



## بررسی میزان تغییرات غلظت گازهای دی اکسید سولفور و دی اکسید نیتروژن موجود در هوای مناطق صنعتی با استفاده از سنجش از دور و GIS مطالعه موردی کارخانه ذوب مس خاتون آباد، استان کرمان

رضا حسن زاده<sup>۲</sup>

نازنین حسن زاده<sup>۱</sup>

مهدی هنرمند<sup>۴</sup>

مهديه حسينجاني زاده<sup>۳</sup>

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۱۰/۱۹

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۶/۱۱

\*\*\*\*\*

### چکیده

در این پژوهش آلودگی هوای ایجاد شده توسط کارخانه ذوب مس خاتون آباد و تعیین شعاع تأثیر آن با استفاده از داده‌های سنتینل ۵ پی (Sentinel-5P) در سامانه گوگل ارث انجین مورد بررسی قرار گرفته است. داده‌های مربوط به میانگین گازهای دی اکسید سولفور و دی اکسید نیتروژن با استفاده از سامانه گوگل ارث انجین در محدوده ۵۰ کیلومتری از کارخانه و در بازه‌های زمانی یک‌روزه، هفت‌روزه، چهارده‌روزه، یک‌ماهه، دو‌ماهه، سه‌ماهه، شش‌ماهه، دوازده‌ماهه و سی‌ماهه از ماه دسامبر ۲۰۲۰ برای ارزیابی غلظت آلودگی در روزهای سرد سال و در بازه‌های زمانی مشابه از ماه ژوئن ۲۰۲۱ به منظور ارزیابی غلظت آلودگی در روزهای گرم سال به دست آمد. تحلیل این داده‌ها برای تعیین بازه‌های زمانی مؤثر و میزان غلظت تجمعی آن‌ها با استفاده از روش آماری - مکانی تحلیل لکه داغ صورت گرفته است. نتایج حاصل از تحلیل لکه داغ تصاویر مربوط به گاز دی اکسید نیتروژن نشان می‌دهد که در بازه‌های زمانی دو هفته تا دو ماهه در ماه‌های سرد سال لکه داغ نشانگر وجود گاز دی اکسید نیتروژن در جو مستقر در بالای کارخانه است. اما در بازه‌های سه‌ماهه، شش‌ماهه، یک‌ساله و سی‌ماهه در ماه‌های سرد لکه داغ به سمت شمال غرب و در فاصله دورتر از کارخانه مشاهده می‌شود. همچنین تصاویر مربوط به ماه ژوئن در اطراف کارخانه مورد مطالعه روند مشابهی را نمایان می‌سازد. نتایج حاصل از تحلیل لکه داغ تصاویر مربوط به گاز دی اکسید سولفور نشانگر مقدار زیاد غلظت این گاز در اطراف کارخانه است و تصاویر با بازه‌های زمانی یک ماهه و طولانی‌تر قادر به ارائه اطلاعات دقیق‌تر و منطقی‌تر در مورد میزان غلظت گاز دی اکسید سولفور هستند. با توجه به نتایج به دست آمده فعالیت این کارخانه می‌تواند دلیلی بر افزایش میزان غلظت گاز دی اکسید سولفور باشد که شعاع حدود ۴ تا ۶ کیلومتری و مساحت حدود ۱۰۷۰۰ هکتار در اطراف کارخانه را تحت تأثیر قرار داده است. نتایج این تحقیق می‌تواند کارشناسان محیط زیست و محققین را در استفاده و تفسیر بهتر از داده‌های ماهواره سنتینل ۵ پی در ارزیابی آلودگی هوا در مناطق صنعتی در بازه‌های زمانی متفاوت با درک بهتری از میزان پراکنش هر گاز در فصول گرم و سرد سال و در هر بازه زمانی یاری رساند.

واژه‌های کلیدی: آلودگی هوا، سامانه گوگل ارث انجین، GIS، سنتینل ۵ پی، کارخانه ذوب مس خاتون آباد

\*\*\*\*\*

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور زمین‌شناختی، پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران nazanina22766@gmail.com

۲- استادیار گروه اکولوژی، پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران (نویسنده مسئول) hassanzadeh22@yahoo.com

۳- استادیار دکتری تخصصی گروه اکولوژی، پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران mh.hosseinjani@gmail.com

۴- دانشیار دکتری تخصصی گروه اکولوژی، پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران. mehonarmand167@gmail.com

## ۱- مقدمه

آلودگی هوا با توجه به اثرات زیانبار آن، از مهم‌ترین مشکلات زیست‌محیطی در سراسر کره زمین قلمداد می‌شود. اثرات آلودگی هوا بیشتر بر سلامتی موجودات زنده، به ویژه بر سلامت روحی و جسمی انسان‌ها تأثیر دارد (Safarianzengir et al., 2020). بنابراین، این موضوع به دلیل اهمیت سلامتی و رفاه انسان‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. شایان توجه است که سلامت انسان‌ها با اهمیت‌ترین موضوع مورد توجه پژوهشگران است، به گونه‌ای که مؤسسه بین‌المللی تحقیقات سرطان، آلودگی هوا را به عنوان عامل سرطان‌زای حتمی انسان معرفی کرده است (شامی و همکاران، ۱۳۹۵ و Brauer, 2010). همچنین بر حسب اطلاعات سازمان بهداشت جهانی، سالانه ۴/۶ میلیون مرگ بر اثر عارضه‌های تماماً وابسته به آلودگی هوا ثبت می‌شود (Cohen et al., 2017). مواد آلاینده هوا به دو دسته کلی آلاینده‌های طبیعی و آلاینده‌های مصنوعی تقسیم شده‌اند. از آلاینده‌های طبیعی هوا می‌توان گردوغبار، آتش‌سوزی جنگل‌ها، خاکستر آتشفشان و... را نام برد. منابع مصنوعی آلاینده هوا مرتبط با فعالیت‌های انسانی هستند و از آن‌ها می‌توان آلودگی‌های خانگی و صنعتی را نام برد (عبدلهی، ۱۳۸۱). صنایع مربوط به فرآوری مس از آلاینده‌های صنعتی می‌باشند. شاخص ارزیابی کیفیت هوا اغلب شامل ارزیابی میزان ذرات معلق، آلاینده‌های گازی شکل مانند دی‌اکسید نیتروژن (NO<sub>2</sub>)، دی‌اکسید گوگرد (SO<sub>2</sub>)، ازون (O<sub>3</sub>) و مونواکسید کربن (CO) است. زیرا افزایش میزان این آلاینده‌ها رابطه مستقیمی با افزایش میزان مرگ‌ومیر داشته‌اند که این امر دلیل اهمیت بررسی آن‌ها است. از آنجایی که ایستگاه‌های پایش زمینی، توان محدودی در سنجش اثرات بهداشتی خصوصاً در مناطق روستایی یا در حال توسعه دارند، امروزه از فناوری سنجش از دور برای این امر استفاده می‌شود (شجاعی و فلاحکار، ۱۳۹۸). سنجش از دور به طور گسترده برای کاربردهای زیست‌محیطی مانند مطالعات کیفیت هوا مورد استفاده قرار گرفته است. مزیت سنجش

از دور شامل امکان اندازه‌گیری شرایط طبیعی و ارائه اطلاعات مربوط به کل سیستم آلودگی از طریق ماهواره در منطقه وسیع است. اندازه‌گیری‌های ماهواره‌ای پوشش فضایی گسترده‌ای را فراهم می‌کنند که در ترکیب با مدل‌ها و اندازه‌گیری‌های زمینی می‌تواند برای تعیین کیفیت هوا به راحتی و با هزینه کمتر مفید باشد (Somvanshi et al., 2019). سلیمانی<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۲۰) پژوهشی را در زمینه کاربرد داده‌های ماهواره‌ای و GIS برای مطالعه آلاینده‌های هوا در لیتوانی به انجام رساندند. در مطالعه آن‌ها رابطه بین آلاینده‌های هوا و داده‌های سنجش از دور مورد بررسی قرار گرفت و نتایج به دست آمده نشان داد که وجود همبستگی قوی و قابل قبول بین داده‌های ماهواره‌ای و اندازه‌گیری‌های درجا نشان‌دهنده توانایی تصاویر ماهواره‌ای برای نظارت بر آلودگی هوا، به ویژه در مناطق شهری بود و همچنین توزیع فضایی آلاینده‌های هوا می‌تواند با استفاده از داده‌های سنجش از دور به طور دقیق ترسیم شود. انگل کوکسا<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۰۴) در یک پژوهش ارزیابی کیفی و کمی داده‌های حسگر ماهواره‌ای MODIS برای کیفیت هوا در مقیاس منطقه‌ای و شهری را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها با تعیین منابع منطقه‌ای آلودگی هوا، تعیین نوع کلی آلاینده (دود، مه، گردوغبار)، شدت و حرکت آن‌ها با استفاده از تجزیه و تحلیل آماری و تصاویر و داده‌های ماهواره‌ای نتیجه گرفتند که استفاده از داده‌های ماهواره‌ای، مانند حسگر MODIS، پتانسیل فوق‌العاده‌ای برای پشتیبانی از EPA و سایر سازمان‌ها در نظارت بر کیفیت هوا دارد. همچنین نظارت ماهواره‌ای بر روی آلاینده‌های هوای سطح زمین، یک زمینه تحقیقاتی نوآورانه، جدید و امیدوارکننده است که توانایی آن را برای برنامه‌های عملی فوری و توسعه برای بهبود طولانی مدت دارد.

سوموانشی<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۱۷) مطالعه‌ای در زمینه مدل‌سازی آلودگی هوا در دهلی با استفاده از روش سنجش

1- Soleimany

2- Engel-Coxa

3- Somvanshi

## فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (۳۳)

بررسی میزان تغییرات غلظت گازهای دی‌اکسید سولفور و دی‌اکسید نیتروژن موجود در ... / ۹

همه‌گیری ویروس کرونا به انجام رساندند. نتایج نشان‌دهنده کاهش قابل توجه آلودگی NO<sub>2</sub> در اروپا در طول قرنطینه COVID-19 بوده است که توسط شاخص تولید صنعتی و حجم ترافیک هوایی تأیید شده است.

قهرمانلو<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۲۰) در مطالعه‌ای با هدف بررسی تأثیر قرنطینه بر سطح آلودگی هوا در شرق آسیا (سئول، توکیو و ووهان) در فوریه ۲۰۱۹ و ۲۰۱۸ از تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-5P و Himawari-8 استفاده کردند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که سطوح آلودگی در فوریه ۲۰۱۹ همزمان با اعمال قرنطینه در شرق آسیا به خصوص در ووهان چین که منشا بیماری به شمار می‌رفت به نسبت به سال ۲۰۱۸ طور چشمگیری کاهش یافته است. قنبری و همکاران (۱۴۰۰) مطالعه‌ای با عنوان "مدل‌سازی تراکم غلظت آلاینده ازن و اکسید نیتروژن در جی‌آی‌اس و مقایسه این غلظت آلاینده‌ها با پروداکت سنتینل 5P در سامانه گوگل ارث انجین، منطقه مورد مطالعه: شهر تهران" انجام دادند. هدف از این پژوهش مدل‌سازی تغییرات مکانی و زمانی غلظت آلاینده ازن و نیتروژن در کلان‌شهر تهران بوده است. نتایج نشان داد که مدل‌سازی مکانی آلاینده ازن و اکسید نیتروژن با سنتینل 5P در گوگل ارث انجین نتایج مطلوبی را به وجود آورده است.

عیسی‌زاده و همکاران (۱۳۹۹) نیز پژوهشی در زمینه مدل‌سازی تراکم غلظت آلاینده ازن و نیتروژن در جی‌آی‌اس و مقایسه این غلظت آلاینده با پروداکت سنتینل 5P در سامانه گوگل ارث انجین (منطقه مورد مطالعه شهر تهران) به انجام رساندند. نتایج به دست آمده از این تحقیق نشان داد که مدل‌سازی مکانی آلاینده ازن و نیتروژن با Sentinel-5P در گوگل ارث انجین توانایی خوبی برای تعیین غلظت آلاینده‌ها دارد. در این پژوهش با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-5P و سامانه گوگل ارث انجین به بررسی آلودگی هوای ایجاد شده توسط کارخانه ذوب مس خاتون‌آباد و تعیین شعاع تأثیر آن پرداخته شده است.

از دور انجام دادند. در این مطالعه، از GIS به منظور ایجاد مدل‌های آماری برای نظارت بر کیفیت هوا با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای استفاده شد و تحلیل آماری نیز صورت گرفت. نتایج به دست آمده نشان داد از داده‌های Landsat8 OLI و TIRS می‌توان برای تخمین، مدل‌سازی، نقشه‌برداری و پیش‌بینی میزان آلودگی ذرات معلق PM<sub>10</sub> و PM<sub>2.5</sub> استفاده کرد و همچنین داده‌های ماهواره‌ای ذکر شده برای تخمین کمی آلاینده‌های گازی مناسب است.

سفریانزنگیر<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۲۰) در پژوهشی با موضوع نظارت، تحلیل و منطقه‌بندی مکانی و زمانی آلودگی هوا (مونوکسیدکربن) با استفاده از داده‌های ماهواره Sentinel-5P برای مدیریت بهداشت در ایران به محاسبه شاخص LST، شاخص اختلاف درجه حرارت روشنایی (BTDR) و شاخص NDSI پرداختند و نتایج به دست آمده نشان داد که بیشترین آلودگی مربوط به ماه‌های سرد سال است و در زمستان، مناطق مسکونی مهم‌ترین منبع آلودگی هستند. اما با این حال آلاینده‌های تابستانی برای سلامتی انسان به مراتب خطرناک‌تر از آلاینده‌های زمستانی هستند.

