نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال هشتم، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۰

صفحات ۱۲۳ – ۱۳۸

کاربرد تصاویر ماهواره ای سنتینل–۵ در شناسایی کانون‌های آلاینده‌های هوا در ایران

شیوا غریبی؛ دانشجوی دکتری، ارزیابی و آمایش سرزمین، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ملایر، ایران.

کامران شایسته[1]؛ استادیار گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران.

دریافت مقاله : ۱۳۹۹/۰۱/۱۳ پذیرش نهایی:۱۴۰۰/۰۲/۲۸

چکیده

استفاده از داده‌های سنجش از دوری جهت پایش کیفیت هوا برای پژوهش‌های مرتبط با محیط زیست حائز اهمیت است. ماهواره سنتینل-۵ با سنجنده Tropomi امکان ردیابی آلاینده‌های گازی را می‌دهد. در این مطالعه با استفاده از GEE، پروداکت آلاینده‌های CO، SO_2، NO_2، O_3 و AI فراخوانی و میانگین غلظت آن‌ها در مقیاس مکانی ایران و بازه زمانی سال ۲۰۱۹ نقشه‌سازی شد. جهت بررسی وضعیت خوشه‌بندی از آماره G و شناسایی لکه‌های داغ از آماره Gi برای هر آلاینده در محیط GIS استفاده شد. تعیین الگوی پراکنش آلاینده‌ها با شاخص موران انجام شد. بر اساس نتایج، غلظت آلاینده‌های CO و O_3 در پاییز روند افزایشی و در بهار روند کاهشی داشته است و تغییرات غلظت SO_2 و NO_2 از الگوی خاصی تبعیت نمی‌کند. نتایج آماره G نشان داد که آلاینده‌ها در منطقه دارای الگوی توزیع خوشه ای و دارای خودهمبستگی فضایی (شاخص موران=۰/۷۲) هستند. تحلیل لکه‌های داغ برای مجموع آلاینده‌ها نیز نشان داد که آبادان، اهواز، بندر امام خمینی، ماهشر و عسلویه، تهران و پاکدشت آلوده‌ترین مناطق هستند. صنایع گاز و پتروشیمی آبادان، اهواز، بندر امام خمینی، ماهشر و عسلویه انواع مختلفی از آلاینده‌ها ازجمله NO_2، CO، SO_2، AI را تولید می‌کنند که اثرات جبران ناپذیری بر سلامت انسان‌ها و اکوسیستم‌ها دارند. غلظت NO_2 و CO نیز به دلیل افزایش شمار وسایل نقلیه گاز سوز در تهران و پاکدشت بالا است. در نهایت، تاکید این مطالعه بر پایش‌های آلاینده‌های هوا توسط سازمان‌های متولی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای برای افزایش کیفیت زندگی و راهکارهایی جهت پیشگیری و کنترل آلودگی است.

واژه های کلیدی: پایش آلاینده هوا، سنتینل، تصاویر ماهواره‌ای، کانون آلودگی، شاخص موران.

[1] . نویسنده مسئول

Email: k.shayesteh@malayeru.ac.ir

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.3.123]

مقدمه

امروزه بسیاری از شهرهای دنیا با مشکلات محیط‌زیستی مواجه هستند که در راس آن‌ها وضعیت نامطلوب کیفیت هوا قرار گرفته است (Piraino et al., ۲۰۰٦). آلودگی هوا می‌تواند آثار زیان‌آور زیادی بر انسان، گیاهان، موجودات و دارایی‌های انسان داشته باشد (Wark and Warner, ۱۹۸۱) و هواشناسان، اقلیم شناسان، دانشمندان محیط زیست به همراه پزشکان می‌کوشند تا با انجام پیش‌بینی‌های لازم و تحلیل میزان توزیع و انتقال آلاینده‌های هوا، اثرات زیانبار بر اقلیم و آب و هوای و کیفیت هوا را به کمترین میزان ممکن برسانند (محمودی سراب و همکاران، ۱۳۹۷). کیفیت هوا تابع عوامل مختلفی از جمله منابع آلاینده‌ها، عوامل هواشناسی و اقلیمی، شرایط توپوگرافیکی و واکنش‌های شیمیایی بین آلاینده‌ها است که هریک نقش خاصی در شکل‌گیری آلودگی هوا و تاثیر منفی بر کیفیت هوا دارند (محمدی و همکاران، ۱۳۹۷). آلاینده‌ها از لحاظ حالت فیزیکی (جامد، مایع و گاز)، منبع انتشار (سیار،ثابت، طبیعی، انسان‌ساخت) طبقه‌بندی می‌شوند (Tiwary and Colls, ۲۰۰۹) و از مهمترین آلاینده های هوا می‌توان مونوکسید کربن (CO)، دی اکسید گوگرد ($SO_۲$)، دی‌اکسید نیتروژن ($NO_۲$)، ازن تروپوسفری ($O_۳$) و آئروسل (AI) را نام برد که هر کدام دارای اثرات متعددی بر سلامت انسان و محیط زیست هستند. مونوکسید کربن از طریق احتراق ناقص سوخت‌های حاوی کربن مانند چوب، زغال سنگ، نفت، گاز طبیعی و نفت سفید تولید می‌شود (WHO, ۲۰۱۰). صنایع و وسایل نقلیه موتوری به عنوان مهمترین منابع برای آلودگی اتمسفری مونوکسیدکربن در محیط‌های شهری شناخته می‌شوند. مواجهه با این آلاینده منجر به اثر بر روی سیستم قلبی- عروقی، ریه‌ها، سیستم اعصاب مرکزی و هموگلوبین خون خواهد شد (Reboul et al., ۲۰۱۲). دی‌اکسید گوگرد، یکی از آلاینده‌های اصلی و محرک دستگاه تنفسی است که میزان انتشار آن به دلایل رشد اقتصادی و استفاده بی‌رویه انرژی در حال افزایش است (Chen et al., ۲۰۱۲a) و از منابع زیادی از جمله نیروگاه‌ها، مخازن ذوب فلزات، صنایع سنگین و ترافیک شهری وارد هوا شده (Granahan, and Murray, ۲۰۰۳) و منجر به برخی ناراحتی‌های قلبی_عروقی و همچنین افزایش میزان ابتلاء و مرگ و میر می‌گردد (Chen et al., ۲۰۱۲b). دی‌اکسید نیتروژن نیز منجر به تحریک یا التهاب مجاری تنفسی می‌شود که در هوای آزاد بیشتر بر اثر احتراق سوخت در منابع ثابت (نیروگاه‌ها) و منابع متحرک (وسایل نقلیه) منتشر می‌شود. این آلاینده نیز منجر به افزایش خطر مرگ و میر می‌گردد (Chen et al., ۲۰۱۲a) و به عنوان شاخص آلودگی هوای ناشی از تردد وسایل نقلیه در نظر گرفته شده است (قربانی و فیروز زارع، ۱۳۸۸). ازن یکی از آلاینده‌های بسیار مهم دیگری است که بخصوص در فصل تابستان غلظت‌های بالاتری از آن وجود دارد و در این فصل دارای اثرات بیشتری است (Wilson et al., ۲۰۰٤). ذرات معلق شامل سولفات، نیترات، کربن ارگانیک، کربن عنصری، ریزگرد و نمک دریایی است (Daniel et al., ۲۰۰۹). در زمینه ریزگردها، مواجهه کوتاه مدت با ذرات معلق می‌تواند منجر به برونشیت، آسم و تغییراتی در ضربان قلب شده و مواجه طولانی مدت با ذرات خطر ابتلا به سرطان ریه و بیماری‌های تنفسی را افزایش می دهد (de Kok et al., ۲۰۰٦). مطالعات بسیاری در زمینه پایش این آلاینده‌ها بر اساس اطلاعات و آمارهای دستگاه‌های سنجش آلودگی صورت گرفته است اما استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در زمینه پایش و اندازه‌گیری آلاینده‌ها به طور محدود انجام شده است. برای مثال قربانی‌سالخورد و همکاران (۱۳۹۱) به برآورد غلظت ذرات معلق با استفاده از سنجنده مودیس در استان تهران پرداختند، و حجازی و همکاران (۱۳۹۱) نقشه توزیع مکانی ذرات معلق

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.3.123]

