

## پیش‌بینی کوتاه‌مدت آلودگی ذرات معلق شهر اهواز با کمک شبکه‌های عصبی

حسین صادقی<sup>1</sup>، سمانه خاکسار آستانه<sup>2\*</sup>

1 استادیار گروه اقتصاد دانشکده مدیریت و اقتصاد دانشگاه تربیت مدرس

2 دانشجوی کارشناسی ارشد اقتصاد انرژی دانشگاه تربیت مدرس

(تاریخ دریافت: 1391/1/22؛ تاریخ تصویب: 1393/4/30)

### چکیده

آلودگی هوای شهرها یکی از مهم‌ترین معضلات محیط‌زیستی بوده که همواره تهدیدی دایم و جدی برای سلامت و بهداشت جامعه و محیط‌زیست می‌باشد. بررسی‌های گسترده نشان می‌دهد، آثار بالقوه آلودگی هوا بر سلامت انسان شامل: افزایش مرگ و میر، افزایش مراجعه به بیمارستان، افزایش تغییرات در عملکرد فیزیولوژیکی بدن به‌ویژه عملکرد تنفسی و قلبی-عروقی بوده است. ذرات معلق یکی از شش آلاینده بسیار خطرناک بوده که صدمات جبران ناپذیری را به بدن انسان وارد می‌کنند. این آلاینده، متشکل از موادی مانند: اسیدها، فلزات و گرد و غبار می‌باشد. از جمله ذرات معلق مهم که سبب آلودگی شدید هوا می‌شود، می‌توان به PM10 اشاره کرد. PM10 به ذرات معلق 10 میکرونی گفته می‌شود که از ترکیب اکسید نیتروژن و دی‌اکسید گوگرد در جو زمین تشکیل می‌شوند. بر اساس گزارش سازمان بهداشت جهانی، شهر اهواز با میانگین سالانه 372 میکروگرم بر مترمکعب PM10، به عنوان آلوده‌ترین شهر دنیا مقام اول را بین 1100 شهر کسب کرده است. بنابراین، در این مطالعه با استفاده از داده‌های ماکزیمم آلودگی ذرات معلق 10 میکرونی که به صورت سری زمانی 24 ساعته تهیه شده به منظور پیش‌بینی میزان آلودگی این آلاینده در هوای شهر اهواز مورد استفاده قرار گرفته است. یک شبکه با تاخیر زمانی نیز که با الگوریتم یادگیری LMS آموزش داده شده است طراحی و غلظت انتشار این آلاینده برای مهرماه 1390، پیش‌بینی شده است.

**کلید واژه‌ها:** آلودگی هوا، ذرات معلق 10 میکرونی، پیش‌بینی، شهر اهواز، شبکه عصبی تاخیردار

## سرآغاز

محیط‌زیست یکی از ارکان بسیار مهم حیات و توسعه محسوب می‌شود. زیرا، نقش‌های متعددی را برای ایجاد تعادل در مولفه‌های مختلف بازی می‌کند. اما، هم اکنون این مولفه به دلیل فقدان قوانین و مقررات ویژه و عدم تعریف مالکیت خاص برای آن، به طور آزاد و نامحدود مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد که نتیجه آن، تخریب محیط‌زیست و ایجاد آلودگی‌های مختلف در این حوزه است (قربانی و فیروززاد، 1387).

آلودگی هوای شهرها یکی از مهم‌ترین معضلات محیط‌زیستی بوده که همواره تهدیدی دایم و جدی برای سلامت و بهداشت جامعه و همچنین محیط‌زیست می‌باشد. بررسی‌های گسترده نشان می‌دهد، آثار بالقوه آلودگی هوا بر سلامت انسان شامل افزایش مرگ و میر، افزایش مراجعه به بیمارستان، افزایش تغییرات در عملکرد فیزیولوژیکی بدن به‌ویژه عملکرد تنفسی و قلبی - عروقی است.

بر اساس تعریف، آلودگی هوا به وجود یک یا چند آلاینده در هوای آزاد به آن اندازه تداومی که برای انسان مضر بوده و یا موجب زیان رساندن به حیوانات، گیاهان و اموال شود، گفته می‌شود (امیریگی و احمدی، 1386).

از مهم‌ترین آلاینده‌های هوا می‌توان به اکسیدهای نیتروژن به‌خصوص دی‌اکسیدنیتروژن، اکسیدهای سولفور به‌ویژه دی‌اکسیدسولفور، هیدروکربن‌ها، منواکسیدکربن، دی‌اکسیدکربن و ذرات معلق اشاره کرد.

در ایران، میزان انتشار آلاینده‌های هوا در بسیاری از شهرها از جمله تهران، اهواز، سنندج، مشهد، اصفهان به سطح خطرناکی رسیده است. بر اساس گزارش برنامه محیط‌زیست سازمان ملل متحد، ذرات معلق مهم‌ترین آلاینده هوا در شهرهای بزرگ جهان محسوب می‌شوند (World Health Organization, 1992). براساس بررسی‌های سازمان بهداشت جهانی، به ازای افزایش هر 10 میکروگرم ذرات معلق، میزان مرگ و میر 1 تا 3 درصد افزایش می‌یابد (حاتمی و همکاران، 1383).

