



Data analysis of the role of air pollutants (nitrate and nitrite oxide) in temperature changes and precipitation of Tabriz synoptic station using multi-layer perceptron neural network machine learning and logistic regression

Behrouz Sari Saraf^{1*} | Maryam Bayati Khatibi² | Mozafar Faraji³

1. Professor, Hydrology and Meteorology, Faculty of Planning and Environmental Sciences, Tabriz University.
Email: sarisarraf@tabrizu.ac.ir
2. Professor, Remote Sensing and Geographical Information System, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz.
3. Ph.D. Student of Hydrology and Meteorology, Faculty of Planning and Environmental Sciences, Tabriz University.

ARTICLE INFO

Article type:

Research Article

Article History:

Received April 08, 2024

Revised May 17, 2024

Accepted June 17, 2024

Keywords:

simulation of nitrate and nitrite oxide, temperature and precipitation, tabriz synoptic station.

ABSTRACT

The purpose of this research is to analyze the role of air pollutants (nitrate and nitrite oxide) in the changes of 24-hour temperature and precipitation elements in Tabriz synoptic station. The materials and data used in this research are from two different sources. The temperature and precipitation data were obtained from the tabriz synoptic meteorological station hourly for a period of 31 years and the data of Tabriz air pollutants (nitrate and nitrite oxide) were obtained from Tabriz environmental organization. In connection with the air pollutant data, it can be said that these data have been simulated by the multi-layer perceptron neural network machine learning R programming language. In the logistic model, temperature and precipitation were selected as dependent variables and nitrate and nitrite oxide concentrations were selected as independent predictor variables. All data were included in the analysis and the logistic model was significant. The chi-square in nitrate and nitrite oxide was calculated as 348.01, which was significant at the error level of less than 0.05. The aforementioned independent variables have been able to correctly explain between 84 and 60 percent of the changes that led to the increase in temperature and decrease in precipitation. 78.2% of the months that had no changes were correctly classified, and 97.2% of the predictions about temperature and precipitation changes were correct. In total, 90.9% of the predictions have been estimated correctly. The results showed that pollutants have a significant effect on temperature increase and precipitation decrease in Tabriz synoptic station. The highest and lowest levels of nitrate oxide were observed in September and March, nitrite in September and May, temperature in July and January, and precipitation in April and August, respectively.

Cite this article: Sari Saraf, B., Bayati Khatibi, M. & Faraji, M. (2024). Data analysis of the role of air pollutants (nitrate and nitrite oxide) in temperature changes and precipitation of Tabriz synoptic station using multi-layer perceptron neural network machine learning and logistic regression. *ECO HYDROLOGY*. 11 (2), 223-234. Doi: doi.org/10.22059/ije.2024.373685.1803



داده‌کاوی نقش آلاینده‌های هوا (نیترات و نیتريت اكسيد) در تغييرات دما و بارش ايستگاه سينوپتيك تبريز با استفاده از يادگيري ماشين شبكه عصبی پرسپترون چندلایه و رگرسیون لجستیک

بهروز ساری صراف^{۱*} | مریم بیاتی خطیبی^۲ | مظفر فرجی^۳

۱. استاد، آب‌وهواشناسی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز. رایانامه: sarisarraf@tabrizu.ac.ir
۲. استاد، سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز.
۳. دانشجوی دکتری آب‌وهواشناسی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز.

اطلاعات مقاله	چکیده
<p>نوع مقاله: پژوهشی</p> <p>تاریخ‌های مقاله: تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۲۰ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۲/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۲۸</p> <p>کلیدواژه‌ها: شبیه‌سازی نیترات و نیتريت اكسيد، دما و بارش، ایستگاه سینوپتیک تبریز.</p>	<p>هدف از این تحقیق، داده‌کاوی نقش آلاینده‌های هوا (نیترات و نیتريت اكسيد)، در تغییرات عناصر دما و بارش ۲۴ ساعته در ایستگاه سینوپتیک تبریز است. مواد و داده‌های به‌کاررفته در این تحقیق از دو منبع متفاوت‌اند. داده‌های درجه‌حرارت و بارش از ایستگاه هواشناسی سینوپتیک تبریز به‌صورت ساعتی برای مدت ۳۱ سال و داده‌های آلاینده‌های هوای تبریز (نیترات و نیتريت اكسيد) از سازمان محیط‌زیست تبریز اخذ شده است. در ارتباط با داده‌های آلاینده هوا می‌توان گفت این داده‌ها توسط زبان برنامه‌نویسی R یادگیری ماشين شبكه عصبی پرسپترون چندلایه شبیه‌سازی شده است. در ادامه، روش‌های یادگیری از رگرسیون لجستیک با هدف پیش‌بینی اثرات آلاینده‌ها در تغییرات دما و بارش استفاده شد. در مدل لجستیک، دما و بارش به‌عنوان متغیرهای وابسته و غلظت نیترات و نیتريت اكسيد به‌عنوان متغیرهای پیش‌بین مستقل انتخاب شدند. کل داده‌ها در تحلیل وارد شد و مدل لجستیک معنی‌دار بود. مجذور کای در نیترات و نیتريت اكسيد برابر ۳۴۸/۰۱ محاسبه شد که در سطح خطای کمتر از ۰/۰۵ معنی‌دار بود. متغیرهای مستقل مذکور توانسته‌اند بین ۸۴ تا ۶۰ درصد از تغییرات را که منجر به افزایش دما و کاهش بارش شده بود، به‌درستی تبیین کنند. ۷۸/۲ درصد از ماه‌هایی که تغییرات نداشتند، درست طبقه‌بندی شدند و ۹۷/۲ درصد از پیش‌بینی‌ها درباره تغییرات دما و بارش صحیح بود. در کل، ۹۰/۹ درصد از پیش‌بینی‌ها درست تخمین زده شده است. نتایج نشان داد که آلاینده‌ها اثر معنی‌داری روی افزایش دما و کاهش بارش در ایستگاه سینوپتیک تبریز دارد. بیشترین و کمترین میزان نیترات اكسيد به‌ترتیب در ماه‌های شهریور و اسفند، نیتريت در شهریور و اردیبهشت، دما در تیر و دی و بارش در فروردین و مرداد مشاهده شده است.</p>
<p>استناد: ساری صراف، بهروز، بیاتی خطیبی، مریم، فرجی، مظفر. (۱۴۰۳). داده‌کاوی نقش آلاینده‌های هوا (نیترات و نیتريت اكسيد) در تغییرات دما و بارش ایستگاه سینوپتیک تبریز با استفاده از یادگیری ماشين شبكه عصبی پرسپترون چندلایه و رگرسیون لجستیک. <i>اكو هيدروكلوژی</i>، ۱۱(۲)، ۲۲۳-۲۳۴. DOI: http://doi.org/10.22059/ije.2024.373685.1803</p>	<p>© بهروز ساری صراف، مریم بیاتی خطیبی، مظفر فرجی. ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران. DOI: http://doi.org/10.22059/ije.2024.373685.1803</p>



