



ارائه الگوی داده‌کاوی مبتنی بر شاخص زیست‌محیطی توسعه پایدار شهری متأثر از همه‌گیری کووید-۱۹

عباس ملکی^۱، صادق عابدی^{۲*} و علیرضا ایرج‌پور^۳
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۶/۲۶ و تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۲/۲

چکیده

در پاسخ به همه‌گیری کووید-۱۹، دولت‌ها در سراسر دنیا محدودیت‌های شدید تردد را اعمال نموده و سناریوهای متفاوتی از کاهش انتشار آلاینده‌های ناشی از منابع ترافیکی را ارائه کردند. با اعمال محدودیت‌های تردد ناشی از همه‌گیری کووید-۱۹، انتظار می‌رفت تغییراتی در غلظت آلاینده‌های هوا مشاهده شود. از این رو، تصمیم بر آن شد که تغییرات آلاینده‌های هوا به عنوان یکی از زیرمجموعه‌های شاخص زیست‌محیطی توسعه پایدار شهری در زمان همه‌گیری کووید-۱۹ مورد بررسی قرار گیرد. به این منظور، ابتدا داده‌های مذکور در چهار کلان‌شهر مشهد، اصفهان، شیراز و اراک جمع‌آوری و سپس پردازش و پاکسازی می‌شوند. پس از آن یک الگوریتم پیشنهادی مبتنی بر روش‌های یادگیری ماشین ارائه می‌گردد. بر روی ویژگی‌های انتخاب شده، روش‌های یادگیری ماشین؛ درخت تصمیم، جنگل تصادفی، ماشین بردار پشتیبان، شبکه بیزین و شبکه عصبی پرسپترون اعمال می‌شود. بررسی‌ها نشان داد که مدل پیش‌بینی با استفاده از درخت تصمیم و جنگل تصادفی بهترین عملکرد را برای هر دو معیار فراخوانی و صحت داشت. نتایج تحقیق نشان داد که تاثیر محدودیت‌ها بر روی غلظت آلاینده‌ها در شهرهای مختلف، متفاوت می‌باشد. همچنین نتایج بیانگر این است که به‌طور کلی اعمال محدودیت‌های ترافیکی در دوره همه‌گیری، تاثیر قابل توجه و محسوس در کاهش غلظت آلاینده‌های هوا نداشته است. همچنین بررسی‌ها نشان داد که اعمال محدودیت‌های ترافیکی و به تبع آن کاهش احتمالی برخی از آلاینده‌های هوا ارتباطی با مرگ‌ومیر ناشی از کووید-۱۹ ندارد.

واژه‌های کلیدی: آلودگی هوا، توسعه پایدار، داده کاوی، کووید-۱۹، محدودیت‌های تردد.

۱. دانشجوی دکتری گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران.
۲. استادیار، دانشکده مدیریت و حسابداری، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران، (نویسنده مسئول)؛
Abedi.sadegh@gmail.com.
۳. استادیار، دانشکده مدیریت و حسابداری، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران.

مقدمه

امروزه تخریب فزاینده محیط‌زیست و منابع طبیعی یک چالش اساسی در زندگی بشر محسوب می‌شود. این چالش‌ها، پیامدها و نتایجی را در ابعاد و عرصه‌های مختلف زندگی بشر به همراه داشته است. در همین راستا، سازمان‌ها نیز تلاش می‌کنند تا در راستای مسئولیت اجتماعی خود وفق تحقق سازمان سبز را برای خود ترسیم نمایند (عشقی و همکاران، ۱۴۰۱). مسائل زیست‌محیطی دارای ابعاد گوناگون و فراتر از سازمان بوده و به نوعی می‌تواند مشکل ملی در هر کشوری باشد. کشورهایی که در خصوص محیط‌زیست کارهای قابل قبولی را انجام داده‌اند به نوعی توانسته‌اند در راستای سرمایه اجتماعی جامعه، اعتماد آحاد جامعه را در این خصوص کسب نمایند. سرمایه اجتماعی را می‌توان مجموع منابع و ارزشی در نظر گرفت که داخل شبکه‌ای از روابط فردی و سازمانی موجود است و از آن نشأت می‌گیرد. در تعریفی دیگر، سرمایه اجتماعی مجموعه‌های موجود در سیستم‌های اجتماعی است که موجب ارتقای سطح همکاری اعضای جامعه و کاهش هزینه‌های تبادلات و ارتباطات میان آنها می‌شود. از آنجا که سرمایه اجتماعی مراوده‌های میان اعضای سازمان را تسهیل می‌کند، منبع سازمانی ارزشمندی محسوب می‌شود (برقعی و همکاران، ۱۴۰۱).

شهرنشینی یکی از دگرگون‌کننده‌ترین فرآیندهای زمان بوده است و در دهه‌های اخیر به تغییرات چشمگیری در نحوه زندگی، کار و تعامل ما با دنیای اطراف مان منجر شده است. با مهاجرت بیشتر مردم به شهرها، نیاز فزاینده‌ای به استراتژی‌های توسعه پایدار شهری بوجود آمد که رشد اقتصادی، حفاظت از محیط‌زیست و رفاه اجتماعی را متعادل می‌کند. در عین حال، زمینه مطالعات و برنامه‌ریزی شهری به سرعت در حال تحول است و چالش‌هایی برای شهرها به صورت روزمره به همراه دارد. از تغییرات آب و هوایی و کاهش منابع گرفته تا بیماری‌های همه‌گیر مانند کووید-۱۹ و نابرابری اجتماعی، ماهیت پیچیده و به هم پیوسته سیستم‌های شهری نیازمند رویکردهای نوآورانه برای برنامه‌ریزی و طراحی هستند (لیین و همکاران، ۲۰۲۳).

آلودگی هوا یک تهدید قابل توجه برای سلامت انسان و یک عامل فزاینده بیماری و مرگ و میر در سراسر جهان است. بسیاری از آلاینده‌های هوا که بر سلامت انسان تأثیر منفی می‌گذارند، ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای مرتبط

با احتراق از منابع مختلف از جمله ترافیک و تولید برق هستند. این آلاینده‌ها شامل ذرات معلق و آمونیاک هستند که می‌توانند باعث بیماری‌های تنفسی، اختلال در عملکرد سیستم عصبی و سرطان شوند. سایر آلاینده‌های احتراق در سطوح بالا، مانند دی‌اکسیدنیترژن و اوزن، می‌توانند بر سیستم‌های تنفسی و قلبی عروقی تأثیر منفی بگذارند (هوآنگ فو و آتکینسون، ۲۰۲۰).

از سویی، ترافیک بخش قابل توجهی از آلاینده‌های احتراق در بسیاری از مناطق شهری است و نشان داده شده است که تا ۳۴ درصد از ذرات معلق، ۶۱ درصد از NH_3 ، ۲۵ درصد از اوزون و ۵۰ درصد از انتشار EPA را تشکیل می‌دهد. با این حال، علی‌رغم شواهدی مبنی بر نقش احتراق ترافیک در آلاینده‌های هوا، مشخص نیست که تا چه اندازه استراتژی‌های مدیریت ترافیک می‌توانند کیفیت هوای شهری را به دلیل فقدان ارزیابی از استراتژی‌های اجرا شده بهبود بخشند. این آب‌هام برای بهبود کیفیت هوا در استراتژی‌های مدیریت ترافیک، تا حدی به علت فقدان داده‌های تجربی مکانی و زمانی در مورد تأثیرات کاهش ترافیک بر کیفیت هوا ناشی می‌شود (های و همکاران، ۲۰۲۳).

از سویی دیگر، قرنطینه‌ها در طول همه‌گیری کووید-۱۹، فرصتی برای کمک به پر کردن این شکاف از طریق تغییر بی‌سابقه در الگوهای ترافیکی فراهم کردند. در سرتاسر جهان، کاهش قابل توجهی در ترافیک به دلیل قرنطینه‌های کووید-۱۹ وجود داشت. به عنوان مثال، در کره جنوبی، ترافیک ۹٫۷ درصد و در ایالات متحده، ترافیک به ۴۰-۶۵ درصد کاهش یافت. کیفیت هوا نیز در این دوره با کاهش مشاهده شده در آلاینده‌های هوا در بسیاری از شهرها و کشورها در سراسر جهان تغییر کرد، مانند کاهش ۲۵ درصد مشاهده شده در ذرات معلق با قطر کوچکتر از ۲٫۵ میکرون در شهرهای شمال چین و کاهش ۳۲ درصد از NO_2 در انگلستان. محدودیت‌های اعمال شده به دلیل پاندمی کووید-۱۹، سناریویی را ارائه می‌دهد که تأثیر این پاندمی در پارامترهای آلودگی هوا می‌باشد که ناشی از کاهش ترافیک و محدودیت‌های رفت‌وآمد بوده است (های و همکاران، ۲۰۲۳).

در ادبیات تحقیق، مطالعاتی در خصوص رابطه بین ترافیک و آلودگی هوا در طول قرنطینه کووید-۱۹ ارزیابی شده است. با این حال، ارتباط بین کاهش ترافیک و کیفیت هوا در طول قرنطینه کووید-۱۹ همیشه در سراسر جهان

^۱Huangfu and Atkinson

^۲Hay et al.

واضح یا یکنواخت نبود. کاهش ۵۳ تا ۶۰ درصد آلاینده‌های هوا از منابع ترافیکی (مونواکسیدکربن و دی‌اکسیدنیترژن) در طول قرنطینه در نانجینگ چین وجود داشت (وانگ و همکاران، ۲۰۲۰) و در سامرویل ایالات متحده، کاهش غلظت ذرات بسیار ریز (۴۵-۶۹ درصد) و کربن سیاه (۲۲-۴۶ درصد) وجود داشت که مرتبط با میزان ترافیک بود (هودا و همکاران، ۲۰۲۰). علاوه بر این، کاهش ترافیک (۴۸-۶۰ درصد) در شش شهر ایتالیا در کنار کاهش (۲۵-۵۹ درصد) NO_2 و (۱۷-۳۲ درصد) PM مشاهده شد (گالتیری و همکاران، ۲۰۲۰) و در کالیفرنیا، کاهش ترافیک (۲۵۴-۳۹ درصد)، در کنار کاهش مونواکسیدنیترژن (۳۲-۳۵ درصد) و NO_2 (۱۵-۲۹ درصد) مشاهده شد (لیوو و همکاران، ۲۰۲۰) در سراسر چین شمالی، حسگرهای کیفیت هوا در ۳۶۶ مرکز شهری با داده‌های ترافیکی مورد ارزیابی قرار گرفتند و مشخص شد که حجم ترافیک بین ۱۱ تا ۴۴ درصد با غلظت آلاینده‌های هوا ($\text{PM}_{2.5}$)، ذرات معلق با قطر کوچکتر از ۲٫۵ میکرون، CO ، دی‌اکسیدگوگرد، NO_2 و O_3) مرتبط است (وانگ و همکاران، ۲۰۲۰). در برخی دیگر از تحقیقات، کاهش کمتری در آلاینده‌های هوا به دلیل ترافیک یافتند. ترافیک باعث کاهش آلاینده‌های (PM ، NO ، NO_2 ، NO_x) بین ۳ تا ۱۲ درصد در سیاتل شد (ژیانگ و همکاران، ۲۰۲۰) و هیچ کاهش قابل مشاهده‌ای در $\text{PM}_{2.5}$ و NO_2 در ممفیس، ایالات متحده مشاهده نشد، با اینکه ترافیک ۵۷ درصد کاهش یافته است (جیا و همکاران، ۲۰۲۰). کشور ما ایران، مدت‌ها است که با مشکل آلودگی هوا مواجه است. این آلودگی که پیش‌تر و تحت تاثیر تمرکز جمعیت، منحصر به تهران بود، در سال‌های پیشین در سایر شهرهای ایران نیز به شدت افزایش یافته است؛ تا جایی که در آخرین آمار منتشر شده از آلوده‌ترین شهرهای جهان در سال ۲۰۱۳ از سوی سازمان جهانی بهداشت، نام چندین شهر از ایران در رتبه‌های نخست این فهرست به چشم می‌خورد؛ لذا بررسی آلودگی هوا بخصوص در کلان‌شهرها بسیار حایز اهمیت می‌باشد. تغییرات در یافته‌ها می‌تواند به دلیل تفاوت در روش‌های مورد استفاده برای اندازه‌گیری آلاینده‌ها (به عنوان مثال، سنجش از

