

بررسی روابط بین عناصر آب و هوایی و نوسانات آلودگی هوا (مورد: شهر مشهد)

محمد سلیقه - دانشیار گروه جغرافیا، دانشگاه خوارزمی، تهران - ایران

حمید کاخکی مهنه^۱ - کارشناسی ارشد اقلیم شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه خوارزمی، تهران - ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۱/۱۱ تاریخ تصویب: ۱۳۹۳/۹/۱

چکیده

هدف اصلی تحقیق استفاده از مدلی است که بتواند بین عناصر اقلیمی و آلودگی هوا ارتباط برقرار کند. بدین منظور از سه مدل متفاوت شبکه عصبی احتمالی، مدل رگرسیون خطی و مدل پرسپترون چندلایه استفاده شد. برای این تحقیق از آمار یک ساله‌ی اداره‌ی حفاظت محیط زیست مشهد استفاده شد. این آمار مربوط به آلاینده‌های هوا شامل (CO- NO- O3- SO2) و آمار هواشناسی شامل پارامترهای اقلیمی (رطوبت نسبی، درجه حرارت، جهت باد و سرعت باد) می‌باشد. داده‌های آلودگی هوا از تعداد ۱۱ ایستگاه آلوده سنجی جمع‌آوری شده است. این داده‌ها به صورت ساعتی بوده و سپس از آنها میانگین گرفته شد. پس از درون‌یابی فاصله معکوس وزندار و تحلیل داده‌ها به منظور پیش‌بینی روابط داده‌ها با استفاده از مدل شبکه عصبی داده‌ها به دسته‌های آموزشی (70%)، ارزیابی (15%) و تست (15%) طبقه بندی شدند. در این تحقیق برای تحلیل، از دسته‌ی داده‌های آموزشی استفاده شد. نتایج نشان داد که میزان میانگین مربعات خطا (MSE) و میانگین مطلق خطا (MAE) در مدل شبکه عصبی احتمالی پایین‌تر بوده و نتایج نشان داده است که مدل شبکه عصبی احتمالی، توانسته است رابطه منطقی بین آلودگی هوا و پارامترهای هواشناسی برقرار کند. از بین عناصر اقلیمی تاثیرگذار بر منواکسید کربن، رطوبت نسبی در ساعت ۱۲:۳۰ و جهت باد بیشترین اثر را داشته‌اند، همچنین عوامل اقلیمی تاثیرگذار بر غلظت دی‌اکسید گوگرد رطوبت نسبی در ساعت ۶:۳۰ و درجه حرارت مطلق بوده است.

کلیدواژه‌ها: آلودگی، آلاینده‌ها، عوامل آب و هوایی تاثیرگذار، شبکه عصبی احتمالی، پرسپترون چند لایه، مدل رگرسیون.

۱. مقدمه

آلودگی هوا یک خطر اصلی زیست محیطی بر سلامت انسان‌ها در بسیاری از شهرهای توسعه یافته یا در حال توسعه در جهان هست. سطح آلودگی هوا معمولاً به وسیله غلظت آلاینده‌های هوا مانند دی‌اکسید نیتروژن، دی‌اکسید

گوگرد، منواکسیدکربن، ازن و ذرات معلق مشخص می‌شود (کروکس فورد و همکاران؛ ۱۹۹۶)^۱. در طول دهه اخیر تلاش‌های بسیاری در بررسی روابط بین آلودگی هوا و پارامترهای هواشناسی اختصاص و چندین روش آماری پیشنهاد شده است. افزایش جمعیت، پیشرفت صنعت، از جمله عواملی بوده که در گسترش و ایجاد آلودگی هوا در شهرهای بزرگ تاثیر داشته است و بر آن شده تا در شهرهای بزرگ جهان به فکر کنترل و راه‌های جلوگیری افزایش آلاینده‌ها باشند. آلودگی هوا نشان دهنده طیف گسترده‌ای از اثر بر سیستم‌های بیولوژیکی، فیزیکی و اقتصادی است. سال‌های اخیر کیفیت هوا به عنوان عامل اصلی در پدیدار شدن کیفیت زندگی در مناطق شهری، به خصوص در مناطق پر جمعیت و صنعتی مطرح شده است. آلودگی هوا با طیف وسیعی از ذرات معلق، اثراتی بر سلامت انسان از جمله سیستم‌های دستگاه تنفسی و قلبی و عروقی و همچنین مرگ و میر دارد. مطالعاتی که در سطح ایران و جهان در زمینه آلودگی هوا انجام شده است و نتایجی که از این تحقیقات به دست آمده است، نشان دهنده این است که این تحقیقات هرکدام یک یا دو آلاینده هوا را در ایستگاه‌های محدود مورد بررسی قرار داده است. در تحقیق حاضر برای بررسی آلودگی هوا در شهر مشهد از تعداد ۱۱ ایستگاه آلوده سنجی استفاده شده و چند پارامتر آلودگی هوا مورد مطالعه قرار گرفته است. هدف اصلی تحقیق استفاده از مدلی است که بتواند بین عناصر آب‌وهوایی و آلاینده‌های هوا ارتباط برقرار کند. شناسایی عوامل اقلیمی تاثیر گذار بر آلودگی هوای شهر مشهد و همچنین پیش‌بینی غلظت گازهای آلاینده با مدل شبکه عصبی و رگرسیون خطی و نتایج حاصل از این دو مدل اهداف این تحقیق بوده است. دلایل رخداد آلودگی هوا پیچیده هستند و بستگی به متغیرهای گوناگون شامل انتشار پارامترهای هواشناسی، توپوگرافی، فرایندهای شیمیایی جو و تابش خورشیدی دارند. اهمیت نسبی از چنین فاکتورهایی بستگی به مناطق جغرافیایی، منابع انتشار اطراف مناطق، ویژگی‌های آب و هوایی مربوطه و همچنین فصل سال دارند (پیرنگر و همکاران؛ ۲۰۰۲)^۲. تاکنون مطالعات زیادی در زمینه آلودگی هوا انجام شده است، ویدات او یاک^۳ (۲۰۱۲) در تحقیقی که در شهر دنیزلی ترکیه انجام شد، به مدل سازی آلودگی هوا با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی و رگرسیون خطی چندگانه، میزان آلاینده SO₂ را برای دوره ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۱ با استفاده از اندازه‌گیری داده‌های هواشناسی و آلودگی هوا مورد بررسی قرار داد. نتایج نشان داد که شبکه عصبی می‌تواند با سطح ضریب همبستگی بالا مقدار SO₂ را تخمین بزند. و شبکه‌های عصبی، مدل پرسپترون چند لایه و الگوریتم پس انتشار، می‌تواند راه حل خوبی برای ساختار شبکه به عنوان یک شبیه ساز باشد. فابیوتراماتو و همکاران^۴ (۲۰۱۱) در تحقیقی که برای شهر پالمو ایتالیا انجام شد، دریافتند که بیماری‌های تنفسی ناشی از آلودگی هوای حاصل از ترافیک وسایل نقلیه می‌باشد. در این تحقیق که با استفاده از