۱. مقدمه

رشد سریع صنعت در قرن حاضر، باعث چالش‌های زیست‌محیطی جدی، تغییرات اقلیمی و به‌ویژه آلودگی هوا در شهرهای پرجمعیت شده است [۱]. فعالیت‌های صنعتی مانند کارخانه‌ها، نیروگاه‌ها، پالایشگاه‌ها، پتروشیمی‌ها، گلخانه‌ها با تولید و انتشار گازهای سمی و آلاینده‌هایی نظیر مونوکسید کربن، اکسیدهای نیتروژن و گوگرد، اوزون و ذرات معلق به هوا، به این مشکلات شدت می‌بخشند [۲]. عوامل آب‌وهوایی مانند تابش، دما، رطوبت، پایداری جو، وارونگی دما و جهت و سرعت باد نیز در شدت و پراکندگی مه‌دود شهری، نقشی مهم ایفا می‌کنند [۳]. دی‌اکسید نیتروژن، نیترات‌ها و نیتريت‌های اکسید از مهم‌ترین آلاینده‌های هوا هستند که به‌طور مستقیم و غیرمستقیم بر وضعیت جوی و اقلیمی اثر می‌گذارند. این ترکیبات از طریق فعالیت‌های انسانی و فرایندهای محیطی وارد جو می‌شوند و تأثیراتشان بر دما و بارش با ایستگاه‌های هواشناسی و فناوری‌های ماهواره‌ای رصد می‌شود [۴]. اکسیدهای نیتروژن اثراتی بر تغییرات دما و بارش دارند؛ درحالی‌که نیتريت‌ها و نیترات‌ها از طریق اثرات زیست‌محیطی خود نیز تأثیرگذارند. کنترل انتشار این ترکیبات برای کاهش اثرات منفی بر آب‌وهوا و محیط‌زیست ضروری است [۵]. در شرایط پایدار جوی و در صورت وجود وارونگی دما در ارتفاع کم، آلاینده‌ها در لایه‌های نزدیک به زمین تجمع می‌یابند و غلظت آن‌ها افزایش می‌یابد؛ به‌عکس، در وضعیت ناپایدار و با وجود وزش باد، آلاینده‌ها از منطقه شهری دور می‌شوند و در ارتفاعات بالاتر با هوای آن لایه‌ها مخلوط و رقیق می‌شوند که به‌تدریج منجر به گرم شدن دما و عدم تعادل انرژی زمین می‌گردد [۶]. این تغییرات اقلیمی موجب تغییرات بزرگی در چرخه هیدرولوژی از جمله افزایش بخار آب جوی، تغییر الگوهای بارش و کاهش پوشش برف و یخ شده است [۷]. میانگین دمای سطح زمین در هر دهه ۰/۲ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد و افزایش دما بیش از ۱ درجه سانتی‌گراد می‌تواند به تغییرات خطرناک آب‌وهوایی منجر شود [۸]. دما و بارش به‌دلیل تغییرات قابل ملاحظه زمانی و مکانی از مهم‌ترین متغیرهای اقلیمی در بررسی تغییرات اقلیمی هستند و پیش‌نگری تغییرات آن‌ها در برنامه‌ریزی‌ها و مخاطرات محیطی، اهمیت بسیاری دارد [۹]. در ایران، تغییرات اقلیمی باعث افزایش دما، کاهش منابع آب، افزایش مصرف برق، آلودگی هوا، کاهش بارش، خشکسالی و کاهش تولیدات کشاورزی و دامی شده است [۱۰]. با توجه به موقعیت جغرافیایی ایران و قرار گرفتن آن در منطقه کم‌بارش و نیمه‌خشک، احتمال خشکسالی‌های شدید با افزایش گرمایش جهانی بیشتر تا سال ۲۰۴۰ پیش‌بینی می‌شود [۱۱]. این شرایط به کمبود آب، خشک شدن رودخانه‌ها، تالاب‌ها و دریاچه‌ها منجر می‌شود و بحران‌های طبیعی و انسانی ایجاد می‌کند. خشک شدن دریاچه ارومیه به‌عنوان بحرانی ملی، خطرات طبیعی و انسانی را افزایش داده است [۱۲]. دریاچه ارومیه با تهدیداتی مانند تشدید فعالیت‌های کشاورزی، آبیاری، پروژه‌های توسعه منابع آب، آلودگی‌های کشاورزی، صنعتی و شهری، و بهره‌برداری ناپایدار روبه‌روست. خشکسالی‌های اخیر نیز از تهدیدات اصلی برای این دریاچه محسوب می‌شوند [۱۳]. آلودگی‌های فلزات سنگین و سدیم در شمال غربی ایران (ارومیه) به‌دلیل جهت وزش بادها و ویژگی‌های منطقه در حال گسترش است [۱۴]. مطالعات نشان می‌دهند خاک کشاورزی اطراف دریاچه ارومیه به فلزات سنگین مانند آرسنیک، کادمیوم، مس، نیکل، روی، سدیم و سرب آلوده است که عمدتاً ناشی از فعالیت‌های انسانی و گردوغبار بستر خشک دریاچه و صنایع سیمان هستند [۱۵]. سیاست‌های مدیریت منابع آب، به‌ویژه ساخت سدها و کنترل آب‌های ورودی، کاهش بارش، افزایش دما و کاهش منابع آب زیرزمینی منجر به کاهش سطح و حجم دریاچه ارومیه شده است [۱۶]. میانگین بارش سالانه در حوضه دریاچه ارومیه از ۱۹۶۷ تا ۲۰۰۶ حدود ۲۳۵ میلی‌متر بوده است؛ با بیشترین بارش در سال ۱۹۶۸ (۴۴۰ میلی‌متر) و کمترین بارش در سال ۲۰۰۲ (۱۵۰ میلی‌متر). این کاهش بارش همراه با مدیریت نادرست منابع آب، باعث کاهش چشمگیر سطح آب دریاچه شده است [۱۷].

در سال‌های اخیر در زمینه بررسی تأثیر غلظت آلاینده‌های گازی بر تغییرات اقلیمی، پژوهش‌های گوناگونی صورت گرفته است. وی^۱ و همکاران (۲۰۲۰) با بررسی اثرات افزایش بارش همراه با افزودن نیتروژن و افزایش دما بر شار متان در مراتع آلپ فلات تبت نشان دادند که شارهای CH₄ اکوسیستم‌های مرتع آلپی نسبت به فسفر حساس‌تر از W یا N هستند، و نیز بارش، واکنش شار CH₄ را به افزایش رسوب نیتروژن در مراتع آلپ در فلات تبت کنترل می‌کند؛ بنابراین، تحقیقات آینده باید بر پاسخ و بازخورد جذب CH₄ به تغییرات در بارش متمرکز شود [۱۸]. لیو^۲ و همکاران (۲۰۲۰) با بررسی تأثیر باران اسیدی شبیه‌سازی‌شده بر انتشار CO₂، CH₄ و N₂O خاک و جوامع میکروبی در یک خاک کشاورزی، نشان دادند که باران اسیدی با pH 3.0 به‌طور قابل توجهی شار تجمعی CH₄ از خاک کشاورزی را کاهش داد و همچنین هر دو باران اسیدی با pH 4.0 و pH 3.0 محتوای کل اسیدهای چرب فسفولیپید میکروبی (PLFAs) را افزایش دادند، بدون تغییر در فراوانی نسبی گروه‌های میکروبی. شار CO₂ و CH₄ با مقدار کل PLFAs همبستگی منفی داشت؛ درحالی‌که شار N₂O با محتوای NO₃--N

1. Wu

2. Li

خاک همبستگی مثبت نشان داد. این نتایج حاکی از آن است که باران اسیدی، زیست توده میکروبی خاک را تغییر داده و شار جمعی CH_4 را کاهش می دهد [۱۹]. اوبولکین^۱ و همکاران (۲۰۲۱) در پژوهشی به بررسی نتایج ثبت خودکار حمل و نقل منطقه‌ای آلاینده‌ها از نیروگاه‌های حرارتی زغال سنگ در لایه مرزی جوّی بالای حوضه جنوبی دریاچه بایکال پرداختند. انتشار گازهای گلخانه‌ای از نیروگاه‌های بزرگ به ارتفاعات چندصدمتری می رسد و در فواصل طولانی تا ده‌ها و صدها کیلومتر پخش می شود. نظارت خودکار در حوضه جنوبی دریاچه، انتقال اکسیدهای گوگرد و نیتروژن را از نیروگاه‌های شهرهای بزرگ به صورت توده‌های ارتفاعی نشان داد. این انتقال باعث افزایش اسیدیته بارش و هجوم ترکیبات نیتروژن زیستی به اکوسیستم دریاچه می شود. این پدیده نیاز به مطالعه‌ای دقیق تر دارد [۲۰]. بالوگون^۲ و همکاران (۲۰۲۱) در پژوهشی با بررسی آلاینده‌های شیمیایی و گازی هوا در تغییرات دما و بارندگی با استفاده از یادگیری ماشین نشان دادند این مطالعه تأثیر متغیرهای اقلیمی بر آلودگی هوا را بررسی کرده و نشان می دهد که این متغیرها پیش‌بینی کننده‌های کلیدی کیفیت هوا در مناطق شهری هستند. الگوریتم‌های یادگیری ماشینی می توانند خطر آلودگی هوا را به طور دقیق پیش‌بینی کنند. فناوری‌های هوش مکانی و یادگیری ماشینی می توانند مکانیسم‌های هشدار اولیه را تقویت کرده و به پایداری شهرها و جوامع کمک کنند [۲۱]. در ایران نیز، پژوهش‌هایی در زمینه پیش‌بینی غلظت آلاینده‌های گازی در هوای کلان‌شهرها و تغییرات اقلیمی و دما انجام شده است. محمدی و همکاران (۲۰۱۸) در پژوهشی با عنوان «پیش‌بینی غلظت آلاینده‌های گازی در هوای شهر تبریز»، از شبکه عصبی مصنوعی به منظور پیش‌بینی غلظت آلاینده‌های CO ، $2SO$ و No استفاده کردند. براساس نتایج به دست آمده در این تحقیق، روش استفاده شده به عنوان روشی قابل اعتماد برای پیش‌بینی غلظت ساعتی آلاینده‌های هوا بوده که ضریب همبستگی بالای ۰/۹ بین غلظت آلاینده‌های پیش‌بینی شده و غلظت واقعی آلاینده‌ها به دست آمد [۲۲]. فرجی و همکاران (۲۰۲۳) با بررسی آینده‌نگری اثرات منطقه‌ای خشک شدن دریاچه ارومیه با رویکرد سیاسی به این نتایج رسیدند که متغیرهای طوفان نمک، گردوغبار، شن‌های روان، کانون‌های ریزگرد نمکی و غیرنمکی و توان منطقه برای تبدیل به پارک ملی، متغیرهای کلیدی اثرگذارند. این متغیرها به عنوان متغیر کلیدی، دیگر متغیرها را تحت تأثیر قرار داده و حائز بیشترین نقش و اثر بر سایر متغیرها هستند و کمتر اثرپذیرند. همچنین مهم‌ترین متغیر تأثیرپذیر که هم به صورت مستقیم و هم غیرمستقیم از این جریان تأثیر می پذیرند [۲۳]. نورانی و همکاران (۱۳۹۸) در مطالعه‌ای به پیش‌بینی غلظت آلاینده‌های $2SO$ و No هوای شهر تبریز با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی و سیستم استنتاج عصبی انطباقی پرداختند. در این مطالعه از دما، سرعت باد و رطوبت به صورت ساعتی و روزانه به همراه غلظت آلاینده‌ها استفاده شد. نتایج این مطالعه حاکی از این بود که هر دو روش استفاده شده نتایج مناسبی را ارائه دادند [۲۴]. در پژوهش انجام شده توسط شمس‌الدینی و عبودی (۲۰۲۲) در شهر تهران، از یک چارچوب شبکه عصبی مصنوعی-موجکی برای پیش‌بینی غلظت آلاینده‌های هوا با استفاده از داده‌های سنجش از دور استفاده شد. نتایج نشان داد که مدل سازی با استفاده از شبکه عصبی پرسپترون چندلایه به همراه روش تبدیل موجک، دقت بیشتری در پیش‌بینی غلظت آلاینده‌های هوا دارد. علاوه بر این، صحت پیش‌بینی برای آلاینده منواکسید کربن به خطای استاندارد ۸/۱۹ درصد و برای آلاینده $PM_{2.5}$ به خطای استاندارد ۰/۱۷ درصد رسید. استفاده از پارامترهای منتخب با استفاده از روش جنگل تصادفی نیز نشان داد که این پارامترها در پیش‌بینی آلاینده‌های مختلف در روزهای قبل از حدث حادث، اهمیت بالایی دارند [۲۵].