به قطر ۲/۵ میکرومتر را در هوای شهر تهران با استفاده از سنجنده مودیس تهیه کردند. ماهواره Sentinel ۵p در ۱۳ اکتبر ۲۰۱۷ صرفا برای پایش و کنترل آلاینده‌های هوا به فضا ارسال شد. سنجنده Tropomi به صورت روزانه نقشه‌های آلودگی هوا را تهیه می‌کند و از باندهای ماوراءبنفش (۲۷۰-۳۲۰ نانومتر)، محدوده مرئی (۳۱۰-۵۰۰ نانومتر)، مادون قرمز نزدیک (۶۷۵-۷۷۵ نانومتر) و مادون‌قرمز طول موج کوتاه (۲۳۰۵-۲۳۸۵ نانومتر) پشتیبانی می‌کند. این ماهواره در ارتفاع ۸۲۴ کیلومتری قرار دارد و به نحو قابل قبولی در شناسایی گازهای CO، SO_2، NO_2، O_3 و AI مفید است. برنامه GEE[1] بستری برای تجزیه و تحلیل داده‌های مکانی در مقیاس سطح کره زمین است. در GEE مجموعه بسیار بزرگی از سری زمانی انواع تصاویر ماهواره‌ای در هر دو محدوده اپتیک و راداری است و از طریق رابط برنامه نویسی کاربردی API تحت اینترنت و محیط IDE (توسعه تعاملی مبتنی بر وب) امکان نمونه‌سازی سریع و تجسم نتایج را فراهم می‌کند. با استفاده از زبان برنامه‌نویسی پایتون، API تحت وب اجرا و الگوریتم و نقشه‌های مورد نیاز تولید می‌شود. مجموعه‌ای از تصاویر ماهواره‌ای و پروداکت‌های به دست آمده در GEE شامل محصولاتی از جمله متغیرهای محیطی، تغییرات آب و هوا و اقلیم، کاربری و پوشش زمین، توپوگرافی و داده‌های اقتصادی حاصل از تصاویر ماهواره‌ای شامل Landsat ۱-۸، Sentinel ۱, ۲, ۳, ۵، Modis (Aqua/Terra)، VIIRS، GPM و GOES است. با توجه به رشد روز افزون این آلاینده‌ها، در این پژوهش سعی بر آن شده است تا میانگین غلظت مکانی مهمترین آلاینده‌های هوا به عنوان کانون‌های بالفعل آلودگی در مقیاس ایران از مهر ماه ۱۳۹۷ تا آذر ماه ۱۳۹۸ شناسایی شود. همچنین آلوده‌ترین کانون‌های ایران بر اساس میانگین ۵ آلاینده از اهداف دیگر این پژوهش است. بکارگیری ماهواره سنتینل جهت تهیه نقشه مکانی آلاینده‌های هوا اولین پژوهش در ایران به شمار می‌رود. از اینرو، هدف از این مطالعه نشان دادن توانایی پایش آلاینده‌های هوا توسط ماهواره سنتینل و تصاویر GPW جهت تولید نقشه تراکم جمعیتی برای اولین بار در مقیاس ایران است.

داده‌ها و روش کار

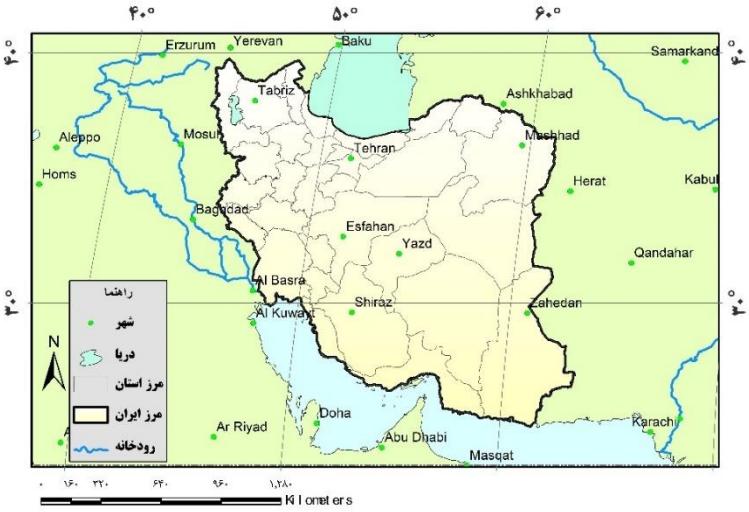
الف) قلمرو جغرافیایی مورد مطالعه

ایران کشوری است واقع در غرب آسیا و مرکز خاورمیانه با مساحت تقریبی ۱۶۶ میلیون هکتار که بین عرض‌های ۲۵ تا ۴۰ درجه شمالی و طول ۴۴ تا ۶۴ درجه شرقی قرار گرفته است (شکل ۱). حدود ۵۴/۶ درصد سطح کشور را مرتع، ۲۰/۶ درصد بیابان، ۷/۵ درصد جنگل، ۱۱/۲ درصد زمین‌های کشاورزی و ۶/۴ درصد را مناطق مسکونی و سایر تشکیل می‌دهد. بر اساس آخرین سرشماری دارای جمعیتی حدود ۸۰ میلیون نفر است.

[1] .Google Earth Engine

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.3.123]



شکل ۱: منطقه مطالعاتی

ب)روش کار

این مطالعه از نوع غیر مداخله‌ای و توصیفی تحلیلی می‌باشد. با استفاده از زبان برنامه‌نویسی پایتون در محیط برنامه GEE اقدام به فراخوانی پروداکت‌های مختلف مربوط به تصاویر آلاینده‌های CO، SO_2، NO_2، O_3 و AI حاصل از تصلویر ماهواره سنتینل-۵ در طول دوره زمانی یک‌سال گذشته (۲۰۱۹) در مقیاس مکانی ایران، جهت پایش آلاینده‌های جوی و تعیین کانون‌های آلوده گردید. در ابتدا، برای هر یکی از پروداکت‌های سنتینل-۵ یک تابع خام تعریف شد. هر تابع میانگین غلظت آلاینده‌ها را در یک مرز مطالعاتی مشخص و یک بازه زمانی تعیین می‌کنند. هر تابع دارای چندین ورودی است و اولین ورودی مجموعه داده[۱] است که شامل تصاویر ماهواره‌ای با یک زمان شروع (۲۰۱۸/۰۱/۰۱) و یک زمان پایان (۲۰۲۰/۰۱/۰۱) است. هر تابع نیز بر روی باند ویژه مرتبط با مجموعه تصاویر آلاینده مد نظر اعمال می‌شود. بنابراین، برای هر آلاینده مجموعه داده و باند مشخصی بر اساس جدول (شماره ۱) وجود دارد. متغیر دیگری جهت برش تصاویر ماهواره‌ایی فراخوانی شده حاصل از متغیر اول تعریف می‌شود که تصاویر را بر اساس مرز مطالعاتی (ایران) برش می‌دهد. متغیر خروجی نیز مجموعه‌ای از تصاویر فراخوانی شده در فیلتر زمانی (سال ۲۰۱۹) و فیلتر مکانی (مرز ایران) تعریف شده با توان تفکیک یک کیلومتری است. خروجی حاصل از میانگین غلظت آلاینده‌ها برای هر ماه به صورت جداگانه و در سال در این فیلترها محاسبه می‌شود. سپس نقشه مکانی میانگین غلظت آلاینده‌ها ددر نرم‌افزار Arc map مورد تحلیل قرار گرفت و اطلاعات آماری مربوط به میانگین غلظت این آلاینده‌ها توسط نرم‌افزار آماری SPSS پردازش شد (جدول ۱). همچنین در شکل (۲) نمونه برنامه نویسی در برنامه GEE برای تولید نقشه میانگین غلظت آلاینده دی اکسید نیتروژن برای محدوده مکانی ایران در طول سال ۲۰۱۹ نشان داده شده است (شکل ۲).

