

## بررسی تأثیر عناصر اقلیمی بر آلودگی هوای شهر مشهد با استفاده از مدل شبکه عصبی

طاهره سلطانی گردفرامرزی

مرکز تحقیقات گردشگری، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران

امیرگندمکار<sup>۱</sup>

مرکز تحقیقات گردشگری، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران

هوشمند عطایی

دانشیار دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

عباس مفیدی

گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران

محسن باقری بداغ آبادی

موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۱/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۵/۱۸

### چکیده

شهر مشهد از جمله شهرهای آلوده ایران می‌باشد که عوامل متعددی در آلودگی آن نقش دارند از جمله عناصر اقلیمی که در این مقاله مورد بررسی قرار گرفته است. به این منظور داده‌های مربوط به آلودگی هوا (مونوکسید کربن، دی‌اکسید نیتروژن، دی‌اکسید گوگرد، ازن و ذرات معلق (PM10)) به صورت روزانه و از سال ۱۳۸۴ تا سال ۱۳۹۰ از اداره کل محیط زیست خراسان رضوی تهیه گردید و برای بررسی تأثیر عناصر اقلیمی بر آلودگی از داده‌های هواشناسی شامل حداقل و حداکثر دما، حداقل و حداکثر رطوبت، جهت و سرعت باد از ایستگاه سینوپتیک مشهد استفاده گردید. در این پژوهش از شبکه‌های عصبی با ساختارهای مختلف همانند پرسپترون استفاده شد و سعی گردید تا بهترین و کاراترین شبکه با تعیین مقدار خطای آن انتخاب و مورد استفاده قرار گیرد. در نهایت جهت انتخاب مدل مناسب و بهینه از شاخص‌های  $R^2$  و RMSE استفاده گردید. نتایج برآوردها نشان داد روش رگرسیون هیچ برآورد درستی از روزهای آلوده ندارد اما روش شبکه عصبی در ۲۵ درصد موارد برآورد درست‌تری از روزهای آلوده دارد.

**واژگان کلیدی:** عناصر اقلیمی، آلودگی هوا، شهر مشهد، شبکه عصبی مصنوعی

## مقدمه

اقلیم یکی از موثرترین عوامل ساختاری سیاره زمین است و بدون شک طبیعت، انسان و کلیه مظاهر حیات در سطوح گسترده‌ای متأثر از شرایط اقلیمی می‌باشد. اقلیم شناسی پهنه وسیعی از مطالعات رانه تنها در قلمرو طبیعت جوی، بلکه وظایف مربوط به محیط زیست را نیز در برمی‌گیرد. (محمدی، ۴۸، ۱۳۸۵) پدیده آب و هوایی برکیفیت هوای شهرتاثیر زیادی دارد و شرایط بحرانی آلودگی هوا تحت شرایط جوی خاصی ایجاد و تشدید می‌گردد. شناخت ارتباط بین شرایط جوی و کیفیت هوای شهر به پژوهشگران این امکان را می‌دهد که اثرات سوء ناشی از این ارتباط را به حداقل برسانند. با توجه به آن که در شهر مشهد روزانه بیش از ۸۰۰ هزار خودرو تردد می‌کنند و از طرفی منابع ثابت انتشار آلاینده هوا در داخل شهر موجب به دام افتادن دود و انواع آلاینده‌ها می‌شود، بنابراین هوای قسمت‌های مرکزی شهر از نظر شرایط اقلیمی با هوای پیرامون شهر متفاوت است. درجه حرارت در داخل محدوده شهری افزایش یافته و جزیره حرارتی شهری شکل می‌گیرد. تحقیقاتی که پیرامون اختلاف دمای بخش مرکزی شهر مشهد (در محدوده میدان شهداء) تا حاشیه آن (شهر طبقه) صورت گرفته است نشان می‌دهد که در فصل تابستان دمای بخش مرکزی شهر مشهد بین ۸ تا ۱۰ درجه سانتی‌گراد گرم‌تر از محدوده پیرامونی آن و در زمستان بین ۷ تا ۹ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. (بهنیافر و همکاران، ۱۳۸۹، ۴۱) بنابراین به منظور بررسی وضعیت آلودگی هوا در شهر مشهد و با توجه به اینکه عناصر اقلیمی یکی از دلایلی می‌باشند که بر افزایش و یا کاهش غلظت آلاینده‌ها مؤثر اند و همچنین چون شبکه عصبی یکی از مدل‌هایی است که جهت برآورد و پیش‌بینی آلاینده‌های جوی دارای اهمیت می‌باشد این پژوهش به بررسی ارتباط عناصر اقلیمی با آلودگی هوا در شهر مشهد با استفاده از مدل شبکه عصبی پرداخته است. شبکه‌های عصبی که به وسیله الگوبرداشتن از بدن انسان به وجود آمده‌اند، همانند بدن انسان از سلول‌هایی که به یکدیگر پیوند خورده‌اند تشکیل شده است. در شبکه‌های عصبی دو مرحله فرآیند وجود دارد: پیشرو و پسرو. در شبکه‌های عصبی ورودی‌ها از لایه ورودی به خروجی به صورت پیشرو در وزن‌های ضرب شده و پس از عبور از لایه‌های مختلف خروجی شبکه راتشکیل می‌دهند، اگر بین لایه‌های مختلف و یا خروجی پسخوری وجود داشته باشد، شبکه تغذیه برگشتی (پسرو) به وجود می‌آید. ساختار قابل یادگیری شبکه‌های عصبی، باعث به وجود آمدن روش‌های گوناگون و تصمیم‌های گوناگون جهت آموزش این گونه شبکه‌ها می‌باشد، شبکه با کمک یک سری از داده‌ها در ورودی آموزش می‌بیند و در هنگام حرکت پیشرو، بهترین و نزدیک‌ترین گزینه را به خروجی واقعی در جهت کاهش میزان خطا ارائه می‌کند. از شبکه‌های عصبی در پیش‌بینی سری زمانی، علی‌الخصوص جایی که شرایطی از قبیل ایستایی یا شرایط دیگری برای بکارگیری تکنیک‌های کلاسیک بایده‌فراهم باشد از بین می‌رود و همچنین هنگامی که دینامیک سری‌های زمانی زیاد باشند، بسیار استفاده شده است. (دورفینر، ۱۹۹۶، ۴۴۷) امروزه کاربردهای زیادی برای شبکه‌های عصبی بوجود آمده است و با توجه به نوع کاربرد ساختار و قوانین یادگیری در شبکه می‌تواند متفاوت باشد. بطور خلاصه مهم‌ترین شبکه‌های عصبی را می‌توان بصورت زیر تقسیم بندی نمود: پرسپترون چندلایه (MLP)، شبکه خودسازمانده (LVQ، SOM)، هاپفیلد، تأخیر زمانی (TDNN) و RBF. از بین شبکه‌های عصبی مذکور شبکه پرسپترون چندلایه (MLP) بیشترین کاربرد را در پیش‌بینی آلودگی‌های هوا