از جمله مطالعات انجام گرفته در زمینه پیش‌بینی آلودگی هوا، می‌توان به مطالعات زیر اشاره کرد:

(Berastegi et al, 2008). در مطالعه‌ای به پیش‌بینی آلودگی هوای بیلباو با استفاده از شبکه‌های عصبی پرداختند. آن‌ها در این مطالعه، از 3 شبکه MLP, RBF و GRNN برای پیش‌بینی

استفاده کرده‌اند. (Brunelli et al., 2007). در مطالعه‌ای با استفاده از تکنیک شبکه‌های عصبی و طراحی 2 شبکه، پرسپترون چندلایه و المان به پیش‌بینی حداکثر غلظت روزانه  $O_3$ ,  $NO_2$ ,  $SO_2$ ,  $Co$ ,  $PM_{10}$  در مناطق شهری ایتالیا اشاره کردند. (Perez & Reyes, 2006). به طراحی یک مدل شبکه عصبی برای پیش‌بینی غلظت  $PM_{10}$  هوای شهر نتیاگو در شیلی پرداختند و با استفاده از این مدل آلودگی  $PM_{10}$  هوای این شهر را برای سال 2003، پیش‌بینی کردند. (بوداقپور و چرخستانی، 1378)، به پیش‌بینی میزان غلظت آلاینده‌های هوای تهران با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی پرداختند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد: دقت پیش‌بینی با استفاده از شبکه عصبی بالاتر از رگرسیون خطی می‌باشد. (علیاری و همکاران، 1387)، در مطالعه‌ای به پیش‌بینی کوتاه‌مدت هوا با کمک شبکه‌های عصبی پرسپترون چندلایه، خط حافظه‌دار تاخیر، گاما و ANFIS با روش‌های ترکیبی آموزش مبتنی بر PSO پرداختند و در نهایت این روش‌های هوشمند را با هم مقایسه کرده و نشان دادند، روش پیشنهادی ترکیبی بر اساس PSO و فیلتر کالمن برای آموزش شبکه ANFIS، توانایی مناسبی در بهبود عملکرد پیش‌بینی داراست.

بنابراین، امروزه نیاز به مطالعه ویژگی‌های ذرات معلق، نحوه انتشار آنان به همراه تعیین منشای تولید این ذرات، همچنین پیش‌بینی روند آلودگی هوای ناشی از این ذرات به منظور مدیریت این پدیده و سیاست‌گذاری‌های مناسب در جهت تعدیل میزان آلودگی، یکی از اولویت‌های اساسی برنامه‌های کنترل آلودگی هوا در شهرها می‌باشد.

بدین‌منظور در این مطالعه، ابتدا به بررسی منابع آلودگی هوا و آلودگی ذرات معلق در شهر اهواز پرداخته شده است. سپس، شبکه عصبی جهت پیش‌بینی آلودگی حاصل از انتشار  $PM_{10}$  طراحی و در نهایت، آلودگی ناشی از ذرات معلق 10 میکرونی در این شهر برای مدت 1 ماه پیش‌بینی شده است.

منابع عمده آلودگی هوا عبارت از منابع طبیعی و منابع مصنوعی می‌باشند. ولی، این تقسیم‌بندی ممکن است بر اساس منبع، منشأ، ترکیبات و آثار فیزیولوژیکی متفاوت باشد.

منابع آلوده کننده هوا بر اساس منبع تولید به دو گروه زیر تقسیم می‌شوند:

✓ منابع طبیعی: شامل طوفان و گردوغبار، فعالیت آتشفشانی،

✓ بعضی ذرات معلق موجود در اتمسفر بر اثر آثاری که روی همدیگر می‌گذارند، سبب افزایش اثرات سمی بعضی از آلوده‌کننده‌ها می‌شوند.

✓ ذرات معلق موجب افزایش آلوده‌کننده‌های اتمسفری می‌شوند، به طوری که می‌توانند در کاهش بینایی نقش به‌سزایی داشته باشند.

همچنین، با توجه به آثار بسیار زیان‌بار و خطرناک ذرات معلق، از جمله روش‌های پیشگیری و کنترل طوفان‌های گردوغباری می‌توان به اقدام‌های بیولوژیکی اشاره کرد. یک نمونه از آن‌ها، ایجاد پوشش گیاهی در مناطق بیابانی است. اقدام‌های دیگر شامل: توسعه موانع اکولوژیکی مانند: کمربندهای جنگلی می‌باشد که مانع پیشرفت بیابان می‌شود (United Nation Environment Program, 2005).

### آلودگی هوا در شهر اهواز (انتخاب شهر اهواز برای مطالعه)

سازمان بهداشت جهانی در سال 2011، گزارشی را مبتنی بر داده‌های اعلام شده کشورها در چند سال اخیر در رابطه با ذرات کوچک‌تر از 10 میکرومتر منتشر کرده است. این گزارش بر کاهش آلودگی هوا به عنوان عاملی که سبب مرگ زودرس 1.34 میلیون نفر در هر سال می‌شود، تاکید داشته و حد نهایی آن‌ها، 20 میکروگرم در هر مترمکعب در سال اعلام شده است. بر اساس گزارش این سازمان، میزان سالانه این آلودگی در شهر اهواز 372 میکروگرم در هر مترمکعب گزارش شده است. بنابراین، شهر اهواز به عنوان آلوده‌ترین شهر دنیا مقام اول را بین 1100 شهر کسب کرده است.

همچنین در شکل (1) که بر اساس آمار تهیه شده از سازمان محیط‌زیست کشور رسم شده است، میانگین غلظت ماهیانه ذرات PM10 برای نیمسال دوم 1389 و نیمسال اول 1390، نشان داده شده است. بر اساس این نمودار، طی دوره مورد مطالعه بیشترین میزان انتشار ذرات معلق 10 میکرونی، در مهرماه 1389، گزارش شده است که این عدد برابر با 1298 میکروگرم در مترمکعب بوده است.

همچنین در شکل (2)، ماکزیمم غلظت ذرات معلق در فصول مختلف مورد مقایسه قرار گرفته است. همان‌طور که در این شکل نشان داده شده است، ماکزیمم غلظت روزانه ذرات معلق 10 میکرونی در فصل بهار و در فروردین ماه گزارش شده است.