۱ B.Croxford et al

۲ Piringer et al

۳ Vedat uyak et al

4 et al Fabio tramuto

روش رگرسیون لجستیک شرطی اثرات مثبت قوی بین آلاینده‌ها در فصل سرد و گرم بررسی شده و بیان شد که ذرات معلق مهمترین آلاینده در فصل گرم و سرد سال بوده‌اند. کان یل میسوزی و همکاران (۲۰۱۰) در تحقیقی که برای منطقه شهر استانبول انجام شد، غلظت آلاینده SO₂ با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی و تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی مورد پیش بینی قرار گرفت. در این مطالعه از پارامترهای هواشناسی به عنوان ورودی شبکه و آلاینده دی‌اکسید گوگرد به عنوان خروجی استفاده شد. نتایج نشان داد که خروجی شبکه عصبی رضایت بخش بوده به طوری که میزان ضریب همبستگی برای داده‌ها در فصل زمستان و تابستان به ترتیب به ۰,۷۴، ۰,۷۵ و ۰,۷۷ رسیده است. هویبرگر و همکاران^۲ (۲۰۰۵) غلظت PM₁₀ را با استفاده از شبکه‌های عصبی در بلژیک پیش‌بینی کردند که پرسپترون چند لایه، با یک لایه مخفی و چهار نرون در آن مورد استفاده قرار گرفت. ریشه مجذور جذر خطا (RMSE) با استفاده از الگوریتم پس انتشار به حداقل رسید. برای جلوگیری از یادگیری بیش از حد، داده‌های تایید را بکار گرفتند. اندروسی کمری^۳ (۱۹۹۷) در مطالعه‌ای همچنین با استفاده از مدل شبکه عصبی و رگرسیون چندگانه به پیش‌بینی غلظت ازن پرداخته‌اند، مقایسه مدل‌های آماری نشان می‌دهد که تکنیک شبکه‌های عصبی تا حدودی بهتر از مدل‌های رگرسیونی برای پیش‌بینی غلظت ازن روزانه می‌باشد. اما تمام مدل‌ها برای رژیم آب‌وهوایی ازن در کمک به پیش‌بینی حساس هستند. تقوی و دانش (۱۳۹۱) در مطالعه‌ای به پیش‌بینی غلظت روزانه منواکسید کربن بر اساس پارامترهای هواشناسی با استفاده از مدل شبکه عصبی و رگرسیون خطی چندگانه برای شهر مشهد در سال ۱۳۸۹ پرداختند. در این تحقیق بیان شد که دقت ضریب همبستگی و مقدار میانگین مجموع مربعات خطا برای مدل شبکه عصبی به ۰,۸۱ و ۰,۰۶۹ و برای مدل رگرسیون به ترتیب برابر ۰,۶۱ و ۰,۱ بوده است. همچنین نتایج نشان داد که سرعت باد، دمای هوا، تشعشع و رطوبت نسبی عوامل مهم هواشناسی تاثیر گذار بر غلظت منواکسید کربن بوده است. خزاعی و آل شیخ (۱۳۹۱) در مطالعه‌ای به پیش‌بینی غلظت منواکسید کربن با استفاده از مدل شبکه عصبی و مدل کریجینگ پرداختند. نتایج نشان داد که هر دو مدل جهت پیش‌بینی مناسب می‌باشند، ولی روش کریجینگ به دلیل کمبود ایستگاه‌ها از دقت کمتری برخوردار بوده است. اما به طور کلی هر دو مدل قادر به مدل‌سازی غلظت آلاینده‌ها می‌باشند. یآوری (۱۳۹۰) در تحقیقی به بررسی سطوح رخداد وارونگی دما و تاثیر آن بر روی آلودگی هوای شهر تهران پرداخته است. در این تحقیق با استفاده از آمار پنج ایستگاه آلوده سنجی در طی سالهای ۱۳۸۳ تا ۱۳۸۷ تعداد ۱۰۰ روز آلوده استخراج شده و با استفاده از نقشه‌های فشار سطح زمین، ۵۰۰ هکتوپاسکال و نقشه‌های امگای سطح ۸۵۰ و همچنین نمودارهای SKEW-T وضعیت وارونگی در سطوح ۳۰۰ تا ۹۰۰ هکتوپاسکال مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که بین ۷۳ تا ۸۵,۵ درصد میزان آلودگی در ایستگاه‌های شهر تهران ناشی از وارونگی دما

