



Analyzing Temporal-Spatial Distribution of CO Pollutants during COVID-19 Epidemic (Case Study: Khuzestan Province, Isfahan, Tehran)

Abdullah Faraji¹ | Nafiseh Rahimi²

1. Department of Geography, Faculty of Literature and Humanities, University of Zanjan, Zanjan, Iran. E-mail: abfaraji@znu.ac.ir

2. Corresponding Author, Department of Geography, Faculty of Literature and Humanities, University of Zanjan, Zanjan, Iran. E-mail: rahimi.nafiseh2@gmail.com

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:

Received: 20 Feb 2022

Received in revised form:
10 Apr 2022

Accepted: 12 Apr 2022

Available online: 28 May 2022

Keywords:

COVID-19,
Iran,
Atmosphere,
Carbon Monoxide.

ABSTRACT

To prevent the spread of COVID-19 epidemics, restrictions such as “quarantine” have been imposed worldwide led to significant changes in the environment, especially the air. The purpose of this study is to investigate the temporal-spatial distribution of pollutants (CO) and the effect of corona constraints on it. For this purpose, CO data was extracted from MERRA-2 satellite with monthly and spatial time steps of 0.5 x 0.625 with time coverage of 2015-20. Then, the data distribution was analyzed by ArcGIS software. In this study, in order to measure the effect of applying corona restrictions on the level of CO pollutants, the data related to the period of applying corona restrictions (July 2020) were compared with the corresponding months in the base period (July 2015-2019), then the control effect of synoptic systems and atmospheric factors for the distribution and dispersion of this pollutant were studied in the provinces that had maximum of this pollutant in Iran. The results showed that the monthly average of this pollutant decreased not only in the provinces that had the maximum CO anomaly, but also over the whole atmosphere of Iran. The results of synoptic factors of geo-potential height and vertical air movement at the level of 500 hPa showed that in both periods, synoptic conditions were the same above the atmosphere of Tehran, Isfahan and Khuzestan provinces, so the studied synoptic factors have no role in this decrease. Examining the factory closure and the average condition of vehicle traffic in some of the busiest roads of these provinces, a decrease in transportation was also observed. The decrease in CO during periods of economic restrictions can be seen as a positive message of COVID-19 for air quality.

Cite this article: Faraji, A. & Rahimi, N. (2022). Analyzing Temporal-Spatial Distribution of CO Pollutants during COVID-19 Epidemic (Case Study: Khuzestan Province, Isfahan, Tehran). *Geography and Environmental Sustainability*, 12 (2), 95-108. DOI: 10.22126/GES.2022.7071.2464



© The Author(s).

DOI: 10.22126/GES.2022.7071.2464

Publisher: Razi University

واکاوی پراکنش زمانی – مکانی آلاینده CO در دوران همه گیری COVID-19 (مطالعه موردی: استان خوزستان، اصفهان، تهران)

عبدالله فرجی^۱ | نفیسه رحیمی^۲

۱. گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران. رایانامه: abfaraji@znu.ac.ir
 ۲. نویسنده مسئول، گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران. رایانامه: rahimi.nafiseh2@gmail.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی تاریخچه مقاله: تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۰۱ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۱/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۱/۲۳ دسترسی آنلاین: ۱۴۰۱/۰۳/۰۷ کلیدواژه‌ها: COVID-19، ایران، اتمسفر، منو اکسید کربن.	برای جلوگیری از گسترش همه‌گیری بیماری COVID-19، محدودیت‌هایی همانند «قرنطینه» در سطح جهان اعمال شده است که این امر منجر به تغییرات قابل توجهی در محیط‌زیست، به‌خصوص هوا گردیده است. هدف از این پژوهش، واکاوی توزیع زمانی – مکانی آلاینده (CO) و تأثیر محدودیت‌های ناشی از کرونا بر آن است. بدین منظور داده‌های CO از ماهواره MERRA-2 با گام‌های زمانی ماهانه و مکانی $5/00/625 \times$ درجه با پوشش زمانی ۲۰۲۰-۲۰۱۵ استخراج شد و سپس توزیع داده‌ها به کمک نرم‌افزار ArcGIS تحلیل شد. در این تحقیق به‌منظور سنجش تأثیر اعمال محدودیت‌های کرونایی روی سطح آلاینده CO داده‌های مربوط به دوره اعمال محدودیت‌های کرونایی (ژوئیه ۲۰۲۰) با ماه‌های مشابه مربوطه در دوره پایه (ژوئیه ۲۰۱۹-۲۰۱۵) مقایسه شد، سپس تأثیر کنترلی سامانه‌های همدید و عوامل جوی بر توزیع و پراکندگی این آلاینده در استان‌هایی که بیشینه این آلاینده را در ایران داشتند، بررسی شد. نتایج نشان داد میانگین ماهانه این آلاینده نه تنها در استان‌هایی که آنومالی بیشینه CO را داشتند کاهش داشت، بلکه بر فراز کل جوی ایران نیز این کاهش دیده شد. نتایج حاصل از عوامل همدیدی ارتفاع ژئو پتانسیل و حرکت قائم هوا در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نشان داد که در هر دو دوره شرایط همدید بر فراز اتمسفر استان‌های تهران، اصفهان و خوزستان یکسان بود، لذا عوامل همدید مورد بررسی در این کاهش نقش نداشته است. با بررسی تعطیلی کارخانه و وضعیت متوسط تردد وسایل نقلیه در برخی از راه‌های پرتردد این استان‌ها کاهش در حمل‌ونقل نیز دیده شد، لذا کاهش سطح CO در دوره اعمال محدودیت‌های کرونایی را می‌توان پیامد مثبت COVID-19 بر کیفیت هوا دانست.

استناد: فرجی، عبدالله؛ رحیمی، نفیسه (۱۴۰۱). واکاوی پراکنش زمانی – مکانی آلاینده CO در دوران همه‌گیری COVID-19 (مطالعه موردی: استان خوزستان، اصفهان، تهران). *جغرافیا و پایداری محیط*، ۱۲ (۲)، ۹۵-۱۰۸. DOI: 10.22126/GES.2022.7521.2505



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه رازی

مقدمه

در آذرماه ۱۳۹۸، در شهر ووهان^۱ که مرکز استان هوئی^۲ و ششمین شهر پرجمعیت چین است، اولین مورد ابتلا به یک نشانگان حاد تنفسی دیده شد و بعد از آن در چین و سایر کشورها به سرعت گسترش پیدا کرد. با توجه به گسترش بیماری در بیش از ۱۱۰ کشور جهان، در ۱۰ بهمن ۱۳۹۸ شرایط اضطراری بهداشت عمومی در سطح بین‌المللی اعلام شد و در ۲۲ بهمن ۱۳۹۸ این بیماری COVID-19 یا SARS-CoV-2 نام گرفت. در ۲ اسفند همان سال، سازمان بهداشت جهانی وضعیت شیوع این بیماری را از فراگیر^۳ به همه‌گیر^۴ تغییر داد.

در ایران نیز در تاریخ ۳۰ بهمن ۱۳۹۸، اولین موارد ابتلا به بیماری COVID-19 به طور رسمی تأیید شد. موارد ابتلا به این بیماری در ایران، ابتدا در شهر قم دیده شد و ۱۵ روز پس از آن، از ۳۱ استان دیگر ایران نیز گزارش گردید. با افزایش تعداد مبتلایان به بیماری، اقدامات پیشگیرانه برای کنترل همه‌گیری COVID-19، توسط دولت ایران صورت گرفت و پوشش‌های «در خانه بمان» و محدودیت‌های کرونایی توسط دولت ایران آغاز شد که شامل: (۱) بستن همه مدارس و دانشگاه‌ها، غذاخوری‌ها، مساجد و بناهای تاریخی؛ (۲) لغو سفرهای توریستی و رویدادهای فرهنگی؛ (۳) اعمال محدودیت رفت و آمد بین ساعت ۲۱ و ۳ بامداد (به وقت محلی ایران)؛ (۴) بستن همه فرودگاه‌ها و تعلیق پروازهای بین‌المللی (برای مدت محدود)؛ (۵) ممنوعیت در صادرات محصولات بهداشتی بر اساس مصوبه صادر شده توسط مصوبه ستاد مقابله با کرونا (برای مدت محدود)، از جمله ماسک، لباس گان، دستکش، آب ژاول، الکل و مشتقات آن؛ (۶) کاهش حضور تعداد کارمندان بخش دولتی در محل کار و (۷) ارائه بسته‌های حمایتی از قبیل تسهیلات قرض‌الحسنه یک میلیون تومانی، کمک‌هزینه ۲۰۰ تا ۶۰۰ هزار تومانی، بیمه بیکاری، پرداخت تسهیلات به بنگاه‌ها به منظور تشویق افراد برای ماندن در خانه و رعایت پرتکل‌ها و حمایت از اقشار آسیب‌پذیر جامعه بود (رجبی و همکاران، ۱۳۹۹: ۱۰۹).

از ابتدای اسفند ۹۸، همراه با آغاز موج اول، تعداد مبتلایان نیز به شدت افزایش پیدا کرد، و با پشت سر گذراندن ۵ پیک کرونایی طبق آخرین اطلاعات موجود از ۳ ژانویه ۲۰۲۰ تا ۲۱ سپتامبر ۲۰۲۱ در ۵/۴۱ دقیقه بعد از ظهر، تعداد مبتلایان و متوفیان ناشی از بیماری COVID-19 در جهان به ترتیب ۲۲۸/۸۰۷۶۳۱ و ۴/۶۹۷۰۹۹ نفر و در ایران ۵/۴۴۲۲۳۲ و ۱۱۷/۵۲۶ نفر بوده است (WHO, 2021).