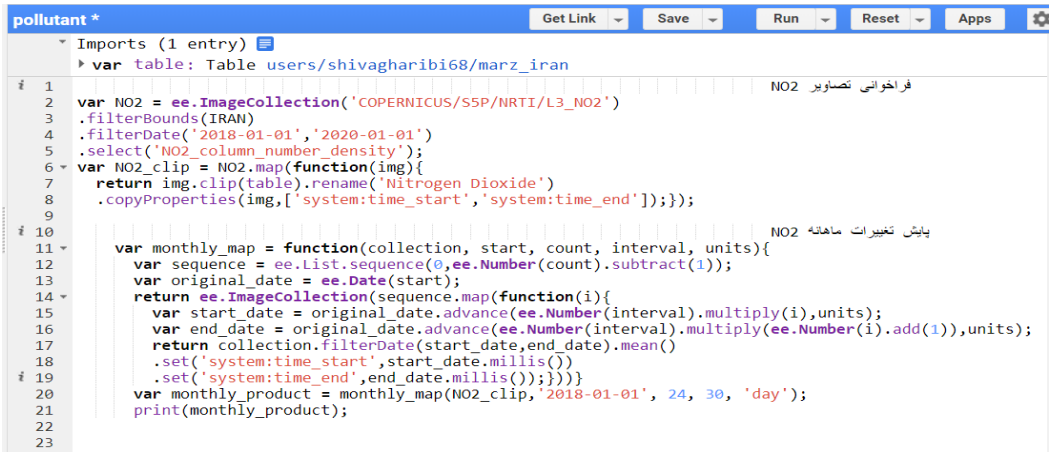
[۱] Data collection

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.3.123]

جدول ۱: مشخصات محصولات سنتینل ۵ برای آلاینده‌های مورد بررسی (CO, SO۲, NO۲, AOD,O۳)

پروداکت	مجموعه داده	توضیحات /حداکثر /حداقل /واحد /باند	تعداد تصاویر
Sentinel-۵P NRTI CO: Near Real-Time Carbon Monoxide CO	COPERNICUS /S۵P/NRTI/L۳ _CO	CO_column_number_density/ mol/m^۲/ -۲۷۹*/ ٤,٦٤*/ Vertically integrated CO column density.	۲۱۰۹
Sentinel-۵P NRTI AER AI: Near Real-Time UV Aerosol Index AI	COPERNICUS /S۵P/NRTI/L۳ _AER_AI	absorbing_aerosol_index/ -/ -۲۵*/ ۳۹*/ A measure of the prevalence of aerosols in the atmosphere, calculated by this equation using the ۳۵٤/۳۸۸ wavelength pair.	۲۶۷۲
Sentinel-۵P NRTI NO۲: Near Real-Time Nitrogen Dioxide NO۲	COPERNICUS /S۵P/NRTI/L۳ _NO۲	NO۲_column_number_density/ mol/m^۲/ -۰.۰۰۰۶*/ ۰.۰۰۹۶*/ Total vertical column of NO۲ (ratio of the slant column density of NO۲ and the total air mass factor)	۲۶۲۲
Sentinel-۵P NRTI O۳: Near Real-Time Ozone O۳	COPERNICUS /S۵P/NRTI/L۳ _O۳	O۳_column_number_density/ mol/m^۲/ ۰,۰۰٤۷*/ ۰,۲۷۲*/ Total atmospheric column of O۳ between the surface and the top of atmosphere, calculated with the DOAS algorithm	۲۶۲۰
Sentinel-۵P NRTI SO۲: Near Real-Time Sulphur Dioxide SO۲	COPERNICUS /S۵P/NRTI/L۳ _SO۲	SO۲_column_number_density/ mol/m^۲/ -٤۸*/ ۰,۲٤*/ SO۲ vertical column density, calculated using the DOAS technique.	۲۳۰۷



شکل ۲: نمونه Script اجرا شده برای فراخوانی تصاویر سنتینل جهت پایش تغییرات NO۲

بعد از اجرای برنامه نویسی در محیط GEE، نقشه‌های مکانی کانون آلاینده‌ای هوا به صورت جداگانه بر اساس میانگین غلظت هر کدام از آلاینده‌ها در سال و تغییرات آن‌ها در هر ماه در سال مورد بررسی تولید شد. سپس برای تعیین نقاط داغ از لحاظ تمام آلاینده‌ها، نقشه مکانی رستری هر کدام از آلاینده‌ها (شکل ۸) با استفاده از الگوریتم Jenks در ۹ طبقه (از تراکم بسیار بالا تا بسیار کم) طبقه‌بندی گردید. به صورتی که طبقه اول در هرنقشه نشان‌دهنده حداقل مقدار آلاینده و طبقه ۹ نشان

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.52547/jsaeh.8.3.123]

دهده حداکثر مقدار آلاینده بر روی تصویر است. این روش آماری بر اساس توزیع نرمال داده‌ها[۱] باعث بدست آمدن فاصله بیشتر طبقات ناهمگن با حداکثر تفاوت بین این طبقات می‌شود به طوری که نقاط عطف داده‌ها مرز بین طبقات را مشخص می‌نماید. سپس لایه طبقه‌بندی شده آلاینده‌های NO_2، SO_2، CO، AI و O_3 به روش Union ترکیب و طبقات در هم ضرب و سپس نقشه نهایی بر اساس ارزش طبقات ضرب شده در ۵ گروه طبقه‌بندی مجدد شد. به منظور تحلیل فضایی و بررسی آماری سهم استان‌ها و شهرستان‌ها از هر کدام از آلاینده‌ها، با استفاده از ابزار تحلیل ناحیه‌ای[۲] مرز استان‌ها و شهرستان‌ها به عنوان واحد کاری انتخاب و آماره میانگین ارزش آلاینده‌ها برای هر واحد استخراج شد. برای تعیین جمعیت هر استان نیز از آخرین اطلاعات سرشماری ایران و همچنین تصاویر ماهواره‌ای مربوط به نسخه چهارم محصول GPW[۳] استفاده شد. GPW توزیع جمعیت انسانی را برای سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۵، ۲۰۱۰، ۲۰۱۵ و ۲۰۲۰ در شبکه‌های سلولی تقریبا یک کیلومتری مدل‌سازی می‌کند. توزیع جمعیت در سلول‌ها با استفاده از تخصیص بهینه جمعیت از طریق واحدهای سرشماری و تقسیمات اداری صورت گرفته است. داده‌های ورودی جمعیتی در بیشترین توان تفکیک مکانی در دسترس از نتایج حاصل از سرشماری سال ۲۰۱۰، که بین سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۴ رخ داده است، جمع‌آوری شده است. شبکه‌های تراکم جمعیت شامل برآوردهای از تعداد افراد در هر کیلومتر مربع مطابق با سرشماری‌های ملی اطلاعات ثبت شده جمعیتی است. در این مدل برای هر سال یک تصویر از تراکم جمعیت وجود دارد که اطلاعات این تصویر در جدول (۲) نشان داده شده است (Earth Engine Data Catalog). با استفاده از سامانه گوگل ارث انجین تصویر ماهواره‌ای برای کل ایران فراخوانی و سپس در Arc map مورد تحلیل قرار گرفت.

جدول ۲: مشخصات تصویر استفاده شده برای تراکم جمعیت

محصول	مجموعه تصاویر	توضیحات /حداکثر /حداقل /واحد /باند
GPWv٤١١: Population Density (Gridded Population of the World Version ٤،١١)	CIESIN/GPWv٤١١/GPW_Population_Density	population_density/ -/ */ ٨١٠٦٩٤*/ The estimated number of persons per square kilometer
POPULATION DENSITY		

تحلیل آمار فضایی با توجه به دخیل کردن عامل فضا در محاسبات آماری، توانایی بالایی در ارائه الگوهای فضایی دارند به طوری که می‌توان نحوه توزیع پدیده‌های متعدد در فضا را خلاصه نمود (روستایی و همکاران، ۱۳۹۷). جهت بررسی وجود یا عدم وجود خوشه‌بندی از آماره G و جهت شناسایی مناطق پرخطر و کم خطر[۴] نیز از آماره گتیس-ارد جی[۵] (آماره Gi) در محیط GIS استفاده شد. آماره Gi تحلیل لکه‌های داغ را برای تمام عوارض موجود در داده‌ها محاسبه می‌کند به طوری که مقدار مثبت و معنی‌دار z مقادیر بالای خوشه‌بندی شده و لکه‌های داغ را تشکیل می‌دهند و برای مقادیر منفی و معنی‌دار z مقادیر پایین خوشه‌بندی شده و لکه‌های سرد را تشکیل می‌دهند. برای تحلیل پراکنش مجموع آلاینده‌ها اقدام به تلفیق

[۱] .Natural breaks
[۲] .Zonal Statistics
[۳] .Gridded Population of World
[۴] .cold spot and hot spot
[۵] .Getis-Ord Gi

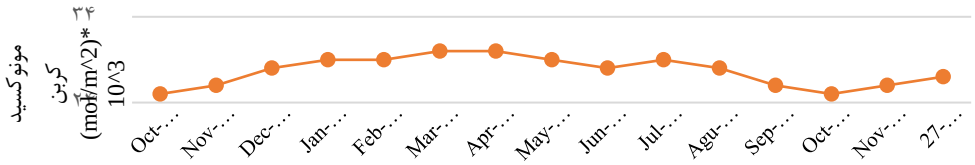
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.52547/jsaeh.8.3.123]

نقشه‌های استخراج شده از تحلیل لکه‌های داغ شد (روستایی و همکاران، ۱۳۹۷). در نهایت، برای تعیین الگوی پراکنش آلاینده‌ها از شاخص موران جهت بررسی خود همبستگی مکانی بکار گرفته شد.