۱ Kan yetilmezsoy et al

۲ et al Hooyberghs,j

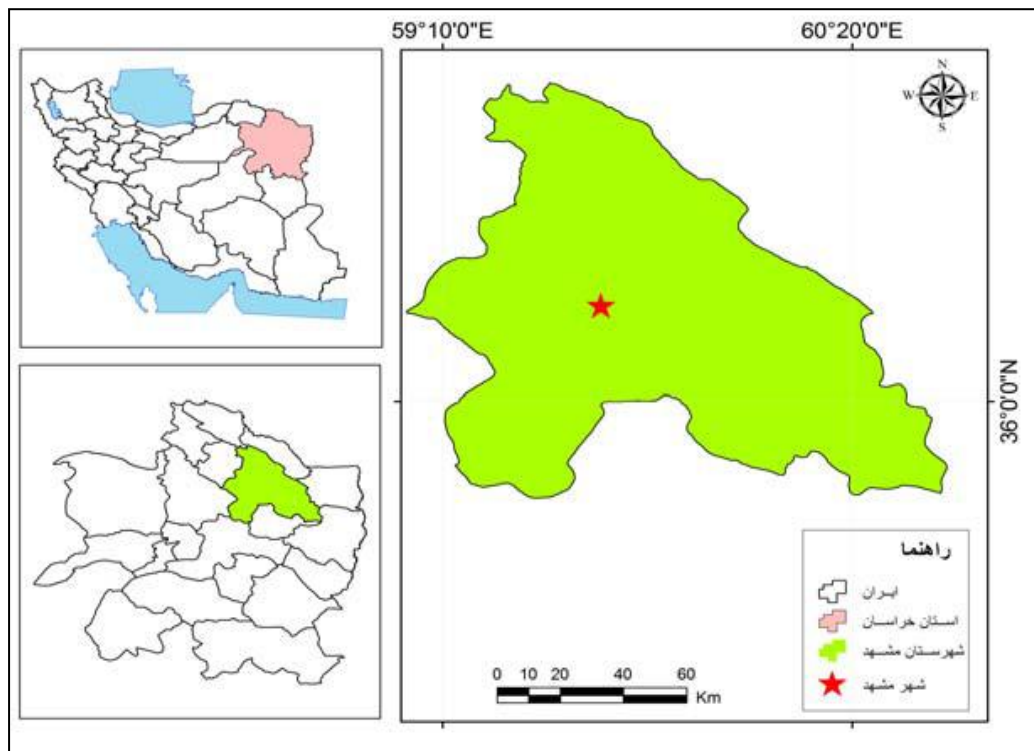
۳ Andrew c.Comrie

بوده است. از طرفی دیگر نتایج نشان داد وارونگی‌های دمایی شهر تهران متأثر از سامانه‌های فشار و تشعشع زیاد سطح زمین است. علیجانی و نجفی (۱۳۸۸) در پژوهشی به بررسی الگوهای سینوپتیکی وارونگی در شهر مشهد با استفاده از تحلیل عاملی پرداخته‌اند. ایشان در این تحقیق به این نتیجه رسیدند که هفت عامل در اینورژن شهر مشهد دخالت دارد که شامل دو تیپ نشان‌دهنده‌ی الگوی تابستانه، سه تیپ نشان‌دهنده‌ی الگوی زمستانه، و دو تیپ نشان‌دهنده‌ی الگوی پاییزی هستند. وارونگی‌های فصل سرد قوی‌تر بوده، دارای پایداری و تداوم بیشتری هستند که در نتیجه لایه‌ای از مواد آلاینده در سطح شهر می‌ماند و دوام بیشتری دارد. با توجه به بررسی نقشه‌ها، الگوی پرفشار بیشتر از سایر الگوها دیده می‌شود و در بین هفت تیپ موجود، تیپ پنج که دارای الگوی زمستانه است به جهت تداوم بیشتر وارونگی‌ها، قوی‌ترین تیپ است. صدر موسوی و رحیمی (۱۳۸۸) در پژوهشی که با استفاده از مدل شبکه عصبی پرسپترون چند لایه و رگرسیون چندگانه به پیش‌بینی غلظت ازن شهر تبریز مورد بررسی قرار گرفته است. در این تحقیق با استفاده از داده‌های هواشناسی شامل سرعت باد، رطوبت نسبی، جهت باد، درجه حرارت، بارندگی، فشار هوا، مقدار تابش و مقدار تبخیر و داده‌های غلظت ازن در طی سال ۱۳۸۵ به صورت ساعتی استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که مدل شبکه عصبی توانایی بیشتری نسبت به روش‌های خطی چندگانه داشته به طوری که ضریب همبستگی در مدل رگرسیون چندگانه ۰,۴۵ و در مدل شبکه عصبی ۰,۹۱ می‌باشد. انتظار (۱۳۸۴) به مطالعه آماری و سینوپتیکی آلودگی هوای تهران پرداخت که چهار تیپ عمده هوا شامل: پرفشار سبیری، پرفشارهای غربی، تیپ مداری و کم فشار خراسانی است. وی با استفاده از اقلیم‌شناسی سینوپتیک و کاربرد تحلیل عاملی، به ارزشیابی تمرکز دی اکسید سولفور پرداخت و نتیجه گرفت که روش‌های سینوپتیکی ارزشیابی اثرات اقلیم، بر تمرکز سولفور نتایج بهتری نسبت به روش‌های قدیمی آماری دارند. لذا روش‌های سینوپتیکی با استفاده از تحلیل مولفه‌های اصلی و روش کلاستر، دارای اطلاعات مفیدتری بودند. موسوی و معروف (۱۳۸۱) در تحقیقی به بررسی مه دود فتوشیمیایی ناشی از صنایع در شهر مشهد پرداخته و نشان دادند که عوامل زیادی در تشکیل مه دود دخالت دارند که مهمترین آن‌ها NOX و تشعشع خورشید است. همچنین بیان شده که مهمترین مه دود فتوشیمیایی در شهر مشهد ناشی از کارخانه سیمان و دو نیروگاه طوس و مشهد است. نتایج نشان می‌دهد که پتانسیل تشکیل مه دود فتوشیمیایی ناشی از صنایع، بیشتر از خودروهای داخل شهر بوده، بنابراین مه دود در حومه شهر بیشتر از نقاط داخلی می‌باشد. دلیل استفاده از مدل شبکه عصبی بدین سبب است که این مدل قادر به پیش‌بینی روابط غیرخطی و پیچیده بین ورودی و خروجی می‌باشد، همچنین از دقت بالاتری نسبت به مدل‌های دیگر مانند رگرسیون برخوردار می‌باشد. ثانیاً با توجه به مطالعات گذشته که در این زمینه انجام شده بیشتر این مطالعات در مقیاس محدود به لحاظ تعداد آلاینده مورد بررسی قرار گرفته است. در تحقیق حاضر به این دلیل از مدل شبکه عصبی استفاده گردید که از تعداد بیشتر عناصر اقلیمی و آلاینده‌های هوا برخوردار می‌باشد و هدف آن، بررسی این است که آیا این مدل با تعداد بیشتر عناصر، از دقت کافی برخوردار می‌باشد؟ همچنین در کارهای گذشته که با شبکه عصبی انجام گردیده است از

دو مدل پرسپترون و رگرسیون استفاده شده ولی در پژوهش حاضر از مدل شبکه عصبی احتمالی که تاکنون در مقاله‌ها کمتر استفاده شده و مبنای کار این تحقیق قرار گرفته است، استفاده شده که نسبت به دو مدل دیگر خطای کمتر و همبستگی بیشتری نشان داده است.

۲. منطقه مورد مطالعه

شهر مشهد، مرکز استان خراسان رضوی با ۲۰۴ کیلومتر مربع مساحت، در شمال شرق ایران و در طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۱۵ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۳ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۸ دقیقه در حوضه آبریز کشف رود، بین رشته کوه‌های هزار مسجد و بینالود واقع شده است. این شهر دارای آب و هوای سرد و خشک است. این شهر دارای آب و هوا و خصوصیات ویژه اقلیمی است. قسمت اعظم شهر مشهد دارای اقلیم سرد و خشک و قسمتی از شهر مشهد نیمه خشک و سرد و بخش کوچکی از بلندترین ارتفاعات رشته کوه‌های هزار مسجد و بینالود جزء اقلیم سرد و مرطوب می باشد. در مجموع شهر مشهد دارای اقلیم متغیر، متمایل به سرد و خشک است. بیشترین درجه حرارت در تابستان به ۳۵ درجه بالای صفر و در زمستان به ۱۵ درجه زیر صفر و میانگین بارندگی سالانه در مشهد به ۲۵۳ میلیمتر می‌رسد.



شکل ۱ نقشه موقعیت جغرافیایی شهر مشهد ماخذ (ضیابری و همکاران، ۱۳۹۲)

بررسی روند آلودگی هوا در طی سال‌های قبل نشان داده که بیشترین سطح آلودگی در فصل‌های پاییز و زمستان و ماه‌های آذر تا بهمن رخ داده است؛ که آن را می‌توان به پدیده وارونگی هوا و افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی در طی فصل پاییز و زمستان نسبت داد. ترسیم نقشه آلودگی شهر مشهد در گذشته نشان داده که بیشترین تراکم آلودگی در مناطق مرکزی شهر بوده و با حرکت به سمت حومه از شدت آن کاسته شده است. ضیایی و صادقی حصار (۱۳۸۹)

۳. دریافت داده‌ها و اطلاعات

داده‌ها و اطلاعات عناصر آلاینده‌های هوای شهر مشهد برای دوره یک ساله از اداره کل محیط زیست خراسان رضوی تهیه شد. این اطلاعات مربوط به تعداد ۱۱ ایستگاه آلودگی سنجی می‌باشد. این داده‌ها به صورت ساعتی بوده که از آن‌ها میانگین گرفته شده و به صورت داده‌های روزانه استفاده گردیده است. سپس داده‌های هواشناسی از اداره هواشناسی دریافت شد. این پارامترهای هواشناسی شامل سرعت باد، جهت باد، بارندگی، فشار هوا، رطوبت نسبی، میانگین دما، دمای کمینه و بیشینه می‌باشد. بعد از جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز، ابتدا از داده‌های آلاینده هوا به صورت ساعتی میانگین گرفته شد. سپس در نرم افزار ((ArcGis)) داده‌های آلودگی هوا و عناصر آب و هوایی، با استفاده از گزینه ((Merge)) با هم به شکل پیوسته به صورت روزانه در آمدند. سپس از روش میانبایی وزنی معکوس فاصله^۱ استفاده گردید که یکی از روش‌های مورد استفاده در مطالعات هواشناسی و جغرافیا می‌باشد و این روش برای پیش‌بینی در مکان‌هایی که داده‌های آن‌ها اندازه‌گیری نشده است از مقادیر اندازه‌گیری شده پیرامون محل استفاده می‌کند. دلیل استفاده از این روش میانبایی برای این بوده است که هم پوشانی لازم برای داده‌های هواشناسی و آلاینده هوا را که به صورت داده‌های نقطه‌ای بوده تبدیل به یک سطح مسطح کرد که تمامی نقاط را پوشش می‌داد در صورتی که روش کریجینگ و اسپیلاین این همپوشانی را ایجاد نمی‌کرد و نقاط خارج از سطح مسطح بودند. بعد از این مرحله همبستگی بین داده‌های عناصر هواشناسی و آلاینده‌های هوا گرفته شد، سپس برای پیش‌بینی مسائل غیر خطی و آموزش شبکه عصبی از نرم افزار ((NeuroSolutions)) استفاده شد. در این نرم افزار داده‌ها به دو قسمت که شامل داده‌های ورودی (عناصر آب و هوایی) و داده‌های خروجی (عناصر آلاینده هوا) تقسیم شدند. در این مرحله از دو مدل شبکه عصبی احتمالی^۲ و مدل رگرسیون خطی^۳ جهت تحلیل داده‌ها استفاده شد. برای ارزیابی عملکرد

۱ IDW

۲ PNN

۳ LR

شبکه های عصبی از شاخص های ضریب همبستگی (R)^۱، میانگین مربعات خطا (MSE)^۲ و میانگین مطلق خطا (MAE)^۳ استفاده شده است.

۴. شبکه های عصبی مصنوعی

شبکه های عصبی مصنوعی (ANNs) ابزار ریاضی ای هستند که با تقلید از سیستم بیولوژیک ساخته شده اند (فولاپ و همکاران، ۱۹۹۸^۴). قدرت انعطاف و تصحیح پذیری بالایی در انطباق خود با داده های موجود را دارند (رنجیتان و همکاران، ۱۹۹۵^۵) به گونه ای که قادر به سازماندهی بوده و نظم و هماهنگی موجود در داخل این داده ها را پیدا می کنند (منهاج، ۱۳۸۴) و براساس بردارهای ورودی، رخداد و بزرگی یک پدیده را پیش بینی می نمایند (کنراد و روهل، ۱۹۹۹^۶). ساختار عادی یک شبکه عصبی مصنوعی، معمولاً از لایه ورودی، لایه های میانی یا پنهان و لایه خروجی تشکیل شده است. لایه ورودی یک لایه انتقال دهنده و وسیله ای برای تهیه کردن داده هاست. لایه خروجی شامل مقادیر پیش بینی شده به وسیله شبکه است و لایه پنهان محل پردازش داده هاست. شمار لایه ها و نرون ها در هر لایه پنهان، به طور معمول به وسیله روش آزمون و خطا مشخص می شود (اصغری مقدم، نورانی، ۱۳۸۷).

۵. نتایج

جهت دستیابی به اهداف تحقیق از روش ها و شاخص های متفاوت استفاده شده است. همانطور که گفته شد در این تحقیق جهت پیش بینی آلاینده های هوا و ارتباط آنها با عناصر آب و هوایی از سه مدل شبکه عصبی احتمالی، مدل پرسپترون چند لایه و مدل رگرسیون خطی استفاده شد و نتایج آنها به صورت جداولی تنظیم شده است. همچنین ضریب همبستگی بین عناصر آب و هوایی و آلاینده های هوا در نرم افزار SPSS محاسبه شده و در جدولی تنظیم شده است. جهت پیش بینی عناصر آلاینده ی هوا از عناصر آب و هوایی به عنوان

۱ Correlation Coefficient

۲ Mean Square Error

۳ Mean Absolute Error

۴ Artificial Neural Network

۵ Fulop et al

۶ Ranjithan et al

۷ Conrads;Roehle

عناصر ورودی شبکه استفاده شد. با توجه به جداول ۱ تا ۴ مقدار میانگین مربعات خطا و میانگین قدر مطلق خطا برای سه مدل ذکر شده در چهار فصل سال برای داده های آموزشی و تست شبکه عصبی مشخص می شود که شبکه عصبی احتمالی از لحاظ مقدار خطا از کمترین میزان برخوردار می باشد و در درجه بعدی مدل رگرسیون قرار دارد. این میزان خطا برای چهار آلاینده (O3-NO-CO-SO2) می باشد. در این تحقیق جهت بررسی پیش بینی آلاینده های هوا از مدل شبکه عصبی احتمالی و رگرسیون استفاده شده که طبق شکل های ۲ تا ۷ قابل مشاهده است.

جدول ۱ تاثیر پارامترهای اقلیمی بر آلاینده های هوا در فصل بهار، با سه مدل مختلف - سال ۱۳۹۰

پارامتر	مدل	روش	میانگین مربعات خطا	میانگین مطلق خطا
ازن	رگرسیون	آموزشی	1.84	1.07
		آزمایشی	24.22	3.93
	پرسپترون	آموزشی	1.85	1.1
		آزمایشی	23.67	3.89
	شبکه عصبی احتمالی	آموزشی	1.61	0.99
		آزمایشی	24.63	3.96
دی اکسیدنیترژن	رگرسیون	آموزشی	20.83	3.83
		آزمایشی	126.98	9.22
	پرسپترون	آموزشی	28.62	4.31
		آزمایشی	94.03	7.64
	شبکه عصبی احتمالی	آموزشی	17.74	3.44
		آزمایشی	126.38	9.17
منواکسیدکربن	رگرسیون	آموزشی	304.74	14.63
		آزمایشی	695.1	24.6
	پرسپترون	آموزشی	594.76	16.92
		آزمایشی	21.27	3.26
	شبکه عصبی احتمالی	آموزشی	313.67	15.13
		آزمایشی	454.78	20.23
دی اکسید	رگرسیون	آموزشی	13.74	2.11

گوگرد		آزمایشی	36.4	5.2
	پرسپترون	آموزشی	14.55	2.2
		آزمایشی	22.76	3.87
	شبکه عصبی احتمالی	آموزشی	12.81	2.04
		آزمایشی	30.58	4.6

علامت(*) در داخل جدول به این معنی است که اعداد میانگین مربعات خطا، میانگین مطلق خطا از میانگین پارامترهای اقلیمی به دست آمده است.

جدول ۲ تاثیر پارامترهای اقلیمی بر آلاینده های هوا در فصل تابستان- سال ۱۳۹۰

پارامتر	مدل	روش	میانگین مربعات خطا	میانگین مطلق خطا
ازن	رگرسیون	آموزشی	42.14	2.027
		آزمایشی	19.39	3.6
	پرسپترون	آموزشی	41.23	3.19
		آزمایشی	58.37	5.15
	شبکه عصبی احتمالی	آموزشی	40.53	1.91
		آزمایشی	9.27	2.47
دی اکسید نیتروژن	رگرسیون	آموزشی	12.2	2.69
		آزمایشی	42.11	5.06
	پرسپترون	آموزشی	20.49	3.34
		آزمایشی	38.18	4.02
	شبکه عصبی احتمالی	آموزشی	11.18	2.51
		آزمایشی	41.85	4.75
منواکسید کربن	رگرسیون	آموزشی	0.12	0.23
		آزمایشی	0.21	0.27
	پرسپترون	آموزشی	0.26	0.33
		آزمایشی	0.27	0.3
	شبکه عصبی احتمالی	آموزشی	0.1	0.22
		آزمایشی	0.61	0.45
دی اکسید گوگرد	رگرسیون	آموزشی	7.16	2.1
		آزمایشی	10.58	2.33
	پرسپترون	آموزشی	6.99	2.08

		آزمایشی	11.13	2.42
	شبکه عصبی احتمالی	آموزشی	6.02	1.88
		آزمایشی	11.18	2.37

با توجه به نتایج به دست آمده از محاسبه میانگین مربعات خطا، میانگین مطلق خطا و مقدار ضریب همبستگی، طبق جدول (۲ا) نشان می دهد که سه مدل شبکه عصبی احتمالی، پرسپترون چند لایه و رگرسیون خطی نتایج متفاوتی داشته اند. نتایج حاصل نشان می دهد که مدل شبکه عصبی احتمالی با میزان خطای کمتر و ضریب همبستگی بیشتر نسبت به دو مدل دیگر عملکرد بهتری در برقراری روابط بین عناصر اقلیمی و آلاینده های هوا داشته است. به عنوان مثال، طبق جدول ۱ مقدار میانگین قدر مطلق خطا برای آلاینده ی O3 در شبکه عصبی احتمالی در فصل بهار برای داده های آموزشی به میزان ۰,۹۹ می باشد، در صورتی که این مقدار در مدل رگرسیون به میزان ۱,۰۷ می باشد. مدلی بهتر است که ضریب همبستگی بیشتر و مقدار خطای کمتر داشته باشد. نتایج نشان داده است که، عملکرد سه مدل شبکه عصبی احتمالی، پرسپترون چند لایه و رگرسیون خطی در فصل بهار و تابستان نتایج کسانی داشته است به طوری که شبکه عصبی احتمالی با بیشترین ضریب همبستگی و کمترین خطا و سپس مدل رگرسیون و بعد مدل پرسپترون چند لایه توانسته نتایج مناسب را برای برقراری روابط بین عناصر اقلیمی و آلاینده های هوا ایفا کند.

