



جمیل امان‌اللهی<sup>۱</sup>  
شهرام کبودوندپور<sup>۲</sup>

## ارزیابی قابلیت تصاویر و داده‌های سنجندهی مودیس برای اندازه‌گیری PM<sub>10</sub> در رابطه با داده‌های زمینی (مطالعه موردی: شهر سنندج)

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۲/۰۳/۲۵

تاریخ دریافت مقاله: ۹۰/۰۴/۲۱

### چکیده

دانش سنجش از دور به طور فزاینده‌ای در دهه گذشته برای ارزیابی پدیده‌های اتمسفری به کار گرفته شده است. با توجه به معضل طوفان‌های گرد و غبار در مناطق غربی ایران، استفاده از مزایای سنجش از دور در بررسی منطقه‌ای و محلی این طوفان‌ها لازم و ضروری می‌باشد. در تحقیق حاضر سعی شده ارتباط و همبستگی بین داده‌های PM<sub>10</sub> استخراج شده از سنجنده مودیس و داده‌های PM<sub>10</sub> ثبت شده در ایستگاه زمینی شهر سنندج با استفاده از مدل رگرسیون غیر خطی برای ماه‌های خرداد و تیر سال ۱۳۸۸ تعیین شود و با استفاده از تصاویر RGB و همچنین تصاویر نوع 1B سنجنده مودیس (MODIS) با نام (MOD021KM)، الگوهای حرکتی طوفان‌های گرد و غباری که این منطقه را تحت تاثیر قرار می‌دهند، مورد ارزیابی قرار گیرند. بیشترین مقدار میانگین ماهانه PM<sub>10</sub> در تیرماه و بیشترین مقدار میانگین ساعتی PM<sub>10</sub> در طول شبانه روز در ساعت ۱۲ ظهر مشاهده شد. ارتفاع لایه اتمسفری از

E-mail: j.amanollahi@uok.ac.ir

۱- استادیار گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه کردستان

۲- استادیار گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه کردستان

سطح زمین در کوه‌های زاگرس و شدت باد در شرق عراق از مهم‌ترین عوامل موثر در ورود طوفان‌های گرد و غبار به مناطق غربی ایران هستند. میزان تغییرات زمانی و مکانی  $PM_{10}$  ثبت شده در ایستگاه زمینی سنندج با تصاویر ارائه شده توسط سنجد مودیس در ماه‌های خرداد و تیر یک رابطه مثبت و نسبتاً قوی را از خود نشان دادند ( $R=0/85$ ) که بیانگر قابلیت و قابل اطمینان بودن تولیدات مودیس در بررسی الگوهای حرکتی طوفان‌های گرد و غبار و همچنین برآورد میزان غلظت ذرات جامد معلق در هوای شهر سنندج است، به خصوص که سنجد مودیس با در اختیار قرار دادن اطلاعات خصوصیات این طوفان‌ها در خارج از مرزهای ایران مانند کشورهای عراق و عربستان می‌تواند ما را در ارائه برنامه‌هایی مدیریتی راهبردی در راستای کاهش و کنترل این طوفان‌ها یاری دهد.