دارد. شبکه (MLP) از چندلایه ورودی، خروجی و لایه یا لایه‌های مخفی که خروجی لایه اول، بردار ورودی لایه دوم به حساب می‌آید. به همین ترتیب خروجی لایه دوم، بردار ورودی لایه سوم را تشکیل می‌دهد. خروجی‌های لایه دوم پاسخ واقعی شبکه را نشان می‌دهند. (چی لان، ۲۰۰۲: ۱۶۳)<sup>۱</sup> نحوه عمل پرسپترون چندلایه به این صورت است که الگوی به شبکه عرضه می‌شود و خروجی آن محاسبه می‌گردد. مقایسه خروجی واقعی و خروجی مطلوب، باعث می‌شود که ضریب وزنی شبکه تغییر یابد به طوری که در دفعات بعد خروجی درست‌تری حاصل می‌شود. قاعده فراگیری میزان کردن، ضرایب وزنی شبکه را بیان می‌کند. (رحیمی، ۱۳۸۵، ۱۲۴) در زمینه مدل شبکه‌های عصبی و آلودگی تحقیقاتی انجام شده از جمله: (آهیلتون، ۲۰۰۴، ۱۲) به بررسی شبکه عصبی و سری‌های زمانی برای پیش‌بینی آلودگی هوا پرداختند، در این مقاله از مدل پرسپترون چندلایه به منظور پیش‌بینی غلظت ساعتی و روزانه دی‌اکسید نیتروژن در شهر هیلسینکی استفاده شده است. (آیاردانم، بایرام اغلو، ۲۰۰۵، ۲۳) با استفاده از شبکه عصبی فازی به بررسی پیش‌بینی روزانه آلودگی هوا در شهر Zonguldak پرداخته در این مقاله، از روش منطق عصبی فازی تطبیقی به منظور برآورد تأثیر عوامل هواشناسی بر غلظت SO<sub>2</sub> استفاده شد که نتیجه رضایت بخشی رابه دنبال داشته است. (نیسکا، ۲۰۰۵)<sup>۴</sup> با استفاده از مدل پرسپترون چندلایه به بررسی و پیش‌بینی غلظت آلاینده‌های موجود در هوای مناطق شهری پرداخته است. این مدل با مدل‌های متناسب پیش‌بینی MLP که از داده‌های خروجی پیش‌پردازش هواشناسی استفاده شده مورد بررسی قرار گرفته است. (مارتین، ۲۰۰۸، ۱۶) به پیش‌بینی حداکثر غلظت CO با استفاده از شبکه عصبی در اسپانیا پرداختند و از دوروش MLPs به همراه قانون آموزش (K-Nearest neighbours) استفاده کرده‌اند. (ساندار، ۲۰۱۱، ۲) به بررسی غلظت ماهانه ازون و دمای حداکثر ماهانه کلکته با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی پرداختند. (هاجیک و همکاران، ۲۰۱۲، ۲) در مقاله‌ای به مطالعه مدل پیش‌بینی میانگین روزانه سطح ازون پرداخته‌اند. (دی. جنارو، ۲۰۱۳، ۳) به بررسی و پیش‌بینی غلظت pm<sub>10</sub> در مدیترانه غربی بر اساس مدل شبکه عصبی پرداختند و دریافتند این روش ابزاری قدرتمند برای بدست آوردن اطلاعات زمانی در بررسی کیفیت هوا می‌باشد. (شلاو و همکاران، ۲۰۱۳، ۱) از مدل شبکه عصبی برای پیش‌بینی سرعت باد استفاده کردند در ایران (علیاری و همکاران، ۱۳۸۷، ص ۱) به بررسی پیش‌بینی کوتاه مدت آلودگی هوا با کمک شبکه‌های عصبی پرسپترون چندلایه، خط حافظه دار تاخیر، گامو ANFIS باروشهای ترکیبی آموزشی مبتنی بر PSO پرداخته و نتیجه گرفتند که روش پیشنهادی ترکیبی بر اساس PSO و فیلتر کالمن برای آموزش شبکه anfis توانایی مناسبی در بهبود عملکرد پیش‌بینی داراست. (صدر موسوی و رحیمی، ۱۳۸۸، ۶۵) به مقایسه نتایج شبکه‌های عصبی پرسپترون چندلایه با رگرسیون چندگانه در پیش‌بینی غلظت ازون در شهر تبریز پرداخته‌اند، نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که مدل شبکه عصبی توانایی بیشتری نسبت به روشهای خطی داشته است، به طوری که ضریب همبستگی در مدل رگرسیون چندگانه ۰/۴۵ در حالیکه ضریب همبستگی در شبکه عصبی ۰/۹۱ بوده است. (بداقپور و چرخستانی، ۱۳۹۰، ۱) به بررسی پیش‌بینی میزان غلظت آلاینده‌های هوای تهران با استفاده از شبکه

