

بررسی و مدل سازی غلظت مونواکسید کربن، ازن و ذرات معلق کوچکتر از ۱۰ میکرون در هوای کرج با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی

الهام اسراری^{۱*}، ابوالفضل راک^۲

^۱ - دانشیار دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه پیام نور

^۲ - کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه پیام نور

* ایمیل نویسنده مسئول: e_asrari@pnu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۲۵

چکیده

آلودگی هوا یک چالش مهم برای زندگی در شهرهای بزرگ است و باعث افزایش مراجعات به مراکز درمانی و تعداد مرگ و میر سالمندان و مبتلایان به بیماری‌های قلبی و ریوی در مقاطعی از سال می‌شود. از این رو یافتن عوامل تاثیرگذار بر آلودگی هوای شهرها و دستیابی به مدلی معتبر برای پیش بینی کیفیت هوا اجتناب ناپذیر می‌نماید. در این تحقیق تاثیر متغیرهای هواشناسی همچون درجه حرارت، سرعت باد، رطوبت نسبی، بارش باران و ابرناکی، بر غلظت مونواکسید کربن، ازن سطحی و ذرات معلق کوچکتر از ۱۰ میکرون در کلان‌شهر کرج مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین مدل سازی توسط شبکه عصبی مصنوعی و با استفاده از مقادیر پارامترهای هواشناسی شهر کرج و غلظت آلاینده‌ها در سطح این شهر در دوره زمانی ۱۳۹۱ الی ۱۳۹۸ انجام شده و داده‌های مربوط به سال ۱۳۹۹ برای آزمایش مدل ساخته شده مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که قوی‌ترین همبستگی مونواکسید کربن به ترتیب با سرعت باد و دما به میزان $0/216$ و $0/146$ - است. بیشترین همبستگی ازن به ترتیب با رطوبت نسبی، ابرناکی و دما به مقدار $0/328$ -، $0/167$ - و $0/411$ - است. همچنین ذرات معلق به ترتیب با رطوبت نسبی، بارش و دما به اندازه $0/249$ -، $0/174$ - و $0/211$ - همبستگی دارد. ضریب همبستگی بین غلظت‌های واقعی و مقادیر پیش بینی شده توسط شبکه عصبی مصنوعی برای مونواکسید کربن، ازن و ذرات معلق به ترتیب برابر با $0/909$ ، $0/856$ و $0/854$ به دست آمده است.

کلمات کلیدی

"آلاینده‌های هوا"، "پارامترهای هواشناسی"، "شهر کرج"، "شبکه عصبی مصنوعی"

۱- مقدمه

اختصاص داده است. تردد تعداد زیادی خودرو در طول روز از محورهای مواصلاتی البرز نقش بسزایی در افزایش آلودگی کرج دارد. تمام خودروهای عبوری از محورهای مواصلاتی سوخت مصرف می‌کنند که برخی از آنها معاینه فنی ندارند و درصد زیادی هم از استانداردهای لازم برخوردار نیستند. همگی این عوامل باعث افزایش ذرات آلوده کننده هوا می‌شود. به علاوه، ذرات معلق ناشی از گرد و غبار بیابان‌ها و همچنین صنایع و معادن استان نیز از دیگر دلایل آلودگی هوا در روزهای گرم سال هستند. استان البرز واحدهای تولیدی و صنعتی زیادی را در خود جای داده است و فعالیت صنایع و معادن به تمام طول سال مربوط می‌شود و مختص بازه زمانی خاصی نیست. همه این واحدها نیز سوخت مصرف می‌کنند و ذرات آلاینده ناشی از این مصرف به هوا انتقال می‌یابد که همین امر باعث افزایش آلودگی هوا می‌شود (پایگاه خبری صدای ایران، ۱۳۹۷). با توجه به اهمیت موضوع آلودگی هوا و اثرات مهم آن بر زندگی جوامع بشری، تاکنون پژوهش‌های بسیار زیادی در ارتباط با موضوع آلودگی هوا توسط محققین و دانشمندان در سطح ملی و بین‌المللی صورت گرفته است و قوانین و مقررات زیادی جهت کنترل و کاهش انتشار آلاینده‌های هوا به تصویب رسیده است. اما برای دستیابی به یک سیستم مدیریتی جامع در زمینه آلودگی هوا نیاز است تا همه جوانب و ابزارهای آن بخوبی شناخته شوند و نقش این ابزارها در کل سیستم مدیریتی تعیین شود (اشرفی و احمدی ارکمی، ۱۳۹۳). لذا پیش بینی کیفیت هوا و تخمین غلظت آلاینده‌های شاخص در شهر کرج با هدف اطلاع رسانی به موقع و حفظ سلامت شهروندان و برنامه ریزی جهت اجرای تمهیدات لازم به

هوا پاک مایه شادمانی زندگی بشری است که نیاز به آن بیش از نیاز به غذا و آب می‌باشد. هوا یکی از پنج عنصر ضروری برای ادامه حیات انسان می‌باشد. هر فرد روزانه ۲۲۰۰۰ بار تنفس می‌کند و تقریباً به ۱۵ کیلوگرم هوا نیاز دارد. معمولاً انسان می‌تواند به مدت ۵ هفته بدون غذا و ۵ روز بدون آب زنده بماند، اما بدون هوا حتی ۵ دقیقه هم نمی‌تواند زنده بماند (اسراری، ۱۳۹۳). افزایش روزافزون جمعیت کره زمین در دهه‌های اخیر و تمایل افراد به داشتن رفاه بیشتر، منجر به مهاجرت روستائیان و ساکنین شهرهای کوچک و تراکم بسیار زیاد جمعیت در کلان‌شهرها شده است. این مساله موجب رشد و توسعه بافت مسکونی، مراکز تجاری و خدماتی، کارخانجات و مراکز تولیدی، موسسات آموزشی - فرهنگی و اماکن تفریحی شده است که پیامد آن افزایش ترافیک و مصرف بیشتر انرژی و در نهایت آلودگی هوا در محدوده بسیاری از شهرهای بزرگ در دنیا بوده است. شهر کرج و مناطق اطراف آن به دلیل برخورداری از آب و هوایی مطبوع و جاذبه‌های طبیعی در گذشته‌ای نه چندان دور به عنوان منطقه‌ای خوش آب و هوا شناخته شده بود، اما متأسفانه طی چند دهه گذشته شرایط این شهر به دلایل فوق و همچنین قرار گرفتن در مسیر تردد چندین استان کشور، تغییر پیدا کرده و اکنون به یکی از شهرهای آلوده تبدیل شده است. سهم منابع متحرک و ساکن در آلودگی هوای کرج به ترتیب ۶۲ و ۳۸ درصد است چرا که استان البرز شاهراه ارتباطی ۱۵ استان دیگر کشور می‌باشد و ۲۰ درصد ترافیک برون شهری کشور را به خود

مربوط به هر ایستگاه پس از پردازش، در سامانه پایش کیفی هوای کشور نیز قرار داده می‌شود. این سامانه تحت مدیریت دفتر پایش فراگیر آلودگی محیط زیست که زیر مجموعه معاونت محیط زیست انسانی سازمان حفاظت از محیط زیست است فعالیت می‌کند. در استان البرز مجموعاً ۵ ایستگاه سنجش کیفیت هوا وجود دارد که ۳ ایستگاه در محدوده شهر کرج و به ترتیب در فرهنگسرای کوثر، ایستگاه متروی کرج و دانشکده محیط زیست مستقر هستند و از ۲ ایستگاه دیگر موجود در این استان یکی در نظر آباد و دیگری در شهر جدید هشتگرد قرار دارند. قدیمی‌ترین ایستگاه سنجش کیفیت هوا در شهر کرج در ایستگاه متروی کرج قرار دارد که در تاریخ ۱۳۹۰/۱۰/۲۳ شروع به ثبت داده‌های کیفیت هوا نموده است و دو ایستگاه دیگر این شهر از تاریخ ۱۳۹۱/۸/۱ در حال فعالیت هستند. شکل ۱ موقعیت ایستگاه‌های پایش در شهرستان کرج را نشان می‌دهد. داده‌های مورد نیاز این تحقیق پس از دریافت از آرشیو دفتر پایش فراگیر آلودگی محیط زیست پردازش شده و غلظت‌های ۸ ساعته مونواکسید کربن به روش رولینگ اوربج، غلظت‌های ۱ ساعته ازن و غلظت‌های ۲۴ ساعته ذرات معلق کوچکتر از ۱۰ میکرون به دست آمده و مورد استفاده قرار گرفته است.



