Journal of the Nivar
Vol. 50, No. 132-133, Spring and Summer 2026, P. 55-62
Homepage: https://nivar.irimo.ir
(Research Article)

Correspondence of modeling of ozone's pollutant precursors in the city of Tehran by WRF-Chem model with satellite data

Soroosh Roozitalab[1] | Khosro Ashrafi[2]✉ | Amir Houshang Ehsani[3]

1- MSc Student, Faculty of Environment, University of Tehran
2- Professor, Faculty of Environment, University of Tehran
3- Associate professor, Faculty of Environment, University of Tehran

Corresponding Author E-mail: khashrafi@ut.ac.ir

(Received: 21 Apr 2025, Revised: 24 Apr 2025, Accepted: 05 May 2025, Published online: 21 Mar 2026)

Abstract

Today, air pollution is one of the major issues facing the city due to the expanding population, the advancement of industries, and the methods of transportation. Tehran also faces this problem every year. The temperature parameter directly affects the secondary pollutant ozone, and the precursors of ozone are thought to play a significant role in the pollutant's formation. These precursors include CO, NO_2 and VOC pollutants. In this research, these three pollutants have been simulated by WRF-Chem numerical model for two days with maximum ozone concentration. The model shows a high correlation of 97 percent for the temperature parameter on both days. In this research, sentinel-5p satellite data has been used and the outputs of WRF-Chem model have been compared with satellite data. CO pollutant accumulation can be seen in Tehran city itself, while NO_2 pollutant accumulation can be seen in the southeastern part of Tehran province in addition to Tehran city itself. For the VOC pollutant, the accumulation is in the northeastern region of the province. For all three CO, NO_2 and VOC pollutants, the pollutant hotspots are similar between the model and satellite images.

Keywords: WRF-Chem, ozone plutant, Tehran, satellite data, sentinel-5p

Cite this article: Roozitalab,S. , Ashrafi,K. and Ehsani,A. H. (2026). Correspondence of Modeling of Ozone's Pollutant Precursors in the City of Tehran by WRF-Chem Model with Satellite Data. Nivar, 50(132-133), 55-62. doi: 10.30467/nivar.2025.234017

E-mail: (1) s.roozitalab@ut.ac.ir (3) ehsani@ut.ac.ir

Publisher: Iran Meteorological Organization
DOI: https://doi.org/10.30467/nivar.2025.234017
Print ISSN: 1735-0565
Online ISSN: 2645-3347

نیوار
دوره ۵۰، شماره ۱۳۲- ۱۳۳، بهار و تابستان ۱۴۰۵، صفحه ۵۵- ۶۲
نشانی اینترنتی مجله: https://nivar.irimo.ir
(مقاله پژوهشی)

مطابقت مدل‌سازی پیش‌سازهای آلاینده ازن در شهر تهران به‌وسیله مدل WRF-Chem با داده‌های ماهواره‌ای

سروش روزی‌طلب [۱] | خسرواشرفی [۲] ✉ | امیرهوشنگ احسانی [۳]

۱. دانشجو کارشناسی ارشد دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران
۲. عضو هیات علمی دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران
۳. عضو هیات علمی دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران

رایانامه نویسنده مسئول: khashrafi@ut.ac.ir

(دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۰۱، بازنگری: ۱۴۰۴/۰۲/۰۴ ، پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۱۵، انتشار آنلاین: ۱۴۰۵/۰۱/۰۱)

چکیده

امروزه با رشد روزافزون جمعیت، نوع حمل و نقل و پیشرفت صنایع، آلودگی هوا به یکی از معضلات اصلی استان تهران تبدیل‌شده است. آلاینده ازن به عنوان آلاینده ثانویه، رابطه مستقیمی با پارامترهای هواشناسی از جمله تابش و دما دارد و پیشسازهای آن دارد. مهمترین پیش‌سازها این آلاینده خطرناک شامل آلاینده‌های CO، NO_2 و VOC هستند. در این مقاله این سه آلاینده پیشساز به‌وسیله مدل عددی WRF-Chem برای دو روز با بیشینه غلظت ازن مدل‌سازی گردید. به منظور اعتبار سنجی نتایج مدل از داده‌های سنجنده تروپومی ماهواره sentinel-5p استفاده گردید.نتایج مدل‌سازی نشان داد که در هر دو روز پارامتر دما دارای همبستگی بالای ۹۷ درصد است. همچنین تجمع آلاینده CO در شهر تهران و تجمع آلاینده NO_2 علاوه بر شهر تهران در بخش جنوب شرقی استان تهران نیز دیده می‌شود. در حالی که تجمع آلاینده VOC بیشتر در ناحیه شمال شرق استان است. به طورکلی بین نتایج شبیه‌سازی مدل و داده‌های ماهواره‌ای برای نقاط کانونی هر سه آلاینده پیشساز CO، NO_2 و VOC همبستگی بالایی وجود دارد.

