

## ارائه الگوی داده کاوی مبتنی بر شاخص توسعه پایدار شهری متاثر از محدودیت‌های حمل و نقل و تردد در دوره همه‌گیری کووید-۱۹

### مقاله علمی - پژوهشی

عباس ملکی، دانشجوی دکترا، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین، قزوین، ایران

صادق عابدی\*، استادیار، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین، قزوین، ایران

علیرضا ایرج‌پور، استادیار، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین، قزوین، ایران

\*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: [Abedi.sadegh@gmail.com](mailto:Abedi.sadegh@gmail.com)

دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۱۰ - پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۲۵

صفحه ۱۵۸-۱۳۵

### چکیده

با شیوع کووید-۱۹، دولت‌ها در سراسر دنیا برخی محدودیت‌ها را اعمال نمودند تا بتوانند با ایجاد فاصله گذاری اجتماعی از شیوع بیشتر بیماری جلوگیری کنند. یکی از این محدودیت‌ها، محدودیت تردد بود. با اعمال محدودیت‌های تردد و حمل و نقل، 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 مورد بررسی قرار گیرد. به این منظور، ابتدا داده‌های مورد نیاز در چهارکلان‌شهر تهران، کرج، اهواز و تبریز 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 اعمال می‌شود تا آن مدل پیش‌بین که بهترین عملکرد را برای معیارهای فراخوانی و صحت از خود نشان می‌دهد، تعیین گردد. بررسی‌ها نشان داد که مدل پیش‌بین با استفاده از درخت تصمیم و جنگل تصادفی بهترین عملکرد را دارد. نتایج تحقیق نشان داد که محدودیت‌ها تاثیر محسوس بر کاهش غلظت آلاینده‌ها نداشته و آلاینده‌ها نیز در شهرهای مختلف از الگوی یکسانی پیروی نمی‌کنند و هر شهر رفتار جداگانه‌ای دارد. همچنین با مقایسه روند تغییر شاخص کیفیت هوا با میزان مرگ‌ومیر در دوره همه‌گیری مشخص شد که ارتباطی بین آنها وجود ندارد.

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

### ۱-مقدمه

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 (Liyin et al, 2023). 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

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

سراسر جهان واضح یا یکنواخت نبود. کاهش ۵۳ تا ۶۰ درصد آلاینده‌های هوا از منابع ترافیکی (مونواکسیدکربن<sup>۶</sup> و دی‌اکسیدنیترژن) در طول قرنطینه در نانجینگ چین وجود داشت (Wang et al, 2020) و در ساموئل ایالات متحده، کاهش غلظت ذرات بسیار ریز (۶۹-۴۵ درصد) و کربن سیاه (۲۲-۴۶ درصد) وجود داشت که مرتبط با میزان ترافیکی بود (Hudda et al, 2020). علاوه بر این، کاهش ترافیکی (۴۸-۶۰ درصد) در شش شهر ایتالیا در کنار کاهش (۲۵-۵۹ درصد) NO<sub>2</sub> و (۱۷-۳۲ درصد) PM مشاهده شد (Gualtieri et al, 2020) و در کالیفرنیا، کاهش ترافیکی (۲۵۴-۳۹ درصد)، در کنار کاهش مونواکسیدنیترژن<sup>۷</sup> (۳۲-۳۵ درصد) و NO<sub>2</sub> (۱۵-۲۹ درصد) مشاهده شد (Liu et al, 2020). در سراسر چین شمالی، حسگرهای کیفیت هوا در ۳۶۶ مرکز شهری با داده‌های ترافیکی مورد ارزیابی قرار گرفتند و مشخص شد که حجم ترافیکی بین ۱۱ تا ۴۴ درصد با غلظت آلاینده‌های هوا (PM<sub>2.5</sub>، ذرات معلق با قطر کوچکتر از ۲٫۵ میکرون<sup>۸</sup>، CO، دی‌اکسیدگورد<sup>۹</sup>، NO<sub>2</sub> و O<sub>3</sub>) مرتبط است (Wang et al, 2020). در برخی دیگر از تحقیقات، کاهش کمتری در آلاینده‌های هوا به دلیل ترافیکی یافتند. ترافیکی باعث کاهش آلاینده‌های (PM، NO<sub>2</sub>، NO<sub>x</sub>) بین ۳ تا ۱۲ درصد در سیاتل شد (Xiang et al, 2020) و هیچ کاهش قابل مشاهده‌ای در PM<sub>2.5</sub> و NO<sub>2</sub> در ممفیس، ایالات متحده مشاهده نشد، با اینکه ترافیکی ۵۷ درصد کاهش یافته است (Jia et al, 2020). 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 آلوده ترین 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 راه دور، ایستگاه‌های ثابت یا حسگرهای سوار بر خودرو)، آلاینده‌های خاص اندازه‌گیری شده و شرایط هواشناسی یا فیزیوگرافی منحصر به فرد هر شهر باشد. علاوه بر این، مطالعات قبلی یا از

گلخانه‌ای مرتبط با احتراق از منابع مختلف از جمله ترافیکی و تولید برق هستند. این آلاینده‌ها شامل ذرات معلق<sup>۱</sup> و آمونیاک<sup>۲</sup> هستند که می‌توانند باعث بیماری‌های تنفسی، اختلال در عملکرد سیستم عصبی و سرطان شوند. سایر آلاینده‌های احتراق در سطوح بالا، مانند دی‌اکسیدنیترژن<sup>۳</sup> و اوزن<sup>۴</sup>، می‌توانند بر سیستم‌های تنفسی و قلبی عروقی تأثیر منفی بگذارند (Huangfu and Atkinson, 2020).

از سویی، ترافیکی 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<sub>3</sub>، ۲۵ درصد از اوزون و ۵۰ درصد از انتشار EPA را تشکیل می‌دهد. با این حال، علی‌رغم شواهدی مبنی بر نقش احتراق ترافیکی در آلاینده‌های هوا، مشخص نیست که تا چه اندازه استراتژی‌های مدیریت ترافیکی می‌توانند کیفیت هوای شهری را به دلیل فقدان ارزیابی از استراتژی‌های اجرا شده بهبود بخشند. این ابهام برای بهبود کیفیت هوا در استراتژی‌های مدیریت ترافیکی، تا حدی به علت فقدان داده‌های تجربی مکانی و زمانی در مورد تأثیرات کاهش ترافیکی بر کیفیت هوا ناشی می‌شود (Hay et al, 2023). 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 ترافیکی به دلیل قرنطینه‌های کووید-۱۹ وجود داشت. به عنوان مثال، در کره جنوبی، ترافیکی ۹٫۷ درصد و در ایالات متحده، ترافیکی 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<sup>۵</sup> در شهرهای شمال چین و کاهش ۳۲ درصد از NO<sub>2</sub> 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 ترافیکی و محدودیت‌های رفت‌وآمد بوده است (Hay et al, 2023). در ادبیات تحقیق، مطالعاتی در خصوص رابطه بین ترافیکی و آلودگی هوا در طول قرنطینه کووید-۱۹ ارزیابی شده است. با این حال، ارتباط بین کاهش ترافیکی و کیفیت هوا در طول قرنطینه کووید-۱۹ همیشه در

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: تهران، کرج، اهواز و تبریز. (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:

$PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ ,  $CO$ ,  $O_3$ ,  $NO$ ,  $NO_2$ ,  $SO_2$  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.

نظر زمانی به داده‌های ترافیک در یک بازه متوسط روزانه یا بازه ساعتی یا از نظر مکانی به داده‌های ترافیک و آلاینده هوا 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 قابل‌توجهی 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. از شاخص‌های توسعه پایدار شهری می‌توان به جمعیت، موقعیت اقتصادی، تغییر اقلیم، کیفیت هوا، جامعه باز، برنامه‌ریزی یکپارچه و واحد، توانایی و پتانسیل نوآوری و ابداع، پتانسیل و ظرفیت مربوط به زیرساخت منطقه‌ای، سرمایه اجتماعی، امنیت و آموزش اشاره کرد. با توجه به اینکه محدودیت‌های تردد اعمال شده در دوره همه‌گیری می‌تواند بر غلظت آلاینده‌ها تأثیرگذار باشد، در این مطالعه، صرفاً شاخص کیفیت هوا به عنوان یکی از زیر مجموعه‌های مسائل زیست محیطی مورد بررسی قرار می‌گیرد. داده‌های 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<sup>۱۱</sup> 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

## ۲- پیشینه تحقیق

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 بالای 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 (Bherwani et al, 2021). 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 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 (Lv et al, 2022). 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

مطالعات زیادی در شهرهای مختلف جهان برای درک تاثیر قرنطینه کووید-۱۹ بر روی سطوح غلظت متغیرهای آلاینده هوا ( $PM_{2.5}$ ،  $PM_{10}$ ،  $CO$ ،  $NO$ ،  $NO_2$ ،  $NO_x$  ( $NO + NO_2$ )). مطالعات بر روی مدت زمان، درصد کاهش غلظت آلاینده‌ها، حجم ترافیک، میزان میرومیر و مکان و روش‌های جمع‌آوری داده‌ها انجام شده است که در ادامه به برخی از آنها اشاره می‌شود. جدول ۱، خلاصه ای 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  $NO_2$  و  $CO_2$  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 (Rupani et al, 2020). 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 (Saharan et al, 2022). بهروانی و همکاران به مطالعه شناسایی کیفیت هوا در شهرهای بزرگ هند و ارتباط آن با افراد مبتلا به کووید-۱۹ در

بر آلودگی هوای شهر اصفهان نشان داد که اعمال محدودیت‌های ناشی از کووید-۱۹، تأثیری بر آلودگی هوای این شهر نداشته است (محمدی و همکاران، ۱۴۰۱). تحقیق دیگری نیز با موضوع اثر شیوع ویروس کرونا بر آلودگی هوا در شهر اصفهان نشان داد که شیوع ویروس کرونا، اثر معنی‌داری بر کاهش آلودگی هوا در شهر اصفهان نداشته است (کبیری و سلیمانی، ۱۴۰۰). شگرخدایی و همکاران در تحقیق خود با موضوع ارتباط بین کووید-۱۹ و تغییرات آلاینده‌های هوا با استفاده از تصاویر ماهواره ای (مطالعه موردی: کلان‌شهرهای تهران، اصفهان و مشهد) به این نتیجه رسیدند که اعمال محدودیت‌ها نتیجه‌ای در کاهش انتشار آلاینده‌های اولیه از منابع انسانی نداشته است (شگرخدایی و همکاران، ۱۴۰۰). مطالعات قبلی که کیفیت هوای شهری را براساس غلظت آلاینده هوا در دوره قرنطینه و قبل از قرنطینه ارزیابی کرده‌اند، کاهش قابل‌توجهی در غلظت آلاینده‌های هوا در سراسر 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.

