



The Impact of Air Quality Index (AQI) and Meteorological Factors on Covid-19 Outbreak (Case Study: Tehran Province)

Ali Mohammadhasani^a, Hamidreza Kamyab^{b*}, Hasan Rzaei^c

^a MA Student in Evaluation and Land-use Planning, Department of Environment, Faculty of Fisheries and Environmental Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

^b Assistant Professor of Environment Department, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

^c Associate Professor of Environment Department, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

Received: 8 October 2022

Revised: 6 December 2022

Accepted: 18 December 2022

Abstract

The relationship between air quality and the spread of Covid-19 has been proven to be sometimes positive and sometimes negative in previous studies. A research gap was seen in Iran regarding the impact of air quality on the spread of Covid-19. Thus, this study examined the relationship between the reproductive number of Covid-19 with the air quality index and meteorological factors. The reproductive number is an index to explain the spread of a viral disease. The air quality index related to each of the pollutants NO₂, O₃, CO, PM_{2.5}, PM₁₀, and the criterion pollutant were utilized in this study. Meteorological factors, including temperature, relative humidity, precipitation, air pressure, and wind speed were used. The data were obtained weekly and at Tehran province. The dependence of variables was determined using Pearson and Spearman correlation coefficients. The examined relationships were then estimated by regression. Each independent variable was tested in a distinct regression because of the limitations of the study. The linear and curvature regressions were performed according to the dispersion of variables and statistical assumptions. The best model was fitted based on statistical significance and regression coefficient of determination. The results of correlation tests showed the dependence of reproductive number with PM₁₀, PM_{2.5}, SO₂ and relative humidity. Regression tests also confirmed the relationship between the reproductive number (dependent variable) and each of the independent variables PM₁₀ (coefficient of determination 0.274), PM_{2.5} (coefficient of determination 0.358), SO₂ (coefficient of determination 0.359), and relative humidity (determination coefficient 0.213). The results indicated that an increase in PM₁₀, PM_{2.5}, SO₂ and decrease in relative humidity was associated with an increase in spread of Covid-19.

Keywords: Reproductive Number, Air Pollution, Particulates, Epidemic

*. Corresponding author: Hamidreza Kamyab E-mail: hrKamyab@gau.ac.ir Tel: + 989112252533

How to cite this Article: Mohammadhasani, A., Kamyab, H., Rzaei, H. (2022). The Impact of Air Quality Index (AQI) and meteorological factors on Ccovid-19 outbreak (Case study: Tehian province). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 11(3), 147-163.

DOI: 10.22067/geoeh.2022.79489.1297



Journal of Geography and Environmental Hazards are fully compliant With open access mandates, by publishing its articles under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).





Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

Geography and Environmental Hazards

Volume 12, Issue 2 - Number 46, Summer 2023

<https://geoeh.um.ac.ir>

 <https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.79489.1297> 

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دوازدهم، شماره چهل و ششم، تابستان ۱۴۰۲، صص ۱۶۳-۱۴۷

مقاله پژوهشی

تأثیر شاخص کیفیت هوا (AQI) و عوامل هواشناسی بر شیوع کووید-۱۹ (مطالعه موردی: استان تهران)

علی محمدحسینی - دانشجوی کارشناسی ارشد ارزیابی و آمایش سرزمین، گروه محیط زیست، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم

کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

حمیدرضا کامیاب^۱ - استادیار گروه محیط زیست، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،

گرگان، ایران

حسن رضائی - دانشیار گروه محیط زیست، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۷/۱۶ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۹/۱۵ تاریخ تصویب: ۱۴۰۱/۹/۲۷

چکیده

ارتباط متغیرهای کیفیت هوا با شیوع کووید-۱۹ در مطالعات پیشین، گاهی مثبت و گاهی منفی بوده است. خلاصه مطالعاتی در زمینه تأثیر کیفیت هوا بر شیوع کووید-۱۹ در ایران مشاهده شده است. لذا رابطه عدد مولد نسلی کووید-۱۹ با شاخص کیفیت هوا و عوامل هواشناسی در مطالعه حاضر بررسی شد. عدد مولد نسلی، شاخصی برای تبیین میزان شیوع یک بیماری ویروسی است. در این مطالعه، از شاخص کیفیت هوا مربوط به هر یک از آلاینده‌های PM_{10} ، $PM_{2.5}$ ، CO ، O_3 ، NO_2 و آلاینده معیار استفاده شد. از عوامل هواشناسی نیز دما، رطوبت نسبی، بارش، فشار هوا و سرعت باد استفاده شد. داده‌های این مطالعه، به صورت هفتگی و در سطح استان تهران تهیه شد. با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون و اسپیرمن، وابستگی متغیرها مشخص شد. سپس روابط مورد نظر، توسط رگرسیون برآورد شد. به علت

Email: hrKamyab@gau.ac.ir

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۱۱۲۲۵۲۵۳۳

نحوه ارجاع به این مقاله:

محمدحسینی، علی؛ کامیاب، حمیدرضا؛ رضائی، حسن؛ ۱۴۰۲. تأثیر شاخص کیفیت هوا (AQI) و عوامل هواشناسی بر شیوع

کووید-۱۹، مطالعه موردی: استان تهران. جغرافیا و مخاطرات محیطی. ۱۲(۲). ۱۶۳-۱۴۷

<https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.79489.1297>

محدودیت‌های مطالعه، هر متغیر مستقل در یک رگرسیون مجزا آزمون شد. با توجه به پراکندگی متغیرها و پیش‌فرض‌های آماری، رگرسیون‌های خطی و انحنایی اجرا شد. بر اساس معنی‌داری آماری و ضریب تعیین رگرسیون، بهترین مدل برازش شد. نتایج آزمون‌های همبستگی، وابستگی عدد مولد نسلی با PM_{10} ، $PM_{2.5}$ ، SO_2 و رطوبت نسبی را نشان می‌دهد. آزمون‌های رگرسیون نیز، رابطه عدد مولد نسلی (متغیر وابسته) با هر یک از متغیرهای مستقل PM_{10} (ضریب تعیین ۰/۲۷۴)، $PM_{2.5}$ (ضریب تعیین ۰/۳۵۸)، SO_2 (ضریب تعیین ۰/۳۵۹) و رطوبت نسبی (ضریب تعیین ۰/۲۱۳) را تأیید می‌کند. یافته‌ها حاکی از آن است که، افزایش PM_{10} ، $PM_{2.5}$ ، SO_2 و کاهش رطوبت نسبی، همراه با افزایش شیوع کووید-۱۹ بوده است.

کلیدواژه‌ها: عدد مولد نسلی، آلودگی هوا، ذرات معلق، همه‌گیری.

۱- مقدمه

بیماری کووید-۱۹ از دسامبر ۲۰۱۹ در چین گسترش یافته (لو^۱ و همکاران، ۲۰۲۰؛ زو^۲ و همکاران، ۲۰۲۰ ب) و پس از مدتی در ۱۱ مارس ۲۰۲۰ به یک بیماری همه‌گیر در گستره جهانی تبدیل شد (گیلبرت^۳ و همکاران، ۲۰۲۰؛ سهرابی^۴ و همکاران، ۲۰۲۰). وزارت بهداشت ایران نخستین ابتلا به کووید-۱۹ در این کشور را ۱۹ فوریه ۲۰۲۰ اعلام کرد، که در حدود سه هفته بعد، یعنی در ۱۶ مارس ۲۰۲۰، تمام استان‌های کشور به کووید-۱۹ درگیر شدند. سازمان ملل متحد این بیماری را بحران اقتصادی اجتماعی و انسانی توصیف کرده است (سازمان ملل متحد، ۲۰۲۰). عامل این بیماری، ویروس SARS-CoV-2 است (گوربالنیا^۵ و همکاران، ۲۰۲۰)، که با فعالیت‌هایی نظیر «تنفس، عطسه، سرفه، صحبت کردن و آواز خواندن»، همراه با ترشحات از بدن فرد آلوده خارج می‌شود. این ترشحات آلوده از طریق «تنفس، لمس و رسوب» و از مجاری «دهان، بینی یا چشم»، فرد سالم را آلوده می‌کنند (هوانگ^۶ و همکاران، ۲۰۲۰؛ سازمان بهداشت جهانی، ۲۰۲۰).

