ارائه الگوی داده کاوی مبتنی بر شاخص توسعه پایدار در مدیریت شهری متاثر از همه‌گیری کووید-۱۹

عباس ملکی [۱]، صادق عابدی[۲،*]، علیرضا ایرج‌پور [۳]

[۱] دانشجوی دکتری، گروه مدیریت صنعتی، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران

[۲] استادیار، گروه مدیریت صنعتی ، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران (عهده‌دار مکاتبات)

[۳] استادیار، گروه مدیریت صنعتی، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران

تاریخ دریافت: مرداد ۱۴۰۲، اصلاحیه: آبان ۱۴۰۲، پذیرش: بهمن ۱۴۰۲

چکیده

با اعمال محدودیت‌های ناشی از همه‌گیری کووید-۱۹، به نظر می‌رسد تغییراتی در غلظت آلاینده‌های CO، O_3، NO، NO_2، SO_2، $PM_{2.5}$، PM_{10} و AQI در دوره‌های قبل و بعد از همه‌گیری دیده شود. از این رو، تغییرات آلاینده‌های هوا و محدودیت‌های ترافیکی به عنوان یکی از زیرمجموعه‌های شاخص زیست‌محیطی توسعه پایدار شهری در بازه زمانی ۱۳۹۶/۱۱/۰۱ تا ۱۴۰۰/۱۲/۲۹ در ایستگاه‌های تحت نظارت شهر تهران مورد بررسی قرار می‌گیرد.

ابتدا داده‌ها جمع‌آوری، پردازش و پاکسازی می‌شوند. بر روی ویژگی‌های موثر انتخاب شده با استفاده از روش بهینه‌سازی ازدحام ذرات، روش‌های یادگیری ماشین شامل 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 صحت و فراخوانی داشت. نتایج تحقیق نشان داد که غلظت آلاینده‌ها در دوران کووید-۱۹ نسبت به قبل از آن، در بعضی از ایستگاه‌ها افزایشی و در برخی دیگر کاهشی می‌باشد و همچنین اعمال محدودیت-های ترافیکی در دوره همه‌گیری، تاثیر قابل توجه و محسوسی در کاهش غلظت آلاینده‌های هوا نداشته است. همچنین با بررسی روند مرگ‌ومیر در دوره همه‌گیری مشخص شد که کاهش و یا افزایش آلاینده‌ها ارتباط معناداری با روند مرگ‌ومیر ناشی از کووید-۱۹ ندارد.

واژه‌های اصلی: داده‌کاوی، درخت تصمیم، توسعه پایدار، محدودیت‌های ترافیکی، کووید-۱۹

۱- مقدمه

شهرنشینی متحول‌ترین فرآیندی است که در دهه‌های اخیر منجر به تغییرات چشمگیری در نحوه زندگی، کار و تعامل شده است. با مهاجرت بیشتر مردم به شهرها، نیاز به استراتژی‌های توسعه پایدار شهری بوجود آمد که رشد اقتصادی، حفاظت از محیط زیست 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 به‌همراه دارد. از تغییرات آب و هوایی و کاهش منابع گرفته تا بیماری‌های همه‌گیر مانند کووید-۱۹و نابرابری اجتماعی، ماهیت پیچیده و به هم پیوسته سیستم-های شهری نیازمند رویکردهای نوآورانه برای برنامه‌ریزی و طراحی هستند[۱].

آلودگی هوا یک تهدید قابل توجه برای سلامت انسان و یک عامل فزاینده بیماری و مرگ‌ومیر 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[۱] و آمونیاک[۲] هستند که می‌توانند باعث بیماری‌های تنفسی، اختلال در عملکرد سیستم عصبی و سرطان شوند[۲].

ارتباط بین کاهش ترافیک و کیفیت هوا در طول قرنطینه کووید-۱۹ همیشه در سراسر جهان واضح یا یکنواخت نبود.

کاهش ۵۳ تا ۶۰٪ آلاینده‌های هوا از منابع ترافیکی (مونواکسیدکربن[۳] و دی‌اکسیدنیتروژن) در طول قرنطینه در نانجینگ چین وجود داشت[۴] و در سامرویل ایالات متحده، کاهش غلظت ذرات بسیار ریز (۴۵-۶۹٪) و

[1] particulate matter (PM)
[2] ammonia (NH3)
[3] Carbon Monoxide(CO)
*abedi.sadegh gmail.com

کربن سیاه (۲۲-۴۶٪) وجود داشت که مرتبط با میزان ترافیک بود[۵].
علاوه بر این، کاهش ترافیک (۴۸-۶۰٪) در شش شهر ایتالیا در کنار کاهش (۲۵-۵۹٪) NO_2 و (۱۷-۳۲٪) PM مشاهده شد[۶] و در کالیفرنیا، کاهش ترافیک (۲۵۴-۳۹٪)، در کنار کاهش مونواکسیدنیتروژن[۴] (۳۲-۳۵٪) و NO_2 (۱۵-۲۹٪) مشاهده شد[۷].
در برخی دیگر از تحقیقات، کاهش کمتری در آلاینده‌های هوا به دلیل ترافیک یافتند. ترافیک باعث کاهش آلاینده‌های (NO_2،NO،PM) بین ۳ تا ۱۲٪ در سیاتل شد[۸] و هیچ کاهش قابل مشاهده‌ای در $PM_{2.5}$ و NO_2در ممفیس ایالات متحده مشاهده نشد، با اینکه ترافیک ۵۷٪ کاهش یافته است[۹].
شهر تهران، مدت‌ها است که با مشکل آلودگی هوا مواجه است. البته در سال‌های پیشین در سایر شهرهای ایران نیز آلودگی 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 می خورد.
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 دوره قبل از قرنطینه تا اعمال محدودیت‌ها و 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 ایستگاه‌های تحت نظارت استان تهران. (۲) جمع‌آوری داده‌های مربوط به تغییرات ترافیک در ایستگاه‌های مذکور و (۳) بررسی و کشف رابطه بین تغییرات غلظت آلاینده‌های هوا و داده‌های ترافیک. در این تحقیق از تکنیک داده‌کاوی برای بررسی رابطه بین محدودیت‌های ترافیکی اعمال شده در دوره همه‌گیری، شاخص توسعه پایدار شهری و مرگ‌ومیر ناشی از همه‌گیری کووید-۱۹ استفاده خواهد شد. برای انتخاب ویژگی در این تحقیق از روش بهینه‌سازی ازدحام ذرات[۵] استفاده می‌شود.
در این تحقیق از متغیرهایی از جمله : PM_{10}، $PM_{2.5}$، CO، O_3، NO، NO_2، SO_2 و AQI به عنوان آلاینده‌های هوا استفاده می‌شود. 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 داده-های 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 در شهر تهران هستند.
- ارائه الگویی مبتنی بر روش داده‌کاوی که برای توصیف رابطه همه‌گیری کووید-۱۹ و شاخص آلودگی هوا در توسعه پایدار شهری در شهر تهران استفاده می‌شود.
- الگوی تحقیق برای پیش‌بینی آلودگی ناشی از حمل و نقل در محدودیت‌های ترافیکی در شهر تهران بکار می‌رود.

ادامه این تحقیق به این صورت سازماندهی می‌شود: بخش دوم به کارهای مرتبط با الگوریتم‌های داده‌کاوی، شاخص‌های توسعه پایدار و همه‌گیری کووید-۱۹ خلاصه می‌شود. مدل تحقیق در بخش سوم ارائه می‌شود. در بخش چهارم، مجموعه داده‌ها و معیارهای ارزیابی برای تجزیه و تحلیل مدل داده‌کاوی و آزمایشات روش تحقیق مطرح می‌شود.
نهایتا، در بخش پنجم، نتیجه‌گیری از یافته‌های تحقیق به همراه برخی از جهت‌گیری‌های تحقیقاتی آینده ارائه خواهد شد.