**کلید واژه‌ها:** سنجد مودیس،  $PM_{10}$ ، طوفان‌های گرد و غبار، الگوهای حرکتی، مناطق غربی ایران.

#### مقدمه

گرد و غبار یکی از پدیده‌های جوی است که آثار و پیامدهای زیست محیطی نامطلوبی از جمله زیان برای سلامت انسان، اقتصاد جامعه و اقلیم دارد (شاهسونی و همکاران، ۱۳۸۹: ۴۵). اخیراً غلظت بالای ذرات معلق<sup>۳</sup> موجود در هوا که از کشور عراق وارد مناطق غربی و جنوب غربی ایران می‌شوند، سبب بروز نگرانی‌هایی شدیدی در رابطه با سلامت جامعه شده است. مضر بودن این ذرات برای سلامتی انسان‌ها توسط محققان زیادی به اثبات رسیده است (ادامسون و همکاران<sup>۴</sup>، ۱۹۹۹: ۴۳). ذرات جامد معلق در هوا یا ریزگردها به حدی کوچک هستند که به راحتی می‌توانند جذب دستگاه تنفسی انسان‌ها شوند (لیو و هیزا<sup>۵</sup>، ۱۹۹۵: ۱۸). این ذرات را بر اساس اندازه آن‌ها نام‌گذاری می‌کنند. بنابراین اصطلاحات  $PM_{10}$ <sup>۶</sup> و  $PM_{2.5}$  به ذراتی اطلاق می‌شوند که به ترتیب دارای اندازه کوچک‌تر از ۱۰ و ۲/۵ میکرون باشند (کرواسکی و همکاران<sup>۷</sup>، ۲۰۰۰: ۲). در شرایط معمولی این ذرات از طریق فعالیت‌های طبیعی مانند فعالیت‌های آتشفشانی و آتش‌سوزی جنگل‌ها یا در اثر فعالیت‌های روزمره انسانی مانند دود ناشی از حرکت وسایل نقلیه و صنایع ایجاد می‌گردند (کوفمن و همکاران<sup>۸</sup>، ۲۰۰۲: ۲۱۹) که به نوبه‌ی خود یکی از مشکلات اساسی

3- Suspended particulate matter

4- Adamson et al

5- Liu and Huza

6- Particulate matter

7- Krewski

8- Kaufman et al

شهرهای بزرگ به شمار می‌رود. گرد و غباری که هر ساله مناطق غربی کشور را در بر می‌گیرد، منشأ خارجی داشته و از کشورهای نظیر عراق، سوریه و عربستان نشأت می‌گیرند. طهماسبی و همکاران (۱۳۸۸) به بررسی چگونگی وقوع طوفان گردوغبار و فرسایش بادی در استان خوزستان پرداختند و عامل اصلی بروز و وقوع گرد و غبار در نواحی جنوب غربی کشور را جریانات مربوط به وقوع طوفان در کشور عربستان و سپس جنوب عراق عنوان کرده‌اند. رسولی و همکاران (۱۳۸۹) نشان دادند که منطقه غرب کشور از لحاظ فراوانی وقوع پدیده گردوغبار و چگونگی روند آن دارای نظام همگنی نیست، به طوری که از شمال به جنوب بر فراوانی وقوع آن افزوده می‌شود و شرایط سنوپتیک را عامل غالب در فراوانی وقوع این پدیده بیان کردند. ذوالفقاری و همکاران، (۱۳۸۹) با استفاده از تحلیل سینوپتیک سیستم‌های گردوغبار در غرب ایران نشان دادند که ماه خرداد دارای بیشترین و ماه آذر دارای کمترین روزهای گردوغبار بوده است. معمولاً غلظت این ذرات در اتمسفر توسط ایستگاه‌های هواشناسی اندازه‌گیری می‌شود که این امر نیازمند صرف هزینه‌های قابل ملاحظه‌ای برای خرید و نگهداری دستگاه‌ها و همچنین صرف هزینه‌های پرسنلی زیادی است. از سوی دیگر بررسی الگوهای پراکنش و حرکت این ذرات در هوای مجاور سطح زمین نیز با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های زمینی که معمولاً فاصله زیادی از هم دارند، امکان پذیر نیست (گوپتا و همکاران<sup>۹</sup>، ۲۰۰۷: ۴۴۹۶)، زیرا ذرات گرد و غبار گاه‌گاهاً تا ارتفاع ۶۰۰۰ متری از سطح زمین صعود کرده و تا مسافت ۶۰۰۰ کیلومتری انتقال می‌یابند (شاهسونی و همکاران، ۱۳۸۹: ۴۵). امروزه پیشرفت در دانش سنجش از دور سبب توسعه تکنیک‌های نوینی برای اندازه‌گیری ذرات معلق در هوا شده است. با استفاده از دانش سنجش از دور می‌توان میزان ذرات معلق در هوا را در مقیاس‌های خیلی وسیع و با هزینه خیلی کمتر اندازه‌گیری کرد. در دانش سنجش از دور از میزان بازتابش تشعشع خورشید در سطح بالای اتمسفر برای شناسایی مقادیر ذرات معلق موجود در اتمسفر استفاده می‌شود (لیو<sup>۱۰</sup>، ۲۰۰۴: ۳). قرار گرفتن محل ایجاد طوفان‌های گرد و غبار غرب کشور در کشورهای همسایه غربی ایران، اهمیت دانش سنجش از دور را به دلیل در برگیری طیف وسیعی از اطلاعات درون و برون مرزی، آشکار می‌سازد. ماهواره‌های ترا (Terra) و آکوا (Aqua) که در تاریخ‌های ۱۸ دسامبر سال ۱۹۹۹ و ۴ می سال ۲۰۰۲ به فضا پرتاب شدند، دارای سنجنده ویژه‌ای به نام مودیس،<sup>۱۱</sup> (MODIS) هستند. این سنجنده قادر است ذرات جامد معلق در هوا را از طریق اندازه‌گیری میزان بازتابش تشعشع خورشیدی شناسایی کند (سهرابی‌نیا و خورشید