<sup>1</sup> Chelani

<sup>2</sup> Hiltunen

<sup>3</sup> Yildirim, Bayramoglu

<sup>4</sup> Niska

<sup>5</sup> Martin

<sup>6</sup> Sundar

<sup>7</sup> Hajek.olej

<sup>8</sup> De gennaro

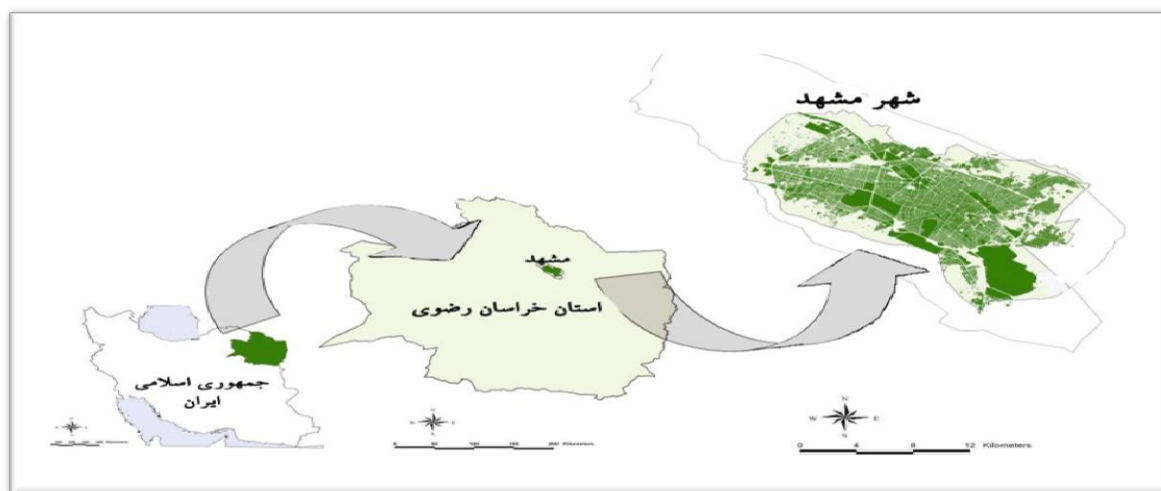
<sup>9</sup> Sheele, Deepa

عصبی مصنوعی پرداختند، تحقیقات انجام شده در رابطه با آلودگی هوا در شهر مشهد، نیز بیانگر آن است که علیرغم افزایش غلظت آلاینده‌های جوی و بروز پدیده آلودگی هوا در این شهر، پدیده یادشده در کلانشهر مشهد کمتر مورد توجه محققین قرار گرفته و به همین جهت جنبه‌های مختلف این معضل محیطی چه در مقیاس محلی و چه در مقیاس منطقه‌ای کمتر آشکار گردیده است. از نخستین تحقیقات انجام شده می‌توان به طرح جامع آلودگی هوای شهر مشهد در سال ۱۳۷۷ اشاره نمود، این طرح در دو مرحله با همکاری اداره استاندارد و تحقیقات صنعتی خراسان و شرکت کنترل کیفیت هوا برای چهار فصل در سالهای ۷۶ و ۷۷ انجام گرفت، این طرح شامل: ۱- اندازه‌گیری آلاینده‌های محیطی در هوای شهر مشهد ۲- ارزیابی آلاینده‌های خروجی از خودروهای بنزینی و دیزلی فعال در شهر مشهد ۳- بررسی و پردازش اطلاعات هواشناسی شهر مشهد می‌شد و با پژوهشی که با عنوان بررسی آلودگی هوای ناشی از سه نیروگاه طوس، مشهد و شریعتی انجام شده که طبق نتایج بدست آمده غلظت اکسیدهای نیتروژن و  $HO$  انتشار یافته از نیروگاه مشهد و شریعتی بر روی شهر مشهد قرار گرفته و آلودگی ناشی از نیروگاه طوس بر روی شهری تأثیر است. و با طرح جامع آلودگی هوای مشهد از سال ۱۳۸۴ توسط سازمان محیط زیست خراسان رضوی انجام گرفت که به صورت محدود به ارتباط بین آلودگی هوا و اقلیم پرداخته شده است. و (جهانشیری، ۱۰، ۱۳۸۹) به بررسی هم‌دید آلودگی هوای سال ۱۳۸۸ شهر مشهد پرداخته است. همچنین علیجانی و نجفی نیک (۲، ۱۳۸۸) به بررسی الگوهای سینوپتیکی اینورژن در مشهد با استفاده از تحلیل عاملی پرداختند و نتیجه گرفتند که دو تیپ نشان دهنده الگوی تابستانه، سه تیپ نشان دهنده الگوی زمستانه و دو تیپ نشان دهنده الگوی پاییزی است و اینورژن‌های فصل سرد قوی تر بوده دارای پایداری و تداوم بیشتری هستند که در نتیجه لایه‌ای از مواد آلاینده در سطح شهری می‌ماند و دوام بیشتری دارد. (فهیمی فرد و افشار، ۱، ۱۳۸۹) به بررسی و اندازه‌گیری آلودگی هوای مشهد پرداخته‌اند، نتایج بررسی‌ها نشان داد که با توجه به جهت بادهای غالب، محل استقرار نیروگاه‌های مشهد، شریعتی و کوره‌های آجرپزی نامناسب می‌باشد. (موسوی و همکاران، ۱، ۱۳۸۲) به بررسی آلودگی هوای ناشی از سه نیروگاه موجود در شهر مشهد با استفاده از مدل گوس پرداختند، و نتیجه گرفتند که با توجه به جهت باد غالب در شهر مشهد، موقعیت مکانی دو نیروگاه مشهد و شریعتی نامناسب و موقعیت مکانی نیروگاه طوس مناسب است. (قربانی و زارع، ۲، ۱۳۸۸) به بررسی ارزش‌گذاری ویژگی‌های مختلف آلودگی هوای شهر مشهد پرداختند و نتیجه گرفتند که ۳۰ درصد بهبود وضعیت آلودگی هوای مشهد، از ارزشی معادل ۱۱۳۰۳۴۷۲۶۵۰ ریال در ماه برخوردار است. همچنین (بهنیا فرو و همکاران، ۱، ۱۳۸۹) به بررسی عوامل و پارامترهای مؤثر بر آلودگی هوا در شهر مشهد، منابع