دود و خاکستر آتش سوزی‌های جنگلی، شهاب‌های آسمانی، منابع گیاهی و حیوانی و چشمه‌های آبگرم معدنی ✓ منابع مصنوعی: شامل وسایل نقلیه، صنایع و نیروگاه‌ها، سیستم‌های گرم‌کننده منابع خانگی و تجاری، زباله‌سوزها و مواد رادیواکتیو

اما در یک تقسیم‌بندی عمده دیگر، آلوده‌کننده‌های هوا بر اساس حالت ماده به دو گروه زیر تقسیم می‌شوند:

✓ ذرات: شامل ذرات جامد و مایع مانند غبار، دود، خاکستر فرار، اسپری و غیره

✓ گازها: مانند اکسیدهای گوگرد، اکسیدهای ازت، هیدروکربن‌ها و اکسیدان‌ها

ذرات معلق یکی از شش آلاینده بسیار خطرناک بوده که صدمه‌های جبران‌ناپذیری را به بدن انسان وارد می‌کنند. همان‌طور که در قسمت قبل ذکر شد، نباید تصور کرد که تمامی ذرات آلوده‌کننده هوا در حالت گازی هستند، بلکه به‌صورت ذرات معلق (جامد یا مایع) نیز می‌توانند در فاز گازی پراکنده باشند. ذرات معلق، مخلوطی از ذرات بی‌نهایت کوچک و قطرات ریز پودر شده مایعات به‌صورت معلق در هوا می‌باشند. این آلاینده از موادی مانند: اسیدها، فلزات و گرد و غبار تشکیل می‌شود.

ذرات آلاینده با سوزاندن چوب در محیط منتشر می‌شوند. از دیگر منابع انتشار ذرات آلاینده، می‌توان به گرد و غبار برخاسته با وزش باد یا توسط لاستیک اتومبیل‌ها اشاره کرد. صنایع مختلف نیز مانند کارخانجات سیمان از دیگر منابع تولید ذرات معلق بوده و فعالیت‌های بخش ساختمان و معدن نیز از منابع تولید این ذرات هستند. بر خلاف ازن که فقط تابستان‌ها هوا را آلوده می‌کند، ذرات معلق آلاینده در تمام فصل‌ها آلودگی ایجاد می‌کنند.

منابع طبیعی انتشار ذرات معلق در طبیعت نیز شامل: فعالیت آتشفشان‌ها، آتش‌سوزی جنگل‌ها و باد و طوفان و گردباد می‌باشند. از جمله ذرات معلق مهم که سبب آلودگی شدید هوا می‌شود، می‌توان به PM10 اشاره کرد.

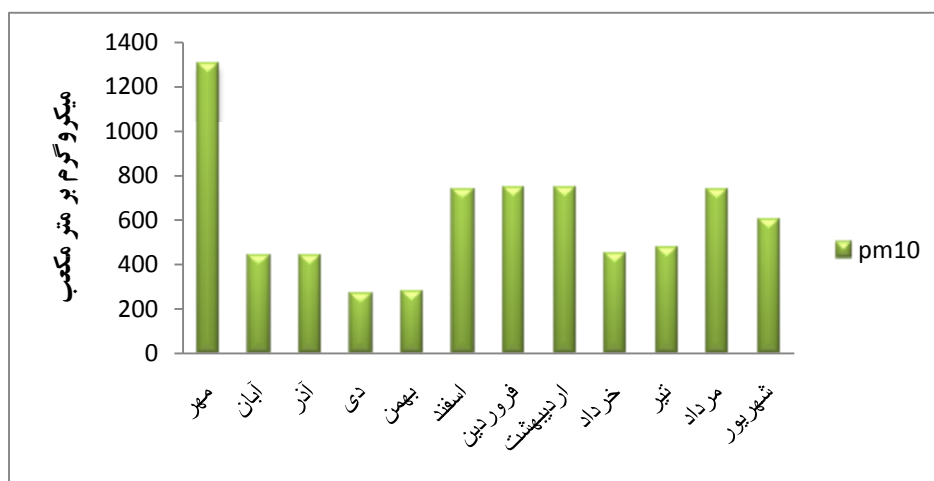
PM10 به ذرات معلق 10 میکرونی و یا کوچک‌تر در مقیاس دیامتر گفته می‌شود که از ترکیب اکسید نیتروژن و دی‌اکسید گوگرد در جو زمین تشکیل می‌شوند.

ذرات معلق آلوده‌کننده هوا به دلایل زیر مورد توجه خاصی قرار می‌گیرند:

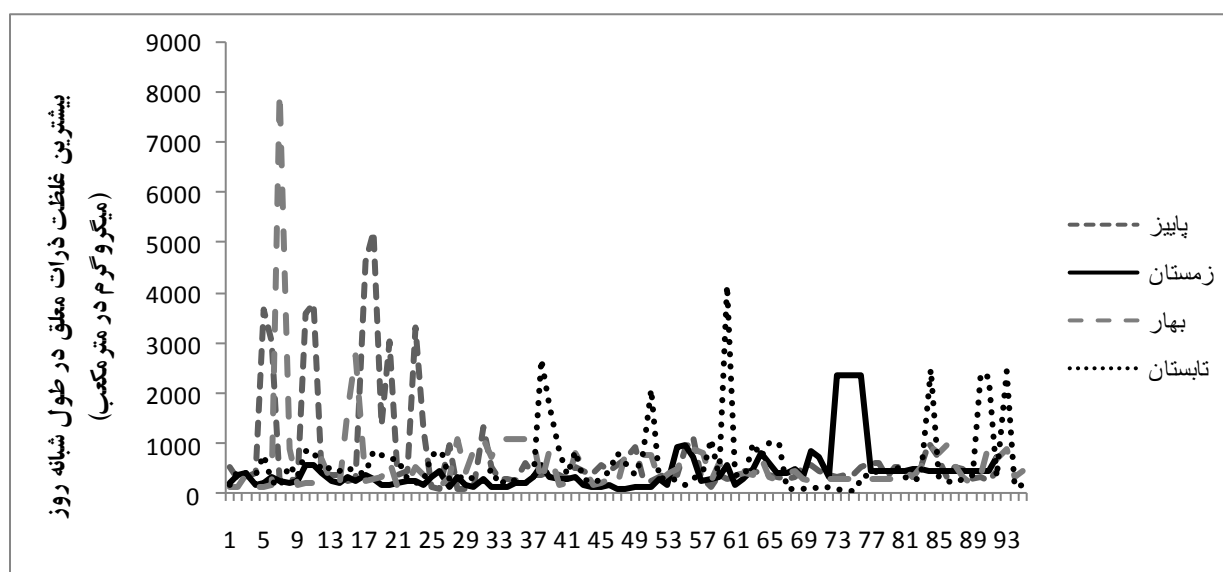
✓ بسیاری از ذرات معلق در مقایسه با آلوده‌کننده‌های گازی دیگر سبب بروز اختلال در مجاری تنفسی می‌شوند.

وضعیت و پیش‌بینی آلودگی هوای ناشی از ذرات معلق 10 میکرونی این شهر با توجه به روند کنونی پرداخته شود.

بنابراین، با توجه به وضعیت خطرناک شهر اهواز در دارا بودن سطح بسیار بالای آلودگی، در این مطالعه سعی شده به بررسی



شکل (1): مقایسه میانگین مقادیر PM10 انتشار یافته در ماه‌های نیمسال دوم سال 1389 و نیمسال اول سال 1390



شکل (2): مقایسه ماکزیمم غلظت ذرات معلق در روز طی فصول پاییز و زمستان 1389 و بهار و تابستان 1390

می‌تواند خواصی همچون غیرخطی، آشوبی، غیرایستایی و تناوبی همانند فصلی‌گری داشته باشد و حتی ممکن است نویزی هم باشد (Chatfield, 1989). پیش‌بینی سری‌های زمانی نقش مهمی در بسیاری از حوزه‌های دانش و مهندسی دارد. در حالت کلی می‌توان با کمک ورودی-خروجی (جعبه سیاه) چنین سیستم‌هایی را تحلیل و پیش‌بینی نمود که ورودی مدل گذشته و حال سیستم و خروجی آن نیز آینده سری زمانی هستند (Nelles, 2001). در مورد سری‌های زمانی وابستگی بین

پشت سر هم قرار دادن رشته‌ای از مشاهدات در طول زمان را به اصطلاح سری زمانی می‌نامند که می‌تواند به صورت‌های برداری و یا عددی بیان شود (Chatfield, 1989). تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی به داده‌هایی مربوط می‌شوند که مستقل نبوده و به طور متوالی به هم وابسته‌اند و برای بررسی پدیده‌هایی به کار می‌روند که ورودی قابل اعمال نداشته و صرفاً ما بتوانیم خروجی سیستم را ببینیم و بررسی کنیم و روی ورودی آن هیچ توانایی نداشته باشیم. در حالت کلی، یک سری زمانی

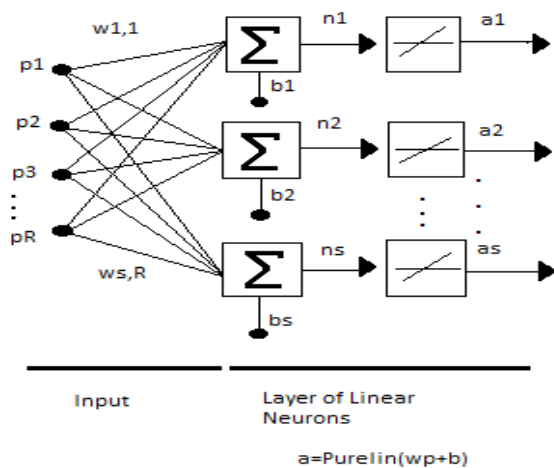
گوناگون و تصمیم‌های گوناگون جهت آموزش این گونه شبکه‌ها می‌باشد.

از شبکه‌های عصبی در پیش‌بینی سری‌های زمانی، به‌ویژه جایی که شرایطی از قبیل ایستایی یا شرایط دیگری که برای بکارگیری تکنیک‌های کلاسیک باید فراهم باشد، از بین می‌رود و هنگامی که دینامیک سری‌های زمانی زیاد باشند، بسیار استفاده می‌شود (Dorffner, 1995).

بین مطالعات صورت گرفته در زمینه پیش‌بینی آلودگی هوا، بیشتر روش‌ها منطبق بر روش MLP<sup>(1)</sup> (پرسپترون چندلایه) بوده است. شبکه‌های MLP معمولاً در پیش‌بینی‌های کوتاه مدت کاربردی‌تر هستند.

