشد. همچنین تنوع و تعدد دسترسی به فضا نیز عامل مهم دیگری است. از سوی دیگر، جنبه‌های ایمنی و امنیت نظیر فاصله از گسل‌ها، احتمال رانش و نشست زمین و نیز خطر آب‌های زیرزمینی در این میان نقش مهمی داشته‌اند. به علاوه، به نظر میرسد ورود نور طبیعی به فضاهای زیرزمینی با میزان سرزندگی در آن فضا رابطه مستقیم دارد. وجود هوای تازه با میزان سرزندگی در آن فضا رابطه مستقیم دارد. میزان نور و اکسیژن در فضاهای زیرزمینی با میزان سلامت جسمی و روانی بهره‌برداران بلندمدت رابطه مستقیم دارد. همچنین، رعایت مسائل ایمنی و استانداردهای مربوطه باعث افزایش تمایل به استفاده از فضاهای زیرزمینی می‌گردد.

رشد روزافزون جمعیت، نیاز و محدودیت زمین همواره یکی از مشکلات مطرح در شهر تهران بوده است. از دیگر مشکلات شهر تهران می‌توان به تراکم ترافیکی، شرایط بد زیست محیطی با توجه به آلودگی‌های هوا و صوتی، ازدحام و کمبود فضا برای کار و تفریح و سرگرمی، مشکلات در حفظ میراث فرهنگی محیط شهری اشاره کرد. تجربه جهانی استفاده از فضاهای زیرزمینی نشان می‌دهد که در بسیاری از موارد از جمله، سازگاری با اقلیم‌های نامساعد در سرما و گرمای بسیار شدید، توسعه حمل و نقل عمومی در شهرهای پرتراکم و پر ترافیک، تامین فضا در مناطقی که با کمبود زمین مواجه هستند، حفاظت از محیط زیست و افزایش فضای سبز و همچنین ساخت پناهگاه برای مقابله با بلایای طبیعی (در شهرهایی که در معرض آن قرار دارند) نه تنها جوابگوی مشکلات و نیازهای شهری بوده‌اند، بلکه در بسیاری موارد به عنوان تنها راه‌حل موجود توانسته‌اند به ارتقای سطح کیفی شهرها و افزایش رضایت شهروندان کمک بسزایی کنند.

بنابراین استفاده از این الگوها و تطبیق آن با نیازها و شرایط هر شهر، می‌تواند همواره راه‌حلی مناسب برای بسیاری از مشکلات شهر به خصوص در تامین فضاهای عمومی شهری باشد. بر اساس تحقیقات و مطالعات انجام شده، کاربردهای متعدد و متنوعی را می‌توان برای فضاهای زیرزمینی شهری در نظر گرفت. از جمله آنکه طبق نظر پژوهنده و همکاران (۱۴۰۱) از این گونه فضاها می‌توان به عنوان ابزاری برای تحقق اهداف پدافند غیرعامل استفاده کرد. همچنین، این موضوع به حل مشکل ترافیک تا حدود زیادی موثر است (برمایه‌ور و کوبکی، ۱۳۹۸). برخی از زیرساخت‌ها و تاسیسات شهری نیز می‌تواند در زیرزمین مستقر شوند. نظیر کانال‌های عبور فاضلاب و قنات و ... (سالیس و همکاران، ۲۰۱۸). برخی از انواع کاربری‌های مورد نظر را نیز می‌توان در فضاهای زیرزمینی توسعه داد. همانند فضاهای تجاری (تانو و همکاران، ۲۰۱۶).

