

صص ۱۰۴-۸۹

## تحلیل زمانی و مکانی آلاینده‌های هوا در استان آذربایجان شرقی<sup>۱</sup>

**بتول زینالی\***

دانشیار دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

**الهام ملانوری**

دانشجوی دکتری تخصصی آب و هواشناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

**شیوا صفری**

دانش آموخته کارشناسی ارشد سنجش از دور، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۵/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۱۰

### چکیده

تشدید آلودگی هوا تحت تأثیر عوامل مختلف از جمله ازدیاد جمعیت و شهرنشینی، مورد توجه فعالان این حوزه است. بررسی دقیق آلاینده‌ها توسط تکنیک‌های دقیق ضروری می‌باشد. در این مطالعه عناصر NO<sub>2</sub>، CO و ذرات معلق مؤثر در آلودگی هوا با استفاده از ابزار TROPOMI سنجنده سنسینل ۵ در استان آذربایجان شرقی مورد تجزیه و تحلیل مکانی و زمانی (ماهانه و فصلی) قرار گرفت. بررسی‌ها نشان داد در فصل سرما مناطق بیشتری از منطقه حضور آلاینده‌های CO و NO<sub>2</sub> را تجربه می‌کنند که عمدتاً ناشی از سوخت‌های فسیلی، صنایع و مناطق مسکونی می‌باشد؛ اما غلظت آن‌ها به ترتیب در فصل گرما و سرما بالا است. شواهد نشان می‌دهد در مناطقی که از نظر جمعیتی متراکم است با غلظت و حضور بالای NO<sub>2</sub> روبه‌رو هستیم. در فصل تابستان نیز غلظت بالای ذرات معلق دیده می‌شود. طبق یافته‌ها هر سه آلاینده پراکندگی بالایی در فصل سرما داشته‌اند؛ از طرفی غلظت و توزیع مکانی آلاینده‌ها تحت تأثیر عواملی از جمله آب و هوا، شرایط توپوگرافی و مراکز صنعتی قرار دارد.

**واژگان کلیدی:** سنسینل ۵، آلاینده، آلودگی هوا، غلظت، توزیع مکانی

### مقدمه

شده است که توجه جهانی را به خود جلب کرده است (ژانگ<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۲۲). آلودگی هوا به انتشار آلاینده‌ها در هوا اشاره دارد (لازیزوویچ<sup>۳</sup>، ۲۰۲۳). انواع مختلفی از آلاینده‌های هوا مانند گازها (آمونیاک، مونوکسید کربن، دی‌اکسید گوگرد، اکسیدهای نیتروژن، متان، دی‌اکسید کربن و کلروفلوروکربن‌ها)، ذرات معلق (اعم از آلی و معدنی) و مولکول‌های

<sup>۱</sup> مقاله حاضر مستخرج از طرح پژوهشی نوع دو به شماره ۱۴۰۲/د/۹/۷۲۸۵ و با حمایت دانشگاه محقق اردبیلی و مجری طرح خانم دکتر بتول زینالی می‌باشد.  
\*نویسنده مسئول: ۰۹۱۴۱۵۴۹۱۴۷

Email: zeynali.b@uma.ac.ir

<sup>۲</sup> Zhang

<sup>۳</sup> Lazizovich

بیولوژیکی وجود دارد (ملکی و همکاران، ۱۴۰۱). امروزه کیفیت پایین هوا یکی از مهم‌ترین مشکلات زیست‌محیطی در بسیاری از شهرهای جهان است. انتشار آلاینده‌ها در هوا نقش مهمی در تغییرات آب و هوایی دارد. این مسئله نه تنها اثرات قابل توجهی بر سلامتی دارد، بلکه به اقتصاد کشور نیز آسیب می‌رساند (کومر و همکاران<sup>۴</sup>، ۲۰۲۳، ۲)؛ به ویژه در شهرهای بزرگ صنعتی به صورت مشکل‌حادتری مطرح می‌شود (عساکره و همکاران، ۱۳۹۹، ۳۷۶). آلودگی هوا می‌تواند اثرات مخربی بر موجودات زنده داشته باشد و تلاش برای پیش‌بینی و تجزیه و تحلیل میزان توزیع و انتقال آلاینده‌های هوا به منظور به حداقل رساندن اثرات نامطلوب بر کیفیت هوا و اقلیم در حال انجام است. آلاینده‌های شیمیایی خطرناک توسط فعالیت‌های طبیعی و مصنوعی وارد محیط‌زیست می‌شوند (رنگزن و همکاران، ۱۴۰۰، ۸۹)؛ از مهم‌ترین آلاینده‌های هوا می‌توان به  $CO^5$ ،  $SO_2^6$ ،  $NO_2^7$  و  $O_3^8$  و ائروسول‌ها (AI<sup>۹</sup>) اشاره کرد. اندازه‌گیری دقیق آلاینده‌های هوا با قدرت تفکیک مکانی و زمانی بالا در سطح محلی، منطقه‌ای و جهانی برای تعیین چگونگی توزیع و اثرگذاری آن‌ها ضروری است (قنادی و همکاران، ۱۴۰۰، ۸۲). بخصوص اینکه موسسه بین‌المللی تحقیقات سرطان از آلودگی هوا به عنوان سرطان‌زای قطعی انسان نام برده است (شامی و همکاران، ۱۳۹۹، ۱۳۶ به نقل از هو<sup>۱۰</sup>، ۲۰۱۳). روش‌های زمینی پایش آلودگی هوا در عین سرعت، دقت و قدرت تفکیک زمانی زیاد، دارای هزینه بالای نگهداری و کالیبراسیون پیوسته و دوره‌ای هستند. همچنین پایش دقیق آلاینده‌های هوا نیازمند شرایط مناسب ایستگاه‌های پایش کیفیت هوا به لحاظ تعداد، تراکم و یکنواختی است که متأسفانه در ایران از شرایط مناسبی برخوردار نیستند. در این میان مشاهدات ماهواره‌ای در مقایسه با مشاهدات زمینی دارای مزایایی از جمله مشاهده منطقه وسیع و عدم نیاز به فرآیند نگهداری هستند، اما قدرت تفکیک زمانی پایینی را شامل می‌شوند. در حالت کلی مشاهدات ماهواره‌ای دارای صحت بالا ولی دقت پایین‌تری نسبت به ایستگاه‌های پایش هستند (قنادی و شهری، ۱۴۰۰، ۲۴). در حال حاضر مأموریت پایش اتمسفر زمین نیز جزو برنامه‌های شرکت اروپایی Copernicus است که مؤلفه فضایی آن توسط آژانس فضایی اروپا با توسعه مأموریت‌های سنتینل که Sentinel 5/UVNS بخشی از آن است، پشتیبانی می‌شود (لیزار و همکاران<sup>۱۱</sup>، ۲۰۱۸، ۳).

صفوی و همکاران (۱۳۹۵) در مطالعه‌ای به پهنه‌بندی شاخص کیفیت هوا و آلاینده‌های محیطی شهر تبریز پرداختند. آن‌ها از اطلاعات پنج ایستگاه پایش آلودگی هوا و جامعه آماری و درون‌یابی وزن دهی فاصله‌ای معکوس جهت توزیع دقیق آلودگی هوا در نقاط مختلف شهر استفاده کرده‌اند. طبق نتایج این محققین ذرات معلق و مونوکسید کربن دو عامل مهم آلودگی هوای شهر تبریز هستند که در بیشتر مواقع به‌ویژه فصل سرما منجر به اعلام شرایط هشدار می‌شود. شامی و همکاران (۱۳۹۹) در مطالعه‌ای به بررسی میزان تغییرات آلاینده‌های هوا در دوره انتشار ویروس کووید-۱۹ در ایران با