#### ✓ شبکه‌های خطی

شبکه‌های خطی کاملاً شبیه شبکه‌های پرسپترون می‌باشند، با این تفاوت که علاوه بر 0 و 1 می‌توانند هر مقدار دیگری را به عنوان خروجی تولید نمایند. زیرا، در این شبکه‌ها از یک تابع خطی به جای تابع انتقال hardlim استفاده شده است. در این گونه شبکه‌ها، تفاوت خروجی و هدف به عنوان خطا در نظر گرفته می‌شود. طی روال آموزش شبکه‌های عصبی، ما به دنبال مقادیری برای وزن‌ها و خطاها هستیم که در نتیجه آن‌ها مجموع مربعات خطاها<sup>(2)</sup> دارای کمترین مقدار بوده و یا از حد معینی کمتر باشد. در این راستا، ما می‌توانیم این‌گونه شبکه‌ها را برای رسیدن به حداقل خطا با استفاده از الگوریتم حداقل میانگین مربعات<sup>(3)</sup> آموزش دهیم. یک شبکه خطی با R ورودی در شکل (3) نشان داده شده است:



شکل (3): شبکه عصبی خطی

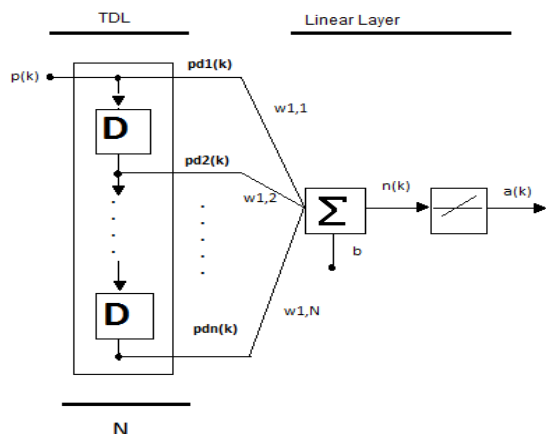
داده‌های هر سری از اهمیت فوق العاده‌ای برخوردار است که بسیاری از مباحث آماری عملی را به خود اختصاص داده است. مدل‌سازی این داده‌ها که ارتباط تنگاتنگی با وابستگی بین داده‌ها دارد، در زمینه‌های بسیار وسیعی از فرایندهای اقتصادی تا آلودگی هوا به کار می‌رود. در حالت کلی، نمونه‌های متوالی یک سری زمانی به مقادیر گذشته خود وابسته است.

#### روش پژوهش

سری‌های زمانی آلودگی هوا دینامیک غیرخطی بالایی دارند. بنابراین، با استفاده از مدل‌های غیرخطی سبب بهبود این پیش‌بینی خواهد شد و یکی از بهترین مدل‌هایی که کارایی خود را به خوبی در مدل‌سازی الگویابی نشان داده است، سیستم‌های هوشمند است که شامل شبکه‌های عصبی می‌باشد.

ساختار کلی شبکه‌های عصبی مصنوعی، از شبکه عصبی بیولوژیکی انسان الهام گرفته شده است. تحقیقات، پیرامون شبکه‌های عصبی، با شناخت و بررسی کار یادگیری مغز انسان همراه بوده است. شبکه‌های عصبی مصنوعی، سیستم‌هایی هستند که قادر به انجام عملیاتی همانند سیستم‌های طبیعی عصبی می‌باشند. یا به عبارت بهتر، می‌توانند ویژگی‌هایی شبیه به عملکرد مغز آدمی را تقلید نمایند. هنگامی که شناخت و توصیف صریح و دقیق از یک مساله وجود داشته باشد، به‌کارگیری قوانین و روابط شناخته شده در رابطه با مساله، به حل آن کمک کرده و مناسب‌ترین راه است. شبکه‌های عصبی مصنوعی با پردازش روی داده‌های تجربی، دانش یا قانون نهفته در ورای داده‌ها را، به مدل منتقل می‌کنند. به همین خاطر، به آن‌ها سیستم‌های هوشمند نیز گفته می‌شود. زیرا، بر اساس محاسبات، روی داده‌های عددی یا مثال‌ها، قوانین کلی را فرا می‌گیرند. 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 را تشکیل می‌دهند. ساختار قابل یادگیری شبکه‌های عصبی، سبب به‌وجود آمدن روش‌های گوناگون و تصمیم‌های گوناگون جهت آموزش این گونه شبکه‌ها می‌باشد. شبکه با کمک یک رشته از داده‌ها در ورودی آموزش می‌بیند و هنگام حرکت پیشرو، بهترین و نزدیک‌ترین گزینه را به خروجی واقعی در جهت کاهش میزان خطا ارایه می‌کند. ساختار قابل یادگیری شبکه‌های عصبی، سبب به‌وجود آمدن روش‌های

حال با ترکیب TDL با یک شبکه خطی یک فیلتر خطی می‌سازیم شکل (5):



شکل (5): شبکه خطی تاخیردار

خروجی این شبکه به صورت زیر خواهد بود:

(1)

$$a(k) = \text{purelin}(wp + b) = \sum_{i=1}^R w_{1,i} a(k - i + 1) + b$$

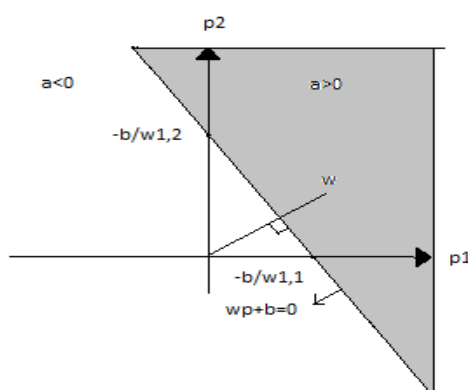
با توجه به ویژگی‌های این نوع شبکه عصبی، در این مطالعه به منظور پیش‌بینی میزان آلودگی ذرات معلق در هوای شهر اهواز، یک شبکه خطی با تاخیر زمانی که با الگوریتم یادگیری LMS آموزش داده شده است، مورد استفاده قرار گرفته است.