کلمات کلیدی: WRF-Chem، آلاینده ازن، شهر تهران، داده‌های ماهواره‌ای، sentinel-5p

۱. مقدمه

در دهه‌های اخیر آلودگی‌های محیط‌زیستی یکی از پرمخاطره‌ترین عواملی است که سلامت انسان‌ها را تهدید می‌کند. این امر باعث شده است که آلودگی‌های محیط‌زیستی به یکی از اصلی‌ترین تهدیدکننده‌های سلامت انسان تبدیل شود. شهر تهران به‌عنوان پایتخت ایران، بزرگ‌ترین کلان‌شهر ایران است که در سال‌های اخیر به‌شدت تحت تأثیر آلودگی هوا قرارگرفته است. در سال‌های اخیر نشان داده‌شده است که میزان مرگ‌ومیر به علت آلودگی هوا در کلان‌شهرها بالأخص در تهران میزان قابل‌توجهی است [1]. در فرآیند تشکیل آلاینده ازن، دما و تابش نور خورشید (solar radiation) به‌عنوان پارامترهای هواشناسی و سه آلاینده NO_x، VOC_s و CO نقش پررنگی به‌عنوان پیش‌سازهای آلاینده ازن دارند. آلاینده مونواکسید کربن (CO) گازی بی‌رنگ، بی‌بو و بی‌مزه است که در اثر احتراق ناقص سوخت‌های مبتنی بر کربن تولید می‌شود. این گاز بسیار سمی است که می‌تواند اثرات شدیدی بر سلامت انسان و حیوانات ازجمله سردرد، سرگیجه، حالت تهوع، استفراغ، گیجی، بیهوشی و حتی مرگ داشته باشد [2]. NO و NO_2 هر دو برای شیمی جو مهم هستند، اما اثرات متفاوتی

استناد: روزی‌طلب،سروش , اشرفی،خسرو و احسانی،امیر هوشنگ . (۱۴۰۵). مطابقت مدل‌سازی پیش‌سازهای آلاینده ازن در شهر تهران به‌وسیله مدل WRF-Chem با داده‌های ماهواره‌ای. نیوار، ۵۰(۱۳۲-۱۳۳)، ۵۵-۶۲. doi: 10.30467/nivar.2025.234017

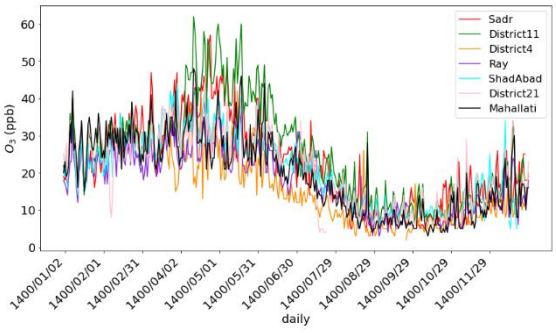
رایانامه: (۱) s.roozitalab@ut.ac.ir (۳) ehsani@ut.ac.ir

ناشر: سازمان هواشناسی کشور.
DOI: https://doi.org/10.30467/nivar.2025.234017

دارند. NO یک گاز نسبتاً پایدار است که برای تشکیل ازن در جو مهم است. در حضور نور خورشید و سایر آلاینده‌ها، NO می‌تواند با سایر مواد شیمیایی واکنش داده و NO_2 را تشکیل دهد که گاز واکنش‌پذیرتری است. NO_2 می‌تواند باعث مشکلات تنفسی شود و جزء مه دود است. همچنین می‌تواند با سایر مواد شیمیایی موجود در جو واکنش داده و اسید نیتریک را تشکیل دهد که می‌تواند به تولید باران اسیدی کمک کند. در میان آلاینده‌های هوا آلاینده VOC از آلاینده‌های مهم و قابل‌توجه است که بر سلامت انسان و اقتصاد به‌ویژه در مناطق شهری با انتشار کنترل نشده با میزان تهویه کم و موقعیت جغرافیایی نامناسب تأثیر بسزایی دارد [3]. در این مطالعه در ابتدا مدل عددی WRF-Chem برای سه آلاینده پیش‌ساز ازن اجرا می‌گردد سپس نتایج آن با داده‌های ماهواره‌ای مقایسه می‌گردد.

۲- روش تحقیق

در این پژوهش در ابتدا با توجه به درصد داده‌های موجود در ایستگاه‌های کیفیت سنجش شهر تهران ۷ ایستگاه صدر، شهرداری منطقه ۱۱، شهرداری منطقه ۱۴، شهری، شادآباد شهرداری منطقه ۲۱ و محلاتی انتخاب‌شده است. جانمایی این ایستگاه‌ها به نحوی است که شمال، جنوب، شرق و غرب تهران را پوشش می‌دهند. در تمامی این ایستگاه‌ها غلظت بیشینه ازن از اواسط تیرماه تا اواسط مردادماه رخ‌داده است.