۲- پیشینه تحقیق

مطالعاتی در شهرهای مختلف جهان برای درک تأثیر قرنطینه کووید-۱۹ بر روی سطوح غلظت متغیرهای آلاینده هوا ($PM_{2.5}$، PM_{10}، CO، NO، NO_2، SO_2، O_3)، انجام شده است.
مطالعات برای مدت زمان، درصد کاهش غلظت آلاینده‌ها، حجم ترافیک، میزان میرگ‌ومیر، 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.
گونزالس پاردو و همکاران[۶] در پژوهش خود به تخمین تغییرات سطوح آلودگی هوا ناشی از کووید-۱۹ با استفاده از تکنیک داده‌کاوی پرداختند که در آن پارامترهای NO، NO_2، O_3، $PM_{2.5}$ و PM_{10} را مورد بررسی قرار داده بودند.
در این تحقیق که سال ۲۰۲۰ به پنج دوره پیش از قرنطینه، قرنطینه، تشدید، عادی و قرنطینه مجدد تقسیم شده بود، مشاهده شد که پارامتر NO_x بیش از ۵۰٪ کاهش یافت، پارامتر O_3 در تضاد با پارامتر NO_x ، ۲۳٫۹٪ افزایش یافت و همچنین پارامترهای PM_{10} و $PM_{2.5}$ نیز دارای کاهش جزئی به میزان ۴٫۱٪ و ۲٫۳٪ بودند که نشان‌دهنده تاثیرپذیری کم پارامترهای PM_{10} و $PM_{2.5}$ از منابع ترافیک و قرنطینه می‌باشد[۱۰].
گالتییری و همکاران[۷] به بررسی تغییرات پارامترهای آلودگی هوا در هفت شهر ایتالیا با استفاده از محیط R بدون امکان پیش‌بینی آتی پرداختند.
نتایج تحقیق نشان داد که پارامتر PM_{10} در شهر پالرمو ۳۱٫۵٪ کاهش و در شهر ناپولی ۷٫۳٪ افزایش داشت. با این نتیجه می‌توان گفت که نمی-توان میانگین نتایج چند شهر را به کل کشور و یا جهان تعمیم داد.
همانگونه که مشاهده می‌شود، پارامتر PM_{10} در دو شهر به میزان ۳۹٪ با یکدیگر اختلاف داشته و یکی از پارامترها افزایشی و دیگری کاهشی می‌باشد[۱۱].
میزان کاهش آلاینده‌های هوا ممکن است از شهری به شهر دیگر به دلیل تنوع عوامل محلی مانند توزیع منابع انتشار، شرایط جغرافیایی 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

[4] Nitrogen Monoxide (NO)
[5] Particle swarm Optimization (PSO)
[6] Gonzalez-pedro et al
[7] Gualtieri et al

آلاینده‌های هوا و حجم ترافیک با اقدامات موثر از قرنطینه کووید-۱۹ در شهر تهران می‌باشد.

۳- روش تحقیق

در تحقیق حاضر از تکنیک داده‌کاوی و شاخص‌های آماری توصیفی برای ارزیابی رابطه کووید-۱۹ با شاخص توسعه پایدار شهری و طرح‌های ترافیک در ایستگاه‌های هواشناسی تحت نظارت شهر تهران استفاده خواهد 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 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، O_3، NO_2، NO، SO_2، $PM_{2.5}$ و PM_{10} در ایستگاه‌های ترافیک شهری انجام می شود تا میزان آلودگی هوا در سال‌های مذکور تعیین گردد.

سپس، از روش انتخاب ویژگی مبتنی بر الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات استفاده می‌شود تا ویژگی‌های مهم‌تر انتخاب شوند. در روش تحقیق، از الگوریتم‌های درخت تصمیم، جنگل تصادفی، ماشین بردار پشتیبان، شبکه بیزین و شبکه عصبی پرسپترون برای ارزیابی و پیش‌بینی مدل استفاده می‌گردد. ساختار روش تحقیق در شکل ۱ نشان داده شده است.

۳-۱. بررسی معیارهای مرتبط با آلاینده‌های آلودگی هوا و ترافیک

داده‌های مرتبط با آلاینده‌های هوا از سازمان حفاظت محیط زیست کشور جمع‌آوری شده‌اند.
آلاینده‌های هوا شامل CO، O_3، NO_2، NO، SO_2، $PM_{2.5}$، PM_{10} می‌باشند تا AQI تعیین گردد. شاخص AQI برای هر روز، بزرگترین عدد مربوط به پارامترهای CO ، O_3، NO2، SO_2، $PM_{2.5}$ و PM_{10} در آن روز می‌باشد که در رابطه (۱) نشان داده شده است.

$$AQI = Max(CO, O_3, NO_2, SO_2, PM_{2.5}, PM_{10}) \qquad (۱)$$

در سایت سازمان محیط زیست، پارامتر NO جهت محاسبه AQI لحاظ نشده است. براساس AQI بدست آمده می‌توان شاخص کیفیت هوا را متناسب با سطح اهمیت بهداشتی، براساس جدول ۲ ارائه نمود.

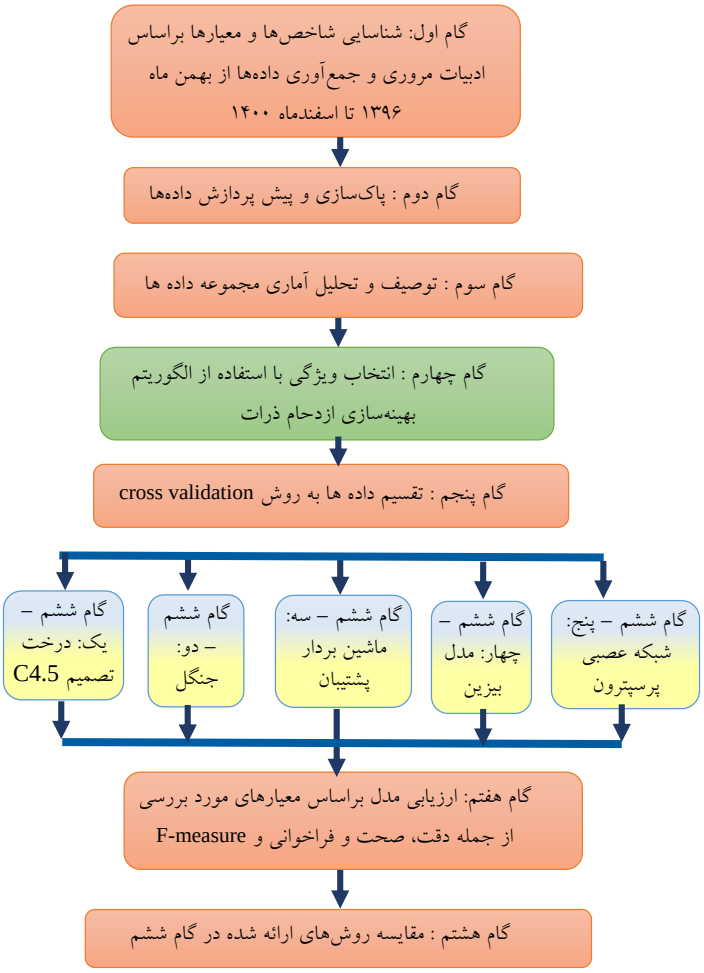
۳-۲. پاک سازی و پیش پردازش داده‌ها مبتنی بر روش همبستگی

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

جدول (۱): ادبیات تحقیق در زمینه شاخص توسعه پایدار شهری متاثر از همه‌گیری کووید-۱۹

ردیف	نویسنده مقاله	عنوان مقاله	سال انتشار	نتیجه	روش انجام کار
۱	ویجناندز و همکاران[8] [۱۲]	تاثیر 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 بهینه سازی افزایشی را در فضای عملکردی انجام می‌دهند.
۲	هایمن و همکاران[9] [۱۳]	قرار گرفتن طولانی مدت در معرض آلودگی هوا و کووید-۱۹: یک مطالعه کوهورت در منچستر، بریتانیا	۲۰۲۳	افراد مسن‌تر، چاق‌تر، 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 طولانی‌مدت در معرض آلودگی هوا با کووید-۱۹ شدید منجر به بستری شدن در بیمارستان یا مرگ می‌شود.	ارتباط قرار گرفتن طولانی‌مدت 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 مخدوش‌کننده فردی، زمانی و مکانی بالقوه اندازه گیری شد.
۳	جرت و همکاران[10] [۱۴].	آلودگی هوا و هواشناسی به عنوان عوامل خطر مرگ کووید-۱۹: یک مطالعه کوهورت در کالیفرنیای جنوبی	۲۰۲۲	رطوبت و دما برای تشخیص پیش‌بینی‌کننده‌های منفی مرگ‌ومیر کووید-۱۹ و تعدیل‌کننده‌های 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 حمل‌ونقل شیمیایی با فاصله یک کیلومتر برای تخمین غلظت‌های محیطی چندین آلاینده معمولی هوا، از جمله اوزن، دی‌اکسیدنیتروژن 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	یانگ و همکاران[11] [۱۵]	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 محیط زیست جهانی و انتشار کربن را پوشش می‌دادند
۵	آدای و همکاران[12] [۱۶]	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_2و NO_2 همراه با سطوح $PM_{2.5}$ شده است.	این پژوهش به تحلیل، جمع‌بندی و انعکاس نتایج یافته‌های مرتبط پرداخته است.
۶	وین و همکاران[13] [۱۷]	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. رابطه‌ای نامتقارن بین موارد $PM_{2.5}$ و کووید-۱۹ وجود دارد، به طور دقیق تر، تغییر ۱٪ در شوک‌های مثبت $PM_{2.5}$، موارد کووید-۱۹ را ۰,۴۳۹ ٪ افزایش می‌دهد.	مدل تاخیر توزیع شده اتورگرسیو غیرخطی است.