شاخص‌های آلودگی هوا داشته‌اند (Yao et al, 2021). ژوان یو لین و همکاران به بررسی تجزیه و تحلیل تأثیر 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 پیش بینی  $NO_x$ ،  $O_3$ ، نترات 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 (Lin et al, 2022). جوان جوز آلاوا و جرالده 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 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 (Alava and Singh, 2022). مطالعه صورت گرفته با موضوع تأثیر محدودیت‌های ناشی از همه‌گیری کووید-۱۹

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

ردیف	نویسنده مقاله	عنوان مقاله	سال انتشار	نتیجه	روش انجام کار
۱	Wijnands et al.	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 به طور 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 قرنطینه‌های 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 گرادیان فوق العاده براساس درختان تصمیم استفاده کرد. XGBoots از ماشین‌های تقویت گرادیان است که بهینه‌سازی افزایشی را در فضای عملکردی انجام می‌دهند.

۲	Hyman et al.	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.
۳	Jerrett et al.	آلودگی هوا و هواشناسی به عنوان عوامل خطر مرگ کووید-۱۹: یک مطالعه کوهورت در کالیفرنیا 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.
۴	Yang et al.	پیامدهای کووید-۱۹ بر آلودگی جهانی محیط زیست و انتشار کربن با استراتژی‌هایی برای پایداری در دوران کووید-۱۹	۲۰۲۲	کاهش سطوح $PM_{10}$ ، $PM_{2.5}$ ، $CO$ و $NO_2$ در بیشتر مناطق جهان، افزایش و با 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 زیست محیطی کووید-۱۹ و انتخاب ۱۱۸ مقاله و ارائه استراتژی‌های پایداری در عصر کووید-۱۹ بر اساس مقالاتی که آلودگی محیط زیست جهانی و انتشار کربن را پوشش می‌دادند
۵	Uday et al.	تاثیر 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.
۶	Wen et al.	رابطه نامتقارن بین آلودگی هوا و کووید-۱۹: شواهدی از یک مدل تاخیر توزیع شده اتورگرسیو 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 تاخیر توزیع شده اتورگرسیو غیرخطی است.

### ۳- روش پیشنهادی

دانشمندان داده برای کشف فساد، ساخت مدل‌های ریسک و بهبود ایمنی محصول استفاده شود. در مقابل، داده‌کاوی به طور گسترده‌ای از فناوری در فرآیند جمع‌آوری داده‌ها استفاده می‌کند. هر داده ایجاد شده به فضای ذخیره‌سازی و نگهداری خاص خود نیاز دارد. این می‌تواند به طور قابل توجهی هزینه استقرار را افزایش دهد. اما هدف از بکارگیری فنون توصیفی، استخراج الگو است به نحوی که ارتباط بین لایه‌های زیرین داده‌ها را خلاصه سازی کند. فنون پیش‌بینی شامل دسته‌بندی، رگرسیون و غیره می‌شود و فنون توصیفی شامل خوشه‌بندی، تشخیص ناهنجاری و مواردی از این دست است. عملکردهای پیش‌گویانه و تکنیک‌های داده‌کاوی مورد استفاده در این تحقیق

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 خواهد شد. فنون داده‌کاوی در یک نگاه کلی به دو منظور به کار می‌روند: ۱- توصیف و ۲- پیش‌بینی. هدف از به کارگیری فنون پیش‌بینی کننده، پیش‌بینی ارزش یک 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. داده‌کاوی، دانشمندان داده را قادر می‌سازد تا حجم عظیمی از داده‌ها را به سرعت ارزیابی کنند. اطلاعات به دست آمده می‌تواند توسط

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.

### ۳-۱- 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  $PM_{10}$ ،  $PM_{2.5}$ ،  $SO_2$ ،  $NO_x$ ،  $NO$ ،  $NO_2$ ،  $O_3$ ،  $CO$  می‌باشد تا AQI تعیین گردد. برای محاسبه AQI، داده‌ها به صورت روزانه از تاریخ ۱۳۹۶/۱۱/۰۱ الی ۱۴۰۰/۱۲/۲۹ جمع‌آوری شده‌اند. شاخص AQI برای هر روز بزرگترین عدد مربوط به پارامترهای  $CO$ ،  $O_3$ ،  $NO_2$ ،  $SO_2$ ،  $PM_{2.5}$  و  $PM_{10}$  در آن روز می‌باشد که در رابطه (۱) نشان داده شده است. 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.

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

جدول ۲. شاخص کیفیت هوا مبتنی بر استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست

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

شامل خوشه‌بندی و دسته‌بندی است. از مهمترین روش‌های رایج دسته‌بندی، درخت تصمیم می‌باشد و از میان الگوریتم‌های تکاملی، الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات در این تحقیق استفاده می‌شود. به طور کلی، از مزایای داده‌کاوی می‌توان به ارتقای سطح خدمات، سودآوری بیشتر، تحلیل رفتار مشتری و از همه مهمتر به پیش‌بینی در حوزه‌های مختلف اشاره کرد. علی‌رغم مزایای عنوان شده، داده‌کاوی دارای معایبی نیز می‌باشد که از آن دست می‌توان به حجم اطلاعات، مشکلات روانشناختی و همچنین مسائل خصوصی و امنیتی اشاره کرد. در صورت مواجه شدن با حجم قابل توجهی از داده، ناگزیر به نمونه‌برداری تصادفی یا هدفمند هستیم که البته در بعضی شرایط، بر نتایج تاثیرگذار خواهد بود. در خصوص مشکلات روانشناختی نیز ممکن است تاثیرگذاری فاکتورهای روانشناختی در پاسخ‌ها و استخراج دانش تحت تاثیر قرار بگیرند، لذا لازم است که از پیش، طرح لازم برای پوشش‌دهی این مورد، بررسی شده و اعمال گردد. یکی از مشکلات مهم در داده‌کاوی، مسائل خصوصی و امنیتی می‌باشد که احتمال سوء استفاده از اطلاعات وجود دارد که می‌تواند برای هر سازمان و یا کشوری، پیامدهای جدی ایجاد کند. در این مطالعه، 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  $PM_{10}$ ،  $PM_{2.5}$ ،  $SO_2$ ،  $NO_x$ ،  $NO$ ،  $NO_2$ ،  $O_3$ ،  $CO$  در ایستگاه‌های ترافیک شهری انجام می‌شود تا میزان آلودگی

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. عملیات دقیق بهینه‌سازی ازدحام ذرات در ادامه تعریف می‌شود. برای بدست آوردن جمعیت اولیه از ذرات، یک آرایه از متغیرهای مسئله با نام ذره ایجاد می‌شود. در PSO هر ذره، یک پرند 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.

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

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

پاسخ هر دسته ذرات با توجه به بهترین مکانی که تاکنون داشته است<sup>۱۱</sup>، تغییر می‌کند. با تغییر زمان برحسب سرعت، موقعیت ذرات تغییر می‌کند. بردار سرعت هر ذره، با دو مقدار بهینه، بروز رسانی می‌شود. ( $p_{best}^{12}$ ) بهترین موقعیت ذره که تا کنون به آن رسیده است و ( $g_{best}^{13}$ ) بهترین موقعیت ذره که تاکنون به دست آمده است. در هر تکرار الگوریتم، سرعت ذرات به صورت زیر بهینه می‌شود.

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

[ هستند. افزودن متغیرهای تصادفی به PSO، توانایی جستجوی تصادفی آن را با ارزش تر و بهینه تر می‌کند. ضرایب  $c_1$  و  $c_2$  فاکتور یادگیری هستند و به ترتیب میزان تابعیت ذره

### ۲-۳- پاک سازی و پیش پردازش 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.

### ۳-۳- 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 (Ho et al, 2005). 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 درگروه، ذره نامیده می‌شود و دارای یک تابع برازندگی و شایستگی است که در

که در آن  $\text{particle\_position}$  بردار مکان ذره  $i$ ام،  $\text{particle\_velocity}$  بردار سرعت ذره  $i$ ام،  $n$  تعداد مربع ویژگی‌ها است. جمعیت اولیه براساس موقعیت و سرعت تمامی ذرات بصورت تصادفی در بازه  $[1,0]$  تولید می‌شود.