عوامل هواشناسی، اقلیم و آلاینده‌های هوا می‌توانند بر آسیب‌پذیری و شیوع کووید-۱۹ تأثیر بگذارند (ژو^۷ و همکاران، ۲۰۲۰؛ زوران^۸ و همکاران، ۲۰۲۰؛ بشیر^۹ و همکاران، ۲۰۲۰). ژو و همکاران (۲۰۲۰)، رابطه بین قرار گرفتن

-
- 1 Lu
 - 2 Xu, b
 - 3 Gilbert
 - 4 Sohrabi
 - 5 United Nations
 - 6 Gorbalenya
 - 7 Huang
 - 8 WHO
 - 9 Zhu
 - 10 Zoran
 - 11 Bashir

کوتاه‌مدت در معرض آلاینده‌های هوا با موارد ابتلا به کووید-۱۹ را در چین مورد مطالعه قرار دادند و مشخص کردند افزایش آلاینده‌های $PM_{2.5}$ ، CO ، O_3 ، NO_2 و PM_{10} موجب افزایش شیوع کووید-۱۹ شده است. وو^۱ و همکاران (۲۰۲۰)، افزایش یک میکروگرم بر مترمکعب به میانگین $PM_{2.5}$ را موجب افزایش ۱۱٪ مرگ‌ومیر ناشی از کووید-۱۹ گزارش نمودند. چاکرابارتی^۲ و همکاران (۲۰۲۰)، ارتباط بین «قرار گرفتن بلندمدت در معرض آلودگی هوا» و «گسترش کووید-۱۹» را در ایالات متحده بر پایه عدد مولد نسلی پایه (R0) بررسی نموده و نشان دادند که افزایش یک میکروگرم بر مترمکعب $PM_{2.5}$ با افزایش ۰/۲۵ مقدار R0 مرتبط است (چاکرابارتی و همکاران، ۲۰۲۰). مطالعه انجام شده در شهر دهلی، رابطه منفی بین شیوع کووید-۱۹ با CO ، SO_2 ، NO_2 و رطوبت نسبی را نشان داده است در حالی که با O_3 و دما رابطه مثبت داشته است (دوتا و دوتا^۳، ۲۰۲۱). زو^۴ و همکاران (۲۰۲۰ الف)، ارتباط AQI (شاخص کیفیت هوا) با شیوع کووید-۱۹ را در چندین شهر چین تأیید کردند (زو و همکاران، ۲۰۲۰ الف). همچنین در مطالعه‌ای مشابه در پایتخت تایلند، بین شیوع کووید-۱۹ با رطوبت نسبی، رطوبت مطلق، دما و سرعت باد همبستگی مثبت و با $PM_{2.5}$ ، CO ، O_3 ، SO_2 ، NO_2 و PM_{10} و AQI همبستگی منفی دیده شده است (سانگخام^۵ و همکاران، ۲۰۲۱). لین^۶ و همکاران (۲۰۲۰)، همبستگی مثبت CO و رطوبت نسبی با عدد مولد نسلی پایه کووید-۱۹ را تأیید کردند. همچنین همبستگی منفی NO_2 ، فشار هوا، سرعت باد و دما با عدد مولد نسلی پایه کووید-۱۹ را معنی‌دار اعلام نمودند (لین و همکاران، ۲۰۲۰). مطالعه زوران و همکاران (۲۰۲۰) در منطقه‌ای از شهر میلان در ایتالیا، بین شیوع کووید-۱۹ با رطوبت نسبی هوا و بارش همبستگی منفی و با دما همبستگی مثبت دیده شده است.

نتایج مطالعات پیشین، در مواردی چون «نوع ارتباط (منفی یا مثبت)، میزان ارتباط و تأیید یا رد رابطه»، شباهت‌ها و تفاوت‌هایی با هم دارند. گاهی این تفاوت‌ها موجب ایجاد تناقض می‌شود. مثلاً رابطه مثبت کووید-۱۹ با NO_2 در مطالعات ژو و همکاران (۲۰۲۰) و آریسا و لاسکیوز و ملیا لارا^۷ (۲۰۲۰) و نیز رابطه منفی آن‌ها در مطالعات دوتا و دوتا (۲۰۲۱)، سانگخام و همکاران (۲۰۲۱)، لین و همکاران (۲۰۲۰)، زوران و همکاران (۲۰۲۰) بحث‌برانگیز است. در مدل‌سازی و مدیریت همه‌گیری کووید-۱۹، می‌بایست روابط بین «هواشناسی و آلودگی هوا با بیماری» را لحاظ نمود (لین و همکاران، ۲۰۲۰). به‌طوری‌که محققان، کاهش اثرات کووید-۱۹ را مستلزم پژوهش‌هایی با مضمون «روابط کیفیت هوا با کووید-۱۹» می‌دانند (ژو و همکاران، ۲۰۲۰؛ وو و همکاران، ۲۰۲۰؛ کومار و کومار^۸، ۲۰۲۰؛ پین^۹ و همکاران، ۲۰۲۰؛ دوگان

1 Wu

2 Chakrabarty

3 Dutta & Dutta

4 Xu, a

5 Sangkham

6 Lin

7 Arias Velásquez & Mejía Lara

8 Kumar & Kumar

9 Pani

او همکاران، ۲۰۲۰). برخی مطالعات مانند ژو و همکاران (۲۰۲۰)، وو و همکاران (۲۰۲۰) و آریسا و لاسکیوز و ملیا لارا (۲۰۲۰) برای تکمیل نتایج و غلبه بر محدودیت‌ها، نیاز به پژوهش‌های بیشتر در زمینه «رابطه کووید-۱۹ و کیفیت هوا» را اذعان داشتند. یکی از این محدودیت‌ها، منطقه مطالعاتی است که باید به سطح جهانی برسد. از طرفی در بررسی‌های انجام شده، مطالعه‌ای در باب «رابطه بین کووید-۱۹ و کیفیت هوا در ایران» دیده نمی‌شود. لذا مطالعه حاضر، رابطه شاخص کیفیت هوا (AQI) و عوامل هواشناسی با شیوع کووید-۱۹ در استان تهران مورد بررسی قرار داده است.

۲- مواد و روش

۲-۱- محدوده مکانی و زمانی مطالعه

پژوهش حاضر، تأثیر AQI و عوامل هواشناسی بر روی شیوع کووید-۱۹ در استان تهران را بررسی نمود. استان تهران با تراکم ۱۰۱۹/۸ نفر در هر کیلومترمربع، یکی از ۳۱ استان کشور و پایتخت ایران است. تهران، با بیش از ۱۳/۸ میلیون نفر جمعیت در سال ۲۰۱۹، پرجمعیت‌ترین و متراکم‌ترین استان کشور بود (مرکز آمار ایران، ۱۴۰۰). دوره زمانی مطالعه حاضر و مقیاس مکانی و زمانی آن، با توجه به محدودیت دسترسی به داده‌های کووید-۱۹ انتخاب شده است. اقدامات مقابله با کووید-۱۹ می‌تواند با کاهش تحرک جمعیت و مسافرت، شیوع کووید-۱۹ را کاهش دهد (کرامر و همکاران، ۲۰۲۰). لذا دوره زمانی مطالعه حاضر، پس از گذشت چندین هفته از اقدامات مقابله با کووید-۱۹، یعنی از ۱۱ آوریل ۲۰۲۰ شروع شد، تا اثر پویایی جمعیت را کاهش داده و از سوگیری اشتباه جلوگیری کند. چاکربارتی و همکاران (۲۰۲۰) نیز دوره مطالعه خود را در زمان اجرای فاصله‌گذاری اجتماعی انجام دادند تا مداخله فعالیت‌های اجتماعی را به حداقل برسانند. انتهای دوره زمانی مطالعه حاضر، ۱۳ نوامبر ۲۰۲۰ مشخص شد. همچنین مکان و زمان مطالعه در مقیاس استانی و هفتگی منظور شد.

۲-۲- جمع‌آوری داده

کمیته اپیدمیولوژیک وزارت بهداشت ایران، سرعت گسترش کووید-۱۹ در هر استان را با شاخص عدد مولد نسلی (R) بررسی نموده و با مقیاس زمانی هفتگی گزارش کرد. عدد مولد نسلی، یک شاخص در علم همه‌گیرشناسی است و برابر است با میانگین تعداد افرادی که عامل بیماری‌زا را از یک فرد دریافت می‌نماید. بر اساس شاخص R، سه احتمال برای گسترش یا کاهش بیماری وجود دارد. اگر R، بزرگ‌تر از یک باشد، یعنی بیماری در حال گسترش است. اگر R، مساوی یک باشد، یعنی بیماری به ثبات نسبی رسیده است (به حالت آندمیک یا بومی درآمده است). اگر R، کوچک‌تر از یک باشد، یعنی بیماری در حال کاهش است (توکلی و همکاران، ۱۳۹۸؛ چاکربارتی و همکاران،

۲۰۲۰). مطالعه حاضر، شاخص R را به عنوان نرخ شیوع کووید-۱۹، از تارنمای وزارت بهداشت ایران (<https://behdasht.gov.ir>) دریافت و استفاده نمود.