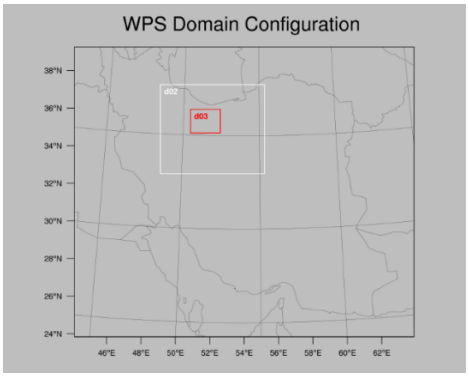
شکل ۱- میانگین غلظت روزانه ازن در سال ۱۴۰۰ در ایستگاه‌های منتخب

در این بازه ۲ روز با بیشینه غلظت آلاینده ازن انتخاب گردیده است. و مدل عددی WRF-Chem برای این دو روز اجرا گردیده است. این دو روز انتخابی به ترتیب ۱۷ تیر ۱۴۰۰ و ۴ مرداد ۱۴۰۰ می‌باشند. در این پژوهش از سنجنده TROPOMI و ماهواره sentinel-5p بهره گرفته‌شده است. این سنجنده هرروز در ساعت ۱۱ صبح از بالای شهر تهران عکس‌برداری می‌کند که نشان‌دهنده دقت زمانی ۱ روزه است و دقت مکانی این سنجنده ۵/۵×۳/۵ کیلومتر است. برای بررسی داده‌های ماهواره‌ای با خروجی مدل WRF-Chem بدین‌صورت عمل شده است که پراکنش غلظت آلاینده در مدل و داده‌های ماهواره‌ای با یکدیگر مقایسه می‌گردند.

۳- مدل عددی

در این مطالعه همان‌طور که در بخش قبل به آن اشاره شد از مدل عددی WRF-Chem[1] استفاده‌شده است. برای اجرای این مدل ابتدا باید هسته WPS آن اجرا گردد تا ورودی‌های هواشناسی مناسب WRF و به‌تبع آن مناسب WRF-Chem دریافت گردند. برای اجرای هسته WPS، مدل به‌صورت خودکار از فایل namelist.wps ورودی‌ها را می‌خواند. این فایل شامل چهار قسمت Share، geogrid، ungrib و metgrid است. در قسمت share هسته مدل WRF از نوع ARW انتخاب‌شده است و حداکثر دامنه در این پژوهش ۳ دامنه است. بزرگ‌ترین دامنه با دقت مکانی ۲۷ کیلومتر کل کشور ایران را دربر گرفته است، دامنه دوم با دقت مکانی ۹ کیلومتر استان‌های مازندران سمنان و بخشی از استان اصفهان را شامل می‌شود و کوچک‌ترین دامنه با دقت مکانی ۳ کیلومتر استان تهران را دربر می‌گیرد (شکل۲).

[1] Weather Research and Forecasting (WRF) model coupled with Chemistry



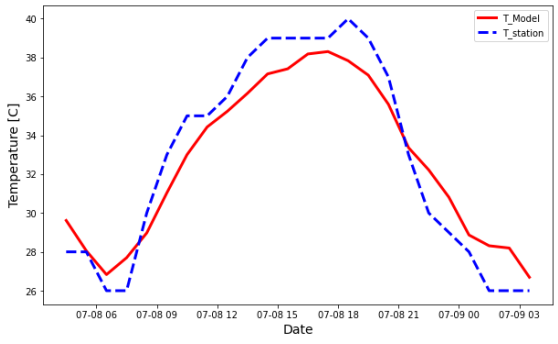
شکل ۲– نحوه قرارگیری دامنه‌های مدل‌سازی

برای داده‌های هواشناسی که بانام grib فایل‌ها شناخته می‌شوند از آخرین آنالیز فایل‌های NCEP که دقت مکانی آن‌ها ۱ درجه در ۱ درجه هستند، استفاده‌شده است. سپس به ترتیب فایل‌های اجرایی georig.exe، ungrib.exe و metgrid.exe اجرا گردید. . در ادامه فایل‌های هواشناسی (فایل‌ها با پیشوند met_em) تولیدشده توسط WPS به پوشه اصلی مدل WRF-Chem که در آن برنامه‌های real.exe و wrf.exe وجود دارند، متصل می‌شوند. سپس برنامه real.exe اجراشده است. خروجی‌های حاصل از metgrid که به‌صورت افقی میانیابی شده بودند، توسط برنامه real.exe به‌صورت قائم میانیابی می‌شوند. در این پژوهش از سازوکار MOTART_T1 که پیشرفته‌ترین سازوکار MOZART است، بهره گرفته‌شده است، برای اعمال شرایط مرزی از برنامه تک‌هسته‌ای به نام MOZBC[۲] استفاده‌شده است. ابزار mozbc که یک کد پردازنده است، غلظت گونه‌ها را از مجموعه داده‌های MOZART به غلظت‌های WRF برای مجموعه داده‌های شرایط اولیه و شرایط مرزی منطبق می‌سازد. به‌منظور اینکه مدل‌سازی برای آلاینده‌های گازی به‌شدت به داده‌های انتشار وابسته است.