یکی از مهم‌ترین اقدامات برای مدیریت و کاهش آلودگی هوا، پیش‌بینی غلظت آلاینده‌هاست که به دلیل پیچیدگی فرایند و عوامل غیرقطعی، مشکلاتی را به همراه دارد. به تازگی، روش‌های آماری مانند رگرسیون خطی چندمتغیره گام به گام (SMLR) و شبکه‌های عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی آلودگی هوا استفاده شده‌اند [۲۶]. روش رگرسیون چندمتغیره به دلیل سادگی کاربرد، رایج است؛ در حالی که شبکه‌های عصبی مصنوعی، پیچیده تر ولی انعطاف پذیرترند و می توانند روابط غیرخطی را توصیف کنند [۲۷]. غلظت آلاینده‌های هوا تحت تأثیر ترکیبی از آلاینده‌های منتشر شده، فرایندهای فیزیکی و شیمیایی در اتمسفر و خصوصیات سطح زمین است. آلاینده‌های هوایی مانند نیترات و نیتريت اکسید بر شرایط جوّی و اقلیمی اثر می گذارند. شهرهای بزرگ مانند تبریز نیز به دلیل افزایش آلاینده‌ها و شرایط توپوگرافی خاص با مشکلات آلودگی مواجه‌اند [۲۸]. هدف از این تحقیق، پیش‌بینی تغییرات دما و بارش براساس نقش آلاینده‌های هواست. تحقیق حاضر تأثیرات آلاینده‌های نیترات و نیتريت اکسید بر دما و بارش در ایستگاه سینوپتیک تبریز را بررسی می کند. این تحقیق می تواند به درک بهتر اثرات آلاینده‌های هوا بر محیط زیست کمک کند و اقدامات مناسب برای کنترل و کاهش این آلودگی‌ها را توسعه دهد. اهمیت این تحقیقات در این است که با شناخت بهتر پدیده‌های اقلیمی و تأثیرات آن‌ها، می توان بهترین راهکارها را برای مقابله با این مشکلات ارائه داد و منابع آبی ارزشمندی مانند دریاچه ارومیه را حفظ کرد. با استفاده از روش‌های یادگیری ماشین مانند شبکه عصبی پرسپترون چندلایه و

1. Obolkin
2. Balogun

رگرسیون لجستیک، می‌توان به بررسی اثرات آلاینده‌های هوا بر تغییرات جوی و اقلیمی در ایستگاه سینوپتیک تبریز پرداخت. تحقیق حاضر به بررسی نقش آلاینده‌های کیفیت هوا نیترات و نیتريت اکسید در ایستگاه سینوپتیک تبریز به‌عنوان یکی از ایستگاه‌های مهم در حوضه آبریز دریاچه ارومیه می‌پردازد و به دنبال پاسخ به این سؤال است که آیا عناصر موجود در افزایش دما یا کاهش بارش در ایستگاه اثر معناداری داشته‌اند یا خیر؟ (در این تحقیق به علت نبود سایر داده‌های شیمی هوا، صرفاً از داده‌های کامل گازهای نیترات و نیتريت اکسید استفاده شد).

۲. نوآوری و ویژگی‌های به‌کاررفته تحقیق

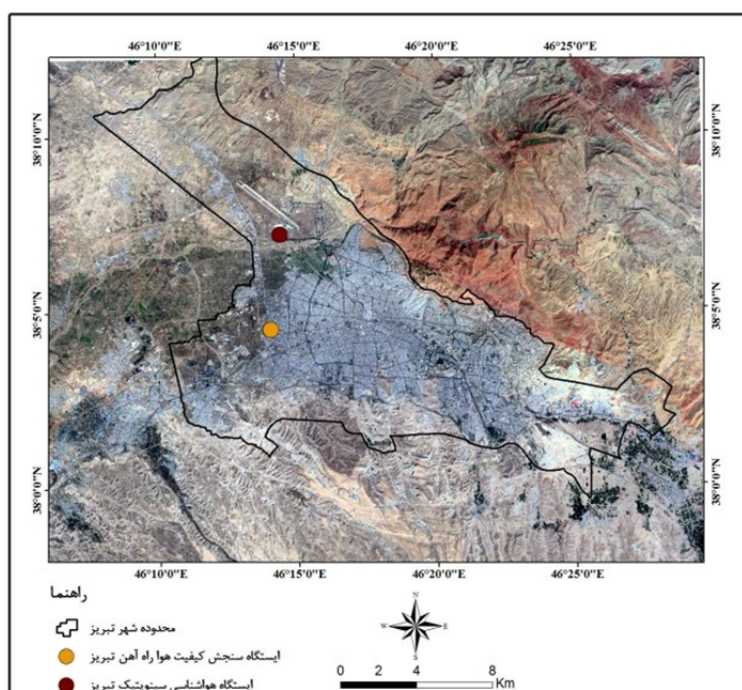
استفاده از زبان برنامه‌نویسی پیشرفته R و به‌کارگیری روش‌های یادگیری ماشین مانند شبکه عصبی پرسپترون چندلایه و مدل رگرسیون لجستیک را که در سایر مطالعات آب‌وهوایی به‌ندرت از آن‌ها استفاده شده است، می‌توان به‌عنوان ویژگی‌ها و نوآوری به‌کاررفته تحقیق حاضر بیان نمود؛ استفاده از این روش‌ها نتایجی را رقم می‌زند که آن را از سایر تحقیقات انجام‌شده متمایز می‌کند.

۳. مواد و روش‌ها

داده‌ها: برای جمع‌آوری داده‌های تحقیق، از اطلاعات ایستگاه سینوپتیک تبریز و ایستگاه سنجش کیفیت هوا راه‌آهن تبریز به‌صورت ساعتی روزانه، از دهه‌های ۱۹۹۰-۲۰۲۰ استفاده شد. جدول ۱ مختصات ایستگاه‌های مورد مطالعه مانند طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی و ارتفاع ایستگاه را نشان می‌دهد. شکل ۱ نیز موقعیت مکانی ایستگاه‌های مورد بررسی در روی نقشه را نشان می‌دهد که برای ایستگاه هواشناسی سینوپتیک و ایستگاه کیفیت هوا راه‌آهن تبریز ترسیم شده است.