<sup>4</sup> Kumar et al

<sup>5</sup> Carbon Monoxide

<sup>6</sup> Sulphur Dioxide

<sup>7</sup> Nitrogen Dioxide

<sup>8</sup> Ozone

<sup>9</sup> Arosel

<sup>10</sup> who

<sup>11</sup> Irizar et al

استفاده از اطلاعات ماهواره سنتینل ۵ در فروردین ۹۹ پرداختند و با دوره مشابه در سال ۹۸ مقایسه کردند. نتایج این پژوهش نشان‌دهنده بهبود کیفیت هوا در فروردین ۹۹ نسبت به ماه مشابه سال قبل بوده و دلیل آن را کاهش حمل‌ونقل و فعالیت انسانی ذکر کرده‌اند. غربی همکاران (۱۴۰۰) در مطالعه‌ای به کاربرد تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۵ در شناسایی کانون‌های آلاینده‌های هوا در ایران پرداختند. این پژوهشگران با فراخوانی پروداکت آلاینده‌های مختلف از جمله CO، SO<sub>2</sub> به بررسی وضعیت این آلاینده‌ها در سامانه GEE<sup>۱۲</sup> پرداختند. طبق نتایج این محققین بر اساس تحلیل لکه‌های داغ شهرهای آبادان، اهواز، بندر امام خمینی، ماهشهر و عسلویه، تهران و پاکدشت آلوده‌ترین مناطق هستند. همچنین غلظت بالای CO و NO<sub>2</sub> در تهران و پاکدشت به دلیل افزایش شمار وسایل نقلیه گازسوز شناسایی شده است. این محققین استفاده از تصاویر ماهواره‌ای جهت پایش آلاینده‌های هوا را راهکار مناسبی دانسته‌اند. قنادی و همکاران (۱۴۰۰) در مطالعه‌ای به تحلیل مشاهدات ایستگاه‌های پایش آلودگی هوا با استفاده از تصاویر سنتینل ۵ در شهرستان اراک پرداختند. طبق گفته‌های این محققین تصاویر ماهواره‌ای در پایش کیفیت هوا قابلیت خوبی داشته و نقاط ضعف ایستگاه‌های زمینی از جمله توزیع مکانی غیریکنواخت و نیاز به کالیبراسیون منظم را ندارند. نتایج حاصل از بررسی این محققین بر روی چهار آلاینده و چهار ایستگاه زمینی در بازه زمانی ۱۹ ماهه نشان‌دهنده تردید در صحت برخی مشاهدات زمینی است و با حذف مشاهدات ناصحیح خطای جذر میانگین از ۲ درصد به ۴۷ درصد بهبود حاصل کرده است. قنادی و همکاران (۱۴۰۰) در مطالعه‌ای به پایش آلودگی هوا بر اساس مقادیر آلاینده‌هایی نظیر مونوکسید کربن، دی‌اکسید نیتروژن، دی‌اکسید گوگرد و ذرات معلق در بیست شهر بزرگ با استفاده از تصاویر سنتینل ۵ در سال‌های ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰ پرداختند. یافته‌های این محققین نشان‌دهنده همبستگی ۷۸ درصدی داده‌های سنتینل ۵ و داده‌های ایستگاه زمینی بوده است. همچنین در هر دو سال ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰ به ترتیب شهرهای تهران و زنجان دارای بیشترین و کمترین میزان آلودگی بوده‌اند. این محققین به کاهش اندک آلودگی هوا در سال ۲۰۲۰ نسبت به سال ۲۰۱۹ به دلیل همه‌گیری ویروس کرونا و احتمال تأثیر آن در کاهش ترافیک و فعالیت‌های صنعتی اشاره کرده‌اند. محمودی و همکاران (۱۴۰۱) در مطالعه‌ای به بررسی میزان غلظت آلاینده‌های هوای PM<sub>2.5</sub> و اثر ترافیک شهری بر انتشار این آلاینده‌ها در شهر اصفهان پرداختند. این محققین از روش GWR و درون‌یابی IDW و ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا در مطالعه خود استفاده کرده‌اند. طبق نتایج این محققین بین متغیرهای مستقل تردد خودرو و جمعیت و متغیر وابسته افزایش آلاینده PM<sub>2.5</sub> همبستگی بالایی با مقدار  $R^2 = 0.75$  بخصوص در فصل تابستان وجود دارد. غفاری گیلانده و همکاران (۱۴۰۱) در مطالعه‌ای به بررسی آلودگی هوا در استان‌های ساحلی خلیج فارس در سال‌های ۲۰۱۸ تا ۲۰۱۹ پرداخته‌اند. این محققین از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۵ در برآورد کربن منو کسید، دی‌اکسید نیتروژن و بخار آب موجود در جو و تصاویر سنجنده MODIS جهت بررسی دمای سطح زمین و میزان آئروسول‌ها استفاده کرده‌اند. طبق نتایج این محققین مقادیر مختلف و شدت و حدت متفاوتی از مؤلفه‌های ذکر شده در موقعیت‌های مختلف زمانی و مکانی مشاهده شده است. به طوری که بیشینه غلظت

<sup>12</sup> Google Earth Engine

CO در آوریل ۲۰۱۹ در شهرهای آبادان، دزفول و اهواز، H<sub>2</sub>O در آگوست ۲۰۱۹ در شهرهای شادگان، خورموج و آبادان و NO<sub>2</sub> در نوامبر ۲۰۱۸ در شهرهای آبادان، اهواز، اندیمشک قرار دارد. همچنین بیشینه روزانه LST در ژوئن ۲۰۱۹ در اهواز، شوش و بوشهر و بیشینه ضخامت عمق اپتیکی آئروسول در جولای ۲۰۱۹ در آبادان، اهواز، خرمشهر، دزفول، شوش، بوشهر، بندرلنگه و میناب و کمترین آن در نوامبر ۲۰۱۸ در شهرهای دور از خلیج فارس قرار دارد. کاپلان و همکاران<sup>۱۳</sup> (۲۰۱۹) در مطالعه‌ای به بررسی و ارتباط آلودگی هوا و داده‌های جغرافیایی و جمعیتی با استفاده از داده سنتینل ۵ پرداختند. طبق نتایج این محققین همبستگی مثبت بالایی بین مقادیر NO<sub>2</sub> و آمار جمعیت و همچنین همبستگی منفی بالایی بین ارتفاع و مقادیر CO مشاهده شده است. نتایج کلی این مطالعه قابلیت استفاده از داده‌های سنتینل ۵ را در پایش کیفیت هوا و آلودگی هوا در مناطق محلی را تأیید کرده است. صفاریان زنجیر و همکاران (۲۰۲۰) در مطالعه‌ای به پایش و تحلیل زمانی و مکانی آلودگی هوا (کربن دی‌اکسید) در ایران با استفاده از داده سنتینل ۵ در بازه زمانی ۱۴ ماهه پرداختند آن‌ها همچنین از داده ماهواره مودیس و ترا جهت پایش دمای شبانه و روزانه در دوره ۲۴ ماهه استفاده کردند. طبق نتایج این محققین بیشترین میزان آلودگی (CO) در استان‌های تهران و گیلان مشاهده شده است. همچنین قسمت‌هایی از استان‌های اردبیل و آذربایجان شرقی در معرض آلودگی شناسایی شدند. فرزنانگان و همکاران (۲۰۲۲) در پژوهشی به بررسی تأثیر آلودگی هوا بر مهاجرت در ایران پرداختند. طبق نتایج این محققین بین سال‌های ۲۰۱۱ و ۲۰۱۶ حدود ۴٫۳ میلیون ایرانی به‌ویژه در مرزهای داخلی مهاجرت کرده‌اند که طبق داده‌های ماهواره‌ای عمق نوری اخذ شده در بین این سال‌ها و همچنین داده‌های آماری مربوط به ۳۱ استان، آلودگی هوا تأثیر مثبت و مهم در مهاجرت داشته است. همچنین سطح بالای اقتصادی را مانعی برای مهاجرت دانسته‌اند. پورکاران (۲۰۲۲) در مطالعه‌ای به بررسی رابطه الگوی فضایی کاربری اراضی مختلف و آلودگی هوا (عناصر CO، SO<sub>2</sub>، NO<sub>2</sub> و O<sub>3</sub>) در درلان شهر تهران در تابستان ۲۰۲۰ و زمستان ۲۰۲۱ پرداختند. این محققین در مطالعه خود از داده‌های ماهواره‌ای لندست ۸ و سنتینل ۵؛ همچنین ضریب همبستگی پیرسون و رگرسیون خطی چندگانه استفاده کرده‌اند. طبق نتایج آن‌ها کاربری‌های انسان‌ساخت و صنایع سنگین با معناداری کوچک‌تر از ۰/۰۳۸ رابطه مثبتی با عناصر NO<sub>2</sub> و SO<sub>2</sub> دارد. در مقابل به رابطه منفی فضای سبز و عنصر CO اشاره کرده‌اند. همچنین به همبستگی منفی و مثبت ترکیب فضایی کاربری‌های مختلف به ترتیب با عنصر O<sub>3</sub> (معناداری کوچک‌تر از ۰/۰۴۷) و فضای سبز (معناداری کوچک‌تر از ۰/۰۴۷) اشاره کرده‌اند.