با توجه به تعداد موارد ثبت شده مبتلایان و محدودیت‌های اعمال شده به خاطر بیماری COVID-19، کشورهای توسعه‌نیافته و توسعه‌یافته در سرتاسر جهان با چالش‌های جدیدی روبرو هستند. این بیماری نه تنها سلامت و بهداشت را تحت تأثیر قرار داده، بلکه بر جنبه‌های دیگر زندگی، از قبیل کیفیت هوا نیز تأثیر گذاشته است. آلودگی هوا به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه مانند ایران یک مسئله جهانی است. در چندین سال اخیر با ورود آلاینده‌های گوناگون به جو به خاطر اقدامات انسان و فعالیت‌های بیولوژیکی، به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه مانند ایران کیفیت هوا کاهش پیدا کرده است.

از شاخصه‌های مهم برای بررسی کیفیت هوا، منوکسید کربن (CO) است. CO گازی سمی، بی‌رنگ، بی‌بو و با ماندگاری ۲ تا ۴ ماه در اتمسفر است که بر اثر احتراق ناقص کربن توسط فرایندهای طبیعی و مصنوعی به وجود می‌آید (Flachsbar, 1995). در مناطق شهری ۹۵-۹۸ درصد از این گاز به دلیل فعالیت‌های انسانی به‌ویژه حمل‌ونقل به وجود آمده است (Gueroa et al., 2006). گاز CO توانایی خون را برای انتقال اکسیژن کاهش داده، به هموگلوبین خون می‌چسبد و تولید کربوکسی‌هموگلوبین (COHb) می‌نماید؛ بنابراین خون حاوی اکسیژن کمتری

1- Wuhan

2- Hubei

3- Epidemic

4- Pandemic

می‌شود و می‌تواند روی مغز و تپش قلب، اثر جدی بگذارد (فرج‌زاده و باغبانان، ۱۳۹۷: ۱۲۲).
مطالعات اپیدمیولوژیکی انجام شده وجود رابطه قوی بین قرار گرفتن طولانی مدت در معرض آلاینده‌ها و کاهش عملکرد تنفسی و افزایش عفونت‌های ریوی، بستری شدن بیمارستانی و حتی مرگ را نشان داده است (Cao et al., 2011).

پیامد COVID-19 روی عامل‌های مختلف آلودگی هوا برای کشورها و شهرهای مختلف توسط محققین مورد بررسی قرار گرفته است که می‌توان این تحقیقات را به دودسته تحقیقات در جهان و ایران تقسیم کرد: در دسته اول می‌توان به مطالعه لوکوره و همکاران اشاره کرد (Le Quéré et al., 2020). آنها با بررسی تأثیر سیاست‌های دولت از جمله قرنطینه خانگی، کاهش حمل‌ونقل و غیره در زمان همه‌گیری COVID-19 بر روی CO₂ و گازهای گلخانه‌ای در سطح جهان به این نتیجه رسیدند که انتشار جهانی CO₂ تا اوایل آوریل ۲۰۲۰ در مقایسه با میانگین سال ۲۰۱۹، ۱۷ درصد و گازهای گلخانه‌ای تا ۲۶ درصد کاهش داشته است. لو و همکاران، با استفاده از داده‌های جمع‌آوری شده در زمینه کیفیت هوا که توسط شهروندان در حین اعمال محدودیت‌های COVID-19 از ده کشور در سراسر جهان (استرالیا، برزیل، چین، غنا، هند، ایران، ایتالیا، نروژ، آفریقای جنوبی و ایالات متحده) جمع‌آوری شده است، با تحلیل نظرسنجی‌های آنلاین از ۹۳۹۴ نفر با کمک مقیاس لیکرت به این نتیجه رسیدند که دیدگاه‌های ذهنی مردم بیان‌کننده بهبود عینی کیفیت هوا در دوران همه‌گیری COVID-19 است (Lou et al., 2021).

بررسی تأثیر قرنطینه COVID-19 روی آلودگی هوا در سه شهر نیجریه (لاگوس و کادونا و پورت‌هارکورت) نشان داد که مقدار NO₂ در شهر لاگوس ۳ درصد، کادونا ۱۲ درصد و مقدار SO₂ در شهر لاگوس و کادونا به ترتیب ۵۴ و ۱۰ درصد نسبت به سال‌های قبل افزایش داشته است، اما در شهر پورت‌هارکورت مقدار NO₂ و SO₂ به ترتیب ۱/۱ درصد و ۲۱۵/۵ درصد کاهش یافته است. مقدار غلظت O₃ نیز در طول دوره قرنطینه در هر سه شهر مذکور با افزایش همراه بوده است (Fuwaape et al., 2020).

بررسی PM_{2.5} و NO₂ ایالات متحده در طول همه‌گیری COVID-19 در تاریخ ۸ ژانویه تا ۲۱ آوریل در دو دوره، یکی قبل از COVID-19 برای سال‌های ۲۰۱۷-۲۰۱۹ (۸ ژانویه تا ۱۲ مارس) و دیگری دوره COVID-19، از ۱۳ مارس تا ۲۱ آوریل، ۲۰۲۰، نشان‌دهنده کاهش ۲۵/۵ درصدی NO₂ و ۴/۸ ppb درصدی PM_{2.5} در دوران همه‌گیری COVID-19 بود (Berman & Ebisu, 2020). بررسی تأثیرات قرنطینه COVID-19 در منطقه جنوب آسیا بر روی آلودگی هوا و سامانه اکولوژیکی آبریان در سواحل و تحلیل داده‌های با استفاده از ماهواره MODIS-Aqua Level-3 از ژانویه تا اکتبر (۲۰۲۰) نشان داد که تغییرات آلودگی در دوران قرنطینه نسبت به دوره پایه (۲۰۰۹-۲۰۱۹) کاهش ۳۰ تا ۴۰ درصدی در انتشار NO₂، ۴۵ درصدی در AOD، ۵۰ درصدی در Chl-a ساحلی و ۲۹ درصدی در آلودگی سواحل در آسیای جنوبی داشته است. بیشترین میزان کاهش انتشار NO₂ در لاهور (۳۲٪)، دهلی‌نو (۳۱٪)، احمدآباد (۲۹٪)، کراچی (۲۶٪)، حیدرآباد (۲۴٪) و چنای (۱۷٪) مشاهده شد. آلودگی سواحل نیز در کراچی، بمبئی، کلکته و داکا به ترتیب ۲۹، ۱۱، ۱۶ و ۱۷ در امتداد مناطق ساحلی کاهش داشته است.

این نتایج روشن ساخت که با اعمال قرنطینه کرونایی آلودگی هوا و آب به دلیل محدودیت در مصرف سوخت‌های فسیلی، کاهش یافته است (Shafeeque et al., 2021). تحلیل تغییرات آلودگی هوا در جنوب آسیا در زمان قرنطینه COVID-19 نشان داد که با اعمال قرنطینه شاخص کیفیت هوا (AQI) در شهرهای بزرگ آسیای جنوبی ۵۰٪ کاهش داشته است. مقدار کاهش در آلوده‌ترین شهرهای جنوب آسیا مانند دهلی (۴۱٪)، داکا (۱۶٪)، کاتماندو (۳۲٪)، کلمبو (۳۳٪) و اسلام‌آباد و کابل چشمگیر بوده است. همچنین در آلاینده‌های NO₂ و SO₂ نیز در زمان قرنطینه COVID-19 کاهش مشاهده شد (Mishra & Kulshrestha, 2021).

بررسی تأثیر همه‌گیری COVID-19 روی آلودگی هوا (O₃, NO₂ AAI, CO, GHG) و سایر شاخص‌های زیست‌محیطی در کشور مصر (از جمله سروصدای محیط، پسماندهای جامد پزشکی و شهری) نشان داد که قرنطینه

COVID-19 تأثیرات مثبت و منفی بر محیط‌زیست به همراه داشته است. تأثیرات منفی قرنطینه شامل افزایش ضایعات جامد پزشکی (از ۷۰ به ۳۰۰ تن در روز)، پسماندهای جامد شهری و کاهش بازیافت ضایعات جامد بوده است و از تأثیرات مثبت آن می‌توان به کاهش سروصدای محیط و کاهش ۴ درصدی GHG، ۳۰ درصدی AAI، ۱۵ و ۳۳ درصدی NO₂ به ترتیب در استان‌های قاهره و اسکندریه و ۵ درصدی CO در هر دو استان (قاهره و اسکندریه)، اشاره کرد. در مقابل، سطح آزون حدود ۲٪ در استان‌های قاهره و اسکندریه افزایش داشته است (Mostafa et al., 2020). در کشور چین پیامدهای قرنطینه COVID-19 برای ماه‌های ژانویه تا فوریه ۲۰۲۰، با بررسی تغییرات دما و آلاینده‌های هوا، واکنش دما به کاهش آلاینده‌ها و ارتباط انتقال بیماری با دما، برای ژانویه و فوریه ۲۰۲۰ با کمک ایستگاه‌های زمینی و تصاویر Aqua AIRS نشان داد که آئروسول‌های شهری از ۲۷/۱ درصد قبل از قرنطینه به ۱۷/۵ درصد در طول قرنطینه کاهش یافته است. خروجی مدل WRF-Chem نیز گرمایش ۰/۲ درجه سانتی‌گراد را در شرق - مرکز چین نشان داد که بیشترین گرمایش در جنوب چنگدو و ووهان بوده است که در آن دما بین ۰/۳- ۰/۲ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است؛ لذا بر اساس این بررسی‌ها مشخص شد که از نظر اپیدمیولوژیکی، افزایش دما در طی قرنطینه ممکن است روند انتقال بیماری، از جمله SARS-CoV-2 را کاهش دهد یا به تأخیر بیندازد (Miller et al., 2021).