^۱Wang et al.,^۲Huda et al.,^۳Gualtieri et al.,^۴Liu et al.,^۵Xiang et al.,^۶Jia et al.,

راه دور، ایستگاه‌های ثابت یا حسگرهای سوار بر خودرو)، آلاینده‌های خاص اندازه‌گیری شده و شرایط هواشناسی یا فیزیوگرافی منحصربه‌فرد هر شهر باشد. علاوه بر این، مطالعات قبلی یا از نظر زمانی به داده‌های ترافیک در یک بازه متوسط روزانه یا بازه ساعتی یا از نظر مکانی به داده‌های ترافیک و آلاینده‌ها در منابع تک نقطه‌ای یا هر دو محدود شده بودند. این به نوبه خود توانایی ایجاد روابط بین ترافیک و آلاینده‌های هوا را در مقیاس فضایی بخش‌های شهری محدود می‌کند، جایی که حجم ترافیک و غلظت آلاینده‌های هوا می‌تواند به‌طور قابل توجهی متفاوت باشد. بنابراین، تحقیقات بیشتر برای بررسی تغییرات کیفیت هوا در دوران قرنطینه کووید-۱۹ با استفاده از داده‌ها به تفکیک موقعیت‌های مکانی و زمانی بالا نیاز هستند تا درک بهتری از تأثیر ترافیک بر آلودگی هوا در محیط‌های شهری بدست آید.

در این تحقیق از تکنیک داده‌کاوی برای بررسی رابطه بین پاندومی کووید-۱۹، ترافیک و شاخص توسعه پایدار شهری استفاده خواهد شد. داده‌کاوی، پایگاه‌های داده‌ای بزرگ را به عنوان منبع دانش در نظر می‌گیرد. فنون داده‌کاوی در یک نگاه کلی به دو منظور به کار می‌روند که عبارتند از توصیف و پیش‌بینی. هدف از به کارگیری فنون پیش‌بینی کننده، پیش‌بینی ارزش ویژگی خاص بر اساس سایر ویژگی‌هاست. ویژگی مورد پیش‌بینی، هدف نامیده شده و وابسته به سایر ویژگی‌هاست و ویژگی‌هایی که کمک به پیش‌بینی می‌کنند متغیرهای توضیحی و مستقل هستند. اما هدف از به کارگیری فنون توصیفی، استخراج الگو می‌باشد به نحوی که ارتباط بین لایه‌های زیرین داده‌ها را خلاصه‌سازی کند. برای انتخاب ویژگی در این تحقیق از روش بهینه‌سازی ازدحام ذرات استفاده می‌شود. آلودگی هوا سبب افزایش بیماری، کاهش رضایت اجتماعی و همچنین موجب افزایش مرگ‌ومیر افراد دارای بیماری زمین‌های می‌گردد که همین موضوع می‌تواند آسیب‌های اجتماعی را به دنبال داشته باشد. طبق آمار وزارت بهداشت، سالانه هزاران سال عمر از دست رفته به دلیل آلودگی هوا برای مردم ایران مشاهده شده است که این موضوع جای تامل دارد. برای این منظور، در طول دوره مطالعه از قرنطینه تا پس از قرنطینه، دستورات ماندن در خانه به دلیل افزایش حجم ترافیک و آلاینده‌های مرتبط با وسایل نقلیه بررسی می‌شود. اهداف خاص برای آزمایش این فرایند عبارت بودند از: (۱) جمع‌آوری داده‌های مرتبط با آلاینده‌های کیفیت هوا در چهار کلان‌شهر ایران: مشهد، اصفهان، شیراز و اراک. (۲) جمع‌آوری داده‌های مربوط به تغییرات ترافیک در کلان‌شهرهای مذکور و (۳) بررسی و کشف رابطه بین تغییرات کیفیت آلاینده‌های هوا و داده‌های ترافیک. در این تحقیق از متغیرهایی از جمله: PM_{10} ، $PM_{2.5}$ ،

CO, O₃, NO, NO₂, SO₂ و AQI برای آلاینده‌های آلودگی هوا استفاده می‌شود. این آلاینده‌های هوا به این دلیل انتخاب شدند که (۱) تغییر این پارامترها با تغییر میزان ترافیک در ارتباط می‌باشد، (۲) تأثیر مستقیم بر سلامت عمومی دارند و (۳) از طریق فناوری ساده قابل اندازه‌گیری هستند. در نهایت، این موضوع بر درک چگونگی قرنطینه‌های کووید-۱۹ و تغییرات ترافیک بر کیفیت هوا و به طور گسترده‌تر رابطه بین فعالیت‌های انسانی و آلاینده‌های هوا در مناطق شهری تأثیر می‌گذارد. حال سوال اصلی این می‌باشد که روند تغییر آلاینده‌های هوا در طول همه‌گیری کووید-۱۹ به چه صورت بوده است و چگونه می‌توان با استفاده از داده‌های ثبت شده در سازمان‌های ذیربط، شرایط مشابه در آینده را پیش‌بینی کرد؟

بنابراین، نوآوری این تحقیق بر روی موارد ذیل متمرکز می‌گردد:

محاسبه تغییرات نسبی دوره‌های مختلف که نشان‌دهنده اقدامات محدودکننده در دوره کووید-۱۹ هستند. ارائه الگویی مبتنی بر روش داده‌کاوی که برای توصیف رابطه همه‌گیری کووید-۱۹ و شاخص آلودگی هوا در توسعه پایدار شهری استفاده می‌شود.

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

مطالعات زیادی در شهرهای مختلف جهان برای درک تأثیر قرنطینه کووید-۱۹ بر روی سطوح غلظت متغیرهای آلاینده هوا (PM_{2.5}, PM₁₀, CO, NO, NO₂, NO_x (NO + NO₂), SO₂, O₃) و ترافیک انجام شده است. مطالعات بر روی مدت زمان، درصد کاهش غلظت آلاینده‌ها، حجم ترافیک، میزان میرگ‌ومیر و مکان و روش‌های جمع‌آوری داده‌ها انجام شده است که در ادامه به برخی از آنها اشاره می‌شود. جدول ۱، خلاصه‌ای از برخی از روش‌های مورد بررسی را نشان می‌دهد.

روپانی و همکاران به بررسی اثرات مختلف ناشی از قرنطینه کووید-۱۹ پرداختند. چنین قرنطینه‌ای، علاوه بر اثرات اجتماعی و اقتصادی، تا حدودی بر محیط طبیعی تأثیر مثبت گذاشته است. یافته‌های مهم با تمرکز بر چندین جنبه از اثرات زیست‌محیطی همه‌گیری کووید-۱۹ ارائه شده است که عبارتند از: آلودگی هوا، مدیریت زباله، بهبود کیفیت هوا، آتش‌سوزی زباله، حیات وحش، مهاجرت جهانی و پایداری. انتشار کربن کاهش یافته و منجر به بهبود کیفیت هوا و کاهش آلودگی آب در بسیاری از شهرهای سراسر جهان شده است. آلودگی NO₂ و CO₂ به طور چشمگیری

در بسیاری از شهرهای سراسر جهان کاهش یافته است. همچنین به حداقل رساندن میزان تماس با دست مستقیم و ضدعفونی کردن نواحی اطراف می‌تواند میزان بار ویروس در مناطق و تعداد افراد آلوده را به حداقل برساند (روپانی و همکاران، ۲۰۲۰). سینگ ساهاران و همکاران 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 آلاینده‌ها شامل $PM_{2.5}$ ، PM_{10} ، NH_3 ، NO_x ، CO ، بنزن و تولوئن در طول منع رفت‌وآمد شبانه در مقایسه با دوره قبل از قرنطینه به میزان ۴ تا ۱۶ درصد کاهش یافت 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 O_3 و SO_2 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 درصد افزایش مشاهده شد (سahاران و همکاران، ۲۰۲۲). بهروانی و همکاران به مطالعه شناسایی کیفیت هوا در شهرهای بزرگ هند و ارتباط آن با افراد مبتلا به کووید-۱۹ در طول قرنطینه با یک سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) پرداختند که بیش از ۹۰ درصد سایت‌های تجاری و صنعتی و ۱۰۰ درصد مدارس و دانشگاه‌ها بسته بودند. نتایج مطالعه نشان داد که در سناریوی پیش از قرنطینه، سطوح بالایی از آلودگی وجود داشت. بخصوص برای $PM_{2.5}$ که عامل اختلالات تنفسی است. این روش نتایج قابل مقایسه‌ای را با سایر ابزارهای تصمیم‌گیری فراهم می‌کند. اولویت اصلی توسعه جوامعی است که مردم را قادر می‌سازد سالم بمانند. جوامع سالم نه تنها برای سلامت مردم، بلکه برای توسعه پایدار نیز حیاتی هستند (بهروانی و همکاران، ۲۰۲۱). ال وی و همکاران بیان نمودند که هدف آنها بررسی تغییرات نرمال شده کیفیت هوا توسط هواشناسی در طول قرنطینه کووید-۱۹ در سه کلان‌شهر چین می‌باشد. الگوریتم یادگیری ماشین (مدل جنگل تصادفی) برای حذف اثرات هواشناسی و مشخص کردن ویژگی‌های تنوع با وضوح بالای کیفیت هوا ناشی از کووید-۱۹ در پکن، ووهان و ارومچی مورد استفاده قرار گرفت. بیشترین کاهش $PM_{2.5}$ در ووهان (۴۳٫۶- درصد) و پکن (۱۴- درصد) در ایستگاه‌های ترافیکی در طول دوره قرنطینه بود در حالی که در ارومچی (۵۴٫۲- درصد) کاهش مربوط به صنعت

