



فصلنامه علوم محیطی، دوره بیستم، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۱

۱۹۹-۲۲۲

مقاله پژوهشی

ارزیابی مکانی و زمانی غلظت PM_{2.5} در استان خوزستان و بررسی عامل‌های مؤثر بر آن

کازم رنگزن^{۱*}، علیرضا زراسوندی^۲، مصطفی کابلی زاده^۱، شاهین محمدی^۱ و جاسم میاحی^۲

^۱ گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران

^۲ گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۱/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۰۹

رنگزن، ک.، ع. زراسوندی، م. کابلی‌زاده، ش. محمدی و ج. میاحی. ۱۴۰۱. ارزیابی مکانی و زمانی غلظت PM_{2.5} در استان خوزستان و بررسی عامل‌های مؤثر بر آن. فصلنامه علوم محیطی. ۲۰(۲): ۱۹۹-۲۲۲.

سابقه و هدف: ذرات معلق هوا یکی از آلاینده‌های اصلی هوا در منطقه‌های شهری هستند که به‌طور معمول از منابع مختلفی مانند وسایل نقلیه شهری، سوخت‌های فسیلی، فعالیت صنایع تولید می‌شوند و سبب بیماری‌های تنفسی، قلبی - عروقی و مرگ و میر می‌گردند، بنابراین آگاهی از تغییرات این آلاینده در سطح منطقه‌ها با آلودگی بالا، بسیار دارای اهمیت می‌باشد. در این راستا تحقیق حاضر با هدف ارزیابی زمانی و مکانی سالانه سنج PM_{2.5} در بازه زمانی ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۶ در استان خوزستان انجام گرفته است.

مواد و روش‌ها: برای انجام این مطالعه در ابتدا پارامترهای بارش، دمای سطح زمین، سرعت باد، ارتفاع و پوشش گیاهی با استفاده از چهار ماهواره Terra، Landsat 8، SRTM و GPM و داده زمینی تهیه شد. سپس سنج PM_{2.5} برای چهار دوره ۱۹۹۸، ۲۰۰۴، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۶ نیز با استفاده از محصول‌های ماهواره‌ای برای استان خوزستان استخراج گردید. همچنین اطلاعات نحوه پراکنش جمعیت و صنایع استان نیز از سازمان‌های مربوطه دریافت گردید. در نهایت پس از بررسی تغییرات مکانی - زمانی سنج PM_{2.5} در استان خوزستان، تغییرات مکانی این سنج با پارامترهای بیان شده بررسی شد تا تأثیر هر کدام از این پارامترها بر میزان آلودگی این سنج مورد ارزیابی قرار گیرد.

نتایج و بحث: نتایج مطالعه حاضر در استان خوزستان نشان می‌دهد که شهرهای جنوبی استان همچون ماهشهر، آبادان و شادگان به مراتب منطقه‌هایی با پتانسیل بالاتر از لحاظ وجود ذرات با اندازه کوچکتر از ۲/۵ میکرون می‌باشند. نتایج بررسی تراکم جمعیت و صنایع این استان نشان داد که بیشتر شهرهایی که میزان آلودگی ناشی از سنج PM_{2.5} در آن‌ها بالا بوده، دارای تعداد صنایع و تراکم جمعیت بیشتری بوده‌اند. همچنین نتایج نشان داد که در تمامی دوره‌های مطالعه، در بخش‌های شمالی و شمال شرقی استان، مقدار آلودگی ناشی از این سنج بسیار پایین‌تر از سایر منطقه‌های استان بوده است و دلیل این امر می‌تواند تراکم پایین صنایع و جمعیت این شهرها باشد که از جمله آن می‌توان به شهرهای لالی و اندیکا اشاره نمود. افزون بر ارتباط مستقیم صنایع و فعالیت‌های انسانی در افزایش و کاهش میزان

* Corresponding Author: Email Address. kazemrangzan@scu.ac.ir

<http://dx.doi.org/10.52547/envs.2022.33613>

<http://dorl.net/dor/20.1001.1.17351324.1401.20.2.15.6>

غلظت سنج PM_{2.5}، ارتباط این سنج به چند عامل ارتفاع، سرعت باد، بارش، دما و تراکم پوشش گیاهی نیز بررسی گردید که نتایج همبستگی بین پارامترهای بیان شده و سنج PM_{2.5} نشان داد که بیشترین میزان همبستگی، بین غلظت PM_{2.5} با میزان بارش وجود دارد و این ارتباط به صورت معکوس می‌باشد.

نتیجه‌گیری: با توجه به موارد بیان شده به صورت کلی می‌توان این گونه بیان کرد که غلظت آلاینده PM_{2.5} در بخش‌های جنوبی و مرکزی به مراتب بیشتر از سایر نواحی می‌باشد و این امر می‌تواند به دلیل تراکم بالای نیروگاه‌ها، صنایع و آلاینده‌های ناشی از وسایل نقلیه در این نواحی باشد. افزون بر آن عامل‌های محیطی و اقلیمی نیز می‌توانند در ماندگاری و انتشار لایه آلودگی این سنج نقش بسزایی داشته باشند. لازم به بیان است که این تحقیق می‌تواند مبنای تصمیم‌گیری برای مدیریت آلودگی هوا قرار گیرد که اهمیت این موضوع بویژه در مدیریت بحران‌های آلودگی هوا بیش از پیش احساس می‌شود.

واژه‌های کلیدی: پایش، آلاینده‌های صنعتی، سنجش از دور، آلودگی محیط زیستی، PM_{2.5}.

مقدمه

و قلبی - عروقی افزایش می‌یابد (Hoek *et al.*, 2013). از عامل‌های مهم دیگری که لزوم مطالعه و بررسی ذرات PM_{2.5} و آلاینده‌های صنعتی را افزایش داده است، تأثیر فراوان آن‌ها بر محیط، جو و شرایط اقلیمی می‌باشد (Chen *et al.*, 2013; Sivakumar, 2005). غلظت بالای PM_{2.5}، نه تنها در میزان کیفیت هوا در شهرها تأثیرگذار است، بلکه اثرهای منطقه‌ای و فرا منطقه‌ای دارد (Yadav *et al.*, 2017). با مطرح شدن نقش PM_{2.5} بر سلامت انسان و محیط زیست در چند دهه اخیر، این پدیده توجه تعداد فراوانی از محققان را به خود معطوف نموده است (Mokhtari *et al.*, 2015; Xing *et al.*, 2016; Chen *et al.*, 2017; Fann *et al.*, 2018; Sarbakhsh *et al.*, 2020; Barzeghar *et al.*, 2020; Geng *et al.*, 2021). امروزه با توجه به پیشرفت تکنولوژی، فن‌آوری سنجش از راه دور به‌عنوان یک روش و راهکار در جهت بررسی منطقه‌های درگیر با این ذرات مورد استفاده قرار می‌گیرد (Kabolizadeh *et al.*, 2019). از مزیت‌های سنجش از دور ماهواره‌ای در بررسی آلاینده‌هایی همچون PM₁₀ و PM_{2.5}، میزان پوشش مکانی و زمانی وسیع آن می‌باشد که سبب شده تا اطلاعات ارزشمندی در اختیار محققان قرار گیرد (Yang *et al.*, 2019; Cai *et al.*, 2018; Jin *et al.*, 2017; Lin *et al.*, 2014). افزون بر آن، صرفه جویی در

امروزه آلودگی هوا یک مشکل بزرگ محیط زیستی در سراسر جهان است (Kassebaum *et al.*, 2014). در دهه‌های اخیر با توجه به رشد جمعیت، استفاده روزافزون از انرژی و انتشار گازهای آلاینده به جو، موجب افزایش ذرات معلق و کاهش کیفیت هوا شده است (Rangzan *et al.*, 2014; Escudero *et al.*, 2007). این پدیده که بیشتر حاوی ذراتی با قطر کمتر از ۱۰۰ میکرون است تأثیرهای زیانباری بر سلامت انسان‌ها از جمله در میزان مرگ‌ومیر تنفسی و قلبی - عروقی دارد که در این میان ذرات PM₁₀ و PM_{2.5} بیشترین آسیب را بر سلامت جانداران دارند (Goudarzi *et al.*, 2017). در بیشتر شهرهای جهان از PM_{2.5} به‌عنوان آلاینده اصلی هوا یاد شده است و غلظت آن سنج مهمی است که میزان آلودگی هوا را منعکس می‌کند (Zhang *et al.*, 2012). با توجه به اندازه کوچک، ترکیب پیچیده و فعالیت محیطی قوی PM_{2.5}، این ذرات می‌توانند به‌عنوان حامل مواد شیمیایی، فلزهای سنگین، سم‌ها و مواد سرطان‌زا عمل کنند (Shi Coronas *et al.*, 2016; Shi *et al.*, 2014). با این حال ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی PM_{2.5} در هوا هنوز به‌طور کامل درک نشده است (Gumede and Savage 2017). با افزایش هر ۱۰ میکروگرم در غلظت PM_{2.5}، به ترتیب ۶ و ۱۱ درصد خطر مرگ به همه دلیل‌ها (مشکل‌های تنفسی و قلبی)

که بیشتر ناشی از افزایش انتشار از بخش فرآیندهای صنعتی است.

مطالعه‌ای توسط Cai *et al.* (2018) جهت بررسی تغییرات مکانی - زمانی $PM_{2.5}$ و NO_2 در منطقه چنگدو - چونگینگ چین طی سال‌های ۲۰۰۵ - ۲۰۱۵ با استفاده سنجش از دور ماهواره‌ای انجام گردید. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که حدود ۵۰٪ از تراکم NO_x و $PM_{2.5}$ در این منطقه، ناشی از فعالیت صنایع می‌باشد.

Jin *et al.* (2017) با بررسی تغییرات مکانی - زمانی انتشار $PM_{2.5}$ در چین از ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۴ نشان دادند که هر استان در چین طی ده سال گذشته روند متفاوتی در انتشار $PM_{2.5}$ داشته است. همچنین استان‌های همان منطقه تأثیر زیادی بر یکدیگر دارند و عمده‌ترین منابع انتشار $PM_{2.5}$ را سه بخش تأسیسات صنعتی، سوختن زیست توده و توسعه شهری عنوان کرده‌اند.

Lin *et al.* (2014) با مطالعه تغییرات مکانی - زمانی غلظت $PM_{2.5}$ و ارتباط آن‌ها با عامل‌های جغرافیایی و اقتصادی در چین نشان دادند که افزایش جمعیت، رشد اقتصاد محلی و گسترش شهرها سه نیروی محرکه اصلی تأثیرگذار بر غلظت $PM_{2.5}$ می‌باشند.

در مطالعه‌ای توسط Azadi Mubarak and Ahmadi (2020) در شهر تبریز به‌منظور آشکار سازی تغییرات بلند مدت ذرات معلق ($PM_{2.5}$) با استفاده از داده‌های سنجش دور انجام گردید. نتایج تجزیه و تحلیل روند تغییرات $PM_{2.5}$ در بازه زمانی مورد مطالعه نشان داد که در دو دهه اخیر میزان $PM_{2.5}$ افزایش یافته است که ممکن است ناشی از افزایش گازهای گلخانه‌ای، سوخت‌های فسیلی و ذرات گرد و غباری شمال غرب ایران باشد.

با بررسی مرور منابع، می‌توان پی برد در چند سال اخیر ارزیابی مکانی - زمانی سنجه آلودگی $PM_{2.5}$ و بررسی عامل‌های مؤثر بر آن بویژه در شهرهای صنعتی و اقتصادی بسیار مورد توجه محققان قرار گرفته است. در

هزینه و زمان را در بر دارد که این امر سبب شده تا سنجش از دور مورد استقبال بیشتری نسبت به مطالعات میدانی جهت بررسی این آلاینده‌های هوا قرار گیرد (de Hoogh *et al.*, 2018; Hejazi *et al.*, 2012). در این راستا مطالعات متنوعی در ارتباط با ارزیابی وضعیت مکانی - زمانی سنجه $PM_{2.5}$ با استفاده از سنجش از دور انجام گرفته است که در ادامه به تعدادی از آن‌ها اشاره می‌شود:

Xu *et al.* (2020) مطالعه‌ای با هدف تجزیه و تحلیل عوامل محرک غلظت $PM_{2.5}$ ، در منطقه دلتای رودخانه یانگ تسه در چین انجام دادند. نتایج نشان داد که تأثیر عامل‌های طبیعی از جمله باد و بارش بر غلظت $PM_{2.5}$ در هوا بیشتر از عامل‌های اقتصادی است.