جدول ۳ تاثیر پارامترهای اقلیمی بر آلاینده های هوا در فصل پاییز - سال ۱۳۹۰

پارامتر	مدل	روش	میانگین مربعات خطا	میانگین مطلق خطا
ازن	رگرسیون	آموزشی	0.9	0.77
		آزمایشی	2.11	1.23
	پرسپترون	آموزشی	1.34	0.9
		آزمایشی	1.72	1.06
	شبکه عصبی احتمالی	آموزشی	0.73	0.69
		آزمایشی	2.29	1.29
دی اکسید نیتروژن	رگرسیون	آموزشی	242.02	12.52
		آزمایشی	403.16	17.83
	پرسپترون	آموزشی	390.63	15.67
		آزمایشی	281.84	12.38
	شبکه عصبی احتمالی	آموزشی	225.89	12.1
		آزمایشی	380.60	17.01
منواکسید کربن	رگرسیون	آموزشی	0.36	0.47
		آزمایشی	0.57	0.51
	پرسپترون	آموزشی	0.42	0.5

	شبکه عصبی احتمالی	آموزشی	0.6	0.55
		آموزشی	0.36	0.46
دی اکسید گوگرد	رگرسیون	آموزشی	10.33	2.42
		آموزشی	21.63	4.11
	پرسپترون	آموزشی	12.15	2.65
		آموزشی	17.55	3.55
	شبکه عصبی احتمالی	آموزشی	10.32	2.4
		آموزشی	17.16	3.62

بر طبق جدول (۳ و ۴) نتایج نشان می دهد که برای داده های آموزشی و آزمایشی در فصول پاییز و زمستان مقدار میانگین قدر مطلق خطا، مربعات خطا و ضریب همبستگی در مدل شبکه عصبی احتمالی نتایج مثبتی داشته است. همچنین مقدار میانگین مطلق خطا (MAE) به میزان 0.77 در مدل رگرسیون خطی است در حالی که در شبکه عصبی احتمالی به میزان 0.69 می باشد.

جدول ۴ تاثیر پارامترهای اقلیمی بر آلاینده های هوا در فصل زمستان - سال ۱۳۹۰

پارامتر	مدل	روش	میانگین مربعات خطا	میانگین مطلق خطا
ازن	رگرسیون	آموزشی	4.99	1.88
		آموزشی	8.61	2.51
	پرسپترون	آموزشی	11.41	2.71
		آموزشی	8.05	2.24
	شبکه عصبی احتمالی	آموزشی	4.3	1.72
		آموزشی	8.85	2.59
دی اکسید نیتروژن	رگرسیون	آموزشی	242.02	12.52
		آموزشی	403.16	17.83
	پرسپترون	آموزشی	390.63	15.67
		آموزشی	281.84	12.38
	شبکه عصبی احتمالی	آموزشی	225.89	12.1
		آموزشی	380.60	17.01
منواکسید کربن	رگرسیون	آموزشی	0.36	0.47
		آموزشی	0.57	0.51
	پرسپترون	آموزشی	0.42	0.50

	شبکه عصبی احتمالی	آزمایشی	0.6	0.55
		آموزشی	0.36	0.46
دی اکسید گوگرد	رگسیون	آموزشی	22.42	3.67
		آزمایشی	32.09	4.18
	پرسپترون	آموزشی	29.21	4.29
		آزمایشی	35.93	4.56
	شبکه عصبی احتمالی	آموزشی	22.9	3.73
		آزمایشی	28.14	3.89

ضریب همبستگی

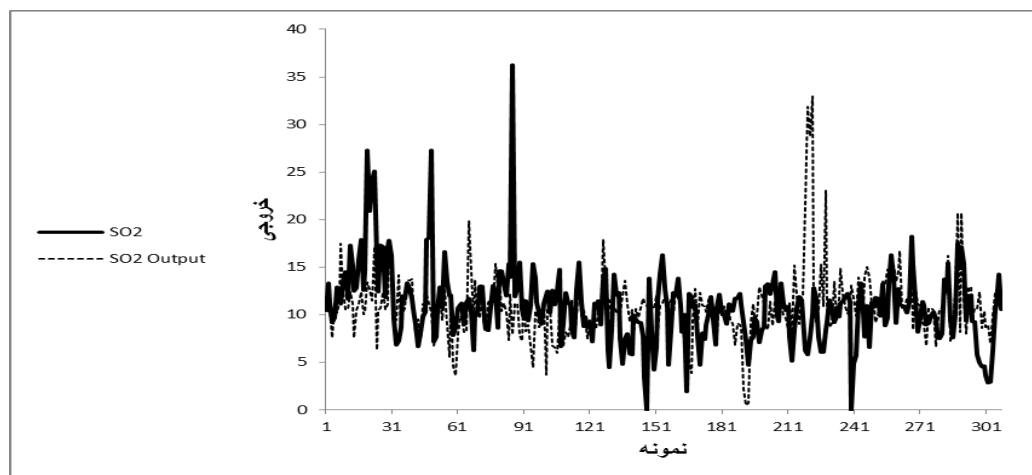
همبستگی‌های دو متغیره شامل دو نوع همبستگی فاصله‌ای و ترتیبی می‌باشد. چنانچه سطح معنی داری کوچکتر از ۰,۰۵ باشد نتیجه می‌گیریم که همبستگی بین دو متغیر معنی‌دار است اما اگر سطح معنی داری بزرگتر از ۰,۰۵ باشد همبستگی بین دو متغیر معنی‌دار نبوده و این دو متغیر ارتباط خطی با یکدیگر ندارند. مقادیر تمامی ضرایب همبستگی بین ۱- و ۱+ در نوسان است و علامت آن نشان‌گر جهت رابطه می‌باشد. در این تحقیق میزان ضریب همبستگی در نرم افزار SPSS محاسبه و نمایش داده شد.

جدول ۵ ضریب همبستگی بین متغیرهای اقلیمی و عناصر آلودگی جوی

اکسید نیترژن	اژن	منواکسیدکربن	دی اکسید گوگرد	رطوبت نسبی	سرعت باد	جهت باد	میانگین درجه حرارت	میانگین درجه حرارت
۰/۴۱۹*	-۰/۲۲۴	۰/۱۶۵	-۰/۰۶۱	-۰/۳۸۸	-۰/۱۱۲	۰/۱۶۶		میانگین درجه حرارت
۰/۱۵۴	-۰/۴۱۴*	۰/۰۷۳	-۰/۰۰۶	۰/۱۴۰	-۰/۰۵۲		۰/۱۶۶	جهت باد
-۰/۴۷۴**	۰/۴۲۶*	-۰/۲۷۶	۰/۰۲۸	۰/۵۵۷**		-۰/۰۵۲	-۰/۱۱۲	سرعت باد
-۰/۵۷۱**	۰/۳۰۰	-۰/۲۴۴	-۰/۰۴۶		۰/۵۵۷**	۰/۱۴۰	-۰/۳۲۸	رطوبت نسبی
۰/۱۵۷	-۰/۲۱۸	۰/۴۶۹*		-۰/۰۴۶	۰/۰۲۸	-۰/۰۰۶	-۰/۰۶۱	دی اکسید گوگرد
۰/۲۹۱	-۰/۴۲۵*		۰/۴۶۹*	-۰/۲۴۴	-۰/۲۷۶	۰/۰۷۳	۰/۱۶۵	منواکسید کربن
-۰/۶۴۴**		-۰/۴۲۵*	-۰/۲۱۸	۰/۳۰۰	-۰/۴۲۶*	-۰/۴۱۴*	-۰/۲۲۴	اژن
	۰/۶۴۴**	۰/۲۹۱	۰/۱۷۵	-۰/۵۷۱**	-۰/۴۷۴**	۰/۱۵۴	۰/۴۱۹*	اکسید نیترژن

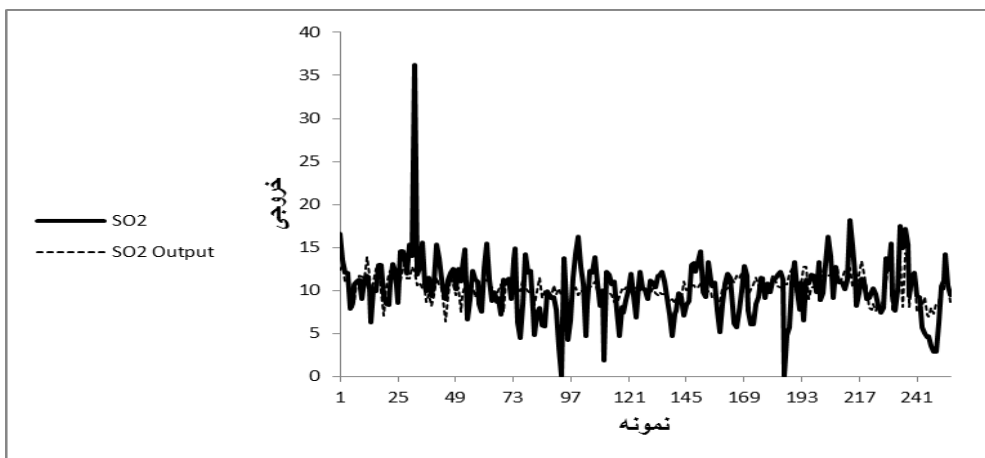
* همبستگی در سطح ۰/۰۵ معنادار است
** همبستگی در سطح ۰/۰۱ معنادار است

پارامترهای این جدول شامل دی اکسید نیتروژن، ازن، منواکسیدکربن و دی اکسید گوگرد و پارامترهای اقلیمی شامل رطوبت ساعت ۱۸،۳۰، سرعت باد، جهت باد و میانگین دما می باشد که با استفاده از نرم افزار SPSS همبستگی بین آنها محاسبه شده است. علامت یک ستاره به شکل توان در بالای ضریب همبستگی نشانگر آنست که معنی داری رابطه بین دو متغیر در سطح خطای کوچکتر از ۰،۰۵ درصد و اطمینان ۰،۹۵ قابل تفسیر است. علامت دو ستاره در اطمینان ۰،۹۹ درصد و سطح خطای کمتر از ۰،۰۱ درصد می باشد. به طور کلی با توجه به نتایج به دست آمده از مقادیر ضرایب همبستگی مشخص شد که از بین پارامترهای اقلیمی، رطوبت نسبی و دما در فصل بهار، تابستان و پاییز و پارامتر سرعت باد و رطوبت نسبی در فصل زمستان، بیشترین تاثیر را بر روی آلاینده های هوا داشته است. همچنین نتایج حاصل از مقدار میانگین مربعات خطا و مقدار میانگین مطلق خطا نشان داده است که شبکه عصبی احتمالی نسبت به مدل رگرسیون نتایج مناسبی داشته است. در این تحقیق جهت مقایسه مدل های استفاده شده، با انتخاب نمودارهای مقادیر قابل پیش بینی و تحلیل حساسیت، به تحلیل آنها پرداخته شد. جهت بررسی از داده های آموزشی برای مدل رگرسیون و شبکه عصبی احتمالی استفاده شده است و مورد مطالعه قرار گرفت. دلیل استفاده از داده های آموزشی به این خاطر است که بیشترین درصد (۷۰٪) را در این تحقیق شامل می شوند. شکل های ۱ و ۲، نمودار مقادیر پیش بینی در مقابل مقدار واقعی، آلاینده SO_2 و رابطه ی آن با میانگین دما، را نشان می دهد که برای مدل شبکه عصبی احتمالی و رگرسیون در فصل بهار، بر روی داده های آموزشی نمایش داده شده است.



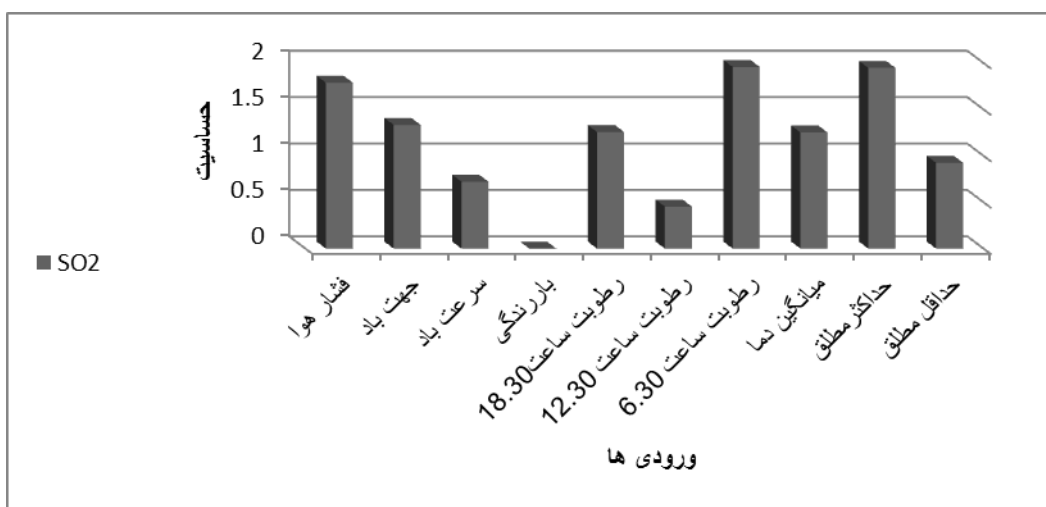
شکل ۳ نتایج مدل شبکه عصبی در مرحله آموزش شبکه

در شکل (۳) محور افقی تعداد نمونه و محور عمودی مقدار اندازه گیری شده را نمایش می دهد. این شکل میزان غلظت دی اکسید گوگرد را نشان داده که در آن مقدار پیش بینی در مقابل مقدار واقعی را با شبکه عصبی نشان می دهد. در این نمودار منحنی پررنگ مقدار واقعی و خط بریده مقدار پیش بینی را نمایش می دهد. نتایج نشان می دهد مقدار پیش بینی در مدل شبکه عصبی نسبت به مدل رگرسیون متفاوت می باشد.



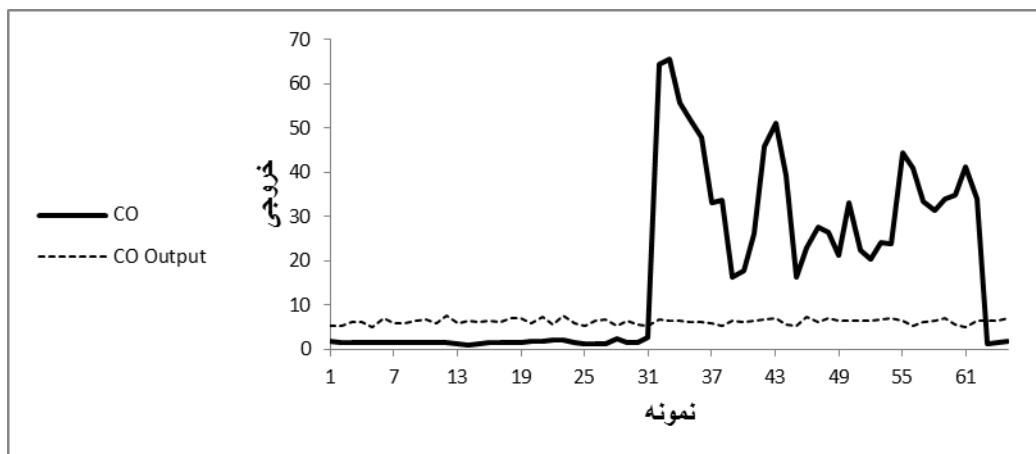
شکل ۴ نتایج مدل رگرسیون در مرحله آموزش شبکه

در شکل (۴) محور افقی تعداد نمونه و محور عمودی مقدار اندازه غلظت آلاینده دی اکسید گوگرد با استفاده از روش رگرسیون را نشان می دهد در این نمودار منحنی خط چین مقدار پیش بینی و منحنی پررنگ مقدار واقعی شبکه را نشان داده است.

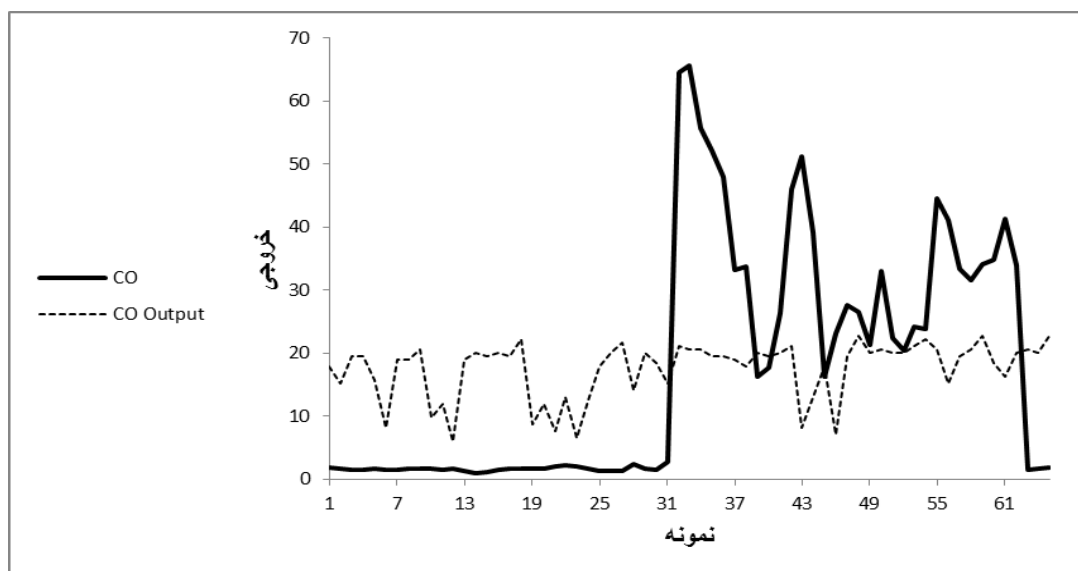


شکل ۵ نمودار تحلیل حساسیت تاثیر هریک از پارامترهای آب وهوایی بر غلظت دی اکسید گوگرد

در این نمودار، پارامترهای روی محور افقی به ترتیب از چپ به راست نشان دهندهی حداقل دمای مطلق، حداکثر دمای مطلق، میانگین دما، رطوبت نسبی مورد بررسی در ساعت ۶:۳۰، رطوبت نسبی در ساعت ۱۲:۳۰، رطوبت نسبی در ساعت ۱۸:۳۰، بارندگی، سرعت باد، جهت باد و فشار هوا می باشند. محور عمودی نیز میزان تاثیر عناصر اقلیمی بر غلظت آلایندهی SO₂، را نشان می دهد. با توجه به نمودار آنالیز حساسیت مشخص می شود که بارندگی کمترین تاثیر را بر آلایندهی دی اکسید گوگرد دارد. در مقابل رطوبت نسبی، درجه حرارت و فشار هوا بیشترین تاثیر را داشته اند. شکل های ۷ و ۶ نمودارهای غلظت آلایندهی CO و میانگین دما در فصل بهار برای داده های آموزشی را نشان می دهد.

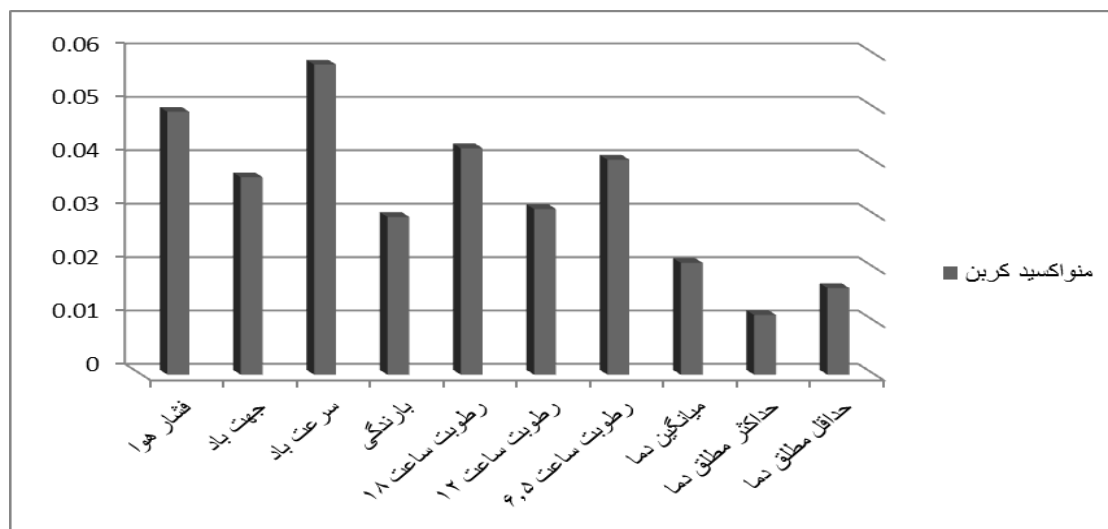


شکل ۶ نتایج مدل شبکه عصبی در مرحله آموزش شبکه



شکل ۷ نتایج مدل رگرسیون در مرحله آموزش شبکه

شکل های (۶ و ۷) نشان دهنده ی مقدار غلظت منواکسید کربن با استفاده از دو مدل شبکه عصبی و مدل رگرسیون می باشد. در این دو نمودار محور افقی تعداد نمونه و محور عمودی مقدار اندازه گیری شده را نشان می دهد. در این دو نمودار منحنی پررنگ مقدار واقعی و منحنی خط چین مقدار خروجی شبکه (مقدار پیش بینی) را نشان می دهد. همانطور که در این دو نمودار مشخص شده مقدار پیش بینی متفاوت است. نتایج نشان داده که عملکرد شبکه عصبی در برآورد مقدار پیش بینی از دقت بیشتری برخوردار بوده است.



شکل ۸ نمودار تحلیل حساسیت هریک از پارامترهای آب و هوایی بر غلظت منواکسید کربن

نمودار شماره ۸، نمودار تحلیل حساسیت پارامترهای آب و هوایی برای آلاینده‌ی منواکسید کربن می‌باشد. مطابق این شکل رطوبت نسبی در ساعات ۱۲،۳۰ و ۱۸،۳۰ و همچنین جهت باد و سرعت باد نشان دهنده بیشترین تاثیرات بر غلظت آلاینده منواکسید کربن است. حداکثر مطلق دما از کمترین اثر برخوردار می‌باشد.

۶. نتیجه‌گیری

نتایج تحقیق نشان می‌دهد که مدل شبکه عصبی احتمالی در مقایسه به مدل رگرسیون و مدل پرسپترون چند لایه توانسته است بین پارامترهای هواشناسی و غلظت آلاینده‌های (NO-O3-CO-SO2) در شهر مشهد رابطه برقرار کند. هدف از این تحقیق استفاده از مدلی است که بتواند بین عناصر اقلیمی و آلاینده‌های هوا ارتباط برقرار کند و همچنین عوامل اقلیمی تاثیر گذار بر آلودگی هوا را شناسایی کند. در این تحقیق داده‌ها به سه دسته آموزشی (۷۰٪)، ارزیابی (۱۵٪) و آزمایشی (۱۵٪) تقسیم بندی شد که شکل‌های ترسیم شده در این تحقیق براساس داده‌های آموزشی بوده است. نتایج حاصل از نمودار آنالیز حساسیت بیانگر این است که از بین عناصر اقلیمی تاثیر گذار بر آلاینده منواکسید کربن، رطوبت نسبی در ساعت (۱۲:۳۰) و جهت باد تاثیر گذارترین عوامل بر آلاینده‌ی CO می‌باشد. همچنین نتایج نشان داد که عامل اقلیمی تاثیر گذار بر غلظت دی اکسید گوگرد عوامل رطوبت نسبی در ساعت (۶:۳۰) و حداکثر دمای مطلق می‌باشد. با توجه به نمودارهای ترسیم شده در این تحقیق مشخص شد که شبکه عصبی احتمالی نسبت به دو مدل دیگر توانسته رابطه منطقی بهتری بین آلاینده‌های هوا و عناصر اقلیمی برقرار کند. جهت مقایسه مدل‌ها از معیار ضریب همبستگی، مقدار میانگین مربعات خطا و میانگین مطلق خطا استفاده شد. در نتایج حاصل از مدل شبکه عصبی احتمالی برای آلاینده منواکسید کربن، مقدار میانگین مربعات خطا (MSE) در شبکه