به همین منظور در این تحقیق نیز باید به این داده‌ها دست پیدا کرد. برای داده‌های انتشار از پایگاه داده انتشارها برای تحقیقات جوی جهانی (EDGAR[3]) استفاده‌شده است. برای اینکه این داده‌ها برای ورودی مدل WRF-Chem مناسب‌سازی شوند از برنامه anthro_emis استفاده‌شده است. این برنامه نیز مانند برنامه mozbc، یک کد پردازنده است. این برنامه انتشارات انسانی را با توجه به طول و عرض جغرافیایی برای شبکه‌بندی مدل WRF آماده‌سازی می‌کند. در این پژوهش از آخرین نسخه‌ی داده‌های انتشار EDAGAR که برای سازوکار MOZART_T1 مناسب‌سازی شده است، بهره گرفته‌شده است. این داده‌ها مربوط به سال ۲۰۱۵ میلادی هستند. سپس برای دو روز منتخب مدل اجرا گردیده است. برای بهره‌گیری از داده‌های ماهواره‌ای در قدم اول می‌بایست با توجه به‌دقت مکانی و زمانی، ماهواره و سنجنده مناسب انتخاب گردد با توجه به اینکه ماهواره sentinel-5p دارای دقت مکانی ۳/۵ × ۵/۵ کیلومتر است و به‌صورت روزانه عکس‌برداری می‌کند، می‌توان از این ماهواره استفاده نمود. سپس داده‌های این ماهواره برای هریک از روزها استخراج و پردازش می‌شود و با خروجی‌های مدل مقایسه می‌گردد.

صحه‌گذاری

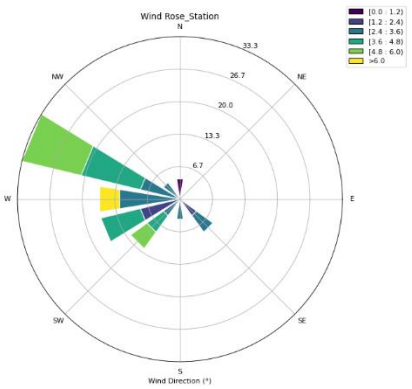
با توجه به اینکه پارامترهای هواشناسی ازجمله دما در تولید آلاینده ازن نقش مهمی دارد و سرعت باد در پخش و پراکنش آلاینده‌ها نقش مؤثری دارد، خروجی‌های مدل با داده‌های ایستگاه هواشناسی فرودگاه مهرآباد صحت سنجی شده است. شکل ۳ مقایسه پارامتر دما در ایستگاه مهرآباد و خروجی مدل است، با توجه به نتایج به‌دست‌آمده همبستگی مدل و ایستگاه در تاریخ ۱۷ تیرماه برابر ۹۷/۷ درصد می‌باشد.



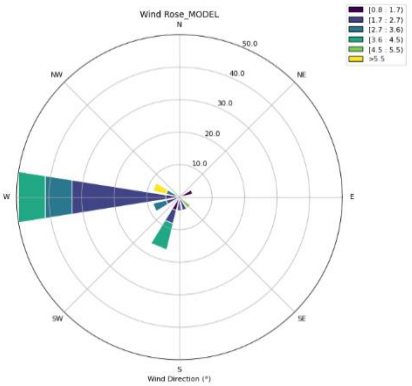
[2] MOZART boundry condition
[3] Emission Database for Global Atmospheric Research

شکل ۳- مقایسه پارامتر دما برای روز ۱۴۰۰/۰۴/۱۷ مدل WRF-Chem و ایستگاه هواشناسی

شکل ۴ و شکل ۵ به ترتیب مربوط به گلباد ایستگاه هواشناسی و مدل است که در هر دو شکل باد غالب باد غربی است و آلاینده‌های تولیدی به سمت شرق استان هدایت می‌شوند.