شرح و تفسیر نتایج

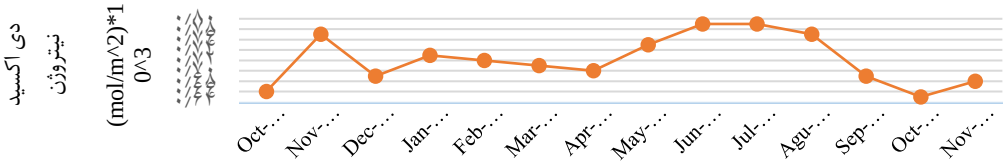
- **شیب تغییرات میانگین ماهانه آلاینده‌های جوی**

طیف تغییرات میانگین ماهانه میزان آلاینده CO در سال گذشته در ماه‌های مختلف بین ۰/۰۳ mol/m^2 – ۰/۰۲۴ قرار دارد که به طور کلی در ایران میزان مونوکسید کربن تا مارس ۲۰۱۹ شیب صعودی و سپس شیب نزولی داشته است. بیشترین میزان این آلاینده در مارس و آوریل و کمترین غلظت در ماه‌های اکتبر است (شکل ۳). همچنین این نمودار نشان می‌دهد که در ایران غلظت این آلاینده در ۳ ماه پاییز (اکتبر نوامبر، دسامبر) روند افزایشی، در فصل بهار (آوریل، می، ژوئن) روند کاهشی داشته است.



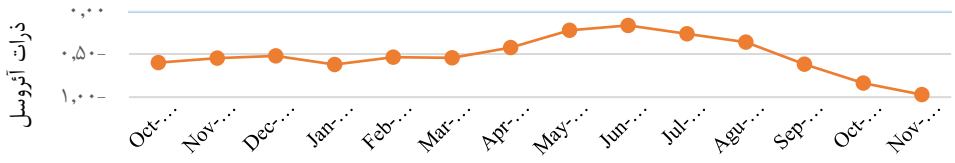
شکل ۳: نمودار تغییرات میانگین ماهانه آلاینده CO در طول ۲۰۱۹-۲۰۱۸

تغییرات میانگین ماهانه آلاینده NO_2 (شکل ۴) نشان می‌دهد که میزان این آلاینده از الگوی خاصی تبعیت نمی‌کند و دارای حداکثر مقدار در ماه‌های ژوئن و جولای و دارای کمترین میزان مربوط به ماه اکتبر است. به طور کلی در فصل زمستان روند کاهشی، در فصل بهار افزایشی و در فصل تابستان روند کاهشی داشته است.



شکل ۴: نمودار تغییرات میانگین ماهانه آلاینده NO_2 در طول ۲۰۱۹-۲۰۱۸

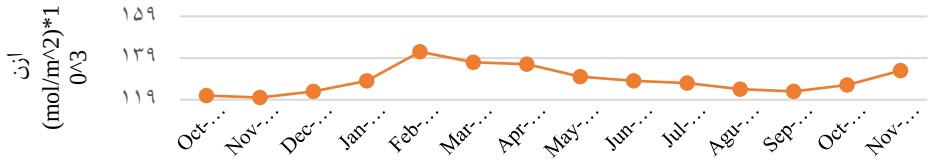
در شکل (۵) نمودار تغییرات میزان آئروسل موجود در جو نشان می‌دهد که به طور کلی در جو ایران از اکتبر ۲۰۱۸ تا ژوئن ۲۰۱۹ میزان آئروسل افزایش و قابلیت دید کاهش یافته است. میزان آئروسل از ژوئن ۲۰۱۹ به حداکثر مقدارخود رسیده و سپس روند کاهش داشته است که در ماه اکتبر ۲۰۱۹ به حداقل مقدار می‌رسد.



شکل ۵: نمودار تغییرات میانگین ماهانه AI در طول ۲۰۱۹-۲۰۱۸

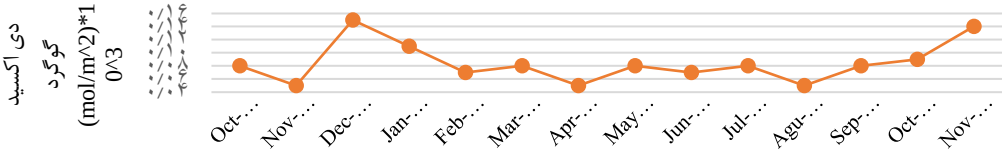
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.52547/jsaeh.8.3.123]

بر اساس شیب تغییرات میانگین ازن اتمسفری در ایران (شکل ۶)، میزان این آلاینده از اکتبر ۲۰۱۸ روند افزایشی دارد به طوری که در ماه فوریه به حداکثر مقدار می‌رسد و سپس شیب کاهشی و سپس در اکتبر ۲۰۱۹ باز روند افزایشی در پیش گرفته است. به طور کلی در فصل پاییز روند افزایشی، در فصل بهار و تابستان روند کاهشی داشته است.



شکل ۶: نمودار تغییرات میانگین ماهانه آلاینده O^3 در طول ۲۰۱۹-۲۰۱۸

تغییرات میانگین دی اکسید گوگرد در ایران دارای الگوی مشخصی نیست. حداکثر مقدار آلاینده در ماه دسامبر ۲۰۱۹ و حداقل مقدار آن در ماه‌های نوامبر، آپریل و آگوست ثبت شده است (شکل ۷).



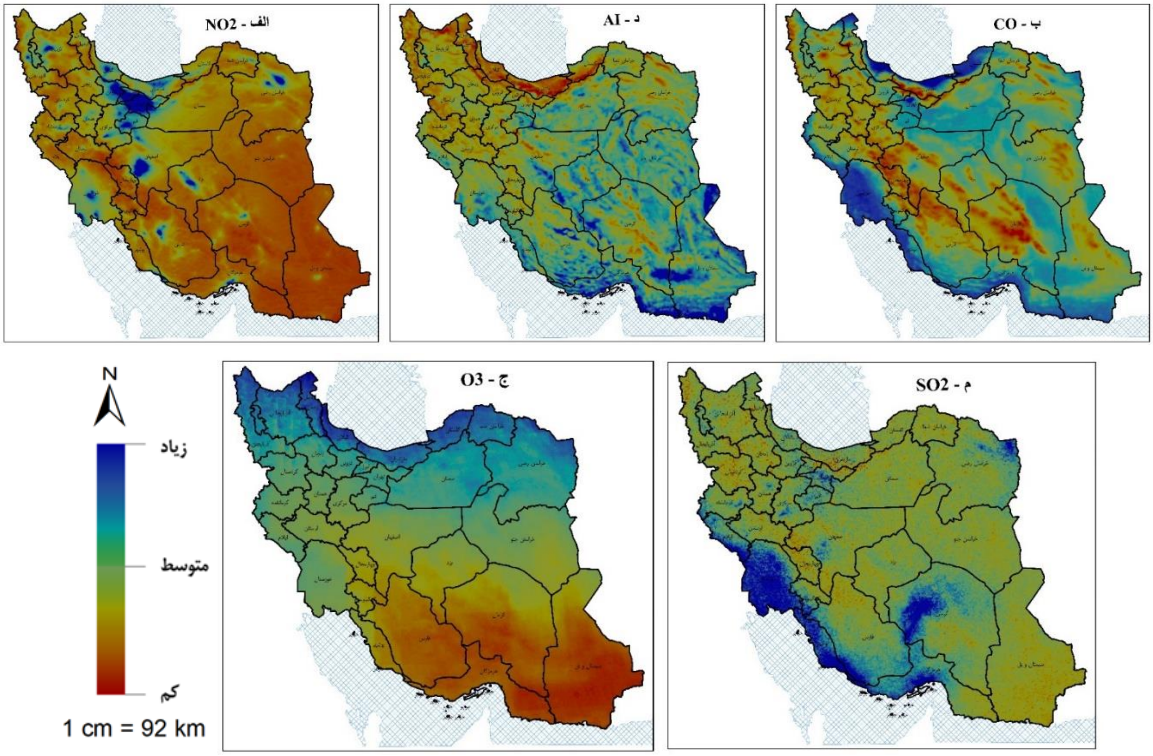
شکل ۷: نمودار تغییرات میانگین ماهانه آلاینده SO^2 در طول ۲۰۱۹-۲۰۱۸