طبق نظر تعدادی از محققین گسترش شهرنشینی در ایران یکی از عوامل افزایش آلودگی هوا است (آشنا و همکاران، ۱۳۹۹). کلان‌شهر تبریز واقع در استان آذربایجان شرقی یکی از قطب‌های صنعتی کشور جزء هشت شهر آلوده کشور ایران در بخش هوا است. آلودگی هوای تبریز همانند سایر شهرهای بزرگ از مجموعه عوامل طبیعی، انسانی و صنعتی متأثر می‌شود (عابدینی و همکاران، ۱۳۹۱، ۴) طوری که در اکثر ایام سال کیفیت هوای تبریز به دلیل کمبود تهویه

<sup>13</sup> Kaplan et al

طبیعی، پایین بودن سرعت باد و پایداری اتمسفر در وضعیت ناسالم قرار دارد و با شروع دوره سرد سال دچار وارونگی دما و در نتیجه آلودگی هوا می‌شود (صفوی و همکاران، ۲۰۱۵، ۱۶۰) (سرور و همکاران، ۱۳۹۹، ۱۵۴) به نقل از عقلمند، ۱۳۹۹). یکی از صنایع آلاینده در ایران صنعت سیمان است (باقری و همکاران، ۱۴۰۰) بنابراین حضور کارخانه سیمان صوفیان در شمال غرب شهر تبریز می‌تواند یکی از منابع مهم انتشار آلودگی باشد. حضور شرکت پالایش نفت تبریز در جنوب غرب شهر تبریز به‌عنوان منبع مهم پخش آلاینده‌های هوا در روستاها و شهرستان‌های اطراف بخصوص سرد رود، کوجوار، آخماقیه و تبریز غیرقابل انکار است (ظروفچی بنیس و همکاران، ۱۳۹۳، ۱۰۱). همچنین رشد فزاینده شهر تبریز به اطراف خود در چند دهه اخیر متناسب با سنجش‌های پایداری شهر نبوده و در حال حاضر با مشکلاتی از جمله آلودگی هوا روبه‌رو است (سرور و همکاران، ۱۳۹۹، ۱۵۵). با توجه به مطالب ذکر شده بررسی وضعیت آلودگی هوا در استان آذربایجان شرقی و به‌ویژه شهرستان تبریز ضروری بوده و سنجش میزان آلاینده‌های مختلف و تجمع و پراکندگی آن‌ها در این زمینه می‌تواند کمک کننده باشد. هدف از مطالعه حاضر بررسی غلظت و پراکندگی عناصر آلاینده آئروسول، مونوکسید کربن و دی‌اکسید نیتروژن در هوای استان آذربایجان شرقی است که برخلاف مطالعات مشابه محدوده بزرگی بوده و امکان بررسی کامل پارامترهایی نظیر توپوگرافی، کانون‌های گردوغبار و مراکز صنعتی آلاینده و تأثیر آن‌ها بر آلودگی هوا را فراهم می‌کند. با توجه به مطالعات پیشین از جمله غفاری گیلانده و همکاران (۱۴۰۱) بررسی نقاط مختلف استان از لحاظ غلظت و حضور آلاینده‌ها ممکن است منجر به نتایج بهتر و متفاوتی از نظر شدت و حدت این آلاینده‌ها در موقعیت‌های زمانی و مکانی مختلف شود. تحلیل زمانی و مکانی سه آلاینده به‌طور هم‌زمان در چهار فصل سال هدف دیگر این مطالعه است که به همراه وسعت منطقه مورد مطالعه می‌تواند به‌عنوان نوآوری مطالعه حاضر مدنظر قرار گیرد.

## داده‌ها و روش‌ها

### موقعیت منطقه مورد مطالعه

استان آذربایجان شرقی از استان‌های مهم و پرجمعیت ایران است که در گوشه شمال غرب کشور واقع شده است. مساحت این استان ۴۵۴۹۱ کیلومتر مربع است که حدود ۲/۸ درصد از مساحت کل کشور را شامل می‌شود. این استان از نظر موقعیت طبیعی در محل به هم خوردگی دو رشته کوه البرز و زاگرس، به عبارتی در زون البرز و آذربایجان و در گوشه شمال غرب فلات ایران واقع شده است. در حالت کلی، استان آذربایجان شرقی یک منطقه کوهستانی محسوب می‌شود که حدود ۴۰ درصد از سطح آن را کوهستان فرا گرفته است. از مناطق کوهستانی معروف منطقه، می‌توان توده آتشفشانی سبلان در شرق و سه‌سهند در غرب و جنوب غربی و رشته کوه‌های قره‌داغ در شمال و رشته کوه‌های تخت سلیمان و اربط در جنوب و ارتفاعات بزقوش در جنوب شرق و قوشاداغ در شمال شرق استان اشاره کرد. آب و هوای آذربایجان شرقی به‌طور کلی سرد و خشک است ولی به علت تنوع توپوگرافیکی از اقلیم‌های متفاوتی برخوردار است. این استان همواره تحت تأثیر بادهای سرد شمالی و سیبری و بادهای مرطوب دریای سیاه و مدیترانه و اقیانوس اطلس قرار گرفته است؛



## ویژگی‌های ماهواره سنتینل ۵

سنتینل ۵ UVNS سنجنده غیرفعال push broom و خورشید آهنگ است که در ۱۷ اکتبر ۲۰۱۷ در فاصله ۸۲۴ کیلومتری مدار زمین قرار گرفته است. محدوده طیفی این سنجنده ۲۷۰ الی ۲۳۸۵ نانومتر و قدرت تفکیک طیفی آن بین ۰٫۲۵ و ۱ نانومتر متر است. همچنین قدرت تفکیک مکانی این سنجنده ۷/۵ در ۷/۵ کیلومتر مربع است. سنجنده سنتینل ۵ از امواج ماوراءبنفش، مرئی، مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز طول موج کوتاه پشتیبانی می‌کند (ویفکیند و همکاران<sup>۱۴</sup>، ۲۰۱۲، ۷۲). مأموریت این سنجنده برآورد میزان عناصر از جمله دی‌اکسید نیتروژن، دی‌اکسید گوگرد، متان، فرمالدئید، مونوکسید کربن و برخی ذرات معلق در هوا به صورت روزانه است (صفریان زنجیر و همکاران، ۲۰۲۰، ۷۱۲). ماهواره سنتینل ۵ از پروداکت‌های مختلفی جهت بررسی آلاینده‌های جوی با توان تفکیک ۰/۰۱ درجه (یک کیلومتر) و توان تفکیک زمانی ۲ روزه در لایه تروپوسفر برخوردار است.

