

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^۲

نازنین حسن زاده^۱

مهدی هنرمند^۴

مهدیه حسینجانی زاده^۳

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 بازه‌ی 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 فراوری مس از آلاینده‌های صنعتی می‌باشند.

شاخص ارزیابی کیفیت هوا اغلب شامل ارزیابی میزان ذرات معلق، آلاینده‌های گازی شکل مانند دی‌اکسید نیتروژن (NO₂)، دی‌اکسید گوگرد (SO₂)، اوزون (O₃) 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 فلاح‌تکار، ۱۳۹۸). سنجش از دور به طور گسترده برای کاربردهای زیست محیطی 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^۱ 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^۲ 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^۳ و همکاران (۲۰۱۷) مطالعه‌ای در زمینه مدل‌سازی آلودگی هوا در دهلی با استفاده از روش سنجش

1- Soleimany

2- Engel-Coxa

3- Somvanshi

همه گیری ویروس کرونا به انجام رساندند. نتایج نشان دهنده کاهش قابل توجه آلودگی NO₂ در اروپا در طول قرنطینه COVID-19 بوده است که توسط شاخص تولید صنعتی و حجم ترافیک هوایی تأیید شده است.

قهرمانلو^۴ 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 منشأ بیماری به شمار می‌رفت به نسبت به سال ۲۰۱۸ طور چشمگیری کاهش یافته است. قنبری و همکاران (۱۴۰۰) مطالعه‌ای با عنوان "مدل سازی 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 مدل سازی تغییرات مکانی و زمانی غلظت آلاینده ازن و نیتروژن در کلان شهر تهران بوده است. نتایج نشان داد که مدل سازی مکانی آلاینده ازن و اکسید نیتروژن با سنتینل 5P در گوگل ارث انجین نتایج مطلوبی را به وجود آورده است.

عیسی زاده و همکاران (۱۳۹۹) نیز پژوهشی در زمینه مدل سازی 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 مدل سازی 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، مدل سازی، نقشه برداری و پیش بینی میزان آلودگی ذرات معلق PM₁₀ و PM_{2.5} استفاده کرد و همچنین داده‌های ماهواره‌ای ذکر شده برای تخمین کمی آلاینده‌های گازی مناسب است.

سفریانزنگیر^۱ و همکاران (۲۰۲۰) در پژوهشی با موضوع نظارت، تحلیل و منطقه بندی 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 مهم ترین منبع آلودگی هستند. اما با این حال آلاینده‌های تابستانی برای سلامتی انسان به مراتب خطرناک تر از آلاینده‌های زمستانی هستند.

ساوونتر^۲ (۲۰۲۱) در مطالعه‌ای با عنوان آلودگی هوا در اوکراین به بررسی ویژگی‌های توزیع فضایی و فصلی SO₂، NO₂ و CO با استفاده از داده‌های ماهواره Sentinel-5P پرداخته است. نتایج پژوهش وی نشان داد تفاوت‌هایی در تنوع فصلی NO₂ 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)، نشان دهنده تأثیر منفی رفت و آمد قایق‌های گردشگران در نزدیکی خط ساحلی و پارک طبیعی ملی Dzharlyhach است.

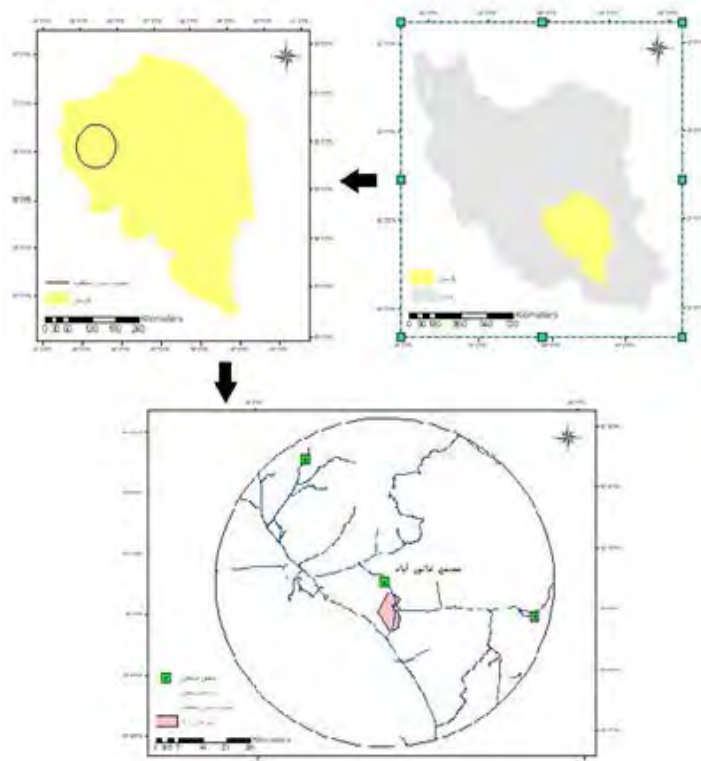
ورقی لنینو^۳ و همکاران (۲۰۲۰) پژوهشی با موضوع نظارت بر آلودگی دی اکسید نیتروژن (NO₂) با تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-5P بر فراز اروپا در طول شیوع

1- Safarianzengir

2- Savenets

3- Virghileanu

4- Ghahremanloo



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

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

در پژوهش حاضر توزیع زمانی و مکانی آلاینده‌های هوا موجود در شعاع ۵۰ کیلومتری کارخانه ذوب مس خاتون آباد 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 مس خاتون آباد 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

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

۲-۲-۱- داده‌های ماهواره سنتینل ۵P (Sentinel-5 Precursor)

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

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)
دی اکسید نیتروژن	NO2_column_number_density	Mol/m2	- ۰/۰۰۰۵۱	۰/۰۱۹۲	۱۱۱۳/۲
دی اکسید سولفور	SO2_column_number_density	Mol/m2	- ۰/۰۰۰۵۱	۰/۲۰۷۹	۱۱۱۳/۲

موجود در پایگاه داده را پردازش و نتایج مناسب را ارائه کند. با استفاده از سامانه گوگل ارث انجین می توان انواع پردازش های طیفی و رادیومتریکی را روی پدیده های مختلف سطح زمین با داده های ماهواره ای متفاوت از مقیاس محلی تا جهانی، با بهره وری از گوگل ارث انجین به انجام رساند. به طور دقیق تر می توان گفت این سامانه کاربر را قادر می کند برای داده هایی از توان تفکیک مکانی ۱۰ متر تا چند کیلومتر در مناطق مختلف و پدیده های مورد تحقیق در کره زمین پردازش های دقیقی را انجام بربساند. گوگل ارث انجین از انواع داده های ماهواره ای پرکاربرد به صورت رایگان پشتیبانی می کند. به علاوه هر کاربر می تواند داده های 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 دی اکسید سولفور و دی اکسید نیتروژن موجود در منطقه مورد مطالعه در سامانه گوگل ارث انجین انجام و اجرا شد. برای فراخوانی پروداکت های دی اکسید نیتروژن در بازه زمانی موردنظر از بین باندهای موجود در این پروداکت، باند NO2_column_number_density که حاوی اطلاعات دی اکسید نیتروژن بر اساس واحد mol/m2 است به کار گرفته شد و همچنین به منظور فراخوانی پروداکت سولفور دی اکسید ماهواره سنتینل ۵ از باند SO2_column_number_density استفاده شده است و نقشه های میانگین میزان آلودگی موجود در محدوده مورد نظر به دست آمد. سپس تصاویر برای انجام پردازش های بیشتر به نرم افزار ArcGIS 10.7 انتقال داده شدند.