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های پایش کیفیت هوا در کرج

• داده‌های هواشناسی کرج

پارامترهای هواشناسی نقش بسیار مهم و تعیین کننده در کیفیت هوای یک منطقه دارند و در این تحقیق نحوه تاثیر این عوامل شامل دما، سرعت باد، رطوبت نسبی، بارش باران و ابرناکی بر کیفیت هوای شهر کرج مورد بررسی قرار خواهند گرفت. داده‌های مربوط به هر یک از پارامترهای هواشناسی توسط ایستگاه‌های سینوپتیک جمع‌آوری می‌شوند. ایستگاه سینوپتیک ایستگاهی است که در آن، عوامل مختلف جوی از قبیل دما (خشک و تر)، مقدار و نوع ابر، مقدار بارندگی، نوع پدیده جوی، سمت و سرعت باد، تبخیر، فشار، ساعت‌های آفتابی، نحوه تغییرات فشار، میزان تابش خورشید و سایر داده‌های هواشناسی براساس دستورالعمل‌های مشخص و در رأس ساعت‌های معین به طور همزمان در سراسر جهان اندازه‌گیری و توسط دستگاه‌های مخابراتی به مراکز هواشناسی در سراسر جهان مخابره می‌شود.

شکل موثر از سوی مسئولین ذیربط جهت کاهش و کنترل انتشار آلاینده‌های هوا از منابع مختلف ضرورت دارد. با توجه به نقش بسیار مهم عوامل هواشناسی در کیفیت هوا، بررسی و مدل سازی آلاینده‌هایی مانند مونواکسید کربن، ازن و ذرات معلق کوچکتر از ۱۰ میکرون در شهر کرج با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و بر اساس پارامترهای مذکور ابزاری است که می‌تواند در راستای رسیدن به اهداف مورد نظر مورد استفاده قرار گیرد.

۲- روش انجام تحقیق

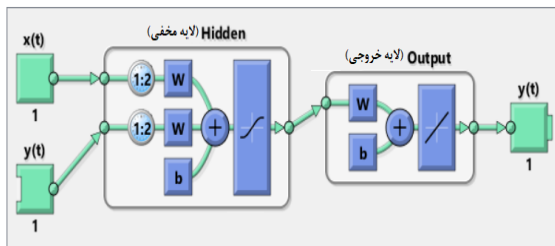
• خصوصیات جغرافیایی، اقلیمی و جمعیتی کرج

استان البرز با مساحت حدود ۵۱۲۱ کیلومتر مربع به عنوان کوچکترین استان ایران در محدوده جغرافیایی ۵۰ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۳۰ دقیقه طول شرقی و ۲۵ درجه و ۲۸ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۳۰ دقیقه عرض شمالی، در جنوب ارتفاعات البرز مرکزی واقع شده است. شهرستان کرج یکی از شهرستان‌ها و مرکز استان البرز است که در ۳۶ کیلومتری غرب تهران و در کرانه غربی رود کرج و در دامنه جنوبی رشته کوه البرز قرار دارد و جمعیت آن بالغ بر ۲,۴۱۳,۰۴۱ نفر می‌باشد. این شهرستان شامل دو بخش به نامهای بخش مرکزی و بخش آسارا است. بخش مرکزی کرج شامل سه دهستان گرم‌دره، محمدآباد، کمال‌آباد و پنج شهر از جمله کرج، ماهدشت، کمال شهر، محمد شهر و گرمدره است. بخش آسارا نیز شامل سه دهستان آدران، آسارا و نسا و شهر آسارا می‌باشد. این شهرستان از شمال به استان مازندران، از جنوب به شهرستان شهریار و استان مرکزی، از غرب به شهرستان ساوجبلاغ و استان قزوین و از شرق به شهرستان تهران محدود است. طبق بررسی‌های انجام شده بر روی آمار بلند مدت ایستگاه هواشناسی کرج، شهرستان کرج با بارندگی سالیانه ۲۴۷/۳ میلی‌متر، میانگین سالیانه دمای هوا ۱۴/۴ درجه سلسیوس که بیشینه و کمینه مطلق آن به ترتیب ۴۲ و ۲۰- درجه سلسیوس می‌باشد، میانگین رطوبت نسبی ۵۳ درصد و تبخیر سالانه ۲۱۸۴ میلی متر دارای اقلیم نیمه خشک با زمستان نسبتاً سرد و تابستان نسبتاً معتدل می‌باشد. سرعت متوسط باد روزانه ۲/۲ متر بر ثانیه و جهت غالب آن شمال غرب به جنوب شرق می‌باشد. میانگین سالیانه جمع ساعات آفتابی ۲۸۹۹ ساعت بدست آمده است. بررسی آمار و اطلاعات ماهانه و فصلی بارندگی شهرستان کرج نشان می‌دهد که از مجموع بارندگی سالانه مقدار ۱۷۲/۳ میلی‌متر (۶۹/۷ درصد) در نیمه اول سال زراعی (پائیز و زمستان) و میزان ۶۹/۹ میلی‌متر (۲۸/۲ درصد) در سه ماهه سوم (بهار) و ۵/۲ میلی‌متر (۲/۱ درصد) نیز در فصل تابستان توزیع می‌گردد. نمودار ماهیانه بارندگی کرج بیانگر آن است که بارندگی شهرستان از مهرماه شروع و تا اردیبهشت ماه ادامه می‌یابد و با شروع فصل بهار از مقدار ریزش‌های جوی کاسته شده و کمترین مقدار ماهیانه آن به ماههای تابستان اختصاص دارد. بررسی آمار و اطلاعات ماهانه و سالانه دمای شهرستان کرج همچنین گویای آن است که میانگین سالانه دما ۱۴/۴ درجه سلسیوس است و تیر ماه با میانگین (حداکثرها) ۳۴/۶ درجه سلسیوس، گرمترین ماه و بهمن ماه با میانگین (حداقلها) ۹/۲- درجه سلسیوس، سردترین ماه سال می‌باشد.

• اطلاعات مربوط به کیفیت هوای کرج

داده‌های کیفی هوای مناطق مختلف در سطح کشور توسط ایستگاه‌های سنجش آلودگی جمع‌آوری و ارائه می‌شوند و اطلاعات

زیرا ده‌ها الگوریتم وجود دارد که هر کدام از رویکرد خاصی برای آموزش ماشین بهره می‌برند و برای مقاصد مختلفی به کار می‌روند. به طور معمول حتی با تجربه‌ترین متخصصین در این زمینه هم برای انتخاب بهترین الگوریتم آموزش نیازمند انجام آزمون و خطا هستند. به هر حال انتخاب بهترین الگوریتم باید با در نظر گرفتن ویژگی‌های مختلف الگوریتم‌های آموزش از جمله سرعت، پیچیدگی و دقت آن‌ها و متناسب با نیاز انجام گیرد. به منظور پیش‌بینی غلظت آلاینده‌ها به روش رگرسیون غیرخطی توسط شبکه عصبی مصنوعی در فضای متلب R2020a از سری‌های زمانی متغیرهای پیش‌بینی $X(t)$ و متغیر پاسخ $Y(t)$ در گذشته به ترتیب به عنوان متغیر ورودی و متغیر هدف استفاده شده است. داده‌های مذکور از خارج از شبکه وارد می‌شوند و بازخورد مقایسه مقدار خروجی با مقدار هدف توسط خط تاخیر عرضی درون شبکه مجدداً به عنوان ورودی به شبکه اعمال خواهد شد که در شکل ۳ نمای شماتیک آن دیده می‌شود. این نوع شبکه اصطلاحاً به شبکه عصبی مصنوعی بازگشتی معروف است. همچنین به منظور تحلیل‌های آماری داده‌های تحقیق جهت تعیین ضرایب همبستگی بین متغیرها از نرم افزار SPSS Statistic 26 IBM استفاده شده است.



شکل ۳- نمایی از شبکه عصبی بازگشتی

۳- بررسی نتایج تحقیق

در بررسی کیفیت هوای کلان‌شهر کرج توجه به منابع مهم آلودگی هوای این شهر و پارامترهای هواشناسی به عنوان عوامل موثر بر کاهش یا افزایش کیفیت هوا ضرورت دارد. علاوه بر موارد فوق، نحوه توزیع مکانی و چگونگی تغییرات غلظت آلاینده‌ها نسبت به زمان (توزیع زمانی) نیز موضوعات مهم دیگری هستند که باید مد نظر قرار گیرند.