در مقیاس جهانی، قاره‌ای و ملی تغییرات غلظت آلاینده‌های PM_{2.5}، NO₂، O₃ برای قبل و بعد از قرنطینه از مارس تا مه ۲۰۲۰ به کمک داده‌های زمینی بیش از ۱۰۰۰۰ ایستگاه نظارتی در ۳۸۰ شهر در سراسر جهان مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و نتایج نشان داد که غلظت PM_{2.5} و NO₂ به ترتیب ۱/۱۶٪ و ۸/۴۵٪ در مقایسه با دوره پایه (۲۰۰۹-۲۰۱۹) کاهش و O₃ حدود ۵/۴ افزایش داشته است. در مقیاس قاره‌ای نیز، غلظت PM_{2.5} و NO₂ در سراسر قاره‌ها در طول قرنطینه کاهش داشته است، بیشترین کاهش PM_{2.5} در شرق آسیا ۲۰/۴ درصد، و NO₂ در اروپا ۴۲/۵ درصد بوده است، غلظت O₃ نیز الگوهای متفاوتی را در بین کشورها نشان داد، بیشترین کاهش O₃ در آمریکای شمالی ۷/۸ درصد و پس از آن در آسیا (۰/۷٪) دیده شد، ولی در سایر قاره‌ها مقدار O₃ با افزایش همراه بوده است. در مقیاس ملی، غلظت PM_{2.5} و NO₂ در طول قرنطینه کاهش یافته است، اما غلظت O₃ الگوهای متفاوتی را در بین کشورها نشان داد. بیشترین کاهش PM_{2.5} (۵۰/۸) در هند و NO₂ (۱۰۳/۵) در اسپانیا و O₃ (۵/۲۲) در هند دیده شد (He et al., 2021).

بررسی تأثیر قرنطینه COVID-19 در کشور ایتالیا بر روی ترکیبات اتمسفر (آلاینده‌های O₃، PM₁₀، PM_{2.5} و NO₂ و AOD) در پنج شهر: آستا، میلان، بولونیا، روم و تارانتو با شناسایی چهار نوع مختلف حمل‌ونقل دوربرد و حذف تأثیرات آن در طول دوره قرنطینه نشان داد که غلظت آلاینده‌ها در طول دوره اعمال قرنطینه و دوره پایه (۲۰۰۹-۲۰۱۹) کاهش PM₁₀ (حداکثر ۵۲- درصد در آستا و حداقل ۴- در تارانتو)، PM₁₀ (۴۶- درصد در آستا و میلان به ۰/۶- در بولونیا)، و AOD (از ۷۷- در آستا تا ۲۵- در میلان)، NO₂ (از ۷۲- در رم تا ۴- در تارانتو) داشته است. اما آزون به طور میانگین حدود ۳۰ درصد در تمامی شهرها افزایش یافته است. با حذف سهم حمل‌ونقل دوربرد، غلظت PM₁₀، ۲۲٪ و PM_{2.5}، ۲۹ درصد برای مناطق شمالی و PM₁₀، ۱۸٪ و PM_{2.5}، ۱۶٪ برای مناطق جنوبی کاهش داشته است، همچنین NO₂، ۱۴٪ در میلان و ۶٪ در مناطق جنوبی و AOD، ۷۰٪ در آستا و ۵۰٪ در رم کاهش داشته است (Campanelli et al., 2021).

از بین مطالعات انجام شده در ایران در زمینه تأثیر قرنطینه ناشی از COVID-19 بر روی آلودگی هوا، می‌توان به مطالعات برومندی و همکاران (۱۳۹۹) اشاره کرد، آنها به منظور ارزیابی تأثیرات قرنطینه COVID-19 بر روی کیفیت هوا در ایران، شش آلاینده NO₂، O₃، SO₂، PM_{2.5}، PM₁₀، CO، را از تاریخ ۲۱ مارس تا ۲۱ آوریل ۲۰۲۰ تحلیل کردند، بدین منظور از داده‌های ۱۲ ایستگاه زمینی استفاده کردند، اما به دلیل جامع نبودن اندازه‌گیری زمینی از داده‌های ماهواره‌ای نیز استفاده شد. نتایج نشان داد با کاهش ترافیک جاده‌ای و فعالیت‌های اقتصادی بدلیل قرنطینه

COVID-19 در تهران، سطح CO (۵-۴۱ درصد)، NO₂ (۱-۳۳ درصد)، SO₂ (۵-۲۸ درصد)، PM₁₀ (۳۰-۱/۴ درصد) کاهش داشته است. در مقابل، غلظت آزون (۱۰۳-۰/۵ درصد) و PM_{2.5} (۵۰-۲ درصد) افزایش یافته است. صدراتی و همکاران (۱۳۹۹)، تغییرات دی‌اکسید نیتروژن به‌دست‌آمده از ماهواره Sentinel-5P را برای نشان‌دادن تغییرات دی‌اکسید نیتروژن در کلان‌شهرهای تهران، استانبول در ترکیه، برلین در آلمان، لندن در انگلستان را در دوران قرنطینه عمومی به ترتیب در تاریخ ۱ مارس ۲۰۲۰ تا ۲۹ آوریل ۲۰۲۰، ۲۳ می ۲۰۲۰ تا ۲۷ می ۲۰۲۰، ۲۴ مارس ۲۰۲۰ تا ۲۶ آوریل ۲۰۲۰، ۲۴ مارس ۲۰۲۰ تا ۶ می ۲۰۲۰ که به دلیل شیوع ویروس COVID-19 اعمال شده بود، مورد بررسی و تحلیل قرار دادند. نتایج حاکی از کاهش ۲۰-۳۰ درصدی دی‌اکسید نیتروژن در کلان‌شهرهای مذکور بود. آقاشریعتمداری (۱۴۰۰) میانگین غلظت روزانه هفت آلاینده (AQI SO₂, O₃, NO₂, PM_{2.5}, PM₁₀) را از ۱ ژانویه تا ۳۰ ژوئیه ۲۰۱۶-۲۰۲۰ برای سه ایستگاه تهران (ایستگاه اقدسیه، ستاد بحران و شهر ری) بررسی کرد. نتایج نشان داد که کیفیت هوا در سه ایستگاه تهران در طول قرنطینه COVID-19 به میزان قابل توجهی بهبود یافته است و غلظت همه آلاینده‌ها به جز O₃ کاهش داشته است. PM₁₀ به‌ویژه در ایستگاه‌های اقدسیه و ستاد بحران (۲۰ تا ۳۰ درصد) بیشترین کاهش را داشته است. بیشترین کاهش NO₂ نیز در ایستگاه شهر ری (۱۷/۹۹-) بود. کاهش AQI در سال ۲۰۲۰ در مقایسه با مقادیر قبل از قرنطینه قابل توجهی بود، مقدار کاهش در ماه مارس نسبت به فوریه به ترتیب حدود ۱۲/۸-، ۲۷/۶- و ۲/۲۷- برای شهر ری، اقدسیه و ستاد بحران بود.

علی‌رغم اینکه در زمینه تأثیر قرنطینه COVID-19 روی عامل‌های آلودگی هوا برای کشور ایران به‌ویژه شهر تهران مطالعاتی انجام شده است. باین‌حال، طبق دانش نویسنده، تاکنون مطالعه‌ای با پوشش زمانی ماهانه به واکاوی زمانی - فضایی آنومالی بیشینه آلاینده CO در دوران اعمال محدودیت‌های کرونایی در استان‌هایی که بیشینه این آلاینده را داشته‌اند، نپرداخته است؛ بنابراین در این تحقیق سعی شد، توزیع زمانی، فضایی آلاینده CO بر مبنای ماهواره MERRA-2 در دوره اعمال محدودیت‌های کرونایی با تحلیل ماهانه داده‌ها و مقایسه آن با دوره پایه بلندمدت (۲۰۱۵-۲۰۲۰) در گستره ایران با تاکید بر استان‌هایی که دارای بیشینه این آلاینده هستند، بررسی شود.

مواد و روش

معرفی منطقه مورد بررسی

کشور ایران در غرب آسیا و مرکز خاورمیانه، بین عرض‌های ۲۵ تا ۴۰ درجه‌ی شمالی و طول‌های ۴۴ تا ۶۴ درجه شرقی واقع شده است و دارای مساحت تقریبی ۱۶۵ میلیون هکتار است (FAO, 2015). طبق سرشماری سال ۱۳۹۰ جمعیت آن ۱۷/۱۴۹۰۰۰ نفر بوده است (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۱۳۹۲). ایران به ترتیب با سهم ۱۸/۲ و ۹/۳ درصدی ذخایر گازی و نفتی جهان، بزرگ‌ترین دارنده گاز و چهارمین منبع نفتی جهان است (BP, 2015).