[8] Wijnands et al
[9] Hyman et al
[10] Jerrett et al
[11] Yang et al
[12] Uday et al
[13] Wen et al



شکل (۱) : ساختار روش تحقیق

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

۳-۳. انتخاب ویژگی با الگوریتم بهینه سازی 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، ازجمله پرندگان و ماهیان تاثیر می‌گیرد. رفتار نمونه‌های تشکیل دهنده یک گروه، براساس قوانین مانند هماهنگی برای سرعت با نزدیکترین همسایه و همچنین شتاب براساس فاصله است [۱۸]. 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 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:

$$particle_position = [P_{i,1}, \dots, P_{i,n}] \quad (۲)$$

$$particle_velocity = [v_{i,1}, \dots, v_{i,n}] \quad (۳)$$

که در آن particle_position بردار مکان ذره iام ، particle_velocity بردار سرعت ذره iام ، n تعداد مربع ویژگی‌ها است. جمعیت اولیه براساس موقعیت و سرعت تمامی ذرات بصورت تصادفی در بازه [۰،۱] 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[۱۴]، تغییر می‌کند. با تغییر زمان برحسب سرعت، موقعیت ذرات تغییر می‌کند. بردار سرعت هر ذره، با دو مقدار بهینه، بروزرسانی می‌شود. (p_{best}[۱۵]) بهترین موقعیت ذره که تا کنون به آن رسیده است و (g_{best}[۱۶]) بهترین موقعیت ذره که تاکنون به دست آمده است. در هر تکرار الگوریتم، سرعت ذرات به صورت زیر بهینه می‌شود:

$$\vec{v}_i = w\vec{v}_i + c_1R_1(\vec{p}_{i,best} - \vec{p}_i) + c_2R_2(\vec{g}_{i,best} - \vec{g}_i) \quad (۴)$$

که در آن $\vec{p}_i$ و $\vec{v}_i$، موقعیت و سرعت ذره iام ، $\vec{p}_{i,best}$ و $\vec{g}_{i,best}$ ، بهترین مقدار تابع هدف از موقعیت ذره iام و موقعیت کل جمعیت است. R_1و R_2 دو متغیر تصادفی در بازه [۰،۱] هستند. افزودن متغیرهای تصادفی به PSO، توانایی جستجوی تصادفی آن را باارزش‌تر و بهینه‌تر می‌کند. ضرایب c_1 و c_2 فاکتور یادگیری هستند و به‌ترتیب 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[۱۷] و اکتشاف[۱۸] می‌باشند. W، پارامتر کنترلی پرواز نمودن ذرات است. بیشتر شدن پارامتر، گسترش دادن بیشتر فضا بدون توجه به p_{best} وg_{best} است و کمتر شدن پارامتر، باعث

[14] Best Particle Position
[15] Personal Best
[16] Global Best
[17] Exploitation
[18] Eexploration

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 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 بروز رسانی مراحل فوق، $\vec{g}_{i,best}$ به عنوان بهترین پاسخ اعلام می‌گردد.

۴-۳. روش درخت تصمیم گیری

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:

- در یک مجموعه داده، ویژگی‌ها (متغیرهای پیشگو) برای درخت C4.5 می‌توانند به صورت متغیرهای رسته‌ای و کمی باشند.
- از هر گره درونی این درخت دو یا بیش از دو شاخه خارج می‌شود.
- برای هرس کردن درخت C4.5 از روش هرس کردن مبتنی بر خطا استفاده می‌شود.
- 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 معیار نسبت بهره استفاده می‌کند.

فرض کنید S یک مجموعه داده با n مشاهده (نمونه) است. معیار نسبت بهره[19] ویژگی X_i نسبت به این مجموعه داده به صورت رابطه زیر است :

$$GR(X_i,S) = \frac{IG(X_i,S)}{E(X_i,S)} \qquad (۵)$$

که در آن IG، معیار بهره اطلاعات[20] و E، آنتروپی[21] می‌باشد.

۴- ارزیابی روش تحقیق

این بخش شامل ۵ زیربخش می‌باشد که عبارتند از: ۱- معرفی مجموعه داده‌ها برای ارزیابی روش تحقیق، ۲-معرفی الگوریتم‌ها برای مقایسه، ۳-معرفی معیارها برای ارزیابی عملکرد مدل تحقیق، ۴- انجام آزمایش‌ها بر روی مجموعه داده‌های تهیه شده، ۵-بحث در مورد روش تحقیق.

۴-۱. توصیف مجموعه داده‌ها

در این تحقیق، داده‌های مرتبط به آلاینده‌های هوا شامل ۱۰ ایستگاه ثبت کننده غلظت آلاینده‌ها از ۱۳۹۶/۱۱/۰۱ تا ۱۴۰۰/۱۲/۲۹ از سازمان حفاظت محیط زیست کشور، داده‌های مرتبط با حمل و نقل و محدودیت‌های ترافیکی از ۱۳۹۸/۱۱/۰۱ تا ۱۴۰۰/۱۲/۲۹ از ستاد ملی کرونا و داده‌های مرتبط با مرگ و میر ناشی از همه گیری نیز از ۱۳۹۸/۱۱/۰۱ تا ۱۴۰۰/۱۲/۲۹ از وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی جمع آوری شد. مجموعه داده جمع‌آوری شده شامل ۱۲ ویژگی می‌باشد که عبارتند از: CO، O_3،NO، NO_2، SO_2، $PM_{2.5}$، PM_{10}، AQI، اعمال محدودیت، نام شهر ، میزان مرگ و میر و کلاس شاخص آلودگی هوا.

داده‌های ویژگی اعمال محدودیت با توجه به تکامل محدودیت‌های دوره همه‌گیری، 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 اجاره‌نامه مستاجران، لغو طرح ترافیک تهران، محدودیت تردد بین استانی و حضور یک سوم کارکنان در محل کار

۴-۲. الگوریتم‌های مورد ارزیابی

- جنگل تصادفی[22]: 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[23] 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[24]: یک روش یادگیری با نظارت می‌باشد که برای طبقه‌بندی و خوشه‌بندی استفاده می‌شود. دسته بندی‌کننده 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 به فضایی با ابعاد بالاتر انتقال می‌دهیم تا بتوان تقسیم خطی را براساس ماشین بردار پشتیبان انجام داد.
- 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 گره-های 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 هدایت کننده، با دیگر متغیرها در ارتباط است.

[19] Gain Ratio(GR)
[20] Information Gain (IG)
[21] Entropy (E)

[22] Random Forest (RF)
[23] Bagging Classifier
[24] Support Vector Machines (SVMs)

- شبکه عصبی پرسپترون چند لایه[۲۵]: 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 تصمیم گیری در مورد ورودی و تعدادی دلخواه از لایه‌های پنهان در بین این دو لایه که تاثیرمحاسباتی واقعی MLP هستند، تشکیل شده است.

۴-۳ معیارهای ارزیابی

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

- مثبت درست[۲۶]: داده‌های کلاس مثبت که به درستی به عنوان کلاس مثبت شناسایی شده‌اند.
- منفی درست[۲۷] : داده‌های کلاس منفی که به درستی به عنوان کلاس منفی شناسایی شده‌اند.
- منفی غلط[۲۸] : داده‌های کلاس مثبت که به غلط به عنوان کلاس منفی شناسایی شده‌اند.
- مثبت غلط[۲۹] : داده‌های کلاس منفی که به غلط به عنوان کلاس مثبت شناسایی شده‌اند.
- صحت[۳۰] : نسبت میزان نمونه‌های مثبت پیش بینی شده به درستی تشخیص داده شده.