جدول ۱: مختصات ایستگاه‌های مورد مطالعه تحقیق

Station elevation	Lat	Lon	نام ایستگاه
۱۳۶۱	۳۸/۱۲	۴۶/۲۴	ایستگاه هواشناسی سینوپتیک تبریز
۱۳۵۴	۳۸/۰۷	۴۶/۲۳	ایستگاه سنجش کیفیت هوا راه‌آهن تبریز



شکل ۱: موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه تحقیق

۴. روش‌ها

۱. شبکه عصبی پرسپترون چندلایه در یادگیری ماشین

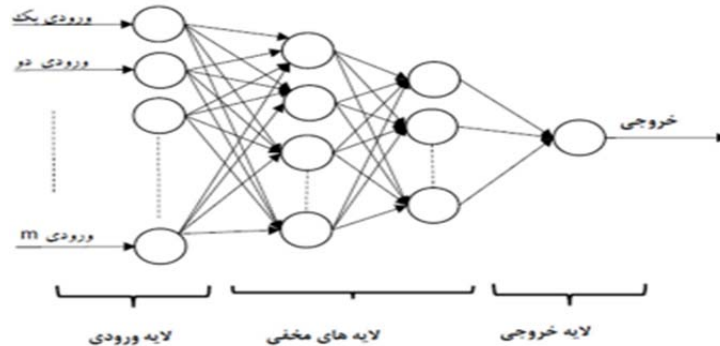
شبکه پرسپترون چندلایه MLP یکی از انواع شبکه‌های عصبی است. در این شبکه‌ها عملیات یادگیری و پردازش داده‌ها به‌سمت جلو از سمت لایه ورودی به لایه خروجی صورت می‌گیرد [۲۹]. پرسپترون تابعی است که ورودی x آن را با ضریب وزن آموخته‌شده ضرب می‌کند.

مقدار خروجی $f(x)$ تولید می‌شود.

$$F(x) = \begin{cases} 0 & \text{if } w * x + b > 0 \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases}$$

فرمول ۱. معادله در شبکه عصبی مصنوعی

که در آن، w بردار وزن‌ها بارزش واقعی، b بایاس و x برابر با بردار مقادیر ورودی است.



شکل ۲: مدل کلی از شبکه عصبی پرسپترون چندلایه

هریک از نرون‌ها شامل یک تابع محرک‌اند. توابع محرک مختلفی وجود دارد که باتوجه‌به ساختار مسئله و نیز ساختار مد نظر برای شبکه عصبی از آن‌ها استفاده می‌شود [۳۰].

تابع تانژانت هیپربولیک

این تابع مقادیر واقعی را می‌گیرد و آن‌ها را به مقادیری بین -1 و 1 تبدیل می‌کند (فرمول ۲).

$$\tanh x = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} = \frac{\sinh x}{\cosh x}$$

فرمول ۲.

۲.۴ رگرسیون لجستیک در یادگیری ماشین

رگرسیون لجستیک یک روش یادگیری ماشین و یکی از محبوب‌ترین روش‌ها برای طبقه‌بندی داده‌هاست. همچنین به‌عنوان یکی از کاربردی‌ترین روش‌ها در بررسی ارتباط بین یک یا چند متغیر مستقل با یک متغیر پاسخ دوسطحی مطرح است. رگرسیون لجستیک نوع خاصی از رگرسیون‌های چندگانه است که در آن متغیر وابسته، گسسته است. اگر متغیر وابسته دارای ارزش دوتایی باشد، فقط ارزش صفر یا یک می‌گیرد که ارزش یک نشان‌دهنده وقوع رویداد و ارزش صفر نشان‌دهنده عدم وقوع رویداد است (در اینجا وقوع یا عدم وقوع افزایش یا کاهش دما و بارش ماهانه مورد نظر است)؛ بنابراین معادله حاصل از رگرسیون لجستیک به‌صورت زیر است [۳۱].

$$\text{Logit}(p) = \ln\left(\frac{p}{1-p}\right) = a + \{b_1 X_1\} + \{b_2 X_2\} + \{b_3 X_3\} + \dots + \{b_n X_n\}$$

که p متغیر وابسته، $1x, 2x, 3x, \dots, X_n$ متغیرهای مستقل، a ضریب معادله رگرسیون (عرض از مبدأ) و $1b, 2b, 3b$ و \dots, bn ضرایب هر یک از متغیرهای مستقل است.

۳.۴ الگوی به‌کارگیری روش‌ها در تحقیق

در ارتباط با داده‌های آلاینده هوا می‌توان گفت این داده‌ها (نیترات و نیتريت اکسید) توسط زبان برنامه‌نویسی R یادگیری ماشین شبکه عصبی پرسپترون چندلایه شبیه‌سازی شده است. در ادامه روش‌های یادگیری، از رگرسیون لجستیک با هدف پیش‌بینی اثرات آلاینده‌ها در تغییرات دما و بارش استفاده شد. در مدل لجستیک، دما و بارش به‌عنوان متغیرهای وابسته و غلظت نیترات و نیتريت اکسید به‌عنوان متغیرهای پیش‌بین مستقل انتخاب شدند.

۵. یافته‌ها و نتایج تحقیق

اطلاعات شبکه طراحی شده، مربوط به هر سه لایه شبکه (ورودی، مخفی و خروجی) است. لایه ورودی شامل دو متغیر مستقل است که به شبکه وارد شد (کدگذاری ایستگاه‌های هواشناسی در گام زمانی ماهانه برحسب نیترات و نیتريت اکسید) که با روش مقیاس‌بندی استاندارد انجام شد. لایه پنهان شامل یک لایه است؛ برای پردازش نرون‌ها از ساختار اتوماتیک و تابع محرک تانژانت هیپربولیک استفاده شد. در لایه

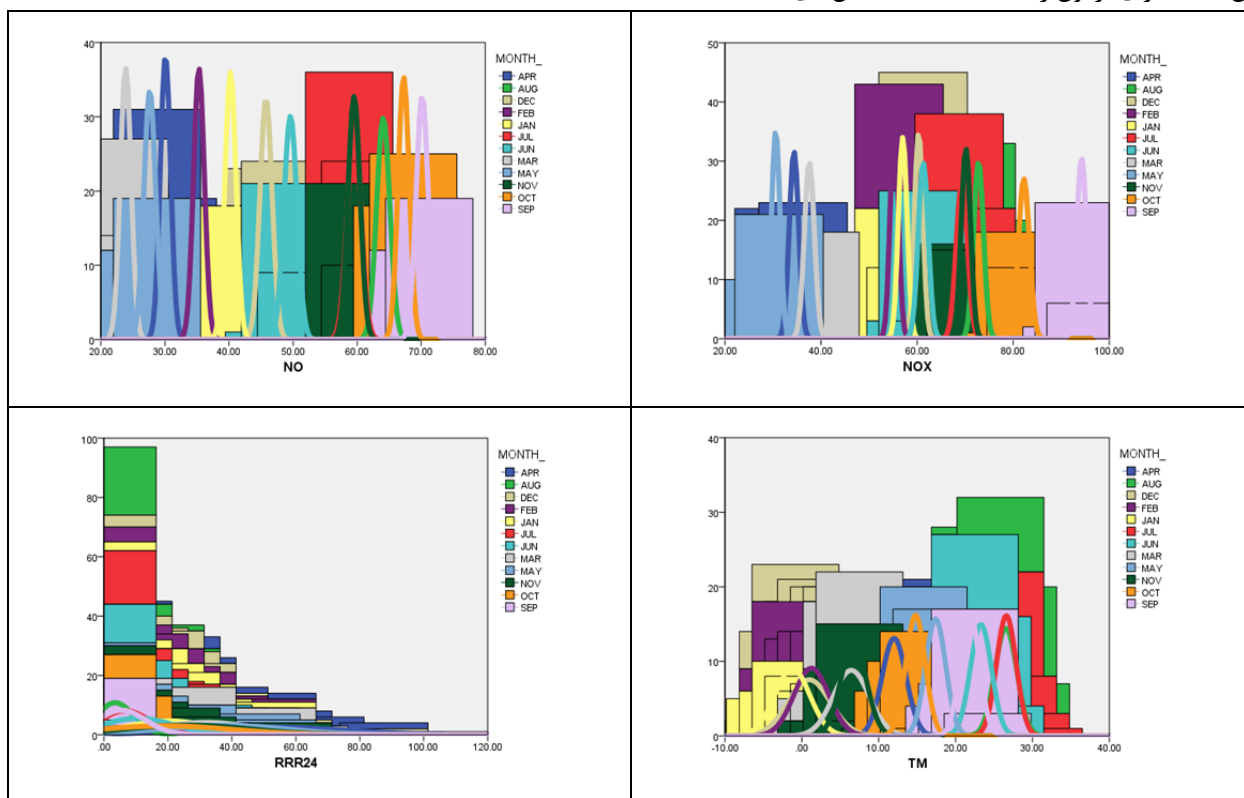
خروجی که شامل دو متغیر است، روش مقیاس‌بندی مجدد برای متغیرهای وابسته نشان داده شده که از روش استاندارد استفاده شد. سپس اطلاعات تابع محرک در لایه خروجی و در آخر تابع خطا را که مجموع مربعات خطا در نظر گرفته شده، نشان داده است. در قسمت مدل شبکه، نتایج مربوط به آموزش و آزمون مدل آورده شده که شامل مجموع مربعات خطا، خطای نسبی و زمان آموزش است. در این مطالعه به دلیل آنکه میزان خطا برابر ۰/۰۴۰ و ۰/۰۶۰ کاهش یافته، شبکه‌های عصبی پرسپترون چندلایه مدل مناسبی برای پیش‌بینی مقادیر نیترات و نیتريت اکسید در ایستگاه راه‌آهن تبریز است (جدول ۲).