## ذرات معلق (آئروسول)

ذرات آلودگی هوا (PM) مخلوط پیچیده‌ای از فلزات، نمک‌ها، مواد شیمیایی آلی و مواد بیولوژیکی هستند که عامل خطر جدی زیست‌محیطی برای انسان می‌باشند. از جمله عوامل مؤثر در تشدید آلودگی ذرات معلق می‌توان به فعالیت‌های انسانی و ساخت و ساز بی‌رویه، واحدهای آسفالت‌پزی و آجرپزی، کمبود فضای سبز و پارک‌های جنگلی اشاره کرد (صفوی و همکاران، ۱۳۹۵، ۱۶۲). قرار گرفتن در معرض این ذرات می‌تواند باعث بسیاری از بیماری‌ها در کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه شود. به‌ویژه کسری از ذرات با دینامتر آیرودینامیکی زیر ۲/۵ میکرومتر دارای سطح وسیع و ترکیبات جذب شده مانند فلزات سنگین بوده و قطر کوچک به آن‌ها اجازه می‌دهد تا به محفظه ریه برسند، جایی که می‌توانند اثرات نامطلوبی بر سلامتی داشته باشند (کاچون و همکاران<sup>۱۵</sup>، ۲۰۲۳، ۴). برای بررسی ذرات معلق از محصول UVAI<sup>۱۶</sup> استفاده شده است که داده‌های آن از جولای ۲۰۱۸ در دسترس است. محاسبه نسبتاً ساده شاخص آئروسول بر اساس تغییرات وابسته به طول موج پخش ریلی<sup>۱۷</sup> در محدوده طیفی UV است که در آن جذب ازن بسیار کم است. امکان محاسبه UVAI با حضور ابر جهت پوشش روزانه و جهانی امکان‌پذیر است. این شاخص جهت ردیابی توده‌های آئروسول اپیزودیک ناشی از طغیان گرد و غبار، خاکستر آتشفشانی و سوزاندن زیست توده ایده آل است. [earthdata.nasa.gov](http://earthdata.nasa.gov).

<sup>14</sup> Veeffkind et al

<sup>15</sup> Cachon et al

<sup>16</sup> UV Aerosol Index

<sup>17</sup> Rayleigh

### نیترژن دی‌اکسید (NO<sub>2</sub>)

دی‌اکسید نیترژن از مهم‌ترین آلاینده‌های هوا بشمار می‌رود. این آلاینده در غلظت‌های بالا باعث ایجاد مه دود فتوشیمیایی شده و میدان دید را کاهش می‌دهد و بر سلامت انسان تأثیر منفی زیادی می‌گذارد. طبق گزارش آژانس کیفیت هوای اروپا، بیش از ۶۰ درصد از دی‌اکسید نیترژن از آگزوز وسایل نقلیه موتوری تأمین می‌شود. منابع دیگر NO<sub>2</sub> عبارتند از پالایش بنزین و فلزات، سایر صنایع تولیدی و فرآوری مواد غذایی (کاپلان و همکاران، ۲۰۱۹، ۱۳۲). جهت پایش این آلاینده از مجموعه داده NRTI NO<sub>2</sub><sup>۱۸</sup> استفاده شده است. این مجموعه داده تصویر و اطلاعاتی از غلظت نیترژن دی‌اکسید با قدرت تفکیک مکانی بالا ارائه می‌دهد. سیستم پردازشی NO<sub>2</sub> سنتینل ۵ بر مبنای مدل انتقال شیمی اتمسفر عمل می‌کند.

### کربن مونوکسید (CO)

۶۰ درصد منابع انتشار کربن مونوکسید به صنایع و وسایل نقلیه موتوری، به‌ویژه احتراق ناقص سوخت از این وسایل، دفع زباله، دود تنباکو و سوزاندن زغال چوب و ۴۰ درصد به منابع طبیعی مانند فوران‌های آتشفشانی، انتشار گازهای طبیعی، تخریب پوشش گیاهی و حیوانات و آتش‌سوزی در جنگل‌ها مربوط می‌شود (کاپلان و همکاران، ۲۰۱۹، ۱۳۱). گسترش سریع شهرنشینی و صنعتی شدن، عدم ساماندهی سیستم حمل‌ونقل و ترافیک شهری، عدم جایگزینی خودروهای فرسوده ... باعث انتشار بیش از اندازه این گاز در هوای شهرهای بزرگ می‌شود (فضل زاده و همکاران، ۱۳۹۴، ۱۶۱) (صفوی و همکاران، ۱۳۹۳، ۱۶۰). در مطالعه حاضر از محصول NRTI CO<sup>۱۹</sup> جهت بررسی آلاینده CO استفاده شده است. مجموعه داده NRTI CO وضعیت آلاینده کربن مونوکسید را در هر دو وضعیت آسمان ابری و صاف با استفاده از اندازه‌گیری امواج بازگشتی از زمین در محدوده طیفی ۲/۳ میکرومتر طیف الکترومغناطیسی مادون‌قرمز موج‌کوتاه (SWIR) بررسی می‌کند.

### بحث و یافته‌ها

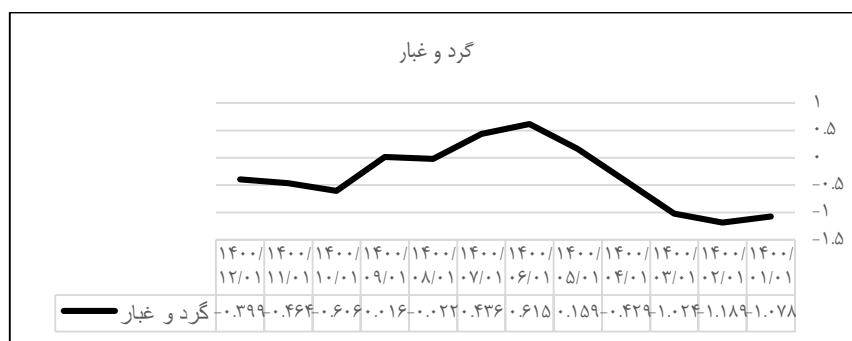
شرایط جوی و اقلیمی و پارامترهایی همچون جهت و سرعت باد، دما، بارش، رطوبت و تابش خورشیدی تأثیر قابل ملاحظه‌ای در تداوم و تشدید آلودگی هوا دارند (شاه‌محمدی و همکاران، ۱۳۹۷، ۷۶)؛ بنابراین شاهد تغییرات زمانی و مکانی عناصر آلودگی هوا در قسمت‌های مختلف منطقه مورد مطالعه هستیم. شکل ۲ تغییرات غلظت ذرات معلق هوا را به‌صورت ماهانه در طول یک سال نشان می‌دهد. همان‌طور که از نمودار مشخص است غلظت ذرات معلق از ماه اردیبهشت افزایش داشته و در شهریور ماه به اوج خود (۰.۶) رسیده است. شکل ۳ توزیع مکانی این ذرات در مناطق

<sup>18</sup> Near Real-Time Nitrogen Dioxide

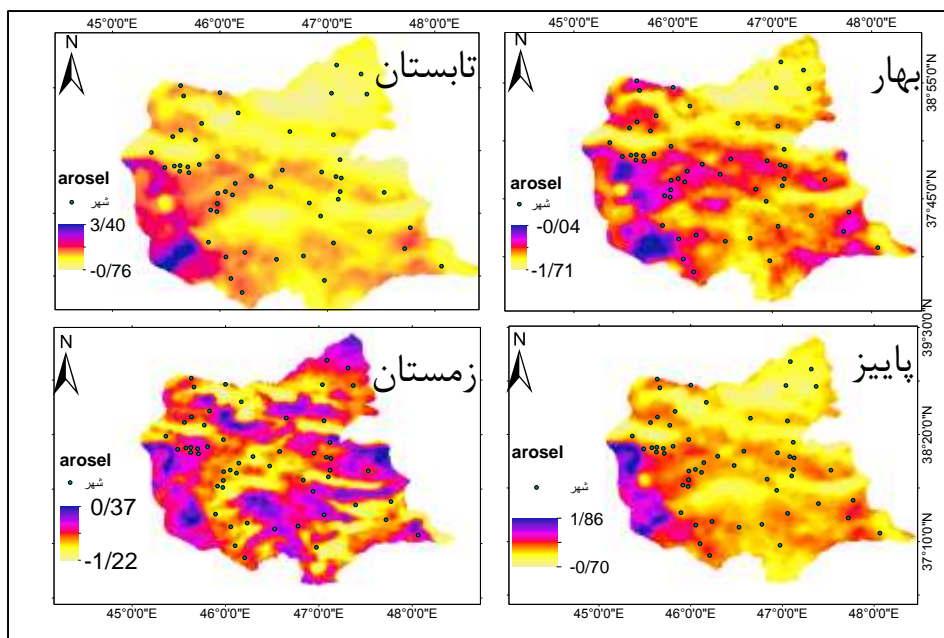
<sup>19</sup> Near Real-Time Carbon Monoxide



مختلف استان در فصول مختلف را نشان می‌دهد. در فصل تابستان غلظت ذرات معلق در مناطقی حداکثر مقدار را شامل می‌شود و بیشترین تجمع این ذرات نیز از سمت دریاچه ارومیه است. کاهش رطوبت و کم شدن آب دریاچه ارومیه و افزایش نمکزارهای اطراف آن می‌تواند از دلایل عمده این مسئله باشد. توده گردوغبار فرا منطقه‌ای نیز می‌تواند دلیل دیگری باشد. در فصل بهار نیز پراکندگی ذرات معلق در مناطق مختلف منطقه اما با غلظت ناچیز قابل مشاهده است؛ در فصل زمستان هم به همین شکل پراکندگی بالا اما تراکم ذرات معلق نسبت به فصل بهار بیشتر است که رطوبت بالا و مه و تشکیل آئروسول‌های ثانویه در اثر آن (کایو و همکاران، ۲۰۲۳) در فصل زمستان می‌تواند دلیل مهمی در منطقه در زمان مورد مطالعه باشد.