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \qquad (۵)$$

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

$$F - Measure = \frac{(1 + \beta^2) * Precision * Recall}{\beta^2 * Recall * Precision} \qquad (۶)$$

- خطای مطلق میانگین[۳۱]: ارائه انعکاس میزان خطای پیش‌بینی شده. هرچه مقدار آن کمتر باشد، کارایی پیش‌بینی بیشتر می‌شود :

$$MAE = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^{m} |y_i - \hat{y}_i| \qquad (۷)$$

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

۴-۴. ارزیابی نتایج

در این بخش، نتایج آزمایش‌های بخش‌های مختلف الگوریتم تحقیق و نتیجه نهایی ارائه می‌شود. آزمایشات بر روی مجموعه داده تهیه شده برای آلودگی هوا به تفکیک ایستگاه‌های مختلف شهر تهران می‌باشد. برای ارزیابی نتایج از نرم افزار WEKA و MATLAB استفاده شد.

۴-۴-۱. پاک سازی و پالایش داده‌ها

به منظور پاک‌سازی داده‌ها، مراحل زیر صورت می‌گیرد.

- حذف داده‌های تکراری: از آنجا که مجموعه داده‌ها از ایستگاه‌های مختلف جمع‌آوری و ادغام شده‌اند، امکان ایجاد داده‌های تکراری یا غیرمرتبط وجود دارد. داده‌ها از ایستگاه‌ها 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 شهر تهران 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 در جدول ۳ به تفکیک دوره قبل از کووید-۱۹ و دوره کووید-۱۹ برای تمامی ایستگاه‌های تحت نظارت شهر تهران نشان داده می‌شود. همانگونه که مشخص است میانگین غلظت آلاینده‌های CO و PM_{10} در دوره کووید-۱۹ نسبت به دوره قبل از آن تغییری نداشته، میانگین غلظت آلاینده‌های O_3، NO_2، $PM_{2.5}$ و AQI افزایشی و میانگین غلظت آلاینده‌های NO و SO_2 کاهشی است.

شکل ۲ غلظت آلاینده‌های هوا را به تفکیک ۱۰ ایستگاه تحت نظارت شهر تهران 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. همان‌طور که از شکل ۲ مشخص است، تغییر غلظت آلاینده‌ها در دوره کووید-۱۹ نسبت به دوره قبل از آن در ایستگاه‌های مختلف، متفاوت بوده و علی رغم قرارگیری ایستگاه‌ها در یک شهر، روند تغییر غلظت آلاینده‌ها کاملاً متفاوت می‌باشد. کمترین و بیشترین مقدار ثبت شده برای میانگین غلظت آلاینده‌ها در دوره قبل از کووید-۱۹ و دوره کووید-۱۹ نیز در جدول ۴ نشان داده

[25] MultiLayer Perceptron Neural Network (MLP)
[26] True Positives (TP)
[27] True Negatives (TN)
[28] False Negatives (FN)
[29] Flase Positives (FP)
[30] Precision
[31] Mean Absolute Error (MAE)

شده است.

۴-۴-۳. *انتخاب ویژگی با PSO*

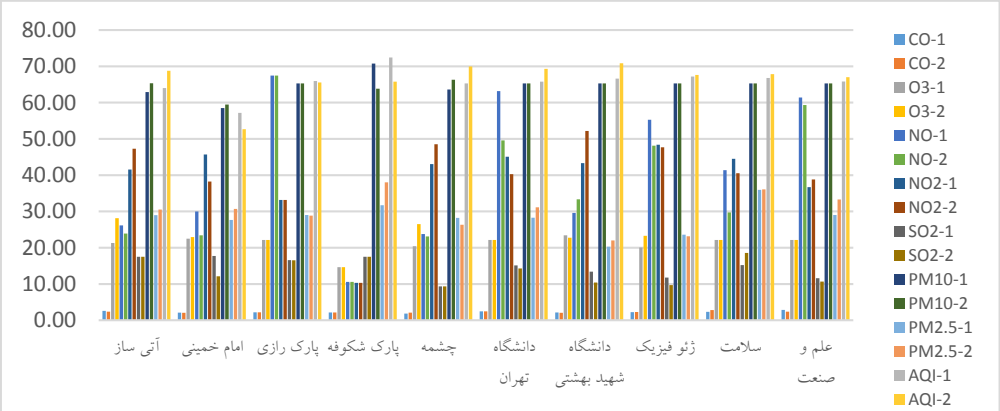
۴-۴-۴. با استفاده از انتخاب ویژگی، تعداد ویژگی‌های مهم تر در تحلیل داده‌کاوی انتخاب می‌شوند. از بین ۱۲ ویژگی موجود، ۹ ویژگی: کلاس شاخص هوا، CO، O_3، NO، NO_2، SO_2، $PM_{2.5}$، PM_{10} و AQI برای انتخاب ویژگی با PSOSearch انتخاب می‌شوند. با اعمال الگوریتم PSOSearch، تعداد ویژگی‌ها از ۹ به ۷ کاهش یافت. ویژگی‌های انتخاب شده عبارتند از : کلاس شاخص هوا، CO، O_3، NO_2، $PM_{2.5}$، PM_{10} و AQI.

جدول (۳): خلاصه‌ای از آمار توصیفی مجموعه داده‌ها

	بازه زمانی کووید-۱۹					بازه زمانی قبل از کووید-۱۹				
	حداقل	حداکثر	میانه	مد	میانگین	حداقل	حداکثر	میانه	مد	میانگین
CO	۰,۱۵	۷,۶	۲,۲	۲,۱۷	۲,۳	۰,۳۴	۱۱,۳۲	۲,۱۹	۲,۰۸	۲,۳
O_3	۱,۴۶	۸۶,۳۳	۲۲,۱۲	۲۲,۱۲	۲۲,۶۷	۲,۸۳	۹۸,۷۲	۲۲,۱۲	۲۲,۱۲	۲۱,۰۸
NO	۱,۰۹	۳۶۰,۲۳	۲۶,۶۶	۱۰,۵۸	۳۶,۹۲	۱,۴۳	۳۴۲,۹۲	۳۱,۰۲	۱۰,۸۵	۴۰,۸۸
NO_2	۱,۸۸	۱۵۵,۹۱	۳۷,۵۲	۱۰,۳۲	۳۹,۷۱	۲,۸۵	۱۶۶,۴۴	۴۲,۰۱	۱۰,۳۲	۳۹,۱۸
SO_2	۱,۲	۹۲,۳	۱۳,۲۸	۱۷,۵	۱۳,۶۷	۱,۰۸	۴۰,۶۵	۱۴,۸۹	۱۷,۵۰	۱۴,۵۷
PM_{10}	۸,۴۳	۴۱۱,۶۹	۶۵,۳	۶۵,۳	۶۴,۷	۱۰	۲۱۷,۳۷	۶۵,۳۰	۶۵,۳۰	۶۴,۷۶
$PM_{2.5}$	۲,۰۵	۲۰۷,۱۱	۲۶,۷۱	۲۹,۲۲	۳۰,۰۲	۱,۹۴	۳۰۷,۱۵	۲۷,۲۴	۲۹,۷۸	۲۸,۲۷
AQI	۱۳,۹۳	۴۱۱,۶۹	۶۵,۳	۶۵,۳	۶۶,۷۶	۱۷,۱۴	۳۴۲,۹۲	۶۵,۳۰	۶۵,۳۰	۶۵,۶

جدول (۴): کمترین و بیشترین میانگین غلظت آلاینده‌ها در ایستگاه‌ها

	بازه زمانی کووید-۱۹		بازه زمانی قبل از کووید-۱۹	
	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر
CO	ژئوفیزیک	پارک رازی	دانشگاه شهید بهشتی	امام خمینی
O_3	دانشگاه شهید بهشتی	دانشگاه علم و صنعت	آتی ساز	پارک رازی
NO	آتی ساز	پارک رازی	دانشگاه شهید بهشتی	پارک شکوفه
NO_2	دانشگاه تهران	پارک رازی	دانشگاه علم و صنعت	پارک شکوفه
SO_2	دانشگاه شهید بهشتی	پارک شکوفه	دانشگاه علم و صنعت	پارک شکوفه
PM_{10}	آتی ساز	دانشگاه شهید بهشتی	امام خمینی	دانشگاه علم و صنعت
$PM_{2.5}$	دانشگاه شهید بهشتی	سلامت	دانشگاه شهید بهشتی	سلامت
AQI	آتی ساز	پارک رازی	آتی ساز	پارک شکوفه