#### یافته‌ها

#### پیش‌بینی آلودگی ذرات معلق شهر اهواز با استفاده از شبکه عصبی تاخیردار

در این مطالعه، به منظور پیش‌بینی آلودگی ذرات معلق در شهر اهواز، یک شبکه عصبی تاخیردار (TDL) با 3 لایه که دارای یک لایه پنهان و یک لایه خروجی است در نظر گرفته شده است و عنصر تاخیر در لایه خروجی حضور دارد. این شبکه به ترتیب دارای 20 و 1 نرون در لایه پنهان و لایه خروجی می‌باشد. برای تعیین تعداد نرون لایه پنهان شبکه، شبکه‌های مختلف با تعداد نرون‌های پنهان متفاوت طراحی شده و آموزش داده شده است. از میان این شبکه‌ها با توجه به معیار MSE یک شبکه بهینه انتخاب شد. لایه ورودی با توجه به داده ورودی که یک سری زمانی 1ساله (365 روزه) بوده 1 نرون در نظر گرفته شده است. از میان الگوریتم‌های مختلفی که برای آموزش شبکه‌های عصبی مورد استفاده قرار می‌گیرد، الگوریتم LMS انتخاب و در نهایت شبکه عصبی با داده‌های روزانه ماکزیم

این شبکه شامل یک لایه با S نرون می‌باشد و ماتریس وزن‌های آن W است. این شبکه کاملاً شبیه به پرسپترون می‌باشد با این تفاوت که به جای استفاده از تابع انتقال hardlim، از تابع انتقال purelin استفاده شده است. شبکه‌های خطی دارای یک مرز تصمیم می‌باشند که به ازای  $wp+b=0$  به دست می‌آید. مرز تصمیم‌گیری در این شبکه‌ها در شکل (4) نشان داده شده است:

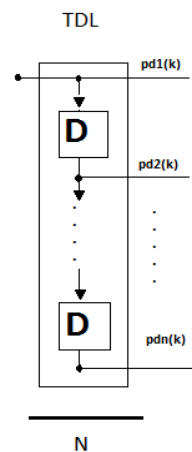


شکل (4): مرز تصمیم‌گیری در شبکه‌های خطی

قسمت هاشور خورده مربوط به خروجی بزرگ‌تر از صفر و قسمت بدون هاشور مربوط به خروجی کوچک‌تر از صفر می‌شود. بدین ترتیب، داده‌ها به دو دسته تقسیم می‌شوند.

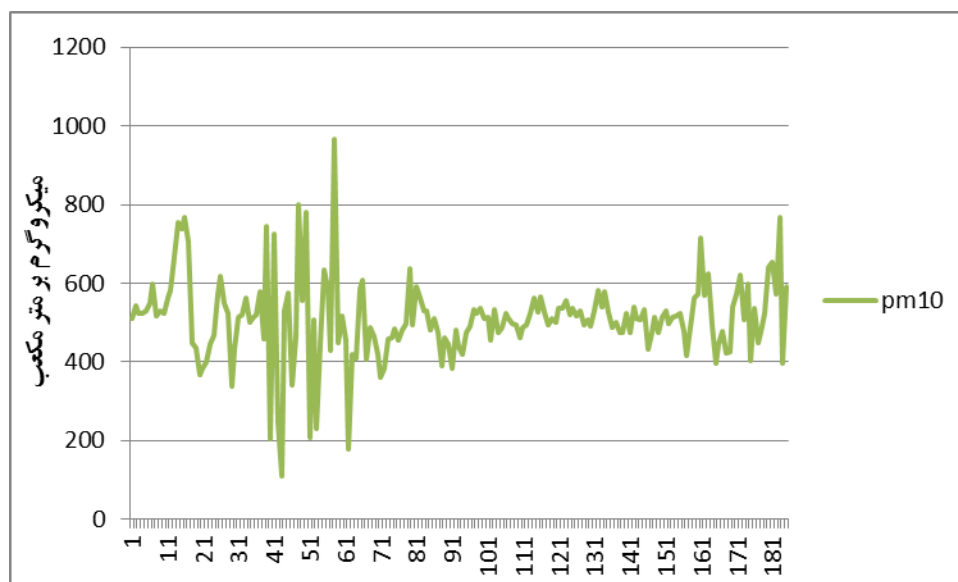
#### ✓ شبکه‌های خطی همراه با تاخیر TDL(4)

برای ایجاد تاخیر در شبکه نیاز به یک جزء جدید به نام TDL در شبکه است که در شکل زیر نشان داده شده است. TDL، دارای یک ورودی می‌باشد که از مجموعه N-1 تاخیر عبور داده می‌شود. در نتیجه ما یک بردار N عضوی دارای بعد زمانی به عنوان خروجی خواهیم داشت که این بردار شامل ورودی فعلی و ورودی‌های مرحله قبل می‌باشد.