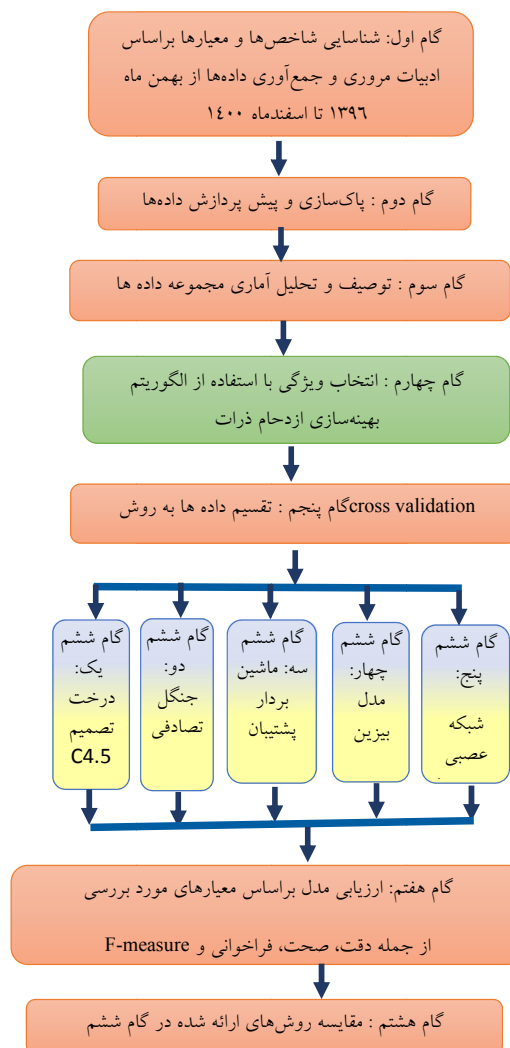
بعد از تولید نمودن جمعیت اولیه ذرات و سرعت اولیه برای هر ذره، عملکرد هر ذره مبتنی بر موقعیت آن با مقدار تابع برازندگی محاسبه می‌شود. سرعت ذره با توجه به بهترین

که در آن  $\vec{p}_i$  و  $\vec{v}_i$  موقعیت و سرعت ذره  $i$ ام،  $\vec{p}_{i,best}$  و  $\vec{g}_{i,best}$ ، بهترین مقدار تابع هدف از موقعیت ذره  $i$ ام و موقعیت کل جمعیت است.  $R_1$  و  $R_2$  دو متغیر تصادفی در بازه  $[1,0]$



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 بروزرسانی 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 بروزرسانی مراحل فوق،  $\bar{g}_{best}$  به عنوان بهترین پاسخ اعلام می‌گردد.

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<sup>۱۴</sup> و اکتشاف<sup>۱۵</sup> 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 بروزرسانی، سرعت جدید ذره مشخص شده و تضمین می‌شود که حرکت‌های تصادفی ذرات در یک



شکل ۱. ساختار روش پیشنهادی

### ۳-۴- روش درخت تصمیم گیری

۲- از هر گره درونی این درخت دو یا بیش از دو شاخه خارج می‌شود.  
 ۳- برای هرس کردن درخت C4.5 از روش هرس کردن مبتنی بر خطا استفاده می‌شود.  
 ۴- این درخت توانایی انجام رده‌بندی با داده گمشده در یک مجموعه داده را دارد.  
 ۵- درخت C4.5 برای انتخاب ریشه و گره‌های درونی از فرض کنید  $S$  یک مجموعه داده با  $n$  مشاهده (نمونه) است. معیار نسبت بهره<sup>۱۶</sup> ویژگی  $X_i$  نسبت به این مجموعه داده به صورت رابطه زیر است، که در آن  $IG$  معیار بهره اطلاعات<sup>۱۷</sup> و  $E$  آنتروپی<sup>۱۸</sup> می‌باشد.

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

پارامترهای آلودگی هوا انتخاب شدند که عبارتند از: تهران: ۱۰، کرج: ۴، اهواز: ۱ و تبریز: ۶ ایستگاه. مجموعه داده جمع‌آوری شده شامل ۱۲ ویژگی می‌باشد که عبارتند از:  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ ,  $SO_2$ ,  $NO_x$ ,  $NO_2$ ,  $NO$ ,  $O_3$ ,  $CO$ ,  $AQI$ , اعمال محدودیت، نام شهر و کلاس شاخص هوا.

داده‌های ویژگی  $CO$ ,  $NO$ ,  $NO_2$ ,  $NO_x$ ,  $SO_2$ ,  $PM_{2.5}$  و  $PM_{10}$  براساس مستندات سازمان حفاظت محیط‌زیست کشور از ایستگاه‌های هر یک از شهرها جمع‌آوری شد.

ویژگی  $CO$ :  $CO$  سومین جزء کربن در جو بعد از  $CO_2$  و  $CH_4$  می‌باشد.  $CO$  موجود در اتمسفر ناشی از سوختن ناقص مواد کربنی، کوره‌های گرمایش کارخانه‌ها، نیروگاه‌ها، بویلرهای عمرانی، اجاق‌ها، موتورهای احتراق داخلی و گاز خروجی خودروها می‌باشد.

ویژگی  $O_3$ : تشکیل  $O_3$  شهری یک فرآیند پیچیده است.  $O_3$  منبع انتشار مستقیم ندارد. غلظت بالای  $O_3$  می‌تواند به راحتی باعث ایجاد دود فتوشیمیایی شهری شود. آسیب

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 تصمیم قابل اعتماد است. سپس می‌توان از مدل درخت تصمیم برای پیش‌بینی غلظت آلاینده‌ها در یک سری شرایط هواشناسی استفاده کرد و مقدار میانگین مربوطه را سری زمانی نرمال شده هواشناسی می‌نامند. در الگوریتم، غلظت یک آلاینده خاص در یک نقطه زمانی خاص را می‌توان با نمونه‌گیری مجدد داده‌های هواشناسی پیش‌بینی 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، ویژگی‌ها (متغیرهای پیشگو) برای درخت C4.5 می‌توانند به صورت متغیرهای رسته‌ای و کمی باشند.

### ۴-۱- ارزیابی روش پیشنهادی

این بخش شامل ۴ زیربخش می‌باشد که عبارتند از: ۱- معرفی مجموعه داده‌ها برای ارزیابی روش پیشنهادی، ۲- معرفی الگوریتم‌ها برای مقایسه، ۳- معرفی معیارها برای ارزیابی عملکرد مدل پیشنهادی، ۴- انجام آزمایش‌ها بر روی مجموعه داده‌های تهیه شده است.

### ۴-۱- 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: تهران، کرج، اهواز و تبریز 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 ۲۱ ایستگاه تحت نظارت ثبت

معمولاً در دستگاه تنفسی انسان تجمع می‌یابد و آسیب بسیار جدی به سلامت انسان وارد می‌کند.

ویژگی  $PM_{10}$ :  $PM_{10}$  عمدتاً از کاربرد گسترده سوخت‌های فسیلی در حمل‌ونقل، تولید صنعتی، گردوغبار ساختمان و گردوغبار باد ناشی می‌شود. غلظت  $PM_{10}$  به ذرات جامد و مایع با قطر آیرودینامیکی زیر ۱۰ میکرومتر اشاره دارد که می‌تواند تأثیر منفی مستقیمی بر سلامت انسان داشته باشد.  $PM_{10}$  در جو از عوامل طبیعی مانند طوفان‌های شن، گرد و غبار، خاک و همچنین عوامل انسانی مانند احتراق زغال سنگ و گرد و غبار ساختمان ناشی می‌شود.

داده‌های ویژگی اعمال محدودیت با توجه به تکامل محدودیت‌های کووید-۱۹ به شش 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

- لغو طرح ترافیک تهران

- محدودیت تردد بین استانی

- حضور یک سوم کارکنان

#### ۴-۲- الگوریتم‌های مورد ارزیابی

جنگل تصادفی<sup>۱۹</sup>: 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<sup>۲۰</sup> 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<sup>۲۱</sup>: 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

$O_3$  به بدن انسان عمدتاً ناشی از تخریب مخاط دستگاه تنفسی است که منجر به بیماری‌های تنفسی مختلف می‌شود و همچنین برای چشم‌ها بسیار تحریک کننده است. همچنین، سطوح بالای غلظت  $O_3$  منجر به شرایط روانی مانند افسردگی می‌شود.

ویژگی NO: NO گازی بی‌رنگ است که به عنوان یک رادیکال آزاد به شمار می‌آید. NO بر اثر واکنش سوختن مواد در هوا ایجاد می‌شود. دقیقاً مشابه آنچه که در موتور خودروها و نیروگاه‌های سوخت‌های فسیلی اتفاق می‌افتد.

ویژگی  $NO_2$ :  $NO_2$  یکی از بزرگترین آلاینده‌های گازی می‌باشد که به عنوان مسبب آلودگی شهرها است. حجم زیادی از آن منشا انسانی دارد. وسایل نقلیه و نیروگاه‌ها از منابع اصلی تولید  $NO_2$  هستند. مقادیر زیاد آن می‌تواند مخاط مجاری تنفسی را ملتهب و در نهایت باعث سرفه‌های متعدد و نهایتاً بیماری‌هایی مثل آسم و آلرژی شود.

ویژگی  $NO_x$ : اکسیدهای نیتروژن با نام‌های اکسید ازت یکی از گازهای خطرناک خروجی از صنایع پتروشیمی و سایر صنایع که با سوخت‌های فسیلی در ارتباطند می‌باشد که از میان هفت اکسید رایج ازت، مونوکسید نیتروژن و دی اکسید نیتروژن به عنوان گازهای گلخانه‌ای، عامل از بین برنده سلامت انسان و گرمایش زمین شناخته می‌شوند.