9- Gupta et al

10 -Liu

11- Moderate Resolution Imaging Spectroradiometry

دوست<sup>۱۲</sup>، ۲۰۰۷، ۲۶۸). ماهواره‌های ترا و آکوا دارای مدار حرکتی قطب به قطب بوده و به ترتیب در ساعت ۱۰:۳۰ و ۱۳:۳۰ دقیقه از روی خط استوا عبور می‌کنند (چو و همکاران<sup>۱۳</sup>، ۲۰۰۳: ۲). سنجنده مودیس ذرات معلق در هوا را به صورت ضخامت اپتیکی یا AOT<sup>۱۴</sup> ارائه می‌دهد. AOT بیانگر ضخامت نوری ذرات معلق موجود در هوا است که نشان دهنده مقادیر این ذرات به صورت یک ستون از سطح زمین تا سطح بالای اتمسفر است (گوپتا و همکاران<sup>۱۵</sup>، ۲۰۰۶: ۵۸۸۱). سنجنده مودیس در ۳۶ باند مختلف داده‌هایی را که مربوط به جو، زمین و دریا است، را برداشت می‌کند و دارای دامنه طیفی از ۰/۴ تا ۱۴/۴ میکرومتر است. در میان ۳۶ باند مورد استفاده‌ی سنجنده مودیس، تنها دو باند با طول موج ۰/۴۷ و ۰/۶۷ میکرومتر، داده‌های مربوط به ذرات معلق بر روی خشکی را برداشت می‌کنند. برای استفاده از داده‌های سنجنده مودیس، ابتدا باید ضریب همبستگی این داده‌ها را با داده‌هایی ایستگاه‌های زمینی و با استفاده از مدل‌های رگرسیونی به دست آورد (گوپتا و همکاران، ۲۰۰۷: ۴۴۸۸). در این راستا، مطالعاتی در مناطق مختلف جهان صورت گرفته است که می‌توان به بررسی رابطه‌ی داده‌های مودیس و داده‌های ایستگاه‌های زمینی برای تهیه نقشه‌های آلودگی هوا در شهر تهران توسط (سهرابی‌نیا و خورشید دوست، ۲۰۰۷: ۲۶۸)، رابطه‌ی بین PM<sub>2.5</sub> موجود در اتمسفر با ضخامت اپتیکی به دست آمده از تصاویر ماهواره‌ای مودیس توسط ونگ و کریستوفر<sup>۱۶</sup> در سال ۲۰۰۳ که ضریب همبستگی معادل ۰/۷ را نشان داد، اشاره کرد. گوپتا و همکاران (۲۰۰۷) در مطالعه‌ای روی میزان ذرات معلق حاصل از آتش‌سوزی جنگل‌ها که تا مسافت‌های زیادی گسترش می‌یابند، نشان دادند که ضخامت نوری ارائه شده توسط سنجنده مودیس دارای دامنه تغییراتی از ۰/۱ برای قبل از آتش‌سوزی تا ۱ برای بعد از آتش‌سوزی می‌باشد. بنابراین استفاده از داده‌های مودیس را روشی مطمئن برای بررسی ذرات معلق در هوا در سطوح وسیع می‌دانند. البته کریوسولکیس و همکاران<sup>۱۷</sup> (۲۰۰۳) گزارش کرده‌اند که ضریب همبستگی (R) خط رگرسیون بین داده‌های حاصل از مودیس با داده‌های ایستگاه‌های زمینی بسته به عرض جغرافیایی و شرایط هر منطقه بسیار متغیر است. کمپ<sup>۱۸</sup>، (۲۰۰۸) نشان داد که شیب خط رگرسیونی که برای نشان دادن رابطه‌ی بین داده‌های مودیس و داده‌های ایستگاه‌های زمینی به کار رفته، در شرق سیبری ۱/۵ برابر بیشتر از آمریکای شمالی است. زهو و