^۱Rupani et al.,^۲Saharan et al.,^۳Bherwani et al.,

بود. NO_2 به طور قابل توجهی در هر شهر کاهش یافت (بین ۳۰ تا ۵۰ درصد)، در حالی که افزایش قابل توجهی در O_3 اتفاق افتاد. قرنطینه مهم‌ترین عامل کاهش غلظت آلاینده است اما کاهش SO_2 و CO محدود است و عمدتاً تحت تاثیر روندهای تغییر قرار می‌گیرند (ال وی و همکاران، ۲۰۲۲). با شیوع بیماری کووید-۱۹ در چین، چندین منبع آلودگی هوا تقریباً همگی تعطیل شدند، از جمله وسایل نقلیه بنزین‌سوز، ساختمان‌های تولید گردوغبار، کارخانه‌های زغال‌سنگ و غیره. این تعطیلی در میانگین غلظت یک ساعته برای آلاینده‌های NO_2 ، O_3 و SO_2 تفاوت آشکاری را نشان داد و تغییر میانگین غلظت ۲۴ ساعته پنج آلاینده نشان داد که میزان آلاینده‌های موجود در هوا به شدت تحت تاثیر فعالیت‌های انسانی قرار گرفته است. میزان غلظت آلاینده‌های NO_2 ، SO_2 و ذرات معلق به وضوح در تعطیلی و بسته شدن کاهش یافتند. هوای کلان‌شهرها و شهرهای جنوب شرقی نسبتاً تمیز بود و غلظت آلاینده‌ها در دوره تعطیلی اندکی کاهش یافت. شهرهای شمالی و صنعتی سنگین افت قابل توجهی در شاخص‌های آلودگی هوا داشته‌اند (یو و همکاران، ۲۰۲۱). ژوان یولین و همکاران به بررسی تجزیه و تحلیل تاثیر تغییر سطح ۳ هشدار کووید-۱۹ بر شاخص‌های آلودگی هوا با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی پرداختند. مدل یادگیری ماشین با استفاده از تکنیک شبکه عصبی مصنوعی همراه با یک مدل جنبشی برای پیش‌بینی O_3 ، NO_x ، نیترات و سولفات برای بررسی منابع انتشار بالقوه و مکانیسم واکنش شیمیایی مورد استفاده قرار گرفت. در طول هشدار سطح ۳ کووید-۱۹ در ژوئن ۲۰۲۱، میانگین غلظت NO_x در مقایسه با ژوئن ۲۰۱۹ و ژوئن ۲۰۲۰ به ترتیب ۲۰ درصد و ۲۵٫۹ درصد به دلیل سیاست دورکاری، آموزش از راه دور و کاهش جریان ترافیک کاهش یافت. از ژوئن تا جولای ۲۰۲۱، میانگین غلظت O_3 و NO_2 به ترتیب ۱۳٫۲ درصد و ۹۸٫۲ درصد در مقایسه با مدت مشابه در سال ۲۰۲۰ افزایش یافت. NO_x در ساعات شلوغی که ساعت ۰۸:۰۰ می‌باشد نسبت به سال‌های ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰ به ترتیب ۲۷٫۹ و ۲۰٫۲ درصد کاهش یافت که دلیل آن کاهش ۱۹٫۸ درصدی حجم ترافیک است (لین و همکاران، ۲۰۲۲). جوان جوز آوا و جerald سینگ بیان کردند تغییر در انتشار میزان CO_2 با افزایش و یا کاهش قرنطینه با استفاده از تصاویر و داده‌های سازمان ملی هوانوردی و فضایی مورد بررسی قرار گرفته است. در این تحقیق، صرفاً یکی از پارامترهای

^۱Lv et al.,^۲Yao et al.,^۳Lin et al.,

آلودگی در نظر گرفته شده است و با استفاده از روش فوق به توصیف شرایط در دو حالت افزایش و کاهش قرنطینه پرداخته شده است و موضوع پیش‌بینی در این تحقیق مطرح نمی‌باشد (آلوا و سینگ، ۲۰۲۲).

مطالعات قبلی که کیفیت هوای شهری را براساس غلظت آلاینده هوا در دوره قرنطینه و قبل از قرنطینه ارزیابی کرده‌اند، کاهش قابل توجهی در غلظت آلاینده‌های هوا در سرتاسر جهان ثبت کرده‌اند. علاوه بر این، اقدامات متعددی برای کاهش آلودگی اتمسفر در چند سال گذشته انجام شده است. بنابراین، شکاف غلظت آلودگی بین دوره‌های زمانی مختلف نمی‌تواند به‌طور کامل اثر قرنطینه کووید-۱۹ را نشان دهد. علاوه بر این، میزان کاهش آلاینده‌های هوا ممکن است از شهری به شهر دیگر به دلیل تنوع عوامل محلی، مانند توزیع منابع انتشار، هواشناسی و روند انتشار آلاینده‌ها متفاوت باشد که ممکن است کمیت دقیق قرنطینه کووید-۱۹ را پیچیده کند. هدف از این تحقیق پر کردن این شکاف با ارائه الگویی برای نظارت بر آلاینده‌های هوا و حجم ترافیک با اقدامات موثر از قرنطینه کووید-۱۹ می‌باشد.

جدول ۱- ادبیات تحقیق در زمینه شاخص توسعه پایدار شهری متأثر از همه‌گیری کووید-۱۹

نویسنده مقاله	عنوان مقاله	سال انتشار	نتیجه	روش انجام کار
جاسپر ویجناندز و همکاران	تأثیر همه‌گیری کووید-۱۹ بر آلودگی هوا: ارزیابی جهانی با استفاده از تکنیک‌های یادگیری ماشین	۲۰۲۲	بیشترین کاهش NO ₂ در طول قرنطینه اولیه در چین، اروپا و هند مشاهده شد. آلودگی در سراسر سال ۲۰۲۰ به‌طور کامل به سطح قبل از همه‌گیری بازنگشت. برای ذرات معلق، بزرگترین کاهش مطلق در چین و هند رخ داد. در بسیاری از کشورها، افزایش سطح O ₃ در طول قرنطینه-های اولیه مشاهده شد.	یادگیری ماشین برای مدل‌سازی آلودگی هوا با متغیرهای آب و هوا مورد استفاده قرار گرفت. این مطالعه از XGBoost یک الگوریتم تقویت گرادینان فوق‌العاده براساس درختان تصمیم استفاده کرد. از XGBoots از ماشین‌های تقویت گرادینان است که بهینه‌سازی افزایشی را در فضای عملکردی انجام می‌دهند.

ادامه جدول ۱- ادبیات تحقیق در زمینه شاخص توسعه پایدار شهری متأثر از همه‌گیری کووید-۱۹

نویسنده مقاله	عنوان مقاله	سال انتشار	نتیجه	روش انجام کار
هایمن و همکاران	قرار گرفتن طولانی مدت در معرض آلودگی هوا و کووید-۱۹: یک مطالعه کوهورت در منچستر، بریتانیا	۲۰۲۳	افراد مسن تر، چاق تر، سیگاری‌های فعلی یا بیماری‌های زمین‌های مرتبط با همه آلاینده‌های هوا و بستری شدن در بیمارستان در مقایسه با گروه‌های مربوطه ارتباط بیشتری نشان دادند. قرار گرفتن طولانی مدت در معرض آلودگی هوا با کووید-۱۹ شدید منجر به بستری شدن در بیمارستان یا مرگ می‌شود.	ارتباط قرار گرفتن طولانی مدت در معرض آلودگی هوا با بستری شدن در بیمارستان برای کووید-۱۹ و مرگ و میر با مدل‌های رگرسیون لجستیک چند متغیره پس از تعدیل عوامل مخدوش کننده فردی، زمانی و مکانی بالقوه اندازه گیری شد.
جرت و همکاران	آلودگی هوا و هواشناسی به عنوان عوامل خطر مرگ کووید-۱۹: یک مطالعه کوهورت در کالیفرنای جنوبی	۲۰۲۲	رطوبت و دما برای تشخیص پیش‌بینی کننده‌های منفی مرگ و میر کووید-۱۹ و تعدیل کننده‌های منفی اثرات آلودگی هوا چشمگیر بودند. قرار گرفتن در معرض آلودگی هوا و هواشناسی با خطر مرگ کووید-۱۹ در گروهی از بیماران جنوب کالیفرنیا مرتبط بود که یافته‌ها پیامدهایی برای پیشگیری از مرگ ناشی از کووید-۱۹ و همه‌گیری‌های آینده دارد.	از مدل‌های حمل و نقل شیمیایی با فاصله یک کیلومتر برای تخمین غلظت‌های محیطی چندین آلاینده معمولی هوا، از جمله اوزن، دی اکسید نیتروژن و ذرات ریز استفاده شد. همچنین تخمین‌هایی از قرار گرفتن در معرض آلاینده‌ها از ذرات بسیار ریز، گونه‌های شیمیایی و منابع PM به دست آمد.
مینگیو و یانگ و همکاران	پیامدهای کووید-۱۹ بر آلودگی جهانی محیط‌زیست و انتشار کربن با استراتژی‌هایی برای پایداری در دوران کووید-۱۹	۲۰۲۲	کاهش سطوح $PM_{2.5}$ ، PM_{10} ، NO_2 و CO در بیشتر مناطق جهان، افزایش و یا عدم تغییر سطوح SO_2 و O_3 در بیشتر مناطق جهان، بهبود کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی در طول دوره قرنطینه	جستجوی مقالات مرتبط با اثرات زیست‌محیطی کووید-۱۹ و انتخاب ۱۱۸ مقاله و ارائه استراتژی‌های پایداری در عصر کووید-۱۹ بر اساس مقالاتی که آلودگی محیط‌زیست جهانی و انتشار کربن را پوشش می‌دادند

ادامه جدول ۱- ادبیات تحقیق در زمینه شاخص توسعه پایدار شهری متأثر از همه‌گیری کووید-۱۹

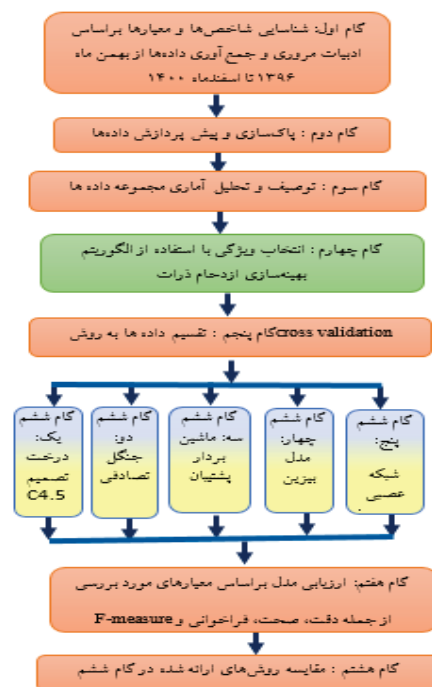
نویسنده مقاله	عنوان مقاله	سال انتشار	نتیجه	روش انجام کار
آدای و همکاران	تأثیر کووید-۱۹ بر بیماری‌های مرتبط با آلودگی هوا در هند	۲۰۲۲	قرنطینه به دلیل کووید-۱۹ منجر به کاهش سطوح آلاینده از جمله CO ₂ و NO ₂ همراه با سطوح PM _{2.5} شده است.	این پژوهش به تحلیل، جمع بندی و انعکاس نتایج یافته‌های مرتبط پرداخته است.
چن وین و همکاران	رابطه نامتقارن بین آلودگی هوا و کووید-۱۹: شواهدی از یک مدل تأخیر توزیع شده اتورگرسو پانل غیرخطی	۲۰۲۲	آلودگی هوا علت اصلی شیوع بیماری کووید-۱۹ است. رابطه ای نامتقارن بین موارد PM _{2.5} و کووید-۱۹ وجود دارد، به طور دقیق تر، تغییر ۱ درصد در شوک‌های مثبت PM _{2.5} ، موارد کووید-۱۹ را ۰,۴۳۹ درصد افزایش می‌دهد.	مدل تأخیر توزیع شده اتورگرسو غیرخطی است.