جدول ۲: خلاصه نتایج مدل شبکه عصبی پرسپترون چندلایه

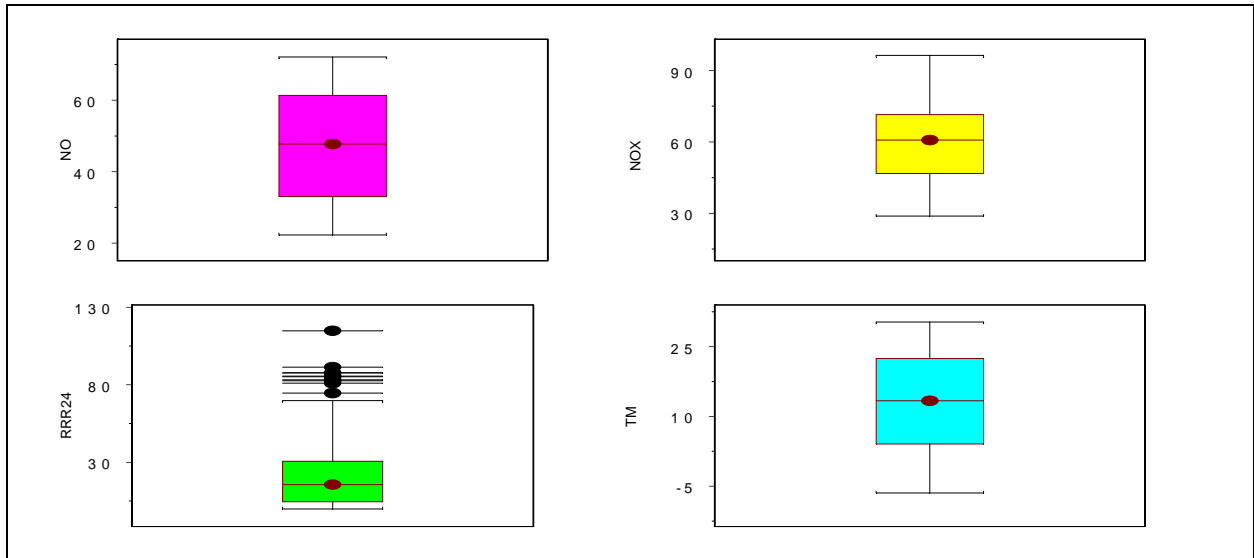
آموزش	آموزش	آموزش	آموزش
مجموع مربعات خطا	۱۲۴۰۳/۹۰۷	مجموع مربعات خطا	۵۳۷۳/۳۸۴
میانگین خطای نسبی کل	۰/۴۳۵	میانگین خطای نسبی کل	۰/۵۴۱
خطای نسبی برای متغیر وابسته	۰/۰۳۱	خطای نسبی برای متغیر وابسته	نیترات
خطای نسبی برای متغیر وابسته	۰/۰۲۹	خطای نسبی برای متغیر وابسته	۰/۰۶۰
قانون زمان متوقف‌شده	یک مرحله متوالی بدون کاهش خطا	خطای نسبی برای متغیر وابسته	نیتريت
زمان آزمون	۰:۰۴:۱۹.۴۳	خطای نسبی برای متغیر وابسته	۰/۰۴۰

۵.۱. الگوی توزیع داده‌ها

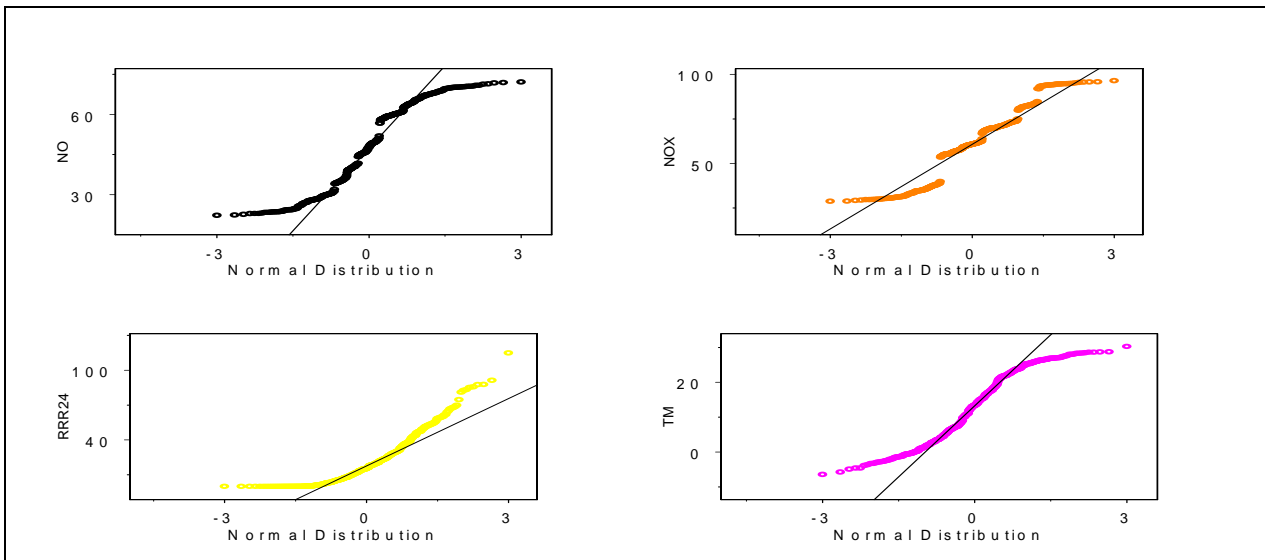
قبل از انجام آزمون ضروری است که داده‌ها را از نظر وجود مقادیر پرت یا شکل توزیع بررسی کنیم. بدین منظور برای بررسی نرمال بودن نمودارهای چگالی هیستوگرام، باکس پلات و کیو پلات داده‌ها را رسم می‌کنیم. نمودارهای ترسیم‌شده نشان دادند که الگوی توزیع نرمال بودن داده‌ها برای آزمون رعایت شده است (شکل‌های ۳-۵).



شکل ۳: نمودارهای چگالی هیستوگرام متغیرهایی تحقیق (نیترات، نیتريت، دما و بارش ۲۴ ساعته) برحسب گام زمانی ماهانه



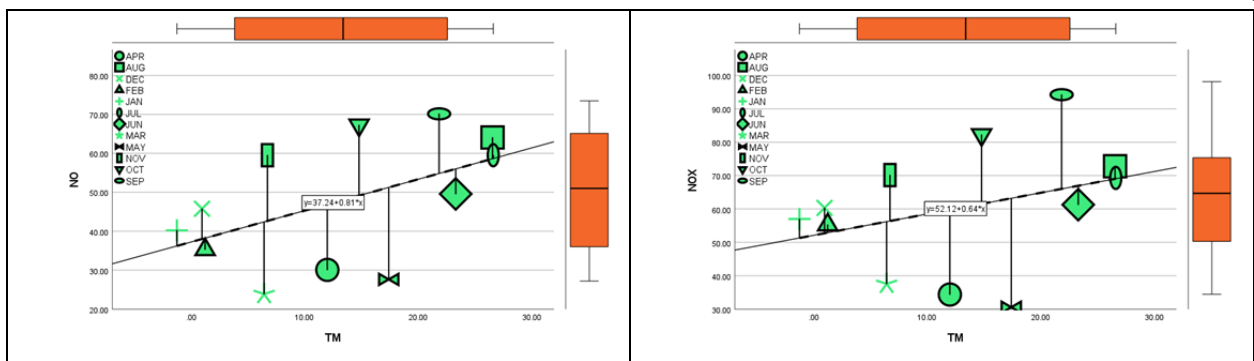
شکل ۴: نمودارهای باکس پلات متغیرهایی تحقیق (نیترات، نیتريت، دما و بارش ۲۴ ساعته) بر حسب گام زمانی سالانه

