



Investigating the Relationship between Air Pollutants and Meteorological Parameters in the Agricultural Sector of Mazandaran Province Using Logistic Regression

Majid Ghorbani^{1*}, Abolfazl Mahmoodi¹, Mohsen Shokat Fadaee¹, Mohammad Khaledi²

¹ Department of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, Payame Noor University, Tehran, Iran

² Department of Agricultural Economics, Research Institute of Planning, Agricultural Economics and Rural Development, Tehran, Iran

ARTICLE INFO

Article Type: Research article

Article history:

Received 3 October 2020

Accepted 1 February 2020

Available online 1 February 2020

Keywords:

Environmental Effects, Air Pollution, Logistic Regression, Sustainable Agricultural Management, Pollutant Forecasting.

Citation: Ghorbani, M., Mahmoodi, A., Shokat Fadaee, M., Khaledi, M. (2021). Investigating the Relationship between Air Pollutants and Meteorological Parameters in the Agricultural Sector of Mazandaran Province Using Logistic Regression. *Geography and Sustainability of Environment*, 10 (4), 17-37. doi: [10.22126/GES.2021.5677.2285](https://doi.org/10.22126/GES.2021.5677.2285)

ABSTRACT

Paying attention to environmental effects on the production of agricultural yields can be very useful in the direction of sustainable agricultural management. Understanding biological behaviors in the production of pollutants can play an important role in reducing the adverse effects of air pollution. Logistic regression method is considered as a linear developed method to predict air pollution; Time series analysis of parameters affecting air pollutants and addressing how much data is needed in previous times to predict the amount of pollutants one step ahead is an issue that has been less studied. The current study aims to model the process of five important pollutants including carbon monoxide (CO), ozone (O₃), particulate matter less than 10 μm in diameter (PM₁₀), sulfur dioxide (SO₂) and nitrogen dioxide (NO₂) in Mazandaran province, using logistic regression method and time series analysis, to examine the efficiency and flexibility of the methods used in modeling and forecasting these pollutants. In this study, meteorological data from Ramsar, Amol, Babolsar and Nowshahr stations and air pollution data from Gulogah, Ghaemshahr, Sari and Kiasar stations were received daily in the second half of 2017 and 2018, the average of which has been used in data analysis. The findings reveal that NO₂ and CO of Gulogah station and O₃ of Kiasar station and SO₂, NO₂ and CO of Sari and Ghaemshahr pollution stations are completely related to the parameters of temperature, relative humidity and wind speed, which indicates the effect of these parameters on changing the concentration of these pollutants. Moreover, based on the patterns of univariate functions of regression equations, valid formulas for estimating logistic relationships between pollutants and meteorological parameters were extracted, according to which, having meteorological parameters in stations, it is easy to predict the pollution of the region.



بررسی ارتباط بین آلاینده‌های هوا و پارامترهای هواشناسی در بخش کشاورزی استان مازندران با استفاده از رگرسیون لجستیک

مجید قربانی^{۱*}، ابوالفضل محمودی^۱، محسن شوکت فدایی^۱، محمد خالدی^۲

^۱ گروه اقتصاد کشاورزی، بخش کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

^۲ گروه اقتصاد کشاورزی، مؤسسه پژوهش‌های برنامه‌ریزی، اقتصاد کشاورزی و توسعه روستائی، تهران، ایران

مشخصات مقاله	چکیده
<p>نوع مقاله: پژوهشی</p> <p>تاریخچه مقاله:</p> <p>دریافت ۱۲ مهر ۱۳۹۹</p> <p>پذیرش ۱۳ بهمن ۱۳۹۹</p> <p>دسترسی آنلاین ۱۶ بهمن ۱۳۹۹</p> <p>کلیدواژه‌ها:</p> <p>آثار زیست‌محیطی، آلودگی هوا، رگرسیون لجستیک، مدیریت پایدار کشاورزی، پیش‌بینی آلاینده‌ها.</p> <p>استناد: قربانی، مجید؛ محمودی، ابوالفضل؛ شوکت فدایی، محسن؛ خالدی، محمد (۱۳۹۹). بررسی ارتباط بین آلاینده‌های هوا و پارامترهای هواشناسی در بخش کشاورزی استان مازندران با استفاده از رگرسیون لجستیک. <i>جغرافیا و پایداری محیط</i>. ۱۰ (۴)، ۱۷-۳۷. doi: 10.22126/GES.2021.5677.2285</p>	<p>توجه به آثار زیست‌محیطی در تولید محصولات کشاورزی می‌تواند در راستای مدیریت پایدار کشاورزی بسیار مفید باشد. شناخت رفتارهای زیستی در تولید آلاینده‌ها می‌تواند نقش مهمی در کاهش اثرات سوء آلودگی هوا داشته باشد. روش رگرسیون لجستیک به‌عنوان روش توسعه‌یافته خطی، به‌منظور پیش‌بینی آلودگی هوا به‌شمار می‌رود؛ تحلیل سری زمانی پارامترهای اثرگذار بر آلاینده‌های هوا و پرداختن به این موضوع که برای پیش‌بینی میزان آلاینده‌ها در یک گام زمانی جلوتر، به چه تعداد داده در زمان‌های قبلی نیاز است، مسئله‌ای است که کمتر بررسی شده است. هدف پژوهش حاضر آن است که با مدل‌سازی فرایند پنج آلاینده مهم شامل مونوکسید کربن، ازن، ذرات معلق با قطر کمتر از ده میکرومتر، دی‌اکسید گوگرد و دی‌اکسید نیتروژن در استان مازندران با استفاده از روش رگرسیون لجستیک و تحلیل سری‌های زمانی، میزان کارایی و انعطاف‌پذیری روش‌های به‌کار گرفته‌شده در مدل‌سازی و پیش‌بینی این آلاینده‌ها را بررسی کند. در نوشتار پیش رو، داده‌های هواشناسی از ایستگاه‌های رامسر، آمل، بابلسر و داده‌های آلودگی هوا از ایستگاه‌های گل‌گانه، قائم‌شهر، ساری و کیاسر به‌صورت روزانه در نیمسال دوم ۱۳۹۶ و سال ۱۳۹۷ دریافت شده که میانگین آن‌ها در تجزیه و تحلیل داده‌ها استفاده شده است. نتایج نشان داد که NO₂ و CO ایستگاه گل‌گانه و O₃ ایستگاه کیاسر و SO₂، NO₂ و CO ایستگاه‌های آلودگی ساری و قائم‌شهر به‌طور کامل با پارامترهای دما، رطوبت نسبی و سرعت باد ارتباط معنی‌داری دارند که بیانگر تأثیر این پارامترها در تغییر غلظت آلاینده‌های پیش‌گفته است؛ همچنین براساس الگوهای توابع یک‌متغیره معادلات رگرسیون‌ها، فرمول‌های معتبری برای تخمین روابط لجستیک بین آلاینده‌ها و پارامترهای هواشناسی استخراج شد که براساس آن، با داشتن پارامترهای هواشناسی در ایستگاه‌ها، به‌راحتی می‌توان میزان آلودگی منطقه را پیش‌بینی کرد.</p>

مقدمه

کشاورزی، فعالیت اقتصادی است که نقش مهمی در تولید ناخالص داخلی^۱ ایفا می‌کند (جهانگرد، ۱۳۹۳)؛ ازسوی دیگر، فعالیت کشاورزی می‌تواند تأثیرات جانبی زیست‌محیطی به‌همراه داشته باشد. آلودگی هوا پدیده جدیدی نیست که امروزه به‌صورت معضل درآمده باشد و ذهن انسان‌ها را برای پیش‌بینی آن به دغدغه انداخته باشد؛ متأسفانه فعالیت‌های روزافزون انسان‌ها به‌ویژه پس از انقلاب صنعتی، باعث ایجاد آلودگی هوا در مقیاس‌های بزرگ شده است (برائر^۲ و همکاران، ۲۰۱۵). پُر واضح است که شناخت رفتارهای زیستی در تولید آلاینده‌های هوا می‌تواند نقش مهمی در کاهش اثرات سوء آلودگی هوا داشته باشد؛ زیرا با داشتن این شناخت، می‌توان برنامه‌ریزی لازم به‌منظور کاهش منابع تولید آلودگی هوا و در نتیجه دستیابی به محیطی سالم را در فکر پروراند (بیلگیلی^۳ و همکاران، ۲۰۱۶)؛ بنابراین بررسی اثرات زیست‌محیطی مصرف انرژی اهمیت زیادی دارد و می‌تواند در سیاست‌گذاری‌های اقتصادی تأثیرگذار باشد (امیرنژاد و بهمن‌پوری، ۱۳۹۲).

فشار بر محیط‌زیست به‌سبب فعالیت‌های بشری نه‌تنها از جنبه زیست‌محیطی اهمیت دارد، بلکه از نظر اقتصادی نیز مهم است (تیواری^۴ و همکاران، ۱۹۹۹). در ایران به‌دلیل وجود منابع انرژی فراوان، در استفاده از آن‌ها برای انجام فعالیت‌های اقتصادی، اتلاف و اسراف وجود دارد که این امر منجر به افزایش آلودگی‌های زیست‌محیطی می‌شود (هراتی و همکاران، ۱۳۹۳).

پژوهش‌های انجام‌شده در زمینه پیش‌بینی آلاینده‌های هوا در وجوه مختلفی گسترش یافته‌اند. برای مدل‌سازی رفتار آلاینده‌های هوا غالباً روش‌های رگرسیون، منطق فازی^۵ و روش‌های آماری استفاده می‌شوند (گرجار^۶ و همکاران، ۲۰۱۶). در روش‌های رگرسیون، لزوم تخمین دقیق نتایج و به‌دست‌آوردن روابط بین پارامترها و متغیرهای مؤثر در نتایج، طیف وسیعی از این روش‌ها را به‌وجود آورده است که از جمله این روش‌های رگرسیون می‌توان روش رگرسیون لجستیک^۷ را نام برد. در برخی از پژوهش‌ها برای مطالعه آلودگی هوا و منابع آلاینده، از این روش استفاده شده است؛ برای مثال، برخی پژوهشگران با استفاده از این روش به تعیین تغییرات مکانی و زمانی آلودگی‌های منوکسید گوگرد با استفاده از تکنیک‌های سامانه اطلاعات جغرافیایی^۸ پرداختند (شادیک^۹ و همکاران، ۲۰۱۸). در گروهی دیگر از پژوهش‌ها، استفاده از پارامترهای هواشناسی برای پیش‌بینی آلاینده مورد نظر پیشنهاد شده است؛ برای مثال، برخی پژوهشگران، استفاده از این پارامترها به‌منظور پیش‌بینی غلظت آلاینده‌هایی شامل اُزون^{۱۰}، ذرات معلق با قطر کمتر از ده میکرومتر^{۱۱}، دی‌اکسید گوگرد^{۱۲} و مونوکسید کربن^{۱۳} را پیشنهاد داده‌اند (شمشیری و همکاران، ۲۰۱۸؛ لیو^{۱۴} و همکاران، ۲۰۱۶). در پاره‌ای دیگر از پژوهش‌ها، استفاده از اطلاعات

- 1- Gross Domestic Product (GDP)
- 2- Brauer
- 3- Bilgili
- 4- Tiwari
- 5- Fuzzy logic
- 6- Gurjar
- 7- Logistic regression
- 8- Geographic Information System (GIS)
- 9- Shaddick
- 10- O₃
- 11- PM₁₀
- 12- SO₂
- 13- CO
- 14- Liu

مربوط به خود آلاینده به‌عنوان ورودی شبکه عصبی پیشنهاد شده است (ژنگ و شی^۱، ۲۰۱۶؛ چاودهوری^۲ و همکاران، ۲۰۱۷). از دیگر ایده‌های مطرح شده برای ورودی سیستم پیش‌بینی‌کننده، پیش‌بینی میانگین روزانه PM₁₀ با استفاده از میانگین آن در روز قبل و نیز استفاده از روش درون‌یابی^۳، برای محاسبه ماکزیمم مقدار ازون در محدوده هشت ساعته برای روزهای t و t+1 و t+2 است (الهامی و همکاران، ۱۳۹۵؛ سوئیوشی و یوان^۴، ۲۰۱۵). در پاره‌ای دیگر از پژوهش‌ها، بدون در نظر گرفتن پارامترهای هواشناسی، تنها از اطلاعات آلاینده‌هایی که ارتباط معنی‌داری با یکدیگر دارند، استفاده شده و بهره‌گیری از سری زمانی خود آلاینده به‌منظور پیش‌بینی و تحلیل یک گام زمانی جلوتر آن پیشنهاد شده است (پرا^۵، ۲۰۱۶).

در راستای پیش‌پردازش داده‌ها قبل از ورود به شبکه عصبی، پژوهش‌های صورت‌گرفته بیشتر به‌منظور استخراج ویژگی‌های مناسب برای بهینه‌کردن مدل با استفاده از الگوریتم ژنتیک^۶ انجام گرفته است؛ برای مثال، برخی از آن به‌عنوان وسیله‌ای برای کاهش خطای کلاسه‌بندی ویژگی‌ها و پی‌بردن به روابط پنهان زمانی و مکانی بین آن‌ها و برخی به‌منظور انتخاب مناسب وزن‌های شبکه استفاده کردند یا اینکه به‌منظور بهینه‌شدن کارایی شبکه از ترکیب تحلیل مؤلفه اصلی^۷ و عملکرد پایه شعاعی^۸ برای پیش‌بینی NO_x و NO بهره بردند (بولن^۹، ۲۰۱۵؛ میشر^{۱۰} و همکاران، ۲۰۱۵؛ راثو^{۱۱} و همکاران، ۲۰۱۷). در گروهی دیگر از پژوهش‌ها، با تلفیق شبکه عصبی و الگوریتم‌های فازی، به‌دقت بهتری برای پیش‌بینی آلاینده‌های هوا رسیده‌اند (روبارگ و بنفورادو^{۱۲}، ۲۰۱۸؛ یو^{۱۳} و همکاران، ۲۰۱۸) یا با استفاده از رگرسیون لجستیک پرسپترون چندلایه^{۱۴} به پیش‌بینی آلاینده‌های هوا پرداختند یا اینکه تلفیق روش پرسپترون چندلایه و عملکرد پایه شعاعی با ماشین بردار پشتیبان^{۱۵} را به‌منظور پیش‌بینی کوتاه‌مدت ازون روزانه پیشنهاد کردند و در پژوهش‌های دیگر، به پیش‌بینی کوتاه‌مدت و بلندمدت غلظت ازون با استفاده از شبکه‌های عملکرد پایه شعاعی، رگرسیون عمومی شبکه عصبی^{۱۶} و المان^{۱۷} پرداخته‌اند (کاب^{۱۸} و همکاران، ۲۰۱۹؛ زاوالا و همکاران^{۱۹}، ۲۰۱۸؛ المرز^{۲۰} و همکاران، ۲۰۱۸).

در برخی از پژوهش‌ها نیز فرایند زمانی - مکانی آلاینده‌های هوا با استفاده از روش لجستیک، پیش‌بینی کوتاه‌مدت شده است. در این پژوهش‌ها از روش زنجیره مارکوف مونت کارلو MCMC^{۲۱} به‌منظور تعیین پارامترها

- 1- Zheng & Shi
- 2- Chowdhury
- 3- Interpolation Methods
- 4- Sueyoshi & Yuan
- 5- Perera
- 6- Genetic algorithm
- 7- Principal Component Analysis (PCA)
- 8- Radial Basis Function (RBF)
- 9- Bollen
- 10- Mishra
- 11- Rao
- 12- Robarge & Benforado
- 13- Yu
- 14- Multi Layer Perceptron (MLP)
- 15- Support Vector Machine (SVM)
- 16- General Regression Neural Network (GRNN)
- 17- Elman
- 18- Kaab
- 19- Zavala
- 20- Almaraz
- 21- Markov Chain Monte Carlo (MCMC)

استفاده شده است (چلینگاریان^۱ و همکاران، ۲۰۱۸؛ آزید^۲ و همکاران، ۲۰۱۴). در پژوهش حاضر، پیش‌بینی پنج آلاینده مهم شامل مونوکسید کربن^۳، اوزون^۴، ذرات معلق (با قطر کمتر از ده میکرومتر)^۵، دی‌اکسید گوگرد^۶ و دی‌اکسید نیتروژن^۷ مبنای کار قرار گرفته است. برای مدل‌سازی رفتار آلاینده‌های هوا بیشتر از روش‌های رگرسیون، منطق فازی^۸ و روش‌های آماری استفاده می‌شود (گرجار^۹ و همکاران، ۲۰۱۶). در روش‌های رگرسیون، لزوم تخمین دقیق نتایج و به‌دست‌آوردن روابط بین پارامترها و متغیرهای مؤثر در نتایج، طیف وسیعی از این روش‌ها را به‌وجود آورده است که از جمله این روش‌های رگرسیون می‌توان روش رگرسیون لجستیک^{۱۰} را نام برد. هدف نوشتار پیش رو این است که با مدل‌سازی فرایند آلاینده‌ها با استفاده از روش رگرسیون لجستیک و تحلیل سری‌های زمانی، میزان کارایی و انعطاف‌پذیری این روش‌ها را در مدل‌سازی بررسی کند.

معرفی منطقه مورد بررسی

استان مازندران از لحاظ وجود ذخایر طبیعی و موقعیت خاص اقلیمی و تنوع آب‌وهوایی، از زمین‌های کشاورزی حاصل‌خیز و مرغوب برخوردار بوده و از دیرباز به‌مثابه یکی از پایه‌های اصلی کشاورزی و تأمین مواد غذایی در کشور مطرح است. این استان براساس خصوصیات دما، بارش و عارضه‌نگاری^{۱۱}، دو نوع آب‌وهوای معتدل خزری و کوهستانی دارد. آب‌وهوای معتدل خزری، جلگه‌های غربی و مرکزی استان تا کوهپایه‌های شمالی البرز را شامل می‌شود که در آن به‌دلیل کمی فاصله کوهستان و دریا، رطوبت تجمع یافته و به بارش‌های قابل ملاحظه و دمای معتدل می‌انجامد. میانگین بارندگی سالیانه در نوار ساحلی مازندران حدود ۱۰۰۰ میلی‌متر است که از غرب به شرق کاهش می‌یابد. آب‌وهوای کوهستانی مازندران از دو نوع معتدل در دامنه‌های البرز تا سرد در ارتفاعات بالاتر از ۳۰۰۰ متر متغیر است. کاهش میزان بارندگی سالیانه، کاهش متوسط درجه حرارت ماهانه، زمستان‌های سرد همراه با یخبندان‌های طولانی و تابستان‌های کوتاه از ویژگی‌های مناطق کوهستانی مازندران است.

استان مازندران بین ۳۵° ۴۷' تا ۳۵° ۳۵' عرض شمالی و ۵۰° ۳۴' تا ۵۴° ۲۷' طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرار گرفته است. این استان در قسمت شمال مرکزی کشور واقع شده و دریای خزر در شمال، استان‌های تهران و سمنان در جنوب، استان‌های گیلان و قزوین در غرب و استان گلستان در شرق آن قرار گرفته‌اند (شکل ۱).

مواد و روش‌ها

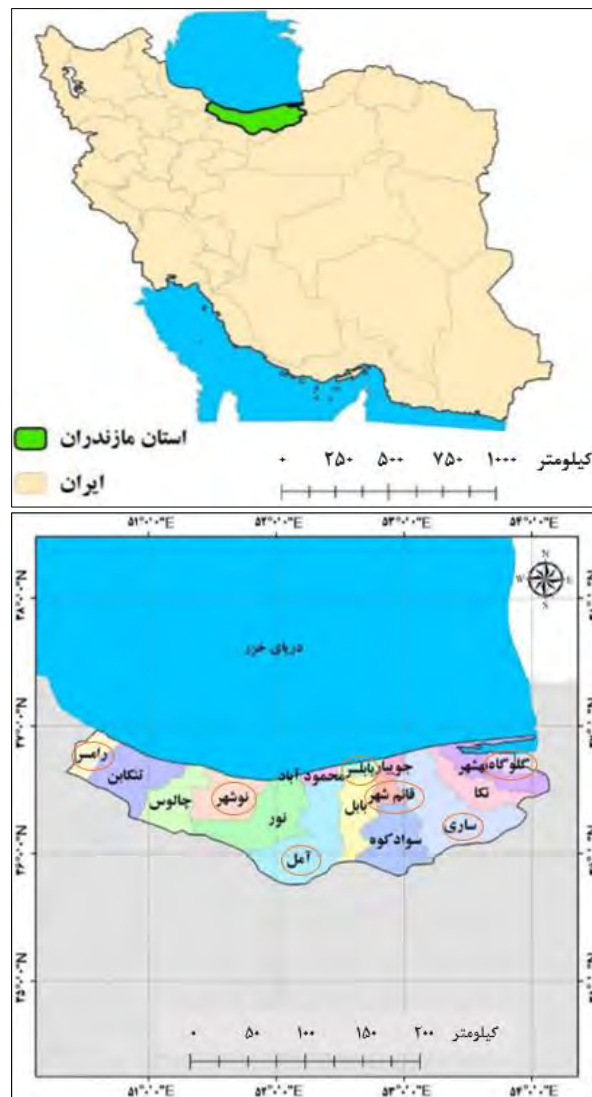
داده‌ها

داده‌های نمونه‌برداری شده شامل پارامترهای آلاینده هوا همچون CO، O₃، PM₁₀، SO₂ و NO₂ است. قابل ذکر است که واحد این آلاینده‌ها قسمت در میلیون^{۱۲} است. به‌منظور بررسی و تحلیل تغییرپذیری مکانی و زمانی آلاینده‌ها، به ایستگاه‌های مختلف سنجش آلودگی هوا و ایستگاه‌های سنجش پارامترهای جوی مؤثر در آلودگی هوا

- 1- Chlingaryan
- 2- Azid
- 3- Carbon monoxide (CO)
- 4- Ozone (O₃)
- 5- Particulate Matter (PM₁₀)
- 6- Sulfur dioxide (SO₂)
- 7- Nitrogen dioxide (NO₂)
- 8- Fuzzy logic
- 9- Gurjar
- 10- Logistic regression
- 11- Topography
- 12- Part Per Million (PPM)

به‌منظور پیش‌بینی آلاینده‌ها نیاز است. ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا که در نوشتار پیش رو بررسی شد، شامل ایستگاه‌های گلوگاه، قائم‌شهر، ساری و کیاسر است؛ همچنین از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی رامسر، آمل، بابل و نوشهر استفاده شد که موقعیت جغرافیایی این ایستگاه‌ها روی نقشه بالا نشان داده شده است. داده‌های هواشناسی از ایستگاه‌های سینوپتیک و داده‌های آلودگی هوا از ایستگاه‌های پایش سازمان حفاظت محیط‌زیست استان به‌صورت روزانه در نیمسال دوم ۱۳۹۶ و سال ۱۳۹۷ دریافت شد که میانگین آن‌ها در تجزیه و تحلیل داده‌ها استفاده شد.

در پژوهش حاضر به‌منظور مدل‌سازی فرایند آلاینده‌ها، از رگرسیون لجستیک و نرم‌افزار ای.اس.پی.ایس.اس.^۱، برای انتخاب بهینه‌ترین حالات از نرم‌افزار مینی‌تب^۲ و برای بررسی الگوی مناسب برای سری‌های زمانی از نرم‌افزار ساس^۳ استفاده شد. نمودار توابع خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی نیز با استفاده از نرم‌افزار متلب^۴ رسم شدند.



شکل ۱. نقشه استان مازندران و موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مورد بررسی روی نقشه

- 1- Statistical Package for the Social Science (SPSS)
- 2- MINITAB
- 3- Statistical Analysis System (SAS)
- 4- Matrix Laboratory (MATLAB)

روش‌ها

در تجزیه و تحلیل آماری، همبستگی بین پارامترها محاسبه و روابط همبستگی ارائه شد. در پژوهش حاضر همان‌طور که اشاره شد، از روش رگرسیون لجستیک استفاده شد.

رگرسیون لجستیک

در رگرسیون خطی، متغیر وابسته، متغیری کمی در سطح فاصله‌ای یا نسبی است و پیش‌بینی‌کننده‌ها از نوع متغیرهای پیوسته، گسسته یا ترکیبی از این دو هستند. در چنین رگرسیون‌هایی همه β_i ها پارامتر هستند (رابطه ۱).

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \dots + \beta_k X_{ik} + \epsilon_i \quad \text{رابطه ۱}$$

اما هنگامی که متغیر وابسته، کمی نباشد و به صورت دو یا چندمقوله‌ای باشد، از رگرسیون لجستیک استفاده می‌شود که امکان پیش‌بینی عضویت گروهی را فراهم می‌کند. در این روش، ضرایب را متغیرهای تصادفی در نظر گرفته و برای آن توزیع اولیه یا پیشینی براساس اطلاعات قبلی موجود، معرفی می‌کنند. برای به دست آوردن برآورد رگرسیون لجستیک باید توزیع پسین این متغیرها را به دست آورد. این استنتاج براساس تئوری لجستیک واقع شده است که در رابطه ۲ نشان داده شده است (چاوهان^۱ و همکاران، ۲۰۰۶):

$$P(\theta|y) = \frac{P(\theta) P(y|\theta)}{\sum_{\theta} P(\theta) P(y|\theta)} \quad \text{رابطه ۲}$$

در رابطه بالا، θ : پارامتر مدل، $P(\theta|y)$: احتمال پسین از θ ، $P(\theta)$: توزیع پیشین از پارامتر θ و $P(y|\theta)$: تابع احتمال است.

آزمون تحلیل تغییر مبنای حوزه تغییرات (تحلیل R/S)

تحلیل R/S روش آماری‌ای است که برای سنجش میزان نویز در یک سیستم به کار می‌رود و تشخیص یک سری زمانی تصادفی از یک سری غیر تصادفی، با آن امکان‌پذیر است. روش محاسبه بدین صورت است (مهاجر دوست و همکاران، ۱۳۸۷):

الف: سری X_i (به طول N) به d بردار n تایی تقسیم می‌شود؛ n مقسوم‌علیه‌های N را شامل می‌شود و هریک از بردارهای حاصله Z_m نامیده می‌شوند و همچنین $d, m = 1, 2, \dots, n$.
ب: برای هر بردار Z_m :

۱- میانگین (μ_m) و انحراف معیار (S_m) به‌ازای هر m محاسبه می‌شود.

۲- برای $i = 1, 2, \dots, n$ از $X_{i,m} = Z_{i,m} - \mu_m$ سری زمانی انباشته $Y_{i,m} = \sum_{j=1}^i X_{j,m}$ به دست می‌آید.

۳- $R_m = \max\{Y_{1,m}, \dots, Y_{n,m}\} - \min\{Y_{1,m}, \dots, Y_{n,m}\}$ نیز محاسبه می‌شود.

۴- با به دست آوردن مقیاس‌بندی مجدد R_m/S_m به‌ازای هر m مقدار متوسط آن برای بردارهای n بعدی به صورت رابطه ۳ است.

$$\bar{R} = \frac{1}{n} \sum_{m=1}^d \frac{R_m}{S_m} \quad \text{رابطه ۳}$$

1- Chauhan
2- Rescaled Rang Analysis

همچنین براساس یک قانون تجربی، رابطه‌ای به صورت رابطه ۴ بیان می‌شود:

$$(R / S)n = (n)H \quad H \in [0,1] \quad \text{رابطه ۴}$$

H نمای هرست^۱ است و معرف پیشامدهایی است که پی‌درپی و مانند یکدیگر رخ داده‌اند که با کمک بیشترین مقدار آن، میانگین دوره گردش متناوب حاصل می‌شود و به‌ازای مقادیر مختلف n به صورت رابطه ۵ به دست می‌آید:

$$\frac{\log (S)_n}{\log (n)} \quad \text{رابطه ۵}$$

تحلیل مؤلفه‌های اصلی^۲ و تحلیل عامل اصلی^۳

این دو تحلیل از روش‌های آماری چندمتغیره هستند که می‌توان از آن‌ها برای کاهش پیچیدگی متغیرهای اولیه مسئله در مواردی که حجم زیادی از اطلاعات وجود دارد و همچنین برای تفسیر بهتر اطلاعات استفاده کرد. با اعمال این روش، متغیرهای اولیه به مؤلفه‌های جدید و مستقل از یکدیگر تبدیل می‌شوند. روش کار برای ایجاد مؤلفه‌های اصلی به صورت زیر است (شوشتریان و همکاران، ۱۳۸۹):

الف: محاسبه فاکتور KMO^۴

روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی از روش‌های آماری ناپارامتری است که لازم است امکان استفاده و نتایج به دست آمده از آن به وسیله عامل KMO یا آزمون بارتلت^۵ مشخص شود. این عامل به کمک ضرایب همبستگی ساده^۶ و جزئی^۷ براساس رابطه ۶ محاسبه می‌شود:

$$MO = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n r_{ij}^2}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij}^2} \quad \text{رابطه ۶}$$

در رابطه ۶، r_{ij} و a_{ij} به ترتیب ضرایب همبستگی ساده و جزئی هستند. مقدار KMO بین صفر تا یک تغییر می‌کند. در صورتی که این عامل، بزرگ‌تر از ۰/۵ به دست آید، نشان‌دهنده امکان اجرای این روش روی داده‌های اصلی است.

ب: استاندارد کردن متغیرهای ورودی

براساس رابطه ۷ داده‌های ورودی به گونه‌ای استاندارد می‌شوند که میانگین صفر و انحراف معیار یک داشته باشند.

$$\frac{\mu}{\sigma} \quad \text{رابطه ۷}$$

Z: معادل استاندارد شده مشاهدات، X: داده‌های ورودی، μ : میانگین هر متغیر و σ : مقادیر انحراف معیار برای هر متغیر است.

ج: محاسبه ماتریس همبستگی برای متغیرهای اولیه

این ماتریس که میزان تغییرات در نمونه و میزان همبستگی متغیر را باهم نشان می‌دهد، ماتریسی متقارن است که

1- Hurst exponent
2- Principal Component Analysis (PCA)
3- Principal Factor Analysis (PFA)
4- Kaiser-Meyer-Olkin (KMO)
5- Bartlett test
6- Simple correlation coefficients
7- Partial correlation coefficients

عضوهای روی قطر اصلی آن، واریانس و بقیه درایه‌های آن، کوواریانس بین متغیرهای ورودی است.

د: محاسبه مقادیر ویژه λ و بردارهای ویژه مربوطه از ماتریس همبستگی

بدین منظور رابطه ۸ حل می‌شود:

$$| \mathbf{p} - \lambda \mathbf{I} | = 0 \quad \text{رابطه ۸}$$

\mathbf{I}_p : ماتریس واحدی با بُعد $p \times p$ است؛ بنابراین می‌توان p مقدار ویژه مرتب‌شده $p \geq 2 \geq \dots \geq 1$ را به دست آورد؛ به طوری که مجموع مقادیر ویژه برابر با p باشد. هرچه کمیت عددی مقادیر ویژه بزرگ‌تر باشد، بیانگر این است که مؤلفه ایجاد از آن نیز درصد بیشتری از اطلاعات متغیرهای اولیه را دربر می‌گیرد.

ه: اجرای چرخش مناسب روی ماتریس ضرایب مؤلفه‌ها

به دلیل استفاده از تمام متغیرهای اولیه در تشکیل هر مؤلفه، تفسیر مؤلفه‌ها مشکل خواهد بود؛ بنابراین برای تفسیر ساده‌تر مؤلفه‌ها، روش‌هایی ارائه شده است. این روش‌ها همان چرخش مؤلفه‌ها هستند که به دو نوع چرخش عمودی و مایل تقسیم می‌شوند.

استفاده از توابع خودهمبستگی^۱ و خودهمبستگی جزئی^۲

در پژوهش حاضر، به منظور بررسی تأخیرهای زمانی مؤثر هر سری، از روشی که در مدل‌سازی خطی و لجستیک برای انتخاب ورودی‌ها به کار برده می‌شود، استفاده می‌گردد. این روش، استفاده از خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی است. اغلب با تعداد متناهی از مشاهدات که در دسترس است یک الگوی پارامتری از مرتبه متناهی برای بیان یک فرایند سری زمانی می‌توان ساخت. از جمله الگوهایی که بدین منظور استفاده می‌شوند سه الگوی اتورگرسیو، میانگین متحرک و فرایند مرکب میانگین متحرک و اتورگرسیو هستند (محسن‌زاده و همکاران، ۱۳۹۱).

نتایج

بررسی قابلیت پیش‌بینی داده‌ها

اولین گام در مسیر مدل‌سازی و پیش‌بینی یک سیستم، بررسی ماهیت داده‌های اثرگذار در آن سیستم است. بدین منظور از آزمون تحلیل تغییر مبنای حوزه تغییرات استفاده می‌شود. براساس این آزمون، نمای هرست (H) برای سری زمانی پارامترهای به کار گرفته شده به دست می‌آید. مقادیر متناظر با نمای هرست به‌ازای مقادیر مختلف n برای دو سری اصلی^۳ و به هم ریخته^۴ داده‌های دو سری زمانی NO_2 نشان می‌دهد نمای H برای سری به هم ریخته، کمتر از سری اصلی است که این موضوع بیانگر آن است که سری اصلی روندی غیر تصادفی دارد که با برهم‌زدن ترتیب داده‌ها، خاصیت تصادفی پیدا کرده و قابلیت پیش‌بینی را از دست می‌دهد (شکل ۲). با بررسی دیگر پارامترهای مورد مطالعه در این پژوهش، چنین نتیجه‌ای را برای دیگر پارامترها نیز می‌توان استخراج کرد.^۵

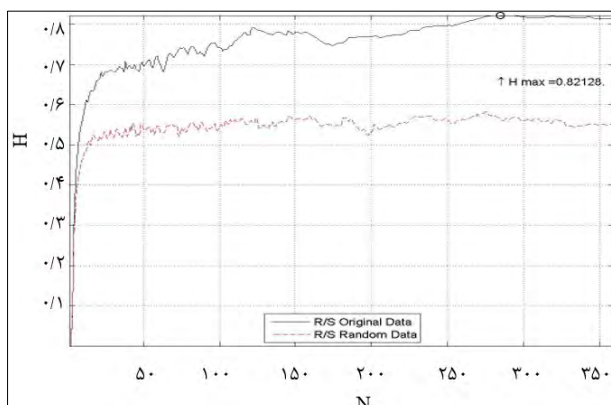
1- Auto Correlation Function (ACF)

2- Partial Auto Correlation Function (PACF)

3- Orginal Data

4- Random Data

۵- با توجه به اینکه در پژوهش حاضر پنج آلاینده به‌عنوان پارامترهای آلاینده و پنج عامل به‌مثابه پارامترهای هواشناسی مطالعه شده؛ بنابراین در هر قسمت، استخراج نمودار برای تمامی این پارامترها صورت گرفته است؛ اما به‌منظور رعایت اختصار، در فایل اصلی مقاله درج نشده‌اند و به‌صورت پیوست برای دفتر مجله ارسال شده‌اند. خوانندگان محترم مقاله، در صورت علاقه‌مندی به مشاهده این شکل‌ها و نمودارها، می‌توانند با رایانامه دفتر مجله یا نویسنده مسئول مقاله مکاتبه کنند.



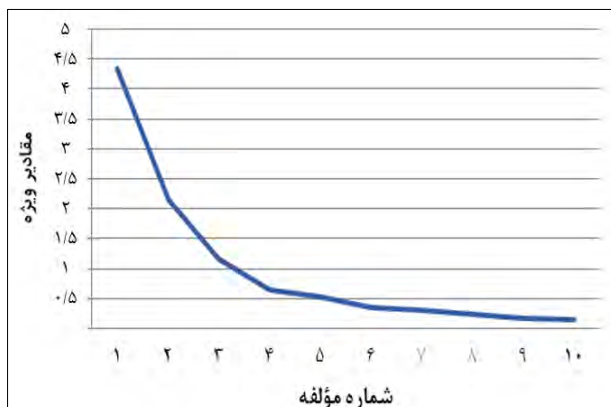
شکل ۲. نمودار نمای هرست برای سری زمانی NO_2

بررسی نتایج تحلیل مؤلفه‌های اصلی و تحلیل عامل اصلی

به‌منظور بررسی داده‌های اثرگذار بر آلاینده‌ها برای ورود به یک سیستم پیش‌بینی‌کننده، از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی و تحلیل عامل اصلی استفاده می‌شود. با محاسبه مقدار KMO برابر 0.78 ، امکان اجرای تحلیل مؤلفه‌های اصلی تأیید می‌شود که با اجرای آن روی سری زمانی ده پارامتر مورد مطالعه، ده مؤلفه ایجاد می‌شود که نخستین مؤلفه بیشترین واریانس و آخرین آن کمترین واریانس را نشان می‌دهد (جدول ۱) و به‌ازای شماره مؤلفه، مقادیر ویژه رسم می‌شوند تا مؤلفه ۴ به‌میزان 82.77% از کل واریانس موجود در سری داده‌ها توجیه می‌شود و پس از مؤلفه ۴ تقریباً نمودار به‌صورت خطی شده است (شکل ۳)؛ بنابراین چهار مؤلفه اول به‌عنوان مؤلفه‌های اصلی در نظر گرفته می‌شوند.

جدول ۱. مشخصات مؤلفه‌های ایجاد شده از متغیرهای اولیه

مؤلفه	مقدار ویژه	درصد از واریانس	واریانس جمعی
۱	۴/۳۲	۴۳/۲۵	۴۳/۲۵
۲	۲/۱۶	۲۱/۶	۶۴/۸۵
۳	۱/۱۵	۱۱/۵۱	۷۶/۳۶
۴	۰/۶۴	۶/۴۲	۸۲/۷۸
۵	۰/۵۲	۵/۲۵	۸۸/۰۲
۶	۰/۳۴	۳/۴۳	۹۱/۴۶
۷	۰/۲۹	۲/۹۴	۹۴/۳۹
۸	۰/۲۴	۲/۳۸	۹۶/۷۷
۹	۰/۱۶	۱/۶۵	۹۸/۴۲
۱۰	۰/۱۶	۱/۵۸	۱۰۰



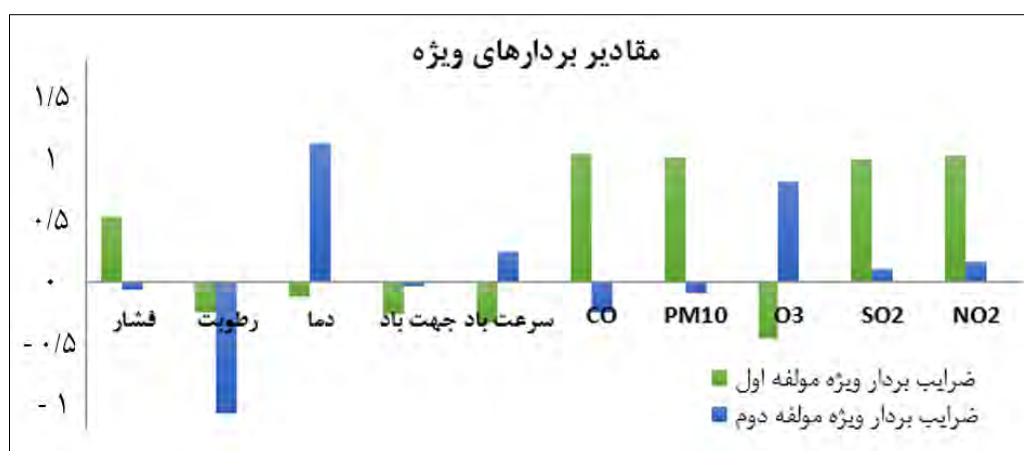
شکل ۳. اندازه مقادیر ویژه مؤلفه‌ها برای انتخاب مؤلفه‌های اصلی

روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی درمورد اینکه کدامیک از آلاینده‌ها غالب تغییرات را توصیف می‌کنند، اطلاعاتی نمی‌دهد. برای دستیابی به این اطلاعات از روش تحلیل عامل اصلی استفاده می‌شود. اکنون با استفاده از چرخش وریماکس^۱ روی ماتریس ضرایب مؤلفه‌های اصلی، بردارهای ویژه^۲ به‌دست می‌آیند و مقادیر ویژه^۳ برای هر مؤلفه و همچنین واریانس آن‌ها پس از انجام چرخش نشان داده می‌شود. چون چهار مؤلفه^۴ اول به‌عنوان مؤلفه‌های اصلی انتخاب شده‌اند، بنابراین چرخش بین چهار مؤلفه^۴ اول انجام شده است (جدول ۲).

با مقادیر به‌دست‌آمده برای بردارهای ویژه متناسب با هر مؤلفه، ترسیم مناسبی از ارتباط بین پارامترهای هواشناسی و آلاینده‌های هوا ایجاد می‌شود (شکل ۴). با نگاهی به ستون‌های مقدار بردار ویژه، ارتباط معنی‌دار بین آلاینده‌ها و پارامتر فشار مشخص می‌شود. نکته^۴ دیگری که استخراج می‌شود، ارتباط مستقیم بین پارامترهای بیان‌شده است؛ بدین‌معنا که افزایش هریک از پارامترها، اثر افزایشی روی خروجی و کاهش هریک، اثر کاهشی بر آن دارند؛ بنابراین اثر متقابل آن‌ها درنهایت، اثر مستقیم است. با نگاهی دقیق‌تر می‌توان مشاهده کرد که آلاینده^۴ O₃ با پارامتر دما ارتباط مستقیم و با رطوبت رابطه^۴ عکس دارد.

جدول ۲. مشخصات مؤلفه‌ها پس از ایجاد چرخش

مؤلفه	مقادیر ویژه اولیه			مقادیر ویژه حاصل از چرخش مؤلفه‌های اصلی		
	مقدار ویژه	درصد از واریانس	واریانس تجمعی	مقدار ویژه	درصد از واریانس	واریانس تجمعی
۱	۴/۳۲	۴۳/۲۵	۴۳/۲۵	۳/۳۳	۳۳/۳	۳۳/۳
۲	۲/۱۶	۲۱/۶	۶۴/۸۵	۲/۲۲	۲۲/۱۶	۵۵/۴۶
۳	۱/۱۵	۱۱/۵۱	۷۶/۳۶	۱/۷۸	۱۷/۸	۷۳/۲۶
۴	۰/۶۴	۶/۴۲	۸۲/۷۸	۰/۹۵	۹/۵۱	۸۲/۷۸
۵	۰/۵۲	۵/۲۵	۸۸/۰۲			
۶	۰/۳۴	۳/۴۳	۹۱/۴۶			
۷	۰/۲۹	۲/۹۴	۹۴/۴			
۸	۰/۲۴	۲/۳۸	۹۶/۷۷			
۹	۰/۱۶	۱/۶۵	۹۸/۴۲			
۱۰	۰/۱۶	۱/۵۸	۱۰۰			



شکل ۴. نمودار میله‌ای مقادیر ویژه مؤلفه‌ها برای دو مؤلفه اصلی اول

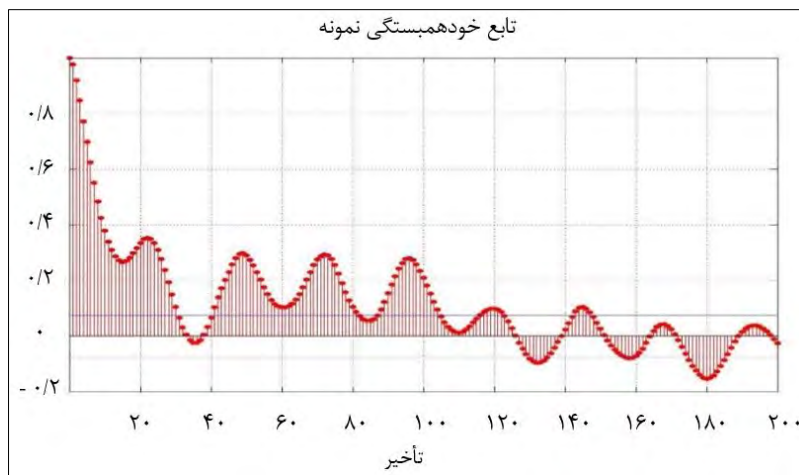
- 1- Varimax rotation
- 2- Eigen vectors
- 3- Eigen values

بررسی سری‌های زمانی به‌منظور تعیین تأخیرهای زمانی مؤثر برای پیش‌بینی یک گام زمانی جلوتر در نوشتار پیش رو برای بررسی الگوی مناسب برای سری‌های زمانی از نرم‌افزار ساس استفاده شده است؛ در اینجا برای اختصار و به‌عنوان نمونه، سری زمانی رطوبت بررسی شده است.

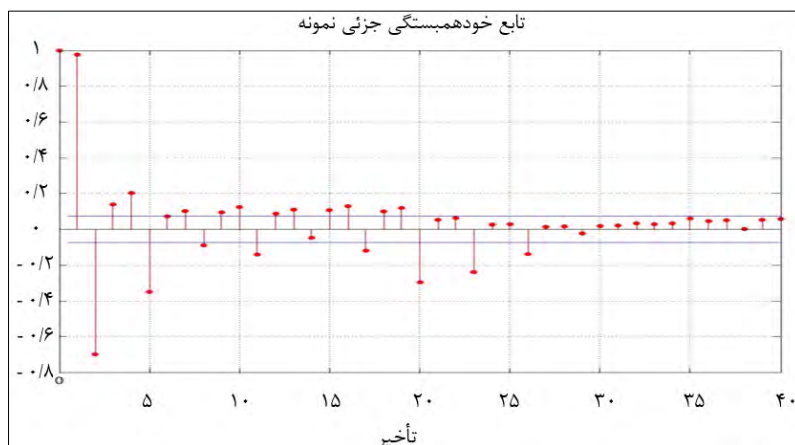
بررسی سری زمانی رطوبت

نمودار توابع خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی با استفاده از نرم‌افزار متلب رسم شد (شکل ۵ و ۶). با توجه به تابع خودهمبستگی رسم‌شده مشاهده می‌شود که ضرایب همبستگی دارای پیک‌های معنی‌دار پریودیک بوده و مقادیر T_k نزولی هستند؛ همچنین تابع خودهمبستگی جزئی پس از چند تأخیر به سمت صفر میل می‌کند؛ بنابراین مدل مناسب برای این سری می‌تواند AR باشد.

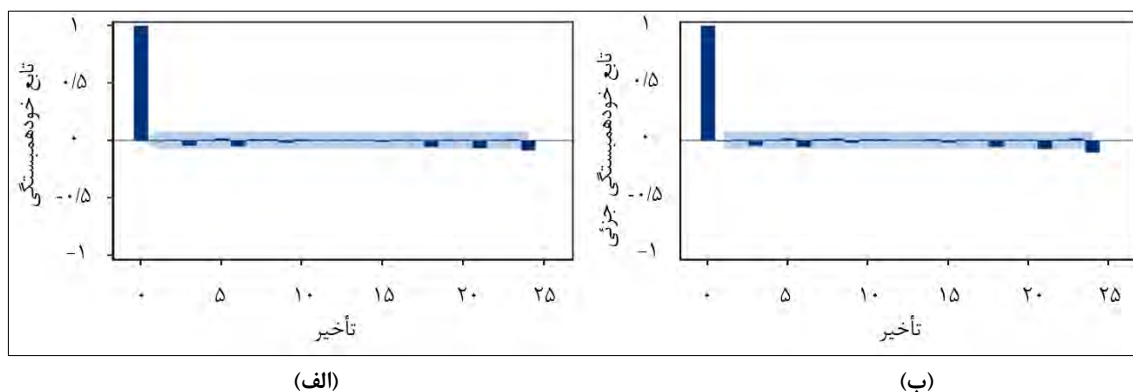
داده‌ها دارای دوره ۲۴ ساعته هستند؛ بنابراین می‌توان گفت که حداقل ۲۴ داده قبل می‌تواند در پیش‌بینی مؤثر باشد؛ بنابراین ابتدا الگوی AR از مرتبه ۲۴ در نرم‌افزار SAS به داده‌ها برازش داده می‌شود. با بررسی نمودار توابع خودهمبستگی (شکل ۷ الف) و خودهمبستگی جزئی باقیمانده‌ها (شکل ۷ ب) که پس از برازش مدل با نرم‌افزار رسم می‌شود، این نتیجه حاصل می‌شود که مدل برازش‌داده‌شده تاحدی مناسب است، ولی می‌توان برای داشتن دقت بیشتر، تعداد داده‌ها را افزایش داد و دوباره نمودارها را بررسی کرد تا به بهترین حالت دست یافت. بهترین حالت زمانی است که نمودار توابع تابع خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی باقی‌مانده نزدیک صفر باشند.



شکل ۵. تابع خودهمبستگی سری زمانی رطوبت



شکل ۶. تابع خودهمبستگی جزئی سری زمانی رطوبت



شکل ۷. الف: تابع خودهمبستگی باقیمانده‌ها برای مدل AR از مرتبه ۲۴؛ ب: تابع خودهمبستگی جزئی باقیمانده‌ها برای مدل AR از مرتبه ۲۴ (سری زمانی رطوبت)

در اینجا منظور از مرتبه، تأخیرهای زمانی مؤثر برای پیش‌بینی یک گام زمانی جلوتر است و مقادیر تابع خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی در شروع، یکسان در نظر گرفته شده است که این مقادیر با توجه به افزایش تأخیرها و مرتبه در نظر گرفته شده متفاوت است. بر این اساس، به‌ازای پارامترهای مورد نظر، تأخیرهای زمانی مؤثر برای پیش‌بینی یک گام زمانی جلوتر نشان داده شده است (جدول ۳).

بررسی همبستگی بین پارامترهای هواشناسی و آلاینده‌های هوا

پس از بررسی تعداد تأخیرهای زمانی هر سری برای پیش‌بینی یک گام زمانی جلوتر آلاینده‌ها، بایستی داده‌ها برای ورود به رگرسیون لجستیک آماده شوند. در این بخش به‌منظور پیش‌بینی آلاینده‌های مورد بررسی، چگونگی پیش‌بینی آلاینده O_3 به‌عنوان نمونه بیان شده است.

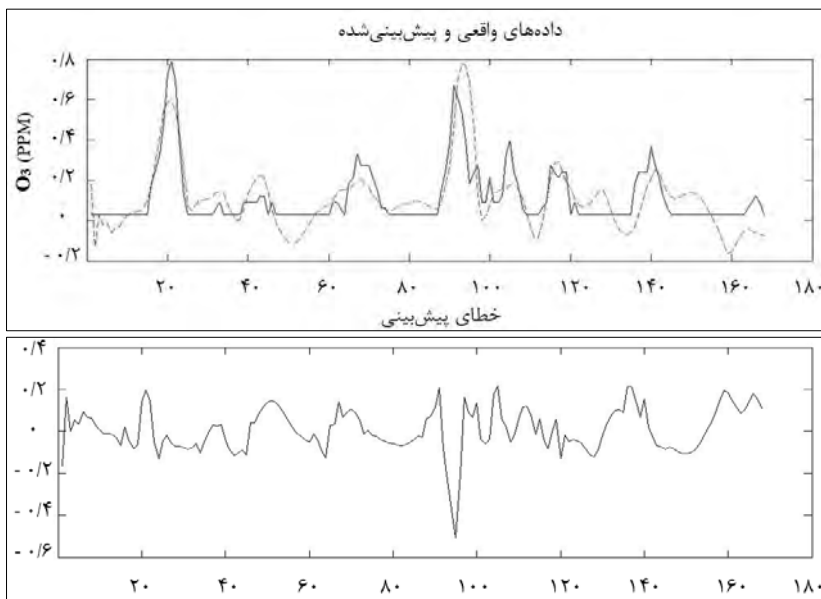
پیش‌بینی O_3

رگرسیون لجستیک با ششصد تکرار در لایه میانی اجرا شده است. نتیجه مرحله تست و نیز خطای پیش‌بینی در مرحله تست شبکه (شکل ۸) و همبستگی بین داده‌های واقعی و داده‌های پیش‌بینی شده (شکل ۹) نشان داد ضریب تعیین R^2 بین داده‌های واقعی و داده‌های پیش‌بینی شده برابر ۰/۶۲ است. معیار RMSE برای مرحله تست محاسبه شده و برابر ۰/۱ است.

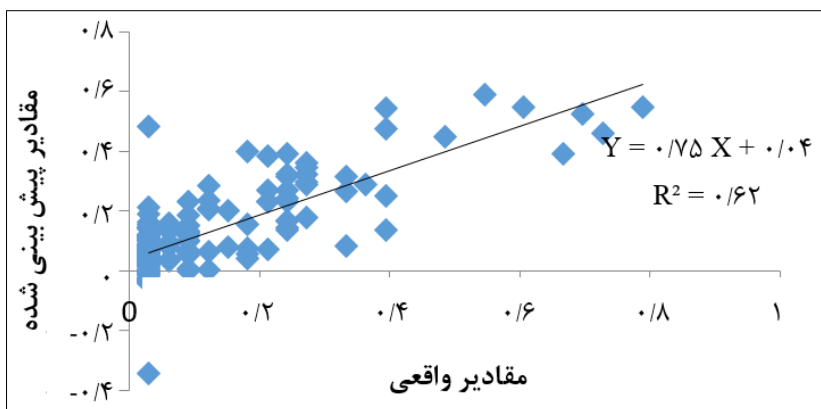
رابطه بین مقادیر واقعی O_3 و خطای حاصل از تست شبکه نشان می‌دهد رابطه سیستماتیک بین مقادیر O_3 و خطا وجود ندارد و برای مقادیر گوناگون O_3 خطاهای مختلف وجود دارد (شکل ۱۰). می‌توان تغییرات خطا را برای بازه‌های مختلف مقادیر O_3 با میانگین‌گیری از مقادیر خطا در آن محدوده به‌دست آورد (جدول ۴). مقدار خطا برای بازه ۰-۰/۴ تقریباً برابر با ± 0.1 PPM است.

جدول ۳. تأخیرهای زمانی مؤثر برای پیش‌بینی یک گام زمانی جلوتر

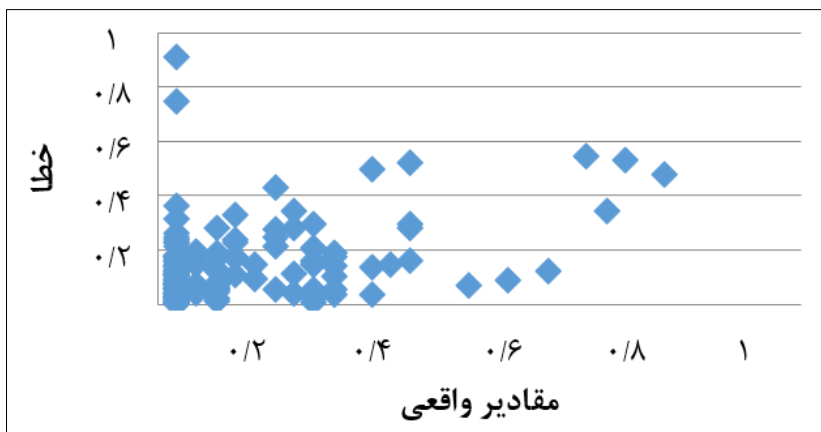
پارامتر	تأخیرهای زمانی مؤثر
O_3	۲۴
NO_2	۲۵
SO_2	۱۶
PM_{10}	۲۴
CO	۲۴
فشار	۴۸
رطوبت	۳۶
دما	۴۸



شکل ۸. پیش‌بینی O₃ و خطای آن در مرحله تست رگرسیون لجستیک



شکل ۹. همبستگی بین داده‌های واقعی O₃ و داده‌های پیش‌بینی شده در رگرسیون لجستیک



شکل ۱۰. رابطه بین خطا و مقادیر واقعی O₃ در رگرسیون لجستیک

جدول ۴. تغییرات خطا برای مقادیر مختلف O₃

مقادیر O ₃	تغییرات خطا
۰-۰/۲	± ۰/۰۹
۰/۲ - ۰/۴	± ۰/۱

پیش‌بینی سایر آلاینده‌ها

در این قسمت به اختصار به نتایج حاصل از پیش‌بینی سایر پارامترها اشاره می‌شود. با اجرای رگرسیون لجستیک و بررسی دقت‌های به دست آمده از آن‌ها برای پیش‌بینی چهار آلاینده دیگر، این نتیجه حاصل می‌شود که رابطه سیستماتیکی بین مقادیر این آلاینده‌ها و خطا وجود نداشته و مقادیر مختلف آن‌ها، خطاهای مختلفی دارند. بر این اساس می‌توان مقدار خطا برای این آلاینده‌ها در بازه $0-0/4$ را تقریباً بین $0/07 \pm$ تا $0/1 \pm$ فرض کرد (جدول ۵).

بررسی همبستگی بین پارامترهای هواشناسی و آلاینده‌های هوا

در این قسمت، نوع و میزان همبستگی بین پارامترهای هواشناسی و آلاینده‌های مورد بررسی بین ایستگاه‌ها و اکاوی خواهد شد. بررسی‌ها نشان داد ارتباط معنی‌داری بین میزان O_3 و دما در ایستگاه هواشناسی آمل و ایستگاه آلودگی قائم‌شهر وجود دارد (جدول ۶)؛ همچنین بررسی همبستگی بین پارامترهای هواشناسی و آلاینده‌ها در ایستگاه‌های هواشناسی رامسر و آلودگی کیاسر، ارتباطی معنی‌دار بین میزان SO_2 و سرعت باد، برای ایستگاه‌های هواشناسی بابلسر و آلودگی ساری، ارتباطی معنی‌دار بین میزان O_3 و دما و بالاخره برای ایستگاه‌های هواشناسی نوشهر و آلودگی گلوگاه، ارتباطی معنی‌دار بین میزان SO_2 و دما را نشان داد.

جدول ۵. تغییرات خطا برای مقادیر مختلف آلاینده‌ها

بازه	آلاینده	CO	NO ₂	SO ₂	PM ₁₀	تغییرات
0-0/2		$\pm 0/06$	$\pm 0/09$	$\pm 0/07$	$\pm 0/07$	خطا
0/2-0/4		$\pm 0/08$	$\pm 0/08$	$\pm 0/09$	$\pm 0/1$	تغییرات

جدول ۶. همبستگی بین پارامترهای هواشناسی و آلاینده‌های هوا در ایستگاه هواشناسی آمل و ایستگاه آلودگی قائم‌شهر

ایستگاه آلودگی قائم‌شهر	ایستگاه هواشناسی آمل		
	سرعت باد (m/s)	میانگین رطوبت نسبی (%)	میانگین دما
NO ₂	نوع ارتباط: منفی n = ۲۶۹ r ² = ۰/۱۹/۶ P = ۰	نوع ارتباط: مثبت n = ۳۳۸ r ² = ۰/۶/۸ P = ۰	نوع ارتباط: منفی n = ۳۴۳ r ² = ۰/۳۱/۸ P = ۰
	نوع ارتباط: منفی n = ۲۶۹ r ² = ۰/۲۱/۲ P = ۰	ارتباطی وجود ندارد n = ۳۴۵ r ² = ۰/۰/۵ P = ۰/۲	نوع ارتباط: منفی n = ۳۴۵ r ² = ۰/۴/۵ P = ۰
SO ₂	ارتباطی وجود ندارد n = ۲۴۱ r ² = ۰/۱ P = ۰/۱	ارتباطی وجود ندارد n = ۳۰۵ r ² = ۰/۲/۷ P = ۰/۰۰۴	ارتباطی وجود ندارد n = ۳۱۰ r ² = ۰/۰/۹ P = ۰/۰۹
	نوع ارتباط: منفی n = ۲۶۰ r ² = ۰/۲۰/۶ P = ۰	نوع ارتباط: مثبت n = ۳۳۱ r ² = ۰/۱۱/۵ P = ۰	نوع ارتباط: منفی n = ۳۳۶ r ² = ۰/۳۴/۵ P = ۰
PM ₁₀	ارتباطی وجود ندارد n = ۲۶۷ r ² = ۰/۲/۸ P = ۰/۰۰۶	نوع ارتباط: منفی n = ۳۳۸ r ² = ۰/۱۲/۳ P = ۰	نوع ارتباط: مثبت n = ۳۴۴ r ² = ۰/۴۰ P = ۰
	ارتباطی وجود ندارد n = ۲۶۷ r ² = ۰/۲/۸ P = ۰/۰۰۶	نوع ارتباط: منفی n = ۳۳۸ r ² = ۰/۱۲/۳ P = ۰	نوع ارتباط: مثبت n = ۳۴۴ r ² = ۰/۴۰ P = ۰
CO	ارتباطی وجود ندارد n = ۲۶۷ r ² = ۰/۲/۸ P = ۰/۰۰۶	نوع ارتباط: مثبت n = ۳۳۸ r ² = ۰/۱۲/۳ P = ۰	نوع ارتباط: مثبت n = ۳۴۴ r ² = ۰/۴۰ P = ۰
	ارتباطی وجود ندارد n = ۲۶۷ r ² = ۰/۲/۸ P = ۰/۰۰۶	نوع ارتباط: مثبت n = ۳۳۸ r ² = ۰/۱۲/۳ P = ۰	نوع ارتباط: مثبت n = ۳۴۴ r ² = ۰/۴۰ P = ۰
O ₃	ارتباطی وجود ندارد n = ۲۶۷ r ² = ۰/۲/۸ P = ۰/۰۰۶	نوع ارتباط: مثبت n = ۳۳۸ r ² = ۰/۱۲/۳ P = ۰	نوع ارتباط: مثبت n = ۳۴۴ r ² = ۰/۴۰ P = ۰
	ارتباطی وجود ندارد n = ۲۶۷ r ² = ۰/۲/۸ P = ۰/۰۰۶	نوع ارتباط: مثبت n = ۳۳۸ r ² = ۰/۱۲/۳ P = ۰	نوع ارتباط: مثبت n = ۳۴۴ r ² = ۰/۴۰ P = ۰

استخراج معادلات آلاینده‌ها بر حسب دما، رطوبت و سرعت باد برای ایستگاه‌های مختلف زمانی که بین دو متغیر همبستگی وجود دارد، می‌توان یک متغیر را از راه متغیر دیگر برآورد نمود. پس از تعیین درجه همبستگی، معادلات آلاینده‌ها و روابط کلی برای هر ایستگاه براساس میانگین دما (MT)، میانگین رطوبت نسبی (MRh) و سرعت باد (WS) مشخص می‌شود (جدول ۷ تا ۱۰).

براساس معادلات به‌دست‌آمده، با داشتن پارامترهای هواشناسی در ایستگاه‌ها، به راحتی می‌توان میزان آلودگی منطقه را پیش‌بینی کرد؛ برای مثال اگر دما ۲۵ درجه سانتی‌گراد، میانگین رطوبت نسبی ۵۲٪ و سرعت باد ۵/۵ متر بر ثانیه باشد، میزان آلودگی در ایستگاه آلودگی قائمشهر و ایستگاه سینوپتیک آمل به‌دست می‌آید (جدول ۱۱).

جدول ۷. معادلات آلاینده‌ها بر حسب دما، رطوبت و سرعت باد برای ایستگاه آلودگی قائمشهر و ایستگاه سینوپتیک آمل

آلاینده	روابط مربوطه
NO ₂	NO ₂ = 0.19812 - 0.0011MT + 0.000256MRh - 0.001838WS
SO ₂	SO ₂ = 0.15422 - 0.000939MT - 0.00006404WS
PM ₁₀	
CO	CO = 23.62 - 0.2409MT + 0.07086MRh - 0.5123WS
O ₃	O ₃ = 0.054269 + 0.001253MT - 0.000349MRh

جدول ۸. معادلات آلاینده‌ها بر حسب دما، رطوبت و سرعت باد برای ایستگاه آلودگی کیاسر و ایستگاه سینوپتیک رامسر

آلاینده	روابط مربوطه
NO ₂	
SO ₂	SO ₂ = 0.04153 - 0.001836WS
PM ₁₀	PM ₁₀ = 151.17 + 0.6512MT - 3.221WS
CO	CO = 14.717 + 0.1603MT - 0.07322MRh
O ₃	O ₃ = 0.09034 + 0.00064MT - 0.000224MRh - 0.001799WS

جدول ۹. معادلات آلاینده‌ها بر حسب دما، رطوبت و سرعت باد برای ایستگاه آلودگی ساری و ایستگاه سینوپتیک بابلسر

آلاینده	روابط مربوطه
NO ₂	NO ₂ = 0.16208 - 0.000778MT + 0.000617MRh - 0.008161WS
SO ₂	SO ₂ = 0.06749 - 0.00015MT + 0.000182MRh - 0.001648WS
PM ₁₀	
CO	CO = 21.552 - 0.05585MT + 0.05792MRh - 0.5984WS
O ₃	O ₃ = 0.08867 + 0.000924MT - 0.0006MRh

جدول ۱۰. معادلات آلاینده‌ها بر حسب دما، رطوبت و سرعت باد برای ایستگاه آلودگی گلگاه و ایستگاه سینوپتیک نوشهر

آلاینده	روابط مربوطه
NO ₂	NO ₂ = 0.10486 - 0.000753MT + 0.000247MRh - 0.002099WS
SO ₂	SO ₂ = 0.036947 - 0.000377MT + 0.000139MRh - 0.000629WS
PM ₁₀	PM ₁₀ = 196.14 + 1.829MT - 0.7697MRh
CO	CO = 22.14 - 0.1002MT + 0.04757MRh - 0.3892WS
O ₃	O ₃ = 0.08867 + 0.000924MT - 0.0006MRh

جدول ۱۱. محاسبه آلاینده‌های ایستگاه آلودگی قائمشهر و ایستگاه سینوپتیک آمل

آلاینده	روابط مربوطه
NO ₂	NO ₂ = 0.19812 - 0.0011 * (25) + 0.000256 * (52) - 0.001838 * (5.5) = 0.174
SO ₂	SO ₂ = 0.15422 - 0.000939 * (25) - 0.006404 * (5.5) = 0.096
PM ₁₀	
CO	CO = 23.62 - 0.2409 * (25) + 0.07086 * (52) - 0.5123 * (5.5) = 18.465
O ₃	O ₃ = 0.054269 + 0.001253 * (25) - 0.000349 * (52) = 0.067

بحث

استفاده از سری زمانی پارامترهای اثرگذار بر آلاینده‌های هوا از جمله مواردی است که در بیشتر پژوهش‌ها به آن پرداخته شده است (قاضی^۱ و همکاران، ۲۰۱۵؛ لیو و همکاران، ۲۰۱۶؛ شمشی‌ری و همکاران، ۱۳۹۷؛ پررا، ۲۰۱۶)؛ اما نکته‌ای که در پژوهش‌های پیشین به آن اشاره کمتری شده است، تحلیل این سری‌های زمانی و پرداختن به این موضوع است که برای داشتن پیش‌بینی آلاینده‌ها در یک گام زمانی جلوتر، به چه تعداد داده در زمان‌های قبلی نیاز است؛ بنابراین در نوشتار پیش رو، سعی بر آن است تا با مدل‌سازی فرایند آلاینده‌ها با استفاده از روش رگرسیون لجستیک و تحلیل سری‌های زمانی، میزان کارایی و انعطاف‌پذیری این روش‌ها در مدل‌سازی بررسی شود. با توجه به آثار مهلکی که این آلاینده‌ها می‌توانند بر سلامت انسان داشته باشند، اتخاذ تصمیمات لازم برای برنامه‌ریزی صحیح در مقابله با این معضل ضروری به نظر می‌رسد (سیکار^۲ و همکاران، ۲۰۱۶). بدین منظور، برای بررسی داده‌های اثرگذار بر آلاینده‌ها برای ورود به یک سیستم پیش‌بینی‌کننده، براساس روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی چهار عامل مشخص شد و با استفاده از چرخش و ریماکس روی ماتریس ضرایب مؤلفه‌های اصلی، بردارهای ویژه به دست آمد و بر این اساس، ارتباط معنی‌دار و مستقیم بین پارامترهای هواشناسی و آلاینده‌های هوا مشخص شد (جدول ۱ و ۲ و شکل ۳ و ۴)؛ همچنین با نگاه کلی به ضرایب همبستگی به دست آمده بین داده‌ها می‌توان گفت تمامی تغییرات بین داده‌های ایستگاه‌ها، با یکدیگر ارتباط مستقیم و مؤثر دارند (بوگودیس^۳ و همکاران، ۲۰۱۶؛ جونز^۴ و همکاران، ۲۰۱۷).

با اجرای رگرسیون لجستیک و بررسی دقت‌های به دست آمده از آن‌ها برای پیش‌بینی آلاینده‌های مورد بررسی، این نتیجه حاصل شد که رابطه سیستماتیک بین مقادیر این آلاینده‌ها و خطا وجود نداشته و مقادیر مختلف آن‌ها، خطاهای متفاوتی دارند (استادزاد و بهلولی، ۱۳۹۴؛ بولن، ۲۰۱۵؛ روبارگ و بنفورد، ۲۰۱۸؛ یو و همکاران، ۲۰۱۸). خطای تخمین آلاینده‌ها در برخی از ایستگاه‌ها می‌تواند ناشی از تفاوت در شرایط انتشار آلاینده‌ها، تحولات شیمیایی آلاینده‌ها، منابع تولیدکننده و همچنین متغیرهای مورد استفاده برای تخمین آلاینده‌ها در آن منطقه نسبت به سایر مناطق باشد (آگیره-باسارکو^۵ و همکاران، ۲۰۰۶). براساس نتایج همبستگی، ارتباط مثبت و معنی‌داری بین میزان O_3 و دما در ایستگاه‌های هواشناسی آمل و آلودگی قائم‌شهر و همچنین ایستگاه‌های هواشناسی بابلسر و آلودگی ساری وجود دارد؛ همچنین بررسی همبستگی بین پارامترهای هواشناسی و آلاینده‌ها در ایستگاه‌های هواشناسی رامسر و آلودگی کیاسر، ارتباطی منفی و معنی‌دار بین میزان NO_2 و دما (فنگ^۶ و همکاران، ۲۰۱۹) و برای ایستگاه‌های هواشناسی نوشهر و آلودگی گلگاه، ارتباطی منفی و معنی‌دار بین میزان SO_2 و دما را نشان داد (کریستوفر^۷ و همکاران، ۲۰۱۸)؛ بنابراین نتایج به‌طور واضح نشان می‌دهد که دما مؤثرترین عامل بر روند ایجاد آلاینده‌های مورد بررسی در استان مازندران است. این نتیجه با نتیجه پژوهش خورشیددوست و همکاران (۱۳۹۷) که ارتباط پارامترهای جوی با آلودگی هوای شهر تبریز را بررسی کرده‌اند، مطابقت دارد؛ اما با نتیجه مطالعه سلیقه و کاخکی مهنه (۱۳۹۴) که روابط بین عناصر آب‌وهوایی و نوسانات آلودگی هوا در شهر مشهد

1- Ghazi

2- Sicard

3- Bougoudis

4- Jones

5- Agirre-Basurko

6- Feng

7- Christopher

را بررسی کردند، مغایرت دارد که در آن، رطوبت نسبی به‌عنوان تأثیرگذارترین عامل بر آلاینده‌های CO و SO₂ شناسایی شد؛ از سوی دیگر، این موضوع قابل توجه است که در ایستگاه‌های مختلف، عناصر مختلفی با دما ارتباط معنی‌دار دارند؛ این تفاوت در عملکرد مدل‌های مکانی برای ایستگاه‌های مختلف، در پژوهش‌های دیگر نیز تأیید شده است (آلیمیسیس^۱ و همکاران، ۲۰۱۸). این تفاوت‌ها می‌تواند بیانگر این مسئله باشد که عملکرد عوامل انتشار آلاینده‌ها و نیز نوع این عوامل، می‌تواند برای ایستگاه‌های مختلف متفاوت باشد؛ بنابراین، ساز و کار انتشار و توسعه آلاینده‌ها نیز در یک ایستگاه با ایستگاه‌های دیگر می‌تواند متفاوت باشد (شمس‌الدینی و احمدی، ۱۳۹۹).

زمانی که بین دو متغیر همبستگی وجود دارد، می‌توان یک متغیر را از راه متغیر دیگر برآورد کرد؛ بنابراین پس از تعیین درجه همبستگی، معادلات آلاینده‌ها و روابط کلی برای هر ایستگاه براساس میانگین دما، میانگین رطوبت نسبی و سرعت باد مشخص شد؛ علت اینکه این معادلات به‌صورت رابطه بیان شدند این است که تنها مورد استفاده برای سال بررسی شده در این مطالعه نباشند و بدین ترتیب براساس این معادلات، با داشتن پارامترهای هواشناسی در ایستگاه‌ها، به‌راحتی می‌توان میزان آلودگی منطقه را برای سال‌های بعد تخمین داد و پیش‌بینی کرد.

نتیجه‌گیری

نوشتار پیش رو کوششی برای تعیین ساختار فیزیکی معادلات در اثر برهم‌کنش جو با آلاینده‌ها در استان مازندران است. بدین منظور ارتباط پارامترهای هواشناسی همچون دما، رطوبت نسبی و سرعت باد با مقدار غلظت آلاینده‌ها بررسی شد. از مهم‌ترین ویژگی‌های مدل‌های به‌دست‌آمده قابلیت آن‌ها در سنجش کمی آلاینده‌ها در شرایط جوی متفاوت است.

براساس نتایج به‌دست‌آمده از ایستگاه‌های مورد بررسی می‌توان گفت NO₂ و CO ایستگاه گلوگاه و O₃ ایستگاه کیاسر و SO₂، NO₂ و CO ایستگاه آلودگی ساری و قائم‌شهر به‌طور کامل با پارامتر دما، رطوبت نسبی و سرعت باد ارتباط معنی‌داری را نشان دادند که بیانگر تأثیر این پارامترها در تغییر غلظت آلاینده‌های پیش‌گفته است. با توجه به یکنواختی تغییرات در داده‌های ایستگاه‌ها می‌توان استنباط کرد که تغییرات به‌دست‌آمده، از الگوهای عمومی و کلی پیروی می‌کنند؛ به این شرح که ایستگاه‌هایی که ضریب همبستگی بیشتری دارند، دارای الگوهای نزدیک به هم و شبیه‌تر و ایستگاه‌هایی که ضریب همبستگی کمتری دارند، دارای الگوهای منحصر به فرد و خاص‌تری برای همان ایستگاه هستند.

با اجرای رگرسیون لجستیک و بررسی دقت‌های به‌دست‌آمده از آن‌ها برای پیش‌بینی آلاینده‌ها، این نتیجه حاصل شد که رابطه سیستماتیک بین مقادیر این آلاینده‌ها و خطا وجود نداشته و مقادیر مختلف آن‌ها، خطاهای مختلفی دارند؛ همچنین براساس نتایج حاصله، می‌توان مقدار خطا برای این آلاینده‌ها در بازه ۰/۴-۰ را کمابیش بین ۰/۷± تا ۰/۱± فرض کرد. از میان شصت معادله رگرسیون لجستیک به‌دست‌آمده، چهل مورد آن ارتباط بین آلاینده‌ها و پارامترهای هواشناسی را به‌صورت منفی و مثبت معنی‌دار نشان داد.

درنهایت، براساس هدف پژوهش حاضر، در راستای بررسی میزان کارایی و انعطاف‌پذیری این روش‌ها در مدل‌سازی فرایند آلاینده‌ها با استفاده از روش رگرسیون لجستیک و تحلیل سری‌های زمانی، براساس الگوهای توابع یک‌متغیره معادلات رگرسیون مدل‌ها، فرمول‌های معتبری برای تخمین روابط لجستیک بین آلاینده‌ها و یکی از پارامترهای هواشناسی استخراج شد. براساس این معادلات به‌دست‌آمده، با داشتن پارامترهای هواشناسی در ایستگاه‌ها، به‌راحتی می‌توان میزان آلودگی هر منطقه را پیش‌بینی کرد.

منابع

- استادزاد، علی حسین؛ بهلولی، پریسا (۱۳۹۴). تأثیر انرژی‌های تجدیدپذیر بر منحنی زیست‌محیطی کوزنتسی در ایران. *نظریه‌های کاربردی اقتصاد*، ۲ (۲)، ۱۲۷-۱۵۴.
- الهامی، بهزاد؛ اکرم، اسداله؛ خانعلی، مجید (۱۳۹۵). بهینه‌سازی انرژی مصرفی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید عدس آبی با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها. *مهندسی بیوسیستم/ایران*، ۴۷ (۴)، ۷۰۱-۷۰۴.
- امیرنژاد، حمید؛ بهمن پوری، صفیه (۱۳۹۲). تلفیق هدف‌های زیست‌محیطی و اقتصادی بهره‌برداران کشاورزی در تعیین الگوی بهینه کشت؛ مطالعه موردی: دشت بیضاء استان فارس. *تحقیقات اقتصاد کشاورزی*، ۵ (۱۸)، ۱۱۷-۱۳۱.
- جهانگرد، اسفندیار (۱۳۹۳). اولویت‌بندی سرمایه‌گذاری در فعالیت‌های اقتصادی ایران با ملاحظه آلودگی‌های زیست‌محیطی. *مجلس و راهبرد*، ۲۱ (۸۰)، ۱۳۷-۱۶۸.
- خورشیددوست، علی محمد؛ محمدی، غلامحسن؛ عقلمند، فریبا؛ حسینی صدر، عاطفه (۱۳۹۷). تحلیل آماری - توصیفی ارتباط پارامترهای جوی با آلودگی هوای شهر تبریز. *مدیریت مخاطرات محیطی*، ۵ (۲)، ۲۱۷-۲۳۰.
- سلیقه، محمد؛ کاخکی مهنه، حمید (۱۳۹۴). بررسی روابط بین عناصر آب‌وهوایی و نوسانات آلودگی هوا (مورد: شهر مشهد). *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۱۴ (۳)، ۷۷-۹۴.
- شمس‌الدینی، علی؛ احمدی، وانکو (۱۳۹۹). تخمین مکانی - زمانی آلاینده‌های منواکسید کربن و دی‌اکسید نیتروژن شهر تهران مبتنی بر داده‌های حاصل از سنجش‌ازدور و داده‌های کمکی. *جغرافیا و پایداری محیط*، ۱۰ (۳)، ۱۰۷-۱۲۴.
- شوشتریان، آشان؛ زیبایی، منصور؛ سلطانی، غلامرضا (۱۳۸۹). بررسی پایداری سیستم‌های زراعی با توجه به اهداف اقتصادی و زیست‌محیطی: مطالعه موردی در منطقه کامفیروز استان فارس. *اقتصاد کشاورزی*، ۴ (۴)، ۷۹-۹۶.
- محسن‌زاده، فاطمه؛ هزارجریبی، ابوطالب؛ شریفان، حسین؛ دهقانی، احمد (۱۳۹۱). بهینه‌سازی الگوی کشت با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک (مطالعه موردی منطقه آق‌قلا). در: علی جمالی، کنفرانس ملی استفاده بهینه از منابع آب، (صص. ۶۳-۶۹). دزفول: دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول.
- مهاجردوست، وحید؛ اکرم، اسداله؛ مشهوری‌آذر، مسعود (۱۳۸۷). آنالیز انرژی مصرفی و هزینه‌های تولید محصولات عمده زراعی شهرستان مراغه. در: نیما سبحانی، پنجمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون، (صص. ۲۶-۳۳). مشهد: انجمن مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون ایران، دانشگاه فردوسی مشهد.
- هراتی، جواد؛ اسلاملوئیان، کریم؛ قطمیری، محمدعلی؛ هادیان، ابراهیم (۱۳۹۳). تجزیه و تحلیل خسارت‌های رفاهی ناشی از آلودگی‌های زیست‌محیطی در ایران (با رویکرد دینامیک سیستم). *پژوهش‌های رشد و توسعه پایدار (پژوهش‌های اقتصادی)*، ۱۴ (۴)، ۱۱۳-۱۴۷.

References

- Agirre-Basurko, E., Ibarra-Berastegi, G. & Madariaga, I. (2006). Regression and multilayer perceptron-based models to forecast hourly O₃ and NO₂ levels in the Bilbao area. *Environmental Modelling & Software*, 21 (4), 430-446.
- Alimissis, A., Philippopoulos, K., Tzanis, C. G. & Deligiorgi, D. (2018). Spatial estimation of urban air pollution with the use of artificial neural network models. *Atmospheric environment*, 191, 205-213.
- Almaraz, M., Bai, E., Wang, C., Trousdell, J., Conley, S., Faloona, I. & Houlton, B. Z. (2018). Agriculture is a major source of NO_x pollution in California. *Science advances*, 4 (1), 347-361. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aao3477>.
- Amirnejad, H. & Bahmanpouri, S. (2013). Integration of environmental and economic goals of agricultural operators in determining the optimal cultivation pattern; Case study: Beiza plain of Fars province. *Agricultural Economics Research Quarterly*, 5 (18), 74-91 (In Persian).
- Azid, A., Juahir, H., Toriman, M. E., Kamarudin, M. K. A., Saudi, A. S. M., Hasnam, C. N. C. & Osman, M. R. (2014). Prediction of the level of air pollution using principal component

- analysis and artificial neural network techniques: A case study in Malaysia. *Water, Air, & Soil Pollution*, 225 (8), 206-223.
- Bilgili, F., Koçak, E. & Bulut, Ü. (2016). The dynamic impact of renewable energy consumption on CO₂ emissions: a revisited Environmental Kuznets Curve approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54 (8), 838-845. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.080>.
- Bollen, J. (2015). The value of air pollution co-benefits of climate policies: analysis with a global sector-trade CGE model called WorldScan. *Technological Forecasting and Social Change*, 90, 178-191. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2014.10.008>.
- Bougoudis, I., Demertzis, K. & Iliadis, L. (2016). Fast and low cost prediction of extreme air pollution values with hybrid unsupervised learning. *Integrated Computer-Aided Engineering*, 23 (2), 115-127. <https://doi.org/10.3233/ICA-150505>.
- Brauer, M., Freedman, G., Frostad, J., Van Donkelaar, A., Martin, R., Dentener, F. & Balakrishnan, K. (2015). Ambient air pollution exposure estimation for the global burden of disease 2013. *Environmental science & technology*, 50 (1), 79-88. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b03709>.
- Chauhan, N. S., Mohapatra, P. K. J. & Pandey, K. P. (2006). Improving energy productivity in paddy production through benchmarking: an application of data envelopment analysis. *Energy Conversion and Management*, 47, 1063- 1085. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2005.07.004>.
- Chlingaryan, A., Sukkarieh, S. & Whelan, B. (2018). Machine learning approaches for crop yield prediction and nitrogen status estimation in precision agriculture: A review. *Computers and electronics in agriculture*, 151, 61-69. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.05.012>.
- Chowdhur , S., De , S., Tri athi, S. N., Beig, G., Mishra, A. . & Sharma, S. (2017). “Traffic intervention” olic fails to mitigate air ollution in megacit Delhi. *Environmental science & policy*. 74, 8-13. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.04.018>.
- Christopher, W., Joshua, S., Andrew, L., Nicholas, Z., Kimberley, A., David, A. & Jason, D. (2018). Inequity in consumption of goods and services adds to racial–ethnic disparities in air pollution exposure. *Journal of PANS*, 38 (5), 62-87. doi.org/10.1073/pnas.1818859116.
- Elhami, B., Akram, A. & Khanali, M. (2016). Optimization of energy consumption and environmental impacts of chickpea production using data envelopment analysis (DEA) and multi objective genetic algorithm (MOGA) approaches. *Information processing in agriculture*, 3 (3), 190-205. <https://doi.org/10.22059/ijbse.2017.60264> (In Persian).
- Feng, X., Fu, T., Cao, H., Tian, H., Fan, Q. & Chen, X. (2019). Neural network predictions of pollutant emissions from open burning of crop residues: Application to air quality forecasts in southern China. *Atmospheric Environment*, 204, 22-31.
- Ghazi, S., Dugdale, J. & Khadir, T. (2015). A Multi-Agent based Approach for Simulating the Impact of Human Behaviours on Air Pollution. *Informatica*, 39, 501-505.
- Gurjar, B., Ravindra, K. & Nagpure, A. S. (2016). Air pollution trends over Indian megacities and their local-to-global implications. *Atmospheric Environment*, 142, 475-495. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.06.030>.
- Harati, J., Islamluian, K., Qatmiri, M. & Hadian, A. (2014). Analysis of Welfare Damages Caused by Environmental Pollution in Iran (with Dynamic System Approach). *Quarterly Journal of Economic Research (Sustainable Growth and Development)*, 14 (4), 113-147 (In Persian).
- Jahangard, E. (2014). Prioritize investment in Iran's economic activities in terms of environmental pollution. *Parliament and Strategy*, 21 (80), 137-168 (In Persian).
- Jones, J. W., Antle, J. M., Basso, B., Boote, K. J., Conant, R. T., Foster, I. & Keating, B. A. (2017). Toward a new generation of agricultural system data, models, and knowledge products: State of agricultural systems science. *Agricultural systems*, 155, 269-288. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2016.10.002>.
- Kaab, A., Sharifi, M., Mobli, H., Nabavi-Pelesaraei, A. & Chau, K. W. (2019). Combined life cycle assessment and artificial intelligence for prediction of output energy and environmental impacts of sugarcane production. *Science of the Total Environment*. 664, 1005-1019. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.004>.

- Khorshidoost, A., Mohammadi, Gh., Aghlmand, F. & Hosseini Sadr, A. (2018). Statistical-descriptive analysis of the relationship between atmospheric parameters and air pollution in Tabriz. *Environmental risk management*, 5 (2), 217-230 (In Persian).
- Liu, J., Mauzerall, D.L., Chen, Q., Zhang, Q., Song, Y., Peng, W. & Lin, W. (2016). Air pollutant emissions from Chinese households: A major and underappreciated ambient pollution source. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 113 (28), 7756-7761. <https://doi.org/10.1073/pnas.1604537113>.
- Mishra, D., Goyal, P. & Upadhyay, A. (2015). Artificial intelligence based approach to forecast PM_{2.5} during haze episodes: A case study of Delhi, India. *Atmospheric Environment*, 102, 239-248. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.11.050>.
- Mohajerdoost, V., Akram, A. & Mashhuri-Azar, M. (2008). Analysis of energy consumption and production costs of major agricultural products in Maragheh city. In: Nima Sobhani, *Fifth National Congress of Agricultural Machinery Engineering and Mechanization*, (pp. 26-33). Mashhad: Iranian Association of Agricultural Machinery Engineering and Mechanization, Ferdowsi University of Mashhad (In Persian).
- Mohsenzadeh, F., HezarJaribi, A., Sharifan, H. & Dehghani, A. (2012). Optimization of cultivation pattern using genetic algorithm method (Case study: Aqala region). In: Ali Jamali, *National Conference on Optimal Utilization of Water Resources*, (pp. 63-69). Dezfoul: Islamic Azad University, Dezfoul Branch (In Persian).
- Ostadzad, A. & Bohlooli, P. (2015). The effect of renewable energies on the Kuznetsi environmental curve in Iran. *Applied Theories of Economics*. 2 (2), 127-154 (In Persian).
- Perera, F. P. (2016). Multiple threats to child health from fossil fuel combustion: impacts of air pollution and climate change. *Environmental health perspectives*. 125(2), 141-148. <https://doi.org/10.1289/EHP299>.
- Rao, S., Klimont, Z., Smith, S. J., Van Dingenen, R., Dentener, F., Bouwman, L. & Reis, L. A. (2017). Future air pollution in the Shared Socio-economic Pathways. *Global Environmental Change*. 42, 346-358. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.05.012>.
- Robarge, G. M. & Benforado, J. (2018). Reducing Agricultural Impacts on the Environment: Current EPA Program and Research Activities—And Future Directions. In *Integrating Sustainable Agriculture, Ecology, and Environmental Policy*, 45, 123-140. https://doi.org/10.1300/J064v02n03_10.
- Saligheh, M. & Kakhaki Mahneh, H. (2015). Investigating the relationships between climate elements and air pollution fluctuations (Case: Mashhad). *Geography and Environmental Hazards*, 14 (3), 77-94 (In Persian).
- Shaddick, G., Thomas, M. L., Green, A., Brauer, M., van Donkelaar, A., Burnett, R. & Gummy, S. (2018). Data integration model for air quality: a hierarchical approach to the global estimation of exposures to ambient air pollution. *Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics)*, 67 (1), 231-253. <https://doi.org/10.1111/rssc.12227>.
- Shamshiri, R. R., Kalantari, F., Ting, K. C., Thorp, K. R., Hameed, I. A., Weltzien, C., Ahmad, D. & Shad, Z. (2018). Advances in greenhouse automation and controlled environment agriculture: A transition to plant factories and urban agriculture. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 11 (1), 1-22. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20181101.3210>.
- Shamsoddini, A. & Ahmadi, W. (2020). Spatial-temporal estimation of carbon monoxide and nitrogen dioxide pollutants in Tehran based on remote sensing data and auxiliary data. *Geography and environmental sustainability*, 10 (3), 107-124 (In Persian).
- Shushtarian, A., Zibaei, M. & Soltani, Gh. (2008). Investigating the sustainability of agricultural systems according to economic and environmental goals: A case study in the Camphiroz region of Fars province. *Agricultural Economics Quarterly*, 4(4), 79-96 (In Persian).
- Sicard, P., Augustaitis, A., Belyazid, S., Calfapietra, C., de Marco, A., Fenn, M. & Serengil, Y. (2016). Global topics and novel approaches in the study of air pollution, climate change and forest ecosystems. *Environmental pollution*, 213, 977-987. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.01.075>.
- Sueyoshi, T. & Yuan, Y. (2015). China's regional sustainability and diversified resource allocation:

- DEA environmental assessment on economic development and air pollution. *Energy Economics*, 49, 239-256. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2015.01.024>.
- Tiwari, D.N., Loof, R. & Paudy, G. N. (1999). Environment Economic Decision Making In Lowland Agriculture Using Multicriteria Analysis Techniques. *Agricultural System*, 60 (1), 99-112.
- Yu, S., Li, P., Wang, L., Wu, Y., Wang, S., Liu, K. & Zhang, X. (2018). Mitigation of severe urban haze pollution by a precision air pollution control approach. *Scientific reports*, 8 (1), 51-81. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-26344-1>.
- Zavala, J., Krug, J. D., Warren, S. H., Krantz, Q. T., King, C., McKee, J. & Meier, M. J. (2018). Evaluation of an air quality health index for predicting the mutagenicity of simulated atmospheres. *Environmental science & technology*, 52 (5), 3045-3053. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b00613>.
- Zheng, D. & Shi, M. (2016). Multiple environmental policies and pollution haven hypothesis: evidence from China's polluting industries. *Journal of Cleaner Production*, 141, 295-304. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.091>.