شکل (۲): مقایسه غلظت آلاینده‌های هوا

۴-۴-۵. روش درخت تصمیم‌گیری

روش‌های یادگیری ماشین تحت چارچوب اعتبارسنجی متقابل داده‌ها ارزیابی می‌شوند تا بهترین مدل برای پیش بینی 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. برای ویژگی‌های تحقیق، ویژگی‌های ۱ تا ۹ به عنوان متغیرهای پیشگو هستند و ویژگی ۱۰ به عنوان متغیر هدف می‌باشد. با توجه به گام ششم مدل ارائه شده در شکل ۱، داده‌ها در درخت تصمیم C4.5، براساس روش اعتبارسنجی و تعداد k-fold های مختلف مورد بررسی قرار گرفتند. در روش اعتبارسنجی به ازای اکثریت kها مقدار دسته‌بندی داده‌ها یکسان بدست آمد. پس از ایجاد مدل تحقیق و درخت تصمیم، به ارزیابی نتایج پرداخته می‌شود. به این منظور از معیارهای ارزیابی معرفی شده در بخش ۴-۳ استفاده می‌شود. نتایج معیارها در جدول ۵ و جدول ۶ نشان داده می‌شود. نتایج جدول ۵ حاکی از آن است که ۷۸۹۳ نمونه از ۷۹۰۰ نمونه به درستی تشخیص داده شده‌اند و این مدل پیش‌بینی دقت بسیار خوبی را ارائه می‌دهد. در جدول ۶، نتایج به تفکیک کلاس‌ها می‌باشد و حاکی از آن است که مدل تحقیق از دقت بالای دسته بندی برخوردار است.

جدول (۵): پیش بینی مقادیر معیارهای مدل درخت تصمیم C4.5

ردیف	عنوان معیار	مقدار معیار
۱	تعداد نمونه‌های درست تشخیص داده شده	۷۸۹۳ (۹۹,۹۱۱٪)
۲	تعداد نمونه‌های غلط تشخیص داده شده	۷ (۰,۰۶۷۱٪)
۳	میانگین قدرمطلق خطا[32]	۰,۰۱۷۵
۴	خطای جذر میانگین مربع[33]	۰,۳۲۱۹
۵	خطای جذر نسبی[34]	۰,۳۲۱۹ ٪
۶	خطای جذر مربع نسبی[35]	۷,۶۴۴۱ ٪
۷	تعداد کل نمونه‌ها	۷۹۰۰

۴-۴-۶. مقایسه با سایر روش‌ها

نتایج حاصل از دقت، صحت و F-Measure برای روش‌های جنگل تصادفی، ماشین بردار پشتیبان، شبکه بیزین و شبکه عصبی پرسپترون در جدول ۷ 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 را نشان می‌دهند. معمولا 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. قوانین ساخته شده به شرح زیر است:

جدول (۶) : معیارهای مورد ارزیابی درخت تصمیم C4.5 به تفکیک کلاس شاخص هوا

کلاس	پیش‌بینی مثبت (TP)	پیش‌بینی منفی (FP)	معیار صحت Precision	معیار بازخوانی Recall	معیار فیشر F-Measure
۱	۰,۹۹۹	۰,۰۰۰	۱,۰۰۰	۰,۹۹۹	۱,۰۰۰
۲	۱,۰۰۰	۰,۰۰۱	۱,۰۰۰	۱,۰۰۰	۱,۰۰۰
۳	۰,۹۰۵	۰,۰۰۰	۰,۹۵	۰,۹۰۵	۰,۹۲۷
۴	۰,۹۹۹	۰,۰۰۰	۰,۵	۱,۰۰۰	۰,۶۶۷
۵	۱,۰۰۰	۰,۰۰۰	۰,۵	۱,۰۰۰	۰,۶۶۷
۶	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰	--	۰,۰۰۰	--

- در ایستگاه‌های امام خمینی، آتی ساز، پارک رازی، پارک شکوفه، چشمه و دانشگاه تهران، اگر PM_{10} >= 150.815 و NO_2<100.4 باشد، آنگاه هوای تهران "ناسالم" است.
- در ایستگاه‌های امام خمینی، آتی ساز، پارک رازی، پارک شکوفه، چشمه، دانشگاه تهران و دانشگاه شهید بهشتی، اگر 33.62<=NO_2<48.09 و $PM_{2.5}$>26.26 و 2.2<CO<=2.54 باشد، آنگاه هوای تهران "سالم" است.

جدول (۷): مقایسه نتایج مورد ارزیابی

کلاس	نرخ پیش‌بینی مثبت (TP)	نرخ پیش‌بینی منفی (FP)	معیار صحت Precision	معیاربازخوانی Recall	معیار فیشر F-Measure
درخت تصمیم	۰,۹۹۹	۰,۰۰۱	۰,۹۹۹	۰,۹۹۹	۰,۹۹۹
جنگل تصادفی	۰,۹۹۹	۰,۰۰۱	۰,۹۹۹	۰,۹۹۹	۰,۹۹۹
ماشین بردار پشتیبان	۰,۸۷۷	۰,۵۳۵	۰,۸۷۷	۰,۸۷۷	۰,۸۷۷
شبکه بیزین	۰,۹۳۸	۰,۰۸۹	۰,۹۳۸	۰,۹۳۸	۰,۹۳۸
شبکه عصبی پرسپترون	۰,۹۵۳	۰,۱۹۶	۰,۹۵۳	۰,۹۵۳	۰,۹۵۳

- در ایستگاه‌های دانشگاه شهید بهشتی، ژئوفیزیک، سلامت و علم و صنعت، اگر PM_{10} >= 150.815 و NO_2<100.4 باشد، آنگاه هوای تهران "بسیار ناسالم" است.
- در ایستگاه‌های ژئوفیزیک، سلامت و علم و صنعت، اگر $PM_{2.5}$ > 26.26و 2.2<=CO<=2.54 و AQI<=51.7 باشد، آنگاه هوای تهران "پاک" است.
- در ایستگاه‌های سلامت و علم و صنعت اگر 2.2<CO<=2.54 و 26.06<=$PM_{2.5}$ <=88.07 و AQI>50.87 و اعمال محدودیت‌ها شامل " تمامی محدودیت‌ها بجز تعطیلی همه مشاغل از ساعت ۱۸:۰۰ به غیر از مشاغل گروه حساس " صورت گیرد، آنگاه هوای تهران "سالم" است.

[32] Mean absolute error
[33] Root mean squared error
[34] Relative absolute error
[35] Root relative squared error

• اگر NO2>33.21 و PM10<50.955 و 26.06<=PM2.5 و 88.07 < و 11.03< O3<=14.5 و CO>=2.2 و اعمال محدودیت‌ها " محدودیت تردد شبانه- لغو طرح ترافیک تهران- تمدید خودکار اجاره‌نامه مستاجران " صورت گیرد، آنگاه هوای تهران " سالم" است.

• در ایستگاه سلامت، اگر 2.54<CO<=2.74 و $PM_{2.5}$ >26.54 و AQI<=49.73 و O_3<=47.58 و اعمال محدودیت‌ها شامل " تمامی محدودیت‌ها بجز لغو طرح ترافیک تهران- تمدید خودکار اجاره‌نامه مستاجران" صورت گیرد، آنگاه هوای تهران "پاک" است.

• در تمامی ایستگاه‌ها بجز ایستگاه‌های سلامت و علم و صنعت، اگر 2.54<CO<=2.74 و $PM_{2.5}$ >26.54 و AQI>100.33 و O_3<=47.58 و اعمال محدودیت‌ها شامل " تمامی محدودیت‌ها بجز لغو طرح ترافیک تهران- تمدید خودکار اجاره‌نامه مستاجران" صورت گیرد، آنگاه هوای تهران "ناسالم برای گروه‌های حساس" است.

• در تمامی ایستگاه‌ها بجز ایستگاه‌های سلامت و علم و صنعت، اگر PM_{10}>56.06 و NO_2<=35.88 و 26.65<=$PM_{2.5}$ <233.95 و اعمال محدودیت‌ها شامل " تمامی محدودیت‌ها بجز محدودیت تردد بین استانی- حضور یک‌سوم کارکنان" صورت گیرد، آنگاه هوا "سالم" است.