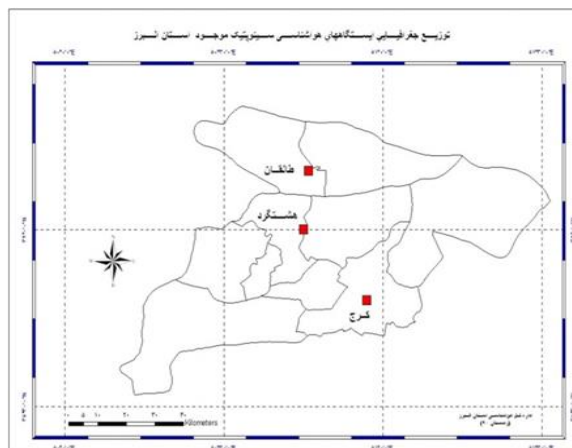
• توزیع زمانی آلاینده‌ها

بررسی میانگین ماهیانه غلظت آلاینده‌ها در سه ایستگاه پایش کیفیت هوای شهر کرج بیانگر آن است که بیشینه غلظت متوسط مونواکسید کربن ۸ ساعته در فصل سرد سال و مشخصاً در ماه بهمن به میزان $30/2 \text{ ppm}$ و کمینه آن در فصل گرم سال و در ماه شهریور و دارای مقداری برابر با $1/27 \text{ ppm}$ بوده است. حداکثر غلظت میانگین ماهیانه ازن ۱ ساعته در فصل گرما و در تیرماه، برابر با $0/27 \text{ ppm}$ و حداقل غلظت مربوط به ماه آبان به میزان $0/18 \text{ ppm}$ بوده است. همچنین حداکثر غلظت ۲۴ ساعته ذرات معلق کوچکتر از 10 میکرون در این شهر در تیر ماه و برابر با $75/23 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$ و حداقل غلظت مربوط به فروردین و برابر با $43/71 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$ بوده است.

• توزیع مکانی آلاینده‌ها

با بررسی میانگین غلظت‌های ۸ ساعته مونواکسید کربن، ۱ ساعته ازن و ۲۴ ساعته ذرات معلق کوچکتر از 10 میکرون در ایستگاه‌های مختلف شهر کرج و تحلیل‌های انجام گرفته به کمک نرم افزار

ایستگاه سینوپتیک اصلی استان البرز در شهر کرج مستقر می‌باشد. به علاوه یک ایستگاه سینوپتیک تکمیلی در طالقان و ایستگاه تکمیلی دیگری نیز در هشتگرد فعالیت دارند. داده‌های مورد استفاده در این تحقیق مربوط به ایستگاه سینوپتیک اصلی کرج می‌باشد که بصورت ساعتی کلیه اطلاعات جوی را جمع‌آوری و به مرکز سویچینگ کرج واقع در اداره کل هواشناسی البرز مخابره می‌کند. داده‌های به دست آمده از این ایستگاه به منظور تعیین میانگین عوامل مختلف جوی در سطح شهر کرج و برای مدل‌سازی مورد استفاده قرار خواهند گرفت. شکل ۲ محل استقرار ایستگاه‌های سینوپتیک در استان البرز را نشان می‌دهد.



شکل ۲- محل استقرار ایستگاه‌های سینوپتیک در استان البرز

• شبکه عصبی مصنوعی

شبکه عصبی مصنوعی مجموعه‌ای است از تعداد زیادی واحد عصبی با ارتباط داخلی وسیع بین آن‌ها که به منظور پردازش داده‌ها و با الگو برداری از شبکه عصبی بیولوژیکی شبیه به مغز انسان مورد استفاده قرار می‌گیرد. پیشرفت گسترده در حوزه فن‌آوری اطلاعات و ساخت رایانه‌هایی با قابلیت پردازش بسیار سریع داده‌ها، استنتاج نتایج مورد نیاز در جهت حل و فصل مسائل سخت و پیچیده را توسط شبکه‌های عصبی مصنوعی برای بشر آسان کرده است. بنابراین کاربرد این روش در جنبه‌های مختلف زندگی افزایش یافته است. شبکه عصبی مصنوعی از عناصر ساده‌ای که بصورت موازی کار می‌کنند تشکیل یافته است. همانگونه که در شبکه عصبی طبیعی، عملکرد شبکه تا حد بسیار زیادی تحت تاثیر ارتباط بین عناصر است، در شبکه عصبی مصنوعی هم با تنظیم ارتباط بین عناصر عملکرد می‌توان شبکه را برای رسیدن به هدف خاصی تنظیم کرد (تقوی، ۱۳۹۱). نرم افزار متلب این امکان را فراهم نموده است تا رایانه قادر باشد مانند حالت طبیعی انسان که در مواجهه با هر پدیده و با تداعی تجارب قبلی از بروز آن برای وی به وقوع می‌پیوندد، پاسخی متناسب را بیان کند. در الگوریتم‌های آموزش ماشین، کامپیوتر با استفاده از روش‌های محاسباتی، اطلاعات مختلف را مستقیماً و بدون اتکاء به هرگونه معادله یا مدل از پیش تعریف شده فرا می‌گیرد. در این نوع آموزش، با افزایش نمونه‌های مورد استفاده عملکرد الگوریتم‌های آموزش ماشین نیز بصورت تطبیقی افزایش می‌یابد. انتخاب بهترین الگوریتم آموزش معمولاً کار ساده‌ای نیست

خصوصاً از ۱ ساعت در دو ایستگاه فرهنگ سرا و دانشکده محیط زیست تنها یک مورد از مشاهدات مقادیری بیش از غلظت فوق‌الذکر بوده است و در ایستگاه مترو هیچ موردی فراتر از حد مجاز مشاهده نشده است. در ارتباط با ذرات معلق کوچکتر از ۱۰ میکرون شرایط متفاوت است و اگرچه حد مجاز این آلاینده از $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ در استاندارد هوای پاک ۱۳۸۸ به $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ در استاندارد سال ۱۳۹۵ افزایش پیدا کرده است لیکن همچنان غلظت این آلاینده در مناطق مختلف شهر کرج بویژه در ایستگاه مترو نسبت به دو آلاینده دیگر بیشتر است.

SPSS شاخص‌های آماری مربوط به غلظت آلاینده‌های فوق‌الذکر در ایستگاه‌های مختلف این شهر با توجه به استاندارد هوای پاک ایران مصوب ۱۳۹۵ محاسبه و در جدول ۱ نشان داده شده است. شایان ذکر است که در استاندارد فوق حد مجاز میانگین غلظت مونواکسید کربن، ازن و ذرات معلق کوچکتر از ۱۰ میکرون به ترتیب 9 ppm ، 0.125 و $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ تعیین شده است. همان‌گونه در جدول ۱ دیده می‌شود، در ایستگاه فرهنگ سرا ۱۰۰ درصد غلظت‌های ثبت شده کم‌تر از استاندارد ۸ ساعته و در دو ایستگاه مترو و دانشکده محیط زیست نیز به ترتیب ۹۹/۹۷ و ۹۹/۹۹ درصد کم‌تر از حداکثر حد مجاز هستند. در

جدول ۱- اطلاعات آماری توزیع مکانی آلاینده‌های هوا در شهر کرج

نام ایستگاه	شاخص		آلاینده
	فرهنگ سرا	مترو	
۱/۸۸۷۱	۲/۰۵۸۸	۱/۷۴۴۷	میانگین (PPM)
۰/۰۳۶	۰/۰۹۶۲	۰/۱۳۰۰	کم‌ترین مقدار ثبت شده (PPM)
۹/۱۷۶۲	۷/۱۱۰۰	۱۱/۷۴۰۰	بیش‌ترین مقدار ثبت شده (PPM)
۹۹/۹۹	۱۰۰	۹۹/۹۷	درصد فراوانی تجمعی مشاهدات کم‌تر از حد استاندارد
۰/۰۳۴۰۱	۰/۰۱۹۴	۰/۰۱۵۴۴	میانگین (PPM)
۰/۰۰۳۳۵	۰/۰۰۰۲۷	۰/۰۰۰۴۰	کم‌ترین مقدار ثبت شده (PPM)
۰/۱۳۶۶۵	۰/۱۳۲۱۰	۰/۱۰۶۴۰	بیش‌ترین مقدار ثبت شده (PPM)
۱۰۰	۹۹/۹۹۶	۱۰۰	درصد فراوانی تجمعی مشاهدات کم‌تر از حد استاندارد
۵۵/۵۴۴۷	۶۱/۴۹۴۹	۷۶/۳۷۳۳	میانگین ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
۹/۰۷	۷/۱۴	۲۶/۶۳	کم‌ترین مقدار ثبت شده ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
۵۰۰/۶۱	۲۱۰/۴۲	۱۸۸/۵۷	بیش‌ترین مقدار ثبت شده ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
۹۹/۲	۹۹	۹۷/۵	درصد فراوانی تجمعی مشاهدات کم‌تر از حد استاندارد