Ding *et al.* (2019) تحقیقی در رابطه با تغییرات زمانی - مکانی سنجه $PM_{2.5}$ و ارتباط آن با اقتصاد در تیانجین چین برای بازه ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۶ انجام دادند. این محققان بیان کردند که تراکم جمعیت و بخش صنعت همبستگی مثبتی با سنجه $PM_{2.5}$ نشان دادند.

Jin *et al.* (2019) مطالعه‌ای با استفاده از مدل مکانی - زمانی بیضی برای تعیین عامل‌های اقتصادی و اقلیمی مؤثر بر سطح $PM_{2.5}$ در ۱۰۹ شهر چین انجام دادند. نتایج تأیید می‌کند که بسیاری از عامل‌های اقلیمی بر تراکم $PM_{2.5}$ تأثیر دارند.

مطالعه‌ای توسط Basheer *et al.* (2019) با عنوان تجزیه و تحلیل تغییرات مکانی - زمانی $PM_{2.5}$ در شهر لاهور پاکستان انجام گردید. نتایج نشان داد که انتشار گازهای صنعتی، آلودگی خودروها و همچنین سوزاندن بقایای محصول‌های کشاورزی از دلیل‌های سطح بالای غلظت این آلاینده می‌باشند.

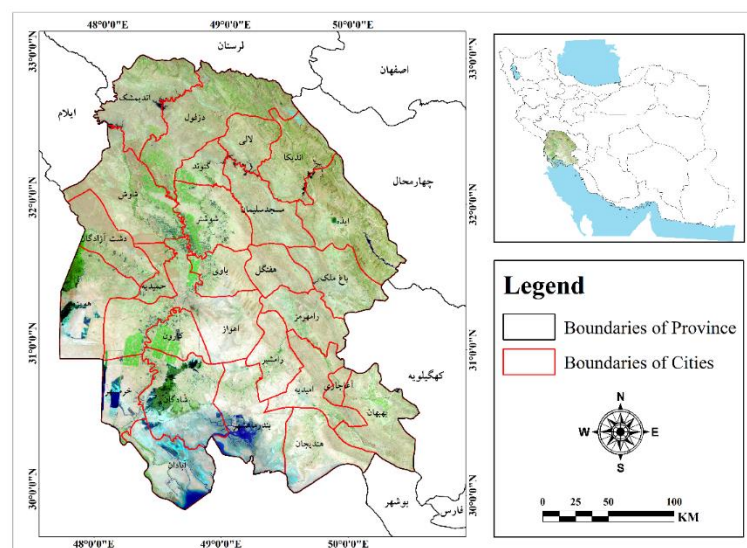
Squizzato *et al.* (2018) پژوهشی به‌منظور بررسی توزیع مکانی - زمانی $PM_{2.5}$ در طی سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۶ در ایالت نیویورک کردند. نتایج حاصل نشان داد که انتشار کل $PM_{2.5}$ از سال ۲۰۱۲ افزایشی بوده است

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه

استان خوزستان با وسعتی در حدود ۶۴۰۰۰ کیلومتر مربع بین ۴۷ درجه و ۳۸ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳۲ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ و ۲۹ درجه و ۵۷ دقیقه تا ۳۲ درجه عرض شمالی از خط استوا در جنوب غرب کشور ایران قرار دارد (شکل ۱). این استان با توجه به شرایط ویژه توپوگرافی و اقلیمی در شمال استان به رشته‌کوه‌های زاگرس و در مرکز به جلگه و در قسمت جنوبی به آب‌های آزاد دسترسی دارد که سبب ایجاد اقلیمی با شرایط آب و هوایی متنوع شده است. در بین شهرهای خوزستان، بیشترین ارتفاع از سطح دریا در شهر ایذه با ۷۶۰ متر و کمترین ارتفاع در شهر هندیجان با ۲ متر ارتفاع می‌باشد. متوسط میزان بارندگی سالانه استان حدود ۲۶۶ میلی‌متر، دوره بارندگی به‌طور معمول بین ماه‌های مهر تا اردیبهشت هر سال می‌باشد.

این میان استان خوزستان به دلیل قرار گرفتن واحدهای صنعتی زیادی همچون تأسیسات شرکت نفت، صنایع فولاد، منطقه عظیم پتروشیمی، شرکت ملی حفاری ایران و همچنین گزارش‌های متعدد بروز طوفان‌های گرد و خاک یکی از آلوده‌ترین استان‌های ایران به شمار می‌آید (Daniali *et al.*, 2018; Arami *et al.*, 2018). از طرف دیگر سنجه PM_{2.5} که یکی از دلایل اصلی آلاینده‌گی در این استان محسوب می‌شود تاکنون به‌صورت یکپارچه در سطح کل استان مورد بررسی قرار نگرفته است و این مهم یکی از ضروریات اصلی این استان می‌باشد، بنابراین این مطالعه با هدف ارزیابی زمانی - مکانی سنجه PM_{2.5} با استفاده از داده‌های سنجه‌ش از دور در بازه طولانی مدت (۱۹۹۸ تا ۲۰۱۶) و بررسی عامل-های مؤثر با آن در سطح استان خوزستان انجام گرفته است تا به برنامه‌ریزان و متخصصان در این زمینه به جهت مدیریت بهتر استان کمک کند.



شکل ۱- موقعیت استان خوزستان در ایران

Fig. 1- Location of Khuzestan Province in Iran

بالایی را می‌طلبند. بنابراین تعداد این ایستگاه‌ها بویژه در منطقه‌های غیرشهری که بخش عمده‌ای از هر کشور را تشکیل می‌دهند بسیار کم می‌باشد. موضوع دیگر در این زمینه که سبب محدود کردن اندازه‌گیری زمینی شده، نقطه‌ای بودن اندازه‌گیری زمینی است بنابراین داده‌های

روش کار

روش معمول و مستقیم کسب اطلاعات و استخراج داده‌ها، استفاده از ایستگاه‌های اندازه‌گیری زمینی می‌باشد، اما به دلیل پیچیدگی فرآیند اندازه‌گیری این پارامترها، تأسیس و نگهداری این ایستگاه‌ها هزینه

(Levy *et al.*, 2015).

سنجنده MISR یا اسپکترورادایومتر تصویر بردار چند زاویه که در سال ۲۰۰۰ به فضا پرتاب شد. قدرت تفکیک مکانی این ماهواره بین ۲۷۵ تا ۱۱۰۰ متر متغیر می‌باشد. این سنجنده با مشخصات خاصی که دارد امکان بررسی گردوغبار، بررسی ذرات جو، بررسی شکل و پوشش ابر را برای محققان فراهم می‌سازد Zhang and Reid, 2010).

سنجنده SeaWIFS که بیشتر برای مطالعات محدوده‌های آبی کاربرد دارد و یکی از سنجنده‌هایی بوده که برای تهیه داده‌های PM_{2.5} مورد استفاده قرار گرفته است. این ماهواره از سال ۱۹۹۷ تا ۲۰۱۰ داده‌برداری کرده و قدرت تفکیک مکانی آن ۱۱۰۰ متر می‌باشد که دارای ۸ باند طیفی از محدوده ۰/۴ تا ۰/۸۸ میکرومتر است.

ماهواره فعال مورد استفاده

یکی از سنجنده‌هایی که برای این هدف استفاده شده است، سنجنده فعال CALIOP می‌باشد. این سنجنده در سطح جهانی تصویربرداری نموده و پروفایل ذرات معلق در جو را به صورت عمودی در اختیار محققان قرار می‌دهد Winker *et al.*, 2003). ماهواره CALIPSO سازمان فضایی امریکا و فرانسه در ماه آوریل سال ۲۰۰۶ به فضا پرتاب شد. این ماهواره دارای سه سنسور CALIOP^۱، WFC^۲ و IIRS^۳ می‌باشد که اصلی‌ترین سنسور آن CALIOP، یک سنسور فعال بوده و قادر به اندازه‌گیری اطلاعات (اندازه‌گیری پراکنش ذرات، پروفایل‌های ارتفاعی مرتبط و غیره) در هر شرایط آب و هوایی ابری و غیر ابری می‌باشد (Chand *et al.*, 2008). رزولوشن‌های ارتفاعی و افقی اندازه‌گیری شده در محصول‌های سنسور CALIOP در اسناد و مقاله‌های منتشر شده توسط Liu *et al.* (2005). ارائه شده است. این سنسور یک لیدار حساس به قطبش موازی و عمودی در طول موج‌های ۵۳۲ و ۱۰۶۴ نانومتر می‌باشد که اطلاعات تکمیلی در رابطه با نحوه اندازه‌گیری و پردازش اطلاعات

ایستگاه‌های زمینی قابلیت لازم برای تهیه نقشه پراکندگی پارامترهای اقلیمی در مقیاس ناحیه‌ای و جهانی را ندارد (Saber *et al.*, 2012). بنابراین در این تحقیق برای به دست آوردن سنجه PM_{2.5} از داده‌های ماهواره‌ای استفاده شده است تا بتوان محدودیت‌های پیشرو را برطرف نموده و از مزایای آن بهره‌مند شد. این داده‌ها به صورت محصول ارائه گردیده که می‌توان از آرشیو پایگاه اینترنتی (<https://sedac.ciesin.columbia.edu>) مرکز کاربردها و داده‌های اقتصادی-اجتماعی ناسا^۱ دریافت نمود. این داده در سال‌های اخیر به عنوان یک پایگاه داده بسیار معتبر مورد توجه محققان برای استخراج و بررسی سنجه PM_{2.5} قرار گرفته است (Li *et al.*, 2020; Xiao *et al.*, 2018; Fenech *et al.*, 2019; Etchie *et al.*, 2018). برای تهیه این محصول از چندین منبع ماهواره‌ای استفاده گردیده است که این منابع ماهواره‌ای برای استخراج سنجه PM_{2.5} و تهیه پارامترهای مرتبط با این سنجه مورد نیاز بوده است. در این مطالعه ابتدا به منابع ماهواره‌ای مورد نیاز برای استخراج سنجه PM_{2.5} اشاره می‌شود و سپس در گام بعدی منابع ماهواره‌ای مورد نیاز برای استخراج سایر سنجه‌های مورد استفاده (بارش، دما، ارتفاع و پوشش گیاهی) در مطالعه حاضر بیان خواهد شد. برای استخراج سنجه PM_{2.5} چهار ماهواره با منبع انرژی غیرفعال و یک ماهواره با منبع انرژی فعال استفاده گردید (Van Donkelaar *et al.*, 2016).

ماهواره‌های غیرفعال مورد استفاده

دو سنجنده MODIS که روی ماهواره ترا و آکوا قرار گرفته‌اند، در سال ۲۰۰۰ و ۲۰۰۲ برای داده برداری به فضا پرتاب شده‌اند. این سنجنده‌ها دارای حساسیت رادیومتریکی بالا (۱۲ بیت) و دارای ۳۶ باند طیفی می‌باشند که دامنه طیفی آن‌ها در طول موج‌های ۰/۴ تا ۱۴/۴ میکرومتر می‌باشد. قدرت تفکیک مکانی این ماهواره ۲۵۰ تا ۱۰۰۰ متر متغیر بوده و پهنای نوارهای تصویربرداری این سنجنده ۲۳۳۰ کیلومتر می‌باشد

(Martonchik *et al.*, 2009).