ماخذ: یافته‌های تحقیق

روش شناسی پژوهش

در تحقیق حاضر از تکنیک داده‌کاوی و مدل شاخص‌های آماری توصیفی برای ارزیابی رابطه کووید-۱۹ با شاخص توسعه پایدار شهری و طرح‌های ترافیک در ایران استفاده شد. در ابتدا به شناسایی و بررسی داده‌ها پرداخته می‌شود. داده‌های شناسایی شده مربوط به بازه زمانی بهمن ۱۳۹۶ لغایت اسفند ماه ۱۴۰۰ می‌باشند. سپس پاک‌سازی داده و یکپارچه‌سازی داده‌ها انجام می‌شود. براساس مدل شاخص‌های آماری توصیفی، تغییرات نسبی سطح کیفیت هوا برای دوره‌های مختلف به دلیل اقدامات قرنطینه کووید-۱۹ برای پارامترهای آلاینده‌های هوا شامل CO، O₃، NO₂، NO_x، SO₂، PM_{2.5}، PM₁₀ در ایستگاه‌های ترافیک شهری انجام می‌شود تا میزان آلودگی هوا در سال‌های

مذکور تعیین گردد. در ادامه، از روش انتخاب ویژگی مبتنی بر الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات استفاده می‌شود تا ویژگی‌های مهم‌تر انتخاب شوند. در روش پیشنهادی، از الگوریتم‌های یادگیری ماشین: درخت تصمیم، جنگل تصادفی، ماشین بردار پشتیبان، شبکه بیزین و شبکه عصبی پرسپترون برای ارزیابی و پیش‌بینی مدل استفاده می‌گردد. ساختار روش پیشنهادی در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- ساختار روش پیشنهادی

بررسی معیارهای مرتبط با آلاینده‌های هوا و ترافیک

به این منظور ویژگی‌های مرتبط با معیار آلاینده‌های هوا و محدودیت‌های ترافیکی مورد بررسی قرار خواهد گرفت. داده‌های مرتبط با آلاینده‌های هوا از سازمان حفاظت محیط‌زیست جمع‌آوری شده‌اند. میزان پارامترهای آلودگی هوا شامل CO ، O_3 ، NO_2 ، NO ، NO_x ، SO_2 ، $PM_{2.5}$ ، PM_{10} می‌باشد تا AQI تعیین گردد. برای محاسبه AQI، داده

ها به صورت روزانه از تاریخ ۱۳۹۶/۱۱/۰۱ الی ۱۴۰۰/۱۲/۲۹ جمع‌آوری شده‌اند. شاخص AQI برای هر روز بزرگترین عدد مربوط به پارامترهای CO، O₃، NO₂، SO₂، PM_{2.5} و PM₁₀ در آن روز می‌باشد که در رابطه (۱) نشان داده شده است.

$$AQI = \text{Max}(CO \text{ و } O_3 \text{ و } NO_2 \text{ و } SO_2 \text{ و } PM_{2.5} \text{ و } PM_{10}) \quad (1)$$

براساس AQI بدست آمده می‌توان سطح اهمیت بهداشتی را مطابق جدول ۲ تنظیم نمود. در جدول ۲، شاخص کیفیت هوا متناسب با سطح اهمیت بهداشتی، دسته‌بندی شده است.

جدول ۲- شاخص کیفیت هوا مبتنی بر استاندارد سازمان حفاظت محیط‌زیست

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

پاک‌سازی و پیش‌پردازش داده‌ها مبتنی بر روش همبستگی

پاک‌سازی داده‌ها به منظور تشخیص، حذف و اصلاح داده‌های نویز دار، ناقص و اشتباه در بین مجموعه داده‌ها است که برای شناسایی داده‌های ناقص و نادرست، می‌بایست اصلاح آن‌ها صورت گیرد.

انتخاب ویژگی با الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات

الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات یک روش بهینه‌سازی براساس قوانین احتمال است که به علت توانایی بالا در حل نمودن مسایل پیچیده و توابع عددی متنوع مورد توجه واقع شده است. این الگوریتم با الهام گرفتن از الگوریتم‌های تکاملی، از رفتار اجتماعی جانداران، از جمله پرندگان و ماهیان تاثیر می‌گیرد. رفتار نمونه‌های تشکیل‌دهنده یک

گروه، براساس قوانین مانند هماهنگی برای سرعت با نزدیکترین همسایه و همچنین شتاب براساس فاصله است. ویژگی اصلی ذرات هوشمند در سازگاری، متنوع بودن در پاسخ، نزدیک بودن، میزان کیفیت و پایداری هستند. در هر مرحله از حرکت گروه ذرات، مکان هر ذره با دو مقدار بهترین تعیین می‌گردد. در این الگوریتم هر عضو در گروه، ذره نامیده می‌شود و دارای یک تابع برازندگی و شایستگی است که در تابع هدف تعیین می‌شود. PSO، تابع هدف را با جستجوی مبتنی بر جمعیت بهینه می‌نماید. نخستین مقدار برای بهترین پاسخ در مکان و سرعت مناسب تابع برازندگی هر ذره می‌باشد که برای هر ذره به طور جداگانه محاسبه می‌شود و دیگری بهترین مقداری می‌باشد که توسط کل ذرات، به دست می‌آید. تخصیص دادن جواب‌ها به بهترین مقادیر فردی و گروهی برای تنوع در پاسخ است. در سیاست بهینه‌سازی می‌بایست ذرات را مجبور به حرکت به گونه ای کرد که مقدار تابع هدف را کمینه نماید و نهایتاً همه ذرات را با بالاترین مقدار تابع هدف جمع نماید. مزیت مهم و اصلی PSO ساده بودن پیاده‌سازی الگوریتم بوده و تعیین پارامترهای اولیه کمی دارد. PSO می‌تواند توابع هزینه پیچیده را با تعداد زیاد مینیمم محلی بهینه نماید. از این رو، برای انتخاب ویژگی از این الگوریتم تکاملی استفاده شده است.

برای بدست آوردن جمعیت اولیه از ذرات، یک آرایه از متغیرهای مسئله با نام ذره ایجاد می‌شود. در PSO هر ذره، یک پرنده در فضای جستجو است که می‌تواند آزادانه در فضای جستجو حرکت و پرواز کند. برای هر ذره دو مقدار موقعیت و سرعت، تعریف می‌شود که بردار مکان و بردار سرعت را مدل می‌کنند. این دو بردار به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$\text{particle_position} = [P_{i,1}, \dots, P_{i,n}] \quad (2)$$

$$\text{particle_velocity} = [v_{i,1}, \dots, v_{i,n}] \quad (3)$$

که در آن particle_position بردار مکان ذره i ام، particle_velocity بردار سرعت ذره i ام، n تعداد مربع ویژگی‌ها است. جمعیت اولیه براساس موقعیت و سرعت تمامی ذرات بصورت تصادفی در بازه $[0,1]$ تولید می‌شود.

بعد از تولید نمودن جمعیت اولیه ذرات و سرعت اولیه برای هر ذره، عملکرد هر ذره مبتنی بر موقعیت آن با مقدار تابع برازندگی محاسبه می‌شود. سرعت ذره با توجه به بهترین پاسخ هر دسته ذرات با توجه به بهترین مکانی که تاکنون داشته است، تغییر می‌کند. با تغییر زمان برحسب سرعت، موقعیت ذرات تغییر می‌کند. بردار سرعت هر ذره،

با دو مقدار بهینه، بروز رسانی می‌شود. (p_{best}) بهترین موقعیت ذره که تا کنون به آن رسیده است و (g_{best}) بهترین موقعیت ذره که تاکنون به دست آمده است. در هر تکرار الگوریتم، سرعت ذرات به صورت زیر بهینه می‌شود:

$$\bar{v}_i = w\bar{v}_i + c_1R_1(\bar{p}_{i,best} - \bar{p}_i) + c_2R_2(\bar{g}_{i,best} - \bar{p}_i) \quad (4)$$

که در آن \bar{v}_i و \bar{p}_i ، موقعیت و سرعت ذره i ام، $\bar{g}_{i,best}$ و $\bar{p}_{i,best}$ ، بهترین مقدار تابع هدف از موقعیت ذره i ام و موقعیت کل جمعیت است. R_1 و R_2 دو متغیر تصادفی در بازه $[0,1]$ هستند. افزودن متغیرهای تصادفی به PSO، توانایی جستجوی تصادفی آن را با ارزش‌تر و بهینه‌تر می‌کند. ضرایب c_1 و c_2 فاکتور یادگیری هستند و به ترتیب میزان تابعیت ذره از بهترین تجربه فردی (p_{best}) و میزان تابعیت ذره از بهترین تجربه در گروه (g_{best}) را نشان می‌دهند. این پارامترها برای سازگار کردن مبادله بین عملیات بهره‌برداری و اکتشاف می‌باشند. W ، پارامتر کنترلی پرواز نمودن ذرات است. بیشتر شدن پارامتر، گسترش دادن بیشتر فضا بدون توجه به p_{best} و g_{best} است و کمتر شدن پارامتر، باعث جمع نمودن و حرکت در محدوده موقعیت فعلی ذره است. مقدار این ضریب کمتر از یک است. بعد از بروز رسانی، سرعت جدید ذره مشخص شده و تضمین می‌شود که حرکت‌های تصادفی ذرات در یک محدوده تعیین شده کاهش می‌یابد. با دستیابی به سرعت جدید هر ذره، موقعیت جدید آن (p_{best}) نیز بدست می‌آید. علاوه بر این، اگر بهترین برای این مرحله، از بهترین پاسخ موجود بهتر باشد، آنگاه موقعیت جدید، بهترین پاسخ (g_{best}) می‌شود. مراحل بروز رسانی سرعت، موقعیت و حافظه تا خاتمه حلقه تکرار می‌گردد. شرط خاتمه حلقه می‌تواند انجام تعداد تکرارهای تعیین شده و یا رسیدن به حداکثر تعداد نسل‌ها باشد. بعد از خاتمه تکرار و بروز رسانی مراحل فوق، g_{best} به عنوان بهترین پاسخ اعلام می‌گردد.

روش درخت تصمیم‌گیری

درخت تصمیم یک نظریه یادگیری ماشین مبتنی بر آمار است. ایده کلی الگوریتم C4.5 شامل ابتدا پیش‌بینی غلظت آلاینده‌ها بر اساس مجموعه‌ای از مقادیر مشخصه (شامل داده‌های هواشناسی و ترافیک) و آموزش یک مدل درخت

^۱Personal Best

^۲Global Best

تصمیم قابل اعتماد است. سپس می توان از مدل درخت تصمیم برای پیش بینی غلظت آلاینده ها در یک سری شرایط هواشناسی استفاده کرد و مقدار میانگین مربوطه را سری زمانی نرمال شده هواشناسی می نامند. در الگوریتم، غلظت یک آلاینده خاص در یک نقطه زمانی خاص را می توان با نمونه گیری مجدد داده های هواشناسی پیش بینی کرد. درخت C4.5 ارتقاء یافته درخت ID3 است که توسط کوئینلن (۱۹۹۳) معرفی شده است. خصوصیات این درخت به صورت زیر است:

۱- در یک مجموعه داده، ویژگی ها (متغیرهای پیشگو) برای درخت C4.5 می توانند به صورت متغیرهای رشته ای و کمی باشند.

۲- از هر گره درونی این درخت دو یا بیش از دو شاخه خارج می شود.

۳- برای هرس کردن درخت C4.5 از روش هرس کردن مبتنی بر خطا استفاده می شود.

۴- این درخت توانایی انجام رده بندی با داده گمشده در یک مجموعه داده را دارد.

۵- درخت C4.5 برای انتخاب ریشه و گره های درونی از معیار نسبت بهره استفاده می کند.

فرض کنید S یک مجموعه داده با n مشاهده (نمونه) است. معیار نسبت بهره ویژگی X_i نسبت به این مجموعه داده به صورت رابطه زیر است:

$$GR(X_i, S) = \frac{IG(X_i, S)}{E(X_i, S)} \quad (5)$$

که در آن IG ، معیار بهره اطلاعات و E ، آنتروپی می باشد.

ارزیابی روش پیشنهادی

این بخش شامل ۴ زیربخش می باشد که عبارتند از: ۱- معرفی مجموعه داده ها برای ارزیابی روش پیشنهادی، ۲- معرفی الگوریتم ها برای مقایسه، ۳- معرفی معیارها برای ارزیابی عملکرد مدل پیشنهادی، ۴- انجام آزمایش ها بر روی مجموعه داده های تهیه شده

توصیف مجموعه داده‌ها

در این تحقیق، داده‌های مرتبط به آلاینده‌های هوا و داده‌های مرتبط با حمل‌ونقل و ترافیک از ۱۳۹۶/۱۱/۰۱ تا ۱۴۰۰/۱۲/۲۹ در چهار کلان‌شهر ایران: مشهد، اصفهان، شیراز و اراک جمع‌آوری شد. داده‌های نظارتی مبتنی بر غلظت آلاینده‌های هوا از سازمان حفاظت محیط‌زیست کشور جمع‌آوری شده است و داده‌های مرتبط با محدودیت‌های ترافیکی در دوره همه‌گیری کووید-۱۹ از مرکز ستاد ملی کرونا دریافت شد. در مجموع ۱۱ ایستگاه تحت نظارت ثبت پارامترهای آلودگی هوا انتخاب شدند که عبارتند از: مشهد: ۵، اصفهان: ۱، شیراز: ۲ و اراک: ۳ ایستگاه.