12- Sohrabinia and Khorshiddoust

13- Chu et al

14- Aerosol Optical Thickness

15- Gupta et al

16- Wang and Christopher

17- Chrysoulakis et al

18- Kampe

همکاران<sup>۱۹</sup> (۲۰۰۵) و اکسو و همکاران<sup>۲۰</sup> (۲۰۰۳) بیان داشتند پراکنش عمودی ریزگردها در هوا بستگی به پایین یا بالا بودن لایه اتمسفری در جو دارد. که در صورت پایین بودن لایه اتمسفری، ذرات، متراکم شده و پراکنش آن‌ها یکسان است و بر عکس در صورت بالا بودن لایه اتمسفری، ذرات به طور نامنظمی پراکنش یافته و سنجنده مودیس عدد دقیقی را نمی‌تواند ثبت کند. وضعیت جغرافیایی ایستگاه نیز باید طوری باشد که عدد مناسبی از میزان PM<sub>10</sub> را در سطح منطقه نشان دهد. ونگ و کریستوفر<sup>۲۱</sup> (۲۰۰۳) نشان دادند که شیب خط مدل رگرسیونی بین داده‌های سنجنده مودیس و داده‌های ایستگاه‌های زمینی به غیر از میزان دقت سنجنده مودیس به عوامل دیگری مانند میزان رطوبت هوا، پراکنش عمودی ذرات گرد و غبار در هوا و موقعیت جغرافیایی ایستگاه زمینی سنجش مقدار PM<sub>10</sub> نیز بستگی دارد. ایرانمنش و همکاران (۱۳۸۳) مناطق برداشت ذرات گردوغبار و ویژگی‌های انتشار آن‌ها در طوفان‌های منطقه سیستان را با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای بررسی کرده‌اند. طبق نتایج به دست آمده، تصاویر ماهواره‌ای برای تعیین مرکز طوفان‌ها و ردیابی آن‌ها مناسب است. آن‌ها گزارش کردند که قسمت اعظم منشاء طوفان‌های سیستان بر روی دریاچه هامون سابوری قرار دارد.