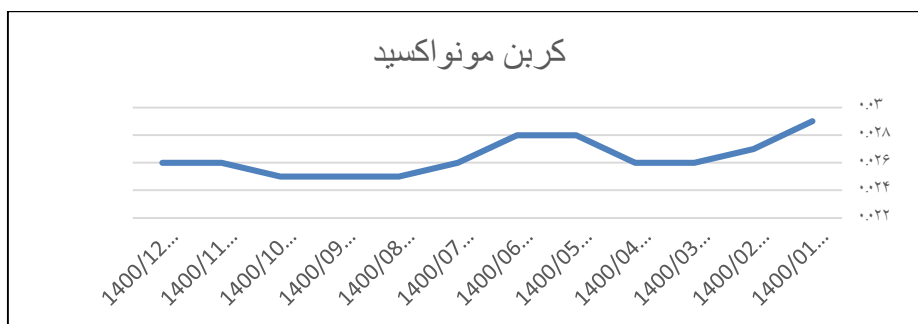
شکل ۲: نمودار ذرات معلق هوا به صورت ماهانه



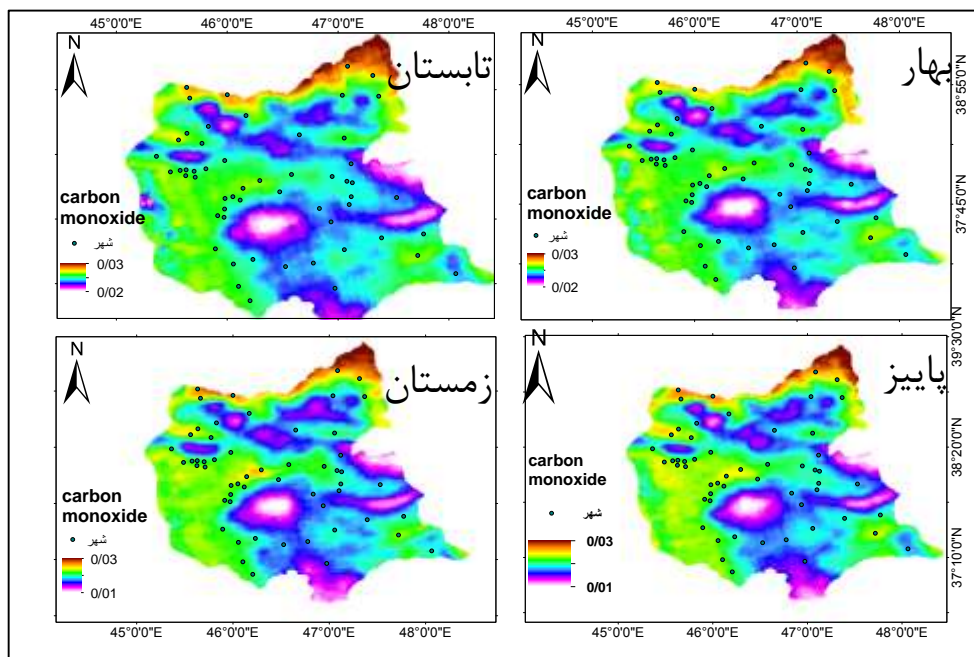
شکل ۳: تصاویر میانگین گرد و غبار به صورت فصلی

شکل ۴ نشان دهنده نمودار تغییرات غلظت گاز مونوکسید کربن به صورت ماهانه است. شکل ۵ نیز توزیع مکانی این آلاینده در فصول مختلف سال ۱۴۰۰ را نشان می‌دهد. طبق یافته‌ها مناطقی دارای غلظت بالایی از این آلاینده نسبت به

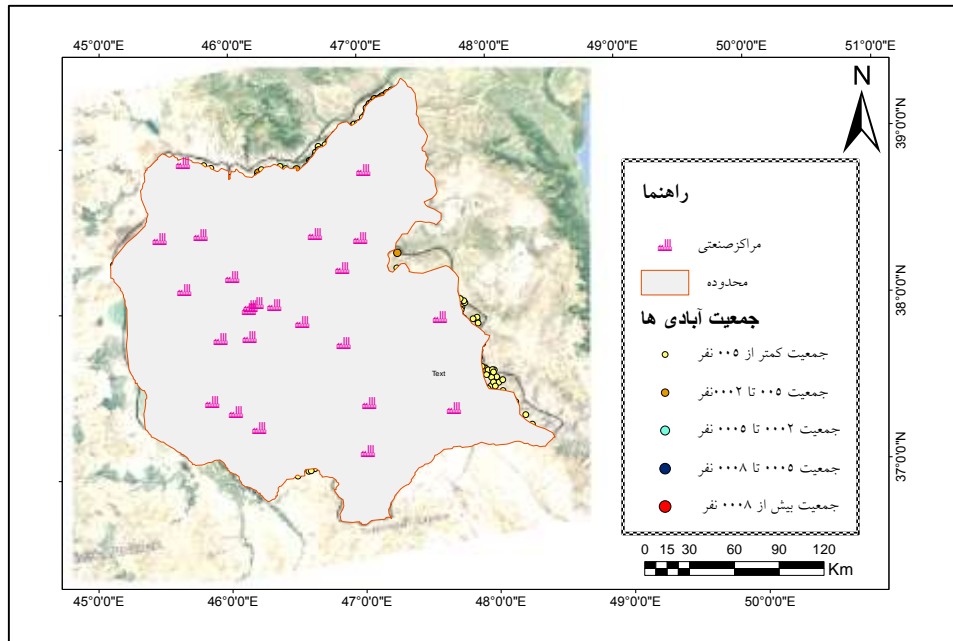
سایر نقاط هستند و بیشترین و کمترین میزان مونوکسید کربن (CO) در دوره یازده ماهه (آوریل ۲۰۲۱ تا فوریه ۲۰۲۲، فروردین ۱۴۰۰ تا بهمن ۱۴۰۰) ۰,۰۲۸۸ و ۰,۰۲۴۹ mol/m<sup>2</sup> به دست آمده است. از طرفی بر اساس نمودار با آغاز فصل بهار شاهد افزایش غلظت این گاز در اتمسفر هستیم؛ اما پراکندگی حضور این آلاینده در مناطق مختلف و شهرهای منطقه مورد مطالعه در فصول سرد به‌ویژه خود شهر تبریز و شهرستان‌های سرد رود، اسکو، سهند، آذرشهر بیشتر است که به نظر می‌رسد در این مورد نقش شرکت پالایش نفت تبریز و سایر مراکز صنعتی پررنگ است (شکل ۴). نکته قابل توجهی قسمت‌های شمالی منطقه مورد مطالعه در مجاورت قسمت‌های شمالی استان اردبیل و همسایگی کشور جمهوری آذربایجان است که حضور کربن مونوکسید با غلظت بالا در تمام فصول قابل مشاهده است. طبق یافته‌ها مناطق ذکر شده از ارتفاع پایین‌تری از سطح دریا نسبت به سایر نقاط استان برخوردار هستند. به‌طور مثال می‌توان به اختلاف ارتفاع تقریبی ۱۲۰۰ متری بین شهر تبریز و مناطق ذکر شده اشاره کرد.