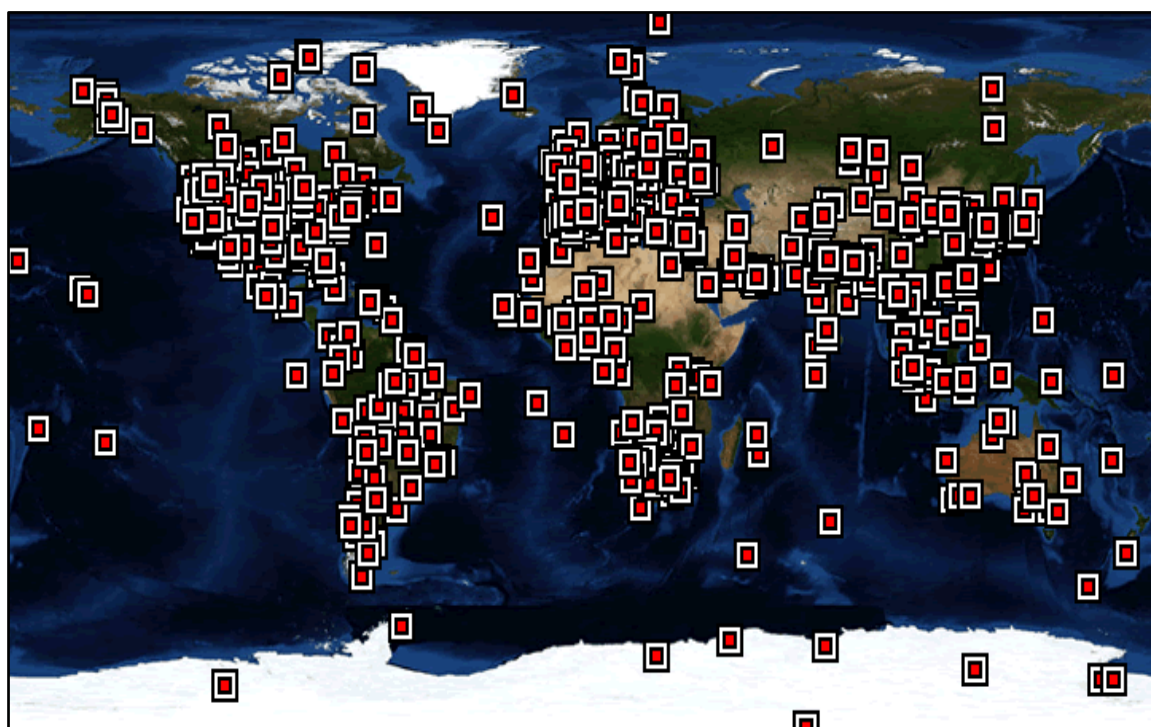
این محصول نتیجه رگرسیون خطی بین چند منبع ماهواره و الگوریتم‌های مختلف می‌باشد که در نهایت خروجی آن به‌عنوان سنجه PM_{2.5} ارائه شده است. لازم به بیان است که به‌منظور بررسی عدم قطعیت محصول تهیه شده، با شبکه رباتیک هواویزها^۲ بررسی می‌شوند تا مقدار خطای آن‌ها بررسی گردد. AERONET یک شبکه مستقر در سطح زمین که پراکنش جهانی دارد می‌باشد که وظیفه نوسنجی را در سطح زمین برای اندازه‌گیری عمق اپتیکی در چند طول‌موج به عهده دارد. این شبکه‌ها عمق اپتیکی اتمسفر با عدم اطمینان کمتر از ۰/۰۲ اندازه‌گیری می‌کنند (Holben *et al.*, 2001). میزان ضریب تعیین (R²) این محصول با مشاهده‌گرهای زمینی ۰/۸۱ می‌باشد. در شکل ۲ پراکنش مکانی شبکه رباتیک هواویزها در سطح جهان ارائه گردیده است. تعداد این دستگاه‌ها در سطح جهان در سال ۲۰۱۳ بالغ بر ۱۱۰۰ در کل جهان بوده که همچنان برای افزایش دقت و صحت مدل‌سازی در حال افزایش می‌باشند (Thomas *et al.*, 2018).

توسط Winker *et al.* (2009) ارائه شده است.

یکی از روش‌های برآورد سنجه مذکور، الگوریتم هدف تیره می‌باشد که از محدوده‌های طول موج قرمز استفاده می‌کند زیرا در این ناحیه اثرهای باز پراکنش ناشی از هواویزها کاهش پیدا می‌کند. در این مطالعه از الگوریتم هدف‌های تیره تصویرهای مودیس با قدرت تفکیک مکانی ۱۰ کیلومتر استفاده شد (Levy *et al.*, 2013).

الگوریتم آبی عمیق^۵ یکی دیگر از الگوریتم‌های استخراج هواویزها می‌باشد که برای سطح‌های روشن همانند منطقه‌های بیابانی مناسب می‌باشد (Hsu *et al.*, 2013). این الگوریتم تکمیل‌کننده الگوریتم هدف‌های تیره می‌باشد و در تصویرهای مودیس دارای قدرت تفکیک مکانی ۱۰ کیلومتر و در تصویرهای SeaWiFS قدرت تفکیک مکانی ۱۳ کیلومتر دارد (Van Donkelaar *et al.*, 2016).

الگوریتم استخراج MISR از منظرهای یکسان با چند زاویه از همان صفحه برای جداسازی هم‌زمان بازتاب جو و سطح بالای جو استفاده می‌کند. این الگوریتم هم برای سطح‌های تیره و نیز برای سطح‌های روشن کاربرد دارد

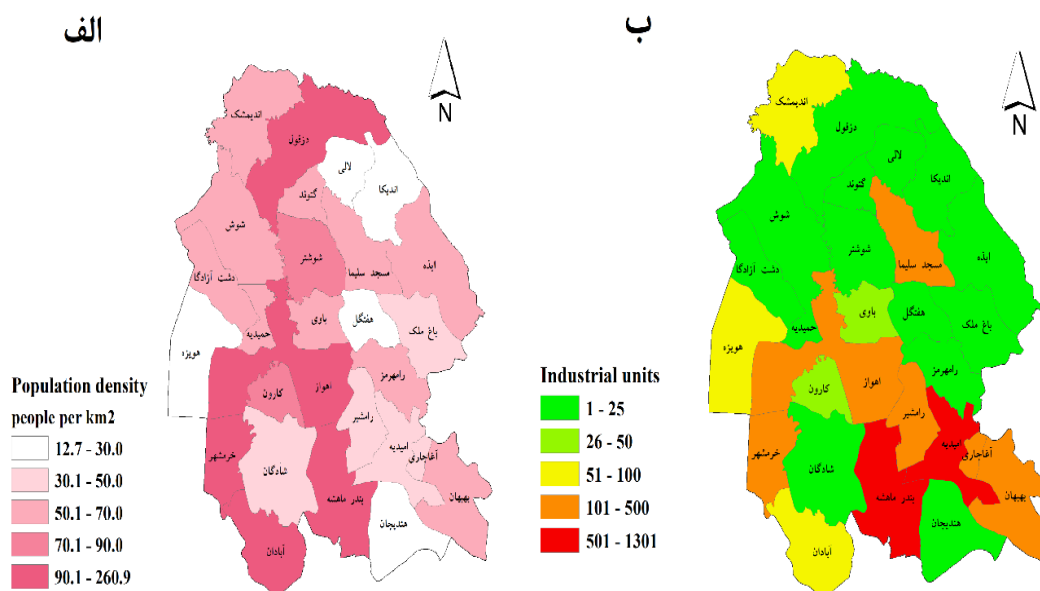


شکل ۲- پراکنش مکانی شبکه‌های رباتیک آئروسول
Fig. 2- Spatial distribution of aerosol robotic networks

و سپس با تقسیم جمعیت هر شهر به مساحت آن، تراکم جمعیت برای شهرهای استان بر حسب نفر بر کیلومتر مربع محاسبه و نتیجه آن در شکل ۳- الف نشان داده شد. همچنین اطلاعات صنایع استان نیز بر حسب تعداد واحدهای صنعتی در شکل ۳- ب آورده شد.

داده‌های صنایع و جمعیت استان خوزستان

به منظور بررسی ارتباط سنجه $PM_{2.5}$ با تراکم جمعیت و پراکندگی صنایع استان، داده آن‌ها تهیه و ارائه شد (شکل ۳). برای این منظور داده جمعیت استان خوزستان از سازمان آمار و نفوس مسکن برای سال ۱۳۹۵ تهیه گردید



شکل ۳- الف) تراکم شهرهای استان در سال ۱۳۹۵، ب) تعداد واحدهای صنعتی در شهرهای استان
 Fig. 3- a) Population density of the province's cities in 2016 and b) number of industrial units in the province's cities

(۲۰۱۷)، در حدود ۵۸۰۰ فایل دانلود شده و سپس با استفاده از نرم‌افزارهای پردازش تصویر میانگین روزانه از کل دوره آماری گرفته شد و نتایج آن در شکل ۴- الف نشان داده شد. مقدار متوسط این پارامتر برای استان بین ۱۰ تا ۴۸ درجه سانتیگراد در سطح استان متغیر می‌باشد.

بارش: مأموریت اندازه‌گیری بارندگی جهانی^۸ نام پروژه‌ای مشترک بین آژانس کاشی فضایی ژاپن و ناسا و دیگر آژانس‌های بین‌المللی است. GPM شامل محصول‌های بارش در مقیاس جهانی با قدرت تفکیک مکانی ۰/۱ درجه می‌باشد و گام زمانی آن ۳۰ دقیقه‌ای می‌باشد. این ماهواره با استفاده از شدت سنج ماکروویو مقدار بارش و شدت بارش و برف را اندازه‌گیری می‌کند و همچنین با یک رادار دو فرکانسه حمل ذرات یک سامانه ابری را بررسی

سنجه‌های مرتبط با $PM_{2.5}$

از طرف دیگر چهار عامل مؤثر با مقدار غلظت ذرات معلق ($PM_{2.5}$) برای استان مدنظر قرار گرفت که شامل بارش، دما، ارتفاع، سرعت باد و پوشش گیاهی می‌باشد. برای این منظور نیز محصول‌های چهار ماهواره مورد استفاده قرار گرفت که در این میان دو ماهواره غیرفعال (MODIS و Landsat 8) و دو ماهواره فعال (SRTM و GPM) بوده‌اند. همچنین داده سرعت باد در این مطالعه از سازمان هواشناسی استان دریافت گردید.

دما: دمای سطح زمین^۷ یکی از محصول‌های سنجنده MODIS می‌باشد که روی ماهواره ترا و آکوا نصب شده است. این محصول تحت عنوان MOD11A1 بوده که مربوط به ماهواره ترا است که دارای قدرت تفکیک ۱ کیلومتر می‌باشند. برای به دست آوردن متوسط روزانه دمای استان در طول دوره آماری ۱۶ سال (۲۰۰۲ تا

این سنجه بین ۰ تا ۱ دوباره این سنجه با استفاده از توابع فازی نرمال گردید و اسم آن سنجه NNDVI قرار داده شد. در این سنجه مقادیر نزدیک ۰ توده‌های آبی و عدد ۱ بیشینه مقدار تراکم پوشش گیاهی را در استان نشان می‌دهد (شکل ۴-۵).

سرعت باد: برای تهیه لایه سرعت باد، داده آن از سازمان هواشناسی استان برای سال ۱۳۹۵ دریافت گردید. در این راستا ۲۰ ایستگاه برای کل خوزستان در این سال در دسترس بود. این داده نقطه‌ای با استفاده از روش‌های درون یابی باید به یک سطح پیوسته تبدیل شود، که این کار با استفاده از ابزار Geostatistical در نرم افزار ArcMap انجام شد. این لایه رستری هر پیکسل آن سرعت متوسط باد حداکثر را برای آن پیکسل در طول سال نشان می‌دهد. نحوه تغییرات سرعت باد حداکثر به صورت میانگین ماهانه در شکل ۴ آورده شده است. لازم به بیان است که برای پهنه بندی این ایستگاه‌ها از روش RBF استفاده گردید، زیرا مقدار خطای RMSE آن نسبت به سایر روش‌های دیگر کمتر بود.

بنابراین به صورت کلی در ابتدا سنجه PM_{2.5} در چهار دوره ۱۹۹۸، ۲۰۰۴، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۶، برای استان خوزستان استخراج گردید و نحوه توزیع مکانی و زمانی این آلاینده هوا در سطح شهرهای استان مورد ارزیابی قرار گرفت. سپس داده‌های جمعیت و صنایع نیز برای استان از سازمان‌ها تهیه گردید تا در رابطه با منشاء و عامل‌های ایجاد این سنجه در سطح استان به شکل بهتری بحث و نتیجه‌گیری نمود. همچنین با استفاده از داده‌های سنجه از دور چند سنجه محیطی و اقلیمی (مدل رقومی ارتفاع، بارش، دما، باد و پوشش گیاهی) نیز تهیه شد و همبستگی این عامل‌ها با سنجه مورد نظر نیز بررسی گردید تا اثر این عامل‌ها بر سنجه PM_{2.5} در سطح استان مورد بررسی و آنالیز قرار گرفته شود.