پایش ماهواره‌ای

باتوجه به اینکه کارایی سنجنده‌های ماهواره‌ای، در مقیاس مکانی چندکیلومتری با استفاده از رادیومترهای فضایی و طیف‌سنج‌ها به‌منظور سنجش آلاینده‌ها در وردسپهر ارتقا یافته است (Veefkind et al., 2007). بدین دلیل محققین عمدتاً برای اندازه‌گیری آلاینده‌های مختلف از پایش ماهواره‌ای استفاده می‌کنند. ایستگاه‌های زمینی قادرند تغییرات کیفیت هوا و میزان انتشار آلاینده‌ها را پیش‌بینی و ارزیابی می‌کنند، باین‌حال، داده‌های ماهواره علاوه‌بر آن می‌توانند جابه‌جایی افقی و عمودی آلاینده‌های هوا را در دوره‌های طولانی و کوتاه‌مدت الگوسازی کنند و با تشخیص آلاینده‌ها امکان پیش‌بینی کیفیت هوا را فراهم کنند، از مزایای دیگر سامانه‌های ماهواره‌ای این است که آن‌ها می‌توانند اطلاعاتی در مورد کیفیت هوا برای مناطقی که فاقد ایستگاه‌های زمینی سنجش آلاینده‌ها است، فراهم کنند (Engel-Cox et al., 2004).

در این مقاله به‌منظور سنجش کیفیت هوا برای گستره ایران از روش‌های زمانی - فضایی بلندمدت حاصل از

ماهواره مدل MERRA-2 استفاده شد. مدل (The Modern-Era Retrospective Analysis for Research Version 2 and Applications) که به مدل (MERRA-2) معروف است، یکی از قابل اعتمادترین مدل‌هایی است که به پژوهشگران مختلف در زمینه اقلیم‌شناسی و محیط‌زیست و غیره باهدف بهره‌برداری بهینه از مشاهدات ماهواره‌ای، کمک می‌کند (رئیس پور، ۱۳۹۹).

داده‌های بازتحلیل مرکز ناسا تحت مدل MERRA-2 جایگزین نسل اول MERRA شده است (Rienecker et al., 2011). این داده‌ها توسط دفتر ادغام و مدل‌سازی جهانی (GMAO^۱) ناسا تهیه می‌شود و داده‌های آن توسط سامانه همانندسازی اطلاعات با نسخه ۵ (GEOS-5) عرضه می‌گردد (Molod et al., 2014). قدرت تفکیک آن ۰/۵ در ۰/۶۲۵ درجه است (da Silva et al., 2015). خروجی حاصل از فرا سنج‌های مطالعه شده توسط مدل مذکور، عمدتاً مبتنی بر مشاهدات ماهواره‌ای هستند که توسط سنجنده‌های مختلف، در راستای دید ماهواره و در دو عبور بالارو (Ascending) و پایین‌رو (Descending) دریافت می‌شوند.

در این پژوهش از داده‌های میانگین ماهانه که از میانگین روزانه مربوط به هر یک از متغیرهای منوکسید کربن به‌دست‌آمده است، برای کل گستره جغرافیایی ایران (N90-E180-S90-W180) استفاده شد، داده‌های این مدل از ویگاه (Giovanni) که توسط مرکز خدمات داده‌ها و اطلاعات علوم زمین گادارد ناسا^۲ (GES DISC) طراحی شده است، دریافت گردید.

در ابتدا داده‌های موردنیاز با گام‌های مکانی ۵/۰/۰۶۲۵ x درجه و زمانی ماهانه با پوشش زمانی ۲۰۱۵-۲۰۲۰ ورژن ۵/۱۲/۴ استخراج شد (جدول ۱) و به کمک داده‌های اخذ شده از MERRA-2 توزیع مکانی داده‌ها در محیط نرم‌افزار ArcGIS ترسیم گردید سپس با استدلال و استنباط مربوط به خروجی حاصله پیامدهای ناشی از اعمال محدودیت‌های COVID-19 روی آلودگی هوا تحلیل و با گراف و جدول به‌منظور درک بهتر رفتار زمانی - مکانی آلاینده‌ها ارائه شد.

جدول ۱. مشخصات فنی و رزولوشن داده‌های سنجنده MERRA-2: (giovanni.gsfc.nasa.gov)

DOI	Short name	مشخصات
/WMT31RKEXK8I۱۰/۵۰۶۷	M2TMNXCHM	CO

در ادامه تأثیر شرایط همدیدی بر کمیت و کیفیت آلاینده‌ها در دستور کار قرار گرفت، بدین منظور از داده‌های بازتحلیل روزانه مربوط به مراکز پیش‌بینی محیطی/مرکز ملی پژوهش‌های جوی آمریکا موسوم به NAEP/NCAR شامل ارتفاع ژئوپتانسیل (برحسب ژئوپتانسیل) و امگا در سطح فشاری ۵۰۰ هکتوپاسکال جمع‌آوری و در محیط گرس به نقشه‌های میانگین ماهانه تبدیل شد. سپس داده‌های بارش از ایستگاه همدید اصفهان، تهران، خوزستان در بازه زمانی ۲۰۱۵-۲۰۲۰ از ایستگاه هواشناسی کشور دریافت و مقایسه شد و در نهایت داده‌های مربوط به تردد روزانه وسایل نقلیه که دارای دقتی در حدود ۹۰ درصد بود، به‌صورت تصادفی از چندین محور پرتدد استان اصفهان، خوزستان و تهران برای ماه ژوئیه از سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۰ از سازمان راهداری و حمل‌ونقل جاده‌ای اخذ و عملیات پردازش بر روی آنها اعمال شد تا دید کلی از وضعیت حمل‌ونقل این استان‌ها در بازه زمانی مذکور حاصل گردد.

نتایج

برای بررسی توزیع مکانی آلاینده منوکسید کربن و تأثیر محدودیت‌های اعمال شده از طرف دولت در طی کرونا ابتدا عامل‌های توصیفی میانگین و انحراف معیار بر فراز کل اتمسفر ایران مورد بررسی قرار گرفت و نشان داد که میانگین

1- Global Modeling and Assimilation Office

2- NASA Goddard Earth Sciences (GES) Data and Information Services Center (DISC)

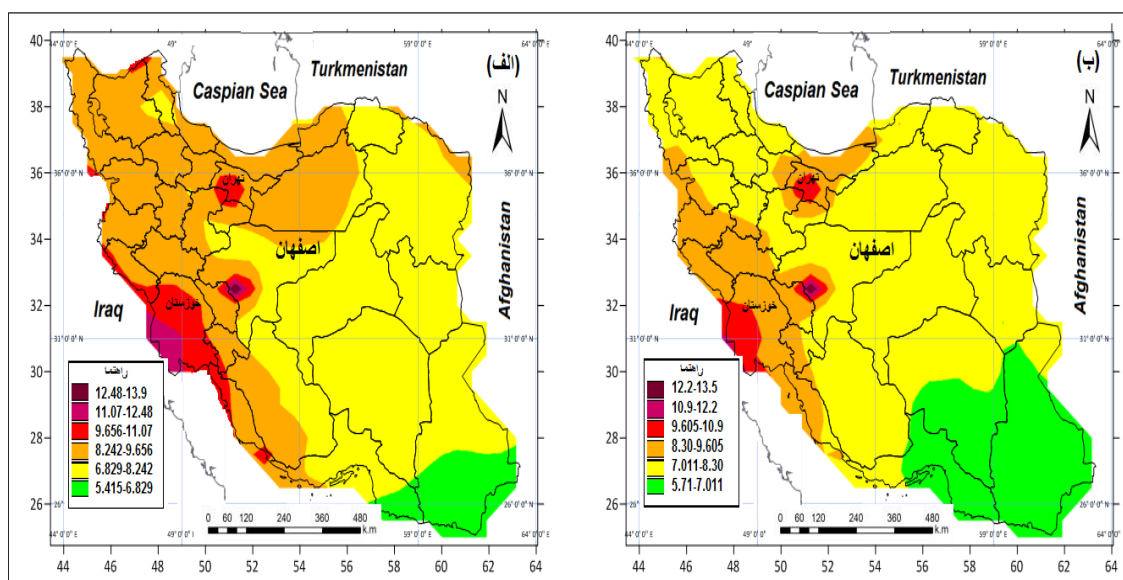
غلظت CO در اتمسفر ایران در دوره قبل و حین اعمال محدودیت‌های کرونایی در ماه ژوئیه به ترتیب حدود 82 ppbv و 77 ppbv بوده است که نشان‌دهنده کاهش این آلاینده در دوران کرونا است. بررسی پراکندگی CO با استفاده از شاخص انحراف معیار نیز بیانگر کاهش نوسان و پراکندگی CO در گستره ایران در دوره اعمال محدودیت‌های کرونایی (۹/۲) نسبت به دوره پایه (۱۰/۹) بود که نشان‌دهنده کاهش پراکندگی CO در ماه ژوئیه در گستره ایران در دوران کرونا است (جدول ۲).

جدول ۲. مشخصات آمار توصیفی آلاینده CO اخذ شده از سنجنده MERRA-2 برای ماه ژوئیه (۲۰۱۵-۲۰۲۰):

(giovanni.gsfc.nasa.gov)

آلاینده CO	میانگین	میان	انحراف معیار	حداقل	حداکثر
دوره پایه (۲۰۱۵-۲۰۱۹)	۸۱/۹	۸۰/۸	۱۰/۹	۵۳	۱۳۸
دوره اعمال محدودیت‌های کرونایی (۲۰۲۰)	۷۷/۰۷	۷۶/۶	۹/۲	۵۷	۱۳۴/۹

بر اساس جدول (۲) تحلیل حاصل از داده‌های آماری منوکسید کربن در ماه ژوئیه نشان داد که اختلاف در میانگین غلظت CO دوره پایه با دوره اعمال محدودیت‌های کرونایی نزدیک به ۵ ppbv بوده است که به کمترین مقدار خود در طی ۵ سال اخیر رسیده است. این کاهش هم‌زمان با فراگیری موج دوم کرونایی در اواخر خردادماه و تشدید محدودیت‌ها از سوی دولت و کاهش فعالیت کارخانه‌ها و فعالیت صنعتی، تعطیلی و دورکاری بسیاری از مشاغل و ادارات، کاهش مصرف سوخت فسیلی در وسایل نقلیه و غیره بود. بررسی توزیع مکانی CO ماه ژوئیه بر فراز جو ایران بیانگر این است که این کاهش در بیشتر استان‌های کشور به‌ویژه سمنان، استان‌های شمال غرب ایران (آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی، اردبیل و زنجان) و قسمت‌هایی از کردستان، مرکزی، همدان، فارس، بوشهر و کهگیلویه و بویراحمد، کرمان، هرمزگان و سیستان و بلوچستان بوده است (شکل ۱).



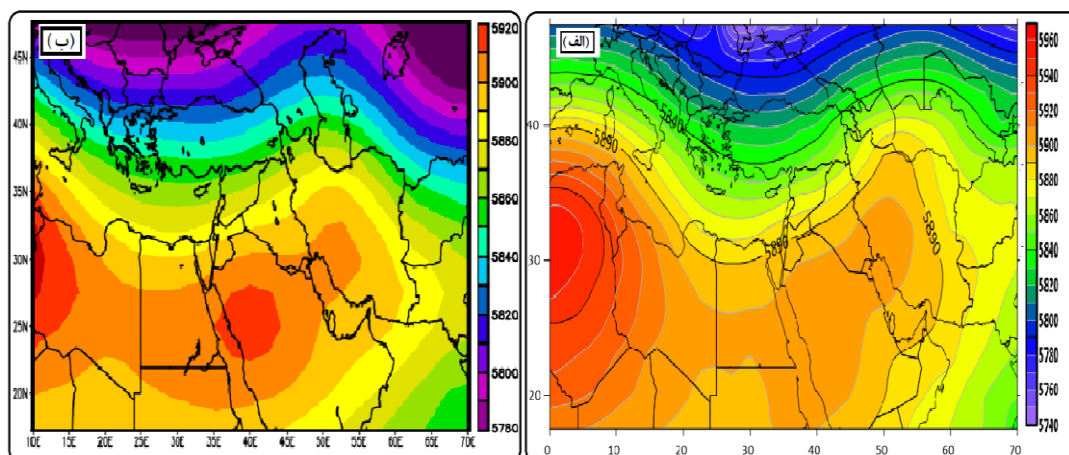
شکل ۱. الف. توزیع CO بر فراز جو ایران در ژوئیه ۲۰۱۵-۲۰۱۹. ب) و ژوئیه ۲۰۲۰.

بر اساس نقشه پهنه‌بندی حاصله از ماهواره MERRA-2 در شکل ۱، آنومالی بیشینه غلظت سطحی CO برای ماه ژوئیه در طی سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۰ در سه استان خوزستان، اصفهان و تهران تا شعاع چندکیلومتری آنها دیده شد که با اعمال محدودیت کرونایی بیشینه آن به ترتیب از ۱۲/۴۸، ۱۳/۹، ۱۱/۷ به ۱۰/۹، ۱۲/۲، ۱۰/۹ کاهش یافته است، بدیهی است که در نوسان غلظت این آلاینده کاهش فعالیت در بخش حمل‌ونقل و تعطیلی برخی از صنایع و دورکاری اجباری برخی از ادارات و سازمان‌ها، تشدید قرنطینه خانگی، تغییر الگوی فعالیت‌های صنعتی و وسایل نقلیه و

فعالیت‌های اقتصادی در زمان اعمال محدودیت‌های کرونایی بی‌تأثیر نبوده است.

به‌منظور ارزیابی نقش اعمال محدودیت‌های کرونایی و نقش عوامل طبیعی و انسانی در کاهش CO این استان‌ها در دوران همه‌گیری کرونا در ماه ژوئیه، تمرکز و نوسان منو اکسید کربن در هر دو دوره از دیدگاه انسانی و طبیعی و همدیدی بررسی شد. موقعیت جغرافیایی استان اصفهان، استقرار بر روی دشت و احاطه شدن توسط ارتفاعات از سه جهت و بالا بودن ارتفاع از سطح دریا (۱/۵۷۰ متر) و عوامل انسانی مانند افزایش جمعیت و شهرنشینی (تعداد جمعیت ۵۱۲۰۸۵۰ نرخ رشد جمعیت ۰/۹۷٪)، استقرار پالایشگاه نفت، صنایع پتروشیمی، ماشین‌آلات و صنایع فولاد و غیره، این استان را به مرکز تمرکز CO در ایران تبدیل شده است. از دلایل تمرکز CO در استان تهران می‌توان به عوامل طبیعی از قبیل موقعیت جغرافیایی، محصور شدن توسط ارتفاعات البرز، ارتفاع از سطح دریا (۱/۳۶۸ متر) و وجود دره و جلگه و عوامل انسانی از قبیل تمرکز بالای جمعیت (تعداد جمعیت ۱۳۲۶۷۶۳۷ و نرخ رشد جمعیت ۱/۷۲٪)، بالا بودن تعداد خودروها (اغلب فرسوده) و ترافیک زیاد، استقرار کارخانه‌ها و صنایع در سطح شهر (به‌ویژه در غرب و جنوب غرب آن) اشاره کرد. استان خوزستان به‌ویژه شهرهای آبادان، خرمشهر و بوشهر، سومین استان ایران است که بیشینه منوکسید کربن را داراست. بررسی عوامل طبیعی از قبیل موقعیت جغرافیایی خوزستان، وجود دریا و جریان باد از سوی دریا به خشکی و عوامل انسانی از قبیل فعالیت بخش صنعت، استقرار منابع نفت و گاز، صنایع مادر و سنگین و دود ناشی از این صنایع و غیره باعث شده است گرمای گسیل شده از سوی خورشید جذب شده و دما افزایش یابد، لذا با افزایش دما، تولید گاز منو اکسید کربن و دیگر آلاینده‌های آسیب‌رسان در سطح زمین نیز بیشتر شده و منجر به تمرکز CO در این استان گردیده است.

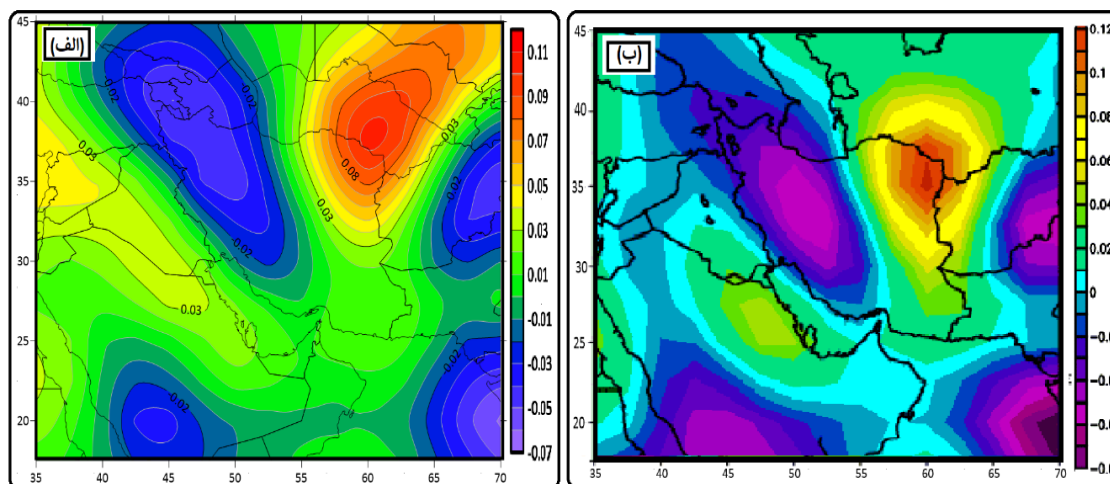
برای تبیین شرایط همدیدی جوی در پراکنش منو اکسید کربن نقشه‌های تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال برای هر دو دوره تهیه و بررسی شد (شکل ۲)، نتایج نشان داد که الگوی فشار تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال ماه ژوئیه ۲۰۲۰ در مقایسه با الگوی فشار متوسط ۵ ساله (۲۰۱۹-۲۰۱۵) شرایطی مشابهی داشته است، در هر دو دوره، هسته پرفشار با بیش از یک مرکز بسته بر روی جنوب غرب عربستان و دریای سرخ و هسته دیگر آن بر روی آفریقا وجود دارد که منجر به شکل‌گیری یک ناوه در غرب ایران شده است، در عرض‌های بالاتر پشته پرفشاری که ناشی از مکان‌گزینی پرفشار جنب حاره در شبه‌جزیره عربستان بر روی مناطق مورد مطالعه است، قابل‌شناسایی است، لذا کشور ایران در زیر پشته ناشی از این پرفشار جنب حاره‌ای که به‌صورت کمربند ممتدی است و جهش شمال‌سویی دارند قرار گرفته است. در ترازهای زیرین جو استان‌های تهران، اصفهان و خوزستان که متأثر از رفتار پویایی (دینامیکی) پشته مذکور است، به دلیل فرایند نزولی هوا، هوا گرم و خشک و پایداری را در این ماه تجربه کرده‌اند که این شرایط زمینه‌ساز ایجاد آلودگی هوا است. به‌این‌ترتیب مقایسه شرایط سینوپتیکی حاصل از فعالیت سامانه فوق در هر دو دوره نشان می‌دهد که کاهش غلظت منو اکسید کربن در دوره همه‌گیری کرونا مستقل از شرایط الگوی فشار است.