می توان از بررسی ریزگردها، مونوکسیدکربن، دی اکسید نیتروژن، ازن، دی اکسید سولفور و ابرها نام برد. نظر به اینکه ماهواره های اقلیم شناسی کمابیش از توان تفکیک زمانی زیادی برخوردارند، داده های این ماهواره هر دو روز یک بار ارائه می شود. در این صورت، امکان پایش مناسب هر یک از پارامترهای اشاره شده را فراهم می آورد. همچنین، داده های ماهواره سنتینل 5P به صورت پروداکت های آماده از ماه جولای سال ۲۰۱۸ میلادی ارائه شده و به هیچ گونه تصحیح رادیومتریکی و هندسی و یا محاسبات خاصی نیاز ندارند (حراری، ۱۳۹۸). داده های مورد نیاز این تحقیق مربوط به میانگین دی اکسید سولفور و دی اکسید نیتروژن با استفاده از سامانه گوگل ارث انجین در محدوده ۵۰ کیلومتری از کارخانه مورد مطالعه و در بازه زمانی سی ماهه از تاریخ ۲۰۱۸/۰۷/۰۴ تا ۲۰۲۱/۱۲/۳۰ و همچنین در بازه های زمانی یک روزه، هفت روزه، چهارده روزه، یک ماهه، دوماهه، سه ماهه، شش ماهه، دوازده ماهه و سی ماهه از ماه دسامبر ۲۰۲۰ برای ارزیابی غلظت آلودگی در روزهای سرد سال و در بازه های زمانی مشابه از ماه ژوئن ۲۰۲۱ به منظور ارزیابی غلظت آلودگی در روز های گرم سال داندلود شده است (جدول ۱).

۲-۲-۲- سامانه گوگل ارث انجین^۱

در حال حاضر ابزارهای مبتنی بر سیستم های عامل محاسبات ابری^۲ برای پردازش داده های جغرافیایی در مقیاس بزرگ و بدون نیاز به تخصص فنی قابل توجهی طراحی شده اند، که GEE یکی از این پلتفرم ها می باشد که می تواند داده های

1- Google Earth Engine: GEE

2- Cloud computing operating systems

۳-۲- روش تحلیل اطلاعات

این صورت محاسبه می شود:

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

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

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

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 (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 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 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

۱-۳-۲- روش طبقه‌بندی شکست طبیعی^۱

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.

۲-۳-۲- روش تحلیل لکه داغ^۲

تحلیل لکه داغ از آماره گتیس-ارد جی‌آی^۳ با استفاده از تحلیل همسایگی در داده‌ها برای تعیین نواحی با غلظت بالا که نقاطی با نقاط با غلظت بالا، احاطه شده باشند (لکه داغ) و یا نواحی با غلظت پایین که نقاطی با نقاط 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 (سام)

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

شش ماهه و یک ساله میزان غلظت دی اکسید سولفور دارای پراکندگی کمتر نسبت به بازه های زمانی کوتاه مدت است و هرچه مدت زمان بازه بیشتر می شود تصاویر میزان پراکندگی گازی اکسید سولفور در محدوده مورد مطالعه را کمتر و تراکم گاز در مناطق آلوده را بهتر نشان می دهد. از این رو نتایج به دست آمده حاکی از این است که تصاویر سنتینل 5P با بازه های زمانی طولانی تر از دو ماهه قادر به ارائه اطلاعات دقیق تر و منطقی تر در مورد میزان غلظت گاز دی اکسید سولفور در ماه های سرد سال می باشند (نگاره ۴).

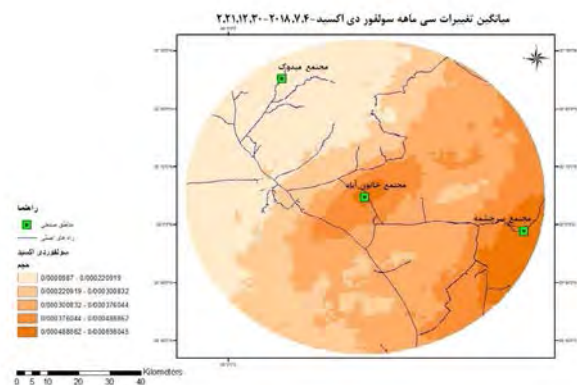
این پردازش ها همچنین بر روی تصاویر به دست آمده در بازه های زمانی یک روزه، هفت روزه، چهارده روزه، یک ماهه، دو ماهه و سه ماهه برای ماه ژوئن به منظور بررسی میزان غلظت و پراکندگی آلودگی در روزهای گرم سال انجام گرفت. تصاویر به دست آمده از ماه های گرم با تصاویر با بازه زمانی مشابه با آن ها از ماه های سرد سال با هم مقایسه شدند. این مقایسه نشان می دهد که تصاویر با بازه های کوتاه مدت مربوط به ماه های گرم سال بهتر می توانند تراکم آلودگی را در مناطق آلوده نشان دهند. برای مثال تصویر یک روزه از ماه دسامبر پراکندگی بسیار زیادی را نشان می دهد در صورتی که تصویر یک روزه از ماه ژوئن پراکندگی کمتر و تراکم بیشتری از دی اکسید سولفور را در مناطق آلوده نشان می دهد. همچنین تصاویر یک هفته، دوهفته و یک ماهه از ماه دسامبر نیز پراکندگی بسیار زیادتری را در مقایسه با تصاویر در همین بازه های زمانی از ماه ژوئن نشان می دهد (نگاره ۵).

مقایسه تصاویر دو ماهه و سه ماهه ماه های سرد و ماه های گرم سال نیز صورت گرفت و نتایج تقریباً مشابهی را به دست داد. به عبارت دیگر میزان پراکندگی گاز دی اکسید سولفور در تصویر دو ماهه تابستان (نگاره ۶) با میزان پراکندگی این گاز در تصویر دو ماهه زمستان (نگاره ۴) تقریباً یکسان هستند.

به شرح ذیل هستند:

۱-۳- نتایج حاصل از طبقه بندی تصاویر برای دی اکسید سولفور (SO₂)

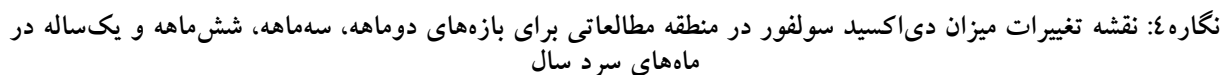
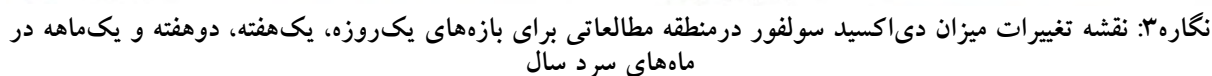
نتایج حاصل از پردازش های انجام شده بر روی تصویر به دست آمده از بازه های زمانی سی ماهه نشان می دهد که حداقل مقدار غلظت گاز دی اکسید سولفور در محدوده مورد مطالعه در این بازه زمانی $0.0000987 \text{ mol/m}^2$ و حداکثر مقدار غلظت آن $0.000698045 \text{ mol/m}^2$ می باشد که محدوده اطراف کارخانه مورد نظر از بالاترین مقدار غلظت ممکن برخوردار بوده است و با افزایش فاصله از کارخانه مقدار غلظت دی اکسید سولفور کاهش می یابد (نگاره ۲).