هر چند در ایران نیز مطالعاتی در خصوص کاربرد داده‌های ماهواره‌ای در زمینه‌های مختلفی نظیر بررسی تغییرات سطح پوشیده از برف و برآورد رواناب حاصل از ذوب برف در حوضه آبخیز سد زاینده رود (رایگانی، ۱۳۸۴: ۲)، مطالعه تغییرات طیف بازتابی از مزارع گندم به منظور شناسایی گیاه، سلامت گیاه و برآورد عملکرد زراعی گندم در مشهد (ثنایی نژاد و همکاران، ۱۳۸۷: ۱۲)، تفکیک رقومی پارامترهای ابر، برف و زمین در حوضه آبخیز هراز (میر یعقوب زاده و قنبرپور، ۱۳۸۸: ۵۲)، تهیه نقشه‌های پوشش برفی برای مدل سازی رواناب ذوب برف در حوضه آبخیز سد کرج (میر یعقوب زاده و قنبرپور، ۱۳۸۹: ۱۴۲)، برآورد تبخیر و تعرق واقعی در حوضه آبریز مشهد (ثنایی نژاد و همکاران، ۱۳۹۰: ۵۴۲) و ارزیابی و برآورد اجزای بیلان آبی در حوضه‌های مناطق خشک استان یزد به منظور برآورد تبخیر و تعرق در حوضه منشاد (پورمحمدی و همکاران، ۱۳۹۰: ۹۹) صورت گرفته است، اما تا کنون به غیر از تحقیقی که در آن خسروی (۱۳۸۹) به: «بررسی توزیع عمودی گرد و غبار ناشی از طوفان در خاورمیانه با استفاده از مدل NAAPS<sup>۲۲</sup>، در منطقه سیستان ایران» پرداخته است. وی تغییرات تمرکز غبار، دید اپتیکی و شبیه‌سازی

19 -Zhou et al

20 -Xu et al

21 -Wang and Christopher

22 -Naval Aerosol Analysis and Prediction System

حرکت گرد و غبار با توجه به سمت و سرعت باد در منطقه سیستان در شرق ایران با از استفاده مدل NAAPS مطالعه کرده‌اند، هیچ مطالعه‌ی هدفمند و مستقلی در خصوص قابلیت و کاربرد سنجه‌ی مودیس یا سایر داده‌های ماهواره‌ای در ارتباط با برآورد غلظت  $PM_{10}$  موجود در هوا در ایران صورت نگرفته است. بنابراین مطالعه حاضر با هدف تعیین رابطه‌ی بین داده‌های  $PM_{10}$  سنجنده مودیس و داده‌های  $PM_{10}$  اندازه‌گیری شده در ایستگاه زمینی شهر سنندج در ماه‌های خرداد و تیر سال ۱۳۸۸ و نشان دادن الگوهای پراکنش ذرات گرد و غبار وارد شده از غرب کشور با استفاده از تصاویر سنجنده مودیس طراحی و به مورد اجرا گذاشته شد.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه شهر سنندج، مرکز استان کردستان در غرب ایران است که با کشور عراق همسایه بوده و دارای فاصله‌ی افقی معادل ۱۰۰ کیلومتر با مرز مشترک این کشور با ایران است. میزان  $PM_{10}$  موجود در هوای شهر سنندج به صورت ساعتی از تاریخ ۵ خرداد سال ۱۳۸۸، توسط یک ایستگاه زمینی که در مرکز این شهر واقع شده، با همکاری اداره کل محیط زیست استان کردستان اندازه‌گیری می‌شود (اشکال ۱ و ۲). که برای بررسی الگوی حرکتی طوفان های گرد و غباری که شهر سنندج را تحت تاثیر قرار می‌دهند، علاوه بر اطلاعات مرتبط با کشور ایران، اطلاعات مربوط به مناطقی از خاک کشور عراق را نیز در بر می‌گیرد (شکل شماره ۳).

## تجزیه و تحلیل داده‌ها

برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم افزارهای Arc GIS (Ver. 9.2)، PCI Geomatica، SPSS (Release 16) و HDF Explorer و Excel (Office, 2007) استفاده شد. در این تحقیق از استاندارد  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  برای میانگین ماهانه و  $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$  برای میانگین روزانه  $PM_{10}$  که مطابق با استاندارد سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران است، استفاده شد (سازمان حفاظت محیط زیست ایران، ۱۳۸۹). برای محاسبه مقادیر مختلف غلظت  $PM_{10}$  در طول شبانه روز، میانگین آن برای ساعت‌های مختلف با استفاده از امکان فرمول نویسی در فضای نرم افزاری Excel به دست آمد. برای بررسی الگوی پراکنش ذرات گرد و غبار، تصاویر نوع 1B سنجنده مودیس به اسم (MOD021KM) که دارای قدرت تفکیک‌پذیری ۱ کیلومتر است، استخراج گردید. تصاویر (MOD021KM) شامل ترکیبی از کل ۳۶ باند