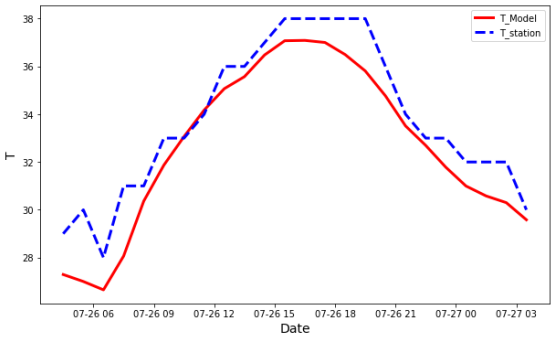


شکل ۴- گلباد مربوط به ایستگاه هواشناسی در روز ۱۴۰۰/۰۴/۱۷



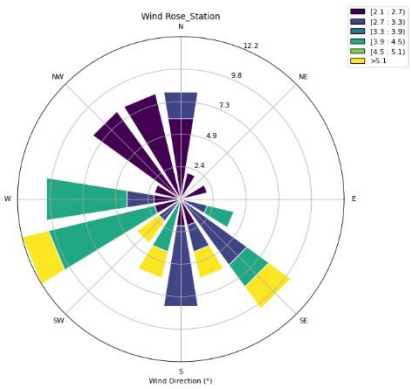
شکل ۵- گلباد مربوط به خروجی مدل WRF-Chem در روز ۱۴۰۰/۰۴/۱۷

در شکل ۶ مقایسه پارامتر دما در روز ۵ مرداد نشان داده‌شده است که در این روز مدل و ایستگاه همبستگی ۹۷/۳ درصد دارند.

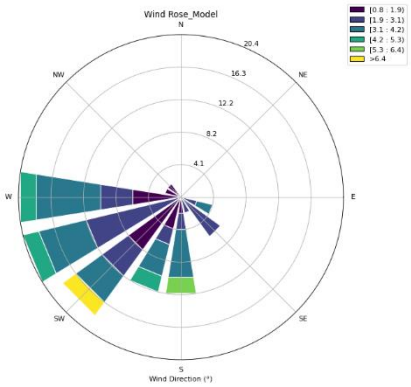


شکل ۶- مقایسه پارامتر دما برای روز ۱۴۰۰/۰۵/۰۴ مدل WRF-Chem و ایستگاه هواشناسی

شکل ۷ و شکل ۸ به ترتیب مربوط به گلباد ایستگاه و مدل برای روز ۴ مرداد ۱۴۰۰ است. هردو گلباد مدل و گلباد ایستگاه باد غالب را باد غربی نشان می‌دهند.



شکل ۷- گلباد مربوط به ایستگاه هواشناسی در روز ۱۴۰۰/۰۵/۰۴

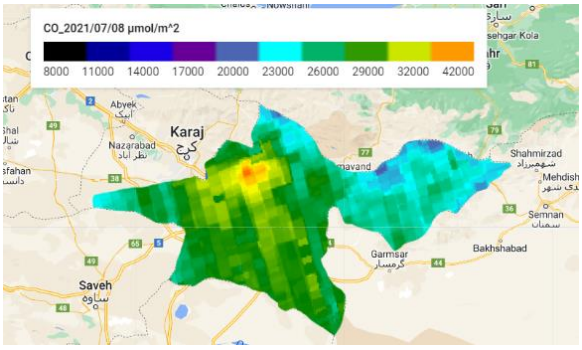


شکل ۸- گلباد مربوط به خروجی مدل WRF-Chem در روز ۱۴۰۰/۰۵/۰۴

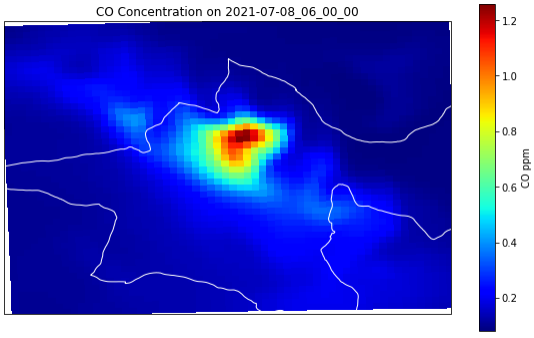
۴- بررسی و تحلیل نتایج

در این پژوهش مدل برای ۲ روز ۱۷ تیرماه و ۴ مردادماه سال ۱۴۰۰ اجرا گردیده است. برای هریک از روزهای اجرا نحوه پخش و پراکنش آلاینده‌های CO، NO_2 و VOC مورد بررسی قرارگرفته است. برای آلاینده VOC از آلاینده فرمالدهید (HCHO) به‌عنوان نماینده آلاینده VOC استفاده‌شده است. با توجه به اینکه ماهواره هرروز ساعت ۱۱ از روی شهر تهران عبور می‌کند و تصویربرداری را انجام می‌دهد برای خروجی مدل ساعت ۱۱ صبح محلی خروجی گرفته‌شده است. شکل ۹ و شکل ۱۰ به ترتیب مربوط به

خروجی ماهواره و مدل است. برای آلاینده CO در هردو شکل تراکم در شمال استان تهران دیده می‌شود. در ناحیه شمال استان تهران، شهر تهران واقع‌شده است. این آلاینده از منابع مختلفی مانند اتومبیل‌ها، کامیون‌ها و سایر وسایل نقلیه‌ای که از موتورهای احتراق داخلی استفاده می‌کنند. که مونواکسید کربن را به‌عنوان محصول جانبی احتراق تولید می‌کنند، تولید می‌شود [4].

