



سنجش از دور

و
GIS ایران



سنجش از دور و GIS ایران سال پانزدهم، شماره دوم، تابستان ۱۴۰۲
Iranian Remote Sensing & GIS Vol.15, No. 2, Summer 2023

۱۰۱-۱۱۶

مقاله پژوهشی

بررسی آلودگی هوا در دوران کرونا و پیش از آن در کلان‌شهرهای تهران، اصفهان و قم

مهران شایگان^۱ و مرضیه مکرّم^{۲*}

۱. استادیار گروه سنجش از دور و GIS، دانشگاه تربیت مدرس

۲. دانشیار گروه مدیریت و علوم اجتماعی، دانشکده اقتصاد، دانشگاه شیراز

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۳/۲۷

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۲/۱۹

چکیده

فعالیت‌های صنعتی و ترافیک شهری منجر به افزایش آلودگی هوا در کلان‌شهرها می‌شود و این آلودگی سبب افزایش بیماری‌های بسیاری در افراد شده است؛ بنابراین بررسی و مطالعه مناطق آلوده برای مدیریت شهرها مهم است. با توجه به اهمیت موضوع، هدف از این مطالعه بررسی وضعیت آلودگی هوا در کلان‌شهرهای تهران، اصفهان و قم از نظر آلاینده‌های NO_2 ، CO_2 ، CO ، و CH_4 ، پیش از کرونا (۲۰۱۹-۲۰۱۸) و حین کرونا (۲۰۲۰-۲۰۲۱) طی چهار فصل متفاوت سال است. همچنین با استفاده از روش همبستگی پیرسون و شبکه‌های عصبی (RBF) (شبکه عصبی تابع شعاعی پایه)، ارتباط بین دما و آلاینده‌ها بررسی شد. نتایج این مطالعه نشان داد که در کلان‌شهرهای تهران و اصفهان، میزان آلودگی هوا بیشتر از سایر مناطق است؛ همچنین میزان آلودگی در دوران کرونا در قیاس با پیش از کرونا، کاهش چشمگیری داشته است. افزون‌براین نتایج حاصل از روش رگرسیون بیان کرد که افزایش دما با میزان آلودگی ارتباط معنی‌داری دارد ($R^2=0.981$)؛ به‌گونه‌ای که در مناطق دارای آلودگی، میزان دما هم بیشتر بوده است. نتایج استفاده از روش RBF نیز حاکی از دقت بالای مدل در پیش‌بینی میزان آلودگی هوا بوده است ($\text{RMSE} = 0.08$ ، $R^2 = 0.85$)؛ در نتیجه، این تحقیق بر نیاز به اقدامات جامع به‌منظور کاهش آلودگی هوا، به‌ویژه در مناطق بسیار آلوده، تأکید می‌کند.

کلیدواژه‌ها: آلودگی هوا، سنجش از دور، شبکه‌های عصبی، کلان‌شهر، دمای سطح زمین.

* نویسنده مکاتبه‌کننده: گروه مدیریت و علوم اجتماعی، دانشکده اقتصاد، دانشگاه شیراز، تلفن: ۰۹۱۷۷۸۴۵۳۲۰

Email: m.mokarram@shirazu.ac.ir
https://orcid.org/0000-0002-3514-1263
https://dx.doi.org/10.48308/gisj.2023.103607



Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

۱- مقدمه

رشد جمعیت، افزایش خودروها و صنعتی شدن و تقاضای انرژی ناشی از آن با افزایش آلودگی مواجه‌اند (Pedruzzi et al., 2019; Selvam et al., 2020). بنابراین برای تعیین چگونگی توزیع و تأثیر آلاینده‌های هوا و همچنین بیان راه‌حلی به مدیران در سطوح محلی، ملی و بین‌المللی، اندازه‌گیری دقیق آلاینده‌های هوا با قدرت تفکیک مکانی و زمانی بالا در همه سطوح ضروری است (Li et al., 2019). به‌تازگی در میزان آلاینده‌های جو افزایش شدیدی رخ داده است که تأثیرات نامطلوبی در کیفیت هوا، محیط‌زیست و سلامت انسان دارد. اکسیدهای نیتروژن (NO_x)، دی‌اکسید گوگرد (SO₂)، دی‌اکسید کربن (CO₂)، مونوکسید کربن (CO)، متان (CH₄)، کربن‌های آلی ناپایدار، کلروفلوئوروکربن‌ها (CFC) و ذرات معلق در هوا برخی از مهم‌ترین آلاینده‌های هوا محسوب می‌شوند (Kuantan et al., 2021; Transdisiplin (Pertanian Budidaya Tanaman et al., 2021).

یکی از رایج‌ترین گازهای آلوده‌کننده هوا و به‌طور طبیعی، یکی از سمی‌ترین آنها مونوکسید کربن است. تقریباً دوسوم انتشار مونوکسید کربن از فعالیت‌های انسانی ناشی می‌شود (Al-Ghussain, 2019; Saevarsdottir et al., 2019). مونوکسید کربن معمولاً از احتراق ناقص کربن پدید می‌آید. علاوه‌بر سوزاندن بقایای گیاهی، سوزاندن سوخت‌های فسیلی نیز به تولید دی‌اکسید و CH₄ منجر می‌شود (Hu et al., 2022). یکی دیگر از آلاینده‌های هوا ذرات معلق یا ذرات معلق در هوا هستند که از منابع مهم آلودگی هوا محسوب می‌شوند و تأثیرات کوتاه‌مدت و بلندمدت در سلامت انسان دارند. از جمله این تأثیرات، می‌توان به بیماری‌های قلبی-عروقی، ریوی و پوستی اشاره کرد که گاهی به مرگ زودرس می‌انجامد (Maia Lins & Maia Lins, 2020). وجود ذرات معلق در هوا یکی دیگر از آلاینده‌های هوا محسوب می‌شود؛ بنابراین نظارت بر ذرات معلق در سراسر جهان بسیار مهم است و بسیاری از آژانس‌های حفاظت از محیط‌زیست از ایستگاه‌های زمینی برای نظارت مستمر استفاده می‌کنند.

آلودگی هوا نقش مهمی در تغییرات جهانی اقلیم در سراسر جهان دارد. بنا بر گزارش سازمان جهانی بهداشت، آلودگی هوا یکی از مهم‌ترین عوامل در مرگ سالیانه حدود ۷/۳ میلیون نفر در سراسر جهان است (Guilmoto, 2022; Organization, 2016). پایش ذرات معلق در سراسر جهان اهمیت فراوانی دارد و بسیاری از آژانس‌های حفاظت از محیط‌زیست در تلاش‌اند تا نظارت و ارزیابی مستمر آلودگی هوا را از طریق ایستگاه‌های زمینی انجام دهند. ذرات معلق از طریق پراکندگی و یا جذب تابش خورشید نیز تأثیر معتناهایی در اقلیم زمین دارند. در میان روش‌های گوناگون پایش آلودگی هوا، استفاده از ابزارها و فناوری‌های مبتنی بر سنجش از دور، به دلیل ماهیت تولید داده‌های پیوسته زمانی و مکانی، اهمیت بیشتری دارد (Chudnovsky, 2021; Ju et al., 2022). در این روش‌ها، اطلاعات درباره آلاینده‌های هوا از طریق تابش‌های الکترومغناطیسی منتقل می‌شود و اطلاعات آلاینده‌های هوا با وضوح مکانی-زمانی و همچنین اندازه‌گیری پروفیل قائم، با دقتی بیشتر از ۶۰٪ امکان ثبت شدن خواهند یافت (HANST PL, 2016). تخمین میزان آلاینده‌های هوا به کمک سنجش از دور، بستر مناسبی را برای درک وضعیت کیفیت هوا و تغییرات آب‌وهوایی در مقیاس جهانی فراهم می‌کند. آلودگی هوا با توجه به پیامدهای زیان‌بارش، به یکی از ملموس‌ترین معضلات زیست‌محیطی در کلان‌شهرهای ایران تبدیل شده است (Asgari et al., 2017; Vafa-Arani et al., 2014).

آمارها نشان می‌دهد که در روزهای تشدید آلودگی هوا در کلان‌شهرها، شمار بیماران تنفسی «تا ۶۰٪» افزایش می‌یابد (Moustris et al., 2015). بیشترین عامل مؤثر در تشدید بیماری‌های سیستم قلبی، عروقی و ریوی ناشی از افزایش آلاینده‌هایی مانند CO₂, SO₂, CO, NO₂ است. آلودگی هوا می‌تواند به افزایش بیماری‌ها در انسان منجر شود (de Bont et al., 2022). بسیاری از کلان‌شهرهای کشورهای صنعتی به دلیل عواملی مانند

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه بین ۳۰ درجه و ۴۲ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۶ دقیقه شمالی و ۴۹ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۲۴ دقیقه شرقی قرار دارد. مطابق شکل ۱، شهرهای بزرگ صنعتی ایران شامل تهران و اصفهان و قم، برای پیش‌آیندهای هوا با استفاده از سنتینل-۵ انتخاب شدند. جدول ۱ مساحت، جمعیت و منابع آلودگی هوا را برای استان‌های مورد بررسی، نشان می‌دهد. با توجه به جدول ۱، مشخص می‌شود که بیشترین جمعیت در کلان‌شهر تهران (حدود ۱۳.۲۷ میلیون نفر) با مساحت ۱۸۸۱۴ کیلومتر مربع سکنا دارند. برخی فعالیت‌های صنعتی مهم در اصفهان شامل فولاد مبارکه، ذوب آهن، پالایشگاه نفت و نیروگاه حرارتی، و در تهران شامل پالایشگاه نفت، کارخانه خودروسازی، نیروگاه گازی، نیروگاه سیکل ترکیبی می‌شود و در قم نیز کارخانه آجر را می‌توان نام برد. مساحت مورد مطالعه ۱۳۷۰۸۳ کیلومتر مربع است که اقلیم‌های متنوعی را دربر می‌گیرد؛ در شمال، مرطوب و بارانی و در جنوب، خشک و نیمه‌خشک و گرم است.