شکل ۴: نمودار منو کسید کربن به‌صورت ماهانه

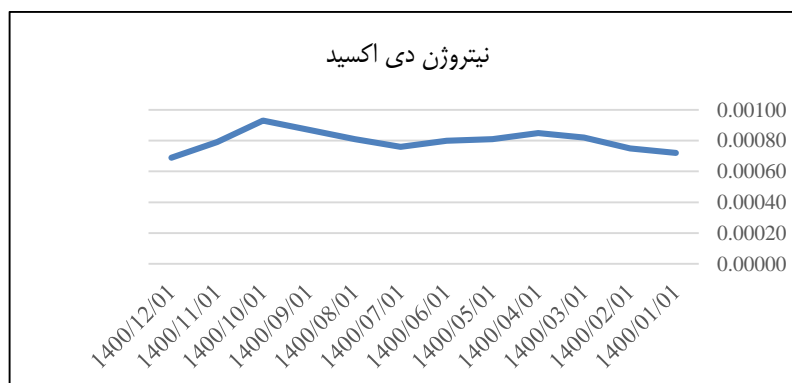


شکل ۵: تصاویر میانگین مونوکسید کربن به‌صورت فصلی

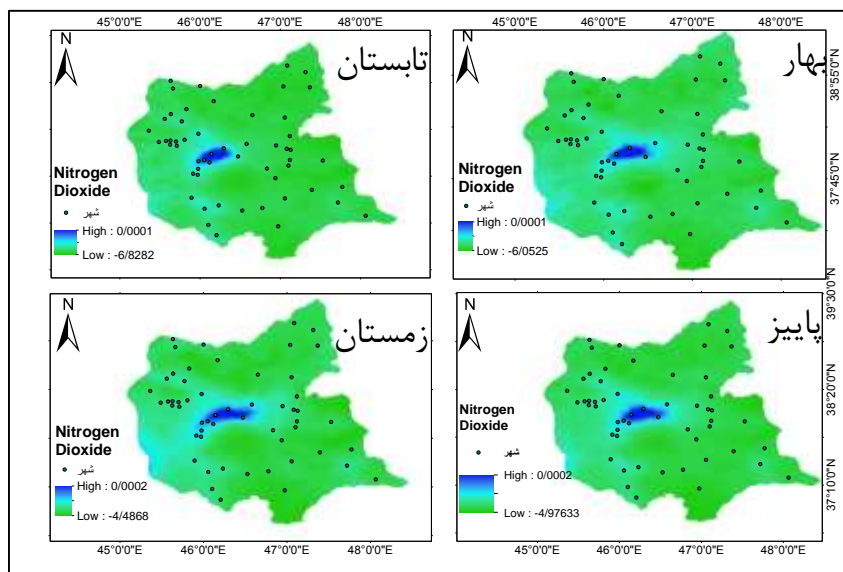


شکل ۶: تراکم جمعیت و مراکز صنعتی استان آذربایجان شرقی

شکل ۷ نمودار تغییرات غلظت نیتروژن دی اکسید به صورت ماهانه و شکل ۸ توزیع فضایی این آلاینده در فصول مختلف سال ۱۴۰۰ را نشان می دهد. حداکثر و حداقل مقدار  $NO_2$  مطابق نمودار ۰,۰۰۰۰۹۳ و ۰,۰۰۰۰۶۹ به دست آمده است. با توجه به نمودار و نقشه شاهد افزایش چشمگیر میزان این آلاینده در فصل سرما یعنی ماه های اکتبر تا ژانویه هستیم. طبق یافته ها بیشترین توزیع این آلاینده از سمت غرب استان؛ محل قرارگیری شرکت پالایش نفت تبریز و واحدها و شهرک های صنعتی بزرگ، مشاهده می شود. از طرفی میزان غلظت این آلاینده در خود شهر تبریز جایی که عبور و مرور وسایل نقلیه و تجمع ساختمان ها و مصرف سوخت بالاست، چشمگیرتر است. در نتیجه تجمع جمعیتی بیشتری در این مناطق قابل پیش بینی است (شکل ۶).



شکل ۷: نمودار نیتروژن دی اکسید به صورت ماهانه



شکل ۸: تصاویر میانگین نیتروژن دی‌اکسید به صورت فصلی

### نتیجه گیری

به منظور کاهش آلودگی هوا و افزایش کیفیت هوا، ابتدا باید بزرگ‌ترین عوامل آلودگی هوا شناسایی شوند. در مطالعه حاضر وضعیت آلودگی هوا و عناصر مهم  $CO$ ،  $NO_2$  و ذرات معلق تأثیر گزار در این رابطه با استفاده از داده‌های سنجش از دوری اخذ شده توسط داده TROPOMI سنجنده سنتینل ۵ در استان آذربایجان شرقی (سال ۱۴۰۰) به صورت ماهانه و فصلی و همچنین مکانی مورد بررسی قرار گرفته است. بیشتر غلظت ذرات معلق با مقدار  $0/6$  در فاصله بین مرداد و شهریور ۱۴۰۰ (اگوست-سپتامبر ۲۰۲۱) تخمین زده شده است. همچنین طبق نقشه توزیع مکانی بیشترین میزان تراکم این ذرات در فصل تابستان با مقدار  $3/40$  و از سمت دریاچه ارومیه بوده است که می‌تواند به دلیل نفوذ توده گردوغبار فرا منطقه‌ای از کشورهای عراق، سوریه و عربستان و معضل ذرات معلق نمکی حاصل از خشکی دریاچه ارومیه باشد (صفوی و همکاران، ۱۳۹۳، ۱۷۵). همچنین در فصل‌های زمستان و بهار پراکندگی فضایی بالایی از این ذرات مشاهده می‌شود که ممکن است به دلیل افزایش رطوبت هوا باشد. در مورد عنصر مهم آلودگی هوا یعنی  $CO$  نیز بیشترین و کمترین میزان غلظت این آلاینده در فروردین و آذر به ترتیب با مقادیر  $0/288$  و  $0/249$   $mol/m^2$  مشاهده شده؛ همچنین در تابستان نیز با مقدار  $0/283$  غلظت بالایی از این آلاینده برآورد شده است؛ اما پراکندگی بیشتری از این آلاینده در فصول سرما مشاهده می‌شود. از طرفی در ارتفاعات پایین منطقه در تمام فصول این عنصر با غلظت بالا حضور دارد. عنصر نیتروژن دی‌اکسید نیز در فواصل بین ماه‌های آذر و دی (دسامبر و ژانویه) با مقدار  $0/00093$  بیشترین و با نزدیک شدن به اواخر زمستان با مقدار  $0/00069$  کمترین میزان غلظت را به خود اختصاص داده است. از طرفی تراکم بالایی از این عنصر در مناطق پرجمعیت و پراکندگی قابل توجهی از این آلاینده در فصول سرد قابل مشاهده است. در هر صورت حضور آلاینده‌های  $NO_2$ ،  $CO$ ، ذرات معلق در مناطق و فصول مختلف سال ۱۴۰۰ مشاهده شده است؛ اما غلظت و

پراکندگی آن‌ها تحت تأثیر عوامل گوناگونی از جمله شرایط جوی حاکم در فصل‌های گوناگون، کاربری‌های مختلف، تراکم جمعیت و شرایط توپوگرافی است. به نظر می‌رسد در مناطقی با تراکم جمعیتی بالا نیتروژن دی‌اکسید بالا و در مناطقی با ارتفاع پایین مونوکسید کربن بالا مشاهده می‌شود. به طوری که کاپلان و همکاران (۲۰۱۹) به همبستگی مثبت آمار جمعیت و NO<sub>2</sub> و همبستگی منفی ارتفاع و مقادیر CO اشاره کرده‌اند. همچنین مطالعات متعدد دیگری نیز گزارش‌هایی از کاهش آلودگی هوا (CO) با افزایش ارتفاع را اعلام کرده‌اند. دلیل افزایش غلظت آلاینده CO در فصل سرما می‌تواند افزایش تردد وسایل نقلیه و مخصوصاً وسایل نقلیه شخصی باشد. با توجه به اینکه با پراکندگی بالای آلاینده‌های CO و NO<sub>2</sub> در فصل سرما مواجه هستیم؛ یکی از عوامل اصلی این مسئله پدیده وارونگی یا وارونگی دما به‌ویژه در ارتفاعات پایین و داخل شهرها به دلیل تفاوت جرم این عناصر با هوا است. وارونگی دما زمانی اتفاق می‌افتد که لایه‌ای از هوای گرم بالای هوای سرد مجاور سطح زمین باشد. همین وارونگی دما نقش اساسی در آلودگی هوا دارد، زیرا به پایداری جو کمک می‌کند و انرژی باد را از بین می‌برد و در نتیجه از پراکندگی عمودی و افقی آلاینده‌ها جلوگیری می‌کند (صفاریان زنجیر و همکاران، ۲۰۲۰، ۷۱۷). علاوه بر CO و NO<sub>2</sub> پراکندگی بالایی از ذرات معلق نیز در فصول سرد مشاهده می‌شود؛ در نتیجه به نظر می‌رسد نقش مهم بادهای غالب و تأثیر آن در انتشار آلاینده‌ها که در مقاطع زمانی مختلف در منطقه حضور دارد دور از انتظار نیست؛ به طوری که درگاهی و همکاران (۱۳۹۲) عامل اصلی افزایش ذرات معلق در تبریز را وزش بادهای غالب از سمت دریاچه ارومیه و شرایط ویژه این دریاچه دانسته‌اند. منصوریان و همکاران (۱۴۰۲) نیز هم‌جهتی محل دودکش کارخانه فولاد با باد غالب منطقه را، دلیل اصلی انتشار آلاینده‌ها در شهرستان اردکان دانسته‌اند؛ نتیجه مشابه همین را می‌توان در مطالعه ایزد رضایی و همکاران (۱۴۰۱) در بررسی انتشار عناصر آلاینده مونوکسید کربن و دی‌اکسید نیتروژن از مجتمع پتروشیمی مارون در منطقه ویژه اقتصادی ماهشهر مشاهده کرد. طبق مطالعات صورت گرفته، درست است با حضور چشمگیر آلاینده‌هایی نظیر CO و NO<sub>2</sub> در فصل سرما مواجه هستیم اما آلاینده‌های تابستانی برای سلامت انسان خطرناک‌تر هستند به دلیل اینکه آلاینده‌هایی که مبتنی بر نیتروژن و سولفور هستند و از خودروها خارج می‌شوند، در قسمت پایین جو قرار می‌گیرند و بر سلامت انسان تأثیرگذارتر هستند. (صفاریان زنجیر و همکاران، ۲۰۲۰). نتایج مطالعه حاضر قابلیت سنجنده سنتینل ۵ در پایش آلودگی هوا را با وضوح فضایی نسبتاً بالا را تأیید می‌کند. آگاهی از غلظت آلاینده‌ها در مناطق اطراف واحدهای صنعتی بزرگ و مهم کشور نظیر پتروشیمی و برنامه‌های تعمیر و حفاظت واحدها می‌تواند نقش مؤثری در کنترل آلودگی هوا داشته باشد. آلودگی هوا می‌تواند مشکلات عدیده‌ای بر سلامت انسان به‌ویژه کودکان و سالمندان داشته باشد که برنامه‌ریزی دقیق مسئولان مربوطه را می‌طلبد. پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده بررسی سایر آلاینده‌ها، اعتبارسنجی نتایج با اندازه‌گیری‌های زمینی و ارزیابی عواملی مانند جهت باد، تراکم ساختمان یا سایر عواملی که ممکن است در آلودگی هوا نقش داشته باشند صورت گیرد. مکان‌یابی دقیق مناطق مستعد استفاده از انرژی‌های پاک پیشنهاد دیگر این پژوهش است.

## منابع

- ۱- آشنا، ملیحه، حسین‌آبادی، سعید. (۱۳۹۹). ارزیابی عوامل مؤثر بر تغییرات انتشار دی‌اکسید کربن در ایران با تأکید بر نقش شهرنشینی؛ روش تحلیل تجزیه. جغرافیا و مخاطرات محیطی، دوره ۹، شماره ۲، صص ۱۴۵-۱۶۳.
- ۲- اعلمی، محمدتقی، حسین زاده، حجت. (۱۳۹۳). مدل‌سازی فرآیند بارش - رواناب در حوضه ليقوان چای با استفاده از نرون شرطی آستانه دمایی. دانش آب و خاک، ۲۰(۲)، ۹۷-۱۱۰.
- ۳- ایزد رضایی، عاطفه، احمدی ندوشن، مژگان و لطفی، پانته آ. (۱۴۰۱). مدل‌سازی پراکنش گازهای آلاینده CO و NO<sub>2</sub> از دودکش‌های شرکت پتروشیمی مارون در منطقه ویژه اقتصادی ماهشهر با استفاده از مدل AERMOD. طب کار، ۱۴(۴)، ۱-۱۳.
- ۴- باقری، سمانه، انصاری سامانی، حبیب. (۱۴۰۰). پیش‌بینی انتشار گازکربنیک ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی و تغییرات محیطی (مطالعه موردی: ایران). جغرافیا و مخاطرات محیطی، دوره ۱۰، شماره ۳، صص ۱۰۵-۱۲۲.
- ۵- رنگرن کاظم، کابلی‌زاده مصطفی، محمدی شاهین. (۱۴۰۰) بررسی زمانی- مکانی آلودگی دی‌اکسید نیتروژن در استان خوزستان با استفاده از سنجنده TROPOMI. تحقیقات نظام سلامت. دوره ۱۷، شماره ۲، صص ۸۷-۹۶.
- ۶- درگاهی، عبدالله، دهقان‌زاده، رضا، فهیمی نیا، وحیده، جباری، یحیی، عزیزی، فرناز. (۱۳۹۵). بررسی تغییرات کیفیت هوای شهر تبریز از نظر غلظت آلاینده PM<sub>10</sub> با تأکید بر شاخص AQI و ارتباط آن با روند کاهش سطح آب دریاچه ارومیه در سال‌های ۹۰-۱۳۸۷. علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، ۱۸(ویژه‌نامه شماره ۲)، ۵۵-۶۲.
- ۷- سرور، هوشنگ، اسمعیل پور، مرضیه، خیری زاده، منصور، امیری، مهتاب. (۱۳۹۹). تحلیل فضایی مؤلفه‌های تأثیرگذار بر آلودگی هوای شهر تبریز. مخاطرات محیط طبیعی، دوره ۹، شماره ۲۴، صص ۱۵۱-۱۷۲.
- ۸- شامی سیاوش، خوش‌لهجه آذر مهدی، قربانی زهرا، مقیمی آمین، محمد زاده علی، ثابت‌قدم سیده سمانه. (۱۳۹۹). بررسی میزان تغییرات آلاینده‌های هوا در دوره انتشار ویروس کووید-۱۹ در ایران با استفاده از اطلاعات ماهواره سنتینل ۵. نشریه علمی پژوهشی علوم و فنون نقشه‌برداری. دوره ۱۰، شماره ۳، صص ۱۳۵-۱۴۶.
- ۹- شاه‌محمدی عاطفه، بیات علی، مشهدی زاده ملکی سعید. (۱۳۹۹). بررسی رفتار دی‌اکسید نیتروژن در شهرستان مشهد و ارتباط آن با پارامترهای هواشناسی. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی. دوره ۲۰، شماره ۵۸، صص ۷۱-۸۵.
- ۱۰- صفوی، سیدنوید، موسوی، مریم، دهقان‌زاده ریحانی، رضا و شاکری، مسعود. (۱۳۹۵). پهنه‌بندی فصلی و مکانی شاخص کیفیت هوا و آلاینده‌های هوای محیطی شهر تبریز به کمک نرم‌افزار GIS و بررسی مشکلات اجرایی موجود. سلامت و بهداشت اردبیل، دوره ۷، شماره ۲، صص ۱۵۸-۱۷۷.
- ۱۱- ظروفچی‌بنیس، خالد، فاتحی فر، اسماعیل، احمدی، جواد، محمدی، میثم. (۱۳۹۳). مدل‌سازی پخش آلودگی هوا با استفاده از نرم‌افزار ISCST در اطراف شرکت پالایش نفت تبریز. نشریه مهندسی عمران و محیط‌زیست دانشگاه تبریز، دوره ۷۷، شماره ۴۴، صص ۹۹-۱۰۶.
- ۱۲- عابدینی، یوسفعلی، نوروز زاده، فرهاد، صدایی، یوسف (۱۳۹۱). تعیین آلودگی هوای شهر تبری با استفاده از شاخص PSI، اولین همایش ملی حفاظت و برنامه‌ریزی محیط‌زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد همدان.
- ۱۳- عساکره، حسین، احدی، لیلا. (۱۳۹۹). بررسی رابطه تپ‌های هوایی تبریز و آلودگی هوا. پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی، دوره ۵۲، شماره ۳، صص ۳۷۵-۳۹۴.
- ۱۴- غریبی شیوا، شایسته کامران. (۱۴۰۰). کاربرد تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۵ در شناسایی کانون‌های آلاینده‌های هوا در ایران. تحلیل فضایی مخاطرات محیطی. دوره ۸، شماره ۳، صص ۱۲۳-۱۳۸.
- ۱۵- غفاری گیلانده، عطا، صفریان زنگیر، وحید. (۱۴۰۲). تخمین و آشکارسازی آلودگی هوا در استان‌های ساحلی خلیج فارس با رویکرد آب‌وهوای منطقه‌ای. جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱۲(۲)، ۱۰۱-۱۲۴.
- ۱۶- فضل زاده دوئل، مهدی، رستمی، روح اله حضرتی، صادق. (۱۳۹۵). بررسی غلظت منواکسیدکربن در هوای آزادشهری و هوای داخل ساختمان‌های مسکونی شهر اردبیل. مجله علمی پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی سبزوار - دوره ۲۳، شماره ۱.
- ۱۷- قنادی، محمدمین، شهری، متین، مرادی، امیررضا. (۱۴۰۱). پایش آلودگی هوا با استفاده از تصاویر ماهواره سنتینل-۵ (مطالعه موردی: شهرهای بزرگ صنعتی ایران) فصلنامه علوم محیطی، دوره ۲۰، شماره ۲، صص ۸۱-۹۸.