شکل ۲. نقشه میانگین ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در دوره پایه (الف)، و دوره اعمال محدودیت‌های کرونایی (ب).

باتوجه به اینکه سرعت قائم امگا به عنوان یکی از مشخصه‌های مهم همدیدی مطرح است، به منظور مقایسه رابطه بین سرعت قائم هوا در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال و مقدار غلظت آلاینده CO، نقشه امگا سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال بررسی شد. نتایج تحقیق نشان داد که در هر دو دوره چهار میدان امگای منفی در جنوب عربستان، دریای عرب، افغانستان و شمال غرب ایران وجود دارد، کنترهای میدان امگای منفی شمال غرب ایران با راستای شمال غربی - جنوب شرقی از غرب دریای سیاه تا استان فارس، ضمن پوشش دادن استان تهران، اصفهان و خوزستان کشیده شده است، لذا در این مناطق با شکل گیری شیو فشاری، جریانات بالاسوی به تبع آن ناپایداری دیده می‌شود که این ناپایداری‌ها منجر به تلاطم هوا و جابه‌جایی آلاینده و در این مناطق در این ماه شده است. در شکل ۳ (الف)، یک میدان امگای مثبت با راستای شمال شرقی - جنوب غربی با ۰/۱۱ پاسکال بر ثانیه وجود دارد که کنترهای آن از قزاقستان تا سمت شمال شرق ایران کشیده شده است و در شکل ۳ (ب)، دو میدان امگای مثبت که یکی از آنها با راستای نصف‌النهاری در نیمه شرقی ایران با ۰/۱۲ پاسکال بر ثانیه و دیگری بر روی شرق عربستان با راستای شمال غربی - جنوب شرقی با ۰/۰۴ پاسکال بر ثانیه وجود دارد که کنترهای آن از قزاقستان تا سمت شرق ایران امتداد یافته است. مثبت بودن حرکت قائم هوا در نیمه شرقی ایران و غرب خلیج فارس پایداری هوا را در این مناطق تقویت کرده است، لذا در صورت وجود قابل ملاحظه آلاینده CO در این مناطق شرایط برای فرونشینی و تراکم آلاینده در سطح زمین در این مناطق فراهم می‌گردد.

حرکت قائم هوا با جهت بالاسو و پایین سو اثرات کاهشی و افزایشی مشخصی در تراکم آلاینده CO دارد. بدین منظور با بررسی حرکت قائم هوا در تراز ۵۰۰ برای دوره پایه و دوره کرونا مشخص گردید که استان‌های دارای بیشینه CO یعنی تهران، اصفهان و خوزستان در هر دو تحت حاکمیت امگای منفی بوده‌اند، لذا تغییر محسوسی در امگای دو دوره وجود نداشته است و نوسان کربن مونوکسید در ژوئیه ۲۰۲۰ مستقل از تأثیرات حرکت قائم هوا است.



شکل ۳. نقشه میانگین امگای تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در دوره پایه (الف)، و دوره اعمال محدودیت‌های کرونایی (ب).

باتوجه به اینکه بارش عامل پالایند هوا تلقی می‌شود و ضمن نزول خود گازهایی را که در هوا وجود دارند در خود حل می‌کند و با ذرات موجود در هوا به زمین می‌آورد (قدرت شستشوی باران به عوامل چندی نظیر غلظت آلودگی و شدت بارندگی و همچنین قطر قطرات باران بستگی دارد) و منجر به پالایش هوا می‌گردد. از طرف دیگر بارش با ناپایداری جوی و وزش باد همراه است. ناپایداری جوی و اغتشاش در اتمسفر موجب کاهش تمامی آلاینده‌ها به واسطه فرایندهای انتقال جرم (جابه‌جایی و نفوذ) می‌شود. میزان بارش ژوئیه ثبت شده در ایستگاه هواشناسی در دوره فراگیری تهران و اصفهان و آبادان کاهش بسیار جزئی و در سایر شهرها مثل ماهشهر و اهواز بدون تغییر (در هر دو دوره بارش صفر بوده است) بوده است؛ لذا بارش در نوسان و تغییرات منو اکسید کربن جو در دوره کرونا نقش نداشته است.

مقایسه متوسط تردد روزانه وسایل نقلیه در ژوئیه ۲۰۲۰ با ۲۰۱۹-۲۰۱۵ نشان داد که تردد وسایل نقلیه اعم از سواری، وانت، کامیونت و کامیون‌های کوچک و مینی‌بوس، کامیون‌های معمولی و سه محورها، اتوبوس، تریلرها و باربری‌ها در هر سه استان در محورهای مورد بررسی که به صورت تصادفی انتخاب شده بودند، کاهش یافته است (جدول ۳). این کاهش مرتبط با اعمال محدودیت‌های کرونایی (اعم از تعطیلی کارخانه‌ها، حوزه‌های صنعتی و کارگاهی، کاهش ساعات کاری، الزامی شدن دورکاری در بسیاری از ادارات و سازمان‌ها، منع تردد در ساعات معین شده، منع تردد در برخی از استان‌ها و غیره که منجر به کاهش مصرف انرژی و تقاضای سوخت می‌گردد) بود.

جدول ۳. میانگین تردد روزانه وسایل نقلیه در جولای ۲۰۲۰-۲۰۱۵

کد محور	نام بزرگراه	دوره پایه	دوره اعمال محدودیت‌ها کرونایی
۲۱۳۹۵۱	اصفهان - شهرضا	۱۵۴۵۷	۱۴۷۸۳
۲۱۴۹۵۱	اصفهان - نطنز (ابتدای آزادراه)	۶۰۵۸	۴۲۲۴
۲۱۳۱۰۳	اصفهان - مورچه خورد	۲۰۲۷۲	۱۸۶۱۸
۲۱۵۱۵۴	اصفهان آزادراه معلم	۱۳۷۶۸	۱۰۹۷۶
۳۶۳۶۵۴	آزادراه خلیج فارس اهواز - بندرامام	۶۰۱۸	۵۹۳۵
۳۶۳۶۵۱	آبادان - بندرامام	۴۲۶۵	۴۰۵۴
۳۶۳۲۵۱	اهواز-آبادان	۵۶۵۷	۴۵۷۹
۱۱۳۲۰۶	آزادراه تهران - پردیس	۲۸۸۹۵	۲۷۵۴۱
۱۱۳۲۱۳	تهران - لواسانات	۲۳۷۴۷	۱۸۳۶۲
۱۱۳۹۰۳	تهران - شهریار	۴۰۳۵۴	۳۹۱۱۹
۱۱۴۵۰۱	آزادراه تهران - کرج	۱۰۶۴۹۴	۱۰۷۴۷۳

بحث

شیوع بیماری کرونا نه تنها سلامت و اقتصاد را تحت تأثیر قرار داده، بلکه پیامدهایی روی جنبه‌های مختلف زندگی از قبیل کیفیت هوا به همراه داشته است. با افزایش تعداد مبتلایان به بیماری COVID-19، اقدامات پیشگیرانه‌ای برای کنترل همه‌گیری این بیماری، توسط دولت ایران آغاز شد. از رایج‌ترین این اقدامات، کنترل تردد وسایل نقلیه، تعطیلی بازارها و کارخانجات بود. اعمال این محدودیت‌های هوشمند پیامدهای مثبت و منفی بر روی میزان مصرف سوخت‌های فسیلی، اقتصاد جامعه، کیفیت هوا و غیره به همراه داشته است.

به منظور ارزیابی این پیامدها بر روی کیفیت هوا، میانگین غلظت CO بر فراز اتمسفر ایران با پایش ماهواره‌ای در دوره پایه (ژوئیه ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۹) و دوره اعمال محدودیت‌های کرونایی (ژوئیه ۲۰۲۰) مورد بررسی قرار گرفت و کاهش را نشان داد، این کاهش در استان‌هایی که آنومالی بیشینه این آلاینده را داشتند نیز دیده شد. باتوجه به اینکه میزان سالانه تولید جهانی منو اکسید کربن حدود ۲۶۰ میلیون تن است و ۶۰ درصد آن ناشی از فعالیت‌های انسانی به ویژه سوخت‌های ناقص فسیلی و ۴۰ درصد بر اثر فرایندهای طبیعی وارد اتمسفر می‌شود (فرج‌زاده و باغبانان، ۱۳۹۷) و بیش از ۷۰ درصد از منو اکسید کربن منتشر شده در هوا در جریان عملیات حمل‌ونقل و حرکت خودروها تولید می‌شود (اسماعیلی‌ساری، ۱۳۸۲)؛ لذا بدیهی است با کاهش فعالیت‌های انسانی و حمل‌ونقل با اعمال محدودیت‌های کرونایی میانگین غلظت این آلاینده در اتمسفر دچار نوسان شود.

در مناطق شهری نوسان غلظت گاز منو اکسید کربن علاوه بر اینکه به حمل‌ونقل و فعالیت کارخانه‌ها وابسته است، شرایط همدیدی نیز بر آن تأثیر می‌گذارد. به منظور ارزیابی تأثیرات هواشناسی در میزان کاهش این آلاینده باتوجه به اینکه الگوی فشار جزء عامل‌های اصلی در کنترل کیفیت هوا است و هیچ تغییری در محیط‌زیست اتفاق نمی‌افتد مگر بر اثر تغییرات الگوهای فشار (Yarnal, 1993; Kassomenos et al., 1998) و عوامل جوی دخیل در آلودگی هوا (از قبیل باد، باران، دما و ...)، همگی توسط الگوهای فشار کنترل می‌شود. لذا نقشه میانگین الگوی فشار تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال دوره پایه (ژوئیه ۲۰۱۹-۲۰۱۵) و دوره اعمال محدودیت کرونایی بررسی شد و نشان داد که در هر دو

دوره مذکور حاکمیت پشته پرفشار جنب‌حاره‌ای و رفتار پویایی (دینامیکی) پشته ناشی از آن بر فراز استان‌های مذکور شرایط مشابهی داشته است. باتوجه به اینکه سرعت قائم‌امگا به‌عنوان یکی از مشخصه‌های مهم همدیدی مطرح است، بررسی نقش آن در آلودگی هوا و مقایسه آن در هر دو دوره بیانگر این است که در هر دو دوره با استقرار امگای منفی در استان تهران، اصفهان و خوزستان شرایط یکسان همدیدی حاکم بوده است.

بررسی عامل بارش نیز بیانگر این بود که در هر دو دوره شرایط تقریباً یکسان همدیدی وجود داشته است؛ لذا این کاهش مستقل از شرایط همدیدی بررسی شده و بارش است و با محدودیت‌های اعمال شده توسط دولت ایران که منجر به کاهش ترافیک و فعالیت‌های صنعتی، کاهش انتشار آلاینده‌ها از وسایل نقلیه و غیره شده است، مرتبط است. نوسان موجود در غلظت CO در دوران قبل و حین اعمال محدودیت‌های کرونایی زمانی منطقی به نظر می‌رسد که طبق تحقیقات قبلی که توسط آمارهای سازمان ملل گزارش شده است، حدود ۷۶ درصد از آلودگی‌های هوای جهان متعلق به تردد وسایل حمل‌ونقل است که با کاهش فعالیت حمل‌ونقل میزان غلظت CO در دوران کرونا کاهش پیدا کرده است. کاهش سطح CO در طی بیماری همه‌گیر COVID-19 در چندین کشور و شهر از جمله چین (Wang & Su, 2020)، هند جنوبی و مرکزی (Sharma et al. 2020)، ریودوژانیرو (Dantas et al., 2020)، سائوپائولو (Nakada & Urban, 2020) و میلان (Collivignarelli et al., 2020) مشاهده شده است؛ لذا می‌توان آن را از پیامدهای مثبت COVID-19 بر کیفیت هوا دانست.

نتیجه‌گیری

همه‌گیری بیماری COVID-19 روی جنبه‌های مختلف زندگی از قبیل آلودگی هوا تأثیر گذاشته است. در این تحقیق با به‌کارگیری داده‌های حاصل از سنجنده‌های ماهواره‌ای و انجام عملیات پیش‌پردازش و بررسی توزیع داده در محیط نرم‌افزار ArcGIS توزیع مکانی این داده‌ها به‌صورت نقشه ترسیم و مورد تحلیل قرار گرفت.

بررسی داده‌ها و نقشه‌های حاصله مربوط به ماه ژوئیه نشان داد که در دوران اعمال محدودیت‌های کرونایی ماه‌های مشابه قبل از اعمال محدودیت‌ها در یک دوره پایه طولانی‌تر، میانگین ماهانه آلاینده CO در اتمسفر ایران کاهش پیدا کرده است، این کاهش در ژوئیه ۲۰۲۰ که هم‌زمان با موج کرونایی و شدت گرفتن محدودیت‌های کرونایی بود حدود ۵ppbv بوده است. باتوجه به سهم بخش صنعت و منابع ثابت و بخش حمل‌ونقل و فعالیت‌های خانگی - تجاری در انتشار CO با اعمال محدودیت‌های کرونایی غلظت CO در استان‌های خوزستان و تهران و اصفهان کاهش قابل‌توجهی داشته است.

به‌منظور بررسی تأثیر کنترلی سامانه‌های همدید و عوامل جوی و حمل‌ونقل بر توزیع و پراکندگی این آلاینده در استان‌هایی که بیشینه این آلاینده را داشتند، نقشه‌های امگا و ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و عامل بارش بررسی و مشخص شد که عوامل جوی مورد بررسی در هر دو دوره شرایط ثابتی داشته و در این کاهش دخیل نبوده است؛ لذا بدیهی است محدودیت‌های اعمال شده توسط دولت ایران، در این کاهش نقش داشته است. زیرا بر اساس محدودیت‌های اعمال شده متوسط تردد روزانه وسایل نقلیه اعم از سواری، وانت، کامیونت و کامیون‌های کوچک و مینی‌بوس، کامیون‌های معمولی و سه‌محورها، اتوبوس، تریلرها و باربری‌ها در برخی از محورهای پرتردد هر سه استان در ژوئیه ۲۰۲۰ در مقایسه با ۲۰۱۵-۲۰۱۹ کاهش یافته است. لذا کاهش سطح CO هم‌زمان با اعمال محدودیت‌های کرونایی را می‌توان در نتیجه تأثیر مثبت COVID-19 بر کیفیت هوا دانست.

بررسی دقیق‌تر رفتار CO در دوران اعمال محدودیت‌های کرونایی در ایران نیازمند بررسی و تحلیل چندین فاکتور دیگر از قبیل واکنش‌پذیری CO، کاهش غلظت ذرات معلق و تأثیر آن روی افزایش تابش خورشید است، لذا پیشنهاد می‌گردد در تحقیقات آتی این موارد مورد بررسی بیشتر قرار گیرد.

منابع

اسماعیلی‌ساری، عباس (۱۳۸۲). آلاینده‌ها، بهداشت و استاندارد در محیط‌زیست. تهران: نقش مهر.

- آقاشریعت‌مداری، زهرا (۱۴۰۰). تأثیر همه‌گیری COVID-۱۹ بر غلظت آلاینده‌های هوا در دوران قرنطینه در تهران، ایران. *اقلیم شهری*، ۳۸ (۱۰۰۸۸۲)، ۱-۱۱.
- برومندی، پریا؛ کاراجا، فرهاد؛ نیکفال، امیرحسین؛ جهانبخشی، علی؛ تمجیدی، مهسا؛ ریول کیم، جونگ (۱۳۹۹). تأثیر رخداد COVID-۱۹ بر کیفیت هوای ایران. *بررسی کیفیت هوا و آئروسول*، ۳۰ (۸)، ۱۷۹۳-۱۸۰۴.
- رجبی، فاطمه، خداپرست، یونس، رضایی، صادق، نریمانی، سینا، سروش، سیما (۱۳۹۹). *آثار شیوع ویروس کرونا بر کسب‌وکار و رفاه خانوارها، سیاست‌های حمایتی در ایران و جهان*. تهران: معاونت امور اقتصادی و برنامه‌ریزی وزارت تعاون، کار و رفاه اجتماعی.
- رئیس‌پور، کوهزاد (۱۳۹۹). برآورد ماهواره‌ای بخار آب قابل بارش (PWV) در جو ایران و تحلیل همبستگی مکانی آن با فراسنج‌های آب‌وهواشناختی. *تحقیقات آب و خاک ایران (علوم کشاورزی ایران)*، ۵۱ (۱۰)، ۲۵۴۳-۲۵۵۷.
- سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور (۱۳۹۲). *سالنامه آماری ایران*. تهران: انتشارات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی.
- صدرائی، امیرحسین؛ خانمحمدی، مجتبی؛ فراقی‌علیشاه، میلاد (۱۳۹۹). تأثیر شیوع ویروس COVID-۱۹ بر کیفیت هوا بررسی آلاینده دی‌اکسید نیتروژن (مناطق مطالعاتی: ایران، تهران، ترکیه، استانبول، آلمان، برلین، انگلستان، لندن). *اولسین کنفرانس بین‌المللی و دومین کنفرانس ملی فناوری‌ها و کاربردهای نوین ژئوماتیک*، تبریز. <https://civilica.com/doc/1249673>
- فرج‌زاده، منوچهر؛ باغبانان، پرستو (۱۳۹۷). *مدیریت مخاطرات آب‌وهوایی*. تهران: نشر انتخاب.