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

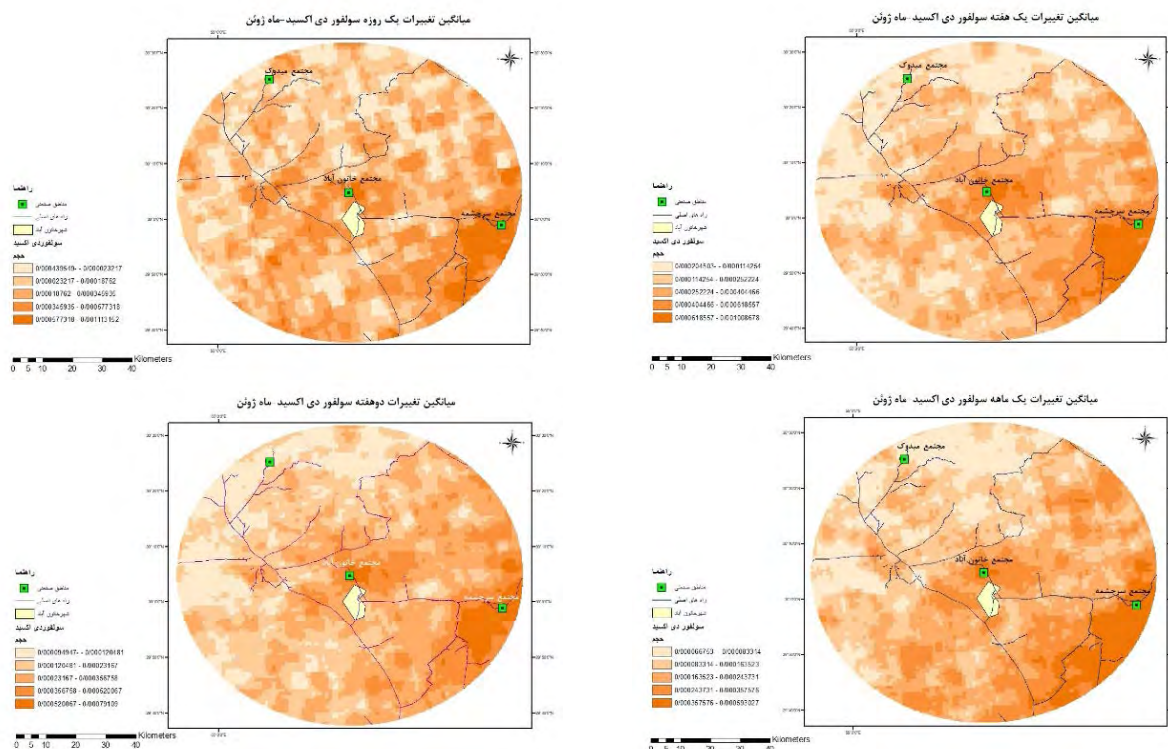
میانگین غلظت گاز دی اکسید سولفور موجود در محدوده مورد مطالعه در بازه های زمانی مورد نظر برای ماه های سرد و ماه های گرم سال مورد پردازش قرار گرفته است. در واقع بررسی های انجام شده و مقایسه مقادیر به دست آمده از تصاویر مربوط به ماه های سرد سال نشان دهنده این است که بازه های زمانی کوتاه مدت مانند روزانه، هفتگی، دو هفته ای و حتی یک ماهه پراکندگی زیادی دارند. در نتیجه تصاویر سنتینل 5P در این بازه های زمانی قادر به ارائه اطلاعات منطقی و دقیقی در مورد غلظت دی اکسید سولفور هوا در ماه های سرد سال نیستند (نگاره ۳).

در داده های به دست آمده از بازه های زمانی دو ماهه، سه ماهه،

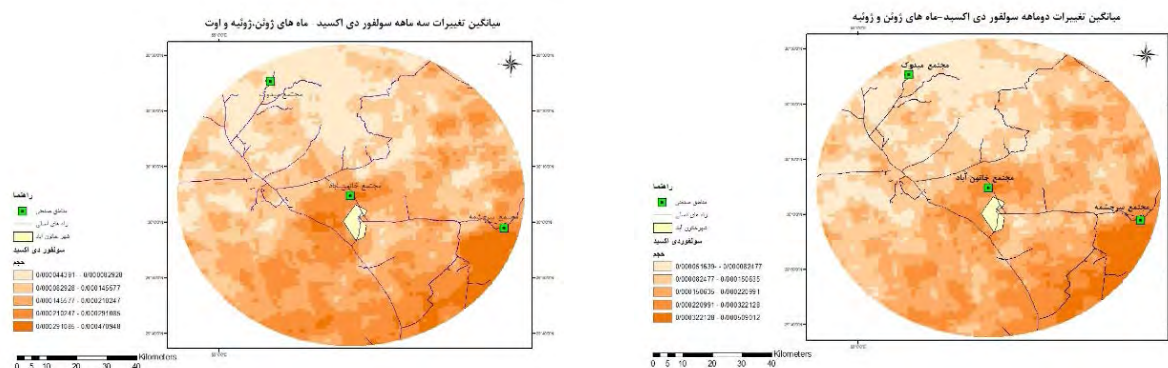


فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سامانه)

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 بازه‌های یک‌روزه، یک‌هفته، دو هفته و یک‌ماهه در ماه‌های گرم سال



نگاره ۶: نقشه تغییرات میزان دی اکسید سولفور در منطقه مطالعاتی برای بازه‌های دوماه و سه‌ماهه در ماه‌های گرم سال

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

۳-۲- نتایج حاصل از تحلیل لکه‌های گاز دی اکسید سولفور (SO_2)

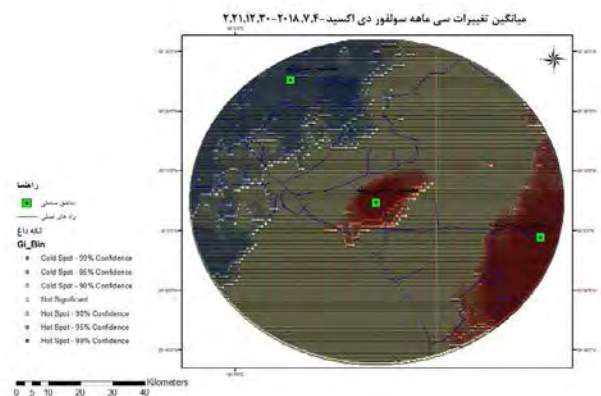
با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS تحلیل لکه‌های داغ نیز بر روی تمام تصاویر به‌دست آمده از بازه‌های زمانی مختلف انجام گرفت. نتایج حاصل از تحلیل لکه‌های داغ انجام شده بر روی تصویر به‌دست آمده از بازه‌ی زمانی سی‌ماهه مناطق حضور لکه‌های متراکم گاز دی اکسید سولفور را نمایش می‌دهد. نقاط قرمز

نیز برای تفسیر دقیق مقدار غلظت گاز دی اکسید سولفور در یک منطقه پیشنهاد نمی شوند (نگاره ۸).

در نقشه های به دست آمده از تحلیل لکه داغ در بازه های زمانی دوماهه، سه ماهه، شش ماهه و یک ساله لکه ها دارای پراکندگی کمتر و تراکم بیشتری نسبت به بازه های زمانی کوتاه مدت هستند و هرچه مدت زمان بازه بیشتر می شود خوشه بندی لکه داغ و سرد که مؤید وجود یا عدم وجود گاز دی اکسید سولفور در منطقه است، با وضوح بیشتری نمایان می شود. برای مثال در نقشه به دست آمده در بازه زمانی یک ساله لکه های داغ به طور دقیق در محدوده اطراف کارخانه مشاهده می شوند. از این رو نتایج به دست آمده حاکی از این است که انجام تحلیل لکه داغ بر روی تصاویر سنتینل 5P با بازه های زمانی طولانی تر از دو ماهه قادر به ارائه اطلاعات دقیق تر و منطقی تر در مورد میزان غلظت گاز دی اکسید سولفور در ماه های سرد سال می باشند (نگاره ۹).

تحلیل لکه داغ همچنین بر روی تصاویر به دست آمده در بازه های زمانی یک روزه، هفت روزه، چهارده روزه، یک ماهه، دوماهه، سه ماهه برای ماه ژوئن به منظور بررسی میزان غلظت و پراکندگی آلودگی در روزهای گرم سال انجام گرفت. سپس نقشه های به دست آمده از ماه های گرم با نقشه های با بازه زمانی مشابه با آن ها از ماه های سرد سال با هم مقایسه شدند. این مقایسه نشان می دهد که در نقشه های حاصل از بازه های کوتاه مدت مربوط به ماه های گرم سال، تراکم لکه داغ در مناطق مستعد برای وجود گاز دی اکسید سولفور بیشتر مشاهده می شود. برای مثال در تصویر یک روزه از ماه دسامبر (نگاره ۸) پراکندگی بسیار زیاد دیده می شود در صورتی که تصویر یک روزه از ماه ژوئن (نگاره ۱۰) پراکندگی کمتر و تراکم بیشتری از لکه داغ را در مناطق آلوده نشان می دهد. همچنین در نقشه های یک هفته، دوهفته و یک ماهه از ماه دسامبر (نگاره ۸) نیز لکه های داغ و لکه های سرد پراکندگی بسیار زیادتری را در مقایسه با نقشه های مشابه در همین بازه های زمانی از ماه ژوئن نشان می دهد (نگاره ۱۰).