انتشار آلودگی هوا در تعدادی از محورهای مشهد که از تراکم آلودگی در فصل زمستان برخوردارند پرداختند. مروری بر تحقیقات انجام شده مبین آن است که بررسی جامعی در رابطه با نقش فرآیندهای جوی بر غلظت آلاینده‌ها در کلانشهر مشهد به انجام نرسیده است و همچنین در زمینه استفاده از مدل شبکه عصبی و پیش‌بینی آلودگی هوا نیز در مشهد تاکنون پژوهشی چندانی صورت نگرفته است، بنابراین تحقیق حاضر به بررسی تأثیر عناصر اقلیمی بر آلودگی هوا و روش شبکه عصبی در پیش‌بینی آلودگی هوای مشهد پرداخته است.

محدوده مورد مطالعه

شهر مشهد مرکز استان خراسان رضوی با ۳۰۰ کیلومتر مربع مساحت، در شمال شرق ایران و در طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۶۰ درجه و ۳۶ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۳ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۸ دقیقه و در

حوضه آبریز کشف رود، بین رشته کوه‌های بینالود و هزار مسجد واقع است. ارتفاع شهر از سطح دریا ۹۸۵ متر است. این شهر در دشت مشهد جای گرفته که جزئی از حوضه آبریز قره قوم است.



شکل ۱) موقعیت شهر مشهد در استان خراسان رضوی

### داده‌ها و روش‌ها

جهت بررسی تأثیر عناصر اقلیمی بر آلودگی هوادر شهر مشهد با استفاده از شبکه عصبی ازدودسته داده استفاده گردید: داده‌های آلودگی هوا که از سازمان محیط زیست خراسان رضوی تهیه شد این داده‌های مربوط به ایستگاه وحدت واقع در مرکز شهر مشهد می باشد که شامل آلاینده‌های منوکسید کربن، دی اکسید نیتروژن، دی اکسید گوگرد، ازن و ذرات معلق (PM10) است که در مقیاس روزانه و برای یک دوره آماری ۷ ساله (۱۳۸۴-۱۳۹۰) تهیه و مورد پردازش قرار گرفته است، همچنین با توجه به اینکه پدیده آلودگی هوامتأثیر عناصر اقلیمی حاکم در یک منطقه است لازم بود که فراسنج‌هایی مانند دما، بارش، باد و... به همراه شاخص آلودگی هوامورد بررسی قرار گیرد بدین منظور عناصر اقلیمی نیز از سازمان هوا شناسی استان خراسان رضوی تهیه گردید. همچنین به منظور پیش بینی غلظت آلاینده از روش شبکه عصبی مصنوعی استفاده گردید. با توجه به اینکه یکی از مسایل بسیار مهم در شبکه‌های عصبی مصنوعی تهیه داده‌های اولیه برای آموزش شبکه می باشد توانایی شبکه عصبی در پاسخ به مسائل جدید تا حد زیادی به داده‌های اولیه بستگی دارد، لازم است به بررسی، جمع آوری، اندازه گیری و محاسبه ورودی‌های شبکه عصبی پرداخته شود تا در مراحل بعدی با استفاده از این داده‌ها به آموزش و آزمایش شبکه‌های عصبی گوناگون پرداخته و بهترین شبکه برگزیده شود.

### بحث

از بررسی انجام شده بر روی داده‌های آلودگی هوادر مشهد از لحاظ آماری این نتایج به دست آمد: توزیع فصلی روزهای آلوده برای دوره هفت ساله ۱۳۸۴-۱۳۹۰ در جدول ۱ درج شده‌اند. طبق این جدول میزان آلاینده‌ها در فصل زمستان بیشتر بوده است. (۳۹ روز آلودگی) و در مجموع دوره سرد سال، آلوده تر از دوره گرم سال بوده است. بیشترین غلظت آلاینده‌ها مربوط به ذرات معلق (PM10) می باشد، برای نمونه میزان ذرات معلق در ۲۲ آبان سال ۱۳۸۶ (۳۶۵/۱۳) بوده است. جدول ۲ نیز مشخصات روزهای آلوده را برای کل دوره آماری (۱۳۸۴-۱۳۹۰) نشان می‌دهد.