• در ایستگاه‌های امام خمینی و آتی ساز، اگر PM_{10}>149.04 و AQI<=100.98 و اعمال محدودیت‌ها شامل " تمامی محدودیت‌ها بجز تعطیلی همه مشاغل از ساعت ۱۸:۰۰ به غیر از مشاغل گروه حساس" صورت گیرد، آنگاه هوا "ناسالم" است.

• در تمامی ایستگاه‌ها بجز امام خمینی و آتی ساز، اگر NO_2>47.11 و 50.94<AQI<=70.17 و اعمال محدودیت‌ها شامل " تمامی محدودیت‌ها بجز تعطیلی همه مشاغل از ساعت ۱۸:۰۰ به غیر از مشاغل گروه حساس" صورت گیرد، آنگاه هوا "سالم" است.

• در ایستگاه‌های پارک رازی، پارک شکوفه، چشمه و دانشگاه تهران، اگر PM_{10}<56.84 و $PM_{2.5}$ < 26.25 و AQI<=51.02 باشد، آنگاه هوا "پاک" است.

• در ایستگاه‌های سلامت و علم و صنعت، اگ$PM_{2.5}$ > 100.18 و AQI>55.29 باشد، آنگاه هوا "ناسالم برای گروه‌های حساس" است.

• در ایستگاه‌های امام خمینی، آتی ساز، پارک رازی و پارک شکوفه، اگر PM_{10}<=65.19 و NO_2<= 39.39 و O_3<=47.58 و $PM_{2.5}$ > 26.51 و 2.2<CO<=2.74 باشد، آنگاه هوا "پاک " است.

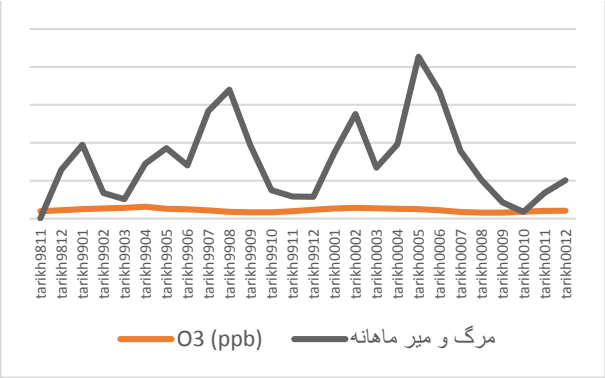
۴-۴-۶. روند میزان مرگ‌ومیر در زمان کووید-۱۹

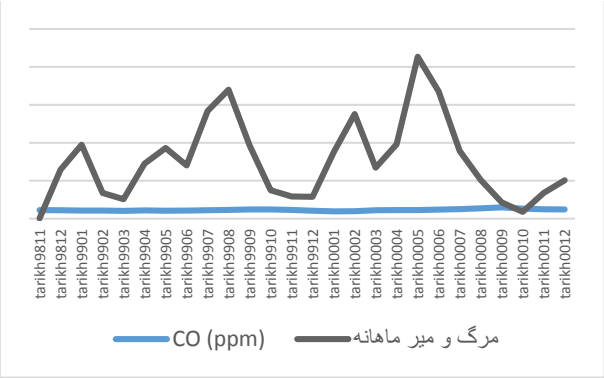
به منظور بررسی روند میزان غلظت آلاینده‌ها با میزان مرگ‌ومیر در زمان کووید-۱۹ ، بررسی این تغییرات از تاریخ ۱۳۹۸/۱۱/۰۱ تا ۱۴۰۰/۱۲/۲۹ انجام شد. شکل ۳، روند تغییرات هر یک از آلاینده‌ها را با تغییر تعداد مرگ‌ومیر در بازه زمانی کووید-۱۹ به تفکیک ماه نشان می‌دهد. پیک میزان مرگ‌ومیر در چهار تاریخ : مهر ۱۳۹۹، آبان ۱۳۹۹، اردیبهشت ۱۴۰۰، مرداد ۱۴۰۰ می‌باشد. میزان CO، در مهر و آبان ۱۳۹۹ و مرداد ۱۴۰۰، تغییر محسوسی نسبت به روند تغییرات آن نداشته است اما در اردیبهشت ۱۴۰۰ روند افزایشی داشته است. میزان O_3، در مهر ۱۳۹۹، تغییر محسوسی نسبت به روند تغییرات آن نداشته است اما در آبان ۱۳۹۹ روند کاهشی و در اردیبهشت ۱۴۰۰و مرداد ۱۴۰۰، روند افزایشی داشته است. میزان NO ، در مهر و آبان۱۳۹۹، نسبت به میانگین کلی مقادیر NO و NO_2، روند افزایشی داشته است اما در تاریخ‌های اردیبهشت و مرداد ۱۴۰۰، روند کاهشی داشته است. میزان PM_{10} ، در مهر و آبان ۱۳۹۹ و مرداد ۱۴۰۰، نسبت به میانگین کلی مقادیر PM_{10} ، تغییر محسوسی نسبت به روند تغییرات آن نداشته است اما در اردیبهشت ۱۴۰۰ روند کاهشی داشته است. میزان $PM_{2.5}$، در مهر و آبان ۱۳۹۹، نسبت به میانگین کلی مقادیر $PM_{2.5}$، تغییر محسوسی نسبت به روند تغییرات آن نداشته است اما در تاریخ‌های اردیبهشت و مرداد ۱۴۰۰ روند کاهشی داشته است. میزان AQI ، در مهر و آبان ۱۳۹۹، نسبت به میانگین کلی مقادیر AQI ، روند افزایشی داشته است، اما در تاریخ‌های اردیبهشت و مرداد ۱۴۰۰، روند کاهشی داشته است.

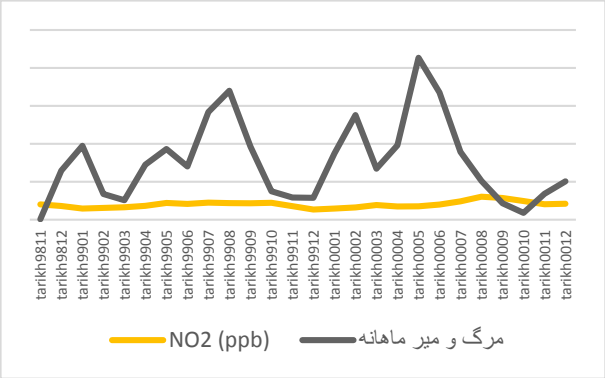
۴-۴-۷. تحلیل نتایج مورد ارزیابی

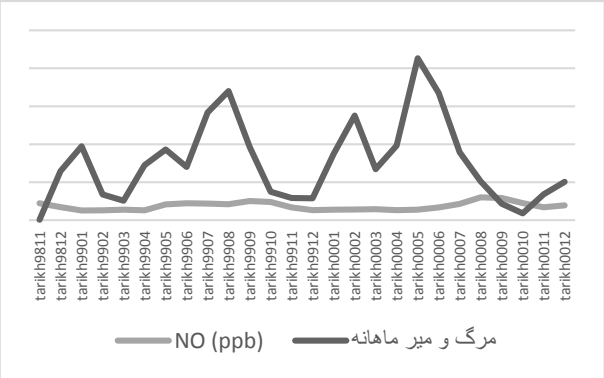
در سال ۲۰۱۹، یک ویروس کرونای جدید تحت عنوان کووید-۱۹ در ووهان چین شیوع پیدا نمود. این بیماری بر کشورهای همه قاره‌ها تأثیر گذاشت و از این رو توسط سازمان بهداشت جهانی[۳۶] به عنوان یک بیماری همه‌گیر اعلام شد. در ایران از بهمن ماه ۱۳۹۸، شیوع این بیماری دیده شد به گونه‌ای که شیوع این بیماری نه تنها در ایران بلکه در تمامی کشورهای جهان منجر به مرگ‌ومیر زیادی تا زمان کنترل شد. یکی از روش‌های مهار این بیماری، قرنطینه بود که انتظار می‌رفت تاثیر بسزایی در کاهش مرگ‌ومیر و همچنین کاهش آلودگی هوا داشته باشد. این مطالعه نتیجه تغییرات غلظت آلاینده‌های هوا در اثر محدودیت‌های ترافیک اعمال شده ناشی از کووید-۱۹ را در ده ایستگاه هواشناسی شهر تهران در طول دوره همه‌گیری کووید-۱۹ و همچنین روند تغییر غلظت آلاینده‌ها با میزان مرگ‌ومیر ناشی از همه‌گیری کووید-۱۹ را نشان داد. در بررسی میزان غلظت آلاینده‌ها در دوران کووید-۱۹ نسبت به دوران قبل از آن برای ایستگاه‌های تحت نظارت شهر تهران می‌توان گفت که در ایستگاه امام خمینی، آلاینده CO تغییری محسوسی نداشته، آلاینده‌های NO، NO_2، SO_2 و AQI کاهش و آلاینده‌های O_3، $PM_{2.5}$ و PM_{10} افزایش یافته‌اند. در ایستگاه آتی‌ساز، آلاینده SO_2 تغییری محسوسی نداشته، آلاینده‌های CO و NO روند کاهشی و آلاینده‌های O_3، NO_2، PM_{10}، $PM_{2.5}$ و AQI افزایش داشته‌اند. در پارک رازی، غلظت آلاینده‌ها تغییر محسوسی نشان ندادند. در پارک شکوفه، غلظت آلاینده‌های CO، O_3، NO، NO_2 و SO_2 تغییری محسوسی نداشته، غلظت آلاینده‌های PM_{10} و AQI کاهش و آلاینده $PM_{2.5}$ افزایش داشته‌اند. در ایستگاه چشمه، غلظت آلاینده SO_2 تغییری محسوسی نداشته، آلاینده‌های NO، $PM_{2.5}$ کاهش و آلاینده‌های CO، O_3، NO_2 و PM_{10} و AQI افزایش یافته‌اند. در ایستگاه دانشگاه تهران، غلظت آلاینده‌های CO و O_3 تغییری محسوسی نداشته، آلاینده‌های NO، NO_2، SO_2، PM_{10} روند کاهشی و آلاینده‌های $PM_{2.5}$ و AQI روند افزایشی را نشان داده‌اند.