اگرچه توسعه فضاهای زیرزمینی به عنوان راه‌حلی مناسب، چندین دهه است که در بسیاری از کلان شهرهای جهان مورد استفاده قرار می‌گیرد و دارای نقاط مثبت بسیاری می‌باشد، ولیکن این نکته را نیز نباید از یاد برد که همواره محدودیت‌هایی نیز برای توسعه فضاهای زیرزمینی وجود خواهد داشت که شناسایی و بررسی آن‌ها به ارتقای کیفیت این فضاها و کاهش مشکلات در طراحی، اجرا و استفاده از آن‌ها کمک بسزایی خواهد کرد. با توجه به آنچه تاکنون در این پژوهش ارائه شده است، از مهمترین محدودیت‌ها و مشکلات استفاده و توسعه فضاهای زیرزمینی به عنوان فضاهای عمومی شهری می‌توان به عدم کارایی و رونق فضا، عدم امنیت و افزایش جرم‌خیزی، دسترسی محدودتر به فضاهای باز در حوادث ناگهانی و همچنین ایجاد هزینه‌های بیشتر جهت تهویه، روشنایی، امنیت و غیره، نگرش منفی جامعه در مقایسه با فضاهای روی زمین، مشکل در برقراری ارتباط با مکان و کاهش قدرت مکان‌یابی در زیرزمین اشاره کرد. علاوه بر آن، احتمال بروز مشکلات جسمی ناشی از کمبود نور و ارزش اقتصادی کمتر نسبت به روی زمین، از دیگر موانع و مشکلات توسعه فضاهای زیرزمینی هستند. این مسائل همواره به عنوان موانعی در توسعه فضاهای زیرزمینی و عدم توجه به پتانسیل‌های آن مطرح بوده است. شهر تهران همانند بسیاری از شهرهای بزرگ جهان، از فضاهای متنوع و مختلف در گوشه و کنار شهر بهره‌مند است. بسیاری از این فضاها محل تجمع شهروندان و مراودات اجتماعی ایشان است. این فضاها از جنبه‌های مختلف قابل بررسی می‌باشند. نقش این فضاها بر تعامل بین شهروندان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. به عبارتی، هرگاه فضاهای عمومی دارای تناسب با موقعیت مکانی، استقرار و ارتباط با محیط پیرامون و جذب مخاطب و شهروندان باشد،

می‌رسد با انجام موارد فوق در طراحی فضاهای زیرزمینی تحولات چشم‌گیری در این حوزه به وقوع خواهد پیوست که متاثر از آن، با پذیرش افکار عمومی، استفاده از معماری زیرزمینی در توسعه فضاهای عمومی با استقبال بیشتری مواجه خواهد گردید و بدین شکل، مشکل کمبود فضاهای عمومی شهر تهران قابل برطرف شدن خواهد گردید.

References

93. Bahadori A, Pourjafar M, Ranjbar E. The relationship between natural factors of urban public spaces and psychological well-being in Tehran. *Armanshahr architecture and urban planning*, 2022, 14(36), 132-146 pp. SID. <https://sid.ir/paper/956426/fa> (In Persian).
94. Barmayeh B, Kokbi L. Analyzing the formation of cyberparks as smart urban public open spaces (case study: pioneering cyberpark projects). *Urban Planning Geography Research*, 2018, 7(4), 855-877. SID. <https://sid.ir/paper/379628/fa> (In Persian).
95. Bobylev N. Underground space as an urban indicator: Measuring use of subsurface. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 2016, 55 (2016) 40–51
96. Broere W. Urban underground space: Solving the problems of today's cities. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 2016, 55 (2016) 245-248.
97. Cakir O, Evren S, Tören E, Kozak N. Utilizing the sustainable livelihoods approach to evaluate tourism development from the rural host communities' point of view: The case of Cappadocia (Turkey). *GeoJournal of Tourism and Geosites*, 2018, 21(1), 7-25.
98. Chen Z, Wang Y. The urban underground space planning. *Southeast University Press*, Nanjing, 2015
99. Costa CS, Bovelet J, Dolata K, Menezes M. Building a theory on co-creating a Cyberpark Lessons learnt from the COST Action CyberParks and the Flussbad Project, Berlin. *Beyond Mirrors: research pathways*, 2018. PP. 165-174.
100. 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.
101. Dincer I, Orhan A, Frattini P, Crosta, GB. Rockfall at the heritage site of the Tatlarin Underground City (Cappadocia, Turkey). *Natural Hazards*, 2016, 82(2), 1075-1098.
102. Gurer N, Imran Guzel B, Kavak I. Evaluation on Living Public Space and their Qualities, Case Study from Anlara Konur, karanful & Yuksel Streets. *Iop Conference Series, materials, Science & Engineering*, 2017, 245(7), 1-14. <https://ur.booksc.eu/book/68379308/0bf4b9>
103. Hunt DVL, Makana LO, Jefferson I, Rogers, CDF. Liveable cities and urban underground space. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 2016, 55, 8-20.
104. Kamyabi S, Alipour S, Miremadi E. Evaluation of urban space safety with emphasis on passive defense indicators using AHP and TOPSIS method (case study: Semnan city), *the first national conference of urban management of Iran*, Tehran. 2014. (In Persian).
105. Lawlor E, Nicholls J. Hitting the Target, Missing the Point: How Government Regeneration Targets Fail Deprived Areas. London: *New Economics Foundation*. 2008.
106. Li X, Hung Y, Ma X. Evaluation of the accessible urban public green space at the community-scale with the consideration of temporal accessibility and quality. *Ecological Indicators*. 2021, 131, 108-231. journal homepage: www.elsevier.com/locate/ecolind
107. Margherita Z, Claudio C, Laura E, Alessandra N. A risk assessment proposal for underground cavities in Hard Soils-Soft Rocks. *International journal of rock mechanics and mining sciences*, 2018, 103, 43-54.
108. Menezes, M, Arvanitidis P, Kenna T, Ivanova-Radovanova P. People - Space- Technology: An Ethnographic Approach, In *CyberParks-The Interface between People, Places and Technology*, 2019. (pp. 76-86). Springer, Cham.
109. Mohtashamnia S. Investigating environmental sustainability using ecological footprint index (Case study: Abadan city, in Khuzestan province), *Journal of New Researches in Environmental Engineering*, 1(1), 2022, 55-66 (In Persian).