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

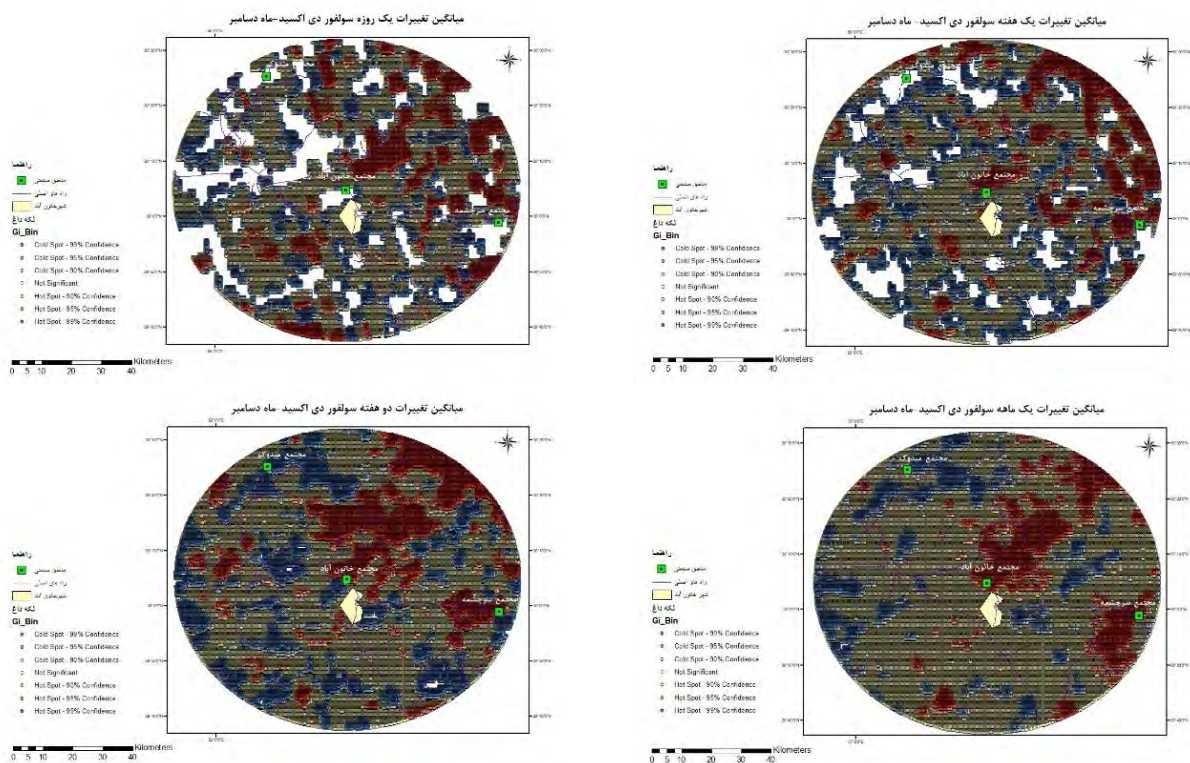


نگاره ۷: نقشه تغییرات لکه داغ دی اکسید سولفور برای منطقه مطالعاتی در بازه زمانی سی ماهه

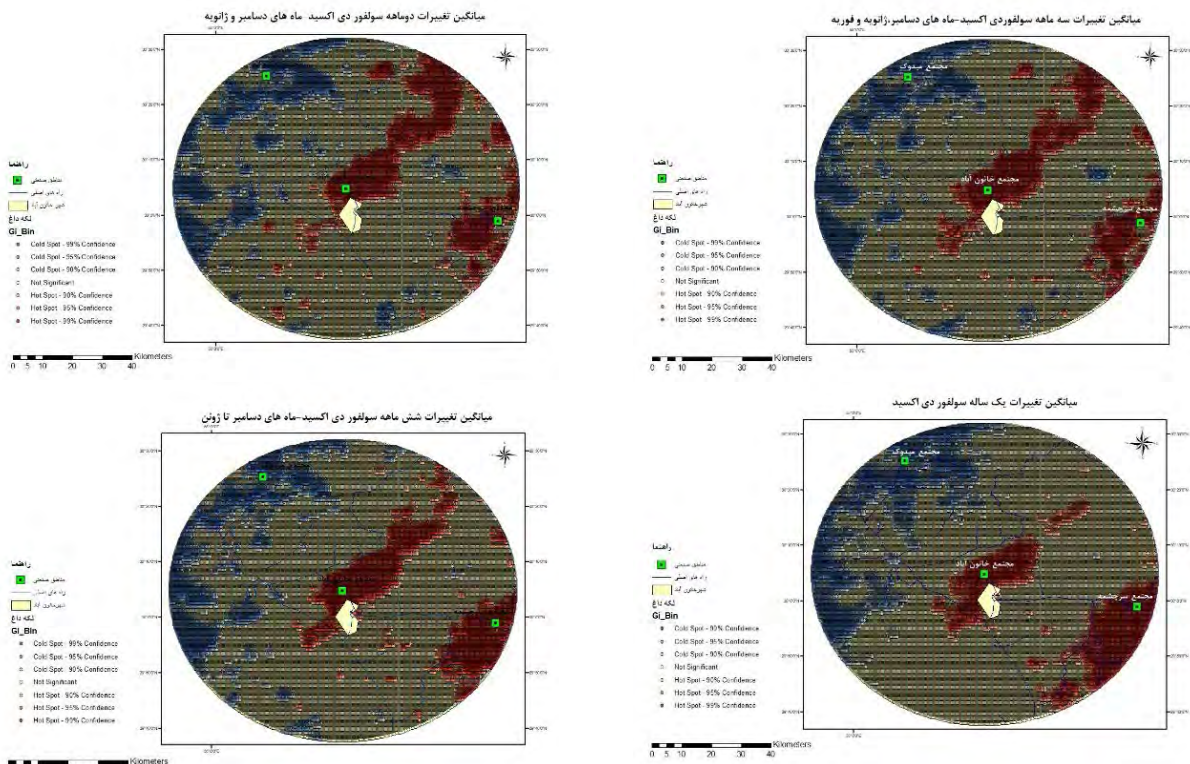
بررسی نقشه های به دست آمده از انجام تحلیل لکه داغ بر روی تصاویر با بازه های یک روزه، یک هفته، دوهفته و یک ماهه در ماه دسامبر نشان می دهد که تصاویر یک روزه و یک هفته نقاط سرد و نقاط داغ را به صورت لکه های بسیار پراکنده نمایش می دهند، اما در عین پراکندگی در این بازه ها تراکم لکه داغ در بخش های جنوب شرقی و شمال شرقی محدوده بیشتر است. با این وجود، تصاویر دوهفته و یک ماهه تراکم بیشتری را نشان می دهند. در این تصاویر نیز تراکم لکه داغ در قسمت های جنوب شرقی و شمال شرقی محدوده بیشتر است که این نشانگر وجود مقدار زیاد گاز دی اکسید سولفور در این مناطق می باشد. این نکته حائز اهمیت است که نقشه های به دست آمده از تحلیل لکه داغ در این بازه های زمانی در ماه دسامبر در مقایسه با نقشه های به دست آمده از طبقه بندی در همین بازه ها، اطلاعات بیشتری در رابطه با میزان غلظت دی اکسید سولفور در منطقه به دست می دهند، اما به طور کلی این بازه های زمانی

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سج)