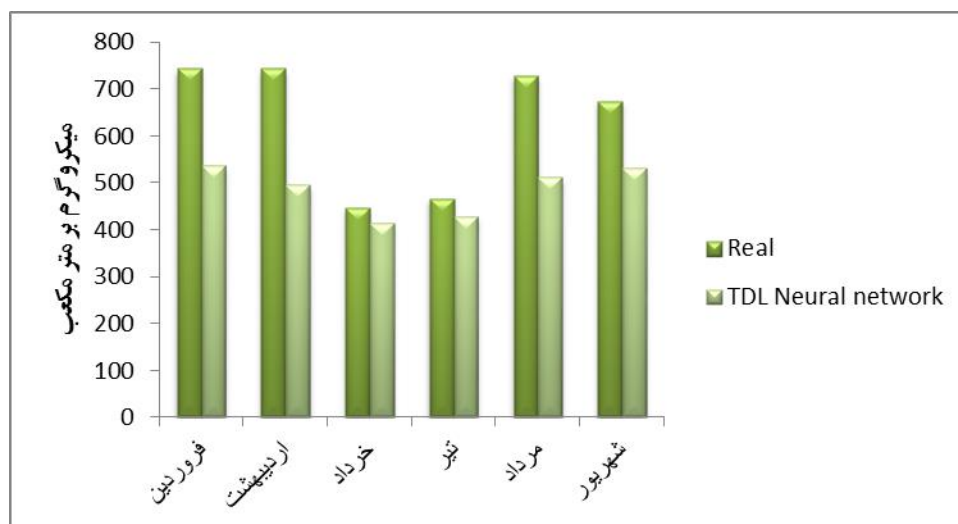


24 ساعت، برای 6 ماهه نخست سال 1390 نیز پیش‌بینی شده است (شکل 6). میانگین ماهیانه غلظت پیش‌بینی شده نیز با میانگین ماهیانه واقعی انتشار یافته در شکل (7)، مقایسه شده است.

انتشار PM10 (میکروگرم بر مترمکعب) در 24 ساعت و با استفاده از نرم‌افزار (2009) MATLAB طراحی و برآورد شده است. به منظور تست شبکه، انتشار ماکزیمم غلظت آلاینده PM10 در



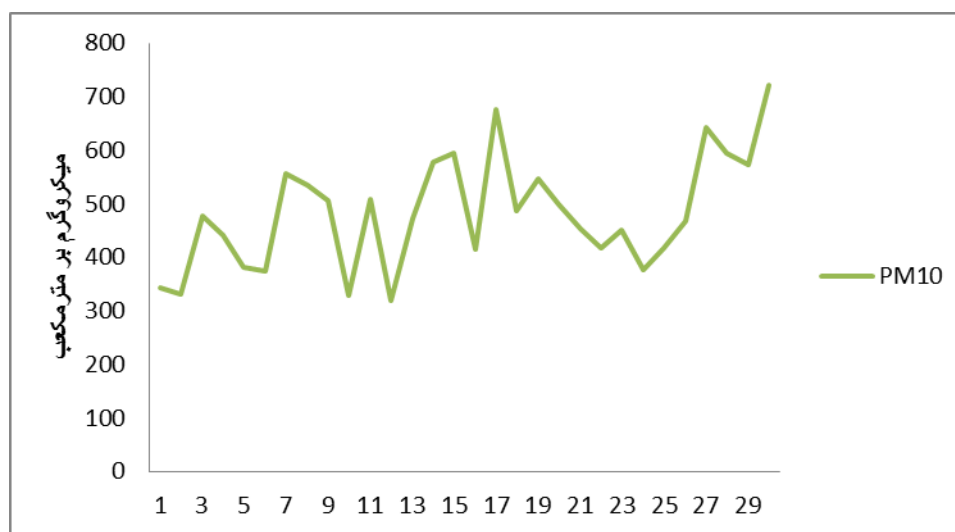
شکل (6): پیش‌بینی ماکزیمم انتشار PM10 در روزهای 6 ماهه نخست سال 1390 به منظور تست شبکه



شکل (7): مقایسه میانگین غلظت PM10 برای داده‌های واقعی و داده‌های پیش‌بینی شده

بر اساس نتایج پیش‌بینی به‌دست آمده از شبکه عصبی طراحی شده، بیشترین میزان غلظت تخمین زده شده برابر با 722 میکروگرم بر مترمکعب و کمترین میزان برابر با 319 میکروگرم بر مترمکعب در مهرماه برآورد شده است.

در نهایت، با توجه به این‌که در دوره مورد بررسی بیشترین غلظت PM10 در مهرماه گزارش شده است، میزان انتشار این آلاینده برای دوره یک‌ماهه مهرماه سال 1390، براساس با شکل (8) پیش‌بینی شده است.



شکل (8): پیش‌بینی غلظت انتشار ذرات معلق 10 میکرونی در روزهای مه‌ماه 1390

### بحث و نتیجه‌گیری

بر اساس تحقیقات انجام گرفته، با افزایش سرعت باد به بیش از 8 متر در ثانیه در بیابان‌ها و با توجه به رطوبت خاک، اندازه دانه، پوشش گیاهی، بافت خاک، چسبندگی ذرات خاک و پستی و بلندی‌های زمین، طوفان‌های گردوغباری ایجاد می‌شود. منابع اصلی گردوغبارهای ورودی به غرب ایران، نواحی بیابانی به نسبت نزدیک به این منطقه مثل صحرای عراق، سوریه و صحرای شمال شبه جزیره عربستان است. ذرات گردوغباری آثار زیان‌باری بر محیط‌زیست و سلامت انسان وارد می‌کنند. ذرات معلق در اتمسفر مانع از نفوذ نور خورشید شده و می‌تواند منجر به کاهش تولیدات کشاورزی به میزان 5-30 درصد شود. همچنین، طوفان‌های گردوغباری منجر به افزایش بیماری‌های تنفسی و مرگ‌ومیر می‌شوند. ذرات کوچک‌تر و مساوی 10 میکرون، خطر مرگ تنفسی در کودکان زیر یک سال را افزایش می‌دهد. اقدام‌های بیولوژیکی راه‌حل‌های کلیدی جهت غلبه بر طوفان‌های گردوغباری هستند. در کشورمان ایران از مالچ نفتی در کنترل گردوغبار مناطق بیابانی استفاده می‌شود.