با رطوبت نسبی و ابرناکی همبستگی مثبت معنی دار اما بسیار ضعیفی دارد. مونواکسید کربن اگر چه با بارش همبستگی مثبت بسیار ناچیزی دارد لیکن این همبستگی اندک معنی دار نیست. ازن بیشترین همبستگی منفی را با رطوبت نسبی دارد و با ابرناکی نیز همبستگی منفی ضعیفی دارد. ضمناً همبستگی این آلاینده با بارش نیز منفی و بسیار ضعیف است. این آلاینده همبستگی مثبت و معنی داری با دما و همبستگی مثبت ضعیفی نیز با سرعت باد دارد.

• مدل سازی آلاینده‌های هوا در کرج

به منظور تعیین کیفیت ارتباط بین هر یک از آلاینده‌ها با پارامترهای هواشناسی شامل دما، رطوبت نسبی، بارش باران، ابرناکی و سرعت باد ابتدا ضریب همبستگی بین پارامترهای مذکور با هر یک از آلاینده‌ها توسط نرم افزار SPSS محاسبه شده است که نتایج آن در جدول ۲ مشاهده می‌شوند. همانطور که دیده می‌شود، مونواکسید کربن به ترتیب با باد و دما همبستگی منفی دارد. ضمناً این آلاینده

جدول ۲- ضریب همبستگی و مقدار پی آلاینده‌های هوا با پارامترهای هواشناسی

ذرات معلق	ازن	مونواکسید کربن	پارامتر هواشناسی
-۰/۱۰۰	-۰/۱۶۷	۰/۰۵۷	ابرناکی (Octa)
۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۴	
-۰/۰۶۴	۰/۱۸۵	-۰/۲۱۶	باد (m/s)
۰/۰۰۳	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	
۰/۲۱۱	۰/۴۱۰	-۰/۱۴۶	دما (°C)
۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	
-۰/۲۴۹	-۰/۳۲۸	۰/۰۷۸	رطوبت نسبی (%)
۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	
-۰/۱۷۴	-۰/۱۱۲	۰/۰۱۸	بارش (mm)
۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۱۹۶	

مقدار پی در سطح ۰/۰۵ (۵ درصد) معنی دار است.

مشاهدات ذرات معلق کوچکتر از ۱۰ میکرون استفاده از ۹۰ درصد کل مشاهدات این آلاینده برای آموزش شبکه بهترین ضریب تعیین (R^2) را حاصل نمود. میانگین مربعات خطا بودن آن نسبت به مجموع مربعات پیش بینی نشان دهنده دقت بالاتر مدل است برای اعتبار سنجی مدل‌ها در نظر گرفته شده است و بر این اساس ۱۰ درصد از کل مشاهدات برای هر یک از مدل‌های مربوط به مونواکسید کربن و ازن و ۵ درصد از کل مشاهدات برای مدل مربوط به ذرات معلق به عنوان ورودی به مدل مورد استفاده قرار گرفته است. برای آزمون هر یک از مدل‌ها نیز مشابه با اعتبار سنجی مدل‌ها عمل شده است.

در خصوص ذرات معلق بیشترین همبستگی منفی بین این آلاینده با رطوبت نسبی وجود دارد. همچنین بین بارش باران و این آلاینده همبستگی منفی نسبتاً ضعیفی مشاهده می‌شود اما همبستگی این آلاینده با ابرناکی و باد بسیار ضعیف است. این آلاینده از میان پارامترهای هواشناسی فوق‌الذکر تنها با دما همبستگی مثبتی نشان می‌دهد. پس از تعیین ضرایب همبستگی، مدل‌سازی در شبکه عصبی مصنوعی انجام گرفت و جدول‌های شماره ۳ و ۴ به ترتیب ساختمان شبکه عصبی مصنوعی به کار گرفته شده در پیش‌بینی غلظت هر یک از آلاینده‌ها و عملکرد هر شبکه را در مراحل مختلف از جمله آموزش، اعتبار سنجی و آزمون نشان می‌دهند. شایان ذکر است که آموزش شبکه عصبی برای دو آلاینده مونواکسید کربن و ازن با استفاده از ۸۰ درصد مشاهدات منجر به حصول بهترین عملکرد مدل‌های مربوط به آن‌ها گردید لیکن، با توجه به تعداد

جدول ۳- مشخصات شبکه عصبی مصنوعی

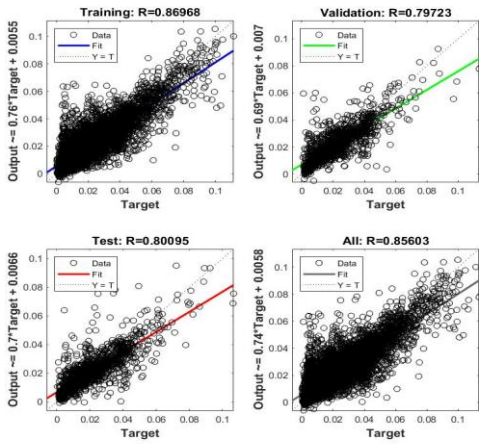
نوع آلاینده			مشخصات شبکه عصبی و اجزای آن
ذرات معلق PM ₁₀	ازن	مونواکسید کربن	
دو لایه	دو لایه	دو لایه	نوع شبکه
۴	۴	۴	تعداد تاخیرها در ورودی
۲۰۰	۲۰۰	۲۱۰	تعداد نرون‌ها در لایه مخفی
سیگموئید	سیگموئید	سیگموئید	تابع انتقال
۰/۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	نرخ یادگیری
Levenberg Marquardt			الگوریتم آموزش
۱۳	۱۵	۱۴	دوره یادگیری

جدول ۴- مدل شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی غلظت آلاینده‌ها

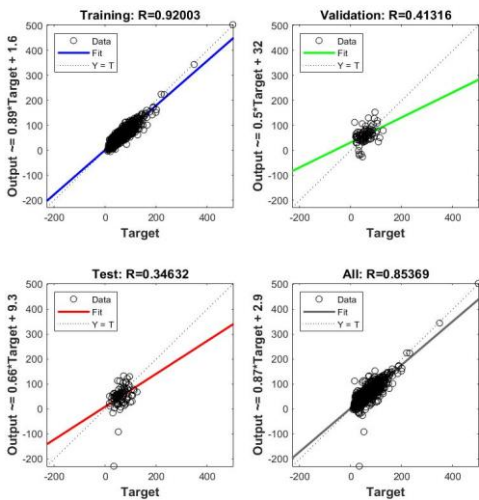
نوع آلاینده			شاخص
ذرات معلق PM ₁₀	ازن	مونواکسید کربن	
۱۶۶۵ مورد	۱۰۵۴۸ مورد	۸۷۸۵ مورد	تعداد مشاهدات مورد استفاده در آموزش
۹/۲۰۰*۱-۱۰	۸/۶۹۶*۱-۱۰	۹/۳۷۹*۱-۱۰	ضریب همبستگی در آموزش (R)
۰/۸۴۶	۰/۷۵۶	۰/۸۷۹	ضریب تعیین آموزش (R ²)
۱۶۸/۱۹۱	۵/۷۸۹*۵-۱۰	۸/۹۰۸*۲-۱۰	میانگین مربعات خطا در آموزش (MSE)
۹۳ مورد	۱۳۱۸ مورد	۱۰۹۸ مورد	تعداد مشاهدات مورد استفاده در اعتبار سنجی
۸۸۷/۳۰۵	۸/۱۲۳*۵-۱۰	۲/۸۹۸*۱-۱۰	میانگین مربعات خطا در اعتبار سنجی (MSE)
۹۳ مورد	۱۳۱۸ مورد	۱۰۹۸ مورد	تعداد مشاهدات مورد استفاده در آزمون
۱۸۸۴/۱۴۸۹	۸/۵۵۳*۵-۱۰	۲/۷۰۴*۱-۱۰	میانگین مربعات خطا در آزمون (MSE)