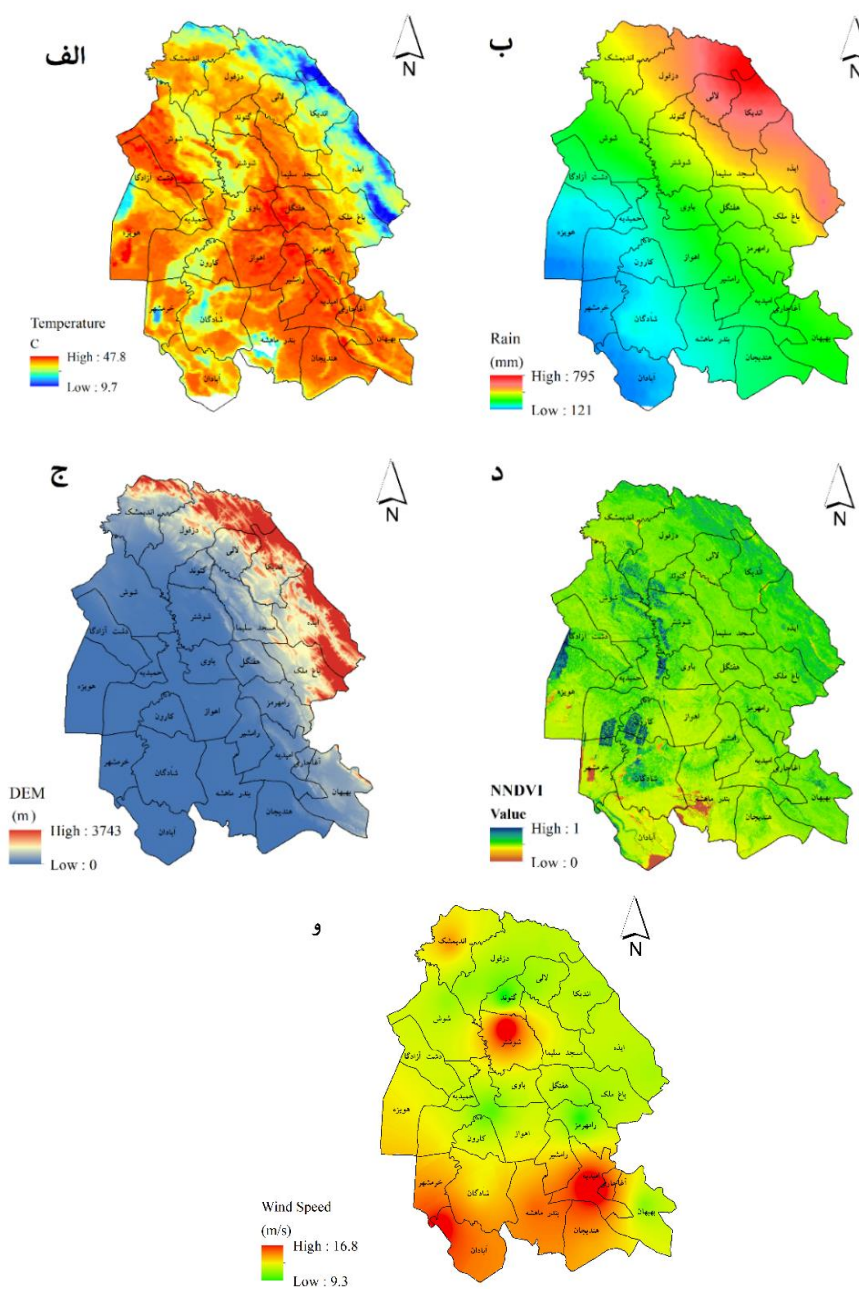
می‌کند که سبب ارسال دقیق از هر لایه ابر می‌شود. نتایج آن برای استان در شکل ۴-ب نشان داده شده است. مقدار متوسط بارش سالانه استان بین ۱۲۱ تا ۷۹۵ میلی‌متر در سطح استان متغیر می‌باشد.

مدل رقومی ارتفاع: برای تهیه مدل رقومی ارتفاع از داده‌های SRTM^۱ استفاده شد. پروژه SRTM در ۱۱ فوریه سال ۲۰۰۰ توسط ناسا جهت تهیه مدل رقومی ارتفاع شروع شد (Rosen et al., 2000). این داده‌ها کمابیش دارای یک پوشش جهانی از ۵۶ درجه جنوبی تا ۶۰ درجه شمالی می‌باشند. در تحقیق حاضر مدل رقومی ارتفاع SRTM-ver3 موجود در آرشیو پایگاه اینترنتی USGS (www.earthexplorer.usgs.go) مورد استفاده قرار گرفت. براساس این داده ارتفاع استان بین ۰ تا ۳۷۴۳ متر می‌باشد (شکل ۴-ج).

پوشش گیاهی: برای تهیه سنجه پوشش گیاهی نرمال شده برای منطقه مورد مطالعه از تصویرهای ماهواره‌ای لندست ۸ استفاده گردید. این ماهواره دارای ۱۱ باند طیفی می‌باشد که قدرت تفکیک مکانی آن از ۱۵ متر تا ۱۰۰ متر متغیر می‌باشد که برای پایش محیطی بسیار مناسب می‌باشد. قدرت تفکیک زمانی این ماهواره ۱۶ روز می‌باشد. همچنین لازم به بیان است که این ماهواره جدیدترین ماهواره از سری ماهواره‌های لندست بوده که از سال ۲۰۱۳ به فضا پرتاب شد و در حال تصویربرداری می‌باشند. این تصویرها برای تاریخ مرداد ماه سال ۱۳۹۷ دانلود و پردازش شدند. برای تهیه سنجه گیاهی نرمال شده^{۱۰} با استفاده از تصویرهای این ماهواره ابتدا از باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک تصاویر لندست ۸ (باند ۴ و ۵) استفاده شده است. فرمول محاسبه سنجه پوشش گیاهی در رابطه ۱ نشان داده شده است:

$$NDVI = \frac{(BandNIR - BandR)}{(BandNIR + BandR)} \quad (1)$$

پس از محاسبه سنجه NDVI، برای قرار دادن بازه



شکل ۴- الف) نقشه دمای خوزستان، ب) نقشه بارش خوزستان، ج) نقشه مدل ارتفاعی خوزستان، د) نقشه پوشش گیاهی خوزستان، و) نقشه سرعت باد

Fig. 4- a) Khuzestan's temperature map, b) Khuzestan's rainfall map, c) Khuzestan's elevation model map, d) Khuzestan's vegetation map, and e) wind speed map

نتایج و بحث

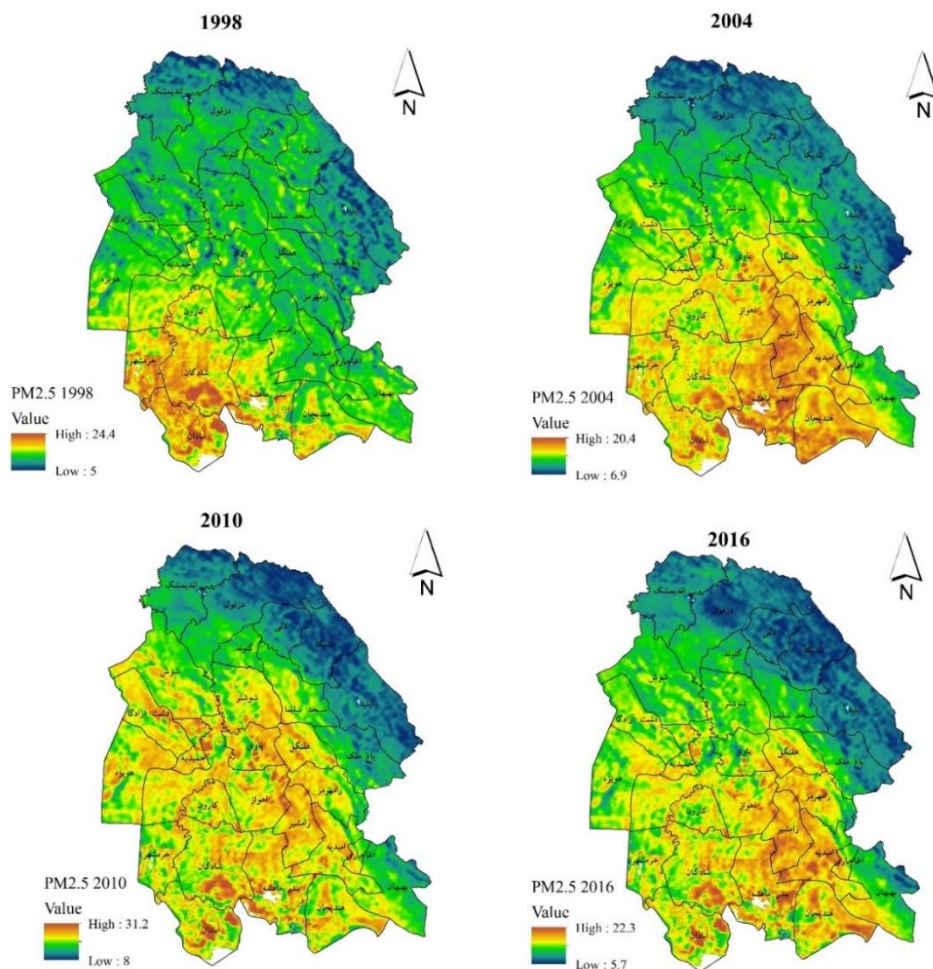
پراکندگی زمانی - مکانی سنجه $PM_{2.5}$

در این بخش، نتایج سنجه $PM_{2.5}$ پس از دریافت از پایگاه انترنتی SEDAC، برای استان خوزستان در چهار دوره ۱۹۹۸، ۲۰۰۴، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۶ ارائه شد که واحد داده‌های $PM_{2.5}$ مورد استفاده بر حسب میکروگرم بر متر

مکعب می‌باشد (شکل ۵). این محصول نتیجه رگرسیون خطی بین چند منبع ماهواره‌ای (Aqua، Terra، SeaWiFS و CALIPSO) و الگوریتم‌های مختلف می‌باشد که در نهایت خروجی آن به‌عنوان سنجه $PM_{2.5}$ ارائه شده است. با توجه به اینکه این محصول دارای دقت مناسبی می‌باشد توسط محققان زیادی در سراسر

میکروگرم بر مترمکعب بود. همچنین مقدار غلظت این سنجه در سال ۲۰۰۴، بین ۷ تا ۲۰ میکروگرم بر متر مکعب متغیر بود که بیشترین مقدار آن مربوط به بخش‌های جنوب و جنوب شرقی استان است. در سال ۲۰۱۰ پراکندگی و مقدار این سنجه در سطح استان افزایش یافته، به حدی که مقدار این سنجه در این سال بین ۸ تا ۳۱ میکروگرم بر متر مکعب شده و از طرف دیگر در بخش‌های مرکزی و شمالی استان دامنه غلظت آن نیز افزایش پیدا کرده است و در نهایت در سال ۲۰۱۶ مقدار تغییرات غلظت این سنجه بین ۵ تا ۲۲ میکروگرم بر متر مکعب بوده، که بیشترین مقدار مربوط به بخش‌های جنوب و جنوب شرقی استان می‌باشد.

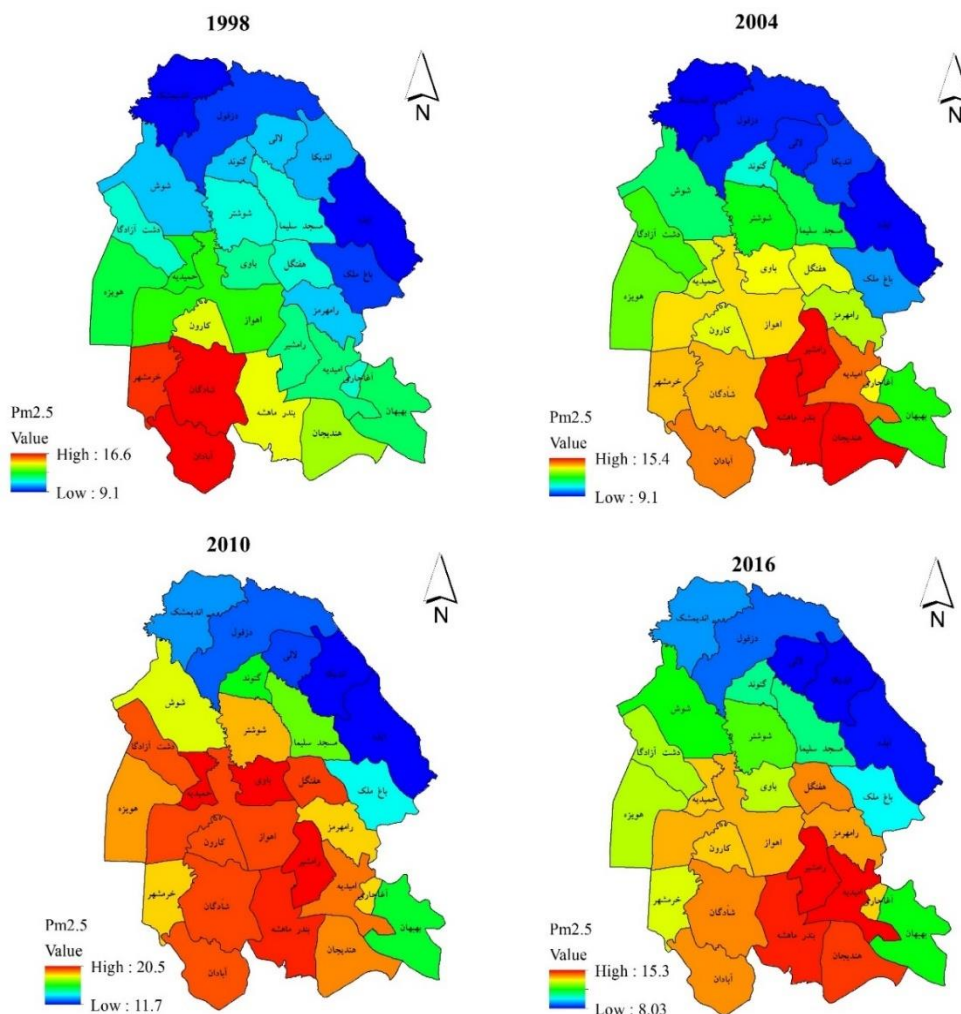
دنیا در سال‌های اخیر مورد استفاده قرار گرفته است (Li et al., 2020; Xiao et al, 2020; Fenech et al,) این نتایج نشان می‌دهند (2019; Etchie et al, 2018). که بخش‌های جنوبی و مرکزی خوزستان به مراتب منطقه‌هایی مستعد و با پتانسیل بالاتری از لحاظ وجود ذرات با اندازه کوچک‌تر از ۲/۵ میکرون می‌باشند. از نظر مکانی، توزیع ذرات معلق PM_{2.5} در غرب و جنوب غرب خوزستان نشان داد، مقدار ذرات معلق از غرب به شرق و از جنوب به شمال به دلیل پراکنش تراکم صنایع، توپوگرافی پیچیده، عامل‌های اقلیمی و دوری از کانون‌های گرد و غباری، روندی کاهشی دارند. در سال ۱۹۹۸ بیشترین مقدار این سنجه در بخش‌های جنوب غربی استان وجود داشت که مقدار آن در بین ۵ تا ۲۴



شکل ۵- تغییرات مکانی و زمانی سنجه PM_{2.5} در استان خوزستان (میکروگرم بر مترمکعب)
Fig. 5- Spatial and temporal variations of PM_{2.5} index in Khuzestan Province ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

شهرستان‌های بندر امام، رامشیر و هندیجان می‌باشد. در سال ۲۰۱۰ شهرستان‌های حمیدیه، باوی و رامشیر دارای متوسط غلظت بالاتری نسبت به دیگر منطقه‌های استان می‌باشند. همچنین در سال ۲۰۱۶ مقدار متوسط غلظت سنجه PM_{2.5} در امیدیه، رامشیر و بندر امام نسبت به سایر شهرستان‌های استان مقدار بالاتری را نشان می‌دهد، در حالیکه در تمامی سال‌ها ایذه آلودگی کمتری نسبت به سایر منطقه‌های استان دارد.

سپس با استفاده از نرم افزار ArcMap و ابزار Zonal برای هر شهرستان یک میانگین آلودگی در هر دوره استخراج گردید، که نتایج متوسط غلظت سنجه PM_{2.5} برای شهرستان‌های استان خوزستان برای چهار دوره تهیه و در شکل ۶ نشان داده شد. نتایج نشان می‌دهد که بیشترین مقدار سنجه در سال ۱۹۹۸، در شهرستان‌های آبادان، شادگان و خرمشهر می‌باشد. در سال ۲۰۰۴ بیشترین مقادیر این سنجه مربوط به



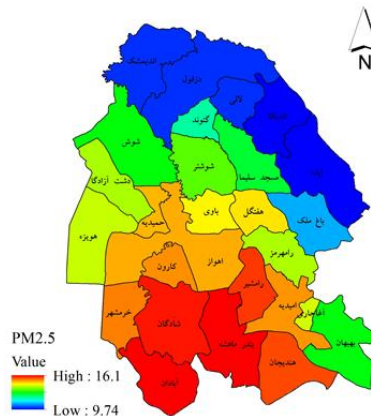
شکل ۶- متوسط تغییرات مکانی و زمانی سنجه PM_{2.5} در شهرهای خوزستان (میکروگرم بر مترمکعب)
 Fig. 6- Mean spatial and temporal variations in PM_{2.5} index in Khuzestan Province (µg/m³)

متوسط بیشتری نسبت به سایر منطقه‌های استان در طی دوره مطالعه هستند. در شکل ۸ متوسط میزان این سنجه در چهار دوره به صورت نمودار برای تمامی شهرهای استان ارائه شده است. نتایج این بخش نشان

با میانگین گیری مقدار این سنجه از سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۶ نقشه متوسط دراز مدت غلظت ذرات با قطر کمتر از ۲/۵ میکرون در شکل ۷ نشان داده شد. نتایج نشان می‌دهد که بندر ماهشهر، شادگان و آبادان دارای غلظت

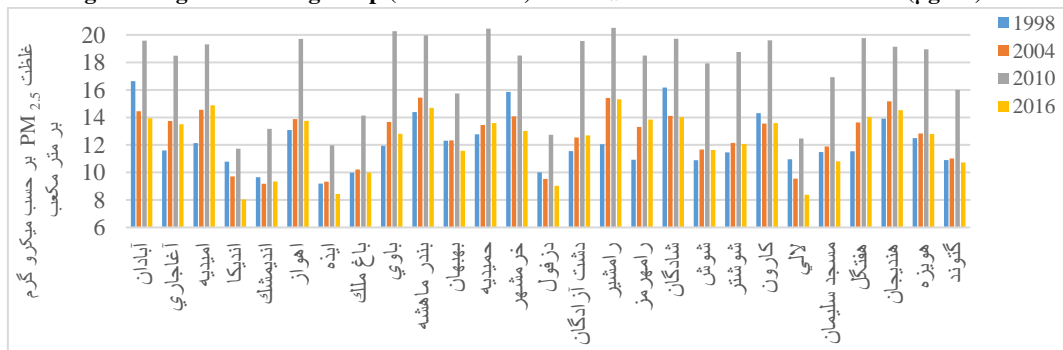
نشان می‌دهند که در سال ۲۰۰۹ در بخش غرب و جنوب غرب استان پدیده خشک سالی اقلیمی اتفاق افتاده است که سبب کاهش پوشش سطح زمین در سال‌های بعدی شده است و این امر نیز به نوبه خود می‌تواند بر افزایش میزان غلظت این آلاینده مؤثر باشد. از طرف دیگر در بین دوره‌های مورد بررسی، سال ۲۰۱۰ بیشترین وقوع طوفان‌های گرد و غبار در طول سال داشته است که این عامل می‌تواند از دلایل مهم و مؤثر در افزایش غلظت آلاینده بیان شده در این دوره باشد (Mehrabi *et al*, 2015; Nabavi *et al*, 2019; Karami *et al*, 2021).

می‌دهد که غلظت این سنجه در سال ۲۰۱۰ بیشتر از دوره‌های دیگر بوده است و اختلاف قابل توجهی با سایر دوره‌های مورد بررسی داشته است، در حالیکه در سایر دوره‌های دیگر کمابیش مقدار غلظت این سنجه در سطح استان نزدیک به هم بوده است. همانطور که پیشتر نیز اشاره شد، دلایل‌های زیادی می‌تواند در مقدار این افزایش این آلاینده دخیل باشند که از جمله آن می‌توان به افزایش فعالیت صنایع، تأثیر پارامترهای اقلیمی و وقوع پدیده‌های نظیر خشکسالی (به دنبال آن طوفان‌های گرد و غبار نیز بیشتر و شدیدتر می‌شود) اشاره کرد. مطالعات



شکل ۷- نقشه متوسط سالانه طولانی مدت (۱۹۹۸ تا ۲۰۱۶) سنجه PM_{2.5} در خوزستان (میکروگرم بر مترمکعب)

Fig. 7- Long-term average map (1998 to 2016) of PM_{2.5} index in Khuzestan's cities (µg/m³)



شکل ۸- نمودار متوسط سنجه PM_{2.5} در استان خوزستان از سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۶

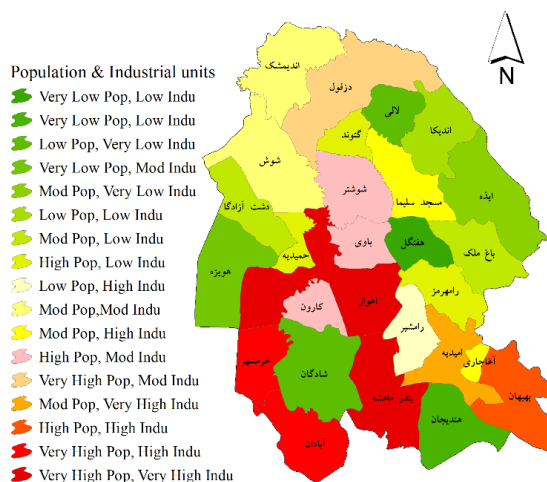
Fig. 8- Average graph of PM_{2.5} in Khuzestan Province in mg/m³ from 1998 to 2016

با این عوامل وجود دارد (Jin *et al*, 2017; Ding *et al*, 2019). نتایج حاصل از نحوه ارتباط این دو عامل نسبت به یکدیگر نشان داد که در شهرهای جنوبی و مرکزی استان بویژه در شهرستان‌های ماهشهر، آبادان، خرمشهر و اهواز، افزون بر تراکم جمعیت، تعداد واحدهای صنعتی

ارتباط بین صنایع و جمعیت با سنجه PM_{2.5}
در شکل ۹ نتایج تلفیق تعداد واحدهای صنعتی و تراکم جمعیت شهرستان‌های استان ارائه شده است. این دو همواره عامل‌های مؤثر در افزایش غلظت آلاینده PM_{2.5} به شمار می‌روند و رابطه مستقیمی بین مقدار این سنجه

(Yang *et al.*, 2019). با توجه به شکل ۹ می‌توان مشاهده نمود که شهر شادگان تعداد صنایع بسیار کمی را در خود جای داده است. همچنین تراکم جمعیت این شهر نیز پایین بوده است، بنابراین انتظار می‌رود که غلظت این آلاینده در سطح این شهر کم باشد، در حالیکه شادگان در گروه منطقه‌هایی با شدت بالای آلودگی قرار گرفته است (شکل ۷). دلیل این امر را با مراجعه به شکل ۹ می‌توان درک کرد، زیرا این شهر توسط شهرهای صنعتی با تراکم جمعیت زیاد، احاطه گردیده است و سرعت باد عاملی برای انتقال و انتشار این آلاینده به این شهر می‌باشد. به بیان دیگر می‌توان گفت که پارامتر سرعت باد بر انتشار محلی آلاینده‌های جوی تأثیرگذار است (Jin *et al.*, 2019). همچنین شایان توجه است که شهرهای غربی و جنوبی این استان در مسیر عبور طوفان‌های گرد و غبار قرار گرفته‌اند که سبب افزایش میزان غلظت آلاینده PM₁₀ خواهد شد. با توجه به اینکه مطالعات ارتباط مستقیم بین افزایش غلظت آلاینده های PM₁₀ با PM_{2.5} را تأیید کرده‌اند (Duan *et al.*, 2015; Lu *et al.*, 2017). بنابراین می‌توان گفت که یکی از دلایل دیگر افزایش غلظت این آلاینده در شهرهای غربی و جنوبی و غرب استان وقوع طوفان‌های گرد و غبار شدید در طول سال می‌باشد (Ahmadi *et al.*, 2019).