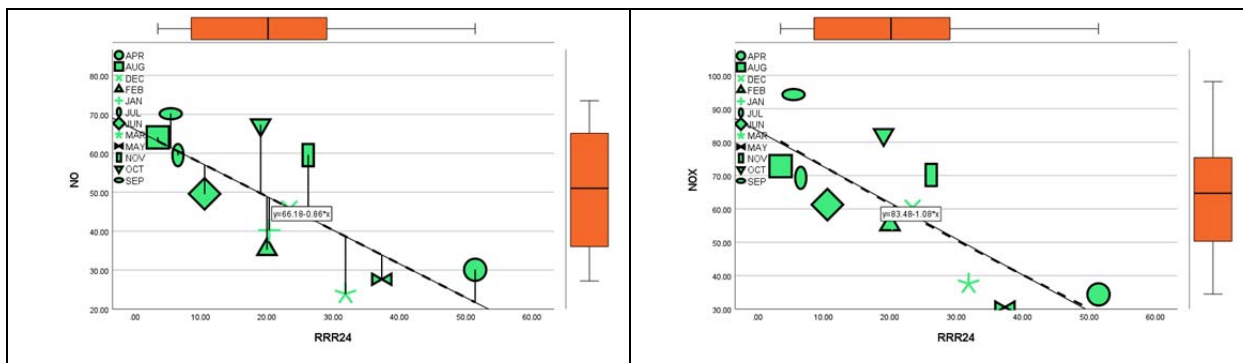


شکل ۵: نمودارهای کیو پلات متغیرهایی تحقیق (نیترات، نیتريت، دما و بارش ۲۴ ساعته) بر حسب گام زمانی سالانه

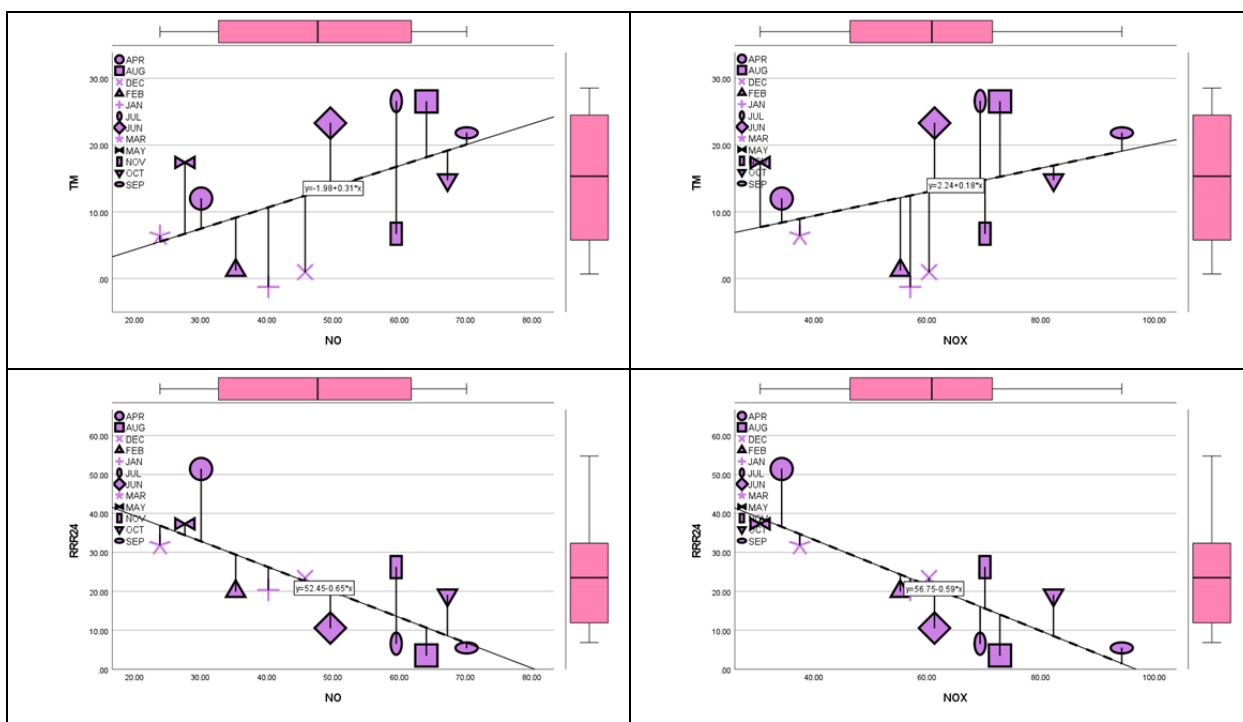
۵.۲. ارزیابی توصیفی متغیرهای تحقیق بر حسب گام زمانی ماهانه

شکل‌های (۶-۸) به ترتیب نمودارهای ترکیبی رگرسیون و باکس پلات و ماتریس پراکنش، متغیرهای تحقیق (نیترات، نیتريت، دما و بارش ۲۴ ساعته) را نشان می‌دهد که برای ایستگاه هواشناسی سینوپتیک تبریز و ایستگاه سنجش کیفیت هوا راه‌آهن تبریز ترسیم شده است. بیشترین و کمترین میزان نیترات اکسید به ترتیب در ماه‌های شهریور و اسفند، نیتريت در شهریور و اردیبهشت، دما در تیر و دی و بارش در فروردین و مرداد مشاهده شده است.

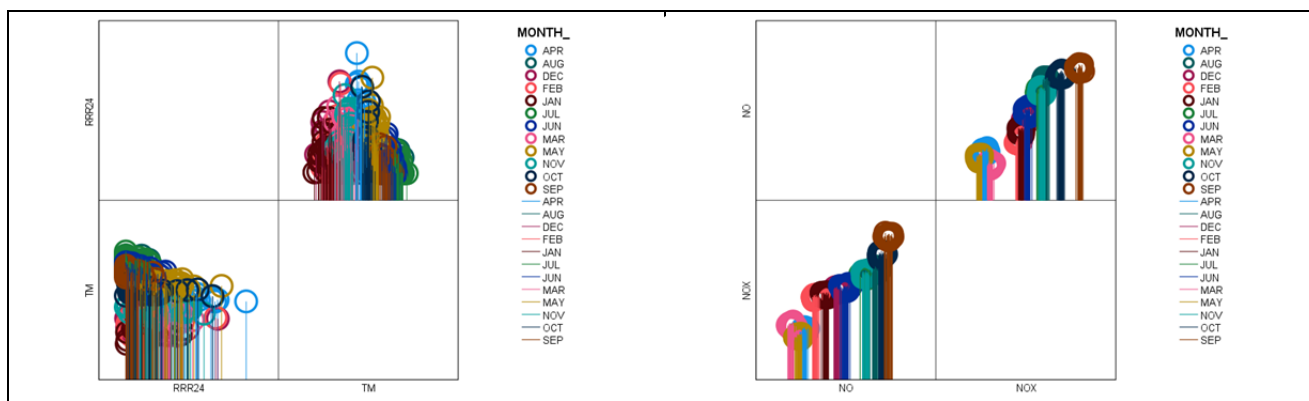




شکل ۶: نمودارهای ترکیبی رگرسیون و باکس پلات متغیرهایی تحقیق (نیترات و نیتريت اکسيد) بر حسب گام زمانی ماهانه



شکل ۷: نمودارهای ترکیبی رگرسیون و باکس پلات متغیرهایی تحقیق (دما و بارش ۲۴ ساعته) بر حسب گام زمانی ماهانه



شکل ۸: نمودارهای ماتریس پراکنش متغیرهایی تحقیق (نیترات، نیتريت، دما و بارش ۲۴ ساعته) بر حسب گام زمانی ماهانه

۵.۳. گزارش تحلیل مدل رگرسیون لجستیک

جدول ۳ نتایج آزمون ام نیبوس، ارزیابی کل مدل رگرسیونی لجستیک را نشان می‌دهد. این آزمون به بررسی این موضوع می‌پردازد که نقش نیترات و نیتريت اکسيد در طبقه‌بندی دما و بارش تا چه اندازه قدرت تبیین و کارایی دارد. مجذور کای در نیترات و نیتريت اکسيد برابر با

۳۴۸/۰۱ است که در سطح خطای کمتر از ۰/۰۵ معنی دار است و نشان از برازش مدل دارد؛ همچنین نشان می‌دهد که متغیرهای مستقل توانایی لازم در پیش‌بینی دما و بارش را دارند.