ساعتی پارامترهای هواشناسی شامل درجه حرارت، سرعت باد، رطوبت نسبی و ابرناکی و مقادیر غلظت‌های متوسط ۱ ساعته ازن برای سه ایستگاه بهره برداری شده است. به منظور ساخت مدل شبکه عصبی مصنوعی برای ذرات معلق نیز از مقادیر ۲۴ ساعته پارامترهای هواشناسی شامل رطوبت نسبی، بارش، سرعت باد، ابرناکی با توجه به همبستگی این پارامترها با آلاینده مورد نظر و میانگین غلظت‌های ۲۴ ساعته ذرات معلق PM₁₀ برای سه ایستگاه استفاده شده است. شکل‌های ۴ تا ۶ ضرایب همبستگی بین مقادیر

برای ساخت مدل مربوط به مونواکسید کربن از مقادیر متوسط ۸ ساعته مونواکسید کربن در سه ایستگاه کرج استفاده شده است. همچنین انتخاب پارامترهای هواشناسی برای استفاده در مدل با توجه به ضرایب همبستگی بین این آلاینده با پارامترهای هواشناسی مندرج در جدول شماره ۲ صورت گرفت و مقادیر ساعتی پارامترهای هواشناسی شامل رطوبت نسبی، درجه حرارت، ابرناکی و سرعت باد در مدل‌سازی مورد استفاده قرار گرفت. در ساخت مدل شبکه عصبی مصنوعی برای ازن با توجه به جدول شماره ۲ از مقادیر

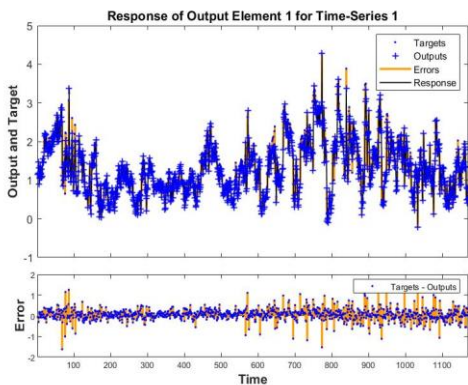


شکل ۵- ضرایب همبستگی در شبکه عصبی ازن



شکل ۶- ضرایب همبستگی در شبکه عصبی ذرات معلق

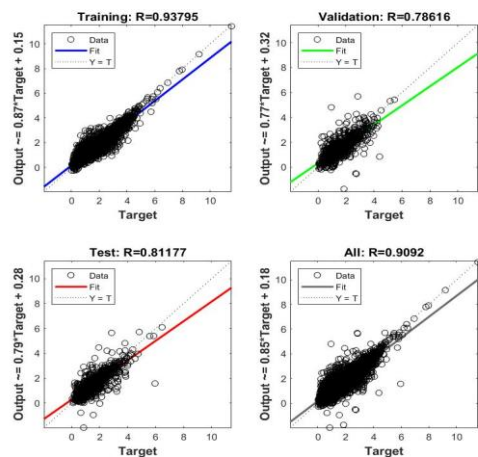
با توجه به سه اصل فوق‌الذکر و با استفاده از میانگین مربعات خطا، تعداد موارد پیش‌بینی و مجذور کردن ضریب همبستگی R در هر مدل، اطلاعات مورد نیاز در جدول فوق برای هر یک از آلاینده‌ها محاسبه و منظور شده است.



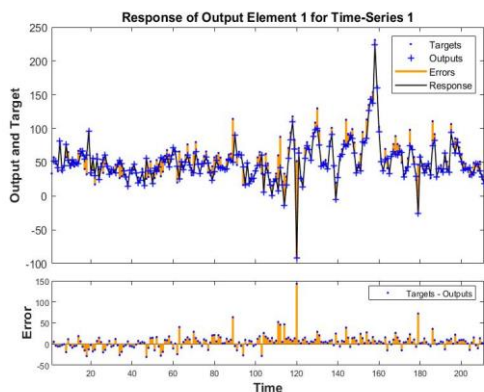
شکل ۷- مقایسه مقادیر پاسخ، خطا و پیش‌بینی مونواکسید کربن

پیش‌بینی شده توسط مدل با مقادیر واقعی را برای مراحل آموزش، اعتبار‌سنجی، آزمون و ضریب همبستگی متوسط کلیه مراحل برای هر سه مدل شبکه عصبی مصنوعی نشان می‌دهند. همانگونه که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، متوسط ضریب همبستگی بین مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل (Output) و مقادیر واقعی (Target) برای مونواکسید کربن به میزان $0.92003/0.86968$ بوده است. همچنین با مراجعه به شکل ۵ مشاهده می‌شود که ضریب همبستگی بین مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل شبکه عصبی با مقادیر واقعی مشاهده شده برابر با $0.85603/0.80095$ می‌باشد. با توجه به شکل شماره ۶ دیده می‌شود که ضریب همبستگی بین مقادیر پیش‌بینی توسط مدل با مقادیر واقعی مشاهده شده برای همه مراحل در شبکه عصبی مصنوعی ذرات معلق کوچکتر از 10 میکرون به طور متوسط $0.85369/0.34632$ بوده است. اگر چه ضرایب همبستگی برای سه مدل فوق‌الذکر با یکدیگر متفاوت هستند لیکن ضرایب همبستگی بالای 0.85 برای هر سه مدل دقت بالای شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی غلظت آلاینده‌ها را نشان می‌دهند. شکل‌های ۷ تا ۹ نمودار مقایسه بین مقادیر پاسخ، خطا و پیش‌بینی توسط شبکه عصبی برای هر سه آلاینده را نشان می‌دهند. ضمناً جدول شماره ۵ خلاصه‌ای از عملکرد شبکه عصبی شامل مقادیر مربوط به مجموع مربعات پیش‌بینی، مجموع مربعات خطا، مجموع کل مربعات، ضرایب تعیین (R^2) و درصد خطا را برای هر آلاینده نشان می‌دهد. یادآوری می‌شود که:

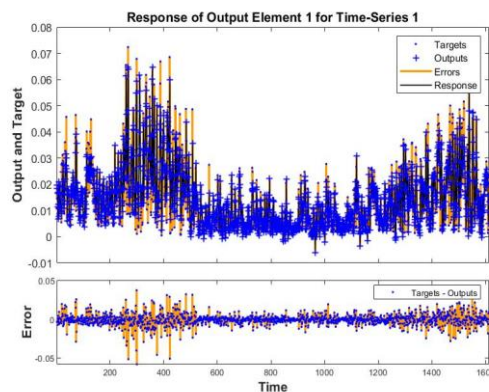
- مجموع مربعات خطا برابر است با حاصل ضرب میانگین مربعات خطا (MSE) در تعداد موارد پیش‌بینی.
- ضریب تعیین یا (R^2) برابر است با مجموع مربعات پیش‌بینی بخش بر مجموع کل مربعات.
- درصد خطا برابر است با $(1 - R^2)$ یا مجموع مربعات خطا بخش بر مجموع کل مربعات.



شکل ۸- ضرایب همبستگی در شبکه عصبی مونواکسید کربن



شکل ۹- مقایسه مقادیر پاسخ، خطا و پیش‌بینی ذرات معلق



شکل ۸- مقایسه مقادیر پاسخ، خطا و پیش‌بینی ازن

بهبتر دقت شبکه برای پیش‌بینی غلظت آلاینده‌ها به ترتیب ۸۳/۳ و ۹۳ و ۷۴/۷ درصد بوده است.