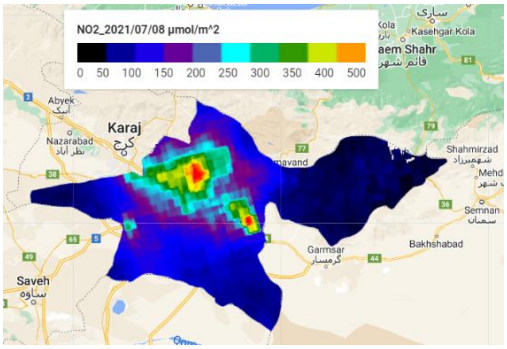


شکل ۹– نقشه ماهواره‌ای Sentinel-5p برای آلاینده CO در روز ۱۴۰۰/۴/۱۷

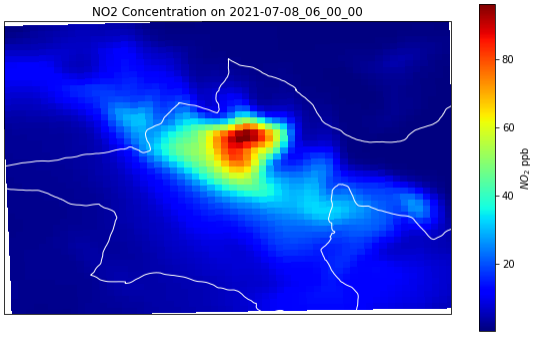


شکل ۱۰– خروجی مدل برای آلاینده CO در روز ۱۴۰۰/۴/۱۷

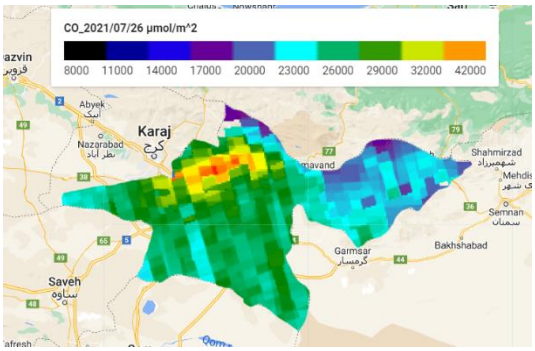
شکل ۱۱ و شکل ۱۲ مربوط به آلاینده NO_2 است. با توجه به هردو شکل اوج غلظت NO_2 از شمال غرب استان تهران تا جنوب شرق استان تهران می‌باشد. در خروجی مدل نیز اوج آلایندگی در شهر تهران رخ‌داده است و ناحیه جنوب شرقی نیز در خروجی مدل نسبت به دیگر نواحی غلظت‌های بیشتری را ثبت کرده است. عدم نمایش افزایش غلظت در نزدیکی شهرک عباس‌آباد در خروجی مدل مربوط به داده‌های انتشار می‌شود چراکه داده‌ی انتشار ورودی به مدل مربوط به سال ۲۰۱۵ می‌باشند. در شکل ۱۳ و شکل ۱۴ به ترتیب خروجی‌های مربوط به داده‌های ماهواره‌ای و خروجی مدل برای آلاینده CO نمایش داده‌شده است. با توجه به هر دو خروجی می‌توان گفت در روز ۱۴۰۰/۰۵/۰۴ نیز مانند روز ۱۴۰۰/۰۴/۱۷ نقاط تراکم آلاینده CO در شهر تهران است که هم در خروجی مدل و هم در خروجی داده‌های ماهواره مشخص است.