بیشتری را نیز در خود جای داده‌اند. با مقایسه این شکل با نحوه پراکنش غلظت PM_{2.5} در سطح استان (شکل‌های ۵، ۶ و ۷) می‌توان به ارتباط مستقیم و نقش مؤثر این دو پارامتر در افزایش غلظت PM_{2.5} در منطقه‌های بیان شده، پی برد. به عبارت دیگر، شهرهایی که بیشترین غلظت آلودگی را در سطح استان دارند، شهرهایی هستند که بیشترین تراکم جمعیت و صنایع آلاینده هوا را در خود جای داده‌اند. در مطالعه‌ای که در منطقه پکن، تیان جین و هبی انجام گرفت سه عامل گسترش سریع شهری، جمعیت بالا و رشد اقتصاد محلی در منطقه را عامل‌های اصلی مؤثر بر غلظت PM_{2.5} بیان کردند (Lin *et al.*, 2014). همچنین مطالعه (Jin *et al.*, 2017) در چین نیز نشان داد که میزان غلظت PM_{2.5} با تولید ناخالص داخلی و جمعیت ارتباط نزدیکی دارد. همچنین مطالعات زیادی نظیر (Reff *et al.*, 2009; Contini Hagler *et al.*, 2007; Peng *et al.*, 2016; et al., 2011) عامل‌های اقتصادی مانند تولیدات صنعتی، حمل و نقل و همچنین فعالیت‌های ساختمانی را از عامل‌های اصلی تولید PM_{2.5} به‌شمار می‌آورند. از آنجا که پراکندگی و انتشار PM_{2.5} به شرایط اقلیمی همچون باد نیز بستگی دارد، بنابراین ضروری است که با کنترل صنایع آلاینده و بهبود سیستم حمل و نقل عمومی، میزان انتشار آن را کاهش داد



شکل ۹- تلفیقی از داده های تعداد صنایع و تراکم جمعیت در استان خوزستان

Fig. 9- A combination of the number of industries and population density in Khuzestan Province

همبستگی سنجه PM_{2.5} با سایر عامل‌ها

با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان بیان کرد که یکی از دلایل اصلی کاهش مقدار PM_{2.5} در بخش‌های شمالی و شمال شرقی، توپوگرافی کوهستانی آن منطقه-ها می‌باشد و سبب ایجاد اکوسیستمی متفاوت نسبت به دشت خوزستان شده است که همین عامل، توسعه شهرنشینی و صنایع در این مناطق را محدود کرده است، بنابراین آلاینده‌های صنعتی که در مناطق شهری سبب افزایش غلظت PM_{2.5} می‌باشند، در این نواحی به کمترین مقدار خود رسیده و به دنبال آن غلظت PM_{2.5} نیز کاهش پیدا کرده است. اگرچه منابع اصلی تولید کننده این آلاینده صنایع، نیروگاه، وسایل نقلیه عنوان می‌شود (Jin et al., 2017; Cai et al., 2018)، اما بعضی عامل‌ها نیز ممکن است به صورت غیر مستقیم و پس از انتشار، روی غلظت این آلاینده تأثیرگذار باشند که از جمله آن می‌توان به دما، سرعت باد، بارش و توپوگرافی اشاره نمود که محققانی در تحقیق‌های خود نیز به این نتایج رسیدند (Megaritis et al., 2014; Dai et al., 2013; Li et al., 2015; Li et al., 2017).

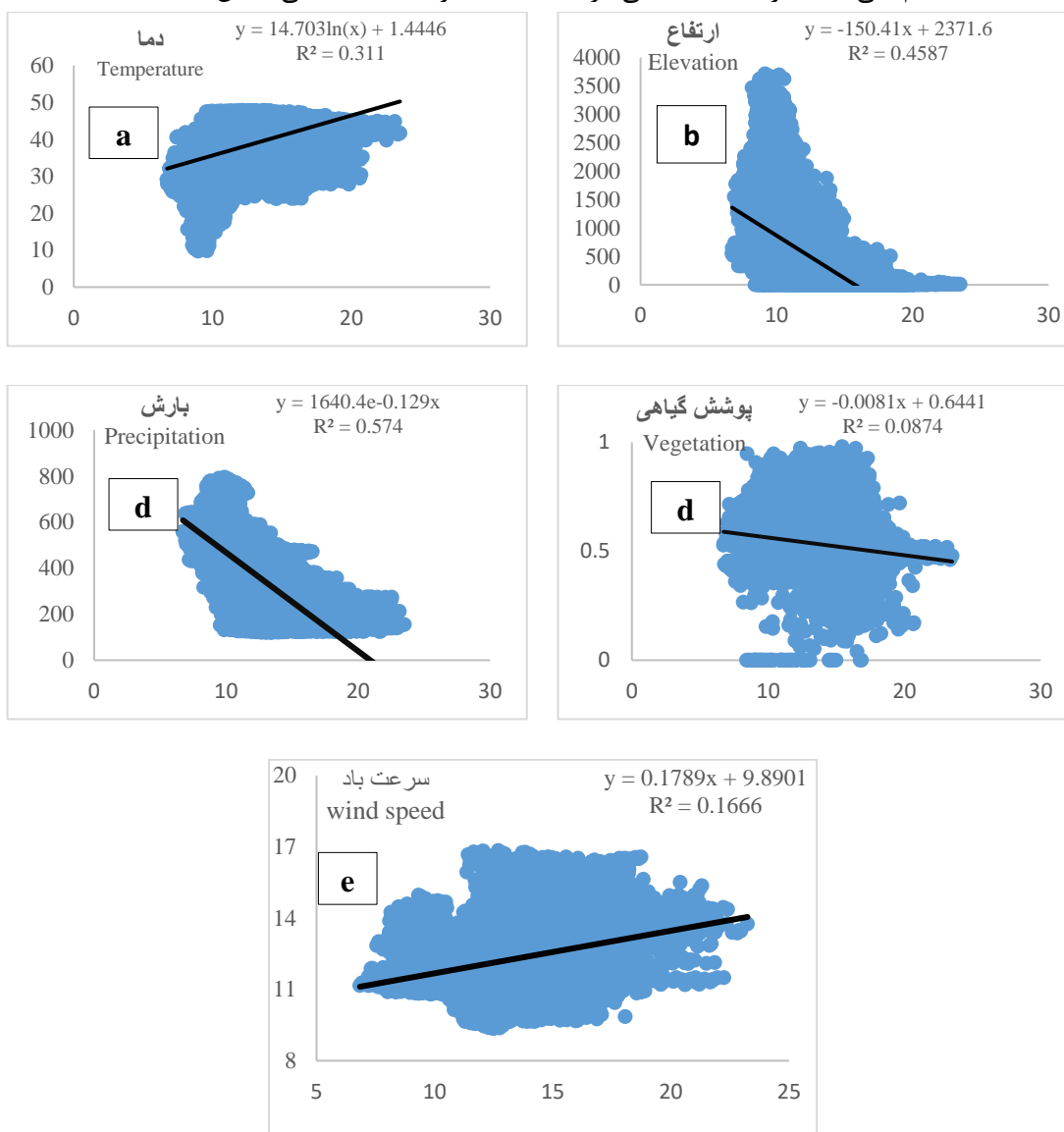
جهت بررسی ارتباط و همبستگی عامل‌های اقلیمی با سنجه PM_{2.5} بین پارامترهای به دست آمده توسط سنجش از دور و داده‌های زمینی که شامل دما، ارتفاع، بارش، سرعت باد و پوشش گیاهی بودند (شکل ۴) انجام شد تا ارتباط این عامل‌ها با این سنجه برای استان مشخص گردد (شکل ۱۰). نتایج نشان داد که همبستگی این سنجه با لایه دما به صورت رابطه مستقیم است و با افزایش دما مقدار غلظت این آلاینده نیز افزایش پیدا می‌کند، البته این غلظت تا حد آستانه‌ای وابسته به دمای محیط می‌باشد که در اینجا به این حد آستانه نرسیده است، بنابراین همواره با افزایش دما در استان غلظت این سنجه بیشتر شده است. همچنین مطالعات Arami et al. (2018) و نیز همچنین Kermani et al. (2016) نقش توسعه صنایع و افزایش دما بر انتشار و

افزایش ذرات کوچک‌تر از ۲/۵ میکرون را مؤثر دانسته‌اند، که نتایج این مطالعه با نتایج تحقیق آن‌ها همسو می‌باشد.

بررسی همبستگی پارامتر ارتفاع با سنجه PM_{2.5} نشان داد رابطه این همبستگی این دو سنجه معکوس بوده و با افزایش ارتفاع مقدار این سنجه کم خواهد شد. همانطور که در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود، بیشترین مقدار ذرات با غلظت کمتر، در نواحی مرتفع استان می‌باشد. همچنین همبستگی بین بارش و سنجه مورد بررسی نشان‌دهنده رابطه معنی‌داری بین این دو پارامتر می‌باشد و به صورت یک رابطه معکوس است یعنی به هر میزان بارش بیشتر باشد مقدار غلظت ذرات معلق در جو کاهش پیدا می‌کند. مطالعات (Mehrabi et al., 2015) در جنوب غرب کشور ایران و نیز مطالعه Gao et al. (2012) در شمال شرق چین، کاهش بارش باران را در تشدید غلظت آلودگی مؤثر دانسته‌اند که نتایج به دست آمده توسط این محققان با تحقیق حاضر مطابقت دارد. همچنین محققانی تأیید کرده‌اند که بارش و دما به عنوان دو عامل اصلی تأثیرگذار در میزان غلظت PM_{2.5} باید مورد توجه قرار گرفته شوند (Li et al., 2017; Xu et al., 2014; Yang et al., 2017). با ارزیابی همبستگی میان پوشش گیاهی و PM_{2.5} نتایج نشان‌دهنده نبود همبستگی مناسب بین این دو پارامتر است، اگرچه نتایج تأیید کننده رابطه معکوس بین این دو پارامتر می‌باشد اما این رابطه قوی نبوده و همبستگی بالایی بین این دو پارامتر وجود ندارد. یکی از دلایل می‌تواند آن باشد که بررسی همبستگی در سطح‌های بزرگ نتایج را نرمال کرده و در نتیجه تأثیر پارامتر بر هم‌دیگر را کمتر نشان می‌دهد. نتایج بررسی همبستگی این سنجه با سرعت باد نیز بررسی گردید (شکل ۱۰-و). در این مطالعه به دلیل اینکه بخش‌های جنوبی استان دارای بادهایی با سرعت بالاتری بوده و از طرف دیگر این نواحی دارای صنایع بیشتری می‌باشند، بنابراین رابطه

مطالعات بیان کرده‌اند که غلظت $PM_{2.5}$ به ازای افزایش سرعت باد، کاهش می‌یابد (He *et al.* 2017)، بنابراین این رابطه همواره مثبت و یا منفی نبوده و بستگی به سایر شرایط محلی آن منطقه دارد.

بین سرعت باد و این آلاینده مستقیم است. در مطالعه‌ای که Amarloei *et al.* (2014) در شهر ایلام انجام داده‌اند به این نتیجه رسیده‌اند که رابطه بین سرعت باد و غلظت $PM_{2.5}$ مستقیم می‌باشد، در حالیکه بعضی از



شکل ۱۰ - نتایج همبستگی سنجه‌های مرتبط با $PM_{2.5}$: (الف) همبستگی دما با $PM_{2.5}$ ، (ب) همبستگی ارتفاع با $PM_{2.5}$ ، (ج) همبستگی بارش با $PM_{2.5}$ ، (د) همبستگی پوشش گیاهی با $PM_{2.5}$ ، (و) همبستگی سرعت باد با $PM_{2.5}$

Fig. 10- Correlation results of $PM_{2.5}$ related indices: (a) temperature correlation with $PM_{2.5}$, (b) altitude correlation with $PM_{2.5}$, (c) precipitation correlation with $PM_{2.5}$, (d) vegetation correlation with $PM_{2.5}$, and (e) wind speed correlation with $PM_{2.5}$

خوزستان استفاده گردید. نتایج این مطالعه نشان داد که بخش‌های جنوبی و مرکزی استان خوزستان به مراتب مناطقی با پتانسیل بالاتر از لحاظ وجود ذرات با اندازه کوچکتر از $2/5$ میکرون می‌باشند که دلیل اصلی آن

نتیجه‌گیری

به‌طور خلاصه در این مقاله، از محصول‌های سنجش از دوری به منظور ارزیابی آلودگی هوا ناشی از سنجه $PM_{2.5}$ در دوره آماری (۱۹۹۸ تا ۲۰۱۶) در سطح استان

آلاینده نقش بسزایی داشته باشد. به صورت کلی با توجه به نتایج به دست آمده می توان گفت که جمعی از فعالیت های انسانی از جمله تأسیسات صنعتی، نیروگاه ها، وسایل حمل و نقل و طوفان های گرد و غبار از عامل های اصلی تولید کننده این آلاینده در استان خوزستان به شمار می روند. نتایج حاصل از این می تواند مبنای تصمیم گیری برای مدیریت آلودگی هوا قرار گیرد که اهمیت این موضوع بویژه در مدیریت بحران های آلودگی هوا بیش از پیش پیش احساس می شود.