مجموعه داده جمع‌آوری شده شامل ۱۲ ویژگی می‌باشد که عبارتند از: $PM_{2.5}$ ، SO_2 ، NO_x ، NO_2 ، NO_3 ، CO ، PM_{10} ، AQI ، اعمال محدودیت، نام شهر و کلاس شاخص هوا.

داده‌های ویژگی CO ، NO_3 ، NO_2 ، NO_x ، SO_2 ، $PM_{2.5}$ و PM_{10} براساس مستندات سازمان حفاظت محیط‌زیست کشور از ایستگاه‌های هر یک از شهرها جمع‌آوری شد.

داده‌های ویژگی اعمال محدودیت با توجه به تکامل محدودیت‌های کووید-۱۹ به ۵ دوره تقسیم می‌شود که عبارتند از:

- تعطیلی همه مشاغل از ساعت ۱۸:۰۰ به غیر از مشاغل گروه یک
- محدودیت تردد شبانه
- تمدید خودکار اجاره نامه مستاجران
- محدودیت تردد بین استانی
- حضور یک سوم کارکنان

الگوریتم‌های مورد ارزیابی

- جنگل تصادفی^۱: الگوریتم جنگل تصادفی از چندین درخت تشکیل می‌شود که هر درخت به نام درخت تصمیم شناخته می‌شود. جنگل ایجاد شده با الگوریتم جنگل تصادفی با روش دسته‌بندی کیسه‌ای آموزش داده می‌شود. این الگوریتم، مدلی توسعه‌یافته از روش کیسه می‌باشد زیرا از هر دو روش کیسه و ویژگی‌های تصادفی به منظور تولید کردن یک جنگل بدون داشتن همبستگی بین درختان تصمیم بکار گرفته می‌شود.

- ماشین بردار پشتیبان^۲: یک روش یادگیری با نظارت می‌باشد که برای طبقه‌بندی و خوشه‌بندی استفاده می‌شود. این روش در سال‌های اخیر عملکرد بسیار مناسبی نسبت به روش‌های قبل از خود برای طبقه‌بندی ارائه کرده است. دسته‌بندی‌کننده SVM، خطی است، یعنی برای تقسیم خطی داده‌ها، خطی را انتخاب می‌نماییم که حاشیه اطمینان بیشتری دارد. در صورتیکه داده‌ها دارای پیچیدگی بالایی باشند، آنها را با فضای با ابعاد بالاتر انتقال می‌دهیم تا بتوان تقسیم خطی را براساس ماشین بردار پشتیبان انجام داد. برای حل مسائل با ابعاد خیلی بالا از قضیه دوگانگی لاگرانژ برای مینیمم‌سازی مسئله به فرم دوگانگی استفاده می‌کنیم که به اصطلاح تابع هسته نامیده می‌شود. برخی توابع هسته عبارتند از: نمایی، چندجمله‌ای و سیگموئید.

- شبکه بیزین^۳: این شبکه‌ها مجموعه‌ای از گره‌ها و پیوندهای علت و معلولی هستند که ارتباطات بین آن‌ها به صورت گرافیکی در یک سیستم مورد بررسی قرار می‌گیرد. پیوندهای علت و معلولی، ارتباطات بین گره‌های استفاده شده در جداول احتمالات شرطی را نشان می‌دهند. در حقیقت شبکه‌های بیزین مدل‌های ریاضی هستند که به صورت گرافیکی ارائه شده‌اند، به طوری که هر متغیر به عنوان یک گره با پیوندهای هدایت‌کننده، با دیگر متغیرها در ارتباط است. محتوای اطلاعاتی هر متغیر به صورت یک یا چند توزیع احتمال نشان داده می‌شود. شبکه‌های بیزین برای سنجش و اندازه‌گیری عدم قطعیت‌ها به کار می‌روند.

^۱Random Forest

^۲Bagging Classifier

^۳Support Vector Machines (SVMs)

^۴Bayesian Network

- شبکه عصبی پرسپترون چند لایه! یک شبکه عصبی مصنوعی عمیق می‌باشد که از بیش از یک پرسپترون تشکیل شده است. این شبکه از یک لایه ورودی برای دریافت سیگنال و یک لایه خروجی که برای تصمیم‌گیری در مورد ورودی و تعدادی دلخواه از لایه‌های پنهان در بین این دو لایه که تاثیر محاسباتی واقعی MLP هستند، تشکیل شده است. شبکه عصبی پرسپترون چند لایه اغلب برای مشکلات یادگیری تحت نظارت به کار گرفته می‌شوند.

معیارهای ارزیابی

برای اعتبارسنجی عملکرد روش پیشنهادی، از معیارهایی استفاده می‌گردد که برای محاسبه دقت در مسائل دسته بندی بکار می‌روند. در ابتدا متغیرهای مورد استفاده در معیارها به صورت زیر تعریف می‌شود.

مثبت درست: داده‌های کلاس مثبت که به درستی به عنوان کلاس مثبت شناسایی شده‌اند.

منفی درست: داده‌های کلاس منفی که به درستی به عنوان کلاس منفی شناسایی شده‌اند.

منفی غلط: داده‌های کلاس مثبت که به غلط به عنوان کلاس منفی شناسایی شده‌اند.

مثبت غلط: داده‌های کلاس منفی که به غلط به عنوان کلاس مثبت شناسایی شده‌اند.

صحت: نسبت میزان نمونه‌های مثبت پیش‌بینی شده به درستی تشخیص داده شده.

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \quad (6)$$

F-Measure: معیاری است که "خوب بودن یک دسته‌بندی‌کننده" را نشان می‌دهد و میانگین هارمونیک بین صحت و فراخوانی است. مقدار β مثبت بوده و نشان‌دهنده اهمیت فراخوانی نسبت به صحت می‌باشد.

$$F - Measure = \frac{(1 + \beta^2) * Precision * Recall}{\beta^2 * Recall + Precision} \quad (7)$$

خطای مطلق میانگین: ارائه انعکاس میزان خطای پیش‌بینی شده. هرچه مقدار آن کمتر باشد، کارایی پیش‌بینی بیشتر می‌شود:

$$MAE = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m |y_i - \hat{y}_i| \quad (8)$$

که y_i و \hat{y}_i ، به ترتیب برچسب کلاس واقعی و برچسب کلاس پیش‌بینی شده برای نمونه i می‌باشند. M تعداد نمونه‌های پیش‌بینی شده می‌باشد.

یافته‌های پژوهش

در این بخش، نتایج آزمایش‌های بخش‌های مختلف الگوریتم پیشنهادی و نتیجه نهایی ارائه می‌شود. آزمایشات بر روی مجموعه داده تهیه شده برای آلودگی هوا به تفکیک کلان‌شهرها: مشهد، اصفهان، شیراز و اراک می‌باشد. برای ارزیابی نتایج از نرم‌افزار WEKA و MATLAB استفاده شد.

پاک‌سازی و پالایش داده‌ها

به منظور پاک‌سازی داده‌ها، مراحل زیر صورت می‌گیرد.

- حذف داده‌های تکراری: از آنجا که مجموعه داده‌ها از ایستگاه‌های مختلف شهرهای مختلف جمع‌آوری شده و ادغام شده‌اند، امکان ایجاد داده‌های تکراری یا غیرمرتبط وجود دارد. داده‌ها از مراکز به تفکیک تاریخ جمع‌آوری شده‌اند. حذف داده‌های تکراری در نرم‌افزار SPSS با استفاده از Identify Duplicate Cases انجام می‌شود تا داده‌ها و رکوردهای تکراری حذف شوند.
- خطاهای ساختاری: هنگام ادغام داده‌های ایستگاه‌های مختلف ممکن است که خطاها و یا تغییراتی در داده‌ها ایجاد گردد. به طور نمونه بعضی از نمونه‌ها را null نشان دهد که با بررسی ساختاری آنها به فرمت اصلی و مقادیر واقعی اصلاح می‌شوند.
- حذف داده‌های پرت: به این منظور از آزمون Z در SPSS برای محاسبه نمرات استاندارد استفاده می‌شود. نمرات استاندارد همه متغیرها محاسبه شده و در صورت دور افتاده بودن داده از سایر مجموعه داده‌ها، آن نمونه داده را حذف می‌کنیم.
- برای مدیریت داده‌ها و حذف داده‌های غیرمرتبط، از روش جایگزینی با میانگین آن متغیر در هر ایستگاه در آن تاریخ استفاده می‌شود.

تحلیل آماری شاخص کیفیت هوا

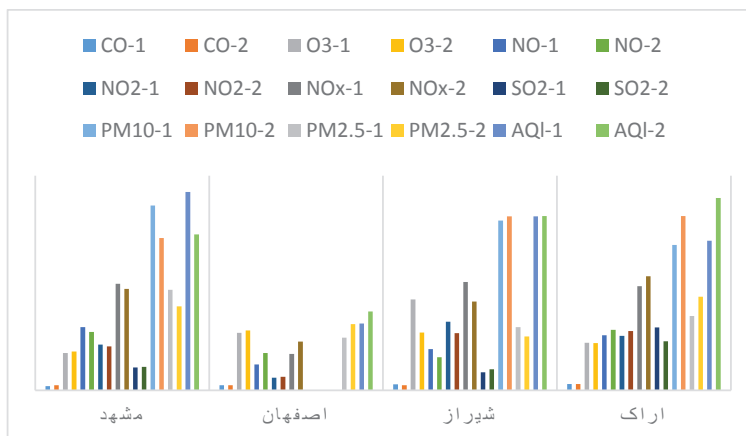
در این بخش وضعیت سطوح آلاینده‌های هوا در زمان شیوع کووید-۱۹ متأثر از محدودیت‌های تردد ترافیکی مورد بررسی قرار می‌گیرد. برای مدل‌سازی و تجزیه و تحلیل تغییرات سطوح آلاینده هوا، داده‌ها از تاریخ ۱۳۹۶/۱۱/۱ تا ۱۴۰۰/۱۲/۲۹ جمع‌آوری شدند. بازه زمانی داده‌ها در زمان کووید-۱۹، از تاریخ ۱۳۹۸/۱۱/۱ تا ۱۴۰۰/۱۲/۲۹ می‌باشد. خلاصه‌ای از آمار توصیفی برای مجموعه داده‌های مورد مطالعه چهار کلان‌شهر در جدول ۳ به تفکیک دوره قبل از کووید-۱۹ و دوره کووید-۱۹ برای تمامی کلان‌شهرهای مورد مطالعه نشان داده می‌شود. همانگونه که مشخص است، میانگین غلظت آلاینده‌ها علی‌رغم اعمال محدودیت‌های ترافیکی، تغییر محسوسی نداشته و بعضاً مقدار کمی نیز افزایش یافته‌اند. شکل ۲ غلظت آلاینده‌های هوا را به تفکیک چهار کلان‌شهر نشان می‌دهد. در راهنمای شکل ۲ برای تفکیک آلاینده‌ها برای قبل از دوران کووید-۱۹ و دوران کووید-۱۹، به ترتیب از اعداد ۱ و ۲ در کنار نام هر آلاینده استفاده شده است. در شهر مشهد میانگین غلظت آلاینده‌های CO ، O_3 ، SO_2 در زمان کووید-۱۹ نسبت به قبل از آن افزایش یافته است. در شهر اصفهان میانگین غلظت آلاینده‌های NO_2 ، NO ، O_3 ، NO_x ، $PM_{2.5}$ و AQI در زمان کووید-۱۹ نسبت به قبل از آن افزایش یافته است. در شهر شیراز میانگین غلظت آلاینده‌های SO_2 ، PM_{10} و AQI در زمان کووید-۱۹ نسبت به قبل از آن، افزایش یافته است. در شهر اراک میانگین غلظت آلاینده‌های NO ، NO_2 ، NO_x ، PM_{10} ، $PM_{2.5}$ و AQI و در زمان کووید-۱۹ نسبت به قبل از آن افزایش یافته است.