جدول ۳: آزمون ام نیبوس در رگرسیون لجستیک

Step 1	Chi-square	df	P-value
Step	۳۴۸/۰۱۵	۲	۰/۰۰۰
Block	۳۴۸/۰۱۵	۲	۰/۰۰۰
Model	۳۴۸/۰۱۵	۲	۰/۰۰۰

جدول ۴ بررسی برازش مدل را نشان می‌دهد. ضرایب جدول معادله‌های ضریب تعیین R^2 در رگرسیون خطی هستند که در اینجا در رگرسیون لجستیک استفاده می‌شوند. در رگرسیون لجستیک، چون محاسبه دقیق مقدار ضریب تعیین دشوار است، از مقادیر آماره‌های جدول برای این کار استفاده می‌شود تا مشخص گردد که متغیرهای مستقل چه میزان از واریانس‌های متغیر وابسته را می‌تواند تبیین کند. مقادیر بین ۰ تا ۱ نوسان دارد. مقادیر دو آماره نیترا و نیتريت اکسید برابر ۰/۸۴۴ و ۰/۶۰۸ به دست آمده و بدین معناست که متغیرهای مستقل مذکور توانسته‌اند بین ۸۴ تا ۶۰ درصد از تغییرات را که منجر به افزایش دما و کاهش بارش شده است، به درستی تبیین کنند.

جدول ۴: بررسی برازش مدل رگرسیون لجستیک

Step	-2 Log likelihood	Cox & Snell R Square	Nagelkerke R Square
۱	۱۲۵/۵۲۲	۰/۶۰۸	۰/۸۴۴

جدول ۵ نشان می‌دهد که براساس مدل لجستیک انتظار داریم از ۱۲۴ ماه که تغییرات دما و بارش وجود نداشته، تعداد ۹۷ ماه تغییرات نداشته باشد و ۲۷ ماه دیگر براساس مدل باید تغییرات افزایشی دما و کاهشی بارش داشته باشد. همچنین براساس مدل لجستیک انتظار داریم ۲۴۸ ماه که تغییرات داشته‌اند، ۷ ماه تغییرات نداشته باشند و ۲۴۱ ماه دیگر باید تغییرات داشته باشد. لذا اگر تغییرات دما افزایشی و بارش کاهشی نباشد، مدل لجستیک تغییرات آن را با احتمال ۰/۷۸۲ درست تشخیص می‌دهد. همچنین اگر تغییرات وجود داشته باشد، مدل لجستیک تغییرات آن را با احتمال ۰/۹۰۹ درست تشخیص دهد.

جدول ۵: پیش‌بینی‌ها در مدل رگرسیون لجستیک

Observed	COD	COD	COD	Predicted
COD	NO	NO	YES	Percentage Correct
COD	NO	۹۷	۲۷	۷۸/۲
COD	YES	۷	۲۴۱	۹۷/۲
Overall Percentage	Overall Percentage			۹۰/۹

جدول ۶ مهم‌ترین جدول در تفسیر نتایج مربوط به معنی‌داری و میزان تأثیر هر متغیر مستقل بر متغیر وابسته است.

B همان ضریب رگرسیونی استاندارد نشده است.

S.E همان خطای استاندارد است.

Wald: آماره والد مهم‌ترین آماره برای آزمون معنی‌داری حضور هر متغیر مستقل در مدل است. آماره والد معادل t در رگرسیون خطی است. ضرایب محاسبه شده جدول نشان می‌دهد که نیترا و نیتريت اکسید، اثر معنی‌داری روی تغییرات افزایش دما و کاهش بارش در ایستگاه تبریز دارد.

جدول ۶: سطح معنی‌داری آزمون و تأثیر متغیرهای مستقل بر روی متغیرهای وابسته در مدل رگرسیون لجستیک

Step 1 ^a	B	S.E.	Wald	df	P-value	Exp(B)
NO	۰/۲۶۷	۰/۰۳۱	۷۶/۴۱۷	۱	۰/۰۰۰	۱/۳۰۷
NOX	۰/۵۸۰	۰/۲۰۱	۸/۳۱۲	۱	۰/۰۰۴	۱/۷۸۵
Constant	-۲۷/۴۴۵	۸/۱۰۹	۱۱/۴۵۵	۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰

۶. بحث و نتیجه‌گیری

نتایج روش‌های یادگیری ماشین (رگرسیون لجستیک) که با هدف پیش‌بینی اثرات آلاینده‌ها در تغییرات دما و بارش استفاده شد، نشان داد که مدل لجستیک معنی‌دار بود. مجذور کای در نیترا و نیتريت اکسید برابر با ۳۴۸/۰۱ محاسبه شد که در سطح خطای کمتر از ۰/۰۵ معنی‌دار

بود. متغیرهای مستقل مذکور توانستند بین ۸۴ تا ۶۰ درصد از تغییرات را که منجر به افزایش دما و کاهش بارش شده بود، به‌درستی تبیین کنند. ۷۸/۲ درصد از ماه‌هایی که تغییرات نداشتند درست طبقه‌بندی شدند و ۹۷/۲ درصد از پیش‌بینی‌ها در مورد تغییرات دما و بارش صحیح بود. در کل، ۹۰/۹ درصد از پیش‌بینی‌ها درست تخمین زده شده بود. نتایج نشان داد که آلاینده‌ها اثر معنی‌داری روی افزایش دما و کاهش بارش در ایستگاه سینوپتیک تبریز دارد. در تحقیقات هم‌سو و منطبق، دی‌اکسید نیتروژن، نیترات‌ها و نیتريت‌های اکسید از مهم‌ترین آلاینده‌های هوا هستند که به‌طور مستقیم و غیرمستقیم بر شرایط جوی و اقلیمی اثر می‌گذارند؛ این ترکیبات از طریق فعالیت‌های انسانی و فرایندهای محیطی وارد جو می‌شوند و تأثیراتشان بر دما و بارش با ایستگاه‌های هواشناسی و فناوری‌های ماهواره‌ای رصد می‌شود [۴]. اکسیدهای نیتروژن اثراتی بر تغییرات دما و بارش دارند؛ درحالی‌که نیتريت‌ها و نیترات‌ها از طریق اثرات زیست‌محیطی خود نیز تأثیرگذارند. کنترل انتشار این ترکیبات برای کاهش اثرات منفی بر آب‌وهوا و محیط‌زیست ضروری است [۵]. در سال‌های اخیر در زمینه بررسی تأثیر غلظت آلاینده‌های گازی بر تغییرات اقلیمی پژوهش‌های گوناگونی صورت گرفته است. با بررسی اثرات افزایش بارش همراه با افزودن نیتروژن و افزایش دما بر شار متان در مراتع آلپ فلات تبت نشان دادند که شارهای CH₄ اکوسیستم‌های مرتع آلبی نسبت به فسفر حساس‌تر از W یا N هستند، و همچنین بارش واکنش شار CH₄ را به افزایش رسوب نیتروژن در مراتع آلپ در فلات تبت کنترل می‌کند. بنابراین، تحقیقات آینده باید بر پاسخ و بازخورد جذب CH₄ به تغییرات در بارش متمرکز شود [۱۸]. میانگین بارش سالانه در حوضه دریاچه ارومیه از ۱۹۶۷ تا ۲۰۰۶ حدود ۲۳۵ میلی‌متر بوده است، با بیشترین بارش در سال ۱۹۶۸ (۴۴۰ میلی‌متر) و کمترین بارش در سال ۲۰۰۲ (۱۵۰ میلی‌متر). این کاهش بارش همراه با مدیریت نادرست منابع آب، باعث کاهش چشمگیر سطح آب دریاچه شده است [۱۷]. غلظت آلاینده‌های هوا تحت‌تأثیر ترکیبی از آلاینده‌های منتشرشده، فرایندهای فیزیکی و شیمیایی در اتمسفر و خصوصیات سطح زمین است. آلاینده‌های هوایی مانند نیترات و نیتريت اکسید بر شرایط جوی و اقلیمی اثر می‌گذارند. شهرهای بزرگ مانند تبریز نیز به‌دلیل افزایش آلاینده‌ها و شرایط توپوگرافی خاص با مشکلات آلودگی مواجه‌اند [۲۸]. نتایج تحقیقات ذکرشده با این مطالعه تا حدودی هم‌سو و منطبق است.