ویژگی  $SO_2$ :  $SO_2$  یکی از آلاینده‌های اصلی هوا می‌باشد و دارای طیف گسترده‌ای از توزیع است که عمدتاً از احتراق زغال سنگ، نفت و ذوب سنگ معدن‌های حاوی گوگرد بدست می‌آید. آلودگی  $SO_2$  نه تنها باعث ایجاد مشکلات زیست‌محیطی مانند باران اسیدی می‌شود، بلکه باعث ایجاد واکنش‌های آلرژیک در بدن انسان می‌شود و علائمی مانند مشکل در تنفس و استفراغ را ایجاد می‌کند.

ویژگی  $PM_{2.5}$ :  $PM_{2.5}$  از منابع اصلی ذرات اتمسفر شامل احتراق سوخت فسیلی، انتشار آگروز وسایل نقلیه موتوری، تولید صنعتی، ساخت‌وساز، گردوغبار جاده‌ها، احتراق زیست توده، تولید ذرات ثانویه و غیره است.  $PM_{2.5}$  عمدتاً از تولید برق حرارتی، تولید صنعتی، آگروز خودروها، سوزاندن زیست‌محیطی‌ها، تولید ثانویه و سایر فرآیندها بدست می‌آید.  $PM_{2.5}$  از ذرات اولیه که مستقیماً در هوا تخلیه می‌شوند و ذرات ثانویه تولید شده توسط واکنش‌های فتوشیمیایی آلاینده‌های گازی در هوا تشکیل شده است.  $PM_{2.5}$

شبکه عصبی پرسپترون چند لایه<sup>۳۳</sup>: 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 تأثیر محاسباتی واقعی MLP هستند، تشکیل شده است. شبکه عصبی پرسپترون چند لایه اغلب برای مشکلات یادگیری تحت نظارت به کار گرفته می‌شوند. آن‌ها بر روی مجموعه‌ای از جفت‌های ورودی-خروجی آموزش می‌بینند و یاد می‌گیرند که همبستگی (یا وابستگی‌ها) بین ورودی‌ها و خروجی‌ها را مدل کنند. مرحله آموزش شامل تنظیم پارامترها یا وزن و تنظیم بایاس‌های مدل به منظور به حداقل رساندن خطا است.

#### ۴-۳- 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<sup>۲۴</sup>: داده‌های کلاس مثبت که به درستی به عنوان کلاس مثبت شناسایی شده‌اند.

- منفی درست<sup>۲۵</sup>: داده‌های کلاس منفی که به درستی به عنوان کلاس منفی شناسایی شده‌اند.

- منفی غلط<sup>۲۶</sup>: داده‌های کلاس مثبت که به غلط به عنوان کلاس منفی شناسایی شده‌اند.

- مثبت غلط<sup>۲۷</sup>: داده‌های کلاس منفی که به غلط به عنوان کلاس مثبت شناسایی شده‌اند.

- صحت<sup>۲۸</sup>: نسبت میزان نمونه‌های مثبت پیش‌بینی شده به درستی تشخیص داده شده.

• خطای مطلق میانگین<sup>۲۹</sup>: ارائه انعکاس میزان خطای پیش‌بینی شده. هرچه مقدار آن کمتر باشد، کارایی پیش‌بینی بیشتر می‌شود:

$$MAE = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m |y_i - \hat{y}_i| \quad (7)$$

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.

ابعاد خیلی بالا از قضیه دوگانی لاگرانژ برای مینیمم‌سازی مسئله به فرم دوگانی استفاده می‌کنیم که به اصطلاح تابع هسته نامیده می‌شود. برخی توابع هسته عبارتند از: نمایی، چندجمله‌ای و سیگموئید. ایده اصلی ماشین بردار پشتیبان با فرض جداپذیری دسته‌ها به صورت خطی، ساخت ابرصفحه‌هایی با حداکثر حاشیه<sup>۳۲</sup> می‌باشد که دسته‌ها را جدا می‌کند. برای مواردی که داده‌ها به صورت خطی جداپذیر نیستند، نگاهت داده‌ها به فضایی با ابعاد بالاتر انجام می‌شود تا داده‌ها به صورت خطی جداپذیر شوند.

- شبکه بیزین: 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. ارائه تعاملات احتمالی در شبکه‌های بیزین این اجازه را می‌دهند که نسبت به مدل‌هایی که فقط برای تخمین ارزش‌های مورد انتظار بکار می‌روند، ریسک‌ها و عدم قطعیت‌ها را بهتر نشان دهند. ارائه اطلاعات به صورت احتمال مانع از اطمینان بیش از حد به پاسخ بدست آمده می‌شود چرا که پاسخ‌های قطعی، ناشی از طرح‌های آزمایشات می‌باشد ولی هنگامی که به صورت کاربردی از داده‌های واقعی استفاده می‌شود، عدم قطعیت زیادی در آن‌ها مشاهده می‌شود.

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \quad (5)$$

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

$$F - Measure = \frac{(1 + \beta^2) * Precision * Recall}{\beta^2 * Recall * Precision} \quad (6)$$

#### ۴-۴-ارزیابی نتایج

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: تهران، کرج، اهواز و تبریز می‌باشد. برای ارزیابی نتایج از نرم افزار WEKA و MATLAB استفاده شد.

#### ۴-۴-۱- 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 نرم افزار 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.

#### ۴-۴-۲- تحلیل آماری شاخص کیفیت هوا

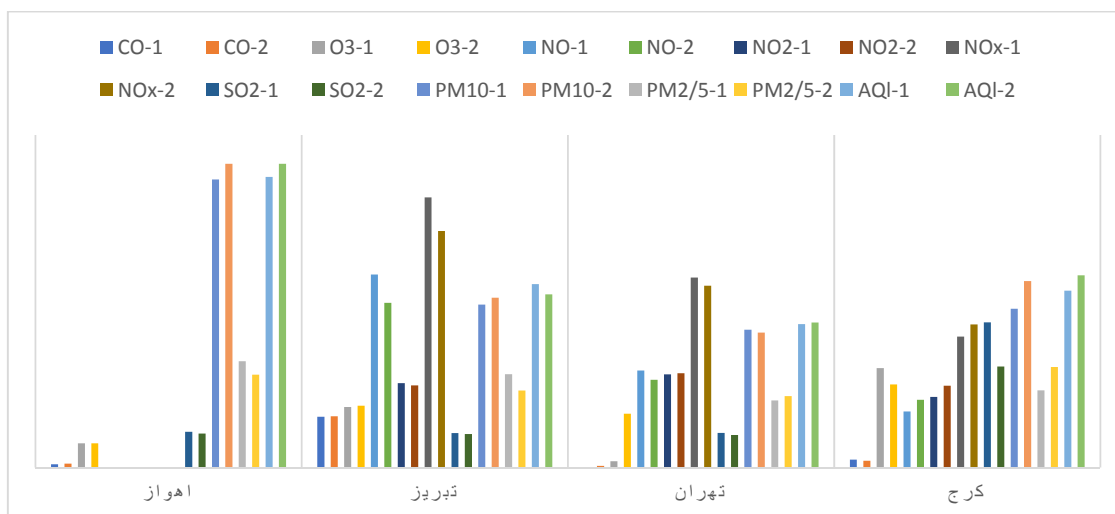
در این بخش وضعیت سطوح آلاینده‌های هوا در زمان شیوع کووید-۱۹ متاثر از محدودیت‌های تردد ترافیکی مورد بررسی قرار می‌گیرد. برای مدل‌سازی و تجزیه و تحلیل تغییرات سطوح آلاینده هوا، داده‌ها از تاریخ ۱۳۹۶/۱۱/۱ تا ۱۴۰۰/۱۲/۲۹ جمع‌آوری شدند. بازه زمانی داده‌ها در زمان کووید-۱۹، از تاریخ ۱۳۹۸/۱۱/۱ تا ۱۴۰۰/۱۲/۲۹ می‌باشد. خلاصه‌ای از آمار توصیفی برای مجموعه داده‌های مورد مطالعه چهار کلان‌شهر تبریز، کرج، تهران و اهواز 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 آلاینده‌های  $NO_2$ ،  $PM_{10}$  و  $PM_{2.5}$  علی‌رغم اعمال محدودیت‌های ترافیکی، افزایش یافته است. 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 تهران میانگین غلظت آلاینده‌های  $CO$ ،  $O_3$ ،  $NO_2$ ،  $PM_{2.5}$  و AQI در زمان کووید-۱۹ نسبت به قبل از آن افزایش یافته است.

در شهر کرج میانگین غلظت آلاینده‌های  $NO$ ،  $NO_2$ ،  $NO_x$ ،  $PM_{2.5}$ ،  $PM_{10}$  و AQI در زمان کووید-۱۹ نسبت به قبل از آن افزایش یافته است. در شهر اهواز میانگین غلظت آلاینده‌های  $CO$ ،  $PM_{10}$  و AQI در زمان کووید-۱۹ نسبت به قبل از آن، افزایش یافته است. در شهر تبریز میانگین غلظت آلاینده‌های  $O_3$  و  $PM_{10}$  در زمان کووید-۱۹ نسبت به قبل از آن افزایش یافته است. همچنین، قبل از کووید-۱۹ برای  $CO$  کمترین مقدار میانگین در تهران و بیشترین مقدار میانگین در تبریز، برای  $O_3$  کمترین مقدار میانگین در تهران و بیشترین مقدار میانگین در کرج، برای  $NO$  کمترین مقدار میانگین در کرج و بیشترین مقدار میانگین در تبریز، برای  $NO_2$  کمترین مقدار میانگین در تهران، برای  $NO_x$  کمترین مقدار میانگین در کرج و بیشترین مقدار میانگین در تبریز، برای  $SO_2$  کمترین مقدار میانگین در تبریز و بیشترین مقدار میانگین در کرج، برای  $PM_{2.5}$ ،  $PM_{10}$  و AQI نیز کمترین مقدار میانگین در تهران و بیشترین مقدار میانگین در اهواز بود. در دوران کووید-۱۹، برای  $CO$  کمترین مقدار در تهران و بیشترین مقدار در تبریز، برای  $O_3$  کمترین مقدار میانگین در اهواز و بیشترین مقدار میانگین در کرج، برای  $NO$  کمترین مقدار میانگین در کرج و بیشترین مقدار میانگین در تبریز، برای  $NO_2$  کمترین مقدار میانگین در کرج و بیشترین مقدار میانگین در تهران، برای  $NO_x$  کمترین مقدار میانگین در کرج و بیشترین مقدار میانگین در تبریز، برای  $SO_2$  کمترین مقدار میانگین در کرج، برای  $PM_{2.5}$  کمترین مقدار میانگین در تهران و بیشترین مقدار میانگین در کرج، برای  $PM_{10}$  و AQI کمترین مقدار میانگین در تهران و بیشترین مقدار میانگین در اهواز بود.