همچنین، قبل از کووید-۱۹، برای CO کمترین مقدار میانگین در مشهد و بیشترین مقدار میانگین در اراک، برای O_3 کمترین مقدار میانگین در مشهد و بیشترین مقدار میانگین در شیراز، برای NO ، $PM_{2.5}$ و AQI کمترین مقدار میانگین در اصفهان و بیشترین مقدار میانگین در مشهد، برای NO_2 و NO_x کمترین مقدار میانگین در اصفهان و بیشترین مقدار میانگین در شیراز، برای SO_2 کمترین مقدار میانگین در شیراز و بیشترین مقدار میانگین در اراک، برای PM_{10} کمترین مقدار میانگین در اراک و بیشترین مقدار میانگین در مشهد بود. در دوران کووید-۱۹، برای CO و PM_{10} کمترین مقدار در مشهد و بیشترین مقدار در اراک، برای O_3 کمترین مقدار میانگین در مشهد و بیشترین مقدار میانگین در اصفهان، برای NO ، SO_2 و $PM_{2.5}$ کمترین مقدار میانگین در شیراز و بیشترین مقدار

میانگین در اراک، برای NO_2 ، NO_x و AQI کمترین مقدار میانگین در اصفهان و بیشترین مقدار میانگین در اراک بود.

جدول ۳- خلاصه‌ای از آمار توصیفی مجموعه داده‌ها (ماخذ: یافته‌های تحقیق)

بازه زمانی قبل از کووید-۱۹			بازه زمانی کووید-۱۹			
میانگین	حداکثر	حداقل	میانگین	حداکثر	حداقل	
۲/۹۷	۵/۴۸	۱/۸۵	۲/۹۵	۳/۸۴	۲/۳۵	CO
۳۲/۵۴	۴۵/۶۹	۲۳/۲۰	۲۸/۵۵	۴۳/۱۷	۱۹/۴۴	O ₃
۲۶/۰۳	۴۱/۳۸	۱۶/۰۹	۲۶/۴۲	۶۲/۰۲	۱۸/۸۲	NO
۲۵/۳۴	۳۷/۴۳	۱۹/۷۵	۲۴/۳۷	۴۵/۳۷	۱۷/۶۷	NO ₂
۴۹/۸۴	۷۶/۴۷	۳۵/۵۹	۴۹/۳۵	۱۰۶/۶۷	۳۵/۷۸	NO _x
۱۹/۴۳	۴۴/۰۹	۱۴/۷۴	۱۷/۴۳	۲۹/۱۲	۱۵/۲۰	SO ₂
۹۲/۰۸	۱۶۷/۱۶	۸۴/۴۴	۹۳/۲۰	۱۹۴/۶۱	۸۴/۴۴	PM ₁₀
۴۰/۵۹	۷۸/۳۸	۲۶/۳۱	۴۱/۶۶	۱۱۱/۹۰	۲۷/۳۷	PM _{2.5}
۷۹/۱۴	۱۴۲/۱۰	۷۱/۵۳	۸۰/۳۰	۱۶۳/۸۱	۷۰/۱۹	AQI



شکل ۲- مقایسه غلظت آلاینده‌های هوا

انتخاب ویژگی با PSO

با استفاده از انتخاب ویژگی، تعداد ویژگی‌های مهم‌تر در تحلیل داده‌کاوی انتخاب می‌شوند. به این منظور از بین ۱۲ ویژگی موجود، ۱۰ ویژگی: کلاس شاخص هوا، CO ، O_3 ، NO ، NO_2 ، NO_x ، SO_2 ، $PM_{2.5}$ ، PM_{10} و AQI برای انتخاب ویژگی با PSOsearch انتخاب می‌شوند. با اعمال الگوریتم PSOsearch، تعداد ویژگی‌ها از ۱۰ به ۷ کاهش یافت. ویژگی‌های انتخاب شده عبارتند از: کلاس شاخص هوا، CO ، O_3 ، NO_2 ، $PM_{2.5}$ ، PM_{10} و AQI.

روش درخت تصمیم‌گیری

روش‌های یادگیری ماشین تحت چارچوب اعتبارسنجی متقابل داده‌ها ارزیابی می‌شوند تا بهترین مدل برای پیش‌بینی کیفیت هوا انتخاب شود. ابتدا داده‌ها با مدل درخت تصمیم C4.5 ارزیابی می‌شوند. داده‌ها به شش خوشه تقسیم می‌گردند که عبارتند از: پاک، قابل قبول، ناسالم برای گروه‌های حساس، ناسالم، بسیار ناسالم و خطرناک. با توجه به گام ششم مدل ارائه شده در شکل ۱، داده‌ها در درخت تصمیم C4.5، براساس روش اعتبارسنجی و تعداد k -foldهای مختلف مورد بررسی قرار گرفتند. در روش اعتبارسنجی به ازای اکثریت k ها بیشترین مقدار دسته‌بندی داده‌ها به طور مشابه بدست آمد.

پس از ایجاد مدل پیشنهادی و درخت تصمیم، به ارزیابی نتایج حاصل از آن پرداخته می‌شود. به این منظور از معیارهای ارزیابی معرفی شده استفاده می‌شود. نتایج معیارها در جدول ۴ نشان داده می‌شود. در این جدول، نتایج به تفکیک کلاس‌ها بوده و حاکی از آن است که مدل پیشنهادی از دقت بالایی دست‌بندی برخوردار است.

مقایسه با سایر روش‌ها

نتایج حاصل از دقت، صحت و F-Measure برای روش‌های جنگل تصادفی، شبکه بیزین و شبکه عصبی پرسپترون در جدول ۵ نشان داده شده است و نتایج آن با روش درخت تصمیم مقایسه شده است تا بهترین پیکربندی مدل برای پیش‌بینی داده‌های آلاینده‌های هوا بدست آید. نتایج نشان می‌دهد که روش جنگل تصادفی و درخت تصمیم بهتر از سایر روش‌ها عمل می‌کند. همه آلاینده‌های هوا در روش درخت تصمیم و جنگل تصادفی، مقایر نزدیک به ۱ و یا ۱ (مقدار ایده‌آل) را نشان می‌دهند.

جدول ۴- معیارهای مورد ارزیابی درخت تصمیم C4.5 به تفکیک کلاس شاخص هوا

معیار فیشر F-Measure	معیار بازخوانی Recall	معیار صحت Precision	پیش‌بینی منفی (FP)	پیش‌بینی مثبت (TP)	کلاس
۰/۹۹۹	۰/۹۹۸	۱/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۹۹۹	۱
۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۰/۹۹۸	۰/۰۰۱	۱/۰۰۰	۲
۰/۹۹۳	۱/۰۰۰	۰/۹۸۷	۰/۰۰۰	۰/۹۹۸	۳
۰/۹۹۹	۰/۹۹۴	۰/۹۹۸	۰/۰۰۰	۰/۹۹۶	۴
۰/۹۸۸	۰/۹۸۹	۱/۰۰۰	۰/۰۰۱	۰/۹۸۷	۵
۰/۹۸۷	۱/۰۰۰	۰/۹۷۱	۰/۰۰۰	۱/۰۰۰	۶

ماخذ: یافته‌های تحقیق

معمولاً مجموع قوانین استخراج شده از درخت تصمیم، مهم‌ترین اطلاعاتی است که از آنها به دست می‌آید که به صورت ترکیب تعدادی استلزام منطقی (قانون اگر-آنگاه) است. از این رو برخی قوانین درخت تصمیم و جنگل تصادفی ساخته می‌شود. برخی از قوانین ساخته شده در جدول ۶ نشان داده شده است.

جدول ۵- مقایسه نتایج مورد ارزیابی

معیار فیشر F-Measure	معیار بازخوانی Recall	معیار صحت Precision	نرخ پیش‌بینی منفی (FP)	نرخ پیش‌بینی مثبت (TP)	کلاس
۰/۹۹۹	۱/۰۰۰	۰/۹۹۹	۰/۰۰۰	۰/۹۹۹	درخت تصمیم
۱/۰۰۰	۰/۹۹۸	۰/۹۹۸	۰/۰۰۱	۱/۰۰۰	جنگل تصادفی
۰/۸۴۵	۰/۸۴۵	۰/۸۴۵	۰/۵۲۶	۰/۷۸۹	ماشین بردار پشتیبان
۰/۹۳۲	۰/۹۵۴	۰/۹۴۹	۰/۱۲۸	۰/۹۲۳	شبکه بیزین
۰/۸۵۶	۰/۸۶۷	۰/۸۳۴	۰/۳۳	۰/۸۴۵	شبکه عصبی پرسپترون

ماخذ: یافته‌های تحقیق

جدول ۶- قوانین درخت تصمیم C4.5 و جنگل تصادفی

قوانین	ردیف
در شهرهای اراک و اصفهان، اگر $NO_2 < 101.35$ و $PM_{10} < 100.94$ و $PM_{2.5} < 50.845$ و $AQI \geq 101.75$ باشد، آنگاه هوا "ناسالم برای گروه‌های حساس" است.	۱
در شهرهای مشهد و شیراز، اگر $NO_2 < 101.35$ و $PM_{10} < 100.94$ و $PM_{2.5} < 50.845$ و $AQI \geq 101.75$ باشد، آنگاه هوا "بسیار ناسالم" است.	۲
در شهرهای اراک و اصفهان، اگر $PM_{2.5} \geq 150.92$ و $NO_2 < 101.35$ و $PM_{10} < 100.94$ و $O_3 < 24.765$ باشد، آنگاه هوا "بسیار ناسالم" است.	۳
در شهرهای اراک و اصفهان، اگر $PM_{2.5} \geq 150.92$ و $NO_2 < 101.35$ و $PM_{10} < 100.94$ و $O_3 \geq 24.765$ باشد، آنگاه هوا "خطرناک" است.	۴
در شهرهای اصفهان، شیراز و اراک، اگر $PM_{10} \leq 101.07$ و $NO_2 \leq 24.78$ و $AQI > 100.98$ باشد، آنگاه هوا "ناسالم برای گروه‌های حساس" است.	۵
در شهرهای اصفهان، شیراز و اراک، اگر $NO_2 > 15.3$ و $AQI > 100.36$ باشد، آنگاه هوا "ناسالم برای گروه‌های حساس" است.	۶
در شهرهای مشهد، اصفهان و شیراز، اگر $PM_{10} \leq 101.07$ و $NO_2 \leq 24.44$ و $AQI > 100.98$ باشد، آنگاه هوا "ناسالم برای گروه‌های حساس" است.	۷