آنگاه باعث افزایش کیفیت زندگی و رفاه شهری می‌گردد. از اینرو به نظر می‌رسد در شهر تهران نیز همانند بسیاری از شهرهای دیگر، کمبود یا ناکارآمدی فضاهای عمومی متناسب با شرایط زمانی، مکانی، موضوعی و جمعیتی وجود داشته باشد و بررسی فضاهای عمومی شهر تهران از جنبه‌های مختلف و تحلیل نتایج آن می‌تواند راهکارهای درستی پیش روی مدیران و طراحان شهری در راستای ارتقا کیفیت زندگی شهری قرار دهد. به نظر

110. Moulai A. Studying the capabilities of underground urban development in improving city safety with a passive defense approach. *Safe City*, 2017. 1(4), 0-0. SID. <https://sid.ir/paper/516123/fa> (In Persian).
111. Mueller J, Lu H, Chirkin A, Klein B, Schmitt G. Citizen design science: A strategy for crowd-creative urban design. *Cities*, 2018, 72, 181-188.
112. Nasrasafhani R, Safari B, Bashiri M. Determining the optimal use of urban underground space (selected streets of Isfahan city). *Economics and Urban Management*, 2017. 6(2), (consecutive 22), 95-110. SID. <https://sid.ir/paper/240358/fa>. (In Persian).
113. Nikpour A, Yarahamdi M. Re-identification of street life-forming components as improving the quality of social life in small urban spaces. *Shahr Padayar Quarterly*, 3(1), pp. 2019, 41-54. (In Persian).
114. Pajohande N, Shia I, Moinifar M. Clarifying the key criteria of the formation process of integrated spatial quality in urban public spaces (case study: Panj District of Tehran Municipality). *City Identity*, 2023, 16(49), 17-34. SID. <https://sid.ir/paper/985016/fa> (In Persian).
115. Paul A, Sen J. Livability assessment within a metropolis based on the impact of integrated urban geographic factors (IUGFs) on clustering urban centers of Kolkata. *Cities*. 2018, 74, 142-150.
116. Qihu Q. Present state, problems and development trends of urban underground space in China. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 2016, 55, 280-289.
117. Ravanshad A, Sidi F, Yarmohamedtoski M. General model and indexing of women's social security in urban spaces. *Cultural Studies and Communication*, 2023, 18(66), 269-296. SID. <https://sid.ir/paper/1033464/fa> (In Persian).
118. Rudbari AA. Determining the requirements for the management of construction waste and household waste in Tehran under crisis conditions. *Tehran City Planning and Studies Center*, first edition, Tehran Municipality, 2023, 31 p. (In Persian).
119. Sulis P, Manley E, Zhong C, Batty M. Using Mobility Data as Proxy for Measuring Urban Vitality. *Journal of Spatial Information Science*, 2018, 16(16), 137-162.
120. Tano H, Aydan O, Ulusay R, Tanaka T. Geomechanical investigations and pioneering monitoring attempts in Cappadocia, Turkey. In ISRM International Symposium-EUROCK. 2016. International Society for Rock Mechanics and Rock Engineering.
121. Tong L. Underground space and urban modernization. *China Building Industry Press*, Beijing. 2016.
122. Yue W, Chen Y, Thy PTM, Fan P, Liu Y, Zhang W. Identifying Urban Vitality in Metropolitan Areas of Developing Countries from a Comparative Perspective: HoChi Minh City versus Shanghai. *Sustainable Cities and Society*, 2021, 65, 102609.
123. Wang X, Zhen F, Huang X, Zhang M, Liu Z. Factors influencing the development potential of urban underground space: Structural equation model approach. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 2023, 38, 235-243.
124. Zhou R, Liu G, Zhang Y. Sus trainability evaluation and spatial heterogeneity of urban agglomerations: a China case study. 2021, 2(1). <https://doi.org/10.1007/s43621-021-00012-3>