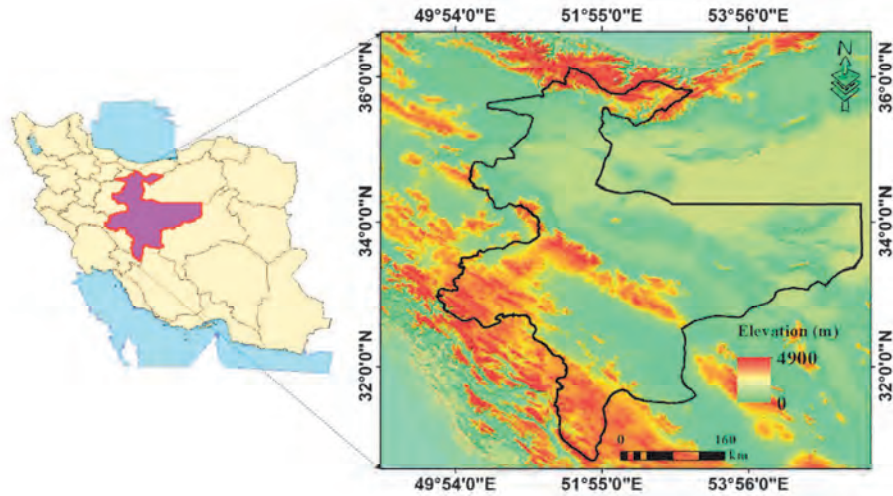
۲-۲- داده‌ها

به‌منظور استخراج دما، از محصول MOD ۱۱ ماهواره‌های ترا۶ و آکوا۷ استفاده شد که دربرگیرنده دمای سطح و ضریب گسیلندگی است و در سطح ۲ و ۳، با قدرت تفکیک مکانی یک کیلومتر و پنج کیلومتر، در شرایط آسمان صاف تولید می‌شود. درمورد ماهواره ترا، از تصاویر MOD - level2 ۱۱ استفاده شده است. تصاویر استخراج‌شده، با به‌کارگیری ضرایب، به دو محصول دمای

با توجه به تأثیر آلودگی هوا در سلامت انسان، پیش‌بینی و اندازه‌گیری میزان آلودگی هوا بسیار مهم است. روش‌های متفاوتی برای پیش‌آلودگی و پیش‌بینی کیفیت هوا وجود دارد. در میان این روش‌های گوناگون، سنجش از دور به‌دلیل توانایی در تولید داده‌های پیوسته در طول زمان و مکان دارای اهمیت بیشتری است (Berman & Ebisu, 2020; Grainger & Schreiber, 2019; Vadrevu & Lasko, 2018). اطلاعات آلاینده هوا را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، در وضوح زمانی- مکانی گوناگون و در ارتفاعات متفاوت اتمسفر، می‌توان تهیه کرد (Ngo et al., 2021). یوان^۱ و همکاران (۲۰۱۹)، با استفاده از داده‌های سنجش از دور، به این نتیجه رسیدند که ترافیک شهری و رشد جمعیت علل اصلی آلودگی جو در برخی مناطق پرجمعیت چین به‌شمار می‌رود. پای^۲ و همکاران (۲۰۱۹) و جانگ^۳ و همکاران (۲۰۲۰) در مطالعات خود نشان دادند، طی دوره قرنطینه در آسیا در سال ۲۰۲۰، آلودگی NO₂ کاهش شایان توجهی یافته (۴۳٪) که دلیل آن کاهش فعالیت‌های صنعتی در این سال بوده است. نیکول^۴ و همکاران (۲۰۲۰) نیز در دوران COVID-19، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مادیس، به این نتیجه رسیدند که فعالیت صنعتی اصلی‌ترین عامل افزایش ذرات معلق در هواست.

در پژوهش حاضر، میزان آلودگی هوا با استفاده از روش رگرسیون خطی پیش‌بینی می‌شود (Bekesiene et al., 2021; Yuchi et al., 2019). به‌طور خلاصه، اهداف این مقاله بیان نتایج استفاده از تصاویر ماهواره سنتینل-۵^۵، به‌منظور تعیین غلظت آلاینده‌های NO₂، CO₂، CO، CH₄ را در اتمسفر، پیش از کرونا و حین آن دربر می‌گیرد. استفاده از تصاویر ماهواره مادیس به‌منظور تعیین میزان دما و بررسی ارتباط بین میزان دمای سطح زمین و میزان آلودگی هوا، با استفاده از روش رگرسیون خطی و شبکه‌های عصبی RBF، از دیگر اهداف این کار است.

1. Yuan
2. Pei
3. Zhang
4. Nichol
5. Sentinel-5
6. Terra
7. Aqua



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه

جدول ۱. ویژگی‌های هریک از شهرهای مورد مطالعه

شهر	مساحت (کیلومترمربع)	جمعیت (میلیون نفر)	مهم‌ترین صنایع
اصفهان	107/029	5/121	فولاد مبارکه، ذوب آهن، پالایشگاه نفت و نیروگاه حرارتی
تهران	18814	13/27	پالایشگاه نفت، کارخانه خودروسازی، نیروگاه گازی، نیروگاه سیکل ترکیبی
قم	11240	1/29	کارخانه آجر، نیروگاه سیکل ترکیبی

مسئله انتقال (CO, CO_2, NO_2, CH_4)، X_1, X_2, \dots, X_{p-1} به صورت زیر تعریف شده است (رابطه (۱)).

$$Y_i = \beta_2 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_{p-1} X_{p-1} + \varepsilon_i \quad i = 1, 2, \dots, n$$

رابطه (۱)

رابطه (۲) را نیز می‌توان به صورت ماتریس بیان کرد

$$Y_{n \times 1} = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_n \end{bmatrix} \quad X_{n \times p} = \begin{bmatrix} 1 & X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1,p-1} \\ 1 & X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2,p-1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & X_{n1} & X_{n2} & \dots & X_{n,p-1} \end{bmatrix}$$

رابطه (۲)

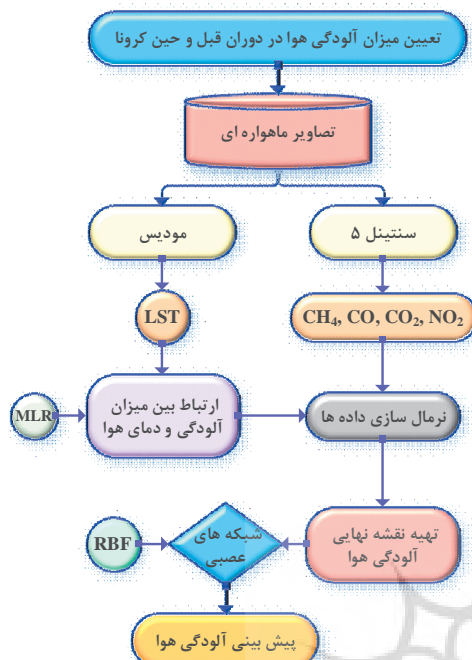
که در آن ماتریس X مقادیر مشاهده شده متغیرهای $p-1$ را برای n نمونه نشان می‌دهد. بردار Y مقدار مشاهده شده متغیر وابسته برای n نمونه است.

سطح و ضریب گسیلندگی تبدیل شدند و پس از تصحیحات هندسی، به کار رفتند. برای تعیین غلظت گازهای متان، مونوکسید کربن، دی‌اکسید کربن و دی‌اکسید نیتروژن از ماهواره سنتینل-۵ استفاده شد. تصاویر سطح سه (L3) از ماهواره سنتینل-۵ TROPOMI نیز برای نظارت بر غلظت آلاینده‌ها به کار رفت.