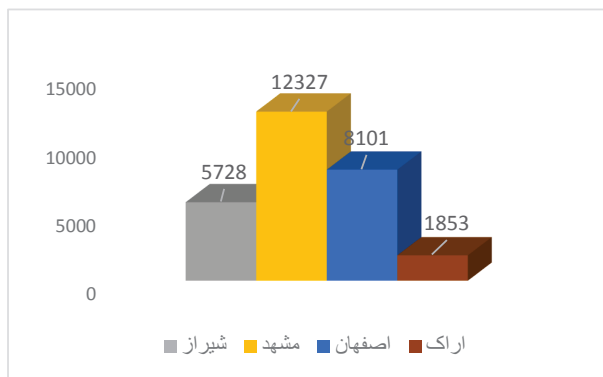
ادامه جدول ۶- قوانین درخت تصمیم C4.5 و جنگل تصادفی

قوانین	ردیف
در هر چهار شهر، اگر $26.17 < NO_2 \leq 88.76$ و $26.17 < AQI \leq 100.54$ باشد و اعمال محدودیت‌های تعطیلی همه مشاغل از ساعت ۱۸:۰۰ به غیر از مشاغل گروه یک، محدودیت تردد شبانه و تمدید خودکار اجاره‌نامه مستاجران باشد، آنگاه هوا "ناسالم برای گروه‌های حساس" است.	۸
در هر چهار شهر، اگر $26.17 < NO_2 \leq 100.54$ و $PM_{10} \leq 69.83$ باشد و اعمال محدودیت‌های تعطیلی همه مشاغل از ساعت ۱۸:۰۰ به غیر از مشاغل گروه یک، محدودیت تردد شبانه، تمدید خودکار اجاره‌نامه مستاجران باشد، آنگاه هوا "سالم" است.	۹
در هر چهار شهر، اگر $24.44 < NO_2 \leq 151.17$ و $CO > 2.53$ باشد و اعمال محدودیت‌های حضور یک سوم کارکنان و محدودیت تردد بین استانی باشد، آنگاه هوا "ناسالم" است.	۱۰

ماخذ: یافته‌های تحقیق

میزان مرگ‌ومیر کلانشهرها

میزان مرگ‌ومیر ناشی از کووید-۱۹ در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۵- میزان مرگ و میر در زمان کووید-۱۹

نتیجه‌گیری و پیشنهاد

در سال ۲۰۱۹، شیوع یک همه‌گیری با منشأ ناشناخته در ووهان چین اتفاق افتاد و بعداً مشخص شد که این شیوع توسط یک ویروس کرونای جدید تحت عنوان کووید-۱۹ ایجاد شده است. شیوع این بیماری بر کشورهای همه‌قاره‌ها تأثیر گذاشت و از این رو توسط سازمان بهداشت جهانی به عنوان یک بیماری همه‌گیر اعلام شد. در ایران از بهمن ماه ۱۳۹۸، شیوع این بیماری دیده شد به گونه‌ای که شیوع این بیماری نه تنها در ایران بلکه در تمامی کشورهای جهان منجر به مرگ‌ومیر زیادی تا زمان کنترل شد. یکی از روش‌های مهار این بیماری، قرنطینه و ایجاد محدودیت‌های تردد بود که انتظار می‌رفت تأثیر بسزایی در کاهش مرگ‌ومیر و همچنین کاهش آلودگی هوا داشته باشد. علاوه بر این، از آنجا که غلظت آلاینده‌ها در جو عمدتاً به قدرت انتشار، مکانیسم تبدیل شیمیایی و سرعت فرآیندهای حذف بستگی دارد، تجزیه و تحلیل انتشار آلاینده‌های هوا و بررسی ادبیات نشان می‌دهد که منابع آلاینده‌های هوا در منطقه شهری عمدتاً از سوخت وسایل نقلیه، فعالیت سوختی زیست‌محیطی و تعلیق مجدد گردوغبار در شهرها ایجاد می‌شود، پس قرنطینه می‌توانست در کاهش آمدو شد وسایل نقلیه و کاهش غلظت آلاینده‌ها تأثیرگذار باشد. اجرای مرحله‌ای قرنطینه در سراسر جهان تا حد زیادی بر الگوی انتشار آلودگی هوا به دلیل محدودیت در حرکت وسایل نقلیه، حمل‌ونقل عمومی، حرکت قطارها، هواپیماها و حرکت عمومی تأثیر می‌گذارد. علاوه بر این، الگوهای انتشار تنها به فعالیت حرکت وسایل نقلیه محدود نمی‌شد، بلکه به تعداد وسیله نقلیه، نوع وسیله نقلیه، تعلیق مجدد فعالیت گردوغبار شهرها و حرکت عمومی نیز بستگی داشت. این مطالعه نتیجه تغییرات غلظت آلاینده‌های هوا در اثر محدودیت‌های ترافیک اعمال شده ناشی از کووید-۱۹ را در چهار کلان‌شهر کشور ایران در طول دوره همه‌گیری کووید-۱۹ نشان داد.

در بررسی میزان غلظت آلاینده‌ها در دوران کووید-۱۹ نسبت به دوران قبل از آن برای کلان‌شهرهای ایران می‌توان گفت که در شهر مشهد میانگین غلظت آلاینده‌های CO ، O_3 ، SO_2 افزایش و NO ، NO_2 ، NO_x ، PM_{10} ، $PM_{2.5}$ و AQI کاهش یافته‌اند. در شهر اصفهان برای آلاینده‌های SO_2 و PM_{10} مقداری ثبت نشده و میانگین غلظت آلاینده CO روند کاهشی داشته و آلاینده‌های O_3 ، NO ، NO_2 ، NO_x ، $PM_{2.5}$ و AQI افزایش یافته‌اند. در شهر شیراز میانگین غلظت آلاینده‌های SO_2 ، PM_{10} و AQI افزایش و در مقابل آلاینده‌های CO ، O_3 ، NO ، NO_2 ، NO_x و $PM_{2.5}$ کاهش یافته‌اند. در شهر اراک نیز میانگین غلظت آلاینده‌های NO ، NO_2 ، NO_x ، PM_{10} ، $PM_{2.5}$ و AQI افزایش و آلاینده‌های CO ، O_3 ، SO_2 روند کاهشی داشته‌اند. نکته مهم و قابل‌تامل، وجود فقط یک ایستگاه

ثبت غلظت آلاینده در کلان‌شهر اصفهان می‌باشد که لازم است در این خصوص تجدیدنظر صورت پذیرد و نکته دیگر اینکه، در شهر اصفهان، ۲۵ درصد آلاینده‌ها در همان یک ایستگاه نیز ثبت نشده است، لذا همین موضوع ممکن است پیش‌بینی‌ها و همچنین ارائه و اجرای برنامه راهبردی برای شرایط مشابه را با خطا مواجه کند.

با بررسی غلظت آلاینده‌ها به تفکیک شهرها می‌توان نتیجه گرفت که غلظت آلاینده‌ها در دوران کووید-۱۹ نسبت به قبل از آن، در بعضی از شهرها افزایشی و در بعضی از شهرها کاهش می‌یابد. از آنجا که برای آلاینده‌ها، الگوی افزایشی و یا کاهش یکسانی در تمامی شهرها دیده نمی‌شود پس می‌توان گفت که تاثیر محدودیت‌ها در شهرهای مختلف، بر روی غلظت آلاینده‌ها متفاوت می‌باشد. لذا اعمال محدودیت‌های یکسان در تمامی شهرها منجر به کاهش آلودگی نمی‌شود بلکه می‌بایست برای هر شهر و در واقع برای هر موقعیت شهری، الگوی محدودیت‌های ترافیکی مختص آن موقعیت تهیه گردد. ضمناً با توجه به اینکه تغییر در غلظت آلاینده‌ها در ایستگاه‌های تحت نظارت ثبت می‌شود و عمدتاً با شرایط خاص منبع، مکان خاص و شرایط هواشناسی خاص در مناطق مرتبط است، از این رو نمی‌توان نتایج تحقیق را در بسیاری از مناطق تعمیم داد.

بررسی‌ها نشان داد که اعمال محدودیت‌های ترافیکی در دوره همه‌گیری، تاثیر قابل توجه و محسوسی در کاهش غلظت آلاینده‌های هوا نداشته است به گونه‌ای که شاخص کیفیت هوا که سازمان حفاظت محیط‌زیست کشور، سطح اهمیت بهداشتی را با آن مورد سنجش قرار می‌دهد، در سه کلان‌شهر اصفهان، شیراز و اراک، نه تنها کاهش نداشته، بلکه افزایش داشته 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، تاثیر سایر عوامل ایجاد آلودگی هوا شامل صنایع، کارخانجات، پالایشگاه‌ها، نیروگاه‌ها، وارونگی دما، مصارف خانگی و موارد مشابه می‌باشد. در شهر مشهد، وضعیت آلودگی هوا در دوره همه‌گیری کووید-۱۹ نسبت به دوره قبل از آن کمی بهتر از سایر شهرها می‌باشد به گونه‌ای که در دوره همه‌گیری و با اعمال محدودیت‌های ترافیکی، غلظت بیش از نیمی از آلاینده‌ها کاهش یافته و از طرف دیگر، برخلاف سه شهر دیگر، در شهر مشهد، میانگین شاخص کیفیت هوا نیز در دوره

همه‌گیری نسبت به دوره قبل از آن کاهش یافته است. البته از نظر مقدار عددی شاخص کیفیت هوا، اصفهان کمترین مقدار AQI را در بین چهار شهر در دوره همه‌گیری کووید-۱۹ و قبل از آن داشته است که این موضوع در شکل ۲ کاملاً مشهود است.

این تحقیق میزان مرگ‌ومیر ناشی از همه‌گیری کووید-۱۹ نسبت به جمعیت شهرها بر اساس آخرین سرشماری رسمی صورت گرفته را نشان داد. بر همین اساس، نسبت مرگ‌ومیر به جمعیت شهرها در مشهد، ۰/۴۱۰ درصد، در اصفهان، ۰/۴۱۳ درصد، در شیراز، ۰/۳۶۶ درصد و در اراک، ۰/۳۵۶ درصد می‌باشد. لذا می‌توان گفت که کلان‌شهر اراک، کمترین و کلان‌شهر اصفهان، بیشترین مرگ‌ومیر ناشی از کووید-۱۹ را به خود اختصاص داده است.

همانگونه که نتایج نشان داد، در شهر اراک، غلظت حدود ۷۰ درصد آلاینده‌ها در دوره همه‌گیری کووید-۱۹ نسبت به قبل از آن افزایش یافته است اما میزان مرگ‌ومیر آن در مقایسه با شهر مشهد که فقط غلظت حدود ۳۵ درصد آلاینده‌ها در آن روند افزایشی داشته‌اند، کمتر می‌باشد و همین موضوع می‌تواند نشان دهد که اعمال محدودیت‌های ترافیکی و به تبع آن کاهش احتمالی آلودگی هوا تاثیر چندانی بر مرگ‌ومیر ناشی از کووید-۱۹ ندارد. در شهر شیراز نیز غلظت حدود ۳۵ درصد آلاینده‌ها افزایشی می‌باشد اما مشاهده می‌گردد که میزان مرگ‌ومیر آن از شهر اراک بیشتر بوده و در شرایط مشابه با شهر مشهد، از این شهر کمتر است.

در بسیاری از مطالعات صورت گرفته در زمینه آلودگی هوا، نتایج بررسی آلاینده‌های چند شهر به کل کشور تعمیم داده می‌شود که در این تحقیق عنوان شد که هر یک از کلان‌شهرها، الگوی خاص خود را داشته و نتایج به دست آمده نیز تفاوت در روند تغییر آلاینده‌ها را علی‌رغم برخی محدودیت‌های مشابه ترافیکی نشان داد. چنانچه بخواهیم براساس مقایسه آمار توصیفی مجموعه داده‌ها موضوع را بررسی نمائیم، مشاهده می‌شود که در دوره کووید-۱۹ برخلاف محدودیت‌های اعمال شده، میانگین غلظت آلاینده‌های NO ، PM_{10} ، $PM_{2.5}$ و AQI افزایش داشته است. به گونه‌ای که آلاینده NO ، ۲ درصد، آلاینده PM_{10} ، کمتر از یک درصد، آلاینده $PM_{2.5}$ ، ۳ درصد و آلاینده AQI نیز ۱/۵ درصد افزایش داشته‌اند. اگر این نتایج را ملاک عمل و تصمیم‌گیری برای کلیه کلان‌شهرهای ایران قرار دهیم، پرواضح است که در برخی از شهرها دچار اشتباه قابل توجهی خواهیم شد که در اینجا می‌توان به شهر مشهد اشاره کرد که در آن هر چهار آلاینده ذکر شده روند افزایشی داشته‌اند.