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

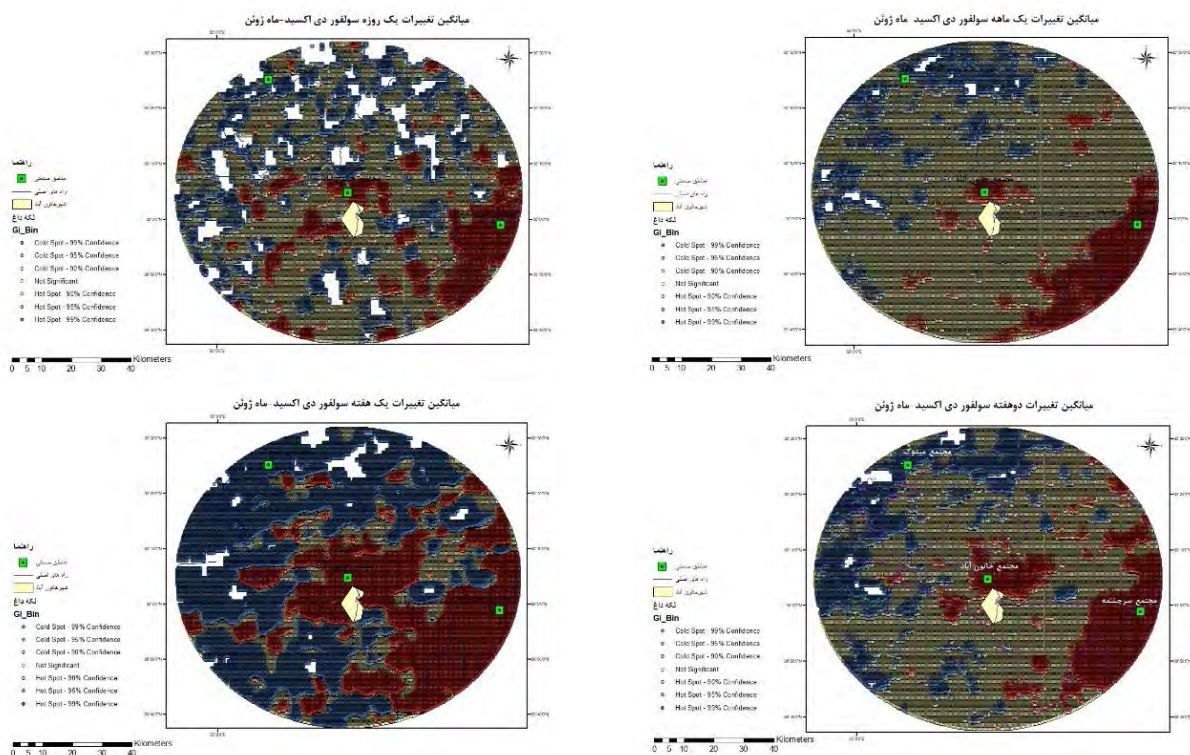


نگاره ۸: نقشه تغییرات لکه داغ دی اکسید سولفور برای منطقه مطالعاتی در بازه‌های یک‌روزه، یک‌هفته، دو هفته و یک‌ماهه در ماه دسامبر

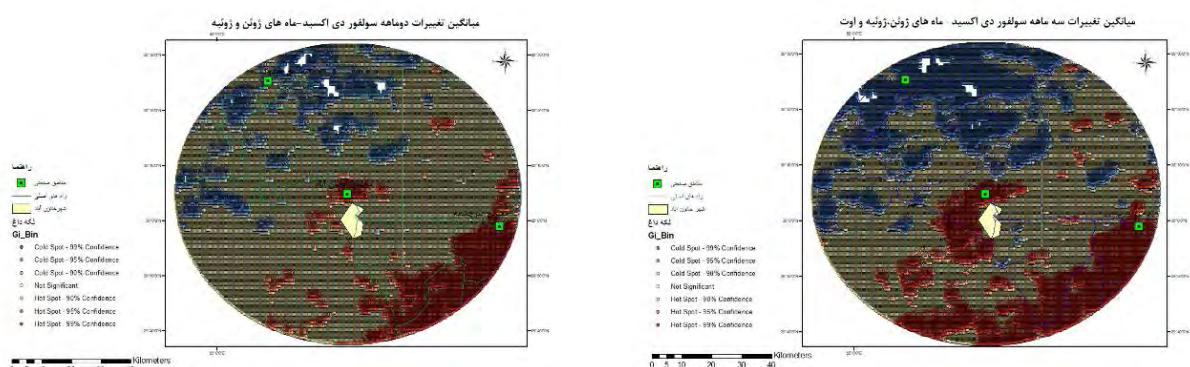


نگاره ۹: نقشه تغییرات لکه داغ دی اکسید سولفور برای منطقه مطالعاتی در بازه‌های دوماهه، سه‌ماهه، شش‌ماهه و یک‌ساله در ماه ژانویه و فوریه

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



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



نگاره ۱۱: نقشه تغییرات لکه داغ دی اکسید سولفور در منطقه مطالعاتی برای بازه‌های دوماهه و سه‌ماهه در ماه ژوئن

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سامانه)

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

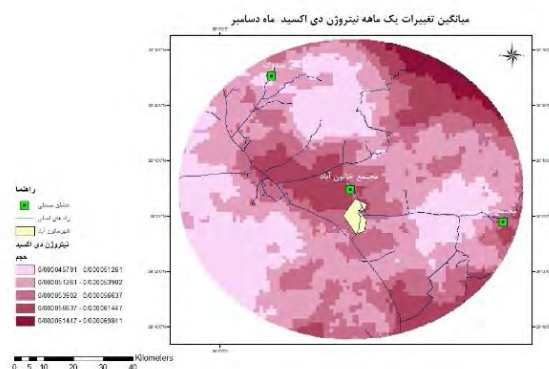
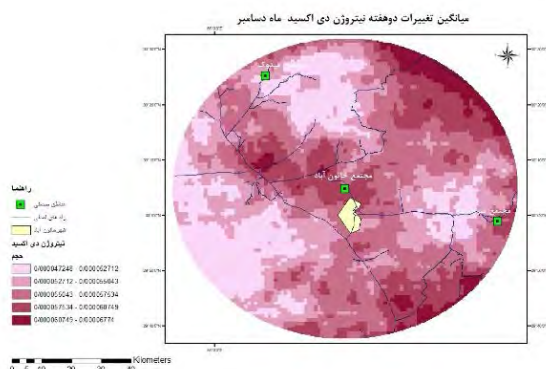
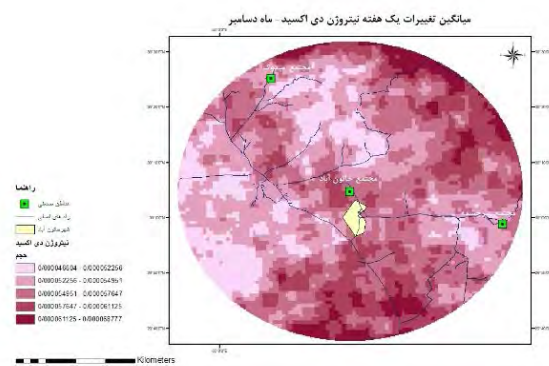
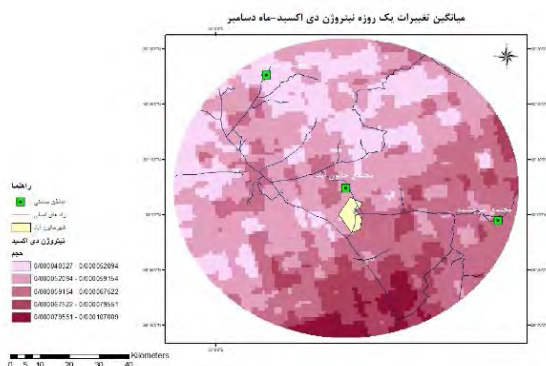
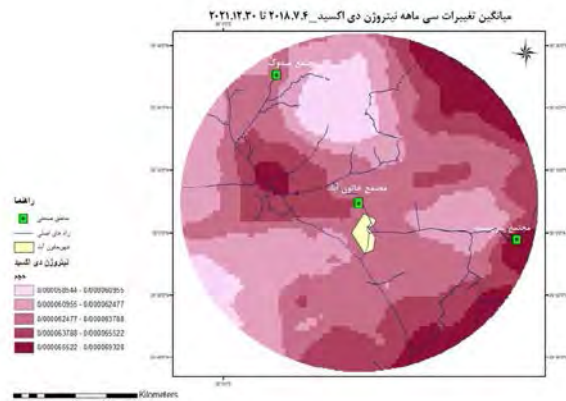
زیاد گاز نیتروژن دی اکسید در اطراف کارخانه هستند (نگاره ۱۳).