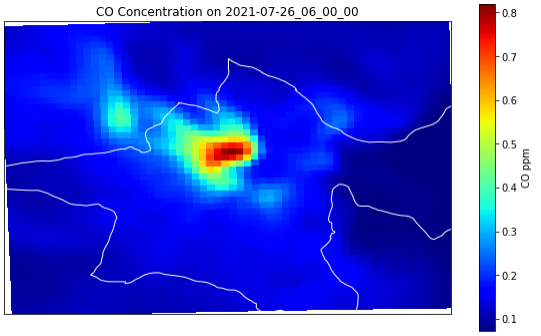
شکل ۱۱– خ نقشه ماهواره‌ای Sentinel-5p برای آلاینده NO2 در روز ۱۴۰۰/۴/۱۷



شکل ۱۲– خروجی مدل برای آلاینده NO2 در روز ۱۴۰۰/۴/۱۷

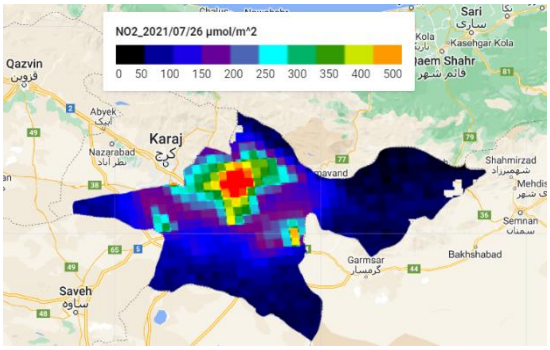


شکل ۱۳- نقشه ماهواره‌ای Sentinel-5p برای آلاینده CO در روز ۱۴۰۰/۰۵/۰۴

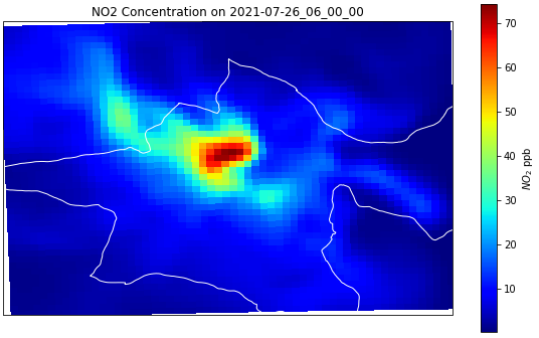


شکل ۱۴- خروجی مدل برای آلاینده CO در روز ۱۴۰۰/۰۵/۰۴

شرایط تجمع آلاینده NO_2 در روز ۱۴۰۰/۰۵/۰۴ در شکل ۱۵ نمایش داده‌شده است. با توجه به خروجی به‌دست‌آمده مانند روز ۱۴۰۰/۰۴/۱۷ تجمع این آلاینده در شهر تهران و نزدیکی شهرک صنعتی عباس‌آباد است. در شکل ۱۶ خروجی مدل نمایش داده‌شده است که این خروجی با خروجی داده‌های ماهواره‌ای مطابقت داشته است، به‌طوری‌که تجمع غلظت برای این آلاینده یعنی NO_2 در شهر تهران و ناحیه‌ی جنوب شرقی تهران است.

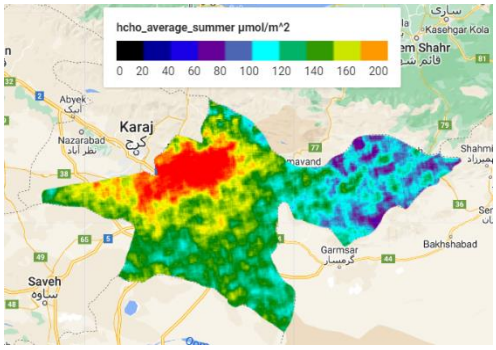


شکل ۱۵- نقشه ماهواره‌ای Sentinel-5p برای آلاینده NO2 در روز ۱۴۰۰/۵/۰۴



شکل ۱۶- خروجی مدل برای آلاینده NO2 در روز ۱۴۰۰/۰۵/۰۴

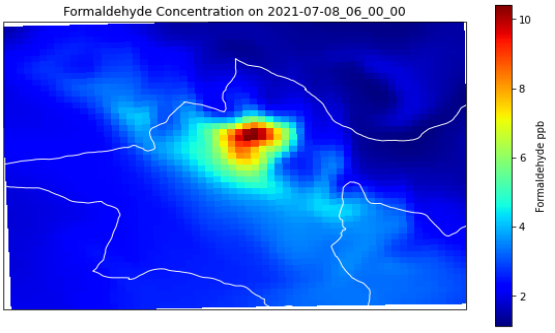
برای دریافت داده‌های ماهواره‌ای HCHO به‌عنوان نماینده VOC_s به‌صورت میانگین یک بازه که در آن بازه بیشینه غلظت ازن رخ‌داده است، بررسی می‌شود [5]، زیرا تجمع این آلاینده در یک بازه زمانی بزرگ‌تر مشخص می‌شود. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده در بازه تابستان ۱۴۰۰ آلاینده ازن بیشترین غلظت‌ها را ثبت کرده است، به همین منظور این بازه برای دریافت داده‌های ماهواره‌ای آلاینده فرمالدهید به‌عنوان نماینده VOC_s انتخاب‌شده است. با توجه به شکل ۱۷ تراکم این آلاینده در طول تابستان ۱۴۰۰ در شمال استان تهران بوده است. فرمالدهید در شرق استان تهران در طول تابستان همواره دارای تراکم کمی بوده است.