Identifying and Prioritizing the Factors Affecting the use of Underground Spaces for the Sustainable Development of Urban Public Spaces using the TOPSIS Method (case study: Tehran)

Mohammad Mahdi Safaee* Ph.D. student in Architecture, Islamic Azad University campus, Kish International Branch, Iran
Mohammad Saeid Izadi Member of academic board, School of Art and Architecture, Buali Sina University
Ali Afshar Institute of Higher Education of Eqbal Lahoori, Mashhad
Hamid Reza Ameri Siyahouei Associate Professor, Department of Art and Architecture, Payame Noor University

Extended Abstract

Received: 28 April 2024

Accepted: 18 June 2024

Keywords: Urban public space, sustainable development, underground space, TOPSIS method, Tehran city.

Introduction: One of the major issues facing today's cities is the rapid population growth and the decline in per capita urban spaces, which subtly reduces social interactions. Underground urbanism can enhance urban sustainability and resilience. These spaces can contribute to the creation of compact cities, increased density, and prevention of unchecked urban sprawl. The goal of this research was to identify and prioritize the factors influencing the sustainable development of underground spaces as part of urban public areas in Tehran and six selected districts.

Materials and Methods: The research was of applied type, which was done in a combined method and in 4 steps. First, a list of effective components and factors was prepared with in-depth study, and then 23 experts were used to evaluate and rank the factors and options. The sampling method was a targeted type that continued until reaching the theoretical saturation point. Confirmatory factor analysis method was used to fit the model. In this way, structural equation model was used by partial least square (PLS) method based on SmartPLS software. Also, TOPSIS technique was used for normalization, de-scaling and finally ranking.

Results and Discussion: The results showed that the effective components included 4 main factors and 20 sub-factors, and all components in the causal conditions section (main and sub-factors) had Cronbach's alpha coefficient and composite reliability. The average value of R2 coefficients (0.088) and the average value of its shared values (0.93) were obtained. The value of GOF equal to (0.382) was obtained, which shows the strong fit of the final research model. Finally, the best choice of Azadi Cultural Complex (0.861) was chosen, followed by Valiasr Crossroads (0.774). Also, the Bamland entertainment complex and the Qur'an museum were ranked last with 0.661 and 0.573, respectively.

Conclusion: The use and development of underground spaces as urban public areas face several challenges. These include inefficiency and lack of vibrancy, increased crime rates and insecurity, limited access during emergencies, and additional costs for ventilation and lighting. Furthermore, there are negative public perceptions of underground spaces and issues with communication and location identification. Improving the design of these spaces and gaining public acceptance could enhance the use of underground architecture, potentially addressing the shortage of public spaces in Tehran and leading to greater acceptance.

Corresponding author: Mohammad Mahdi Safaee

Address: Islamic Azad University campus, Kish International Branch, Iran **Tel:** +989121211541 **Email:** mm_safaee@azad.ac.ir

Citation: Safaee M M, Izadi M S, Afshar A, Ameri Siyahouei H M. Identifying and Prioritizing the Factors Affecting the use of Underground Spaces for the Sustainable Development of Urban Public Spaces using the TOPSIS Method (case study: Tehran). Journal of New Researches in Environmental Engineering. 2024; 2(5): 66-78.



© 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.