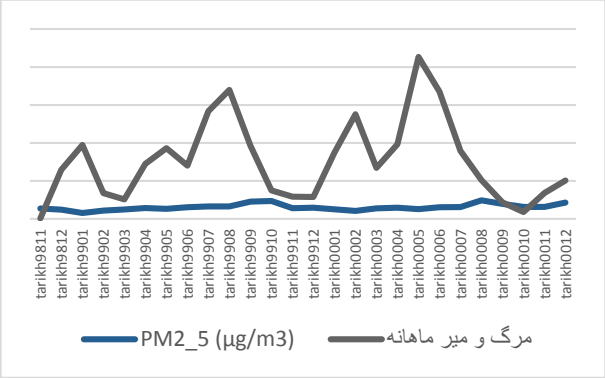
[36] World Health Organization (WHO)

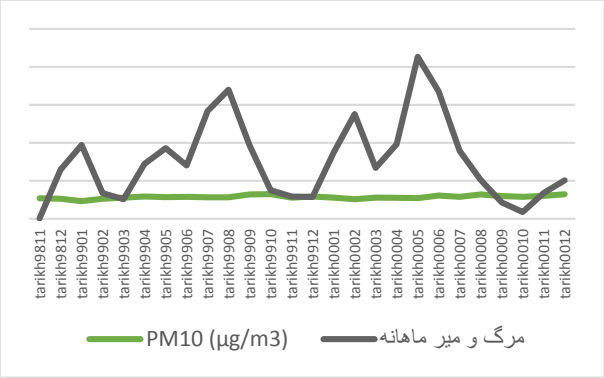


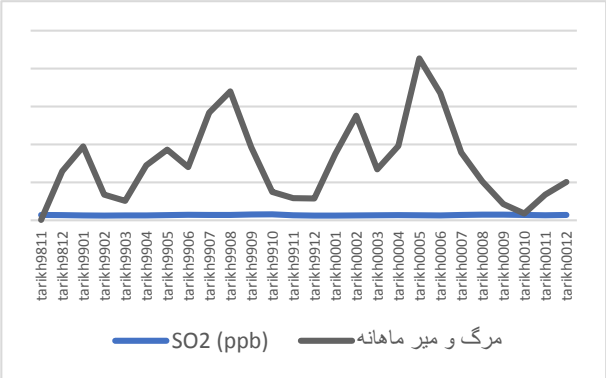












شکل (۳): بررسی میزان روند آلاینده های هوا با میزان مرگ و میر در زمان کووید-۱۹

در ایستگاه دانشگاه شهید بهشتی، آلاینده‌های CO، O_3، SO_2، PM_{10} کاهش و آلاینده‌های NO، NO_2، $PM_{2.5}$ و AQI افزایش یافته‌اند. در ایستگاه ژئوفیزیک، آلاینده‌های NO، NO_2، SO_2، PM_{10} و $PM_{2.5}$ کاهش و آلاینده‌های O_3 و AQI افزایش را نشان داده‌اند. در ایستگاه سلامت، غلظت آلاینده O_3 تغییری محسوسی نداشته، آلاینده‌های NO، NO_2 و PM_{10} کاهش و آلاینده‌هایCO، SO_2، $PM_{2.5}$ و AQI افزایش داشته‌اند. در ایستگاه علم و صنعت، غلظت آلاینده O_3 تغییر محسوسی نداشته، آلاینده‌های NO_2، $PM_{2.5}$ و AQI افزایش و آلاینده‌های CO، NO، SO_2 و PM_{10} کاهش داشته اند.

با بررسی غلظت آلاینده‌ها به تفکیک ایستگاه‌های تحت نظارت در شهر تهران می‌توان نتیجه گرفت که غلظت آلاینده‌ها در دوران کووید-۱۹ نسبت به قبل از آن، در بعضی از ایستگاه‌ها افزایشی و در بعضی از ایستگاه‌ها کاهشی می‌باشد. از آنجا که برای آلاینده‌ها، الگوی افزایشی و یا کاهشی یکسانی در تمامی ایستگاه‌ها دیده نمی‌شود پس می‌توان گفت که تاثیر محدودیت‌ها بر روی غلظت آلاینده‌ها در ایستگاه‌های مختلف، متفاوت می‌باشد.

علت این اختلاف می‌تواند عواملی نظیر وجود کارخانجات آلوده‌کننده محیط‌زیست در محدوده قرارگیری ایستگاه پایش، اختلاف تراکم جمعیتی در آن محدوده، میزان تردد وسایط نقلیه سبک و سنگین در منطقه ای که ایستگاه در آن قرار دارد، تعداد خانواری که در منطقه قرارگیری ایستگاه سکونت دارند (به دلیل میزان تولید و انتشار گازهای گلخانه ای)، مراکز اداری، تجاری و فروشگاه‌های بزرگ در محدوده ایستگاه، جهت وزش باد در منطقه قرارگیری ایستگاه و سایر موارد مشابه باشد.

بررسی‌ها نشان داد که در دوره قبل از کووید-۱۹، منطقه قرارگیری ایستگاه پارک شکوفه، آلوده‌ترین منطقه تهران می‌باشد به گونه‌ای که میانگین غلظت ثبت شده برای آلاینده‌های NO، NO_2، SO_2 و AQI در این ایستگاه از همه ایستگاه‌ها بالاتر می‌باشد. اما در دوره کووید-۱۹، روند تغییرات غلظت آلاینده‌ها تغییر کرده و بررسی‌ها نشان داد که در این دوره، منطقه قرارگیری ایستگاه پارک رازی با ثبت بالاترین غلظت میانگین برای آلاینده‌های CO، NO_2، SO_2 و AQI، آلوده‌ترین منطقه تهران می‌باشد. نکته مهم دیگر این است که ایستگاه سلامت، در هر دو دوره قبل از کووید-۱۹ و دوره کووید-۱۹، بالاترین غلظت آلاینده $PM_{2.5}$ را ثبت کرده است. این آلاینده یکی از خطرناکترین آلاینده‌ها بوده و ترکیبی از جامدات و مایعات مختلف مثل کربن، مواد شیمیایی آلی پیچیده، سولفات‌ها، نیترات‌ها، گرد و غبار معدنی و آب معلق در هوا است. بعضی از ذرات مانند گردوغبار، دوده و خاک، به اندازه ای بزرگ هستند که با چشم غیرمسلح هم دیده می‌شوند اما خطرناک ترین نوع این ذرات که بسیار کوچکتر هستند، ذرات $PM_{2.5}$ می‌باشد. این ذرات قطری کمتر از ۲,۵ میکرون داشته و به راحتی وارد جریان خون می‌شوند و خطرات بسیار زیادی برای سلامی به همراه دارد.