جدول ۳. خلاصه‌ای از آمار توصیفی مجموعه داده کلانشهرهای تبریز، تهران، کرج و اهواز

بازه زمانی قبل از کووید-۱۹				بازه زمانی کووید-۱۹				
انحراف معیار	میانگین	حداکثر	حداقل	انحراف معیار	میانگین	حداکثر	حداقل	
۲/۱۱	۳/۱۲	۱۴/۲	۰/۶۲	۲/۶۵	۲/۹	۱۱/۸۲	۱/۵	CO
۱۸/۴۵	۳۰/۲۲	۹۸/۷۲	۹/۲۷	۱۸/۵۹	۲۹/۹۸	۸۶/۳۳	۱۰/۱۹	O <sub>3</sub>
۵۱/۸۴	۶۲/۰۲	۳۴۲/۹۲	۱۷/۲	۴۶/۲۲	۵۷/۴۸	۳۶۰/۲۳	۱۸/۸۴	NO
۳۷/۷۴	۴۳/۵۵	۱۶۶/۴۴	۲۳/۹۵	۳۷/۵۸	۴۹/۵	۲۰۵/۸۵	۲۱/۶۰	NO <sub>2</sub>
۶۷/۵۶	۸۴/۶۸	۳۹۸/۳۶	۵۵/۱۵	۶۳/۰۲	۸۷/۲۸	۴۰۸/۱۱	۴۱/۳۳	NO <sub>x</sub>
۲۷/۹۱	۲۷/۳۳	۱۳۸/۹۳	۸/۰۲	۲۱/۵۹	۱۶/۷۷	۱۳۸/۰۷	۱۲/۹۹	SO <sub>2</sub>
۴۲/۷۱	۶۵/۶۳	۳۹۴/۷۶	۵۷/۴۱	۴۹/۲۸	۷۶/۷۲	۳۷۳/۲۷	۵۹/۷۱	PM <sub>10</sub>
۲۴/۶۳	۳۵/۰۷	۳۳۴/۳۳	۲۰/۰۹	۲۱/۱۸	۳۷/۳۵	۳۴۲/۶۲	۲۲/۷۲	PM <sub>2.5</sub>
۵۳/۵۶	۱۱۴/۰۹	۳۹۸/۳۶	۶۱/۲۸	۵۸/۲۱	۱۱۱/۸۹	۴۰۸/۱۱	۵۹/۷۱	AQI



شکل ۲. مقایسه غلظت آلاینده‌های هوا

#### ۴-۳-۴- انتخاب ویژگی با PSO

الگوریتم PSOSearch تعداد ویژگی‌ها را از ۱۰ به ۷ کاهش یافت. ویژگی‌های انتخاب شده عبارتند از: کلاس شاخص هوا، CO، O<sub>3</sub>، NO<sub>2</sub>، PM<sub>2.5</sub>، PM<sub>10</sub> و AQI.

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، NO<sub>2</sub>، NO<sub>x</sub>، SO<sub>2</sub>، PM<sub>2.5</sub>، PM<sub>10</sub> و AQI برای انتخاب ویژگی با PSOSearch انتخاب می‌شوند. با اعمال

#### ۴-۴-۴- 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 kها 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 بالای دسته‌بندی برخوردار است.

#### ۴-۴-۵- 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، مقادیر نزدیک به ۱ و یا ۱ (مقدار ایده‌آل) را نشان می‌دهند. 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 ۴. معیارهای مورد ارزیابی درخت تصمیم C4.5 به تفکیک کلاس شاخص هوا

معیار فشار F-Measure	معیار بازخوانی Recall	معیار صحت Precision	پیش‌بینی منفی (FP)	پیش‌بینی مثبت (TP)	کلاس
۰/۹۹۹	۰/۹۹۸	۱/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۹۹۸	۱
۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۰/۰۰۱	۱/۰۰۰	۲
۰/۹۹۹	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹	۰/۰۰۰	۰/۹۹۹	۳
۰/۹۹۴	۰/۹۹۴	۰/۹۹۴	۰/۰۰۰	۰/۹۹۴	۴
۰/۹۸۶	۰/۹۸۶	۰/۹۸۶	۰/۰۰۰	۰/۹۸۶	۵
۰/۹۸۵	۱/۰۰۰	۰/۹۷۱	۰/۰۰۰	۱/۰۰۰	۶

جدول ۵. مقایسه نتایج مورد ارزیابی

معیار فشار F-Measure	معیار بازخوانی Recall	معیار صحت Precision	نرخ پیش‌بینی منفی (FP)	نرخ پیش‌بینی مثبت (TP)	کلاس
۰/۹۹۹	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹	۰/۰۰۰	۰/۹۹۹	درخت تصمیم
۰/۹۹۹	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹	۰/۰۰۰	۰/۹۹۹	جنگل تصادفی
۰/۸۴۵	۰/۸۴۵	۰/۸۴۵	۰/۴۰۶	۰/۸۴۵	ماشین بردار پشتیبان
۰/۹۴۸	۰/۹۴۷	۰/۹۴۹	۰/۰۳۷	۰/۹۴۷	شبکه بیزین
۰/۸۳۳	۰/۸۵۱	۰/۸۳۳	۰/۲۴	۰/۸۵۱	شبکه عصبی پرسپترون