(جدول ۱) توزیع فصلی روزهای آلوده در ایستگاه وحدت

سال	زمستان	پاییز	تابستان	بهار
۱۳۸۴	۱۰	۱۲	I	۱
۱۳۸۵	-	-	-	۱
۱۳۸۶	۱۰	۱۴	۳	۲
۱۳۸۷	۱۰	۶	۳	6
۱۳۸۸	۳	۱	۳	۱
۱۳۸۹	۵	۴	۱	۱
۱۳۹۰	۱	۱	۱	۱
کل	۳۹	۳۸	۱۲	۱۳

منبع: یافته‌های پژوهش

(جدول ۲) مشخصات روزهای بسیار آلوده ( $PSI > 200$ ) در ایستگاه وحدت در طول دوره مورد مطالعه (۱۳۹۰-۱۳۸۴)

ردیف	مشخصات	نوع آلاینده	PSI	ردیف	مشخصات	PSI
۱	۲۰ اکتبر ۲۰۰۵	Pm10	۲۱۹/۸۱	۱۸	۱۹ آوریل ۲۰۰۸	Pm10
۲	۲۱ اکتبر ۲۰۰۵	Pm10	۲۶۴/۹	۱۹	۱۱ می ۲۰۰۸	Pm10
۳	۱۷ نوامبر	Co	۲۰۴/۱۹	۲۰	۲۹ می ۲۰۰۸	Pm10
۴	۲۱ نوامبر ۲۰۰۵	co	۲۰۱/۹۹	۲۱	۱۴ جون ۲۰۰۸	Pm10
۵	۱۶ دسامبر ۲۰۰۵	Pm10	۲۱۱	۲۲	۱۶ مارس ۲۰۰۹	Pm10
۶	۱۱ می ۲۰۰۶	Pm10	۲۱۸/۱۵	۲۳	۱۶ سپتامبر ۲۰۰۹	Pm10
۷	۲۷ جولای ۲۰۰۷	co	۲۶۶/۹	۲۴	۱۷ سپتامبر ۲۰۰۹	O3
۸	۵ نوامبر ۲۰۰۷	Pm10	۲۰۶/۹۹	۲۵	۲۱ سپتامبر ۲۰۰۹	O3
۹	۱۳ نوامبر ۲۰۰۷	Pm10	۳۶۵/۱۲۵	۲۶	۲۲ نوامبر ۲۰۰۹	O3
۱۰	۱۴ نوامبر ۲۰۰۷	Pm10	۲۳۴/۶۲	۲۷	۲۰ فوریه ۲۰۱۰	O3
۱۱	۲۰ نوامبر ۲۰۰۷	Pm10	۲۲۵/۲۸	۲۸	۲۱ فوریه ۲۰۱۰	O3
۱۲	۲۱ نوامبر ۲۰۰۷	Pm10	۲۲۷/۵۷	۲۹	۲۴ فوریه ۲۰۱۰	O3
۱۳	۱۸ فوریه ۲۰۰۸	Pm10	۲۲۰/۹	۳۰	۱ دسامبر ۲۰۱۰	Pm10
۱۴	۱۹ فوریه ۲۰۰۸	Pm10	۲۱۹/۹	۳۱	۱۱ دسامبر ۲۰۱۰	Pm10
۱۵	۴ مارس ۲۰۰۸	Pm10	۲۱۶/۹۵	۳۲	۳۱ دسامبر ۲۰۱۰	Pm10
۱۶	۱۵ مارس ۲۰۰۸	Pm10	۳۴۶	۳۳	۹ فوریه ۲۰۱۲	O3
۱۷	۱۸ آوریل ۲۰۰۸	Pm10	۲۱۴/۹	۳۴	۴ مارس ۲۰۰۶	co

منبع: یافته‌های پژوهش

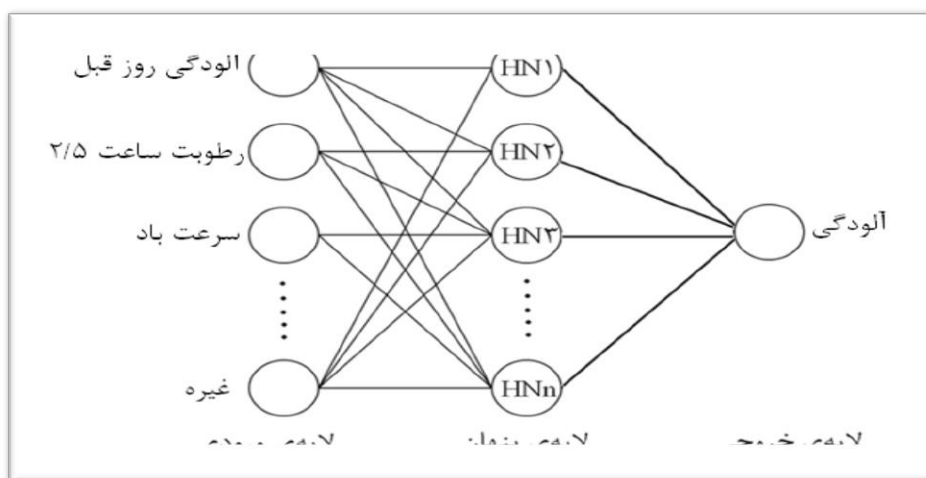
مدلسازی با شبکه عصبی مصنوعی:

بسط و توسعه یک مدل شبکه عصبی مصنوعی مستلزم طراحی اجزاء فنی تشکیل دهنده آنست. جهت دستیابی به اهداف مورد نظر از شبکه‌های عصبی با ساختارهای مختلف همانند پرسپترون سعی گردید تا بهترین و کاراترین شبکه با تعیین مقدار خطای آن انتخاب و مورد استفاده قرارگیرد. در نهایت جهت انتخاب مدل مناسب و بهینه از شاخص‌های  $R^2$  و RMSE استفاده گردید. در این تحقیق پارامترهای سرعت باد، دما، بارندگی و ..... و آلودگی روزهای قبل از روز آلوده به عنوان داده‌های ورودی و روز آلوده به عنوان داده‌های خروجی در نظر گرفته شدند. مدل-های شبکه عصبی مصنوعی جهت طراحی نیازمند سه دسته داده آموزشی، اعتبارسنجی و آزمون می‌باشند. از داده‌های آموزشی به منظور پیدا کردن رابطه بین ورودی‌ها و خروجی‌های مشاهده‌ای، استفاده می‌گردد. از داده‌های اعتبارسنجی به منظور کنترل و نظارت بر یادگیری صحیح شبکه استفاده می‌شود و از داده‌های آزمون برای ارزیابی

عملکرد شبکه پیشنهادی استفاده می‌گردد. لازم به ذکر است که گاه جهت طراحی شبکه‌های عصبی مصنوعی تنها دو دسته داده آموزشی و آزمون استفاده می‌شوند. در این تحقیق ۷۰ و ۳۰ درصد کل داده‌ها، به ترتیب برای آموزش و آزمون مدل اختصاص یافت.

طراحی شبکه:

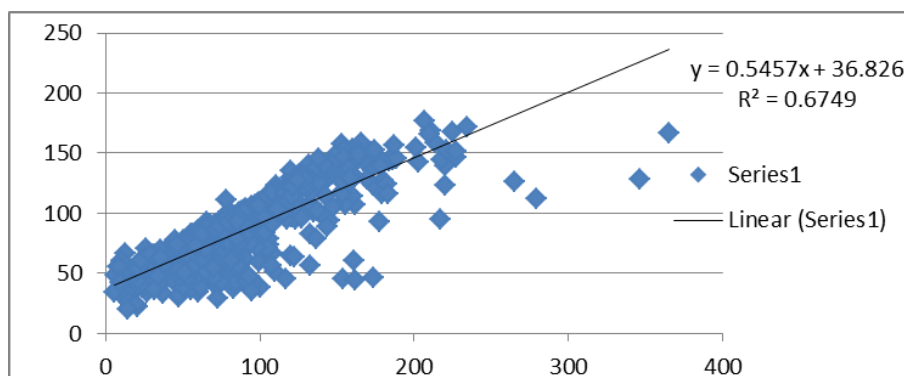
مهم‌ترین خصوصیات مؤثر بر آلودگی شامل آلودگی یک روز قبل، رطوبت ساعت ۱۲/۵، سرعت باد، به عنوان پارامترهای ورودی و آلودگی به عنوان خروجی شبکه در نظر گرفته شدند. (شکل ۲) این ویژگی‌ها پس از انجام آزمایش روی تمام پارامترها و بررسی تأثیر اهمیت هریک از آنها روی آلودگی بدست آمدند. به منظور آموزش شبکه‌ی عصبی، شبکه MLP مورد استفاده قرار گرفت. فرایند آموزش که شامل تغییر وزن‌ها بین لایه‌های مختلف در طول زمان آموزش است، انجام گردید تا جایی که تفاوت بین داده‌های واقعی (برای داده‌های آزمون) و داده‌های پیش‌بینی شده به حداقل برسد. برای فرایندهای آموزش بکار گرفته شدند، تعداد عناصر پردازش لایه مرکزی نیز از ۱ تا  $N+12$  (تعداد نرون‌های ورودی می‌باشد) و تعداد لایه‌های مخفی نیز از ۱ تا ۲ بار در فرایند آموزش و آزمون مدل تکرار گردیدند و در نهایت بیش از ۲۲۰ شبکه مختلف تهیه گردید. در هر الگوریتم آموزشی هدف، کاهش میزان ریشه میانگین مربع خطا ((RMSE) و افزایش  $R^2$  است. یکی از اهداف این تحقیق، مقایسه دو روش رگرسیون و شبکه عصبی در برآورد آلودگی است. لذا برای مقایسه بهتر، در برازش مدل‌های شبکه عصبی از همان متغیرهای مستقل منتخب در مدل‌های رگرسیونی گام به گام به عنوان ورودی و آلودگی به عنوان خروجی استفاده شد. به منظور ارزیابی و مقایسه عملکرد شبکه عصبی مصنوعی، مقادیر آلودگی برآورد شده به وسیله روش‌های شبکه عصبی مصنوعی در مقابل مقادیر واقعی ترسیم گردید و بهترین خط عبوری از مابین داده‌ها برازش گردید. نتایج بهترین شبکه و رگرسیون به صورت شکل‌های ۳ و ۴ نشان داده شده است. هرچه مقدار شیب خط به عدد یک نزدیکتر باشد و همچنین ضریب تبیین از مقدار بالاتری برخوردار باشد، نشان دهنده دقت بالاتر مدل می‌باشد. با مقایسه شکل‌های ۳ و ۴ مشاهده می‌گردد که روش شبکه عصبی دارای دقت بیشتری در برآورد آلودگی نسبت به روش رگرسیون می‌باشد که دلیل این امر در نظر گرفتن روابط غیرخطی بین پدیده هادرو روش شبکه عصبی می‌باشد.