برخی کشورها مانند ایران و آمریکا، میزان آلودگی هوا را با شاخصی به نام AQI اطلاع رسانی می کنند. مقادیر AQI می تواند در دامنه صفر تا ۵۰۰ باشد (یوسفی^۱ و همکاران، ۲۰۱۹). سازمان حفاظت محیط زیست ایران، با استفاده از داده های ایستگاه های پایش آلودگی هوا در سراسر کشور، میزان آلودگی هوا را با شاخص AQI به صورت روزانه گزارش می کند. این سازمان، شاخص AQI را برای هر کدام از آلاینده های NO_2 ، SO_2 ، O_3 ، CO ، $PM_{2.5}$ و PM_{10} تهیه می کند. از بین آلاینده های مذکور، بالاترین مقدار را به عنوان آلاینده معیار معرفی می کند. مطالعه حاضر، داده های AQI مربوط به NO_2 ، SO_2 ، O_3 ، CO ، $PM_{2.5}$ ، PM_{10} و آلاینده معیار را از تارنمای سازمان حفاظت محیط زیست ایران (<https://aqms.doe.ir>) دریافت نمود. داده های AQI مذکور، از ۴۷ ایستگاه در ۱۴ شهرستان از استان تهران بود. همچنین عوامل هواشناسی دما، رطوبت نسبی، سرعت باد، فشار هوا و میزان بارندگی را از سازمان هواشناسی ایران در بستر بر خط (<https://data.irimo.ir>) دریافت نمود. داده های هواشناسی مذکور، از ۱۳ ایستگاه در استان تهران بود.

۲-۳- تحلیل آماری

برای آگاهی از وجود، شدت و جهت وابستگی بین متغیرها، ضریب همبستگی بین آن ها بررسی شد. متغیرهای مذکور شامل NO_2 ، SO_2 ، O_3 ، CO ، $PM_{2.5}$ ، PM_{10} ، آلاینده معیار، دما، رطوبت نسبی، سرعت باد، فشار هوا، بارش و عدد مولد نسلی بود. در این مطالعه، از دو ضریب همبستگی پیرسون و اسپیرمن استفاده شد. این روش در مطالعات پیشین نیز به کار رفته است (دوگان و همکاران، ۲۰۲۰؛ لین و همکاران، ۲۰۲۰؛ زوران و همکاران، ۲۰۲۰). آزمون های همبستگی به صورت دو دنباله و در سطح اطمینان ۹۵٪ و ۹۹٪ انجام شد. ضریب همبستگی پیرسون، وابستگی خطی دو متغیر نرمال را نشان می دهد، که فرمول آن در رابطه (۱) تعریف شد:

$$r = \frac{\sum_i (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{(\sum_i (X_i - \bar{X})^2) \sum_i (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در این رابطه: r ضریب همبستگی پیرسون، \bar{X} و \bar{Y} نیز به ترتیب میانگین مشاهدات X و Y هستند. پیرسون، یک آزمون پارامتری است و با داده های نرمال کار می کند، که وابستگی خطی دو متغیر را نشان می دهد. با توجه به عدم بهنجاری برخی داده ها، برای اطمینان بیش تر، ضریب همبستگی اسپیرمن نیز بررسی شد. اسپیرمن، یک آزمون ناپارامتری است که وابستگی یکنواخت دو متغیر رتبه ای را نشان می دهد. فرمول اسپیرمن در رابطه (۲) تعریف شد:

$$rs = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n^3 - n} \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در این رابطه: IS ضریب همبستگی اسپیرمن، n تعداد مشاهدات و d تفاوت رتبه‌ها است. در ضمن داده‌های مطالعه به صورت کمی بود، که در رابطه بالا به صورت رتبه‌ای در نظر گرفته شد.

سپس برای تعیین میزان و نحوه رابطه متغیرها (شاخص کیفیت هوا و عوامل هواشناسی) با شاخص R ، از آزمون‌های رگرسیون استفاده شد. آزمون رگرسیون امکان بررسی چند متغیر مستقل در یک رابطه را میسر می‌سازد، اما کوچک بودن حجم نمونه و خودهمبستگی در خطاها، موجب شد که هر متغیر مستقل در یک مدل مجزا بررسی شود. طبق رابطه (۳) به ازای K متغیر مستقل در یک مدل رگرسیون، حداقل به تعداد N داده نیاز است (گرین^۱، ۱۹۹۱). البته برخی پژوهشگران، حداقل تعداد ۱۰ نمونه و در وضعیت مطلوب ۴۰ نمونه را برای هر متغیر مستقل در رگرسیون پیشنهاد می‌کنند (براس^۲ و همکاران، ۲۰۱۲؛ کیانی^{۱۳۹۳}). آزمون دوربین واتسون (Durbin-Watson) در رگرسیون‌های خطی چندگانه، عدم استقلال خطاها را نشان داد. استفاده از جدول مقادیر بحرانی دوربین واتسون، خودهمبستگی مثبت را بیان کرد. یکی از مفروضه‌های رگرسیون خطی، مستقل بودن باقی‌مانده‌ها (خطاها) است که در صورت نقض، مدل با مشکل مواجه می‌شود؛ قرار گرفتن داده‌ها در یک بازه زمانی، اغلب موجب نقض این فرض می‌شود (قودجانی، ۱۳۹۴). در ضمن بین متغیرهای مستقل نیز، همبستگی برقرار بود، اما عامل تورم واریانس (Variance Inflation Factor/VIF) و میزان تحمل (Tolerance) نگران‌کننده نبود. مقادیر آماره VIF کوچک‌تر و مساوی عدد سه و میزان تحمل نیز بزرگ‌تر از ۰/۱ بود. در صورتی که آماره میزان تحمل کوچک‌تر از ۰/۱ باشد، مشکل آفرین است و اگر مقادیر VIF در بازه یک تا ۱۰ باشد، هم خطی ضعیف است و می‌توان از آن چشم‌پوشی نمود (گولدر و گولدر^۳، ۲۰۱۰؛ کیانی^{۱۳۹۳}). به هر حال موارد یاد شده، موجب تحلیل هر متغیر کیفیت هوا در یک رگرسیون مجزا شد.

$$N \geq 8K + 50 \quad \text{رابطه (۳)}$$

در مطالعه ژو و همکاران (۲۰۲۰) نیز به علت وجود هم‌خطی چندگانه بین متغیرهای مستقل، از مدل‌های تک‌آلاینده برای بررسی رابطه کووید-۱۹ و کیفیت هوا استفاده شد. برخی مطالعات پیشین نیز، فقط یک آلاینده هوا را در رابطه با کووید-۱۹ بررسی نمودند (وو و همکاران، ۲۰۲۰؛ چاکرابارتی و همکاران، ۲۰۲۰). مطالعات پیشین، با توجه به شرایط، از روش‌های مختلفی برای بررسی رابطه مورد نظر استفاده نمودند. مطالعه حاضر نیز روابط خطی و غیر خطی را به نحوی بررسی نمود. اثر آلودگی هوای یک روز می‌تواند تا چند روز آینده دوام داشته باشد (یانگ^۴ و همکاران، ۲۰۲۰). همچنین از زمان ورود ویروس SARS-CoV-2 به بدن تا ظهور نشانه‌های کووید-۱۹، چند روز به

1 Green
2 Brace
3 Golder & Golder
4 Yang

طول می‌انجامد. به همین دلیل، ژو و همکاران (۲۰۲۰) و زی و ژو^۱ (۲۰۲۰)، تأثیر کیفیت هوا بر شیوع کووید-۱۹ را در تأخیرهای (۷-۰)، (۱۴-۰) و (۲۱-۰) روزه محاسبه نمودند. از طرفی، تأخیر تأثیر متغیرهای کیفیت هوا بر شیوع کووید-۱۹ برای (۳-۰) روز در مطالعه زو و همکاران (۲۰۲۰ الف) و برای (۲-۰) روز در مطالعه دوگان و همکاران (۲۰۲۰) تأیید شد. با توجه به موارد فوق، مقیاس زمانی مطالعه حاضر به صورت هفتگی در نظر گرفته شده است.