۳-۳- نتایج حاصل از طبقه بندی تصاویر نیتروژن دی اکسید

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

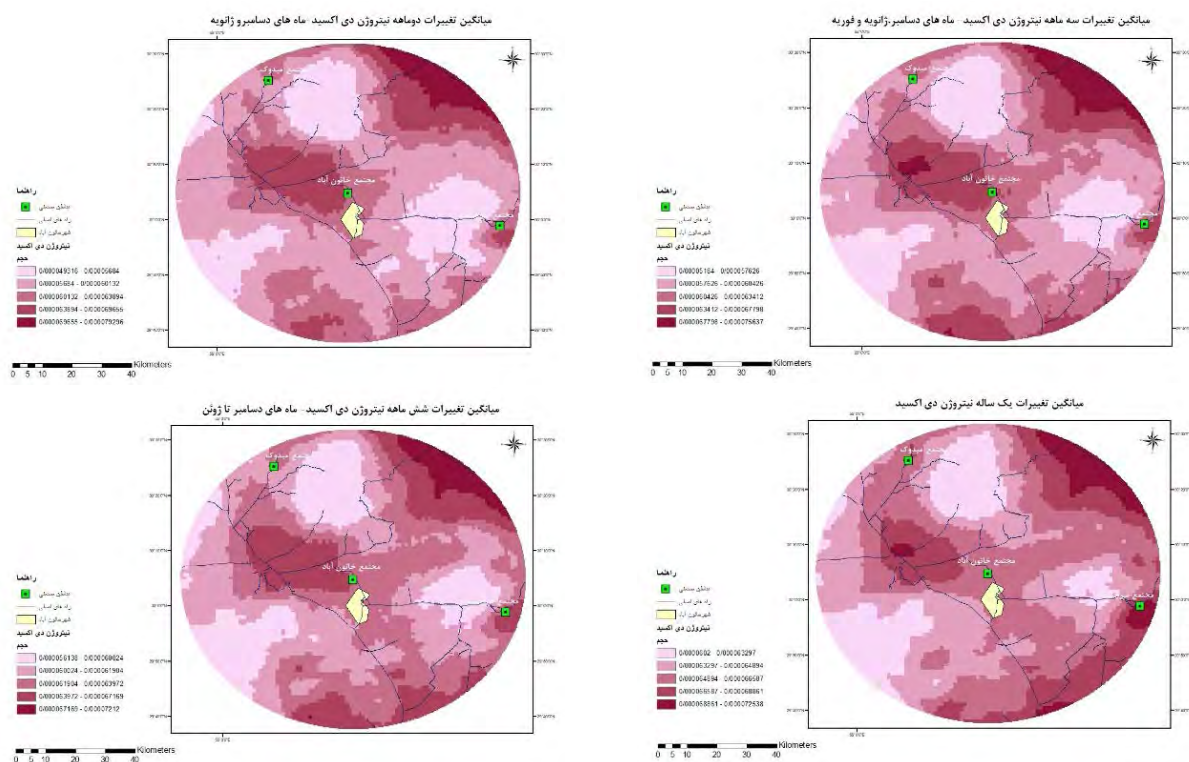
نگاره ۱۲: نقشه تغییرات میزان دی اکسید نیتروژن در منطقه مطالعاتی برای بازه زمانی ۲۰۱۸،۰۷،۰۴ تا ۲۰۲۰،۱۲،۳۰



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

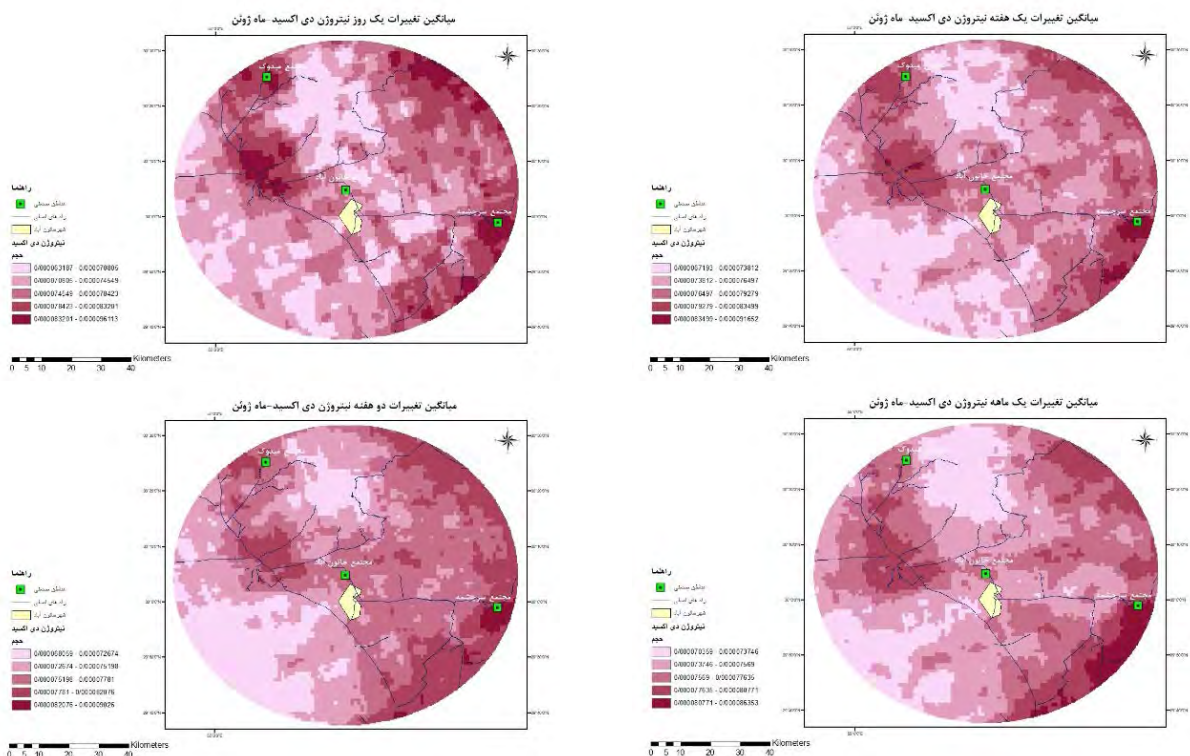
داد. به عبارت دیگر میزان پراکندگی گاز دی اکسید نیتروژن در تصاویر ماه‌های گرم سال با میزان پراکندگی این گاز در تصاویر ماه‌های سرد سال تقریباً یکسان است (نگاره ۱۵). مقایسه تصاویر دوماهه و سه‌ماهه ماه‌های سرد و ماه‌های گرم سال نیز صورت گرفت. نتایج این مقایسه نشان داد که در تصاویر دوماهه و سه‌ماهه ماه‌های 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 دوماهه، سه‌ماهه، شش‌ماهه و یک‌ساله 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 دوماهه، سه‌ماهه و شش‌ماهه نشان‌دهنده خوشه‌های آلودگی با غلظت بالا در اطراف کارخانه هستند (نگاره ۱۴). مقایسه تصاویر یک‌روزه، هفت‌روزه، چهارده‌روزه و یک‌ماهه ماه ژوئن با تصاویر حاصل از همین بازه‌های زمانی در ماه دسامبر (نگاره ۱۳) نتایج تقریباً مشابهی را به دست

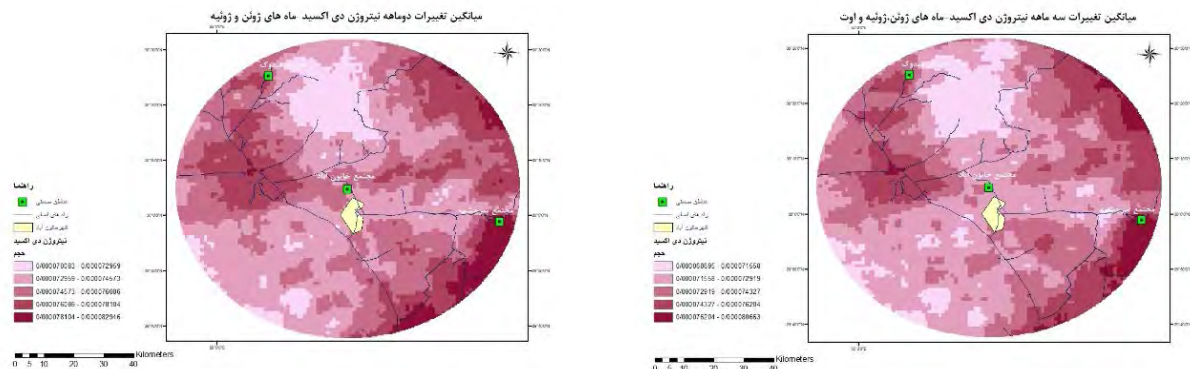


نگاره ۱۴: نقشه تغییرات میزان دی اکسید نیتروژن در منطقه مطالعاتی برای بازه‌های دوماهه، سه‌ماهه، شش‌ماهه و یک‌ساله در ماه‌های سرد سال

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



نگاره ۱۵: نقشه تغییرات میزان دی اکسید نیتروژن در منطقه مطالعاتی برای بازه‌های یک‌روزه، یک‌هفته، دوهفته و یک‌ماهه در ماه‌های گرم سال



نگاره ۱۶: نقشه تغییرات میزان دی اکسید 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).