<sup>1</sup> - Root Mean Square Error (RMSE)

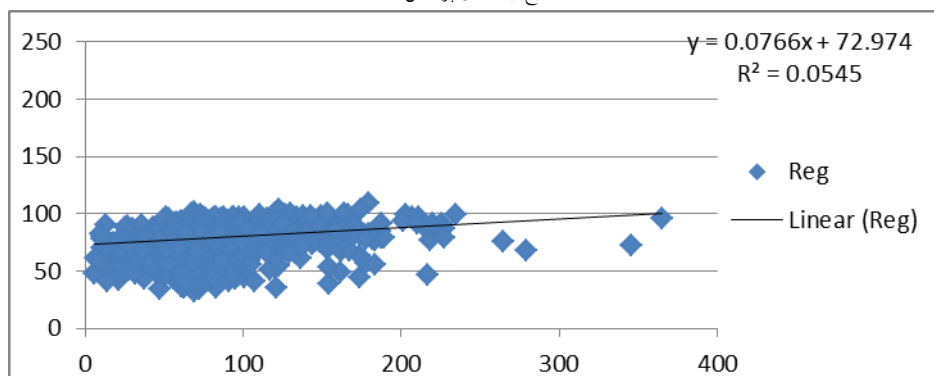
(شکل ۲) ساختار لایه‌ای شبکه‌های عصبی مصنوعی

(علایم HN1 تا HNN، نشان‌گر گره‌های لایه‌ی پنهان می‌باشند).



(شکل ۳) شبکه عصبی و خط رگرسیون

منبع: یافته‌های پژوهش



(شکل ۴) نتایج شبکه عصبی و خط رگرسیون

منبع: یافته‌های پژوهش

جدول زیر مقادیر RMSE و  $R^2$  را برای دو روش شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون نشان می‌دهد.

(جدول ۳) برآورد مقادیر میانگین مربع خطا و افزایش در شبکه عصبی و رگرسیون

$R^2$	RMSE	روش	ورودی
۴۲/۰	۵/۲۹	شبکه عصبی	آلودگی یک روز قبل
۳۸/۰	۱/۳۲	مصنوعی	رطوبت ساعت ۵/۱۲
۱۹/۰	۸/۴۱	مصنوعی	سرعت باد
۱۸/۰	۸/۴۸	مصنوعی	رطوبت ساعت ۵/۶ عصر
۴۷/۰	۱/۲۱	مصنوعی	هر چهار متغیر
۱/۰	۵/۳۸	رگرسیون	آلودگی یک روز قبل
۰۸/۰	۴/۴۲	رگرسیون	رطوبت ساعت ۵/۱۲
۰۵/۰	۸/۴۸	رگرسیون	سرعت باد
۰۳/۰	۶/۵۱	رگرسیون	رطوبت ساعت ۵/۶ عصر
۱۲/۰	۱/۳۶	رگرسیون	هر چهار متغیر

\* همه مقادیر  $R^2$  در سطح ۹۹ درصد معنی دار هستند.

منبع: یافته‌های پژوهش

همانطور که مقادیر RMSE و  $R^2$  نشان می‌دهند آلودگی یک روز قبل در هر دو روش شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون، پارامتر مؤثر و مهم‌تری می‌باشد. چراکه وقتی تنها با آلودگی یک روز قبل مقدار آلودگی برآورد می‌گردد مقدار RMSE نسبت به سایر پارامترها کمتر می‌باشد. همچنین، مقدار  $R^2$  نیز برای آلودگی یک روز قبل بیشتر است.



## نتیجه گیری

نتایج بدست آمده نشان می‌دهند که مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی بدلیل در نظر گرفتن روابط غیرخطی موجود میان پارامترها و بدنبال آن افزایش دقت در برآورد پیش‌بینی‌ها می‌توانند جایگزین مناسبی برای مدل‌های مرسوم رگرسیونی در مدلسازی آلودگی باشند. بر اساس پارامترهای آماری مندرج در جدول ۳ و با توجه به میزان  $R^2$  و RMSE حاصل از دو روش رگرسیونی و شبکه عصبی، از هر لحاظ شبکه عصبی بر روش رگرسیون چند متغیره خطی برتر بوده و از طرف دیگر وجود رابطه غیرخطی بین پارامترها و آلودگی را تأیید می‌کند. شایان ذکر است که در مدل‌های رگرسیونی، همبستگی ضعیف بین دو متغیر وابسته به هم، همیشه نشان دهنده عدم ارتباط این دو متغیر با همدیگر نیست. در برخی مواقع ممکن است همبستگی غیر خطی بین دو متغیر وجود داشته باشد که به وسیله ضریب همبستگی خطی قابل اندازه گیری نیست. نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی ابزار موثری برای پیش‌بینی آلودگی با استفاده از خصوصیات اقلیمی دیگر از جمله رطوبت ساعت ۱۲/۵ و سرعت باد است. نتایج برآوردها نشان داد روش رگرسیون هیچ برآورد درستی از روزهای آلوده ندارد اما روش شبکه عصبی در ۲۵ درصد موارد برآورد درست از روزهای آلوده دارد. به هر حال به نظر می‌رسد بجز عامل اقلیمی، عوامل مهم دیگری مانند تعداد وسایل نقلیه و تردد آنها در آلودگی هوای مشهد موثر می‌باشد.