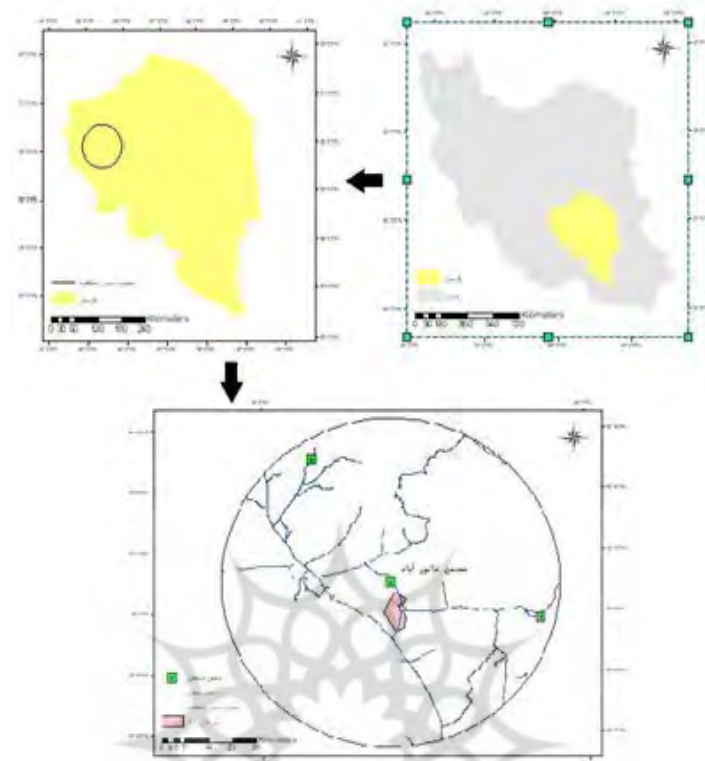
ساونتزا<sup>۲</sup> (۲۰۲۱) در مطالعه‌ای با عنوان آلودگی هوا در اوکراین به بررسی ویژگی‌های توزیع فضایی و فصلی SO<sub>2</sub>، NO<sub>2</sub> و CO با استفاده از داده‌های ماهواره Sentinel-5P پرداخته است. نتایج پژوهش وی نشان داد تفاوت‌هایی در تنوع فصلی NO<sub>2</sub> در مناطق دور افتاده تمیز و مناطق صنعتی وجود دارد. همچنین تجزیه و تحلیل ویژگی‌های انتشار گازهای گلخانه‌ای در طول فصل توریستی برای خط ساحلی اوکراین (دریا‌های سیاه و آزوف)، نشان‌دهنده تأثیر منفی رفت و آمد قایق‌های گردشگران در نزدیکی خط ساحلی و پارک طبیعی ملی Dzharylhach است.

ورقی‌لینو<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۲۰) پژوهشی با موضوع نظارت بر آلودگی دی‌اکسید نیتروژن (NO<sub>2</sub>) با تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-5P بر فراز اروپا در طول شیوع

1- Safarianzengir

2- Savenets

3- Virghileanu



نگاره ۱: موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه در شمال غربی استان کرمان و در شعاع ۵۰ کیلومتری اطراف کارخانه ذوب مس خاتون آباد

که با اجرای طرح توسعه ذوب از سال ۱۳۹۸ ظرفیت تولید سالانه از ۸۰ به ۱۲۰ هزار تن مس آندی (حاصل از کنسانتره) افزایش یافته است.

## ۲-۲- داده‌های مورد نیاز

۱-۲-۲- داده‌های ماهواره سنتینل ۵P (Sentinel-5 Precursor) ماهواره سنتینل ۵P جدیدترین ماهواره سنتینل است که هم‌اکنون داده‌های آن به صورت رایگان ارائه می‌شود. ماهواره سنتینل 5P توسط آژانس فضایی اروپا (ESA) در تاریخ ۱۳ اکتبر سال ۲۰۱۷ میلادی به فضا پرتاب شد. از سنجنده TROPOMI<sup>۲</sup> برای پایش آلاینده‌های هوا در این ماهواره استفاده می‌شود (Loyola et al., 2018). از با اهمیت‌ترین کاربرد داده‌های این ماهواره در زمینه مطالعات اتمسفر

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۱-۲- منطقه مورد مطالعه

در پژوهش حاضر توزیع زمانی و مکانی آلاینده‌های هوا موجود در شعاع ۵۰ کیلومتری کارخانه ذوب مس خاتون‌آباد در بازه‌های زمانی روزانه تا ۳۰ ماهه با استفاده از داده‌های ماهواره Sentinel-5P در سامانه گوگل ارث انجین محاسبه شد. محدوده مطالعاتی در ۲۹ درجه و ۵۹ دقیقه الی ۳۰ درجه و ۳۲ دقیقه عرض شمالی و ۵۴ درجه و ۵۲ دقیقه الی ۵۵ درجه و ۵۵ دقیقه طول شرقی در شعاع ۵۰ کیلومتری اطراف کارخانه ذوب خاتون‌آباد در شمال غربی استان کرمان واقع شده است (نگاره ۱). این کارخانه در سال ۱۳۷۸ با زیربنای ۶۰۵۱۷ مترمربع به منظور ذوب کنسانتره مس و تولید سالانه ۸۰ هزار تن مس آندی برنامه‌ریزی و احداث شده و در سال ۱۳۸۳ به بهره‌برداری رسیده است

1- Sentinel-5 Precursor

2- TROPospheric Monitoring Instrument

جدول ۱: اطلاعات سنجنده TROPOMI ماهواره Sentinel 5P

نام گاز	نام داده	واحد	کمترین	بیشترین	رزولوشن (متر)
دی‌اکسید نیتروژن	NO2_column_number_density	Mol/m2	- ۰/۰۰۰۵۱	۰/۰۱۹۲	۱۱۱۳/۲
دی‌اکسید سولفور	SO2_column_number_density	Mol/m2	- ۰/۴۰۵۱	۰/۲۰۷۹	۱۱۱۳/۲

موجود در پایگاه داده را پردازش و نتایج مناسب را ارائه کند. با استفاده از سامانه گوگل ارث انجین می‌توان انواع پردازش‌های طیفی و رادیومتریکی را روی پدیده‌های مختلف سطح زمین با داده‌های ماهواره‌ای متفاوت از مقیاس محلی تا جهانی، با بهره‌وری از گوگل ارث انجین به انجام رساند. به‌طور دقیق‌تر می‌توان گفت این سامانه کاربر را قادر می‌کند برای داده‌هایی از توان تفکیک مکانی ۱۰ متر تا چند کیلومتر در مناطق مختلف و پدیده‌های مورد تحقیق در کره زمین پردازش‌های دقیقی را انجام بدهد. گوگل ارث انجین از انواع داده‌های ماهواره‌ای پرکاربرد به‌صورت رایگان پشتیبانی می‌کند. به‌علاوه هر کاربر می‌تواند داده‌های رستری و وکتوری موردنظر خود را در این سامانه فراخوانی و پردازش نماید.

کدنویسی مربوط به فراخوانی محدوده مورد مطالعه و همچنین فراخوانی تصاویر مورد نیاز برای دستیابی به میزان آلودگی مربوط به دی‌اکسید سولفور و دی‌اکسید نیتروژن موجود در منطقه مورد مطالعه در سامانه گوگل ارث انجین انجام و اجرا شد. برای فراخوانی پروداکت‌های دی‌اکسید نیتروژن در بازه زمانی موردنظر از بین باندهای موجود در این پروداکت، باند NO2\_column\_number\_density که حاوی اطلاعات دی‌اکسید نیتروژن بر اساس واحد mol/m2 است به‌کار گرفته شد و همچنین به‌منظور فراخوانی پروداکت سولفور دی‌اکسید ماهواره سنتینل ۵ از باند SO2\_column\_number\_density استفاده شده است و نقشه‌های میانگین میزان آلودگی موجود در محدوده مورد نظر به‌دست آمد. سپس تصاویر برای انجام پردازش‌های بیشتر به نرم‌افزار ArcGIS 10.7 انتقال داده شدند.

می‌توان از بررسی ریزگردها، مونوکسیدکربن، دی‌اکسید نیتروژن، ازن، دی‌اکسید سولفور و ابرها نام برد. نظر به اینکه ماهواره‌های اقلیم‌شناسی کمابیش از توان تفکیک زمانی زیادی برخوردارند، داده‌های این ماهواره هر دو روز یک بار ارائه می‌شود. در این صورت، امکان پایش مناسب هر یک از پارامترهای اشاره شده را فراهم می‌آورد. همچنین، داده‌های ماهواره سنتینل 5P به صورت پروداکت‌های آماده از ماه جولای سال ۲۰۱۸ میلادی ارائه شده و به هیچ‌گونه تصحیح رادیومتریکی و هندسی و یا محاسبات خاصی نیاز ندارند (حراری، ۱۳۹۸). داده‌های مورد نیاز این تحقیق مربوط به میانگین دی‌اکسید سولفور و دی‌اکسید نیتروژن با استفاده از سامانه گوگل ارث انجین در محدوده ۵۰ کیلومتری از کارخانه مورد مطالعه و در بازه زمانی سی‌ماهه از تاریخ ۲۰۱۸/۰۷/۰۴ تا ۲۰۲۱/۱۲/۳۰ و همچنین در بازه‌های زمانی یک‌روزه، هفت‌روزه، چهارده‌روزه، یک‌ماهه، دو‌ماهه، سه‌ماهه، شش‌ماهه، دوازده‌ماهه و سی‌ماهه از ماه دسامبر ۲۰۲۰ برای ارزیابی غلظت آلودگی در روزهای سرد سال و در بازه‌های زمانی مشابه از ماه ژوئن ۲۰۲۱ به‌منظور ارزیابی غلظت آلودگی در روزهای گرم سال دانلود شده است (جدول ۱).

## ۲-۲-۲- سامانه گوگل ارث انجین<sup>۱</sup>

در حال حاضر ابزارهای مبتنی بر سیستم‌های عامل محاسبات ابری<sup>۲</sup> برای پردازش داده‌های جغرافیایی در مقیاس بزرگ و بدون نیاز به تخصص فنی قابل توجهی طراحی شده‌اند، که GEE یکی از این پلتفرم‌ها می‌باشد که می‌تواند داده‌های

1- Google Earth Engine: GEE

2- Cloud computing operating systems

### ۳-۲- روش تحلیل اطلاعات

این صورت محاسبه می‌شود:

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n w_{i,j} - \bar{x} \sum_{i=1}^n w_{i,j}}{S \sqrt{\frac{n \sum_{j=1}^n w_{i,j}^2 - (\sum_{j=1}^n w_{i,j})^2}{n-1}}}$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_j^2}{n} - (\bar{x})^2}$$

$$\bar{x} = \frac{\sum_{j=1}^n x_j}{n}$$

در رابطه‌ی فوق،  $x_j$  مقدار خصیصه برای عارضه  $j$ ،  $w_{i,j}$  وزن مکانی بین عارضه‌های  $i$  و  $j$  و  $n$  برابر تعداد کل عارضه‌ها و  $G_i$  خود نوعی  $Z$  محسوب می‌شود،  $S$  انحراف از معیار و  $\bar{x}$  میانگین مقادیر خصیصه مدنظر می‌باشند.

پس از محاسبه تحلیل لکه داغ نقشه‌ها براساس مقادیر سطوح (۱/۶۵)، ۹۰، (۱/۹۶) و ۹۵ (۲/۵۸) درصد طبقه‌بندی شدند. که سطوح بالای ۹۹ (۲/۵۸) درصد با مقادیر مثبت و بالای  $Z$  نشان‌دهنده مناطق و خوشه‌های داغ (غلظت بسیار بالا) و مقادیر منفی و پایین  $Z$  نشان‌دهنده مناطق و خوشه‌های سرد (غلظت بسیار پایین) ایجاد شده می‌باشند.

### ۳- نتایج و بحث

تصاویر مربوط به میانگین آلودگی هوا با استفاده از سامانه گوگل ارث انجین در محدوده ۵۰ کیلومتری از کارخانه مورد مطالعه و در بازه‌ی زمانی سی ماهه از تاریخ ۲۰۱۸/۰۷/۰۴ تا ۲۰۲۱/۱۲/۳۰ و همچنین در بازه‌های زمانی یک‌روزه، هفت‌روزه، چهارده‌روزه، یک‌ماهه، دو‌ماهه، سه‌ماهه، شش‌ماهه، دوازده‌ماهه و سی‌ماهه از ماه دسامبر ۲۰۲۰ به‌منظور ارزیابی غلظت آلودگی در روزهای سرد سال و در بازه‌های یک‌روزه، هفت‌روزه، چهارده‌روزه، یک‌ماهه، دو‌ماهه، سه‌ماهه از ماه ژوئن ۲۰۲۱ برای ارزیابی غلظت آلودگی در روزهای گرم سال به‌دست آمد. با استفاده از نرم‌افزار جی‌آی‌اس طبقه‌بندی و تحلیل لکه داغ بر روی تصاویر به‌دست آمده از گوگل ارث انجین انجام شد و نتایج

### ۳-۲-۱- روش طبقه‌بندی شکست طبیعی<sup>۱</sup>

در این پژوهش از روش طبقه‌بندی شکست طبیعی استفاده شده است. روش طبقه‌بندی شکست‌های طبیعی Jenks که روش بهینه‌سازی جنکس نیز نامیده می‌شود، یک روش طبقه‌بندی داده‌ها است که برای تعیین بهترین آرایش مقادیر در کلاس‌های مختلف طراحی شده است. این کار با تلاش برای به حداقل رساندن میانگین انحراف هر طبقه از میانگین کلاس و در عین حال به حداکثر رساندن انحراف هر طبقه از میانگین گروه‌های دیگر انجام می‌شود. به عبارت دیگر، این روش به دنبال کاهش واریانس درون طبقات و به حداکثر رساندن واریانس بین طبقات می‌باشد (Chen, J., et al., 2013).