سنجنده مودیس با طول موجی از  $0/4$  تا  $14/4$  میکرون تشکیل شده است. این تصاویر قدرت بالایی در شناسایی پدیده‌های اتمسفری، زمینی و دریایی دارند (ناسا، ۲۰۱۰). تصاویر RGB سنجنده مودیس نیز که یکی دیگر از تولیدات مودیس است و قادر هستند میزان ذرات گرد و غبار را با استفاده از تن رنگ‌های مختلف نشان دهند، استخراج گردیدند. تصاویر ذکر شده در نرم افزار PCI Geomatica، تصحیح هندسی شده و سپس به فضای نرم افزار Arc GIS انتقال داده شد تا نقشه‌های منطقه مورد مطالعه بر روی آن‌ها قرار گیرند تا در نهایت تصویری که نشان دهنده الگوهای حرکتی ذرات گرد و غبار از سوی کشور عراق به طرف ایران باشد، به دست آید.

برای استفاده از داده‌های سنجنده مودیس جهت تعیین غلظت ذرات گرد و غبار، داده‌های سطح ۲ متعلق به ذرات معلق در هوا بر اساس طول و عرض جغرافیایی ایستگاه مستقر در شهر سنجده استخراج گردید. این داده‌ها مقدار ذرات معلق در هوا را به صورت روزانه ارائه می‌دهند. فرمت فایل حاوی این داده‌ها که شامل متن، شکل و جدول هستند در فرمت HDF<sup>۳۳</sup> بود. این داده‌ها دارای قدرت تفکیک پذیری برابر با ۱۰۰ کیلومتر مربع (سهرابی‌نیا و خورشید دوست، ۲۰۰۷: ۲۷۲) هستند. این بدان معنی است که در سنجنده مودیس هر سلول در برگزیده‌ی اطلاعات مربوط به سطحی معادل با ۱۰ کیلومتر در ۱۰ کیلومتر است. برای برآورد دقیقی از میزان ذرات جامد معلق در هوا باید برای هر نقطه از زمین، میانگینی از ۵ داده (سلول) در ۵ داده (سلول) یعنی میانگینی از ۵۰ کیلومتر در ۵۰ کیلومتر را بررسی کرد (ایچوکو و همکاران<sup>۲۴</sup>، ۲۰۰۲: ۲) و تعداد داده‌های مودیس در این میانگین‌گیری نباید کمتر از ۳ باشد (گوپتا و همکاران، ۲۰۰۷: ۴۴۸۶). فایل حاوی داده‌های مودیس در نرم افزار HDF Explorer باز شده و داده‌های مربوط به طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی و داده‌های PM<sub>10</sub> به صورت جداگانه در فضای نرم افزار Excel کپی شدند. اطلاعات مربوط به هر نقطه در داخل هر سلول در برگزیده‌ی یک سری داده مانند طول جغرافیایی و عرض جغرافیایی است که در ستون‌ها و سطرهاى مختلفى قرار دارند. در این حالت باید تمام ستون‌های هر سری داده زیر هم و در یک ستون قرار گیرند که این کار باید با استفاده از یک مدل که با برنامه نویسی Visual Basic ایجاد شده است، انجام شود. جزئیات مدل استفاده شده در این تحقیق به شرح ذیل است.