## منابع

- بهنیافر، ابوالفضل، قنبرزاده، هادی، بررسی عوامل و پارامترهای مؤثر بر آلودگی هوادر شهر مشهد، ۱۳۸۹، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد
- بداقپور، سیامک، چرخستانی، امیر، ۱۳۸۷، پیش بینی میزان غلظت آلاینده‌های هوای تهران با استفاده از شبکه عصبی. مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره سیزدهم، شماره یک، بهار ۹۰
- جهانشیری، مهین، ۱۳۸۹، بررسی آماری-همدید آلودگی هوای مشهد سال ۱۳۸۸، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه سبزوار
- رحیمی، اکبر، ۱۳۸۵، بررسی آلودگی هوادر قسمت مرکزی و صنعتی تبریز با استفاده از شبکه عصبی پرسپترون چندلایه، دانشگاه تبریز
- صدرموسوی، میرستار، رحیمی، اکبر، ۱۳۸۸، مقایسه نتایج شبکه‌های عصبی پرسپترون چند لایه بارگرسون چندگانه در پیش بینی غلظت ازن در شهر تبریز، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۱، بهار، ص ۶۵-۷۲
- علیچانی، بهلول، نجفی نیک، زهرا، ۱۳۸۸، بررسی الگوهای سینوپتیکی اینورزن در مشهد با استفاده از تحلیل عاملی، مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، شماره دوازدهم،
- علیاری شوره دلی، مهدی، تشنه لب، محمد، خاکی صدیق، علی، ۱۳۸۷، پیش بینی کوتاه مدت آلودگی هوا با کمک شبکه‌های عصبی پرسپترون چندلایه، خط حافظه دار تاخیر، گامو Anfis باروش های ترکیبی آموزشی مبتنی بر PSO. جهاد دانشگاهی
- فهمی فرد، سید محمد، افشار، فهیمه، بررسی و اندازه گیری آلودگی هوای شهر مشهد، ۱۳۸۹، دومین کنفرانس برنامه ریزی و مدیریت شهری قربانی، محمد، علی فیروز زارع، ۱۳۸۸، ارزش گذاری ویژگیهای مختلف آلودگی هوا در مشهد، مجله تحقیقات اقتصادی، شماره ۸۹، صص ۲۴۱-۲۱۵
- موسوی، محمود، بحر پیما، سارا، رضازاده، رضا (۱۳۸۲). بررسی آلودگی هوای ناشی از سه نیروگاه موجود در شهر مشهد با استفاده از مدل گوس، چهارمین همایش ملی انرژی،
- محمدی، حسین، ۱۳۸۵، ارتباط عناصر اقلیمی و آلاینده های هوای تهران بامرگ ومیرهای ناشی از بیماریهای قلبی (دوره مطالعاتی ۱۹۹۹-۲۰۰۳)، مجله پژوهشهای جغرافیایی، شماره ۵۸، زمستان
- Chelani, A. B.; Chalapati R, C, V.; Phadke, K, M; Hasan, M. Z., 2002. Prediction of sulphur dioxide concentration using artificial neural networks. Environmental Modelling & Software 21, 430-446

- Niska, Harri, Rantamaki, Minna, Hiltunen, Teri, Karppinen, Ari, Kukkonen, Jaakko, Ruuskanen, Juhanni, Kolehmainen, Mikko, 2005, Evaluation of an integrated modelling system containing a multi-layer perceptron model and the numerical weather prediction model HIRLAM for the forecasting of urban airborne pollutant concentrations Elsevier
- Martín, M.L. Turias, I.J, Gonzalez, F.J, Galindo, P.L, Trujillo, F.J, Puntonet, C.G, Gorriz, M.J 2007, Prediction of CO maximum ground level concentrations in the Bay of Algeciras, Spain using artificial neural networks. Elsevier
- Yildirim, Yilmaz, Bayramoglu, Mahmut, 2005, Adaptive neuro-fuzzy based modelling for prediction of air pollution daily levels in city of Zonguldak. Elsevier
- Hiltunen, Teri, Karppinen, Ari, Ruuskanen, Juhani, Kolehmainen, Mikko, 2004, Evolving the neural network model for forecasting air pollution time series. Elsevier
- Trizio, Livia, Di Gilio, Alessia, Pey, Jorge, Pérez, Noemi, Cusack, Michael, Alastuey, Andrés, Querol, Xavier, 2013, Neural network model for the prediction of PM<sub>10</sub> daily concentrations in two sites in the Western Mediterranean. Elsevier
- G. Dorffner, Neural Networks for Time Series Processing, Neural Network World, Vol. 4, pp. 447-468, 1996.
- Sundar De, Syam, Chattopadhyay, Goutami, Bandyopadhyay, Bijoy, Paul, Suman 2011. Approche par calcul neuronal pour la prévision de la température mensuelle maximum sur Kolkata, Inde, par utilisation de la concentration maximum d'ozone total en tant que prédicteur Approche. Elsevier
- Hájek, Petr, Olej, Vladimír, 2012, Ozone prediction on the basis of neural networks, support vector regression and methods with uncertainty. Elsevier
- Sheela, Gnana.K, Deeppa, S.N, 2013, Neural network based hybrid computing model for wind speed prediction. Elsevier