این روش قادر به خوشه‌بندی آماری اطلاعات نیست، بنابراین برای خوشه‌بندی آماری مکانی اطلاعات از روش تحلیل لکه داغ استفاده شد.

### ۳-۲-۲- روش تحلیل لکه داغ<sup>۲</sup>

تحلیل لکه داغ از آماره گتیس- ارد جی ای<sup>۳</sup> با استفاده از تحلیل همسایگی در داده‌ها برای تعیین نواحی با غلظت بالا که نقاطی با غلظت بالا، احاطه شده باشند (لکه داغ) و یا نواحی با غلظت پایین که نقاطی با غلظت پایین احاطه شده باشند (لکه سرد) استفاده می‌کند. این تحلیل آماری-مکانی بر طبق اصول تست فرضیه استوار است که می‌تواند سطح معنی‌داری لکه داغ و سرد را به‌صورت آماری تعیین نماید. بنابراین پس از محاسبه  $Z$ -Score و  $P$ -value برای هر نقطه، نقاط با  $Z$  بالا و  $P$  کمتر از ۰/۰۵ از لحاظ آماری معنی‌دار هستند که این مهم پس از مقایسه مجموع محلی مقادیر عارضه و همسایه آن به‌طور نسبی با جمع کل مقادیر عوارض حاصل می‌شود (Getis and Ord, 1992 and Ord and Getis, 1995). رابطه به

1- Natural Break

2- Hot Spot Analysis

3- Getis-Ord Gi

### فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (۳۳)

بررسی میزان تغییرات غلظت گازهای دی‌اکسید سولفور و دی‌اکسید نیتروژن موجود در ... / ۱۳

شش‌ماهه و یک‌ساله میزان غلظت دی‌اکسید سولفور دارای پراکندگی کمتر نسبت به بازه‌های زمانی کوتاه مدت است و هرچه مدت زمان بازه بیشتر می‌شود تصاویر میزان پراکندگی گازی دی‌اکسید سولفور در محدوده مورد مطالعه را کمتر و تراکم گاز در مناطق آلوده را بهتر نشان می‌دهد. از این رو نتایج به دست آمده حاکی از این است که تصاویر سنتینل 5P با بازه‌های زمانی طولانی‌تر از دو ماهه قادر به ارائه اطلاعات دقیق‌تر و منطقی‌تر در مورد میزان غلظت گاز دی‌اکسید سولفور در ماه‌های سرد سال می‌باشند (نگاره ۴).

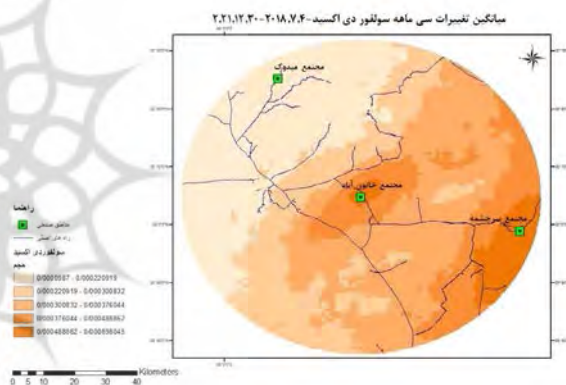
این پردازش‌ها همچنین بر روی تصاویر به دست آمده در بازه‌های زمانی یک‌روزه، هفت‌روزه، چهارده‌روزه، یک‌ماهه، دو‌ماهه و سه‌ماهه برای ماه ژوئن به منظور بررسی میزان غلظت و پراکندگی آلودگی در روزهای گرم سال انجام گرفت. تصاویر به دست آمده از ماه‌های گرم با تصاویر با بازه زمانی مشابه با آن‌ها از ماه‌های سرد سال با هم مقایسه شدند. این مقایسه نشان می‌دهد که تصاویر با بازه‌های کوتاه مدت مربوط به ماه‌های گرم سال بهتر می‌توانند تراکم آلودگی را در مناطق آلوده نشان دهند. برای مثال تصویر یک‌روزه از ماه دسامبر پراکندگی بسیار زیادی را نشان می‌دهد در صورتی که تصویر یک‌روزه از ماه ژوئن پراکندگی کمتر و تراکم بیشتری از دی‌اکسید سولفور را در مناطق آلوده نشان می‌دهد. همچنین تصاویر یک‌هفته، دو هفته و یک‌ماهه از ماه دسامبر نیز پراکندگی بسیار زیادتری را در مقایسه با تصاویر در همین بازه‌های زمانی از ماه ژوئن نشان می‌دهد (نگاره ۵).

مقایسه تصاویر دو‌ماهه و سه‌ماهه ماه‌های سرد و ماه‌های گرم سال نیز صورت گرفت و نتایج تقریباً مشابهی را به دست داد. به عبارت دیگر میزان پراکندگی گاز دی‌اکسید سولفور در تصویر دو‌ماهه تابستان (نگاره ۶) با میزان پراکندگی این گاز در تصویر دو‌ماهه زمستان (نگاره ۴) تقریباً یکسان هستند.

به شرح ذیل هستند:

### ۳-۱- نتایج حاصل از طبقه بندی تصاویر برای دی‌اکسید سولفور (SO<sub>2</sub>)

نتایج حاصل از پردازش‌های انجام شده بر روی تصویر به دست آمده از بازه‌های زمانی سه‌ماهه نشان می‌دهد که حداقل مقدار غلظت گاز دی‌اکسید سولفور در محدوده مورد مطالعه در این بازه زمانی  $0.0000987 \text{ mol/m}^2$  و حداکثر مقدار غلظت آن  $0.000698045 \text{ mol/m}^2$  می‌باشد که محدوده اطراف کارخانه مورد نظر از بالاترین مقدار غلظت ممکن برخوردار بوده است و با افزایش فاصله از کارخانه مقدار غلظت دی‌اکسید سولفور کاهش می‌یابد (نگاره ۲).

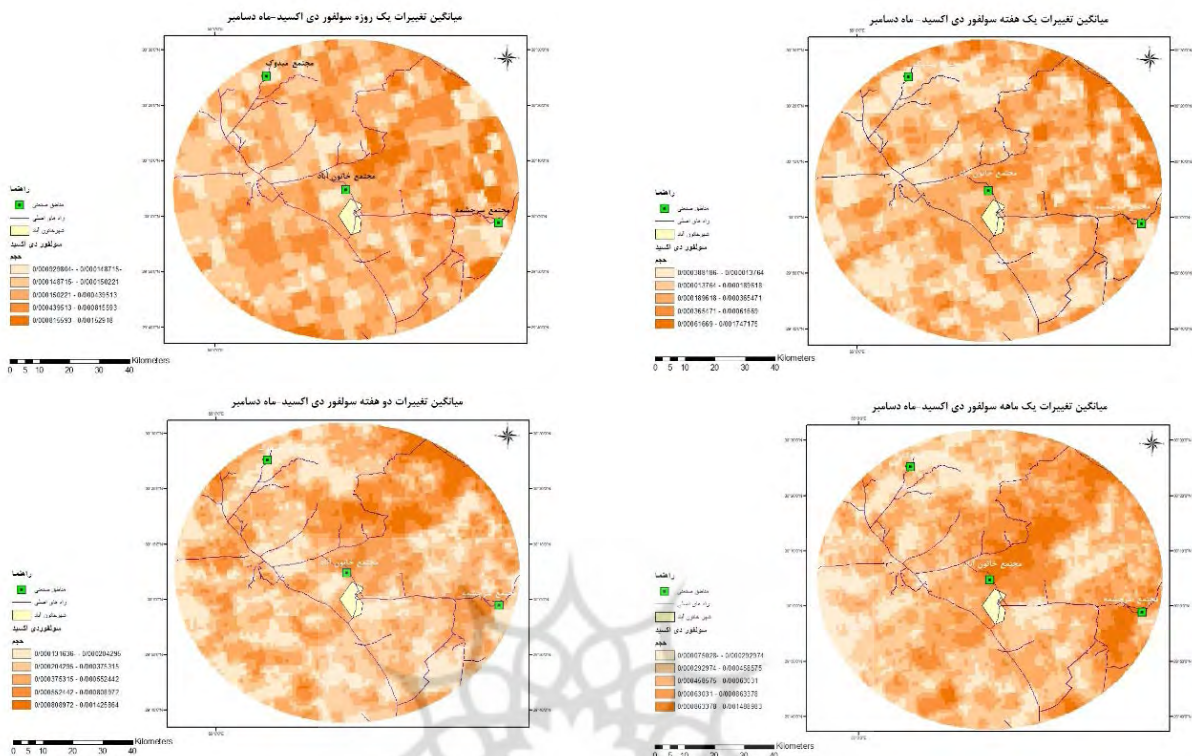


نگاره ۲: نقشه تغییرات میزان دی‌اکسید سولفور در منطقه مطالعاتی برای بازه زمانی ۲۰۱۸،۰۷،۰۴ تا ۲۰۲۰،۱۲،۳۰

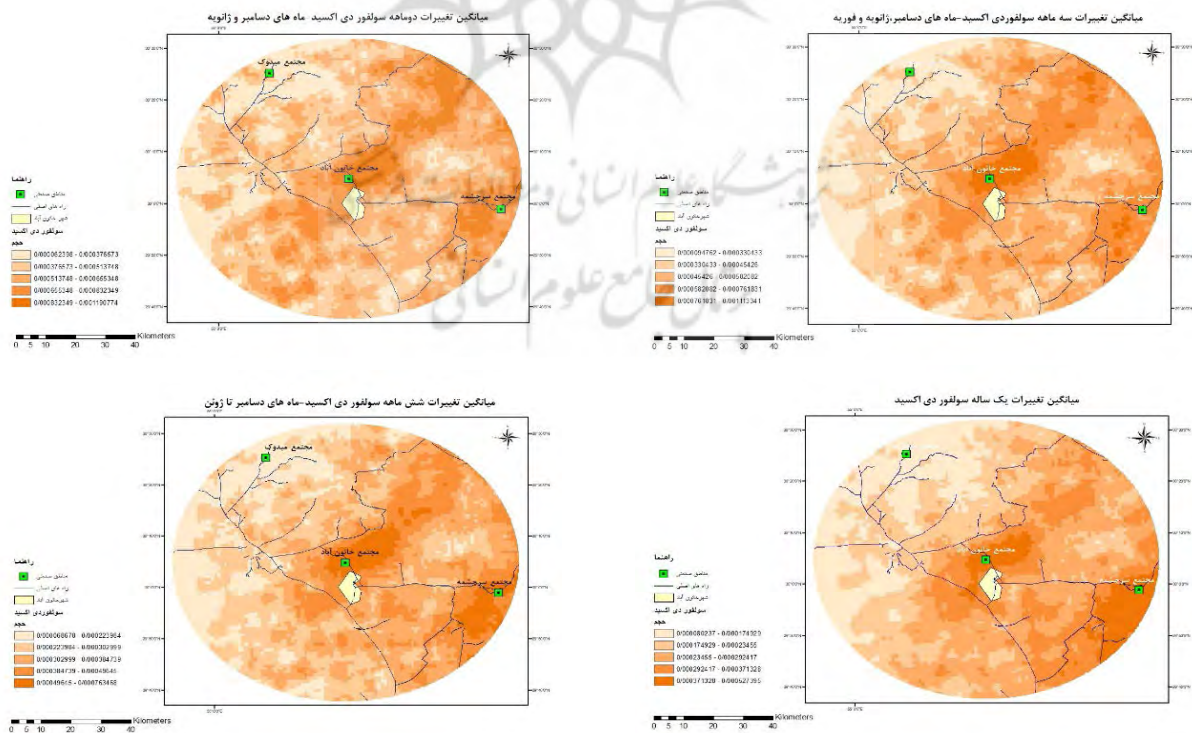
میانگین غلظت گاز دی‌اکسید سولفور موجود در محدوده مورد مطالعه در بازه‌های زمانی مورد نظر برای ماه‌های سرد و ماه‌های گرم سال مورد پردازش قرار گرفته است. در واقع بررسی‌های انجام شده و مقایسه مقادیر به دست آمده از تصاویر مربوط به ماه‌های سرد سال نشان‌دهنده این است که بازه‌های زمانی کوتاه مدت مانند روزانه، هفتگی، دو هفته‌ای و حتی یک‌ماهه پراکندگی زیادی دارند. در نتیجه تصاویر سنتینل 5P در این بازه‌های زمانی قادر به ارائه اطلاعات منطقی و دقیقی در مورد غلظت دی‌اکسید سولفور هوا در ماه‌های سرد سال نیستند (نگاره ۳).