- **کانون آلاینده‌های هوا در مقیاس ایران**

خروجی مکانی حاصل از پردازش ۲۶۲۲ تصویر ماهواره‌ای سنتینل-۵ در سال ۱۳۹۸ برای تهیه کانون‌های دی اکسید نیتروژن در ایران نشان داده است که بالاترین میزان این آلاینده به ترتیب در اکثریت شهرهای استان تهران و البرز و سپس در مراکز سایر استان‌ها از جمله اصفهان، قزوین، خراسان رضوی، قم، یزد، خوزستان، آربایجان شرقی، گیلان، مازندران، فارس و استان مرکزی ثبت شده است. مراکز سایر استان‌ها نیز دارای مقادیر کمتری هستند (شکل ۸، الف). پردازش ۲۱۰۹ تصویر ماهواره‌ای نیز برای تهیه کانون‌های مونوکسید کربن در ایران نشان داده است که بالاترین میزان این آلاینده در شهر تهران و سواحل دریای مازندران (گیلان، مازندران و گلستان) و خوزستان و بخش‌هایی ساحلی استان‌های بوشهر و هرمزگان است. از سمت شمال غرب ایران به سمت مرکز دارای کمترین میزان آلاینده مونوکسید کربن هستند (شکل ۸، ب). برای تعیین کانون‌های آلاینده ازن در ایران ۲۶۲۰ تصویر در طول یک سال مورد بررسی نشان داد که بالاترین مقدار ازن در قسمت های شمالی استان‌های آذربایجان غربی و شرقی، اردبیل، گیلان، مازندران، گلستان و خراسان شمالی است و کمترین میزان ازن در استان های سیستان و بلوچستان، هرمزگان، کرمان و فارس ثبت شده است. سایر استان‌ها دارای حد واسط هستند (شکل ۸، ج). تحلیل ۲۶۷۲ تصویر ماهواره‌ای نیز برای یافتن کانون‌های گرد و غبار با استفاده از شاخص AI نشان داد که مقادیر

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.52547/jsaeh.8.3.123]

مثبت این شاخص نشان دهنده وجود ذرات آئروسلی جذب کننده UV مانند گرد و غبار[۱] و دود[۲] است. بنابراین، در سال ۱۳۹۸ بیشترین حضور ریزگردها در استان‌های جنوب، شرق، جنوب شرقی و مرکز ایران بوده است و شهرهای شمالی و سواحل دریای مازندران دارای کمترین میزان آئروسل بوده‌اند. سپس استان‌های غربی و شمال غربی نیز کمتر از این آلاینده متاثر بوده‌اند (شکل ۷، د). برای تعیین کانون‌های دی اکسید گوگرد نیز ۲۳۰۷ تصویر ماهواره‌ای سنتینل مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت که بر اساس نتایج بیشترین میزان این آلاینده در شهر تهران و سپس در استان‌های خوزستان، کرمان، هرمزگان، بوشهر، مرکزی، قم، اصفهان و خراسان رضوی ثبت شده است (شکل ۸، م).



شکل ۸: کانون آلاینده‌های ایران در سال ۱۳۹۸، NO_2 (الف)، CO (ب)، O_3 (ج)، AI (د)، SO_2 (م)

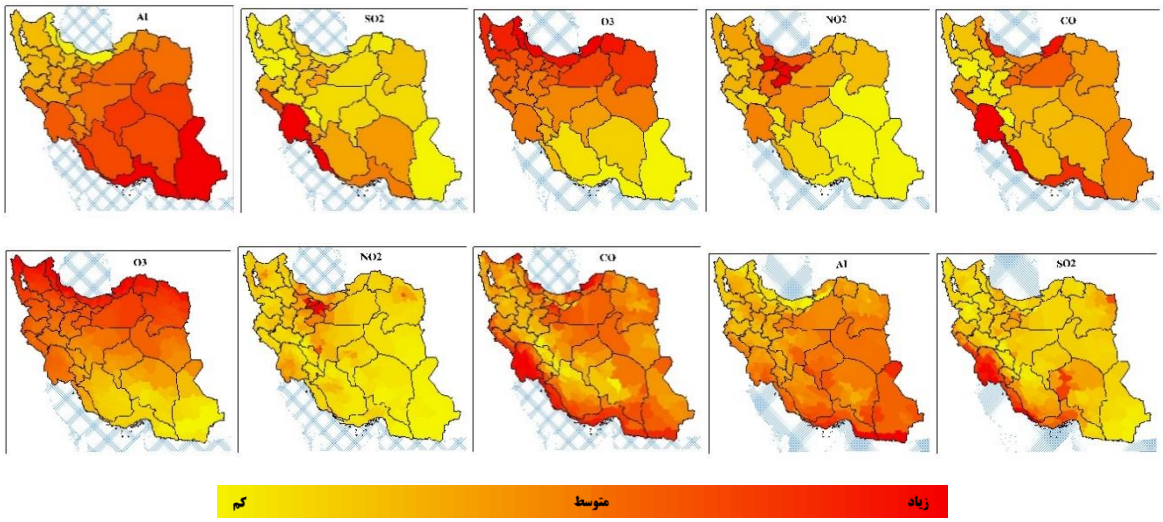
- **تحلیل ناحیه‌ای سهم استان‌ها و شهرستان‌ها از آلاینده‌های جوی**

نقشه میانگین هر کدام از آلاینده‌ها بر اساس واحدهای کاری مرز استان‌ها و شهرستان‌ها در سال ۱۳۹۵ در شکل (۹) نشان داده شده است به طوری که ارزش هر پیکسل در هر منطقه نشان دهنده میانگین تراکم آلاینده‌ها در همان منطقه است. بالاترین سهم از دی اکسید نیتروژن مربوط به استان‌های تهران، البرز، قزوین و قم است. بالاترین سهم استانی از مونوکسید کربن مربوط به استان خوزستان، گیلان و مازندران است. بالاترین سهم از گرد و غبار مربوط به استان‌های جنوب شرقی از

[۱] DUST
[۲] SMOKE

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.52547/jsaeh.8.3.123]

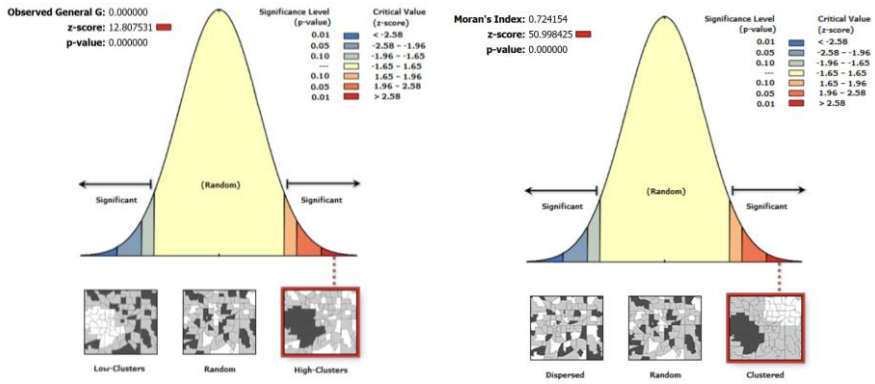
جمله سیسان و بلوچستان است. بالاترین سهم از دی اکسید گوگرد مربوط به استان خوزستان است. همچنین، بیشترین سهم از آلاینده ازون مربوط به استان‌های حاشیه دریای مازندران است.



شکل ۹: سهم آلاینده‌ها بر اساس مرز استان (بالا) و مرز شهرستان (پایین)

- **تحلیل خوشه‌بندی/ لکه‌های داغ آلاینده‌ها در ایران**

نتایج حاصل از تحلیل خوشه‌بندی (شکل ۱۰، سمت راست) برای تشخیص وضعیت خوشه‌های فضایی معنادار نشان داد که فرضیه صفر برای آماره G (هیچ خوشه‌بندی فضایی بین داده‌ها وجود ندارد) رد شده است زیرا مقدار استاندارد Z عددی بالا و مقدار P بسیار کوچک و نزدیک به صفر است. عدد مثبت Z نیز نشان می‌دهد که مقادیر بالای آلودگی در منطقه خوشه‌بندی شده است. برای تعیین الگوی پراکنش آلاینده‌های هوا بر اساس خود همبستگی فضایی، آماره موران برابر با ۰/۷۲ است و از آنجا که مقدار آن مثبت و به طرف ۱ میل می‌کند و با توجه به مقدار کوچک p و مقدار بزرگ z، داده ها در محدوده اطمینان قرار دارند و دارای خودهمبستگی فضایی هستند و دارای الگوی توزیع خوشه ای هستند.