در بررسی رابطه کووید-۱۹ و کیفیت هوا، توصیه شده است که مداخله‌گرهای بالقوه مانند جمعیت را باید در نظر گرفت (دوتا و دوتا، ۲۰۲۱؛ رانکل^۲ و همکاران، ۲۰۲۰). در برخی مطالعات پیشین عوامل مداخله‌گر بالقوه مانند جمعیت بررسی شده است (ژو و همکاران، ۲۰۲۰؛ چاکرابارتی و همکاران، ۲۰۲۰).. داده‌های مطالعه حاضر، فقط شامل یک مقطع (استان تهران) بود، لذا قادر به بررسی متغیرهای مداخله‌گر بالقوه مانند جمعیت نبود، چراکه مقدار متغیر جمعیت برای همه مشاهدات، یکسان است. مطالعه دوتا و دوتا (۲۰۲۱) نیز در یک مقطع انجام شد و مداخله‌گرهایی مانند جمعیت و عوامل اقتصادی-اجتماعی را در نظر نگرفته است. حتی مطالعه رانکل و همکاران (۲۰۲۰) که در چند مقطع انجام شده است تأثیر مداخله‌گرها را در نظر نگرفته‌اند.

با توجه به نمودار پراکندگی متغیرها و ضریب همبستگی در مطالعه حاضر، مدل‌های خطی و غیرخطی پیش‌بینی شد. آزمون‌های پیرسون و اسپیرمن، به ترتیب می‌توانند حاکی از خطی یا غیرخطی بودن روابط باشند. رگرسیون‌های خطی (Linear) و انحنایی (Curve Estimation) برای متغیر وابسته عدد مولد نسلی (R) و هر یک از متغیرهای مستقل کیفیت هوا آزمون شد. در تحلیل رگرسیون انحنایی، تعداد نه مدل (لگاریتمی، معکوس، سهمی، درجه سه، توانی، مرکب، منحنی S، رشد و نمایی) بررسی شد. سپس با توجه به «معنی‌داری آماری و آماره F، خطای استاندارد برآورد و ضریب تعیین رگرسیون»، بهترین مدل برازش شد. البته برای رگرسیون خطی، پیش‌فرض‌های آن نیز بررسی شد. مدل‌های برازش شده به شرح زیر است (روابط ۴ و ۵):

$$R = b_0 + (b_1 \times \text{Log}(X)) + \varepsilon \quad \text{رابطه (۴): مدل لگاریتمی}$$

$$R = e^{b_0 + (b_1/X)} + \varepsilon \quad \text{رابطه (۵): منحنی S}$$

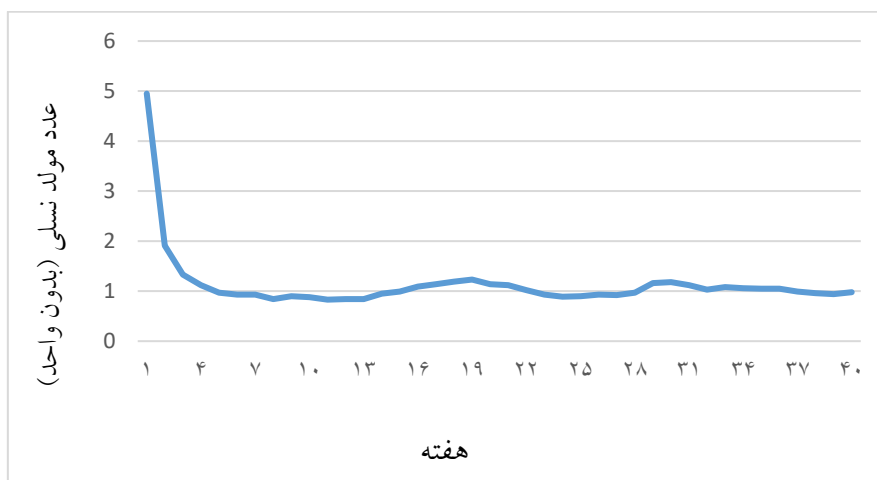
که در این رابطه، R عدد مولد نسلی کووید-۱۹ (متغیر وابسته)، b_0 ضریب ثابت معادله (عرض از مبدأ)، b_1 ضریب متغیر مستقل با توان یک، e عدد اویلر (Euler's Number)، Log لگاریتم، X متغیر مستقل و ε خطا است. کلیه آزمون‌های آماری در مطالعه حاضر با نسخه ۲۸/۰/۰ نرم‌افزار IBM SPSS Statistics انجام شد.

1 Xie & zhu

2 Runkle

۳- نتایج و بحث

شکل (۱)، سیر همه‌گیری کووید-۱۹ در استان تهران را از اوایل شناسایی این بیماری در ایران نشان می‌دهد. طبق شکل (۱)، مقدار R در چند هفته اول بالاتر از هفته‌های دیگر بوده است، که سریعاً کاهش یافته و حول ($R=1$) تغییر می‌کند. علت بالا بودن شاخص R در اوایل همه‌گیری می‌تواند ناشی از عدم آمادگی جامعه و مسئولان در برابر بیماری باشد. سیر نزولی R در پنج هفته نخست به صورت $۴/۹۵$ ، $۱/۹۱$ ، $۱/۳۳$ ، $۱/۱۲$ و $۰/۹۷$ بود. با توجه به گزارش‌های کمیته اپیدمیولوژیک وزارت بهداشت ایران، دلیل این کاهش سریع را می‌توان اعمال محدودیت‌های کووید-۱۹ و افزایش بهره‌وری امکانات بهداشتی و درمانی کشور دانست. همین عوامل باعث شد که دوره زمانی مطالعه حاضر، از حدود هشت هفته پس از شناسایی بیماری در کشور شروع شود؛ یعنی از هفته شماره نه تا هفته شماره ۳۹ در شکل (۱). کرامر و همکاران (۲۰۲۰) نیز اثرگذاری اقدامات مقابله با کووید-۱۹ را تأیید کردند. آمار توصیفی داده‌های مذکور، در جدول (۱) بیان شد. با توجه به آزمون کولموگروف اسمیرنوف (جدول ۱)، متغیرهای عدد مولد نسلی، آلاینده معیار، سرعت باد، رطوبت نسبی، NO_2 ، SO_2 ، O_3 ، CO و PM_{10} دارای توزیع نرمال بودند، اما متغیرهای دما، فشار هوا، بارش و $PM_{2.5}$ فاقد توزیع نرمال بودند.



شکل ۱- تغییرات عدد مولد نسلی استان تهران در ۴۰ هفته نخست همه‌گیری

جدول ۱- آمار توصیفی داده‌های استان تهران در مدت ۳۱ هفته

متغیرها	میانگین	بیشینه	کمینه	انحراف معیار	Kolmogorov-Smirnov (p-value)
عدد مولد نسلی *	۱/۰۰۸	۱/۲۳	۰/۸۳	۰/۱۱	۰/۲
آلاینده معیار *	۸۰/۲۵۴	۱۱۴/۸۴۸	۶۰/۱۹۷	۱۳/۷	۰/۲
سرعت باد (متر بر ثانیه)	۲/۶۰۵	۳/۵۵۷	۱/۶۸	۰/۵	۰/۲

متغیرها	میانگین	بیشینه	کمینه	انحراف معیار	Kolmogorov-Smirnova (p-value)
دما (سانتی‌گراد)	۲۱/۲۹	۳۰/۱۷۳	۹/۴۸۲	۵/۷	۰/۰۷۳
فشار هوا (هکتو پاسکال)	۸۴۲/۱۰۸	۸۵۴/۱۰۹	۸۳۰/۶۸۵	۸/۱	۰/۰۰۵
بارش (میلی‌متر)	۰/۴۴۶	۲/۶۱۴	۰	۰/۸	>۰/۰۰۱
رطوبت نسبی (درصد)	۳۵/۶۵۸	۶۶/۱۸۱	۱۸/۱	۱۱/۷	۰/۲
CO *	۲۸/۸۶۶	۳۸/۰۷۱	۲۱/۳۹۳	۳/۵	۰/۲
O ₃ *	۴۵/۹۲	۷۵/۲۰۳	۱۶/۸۹۸	۱۴/۳	۰/۲
NO ₂ *	۴۹/۷۱۶	۷۵/۵۲۱	۳۱/۸۹۵	۱۱/۵	۰/۲
SO ₂ *	۲۹/۸۴۵	۴۴/۷۷۱	۲۳/۰۸۹	۴/۶	۰/۲
PM ₁₀ *	۵۸/۰۱۹	۷۲/۸۱	۳۰/۸۱	۷/۹	۰/۲
PM _{2.5} *	۸۴/۴۱۲	۱۲۳/۷۷۵	۶۵/۴۳۹	۱۴/۸	۰/۱۲۷