- ۱۸- قنادی، محمدامین، شهری، متین. (۱۴۰۱). ارائه روشی مبتنی بر ترکیب و رأی‌گیری باهدف تحلیل مشاهدات ماهانه ایستگاه‌های پایش کیفیت هوا با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای - مطالعه موردی: شهرستان اراک. *فصلنامه علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی «سپهر»*، دوره ۳۱، شماره ۱۲۲، صص ۲۳-۴۱.
- ۱۹- محمودی، شراره، احمدی ندوشن، مژگان. (۱۴۰۱). بررسی تأثیر ترافیک بر انتشار PM2.5 با استفاده از روش رگرسیون وزنی جغرافیایی (GWR) (مطالعه موردی شهر اصفهان). *علوم و تکنولوژی محیط‌زیست*، دوره ۲۴، شماره ۴، صص ۳۱-۴۵.
- ۲۰- منصوریان، زهرا، نژاد کورکی، فرهاد. (۱۴۰۲). تحلیل حساسیت انتشار آلودگی هوای یک کارخانه فولاد نسبت به جهت باد غالب. *انسان و محیط‌زیست*، ۲۱(۲)، ۳۱-۵۳.
- ۲۱- ملکی، آیدا، قبادی، پریسا، گاه فروشان، داوود، سربازان، محمدحسن، منصوری، حمید. (۱۴۰۱). تحلیل پراکنش مکانی آلاینده‌های هوا در مرکز شهر (منطقه ۸) تبریز و ارتباط آن با محیط انسان‌ساخت. توسعه پایدار شهری، ۳(۶)، ۶۹-۸۳.
- 22- Cachon, F. B. Cazier, F. Verdin, A. Genevray, P. Ayi-Fanou, L. Aïssi, F. Sanni, A. & Courcot, D. (2023). Physicochemical Characterization Of Air Pollution Particulate. *Atmosphere*.
- 23- Farzanegan, M. R. Gholipour, H. F. & Javadian, M. (2023). Air Pollution And Internal Migration: Evidence From An Iranian Household Survey. *Empirical Economics*, 64(1), 223–247. <https://doi.org/10.1007/S00181-022-02253-1>
- 24- Gheshlaghpoor, S. Abedi, S. S. & Moghbel, M. (2023). The Relationship Between Spatial Patterns Of Urban Land Uses And Air Pollutants In The Tehran Metropolis, Iran. *Landscape Ecology*, 38(2), 553–565. <https://doi.org/10.1007/S10980-022-01549-Y>
- 25- Kaplan, G. Avdan, Z. Y. & Avdan, U. (2019). Spaceborne Nitrogen Dioxide Observations From The Sentinel-5P TROPOMI Over Turkey. 2, 4. <https://doi.org/10.3390/Ecres-3-06181>
- 26- KAPLAN, G. & YİĞİT AVDAN, Z. (2020). Space-Borne Air Pollution Observation From Sentinel-5P Tropomi: Relationship Between Pollutants, Geographical And Demographic Data. *International Journal Of Engineering And Geosciences*, 2, 130–137. <https://doi.org/10.26833/Ijeg.644089>
- 27- Kumar, P. Aishwarya, Srivastava, P. K. Pandey, M. K. Anand, A. Biswas, J. K. Drews, M. Dobriyal, M. Singh, R. K. De La Sen, M. Singh, S. 28-S. Pandey, A. K. Kumar, M. & Rani, M. (2023). Nitrogen Dioxide As Proxy Indicator Of Air Pollution From Fossil Fuel Burning In New Delhi During Lockdown Phases Of COVID-19 Pandemic Period: Impact On Weather As Revealed By Sentinel-5 Precursor (5p) Spectrometer Sensor. *Environment, Development And Sustainability*, 0123456789. <https://doi.org/10.1007/S10668-023-02977-9>
- 29- Irizar, J. Melf, M. Bartsch, P. Koehler, J. Weiss, S. Greinacher, R. Erdmann, M. Kirschner, V. Perez Albinana, A. & Martin, D. (2019). Sentinel-5/UVNS. 11180(October 2018), 3. <https://doi.org/10.1117/12.2535923>
- 30- Lazizovich, K. O. & Student. (2023). Proceedings Of International Conference On Modern Science And Scientific Studies Hosted Online From Paris, France. PROBLEM OF TREATMENT OF PATIENTS WITH HYPOSPADIAS (Literature Review) Khaydarov. 205–209.
- 31- Safarianzengir, V. Sobhani, B. Yazdani, M. H. & Kianian, M. (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 Quality, Atmosphere And Health*, 13(6), 709–719. <https://doi.org/10.1007/S11869-020-00827-5>
- 32- Veefkind, J. P. Aben, I. McMullan, K. Förster, H. De Vries, J. Otter, G. Claas, J. Eskes, H. J. De Haan, J. F. Kleipool, Q. Van Weele, M. Hasekamp, O. Hoogeveen, R. Landgraf, J. Snel, R. Tol, P. Ingmann, P. Voors, R. Kruizinga, B. Levelt, P. F. (2012). TROPOMI On The ESA Sentinel-5 Precursor: A GMES Mission For Global Observations Of The Atmospheric Composition For Climate, Air Quality And Ozone Layer Applications. *Remote Sensing Of Environment*, 120(2012), 70–83. <https://doi.org/10.1016/J.Rse.2011.09.027>

- 33- Zhang, Z. Zhang, G. & Li, L. (2022). The Spatial Impact Of Atmospheric Environmental Policy On Public Health Based On The Mediation Effect Of Air Pollution In China. *Environmental Science And Pollution Research*, January 2023. <https://doi.org/10.1007/S11356-022-21501-6>.