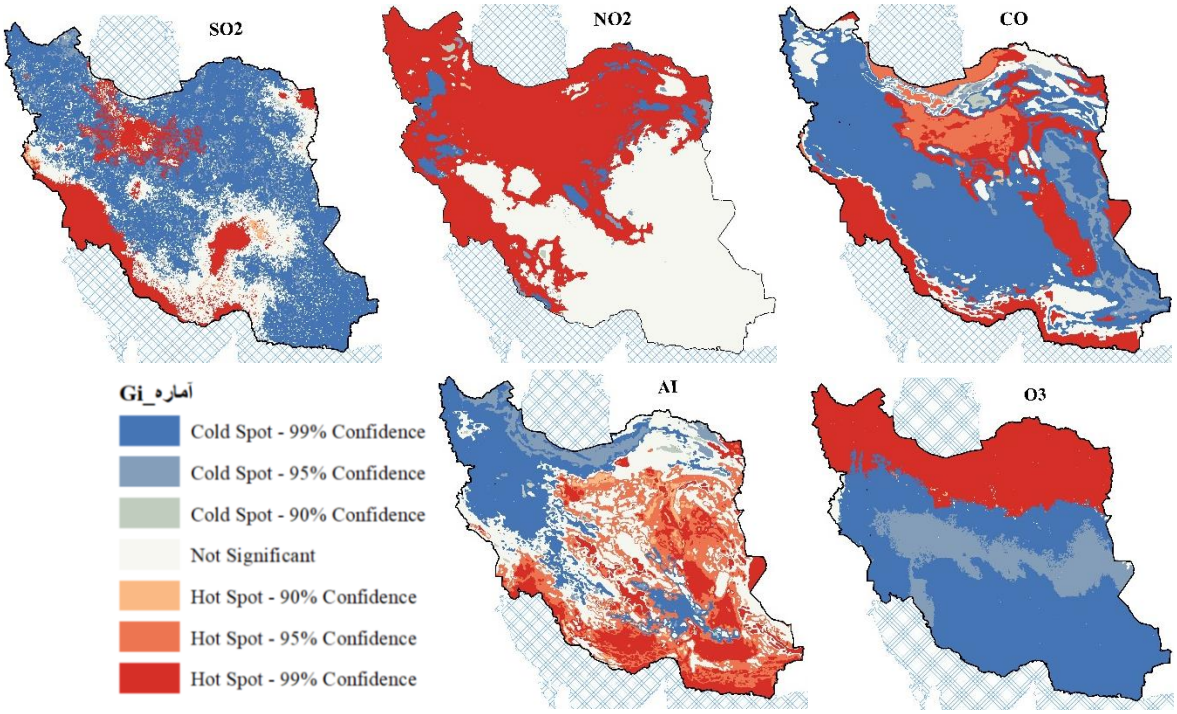


شکل ۱۰: خروجی ابزار آماره G در تحلیل خوشه‌ای (سمت راست)؛ خروجی آماره موران (سمت چپ)

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.3.123]

جهت بررسی نابرابری فضایی آلاینده‌های NO_2، SO_2، CO، AI و O_3 در ایران، تحلیل لکه‌های داغ برای تمامی آلاینده‌ها انجام شد. این تحلیل آماره Gi را برای تمای عوارض موجود محاسبه می‌کند. شکل (۱۱) تحلیل لکه‌های داغ را بر روی هر کدام از آلاینده‌ها در سال ۲۰۱۹ نشان می‌دهد. نقشه‌ها در یک طیف از نقاط سرد تا نقاط داغ مشاهده می‌شوند. لکه‌های قرمز رنگ (نقاط داغ) دارای مقادیر بزرگتر Z هستند و این محدوده‌ها دارای وضعیت آلوده‌تری نسبت به سایر مناطق هستند. با کاهش مقدار Z آلودگی کمتر و مقدار منفی و کوچکتر Z لکه‌های سرد را نشان می‌دهد که به رنگ آبی نشان داده شده‌اند.

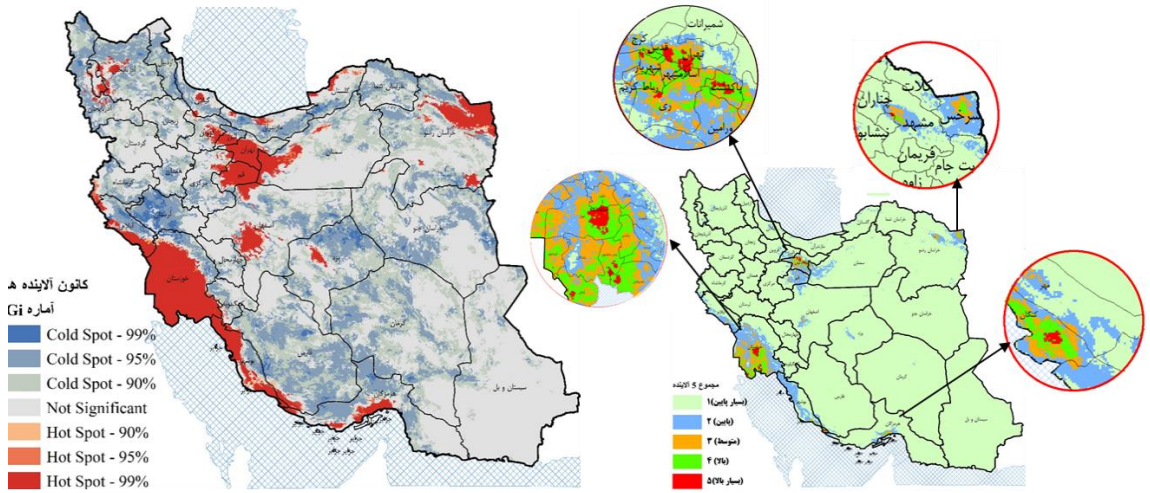


شکل ۱۰: نقشه تحلیل لکه‌های داغ برای هر یک از آلاینده‌ها بر اساس آماره Gi در ایران در سال ۲۰۱۹

پس از تحلیل لکه‌های داغ برای هر آلاینده و استخراج نقشه آن‌ها به صورت مجزا، تمامی نقشه‌ها جهت ایجاد یک نقشه واحد از تحلیل لکه‌های داغ بر روی تمام آلاینده‌ها تلفیق شدند و نقشه پیوسته لکه‌های داغ آلودگی از لحاظ ۵ نوع آلاینده در ایران تعیین شد شکل (۱۱، سمت چپ). محدوده‌های قرمز رنگ وضعیت آلودگی نامطلوبی دارند و حاوی بیشترین مجموع از تمام آلاینده‌ها هستند و به احتمال ۹۹ درصد لکه‌ها داغ آلودگی در ایران هستند. هر چه به سمت محدوده‌های آبی رنگ پیش برویم وضعیت مطلوب‌تری در ارتباط با آلودگی هوا شاهد خواهیم بود و به احتمال ۹۹ درصد لکه‌های سرد و مطلوب هستند. با طبقه بندی لکه‌های داغ در ۵ طبقه کانون‌های دقیق آلوده در ایران شناسایی شدند (شکل ۱۱، سمت راست).

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.3.123]



شکل ۱۱: تحلیل وضعیت کلی مجموع ۵ نوع آلاینده‌ها در ایران در سال ۲۰۱۹ (سمت چپ)؛ طبقه‌بندی لکه‌های داغ (سمت راست)