* بدون واحد

نتایج آزمون‌های همبستگی (جدول ۲ و ۳)، وابستگی مثبت شاخص R با متغیرهای آلودگی هوا (آلاینده معیار، NO₂، SO₂، O₃، CO، PM_{2.5}، PM₁₀) و دما و فشار هوا را در استان تهران نشان داد. همچنین، وابستگی منفی شاخص R با متغیرهای سرعت باد، بارش و رطوبت نسبی را بیان نمود. البته فقط همبستگی شاخص R با SO₂، PM_{2.5}، PM₁₀ و رطوبت نسبی، از نظر آماری معنی‌دار بود. شدت وابستگی شاخص R با متغیرهای معنی‌دار مذکور، در هر دو آزمون پیرسون و اسپیرمن به صورت $PM_{10} < SO_2 < PM_{2.5}$ رطوبت نسبی بود. متغیرهای کیفیت هوا در مطالعه حاضر با یکدیگر همبستگی داشتند، که در موارد متعدد، با شدت وابستگی بالا در سطح معنی‌دار ۹۹٪ یا ۹۵٪ تأیید شد. به‌عنوان مثال، همبستگی منفی رطوبت نسبی با PM₁₀ و SO₂ معنی‌دار بود. همچنین همبستگی منفی سرعت باد با NO₂، SO₂، CO و PM_{2.5} تأیید شد. محققین، عوامل هواشناسی را با میزان آلاینده‌های هوا مرتبط می‌دانند، تا حدی که گاهی آلودگی هوا را با استفاده از داده‌هایی مانند دما، سرعت باد و رطوبت پیش‌بینی می‌کنند (فرهادی و همکاران، ۱۴۰۰). نتایج دوگان و همکاران (۲۰۲۰) مانند مطالعه حاضر، همبستگی مثبت شیوع کووید-۱۹ با PM_{2.5} را بیان کرد. درحالی‌که علامت وابستگی شیوع کووید-۱۹ با دما و رطوبت نسبی در مطالعه دوگان و همکاران (۲۰۲۰)، مشابه نتایج مطالعه حاضر نبود.

جدول ۲- ماتریس همبستگی متغیرها (پیرسون)

متغیرها	رطوبت نسبی	بارش	فشار هوا	دما	سرعت باد	آلاینده معیار	عدد مولد نسلی
عدد مولد نسلی							۱
آلاینده معیار						۱	۰/۳۵۵

متغیرها	عدد مولد نسلی	آلاینده معیار	سرعت باد	دما	فشار هوا	بارش	رطوبت نسبی
سرعت باد	-۰/۱۸۶	-۰/۵۴۳**	۱				
دما	۰/۲۷۳	۰/۴۲۸*	۰/۲۹۱	۱			
فشار هوا	۰/۱۲۳	۰/۰۲۷	-۰/۶۸۱**	-۰/۳۴۲	۱		
بارش	-۰/۳۰۷	-۰/۰۲۱	۰/۱۵۶	-۰/۱۶۸	۰/۰۷۶	۱	
رطوبت نسبی	-۰/۴۵۷*	-۰/۳۹۵	۰/۱۵۶	-۰/۶۲۹**	-۰/۰۰۸	۰/۴۲۶*	۱
CO	۰/۳۴۴	۰/۴۰۳*	-۰/۴۶۸*	-۰/۰۵۷	۰/۴۱۳*	۰/۰۰۹	-۰/۲۷۰
O ₃	۰/۱۰۳	۰/۴۲۵*	۰/۳۰۶	۰/۶۹۴**	-۰/۴۹۹**	-۰/۱۱۱	-۰/۲۹۴
NO ₂	۰/۲۹۸	۰/۴۳۶*	-۰/۶۵۳**	۰/۲۲۷	۰/۷۱۳**	-۰/۲۳۱	-۰/۳۱۹
SO ₂	۰/۵۶۰**	۰/۴۵۱*	-۰/۴۳۴*	۰/۳۹۶*	۰/۳۳۰	-۰/۳۳۱	-۰/۷۱۶**
PM ₁₀	۰/۵۰۴**	۰/۵۰۱**	-۰/۲۵۵	۰/۲۵۲	۰/۱۴۶	-۰/۰۶۱	-۰/۵۰۴**
PM _{2.5}	۰/۵۷۵**	۰/۷۳۴**	-۰/۴۳۷*	۰/۰۶۷	۰/۲۱۷	-۰/۱۵۴	-۰/۲۸۸

*. همبستگی در سطح اطمینان ۹۵٪ معنی دار است (دو دنباله).

** همبستگی در سطح اطمینان ۹۹٪ معنی دار است (دو دنباله).

ادامه جدول ۲- ماتریس همبستگی متغیرها (پیرسون)

متغیرها	CO	O ₃	NO ₂	SO ₂	PM ₁₀	PM _{2.5}
CO	۱					
O ₃	-۰/۲۶۶	۱				
NO ₂	۰/۴۱۱*	۰/۱۲۱	۱			
SO ₂	۰/۴۷۵*	۰/۰۳۳	۰/۵۴۵**	۱		
PM ₁₀	۰/۳۴۹	۰/۰۰۳	۰/۳۱۵	۰/۶۹۴**	۱	
PM _{2.5}	۰/۶۵۱**	-۰/۰۲۴	۰/۳۳۶	۰/۵۲۴**	۰/۵۵۴**	۱

جدول ۳- ماتریس همبستگی متغیرها (اسپیرمن)

متغیرها	عدد مولد نسلی	آلاینده معیار	سرعت باد	دما	فشار هوا	بارش	رطوبت نسبی
عدد مولد نسلی	۱						
آلاینده معیار	۰/۲۹۶	۱					
سرعت باد	-۰/۲۴۳	-۰/۵۳۹**	۱				
دما	۰/۱۶۴	۰/۳۷۳	۰/۲۸۰	۱			
فشار هوا	۰/۰۹۲	-۰/۰۳۲	-۰/۶۴۶**	-۰/۴۱۱*	۱		
بارش	-۰/۲۵۴	۰/۱۴۷	۰/۲۰۱	۰/۰۲۸	-۰/۰۷۳	۱	
رطوبت نسبی	-۰/۴۲۴*	-۰/۳۲۲	۰/۱۹۴	-۰/۵۹۶**	۰/۰۴۹	۰/۴۵۹*	۱
CO	۰/۳۳۸	۰/۳۸۱	-۰/۴۶۲*	-۰/۰۲۴	۰/۳۸۴*	-۰/۱۵۰	-۰/۲۳۵

متغیرها	عدد مولد نسلی	آلاینده معیار	سرعت باد	دما	فشار هوا	بارش	رطوبت نسبی
O ₃	۰/۰۱۹	۰/۳۸۲	۰/۲۸۲	۰/۷۳۱**	-۰/۴۳۸*	۰/۱۴۸	-۰/۲۶۳
NO ₂	۰/۳۵۹	۰/۴۵۲*	-۰/۶۲۷**	۰/۲۰۷	۰/۶۵۱**	-۰/۳۷۸	-۰/۲۹۵
SO ₂	۰/۵۲۸**	۰/۳۴۳	-۰/۳۵۶	۰/۳۹۶*	۰/۳۰۹	-۰/۴۶۶*	-۰/۶۱۷**
PM ₁₀	۰/۴۸۳**	۰/۴۱۹*	-۰/۲۳۲	۰/۱۴۷	۰/۱۳۲	-۰/۰۴۸	-۰/۳۴۳
PM _{2.5}	۰/۵۶۱**	۰/۶۹۸**	-۰/۴۸۸**	-۰/۰۲۱	۰/۲۴۷	-۰/۰۱۴	-۰/۲۵۸

*. همبستگی در سطح اطمینان ۹۵٪ معنی دار است (دو دنباله).

**. همبستگی در سطح اطمینان ۹۹٪ معنی دار است (دو دنباله).

ادامه جدول ۳- ماتریس همبستگی متغیرها (اسپیرمن)

متغیرها	CO	O ₃	NO ₂	SO ₂	PM ₁₀	PM _{2.5}
CO	۱					
O ₃	-۰/۳۰۵	۱				
NO ₂	۰/۴۷۴*	۰/۱۲۳	۱			
SO ₂	۰/۴۸۱*	۰/۰۳۰	۰/۵۶۵**	۱		
PM ₁₀	۰/۳۴۴	-۰/۰۹۴	۰/۳۸۳*	۰/۷۱۱**	۱	
PM _{2.5}	۰/۶۵۹**	-۰/۰۹۳	۰/۳۸۹*	۰/۴۸۲*	۰/۵۰۱**	۱

ضریب همبستگی پیرسون در بین متغیرهای R با SO₂، PM_{2.5}، PM₁₀ و رطوبت نسبی تا حدی شدیدتر از ضریب اسپیرمن آن بود. با این حال از نمودارهای پراکندگی شاخص R با SO₂، PM_{2.5}، PM₁₀ و رطوبت نسبی، با اطمینان نمی‌شد خطی بودن رابطه را پیش‌بینی کرد. از طرفی برخی مدل‌های خطی در مطالعه از پیش‌فرض‌های این رگرسیون، مانند استقلال باقی‌مانده‌ها، پیروی نمی‌کردند. لذا رگرسیون‌های خطی و انحنایی آزمون شدند.

برای رابطه عدد مولد نسلی کووید-۱۹ با رطوبت نسبی، مدل لگاریتمی با ضریب تعیین ۰/۲۱۳ برازش شد. البته رابطه خطی نیز، بین R و رطوبت نسبی با ضریب تعیین ۰/۲۰۹ معنی دار بود، لکن عدم استقلال خطاها، موجب نقض پیش‌فرض مدل خطی شد. مدل منحنی S (S-curve) برای رابطه بین R و هر یک از آلاینده‌های PM₁₀، SO₂ و PM_{2.5} برازش شد، که ضریب تعیین آن‌ها به ترتیب ۰/۲۷۴، ۰/۳۵۹ و ۰/۳۵۸ بود. آماره مدل‌های برازش شده در جدول (۴) بیان شد. با توجه به ضریب تعیین هر یک از مدل‌ها، رطوبت نسبی، PM₁₀، PM_{2.5} و SO₂ هر کدام به ترتیب ۰/۲۱۳، ۰/۲۷۴، ۰/۳۵۸ و ۰/۳۵۹ از واریانس عدد مولد نسلی را تبیین نمودند. یعنی تأثیر متغیرهای کیفیت هوا بر شیوع کووید-۱۹، از کم به زیاد به صورت رطوبت نسبی > PM₁₀ > PM_{2.5} > SO₂ بود. میزان تأثیر SO₂ و PM_{2.5}

بر عدد مولد نسلی در ضرایب همبستگی و تحلیل رگرسیون، بسیار به هم نزدیک بود؛ این مقدار با اندکی اختلاف، در آزمون همبستگی به صورت $SO_2 < PM_{2.5}$ و در آزمون رگرسیون به صورت $SO_2 > PM_{2.5}$ بود. آزمون‌های رگرسیون، رابطه متغیرهای مستقل و وابسته را نشان می‌دهد، ولی همیشه به معنای برقراری رابطه علت و معلولی نیست. البته در برخی مطالعات می‌توان از رگرسیون، علت را برداشت نمود. با این حال در علوم طبیعی و زیستی نمی‌توان معنی‌داری آماری را نشان از رابطه علت دانست، بلکه نیاز به بررسی‌های تخصصی در آن حیطه دارد (مصدیقی، ۱۴۰۰؛ استیل^۱، ۱۹۹۷؛ زر^۲، ۲۰۱۰).

جدول ۴- آماره مدل‌های برازش شده

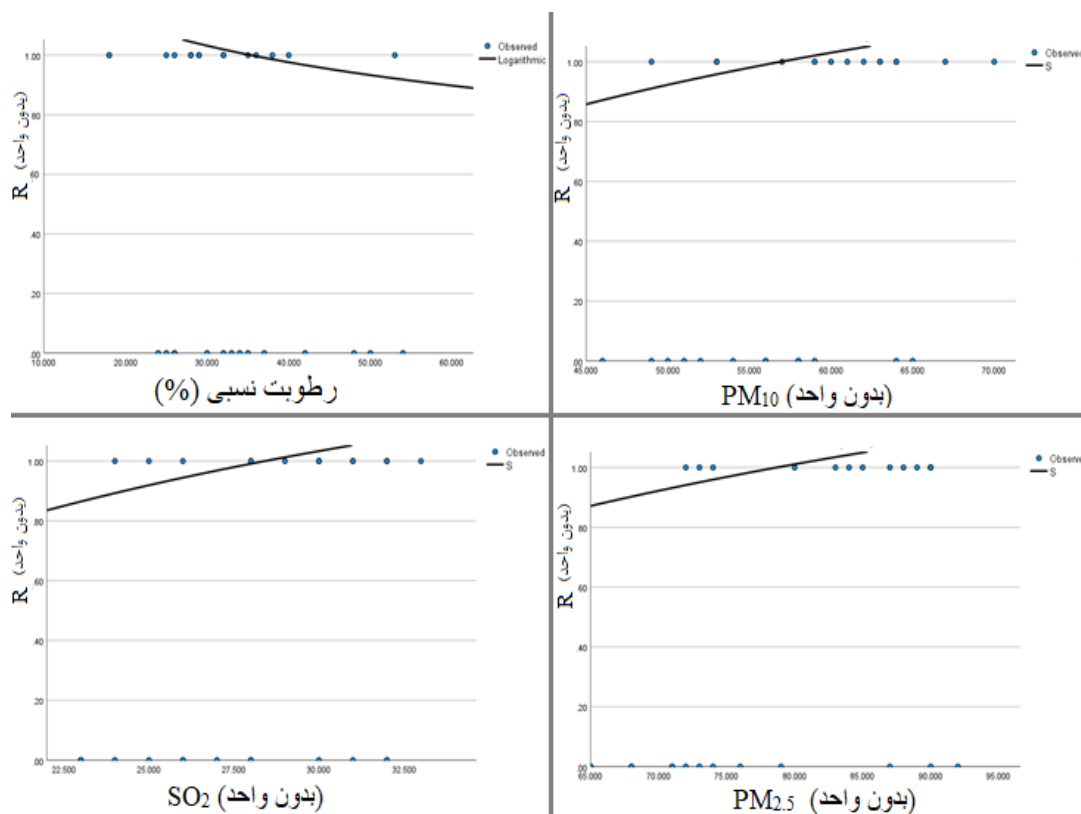
متغیر مستقل	مدل	ضریب تعیین	خطای استاندارد برآورد	درجه آزادی: (رگرسیون باقی مانده کل)	مقدار احتمال	آماره F	ضریب ثابت معادله	ضریب متغیر مستقل
رطوبت نسبی	لگاریتمی	۰/۲۱۳	۰/۱۰۴	۱ ۲۷ ۲۸	۰/۰۱۲	۷/۳۱۳	۱/۶۸۹	-۰/۱۹۳
PM ₁₀	منحنی S	۰/۲۷۴	۰/۰۹۹	۱ ۲۷ ۲۸	۰/۰۰۴	۱۰/۱۷۷	۰/۵۷۹	-۳۲/۹۵۲
SO ₂	منحنی S	۰/۳۵۹	۰/۰۹۶	۱ ۲۶ ۲۷	۰/۰۰۱>	۱۴/۵۴۵	۰/۶۱۸	-۱۷/۵۵۵
PM _{2.5}	منحنی S	۰/۳۵۸	۰/۱	۱ ۲۵ ۲۶	۰/۰۰۱>	۱۳/۹۳۳	۰/۶۵۴	-۵۱/۴۴۵

شکل (۲)، رابطه مثبت عدد مولد نسلی با SO₂، PM_{2.5} و PM₁₀ را بیان کرد و رابطه منفی عدد مولد نسلی با رطوبت نسبی را نشان داد؛ یعنی افزایش میزان آلاینده‌های SO₂، PM_{2.5} و PM₁₀ موجب افزایش شیوع کووید-۱۹ شد و افزایش رطوبت نسبی موجب کاهش شیوع کووید-۱۹ شد. با این که شکل مدل‌های برازش شده با Curve Estimation به صورت غیرخطی بود (شکل ۲)، لکن در علم آمار با عنوان مدل‌های خطی شناخته می‌شوند؛ چراکه در

1 Steel

2 Zar

این مدل، متغیر وابسته با تابعی از متغیر مستقل در ارتباط است؛ در واقع در این مدل، متغیرهای مستقل به صورت غیرخطی در معادله قرار دارند و پارامترها (ضرایب رگرسیون) به صورت خطی؛ حال آنکه در مدل‌های غیرخطی، پارامترها به صورت غیرخطی در رگرسیون حضور دارند (قودجانی، ۱۳۹۴).



شکل ۲- رابطه عدد مولد نسلی با هر یک از متغیرهای PM_{10} ، $PM_{2.5}$ ، SO_2 و رطوبت نسبی

رابطه $PM_{2.5}$ با شیوع کووید-۱۹ در مطالعه حاضر، مشابه سه مطالعه پیشین (ژو و همکاران، ۲۰۲۰؛ چاکرابارتی و همکاران، ۲۰۲۰؛ دوگان و همکاران، ۲۰۲۰) و بر خلاف مطالعه سانگخام و همکاران (۲۰۲۱)، مثبت بود. رابطه PM_{10} و شیوع کووید-۱۹ در مطالعه حاضر، مشابه دو مطالعه پیشین (ژو و همکاران، ۲۰۲۰؛ آریسا و لاسکیوز و ملیا لارا، ۲۰۲۰) و بر خلاف مطالعه سانگخام و همکاران (۲۰۲۱)، مثبت بود. رابطه SO_2 با شیوع کووید-۱۹ در مطالعه حاضر، بر خلاف سه مطالعه پیشین (ژو و همکاران، ۲۰۲۰؛ دوتا و دوتا، ۲۰۲۱؛ سانگخام و همکاران، ۲۰۲۱)، مثبت بود. در مطالعه حاضر، رابطه CO ، O_3 ، NO_2 و آلاینده معیار با شیوع کووید-۱۹ تأیید نشد؛ در حالی که برخی مطالعات (ژو و همکاران، ۲۰۲۰؛ دوتا و دوتا، ۲۰۲۱؛ سانگخام و همکاران، ۲۰۲۱؛ آریسا و لاسکیوز و ملیا لارا، ۲۰۲۰)، روابط مذکور را تأیید کردند. رابطه رطوبت نسبی با شیوع کووید-۱۹ در مطالعه حاضر، مشابه سه مطالعه پیشین (دوتا و دوتا، ۲۰۲۱؛ آریسا و لاسکیوز و ملیا

لارا، ۲۰۲۰؛ زو و همکاران، ۲۰۲۰ الف؛ زوران و همکاران، ۲۰۲۰) و بر خلاف پنج مطالعه پیشین (دوتا و دوتا، ۲۰۲۱؛ سانگخام و همکاران، ۲۰۲۱؛ لین و همکاران، ۲۰۲۰؛ کومار و کومار، ۲۰۲۰؛ پین و همکاران، ۲۰۲۰)، منفی بود. رابطه دما، بارش، فشار هوا و سرعت باد با شیوع کووید-۱۹ در مطالعه حاضر تأیید نشد؛ اما در برخی مطالعات پیشین (زوران و همکاران، ۲۰۲۰؛ لین و همکاران، ۲۰۲۰؛ پین و همکاران، ۲۰۲۰) تأیید شد.

آلاینده‌های هوا به‌عنوان عامل تضعیف‌کننده سیستم ایمنی بدن و نیز انتقال‌دهنده عوامل بیماری‌زا، می‌تواند خطر بیماری‌های تنفسی مانند کووید-۱۹ را افزایش دهند (بیکر و سوکوپ، ۱۹۹۹؛ کای و همکاران، ۲۰۰۷؛ زی و همکاران، ۲۰۱۹؛ ژو و همکاران، ۲۰۲۰). باین‌وجود، برخی مطالعات رابطه منفی برخی آلاینده‌ها با شیوع کووید-۱۹ را گزارش نمودند (لین و همکاران، ۲۰۲۰؛ زوران و همکاران، ۲۰۲۰). همچنین برخی مطالعات مانند ژو و همکاران (۲۰۲۰)، برای روشن شدن علت رابطه منفی آلاینده هوا با شیوع کووید-۱۹، انجام آزمایش‌های زیست‌شناسی را پیشنهاد دادند. لذا علامت رابطه متغیرهای کیفیت هوا با شیوع کووید-۱۹، هنوز بحث‌برانگیز است.

بررسی اثر کیفیت هوا در سطح فردی کار دشواری است و همین عامل، موجب تحقیق نمونه‌های گروهی (مثلاً شهر یا استان یا منطقه) در این زمینه می‌شود. تحلیل در سطح گروه، می‌تواند موجب مغالطه بوم‌شناختی شود؛ یعنی نتایج تحلیل گروهی را نمی‌توان، همیشه برای تمام افراد یک گروه، صحیح دانست. باین‌حال مطالعات در سطح گروه، می‌تواند در درک بیماری کووید-۱۹ کمک کند (لین و همکاران، ۲۰۲۰). لذا نتایج مطالعه حاضر ممکن است در سطح فردی، صحیح نباشد؛ اما معنی‌داری آن‌ها در سطح استان تهران تأیید شد.

۴- جمع‌بندی

مطالعه حاضر، ارتباط مثبت آلاینده‌های $PM_{2.5}$ ، PM_{10} و SO_2 و ارتباط منفی رطوبت نسبی با عدد مولد نسلی کووید-۱۹ را در استان تهران تأیید کرد. متغیرهای SO_2 و $PM_{2.5}$ بهترین پیش‌بینی‌کننده شیوع کووید-۱۹ در این استان بودند. ارتباط برخی آلاینده‌های هوا و عوامل هواشناسی با یکدیگر نیز آشکار شد. تأثیر کوتاه‌مدت PM_{10} ، SO_2 ، $PM_{2.5}$ و رطوبت نسبی بر شیوع کووید-۱۹ در این مطالعه گزارش شد، اما نتایج مذکور نشانه رابطه علت و معلولی نیست. باین‌حال، نتایج مطالعه حاضر می‌تواند در کنترل همه‌گیری کووید-۱۹ مفید باشد. مطالعه حاضر با محدودیت دسترسی به داده‌های کووید-۱۹ مواجه بود. اگر در عوض «داده‌های هفتگی و استانی عدد مولد نسلی کووید-۱۹»، از داده‌های روزانه و شهرستانی نرخ شیوع کووید-۱۹ استفاده می‌شد، احتمالاً برازش رابطه متغیرهای کیفیت هوا با کووید-۱۹، در یک مدل میسر می‌شد. توصیه می‌شود که در مطالعات آینده، از داده‌هایی با مقیاس مکانی

1 Becker & Soukup

2 Cai

3 Xie

و زمانی کوچک‌تر و محدوده مکانی و زمانی بزرگ‌تر استفاده شود و مداخله‌گرهایی مانند جمعیت نیز بررسی شود. همچنین به طراحان اقدامات مقابله با کووید-۱۹ پیشنهاد می‌شود که تأثیر متغیرهای کیفیت هوا را در ارتباط با یکدیگر، مورد توجه قرار دهند.

کتابنامه

- توکلی، احمد؛ وحدت، کتایون؛ کشاورز، محسن؛ ۱۳۹۸. کرونا ویروس جدید ۲۰۱۹ (COVID-19): بیماری عفونی نوظهور در قرن ۲۱. دو ماهنامه طب جنوب. دوره ۲۲، شماره ۶، ۴۳۲-۴۵۰. <https://dx.doi.org/10.29252/ismj.22.6.432>
- فرهادی، راضیه؛ کارگر، مهدی؛ ذوالفقاری، قاسم؛ ۱۴۰۰. پیش‌بینی آلاینده‌های هوا (PM₁₀ و CO، O₃) و پارامترهای هواشناسی، مطالعه موردی شهرستان بیرجند. فصلنامه علمی محیط‌زیست و توسعه فرابخشی. شماره ۷۱، ۶۴-۷۵. <https://doi.org/10.22034/envj.2021.94016>
- قودجانی، ابوالفضل؛ ۱۳۹۴. روش‌های پیشرفته آماری و کاربردهای آن. چاپ اول. انتشارات جامعه‌نگر. تهران.
- کیانی، بهمن؛ ۱۳۹۳. کاربرد روش‌های پیشرفته آماری در منابع طبیعی. چاپ اول. انتشارات دانشگاه یزد. یزد.
- مرکز آمار ایران؛ ۱۴۰۰. سالنامه آماری کشور ۱۳۹۸. دفتر ریاست-روابط عمومی و همکاری‌های بین‌الملل.
- مصداقی، منصور؛ ۱۴۰۰. روش‌های آماری با رویکرد کاربردی در علوم طبیعی. ویرایش دوم. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد. مشهد.

- Arias Velásquez R M, Mejía Lara J V., 2020. Gaussian approach for probability and correlation between the number of COVID-19 cases and the air pollution in Lima. Urban Climate. Urban Climate. 33, 100664. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100664>.
- Bashir M F, Ma B, Bilal D, Komal B, Bashir M A, Tan D, Bashir M., 2020. Correlation between climate indicators and COVID-19 pandemic in New York , USA. Science of the Total Environment. 728, 138835. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138835>.
- Becker S, Soukup J M., 1999. Exposure to urban air particulates alters the macrophagemediated inflammatory response to respiratory viral infection. Toxicol. Environ. Health Part A. 57, 445-457. <https://doi.org/10.1080/009841099157539>.
- Brace N, Snelgar R, Kemp R., 2012. SPSS for psychologists. Palgrave macmillan.
- Cai Q C, Lu J, Xu Q F, Guo Q, Xu D Z, Sun Q W, Yang H, Zhao G M, Jiang Q W. 2007. Influence of meteorological factors and air pollution on the outbreak of severe acute respiratory syndrome. Publ. Health 121, 258-265. <https://doi.org/10.1016/j.puhe.2006.09.023>.
- Chakrabarty R K, Beeler P, Liu P, Goswami S, Harvey R D, Pervez S, Donkelaar A V, Martin R V., 2020. Ambient PM_{2.5} exposure and rapid spread of COVID-19 in the United States. Science of the total environment. 760, 143391. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143391>.
- Dogan B, Jebli M B, Shahzad K, Farooq T H, Shahzad U., 2020. Investigating the Effects of Meteorological Parameters on COVID - 19: Case Study of New Jersey , United States. Environmental Research. 191, 110148. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110148>.