در داده‌های به دست آمده از بازه‌های زمانی دو‌ماهه، سه‌ماهه،





نگاره ۳: نقشه تغییرات میزان دی اکسید سولفور در منطقه مطالعاتی برای بازه‌های یک‌روزه، یک‌هفته، دو هفته و یک‌ماهه در ماه‌های سرد سال

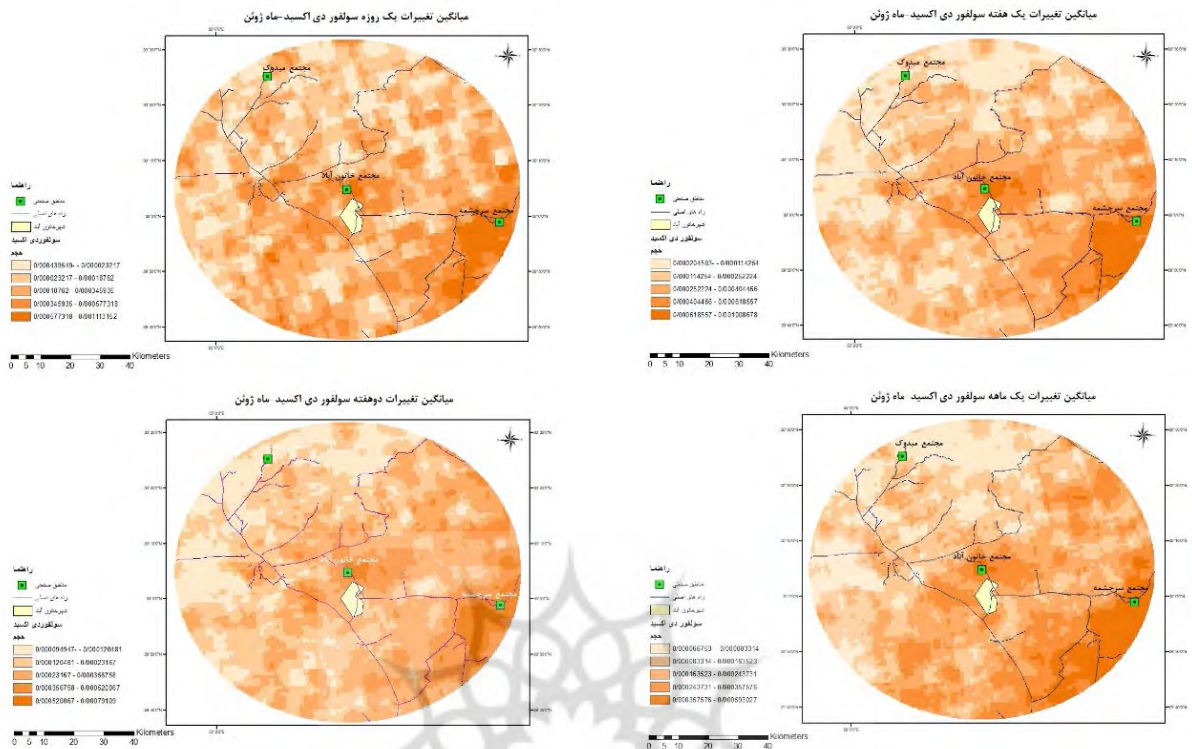


نگاره ۴: نقشه تغییرات میزان دی اکسید سولفور در منطقه مطالعاتی برای بازه‌های دوماهه، سه‌ماهه، شش‌ماهه و یک‌ساله در ماه‌های سرد سال

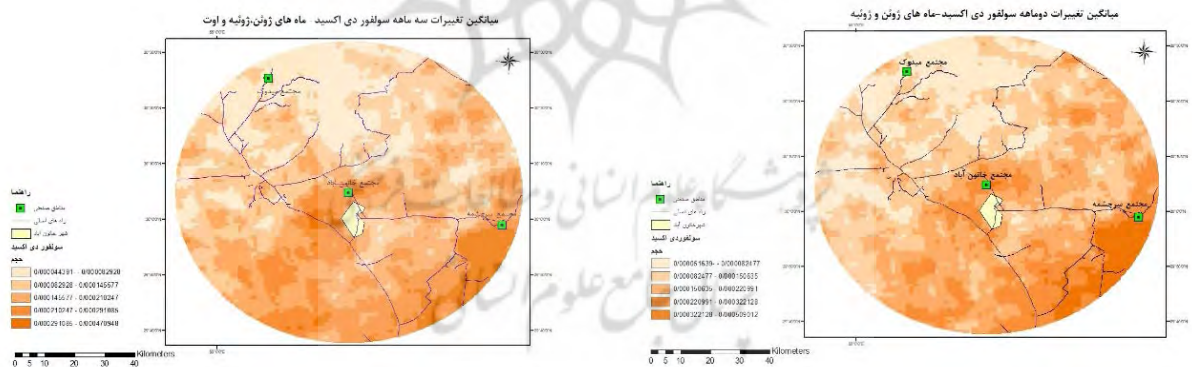


فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی ( )

بررسی میزان تغییرات غلظت گازهای دی اکسید سولفور و دی اکسید نیتروژن موجود در ... / ۱۵



نگاره ۵: نقشه تغییرات میزان دی اکسید سولفور در منطقه مطالعاتی برای بازه های یک روزه، یک هفته، دو هفته و یک ماهه در ماه های گرم سال



نگاره ۶: نقشه تغییرات میزان دی اکسید سولفور در منطقه مطالعاتی برای بازه های دو ماهه و سه ماهه در ماه های گرم سال

رنگ به مناطق داغ با غلظت بالا و معنادار از نظر آماری اشاره دارد و مناطق آبی رنگ به محدوده مناطق سرد با غلظت پایین اشاره دارد. براساس تحلیل روند نتایج مشاهده می شود که محدوده اطراف کارخانه موردنظر به عنوان لکه داغ شناسایی شده که این نشانگر مقدار زیاد غلظت گاز دی اکسید سولفور در محدوده اطراف کارخانه است. علاوه بر این در بخش های شرقی و جنوب شرق محدوده نیز تراکم زیاد لکه های داغ مشاهده

۳-۲- نتایج حاصل از تحلیل لکه داغ گاز دی اکسید سولفور (SO<sub>2</sub>)

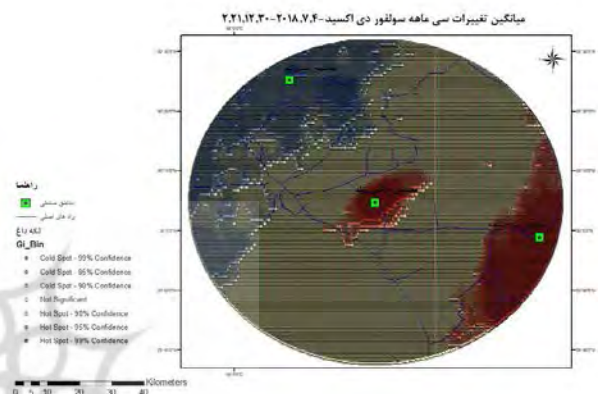
با استفاده از نرم افزار ArcGIS تحلیل لکه داغ نیز بر روی تمام تصاویر به دست آمده از بازه های زمانی مختلف انجام گرفت. نتایج حاصل از تحلیل لکه داغ انجام شده بر روی تصویر به دست آمده از بازه های زمانی سه ماهه مناطق حضور لکه های متراکم گاز دی اکسید سولفور را نمایش می دهد. نقاط قرمز

نیز برای تفسیر دقیق مقدار غلظت گاز دی‌اکسید سولفور در یک منطقه پیشنهاد نمی‌شوند (نگاره ۸).

در نقشه‌های به‌دست آمده از تحلیل لکه داغ در بازه‌های زمانی دوماهه، سه‌ماهه، شش‌ماهه و یک‌ساله لکه‌ها دارای پراکندگی کمتر و تراکم بیشتری نسبت به بازه‌های زمانی کوتاه مدت هستند و هرچه مدت زمان بازه بیشتر می‌شود خوشه‌بندی لکه داغ و سرد که مؤید وجود یا عدم وجود گاز دی‌اکسید سولفور در منطقه است، با وضوح بیشتری نمایان می‌شود. برای مثال در نقشه به‌دست آمده در بازه زمانی یک‌ساله لکه‌های داغ به‌طور دقیق در محدوده اطراف کارخانه مشاهده می‌شوند. از این رو نتایج به‌دست آمده حاکی از این است که انجام تحلیل لکه داغ بر روی تصاویر سنتینل 5P با بازه‌های زمانی طولانی‌تر از دو ماهه قادر به ارائه اطلاعات دقیق‌تر و منطقی‌تر در مورد میزان غلظت گاز دی‌اکسید سولفور در ماه‌های سرد سال می‌باشند (نگاره ۹).

تحلیل لکه داغ همچنین بر روی تصاویر به‌دست آمده در بازه‌های زمانی یک‌روزه، هفت‌روزه، چهارده‌روزه، یک‌ماهه، دوماهه، سه‌ماهه برای ماه ژوئن به منظور بررسی میزان غلظت و پراکندگی آلودگی در روزهای گرم سال انجام گرفت. سپس نقشه‌های به‌دست آمده از ماه‌های گرم با نقشه‌های با بازه زمانی مشابه با آن‌ها از ماه‌های سرد سال با هم مقایسه شدند. این مقایسه نشان می‌دهد که در نقشه‌های حاصل از بازه‌های کوتاه مدت مربوط به ماه‌های گرم سال، تراکم لکه داغ در مناطق مستعد برای وجود گاز دی‌اکسید سولفور بیشتر مشاهده می‌شود. برای مثال در تصویر یک‌روزه از ماه دسامبر (نگاره ۸) پراکندگی بسیار زیاد دیده می‌شود در صورتی که تصویر یک‌روزه از ماه ژوئن (نگاره ۱۰) پراکندگی کمتر و تراکم بیشتری از لکه داغ را در مناطق آلوده نشان می‌دهد. همچنین در نقشه‌های یک‌هفته، دوهفته و یک‌ماهه از ماه دسامبر (نگاره ۸) نیز لکه‌های داغ و لکه‌های سرد پراکندگی بسیار زیادتری را در مقایسه با نقشه‌های مشابه در همین بازه‌های زمانی از ماه ژوئن نشان می‌دهد (نگاره ۱۰).

می‌شود که پس از بررسی مشخص شد گاز دی‌اکسید سولفور تولید شده در منطقه حاصل عملیات فراوری و ذوب مواد معدنی در مجتمع مس سرچشمه است. همچنین در قسمت غرب و شمال‌غرب منطقه نقاط سرد شناسایی شدند که این نیز نشانگر میزان غلظت کم گاز دی‌اکسید سولفور در این منطقه کوهستانی می‌باشد (نگاره ۷).



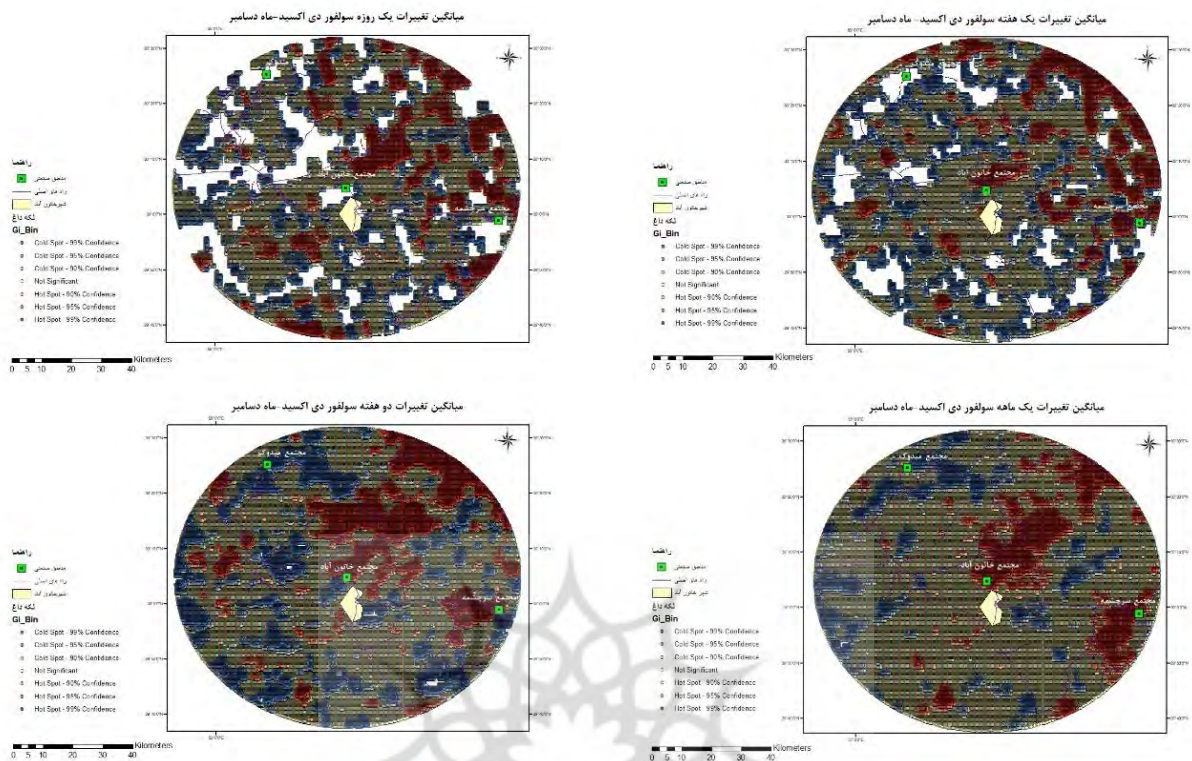
#### نگاره ۷: نقشه تغییرات لکه داغ دی‌اکسید سولفور برای منطقه مطالعاتی در بازه زمانی سی ماهه