برای روش‌های یادگیری ماشین می‌توان گفت که مدل درخت تصمیم و مدل جنگل تصادفی، پیش‌بینی شاخص کیفیت هوا را به صورت ایده‌آل و نزدیک به یک نشان دادند. ضمناً پیش‌بینی با سایر روش‌های یادگیری ماشین: ماشین بردار پشتیبان، شبکه بیزین و شبکه عصبی پرسپترون، نتایج مطلوبی را نداشتند. بنابراین از مدل درخت تصمیم و مدل جنگل تصادفی می‌توان برای پیش‌بینی کیفیت هوا در آینده استفاده نمود. کووید-۱۹ نه تنها با افزایش میزان مرگ‌ومیر، خانواده‌ها و دولت‌ها را تحت فشار قرار داد، بلکه اعمال محدودیت‌های تردد به همراه قرنطینه، فشارهای اقتصادی قابل توجهی را به خانواده‌ها تحمیل نمود و همچنین منجر به بیکاری برخی افراد، رکود تولیدات صنعتی و تعلیق تولیدات برای دولت‌ها شد. اکنون که این‌گونه فشارهای ناشی از کووید-۱۹ خاتمه یافته است انتظار می‌رود که با استفاده از تجارب بدست آمده در زمان کووید-۱۹ در زمینه اعمال محدودیت‌ها و مدیریت تجربه‌های بدست آمده، قوانینی برای تردد وسایل نقلیه و ترافیک وضع گردد که منجر به کاهش آلودگی هوا و کاهش غلظت آلاینده‌های متاثر از حمل‌ونقل و ترافیک شود.

در کارهای آینده تصمیم بر آن شد که نتایج شاخص‌های کیفیت هوا در زمان کووید-۱۹ براساس روش‌هایی مانند اینترنت اشیا مورد بررسی قرار گیرد. همچنین شاخص‌های کیفیت هوا قبل و بعد از کووید-۱۹ براساس روش‌های تصمیم‌گیری چندمتغیره ارزیابی و مقایسه شود. نهایتاً سند راهبردی در راستای محدودیت‌های ارائه شده در زمان همه-گیری یا شرایط مشابه جهت وضع قوانین ترافیکی جدید برای کاهش آلودگی هوا ارائه گردد.

منابع و مأخذ

Eshghi Pirayavatlo, Shahram, Izadpanah, Nowruz, Rezvani Chaman Zamin, Musa (1401). Explaining the role of green human resources management on the sustainability performance of government organizations. *Journal of Quantitative Studies in Management Islamic Azad University, Abhar branch*, Vol. 13, PP.71-98

Burqai, Zahra, Saeedi, Parviz, Samiee, Ruhollah (1401). Testing the intervention effect of the relationship between organizational entrepreneurship and social capital (case study: the treatment department of the social security organization in the north of the country). *Journal of Quantitative Studies in Management Islamic Azad University, Abhar branch*, Vol. 13, PP.25-50

Sh.Liyin, J.J.Ochoa, and H.Bao, 2023, "Strategies for Sustainable Urban Development-Addressing the Challenges of the 21st Century, *Buildings*", Vol.13, No.4, PP.847-869.

P.Huangfu, R.Atkinson, 2020, "Long-term exposure to NO₂ and O₃ and all-cause and respiratory mortality: a systematic review and meta-analysis", *Environment International*, Vol.144, PP.105998-106006.

N.Hay, O.Onwuzurike, SP.Roy, P.McNamara, ML.McNamara, W.McDonald, 2023, "Impact of traffic on air pollution in a mid-sized urban city during COVID-19 lockdowns, *Air Qual Atmos Health*", Vol.16, No.6, PP.1141-1152.

S.Wang, Y.Ma, Z.Wang, L.Wang, X.Chi, A.Ding, M.Yao, Y.Li, Q.Li, M.Wu, L.Zhang, Y.Xiao, Y.Zhang, 2020, "Mobile monitoring of urban air quality at high spatial resolution by low-cost sensors: Impacts of COVID-19 pandemic lockdown. *Atmos Chem Phys*", Vol.21, No.9, PP.7199–7215.

N.Hudda, MC.Simon, AP.Patton, JL.Durant, 2020, "Reductions in traffic-related black carbon and ultrafine particle number concentrations in an urban neighborhood during the COVID-19 pandemic, *Science of The Total Environment*", Vol.742, No. 140930, PP.1-10.

G.Gualtieri, L.Brilli, F.Carotenuto, C.Vagnoli, A.Zaldei, B.Gioli, 2020, "Quantifying road traffic impact on air quality in urban areas: a COVID19-induced lockdown analysis in Italy, *Environmental Pollution*", Vol.267, No. 115682, PP.1-10.

J.Liu, J.Lipsitt, M.Jerrett, Y.Zhu, 2020, "Decreases in Near-Road NO and NO₂ Concentrations during the COVID-19 Pandemic in California". *Environment Science Technology Letters*, Vol.8, No.2, 2020, PP.161–167.

J.Xiang, E.Austin, T.Gould, T.Larson, J.Shirai, Y.Liu, J.Marshall, E.Seto, 2020, "Impacts of the COVID-19 responses on traffic-related air pollution in a Northwestern US city". *Science of The Environment*, Vol.747, No.141325, PP.1-9.

C.Jia, X.Fu, D.Bartelli, L.Smith, 2020, "Insignificant impact of the "stay-at-home" order on ambient air quality in the Memphis Metropolitan Area, U.S.A. *Atmosphere*", Vol.11, No.6, PP.630-640.

P.F.Rupani, M.Nilashi, R.A.Abumalloh, S.Asadi, S.Samad, S.Wang, 2020, "Coronavirus pandemic (COVID-19) and its natural environmental impacts, *International Journal of Environmental Science and Technology*", Vol.17, No.11, PP.4655–4666.

U.S.Saharan, R.Kumar, P.Tripathy, M.Sateesh, J.Garg, S.K.Sharma, T.K.Mandal, 2022, "Drivers of air pollution variability during second wave of COVID-19 in Delhi, India, *Urban Climate*", Vol.41, No.101059, PP.1-10.

H.Bherwani, S.Gautam, A.Gupta, 2021, "Qualitative and quantitative analyses of impact of COVID-19 on sustainable development goals (SDGs) in Indian subcontinent with a focus on air quality", *International Journal of Environmental Science and Technology*, Vol.18, PP.1019–1028.

- Y.Lv, H.Tian, L.Luo, S.Liu, X.Bai, H.Zhao, S.Lin, S.Zhao, Z.Guo, Y.Xiao, J.Yang, 2022, "Meteorology-normalized variations of air quality during the COVID-19 lockdown in three Chinese megacities", *Atmospheric Pollution Research*, Vol.13, No.6, PP.1-11.
- H.Yao, W.Lu, G.Niu, Q.Zhang, Q.Jiang, T.Ni, 2021, "Characterizing the air pollution of the cities in the closure of corona virus disease 2019 in China", *International Journal of Environmental Science and Technology*, Vol.18, PP.2053-2062.
- G.Y.Lin, W.Y.Chen, Sh.H.Chieh, Yi.T.Yang, 2022, "Chang impact analysis of level 3 COVID-19 alert on air pollution indicators using artificial neural network", *Ecological Informatics*, Vol.69, No.101674, PP.1-9.
- J.J.Alava, G.G.Singh, 2022, "Changing air pollution and CO2 emissions during the COVID-19 pandemic: Lesson learned and future equity concerns of post-COVID recovery", *Environmental Science & Policy*, Vol.130, PP.1-8.
- J.S.Wijnands, K.A.Nice, S.Seneviratne, J.Thompson, M.Stevenson, 2022, "The impact of the COVID-19 pandemic on air pollution: A global assessment using machine learning techniques", *Atmospheric Pollution Research*, Vol.13, No.6, PP.1-16.
- S.Hyman, J.Zhang, ZJ.Andersen, S.Cruickshank, P.Møller, K.Daras, R.Williams, D.Topping, YH.Lim, 2023, "Long-term exposure to air pollution and COVID-19 severity: A cohort study in Greater Manchester, United Kingdom", *Environmental Pollution*, Vol.327, No.121594, PP.1-9.
- M.Jerrett, C.L.Nau, D.R.Young, R.K.Butler, Ch.M.Batteate, J.Su, R.T.Burnett, M.J.Kleeman, 2022, "Air Pollution and Meteorology as Risk Factors for COVID-19 Death in a Cohort from Southern California", *Environmental International*, Vol.171, No.107675, PP.1-11.
- M.Yang, L.Chen, G.Msigwa, K.H.D.Tang, P.S.Yap, 2022, "Implications of COVID-19 on global environmental pollution and carbon emissions with strategies for sustainability in the COVID-19 era", *Science of The Total Environment*, Vol.809, No.151657, PP.1-16.
- U.Uday, L.D.Bethineedi, M.Hasanain, B.K.Ghazi, A.Nadeem, P.Patel, Z.Khalid, 2022, "Effect of COVID-19 on air pollution related illnesses in India", *Annals of medicine and surgery*, Vol.78, No.103871, PP.1-4.
- Ch.Wen, R.Akram, M.Irfan, W.Iqbal, V.Dagar, Á.Acevedo-Duqued, H.B.Saydaliev, 2022, "The asymmetric nexus between air pollution and COVID-19: Evidence from a non-linear panel autoregressive distributed lag model", *Environmental Research*, Vol.209, No. 112848, PP.1-9.

Presenting a data mining model based on the environmental index of sustainable urban development affected by the epidemic of Covid-19

Abbas Maleki,¹ Sadegh Abedi² and Alireza Irajpour^{3}*

Abstract

In response to the Covid-19 pandemic, governments around the world have imposed severe traffic restrictions and presented different scenarios to reduce emissions from traffic sources. By applying the traffic restrictions caused by the Covid-19 epidemic, it was expected to see changes in the concentrations of air pollutants. Therefore, it was decided that the changes of air pollutants as one of the subsets of the environmental index of sustainable urban development during the covid-19 epidemic will be investigated. For this purpose, the aforementioned data are first collected in the four metropolitan cities: Tehran, Karaj, Ahvaz and Tabriz, and then processed and cleaned. After that, a proposed algorithm based on machine learning methods is presented. Machine learning methods: decision tree, random forest, support vector machine, Bayesian network and perceptron neural network are applied to the selected features. Investigations showed that the prediction model using decision tree and random forest had the best performance for both recall and accuracy criteria. The research results showed that the effect of restrictions on the concentration of pollutants in different cities is different. Also, the results show that, in general, the application of traffic restrictions during the epidemic period did not have a significant and noticeable effect in reducing the concentration of air pollutants. Also, the studies showed that the application of traffic restrictions and consequently the possible reduction of some air pollutants are not related to the deaths caused by Covid-19.

Keywords: Air Pollution, Covid-19, Data Mining, Sustainable Development, Traffic restriction.

PhD Student, Department of Industrial Management, Management and Accounting Faculty, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran.

Corresponding Author, Assistant Professor, Management and Accounting Faculty, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran. Email Address: Abedi.sadegh@gmail.com.

Assistant Professor, Management and Accounting Faculty, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran.