



Estimation and Detection of Air Pollution in the Coastal Provinces of the Persian Gulf with a Regional Climate Approach

Ata Ghafari Gilandeh^{a*}, Vahid Safarian Zengir^b

^a Professor, Department of Geography and Urban Planning, Faculty of Social Sciences, University of Mohagheh Ardabili, Ardabil, Iran

^b PhD, Department of Physical Geography, Climatology, Faculty of Social Sciences, University of Mohagheh Ardabili, Ardabil, Iran

Received: 25 September 2022

Revised: 5 December 2022

Accepted: 18 December 2022

Abstract

One of the most important atmospheric challenges in recent decades in metropolitan areas is air pollution, which is caused by various natural and human factors and has harmful impacts on humans and the environment. Accordingly, investigating air pollution is important and necessary. For estimating the amount of carbon monoxide and nitrogen dioxide, as well as water vapor in the atmosphere in southern and southwestern provinces in 2018-2019, the data of Sentinel-5 satellite images was used. The findings showed the maximum concentration of CO with the value of 0.037 mol/m² in April 2019, the maximum concentration of H₂O with the value of 3703 mol/m² in August 2019 and the maximum concentration of NO₂ with the value of 0.000188 mol/m² in November 2018. The maximum daily LST value was 324.5 degrees Kelvin in June 2019 and the maximum nighttime LST value was 302.5 degrees Kelvin in June 2019. The maximum thickness of the optical depth of aerosols with a value of 13.79 μg/m³ at a wavelength (0.47 μm) was in July 2019 and its lowest value with a value of 1.57 μg/m³ in a wavelength of (55 /0 μm) was in November 2018. The results of temporal and spatial monitoring of CO, NO₂, H₂O, LST and AOD values give the possibility of a more concrete understanding of spatial and temporal changes of the examined components on a regional macro scale.

Keywords: Atmospheric Pollutants, Carbon Monoxide, Nitrogen Dioxide, Aerosols, Sentinel-5, MODIS

*. Corresponding author: Ata Ghafari Gilandeh E-mail: a_ghafarigilandeh@uma.ac.ir Tel: + 989141557001

How to cite this Article: Ghafari gilandeh, A., & safarian zengir, V. (2023). Estimation and detection of air pollution in the coastal provinces of the Persian Gulf with a regional climate approach. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 12(2), 101-124.

DOI:10.22067/geoeh.2022.78950.1282



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.2022.78950.1282> 

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دوازدهم، شماره چهل و ششم، تابستان ۱۴۰۲، صص ۱۰۱-۱۲۴

مقاله پژوهشی

تخمین و آشکارسازی آلودگی هوا در استان‌های ساحلی خلیج فارس با رویکرد آب‌وهوای منطقه‌ای

عطا غفاری گیلانده^۱ - استاد، گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
وحید صفریان زنگیر - دکتری گروه جغرافیای طبیعی، اقلیم‌شناسی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۷/۳ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۹/۱۴ تاریخ تصویب: ۱۴۰۱/۹/۲۷

چکیده

یکی از چالش‌های و مسائل مهم جوی در دهه‌های اخیر در مناطق کلان‌شهرها، آلودگی هوا است که عوامل طبیعی و انسانی مختلفی در ایجاد آن نقش اساسی دارند و اثرات زیان‌باری را روی انسان‌ها و محیط‌زیست می‌گذارد. با توجه به این موضوع تحقیق و بررسی آلودگی هوا مهم و ضروری است. بر این اساس در پژوهش حاضر در برآورد میزان کربن منوکسید و دی‌اکسید نیتروژن و نیز مقدار بخار آب موجود در جو در مقیاس استان‌های جنوبی و جنوب غربی مشرف بر خلیج فارس در سال‌های ۲۰۱۹-۲۰۱۸، از داده‌های تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-5 و در برآورد میزان آئروسول‌ها و مقدار دمای سطح زمین (LST) در گستره مکانی و زمانی مذکور از داده‌های تصاویر سنجنده MODIS استفاده شد. طبق یافته‌های به‌دست آمده، بیشینه غلظت Co با مقدار 0.037 mol/m^2 در آوریل ۲۰۱۹، بیشینه غلظت H_2O با مقدار ۳۷۰۳، mol/m^2 در آگوست ۲۰۱۹ و بیشینه غلظت NO_2 با مقدار 0.00188 mol/m^2 در نوامبر ۲۰۱۸ قرار دارد. بیشینه مقدار روزانه LST با مقدار $324/5$ درجه کلوین در ژوئن ۲۰۱۹ و بیش‌ترین مقدار شبانه LST با مقدار $302/5$ درجه کلوین در ژوئن ۲۰۱۹ به‌دست آمد. بیشینه مقدار ضخامت عمق اپتیکی آئروسول‌ها با

Email: a_ghafarigilandeh@uma.ac.ir

۰۹۱۴۱۵۵۷۰۰۱ نویسنده مسئول:

نحوه ارجاع به این مقاله:

غفاری گیلانده، عطا؛ صفریان زنگیر، وحید؛ ۱۴۰۲. تخمین و آشکارسازی آلودگی هوا در استان‌های ساحلی خلیج فارس با رویکرد آب و هوای منطقه‌ای. جغرافیا و مخاطرات محیطی. ۱۲(۲). صص ۱۰۱-۱۲۴

<https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.78950.1282>

مقدار $13/79 \mu\text{g}/\text{m}^3$ در طول موج $(0/47 \mu\text{m})$ در جولای ۲۰۱۹ و کمترین مقدار آن با مقدار $1/57 \mu\text{g}/\text{m}^3$ در نوامبر ۲۰۱۸ در طول موج $(0/55 \mu\text{m})$ قرار دارد. نتایج حاصل از پایش زمانی و مکانی مقادیر Co ، NO_2 ، H_2O ، LST و AOD ، امکان درک ملموس تری از تغییرات مکانی و زمانی مؤلفه‌های موردبررسی را در مقیاس کلان منطقه‌ای فراهم می‌کند.

کلیدواژه‌ها: آلاینده‌های جوی، کربن منوکسید، دی‌اکسید نیتروژن، آئروسول‌ها، Sentinel-5، MODIS.

۱- مقدمه

آب‌وهوای پاک برای زندگی سالم هر موجود زنده‌ای، از غذا و آب ضروری‌تر است و جزء نیازهای مهم یک انسان برای ادامه حیات محسوب می‌شود، اضافه شدن هر عنصری که برای زندگی انسان، جانوران، گیاهان، مضر باشد، آلودگی هوا تلقی می‌شود (لشکری و همکاران، ۱۳۹۹). آلودگی هوا از پیامدهای فعالیت بشر، به‌ویژه در قرن بیستم است که آثار مستقیم و غیرمستقیمی بر انسان و محیط پیرامون آن دارد. با گسترش شهرها و افزایش جمعیت و فقدان اقدامات کافی در کنترل آلودگی هوا، به تدریج آثار زیان‌بار آن بر محیط‌زیست و انسان، هر چه بیش‌تر آشکار می‌شود (ملاشاهی و همکاران، ۱۳۹۱). آلودگی هوا، به‌ویژه در کلان‌شهرها، اهمیت قابل توجهی دارد. از عوامل تشدیدکننده این مشکل شهری، شرایط جوی و تیپ‌های هوایی حاکم بر شهرهاست (عساکره و احدی، ۱۳۹۹). پایداری هوا و وارونگی دمایی با مانع شدن تبادل هوا بین لایه‌های نزدیک به سطح زمین با لایه‌های بالای جو تأثیر زیادی در آلودگی‌های هوا دارند (هوا و همکاران، ۲۰۲۰). آلاینده‌های هوا متشکل از ذرات جوی (PM) تهدید عمده‌ای برای محیط‌زیست و سلامت انسان است هم‌چنین آلاینده‌های هوا بر وضعیت مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهان تأثیر می‌گذارد و تأثیرات آن‌ها در بین گونه‌ها و ارقام مختلف متفاوت است. استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور در ارزیابی و پایش کیفیت هوا در آلودگی آب‌وهوای برای تحقیق‌های مرتبط به محیط‌زیست دارای اهمیت زیادی است. شناخت مواد و ترکیبات آلاینده که در ترازهای مختلف از آلودگی می‌توانند مطرح شوند، پایش و برآورد میزان آلاینده‌ها در مقیاس‌های مختلف زمانی و فضایی، بررسی منشأ آلودگی و ساز و کار شکل‌گیری آن، ارائه راه‌حل‌های مقتضی در مواجهه با شرایط هوای ناسالم و طرح راهکارهای پیشگیرانه در این زمینه؛ از جمله موضوعات مورد اقبال در محافل علمی و مدیریتی هستند که می‌توانند سرفصل‌های مختلفی از پژوهش و تحقیق را در زمینه آمادگی هوا به‌دنبال داشته باشند (عزیزی و قنبری، ۱۳۸۹؛ سبجانی و همکاران ۱۳۹۹)؛ غریبی و شایسته، ۱۴۰۰؛ کرم‌پور و همکاران، ۱۴۰۰؛ سبجانی و صفریان‌زنگیر (۱۴۰۲)؛ راویندرا^۲ و همکاران (۲۰۲۰)؛ عمرانی^۳ و

1 Hu

2 Ravindra

3 Omrani

همکاران (۲۰۲۰)؛ کواچ^۱ و همکاران، ۲۰۲۱؛ اسلام و سایکیا^۲، ۲۰۲۲؛ سونگ^۳ و همکاران، ۲۰۲۲؛ لی^۴ و همکاران، ۲۰۲۲؛ آناند^۵ و همکاران، ۲۰۲۲). ورود در ادبیات موضوع پژوهش و کنکاش در پیشینه تحقیق، کاشف از دامنه‌ای از تحقیقات متنوعی است که در زمینه تخمین و برآورد آلودگی هوا، به انجام رسیده است. تنوع این مباحث گویای اقبال قابل توجه به این موضوع در محافل آکادمیک و اجرایی است. تحقیقات متعددی در پیش‌زمینه پژوهشی این تحقیق مورد مراجعه قرار گرفته است که از آن جمله می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد: **قربانی و همکاران (۱۳۹۱)** در تحقیقی به روش سریع در برآورد غلظت ذرات معلق با استفاده از سنجنده مودیس در تهران اقدام نمودند و به این نتیجه رسیدند که وجود وابستگی میان محاسبات سنجش‌ازدوری و اندازه‌گیری‌های زمینی، حاکی از قابل‌استفاده بودن تصاویر ماهواره‌ای در نظارت بر وضعیت آلودگی‌هایی از نوع ذرات معلق در مناطق شهری است. **شمسی‌پور و امینی (۱۳۹۲)** به شبیه‌سازی الگوی پراکنش Co با مدل خرداقلیمی Envi-met در مسیر آزادی-تهران پارس اقدام نمودند، طبق نتایج به‌دست آمده در این پژوهش، تمرکز بیشینه آلودگی به‌ویژه در ساعات‌های آغازین روز در بخش‌های با تراکم بافت شهری در موقعیت‌هایی چون چهارراه ولیعصر و ضلع شرقی میدان آزادی وجود دارد. **ثقفی و علی‌اکبری (۱۳۹۳)** در پژوهشی به بررسی تغییرات شبانه‌روزی و فصلی باد و دمای هوا و آلاینده‌های Co و PM10 در لایه سطحی جو شهر تهران اقدام نمودند و به این نتیجه رسیدند که Co و PM10 تغییرات فصلی از خود نشان می‌دهند که به شرایط هواشناختی و منابع آلاینده‌ها وابسته است. **نورپور و فیض (۱۳۹۳)** ضمن استفاده از تکنیک‌های ArcGIS به تعیین تغییرات مکانی و زمانی آلاینده‌های گوگرد دی‌اکسید و دی‌اکسید نیتروژن و انواع ذرات معلق در شهر تهران اقدام کردند طبق نتایج حاصله از مدل LUR، مهم‌ترین عامل موثر در آلاینده‌های NO₂, SO₂ و ذرات معلق PM_{2.5}؛ حجم ترلیفیک تشخیص داده شد، در حالی که مهم‌ترین عامل موثر در آلاینده ذرات معلق PM10 اماکن صنعتی می‌باشد. **سلطانی و همکاران (۱۳۹۴)** در مطالعه‌ای به بررسی همدیدی روزهای بسیار آلوده در شهر مشهد پرداختند. طبق نتایج تحلیل همدیدی در بررسی مذکور، روزهای بسیار آلوده ۱۳ و ۱۴ نوامبر ۲۰۰۷ در شهر مشهد در قالب الگوی پرفشار مهاجر قابل طبقه‌بندی است، در این الگو، شکل‌گیری هم‌زمان چند لایه کم ضخامت وارونگی در زیر تراز ۴۰۰ هکتوپاسکال مطرح هستند. **مظفری و همکاران (۱۳۹۴)** به تحلیل رابطه الگوهای همدید با میزان آلاینده ذرات معلق و منوکسید کربن در شهر شیراز پرداختند، مطابق با یافته‌های به‌دست آمده روند سالانه و ماهانه میزان آلاینده‌ها در طی دوره آماری نیز نشان دهنده روند کاهشی غلظت منوکسیدکربن در طی بازه زمانی مورد مطالعه بود. **جهانی‌چهره‌برق و آخوندزاده‌هنزائی (۱۳۹۶)** به تخمین ضخامت نوری هواویزها بر روی منطقه‌ای از ایران اقدام

1 Kovács

2 Islam and Saikia

3 Song

4 Li

5 Anand

کردند و به این نتیجه رسدند که مقدار RMSE حاصل از مقایسه داده‌های NASA و روش SYNTAM به کمک الگوریتم تکرار نیوتن برای طول موج $0.55 \mu\text{m}$ برابر 0.253 می‌باشد. **کابلی‌زاده و همکاران (۱۳۹۷)** در مطالعه‌ای به کاربرد تلفیق تصاویر ماهواره‌ای لندست-۸ و سنتینل-۲ در پایش محیطی اقدام نمودند و به این یافته رسدند، بیش‌ترین انحراف مکانی در شاخص DWT با مقدار همبستگی 0.47 با تصویر مرجع مشاهده شد. **شمس‌الدینی و احمدی (۱۳۹۹)** به تخمین مکانی-زمانی آلاینده‌های منوکسید کربن و دی‌اکسید نیتروژن در تهران با استفاده از داده‌های سنجش از دور و داده‌های کمکی اقدام کردند، براساس نتایج به‌دست آمده در این پژوهش، منوکسید کربن و دی‌اکسید نیتروژن به ترتیب با خطای ۱۳ درصد و ۱۱/۵ درصد به صورت زمانی پیش‌بینی شدند. **مرادی‌زاده (۱۳۹۹)** به ارتقای توان تفکیک مکانی بخار آب ستونی جو، به دست آمده از سنجنده AIRS اقدام کردند و به این نتیجه رسیدند که بخار آب ستونی ارتقاء یافته جو ممکن است دقت برآورد LST را افزایش چشم‌گیری دهد. **شاه‌محمدی و همکاران (۱۳۹۹)** به بررسی رفتار دی‌اکسید نیتروژن در شهرستان مشهد و ارتباط آن با پارامترهای هواشناسی پرداختند و به این نتیجه رسدند که ضریب همبستگی دی‌اکسید نیتروژن با دید افقی برابر 0.15 - است که نشان می‌دهد با افزایش آلودگی هوای ناشی از دی‌اکسید نیتروژن، دید افقی کاهش می‌یابد. **عربی‌علی‌آباد و همکاران (۱۴۰۰)** به مقایسه دقت روش‌های مختلف تخمین بخار آب جو در برآورد دمای سطح زمین با استفاده از تصاویر ماهواره لندست-۸ اقدام نموده و به این نتیجه رسیدند که در میان روش‌های برآورد بخار آب جو، روش Swcvt برای برآورد دمای سطح زمین مناسب‌تر می‌باشد. **باقرآبادی و معین‌الدینی (۱۴۰۰)** روند آزون تروپوسفری شهر کرمانشاه در بازه ۱۰ ساله را با استفاده از پارامترهای هواشناسی مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که بیش‌ترین مقدار آزون تروپوسفری در کم‌ترین مقدار اکسیدهای نیتروژن و دی‌اکسید نیتروژن رخ می‌دهد و تغییرات غلظت آزون تروپوسفری در طول روز برعکس تغییرات اکسیدهای نیتروژن و دی‌اکسید نیتروژن است. **سلیمانی و همکاران (۱۴۰۰)** در پژوهشی به پیش‌بینی عمق نوری آئروسول ماهواره‌ای با استفاده از داده کاوی پارامترهای اقلیمی پرداختند، نتایج این پژوهش نشان داد تکنیک داده کاوی در زمینه پیش‌بینی AOD کارآمد است. **شاه‌محمدی و همکاران (۱۴۰۱)** در تحقیقی به بررسی آلودگی هوای شهر اصفهان براساس آلاینده دی‌اکسید نیتروژن اندازه‌گیری شده با سنجنده اُمی پرداختند. مطابق با بررسی مذکور روند دی‌اکسید نیتروژن برای اصفهان 1.62×10^{14} مولکول بر سانتی‌متر در هر سال به‌دست آمد که در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار می‌باشد. **والاس و کناروگلو^۱ (۲۰۰۹)** در تحقیقی با استفاده از سنجنده OMI، حساسیت دی‌اکسید نیتروژن در طی وارونگی دمایی را مورد ارزیابی قرار دادند و به این یافته رسدند که مقدار دی‌اکسید نیتروژن نشان داده شده توسط سنجنده OMI کم‌تر از دی‌اکسید نیتروژن مشاهده شده در سطح زمین است. **لامسال^۲ و همکاران (۲۰۱۵)** در پژوهشی ضمن بهره‌گیری از داده‌های جمع‌آوری

1 Wallace and Kanaroglou

2 Lamsal

شده دی‌اکسید نیتروژن توسط سازمان کیفیت هوا ایالات متحده و داده‌های حاصل از سنجنده OMI در حد فاصل سال‌های ۲۰۱۳ - ۲۰۰۵ به این نتیجه رسیده‌اند که میزان دی‌اکسید نیتروژن در سال‌های مورد مطالعه، روندی رو به کاهشی داشته است. **اشنایدر^۱ و همکاران (۲۰۱۵)** در تحقیقی، میزان دی‌اکسید نیتروژن در شهرهای بزرگ جهان را در حد فاصل سال‌های ۲۰۱۲-۲۰۰۲ مورد ارزیابی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که مقدار غلظت دی‌اکسید نیتروژن در آفریقا و امریکای جنوبی افزایش می‌یابد. **بارکلی^۲ و همکاران (۲۰۱۷)** در پژوهشی، کیفیت هوای خاورمیانه را با به کار گیری سنجنده OMI مورد بررسی قرار دادند و اشاراتی در رابطه با مقدار دی‌اکسید نیتروژن در مکان‌های شهری و وضعیت‌های مورد بررسی در شهرهای بحرین، کویت و امارات متحده عربی داشتند. **ایبسون^۳ و همکاران (۲۰۲۰)** در پژوهشی به مدل‌سازی اثرات آلودگی هوا بر سلامتی منطقه کوچکی در بریتانیا اقدام نمودند و به این یافته رسیدند که آلودگی هوا و میزان بروز بیماری قلبی (IHD) و مرگ و میر مورد IHD باهم مرتبط می‌باشد. **روحی^۴ و همکاران (۲۰۲۰)** در تحقیقی به تجزیه و تحلیل و مقابله مستقل با آلودگی هوا با استفاده از پهپادهای زیست‌محیطی پرداختند و به این یافته رسیدند که تازگی این سیستم نه تنها آلودگی بیش از حد را تشخیص می‌دهد، بلکه به طور خودکار با آلودگی هوای شناسایی شده در بالای زمین مقابله کرده و آن را کاهش می‌دهد. **تائو^۵ و همکاران (۲۰۲۱)** در تحقیقی با رصدهای ماهواره‌ای و زمینی یکپارچه به ردیابی آئروسول، گرد و غبار غلب بر آلودگی هوا در مرکز چین اقدام کردند. طبق بررسی مذکور ذرات گرد و غبار رایج در طول پاییز در مرکز چین یافت می‌شوند که سهم عمده‌ای در آلودگی هوا دارند. **بودا^۶ و همکاران (۲۰۲۲)** در تحقیقی به کاربرد ماهواره Sentinel-5P TROPOMI برای مطالعات NO₂ و CO با هدف ارزیابی زیست‌محیطی اقدام کردند و به این نتیجه رسیدند که دی‌اکسید نیتروژن با مقدار ۷/Me+۱۵ مول بر سانتی متر مربع بیش‌ترین غلظت را دارا بود. نظریه اهمیت مقوله آلودگی هوا و ادبیات دامنه‌داری که در این حوزه از مسایل زیست‌محیطی وجود دارد، می‌توان گفت که زمینه‌های مختلفی از تحقیق و پژوهش در عرصه شناخت، پایش، برآورد و مواجهه با پدیده آلودگی هوا قابل طرح هستند. در پژوهش حاضر بلیک نگاه کلان منطقه‌ای و در برش فضایی از استان‌های جنوب و جنوب غربی مشرف بر خلیج فارس (شامل استان‌های خوزستان، بوشهر، کهگیلویه و بویراحمد، فارس و هرمزگان) و با استفاده عملیاتی از داده‌های تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-5 و داده‌های سنجنده MODIS، سعی شده است به پایش و برآورد میزان کربن منوکسید، دی‌اکسید نیتروژن و بخار آب و نیز برآورد میزان آئروسول‌ها و دما در منطقه مورد مطالعه در بازه زمانی ۱۴ ماهه در حد فاصل سال‌های ۲۰۱۸ تا ۲۰۱۹؛ پرداخته شود.

1 Schneider

2 Barkley

3 Ibbetson

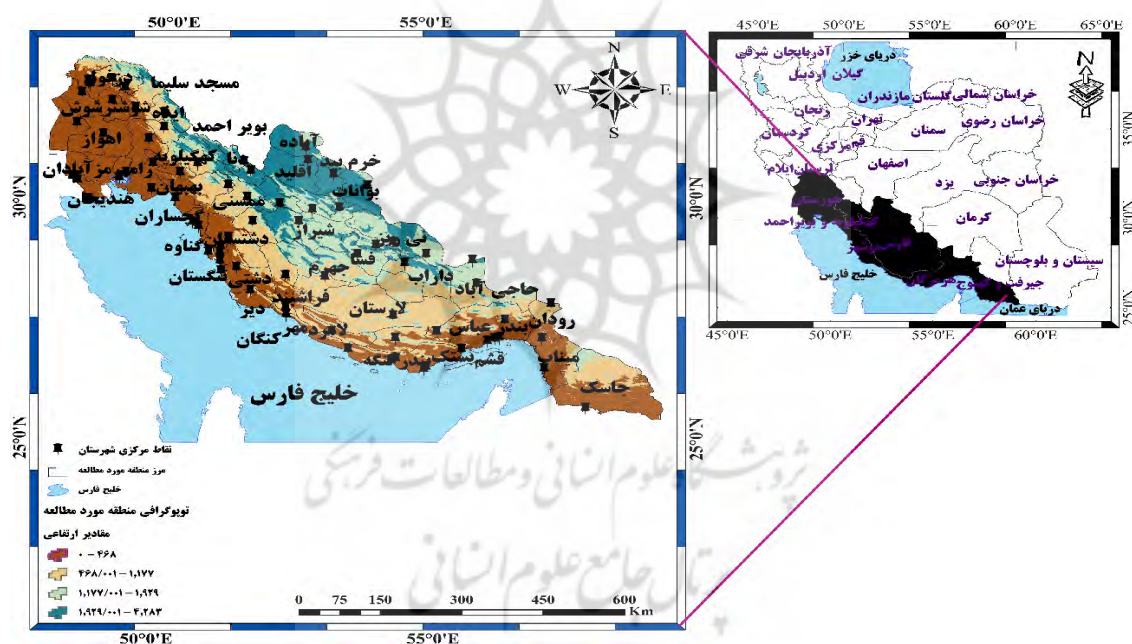
4 Rohi

5 Tao

6 Bodah

۲- مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در چهارچوب موضوعی تحقیق و مطالعه آلودگی هوا در مقیاس فضایی استان‌های جنوبی و جنوب‌غربی مشرف بر سواحل خلیج فارس (مشمول بر استان‌های خوزستان، بوشهر، کهگیلویه و بویراحمد، فارس و هرمزگان) و در بازه زمانی ۱۴ ماهه در حداصل سال‌های ۲۰۱۸ تا ۲۰۱۹، صورت عملیاتی به خود گرفت (شکل ۱). در چهارچوب موضوعی، جغرافیایی و زمانی مذکور به بررسی میزان کربن منوکسید، دی‌اکسید نیتروژن، آئروسول‌ها پرداخته شد. همچنین بررسی مقدار بخار آب موجود در جو و وضعیت دما در بازه زمانی انتخاب شده که می‌تواند به نوعی در ارتباط با شرایط آلودگی هوا قرار داشته باشند، بخش دیگری از فرایند تحقیق بود. در برآورد میزان کربن منوکسید و دی‌اکسید نیتروژن و نیز مقدار بخار آب موجود در جو از داده‌های تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-5 و در برآورد میزان آئروسول‌ها و مقدار دما از داده‌های سنجنده MODIS که بر روی ماهواره‌های Terra و Aqua قرار دارد، استفاده به عمل آمد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در سطح کشور

۲-۱- ماهواره Sentinel 5 Precursor (S5P)

در پژوهش حاضر برای برآورد آلاینده‌های جوی از داده‌های ماهواره سنتینل-۵ و سنجنده MODIS مستقر بر روی ماهواره‌های Terra و Aqua استفاده شد. برآورد تراکم کربن منوکسید بر پایه داده‌های ماهواره سنتینل-۵ با دقت تفکیک‌پذیری ۱۱۱۳/۲ متری مطرح هست و مقیاس کم‌ترین و بیش‌ترین تراکم ستون کربن منوکسید بین ۲۷۹- تا

۴/۶۴ (mol/m^2) مول بر مترمربع قرار دارد که بازه زمانی آن از اول نوامبر سال ۲۰۱۸ شروع می‌شود. مونوکسید کربن (Co) یک گاز مهم ردیابی جوی برای درک ما از شیمی تروپوسفر می‌باشد که در برخی از مناطق شهری، آلاینده اصلی جو است. منابع اصلی Co عبارتند از: احتراق سوخت‌های فسیلی، سوزاندن زیست توده و سایر هیدروکربن‌ها می‌باشد این در حالی است که احتراق سوخت فسیلی منبع اصلی Co در عرض‌های جغرافیایی میانی شمالی و سوزاندن زیست توده نقش مهمی در مناطق استوایی ایفا می‌کند، ماهواره Sentinel 5 Precursor (S5P) فراوانی جهانی مونوکسید کربن را با بهره‌برداری از اندازه‌گیری‌های تشعشع زمین در آسمان صاف و ابری در محدوده طیفی ۲/۳ میکرومتر بخش مادون قرمز موج کوتاه (Swir) از طیف خورشیدی ثبت می‌کند (صفریان‌زنگیر^۱ و همکاران، ۲۰۲۰). ماهواره Sentinel-5P TROPOMI، ثبت ستون‌های کل Co را با حساسیت بالا در لایه مرزی تروپوسفر در آسمان صاف فراهم می‌کند. برای جوهای ابری، حساسیت ستون‌ها، با توجه به مسیر نور تغییر می‌کند. برآورد تراکم دی‌اکسید نیتروژن نیز بر پایه داده‌های ماهواره سنتینل ۵- با دقت تفکیک‌پذیری ۱۱۱۳/۲ متری مطرح است و مقیاس آماری کم‌ترین و بیش‌ترین تراکم حجم دی‌اکسید نیتروژن بین $0/0006^*$ تا $0/0096^*$ (mol/m^2) مول بر متر مربع قرار دارد که بازه زمانی آن از اول ماه جولای سال ۲۰۱۸ شروع می‌شود. اکسیدهای نیتروژن؛ اکسید نیتریک و دی‌اکسید نیتروژن (NO و NO_2) از گازهای کمیاب مهمی در جو زمین هستند که هم در تروپوسفر و هم در استراتوسفر وجود دارند. اکسیدهای نیتروژن مذکور در نتیجه فعالیت‌های انسانی (به‌ویژه احتراق سوخت‌های فسیلی و سوزاندن زیست توده) و فرآیندهای طبیعی (آتش‌سوزی، رعد و برق و فرآیندهای میکروبیولوژیکی در خاک) وارد جو می‌شوند. در این‌جا، NO_2 برای نشان دادن غلظت اکسیدهای نیتروژن جمع‌ی استفاده می‌شود، زیرا در طول روز، یعنی زمانی که نور خورشید وجود دارد، یک چرخه فتوشیمیایی شامل ازن (O_3)؛ NO راجه NO_2 و بالعکس در مقیاس زمانی چند دقیقه تبدیل می‌کند. درنهایت برآورد تراکم ستون بخار آب موجود در جو بر پایه داده‌های ماهواره‌ای سنتینل ۵- با دقت تفکیک‌پذیری ۱۱۱۳/۲ متری صورت گرفته است و مقیاس آماری کم‌ترین و بیش‌ترین تراکم ستون بخار آب موجود در جو بین 465360 - تا 34584412 (mol/m^2) مول بر مترمربع قرار دارد که بازه زمانی داده‌های آن از اول ماه نوامبر سال ۲۰۱۸ می‌باشد.

۲-۲- سنجنده MODIS مستقر روی ماهواره‌های Aqua و Terra

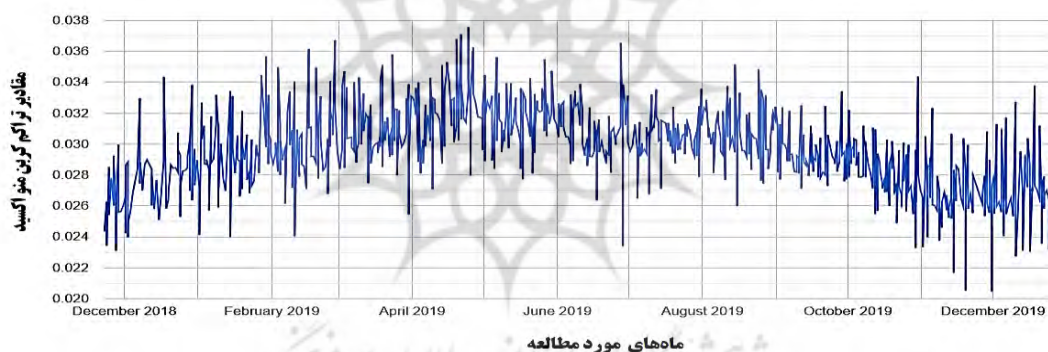
در این پژوهش، در برآورد مربوط به آئروسول‌ها از داده‌های سنجنده MODIS که بر روی ماهواره‌های Terra و Aqua قرار دارد، استفاده شد. داده‌های مذکور با تفکیک‌پذیری و دقت ۱۰۰۰ متر و در طول موج‌های باندهای آبی ($0/47 \mu\text{m}$) میکرومتر و سبز ($0/55 \mu\text{m}$) میکرومتر در نظر گرفته می‌شود. مقیاس آماری کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار آئروسول‌ها در هر دو طول موج‌های باندهای مذکور بین ۱۰۰- تا 5000 ($\mu\text{g/m}^3$) میکروگرم بر متر مکعب قرار دارد

که در بررسی عمق اپتیکی آئروسول‌ها لحاظ می‌شود. هم‌چنین از داده‌های سنجنده MODIS در برآورد سری زمانی آماری و تصاویر ماهواره‌ای دمای سطح زمین در روز و دمای سطح زمین در شب استفاده شد. داده‌های مذکور با دقت تفکیک‌پذیری ۱۰۰۰ متری لحاظ گردید و مقیاس دمای روزانه و شبانه LST بین ۷۵۰۰ تا ۶۵۵۳۵ (Kelvin)، کلون می‌باشد (سبحانی و صفریان‌زنگیر، ۲۰۲۰). محصول MOD11A2 V6 میانگین دمای ۸ روزه سطح زمین (LST) را در یک شبکه ۱۲۰۰×۱۲۰۰ کیلومتری فراهم می‌کند. هر مقدار پیکسل پروداکت MOD11A2 در سنجنده MODIS میانگین ساده‌ای از تمام پیکسل‌های MOD11A1 LST مربوطه می‌باشد که در یک دوره ۸ روزه جمع‌آوری می‌شود. دوره ترکیب ۸ روزه به این دلیل انتخاب شده که دو برابر این دوره، دوره دقیق تکرار مسیر زمینی سکوه‌های Terra و Aqua است. در این محصول به همراه باندهای دمای روز و شب سطح زمین و لایه‌های نشان‌گر کیفیت (QC) آن‌ها، باندهای ۳۱ و ۳۲ و هشت لایه مشاهده‌ای MODIS نیز وجود دارد.

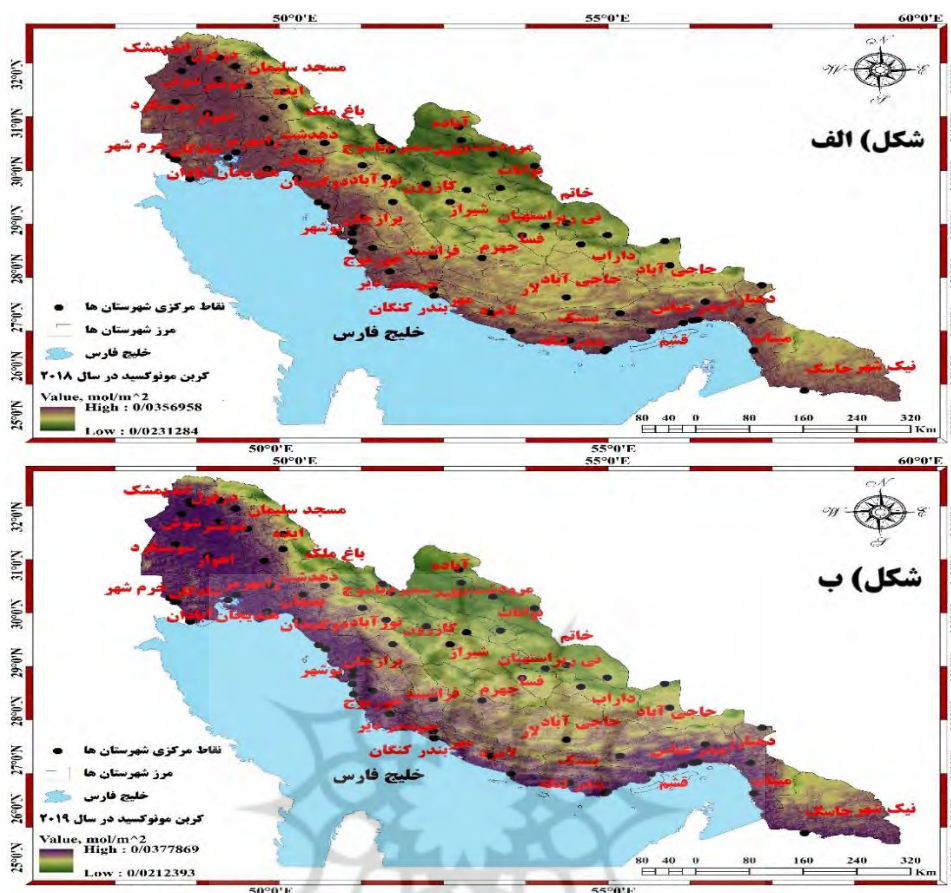
۳- نتایج و بحث

برآورد مولفه‌های مربوط به میزان کربن منوکسید، دی‌اکسید نیتروژن و آئروسول‌ها که در کنار ترکیبات دیگری چون دی‌اکسید گوگرد، ازن و سرب از زمینه‌های برجسته شکل‌گیری آلودگی هوا هستند و نیز برآورد میزان بخار آب و دما که می‌توانند در ارتباط با شرایط آلودگی هوا مطرح باشند از مباحث اصلی در پژوهش حاضر هستند. در بررسی حاضر در مقیاس فضایی استان‌های جنوبی و جنوب غربی مشرف بر سواحل خلیج فارس (استان‌های خوزستان، بوشهر، کهگیلویه و بویراحمد، فارس و هرمزگان) و در بازه زمانی ۱۴ ماهه در حد فاصل سال‌های ۲۰۱۸ تا ۲۰۱۹، از داده‌های تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-5 در برآورد میزان کربن منوکسید، دی‌اکسید نیتروژن و بخار آب و از داده‌های سنجنده MODIS در برآورد میزان آئروسول‌ها و دما استفاده به عمل آمد که با بازنمایی نموداری و گرافیک از نتایج بررسی‌ها و تجزیه و تحلیل‌های مذکور؛ همراه بود. در ادامه به بیان نتایجی از یافته‌های پژوهش و ارایه خروجی‌های به‌دست آمده از بررسی‌ها و تجزیه و تحلیل‌های به عمل آمده، پرداخته می‌شود. با توجه به نتایج به‌دست آمده از ارزیابی کربن منوکسید به عنوان یکی از آلاینده‌های جوی در منطقه مورد مطالعه، در بازه زمانی ماه نوامبر سال ۲۰۱۸ تا دسامبر سال ۲۰۱۹، بیش‌ترین مقدار کربن منوکسید بالغ بر $0/035$ (mol/m^2) مول بر متر مربع مربوط به روز هجدهم دسامبر سال ۲۰۱۸ می‌باشد و کم‌ترین مقدار کربن منوکسید به ترتیب با مقادیر بالغ بر $0/024$ و $0/023$ مول بر متر مربع در روزهای بیست و هفتم و بیست و هشتم نوامبر سال ۲۰۱۸ به دست آمد (شکل ۲). در این مقطع زمانی یعنی سال ۲۰۱۸، در منطقه مورد مطالعه بیش‌ترین مناطق درگیر آلودگی کربن منوکسید مربوط به پهنه‌هایی مانند محدوده‌های واقع در حوالی شهرهای اهواز، شوشتر، دزفول، اندیمشک، آبادان و بوشهر می‌باشد در صورتی که پهنه‌های کم‌تر درگیر با آلودگی کربن منوکسید در مناطق دورتر از ساحل خلیج فارس، یعنی حوالی محدوده شهرهایی چون آباده، مرودشت، اقلید، بوانات و سمیرم واقع شده است (شکل الف - ۳). خروجی کربن منوکسید در سال

۲۰۱۹ بیان‌گر این است که بیست و هشتم آوریل سال ۲۰۱۹ با مقدار $0/037$ مول بر مترمربع، بیش‌ترین مقدار آلودگی را دارا می‌باشد، درحالی‌که بیست و دوم نوامبر سال ۲۰۱۹ با مقدار $0/021$ مول بر مترمربع کم‌ترین مقدار آلودگی کربن منوکسید را شامل شد (شکل ۲). در ماه‌های مورد مطالعه سال ۲۰۱۹ در منطقه مورد مطالعه، پهنه‌هایی مانند محدوده‌های واقع در حوالی شهرهای آبادان، دزفول، اهواز، بوشهر و هندیجان بیش‌ترین پهنه‌های آلوده به کربن منوکسید را شامل شدند؛ این در حالی است که پهنه‌های واقع در حوالی شهرهای دورتر از ساحل خلیج فارس مانند اقلید، سمیرم، یاسوج، بوانات، مرو دشت و آباده کم‌ترین مقدار آلودگی را به خود اختصاص دادند (شکل ب - ۳)، با در نظر گرفتن خروجی مربوط به میزان کربن منوکسید، بیش‌ترین تراکم آن مربوط به ماه‌های فوریه، مارس، آوریل، می و ژوئن می‌باشد و شدت آن در سال ۲۰۱۹ نسبت به سال ۲۰۱۸ بیش‌تر می‌باشد. بررسی میزان منوکسید کربن در پهنه‌بندی کلان منطقه‌ای از محدوده مورد مطالعه، گویای مقادیر مختلف و شدت و مدت متفاوت این آلاینده در موقعیت‌های مکانی و مقاطع زمانی مورد بررسی است و تصویر ملموس‌تری از تغییرات مکانی و زمانی این آلاینده را در مقیاس کلان منطقه‌ای به نمایش می‌گذارد.



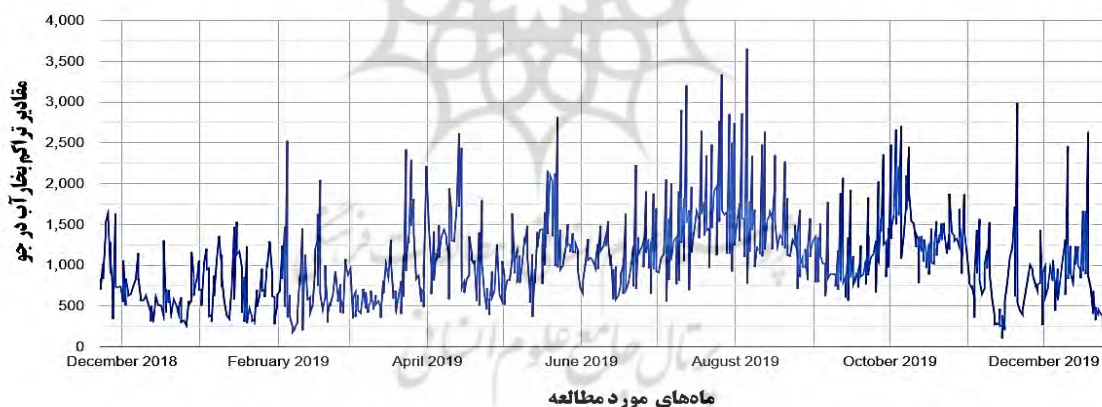
شکل ۲- نمودار تغییرات کربن منوکسید در محدوده مورد بررسی طی دوره (۲۰۱۸ تا ۲۰۱۹)



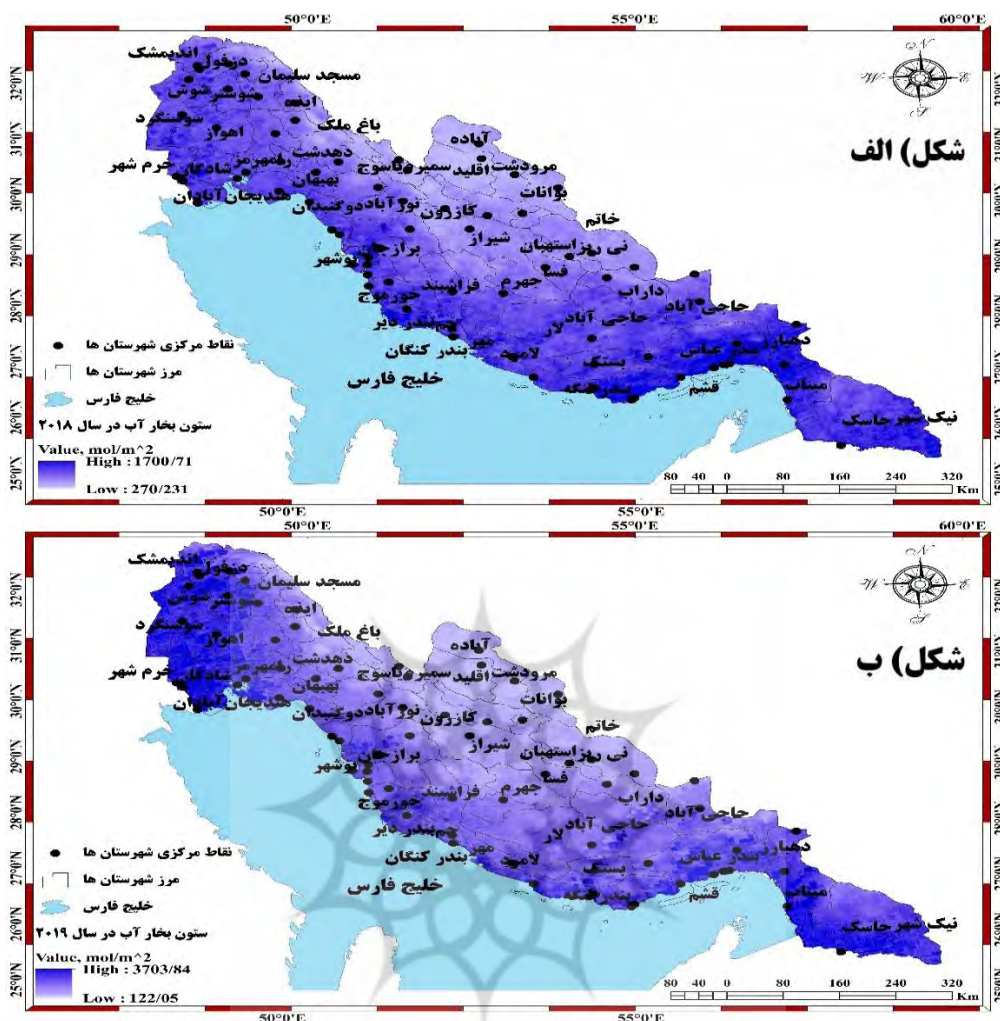
شکل ۳- پهنه‌بندی میزان کربن مونوکسید در مناطق مورد مطالعه طی دوره ۱۲ ماهه در سال‌های ۲۰۱۸-۲۰۱۹

باتوجه به نتایج تحلیل و بررسی خروجی مربوط به وضعیت بخار آب از ماهواره سنتینل ۵- در بازه زمانی حد فاصل اول ماه نوامبر سال ۲۰۱۸ تا ماه دسامبر سال ۲۰۱۹؛ بیشترین مقدار بخار آب موجود در جو در روز بیست و هشتم دسامبر سال ۲۰۱۸ با مقدار ۱۷۰۰ مول بر مترمربع و کمترین آن با مقدار ۲۷۰ مول بر مترمربع در روز بیست و نهم دسامبر سال ۲۰۱۸ به دست آمد (شکل ۴). براساس تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۵- به‌دست آمده از تراکم ستون بخار آب موجود در جو؛ پهنه‌هایی مانند محدوده‌های واقع در حوالی شهرهایی چون بندر دیر، بوشهر، بندر لنگه، آبادان، خرمشهر و هندیجان؛ بیشترین مقدار تراکم ستون بخار آب موجود در جو را به خود اختصاص دادند این درحالی است که پهنه‌هایی چون محدوده‌های واقع در حوالی شهرهای شیراز، کازرون، اقلید و یاسوج، کمترین مقدار بخار آب موجود در جو را شامل شدند (شکل الف - ۵). نتایج به‌دست آمده از بررسی مقدار بخار آب موجود در جو در ماه‌های سال ۲۰۱۹؛ بیان‌گر این مطلب می‌باشد که بیشترین مقدار بخار آب موجود در جو با مقدار ۳۷۰۳ مول برمترمربع در روز سوم ماه آگوست و کمترین تراکم بخار آب موجود در جو با مقدار ۱۲۲ مول برمترمربع در روز

چهاردهم نوامبر قرار دارد؛ این در حالی است که علاوه بر روزهای ماه آگوست، روزهای ماه جولای نیز دارای بیشترین مقدار تراکم بخار آب موجود در جو می‌باشد (شکل ۴). براساس خروجی مربوط به تصاویر ماهواره‌ای تراکم بخار آب موجود در جو در سال ۲۰۱۹، پهنه‌هایی واقع در حوالی شهرهایی چون آبادان، شادگان، خرمشهر، بوشهر، خورموج، بندرلنگه و میناب دارای بیشترین مقدار تراکم بخار آب موجود در جو هستند، این در صورتی است که محدوده‌های واقع در حوالی شهرهایی چون استهبان، کازرون، نیریز، فسا، مرودشت و آباده دارای کمترین مقدار بخار آب موجود در جو هستند (شکل ب - ۵). شرایط متفاوت میزان بخار آب در مقاطع زمانی مختلف و در نقاط مختلف از ظرف فضایی محدوده مورد مطالعه که بازنمایی نموداری و فضایی آن در این قسمت مورد توجه قرار گرفت، می‌تواند در ارتباط با مولفه‌هایی چون میزان دما و سرعت باد مطرح شده و شرایط متفاوتی از وضعیت آسایش و وضعیت زیست اقلیمی را در پی داشته باشد. ترکیبات آلاینده‌های اعم از دی‌اکسید نیتروژن و دی‌اکسید گوگرد می‌توانند در اختلاط با بخار آب، ایجاد مه دود را به همراه داشته باشند که در شرایط وارونگی هوا، سکون هوا و افزایش نشت آلاینده‌ها صورت جدی‌تری به خود می‌گیرند. از سوی دیگر ترکیبات آلاینده مذکور می‌توانند در واکنش با بخار آب موجود در جو، ترکیبات جدیدی چون ترکیبات اسیدی و بارش‌های اسیدی را به دنبال داشته باشند.



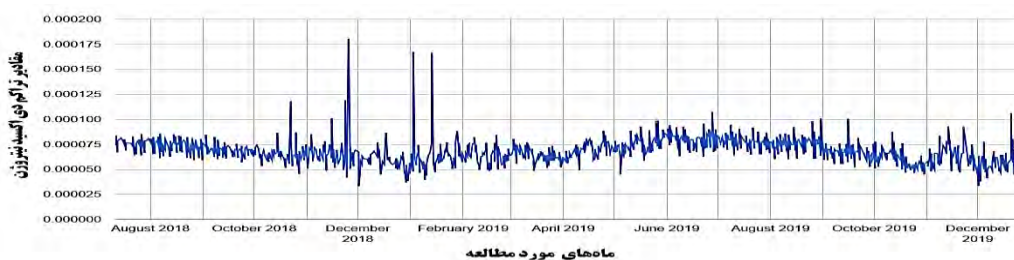
شکل ۴- نمودار تغییرات بخار آب موجود در جو در محدوده استان‌های مورد بررسی طی دوره (۲۰۱۸ تا ۲۰۱۹)



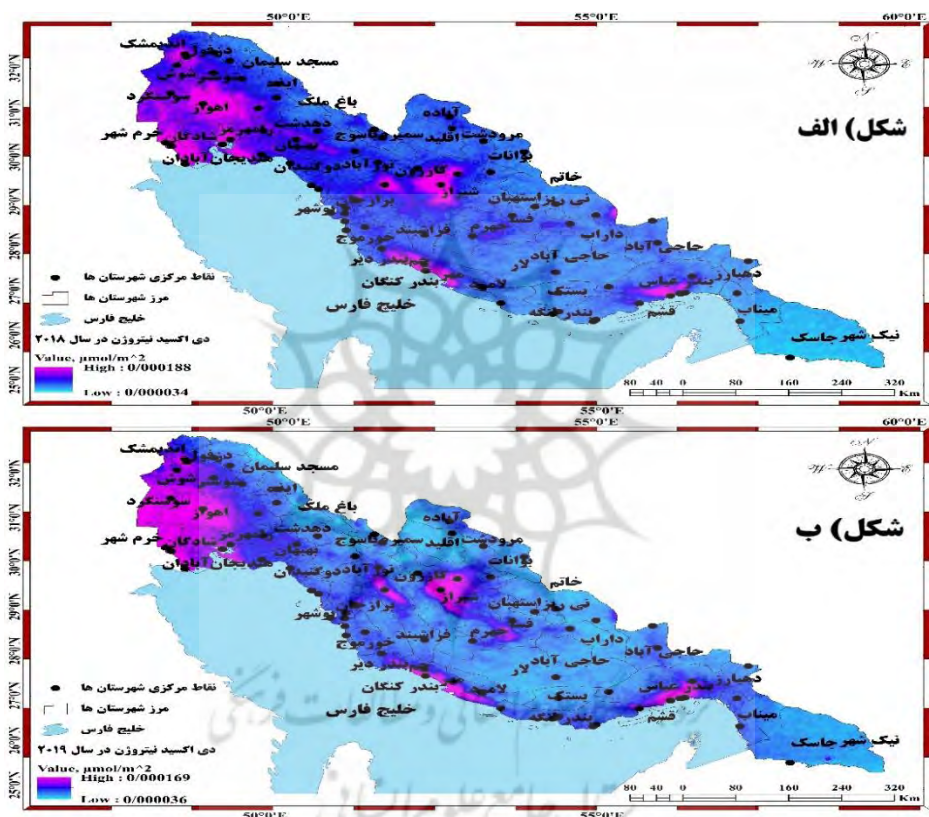
شکل ۵- پهنه‌بندی بخار آب موجود در جو در مناطق مورد مطالعه طی دوره ۱۲ ماهه در سال‌های ۲۰۱۸-۲۰۱۹

باتوجه به بررسی خروجی و نتایج نمودارها و تصاویر ماهواره‌ای سستینل ۵- در رابطه با تراکم دی‌اکسید نیتروژن که در مقیاس آهاری بین $0/0006^*$ تا $0/0096^*$ (mol/m^2) مول بر متر مربع و در بازه زمانی حلفاصل اول ماه نوامبر سال ۲۰۱۸ تا دسامبر سال ۲۰۱۹ به دست آمد؛ بیش‌ترین مقدار غلظت دی‌اکسید نیتروژن در سال ۲۰۱۸ با مقدار $0/000188$ مول بر مترمربع در روز بیست و هشتم ماه نوامبر و کم‌ترین آن با مقدار $0/000034$ مول بر مترمربع در روز یکم دسامبر به دست آمد، علاوه بر روزهای ماه نوامبر، روزهای ماه اکتبر نیز دارای بیش‌ترین مقدار غلظت دی‌اکسید نیتروژن در سال ۲۰۱۸ بودند (شکل ۶). براساس خروجی تصاویر ماهواره‌ای سستینل ۵- در سال ۲۰۱۸، محدوده‌های واقع در حوالی شهرهایی چون اهواز، آبادان، خرمشهر، دزفول، اندیمشک در استان خوزستان و نیز محدوده‌هایی در پیرامون ساحلی خلیج فارس از جمله پهنه‌های واقع در حوالی شهرهای جم، بندر دیر، بندر کنگان و بندر عباس، همراه

با موقعیت‌هایی در محدوده‌های میانی از مناطق مورد مطالعه در استان فارس از جمله محدوده‌هایی در حوالی شهرهای شیراز، کازرون و برازجان، دارای بیش‌ترین غلظت دی‌اکسید نیتروژن می‌باشند، این درحالی است که موردهای دیگری از شهرهای حاشیه‌ای خلیج فارس و موردهای از محدوده‌های دورتر از ساحل خلیج فارس مانند محدوده‌های واقع در حوالی داراب، نیریز، استهبان، آباد، باغ ملک، بوانات، فسا و جهرم، کم‌ترین مقدار غلظت دی‌اکسید نیتروژن را به خود اختصاص دادند (شکل الف - ۷). براساس خروجی آماری غلظت دی‌اکسید نیتروژن در سال ۲۰۱۹، بیش‌ترین مقدار غلظت دی‌اکسید نیتروژن به ترتیب با مقدار $0/000168$ مول بر مترمربع و $0/000165$ مول بر مترمربع در روزهای دوم و سیزدهم ژانویه می‌باشد. در حالی که کم‌ترین میزان دی‌اکسید نیتروژن با مقدار بالغ بر $0/000036$ مول بر مترمربع در روز یکم ژانویه به دست آمد (شکل ب - ۶). با در نظر گرفتن خروجی تصاویر ماهواره‌ای سال ۲۰۱۹، محدوده‌های واقع در حوالی شهرهایی چون اهواز، شادگان، سوسنگرد، خرمشهر، هندیجان و آبادان در استان خوزستان و نیز پهنه‌هایی از محدوده‌های ساحلی و نزدیک خلیج فارس از جمله محدوده‌هایی در حوالی جم، بندر دیر، بندر عباس و کنگان؛ همراه با برخی از پهنه‌های واقع در محدوده‌های میانی منطقه مورد مطالعه در استان فارس مانند محدوده‌هایی در حوالی شیراز، برازجان و کازرون با غلظت بالاتری از دی‌اکسید نیتروژن مشخص شدند. درحالی که پهنه‌هایی مانند محدوده‌های واقع در حوالی شهرهای مانند آباد، اقلید، یاسوج، باغ‌ملک، لار، حاجی‌آباد و نیریز، مقدار کم‌تری از غلظت دی‌اکسید نیتروژن را به خود اختصاص دادند (شکل ب - ۷). براساس خروجی آماری و تصاویر ماهواره‌ای غلظت دی‌اکسید نیتروژن در ماه‌های مورد مطالعه در حدفاصل سال‌های ۲۰۱۸-۲۰۱۹؛ شدت مقدار غلظت دی‌اکسید نیتروژن در ماه‌های سال ۲۰۱۸ بیش‌تر از سال ۲۰۱۹ می‌باشد. دی‌اکسید نیتروژن به مانند دی‌اکسید گوگرد می‌تواند در شرایط محیطی مربوطه با اشکال خاصی از مه دود و بارش اسیدی همراه باشد. دی‌اکسید نیتروژن یکی از ترکیبات اصلی آلاینده هوا محسوب شده و وضعیت این آلاینده به لحاظ غلظت، منابع نشأت آلاینده، عوارض حاصل از آن و اقداماتی که در این رابطه می‌توان داشت از مباحث مورد اقبال در بحث‌های مدیریتی، زیست‌محیطی و دانشگاهی است. در پژوهش حاضر، یک بازنمایی کلان از تفاوت پهنه‌های مختلف از استان‌های مورد مطالعه، به لحاظ غلظت دی‌اکسید نیتروژن و هم‌چنین یک بازنمایی نموداری از وضعیت این ترکیب در ماه‌های مختلف از بازه زمانی مورد بررسی به نمایش گذاشته شد. رهگیری این برآوردها می‌تواند یک دید کلان از کلیت وضعیت این آلاینده را در سطح منطقه به نمایش بگذارد.



شکل ۶- نمودار تغییرات دی اکسید نیتروژن در محدوده مورد مطالعه طی دوره (۲۰۱۸ تا ۲۰۱۹)



شکل ۷- پهنه بندی غلظت دی اکسید نیتروژن در مناطق مورد مطالعه طی دوره ۱۲ ماهه در سال های ۲۰۱۹-

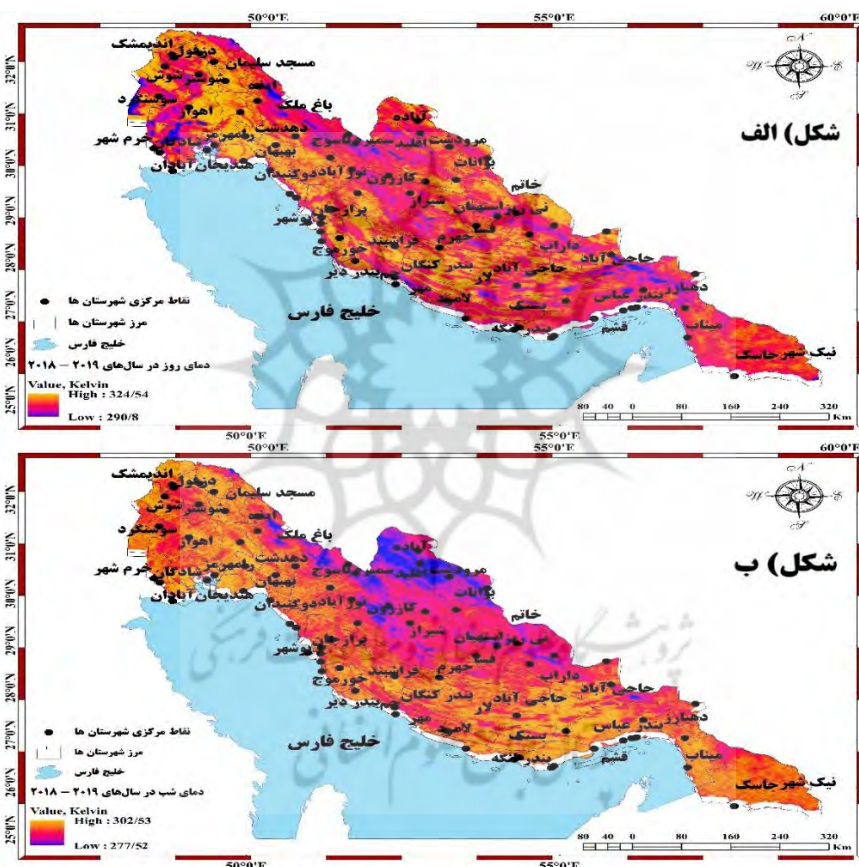
۲۰۱۸

با توجه به ارتباطی که می تواند بین میزان دما و شرایط آلودگی هوا وجود داشته باشد، در این پژوهش به بررسی دمای شبانه و روزانه با شاخص LST پرداخته شد. نتایج به دست آمده از پایش تغییرات روزانه و شبانه دمای سطح زمین در منطقه مورد مطالعه در دوره ۲۴ ماهه (ژانویه ۲۰۱۸ تا دسامبر ۲۰۱۹)، بیانگر این مطلب است که بیشترین مقدار دمای روزانه در حد ۳۲۳/۵ درجه کلون در روز بیست و ششم ژوئن در سال ۲۰۱۸ می باشد. علاوه بر ماه

ژوئن سایر ماه‌های دیگر مانند جولای، آگوست، سپتامبر و اکتبر، ماه‌های گرم سال بودند و کم‌ترین میزان دمای روزانه، با مقدار ۲۹/۵ درجه کلون در روز بیست و ششم ژانویه به دست آمد و ماه‌های فوریه، مارس و آوریل از جمله ماه‌های سرد سال بودند. در صورتی که خروجی دمای شبانه سال ۲۰۱۸ به این شکل می‌باشد که بیش‌ترین مقدار دمای شبانه در حد ۳۰/۱ درجه کلون در روز پنجم آگوست قرار دارد و کم‌ترین میزان آن با مقدار ۲۷/۵ درجه کلون در بیست و هشتم ژانویه به دست آمد (شکل ۸). هم‌چنین خروجی بررسی سری زمانی ماهانه دمای روزانه سال ۲۰۱۹ با برآورد بیش‌ترین مقدار دمای ۳۲/۵ درجه کلون در روز دوازدهم ماه ژوئن و کم‌ترین آن در دمای روزانه با مقدار ۲۹/۰ درجه کلون در روز شانزدهم ژانویه، همراه است، علاوه بر ماه ژوئن؛ ماه‌های جولای، آگوست، سپتامبر در سال ۲۰۱۹، شامل ماه‌های گرم و ماه‌های فوریه، مارس و آوریل شامل ماه‌های سرد سال بودند. بیش‌ترین مقدار دمای شبانه در منطقه مورد مطالعه در سال ۲۰۱۹ در روز بیست و هشتم ماه ژوئن به ۳۰/۲ درجه کلون رسیده است و کم‌ترین آن در روز شانزدهم ژانویه در حد ۲۷/۵ درجه کلون اخذ شد (شکل ۸). براساس نتایج تصاویر سنجنده MODIS مستقر بر روی ماهواره‌های Terra و Aqua دمای روزانه در مناطق مورد پژوهش در دامنه‌ای از مقادیر طی دوره ۲۰۱۸ تا ۲۰۱۹ به دست آمد. پهنه‌هایی مانند محدوده‌های واقع در حوالی اهواز، اندیمشک، شوش و دزفول در استان خوزستان و هم‌چنین محدوده‌های واقع در حوالی شهرهایی چون برازجان، نورآباد، بندرکنگان و بوشهر محدوده‌هایی بودند که دمای بیش‌تر را به خود اختصاص دادند و پهنه‌هایی چون محدوده‌های واقع در حوالی شهرهای یاسوج، اقلید، نیریز، داراب و شادگان از جمله محدوده‌هایی بودند که دمای کم‌تر را شامل شدند (شکل الف - ۹). در بررسی نتایج تصاویر مستخرج شده از سنجنده MODIS در رابطه با دمای شبانه طی دوره ۲۰۱۸ تا ۲۰۱۹، پهنه‌هایی مانند محدوده‌های واقع در حوالی شهرهای شوش، اندیمشک، بندرعباس و جاسک بیش‌ترین دمای شبانه را به خود اختصاص دادند. این در حالی است که پهنه‌هایی مانند محدوده‌های واقع در حوالی شهرهای اقلید، آبد، کازرون، مرودشت و باغ‌ملک کم‌ترین دمای شبانه را به خود اختصاص دادند (شکل ب - ۹). براساس نتایج کلی بررسی سری زمانی دمای ۲۴ ماهه سال‌های ۲۰۱۸ تا ۲۰۱۹، شدت دمای روزانه سطح زمین در منطقه مورد مطالعه در سال ۲۰۱۹ با مقدار ۳۲/۵ درجه کلون نسبت به سال ۲۰۱۸ بیش‌تر می‌باشد. هم‌چنین دمای شبانه سال ۲۰۱۹ با مقدار ۳۰/۲ درجه کلون شدت بیش‌تری را نسبت به سال ۲۰۱۸ نشان می‌دهد. بررسی دامنه تغییرات دما و تفاوت‌های فضایی - زمانی آن می‌تواند با آهنگ تغییرات شرایط محیطی و شرایط زیستی همراه باشد. باز نمود تغییرات فضایی - زمانی این پدیده که در بررسی حاضر در یک زمینه تجربی به نمایش گذاشت نمایش ملموس‌تری را از وضعیت تغییرات دما در نگاه کلان منطقه‌ای به نمایش درآورد. موضوعاتی چون وضعیت دمایی و وارونگی دما دارای تاثیرات شناخته شده‌ای در ایجاد واکنش‌ها، ایجاد شرایط آلودگی و انباشت آلاینده‌ها هستند که مباحث مربوطه را می‌توان در ادبیات مربوط به آلودگی هوا دنبال کرد.



شکل ۸- نمودار تغییرات دمای روزانه و شبانه در محدوده مورد مطالعه طی دوره (۲۰۱۸ تا ۲۰۱۹)

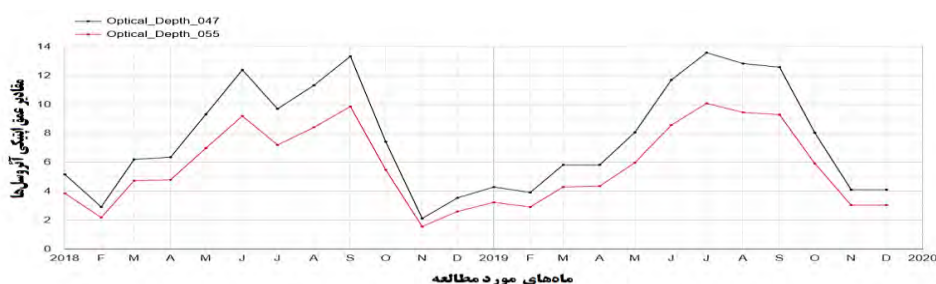


شکل ۹- پهنه‌بندی دمای روزانه در مناطق مورد مطالعه طی دوره ۲۴ ماهه در سال‌های ۲۰۱۸-۲۰۱۹

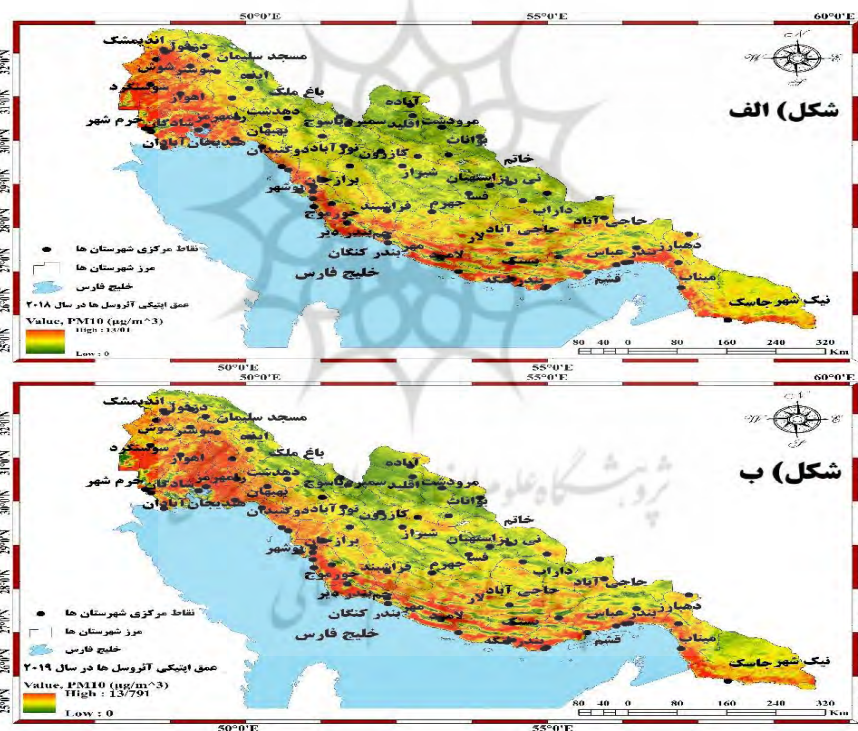
براساس نتایج ضخامت عمق اپتیکی آئروسول‌ها در بازه زمانی ماه ژانویه سال ۲۰۱۸ تا دسامبر سال ۲۰۱۹ با طول موج‌های $0.47 \mu\text{m}$ و $0.55 \mu\text{m}$ در سال ۲۰۱۸، بیش‌ترین مقدار ضخامت آن در طول موج باند آبی (0.47 میکرومتر) با مقدار $13/01 \mu\text{g}/\text{m}^3$ میکروگرم بر متر مکعب در ماه سپتامبر و کم‌ترین آن با مقدار 2 میکروگرم بر متر مکعب در ماه نوامبر اخذ شد. این درحالی است که ضخامت عمق اپتیکی آئروسول‌ها براساس طول موج باند سبز (0.55)

میکرومتر) پایین‌تر از مقدار آن در باند آبی ($0/47$ میکرومتر) است و در بیش‌ترین مقدار آن در ماه سپتامبر، بالغ بر 10 میکروگرم بر متر مکعب و در کم‌ترین مقدار آن در ماه نوامبر بالغ بر $1/57$ میکروگرم بر متر مکعب در سال 2018 می‌باشد. علاوه بر ماه سپتامبر؛ ماه‌های ژوئن، جولای و آگوست سال 2018 نیز دارای ضخامت بیش‌تر عمق اپتیکی آئروسول‌ها می‌باشند (شکل ۱۰). با در نظر گرفتن خروجی ضخامت عمق اپتیکی آئروسول‌ها در سال 2018 ؛ پهنه‌های واقع در حوالی شهرهایی چون اهواز، شوش، سوسنگرد، آبادان، دزفول، خورموج، بندر دیر و بوشهر بیش‌ترین مقدار ضخامت عمق اپتیکی آئروسول‌ها را به خود اختصاص دادند و کم‌ترین مقدار ضخامت آن در حوالی محدوده‌هایی چون شهرهای دورتر از ساحل خلیج فارس یعنی شهرهای آباده، اقلید، مرودشت، یاسوج و باغ‌ملک واقع شده‌اند (شکل الف - ۱۱). مقدار ضخامت عمق اپتیکی آئروسول‌ها در سال 2019 ؛ در طول موج باند آبی ($0/47$ میکرومتر) در بیش‌ترین مقدار خود یعنی $13/79$ میکروگرم بر متر مکعب در ماه جولای و کم‌ترین آن با مقدار $3/98$ میکروگرم بر متر مکعب در ماه فوریه به دست آمد؛ براساس خروجی طول موج سبز ($0/55$ میکرومتر) بیش‌ترین مقدار ضخامت عمق اپتیکی آئروسول‌ها با مقدار 10 میکروگرم بر متر مکعب در ماه جولای و کم‌ترین آن با مقدار $2/99$ میکروگرم بر متر مکعب در ماه فوریه قرار دارد. علاوه بر ماه جولای؛ ماه‌های ژوئن، آگوست و سپتامبر سال 2019 نیز دارای ضخامت بیش‌تر عمق اپتیکی آئروسول‌ها می‌باشند (شکل ۱۰). با توجه به نتایج ضخامت عمق اپتیکی آئروسول‌ها در سال 2019 ؛ پهنه‌هایی مانند محدوده‌های واقع در حوالی شهرهای آبادان، اهواز، خرمشهر، دزفول، شوش، بوشهر، بندر لنگه و میناب؛ بیش‌ترین مقدار ضخامت عمق اپتیکی آئروسول‌ها را به خود اختصاص دادند و کم‌ترین مقدار آن در حوالی شهرهای دورتر از ساحل خلیج فارس یعنی در پهنه‌هایی مانند محدوده‌های واقع در حوالی شهرهایی چون شهرهای باغ‌ملک، بوانات، کازرون، مرودشت و داراب قرار دارد (شکل ب - ۱۱). با در نظر گرفتن خروجی هر دو طول موج باندهای موج‌های $0/47 \mu\text{m}$ و $0/55 \mu\text{m}$ در سال‌های مورد مطالعه 24 ماهه؛ شدت ضخامت عمق اپتیکی آئروسول‌ها در ماه‌های آئروسول‌خیز در سال 2019 نسبت به ماه‌های آئروسول‌خیز در سال 2018 بیش‌تر است. ضخامت عمق اپتیکی آئروسول‌ها در پژوهش حاضر با طول موج‌های $0/47 \mu\text{m}$ و $0/55 \mu\text{m}$ مورد بررسی قرار گرفت، هر چقدر طول موج‌ها بزرگ‌تر باشد ضخامت عمق اپتیکی آئروسول‌ها به شدت کاهش پیدا می‌کند، با توجه به این مطلب مقدار عمق اپتیکی آئروسول‌ها در طول موج باند سبز ($0/55$ میکرومتر) پایین‌تر از مقدار آن در باند آبی ($0/47$ میکرومتر) می‌باشد. آئروسول‌ها یا هواویزها که در شکل ذرات ریز معلق شامل گرد و غبار، دوده و واریزه‌های هوایی، در ترکیب اتمسفر جای می‌گیرند در غلظت‌های مربوطه می‌توانند زمینه‌ساز هوای ناسالم، کدر و آلوده برای افراد جامعه به‌خصوص بیماران تنفسی باشند. شهرها و مناطقی که در سیطره هجوم ریزگردها و گرد و غبار قرار دارند با چالش‌های جدی زیست‌محیطی روبه‌رو هستند. همان‌گونه که در راهنمای نقشه‌های پهنه‌بندی به‌دست آمده از وضعیت آئروسول‌ها در استان‌های مورد مطالعه، نشان داده شده است، برآورد مذکور بر مبنای PM_{10} قرار دارد که به

ذرات معلق با کم‌تر از قطر ۱۰ میکرون اطلاق می‌شود. گردش چشم روی نقشه پهنه‌بندی میزان آئروسول‌ها که در نگاه کلان منطقه‌ای از پدیده مذکور مطرح می‌شود، می‌تواند تداعی کننده چالش‌های زیست‌محیطی باشد که در مناطق با میزان بالای آئروسول‌ها رخ نشان می‌دهد.



شکل ۱۰- نمودار تغییرات آئروسول‌ها در محدوده مورد مطالعه طی دوره (۲۰۱۸ تا ۲۰۱۹)



شکل ۱۱- پهنه‌بندی عمق اپتیکی آئروسول‌ها در مناطق مورد مطالعه طی دوره ۱۲ ماهه سال‌های ۲۰۱۸-۲۰۱۹

۴- جمع‌بندی

در پژوهش حاضر در برش فضایی از استان‌های خوزستان، بوشهر، کهگیلویه و بویراحمد، فارس و هرمزگان و در بازه زمانی ۱۴ ماهه در حدفاصل سال‌های ۲۰۱۸ تا ۲۰۱۹؛ به ارزیابی و برآورد میزان کربن منوکسید، دی‌اکسید

نیتروژن و آئروسول‌ها و همچنین به بررسی مقدار بخار آب در جو و وضعیت دما که می‌توانند به نوعی در ارتباط با شرایط آلودگی هوا قرار داشته باشند؛ پرداخته شد. استفاده از داده‌های تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-5 در برآورد تراکم کربن منوکسید، تراکم دی‌اکسید نیتروژن و تراکم بخار آب موجود در جو و نیز استفاده از داده‌های سنجنده MODIS مستقر بر روی ماهواره‌های Terra و Aqua در بررسی ضخامت آئروسول‌ها و LST دمای روزانه و شبانه سطح زمین در بازه زمانی مورد اشاره به عنوان مبنای کار در تغذیه داده‌های مورد نیاز در فرایند تجزیه و تحلیل در نظر گرفته شد. بررسی‌ها با یافته‌های متعددی همراه بود که در مباحث قبلی مورد اشاره قرار گرفت. فشرده‌ای از نتایج اصلی تحقیق در چند محور قابل ارایه می‌باشد که عبارتند از:

- یافته‌های به‌دست آمده از تحلیل و بررسی غلظت آلاینده جوی کربن منوکسید در بازه زمانی مورد مطالعه در حداث سال‌های ۲۰۱۸-۲۰۱۹ بیان‌گر آن است که بیشینه آن در حد 0.37 mol/m^2 ، در بیست و هشتم ماه آوریل سال ۲۰۱۹ و کمینه آن در حد 0.21 mol/m^2 ، در روز بیست و دوم ماه نوامبر سال ۲۰۱۹ به دست آمد. براساس نتایج یافته‌های حاصل از بررسی تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-5، پهنه‌هایی مانند محدوده‌های واقع در حوالی شهرهای آبادان، اهواز و دزفول بیش‌ترین مقدار غلظت کربن منوکسید را شامل شدند در حالی که محدوده‌های واقع در حوالی شهرهایی چون آبادان، مرودشت، یاسوج و اقلید کم‌ترین مقدار غلظت کربن منوکسید را دارا بودند.
- نتایج حاصل شده از ارزیابی و تحلیل غلظت و تراکم بخار آب موجود در جو در بازه زمانی مورد بررسی در منطقه مورد پژوهش، گویای این نکته است که بیش‌ترین H_2O در حد 37.03 mol/m^2 در روز سوم ماه آگوست سال ۲۰۱۹ و کم‌ترین مقدار H_2O در حد 122 mol/m^2 در روز چهاردهم نوامبر سال ۲۰۱۹ اخذ شد. خروجی تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-5، در ارزیابی غلظت و تراکم بخار آب موجود در جو بیان‌گر این است که محدوده‌های واقع در حوالی شهرهایی چون شادگان، خورموج و آبادان، بیش‌ترین مقدار H_2O را به خود اختصاص دادند؛ این در حالی است که پهنه‌هایی مانند محدوده‌های واقع در حوالی شهرهای نیریز، فسا و آبادان، کم‌ترین مقدار تراکم H_2O را شامل شدند.
- تجزیه و تحلیل آلاینده جوی، دی‌اکسید نیتروژن در ماه‌های مورد مطالعه در استان‌های جنوبی و جنوبی‌غربی در پیرامون خلیج فارس، بیان‌گر آن است که بیش‌ترین مقدار غلظت NO_2 با مقدار 0.00188 mol/m^2 در روز بیست و هشتم ماه نوامبر سال ۲۰۱۸ به دست آمد در حالی که کم‌ترین مقدار NO_2 با مقدار 0.00034 mol/m^2 در روز یکم دسامبر سال ۲۰۱۸ اخذ شد. با توجه به نتایج خروجی تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-5، در برآورد مقدار غلظت دی‌اکسید نیتروژن، پهنه‌هایی مانند محدوده‌های واقع در حوالی شهرهای آبادان،

اهواز و اندیمشک، بیشترین مقدار غلظت NO_2 را شامل شدند؛ در حالی که محدوده‌های واقع در حوالی شهرهایی چون استهبان، باغ‌ملک و نی‌ریز کمترین مقدار غلظت NO_2 را به خود اختصاص دادند.

- نتایج حاصل از بررسی دمای روزانه سطح زمین در منطقه مورد پژوهش در بازه زمانی مورد مطالعه در حداثال سال‌های ۲۰۱۸-۲۰۱۹ گویای این مطلب می‌باشد که بیشترین مقدار دمای روزانه سطح زمین در سطح ۳۲۴/۵ درجه کلون در روز دوازدهم ماه ژوئن در سال ۲۰۱۹ و کمترین مقدار آن در سطح ۲۹۰ درجه کلون در روز شانزدهم ژانویه در سال ۲۰۱۹ به دست آمد. براساس خروجی حاصل از بررسی تصاویر سنجنده MODIS مستقر بر روی ماهواره‌های Terra و Aqua، محدوده‌های واقع در حوالی شهرهایی چون شهرهای اهواز، شوش و بوشهر بیشترین دمای سطح زمین را شامل شدند؛ در حالی که پهنه‌هایی مانند محدوده‌های واقع در حوالی شهرهای داراب، شادگان و اقلید کمترین مقدار دمای سطح زمین را دربرگرفتند.
- نتایج ویدیافته‌های حاصل از بررسی میزان آئروسول‌ها در منطقه مورد تحقیق در بازه زمانی ۲۴ ماهه در حداثال سال‌های ۲۰۱۸-۲۰۱۹ بیان‌گر این مطلب است که بیشترین مقدار ضخامت عمق اپتیکی آئروسول‌ها با مقدار $13/79 \mu\text{g}/\text{m}^3$ در طول موج باند آبی ($0/47 \mu\text{m}$) در ماه جولای سال ۲۰۱۹ و کمترین مقدار ضخامت عمق اپتیکی آئروسول‌ها با مقدار $1/57 \mu\text{g}/\text{m}^3$ در ماه نوامبر سال ۲۰۱۸ در طول موج باند سبز ($0/55 \mu\text{m}$) به دست آمد. باتوجه به نتایج ضخامت عمق اپتیکی آئروسول‌ها در سال ۲۰۱۹؛ پهنه‌هایی مانند محدوده‌های واقع در حوالی شهرهای آبادان، اهواز، خرمشهر، دزفول، شوش، بوشهر، بندر لنگه و میناب؛ بیشترین مقدار ضخامت عمق اپتیکی آئروسول‌ها را به خود اختصاص دادند و کمترین مقدار آن در شهرهای دورتر از ساحل خلیج فارس یعنی در پهنه‌هایی مانند محدوده‌های واقع در حوالی شهرهایی چون شهرهای باغ‌ملک، بوانات، کازرون، مرودشت و داراب قرار دارد. با در نظر گرفتن خروجی ضخامت عمق اپتیکی آئروسول‌ها در سال ۲۰۱۸ نیز می‌توان گفت که پهنه‌های واقع در حوالی شهرهایی چون اهواز، شوش، سوسنگرد، آبادان، دزفول خورموج، بندر دیر و بوشهر بیشترین مقدار ضخامت عمق اپتیکی آئروسول‌ها را به خود اختصاص دادند و کمترین مقدار ضخامت آن در حوالی محدوده‌های شهرهایی چون آباده، اقلید، مرودشت، یاسوج و باغ‌ملک واقع شده‌اند.

- نتایج حاصل از پایش زمانی و مکانی مقادیر مربوط به AOD ، LST ، H_2O ، NO_2 ، CO در مقیاس فضایی استان‌های انتخاب شده، گویای مقادیر مختلف و شدت و حدت متفاوت مقادیر این مولفه‌ها در موقعیت‌های مختلف مکانی و مقاطع مختلف زمانی مورد بررسی است. در همین راستا نتایج این بررسی‌ها امکان درک ملموستری از تغییرات مکانی و زمانی مولفه‌های مورد مطالعه را در مقیاس کلان منطقه‌ای فراهم می‌کند.

کتابنامه

باقرآبادی، رسول؛ معین‌الدینی، مظاهر؛ ۱۴۰۰. بررسی روند ازون تروپوسفری شهر کرمانشاه در بازه ۱۰ ساله با استفاده از پارامترهای هواشناسی، پیش‌سازهای ازون و تصاویر سنجنده OMI. تحلیل فضایی مخاطرات محیطی. شماره ۴. ۱۶-۱.

https://jsaeh.khu.ac.ir/browse.php?a_code=A-10-1216-1&slc_lang=fa&sid=1

ثقفی، محمدعلی؛ علی‌اکبری، عباسعلی؛ ۱۳۹۳. بررسی تغییرات شبانه‌روزی و فصلی باد و دمای هوا و آلاینده‌های PM10 و Co در لایه سطحی جو شهر تهران. نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی. شماره ۱. ۳۴-۱۷.

<http://jsaeh.khu.ac.ir/article-1-2312-fa.html>

جهانی‌چهره‌برق، فاطمه؛ آخوندزاده‌هنزائی، مهدی؛ ۱۳۹۶. تخمین ضخامت نوری هواویزها بر روی منطقه ای از ایران با استفاده از تلفیق تصاویر سنجنده‌های MODIS سکوه‌های ماهواره ای TERRA و AQUA. فصلنامه علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی «سپهر». شماره ۱۰۳. ۸۱-۷۱.

<https://doi.org/10.22131/sepehr.2017.28894>

سبحانی، بهروز؛ صفریان زنگیر، وحید؛ فیض‌اله‌زاده، سینا؛ ۱۳۹۹. مدل‌سازی و پیش‌بینی گرد و غبار در غرب ایران. پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی. شماره ۱. ۳۵-۱۷.

<https://doi.org/10.22059/jphgr.2020.284389.1007408>

سبحانی، بهروز؛ صفریان‌زنگیر، وحید؛ ۱۴۰۲. آشکارسازی و برآورد تغییر اقلیم سال‌های آتی ایران. مطالعات علوم محیط‌زیست. شماره ۴. ۷۲۴۳-۷۲۶۳.

https://www.jess.ir/article_173142.html

سلطانی، طاهره؛ مفیدی، عباس؛ گندمگار، امیر؛ ۱۳۹۴. بررسی همدیدی روزهای بسیار آلوده در شهر مشهد (مورد مطالعه: ۱۳ و ۱۴ نوامبر ۲۰۰۷). نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی. شماره ۴. ۱۱۲-۹۵.

<https://jsaeh.khu.ac.ir/article-1-2535-fa.html>

سلیمانی، مسعود؛ ارگانی، میثم؛ پاپی، رامین؛ امیری، فاطمه؛ ۱۴۰۰. پیش‌بینی عمق نوری آئروسول ماهواره‌ای با استفاده از داده کاوی پارامترهای اقلیمی. پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی. شماره ۳. ۳۳۳-۳۱۹.

<https://doi.org/10.22059/jphgr.2021.318600.1007591>

شاه‌محمدی، عاطفه؛ بیات، علی؛ مشهدی‌زاده‌ملکی، سعید؛ ۱۳۹۹. بررسی رفتار دی‌اکسید نیتروژن در شهرستان مشهد و ارتباط آن با پارامترهای هواشناسی. تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی. شماره ۵۸. ۸۵-۷۱.

<http://dorl.net/dor/20.1001.1.22287736.1399.20.58.4.9>

شاه‌محمدی، عاطفه؛ بیات، علی؛ مشهدی‌زاده‌ملکی، سعید؛ ۱۴۰۱. بررسی آلودگی هوای شهر اصفهان براساس آلاینده دی‌اکسید نیتروژن اندازه‌گیری شده با سنجنده اُمی. تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی. شماره ۶۷. ۵۵-۴۱.

<http://dorl.net/dor/20.1001.1.22287736.1401.22.67.6.3>

شمس‌الدینی، علی؛ احمدی، وانکو؛ ۱۳۹۹. تخمین مکانی - زمانی آلاینده‌های منواکسید کربن و دی‌اکسید نیتروژن شهر تهران مبتنی بر داده‌های حاصل از سنجش‌ازدور و داده‌های کمکی. *جغرافیا و پایداری محیط*. شماره ۳.

<https://dx.doi.org/10.22126/ges.2020.4227.2057>. ۱۲۴-۱۰۷

شمسی‌پور، علی‌اکبر؛ امینی، ژاوان؛ ۱۳۹۲. شبیه‌سازی الگوی پراکنش Co با مدل خرد اقلیمی Envi-met در مسیر آزادی - تهران پارس. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*. شماره ۷. ۱۰۳-

<https://doi.org/10.22067/geo.v0i0.23588>. ۸۵

عربی‌علی‌آباد، فهیمه؛ زارع، محمد؛ غفاریان‌المیری، حمیدرضا؛ ۱۴۰۰. مقایسه دقت روش‌های مختلف تخمین بخار آب جو در برآورد دمای سطح زمین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ی لندست ۸. *مدیریت بیابان*. شماره ۱. ۳۴-

<https://dx.doi.org/10.22034/jdmal.2021.244523>. ۱۵

عزیزی، قاسم؛ قنبری، حسین‌علی؛ ۱۳۸۹. شبیه‌سازی عددی رفتار آلودگی هوای تهران براساس الگوی باد.

https://jphgr.ut.ac.ir/article_21493.html. شماره ۶۸. ۱۵-۳۲

عساکره، حسین؛ احدی، لیلا؛ ۱۳۹۹. بررسی رابطه تپ‌های هوایی تبریز و آلودگی هوا. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*. شماره ۳. ۳۷۵-۳۹۴

<https://dx.doi.org/10.22059/jphgr.2020.272960.1007326>. ۳۷۵-۳۹۴

غریبی، شیوا؛ شایسته، کامران؛ ۱۴۰۰. کاربرد تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۵ در شناسایی کانون‌های آلاینده‌های هوا در ایران. *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*. شماره ۳. ۱۳۸-

https://jsaeh.khu.ac.ir/browse.php?a_id=3117&sid=1&slc_lang=fa&ftxt=0. ۱۲۳

قربانی، رضوان؛ مباشری، محمدرضا؛ رحیم‌زادگان، مجید؛ ۱۳۹۱. روش سریع در برآورد غلظت ذرات معلق با استفاده از سنجنده مودیس در تهران. *مجله پژوهشی حکیم*. شماره ۲. ۱۷۷-

<https://hakim.tums.ac.ir/article-1-1019-fa.html>. ۱۶۶

کابلی‌زاده، مصطفی؛ رنگزن، کاظم؛ محمدی، شاهین؛ ۱۳۹۷. کاربرد تلفیق تصاویر ماهواره‌ای لندست-۸ و سنتینل ۲- در پایش محیطی. *سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی*. شماره ۳. ۷۱-

https://girs.bushehr.iau.ir/article_544815.html. ۵۳

کرم‌پور، مصطفی؛ خاموشیان، یگانه؛ حیدری، حامد؛ امرایی، فاطمه؛ ۱۴۰۰. نقش عوامل محیطی و اقلیمی بر انتقال و انتشار آلاینده‌ی منواکسید کربن کشور ایران در سال ۲۰۱۸. *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*. شماره ۲. ۱۹۰-

https://jsaeh.khu.ac.ir/browse.php?a_id=3154&sid=1&slc_lang=fa&ftxt=0. ۱۷۹

لشکری، حسن؛ کیخسروی، قاسم؛ کریمیان، ندا؛ ۱۳۹۹. بررسی الگوهای همدیدی آلودگی‌های شدید هوا، در لایه وردسپهر زیرین کلان‌شهر تهران. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*. شماره ۳. ۲۰-

<https://doi.org/10.22067/geo.v9i3.87260>. ۱

مرادی‌زاده، مینا؛ ۱۳۹۹. ارتقای توان تفکیک مکانی بخار آب ستونی جو، به‌دست‌آمده از سنجنده AIRS، برای بهبود دقت بازیابی دمای سطح خاک. نشریه سنجش از دور و GIS ایران. شماره ۳، ۴۶-۴۷

<https://dx.doi.org/10.52547/gisj.12.3.37>

مظفری، غلامعلی؛ نارنگی‌فرد، مهدی؛ حقیقت‌ضیابری، مرضیه؛ ۱۳۹۴. تحلیل رابطه الگوهای هم‌دید با میزان آلاینده ذرات معلق و منو اکسید کربن در شهر شیراز. جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۱۴، ۱۱۵-

<https://doi.org/10.22067/geo.v4i2.24849.95>

ملاشاهی، مریم؛ علی‌محمدیان، حبیب؛ حسینی، سیدمحسن؛ ریاحی، علیرضا؛ فیضی، وحید؛ ستاریان، علی؛ ۱۳۹۱. پهنه‌بندی آلودگی هوا با استفاده از روش نوین مگنتومتری برگ‌های درختی گسترده‌ی شهر تهران. پژوهش‌های

جغرافیای طبیعی. شماره ۳، ۱۰۸-۹۳. <https://dx.doi.org/10.22059/jphgr.2012.29216.93-108>

نورپور، علیرضا؛ فیض، محمد علی؛ ۱۳۹۳. تعیین تغییرات مکانی و زمانی آلاینده‌های گوگرد دی اکسید، نیتروژن دی اکسید و انواع ذرات معلق با استفاده از تکنیک‌های GIS در تهران. محیط‌شناسی. شماره ۳، ۷۳۸-

<https://dx.doi.org/10.22059/jes.2014.52216.733>

- Anand P, Mina U, Khare M, Kumar P, Kota S.H., 2022. Air pollution and plant health response-current status and future directions. Atmospheric Pollution Research 13(8): 101508. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2022.101508>.
- Barkley M.P, González Abad, G, Kurosu T.P, Spurr R, Torbatian S, Lerot C., 2017. OMI airquality monitoring over the Middle East. Atmospheric Chemistry and Physics 17(7): 4687-4709. <https://doi.org/10.5194/acp-17-4687-2017>.
- Bodah B.W, Neckel A, Maculan L.S, Milanes C.B, Korcelski C, Ramirez O, Mendez-Espinosa J.F., Bodah E.T, Oliveira M.L.S., 2022. Sentinel-5P TROPOMI satellite application for NO2 and CO studies aiming at environmental valuation. NJournal of Cleaner Production 357: 131960. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131960>.
- Hu T, Yoshie R., 2020. Effect of atmospheric stability on air pollutant concentration and its generalization for real and idealized urban block models based on field observation data and wind tunnel experiments. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 207: 104380. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2020.104380>.
- Ibbetson A, Symonds P, Hutchinson E., 2020. Data to support small area health impact modelling of air pollution in the United Kingdom. Data in brief 29: 105148. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2020.105148>
- Islam N, Saikia K. B., 2022. An overview on atmospheric carbonaceous particulate matter into carbon nanomaterials: A new approach for air pollution mitigation. Chemosphere 303 (2): 135027. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.135027>.
- Kovács A, Leelőssy Á, Tettamanti T, Esztergár-Kiss D, Mészáros R, Lagzi, I., 2021. Coupling traffic originated urban air pollution estimation with an atmospheric chemistry model. Urban Climate 37: 100868. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.100868>.
- Lamsal, L.N, Duncan B.N, Yoshida Y, Krotkov NA, Pickering k.E, Streets D.G, Lu Z., 2015. US NO2 trends (2005-2013): EPA Air Quality System (AQS) data versus improved observations from the Ozone Monitoring Instrument (OMI). Atmospheric Environment 110: 130-143. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.03.055>

- Li C, Liu M, Hu Y, Wang H, Xiong Z, Wu W, Liu C, Zhang C, Du Y., 2022. Investigating the vertical distribution patterns of urban air pollution based on unmanned aerial vehicle gradient monitoring. *Sustainable Cities and Society* 86:104144.
<https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.104144>.
- Omrani H, Omrani B, Parmentier B, Helbich M., 2020. Spatio-temporal data on the air pollutant nitrogen dioxide derived from Sentinel satellite for France. *Data in brief* 28: 105089.
<https://doi.org/10.1016/j.dib.2019.105089>
- Ravindra K., Kaur-Sidhu M, Mor S., 2020. Air Pollution in Rural Households Due to Solid Biomass Fuel Use and Its Health Impacts. In: Sharma A, Goyal R, Mittal R, (eds) *Indoor Environmental Quality. Lecture Notes in Civil Engineering* 60: Springer, Singapore.
https://doi.org/10.1007/978-981-15-1334-3_4
- Rohi G, Ejofodomi O, Ofualagba G., 2020. Autonomous monitoring, analysis, and countering of air pollution using environmental drones. *Heliyon* 6(1): e03252.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03252>
- Safarianzengir V, Sobhani B, Yazdani M.H, M Kianian., 2020. Monitoring, analysis and spatial and temporal zoning of air pollution (carbon monoxide) using Sentinel-5 satellite data for health management in Iran, located in the Middle East. *Air Qual Atmos Health* 13: 709–719.
<https://doi.org/10.1007/s11869-020-00827-5>
- Schneider P, Lahoz W.A, Vander A.R., 2015. Recent satellite-based trends of tropospheric nitrogen dioxide over large urban agglomerations worldwide. *Atmospheric Chemistry and Physics* 15(3): 1205-1220. <https://doi.org/10.5194/acp-15-1205-2015>.
- Sobhani B, Safarian Zengir V., 2020. Monitoring and prediction of drought using TIBI fuzzy index in Iran. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 18(3): 237-250.
<https://doi.org/10.22124/cjes.2020.4136>
- Sobhani B, Safarian Zengir V, Faizollahzadeh S., 2020. Modeling and Prediction of Dust in Western Iran. *Physical Geography Research Quarterly*, 52(1): 17-35. (In persian).
<https://doi.org/10.22059/jphgr.2020.284389.1007408>
- Sobhani B, Safarian Zengir, V., 2024. Obviousization and estimation of climate change in the coming years of Iran. *Journal of Environmental Science Studies*, 8(4): (In persian).
https://www.jess.ir/article_173142.html?lang=en
- Song J, Stettler M.E.J., 2022. A novel multi-pollutant space-time learning network for air pollution inference. *Science of The Total Environment* 811: 152254.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152254>.
- Tao M, Gui L, Li R, Wang L, Liang S, Li Q, Wang L, Yu C, Chen L., 2021. Tracking prevailing dust aerosol over the air pollution in central China with integrated satellite and ground observations. *Atmospheric Environment* 253: 118369.
<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2021.118369>.
- Wallace J, Kanaroglou P., 2009. The sensitivity of OMI-derived nitrogen dioxide to boundary layer temperature inversions. *Atmospheric Environment* 43: 3596–3604.
<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.03.049>