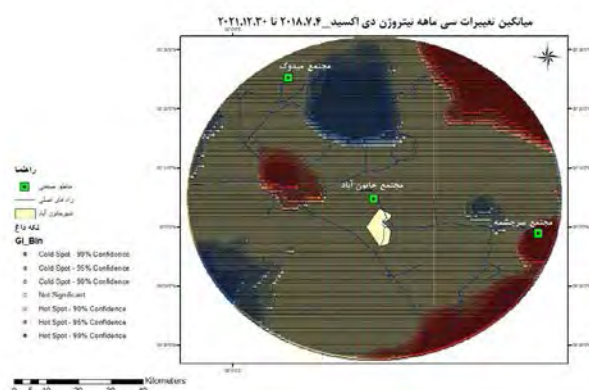
۳-۴- نتایج حاصل از تحلیل لکه داغ دی اکسید نیتروژن

نتایج حاصل از تحلیل لکه داغ انجام شده بر روی تصویر به دست آمده از بازه‌ی زمانی سی ماهه، به وضوح خوشه‌های مؤید حضور لکه‌های متراکم گاز دی اکسید 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 دی اکسید نیتروژن در این منطقه می‌باشد (نگاره ۱۸). این نکته نشان‌دهنده امکان استفاده از داده‌های با بازه بیشتر از دو هفته برای تحلیل وجود دی اکسید نیتروژن در جو مناطق صنعتی است.

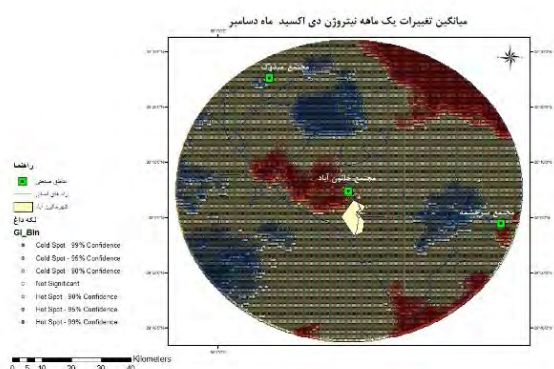
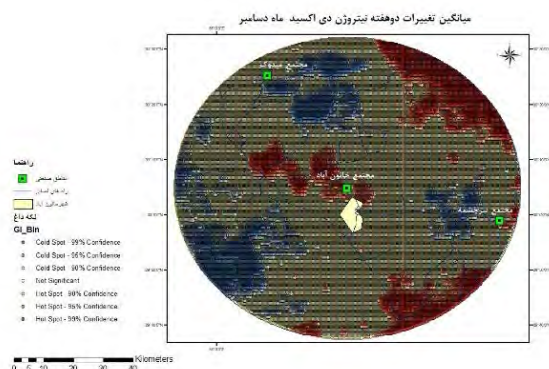
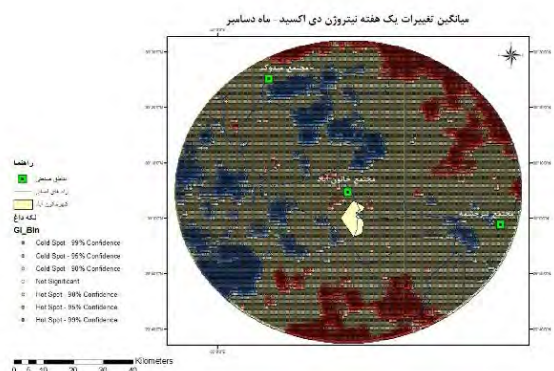
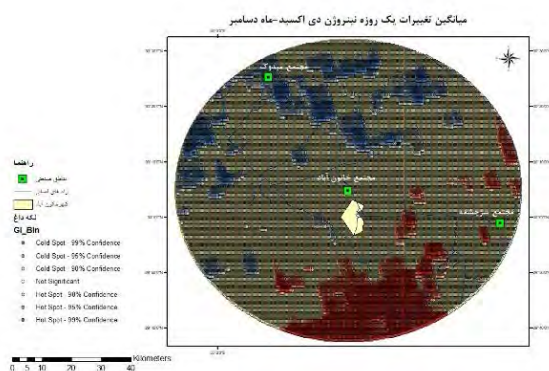
در نقشه‌های به‌دست آمده از تحلیل لکه داغ در بازه زمانی دوماهه از ماه دسامبر نیز لکه داغ در نزدیکی کارخانه قرار دارد، اما در تصاویر سه‌ماهه و شش‌ماهه و یک‌ساله احتمالاً به دلیل وزش باد به ترتیب لکه داغ به سمت شمال غرب کارخانه حرکت نموده و از این محل دور شده است (نگاره ۱۹).

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 دی اکسید نیتروژن برای منطقه مطالعاتی در بازه زمانی سی ماهه

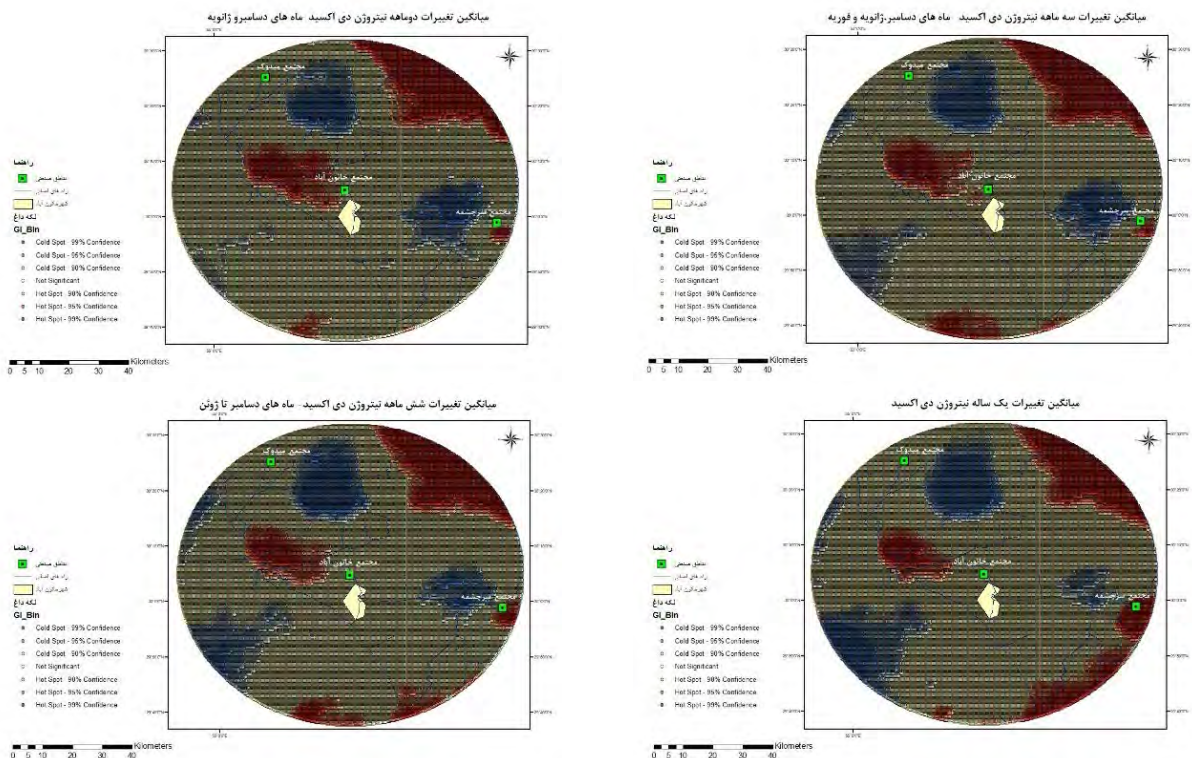
تحلیل لکه داغ بر روی تصاویر یک‌روزه، یک‌هفته، دوهفته و یک‌ماهه انجام شد. نتایج نشان داد که در تحلیل لکه داغ تصویر یک‌روزه نقاط سرد به صورت لکه‌های پراکنده در شمال منطقه و نقاط گرم نیز به صورت لکه‌های پراکنده در جنوب محدوده مشاهده می‌شود. تصویر یک‌هفته