۳-۲- روش‌ها

الف) روش رگرسیون خطی

برای بررسی رابطه بین دمای سطح زمین با میزان آلاینده‌ها، از روش رگرسیون خطی استفاده شد. رگرسیون خطی یکی از پرکاربردترین روش‌های مدل‌سازی داده‌ها و اطلاعات شناخته می‌شود. به‌طور کلی مدل رگرسیون ساده با متغیر وابسته (LST) Y و متغیر



شکل ۳. مراحل تحقیق

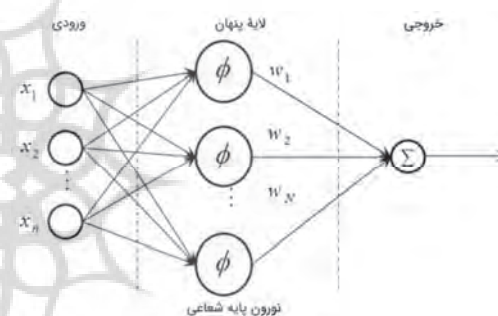
این گاز، از سال ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۱، روند کاهشی را نشان می‌دهد. در بیشتر مناطق، میزان این گاز در اکثر ماه‌ها کاهش یافته است. میزان آن در ماه‌های آبان، بهمن و اردیبهشت ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۱ نیز دچار کاهش شده که دلیل آن دوره قرنطینه و کاهش فعالیت‌های صنعتی در زمان شیوع ویروس کروناست. طبق مطالعات، بین فعالیت‌های صنعتی و وجود این گاز در جو ارتباط مشاهده می‌شود. گاز گلخانه‌ای CH_4 ممکن است سال‌ها در اتمسفر باقی بماند و به آلودگی آن دامن بزند. متان گازی گلخانه‌ای است که در گرمایش جهانی نقش دارد (Wang et al., 2021). یافته‌ها بر اهمیت نظارت و کنترل انتشار گازهای گلخانه‌ای تأکید می‌کنند زیرا نتیجه آن کاهش وجود و تأثیر CH_4 در تغییرات آب‌وهوایی است. تلاش در اجرای مقررات سخت‌گیرانه‌تر، ترویج فناوری‌های پاک‌تر و افزایش آگاهی درباره پیامدهای زیست‌محیطی انتشار متان در مبارزه با گرمایش جهانی و کاهش آلودگی جوی حیاتی است. با پرداختن به منابع CH_4 و درپیش‌گرفتن

ب) روش شبکه‌های عصبی

شبکه عصبی RBF به دلیل توانایی تقریب شدید، مشکلات محلی اندک و سرعت یادگیری سریع شناخته شده و یک شبکه عصبی مؤثر است. شبکه عصبی از یک لایه ورودی، یک لایه پنهان و یک لایه خروجی (شکل ۲) تشکیل شده که در آن تعداد نورون‌های موجود در لایه پنهان می‌تواند براساس وضعیت واقعی تنظیم شود. توابع فعال‌سازی، برای این روش، توابع گاوسی (رابطه (۳)) است.

$$\varphi_i(x) = \exp\left(-\frac{\|x-c_i\|^2}{\sigma_i^2}\right) \quad (3)$$

x داده‌های ورودی است و c_i و σ_i به ترتیب، مرکز و واریانس گره‌های RBF را نشان می‌دهند.



شکل ۲. نمونه ای از ساختار شبکه‌های عصبی

مراحل تحقیق در شکل ۳ نشان داده شده است.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- نتایج بررسی آلودگی هوا طی پیش از کرونا و

حین آن

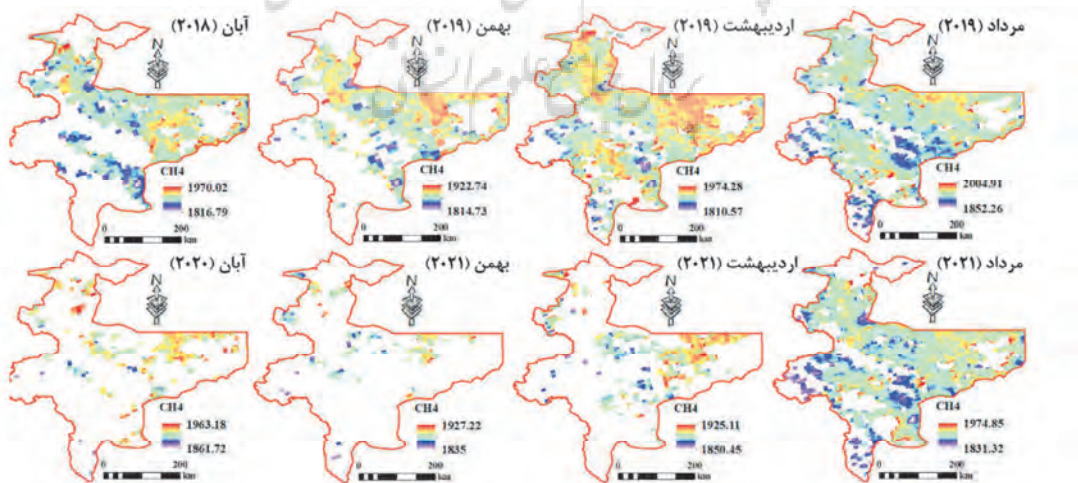
شکل‌های ۴ تا ۷ تحلیل مکانی-زمانی هر یک از این گازها را نشان می‌دهد. در شکل ۴، نشان داده شده که حداکثر مقدار گاز CH_4 در مرداد ۲۰۱۹، برابر با ۲۰۰۴ نانومول بر مول در شهر شمال (تهران) است. در اردیبهشت ۲۰۱۹، در بخش‌هایی از غرب منطقه مورد مطالعه، حداقل مقدار این آلاینده ۱۹۷۴ نانومول بر مول بوده است. بیشتر مناطق جنوب و بخش‌های کوچکی از شمال و غرب فاقد این آلاینده‌اند. تغییرات

خواص فیزیکی، می تواند در فضاهای بسته یا دارای تهویه ضعیف مانند گاراژ، خانه و محل کار تجمع یابد و به میزان خطرناکی برسد. این گاز، هنگام استنشاق، با توانایی بدن برای انتقال اکسیژن از طریق جریان خون تداخل می کند؛ به هموگلوبین گلوبول های قرمز خون راحت تر از اکسیژن متصل می شود که کاهش اکسیژن رسانی به اندامها و بافت های حیاتی را در پی دارد. قرار گرفتن طولانی مدت در معرض سطوح بالای آن چه بسا به علائمی مانند سردرد، سرگیجه، حالت تهوع، گیجی و در موارد شدید، بیهوشی یا مرگ منجر شود. با توجه به خطرهای درخور توجه برای سلامت، ناشی از قرار گرفتن در معرض CO، اتخاذ تدابیری به منظور جلوگیری از حضور آن در جَو و به حداقل رساندن مقدار آن بسیار مهم است (Tondelli et al., 2022).

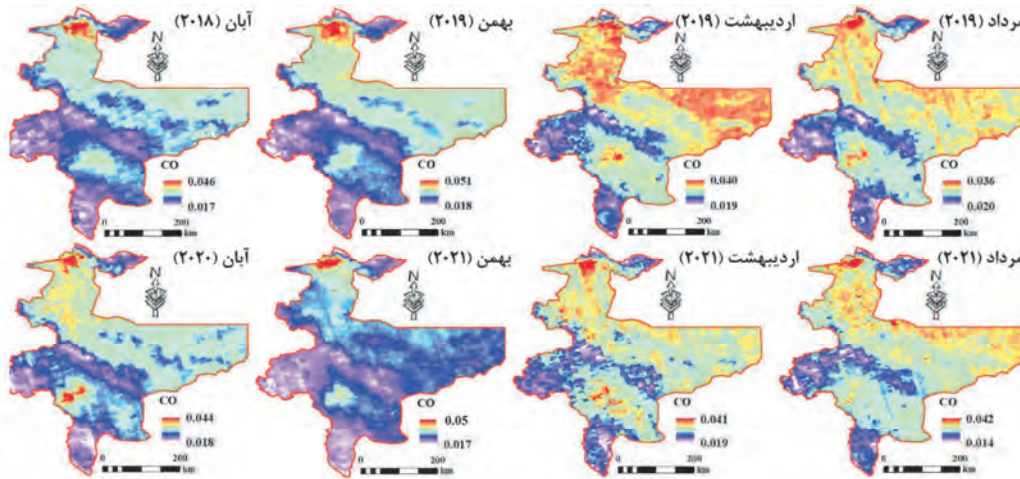
شکل ۶ نقشه توزیع مکانی- زمانی CO₂ را در منطقه مورد مطالعه نشان می دهد. حداکثر مقادیر این گاز در شمال (تهران) منطقه مورد مطالعه، طی آبان ۲۰۱۸ مشاهده شد. در آبان ۲۰۲۰ و بهمن ۲۰۲۱، در بخش هایی از شرق و جنوب منطقه آلودگی وجود نداشت. به نظر می رسد روند تغییر میزان این گاز در منطقه رو به کاهش بود و بیشترین مقدار آن در شهرهای آلوده ای مانند تهران مشاهده شد که

شیوه های پایدار، می توان تأثیرات نامطلوب آن را در محیط زیست کاهش داد و به آینده ای پایدارتر کمک کرد (Sharma & Verma, 2021).

در بهمن ۲۰۱۹، حداکثر مقدار گاز CO برابر با ۰/۰۵۱ ppm بود و در بخش های کوچکی از شمال منطقه مورد مطالعه مشاهده شد (شکل ۵). حداقل میزان این آلاینده طی مرداد ۲۰۲۱، در شرق و جنوب، ۰/۰۱۴ ppm بود. روند تغییر این گاز، از ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۱، کاهشی بود؛ در نتیجه، توزیع آن در اتمسفر طی بهمن ۲۰۲۱، در بیشتر مناطق کاهش یافت. سوختن ناقص کربن باعث تولید این گاز می شود. این گاز که بسیار سمی و برای انسان بسیار خطرناک و کشنده است، رنگ یا بوی خاصی ندارد (Prockop & Chichkova, 2007)؛ همین ویژگی تشخیص آن را بدون تجهیزات نظارتی مناسب، دشوار می کند. مونوکسید کربن، به محض ورود به سیستم تنفسی، با هموگلوبین خون ترکیب می شود و کربوکسی هموگلوبین تولید می کند که اکسیژن رسانی را در بدن مختل می کند و در نهایت، باعث مرگ می شود. میزان این گاز در اتمسفر، بر اثر فعالیت های انسانی مانند وجود کارخانه های ذوب و فرآوری فلزات، صنایع شیمیایی، سوخت های فسیلی و حتی خودروها افزایش می یابد (Wedeslassie et al., 2017). CO به دلیل



شکل ۴. توزیع مکانی- زمانی CH₄



شکل ۵. توزیع مکانی-زمانی CO

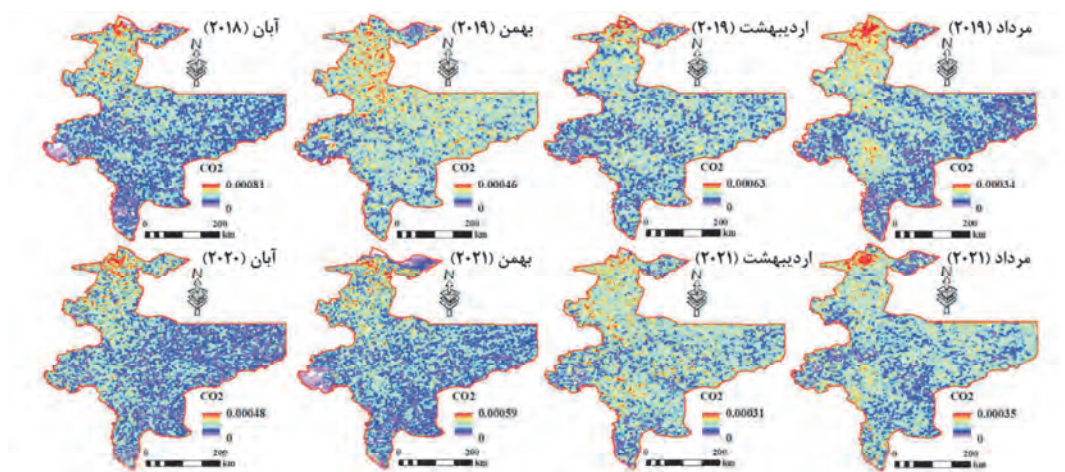
در شمال، رخ داده که در اردیبهشت ۱۳۹۸ و با مقدار 0.021 ppm به ثبت رسیده است. مناطق جنوبی و جنوب‌شرق کمترین غلظت این آلاینده را دارند. طی ۲۰۲۱ در قیاس با ۲۰۲۰، کاهش این گاز دیده می‌شود که می‌توان آن را به فرنیینه در دوران کرونا و کاهش فعالیت‌های صنعتی نسبت داد. این گاز یکی از آلاینده‌های اصلی هواست و مصرف سوخت‌های فسیلی، سالیانه سبب ایجاد مقدار زیادی از این محصول می‌شود. ترکیب این گاز با H_2O اسید نیتریک تولید می‌کند که باعث خوردگی شدید فلزات می‌شود (Li et al., 2019). این گاز، در غلظت‌های بالا، باعث ایجاد دود شدید و کاهش دید می‌شود. آگزوز خودروها، فرایندهای صنعتی و نیروگاه‌ها منابع اصلی انتشار NO_2 در مناطق شهری محسوب می‌شوند. ترکیب NO_2 با رطوبت اتمسفر (H_2O) تشکیل اسید نیتریک (HNO_3) می‌دهد که ممکن است سبب ایجاد باران اسیدی شود. اسید نیتریک بسیار خورنده است و می‌تواند به فلزات و زبرساخت‌ها آسیب جدی وارد کند. علاوه‌براین غلظت بالای NO_2 چه بسا به تشکیل دود سنگین و کاهش دید منجر شود که در کیفیت هوا و سلامت انسان تأثیر می‌گذارد (Zhang et al., 2020).

مصرف‌کننده اصلی سوخت فسیلی است. سوزاندن سوخت‌های فسیلی مانند زغال سنگ، نفت، گاز یا سوزاندن مواد آلی سبب آزادشدن این گاز در جو می‌شود (Soeder, 2021). افزایش مقدار آن در جو سبب از بین رفتن لایه محافظ اُزن و افزایش دمای زمین می‌شود. گرم‌شدن کره زمین نیز به ذوب‌شدن یخچال‌ها و افزایش وقوع سیل می‌انجامد (Kumar et al., 2018). احتراق سوخت‌های فسیلی در وسایل نقلیه، نیروگاه‌ها و فرایندهای صنعتی میزان درخور توجهی از CO_2 را در جو آزاد می‌کند. مناطق شهری دارای تراکم جمعیت بالا، فعالیت‌های صنعتی و زبرساخت‌های حمل‌ونقل، به دلیل مصرف انرژی و انتشار کربن بیشتر، سطوح بالای CO_2 را نشان می‌دهند. تهران که شهری پرجمعیت و بسیار صنعتی است، احتمالاً به دلیل استفاده گسترده از سوخت‌های فسیلی، دارای غلظت‌های بالاتر CO_2 است. غلظت بالای مشاهده‌شده در نوامبر ۲۰۱۸ را می‌توان به عوامل گوناگونی، مانند الگوهای آب‌وهوا، تغییرات فصلی و منابع انتشار موضعی نسبت داد که با نتایج پژوهش دمیرکسن^۱ و همکاران (۲۰۰۶) مطابقت دارد.

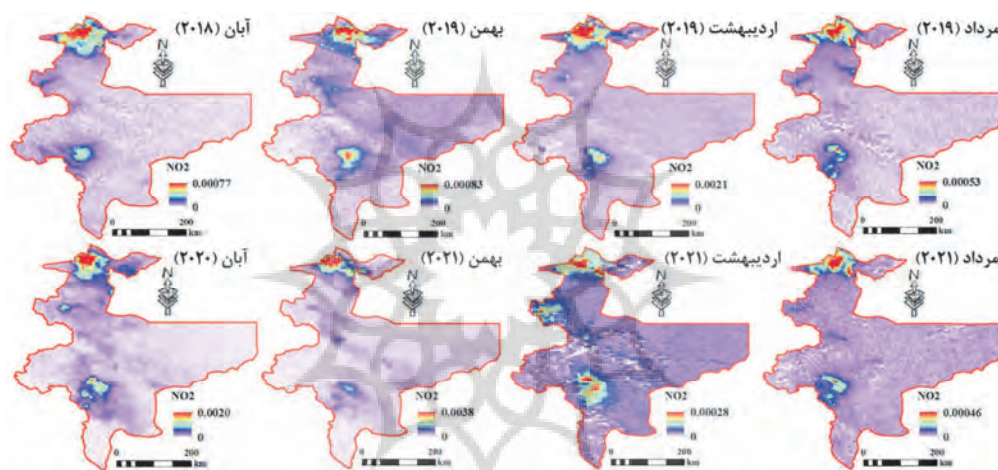
شکل ۷ توزیع مکانی-زمانی NO_2 را نشان می‌دهد.

براساس نتایج، بیشترین غلظت این گاز در تهران، واقع

1. Demirkesen



شکل ۶. توزیع مکانی-زمانی CO₂



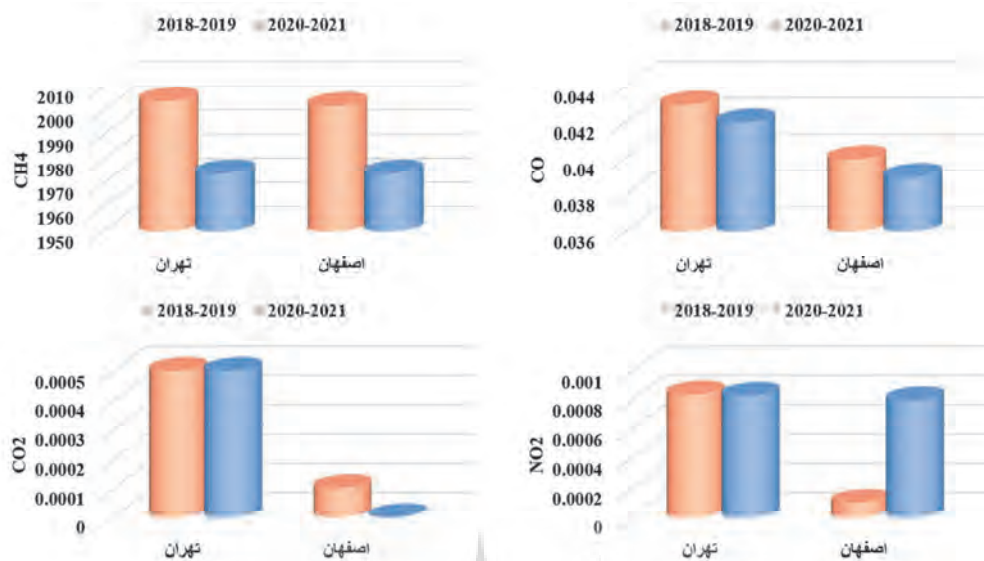
شکل ۷. توزیع مکانی-زمانی NO₂

بین ۰ تا ۱ قرار گرفت و سپس نقشه نهایی آلودگی هوا، با مجموع این نقشه‌های نرمال شده، تهیه شد. شکل ۹ نتایج غلظت کل چهار آلاینده را نشان می‌دهد. به‌طور کلی نتایج بیان می‌کند که آلودگی در سال ۲۰۲۱ کمتر از سال ۲۰۱۹ شده است؛ می‌توان آن را به تأثیر قرنطینه در دوره کرونا نسبت داد که به کاهش فعالیت‌های صنعتی و عبور و مرور کمتر با خودروها منجر شد. همچنین نتایج حاکی از آن است که شهر تهران، در مقایسه با دیگر شهرها، آلودگی بیشتری دارد. شکل ۹ نشان می‌دهد که مناطق صنعتی آلوده‌تر از مناطق دیگرند؛ بنابراین فعالیت‌های صنعتی نقش پررنگی در آلودگی هوا دارد.

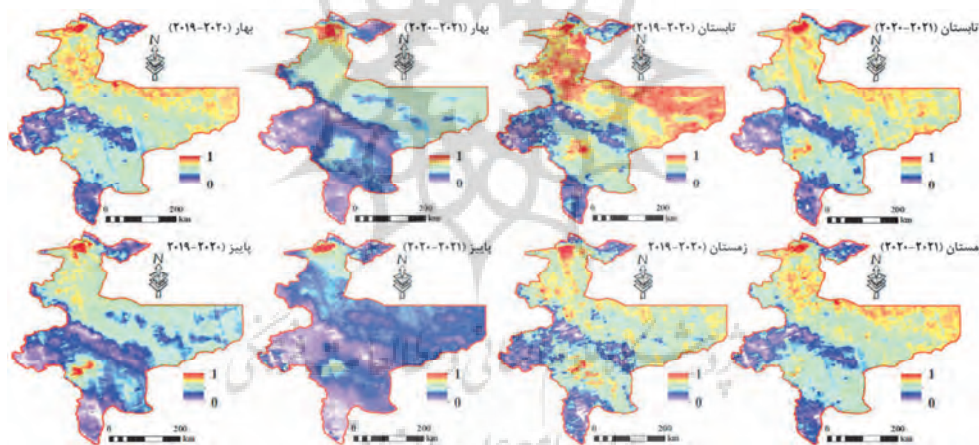
شکل ۸ نشان می‌دهد شهر تهران دارای بیشترین میزان CH₄ (۲۰۰۴ نانومول بر مول) و CO (۰/۰۴۴ ppm) است. بیشترین میزان NO₂ و CO₂ نیز در تهران و اصفهان مشاهده شد. بدین ترتیب این گاز در کلان‌شهرها، در قیاس با دیگر بخش‌های منطقه مورد مطالعه، بیشترین مقدار را دارد.

برای مقایسه کلی کیفیت هوا با چهار آلاینده، غلظت‌های اندازه‌گیری شده از طریق ماهواره سنتینل، از نظر مکانی نرمال شد و نقشه نهایی مجموع غلظت هر آلاینده شکل گرفت. برای تهیه این نقشه، هریک از نقشه‌های آلودگی در محیط GIS نرمال‌سازی و

بررسی آلودگی هوا در دوران کرونا و پیش از آن در کلان‌شهرهای تهران، اصفهان و قم



شکل ۸. مقایسه سطح آلودگی هوای سه شهر مورد مطالعه در سال‌های ۲۰۱۸-۲۰۱۹ و ۲۰۲۰-۲۰۲۱



شکل ۹. نقشه‌های نهایی آلودگی هوا در سال‌های ۲۰۲۱ و ۲۰۱۹

مهم در آلودگی هوا و افزایش آلاینده‌هایی مانند دی‌اکسید کربن، مونوکسید کربن، دی‌اکسید نیتروژن و متان به‌شمار می‌رود. CO₂ گازی گلخانه‌ای است که بیشتر از طریق احتراق سوخت‌های فسیلی، مانند بنزین و گازوئیل مورد استفاده در وسایل نقلیه، آزاد می‌شود. مناطق با تراکم ترافیک بالا، مانند مراکز شهری پرازدحام یا بزرگراه‌های اصلی، نقش شایان توجهی در انتشار CO₂ دارند. با حضور بیشتر وسایل نقلیه و

با توجه به اینکه در تابستان ۲۰۲۰-۲۰۱۹ میزان آلودگی بیشتر از سایر فصل‌هاست، نقشه راه‌های منطقه بر نقشه ۹ (فصل تابستان) overlay شد (در شکل ۱۰). مطابق شکل ۱۰، می‌توان یکی از عوامل آلودگی هوا را تراکم زیاد خودروها و تردد در مناطق دارای آلودگی زیاد در نظر گرفت زیرا، در مناطقی که جاده‌ها تراکم بیشتری دارند، میزان آلودگی هم زیاد است. تراکم خودروها و ترافیک در منطقه‌ای، در واقع، عاملی

۳-۲- رابطه بین شاخص حرارتی و آلاینده‌ها

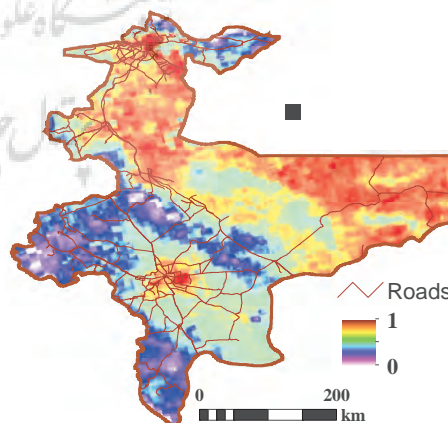
با توجه به اینکه فعالیت‌های صنعتی و گسترش شهرنشینی تأثیر مهمی در آلودگی هوا و دمای محیط دارد، از روش همبستگی پیرسون برای بررسی رابطه بین دما و آلودگی هوا استفاده شد. بدین منظور در هشتاد نقطه از منطقه، مقادیر LST و آلودگی تعیین شد. مطابق شکل ۱۱، $R^2=0.919$ ، CH_4 ، NO_2 $R^2=0.985$ و CO $R^2=0.957$ ، بیشترین همبستگی را با LST دارند. (Hwang and Park, 2019). علاوه بر این، جدول ۲ رابطه‌ای معنادار و مثبت را با توجه به مقادیر آماری $R^2=981$ ، $F=0.000$ نشان می‌دهد.



شکل ۱۱. نتیجه همبستگی بین LST و آلاینده‌ها

این مطالعه نشان داد که رابطه نزدیکی بین شاخص‌های حرارتی و سطوح آلودگی هوا وجود دارد که از نوآوری‌های این تحقیق است. سطوح بالای CO ، CO_2 و CH_4 می‌تواند به افزایش LST کمک کند. این گازها اغلب نتیجه فعالیت‌های صنعتی، حمل‌ونقل و سوزاندن سوخت‌های فسیلی‌اند و می‌توانند گرما را در جو به دام بیندازند و منجر به افزایش دمای سطح شوند. سطوح بالای NO_2 که اغلب از طریق وسایل نقلیه و فرایندهای صنعتی منتشر می‌شود، در شکل‌گیری جزایر گرمایی شهری مؤثر است. NO_2 تابش خورشید را جذب و آن را به انرژی

ازدحام ترافیک، انتشار جمعی CO_2 افزایش می‌یابد و این مسئله به سطوح بالاتر این گاز گلخانه‌ای در جو منجر می‌شود. NO_2 بیش از وسایل نقلیه، نیروگاه‌ها و فرایندهای صنعتی منتشر می‌شود. این گاز جزء مهم آلودگی هوای شهری و یکی از عوامل اصلی در تشکیل مه‌دود و باران اسیدی است. در مناطقی با تراکم ترافیک بالا، احتراق سوخت‌های فسیلی در وسایل نقلیه، به‌ویژه موتورهای دیزلی، میزان معنابهی NO_2 آزاد می‌کند. قرارگرفتن در معرض این گاز ممکن است باعث مشکلات تنفسی و تشدید شرایط تنفسی شود. باید بیان کرد که گاز متان مستقیماً از تردد خودروها و ترافیک ایجاد نمی‌شود بلکه غیرمستقیم، از فعالیت‌هایی مانند پالایش سوخت‌های فسیلی برای استفاده در وسایل نقلیه پدید می‌آید. مطابق شکل ۹، بخش‌های شمالی بیشتر از دیگر بخش‌های منطقه دارای تراکم بالای ترافیک و تردد خودروها در واحد سطح هستند. براساس نتایج این مطالعه، در این مناطق غلظت آلاینده‌های اشاره‌شده بیشتر از سایر بخش‌های منطقه مورد مطالعه است (شکل‌های ۴ تا ۷). نقشه آلودگی نهایی در شکل ۱۰ نیز آلودگی زیاد در مناطق شمالی را به نسبت دیگر مناطق مورد مطالعه، نشان می‌دهد. این منطقه دارای تراکم بالای خطوط حمل‌ونقل است.



شکل ۱۰. نقشه راه منطقه مورد مطالعه

همچنین نشان می‌دهد که آلودگی هوا در طول دوره کرونا کاهش یافته زیرا ترافیک و فعالیت‌های انسانی نیز، در این دوره، دچار کاهش شده است که با نتایج مطالعات بارائو و ناث^۴ (۲۰۲۱) و عثمان و لطیف^۵ (۲۰۲۱) هم‌خوانی دارد. بنابراین برای کاهش آلودگی در کلان‌شهرها، مدیران و سیاست‌مداران باید نظارت گسترده‌ای بر شهرها داشته باشند تا آلودگی‌های ناشی از شهرنشینی و فعالیت‌های انسانی کاهش یابد.

۳-۳- پیش‌بینی با استفاده از شبکه عصبی RBF
نتایج پژوهش حاضر بیان می‌کند بین شاخص‌های LST و CO، در قیاس با دیگر آلاینده‌ها، رابط معنی‌داری وجود دارد. در این بخش، مقادیر این پارامترها با استفاده از شبکه عصبی RBF پیش‌بینی شد. در شکل ۱۲، دقت هر روش به‌همراه ویژگی‌های شبکه مانند R2 و RMSE نشان داده شده است. طبق نتایج، روش RBF با چهار نورون در لایه پنهان، بهترین دقت را برای پیش‌بینی میزان CO دارد و مشخص شده است که تعداد لایه‌های پنهان تأثیر بسیاری در صحت روش RBF دارد. بنابراین شبکه عصبی RBF با چهار نورون در اولین لایه پنهان، دقیق‌ترین ساختار در پیش‌بینی CO محسوب می‌شود (RMSE = 0.08, R² = 0.85).

حرارتی تبدیل می‌کند که منجر به دمای سطح بالاتر می‌شود. دمای بالا ممکن است کیفیت هوا را بدتر کند زیرا واکنش‌های شیمیایی مسئول تشکیل آلاینده‌های ثانویه، مانند ازن (O₃) را افزایش می‌دهد. تشکیل O₃ در دماهای بالاتر سرعت می‌یابد و افزایش سطح آلودگی را نتیجه می‌دهد.

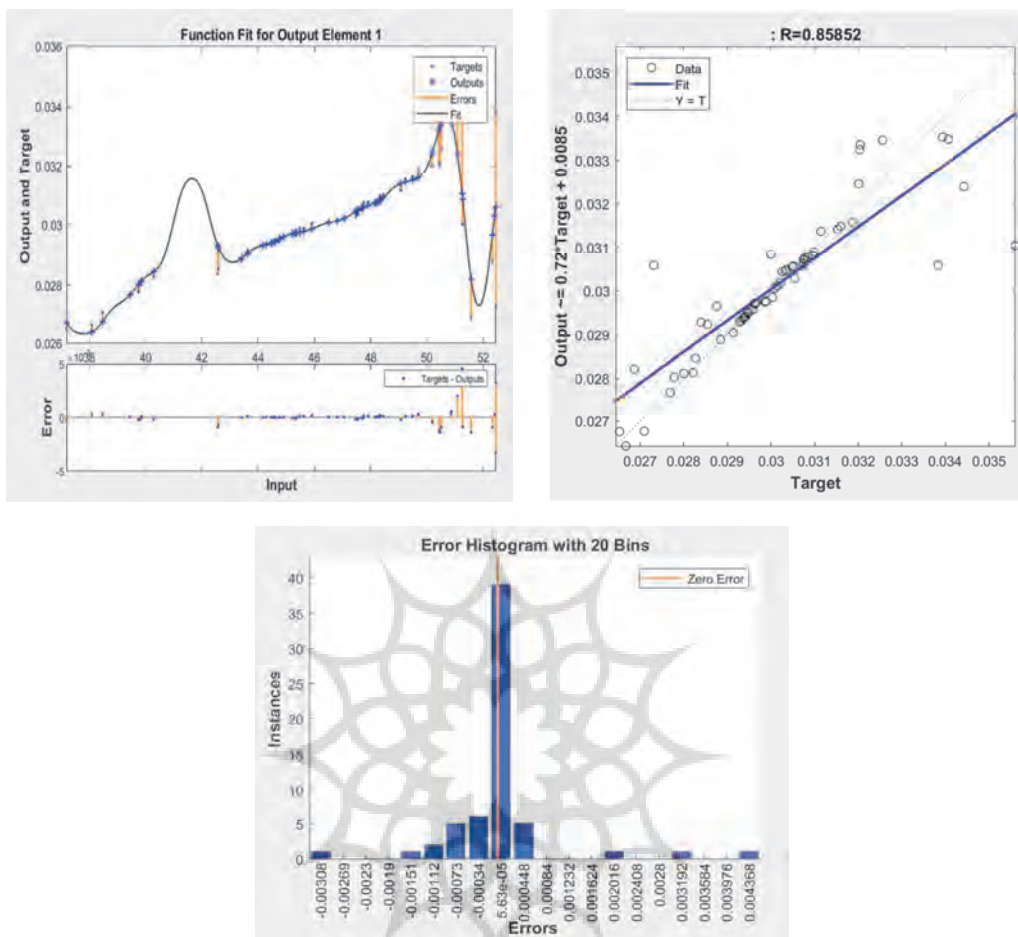
همچنین مطالعه پیش رو نشان داد که آلودگی حرارتی در مناطق شهری بیشتر از دیگر مناطق است؛ این مسئله با مطالعات شی^۱ و همکاران (۲۰۲۱) مطابقت دارد. برپایه مطالعات برا^۲ و همکاران (۲۰۲۰)، دلیل افزایش دما در مناطق شهر را می‌توان به نوع مواد مورد استفاده، ترافیک و فعالیت‌های صنعتی نسبت داد. در مقایسه با مناطق شهری، دمای سطح در مناطق روستایی به دلیل پوشش گیاهی بیشتر، دارای افزایش کمتری است (Duncan et al., 2019; Rahaman et al., 2022; Yao et al., 2019). براساس نتایج این پژوهش، کلان‌شهرهایی مانند تهران و اصفهان به دلیل ازدحام بیش از حد و فعالیت‌های صنعتی، آلودگی هوای بیشتری دارند؛ این نتایج با مطالعات گوهری‌پور و فیروزآبادی^۳ (۲۰۲۰) مطابقت دارد. این مطالعه

جدول ۲. دقت مدل همبستگی پیرسون

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	.991 ^a	.981	.978	.4270	.981	352.355	4	27	.000

a. Predictors: (Constant), CO, CO₂, CH₄, NO₂

1. Shi
2. Bera
3. Goharipour & Firoozabadi
4. Barua & Nath
5. Othman & Latif



شکل ۱۲. نتایج شبکه‌های عصبی در پیش‌بینی مونوکسید کربن

اثر می‌گذارد. این دانش می‌تواند سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان شهری را در اجرای اقدامات هدفمند به‌منظور کاهش انتشار CO و بهبود کیفیت هوا، به‌ویژه در مناطقی که LST عامل مهمی در افزایش سطوح CO شناسایی می‌شود، یاری برساند. به‌طور کلی یافته‌های این مطالعه اثربخشی شبکه‌ی عصبی RBF را با ساختار بهینه‌ی آن، در پیش‌بینی دقیق میزان CO براساس داده‌های LST، بازگو می‌کند. همچنین به درک ما از رابطه‌ی بین شاخص‌های حرارتی و آلودگی هوا، به‌ویژه در زمینه‌ی CO، یاری می‌رساند و تصمیم‌گیری آگاهانه و مداخلات هدفمند را برای رسیدگی به این نگرانی مهم زیست‌محیطی و بهداشت عمومی، ممکن می‌سازد.

این نتایج کارآمدی شبکه‌ی عصبی RBF را در گرفتن رابطه‌ی پیچیده‌ی بین سطوح LST و CO برجسته می‌کند. با استفاده از رویکرد RBF و بهینه‌سازی تعداد نورون‌ها در لایه‌ی پنهان، محققان توانستند به مدل مورد اعتماد و دقیقی برای پیش‌بینی آلودگی هوا دست یابند (Mokarram et al., 2021). این نکته نشان‌دهنده‌ی اهمیت به‌کارگیری تکنیک‌های محاسباتی پیشرفته و استفاده از شبکه‌های عصبی در به‌دست‌آوردن بینش عمیق‌تر درباره‌ی پویایی پیچیده‌ی آلودگی هوا و محرک‌های اساسی آن است (Zhao et al., 2019). ارتباط قوی مشاهده‌شده بین شاخص‌های LST و CO تأکید دارد که تغییرات دما، در تولید و پراکندگی CO در جو،

۴- نتیجه‌گیری

در بسیاری از کلان‌شهرها، آلودگی هوا نتیجه عواملی مانند رشد جمعیت و متعاقب آن، افزایش فعالیت‌های صنعتی، وجود صنایع متنوع (و اغلب قدیمی)، تقاضای انرژی و افزایش حمل‌ونقل و ترافیک است؛ در نتیجه، اندازه‌گیری دقیق مکانی و زمانی آلاینده‌های هوا، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای برای تعیین نحوه توزیع آلاینده‌ها و پیشنهاد راه‌حل به مدیران ضروری است. در این مطالعه از سنجنده TROPOMI ماهواره سنتینل-۵ برای بررسی آلودگی هوا و از ماهواره مادیس برای بررسی دما استفاده شد. همچنین روند تغییرات برخی آلاینده‌ها در دو شهر بزرگ و صنعتی ایران، پیش از شیوع ویروس کرونا و در زمان شیوع آن، بررسی شد. براساس پایش، تهران آلوده‌ترین شهر در سال‌های ۲۰۱۹ و ۲۰۲۱ بوده است. میزان آلاینده‌ها در سال ۲۰۲۱ اندکی کاهش یافته که احتمالاً ناشی از شیوع ویروس کرونا در این سال و کاهش فعالیت‌های انسانی و صنعتی بوده است. با توجه به نتایج بررسی تغییرات، مقادیر LST در سال ۲۰۱۹ و به نسبت ۲۰۰۱، افزایش یافته است. نتایج این پژوهش ارتباط معنی‌داری بین مقادیر LST و برخی آلاینده‌ها مانند CO ، NO_2 ، CO_2 و CH_4 را نیز نشان می‌دهد. طبق نتایج زنجیره مارکوف و CA-Markov، انتظار می‌رود دما در سال ۲۰۴۰ افزایش یابد و به دنبال آن، آلاینده‌ها نیز دچار افزایش شوند.

۵- منابع

- Cities of Barcelona and Madrid (Spain), *Sci. Total Environ.*, 741, P. 140353. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2020.140353>.
- Barua, S. & Nath, S.D., 2021, **The Impact of COVID-19 on Air Pollution: Evidence from Global Data**, *J. Clean. Prod.*, 298, P. 126755. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2021.126755>.
- Bekesiene, S., Meidute-Kavaliauskiene, I. & Vasiliauskiene, V., 2021, **Accurate Prediction of Concentration Changes in Ozone as an Air Pollutant by Multiple Linear Regression and Artificial Neural Networks**, *Math.* 2021, Vol. 9, Page 356 9, 356. <https://doi.org/10.3390/MATH9040356>.
- Bera, B., Bhattacharjee, S., Shit, P.K., Sengupta, N. & Saha, S., 2020, **Significant Impacts of COVID-19 Lockdown on Urban Air Pollution in Kolkata (India) and Amelioration of Environmental Health**, *Environ. Dev. Sustain.*, 23(5), PP. 6913-6940. <https://doi.org/10.1007/S10668-020-00898-5>.
- Berman, J.D. & Ebusu, K., 2020, **Changes in U.S. Air Pollution during the COVID-19 Pandemic**, *Sci. Total Environ.*, 739, P. 139864. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2020.139864>.
- Chudnovsky, A.A., 2021, **Urban Remote Sensing: Monitoring Air Pollution in the Urban Environment by Remote Sensing**, John Wiley & Sons Ltd.
- de Bont, J., Jaganathan, S., Dahlquist, M., Persson, Å., Stafoggia, M. & Ljungman, P., 2022, **Ambient Air Pollution and Cardiovascular Diseases: An Umbrella Review of Systematic Reviews and Meta-Analyses**, *J. Intern. Med.*, 291, PP. 779-800. <https://doi.org/10.1111/JOIM.13467>.
- Demirkesen, A.C., Evrendilek, F., Berberoglu, S. & Kilic, S., 2006, **Coastal Flood Risk Analysis Using Landsat-7 ETM+ Imagery and SRTM DEM: A Case Study of Izmir, Turkey**, *Environ. Monit. Assess.*, 131, PP.
- Al-Ghussain, L., 2019, **Global Warming: Review on Driving Forces and Mitigation**, *Environ. Prog. Sustain. Energy*, 38, PP. 13-21. <https://doi.org/10.1002/EP.13041>.
- Asgari, M., Farnaghi, M. & Ghaemi, Z., 2017, **Predictive Mapping of Urban Air Pollution Using Apache Spark on a Hadoop Cluster**, *ACM Int. Conf. Proceeding Ser.*, PP. 89-93. <https://doi.org/10.1145/3141128.3141131>.
- Baldasano, J.M., 2020, **COVID-19 Lockdown Effects on Air Quality by NO2 in the**

- 293-300. <https://doi.org/10.1007/S10661-006-9476-2>.
- Duncan, J.M.A., Boruff, B., Saunders, A., Sun, Q., Hurley, J. & Amati, M., 2019, **Turning Down the Heat: An Enhanced Understanding of the Relationship between Urban Vegetation and Surface Temperature at the City Scale**, *Sci. Total Environ.*, 656, PP. 118-128. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2018.11.223>.
- Goharipour, H. & Firoozabadi, S.S., 2022, **Assessing the Impacts of Changes in the Currency Exchange Rate on Air Pollution in Tehran: A Sectoral Review**, *Eur. J. Bus. Manag. Res.*, 7, PP. 12-19. <https://doi.org/10.24018/EJBMR.2022.7.3.1411>.
- Grainger, C. & Schreiber, A., 2019, **Discrimination in Ambient Air Pollution Monitoring?**, *AEA Pap. Proc.*, 109, PP. 277-282. <https://doi.org/10.1257/PANDP.20191063>.
- Guilmoto, C.Z., 2022, **An Alternative Estimation of the Death Toll of the Covid-19 Pandemic in India**, *PLoS One*, 17,P. e0263187. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0263187>.
- Hanst, P.L., 1970, **Infrared Spectroscopy and Infrared Lasers in Air Pollution Research and Monitoring**, *Sage Journals*, 24(2), PP. 161-174. <https://doi.org/10.1366/000370270774371930>.
- Hu, Y., Rein, G., Hu, Y. & Rein, G., 2022, **Development of Gas Signatures of Smouldering Peat Wildfire from Emission Factors**, *Int. J. Wildl. Fire*, 31, PP. 1014-1032. <https://doi.org/10.1071/WF21093>.
- Hwang, S.H. & Park, W.M., 2019, **Indoor Air Concentrations of Carbon Dioxide (CO₂), Nitrogen Dioxide (NO₂), and Ozone (O₃) in Multiple Healthcare Facilities**, *Environ. Geochemistry Heal.*, 425(42), PP. 1487-1496. <https://doi.org/10.1007/S10653-019-00441-0>.
- Ju, T., Liang, Z., Liu, W., Li, B., Huang, R. & Geng, T., 2022, **Monitoring of Air Pollution by Remote Sensing in Lanzhou City from 2010 to 2019**, *Water. Air. Soil Pollut.*, 233, PP. 1-18. <https://doi.org/10.1007/S11270-022-05830-3/METRICS>.
- Kuantan, M., Nor, S.A., Zulkifli, M.R., Satrial, Z., Osman, A., Khan, A., Chandra, S., Parameshwara, M.C., Effendi, A., Budianto, B., Immanuel, G.S., Rakhman, A., Kinasih, S.A.K.W. & Boer, R., 2021, **Coverage Sensitivity of High-Rise Tower NIES Monitoring System**, *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, 893, P. 012072. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/893/1/012072>.
- Kumar, P., Tokas, J., Kumar, N., Lal, M., Singal, H. & Praveen Kumar, C., 2018, **Climate Change Consequences and Its Impact on Agriculture and Food Security**, *Int. J. Chem. Stud.*, 6, PP. 124-133.
- Li, J., Han, X., Zhang, X., Sheveleva, A.M., Cheng, Y., Tuna, F., McInnes, E.J.L., McCormick McPherson, L.J., Teat, S.J., Daemen, L.L., Ramirez-Cuesta, A.J., Schröder, M. & Yang, S., 2019, **Capture of Nitrogen Dioxide and Conversion to Nitric Acid in a Porous Metal–Organic Framework**, *Nat. Chem.*, 11(11), PP. 1085-1090. <https://doi.org/10.1038/s41557-019-0356-0>.
- Maia Lins, E.A. & Maia Lins, A. da S.B., 2020, **An Analysis of the Aspects and Impacts to Human Health Caused by Effluents from a Solid Waste Landfill: Case Study**, *Int. J. Adv. Eng. Technol.*, 4(2), PP. 14-23. www.newengineeringjournal.com 4.
- Mokarram, M., Zarei, A.R. & Etedali, H.R., 2021, **Optimal Location of Yield with the Cheapest Water Footprint of the Crop Using Multiple Regression and Artificial Neural Network Models in GIS**, *Theor. Appl. Climatol.*, 143, PP. 701-712. <https://doi.org/10.1007/S00704-020-03413-Y>.
- Moustris, K.P., Proias, G.T., Larissi, I.K., Nastos, P.T., Koukouletsos, K.V. & Paliatsos, A.G., 2015, **Health Impacts Due to Particulate Air Pollution in Volos City, Greece**,