همانطور که در جدول شماره ۵ دیده می‌شود، درصد خطا در پیش‌بینی مونواکسید کربن، ازن و ذرات معلق توسط مدل شبکه عصبی مصنوعی برای به ترتیب ۱۶/۷، ۷ و ۲۵/۳ درصد است و یا به عبارت

جدول شماره ۵- خلاصه عملکرد مدل شبکه عصبی مصنوعی برای سه آلاینده هوا در شهر کرج

درصد خطا	R ²	مجموع مربعات خطا	مجموع مربعات کل	مجموع مربعات پیش‌بینی	آلاینده
۱۶/۷	۰/۸۳۳	۱۳۹۵/۶۴۷	۸۲۳۹/۰۳۲	۶۸۷۰/۰۸۵	مونواکسید کربن ppm
۷	۰/۹۳۰	۰/۲۱۹	۳/۱۱۷	۲/۸۹۸	ازن ppm
۲۵/۳	۰/۷۴۷	۵۳۷۸۱۴/۸۵۷	۲۱۲۱۸۱۰/۰۹۶	۱۵۸۳۹۹۵/۲۳۹	ذرات معلق μg/m ³

با تعیین ضریب همبستگی بین آلاینده‌های هوا دریافتند که بیشترین و کم‌ترین غلظت مونواکسید کربن به ترتیب در فصول زمستان و تابستان اتفاق می‌افتد و مونواکسید کربن دارای همبستگی قوی با درجه حرارت است. (Kayes et al, 2019) با استفاده از ضریب همبستگی رابطه بین آلاینده‌ها و عوامل هواشناسی نشان دادند که مونواکسید کربن در محدوده زمانی و مکانی تحقیق فوق با درجه حرارت همبستگی منفی دارند در حالی که شدت و ضعف این همبستگی در زمان‌های مختلف متفاوت است. همچنین تحقیقات (مسعودی و همکاران، ۲۰۲۰) تحت عنوان وضعیت مونواکسید کربن به عنوان آلاینده هوا و پیش‌بینی غلظت آن با استفاده از پارامترهای هواشناسی در تهران نشان می‌دهد که متوسط غلظت ۲۴ ساعته مونواکسید کربن که از چهار نقطه مختلف در تهران به دست آمده است دارای بیشترین غلظت در ماه‌ها و فصول سرد سال مانند ژانویه و پائیز و کم‌ترین غلظت در ماه‌ها و فصول گرم سال مانند جولای و تابستان بوده است که بیانگر همبستگی منفی این آلاینده با دما می‌باشد. (Clemensis Johnson, 2021) در مقاله‌ای تحت عنوان مطالعه همبستگی بین شش عامل اصلی آلاینده هوا و پارامترهای هواشناسی در استان جیانگسو چین، به وجود بیشترین همبستگی منفی بین غلظت مونواکسید کربن و درجه حرارت در فصول مختلف اشاره دارد. در خصوص ازن با مراجعه به جدول ۲ دیده می‌شود که این آلاینده بیشترین همبستگی منفی را با رطوبت نسبی (۰/۳۲۸-) و با ابرناکی نیز همبستگی منفی ضعیفی (۰/۱۶۷-) دارد. ضمناً همبستگی این آلاینده با بارش نیز بسیار ضعیف (۰/۱۱۲-)

۵- نتیجه‌گیری

بر اساس ضرایب همبستگی مندرج در جدول شماره ۲ مشاهده می‌شود که غلظت متوسط ۸ ساعته مونواکسید کربن بیشترین همبستگی منفی را به ترتیب با باد و دما و به میزان ۰/۲۱۶- و ۰/۱۴۶- دارد. ضمناً این آلاینده با رطوبت نسبی و ابرناکی همبستگی مثبت معنی دار اما بسیار ضعیفی به ترتیب به مقدار ۰/۰۷۸ و ۰/۰۵۷ دارد. به علاوه مونواکسید کربن اگر چه با بارش همبستگی مثبت بسیار ناچیزی دارد لیکن این همبستگی اندک حتی معنی دار نیست. ضمناً حداکثر غلظت مونواکسید کربن در ماه‌های سرد سال یعنی آبان، آذر و دی و کمترین غلظت آن در خرداد و تیر ماه که ماه‌های گرم سال هستند اتفاق افتاده است. نتایج تحقیقات مختلف انجام شده نیز به طرق مختلفی این نتایج را تأیید می‌کنند. مثلاً (سلیقه و کاخکی مهنه، ۱۳۹۴) در پژوهش خود چنین ارزیابی نمودند که از میان عوامل جوی موثر بر غلظت مونواکسید کربن، باد و رطوبت نسبی بیشترین تاثیر را داشته‌اند. و یا (فرهادی و همکاران، ۱۳۹۸) در تحقیقات خود نشان دادند که بیشترین ضریب همبستگی برای آلاینده مونواکسید کربن با حداقل درجه حرارت و کم‌ترین ضریب همبستگی آن با حداکثر درجه حرارت بوده است. همچنین (فرهادی و همکاران، ۱۳۹۹) در تحقیقات دیگری پی بردند که از میان متغیرهای هواشناسی، کاهش درجه حرارت بیشترین ضریب همبستگی را با مونواکسید کربن دارد. به این معنی که غلظت مونواکسید کربن با کاهش درجه حرارت افزایش و غلظت ذرات معلق با افزایش درجه حرارت افزایش پیدا می‌کند. به صورت مشابه (Rui et al, 2019)

ارتباط معنی داری بین غلظت این آلاینده با پایداری هوا وجود دارد. (فرهادی و همکاران، ۱۳۹۸) با انجام مطالعه موردی در شهرستان بیرجند، نشان داند که بیشترین ضریب همبستگی برای ذرات معلق کوچکتر از ۱۰ میکرون با سرعت باد و کمترین ضریب همبستگی با فشار هوا به دست آمد. (فرهادی و همکاران، ۱۳۹۹) در تحقیقات خود پی بردند که از میان متغیرهای هواشناسی، افزایش درجه حرارت بیشترین ضریب همبستگی را با ذرات معلق کوچکتر از ۱۰ میکرون دارد. به این معنی که غلظت ذرات معلق با افزایش درجه حرارت افزایش پیدا می‌کند (Giri et al, 2008) در تحقیقات خود دریافتند که رطوبت نسبی و بارش باران دارای ضریب همبستگی منفی قوی با غلظت ذرات معلق هستند. (مسعودی و همکاران، ۲۰۱۶) در تحقیق خود چنین نتیجه گیری کردند که اولاً بین غلظت سایر آلاینده‌های هوا با غلظت PM₁₀ ارتباط معنی داری وجود دارد. به علاوه بالاترین غلظت ذرات معلق در ماه آگوست (۱۰ مرداد تا ۱۰ شهریور) از فصل تابستان و کمترین غلظت در ماه اکتبر (۱۰ مهر تا ۱۰ آبان) در پاییز اتفاق می‌افتد. ضمناً بین بارش باران، نقطه شبنم، سرعت باد و طول ساعات آفتابی و غلظت ذرات همبستگی معنی داری وجود دارد. (Rui et al, 2019) دریافتند که بیشترین کمترین غلظت ذرات معلق PM₁₀ به ترتیب در فصول تابستان و زمستان اتفاق می‌افتد و علاوه بر آن ذرات معلق همبستگی قوی با بارش، درجه حرارت و سرعت باد دارند. (Yanusı et al, 2020) نشان دادند که بین غلظت ذرات معلق با رطوبت نسبی و بارش همبستگی منفی وجود دارد. ضمناً تغییرات ماهیانه متوسط غلظت‌های ۲۴ ساعته این آلاینده در سه ایستگاه پایش کیفیت کرج در ماه‌های تیر و فروردین به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار را به خود اختصاص می‌دهد. نکته دیگر اینکه با توجه به درصد قابل قبول خطای شبکه عصبی مصنوعی در پیش بینی غلظت آلاینده‌ها میتوان گفت که این تکنیک مدل مناسبی را جهت پیش بینی کیفیت هوا در شهر کرج در اختیار مسئولین و مدیران شهر می‌گذارد. هر چند باید این نکته توجه داشت که قابلیت شبکه عصبی در پیش بینی کیفیت هوای شهر کرج برای آلاینده‌های مختلف یکسان نیست و از این حیث می‌توان گفت پیش بینی ازن با این نوع شبکه حداکثر قابلیت اطمینان به میزان ۹۳ درصد را دارد و پس از آن مونواکسید کربن و ذرات معلق به ترتیب با دقت ۸۳ و ۷۵ درصد رتبه های بعدی را به خود اختصاص می‌دهد.