پی نوشت ها

¹Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC)

²CALIOP - Cloud-Aerosol Lidar with Orthogonal Polarization

³Wide Field Camera

⁴Imaging Infrared Radiometer

⁵Deep Blue

⁶AERONET

⁷Land Surface Temperature

⁸Global Precipitation Measurement (GPM)

⁹Shuttle Radar Topographic Mission

¹⁰Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

Ahmadi, M., Dadashirodbari, A. and Jafari, M., 2019. The effect of boundary layer height on dust storm in southwest of Iran. *Journal of Natural Environmental Hazards*. 8(19), 151-174. (In Persian with English abstract).

Amarloei, A., Jonidi Jafari, A., Asilian Mohabadi, H. and Asadollahi, K., 2014. The evaluation of PM₁₀, PM_{2.5} and PM₁ concentration during dust storm events in Ilam city, from Mar 2013 through Feb 2014. *Ilam University of Medical Sciences*. 22 (4), 240-259. (In Persian with English abstract).

Arami, S.A., Ownegh, M., Mohammadian Behbahani, A., Akbari, M. and Zarasvandi, A., 2018. The analysis of dust hazard studies in southwest region of Iran in 22 years (1996-2017). *Journal of Spatial Analysis Environmental*

تراکم بالای واحدهای صنعتی و جمعیت در این مناطق می باشد (به عنوان نمونه: ماهشهر، آبادان، اهواز). از طرف دیگر در تمامی دوره ها در بخش های شمالی و شمال شرقی استان مقدار این سنجه بسیار پایین بوده است، چراکه این نواحی اغلب برای توسعه شهری مناسب نمی باشند و این شهرها صنعتی نبوده و یا از شهرهای صنعتی فاصله زیادی دارند، بنابراین به واسطه کم بودن فعالیت های انسانی و صنعتی در این نواحی غلظت PM_{2.5} نیز کاهش پیدا کرده است (به عنوان نمونه: ایذه، اندیکا و لالی). افزون بر آن نتایج این مطالعه نشان داد که عامل های محیطی و اقلیمی نیز می توانند در انتقال و یا ماندگاری این آلاینده پس از انتشار، تأثیرگذار باشند و اثر این عامل ها را بر میزان غلظت PM_{2.5}، به واسطه کاهش غلظت و انتقال لایه آلودگی هوا را نمی توان نادیده گرفت. لازم به بیان است که با توجه به اینکه مناطق غرب و جنوب غربی استان مسیر عبور طوفان های گرد و غبار در کشور می باشند و این طوفان ها تأثیر مستقیمی بر افزایش غلظت سنجه PM_{2.5} دارند، بنابراین این عامل هم می تواند در افزایش غلظت این

منابع

Hazards. 5(1), 39-66. (In Persian with English abstract).

Azadi Mubarky, M. and Ahmadi, M., 2020. Long-term variability of particulate matter (PM_{2.5}) in Tabriz using remote sensing data. *Physical Geography Research Quarterly*. 52(3), 467-480. (In Persian with English abstract).

Barzeghar, V., Sarbakhsh, P., Hassanvand, M.S., Faridi, S. and Gholampour, A., 2020. Long-term trend of ambient air PM₁₀, PM_{2.5}, and O₃ and their health effects in Tabriz city, Iran, during 2006–2017. *Sustainable Cities and Society*. 54, 101988.

Basheer, S., Rashid, H., Nasir, A. and Nawaz, R.A., 2019. Spatial and temporal variability analysis of PM_{2.5} concentration in Lahore city. *Environmental Contaminants Reviews*. 2(1),

6-10.

Cai, K., Zhang, Q., Li, S., Li, Y. and Ge, W., 2018. Spatial-temporal variations in NO₂ and PM_{2.5} over the Chengdu-Chongqing economic zone in China during 2005–2015 based on satellite remote sensing. *Sensors*. 18(11), 1-16.

Chand, D., Anderson, T.L., Wood, R., Charlson, R.J., Hu, Y., Liu, Z. and Vaughan, M., 2008. Quantifying above-cloud aerosol using space borne LIDAR for improved understanding of cloudy-sky direct climate forcing. *Journal of Geophysical Research*. 113(13), 1-12.

Chen, L., Zhang, M., Zhu, J. and Skorokhod, A., 2017. Model analysis of soil dust impacts on the boundary layer meteorology and air quality over East Asia in April 2015. *Atmospheric Research*. 187, 42-56.

Chen, Y., Cai, Q. and Tang, H., 2003. Dust storm as an environmental problem in north China. *Environmental Management*. 32(4), 413-417.

Contini, D., Gambaro, A., Belosi, F., De Pieri, S., Cairns, W. R. L., Donato, A., and Citron, M., 2011. The direct influence of ship traffic on atmospheric PM_{2.5}, PM₁₀ and PAH in Venice. *Journal of Environmental Management*. 92(9), 2119-2129.

Coronas, M.V., Rocha, J.A.V., Salvadori, D.M.F. and Vargas, V.M.F., 2016. Evaluation of area contaminated by wood treatment activities: Genetic markers in the environment and in the child population. *Chemosphere*. 144, 1207-1215.

Dai, W., Gao, J., Q. Wang, B. and Ouyang, F., 2013. Statistical analysis of weather effects on PM_{2.5}. In *advanced materials research*. 610, 1033-1040. Trans Tech Publications Ltd.

Daniali, M., Mohamadnezhad, B. and Karimi, N., 2018. Evaluation of vegetation health based on the resilience in arid lands. *Journal of Remote Sensing and GIS for Natural Resources*. 9(1), 58-73. (In Persian with English abstract).

De Hoogh, K., Héritier, H., Stafoggia, M., Künzli, N. and Kloog, I., 2018. Modelling daily PM_{2.5} concentrations at high spatio-temporal resolution across Switzerland. *Environmental Pollution*. 233, 1147-1154.

Ding, Y., Zhang, M., Chen, S., Wang, W. and Nie, R., 2019. The environmental Kuznets curve for PM_{2.5} pollution in Beijing-Tianjin-Hebei region of China. *Journal of Cleaner Production*. 220, 984-994.

Duan, J., Chen, Y., Fang, W., and Su, Z., 2015. Characteristics and relationship of PM, PM₁₀, PM_{2.5} concentration in a polluted city in northern China. *Procedia Engineering*. 102, 1150-1155.

Escudero, M., Querol, X., Ávila, A. and Cuevas, E., 2007. Origin of the exceedances of the European daily PM limit value in regional background areas of Spain. *Atmospheric Environment*. 41(4), 730-744.

Etchie, T. O., Etchie, A.T., Adewuyi, G. O., Pillarisetti, A., Sivanesan, S., Krishnamurthi, K. and Arora, N.K., 2018. The gains in life expectancy by ambient PM_{2.5} pollution reductions in localities in Nigeria. *Environmental Pollution*. 236, 146-157.

Fann, N., Coffman, E., Timin, B. and Kelly, J. T., 2018. The estimated change in the level and distribution of PM_{2.5} attributable health impacts in the United States: 2005–2014. *Environmental Research*. 167, 506-514.

Fenech, S., Doherty, R.M., Heaviside, C., Macintyre, H.L., O'Connor, F.M., Vardoulakis, S. and Agnew, P., 2019. Meteorological drivers and

- mortality associated with O₃ and PM_{2.5} air pollution episodes in the UK in 2006. *Atmospheric Environment*. 213, 699-710.
- Gao, T., Han, J., Wang, Y., Pei, H. and Lu, S., 2012. Impacts of climate abnormality on remarkable dust storm increase of the Hunshdak Sandy Lands in northern China during 2001–2008. *Meteorological Applications*. 19(3), 265-278.
- Geng, G., Zheng, Y., Zhang, Q., Xue, T., Zhao, H., Tong, D. and Davis, S. J., 2021. Drivers of PM_{2.5} air pollution deaths in China 2002–2017. *Nature Geoscience*. 14(9), 645-650.
- Goudarzi, G., Daryanoosh, S.M., Godini, H., Hopke, P.K., Sicard, P., De Marco, A., Rad, H.D., Harbizadeh, A., Jahedi, F., Mohammadi, M. J. and Savari, J., 2017. Health risk assessment of exposure to the Middle-Eastern dust storms in the Iranian megacity of Kermanshah. *Public health*. 148, 109-116.
- Gumede, P. R. and Savage, M. J., 2017. Respiratory health effects associated with indoor particulate matter (PM_{2.5}) in children residing near a landfill site in Durban, South Africa. *Air Quality, Atmosphere & Health*. 10(7), 853-860.
- Hagler, G. S. W., Bergin, M. H., Salmon, L. G., Yu, J. Z., Wan, E. C. H., Zheng, M. and Schauer, J. J., 2007. Local and regional anthropogenic influence on PM_{2.5} elements in Hong Kong. *Atmospheric Environment*. 41(28), 5994-6004.
- He, J., Gong, S., Yu, Y., Yu, L., Wu, L., Mao, H. and Li, R., 2017. Air pollution characteristics and their relation to meteorological conditions during 2014–2015 in major Chinese cities. *Environmental Pollution*. 223, 484-496.
- Hejazi, A., Mobashari, M. and Abolfazl, A. M., 2012. Spatial distribution map of suspended particles with diameter less than two and a half micrometers in Tehran air using MODIS data. *Journal of Applied researches in Geographical Sciences*. 12, 161-178. (In Persian with English abstract).
- Hoek, G., Krishnan, R. M., Beelen, R., Peters, A., Ostro, B., Brunekreef, B. and Kaufman, J. D., 2013. Long-term air pollution exposure and cardio-respiratory mortality: A Review. *Environmental Health*. 12(1), 43.
- Holben, B.N., Tanre, D., Smirnov, A., Eck, T.F., Slutsker, I., Abuhassan, N., Newcomb, W.W., Schafer, J.S., Chatenet, B., Lavenue, F. and Kaufman, Y.J., 2001. An emerging ground-based aerosol climatology: Aerosol optical depth from AERONET. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 106, 12067-12097.
- Hsu, N.C., Jeong, M.J., Bettenhausen, C., Sayer, A.M., Hansell, R., Seftor, C.S., Huang, J., and Tsay, S.C., 2013. Enhanced Deep Blue aerosol retrieval algorithm: The second generation. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 118 (16), 9296-9315.
- Jin, J. Q., Du, Y., Xu, L. J., Chen, Z. Y., Chen, J. J., Wu, Y. and Ou, C. Q., 2019. Using Bayesian spatio-temporal model to determine the socio-economic and meteorological factors influencing ambient PM_{2.5} levels in 109 Chinese cities. *Environmental Pollution*. 254, 113023.
- Jin, Q., Fang, X., Wen, B. and Shan, A., 2017. Spatio-temporal variations of PM_{2.5} emission in China from 2005 to 2014. *Chemosphere*. 183, 429-436.
- Kabolizadeh, M., Rangzan, K., Rashidian, M. and Delfan, H., 2019. Estimation total dissolved solids and turbidity concentration in Karkheh and Dez dam and Great Karun River by using Sentinel-2