کانون‌های اصلی آلودگی در شهرهای تهران و پاکدشت از استان تهران، اهواز، بندر ماهشهر، بندر امام خمینی و آبادان از استان خوزستان و بندر عسلویه از استان بوشهر قرار دارند که به لحاظ میانگین ۵ آلاینده دارای بیشترین میانگین می‌باشند و به عنوان کانون آلاینده‌ها در ایران شناسایی شدند. با مطابقت کانون‌های آلوده با تصاویر گوگل ارث نشان داد که پهنه‌های آلوده در شهرهای آبادان، بندر امام خمینی، بندر ماهشر و اهواز (استان خوزستان)، تهران، پاکدشت (استان تهران) و بندر عسلویه (استان بوشهر) قرار دارند. به طور کلی استان خوزستان از لحاظ آلاینده‌ای مونوکسید کربن، سولفور دی اکسید دارای تراکم بسیار بالا، از لحاظ ذرات معلق و دی اکسید نیتروژن تراکم متوسط و از لحاظ ازون تراکم پایینی دارند. این استان با برخورداری از کارخانجات، صنایع مختلف تولیدی و پالایشگاه‌ها و پتروشیمی‌ها سهم به‌سزایی در تولید آلودگی مناطق مختلف دارد. میانگین غلظت آلاینده‌های NO_2، SO_2، CO و AI در اهواز، آبادان، بندر ماهشهر و بندر امام خمینی دارای بالاترین مقدار و آلاینده O_3 میانگین پایین‌تری نسبت به سایر آلاینده‌ها دارد. مشابه مطالعه حسینی و همکاران (۱۳۹۶) که آلودگی شهر اهواز را ناشی از مصرف انرژی‌های سوختی و صنایع نفتی و پتروشیمی می‌دانند و میزان آلاینده‌های مونوکسید کربن، دی اکسید سولفور و دی اکسید نیتروژن در شهر اهواز همیشه بالاتر از استاندارد بوده است. همچنین، پهنه‌های آلوده ارزیابی شده به عنوان کانون آلوده در آبادان نیز در مجاورت نیروگاه نفت و پتروشیمی قرار قرار گرفته است، مشابه مطالعه هدایتی راد و همکاران (۱۳۹۵) که آلوده کننده‌های هوا در پالایشگاه و صنایع پتروشیمی آبادان از جمله SO_2 و NO_2 بالاتر از استاندارد بوده است و تا شعاع ۲۵ کیلومری آسیب‌پذیرترین نقاط هستند. بندر ماهشهر نیز یکی از بنادر بزرگ صادرات برآورده‌های نفتی در جهان است که به عنوان یکی دیگر از کانون های آلوده در ایران شناسایی شده است، مشابه مطالعه معروف نژاد و رئیس قنواتی (۱۳۹۲) ماهشهر یک قلب صنعتی به شمار می‌آید و از نظر محیط زیستی در موقعیت بسیار آلوده از لحاظ آلاینده‌های NO_2، CO، SO_2، O_3، NO و HC قرار دارد. بندر امام خمینی نیز بر روی تصاویر ماهواره‌ای به عنوان کانون آلودگی شناسایی شده است. این بندر به عنوان به عنوان دومین بندر تجاری ایران و حمل و نقل دریایی و همچنین حضور فعال‌ترین پتروشیمی در منطقه منجر به آلودگی هوای بالاتر از استاندارد شده است و پتروشیمی به عنوان آلوده ترین

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.52547/jsaeh.8.3.123]

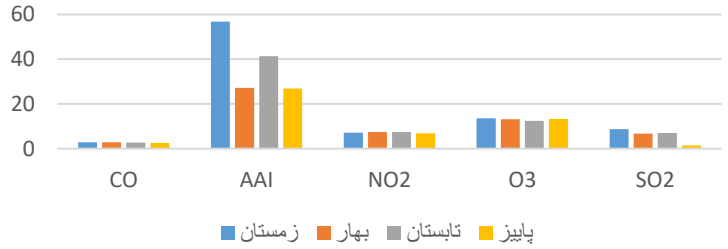
صنعت در نظر گرفته شده است و بندر امام خمینی نیز از این قاعده مستثنی نیست (معروف نژاد و رئیس قنواتی، ۱۳۹۲). در استان بوشهر نیز شهرستان کنگان به دلیل حضور بندر عسلویه دارای میانگین غلظت بالایی از آلاینده‌های NO_2، CO، SO_2، AI است و در استان بوشهر کانون آلاینده معرفی شده است. منطقه عسلویه به عنوان پایتخت انرژی و قطب اقتصادی وابسته به گاز و پتروشیمی ایران در بخش شمالی خلیج فارس به عنوان بزرگترین ذخایر گاز طبیعی ایران است و به دلیل میدان‌های عظیم گازی پارس جنوبی از موقعیت استراتژیکی برخوردار است (کشمیری و همکاران، ۱۳۹۷) و این میدان‌های گازی منجر به آلودگی منطقه تا کیلومترها شده است. شهرهای تهران و پاکدشت نیز از دیگر کانون‌های آلودگی در ایران هستند که به ترتیب دارای بیشترین غلظت NO_2، CO، SO_2، O_3 و AI هستند. بیش از ۸۰ درصد آلودگی هوای تهران ناشی از منابع متحرک (وسایل نقلیه) است (محمدی و همکاران، ۱۳۹۷). تولیدکنندگان اصلی NO_2 و CO ترافیک و تولید کنندگان SO_2 پالایشگاه نفت تهران است (حسینی و همکاران، ۱۳۹۷).

- **توزیع جمعیت ایران**

نتایج حاصل از GPW، توزیع جمعیت انسانی را در سال ۱۳۸۹ نشان داد. شهرستان‌های تهران، کرج، پاکدشت، اسلام شهر، البرز، قائم شهر، فریدن کنار، رشت، بندر انزلی، خمینی شهر و لاورجان دارای بیشترین تراکم جمعیتی هستند. نسبت تراکم جمعیت به استان نیز نشان داد که به ترتیب استان‌های تهران، البرز، گیلان، مازندران و قم دارای بیشترین جمعیت (تعداد افراد در کیلومتر مربع) است.

- **تفاوت غلظت آلاینده‌های هوا در فصول مختلف در ایران**

نتایج حاصل از مقایسه میانگین غلظت آلاینده‌ها در فصول مختلف نشان داد که بین آلاینده‌های CO و NO_2 و O_3 در فصول مختلف تفوات معنی‌داری مشاهده نشده است اما ذرات معلق و آئروسل‌ها در فصول زمستان و پاییز دارای تفاوت معنی‌داری با مقدار این آلاینده در فصول بهار و پاییز دارند. همچنین آلاینده SO_2 در فصل پاییز دارای غلظت پایین‌تری نسبت به سایر فصول در سال ۱۳۹۸ داشته است (شکل ۱۲)



شکل ۱۲- تفاوت غلظت آلاینده در فصول مختلف در ایران در سال ۱۳۹۸

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.3.123]

نتیجه‌گیری

ایستگاه‌های زمینی سنجش آلاینده‌ها به صورت نقطه‌ای غلظت آلاینده‌ها را اندازه‌گیری و پایش می‌کنند. بنابراین، دارای دقت بالایی هستند اما صرفا اطراف ایستگاه‌ها را پوشش می‌دهند و در برآورد میزان آلاینده در فواصل دورتر از سنجنده‌ها ناتوان هستند. بنابراین، تنها با اتکا به اندازه‌گیری این ایستگاه‌ها نمی‌توان به شناسایی کانون‌های آلاینده دست یافت. نتایج حاصل از پراکنش آلاینده‌های هوا در ایران نشان می‌دهد که بـرآورد میانگین غلظـت آلاینده‌هـا بـا اسـتفاده از تصاویر سنجش از دوری می‌تواند جهت شناسایی کانون‌های آلودگی در ایران از اهمیت بسیار زیادی برخـوردار باشـد. بنابراین، لازم است جهت مکان‌یابی کانون‌های آلاینده‌های جوی از تصاویر پیوسته که روزانه میزان آلاینده‌ها را در اتمسفر اندازه‌گیری می‌کنند استفاده نمود. بر اساس مطابقت نتایج می‌توان با دقت بالایی اقدام به پایش آلاینده‌ها در مقیاس ایران با استفاده از تصاویر ماهواره‌ایی سنتینل ۵ نمود. بیشترین کانون‌های آلودگی مربوط به صنایع پتروشیمی و پالایشگاه‌ها هستند و آلاینده‌های رایج توسط این مراکز مواد آلی فرار، NO_X، $SO_۲$، CO، $H_۲S$، ذرات معلق و آئروسل می‌باشد (کشمیری و همکاران، ۱۳۹۷) و سایر کانون‌ها در پرجمعیت‌ترین مناطق شهری تهران قرار دارند که به دلیل بالا بودن جمعیت و ترافیک شهری در تولید بالای $NO_۲$ و CO (محمدی و همکاران، ۱۳۹۷) به عنوان کانون شناسایی شده‌اند. بنابراین به دلیل تراکم جمعیت بالاتر نسبت به سایر شهرهای ایران بحث آلودگی هوا می‌تواند در این شهر حائز اهمیت‌تر باشد. بنابراین استفاده از تصاویر ماهواره‌ای برای پایش آلاینده‌های هوای ایران و موقعیت کانون‌ها می‌تواند به لحاظ هزینه پایین و صرف زمان بسیار مثمر ثمر واقع شود. بر اساس تصاویر ماهواره‌ای سنتینل -۵ بیشترین کانون‌های آلودگی در ایران مربوط به صنایع پتروشیمی و پالایشگاه‌ها هستند که در محدوده‌هایی از شهرهای آبادان، بندر امام خمینی، بندر ماهشر و اهواز (استان خوزستان)، بندر عسلویه (استان بوشهر) قرار دارند و آلاینده‌های رایج توسط این مراکز NO_X، $SO_۲$، CO، ذرات معلق و آئروسل می‌باشد. همچنین، سایر کانون‌ها (تهران، پاکدشت از استان) در پرجمعیت‌ترین مناطق شهری تهران قرار دارند که به دلیل بالا بودن جمعیت و ترافیک شهری در تولید بالای $NO_۲$ و CO به عنوان کانون شناسایی شده‌اند. به دلیل تراکم جمعیت بالاتر ترهان و پاکدشت نسبت به سایر شهرهای ایران بحث آلودگی هوا می‌تواند در این شهر حائز اهمیت‌تر باشد. بنابراین استفاده از تصاویر ماهواره‌ای برای پایش آلاینده‌های هوای ایران و موقعیت کانون‌ها می‌تواند به لحاظ هزینه پایین و صرف زمان بسیار مثمر ثمر واقع شود.