است. این آلاینده همبستگی مثبت و معنی داری (۰/۴۱) با دما دارد و همبستگی مثبت ضعیفی (۰/۱۸۵) نیز با سرعت باد دارد که با یافته‌های اکثر دیگر تحقیقات انجام شده همخوانی دارد. به عنوان نمونه تحقیقات (صدرموسوی و رحیمی، ۱۳۸۸) نشان داد همانطور که انتظار می‌رود، افزایش درجه حرارت هوا در افزایش غلظت ازن بیشترین تاثیر را دارد. و با (فرهادی و همکاران، ۱۳۹۸) نشان دادند که آلاینده ازن بیشترین ضریب همبستگی را با حداکثر درجه حرارت دارد. (مسعودی و همکاران، ۲۰۱۴) تغییرات غلظت ازن را برای سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۰۸ در شهر تهران بررسی نمودند. آن‌ها با در نظر گرفتن میانگین غلظت این آلاینده در ۳ نقطه از شهر تهران و تحلیل‌های آماری دریافتند که بین برخی از پارامترهای هواشناسی و غلظت ازن ارتباط معنی داری وجود دارد آنچنانکه بیشترین غلظت در فصول گرم و شهریورماه و کمترین غلظت در فصول سرد و دی‌ماه اتفاق می‌افتد که با یافته‌های این تحقیق همخوانی دارد. همچنین (Kliengchuay et al, 2018) در تحقیق خود دریافتند که غلظت ازن همبستگی معنی داری از یک سو با رطوبت نسبی و از سوی دیگر با غلظت ذرات معلق دارد. یا بصورت مشابه (Yanusı et al, 2020) نشان دادند که بین اکثر آلاینده‌ها با رطوبت نسبی و بارش همبستگی منفی وجود دارد. بطور مشابه (Clemensis Johnson, 2021) نشان داده است که غلظت ازن بیشترین همبستگی مثبت را با ساعات آفتابی، شدت اشعه ماورای بنفش و درجه حرارت در فصول بهار و پاییز دارد. ذرات معلق بیشترین همبستگی منفی را با رطوبت نسبی به میزان (۰/۲۴۹-) دارد. همچنین بین بارش باران و این آلاینده همبستگی منفی نسبتاً ضعیفی (۰/۱۷۴-) مشاهده می‌شود اما همبستگی این آلاینده با ابرناکی و باد ضعیف است. این آلاینده از میان پارامترهای هواشناسی فوق الذکر تنها با دما همبستگی مثبت به اندازه ۰/۲۱۱ را نشان می‌دهد. نتایج به دست آمده در مورد همبستگی بین ذرات معلق کوچکتر از ۱۰ میکرون را می‌توان با نتایج برخی از تحقیقات مشابه دیگر هم‌سو دانست. به عنوان نمونه می‌توان گفت (احسان‌زاده و همکاران، ۱۳۹۵) به این نتیجه رسیدند قویترین همبستگی بین غلظت ذرات معلق کوچکتر از ۱۰ میکرون با درجه حرارت و سرعت باد می‌باشد. (پناهی، ۱۳۹۷) نشان داد بین ذرات معلق کوچکتر از ۱۰ میکرون و وارونگی دما همبستگی مثبت دارد وجود دارد. (خورشید دوست و همکاران، ۱۳۹۷) در مقاله خود چنین نتیجه گرفته‌اند که سرعت باد و فشار هوا بیشترین همبستگی را با تغییرات غلظت ذرات معلق PM₁₀ دارند ضمن آنکه

۶- منابع

- احسان‌زاده، ع.، نژاد کورکی، ف.، خدادوستان، س.، ۱۳۹۵، بررسی مهمترین عوامل مؤثر بر غلظت ذرات معلق کوچکتر از ۱۰ میکرون با استفاده از رگرسیون مؤلفه‌های اصلی، فصلنامه پژوهش در بهداشت محیط، (۲)، ۱۵۴-۱۶۴.
- اسراری، ا.، ۱۳۹۳، مهندسی محیط زیست، دانشگاه پیام نور، تهران.
- اشرفی، خ.، احمدی ارکمی، ع.، ۱۳۹۳، تحلیل پایداری جوی و همبستگی آن با غلظت آلاینده‌های هوا: بررسی موردی بحران آلودگی هوای تهران، مجله ژئوفیزیک ایران، (۳)، ۴۹-۶۱.
- امیدوار، ک.، شهائیان، س.، امیری اسفندقه، ۱۳۹۹، بررسی ارتباط غلظت آلاینده‌ها و برخی پارامترهای اقلیمی با میزان مرگ‌های ناشی از بیماری‌های قلبی و تنفسی در شهر شیراز، ماهنامه علمی پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد، (۳)، ۲۴۶۷-۲۴۷۸.
- بوتکین، د.، کلا، (وهاب زاده ع. مترجم)، ۱۳۸۲، شناخت محیط زیست زمین سیاره زنده، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.

- پایگاه خبری صدای ایران، ۱۳۹۷، کرج به شهری آلوده و خاکساری تبدیل شده است!، <https://sedayiran.com/fa/news/191927>
- پناهی، ع.، ۱۳۹۷، بررسی ارتباط بین آلاینده های شاخص کیفیت هوا و پارامترهای هواشناسی در اینورژهای شدید شهر تبریز، فصلنامه علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی، (۶۲)، ۱۸، ۶۳-۷۶.
- تقوی، ه.، ۱۳۹۱، توزیع زمانی و مکانی آلاینده های شاخص آلودگی هوای شهر مشهد و عوامل موثر بر آن، پایان نامه کارشناسی ارشد عمران محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد.
- خورشید دوست، ع.، محمدی، غ.، عقلمند، ف.، حسینی صدر، ع.، ۱۳۹۷، تحلیل آماری-توصیفی ارتباط پارامترهای جوی با آلودگی هوای شهر تبریز، مدیریت مخاطرات محیطی (دانش مخاطرات سابق)، (۲)، ۲۱۷-۲۳۰.
- سلیقه، م.، کاخکی مهنه، ج.، ۱۳۹۴، بررسی روابط بین عناصر آب و هوایی و نوسانات آلودگی هوا مورد: شهر مشهد، جغرافیا و مخاطرات محیطی، (۱۴)، ۴، ۷۷-۹۴.
- صدرموسوی، م.، رحیمی، ا.، ۱۳۸۸، مقایسه نتایج شبکه عصبی پرسپترون چند لایه با رگرسیون چندگانه در پیش بینی غلظت ازن در شهر تبریز، مجله پژوهش های جغرافیای طبیعی، (۷۱)، ۴۲، ۷۲-۶۵.
- فرهادی، ر.، کارگر، م.، ذوالفقاری، ق.، ۱۳۹۸، پیش بینی آلاینده های هوا (PM₁₀, O₃, CO) و پارامترهای هواشناسی: مطالعه موردی شهرستان بیرجند، محیط زیست و توسعه فرابخشی، (۴)، ۶۳، ۶۴-۷۵.
- فرهادی، ر.، هادوی فر.، م.، معین الدینی، م.، امین طوسی، م.، ۱۳۹۹، پیش بینی غلظت آلاینده های هوای تهران بر اساس متغیرهای هواشناسی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون خطی در فصول گرم و سرد، نشریه محیط زیست طبیعی (مجله منابع طبیعی ایران)، (۷۳)، ۱، ۱۱۵-۱۲۷.
- نوری، ر.، اشرفی، خ.، آژدرپور، ا.، ۱۳۸۷، مقایسه کاربرد روش های شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون خطی چند متغیره بر اساس تحلیل مولفه های اصلی برای پیش بینی غلظت میانگین روزانه مونواکسیدکربن: مطالعه موردی شهر تهران، مجله فیزیک زمین و فضا، (۱)، ۳۴، ۱۳۵-۱۵۲.
- وارک، ک.، وارنر، س.، وین، د.، ت.، (ندافی، ک.، حسونند، م.، حیدری، م.، نقی زاده، ع.، مترجم). ۱۳۹۶، آلودگی هوا منشاء و کنترل آن، موسسه علمی فرهنگی نص، تهران، ۱۳۹۶.
- Baawian, M, S., Al-Serhi, A, S. 2014. Systematic approach for the prediction of ground-level air pollution (around an industrial port) using an artificial neural network, *Aerosol and Air Quality Research*, 14(1), 124-134.
- Boubel, R, W., Fox, D.L., Turner, B.D., Stern, A.C. 1994. *Fundamentals of Air Pollution*, Academic Press, London.
- Cakir, S., Sita, M. 2020. Evaluating the performance of ANN in predicting the concentrations of ambient air pollutants in Nicosia. *Atmospheric Pollution Research*, 11(12), 2327-2334.
- Giri, d., Krishna murthy, V., Adhikary, P. 2008. The Influence of Meteorological Conditions on PM₁₀ Concentrations in Kathmandu Valley, *International Journal of Environment*, 2(1), 49-60.
- Clemensis Johnson, A. 2021, Correlation Study of Meteorological Parameters and Criteria Air Pollutants in Jiangsu Province, China. *NUIST Reading Academy*, 8(1), 341-354.
- Kayes, I., Shahriar, S., Hasan, K., Akhter, M., Kabir, M & Salam M. 2019. The relationships between meteorological parameters and air pollutants in an urban environment, *Global Journal of Environmental Science and Management*, 5(3), 265-278.
- Kliengchuay, W., Cooper Meeyai, A., Worakhunpiset, S & Tantrakarnapa, K. 2018. Relationships between Meteorological Parameters and Particulate Matter in Mae Hong Son Province, Thailand, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(12), 2801.
- Liu, Y., Zhou, Y & Lu, J. 2020. Exploring the relationship between air pollution and meteorological conditions in China under environmental governance, *Scientific Report*, 10, 14518 <https://doi.org/10.1038/s41598-020-71338-7>
- Masoudi, M., Behzadi, F., Sakhaee, M. 2014. Status and prediction of Ozone as an air pollutant in Tehran, Iran, *Ecology Environment and Conservation*, 20:775-780.
- Masoudi, M., Sakhaei, M., Behzadi, F & Jokar, P. 2016. STATUS OF PM₁₀ AS AN AIR POLLUTANT AND ITS PREDICTION USING METEOROLOGICAL PARAMETERS IN TEHRAN, IRAN, *Fresenius Environmental Bulletin*, 25(6), 2008-2017.
- Masoudi, M., Sakhaee, M., Behzadi, F. 2020. Status of CO as an air pollutant and its prediction using meteorological parameters in Tehran, Iran, *EQA-INTERNATIONAL JOURNAL OF ENVIRONMENTAL QUALITY*, 37:31-39.
- Mudakavi, J, R. 2010. *Principles and Practices of Air Pollution Control and Analysis*, International Publishing House Pvt. Ltd, New Delhi.