بررسی نقشه‌های به‌دست آمده از انجام تحلیل لکه داغ بر روی تصاویر با بازه‌های یک‌روزه، یک‌هفته، دوهفته و یک‌ماهه در ماه دسامبر نشان می‌دهد که تصاویر یک‌روزه و یک‌هفته نقاط سرد و نقاط داغ را به‌صورت لکه‌های بسیار پراکنده نمایش می‌دهند، اما در عین پراکندگی در این بازه‌ها تراکم لکه داغ در بخش‌های جنوب شرقی و شمال شرقی محدوده بیشتر است. با این وجود، تصاویر دوهفته و یک‌ماهه تراکم بیشتری را نشان می‌دهند. در این تصاویر نیز تراکم لکه داغ در قسمت‌های جنوب شرقی و شمال شرقی محدوده بیشتر است که این نشانگر وجود مقدار زیاد گاز دی‌اکسید سولفور در این مناطق می‌باشد. این نکته حائز اهمیت است که نقشه‌های به‌دست آمده از تحلیل لکه داغ در این بازه‌های زمانی در ماه دسامبر در مقایسه با نقشه‌های به‌دست آمده از طبقه‌بندی در همین بازه‌ها، اطلاعات بیشتری در رابطه با میزان غلظت دی‌اکسید سولفور در منطقه به‌دست می‌دهند، اما به‌طور کلی این بازه‌های زمانی

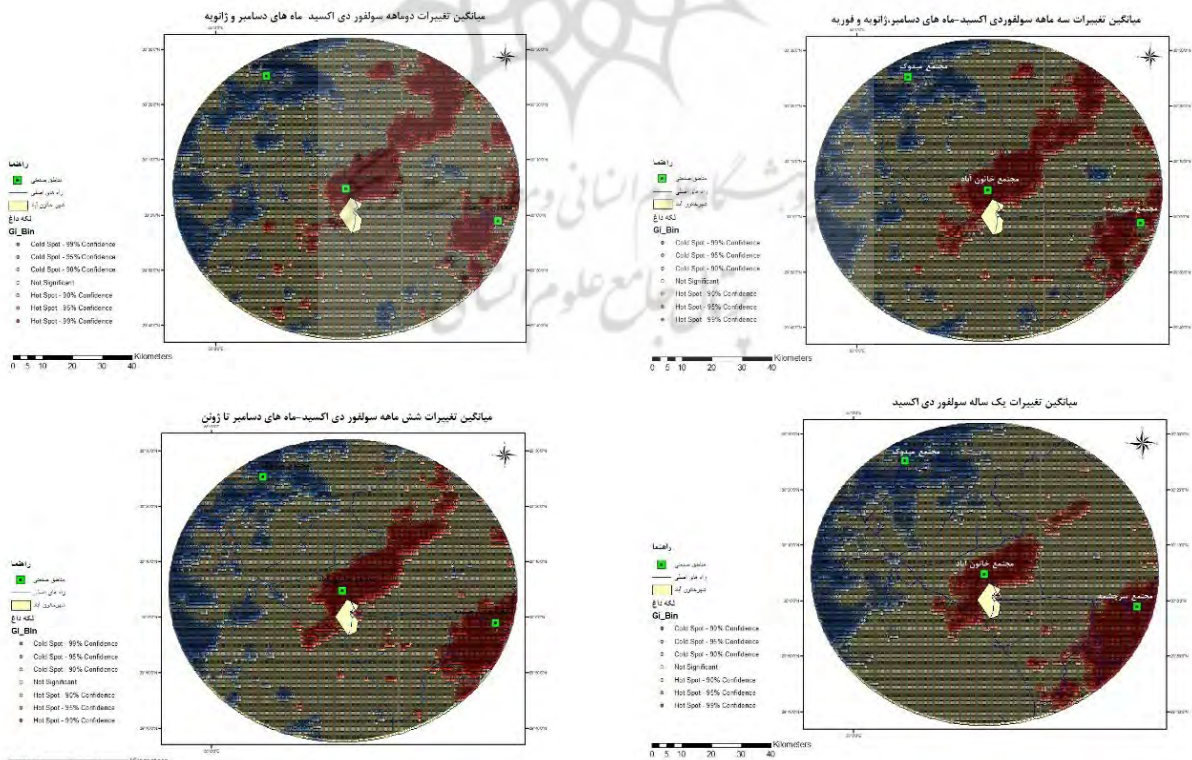


فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی ( )

بررسی میزان تغییرات غلظت گازهای دی اکسید سولفور و دی اکسید نیتروژن موجود در ... / ۱۷



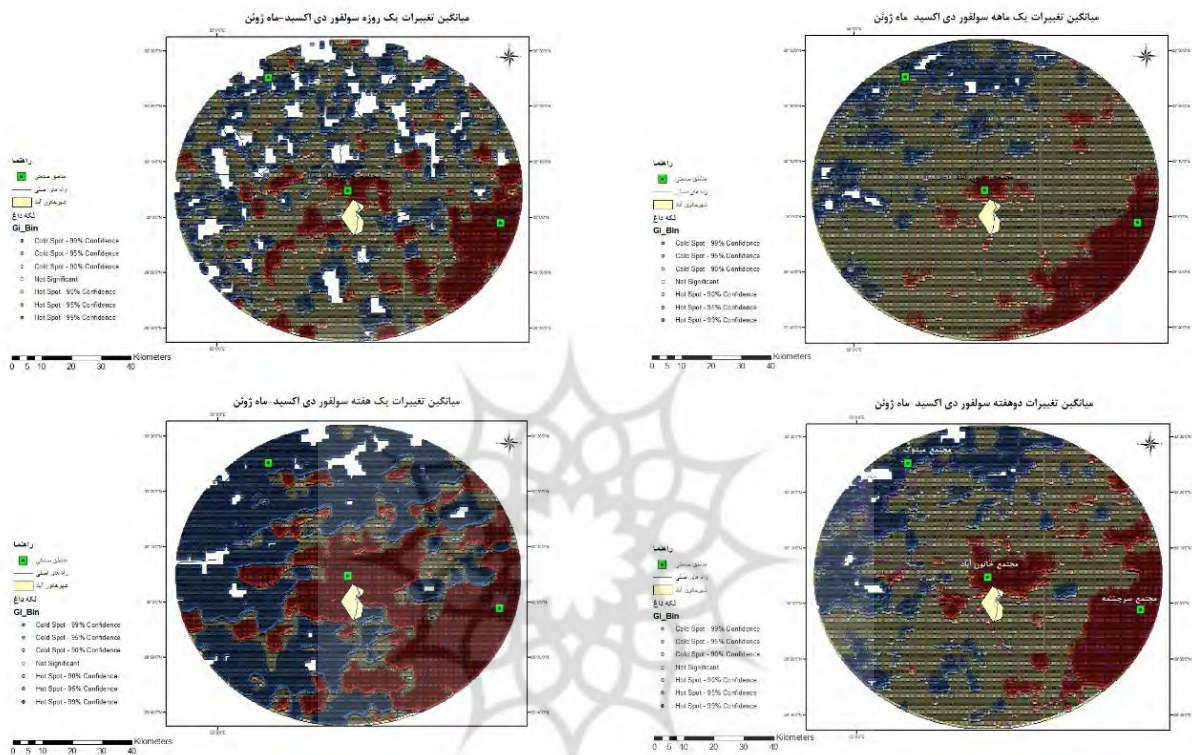
نگاره ۸: نقشه تغییرات لکه داغ دی اکسید سولفور برای منطقه مطالعاتی در بازه‌های یک‌روزه، یک‌هفته، دو هفته و یک‌ماهه در ماه دسامبر



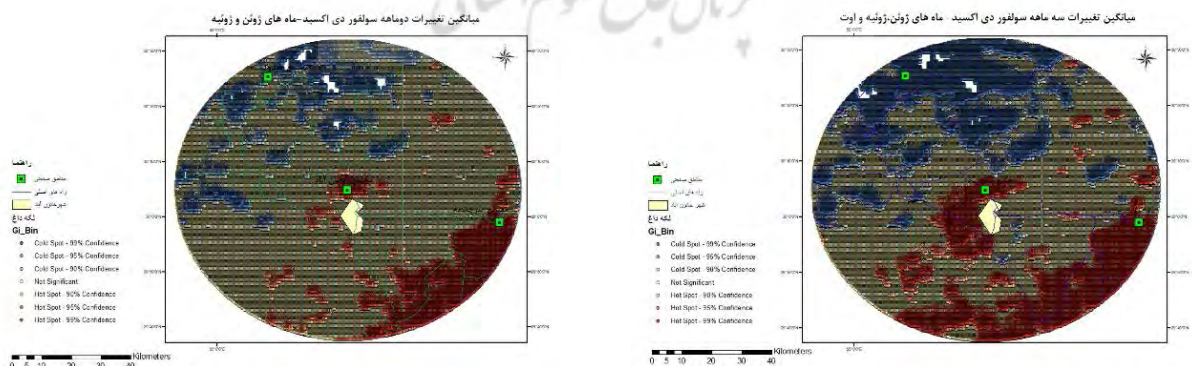
نگاره ۹: نقشه تغییرات لکه داغ دی اکسید سولفور برای منطقه مطالعاتی در بازه‌های دوماهه، سه‌ماهه، شش‌ماهه و یک‌ساله در ماه ژانویه و فوریه



از مقایسه نقشه‌های حاصل از تحلیل لکه داغ دو ماهه و سه ماهه ماه‌های سرد و ماه‌های گرم سال نتایج تقریباً مشابهی با نقشه‌های طبقه‌بندی این تصاویر به دست آمد. به این صورت که میزان پراکندگی لکه‌های داغ و لکه‌های سرد در نقشه دو ماهه تابستان (نگاره ۱۱) با میزان پراکندگی لکه‌ها در نقشه دو ماهه زمستان (نگاره ۹) تقریباً یکسان هستند.



نگاره ۱۰: نقشه تغییرات لکه داغ دی اکسید سولفور در منطقه مطالعاتی برای بازه‌های یک‌روزه، یک‌هفته، دو هفته و یک‌ماه در ماه ژوئن



نگاره ۱۱: نقشه تغییرات لکه داغ دی اکسید سولفور در منطقه مطالعاتی برای بازه‌های دو ماهه و سه ماهه در ماه ژوئن

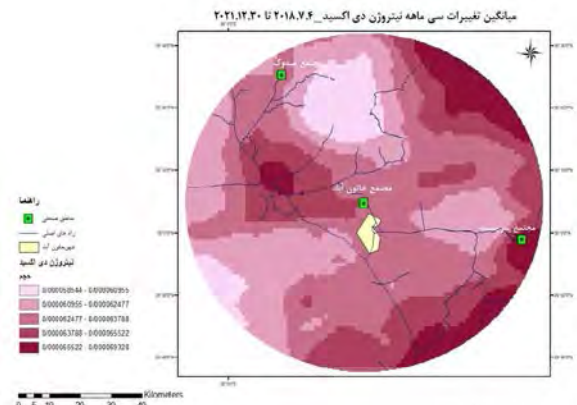
فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)

بررسی میزان تغییرات غلظت گازهای دی اکسید سولفور و دی اکسید نیتروژن موجود در ... / ۱۹

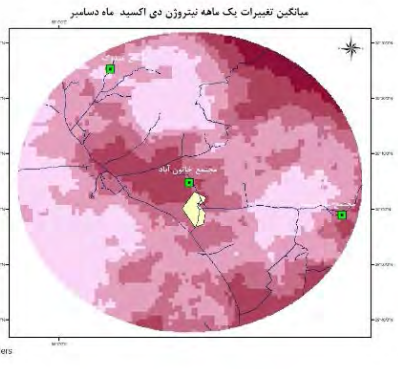
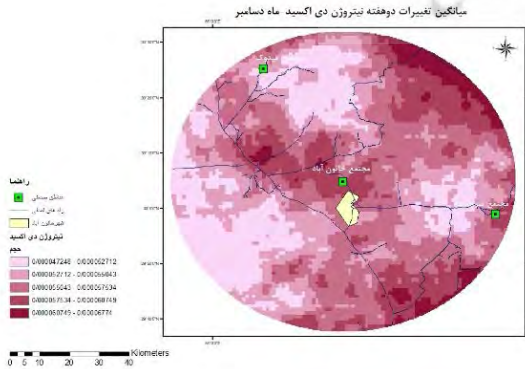
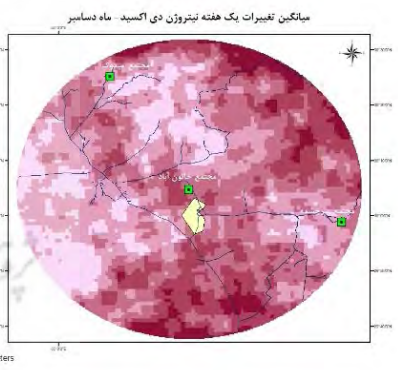
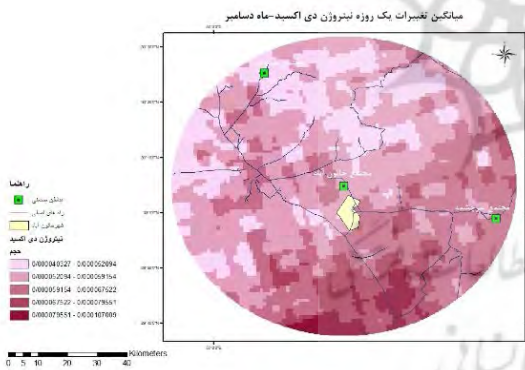
۳-۳- نتایج حاصل از طبقه بندی تصاویر نیتروژن دی اکسید  
 زیاد گاز نیتروژن دی اکسید در اطراف کارخانه هستند (نگاره ۱۳).