منابع

حجازی، عباس؛ محمدرضا مباشری و ابولفضل احمدیانمرج. ۱۳۹۱. تهیه نقشه توزیع مکانی ذرات معلق به قطر ۲/۵ میکرومتر را در هوای شهر تهران با استفاده از سنجنده مودیس. *نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، **۱۲(۲۶)**: ۱۷۸-۱۶۲.

حسینی، سیده سمیه؛ زلیخا نادرخانی و بنت الهدی یزدان بخش. ۱۳۹۶. ارزیابی ناپایداری زیست محیطی شهر اهواز با تاکید بر آلودگی هوا (با استفاده از روش FPPSI). *محیط زیست طبیعی*، **۷۰(۲)**: ۳۱۷-۳۰۹.

حسینی، عباس ملک و فریبا سلیمانی. ۱۳۹۷. بررسی تاثیر آلاینده‌های تاثیرگذار بر آلودگی هوای تهران و ارائه راهکارهای کنترل با توجه به شاخص کیفیت AQI. *نگرش نو در جغرافیای انسانی*، **۱۰(۴)**: ۷۳-۵۵.

روستایی، شهریور؛ حسین کریم‌زاده و فاطمه زادولی. ۱۳۹۷. مقایسه تحلیل آمار فضایی یا آمار کلاسیک در تحلیل شاخص‌های اجتماعی فقر شهری تبریز. فصلنامه برنامه ریزی منطقه‌ای، ۸(۳۱): ۱۶۵-۱۵۳.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.3.123]

قربانی، محمد و علی فیروز زارع. ۱۳۸۸. ارزش‌گذاری ویژگی‌های مختلف آلودگی هوا در مشهد. *مجله تحقیقات اقتصادی*، **۸۹**: ۲۴۱-۲۱۵.

قربانی‌سالخورد، رضوان؛ محمدرضا مباشری و مجید رحیم‌زادگان. ۱۳۹۱. روشی سریع در برآورد غلظت ذرات معلق با استفاده از سنجنده مودیس: یک مطالعه موردی در تهران. *نشریه حکیم*. **۱۵(۲)**: ۱۷۷-۱۶۶.

کشمیری، سعید؛ صفورا پردل؛ علیرضا رئیسی؛ ایرج نبی‌پور؛ حسین دارایی؛ سعیده جمالی؛ سینا دوبرادران؛ غلامرضا حیدری؛ افشین استوار؛ بهمن رماوندی؛ رحیم طهماسبی؛ مریم مرزبان؛ عبدالحمید خواجه‌ئیان؛ علی محمد صنعتی و شکراله فرخی.۱۳۹۷. بررسی آلودگی‌های زیست محیطی ناشی از صنایع گاز و پتروشیمی و اثرات آن بر سلامت ساکنین منطقه عسلویه، پایتخت انرژی ایران: یک مطالعه مروری. *دوماهنامه طب جنوب*، **۲۱(۲)**: ۱۶۲-۱۸۵.

محمدی، اکبر؛ مهدی قره‌خلو نره؛ کرامت اله زیاری و احمد پور احمد.۱۳۹۷. استفاده از مدل رگرسیون کاربری اراضی (LUR) برای پیش‌بینی آلاینده‌های NO_2، CO و PM_{10} (مطالعه موردی: شهر تهران). *پژوهش‌های جغرافیایی انسانی*، **۵۰(۱)**: ۱۶-۱.

محمدی، حسین؛ علی‌اکبر شمسی پور؛ اکبر یاسیان و مهرداد محمد مرادیان. ۱۳۹۷. ارزیابی اثرات ترافیک شهری بر کیفیت هوای تهران (مطالعه موردی: خیابان ولیعصر). *مطالعات علوم محیط زیست*، **۳(۳)**: ۷۶۸-۷۵۶.

محمودی سراب، سجاد عالی؛ محمد هادی معیری، شعبان شتایی جویباری و علیرضا راشکی. ۱۳۹۷. برآورد میزان آلودگی هوا (pm_{10}) با استغاده از داده‌های اآب و هوایی (مطالعه موردی:شهرستان اهواز). *محیط‌زیست طبیعی، منابع طبیعی ایران*، **۷۱(۳)**، ۳۹۷-۳۸۵.

معروف نژاد، عباس. و رئیس قنواتی، کامران. ۱۳۹۲. تاثیر مدیریت شهری در کاهش آلاینده های صنایع ماهشهر. *فصلنامه اقتصاد و مدیریت شهری*، شماره **۶**: ۳۵-۱۹.

هدایتی‌راد، فائزه؛ عبدالرسول سلمان ماهینی و سید حامد میرکریمی. ۱۳۹۵. مدل‌سازی پراکنش آلودگی هوای پالایشگاه نفت آبادان با نرم افزار $SCREEN^3$. *پژوهش‌های محیط زیست*، **۷(۱۳)**: ۱۰۲-۹۳.

Granahan, G, and F, Murray. ۲۰۰۳. Air pollution and health in rapidly developing countries. Bulletin of the World Health Organization, **۸۱(۱۰)**: ۷۷۱p.

de Kok, T.M.; H.A. Driece; J.G.; Hogervorst, and J.J. Briedé. ۲۰۰۶. Toxicological assessment of ambient and traffic-related particulate matter: a review of recent studies. *Mutation Research/Reviews in Mutation Research*, **۶۱۳(۲-۳)**, ۱۰۳-۱۲۲.

Wilson, A.M.; J.C. Salloway, C.P. Wake, T. Kelly. ۲۰۰٤. Air pollution and the demand for hospital services: a review. *Environment International*, **۳۰(۸)**:۱۱۰۹-۱۱۱۸.

Chen, R.; W. Huang, C.M. Wong, Z. Wang, T.Q. Thach, and B. Chenm. ۲۰۱۲a. Short-term exposure to sulfur dioxide and daily mortality in ۱۷ Chinese cities: The China air pollution and health effects study (CAPES). *Environmental Research*.۱۷: ۱۰۱-۱۰٦.

Chen, R.; E. Samoli, C.M. Wong, W. Huang, Z. Wang, B. Chen. ۲۰۱۲b. Associations between short-term exposure to nitrogen dioxide and mortality in ۱۷ Chinese cities: The China Air Pollution and Health Effects Study (CAPES). *Environment International*, **٤٥(۱۰)**:۳۲-۸.

Daniel, J; D. Jacob, A. Winner. ۲۰۰۹. Effect of climate change on air quality. *Atmospheric Environment*. **٤۳**: ٥۱_٦۳.

Piraino, F.; R. Aina, L. Palin, N. Prato, S. Sgorbati, and A. Santagostino. ۲۰۰٦. Air quality biomonitoring: assessment of air pollution genotoxicity in the Province of Novara (North Italy) by using Trifolium repens L. and molecular markers. *Science of The Total Environment*, **۳۷۲(۱)**:۳٥۰-٥۹.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.3.123]

Reboul, C.; J. Thireau, G. Meyer, L. André, P. Obert, and O. Cazorla. ۲۰۱۲. Carbon monoxide exposure in the urban environment: An insidious foe for the heart?.(۲۰۱۲). *Respiratory Physiology & Neurobiology*, **۱۸٤(۲)**: ۲۰٤ - ۲۱۲.

Tiwary, A. and J. Colls. ۲۰۰۹. Air pollution: measurement, modelling & mitigation. ۳ rd edition. CRC Press.

WHO. ۲۰۱۰. WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants. Geneva, Switzerland: World Health Organization.

Wark, K. and C.F. Warner. ۱۹۸۱. Air pollution: its origin and control. ۳ rd edition. Prentice Hall. ۹٦۷p.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.3.123]