- satellite images. *Journal of Advanced Applied Geology*. 8(4), 17-27. (In Persian with English abstract).
- Karami, S., Hossein Hamzeh, N., Sabzevari, H. and Lo Alizadeh, M., 2021. Investigation of trend analysis of the number of dust stormy days and aerosol concentration derived from satellite in Khuzestan province by using non-parametric Mann-Kendall test. *Journal of Climate Research*. (44), 91-103.
- Kassebaum, N. J., Bertozzi-Villa, A., Coggeshall, M. S., Shackelford, K. A., Steiner, C., Heuton, K. R. and Templin, T., 2014. Global, regional, and national levels and causes of maternal mortality during 1990–2013: a systematic analysis for the global burden of disease study 2013. *The Lancet*. 384(9947), 980-1004.
- Kermani, M., Taherain, E. and Izanloo, M., 2016. Analysis of dust and dust storms in Iran, Investigation Internal and external origin of dust storms in Iran using satellite images and control methods. *Rahavard Salamat Journal*. 2(1), 39-51. (In Persian with English abstract).
- Levy, R.C., Mattoo, S., Munchak, L.A., Remer, L.A., Sayer, A.M., Patadia, F. and Hsu, N.C., 2013. The Collection 6 MODIS aerosol products over land and ocean. *Atmospheric Measurement Techniques*. 6(11), 2989–3034.
- Levy, R.C., Munchak, L.A., Mattoo, S., Patadia, F., Remer, L.A. and Holz, R.E., 2015. Towards a long-term global aerosol optical depth record: applying a consistent aerosol retrieval algorithm to MODIS and VIIRS-observed reflectance. *Atmospheric Measurement Techniques Discussions*. 8, 4083–4110.
- Li, L., Qian, J., Ou, C. Q., Zhou, Y. X., Guo, C. and Guo, Y., 2014. Spatial and temporal analysis of air pollution index and its timescale-dependent relationship with meteorological factors in Guangzhou, China, 2001–2011. *Environmental Pollution*. 190, 75-81.
- Li, X., Feng, Y. J. and Liang, H. Y., 2017. The impact of meteorological factors on PM_{2.5} variations in Hong Kong. In *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 78(1), 012003.
- Li, Y., Liao, Q., Zhao, X., Tao, Y., Bai, Y., and Peng, L., 2020. Premature mortality attributable to PM_{2.5} pollution in China during 2008–2016: Underlying causes and responses to emission reductions. *Chemosphere*. 263, 127925.
- Lin, G., Fu, J. Jiang, D., Hu, W., Dong, D., Huang, Y. and Zhao, M., 2014. Spatio-temporal variation of PM_{2.5} concentrations and their relationship with geographic and socioeconomic factors in China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 11(1), 173-186.
- Liu, Z., Omar, A.H., Hu, Y., Vaughan, M.A., Winker, D.M., Poole, L. and Kovacs, T., 2005. CALIOP algorithm theoretical basis document. Part 3: Scene classification algorithms. NASA-CNES document PC-SCI-203.
- Lu, D., Xu, J., Yang, D. and Zhao, J., 2017. Spatio-temporal variation and influence factors of PM_{2.5} concentrations in China from 1998 to 2014. *Atmospheric Pollution Research*. 8(6), 1151-1159.
- Martonchik, J.V., Kahn, R.A. and Diner, D.J., 2009. Retrieval of aerosol properties over land using MISR observations. In *satellite aerosol remote sensing over land*. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Megaritis, A., G. Fountoukis, C., Charalampidis, P. E., Denier Van Der Gon, H. A., C. Pilinis, C. and Pandis, S.N., 2014. Linking climate and air

- quality over Europe: effects of meteorology on PM_{2.5} concentrations. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 14(18), 10-283.
- Mehrabi, S., Soltani, S. and Jafari, R., 2015. Analyzing the relationship between dust storm occurrence and climatic parameters. *Journal of Water and Soil Science(JWSS)*. 19(71), 69-81. (In Persian with English abstract).
- Mokhtari, M., Miri, M., Mohammadi, A., Khorsandi, H., Hajizadeh, Y. and Abdollahnejad, A., 2015. Assessment of air quality index and health impact of PM₁₀, PM_{2.5} and SO₂ in Yazd, Iran. *Journal of Mazandaran University of Medical Sciences*. 25(131), 14-23. (In Persian with English abstract).
- Nabavi, S., Moradi, H. and Shrifikia, M., 2019. Evaluation of dust storm temporal distribution and the relation of the effective factors with the frequency of occurrence in Khuzestan province from 2000 to 2015'. *Scientific- Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*. 28(111), 191-203. (In Persian with English abstract).
- Peng, X., Shi, G. L., Zheng, J., Liu, J. Y., Shi, X. R., Xu, J. and Feng, Y. C., 2016. Influence of quarry mining dust on PM_{2.5} in a city adjacent to a limestone quarry: Seasonal characteristics and source contributions. *Science of the Total Environment*. 550, 940-949.
- Rangzan, K., Zarasvandi, A., Abdulkhani, A. and Mojaradi, B., 2014. Modeling air pollution using modis images: a case study of dust masses in Khuzestan province. *Advanced Applied Geology*. 4(4), 38-45. (In Persian with English abstract).
- Reff, A., Bhave, P. V., Simon, H., Pace, T. G., Pouliot, G. A., Mobley, J. D. and Houyoux, M., 2009. Emissions inventory of PM_{2.5} trace elements across the United States. *Environmental science & technology*. 43(15), 5790-5796.
- Rosen, P.A., Hensley, S., Joughin, I.R., Li, F.K., Madsen, S.N., Rodriguez, E. and Goldstein, R.M., 2000. Synthetic aperture radar interferometry. *Proceedings of the IEEE*. 88(3), 333-382.
- Saberi, M., Rangzan, K., Mahjouri, R. and Agriculture, M., 2012. Potential of groundwater resource integration by remote sensing and gis using Hierarchical Analysis method (AHP) in Khuzestan province's Antarctic Anticline. *Journal of Advanced Applied Geology*. 2(4), 11-20. (In Persian with English abstract).
- Shi, L. N., Xu, X., Zhao, X. D., Dou, X. Y. and Zhao, Q. Q., 2014. Characteristics of the atmospheric pollution and health risk of arsenic and heavy metals (Cu, Pb, Cr, Ni, Hg) in PM_{2.5} during heating period in Xining, China. *In Advanced Materials Research*. 955, 993-1002. Trans Tech Publications Ltd.
- Sivakumar, M.V., 2005. Impacts of sand storms/dust storms on agriculture. *In Natural disasters and extreme events in agriculture*. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Squizzato, S., Masiol, M., Rich, D. Q. and Hopke, P. K., 2018. PM_{2.5} and gaseous pollutants in New York State during 2005–2016: Spatial variability, temporal trends, and economic influences. *Atmospheric Environment*. 183, 209-224.
- Van Donkelaar, A., Martin, R.V., Brauer, M., Hsu, N.C., Kahn, R.A., Levy, R.C., Lyapustin, A., Sayer, A.M. and Winker, D.M., 2016. Global estimates of fine particulate matter using a combined geophysical-statistical method with information from satellites, models, and monitors. *Environmental Science & Technology*. 50(7), 3762-3772.

- Wang, Y., Stein, A.F., Draxler, R.R., Jesús, D. and Zhang, X., 2011. Global sand and dust storms in 2008: Observation and HYSPLIT model verification. *Atmospheric environment*. 45(35), 6368-6381.
- Winker, D.M., Pelon, J.R. and McCormick, M.P., 2003. CALIPSO mission: space borne LIDAR for observation of aerosols and clouds. *International Society for Optics and Photonics*. 4893, 1-11.
- Winker, D.M., Vaughan, M.A., Omar, A., Hu, Y., Powell, K.A., Liu, Z., Hunt, W.H. and Young, S.A., 2009. Overview of the CALIPSO mission and CALIOP data processing algorithms. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*. 26(11), 2310-2323.
- Xiao, Q. Geng, G. Liang, F. Wang, X. Lv, Z. Lei, Y. and He, K., 2020. Changes in spatial patterns of PM_{2.5} pollution in China 2000–2018: Impact of clean air policies. *Environment International*. 141, 105776.
- Xing, Y. F., Xu, Y. H., Shi, M. H. and Lian, Y.X., 2016. The impact of PM_{2.5} on the human respiratory system. *Journal of Thoracic Disease*. 8(1), 69-74.
- Xu, G., Ren, X., Xiong, K., Li, L., Bi, X. and Wu, Q., 2020. Analysis of the driving factors of PM_{2.5} concentration in the air: A case study of the Yangtze River Delta, China. *Ecological Indicators*. 110(3), 105889.
- Xu, L.J., Zhou, J.X., Guo, Y., Wu, T. M., Chen, T.T., Zhong, Q. J. and Ou, C.Q., 2017. Spatiotemporal pattern of air quality index and its associated factors in 31 Chinese provincial capital cities. *Air Quality, Atmosphere & Health*. 10(5), 601-609.
- Yadav, R., Sahu, L.K., Beig, G., Tripathi, N. and Jaaffrey, S.N.A., 2017. Ambient particulate matter and carbon monoxide at an urban site of India: influence of anthropogenic emissions and dust storms. *Environmental Pollution*. 225, 291-303.
- Yang, Q., Yuan, Q., Li, T., Shen, H., and Zhang, L., 2017. The relationships between PM_{2.5} and meteorological factors in China: seasonal and regional variations. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 14(12), 1510.
- Yang, Y., Li, J., Zhu, G. and Yuan, Q., 2019. Spatio-temporal relationship and evolvement of socioeconomic factors and PM_{2.5} in China during 1998–2016. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 16(7), 1149.
- Zhang, J. and Reid, J.S., 2010. A decadal regional and global trend analysis of the aerosol optical depth using a data-assimilation grade over-water MODIS and Level 2 MISR aerosol products. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 10, 10949–10963.
- Zhang, Q., He, K. and Huo, H., 2012. Cleaning China's air. *Nature*. 484(7393), 161-162.
- Zhao, L., Chen, C., Wang, P., Chen, Z., Cao, S., Wang, Q. and Lu, B., 2015. Influence of atmospheric fine particulate matter (PM_{2.5}) pollution on indoor environment during winter in Beijing. *Building and Environment*. 87, 283-291.





Environmental Sciences Vol.20 / No.2 / Summer 2022

199-222

Original Article

Spatiotemporal evaluation of PM_{2.5} concentration in Khuzestan Province and examining the factors affecting it

Kazem Rangzan,^{1*} Alireza Zarasvandi,² Mostafa Kabolizadeh,¹ Shahin Mohammadi¹ and Jasem Mayahi²

¹Department of Remote Sensing and GIS, Faculty of Earth Science, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran

²Department of Geology, Faculty of Earth Science, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran

Received: 2020.04.14 Accepted: 2022.05.30

Rangzan, K., Zarasvandi, A., Kabolizadeh, M., Mohammadi, Sh. and Mayahi, J., 2022. Spatiotemporal evaluation of PM_{2.5} concentration in Khuzestan Province and examining the factors affecting it. *Environmental Sciences*. 20(2): 199-222.

Introduction: Particulate matters are one of the main air pollutants in urban areas, which are usually produced from various sources such as urban vehicles, fossil fuels and industrial activities. They may cause respiratory diseases, cardiovascular disease and death. It is, therefore, very important to be aware of spatial changes in these pollutants in areas with high levels of pollution. In this regard, the present study was conducted with the aim of spatio-temporal evaluation of the PM_{2.5} index in the period 1998 to 2016 in Khuzestan Province.

Material and methods: For this study, first, precipitation, land surface temperature (LST), wind speed, Digital Elevation Model (DEM) and vegetation cover parameters were prepared using four satellites i.e., Terra, Landsat 8, SRTM and GPM, and ground data. Then, PM_{2.5} index for four periods of 1998, 2004, 2010 and 2016 was extracted using satellite products for Khuzestan Province. Also, information on the distribution of the population and industries of the province was received from the relevant organizations. Finally, after providing the spatio-temporal changes of PM_{2.5} index in Khuzestan Province, the spatial changes of this index were studied with the mentioned parameters to evaluate the effect of each of these parameters on the contamination degree of this index.

* Corresponding Author: *Email Address.* kazemrangzan@scu.ac.ir

<http://dx.doi.org/10.52547/envs.2022.33613>

<http://dorl.net/dor/20.1001.1.17351324.1401.20.2.15.6>

Results and discussion: The results of the present study showed that the southern cities of the province such as Mahshahr, Abadan and Shadegan are regions with higher potential in terms of particles smaller than 2.5 microns in size. The results of the study of population density and industries of this province showed that most of the cities in which the air pollution rate was high due to the PM_{2.5} index, had more industries and population density. The results also showed that in all study periods, in the northern and northeastern parts of the province, the amount of air pollution caused by this index was much lower than other regions of the province and the reason for this could be the low density of industries and population of these cities, among which we can mention the cities of Lali and Indika. In addition to the direct relationship between industry and human activities in increasing and decreasing the concentration of PM_{2.5} index, the relationship between this index and several factors (DEM, wind speed, precipitation, temperature and vegetation cover) was investigated. The correlation results between the mentioned parameters and PM_{2.5} concentration showed that the highest correlation was between PM_{2.5} concentration and precipitation and this relationship was inverse.

Conclusion: It can be concluded that the concentration of PM_{2.5} pollutants in the southern and central areas is much higher than other areas and this could be due to the high density of power plants, industries and vehicle pollution in these areas. In addition, environmental and climatic factors can play an important role in the persistence and spread of the air pollution layer of this index. It should be noted that this research can be used as the basis for decision-making for air pollution management, which is an important step towards overcoming the crisis of air pollution.

Keywords: Monitoring, Industrial pollutants, Remote sensing, Environmental pollution, PM_{2.5}.