نتایج حاصل از طبقه بندی انجام شده بر روی تصویر به دست آمده از بازه زمانی سی ماهه نشان می دهد که حداقل مقدار غلظت گاز دی اکسید نیتروژن در محدوده مورد مطالعه در این بازه زمانی  $0.000058544 \text{ mol/m}^2$  و حداکثر مقدار غلظت آن  $0.000069328 \text{ mol/m}^2$  می باشد. همچنین غلظت این گاز در اطراف کارخانه ذوب خاتون آباد حداقل  $0.000062477 \text{ mol/m}^2$  و حداکثر  $0.00063788 \text{ mol/m}^2$  می باشد (نگاره ۱۲).

بررسی های انجام شده و مقایسه مقادیر به دست آمده از تصاویر مربوط به ماه های سرد سال نشان دهنده این است که بازه های زمانی کوتاه مدت مانند روزانه، هفتگی، دوهفته ای و یک ماهه با وجود پراکندگی نشان دهنده وجود میزان



نگاره ۱۲: نقشه تغییرات میزان دی اکسید نیتروژن در منطقه مطالعاتی برای بازه زمانی ۲۰۲۰، ۱۲، ۳، ۳۰ تا ۲۰۱۸، ۰۷، ۰۴

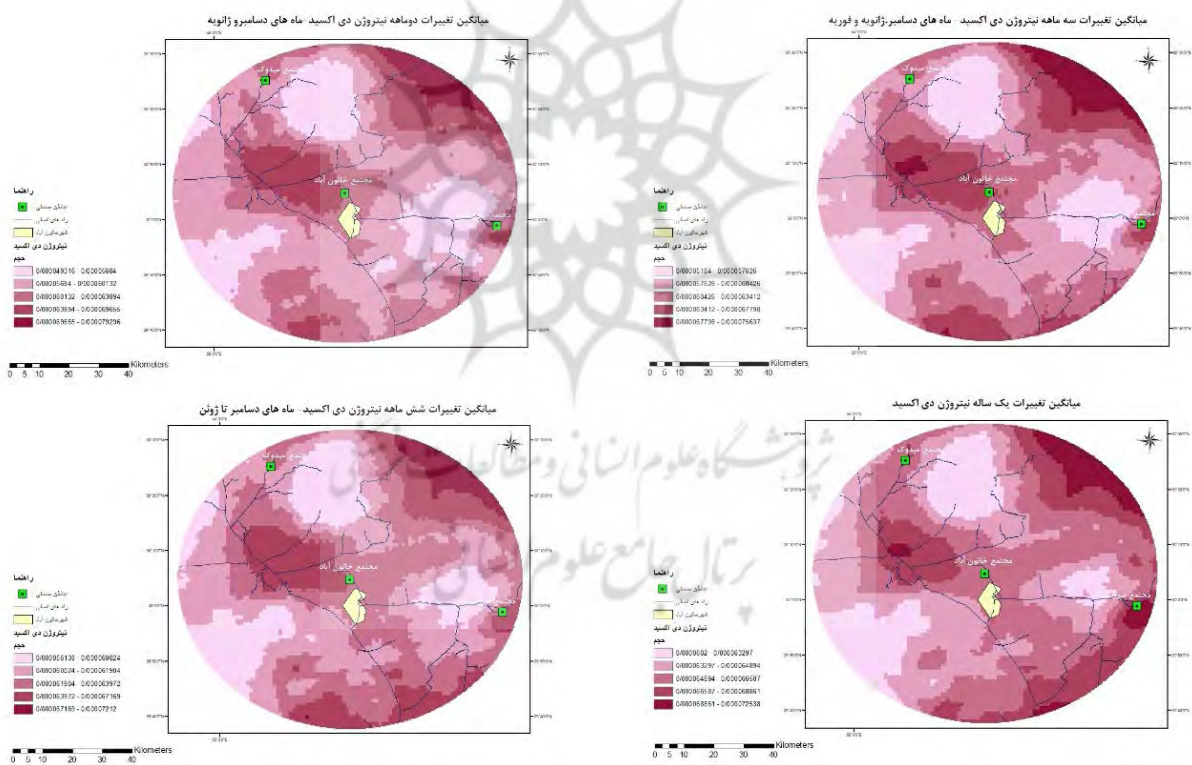


نگاره ۱۳: نقشه تغییرات میزان دی اکسید نیتروژن در منطقه مطالعاتی برای بازه های یک روزه، یک هفته، دوهفته و یک ماهه در ماه های سرد سال



داد. به عبارت دیگر میزان پراکندگی گاز دی اکسید نیتروژن در تصاویر ماه‌های گرم سال با میزان پراکندگی این گاز در تصاویر ماه‌های سرد سال تقریباً یکسان است (نگاره ۱۵). مقایسه تصاویر دو ماهه و سه ماهه ماه‌های سرد و ماه‌های گرم سال نیز صورت گرفت. نتایج این مقایسه نشان داد که در تصاویر دو ماهه و سه ماهه ماه‌های سرد سال (نگاره ۱۴) تراکم غلظت گاز در منطقه کمتر می‌باشد. اما، در تصاویر ماه‌های گرم نسبت به تصاویر ماه‌های سرد، میزان غلظت دی اکسید نیتروژن در محدوده مطالعاتی بیشتر است (نگاره ۱۶).

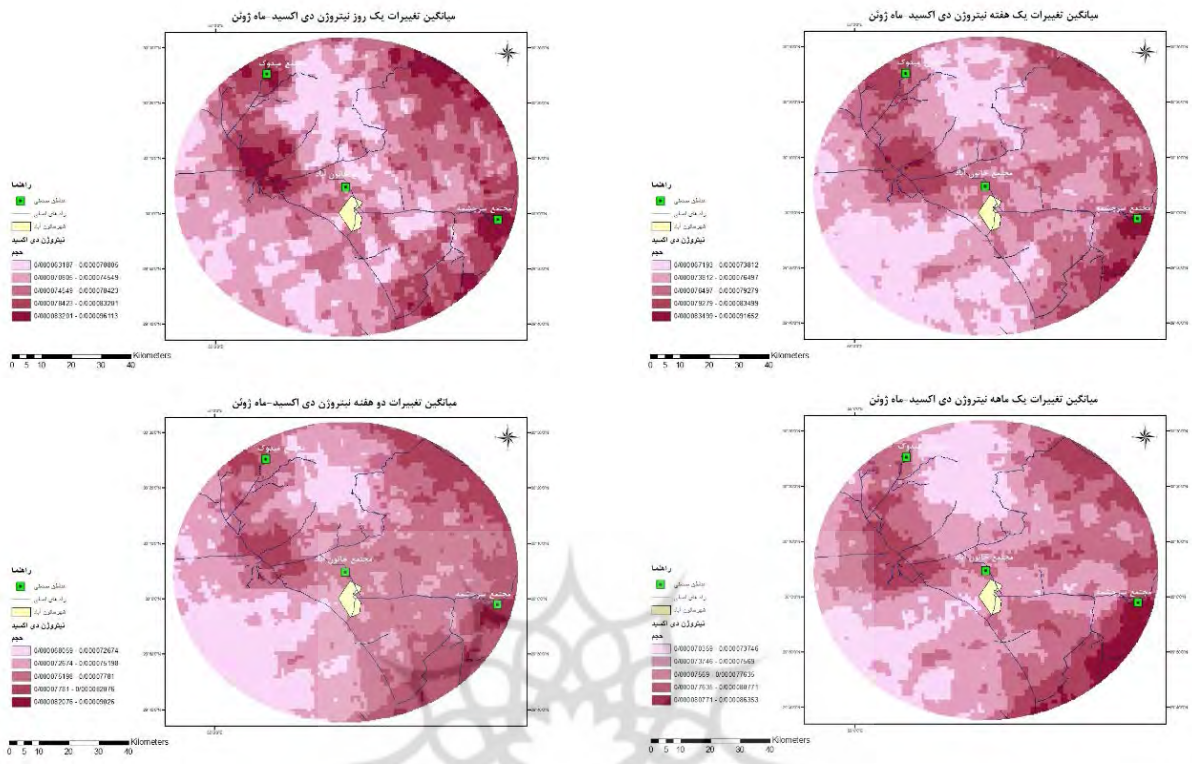
در داده‌های به دست آمده از بازه‌های زمانی دو ماهه، سه ماهه، شش ماهه و یک ساله میزان غلظت دی اکسید نیتروژن دارای پراکندگی کمتر نسبت به بازه‌های زمانی کوتاه مدت است و هرچه مدت زمان بازه بیشتر می‌شود تصاویر میزان پراکندگی این گاز در محدوده مورد مطالعه را کمتر و تراکم غلظت بالای گاز را بهتر نشان می‌دهد. تصاویر دو ماهه، سه ماهه و شش ماهه نشان‌دهنده خوشه‌های آلودگی با غلظت بالا در اطراف کارخانه هستند (نگاره ۱۴). مقایسه تصاویر یک روزه، هفت روزه، چهار روزه و یک ماهه ماه ژوئن با تصاویر حاصل از همین بازه‌های زمانی در ماه دسامبر (نگاره ۱۳) نتایج تقریباً مشابهی را به دست



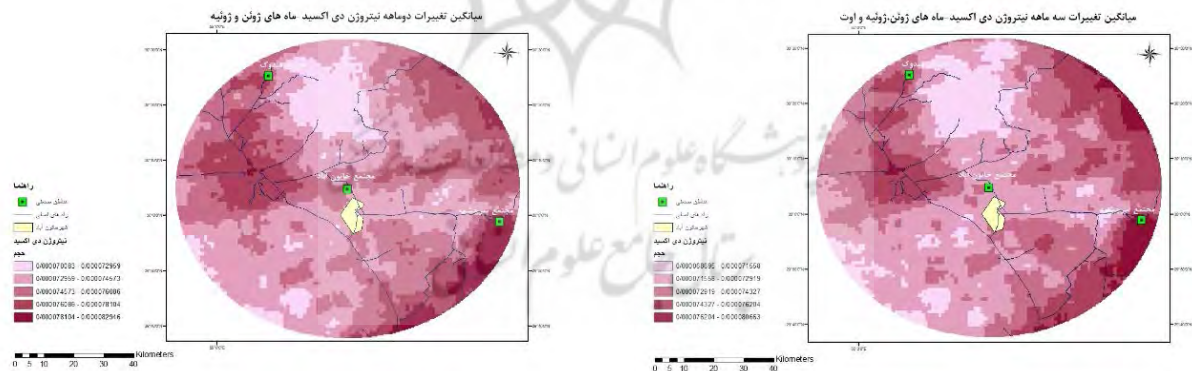
نگاره ۱۴: نقشه تغییرات میزان دی اکسید نیتروژن در منطقه مطالعاتی برای بازه‌های دو ماهه، سه ماهه، شش ماهه و یک ساله در ماه‌های سرد سال

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (س)

بررسی میزان تغییرات غلظت گازهای دی‌اکسید سولفور و دی‌اکسید نیتروژن موجود در ... / ۲۱



نگاره ۱۵: نقشه تغییرات میزان دی‌اکسید نیتروژن در منطقه مطالعاتی برای بازه‌های یک‌روزه، یک‌هفته، دو هفته و یک‌ماهه در ماه‌های گرم سال



نگاره ۱۶: نقشه تغییرات میزان دی‌اکسید نیتروژن در منطقه مطالعاتی برای بازه‌های دوماهه و سه‌ماهه در ماه‌های گرم سال

معنادار از نظر آماری (مناطق دارای غلظت بالا) و نقاط آبی رنگ به محدوده مناطق سرد (مناطق دارای غلظت پایین) اشاره دارد. در محدوده مورد نظر چندین لکه داغ و لکه سرد شناسایی شده است و تنها یک لکه داغ در مجاورت کارخانه و نه در جو بالای کارخانه قرار دارد (نگاره ۱۷).

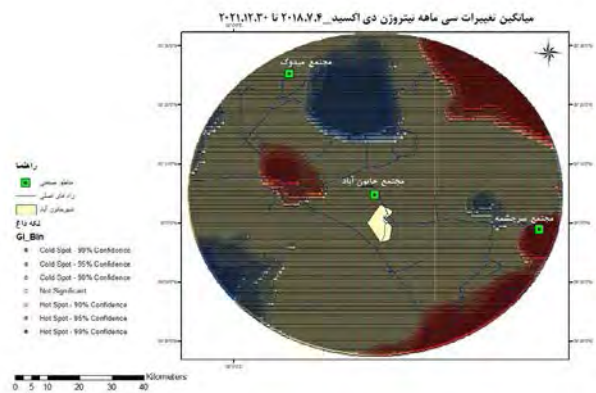
۳-۴- نتایج حاصل از تحلیل لکه داغ دی‌اکسید نیتروژن نتایج حاصل از تحلیل لکه داغ انجام شده بر روی تصویر به دست آمده از بازه‌ی زمانی سی‌ماهه، به وضوح خوشه‌های مؤید حضور لکه‌های متراکم گاز دی‌اکسید نیتروژن را نمایش می‌دهد. نقاط قرمز رنگ به مناطق داغ و



نیز نقاط سرد و گرم را به صورت پراکنده در محدوده نشان می‌دهد. اما تصاویر دوهفته و یک‌ماهه لکه‌های داغ و سرد را به صورت خوشه‌بندی نشان می‌دهند. در این تصاویر موقعیت لکه داغ بر روی کارخانه مورد مطالعه قرار دارد که نشانگر وجود دی‌اکسید نیتروژن در این منطقه می‌باشد (نگاره ۱۸). این نکته نشان‌دهنده امکان استفاده از داده‌های با بازه بیشتر از دو هفته برای تحلیل وجود دی‌اکسید نیتروژن در جو مناطق صنعتی است.