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

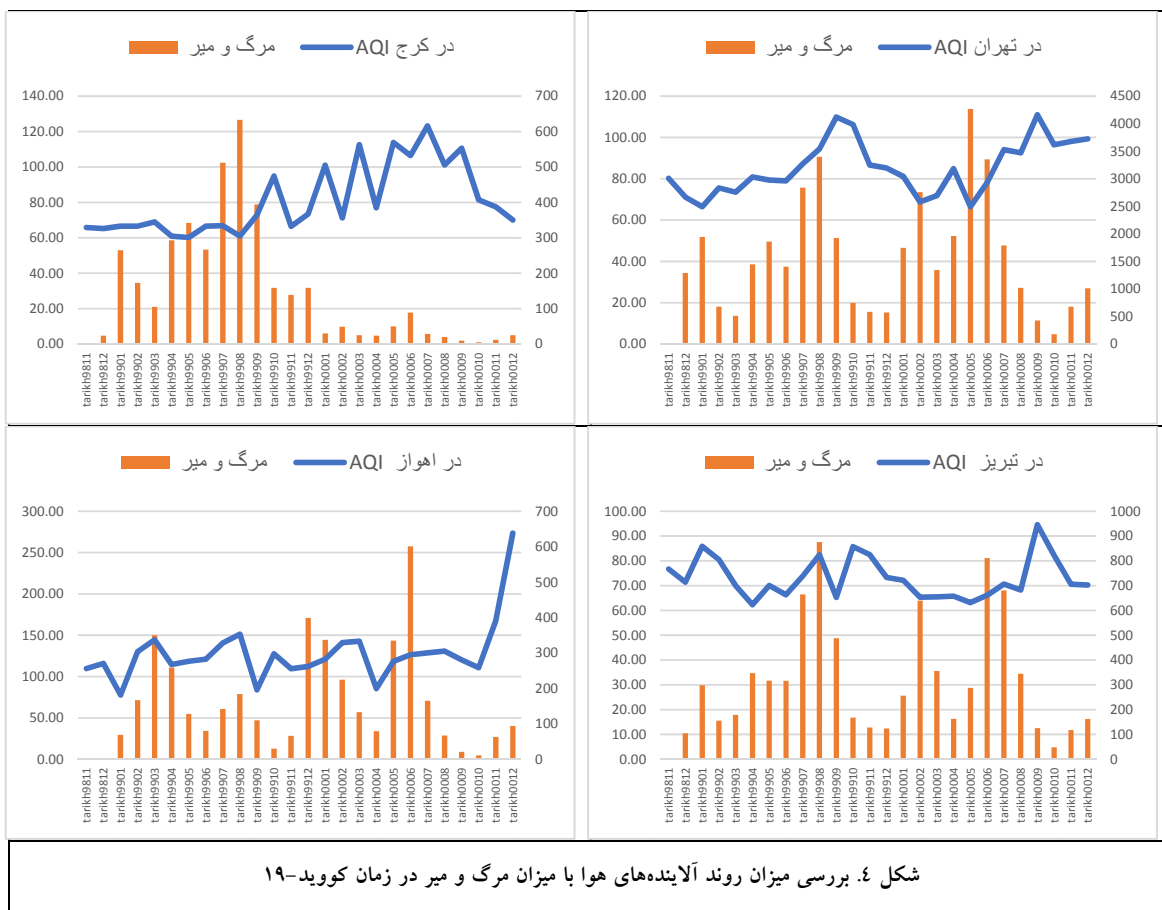
ردیف	قوانین
۱	در شهرهای تهران، کرج، اهواز و تبریز اگر $NO_2$ کمتر از $۱۰۱/۳۵$ ، $PM_{10}$ بین $۵۰/۸۴۵$ و $۱۰۰/۹۴$ و $PM_{2.5}$ کمتر از $۱۰۱/۴۵۵$ و $AQI$ بیشتر از $۱۰۱/۷۵$ باشد، آنگاه هوا "بسیار ناسالم" است.
۲	در شهرهای اهواز و تبریز، اگر $PM_{10}$ کمتر از $۶۱/۹۵$ ، $PM_{2.5}$ کمتر از $۳۸/۱۱$ ، $CO$ کمتر از $۱۶/۳۴$ و $AQI$ کمتر از $۵۰/۷۸$ باشد، آنگاه هوا "پاک" است.
۳	در شهرهای اهواز و تبریز، اگر $PM_{10}$ بیشتر از $۶۱/۹۵$ ، $PM_{2.5}$ کمتر از $۳۸/۱۱$ ، $CO$ کمتر از $۱۶/۳۴$ و $AQI$ بیشتر از $۱۵۰$ باشد، آنگاه هوا "پاک" است.
۴	در شهرهای اهواز و تبریز، اگر $PM_{10}$ کمتر از $۱۶۰/۶۷$ ، $PM_{2.5}$ بیشتر از $۳۸/۱۱$ ، $CO$ کمتر از $۱۶/۳۴$ و $AQI$ بین $۱۲۵/۳۷$ و $۱۵۰/۸۲$ باشد، آنگاه هوا "ناسالم برای گروه های حساس" است.
۵	در شهرهای تهران، کرج، اهواز و تبریز، اگر $PM_{10}$ کمتر از $۱۰۱/۰۷$ ، $NO_2$ کمتر از $۲۴/۷۸$ ، $AQI$ بیشتر از $۱۰۰/۹۸$ باشد، آنگاه هوا "ناسالم برای گروه های حساس" است.
۶	در شهرهای تهران، اهواز و تبریز، اگر $NO_2$ بیشتر از $۱۰۵/۳$ و $AQI$ بیشتر از $۱۰۰/۳۶$ باشد، آنگاه هوا "ناسالم برای گروه های حساس" است.
۷	در شهرهای تهران، کرج، اهواز و تبریز، اگر $PM_{10}$ کمتر از $۱۰۱/۰۷$ ، $NO_2$ کمتر از $۲۴/۴۴$ و $AQI$ بیشتر از $۱۰۰/۹۸$ باشد، آنگاه هوا "ناسالم برای گروه های حساس" است.
۸	در شهرهای اهواز، تبریز و تهران، اگر $NO_2$ بیشتر از $۸۸/۷۶$ و $AQI$ بیشتر از $۱۵۰$ باشد، آنگاه هوا "پاک" است.
۹	اگر در هر چهار شهر، $NO_2$ بین $۲۶/۱۷$ و $۸۸/۷۶$ و $AQI$ بیشتر از $۱۰۰/۵۴$ باشد و همچنین محدودیت های "تعطیلی همه مشاغل از ساعت ۱۸:۰۰ به غیر از مشاغل گروه یک، محدودیت تردد شبانه، تمدید خودکار اجاره نامه مستاجران" اعمال گردد، آنگاه هوا "ناسالم برای گروه های حساس" است.
۱۰	اگر در هر چهار شهر، $NO_2$ کمتر از $۲۶/۱۷$ و $PM_{10}$ بین $۶۹/۸۳$ و $۱۰۰/۵۴$ باشد و همچنین محدودیت های "تعطیلی همه مشاغل از ساعت ۱۸:۰۰ به غیر از مشاغل گروه یک، محدودیت تردد شبانه، تمدید خودکار اجاره نامه مستاجران" اعمال گردد، آنگاه هوا "سالم" است.
۱۱	اگر در هر چهار شهر، $NO_2$ کمتر از $۲۴/۴۴$ ، $AQI$ بیشتر از $۱۵۱/۱۷$ و $CO$ بیشتر از $۲/۵۳$ باشد و همچنین محدودیت های "لغو طرح ترافیک تهران، محدودیت تردد بین استانی و حضور یک سوم کارکنان" اعمال گردد، آنگاه هوا "ناسالم" است.

روند میزان مرگ و میر در هشت کلان شهر در زمان کووید-۱۹

می باشد. میزان  $AQI$ ، در مهر، آبان و آذر ۱۳۹۹، نسبت به میانگین کلی مقادیر  $AQI$ ، روند کاهشی داشته است. در شهر اهواز پیک میزان مرگ و میر در ماه های : خرداد و اسفند ۱۳۹۹ و فروردین، مرداد و شهریور ۱۴۰۰ می باشد. میزان  $AQI$ ، در خرداد ۱۳۹۹، نسبت به میانگین کلی مقادیر  $AQI$ ، روند افزایشی داشته است، اما در تاریخ های اسفند ۱۳۹۹، فروردین، مرداد و شهریور ۱۴۰۰، روند کاهشی داشته است. در شهر تبریز پیک میزان مرگ و میر در ماه های : مهر، آبان و آذر ۱۳۹۹ و اردیبهشت، شهریور و مهر ۱۴۰۰ می باشد. میزان  $AQI$ ، در مهر، آبان ۱۳۹۹، نسبت به میانگین کلی مقادیر  $AQI$ ، روند افزایشی داشته است، اما در تاریخ های آذر ۱۳۹۹ و اردیبهشت، شهریور و مهر ۱۴۰۰، روند کاهشی داشته است.

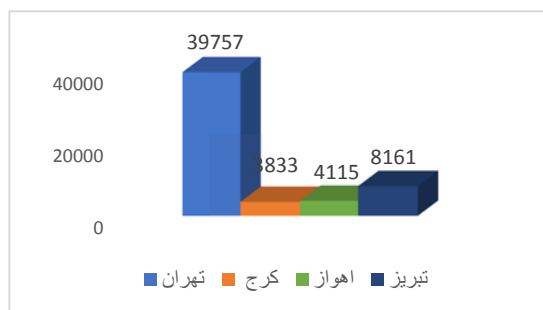
به منظور بررسی روند تغییر غلظت آلاینده ها با میزان مرگ و میر در زمان کووید-۱۹، بررسی این تغییرات از تاریخ ۱۳۹۸/۱۱/۰۱ تا ۱۴۰۰/۱۲/۲۹ انجام شد. شکل ۴، روند تغییرات آلاینده  $AQI$  را با تغییر تعداد مرگ و میر در بازه زمانی کووید-۱۹ به تفکیک ماه در هر شهر به صورت جداگانه نشان می دهد. در شهر تهران پیک میزان مرگ و میر در ماه های : مهر، آبان و آذر ۱۳۹۹ و اردیبهشت، تیر و مرداد ۱۴۰۰ می باشد. میزان  $AQI$ ، در مهر، آبان و آذر ۱۳۹۹، نسبت به میانگین کلی مقادیر  $AQI$ ، روند افزایشی داشته است، اما در تاریخ های تیر و مرداد ۱۴۰۰، روند کاهشی داشته است. در شهر کرج پیک میزان مرگ و میر در ماه های : مهر، آبان و آذر ۱۳۹۹





شکل ۴. بررسی میزان روند آلاینده‌های هوا با میزان مرگ و میر در زمان کووید-۱۹

میزان مرگ‌ومیر در دوره کووید-۱۹، در شکل ۵ نشان داده شده است.



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

### تحلیل نتایج مورد ارزیابی

در سال 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

در سال ۲۰۱۹، شیوع یک همه‌گیری با منشأ ناشناخته در وهان 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 همه قاره‌ها تأثیر گذاشت و از این رو توسط سازمان بهداشت جهانی<sup>۳۰</sup> به عنوان یک بیماری همه‌گیر اعلام شد. در ایران از بهمن ماه

تامل دیگر، وجود فقط یک ایستگاه ثبت غلظت آلاینده در کلان‌شهر اهواز می‌باشد که لازم است در این خصوص تجدیدنظر صورت پذیرد و نکته دیگر اینکه، در شهر اهواز، ۳۸ 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 می‌باشد. از آنجا که برای آلاینده‌ها، الگوی افزایشی و یا کاهش‌ی 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 قابل‌توجه 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 تهران، کرج و اهواز، 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 تبریز، وضعیت آلودگی

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 زیست محیطی و تعلیق مجدد گردوغبار در شهرها ایجاد می‌شود، پس قرنطینه می‌توانست در کاهش آمدوشد وسایل نقلیه و کاهش غلظت آلاینده‌ها تاثیرگذار 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 کلان شهر 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 تهران، میانگین غلظت آلاینده‌های  $CO$ ،  $O_3$ ،  $NO_2$ ،  $PM_{2.5}$  و  $PM_{10}$  افزایش و  $NO$ ،  $NO_x$ ،  $SO_2$  و  $PM_{10}$  کاهش یافته‌اند. در شهر کرج میانگین غلظت سه آلاینده  $CO$ ،  $O_3$  و  $SO_2$  روند کاهش داشته و آلاینده‌های  $NO$ ،  $NO_2$ ،  $NO_x$ ،  $PM_{10}$ ،  $PM_{2.5}$  و  $AQI$  افزایش یافته‌اند. در شهر اهواز برای آلاینده‌های  $NO$ ،  $NO_2$  و  $NO_x$  مقداری ثبت نشده و آلاینده  $O_3$  تغییر محسوسی نداشته است، آلاینده‌های  $SO_2$  و  $PM_{2.5}$  کاهش و آلاینده‌های  $CO$ ،  $PM_{10}$  و  $AQI$  افزایش یافته‌اند. در شهر تبریز آلاینده  $CO$  تغییر محسوسی نداشته، آلاینده‌های  $O_3$  و  $PM_{10}$  افزایش و آلاینده‌های  $NO$ ،  $NO_2$ ،  $NO_x$ ،  $SO_2$  و  $AQI$  کاهش داشته‌اند. نکته جالب توجه، کاهش غلظت آلاینده  $SO_2$  در همه شهرها در دوره کووید-۱۹ نسبت به قبل از آن است. علت این کاهش می‌تواند کاهش تردد وسایل نقلیه عمومی مانند اتوبوس‌های درون شهری باشد. در شهرهای بزرگ، یکی از مهمترین عوامل انتشار آلاینده  $SO_2$ ، اتوبوس‌های درون‌شهری می‌باشند که البته منابع دیگری نیز برای انتشار این آلاینده وجود دارد. نکته مهم و قابل