- Rui, L., Zhenzhen, W., Lulu, C., Hongbo, F., Liwu, Z., Lingdong, K & Jianmin, C. 2019. Air pollution characteristics in China during 2015 – 2016 Spatiotemporal variations and key meteorological factors, Science of the Total Environment, 2019. 902-915.
- Zhang, H., Yong Lio, R & Yao, Q. 2013. Evaluation of PM₁₀ forecasting based on the artificial neural network model and intake fraction in an urban area: A case study in Taiyuan City, China, Journal of the Air & Waste Management Association, 63(7), 755-763.

Investigation and modeling of concentrations of carbon monoxide, ozone and suspended particles smaller than 10 microns in the air of Karaj using artificial neural network

Elham Asrari¹ , Abolfazl Rock²

^{1*} - Associate Professor, Department of Civil Engineering, Payame Noor University, P.O. Box. 19395-3697, Tehran, I.R of Iran

² -MSc., Faculty of Civil Engineering, Payame Noor University

*Email Address: e_asrari@pnu.ac.ir

Abstract

Air pollution is an important challenge for life in big cities and increases the number of visits to medical centers and the number of deaths of the elderly and people with heart and lung diseases at certain times of the year. Therefore, finding the factors affecting air pollution in cities and achieving a valid model for predicting air quality is inevitable. In this study, the effect of meteorological variables such as temperature, wind speed, relative humidity, rainfall and cloud cover on the concentration of carbon monoxide, surface ozone and particulate matter smaller than 10 microns in the metropolis of Karaj has been investigated. Also, modeling was performed by artificial neural network using the values of meteorological parameters of Karaj city and the concentration of pollutants in the city in the period 2012, March 20 to 2019 March 21 and the data related to 2020 March 20 to 2021 March 21 were used to test the constructed model. The results show that the strongest correlation between carbon monoxide and wind speed and temperature are -0.216 and -0.146, respectively. The highest correlations between ozone and relative humidity, cloudiness and temperature were -0.328, -0.167 and 0.411, respectively. Also, suspended particles are correlated with relative humidity, precipitation and temperature of -0.249, -0.174 and 0.211, respectively. The correlation coefficient between the actual concentrations and the values predicted by the artificial neural network for carbon monoxide, ozone and suspended particles were 0.909, 0.856 and 0.854, respectively.

Introduction

The increasing population of the planet in recent decades and the desire of people to have more prosperity, has led to the migration of villagers and residents of small towns and very high population density in metropolitan areas. The city of Karaj and the surrounding areas were known as good weather regions in the recent past due to their pleasant climate and natural attractions, but unfortunately over the past few decades, the conditions of this city due to the above reasons and also being in The traffic route in several provinces of the country has changed and it has now become one of the polluted cities. Due to the importance of air pollution and its important effects on the lives of human societies, so far a lot of research on air pollution has been done by researchers and scientists at the national and international levels and many laws and regulations to control and reduce air pollution Approved. But to achieve a comprehensive management system in the field of air pollution, it is necessary that all aspects and tools are well known and the role of these tools in the entire management system is determined. Therefore, forecasting air quality and estimating the concentration of significant pollutants in Karaj with the aim of timely information and maintaining the health of citizens and planning to implement the necessary measures effectively by the relevant authorities to reduce and control the release of air pollutants from various sources is necessary. Due to the very important role of meteorological factors in air quality, the study and modeling of pollutants such as carbon monoxide, ozone and PM₁₀ in the city of Karaj using artificial neural networks and based on the above parameters is a tool that can achieve to be used for the intended purposes.

Methodology

The data required for this research were processed after receiving from the archives of the Office of Comprehensive Environmental Pollution Monitoring and 8-hour rolling average concentrations of carbon monoxide, 1-hour concentrations of ozone and 24-hour concentrations of suspended particles smaller than 10 microns were obtained and used. The meteorological data used in this study are related to the main synoptic station in Karaj. The data obtained from this station have been used to determine the average of different atmospheric parameters and to model the concentration of pollutants in the city of Karaj. In order to predict the concentration of pollutants by nonlinear regression method using artificial neural network in MATLAB R2020a space, time series of predictor

variables $X(t)$ and response variable $Y(t)$ in the past have been used as input and target variables, respectively. The mentioned data is imported from outside the network and the feedback comparing the output value with the target value is re-applied as the input to the network by the transverse delay line inside the network. IBM SPSS Statistic 26 software was also used for statistical analysis of research data to determine the correlation coefficients between variables.

Conclusion

Based on the obtained correlation coefficients, it is observed that the average 8-hour concentration of carbon monoxide has the highest negative correlation with wind and temperature, -0.216 and -0.146, respectively. In addition, this pollutant has a significant but very weak positive correlation with relative humidity and cloudiness of 0.087 and 0.057, respectively. Moreover, although carbon monoxide has a very small positive correlation with precipitation, this small correlation is not even significant. Meanwhile, the maximum concentration of carbon monoxide occurred in the cold months of the year, ie November, December and January, and the lowest concentration occurred in June and July, which are the warm months of the year. Regarding ozone, it is found that this pollutant has the highest negative correlation with relative humidity (-0.328) and weakly negative correlation with Cloudiness (-0.167). Also, the correlation of this pollutant with precipitation is very weak (-0.112). This pollutant has a positive and significant correlation (0.41) with temperature and a positive but weak correlation (0.185) with wind speed. Suspended particles have the highest negative correlation with relative humidity (-0.249). Also, a relatively weak negative correlation (-0.174) is observed between rainfall and this pollutant, but the correlation of this pollutant with cloudiness and wind is weak. Among the above meteorological parameters, this pollutant shows only a positive correlation with temperature of 0.211. Another point is that considering the acceptable error of artificial neural network in predicting the concentration of pollutants, it can be said that this technique provides a suitable model for predicting air quality in the city of Karaj to city officials and managers. However, it should be noted that the capability of the neural network in predicting air quality in Karaj is not the same for different pollutants, and in this regard it can be said that ozone prediction with this type of network has a maximum reliability of 93% and then monoxide. Carbon and particulate matter are the next with 83% and 75% accuracy, respectively.

Keywords

Air pollution; Meteorological parameters ; Karaj metropolis; Artificial neural network