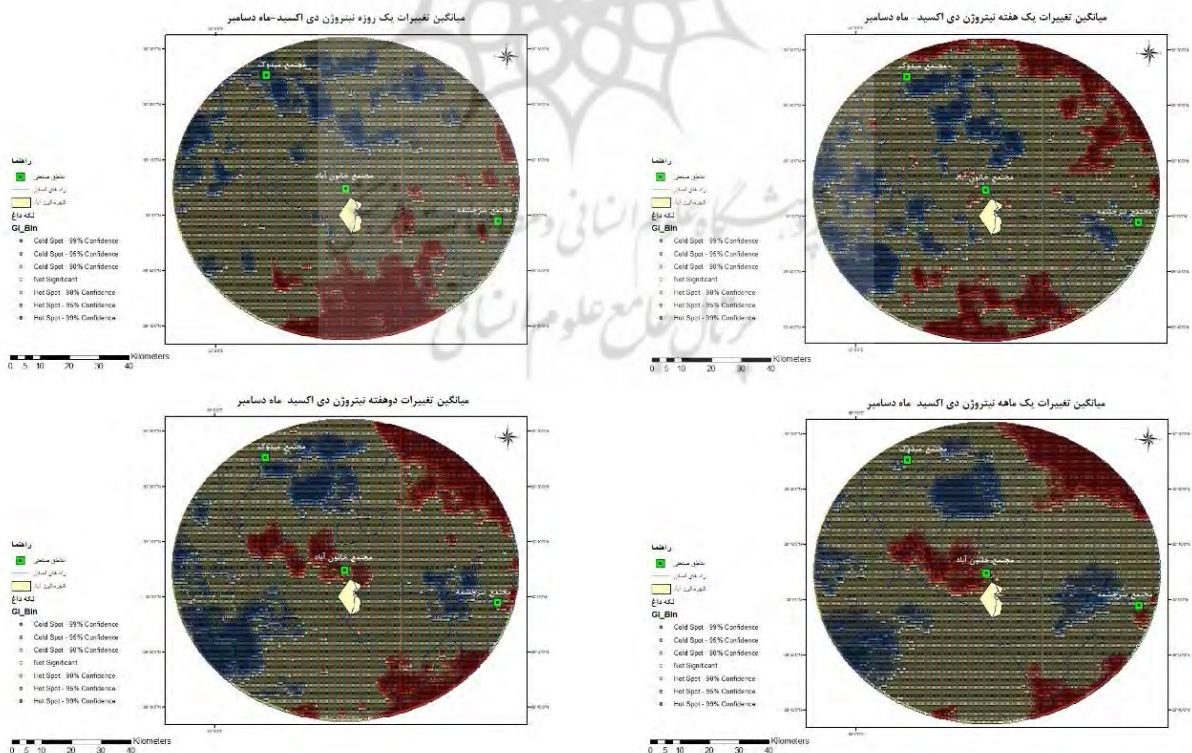
در نقشه‌های به‌دست آمده از تحلیل لکه داغ در بازه زمانی دوماهه از ماه دسامبر نیز لکه داغ در نزدیکی کارخانه قرار دارد، اما در تصاویر سه‌ماهه و شش‌ماهه و یک‌ساله احتمالاً به دلیل وزش باد به ترتیب لکه داغ به سمت شمال غرب کارخانه حرکت نموده و از این محل دور شده است (نگاره ۱۹).

نتایج نقشه‌های حاصل از تحلیل لکه داغ انجام شده بر روی تصاویر به‌دست آمده از ماه ژوئن نشان می‌دهند که

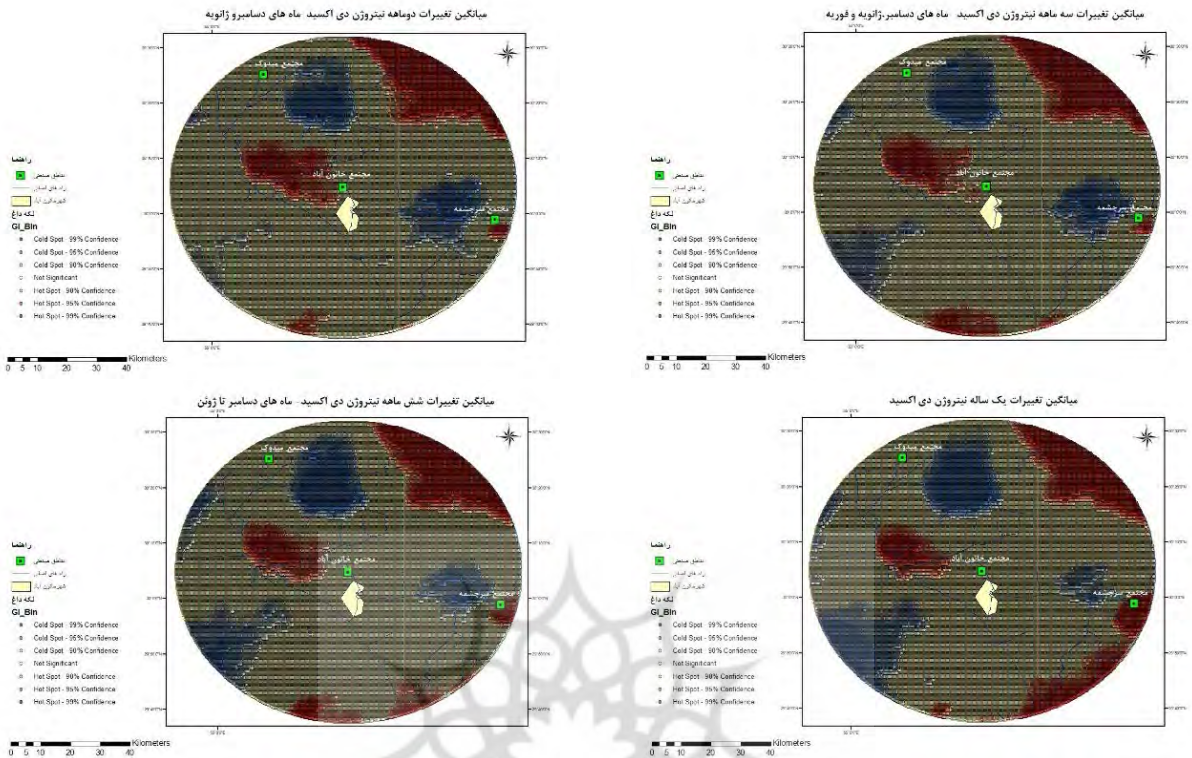


نگاره ۱۷: نقشه تغییرات لکه داغ دی‌اکسید نیتروژن برای منطقه مطالعاتی در بازه زمانی سی ماهه

تحلیل لکه داغ بر روی تصاویر یک‌روزه، یک‌هفته، دوهفته و یک‌ماهه انجام شد. نتایج نشان داد که در تحلیل لکه داغ تصویر یک‌روزه نقاط سرد به صورت لکه‌های پراکنده در شمال منطقه و نقاط گرم نیز به صورت پراکنده در جنوب محدوده مشاهده می‌شود. تصویر یک‌هفته



نگاره ۱۸: نقشه تغییرات لکه داغ دی‌اکسید نیتروژن برای منطقه مطالعاتی در بازه‌های یک‌روزه، یک‌هفته، دوهفته و یک‌ماهه در دسامبر



نگاره ۱۹: نقشه تغییرات لکه داغ دی اکسید نیتروژن برای منطقه مطالعاتی در بازه‌های دوماهه، سه‌ماهه، شش‌ماهه و یک‌ساله در ماه‌های سرد سال

شدت انرژی خورشید و رطوبت می‌توانند بر مقدار غلظت آلاینده‌ها در جو تأثیرگذار باشند. بر اساس تحقیقات اکتان و بوتسالی<sup>۳</sup> در سال ۲۰۱۷ میزان تأثیرگذاری درجه حرارت و رطوبت هوا بیش از سایر پارامترها است. همچنین مطالعه‌ای در ارزیابی کیفیت هوای شانگ‌های در چین خصوصاً در مقدار غلظت SO<sub>2</sub>، تأثیرگذاری پارامترهای درجه حرارت، رطوبت هوا و سرعت باد به اثبات رسیده است. هر چند که توجه این مسئله پیچیده می‌باشد، اما نتایج حاصل از تحقیقات نشان‌دهنده این است که افزایش درجه حرارت خصوصاً در فصل تابستان باعث افزایش جریان‌های همرفتی عمودی هوا در جو شده و سبب می‌شود لایه‌های دخیل در وارونگی هوا به سرعت از بین رفته و آلاینده‌ها در جو پراکنده شوند (وو، و همکاران، ۲۰۲۲ و ژائو و همکاران، ۲۰۰۴).

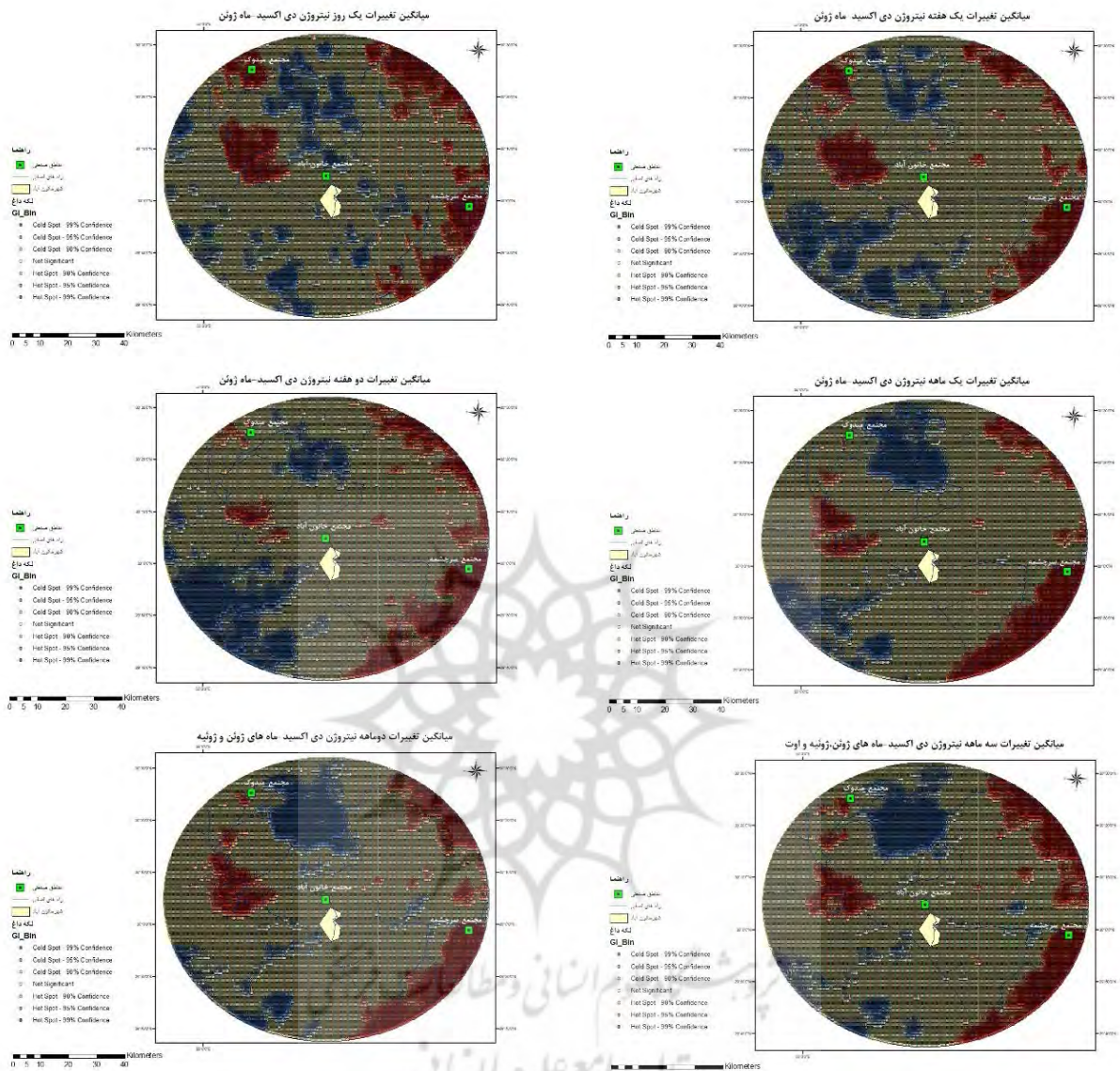
تصویر یک‌روزه از ماه ژوئن نسبت به تصویر یک‌روزه از ماه دسامبر (نگاره ۱۸) از پراکندگی کمتری برخوردار است. به‌طور کلی تصاویر مربوط به ماه ژوئن در محدوده اطراف کارخانه مورد مطالعه هیچگونه لکه سرد و لکه گرمی نشان نمی‌دهند (نگاره ۲۰).