- Dutta A, Dutta G., 2021. Association of air pollution and meteorological variables with the two waves of COVID-19 pandemic in Delhi: A critical analysis. *Heliyon*. 7, e08468. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08468>.
- Faridi S, Niazi S, Sadeghi K., Naddafi K, Yavarian J, Shamsipour M, Shafiei Jandaghi N Z, Sadeghniaat K, Nabizadeh R, Yunesian M, Momeniha F, Mokamel A, Hassanvand M S, MokhtariAzad T., 2020. A field indoor air measurement of SARS-CoV-2 in the patient rooms of the largest hospital in Iran. *Science of the Total Environment*. 725, 138401. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138401>.
- Gilbert M, Pullano G, Pinotti F, Valdano E, Poletto C, Boëlle P Y, d'Ortenzio E, Yazdanpanah, Y, Eholie S P, Altmann M., 2020. Preparedness and vulnerability of African countries against importations of COVID-19: a modelling study. *Lancet* 395, 871-877. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30411-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30411-6).
- Golder M, Golder S., 2010. Multiple regression: multicollinearity, department of political science, pennsylvania state university.
- Gorbalenya A E, Baker S C, Baric R S, de Groot R J, Drosten C, Gulyaeva A A, Haagmans B L, Lauber C, Leontovich A M, Neuman B W, Penzar D, Perlman S, Poon L M, amborskiy D, Sidorov I A, Sola I, Ziebuhr J., 2020. The species Severe acute respiratory syndromerelated coronavirus: classifying 2019-nCoV and naming it SARS-CoV-2. *Nature Microbiology*. 5(4), 536-544. <https://doi.org/10.1101/2020.02.07.937862>.
- Green S B., 1991. How Many Subjects Does It Take To Do A Regression Analysis? *Multivariate Behavioral Research*, 26 (3), 499-510. https://doi.org/10.1207/s15327906mbr2603_7.
- Huang C, Wang Y, Li X, Ren L, Zhao J, Hu Y, Zhang L, Fan G, Xu J, Gu X, Cheng Z, Yu T, Xia J, Wei Y, Wu W, Xie X, Yin W, Li H. Liu M, Xiao Y, Gao H, Guo L, Xie, J, Wang G, Jiang R, Gao Z, Jin Q, Wang J, Cao B., 2020. Clinical Features Of Patients Infected With 2019 Novel Coronavirus In Wuhan, China. *Lancet*. 395(10223), 497-506. <https://www.thelancet.com/action/showPdf?pii=S0140-6736%2820%2930183-5>.
- Kraemer, M. U., Yang, C. H., Gutierrez, B., Wu, C. H., Klein, B., Pigott, D. M., du Plessis, L., Faria, N. R., Li, R., Hanage, W. P., 2020. The effect of human mobility and control measures on the COVID-19 epidemic in China. *Science*. 368 (6490), 493-497. <https://doi.org/10.1126/science.abb4218>.
- Kumar G, Kumar R. R., 2020. A correlation study between meteorological parameters and COVID-19 pandemic in Mumbai, India. *Diabetes & Metabolic Syndrome: Clinical Research & Reviews*. 14, 1735-1742. <https://doi.org/10.1016/j.dsx.2020.09.002>.
- Lin S, Wei D, Sun Y, Chen K, Yang L, Liu B, Huang Q, Paoliello M M B, Li H, Wu S., 2020. Region-specific air pollutants and meteorological parameters influence COVID-19: A study from mainland China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 204, 111035. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111035>.
- Lu H. Stratton C W, Tang Y W., 2020. Outbreak of pneumonia of unknown etiology in Wuhan China: the Mystery and the Miracle. *J. Med. Virol*. 4(92), 401-402. <https://doi.org/10.1002/jmv.25678>.
- Pani S K, Lin N H, RavindraBabu S., 2020. Association of COVID-19 pandemic with meteorological parameters over Singapore. *Science of the Total Environment*. 740, 140112. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140112>.
- Runkle J D, Sugg M M, Leeper R D, Rao Y, Matthews J L, Rennie J J., 2020. Short-term effects of specific humidity and temperature on COVID-19 morbidity in select US cities. *Science of the Total Environment*, 740, 140093. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140093>.

- Sangkham S, Thongtip S, Vongruang P., 2021. Influence of air pollution and meteorological factors on the spread of COVID-19 in the Bangkok Metropolitan Region and air quality during the outbreak. *Environmental Research*, 197, 111104.
<https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111104>.
- Sohrabi C, Alsafi Z, O'Neill N, Khan M, Kerwan A, Al-Jabir A, Iosifidis C, Agha R., 2020. World Health Organization declares global emergency: a review of the 2019 novel coronavirus (COVID-19). *International Journal of Surgery*. 76, 71-76.
<https://doi.org/10.1016/j.ijso.2020.02.034>.
- Steel R G D, Torrie J H, Dicky D A., 1997. Principles and procedures of statistics, a biometrical approach. 3rd edition, McGraw Hill, Inc. New York. USA.
- United Nations (UN). 2020. The Social Impact of COVID-19. Retrieved from:
<https://www.un.org/development/desa/dspd/2020/04/social-impact-of-covid-19/>.
- World Health Organization (WHO). 2020. Transmission of SARS-CoV-2: implications for infection prevention precautions.
<https://www.who.int/news-room/commentaries/detail/transmission-of-sars-cov-2-implications-for-infection-prevention-precautions>.
- Wu X, Nethery R C, Sabath M B, Braun D, Dominici F., 2020. Air pollution and COVID - 19 mortality in the United States : Strengths and limitations of a n ecological regression analysis. *Science Advances*. 6 (45).
<https://doi.org/10.1126/sciadv.abd4049>.
- Xie J, Teng J, Fan Y, Xie R, Shen A., 2019. The short-term effects of air pollutants on hospitalizations for respiratory disease in Hefei, China. *International Journal of Biometeorology*. 63, 315–326. <https://doi.org/10.1007/s00484-018-01665-y>.
- Xie J, Zhu Y. 2020. Association between ambient temperature and COVID 19 infection in 122 cities from China. *Science of The Total Environment*. 724, 138201. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138201>.
- Xu H, Yan C, Fu Q, Xiao K, Yu Y, Han D, Wang W, Cheng J., 2020 a. Possible environmental effects on the spread of COVID-19 in China. *Science of the Total Environment*, 731, 139211.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139211>.
- Xu Z, Shi L, Wang Y, Zhang J, Huang L, Zhang C, Liu S, Zhao P, Liu H, Zhu L., 2020 b. Pathological findings of COVID-19 associated with acute respiratory distress syndrome. *Lancet Respir Med*. 8(4), 420-422. [https://doi.org/10.1016/S2213-2600\(20\)30076-X](https://doi.org/10.1016/S2213-2600(20)30076-X).
- Yang Z, Hao J, Huang S, Yang W, Zhu Z, Tian L, Lu Y, Xiang H, Liu S., 2020. Acute effects of air pollution on the incidence of hand, foot, and mouth disease in Wuhan, China. *Atmospheric Environment*. 225, 117358. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117358>.
- Yousefi S, Shahsavani A, Hadei M., 2019. Applying EPA's instruction to calculate air quality index (AQI) in Tehran. *Journal of Air Pollution and Health*. 4(2), 81-86.
<https://doi.org/10.18502/japh.v4i2.1232>.
- Zar J H., 2010. Biostatistical analysis. 5th edition, Prentice-Hall. USA.
- Zhu y, Xie j, Huang f, Cao l., 2020. Association between short-term exposure to air pollution and COVID-19 infection: Evidence from China. *Science of the Total Environment*. 727, 138704. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138704>.
- Zoran M A, Savastru R S, Savastru D M, Tautan M N., 2020. Assessing the relationship between ground levels of ozone (O3) and nitrogen dioxide (NO2) with coronavirus (COVID-19) in Milan, Italy. *Science of the Total Environment*. 740, 140005.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140005>.