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

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (س)

بررسی میزان تغییرات غلظت گازهای دی اکسید سولفور و دی اکسید نیتروژن موجود در ... / ۲۳



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^۳ در سال ۲۰۱۷ میزان تأثیرگذاری درجه حرارت و رطوبت هوا بیش از سایر پارامترها است. همچنین در مطالعه‌ای در ارزیابی کیفیت هوای شانگ‌های در چین خصوصاً در مقدار غلظت SO_2 ، 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 جریانات 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 لینو^۱ و همکاران (۲۰۲۰)، ساونتز^۲ (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

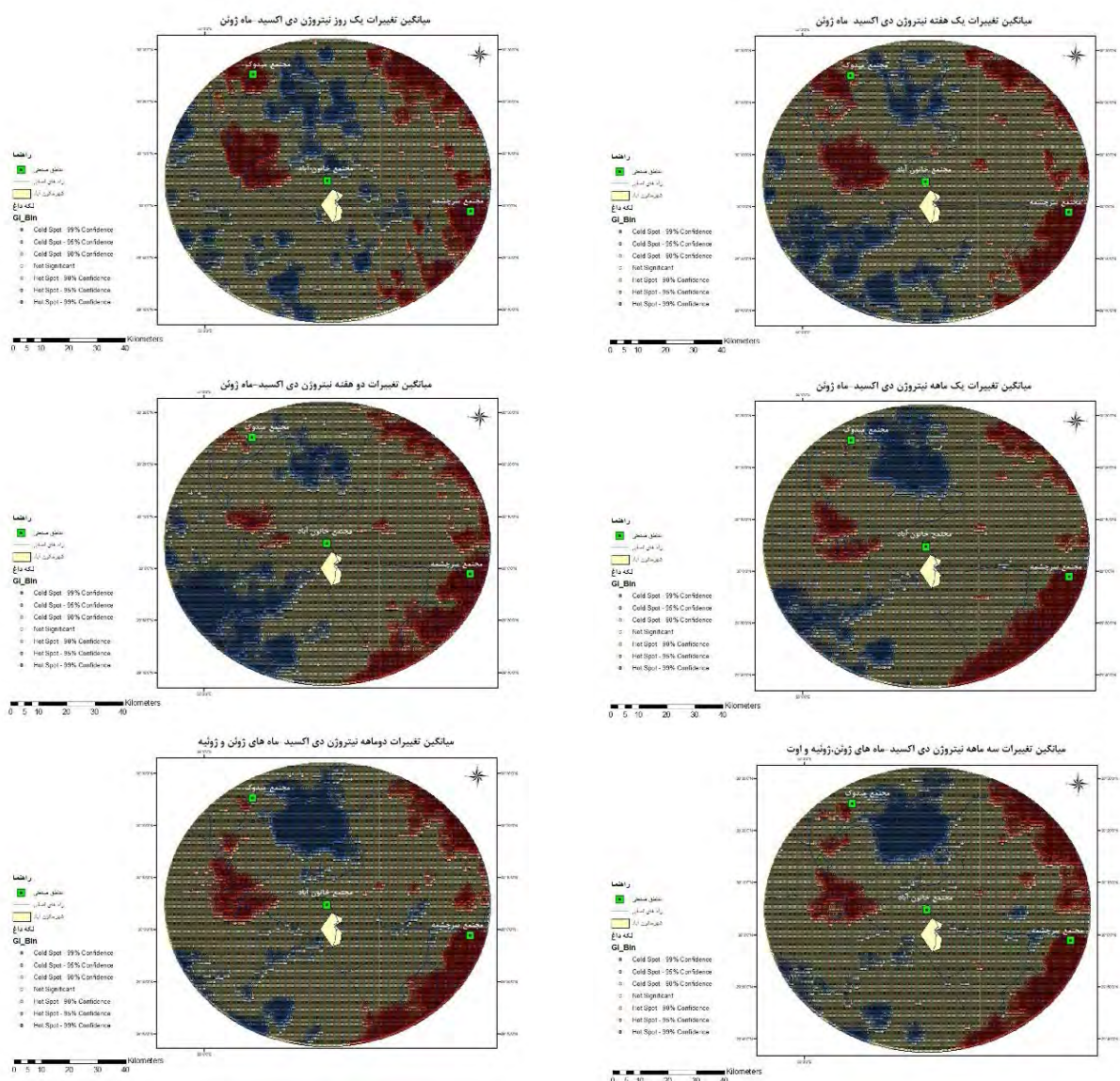
3- Aktan and Botsali

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، دوماه 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

مشاهده می شود. همچنین تصاویر مربوط به ماه ژوئن در محدوده اطراف کارخانه مورد مطالعه روند مشابهی را نمایان می سازد.

نتایج حاصل از تحلیل لکه داغ تصاویر مربوط به دی اکسید سولفور نیز نشانگر مقدار زیاد غلظت این گاز در محدوده اطراف کارخانه است و تصاویر سنتینل 5P با بازه های زمانی یک ماهه و طولانی تر قادر به ارائه اطلاعات دقیق تر و منطقی تر در مورد میزان غلظت گاز دی اکسید سولفور می باشند. با توجه به نتایج به دست آمده فعالیت کارخانه مورد مطالعه می تواند دلیلی بر افزایش میزان غلظت گاز دی اکسید 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 می تواند کارشناسان محیط زیست و محققین را در استفاده و تفسیر بهتر از داده های ماهواره سنتینل ۵ پی (Sentinel 5P) در ارزیابی آلودگی هوا در مناطق صنعتی در بازه های زمانی متفاوت با درک بهتری از میزان پراکنش هر گاز در فصول گرم و سرد سال یاری رساند.

یک ماهه پراکندگی غلظت دی اکسید سولفور در این بازه های زمانی زیاد می باشد. در نتیجه تصاویر سنتینل 5P در بازه های زمانی روزانه، هفتگی و دو هفته ای و یک ماهه قادر به ارائه اطلاعات منطقی و دقیقی در مورد پراکنش غلظت دی اکسید سولفور جو نیستند. برای دستیابی به اطلاعات دقیق و منطقی باید از تصاویر با بازه های زمانی طولانی تر از یک ماه استفاده شود و هرچه مدت بازه زمانی بیشتر شود اطلاعات به دست آمده قابل اعتمادتر هستند.

نتایج به دست آمده از طبقه بندی تصاویر مربوط به گاز دی اکسید نیتروژن نشان می دهد که مقدار غلظت دی اکسید 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 می شود که در ماه های گرم سال میزان غلظت گاز دی اکسید نیتروژن نسبت به ماه های سرد سال بیشتر است. با توجه به پخش شدن سریع گاز دی اکسید نیتروژن در جو توسط باد به دلیل دینامیک بالای این گاز (ورمی لئو و همکاران، ۲۰۲۰) می توان گفت تصاویر به دست آمده از بازه های زمانی دو هفته ای تا یک ماهه اطلاعات بهتری در خصوص میزان غلظت دی اکسید نیتروژن موجود در اطراف کارخانه به دست می دهند. بر این اساس در بازه های زمانی دو هفته تا یک ماهه در ماه های سرد سال این گاز در اطراف کارخانه مورد نظر وجود دارد. اما در ماه های گرم سال این گاز به دلیل پویایی بالا و در اثر وزش باد از کارخانه فاصله گرفته و در فاصله دورتری از کارخانه مشاهده می شود.

نتایج حاصل از تحلیل لکه داغ تصاویر مربوط به گاز دی اکسید نیتروژن نشان می دهد که در بازه های زمانی دو هفته تا دو ماهه در ماه های سرد سال لکه داغ نشانگر وجود گاز دی اکسید نیتروژن در جو مستقر در بالای کارخانه می باشد. اما در بازه های طولانی مدت مثل سه ماهه و شش ماهه و یک ساله و سی ماهه در ماه های سرد لکه داغ به سمت شمال غرب کارخانه و در فاصله دورتر از کارخانه

۵- منابع و مآخذ

- 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

- 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 (NO₂) 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/)