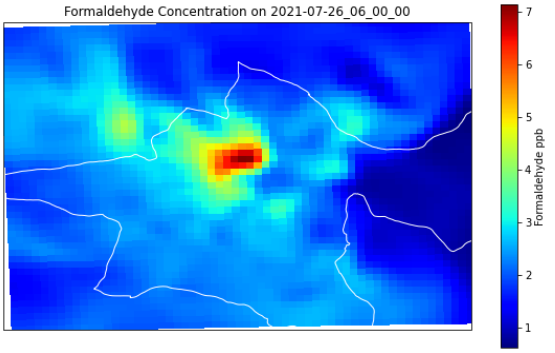
شکل ۱۷- نقشه ماهواره‌ای Sentinel-5p برای سآلاینده HCHO برای میانگین تابستان ۱۴۰۰

در هردو شکل ۱۸ و ۱۹که به ترتیب مربوط به خروجی‌های مدل برای آلاینده فرمالدهید در روزهای ۱۴۰۰/۰۴/۱۷ و ۱۴۰۰/۰۵/۰۴ می‌باشند تراکم غلظت این آلاینده در شمال استان تهران بیشینه است و کمترین تراکم مربوط به قسمت شرقی استان تهران می‌باشد. این نکته حائز اهمیت که شرایط این آلاینده روز ۱۴۰۰/۰۴/۱۷ از روز ۱۴۰۰/۰۵/۰۴ حادتر

است، به‌نحوی‌که در روز اول بیشینه این آلاینده ppb ۳ بیشتر از روز دوم است، این نتیجه با شرایط حادتر غلظت آلاینده ازن در روز ۱۷ تیرماه نسبت به‌روز ۴ مردادماه مطابقت دارد.



شکل ۱۸– خروجی مدل برای آلاینده HCHO در روز ۱۴۰۰/۰۴/۱۷



شکل ۱۹– خروجی مدل برای آلاینده HCHO در روز ۱۴۰۰/۰۵/۰۴

۳- نتیجه‌گیری

تجمع آلاینده CO در استان تهران در داخل شهر رخ‌داده است که این موضوع به علت تجمع وسایل نقلیه در شهر تهران در مقایسه با دیگر شهرهای استان تهران است. در مورد آلاینده NO_2 تجمع آلاینده علاوه بر شهر تهران در جنوب شرقی استان تهران نیز در مدل و داده‌های ماهواره‌ای قابل‌مشاهده است که این موضوع به دلیل وجود نیروگاه، پالایشگاه و شهرک عباس‌آباد در آن منطقه است. برای آلاینده فرمالدهید نیز مدل و داده‌های ماهواره‌ای هر دو شمال غرب استان را به‌عنوان مرکز تجمع این آلاینده نشان می‌دهند. با توجه بررسی‌های انجام‌شده در دو روز ۱۴۰۰/۰۴/۱۷ و ۱۴۰۰/۰۵/۰۴ می‌توان دریافت که عملکرد مدل با توجه به داده‌های ماهواره‌ای عملکرد مناسبی است، به‌نحوی‌که در سه آلاینده NO_2، CO و HCHO به‌عنوان نماینده VOC_s که از پیش‌سازهای آلاینده ازن به شمار می‌روند، نقاط تجمع سه آلاینده در هر دو روز با نتایج داده‌های ماهواره‌ای مطابقت داشته است.

منابع

1. Rahmati, M. H., Maghani, V., & Vesal, M. (2020). Investigating the short-term effect of air pollution on mortality in six major cities in Iran. Quarterly Journal of Economic Research (Growth and Sustainable Development), 20(2), 53–76.
2. World Health Organization. (2011). [Title of article not provided]. International Journal of Health Care Quality Assurance, 24(2), 3–6. doi: 10.1108/ijhcqa.2011.06224bab.001
3. Soleimani, M., & Amini, N. (2014). Source identification and apportionment of air pollutants in Iran. Journal of Air Pollution and Health, 2(December 2013), 57–72.
4. Tran, T., Kumar, N., & Knipping, E. (2023). Investigating sensitivity of ozone to emission reductions in the New York City (NYC) metropolitan and downwind areas. Atmospheric Environment, 301. doi: 10.1016/j.atmosenv.2023.119675
5. Hu, X. M., Doughty, D. C., Sanchez, K. J., Joseph, E., & Fuentes, J. D. (2012). Ozone variability in the atmospheric boundary layer in Maryland and its implications for vertical transport model. Atmospheric Environment, 46, 354–364. doi: 10.1016/j.atmosenv.2011.09.054