شهر اهواز می‌باشد به گونه‌ای که میانگین شاخص کیفیت هوا در دوره کووید-۱۹ در تبریز کاهش و در اهواز افزایش یافته است. از طرفی، نوسان شاخص کیفیت هوا در شهر تبریز در بازه‌ای به مراتب کوچکتر از نوسان شاخص کیفیت هوا در شهر اهواز می‌باشد که این موضوع در شکل ۴ نشان داده شده است. برای شهر کرج نیز به همین صورت می‌باشد و در این شهر، از ابتدای سال ۱۴۰۰، شاخص کیفیت هوا در بازه‌ای بیشتر از شهر تبریز نوسان می‌کند. اما مرگومیر شهر کرج در آن بازه به مراتب کمتر از تبریز بوده و به عبارتی در سال ۱۴۰۰ در شهر کرج، اوج بیماری، چشمگیر نمی‌باشد. با توجه به این نتایج، عدم ارتباط غلظت آلاینده‌های هوا و به طور کلی شاخص کیفیت هوا با میزان مرگومیر ناشی از کووید-۱۹ بیشتر مشهود می‌گردد. با توجه به سردسیر بودن شهر تبریز و گرمسیر بودن شهر اهواز، مطالعات بعدی می‌تواند در زمینه ارتباط شرایط جغرافیایی و آب و هوایی با میزان ابتلا و مرگومیر ناشی از کووید-۱۹ باشد. 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  $NO_2$ ،  $PM_{10}$  و  $PM_{2.5}$  افزایش داشته است. به گونه‌ای که آلاینده  $NO_2$ ، ۱۴ درصد، آلاینده  $PM_{10}$ ، ۱۷ درصد و آلاینده  $PM_{2.5}$ ، ۷ 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 قابل‌توجهی خواهیم شد که در اینجا می‌توان به شهر تبریز اشاره کرد. 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

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 یافته‌اند. با توجه به بررسی و مقایسه روند مرگومیر در زمان کووید-۱۹ با روند تغییر غلظت آلاینده‌ها می‌توان به این موضوع اشاره کرد که در اکثر شهرها در ماه‌های مهر، آبان و آذر ۱۳۹۹ و اردیبهشت، مرداد و شهریور ۱۴۰۰، میزان مرگ و میر افزایش یافته است و کاهش و یا افزایش آلاینده AQI بر میزان مرگومیر، تاثیری نداشته 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 تهران، ۰٫۴۶ درصد، در اهواز، ۰٫۳۵ درصد، در تبریز، ۰٫۵۲ درصد و در کرج، ۰٫۲۴ درصد می‌باشد. لذا می‌توان گفت که کلان شهر کرج، کمترین و کلان شهر تبریز، بیشترین مرگومیر ناشی از کووید-۱۹ را به خود اختصاص داده است. در این بین، یک نکته قابل‌توجه وجود دارد و آن هم تعداد مرگومیر کم در کلان‌شهر کرج می‌باشد. دلیل مرگومیر کم در شهر کرج می‌تواند مراجعه بیماران این شهر به شهر تهران به دلیل کوتاهی مسافت و بستری شدن آنها در بیمارستان‌های تهران باشد که سبب شده است تعداد مرگومیر شهر کرج کاهش و به تبع آن، تعداد مرگومیر شهر تهران افزایش یابد که این موضوع نیاز به مطالعه دیگری دارد تا محل زندگی و محل مرگ افراد ناشی از کووید-۱۹ در دو کلان‌شهر کرج و تهران با یکدیگر مطابقت داده شود. در این راستا ممکن است اثبات گردد که عملکرد مسئولین و همکاری مردم شهر کرج در رعایت فاصله‌گذاری اجتماعی سبب پائین آمدن میزان مرگومیر در این شهر شده است. با توجه به اختلاف قابل‌توجه تعداد مرگومیر شهر کرج با شهر اهواز (که در رتبه دوم کمترین مرگومیر قرار دارد)، مطالعه عنوان شده می‌تواند نتایج جالبی در اختیار قرار دهد. پس از شهر کرج، شهر اهواز کمترین مرگومیر ناشی از کووید-۱۹ را در بین چهار کلان‌شهر کشور به خود اختصاص داده است. نکته قابل‌تامل، بالا بودن مرگومیر کلان‌شهر تبریز می‌باشد. در صورت مقایسه مرگومیر شهر تبریز با شهر اهواز، مشاهده می‌شود که مرگومیر شهر تبریز حدود ۵۰ درصد بیشتر از شهر اهواز می‌باشد و این درحالیست که شرایط غلظت آلاینده‌ها در شهر تبریز بهتر از

استفاده از درخت تصمیم و جنگل تصادفی، قوانین مرتبط با غلظت آلاینده‌های هوا و محدودیت‌های ترافیکی تولید شدند. در بین مدل‌های ارائه شده، درخت تصمیم و جنگل تصادفی در تمامی معیارها از نظر صحت و فراخوانی، بیشترین مقادیر را نسبت به سایر روش‌ها داشتند. نتایج نشان داد که غلظت آلاینده‌ها در برخی کلان‌شهرها در زمان کووید-۱۹ نسبت به قبل از آن افزایشی بوده است. مقدار CO در شهرهای تهران، اهواز و تبریز و مقدار O<sub>3</sub> در شهرهای تبریز و تهران افزایش یافته است. مقدار NO در شهر کرج و مقدار NO<sub>2</sub> در شهرهای تهران و کرج افزایش یافته است. همچنین مقدار NO<sub>x</sub> در شهر کرج و آلاینده PM<sub>2.5</sub> در شهر تهران و مقدار PM<sub>10</sub> در شهرهای اهواز، تبریز و کرج افزایش یافته است. نهایتاً مقدار AQI در شهرهای اهواز، تهران و کرج افزایشی بوده است. به‌طورکلی می‌توان نتیجه گرفت که اعمال محدودیت‌های ترافیکی در دوره کووید-۱۹ بر روی سطوح غلظت آلاینده‌ها تأثیر چندانی نداشته است. همچنین از این تحقیق استنباط می‌شود که میانگین غلظت آلاینده‌ها در تمامی شهرها در زمان قبل از کووید-۱۹ و بعد از آن دارای الگوی افزایشی و یا کاهشی یکسان و مشابهی نمی‌باشد، بنابراین می‌بایست علاوه بر اعمال محدودیت‌های ذکر شده، تدابیر دقیق‌تری در جهت کاهش غلظت تمام آلاینده‌ها و بهبود شاخص کیفیت هوا با توجه به موقعیت مکانی و جغرافیایی هر شهر در نظر گرفته 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 همه‌گیری یا شرایط مشابه جهت وضع قوانین ترافیکی جدید برای کاهش آلودگی هوا ارائه گردد.

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 قابل‌توجهی 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.

## ۵- نتیجه‌گیری

این تحقیق مدلی از تغییرات غلظت آلاینده‌ها با توجه به محدودیت‌های ترافیکی اعمال شده در دوره همه‌گیری کووید-۱۹ در چهار کلان‌شهر ایران: تهران، کرج، اهواز و تبریز مبتنی بر روش‌های شاخص‌های آماری توصیفی و یادگیری ماشین را ارائه می‌کند. به منظور تجزیه و تحلیل تأثیر محدودیت‌های ترافیکی بر تغییرات غلظت آلاینده‌ها، ابتدا پاک‌سازی و پیش‌پردازش داده‌ها انجام شد. برای پیش‌بینی میزان غلظت آلاینده‌ها، ابتدا با روش انتخاب ویژگی مبتنی بر بهینه‌سازی ازدحام ذرات، ویژگی‌هایی از آلاینده‌ها به عنوان شاخص‌های اصلی شناسایی شدند که عبارتند از: CO، O<sub>3</sub>، NO<sub>2</sub>، PM<sub>2.5</sub>، PM<sub>10</sub> و AQI. سپس آزمایش‌هایی با استفاده از پنج روش یادگیری ماشین تحت عنوان درخت تصمیم، جنگل تصادفی، ماشین بردار پشتیبان، شبکه بیزین و شبکه عصبی پرسپترون برای دسته‌بندی شاخص کیفیت هوا به شش کلاس و نظارت بر تأثیر آلاینده‌های مختلف هوا در طول قرنطینه کووید-۱۹ مورد استفاده و مقایسه قرار گرفت. با

## ۶- پی‌نوشت‌ها

1. Particulate Matter (PM)
2. Ammonia (NH<sub>3</sub>)
3. Nitrogen Dioxide (NO<sub>2</sub>)
4. Ozone (O<sub>3</sub>)
5. Particulate Matter 2.5 (PM<sub>2.5</sub>)

6. Carbon Monoxide(CO)
7. Nitrogen Monoxide (NO)
8. Particulate Matter 10 (PM<sub>10</sub>)
9. Sulfur Dioxide (SO<sub>2</sub>)
10. Particle Swarm Optimization (PSO)
11. Best Particle Position
12. Personal Best
13. Global Best
14. Exploitation
15. Exploration
16. Gain Ratio (GR)
17. Information Gain (IG)
18. Entropy (E)
19. Random Forest (RF)
20. Bagging Classifier
21. Support Vector Machines (Svms)
22. Maximum Margin
23. Multi Layer Perceptron Neural Network (MLP)
24. True Positives (TP)
25. True Negatives (TN)
26. False Negatives (FN)
27. False Positives (FP)
28. Precision
29. Mean Absolute Error (MAE)
30. World Health Organization (WHO)

## ۷- مراجع

-Alava.J.J., & Singh.G.G. (2022). Changing air pollution and CO<sub>2</sub> emissions during the COVID-19 pandemic: Lesson learned and future equity concerns of post-COVID recovery. *Environmental Science & Policy*, 130, 1-8.