- <http://dx.doi.org/10.1080/10934529.2015.1079099> 51, 15–20. <https://doi.org/10.1080/10934529.2015.1079099>.
- Müller, A., Österlund, H., Marsalek, J. & Viklander, M., 2020, **The Pollution Conveyed by Urban Runoff: A Review of Sources**, *Sci. Total Environ.*, 709, P. 136125. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2019.136125>.
- Ngo, T.X., Do, N.T.N., Phan, H.D.T., Tran, V.T., Mac, T.T.M., Le, A.H., Do, N.V., Bui, H.Q. & Nguyen, T.T.N., 2021. **Air Pollution in Vietnam during the COVID-19 Social Isolation, Evidence of Reduction in Human Activities**, *International Journal of Remote Sensing*, 42(16), PP. 6126–6152.
- Nichol, J.E., Bilal, M., Ali, A.M. & Qiu, Z., 2020, **Air Pollution Scenario over China during COVID-19**, *Remote Sens.*, 12(13), P. 2100. <https://doi.org/10.3390/RS12132100>.
- Organization, W.H., 2016, **Ambient Air Pollution: A Global Assessment of Exposure and Burden of Disease**, *Clean Air J.*, 26, P. 6. <https://doi.org/10.17159/2410-972X/2016/V26N2A4>.
- Othman, M. & Latif, M.T., 2021, **Air Pollution Impacts from COVID-19 Pandemic Control Strategies in Malaysia**, *J. Clean. Prod.*, 291, P. 125992. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2021.125992>.
- Pedruzzi, R., Baek, B.H., Henderson, B.H., Aravanis, N., Pinto, J.A., Araujo, I.B., Nascimento, E.G.S., Reis Junior, N.C., Moreira, D.M. & de Almeida Albuquerque, T.T., 2019, **Performance Evaluation of a Photochemical Model Using Different Boundary Conditions over the Urban and Industrialized Metropolitan Area of Vitória, Brazil**, *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 26(16), PP. 16125-16144. <https://doi.org/10.1007/S11356-019-04953-1>.
- Pei, Z., Han, G., Ma, X., Su, H. & Gong, W., 2020, **Response of Major Air Pollutants to COVID-19 Lockdowns in China**, *Sci. Total Environ.*, 743, P. 140879. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2020.140879>.
- Polii, B., Najoan, J. & Ogie, T., 2021, **Analysis of Greenhouse Gases and Odor Levels in the Sumompo TPA, Manado City, North Sulawesi**, *Agri-Sosioekonomi*, 17(1), PP. 1-8. <https://doi.org/10.35791/AGRSOSEK.17.1.2021.32230>.
- Prockop, L.D. & Chichkova, R.I., 2007, **Carbon Monoxide Intoxication: An Updated Review**, *J. Neurol. Sci.*, 262(1-2), PP. 122-130. <https://doi.org/10.1016/J.JNS.2007.06.037>.
- Rahaman, Z.A., Kafy, A.A.I., Saha, M., Rahim, A.A., Almulhim, A.I., Rahaman, S.N., Fattah, M.A., Rahman, M.T., S, K., Faisal, A.A.I. & Al Rakib, A., 2022, **Assessing the Impacts of Vegetation Cover Loss on Surface Temperature, Urban Heat Island and Carbon Emission in Penang City, Malaysia**, *Build. Environ.*, 222, P. 109335. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2022.109335>.
- Saevarsdottir, G., Kvande, H. & Welch, B.J., 2019, **Aluminum Production in the Times of Climate Change: The Global Challenge to Reduce the Carbon Footprint and Prevent Carbon Leakage**, *JOM*, 72(1), PP. 296-308. <https://doi.org/10.1007/S11837-019-03918-6>.
- Selvam, S., Muthukumar, P., Venkatramanan, S., Roy, P.D., Manikanda Bharath, K. & Jesuraja, K., 2020, **SARS-CoV-2 Pandemic Lockdown: Effects on Air Quality in the Industrialized Gujarat State of India**, *Sci. Total Environ.*, 737, P. 140391. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2020.140391>.
- Sharma, L.K. & Verma, R.K., 2021, **Latitudinal Fluctuation in Global Concentration of CO₂ and CH₄ from Shortwave Infrared Spectral Observation by GOSAT during COVID-19**, <https://doi.org/10.1080/17538947.2021.1980126>. <https://doi.org/10.1080/17538947.2021.1980126>.
- Shi, Z., Song, C., Liu, B., Lu, G., Xu, J., Van Vu, T., Elliott, R.J.R., Li, W., Bloss, W.J. &

- Harrison, R.M., 2021, **Abrupt but Smaller than Expected Changes in Surface Air Quality Attributable to COVID-19 Lockdowns**, *Sci. Adv.*, 7. <https://doi.org/10.1126/SCIADV.ABD6696>.
- Soeder, D.J., 2021, **Greenhouse Gas Sources and Mitigation Strategies from a Geosciences Perspective**, *Adv. Geo-Energy Res.*, 5, PP. 274-285. <https://doi.org/10.46690/AGER.2021.03.04>.
- Tondelli, S., Farhadi, E., Akbari Monfared, B., Ataiean, M., Tahmasebi Moghaddam, H., Dettori, M., Saganeiti, L. & Murgante, B., 2022, **Air Quality and Environmental Effects Due to COVID-19 in Tehran, Iran: Lessons for Sustainability**, *Sustain.*, 14, P. 15038. <https://doi.org/10.3390/SU142215038>.
- Vadrevu, K. & Lasko, K., 2018, **Intercomparison of MODIS AQUA and VIIRS I-Band Fires and Emissions in an Agricultural Landscape—Implications for Air Pollution Research**, *Remote Sens.*, 10(7), P. 978. <https://doi.org/10.3390/RS10070978>.
- Vafa-Arani, H., Jahani, S., Dashti, H., Heydari, J. & Moazen, S., 2014, **A System Dynamics Modeling for Urban Air Pollution: A Case Study of Tehran, Iran**, *Transp. Res. Part D Transp. Environ.*, 31, PP. 21-36. <https://doi.org/10.1016/J.TRD.2014.05.016>.
- Wang, G., Xia, X., Liu, S., Zhang, L., Zhang, S., Wang, J., Xi, N. & Zhang, Q., 2021, **Intense Methane Ebullition from Urban Inland Waters and Its Significant Contribution to Greenhouse Gas Emissions**, *Water Res.*, 189, P. 116654. <https://doi.org/10.1016/J.WATRES.2020.11.6654>.
- Weldeslassie, T., Naz, H., Singh, B. & Oves, M., 2017, **Chemical Contaminants for Soil, Air and Aquatic Ecosystem**, *Mod. Age Environ. Probl. their Remediat.*, 1-22. https://doi.org/10.1007/978-3-319-64501-8_1/COVER.
- Yao, R., Wang, L., Huang, X., Gong, W. & Xia, X., 2019, **Greening in Rural Areas Increases the Surface Urban Heat Island Intensity**, *Geophys. Res. Lett.*, 46, PP. 2204-2212. <https://doi.org/10.1029/2018GL081816>.
- Yuan, M., Song, Y., Huang, Y., Shen, H. & Li, T., 2019, **Exploring the Association between the Built Environment and Remotely Sensed PM2.5 Concentrations in Urban Areas**, *J. Clean. Prod.*, 220, PP. 1014-1023. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2019.02.236>.
- Yuchi, W., Gombojav, E., Boldbaatar, B., Galsuren, J., Enkhmaa, S., Beejin, B., Naidan, G., Ochir, C., Legtseg, B., Byambaa, T., Barn, P., Henderson, S.B., Janes, C.R., Lanphear, B.P., McCandless, L.C., Takaro, T.K., Venners, S.A., Webster, G.M. & Allen, R.W., 2019, **Evaluation of Random Forest Regression and Multiple Linear Regression for Predicting Indoor Fine Particulate Matter Concentrations in a Highly Polluted City**, *Environ. Pollut.*, 245, PP. 746-753. <https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2018.11.034>.
- Zhang, Z., Arshad, A., Zhang, C., Hussain, S. & Li, W., 2020, **Unprecedented Temporary Reduction in Global Air Pollution Associated with COVID-19 Forced Confinement: A Continental and City Scale Analysis**, *Remote Sens.*, 12, P. 2420. <https://doi.org/10.3390/RS12152420>.
- Zhao, J., Deng, F., Cai, Y. & Chen, J., 2019, **Long Short-Term Memory - Fully Connected (LSTM-FC) Neural Network for PM2.5 Concentration Prediction**, *Chemosphere*, 220, PP. 486-492. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2018.12.128>.



سجش از دور & GIS ایران



سنجش از دور و GIS ایران سال پانزدهم، شماره دوم، تابستان ۱۴۰۲
Iranian Remote Sensing & GIS Vol.15, No. 2, Summer 2023

101-116

Investigating Air Pollution during the Corona Era and before that in the Metropolises of Tehran, Isfahan and Qom

Shaygan M.¹ and Mokarram M.^{2*}

1. Assistant Prof., Dep. of Remote Sensing & GIS, Tarbiat Modares University, Tehran
2. Associate Prof., Dep. of Geography, Faculty of Economics, Management and Social Sciences, Shiraz University, Shiraz

Abstract

Industrial activities and urban traffic contribute to increased air pollution in large cities, resulting in a rise in various diseases among the population. Consequently, studying and investigating polluted areas is crucial for effective city management. This study aims to examine the air pollution levels in Tehran, Isfahan, and Qom cities, focusing on NO₂, CO₂, CO, and CH₄ pollutants, during two distinct periods: pre-COVID-19 (2018-2019) and during COVID-19 (2020-2021), across all four seasons. By employing the Pearson correlation method and RBF neural networks (radial basis function neural network), the relationship between temperature and pollutants was explored. The findings reveal higher levels of air pollution in Tehran and Isfahan compared to other regions. Moreover, the study demonstrates a significant reduction in pollution during the COVID-19 era compared to the pre-COVID-19 period. Additionally, the regression analysis highlights a strong correlation between temperature increase and pollution levels ($R^2=0.981$). Furthermore, the RBF method exhibits high accuracy in predicting air pollution levels ($R^2 = 0.85$, RMSE = 0.08). In conclusion, this research underscores the urgent need for comprehensive measures to mitigate air pollution, particularly in highly polluted areas, and emphasizes the role of temperature as a crucial factor affecting pollution levels.

Keywords: air pollution, remote sensing, metropolis, neural networks, metropolis, earth surface temperature.

* Correspondence Address: Dep. of Geography, Faculty of Economics, Management and Social Sciences, Shiraz University, Shiraz. Tell: 09177845320
Email: m.mokarram@shirazu.ac.ir
<https://orcid.org/0000-0002-3514-1263>
<https://dx.doi.org/10.48308/gisj.2023.103607>



Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).