می‌توان گفت که اعمال محدودیت‌های ترافیکی در دوره همه گیری، تاثیر قابل توجه و محسوسی در کاهش غلظت آلاینده‌های هوای شهر تهران نداشته است به گونه ای که شاخص کیفیت هوا که سازمان حفاظت محیط‌زیست کشور، سطح اهمیت بهداشتی را با آن مورد سنجش قرار می‌دهد، در ۷۰ درصد ایستگاه‌های شهر تهران (ایستگاه‌های آتی ساز، چشمه، دانشگاه تهران، دانشگاه شهید بهشتی، ژئوفیزیک، سلامت و علم و صنعت) نه تنها کاهش نداشته بلکه افزایش یافته 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، نیروگاه-ها، وارونگی دما، مصارف خانگی و موارد مشابه می‌باشد. بنابراین اعمال محدودیت‌های ترافیکی در دوره همه‌گیری مشابه در شهر تهران، صرفاً می‌تواند به فاصله‌گذاری اجتماعی جهت کنترل انتقال بیماری کمک کند و بهبود قابل توجهی در غلظت آلاینده‌ها صورت نمی‌پذیرد.

کووید-۱۹ نه تنها با افزایش میزان مرگ‌ومیر، خانواده‌ها و دولت‌ها را تحت فشار قرار داد، بلکه اعمال محدودیت‌ها 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 این گونه 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 حمل و نقل و ترافیک شود.

با بررسی میزان روند مرگ‌ومیر در زمان کووید-۱۹ و مقایسه آن با روند تغییر غلظت‌ها در شهر تهران مشخص گردید که ارتباط معناداری بین آنها وجود نداشته و حتی در برخی از ماه‌هایی که اوج مرگ‌ومیر ناشی از همه گیری کووید-۱۹ می‌باشد، غلظت آلاینده‌ها کاهش یافته است و برعکس. به عنوان نمونه می‌توان گفت که با کاهش غلظت آلاینده PM_{10}، میزان مرگ‌ومیر افزایش یافته است. در این تحقیق، داده‌ها، چهار ماه را به عنوان اوج مرگ‌ومیر ناشی از همه‌گیری نشان دادند که عبارت بودند از مهر ۱۳۹۹، آبان ۱۳۹۹، اردیبهشت ۱۴۰۰و مرداد ۱۴۰۰. شاخص کیفیت هوا در مهر ماه و آبان ماه ۱۳۹۹ افزایشی و در اردیبهشت ماه و مرداد ماه ۱۴۰۰ کاهشی می‌باشد. البته در ماه‌های غیر از اوج مرگ‌ومیر نیز به همین منوال است. بنابراین می‌توان گفت ارتباط معناداری بین تغییر غلظت آلاینده و میزان مرگ‌ومیر وجود ندارد.

برای روش‌های یادگیری ماشین می‌توان گفت که مدل درخت تصمیم و مدل جنگل تصادفی، پیش‌بینی شاخص کیفیت هوا را به صورت ایده آل و نزدیک به یک نشان دادند. ضمنا پیش‌بینی با سایر روش‌های یادگیری ماشین : ماشین بردار پشتیبان، شبکه بیزین و شبکه عصبی پرسپترون، نتایج مطلوبی را داشتند ولی نسبت به مدل درخت تصمیم و مدل جنگل

تصادفی دقت کمتری داشتند . بنابراین از مدل درخت تصمیم و مدل جنگل تصادفی می‌توان برای پیش‌بینی کیفیت هوا در آینده استفاده نمود.

۵- نتیجه‌گیری

این تحقیق مدلی از تغییرات غلظت آلاینده‌ها با توجه به محدودیت‌های ترافیکی اعمال شده در دوره همه‌گیری کووید-۱۹ در ایستگاه تحت نظارت شهر تهران مبتنی بر روش‌های شاخص‌های آماری توصیفی و یادگیری ماشین را ارائه می‌کند. به منظور تجزیه و تحلیل تاثیر محدویت-های 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 آلاینده-ها به عنوان شاخص‌های اصلی شناسایی شدند که عبارتند از CO، O_3، NO_2، $PM_{2.5}$، PM_{10} 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 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 از ایستگاه-های تحت نظارت شهر تهران در زمان کووید-۱۹ نسبت به قبل از آن افزایشی بوده است. مقدار CO در ایستگاه‌های چشمه و سلامت و مفدار O_3 در ایستگاه‌های آتی ساز، امام خمینی، چشمه و ژئوفیزیک، افزایش یافته است. مقدار NO در ایستگاه دانشگاه شهید بهشتی و مقدار NO_2 در ایستگاه‌های آتی ساز، چشمه، دانشگاه شهید بهشتی و علم و صنعت افزایش یافته است. همچنین مقدار آلاینده SO_2 در ایستگاه سلامت افزایش یافته است. مقدار $PM_{2.5}$ در در ایستگاه‌های آتی ساز، امام خمینی، پارک شکوفه، دانشگاه تهران، دانشگاه شهید بهشتی، سلامت و علم و صنعت و مقدار PM_{10} در ایستگاه‌های آتی ساز، امام خمینی و چشمه افزایش یافته است. نهایتا مقدار AQI در ایستگاه‌های آتی ساز، چشمه، دانشگاه تهران، دانشگاه شهید بهشتی، سلامت، ژئوفیزیک و علم و صنعت افزایشی بوده است. به‌طورکلی می‌توان نتیجه گرفت که اعمال محدودیت های ترافیکی در دوره کووید-۱۹ بر روی سطوح غلظت آلاینده‌ها تاثیر چندانی نداشته است. همچنین از این تحقیق استنباط می‌شود که میانگین غلظت آلاینده‌ها، در تمامی ایستگاه‌ها 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 محدویت‌های ذکر شده، تدابیر دقیق‌تر و موثرتری در جهت کاهش غلظت تمام آلاینده‌ها و بهبود شاخص کیفیت هوای شهر تهران در نظر گرفته شود.

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

منابع و مأخذ

[1] González-Pardo, J., Ceballos-Santos, S., Manzanas, R., Santibáñez, M., Fernández-Olmo, I. (2022). **Estimating Changes in Air Pollutant Levels Due to COVID-19 Lockdown Measures Based on a Business-as-Usual Prediction Scenario Using Data Mining Models: A Case-Study for Urban Traffic Sites in Spain,** Sci Total Environ, 823, 153786-153797.

[2] 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, 1-10.

[3] Gualtieri.G, Lorenzo.B, Federico.C, Carolina.V, Alessandro.Z, Beniamino, G. (2020). **Quantifying Road Traffic Impact on Air Quality in Urban Areas: A Covid19-Induced Lockdown Analysis in Italy**, Environmental Pollution, 267, 1-10.

[4] Hay, N., Onwuzurike, O., Roy, S. P., McNamara, P., McNamara, M. L., 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.

[5] 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.

[6] Huangfu, P., Atkinson, R. (2020). **Long-Term Exposure to NO2 and O3 and All-Cause and Respiratory Mortality: a Systematic Review Andmeta-Analysis**, Environment International, 144, 105998-106006.

[7] Hudda, N., Simon, M.C., Patton, A.P., Durant, J.L. (2020). **Reductions in Traffic-Related Black Carbon and Ultrafine Particle Mumber Concentrations in an Urban Neighborhood during the COVID-19 Pandemic**, Science of The Total Environment, 742, 140930, 1-10.

[8] Hyman, S., Zhang, J., Andersen, Z.J., Cruickshank, S., Møller, P., Daras, K., Williams, R., Topping, D., Lim, Y.H. (2023). **Long-Term Exposure to Air Pollution and COVID-19 Severity: A Cohort Study in Greater Manchester**, United Kingdom, Environmental Pollution, 327, 1-9.

[9] Jerrett, M., Nau, C.L., Young, D.R., Butler, R.K., Batteate, C.h.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, 1-11.

[10] 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.

[11] Liu, J., Lipsitt, J., Jerrett, M., Zhu, Y. (2020), **Decreases in Near-Road NO and NO2 Concentrations during the COVID-19 Pandemic in California,** Environment Science Technology Letters, 8(2), 161–167.

[12] Liyin, Sh., Ochoa, J.J., Bao, H. (2003). **Strategies for Sustainable Urban Development-Addressing the Challenges of the 21st Century**, Buildings, 13(4), 847-869**.**

[13] 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, 1-4.

[14] 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.

[15] 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, 1-9.

[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.

[17] 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.

[18] 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, 1-16.