-Bherwani, H., Gautam, S., & Gupta, A. (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*, 18, 1019-1028.

-Gualtieri, G., Brilli, L., Carotenuto, F., Vagnoli, C., Zaldei, A., & Gioli.B. (2020). Quantifying road traffic impact on air quality in urban areas: a COVID19-induced lockdown analysis in Italy. *Environmentall Pollution*, 267(115682), 1-10.

-Hay, N., Onwuzurike, O., Roy, SP., McNamara, P., McNamara, ML., &

-شگرخدايي، سیده زينب، فتح نيا، اماناله و رضوی ترمه، سيد وحيد. (۱۴۰۱). ارتباط بين كووید-۱۹ و تغييرات آلاینده‌های هوا با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای (مطالعه موردی: کلان‌شهرهای تهران، اصفهان و مشهد)، نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال نهم، شماره ۱، ۴۰-۲۱.

-محمدی، محمد، فقیهی، فرزاد، شریف زاده، مهسا، دستان، علیرضا و احمدی کیا، حسین. (۱۴۰۱). تاثیر محدودیت‌های ناشی از همه گیری کووید-۱۹ بر آلودگی هوای شهر اصفهان، سی‌امین کنفرانس بین‌المللی سالانه انجمن مهندسين مکانیک ایران، شماره ۳۰.

-کبیری، مریم و سلیمانی، محسن. (۱۴۰۰). اثر شیوع ویروس کرونا (Covid-19) بر آلودگی هوا در شهر اصفهان، اولین همایش ملی فن‌آوری‌های نوین در محیط زیست و توسعه پایدار بارویکرد کرونا و محیط زیست. دانشگاه بیرجند، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست.

- Lin, G.Y., Chen, W.Y., Chieh, Yi. & T, Yang. (2022). Chang impact analysis of level 3 COVID-19 alert on air pollution indicators using artificial neural network. *Ecological Informatics*, 69(101674), 1-9.
- Liyin, Sh., Ochoa, J.J., & Bao, H. (2023). Strategies for Sustainable Urban Development-Addressing the Challenges of the 21st Century. *Buildings*, 13(4), 847-869.
- Lv, Y., Tian, H., Luo, L., Liu, S., Bai, X., Zhao, H., Lin, S., Zhao, S., Guo, Z., Xiao, Y., & Yang, J. (2022). Meteorology-normalized variations of air quality during the COVID-19 lockdown in three Chinese megacities. *Atmospheric Pollution Research*, 13(6), 1-11.
- Rupani, P.F., Nilashi, M., Abumalloh, R.A., Asadi, S., Samad, S., & Wang, S. (2020). Coronavirus pandemic (COVID-19) and its natural environmental impacts. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 17(11), 4655-4666.
- Saharan, U.S., Kumar, R., Tripathy, P., Sateesh, M., Garg, J., Sharma, S.K., & Mandal, T.K. (2022). Drivers of air pollution variability during second wave of COVID-19 in Delhi, India. *Urban Climate*, 41(101059), 1-10.
- Uday, U., Bethineedi, L.D., Hasanain, M., Ghazi, B.K., Nadeem, A., Patel, P., & Khalid, Z. (2022). Effect of COVID-19 on air pollution related illnesses in India. *Annals of medicine and surgery*, 78(103871), 1-4.
- Wang, S., Ma, Y., Wang, Z., Wang, L., Chi, X., Ding, A., Yao, M., Li, Y., Li, Q., Wu, M., Zhang, L., Xiao, Y., & Zhang, Y. (2020). Mobile monitoring of urban air quality at high spatial resolution by low-cost sensors: Impacts of COVID-19 pandemic lockdown. *Atmos Chem Phys*, 21(9), 7199-7215.
- Wen, Ch., Akram, R., Irfan, M., Iqbal, w., Dagar, V., Acevedo-Duqued, A., & Saydaliev, H.B. (2022). The asymmetric nexus between air pollution and COVID-19: Evidence from a non-linear panel autoregressive distributed lag model. *Environmental Research*, 209(112848), 1-9.
- McDonald, W. (2023). Impact of traffic on air pollution in a mid-sized urban city during COVID-19 lockdowns. *Air Qual Atmos Health*, 16(6), 1141-1152.
- Ho, S.L., Yang, S., Ni, G., Lo, E.W.C., & Wong, H.C. (2005). A particle swarm optimization based method for multi-objective design optimizations. *IEEE Trans on Magnetics*, 41(5), 1756-1759.
- Hyman, S., Zhang, J., Andersen, ZJ., Cruickshank, S., Møller, P., Daras, K., Williams, R., Topping, D., & Lim, YH. (2023). Long-term exposure to air pollution and COVID-19 severity: A cohort study in Greater Manchester. United Kingdom, *Environmental Pollution*, 327(121594), 1-9.
- Hudda, N., Simon, MC., Patton, AP., & Durant, JL. (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*, 742(140930), 1-10.
- Huangfu, P., & Atkinson, R. (2020). Long-term exposure to NO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub> and all-cause and respiratory mortality: a systematic review and meta-analysis. *Environment International*, 144, 105998-106006.
- Jerrett, M., Nau, C.L., Young, D.R., Butler, R.K., Batteate, Ch.M., Su, J., Burnett, R.T., & Kleeman, M.J. (2022). Air Pollution and Meteorology as Risk Factors for COVID-19 Death in a Cohort from Southern California. *Environmental International*, 171(107675), 1-11.
- Jia, C., Fu, X., Bartelli, D., & Smith, L. (2020). Insignificant impact of the stay-at-home order on ambient air quality in the Memphis Metropolitan Area. U.S.A. *Atmosphere*, 11(6), 630-640.
- Liu, J., Lipsitt, J., Jerrett, M., & Zhu, Y. (2020). Decreases in Near-Road NO and NO<sub>2</sub> Concentrations during the COVID-19 Pandemic in California. *Environment Science Technology Letters*, 8(2), 2020, 161-167.

-Yao, H., Lu, W., Niu, G., Zhang, Q., Jiang, Q., & Ni.T. (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*, 18, 2053–2062.

-Yang, M., Chen, L., Msigwa, G., Tang, K.H.D., & Yap, P.S. (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*, 809(151657), 1-16.

-Wijnands, J.S., Nice, K.A., Seneviratne, S., Thompson, J., & Stevenson, M. (2022). The impact of the COVID-19 pandemic on air pollution: A global assessment using machine learning techniques. *Atmospheric Pollution Research*, 13(6), 1-16.

-Xiang, J., Austin, E., Gould, T., Larson, T., Shirai, J., Liu, Y., Marshall, J., & Seto, E., (2020). Impacts of the COVID-19 responses on traffic-related air pollution in a Northwestern US city. *Science of The Environment*, 747(141325), 1-9.

# **Presenting a Data Mining Model Based on the Environmental Index of Sustainable Urban Development Affected by Restrictions during the Covid-19 Pandemic Period**

*Abbas Maleki, Industrial Management, Faculty of Management and Accounting,  
Islamic Azad University, Qazvin branch, Qazvin, Iran.*

*Sadegh Abedi, Industrial Management, Faculty of Management and Accounting,  
Islamic Azad University, Qazvin branch, Qazvin, Iran.*

*Alireza Irajpour, Industrial Management, Faculty of Management and Accounting,  
Islamic Azad University, Qazvin branch, Qazvin, Iran.*

*E-mail: abedi.sadegh@gmail.com*

Received: June 2023- Accepted: February 2024

## **ABSTRACT**

With the spread of Covid-19, governments around the world have imposed some restrictions in order to prevent further spread of the disease by creating social distancing. One of these restrictions was traffic restrictions. By applying traffic and transportation restrictions, it was expected to see changes in the concentration of air pollutants. Therefore, it was decided that changes in air pollutants will be investigated as one of the subsets of environmental indicators of sustainable urban development during the epidemic. For this purpose, first the required data are collected in the four metropolitan cities of Tehran, Karaj, Ahvaz and Tabriz, and then processed and cleaned. After that, a proposed algorithm based on machine learning methods is presented. On the selected features, machine learning methods are applied to determine the predictive model that shows the best performance for recall and accuracy criteria. Investigations showed that the predictive model using decision tree and random forest has the best performance. The results of the research showed that the restrictions did not have a noticeable effect on reducing the concentration of pollutants and the pollutants do not follow the same pattern in different cities and each city has a different behavior. Also, by comparing the change trend of air quality index with the death rate during the epidemic period, it was found that there is no relationship between them.

**Keywords:** Air Pollution, Covid-19, Data Mining, Sustainable Development, Traffic Restriction