نتایج این تحقیق مانند سایر مطالعات ورقی لینوا و همکاران (۲۰۲۰)، ساونتز<sup>۲</sup> (۲۰۲۱)، عیسی‌زاده و همکاران (۱۳۹۹)، قنبری و همکاران (۱۴۰۰) و قنادی و همکاران (۱۴۰۱) مؤید کاربردی بودن تصاویر سنتینل 5P در بررسی آلودگی هوا در مناطق صنعتی می‌باشد. اما در تحقیق حاضر میزان کاربردی بودن داده‌های ماهواره سنتینل 5P در بازه‌های زمانی متفاوت در فصول سرد و گرم سال نیز مورد بررسی قرار گرفته است. پارامترهای اقلیمی متعددی مانند سرعت باد، جهت باد، درجه حرارت، فشار هوا، باران، مقدار و

3- Aktan and Botsali  
4- Wu  
5- Zhao

1- Virghileanu  
2- Savenets





نگاره ۲۰: نقشه تغییرات لکه داغ دی اکسید نیتروژن برای منطقه مطالعاتی در بازه های یک روزه، یک هفته، دو هفته، یک ماه، دو ماهه و سه ماهه در ماه های گرم سال

#### ۴- نتیجه گیری

دی اکسید سولفور در محدوده مورد مطالعه اینگونه استنباط می شود که در ماه های سرد سال مقدار دی اکسید سولفور بیشتری نسبت به ماه های گرم سال مشاهده می شود و در ماه های سرد سال غلظت دی اکسید سولفور از دامنه تغییرات بیشتری نسبت به ماه های گرم سال برخوردار است. همچنین بررسی این تصاویر نتیجه می دهد که بازه های زمانی کوتاه مدت مانند روزانه، هفتگی و دو هفته ای و حتی

نتایج به دست آمده از طبقه بندی تصاویر مربوط به گاز دی اکسید سولفور نشان می دهد مقدار غلظت گاز دی اکسید سولفور در محدوده اطراف کارخانه مورد نظر از بالاترین مقدار غلظت برخوردار بوده است و با افزایش فاصله از کارخانه مقدار غلظت دی اکسید سولفور کاهش می یابد. همچنین با توجه به مقدار حداقل و حداکثر غلظت



## فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی ( ۳۳ )

بررسی میزان تغییرات غلظت گازهای دی‌اکسید سولفور و دی‌اکسید نیتروژن موجود در ... / ۲۵

مشاهده می‌شود. همچنین تصاویر مربوط به ماه ژوئن در محدوده اطراف کارخانه مورد مطالعه روند مشابهی را نمایان می‌سازد.

نتایج حاصل از تحلیل لکه داغ تصاویر مربوط به دی‌اکسید سولفور نیز نشانگر مقدار زیاد غلظت این گاز در محدوده اطراف کارخانه است و تصاویر سنتینل 5P با بازه‌های زمانی یک ماهه و طولانی‌تر قادر به ارائه اطلاعات دقیق‌تر و منطقی‌تر در مورد میزان غلظت گاز دی‌اکسید سولفور می‌باشند. با توجه به نتایج به دست آمده فعالیت کارخانه مورد مطالعه می‌تواند دلیلی بر افزایش میزان غلظت گاز دی‌اکسید سولفور در این منطقه باشد که شعاع حدود ۴ تا ۶ کیلومتری و مساحت حدود ۱۰۷۰۰ هکتار در اطراف کارخانه را تحت تأثیر قرار داده است.

بنابراین، نتایج این تحقیق می‌تواند کارشناسان محیط زیست و محققین را در استفاده و تفسیر بهتر از داده‌های ماهواره سنتینل ۵ پی (Sentinel 5P) در ارزیابی آلودگی هوا در مناطق صنعتی در بازه‌های زمانی متفاوت با درک بهتری از میزان پراکنش هر گاز در فصول گرم و سرد سال یاری رساند.

یک‌ماهه پراکندگی غلظت دی‌اکسید سولفور در این بازه‌های زمانی زیاد می‌باشد. در نتیجه تصاویر سنتینل 5P در بازه‌های زمانی روزانه، هفتگی و دو هفته‌ای و یک‌ماهه قادر به ارائه اطلاعات منطقی و دقیقی در مورد پراکنش غلظت دی‌اکسید سولفور جو نیستند. برای دستیابی به اطلاعات دقیق و منطقی باید از تصاویر با بازه‌های زمانی طولانی‌تر از یک ماه استفاده شود و هرچه مدت بازه زمانی بیشتر شود اطلاعات به دست آمده قابل اعتمادتر هستند.

نتایج به دست آمده از طبقه‌بندی تصاویر مربوط به گاز دی‌اکسید نیتروژن نشان می‌دهد که مقدار غلظت دی‌اکسید نیتروژن در محدوده اطراف کارخانه از حد بالاتری برخوردار است. با توجه به مقدار حداقل و حداکثر غلظت این گاز در محدوده مطالعاتی اینگونه برداشت می‌شود که در ماه‌های گرم سال میزان غلظت گاز دی‌اکسید نیتروژن نسبت به ماه‌های سرد سال بیشتر است. با توجه به پخش شدن سریع گاز دی‌اکسید نیتروژن در جو توسط باد به دلیل دینامیک بالای این گاز (ورمی‌لینو' و همکاران، ۲۰۲۰) می‌توان گفت تصاویر به دست آمده از بازه‌های زمانی دو هفته‌ای تا یک‌ماهه اطلاعات بهتری در خصوص میزان غلظت دی‌اکسید نیتروژن موجود در اطراف کارخانه به دست می‌دهند. بر این اساس در بازه‌های زمانی دو هفته تا یک‌ماهه در ماه‌های سرد سال این گاز در اطراف کارخانه مورد نظر وجود دارد. اما در ماه‌های گرم سال این گاز به دلیل پویایی بالا و در اثر وزش باد از کارخانه فاصله گرفته و در فاصله دورتری از کارخانه مشاهده می‌شود.

نتایج حاصل از تحلیل لکه داغ تصاویر مربوط به گاز دی‌اکسید نیتروژن نشان می‌دهد که در بازه‌های زمانی دو هفته تا دو ماهه در ماه‌های سرد سال لکه نشانگر وجود گاز دی‌اکسید نیتروژن در جو مستقر در بالای کارخانه می‌باشد. اما در بازه‌های طولانی مدت مثل سه‌ماهه و شش‌ماهه و یک‌ساله و سی‌ماهه در ماه‌های سرد لکه داغ به سمت شمال غرب کارخانه و در فاصله دورتر از کارخانه

8- Aktan, M., and Botsali, A. R. (2017). Estimation of Winter Season Sulphur Dioxide Concentrations with an Artificial Neural Network Model. The Eurasia Proceedings of Science Technology Engineering and Mathematics, (1), 246-249.

9- Brauer, M., (2010) "How much, how long, what, and where: air pollution exposure assessment for epidemiologic studies of respiratory disease." Proceedings of the American Thoracic Society: 7(2): p. 111-115.

10- Chen, J., et al., (2013) "Research on geographical environment unit division based on the method of natural breaks (Jenks)". Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci: 3: p. 47-50.

11- Cohen, Aaron J., et al., (2017) "Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: an analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015". The Lancet: 389.10082: p.1907-1918.

12- Engel-Cox, J. A., et al., (2004) "Qualitative and quantitative evaluation of MODIS satellite sensor data for regional and urban scale air quality". Atmospheric environment: 38(16): p. 2495-2509.

13- Getis, A. and J.K. Ord. 1992. The Analysis of Spatial Association by Use of Distance Statistics. Geographical Analysis 24.3.

14- Ghahremanloo, M., et al., (2021) "Impact of the COVID-19 outbreak on air pollution levels in East Asia". Science of the Total Environment, 754: 142226.

15- Loyola, D. G., et al., (2018) "The operational cloud retrieval algorithms from TROPOMI on board Sentinel-5 Precursor". Atmospheric Measurement Techniques: 11(1): p.409-427.

16- Ord, J.K. and A. Getis. 1995. Local Spatial Autocorrelation Statistics: Distributional Issues and an Application. Geographical Analysis. 27.4.

17- Safarianzengir1 V., et al., (2020) "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: 13: p. 709-719.

18- Savenets, M., (2021) "Air pollution in Ukraine: a view from the Sentinel-5P satellite". Quarterly Journal

## ۵- منابع و مآخذ

۱- احراری، امیرحسین، (۱۳۹۸) موتور مجازی پردازش تصاویر ماهواره‌ای: چگونه کارهای چند ماه سنجش از دور را در چند روز انجام دهیم؟، انتشارات کلید آموزش، ۲۴۲ ص.

۲- شامی، س.، خوش لهجه آذر، م.، قربانی، ز.، مقیمی، آ.، ثابت قدم، س.، محمدزاده، ع.، (۱۳۹۵) بررسی میزان تغییرات آلاینده‌های هوا در دوره انتشار ویروس کووید-۱۹ در ایران با استفاده از اطلاعات ماهواره سنتینل ۵، نشریه علوم و فنون نقشه‌برداری: شماره ۳، صفحات ۱۳۵-۱۴۶.

۳- شجاعی باغینی، ن.، فلاحتکار، س.، (۱۳۹۸) پایش گازهای آلاینده هوا با استفاده از فناوری سنجش از دور ماهواره‌ای.

۴- عبدالمهی، ع.، (۱۳۸۸) نقش مورفولوژی شهری در تغییرات زمانی-مکانی آلودگی هوا و شناسایی جزایر گرمایی شهر اصفهان با استفاده از GIS و RS، وزارت علوم تحقیقات و فناوری.

۵- عیسی‌زاده، و.، آسیایی، ش.، (۱۳۹۹) مدل‌سازی تراکم غلظت آلاینده ازن و نیتروژن در جی آی اس و مقایسه این غلظت آلاینده با پروداکت سنتینل-۵ در سامانه گوگل ارث انجین (منطقه مورد مطالعه شهر تهران)، اولین کنفرانس بین‌المللی و دومین کنفرانس ملی فناوری‌ها و کاربردهای نوین ژئوماتیک، تبریز.

۶- قنادی، م.، شهری، م.، مرادی، ا. (۱۴۰۱) 'پایش آلودگی هوا با استفاده از تصاویر ماهواره سنتینل-۵ (مطالعه موردی: شهرهای بزرگ صنعتی ایران)'، فصلنامه علوم محیطی: ۲۰(۲).

۷- قنبری، و.، عیسی‌زاده، و.، (۱۴۰۰) مدل‌سازی تراکم غلظت آلاینده ازن و اکسید نیتروژن در جی آی اس و مقایسه این غلظت آلاینده‌ها با پروداکت سنتینل-۵ در سامانه گوگل ارث انجین - منطقه مورد مطالعه: شهر تهران، فصلنامه اطلاعات جغرافیایی.

of the Hungarian Meteorological Service: 125(2): p. 271-290

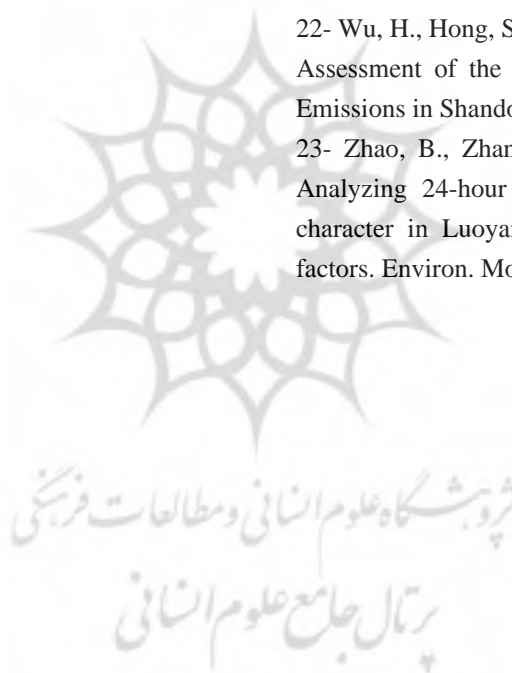
19- Soleimany, A., et al., (2021) "Application of satellite data and GIS services for studying air pollutants in Lithuania (case study: Kaunas city)". Air Quality, Atmosphere & Health: 14(3): p. 411-429.

20- Somvanshi, Shivangi Saxena, et al., (2019) "Delhi air pollution modeling using remote sensing technique". Handbook of environmental materials management: p. 1-27.

21- Vîrghileanu, M., et al., (2020) "Nitrogen Dioxide (NO<sub>2</sub>) Pollution monitoring with Sentinel-5P satellite imagery over Europe during the coronavirus pandemic outbreak". Remote Sensing: 12(21): p. 3575

22- Wu, H., Hong, S., Hu, M., Li, Y., & Yun, W. (2022). Assessment of the Factors Influencing Sulfur Dioxide Emissions in Shandong, China. Atmosphere, 13(1), 142.

23- Zhao, B., Zhang, J., Liu, X., & Chen, J. (2004). Analyzing 24-hour variation of atmosphere pollution character in Luoyang city and related meteorological factors. Environ. Monit. China, 20, 21-23.



---

## COPYRIGHTS

©2023 by the authors. Published by National Geographical Organization. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons [Attribution-NoDerivs 3.0 Unported \(CC BY-ND 3.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nd/3.0/)

---





پروہشگاہ علوم انسانی و مطالعات فرہنگی  
پرتال جامع علوم انسانی