منابع

- [1] Cui C, Wang Z, He P, Yuan S, Niu B, Kang P, Kang C. Escaping from pollution: the effect of air quality on inter-city population mobility in China. *Environmental Research Letters*. 2019 Nov 29; 14(12): 124025. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab5039>
- [2] Manisalidis I, Stavropoulou E, Stavropoulos A, Bezirtzoglou E. Environmental and health impacts of air pollution: a review. *Frontiers in public health*. 2020 Feb 20; 8: 14. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.00014>
- [3] Guo S, Tao X, Liang L. Exploring Natural and Anthropogenic Drivers of PM_{2.5} Concentrations Based on Random Forest Model: Beijing–Tianjin–Hebei Urban Agglomeration, China. *Atmosphere*. 2023 Feb 15; 14(2): 381. <https://doi.org/10.3390/atmos14020381>
- [4] Wang H, Lu K, Tan Z, Chen X, Liu Y, Zhang Y. Formation mechanism and control strategy for particulate nitrate in China. *Journal of Environmental Sciences*. 2023 Jan 1; 123: 476-86. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2022.09.019>
- [5] Hakeem KR, Sabir M, Ozturk M, Akhtar MS, Ibrahim FH. Nitrate and nitrogen oxides: sources, health effects and their remediation. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology* Volume 242. 2017; 183-217. https://doi.org/10.1007/398_2016_11
- [6] Mushtaq B, Bandh SA, Shafi S, Mushtaq B, Bandh SA, Shafi S. Air pollution and its abatement. *Environmental Management: Environmental Issues. Awareness and Abatement*. 2020; 47-93. https://doi.org/10.1007/978-981-15-3813-1_2
- [7] Yang D, Yang Y, Xia J. Hydrological cycle and water resources in a changing world: A review. *Geography and Sustainability*. 2021 Jun 1; 2(2): 115-22. <https://doi.org/10.1016/j.geosus.2021.05.003>
- [8] Val pour, M., Bateni, S. M., & Jun, C. (2021). Global surface temperature: a new insight. *Climate*; 9(5): 81. [In Persian]. <https://doi.org/10.3390/cli9050081>
- [8] Mikhailov AV, Perrone L. Whether Sudden Stratospheric Warming Effects Are Seen in the Midlatitude Thermosphere of the Opposite Hemisphere? *Journal of Geophysical Research: Space Physics*. 2023 Jun; 128(6): e2023JA031285. [In Persian]. <https://doi.org/10.1029/2023JA031285>
- [9] Hafezi Moghaddas N, Lashkaripour G, Parsaei R. Performance analysis of CMIP6 models in projection of temperature and precipitation changes in the Chahnimeh area of Sistan and Baluchistan province. *Journal of Climate Research*. 2024 Mar 9. [In Persian]
- [10] Babaeian I, Karimian M, Modirian R, Mirzaei E. Future climate change projection over Iran using CMIP5 data during 2020-2100. *Nivar*. 2019 Mar 21; 43(104-105): 62-71. [In Persian]. <https://doi.org/10.30467/nivar.2019.142745.1103>
- [11] Yazdi M. Climate changes impacts on the world and Iran environment. *Science Cultivation*. 2018 May 22; 8(2): 89-98. [In Persian]. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.2008935.1397.08.2.3.7>
- [12] Hamidi SM, Nazmfar H, Yazdani MH, Bashi AR. An investigation and analysis of the effect of Urmia lake water

- level reduction on the development levels of surrounding counties. *Town and Country Planning*. 2019; 11(2): 285-309. [In Persian]. <https://doi.org/10.22059/jtcp.2019.289097.670024>
- [13] Amini, M., Kouhestani, H., Kazemiyeh, F. (2021). 'Recognition and Prioritization of the Economic, Social and Environmental Consequences of Drying of Lake Urmia in the Surrounding Villages'. *Journal of Water and Sustainable Development*, 8(1): 51-62. [In Persian]. <https://doi.org/10.22067/jwsd.v8i1.88477>
- [14] Nouri H, Mason RJ, Moradi N. Land suitability evaluation for changing spatial organization in Urmia County towards conservation of Urmia Lake. *Applied geography*. 2017 Apr 1; 81: 1-2. [In Persian]. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2017.02.006>
- [15] Mohammadi A, Hajizadeh Y, Taghipour H, Mosleh Arani A, Mokhtari M, Fallahzadeh H. Assessment of metals in agricultural soil of surrounding areas of Urmia Lake, northwest Iran: A preliminary ecological risk assessment and source identification. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*. 2018 Nov 17; 24(8): 2070-87. [In Persian]. <https://doi.org/10.1080/10807039.2018.1438173>
- [16] Hassanzadeh E, Zarghami M, Hassanzadeh Y. Determining the main factors in declining the Urmia Lake level by using system dynamics modeling. *Water Resources Management*. 2012 Jan; 26: 129-45. [In Persian]. <https://doi.org/10.1007/s11269-011-9909-8>
- [17] Ahmadi S, Akbarzadeh M. Political-Security Impacts of Drying of Lake Urmia. *Geopolitics Quarterly*. 2018 Oct 23; 14(51): 95-127. [In Persian]. <https://dori.net/dor/20.1001.1.17354331.1397.14.51.4.4>
- [18] Wu G, Chen XM, Ling J, Li F, Li FY, Peixoto L, Wen Y, Zhou SL. Effects of soil warming and increased precipitation on greenhouse gas fluxes in spring maize seasons in the North China Plain. *Science of the Total Environment*. 2020 Sep 10; 734: 139269. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139269>
- [19] Liu Z, Li D, Zhang J, Saleem M, Zhang Y, Ma R, He Y, Yang J, Xiang H, Wei H. Effect of simulated acid rain on soil CO₂, CH₄ and N₂O emissions and microbial communities in an agricultural soil. *Geoderma*. 2020 May 1; 366: 114222. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114222>
- [20] Obolkin V, Molozhnikova E, Shikhovtsev M, Netsvetaeva O, Khodzher T. Sulfur and nitrogen oxides in the atmosphere of lake baikal: Sources, automatic monitoring, and environmental risks. *Atmosphere*. 2021 Oct 15; 12(10): 1348. <https://doi.org/10.3390/atmos12101348>.
- [21] Balogun AL, Tella A, Baloo L, Adebisi N. A review of the inter-correlation of climate change, air pollution and urban sustainability using novel machine learning algorithms and spatial information science. *Urban Climate*. 2021 Dec 1; 40: 100989. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.100989>
- [22] Mohammadi A, Hajizadeh Y, Taghipour H, Mosleh Arani A, Mokhtari M, Fallahzadeh H. Assessment of metals in agricultural soil of surrounding areas of Urmia Lake, northwest Iran: A preliminary ecological risk assessment and source identification. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*. 2018 Nov 17; 24(8): 2070-87. [In Persian] <https://doi.org/10.1080/10807039.2018.1438173>
- [23] Faraji M, Rezaibanafsheh M, Sarraf B, Mohammad Khorshiddoust A. Simulating climate changes in Iran using artificial neural networks algorithm. *Climate Change Research*. 2023 Aug 23; 4(14): 43-64. [In Persian]. <https://doi.org/10.30488/ccr.2023.397215.1135>
- [24] Nourani V, Karimzadeh H, Baghanam AH. Forecasting CO pollutant concentration of Tabriz city air using artificial neural network and adaptive neuro-fuzzy inference system and its impact on sustainable development of urban. *Environmental Earth Sciences*. 2021 Feb; 80: 1-0. [In Persian]. <https://doi.org/10.1007/s12665-021-09423-x>
- [25] Shamsoddini, A., Aboodi, M. R. A wavelet-ANN-based framework for estimating air pollutant concentrations using remotely sensed data in Tehran metropolitan area. *Regional Planning*, 2022; 12(47): 115-130. [In Persian]. <https://doi.org/10.30495/jzpm.2021.25725.3717>
- [26] Chen Y, Song L, Liu Y, Yang L, Li D. A review of the artificial neural network models for water quality prediction. *Applied Sciences*. 2020 Aug 20; 10(17): 5776. <https://doi.org/10.3390/app10175776>
- [27] Liu B, Zhao Q, Jin Y, Shen J, Li C. Application of combined model of stepwise regression analysis and artificial neural network in data calibration of miniature air quality detector. *Scientific reports*. 2021 Feb 5; 11(1):3247. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-82871-4>
- [28] PANAHI A. *Investigating the relationship between AQI pollutants and meteorological parameters in severe inversions of Tabriz, Iran*. [In Persian]
- [29] Cuk A, Bezdan T, Bacanin N, Zivkovic M, Venkatachalam K, Rashid TA, Devi VK. Feedforward multi-layer perceptron training by hybridized method between genetic algorithm and artificial bee colony. *Data science and data analytics: opportunities and challenges*. 2021 Sep 22: 279.
- [30] Kruse R, Mostaghim S, Borgelt C, Braune C, Steinbrecher M. Multi-layer perceptrons. In *Computational intelligence: a methodological introduction* 2022 Mar 27 (pp. 53-124). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-42227-1_5
- [31] Behi, M. J., Mokhtari, M. H., Moradi, G., & Saremi, M. A. (2021). Modeling vegetation distribution based on environmental variables and logistic regression method in Mullah Fahleh area of Firoozabad, Fars province. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 34(4): 883-901. <https://dori.net/dor/20.1001.1.23832592.1400.34.4.20.3>. [In Persian]