با توجه به این که سازمان بهداشت جهانی شهر اهواز را آلوده‌ترین شهر در انتشار ذرات معلق 10 میکرونی اعلام کرده است و مه‌ماه سال 1389، بالاترین متوسط انتشار آلاینده PM10 را در این سال برای شهر اهواز دانسته است، در این مطالعه با در نظر گرفتن داده‌های روزانه انتشار PM10 به مدت

یک سال و طراحی یک شبکه عصبی تاخیردار با 3 لایه و 20 نرون در لایه پنهان و الگوریتم یادگیری LMS، به پیش‌بینی میزان انتشار ذرات معلق 10 میکرونی برای مه‌ماه 1390، پرداخته شده است. نتایج حاصل از خروجی این شبکه نشان داد متوسط میزان انتشار این آلاینده در ماه مورد پیش‌بینی، 482 میکروگرم در مترمکعب بوده و نیز ماکزیمم غلظت انتشار 722 و مینیمم غلظت انتشار 319 میکروگرم به دست آمده است. این اعداد نسبت به حد نهایی گزارش شده توسط سازمان بهداشت جهانی که 20 میکروگرم در مترمکعب می‌باشد، بسیار بزرگ بوده و بی‌شک باید برای کنترل این پدیده تلاش بیشتر و هماهنگی بین منطقه‌ای با کشورهای همسایه انجام داد. همچنین، با توجه به آثار بسیار مضر که بر سلامت ساکنان غرب، جنوب‌غربی و به‌ویژه شهر اهواز دارد، تلاش جدی کلیه دستگاه‌های اجرایی و سیاست‌گذاری‌های مناسبی را در جهت تعدیل آلودگی این مناطق می‌طلبد.

### یادداشت‌ها

1. Multi Layer Perceptron
2. Mean Square Error
3. Least Mean Squared
4. Tapped Delay Line



## فهرست منابع

- امیریگی، ح. و احمدی آسور، ا. 1386. بهداشت هوا و روش‌های مبارزه با آلاینده‌ها. موسسه انتشاراتی اندیشه رفیع، بوداقپور، س. و چرخستانی، ا. 1390. پیش‌بینی میزان غلظت آلاینده‌های هوای تهران با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی. علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، دوره سیزدهم، شماره یک.
- حاتمی، ح؛ رضوی، م؛ افتخار اردبیلی، ح؛ مجلسی، ف؛ نوزادی، م. و پریرزاده، م. 1383. آلودگی هوا و اثرات آن. انتشارات ارجمند، 318-336.
- شاهسونی، ع. و یاراحمدی، م. 1389. اثرات طوفان‌های گردوغباری بر سلامت و محیط‌زیست. مجله دانشگاه علوم پزشکی خراسان شمالی، دوره 2، شماره 4، صفحات 45-56.
- صادقی، ح. و ذوالفقاری، م. 1390. مبانی مدل‌های پیش‌بینی در علوم اقتصادی. انتشارات نورعلم.
- صمدی بخارائی، و. 1385. کاربرد Matlab و Simulink در مهندسی. مختاری، موهند. ماری، میشل. انتشارات خراسان.
- علباری شوره‌دلی، م؛ تشنه لب، م. و خاکی، ع. 1387. پیش‌بینی کوتاه مدت آلودگی هوا با کمک شبکه‌های عصبی پرسپترون چندلایه، خط حافظه‌دار تاخیر، گاما و ANFIS با روش‌های ترکیبی آموزشی مبتنی بر PSO. مجله کنترل، جلد 2، شماره 1، صفحات 1-19.
- قربانی، م. و فیروززراع، ع. 1387. مقدمه‌ای بر ارزش‌گذاری محیط‌زیست. موسسه چاپ و انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.
- قربانی، م. و فیروززراع، ع. 1388. ارزش‌گذاری ویژگی‌های مختلف آلودگی هوا در مشهد. مجله تحقیقات اقتصادی، شماره 89، صفحات 215-241.
- کیا، م. 1389. محاسبات نرم در Matlab. انتشارات کیان رایانه سبز.
- کیا، م. 1389. شبکه‌های عصبی در Matlab. کیان رایانه سبز.
- کیان پورراد، م. 1371. آلودگی هوا. د، ج، اسپدینگ. مرکز نشر دانشگاهی تهران.
- Berastegi, G.; Elias, A.; Barona, A.; Saenz, J.; Ezcurra, A. & Argandona, D. 2008. From diagnosis to prognosis for forecasting air pollution using neural networks: Air pollution monitoring in Bilbao. *Environmental Modelling & Software* 23, 662-637.
- Brunelli, U.; Piazza, V.; Pignato, L.; Sorbello, F. & Vitabile, S. 2007. Two-days ahead prediction of daily maximum concentrations of So<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, Pm<sub>10</sub>, No<sub>2</sub>, Co in the urban area of Palermo, Italy. *Atmospheric Environment* 41, 2967-2995.
- Chatfield, C. 1989. *The analysis of time series: An Introduction*, Champan & Hall.
- Comrie, A. 1997. Comparing neural networks and regression models for ozone forecasting, *Journal of the Air and Waste Management Association* 47, 653-663.
- Dorffner, G. 1995. *Neural Networks for Time Series Processing*, Report.
- Gardner, M. & Dorling, S. 1998 *Artificial neural networks (the multilayer perceptron). A review of Applications in the atmospheric sciences*, *Atmospheric Environment* 32, 2627-2636.
- Nelles, O. 2001. *Nonlinear system identification*, Springer-Velag.

---

Perez, P. & Reyes, J. 2006. An integrated neural network model for PM10 forecasting. *Atmospheric Environment* 40, 2845-2851.

United Nation Environment Programe. 2005. Environmental news Emergencies, Available from: URL: <http://www.unep.org>.

World Health Organization. 1992. United Nation Environmental Program, Urban Air pollution in Mega Cities of the world. Oxford: Blackwell, 6-14.