عصبی احتمالی 66.61 و در مدل رگرسیون 76.92 می باشد. همچنین مقدار میانگین مطلق خطا (MAE) به ترتیب به میزان 3.005 و 3.12 بوده است. نتایج حاصل از مدل شبکه عصبی برای آلاینده دی اکسید گوگرد، مقدار میانگین مربعات خطا 14.12 و مقدار میانگین مطلق خطا (MAE) 2.15 است، در حالی که این مقدار برای مدل رگرسیون به ترتیب برابر با 14.003 و 0.18-2.13 می باشد. بدین ترتیب شبکه عصبی احتمالی توانایی ایجاد یک رابطه‌ی غیر خطی بین آلاینده‌های هوا و عناصر اقلیمی برقرار می کند که این مدل نتایج مناسب و مفیدی به همراه داشته است. به طور کلی با توجه به نتایج به دست آمده از مقادیر ضرایب همبستگی مشخص شد که از بین پارامترهای اقلیمی، رطوبت نسبی و دما در فصل بهار، تابستان و پاییز و پارامتر سرعت باد و رطوبت نسبی در فصل زمستان، بیشترین تاثیر را بر روی آلاینده‌های هوا داشته است. همچنین نتایج حاصل از مقدار میانگین مربعات خطا و مقدار میانگین مطلق خطا نشان داده است که شبکه عصبی احتمالی نسبت به مدل رگرسیون نتایج مناسبی داشته است.

کتابنامه

- انتظاری، علی رضا (۱۳۸۴)؛ مطالعه آماری و سینوپتیکی آلودگی هوای تهران؛ استاد راهنما، بهلول علیجانی. پایان نامه دکتری آب و هواشناسی؛ دانشگاه تربیت معلم.
- اصغری مقدم، اصغر؛ نورانی، وحید؛ ندیری، عطاالله (۱۳۸۷). مدل سازی بارش دشت تبریز با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی، مجله دانش کشاورزی، شماره ۱، صص ۱-۱۵.
- تقوی، هدی. دانش، شهناز. مساعدی ابولفضل؛ (۱۳۹۱)؛ مقایسه کارایی مدل های شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون خطی در پیش بینی غلظت روزانه منواکسید کربن بر اساس پارامتر های هواشناسی. همایش ملی جریان و آلودگی هوا. صص ۱-۶.
- خزاعی، الهه، آل شیخ، علی اصغر. کریمی، محمد. وحیدنیا، محمدحسن (۱۳۹۱)؛ مقایسه دو روش مدل سازی با استفاده از شبکه عصبی-فازی در پیش بینی غلظت آلاینده منواکسید کربن. مجله محیط شناسی، شماره ۴. صص ۲۹-۴۴.
- علیجانی؛ بهلول. نجفی نیک؛ زهرا؛ (۱۳۸۸). بررسی الگوهای سینوپتیکی اینورژن در مشهد با استفاده از تحلیل عاملی. جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای؛ شماره ۱۲، صص ۱-۱۱.
- حبیب پور، کرم؛ صفری، رضا. (۱۳۹۰) راهنمای جامع کاربرد SPSS در تحقیقات پیمایشی. چاپ چهارم. انتشارات لویه. صص ۴۴۴-۴۴۷.
- حقیقت ضیابری، سیده مرضیه؛ حقیقت ضیابری، سیده مریم؛ دوستان، رضا؛ حسین زاده، سیدرضا. (۱۳۹۲). بررسی الگوهای همدید موثر بر آلودگی هوا در کلان شهر مشهد. مجله جغرافیا و توسعه ناحیه ای؛ صص ۸۲-۱۰۰.
- گلریزضیایی، زهرا. صادقی حصار، حمید. معتمدی، محمد. ژاله رجبی، میترا. پیش بینی، ارزش گذاری و ترسیم نقشه آلودگی هوای شهر مشهد: مطالعه موردی گاز منواکسید کربن (۱۳۸۹)، صص ۱-۱۱.

میرستار، صدرموسی. رحیمی؛ اکبر. (۱۳۸۸). مقایسه نتایج شبکه های عصبی پرسپترون چندلایه با رگرسیون چندگانه در پیش بینی غلظت ازن در شهر تبریز. پژوهش های جغرافیای طبیعی؛ شماره ۷۱؛ صص ۶۵-۷۲.

موسوی، محمد. معروف؛ محمدصادق. نائینی؛ امین. (۱۳۸۱). بررسی پتانسیل تشکیل مه دود فتوشیمیایی ناشی از صنایع در مشهد؛ نشریه نیوار. صص ۴۴ و ۴۵.

یاوری، حسین. سلیقه؛ محمد. (۱۳۹۰). سطوح وارونگی در آلودگی های شهرتهران. تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی؛ شماره ۲۰، صص ۸۹-۱۰۵.

- Croxford, B., Penn, A., Hillier, B. (1996). Spatial distribution of urban pollution: civilizing urban traffic, *Science of the Total Environment*, 190, 3-9.
- Comrie, Andrew C. (1997). Comparing neural networks and regression models for ozone forecasting, *Journal of Air & Waste Management*, 47(6), 653-663.
- Conrads, P.A., Roehle, E. A. (1999). Comparing Physics- Based and Neural Network Models Simulating Salinity, Temperature and Dissolved in a Complex, Tidally Affected River Basin, *Proceeding of the South Carolina Environmental Conference*, 1-15.
- Deleaw, S., Kuszniir, J., Lamb, B., Cook, D. (2010), Predicting air quality in smart environments, *Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments*, 2, 145-154.
- Fabio Tramuto. Cusimano, R., Cerame, G., Vultaggio, M., Calamusa, G., Maida, G. M., Vitale, F. (2011). Urban air pollution and emergency room admissions for respiratory symptoms: a case crossover study in palermo, italy. *Environmental Health*, 10(31), 1-11.
- Fulop, I. A., Jozsa, J., Karamer. T. (1998). A neural network application in estimating wind induced shallow lake motion. *Hydro informatics*, 98, 753-757.
- Hooyberghs, J., Mensink, C., Dumont, G., Fierens, F., Brasseur, O. (2005). A neural network forecast for daily average PM10 concentrations in Belgium. *Atmospheric Environment*, 39, 3279-3289.
- Piringer, M., Kukkonen, J. (2002). Mixing height and inversions in urban areas. In: Piringer, M., Kukkonen, J. (Eds.). *Proceedings of workshop, 3-4 October 2001, Toulouse, France. COST Action 715, EUR 20451, European Commission, Brussels*, 113.
- Kaan Yetilmezsoy. Erturk, F. (2010). A neural network- based approach for the prediction of urban SO2 concentrations in the Istanbul metropolitan area. *Int. J. Environment and Pollution*, 40 (4), 301- 319.
- Ranjithan, S., Eheart, J. W., & Garrett, J. H. (1995). Application of neural network in groundwater remediation under conditions of uncertainty. In Z. W. Kundzewicz (Ed.), *New uncertainty concepts in hydrology and water resources*, 133-140. Cambridge University Press.
- Vedat, U., Ozkan, O., Koyuncu, I., Deniz Demirba, K. (2012). Modeling Air Pollutants in Turkey with Artificial Neural Network and Multiple Linear Regression. *Iccit*, 79- 83.