References

- Aghashariatmadari, Z. (2021). The effects of COVID-19 pandemic on the air pollutants concentration during the lockdown in Tehran, Iran. *Urban Climate*, 38 (100882). 1- 11 (In Persian).
- Berman, J. D., & Ebisu, K. (2020). Changes in U.S. air pollution during the COVID-19 pandemic. *The Science of the total environment*, 739, 139864.
- British Petroleum (2015). <http://www.bp.com/en/global/corporate/about-bp/energy-economics/energy-outlook>. last visited at 16/09/2015.
- Broomandi, P., Karaca, F., Nikfal, A., Jahanbakhshi, A., Tamjidi, M., & Kim, J. R. (2020). Impact of covid-19 event on the air quality in Iran. *Aerosol and Air Quality Research*, 8(20), 1793-1804 (In Persian).
- Campanelli, M., Iannarelli, A. M., Mevi, G., Casadio, S., Diémoz, H., Finardi, S., Dinoi, A., Castelli, E., di Sarra, A., Di Bernardino, A., Casasanta, G., Bassani, C., Siani, A. M., Cacciani, M., Barnaba, F., Di Liberto, L., & Argentini, S. (2021). A wide-ranging investigation of the COVID-19 lockdown effects on the atmospheric composition in various Italian urban sites (AER-LOCUS), *Urban Climate*, 39, 100954, ISSN 2212-0955.
- Cao, J., Yang, C., Li, J., Chen, R., Chen, B., Gu, D., & Kan, H. (2011). Association between long-term exposure to outdoor air pollution and mortality in China: A cohort study. *Journal of Hazardous Materials*, 186 (2-3), 594-600.
- Collivignarelli, M. C., Abb`a, A., Bertanza, G., Pedrazzani, R., Ricciardi, P., & Miino, M. C. (2020). Lockdown for COVID-19 in Milan: what are the effects on air quality?. *Sci. Total Environ.* 732, 139280.
- da Silva, A. M., Randles, C. A., Buchard, V., Darmenov, A., Colarco, P. R., & Govindaraju, R. (2015). *File Specification for the MERRA Aerosol Reanalysis (MERRAero)*. GMAO Office Note No. 7(1). 1-33.
- Dantas, G., Siciliano, B., França, B. B., da Silva, C. M., & Arbilla, G. (2020). The impact of COVID-19 partial lockdown on the air quality of the city of Rio de Janeiro, Brazil. *Total Environ.* 729, 139085.
- Engel-Cox, J. A., Hoff, R. M., & Haymet, A. D. J. (2004). Recommendations on the use of satellite remote-sensing data for urban air quality. *Air Waste Manag.* 54, 1360-1371.
- Farajzadeh, M., & Baghbanan, P. (2018). *Climate risk management*. Tehran: Nashre Entekhab (In Persian).
- Flachsbart, P. G. (1995). Long-term trends in United States highway emissions, ambient

- concentrations, and in-vehicle exposure to carbon monoxide in traffic. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*, 5, 473-495.
- Food and Agriculture Organization (2015). <http://ag/agp/agpc/doc/counprof/iran/iran.htm>. last visited at 23/04/2015.
- Fuwape, I. A., Okpalaonwuka, C. T., & Ogunjo, S. T. (2020). Impact of COVID-19 pandemic lockdown on distribution of inorganic pollutants in selected cities of Nigeria. *Air quality, atmosphere, & health*, 1–7. Advance online publication. <https://doi.org/10.1007/s11869-020-00921-8>.
- Guerova, G., Bey, I., Attié, J. L., Martin, R. V., Cui, J., & Sprenger, M. (2006). Impact of transatlantic transport episodes on summertime ozone in Europe, *Atmos. Chem. Phys*, 6, 2057–2072.
- He, C., Hong, S., Zhang, L., Mu, H., Xin, A., Zhou, Y., Liu, J., Liu, N., Su, Y., Tian, Y., Ke, B., Wang, Y., & Yang, L. (2021). Global, continental, and national variation in PM_{2.5}, O₃, and NO₂ concentrations during the early 2020 COVID-19 lockdown. *Atmospheric Pollution Research*, 12(3), 136-145 ISSN1309-1042.
- Health Effects Institute (2017). *State of Global Air 2017. Special Report*. Health Effects Institute, Boston, MA. <https://www.stateofglobalair.org/>. (Accessed 18 June 2020).
- Ismaili Sari, A. (2003). *Environmental pollutants and standards*. Tehran: The role of Mehr. ISBN:964-6145-52-3. p. 798. (In Persian)
- Kassomenos, P.A., Flocas, H.A., Lykoudis, S., & Skouloudis, A. (1998). Spatial and temporal characteristics of the relationship between air quality status and mesoscale circulation over an urban Mediterranean basin. *The science of the total environment*, 217: 37-57.
- Le Quéré, C., Jackson, R.B., Jones, M.W., Smith, A. J. P., Abernethy, S., Andrew, R.M., De Gol, A.J., Willis, D.R., Shan, Y., Canadell, J. G., Friedlingstein, P., Creutzig, F., & Peters, G. P. (2020). Temporary reduction in daily global CO₂ emissions during the COVID-19 forced confinement. *Nat. Clim Chang*, 10, 647–653.
- Lou, B., Barbieri, D.M., Passavanti, M., Hui, C., Gupta, A., Hoff, I., Lessa, D.A., Sikka, G., Chang, K., Fang, K., Lam, L., Maharaj, B., Ghasemi, N., Qiao, Y., Adomako, S., Mirhosseini, A.F., Naik, B., Banerjee, A., Wang, F., Tucker, A., Liu, Z., Wijayarathna, K., Naseri, S., Yu, L., Chen, H., Shu, B., Goswami, S., Peprah, P., Hessami, A., Abbas, M., & Agarwal, N. (2021). Air pollution perception in ten countries during the COVID-19 pandemic. *Ambio*, 51(3), 531–545. <https://doi.org/10.1007/s13280-021-01574-2>.
- Management and Planning Organization of Iran (2013). *Statistical Yearbook of Iran*. Tehran: Publications of Management and Planning Organization. (In Persian).
- Miller, P.W., Reesman, C., Grossman, M.K., Nelson, S.A., Liu, V., & Wang, P. (2021). Marginal warming associated with a COVID-19 quarantine and the implications for disease transmission. *The Science of the total environment*, 780, 146579. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146579>.
- Mishra, M., Kulshrestha, U.C. (2021). A Brief Review on Changes in Air Pollution Scenario over South Asia during COVID-19 Lockdown. *Aerosol Air Qual. Res*, 21, 200541.
- Molod, A., Takacs, L., Suarez, M., & Bacmeister, J. (2014). Development of the GEOS-5 atmospheric general circulation model: evolution from MERRA to MERRA-2, *Geosci. Model Dev. Discuss*, 7, 7575-7617.
- Mostafa, M.K., Gamal, G., & Wafiq, A. (2020). The impact of COVID-19 on air pollution levels and other environmental indicators - A case study of Egypt. *Journal of environmental management*, 277, 111496. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111496>.
- Nakada, L.Y.K., Urban, R.C. (2020). COVID-19 pandemic: impacts on the air quality during the partial lockdown in São Paulo state, Brazil. *The Science of The Total Environment*, 730, 139087.
- Raispour, K. (2020). Satellite Estimation of Precipitable Water Vapor (PWV) in Iran Atmosphere of Iran and the Analysis of its Spatial Correlation with Meteorological Variables. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 51(10), 2543-2557. (In Persian).

- Rajabi, F., Khodaparast, Y., Rezaei, S., Narimani, S., & Soroush, S. (2020). *Effects of Corona virus outbreak on business and household welfare, supportive policies in Iran and the world*. Tehran: Deputy Minister of Economic Affairs and Planning in Cooperatives Ministry, Labor and Social Welfare (In Persian).
- Rienecker, M.M., Suarez, M.J., Gelaro, R., Todling, R., Bacmeister, J., Liu, E., Bosilovich, M.G., Schubert, S.D., Takacs, L., Kim, K., Bloom, S., Chen, J., Collins, D., Conaty, A., da Silva, A., Gu, W., Joiner, J., D. Koster, R., Lucchesi, R., Molod, A., Owens, T., Pawson, S., Pegion, P., R. Redder, C., Reichle, R., Robertson, F.R., Ruddick, A.G., Sienkiewicz, M., & Woollen, J. (2011). MERRA -2 NASA's Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications. *Journal of Climate*, 24(14), 3624-3648. <https://journals.ametsoc.org/view/journals/clim/24/14/jcli-d-11-00015.1.xml>.
- Sadraei, A., KhanMohammadi, M., & Faraghi Ali'shah, M. (2020). The effect of COVID-19 virus outbreak on air quality by controlling nitrogen dioxide (NO₂) pollutants (Study areas: Iran, Tehran. Turkey, Istanbul. Germany, Berlin. United Kingdom, London). *First International Conference and Second National Conference on New Geomatics Technologies and Applications*. Tabriz. 1-14p (In Persian).
- Shafeeque, M., Arshad, A., Elbeltagi, A., Sarwar, A., Pham, Q. B., Khan, S. N., Dilawar, A., & Al-Ansari, N. (2021). Understanding temporary reduction in atmospheric pollution and its impacts on coastal aquatic system during COVID-19 lockdown: a case study of South Asia. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 12(1), 560-580.
- Sharma, S., Zhang, M., Anshika, Gao, J., Zhang, H., & Kota, S.H. (2020). Effect of restricted emissions during COVID-19 on air quality in India. *The Science of the Total Environ*, 728, 138878. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138878>.
- Veefkind, P., Van Oss, R.F., Eskes, H., Borowiak, A., Dentner, F., & Wilson, J. (2007). *The Applicability of Remote Sensing in the Field of Air Pollution*. Italy: Institute for Environment and Sustainability.
- Wang, Q., & Su, M. (2020). A preliminary assessment of the impact of COVID-19 on environment – a case study of China. *The Science of the Total Environ*. 728, 138915.
- World Health Organization (2020). *Safe Ramadan Practices in the Context of the COVID-19*. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/331767/WHO-2019-nCoV-Ramadan-2020.1eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Yarnal, B. (1993). *Synoptic climatology in environmental analysis*. Belhaven/CRC.