Sub ToCo1A()

Dim LR As Long, i As Integer

For i = 2 To 3

23- Hierarchical Data Format

24- Ichoku et al

```

LR = Cells(Rows, Rows, i).End(xlUp).Row
Range(Cells(1, i), Cells(LR, i)).Copy Destination:=Range("A" & Rows Cells).End(xlUp).Offset(2)
Next i
End sub

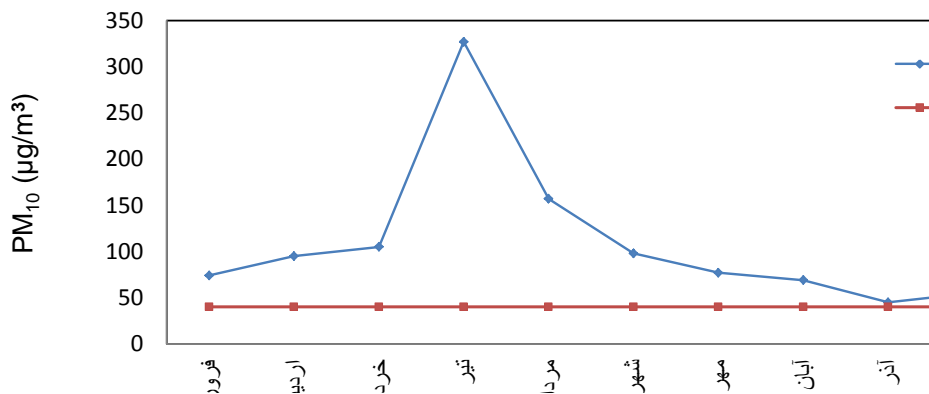
```

با اجرای این مدل در قسمت ماکرو (Macro) در نرم افزار Excel، داده‌های طول و عرض جغرافیایی و میزان  $PM_{10}$  موجود در هوا در یک ردیف قرار گرفتند. بعد از استخراج داده‌ها، داده‌های با انحراف معیار بیشتر از ۰/۵ که احتمالاً حاصل خطای ناشی از وجود ابر در آن محدوده است (ونگ و کریستوفر، ۲۰۰۳: ۲) حذف گردیدند. در نهایت مدل رگرسیونی مربوط به داده‌های حاصل از سنجنده مودیس و داده‌های ایستگاه‌های زمینی مربوط به یک زمان و مکان معین با استفاده از نرم افزار آماری SPSS پس از آزمایش مدل‌های متفاوت رگرسیونی بر اساس ضریب همبستگی و شیب خط رگرسیون انتخاب شد.

#### یافته‌ها

بررسی میزان  $PM_{10}$  ۲۴ ساعته شهر سنندج

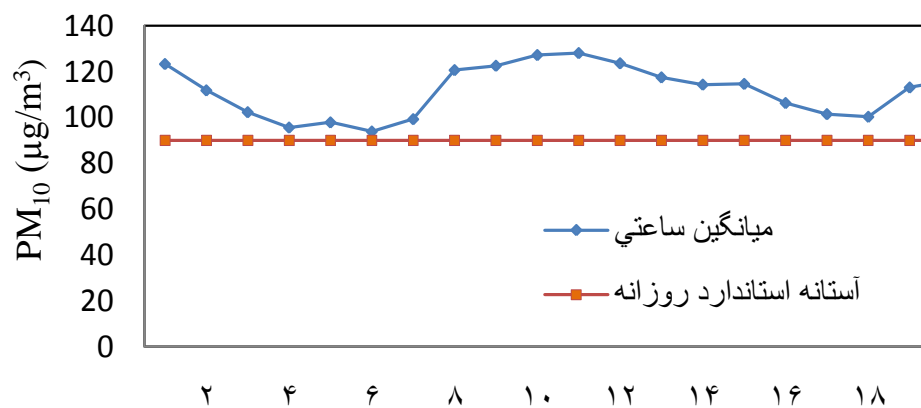
غلظت ذرات جامد معلق (ریزگرد) موجود در هوای شهر سنندج در بیشتر مواقع سال تحت تأثیر ریزگردهای وارد شده از کشور عراق بیشتر از استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست کشور است. میانگین  $PM_{10}$  ماهانه و همچنین میانگین ساعتی آن در طول مدت شبانه روز در شهر سنندج به ترتیب در شکل‌های شماره ۱ و ۲ نشان داده شده است.



شکل ۱: میانگین ماهانه مقدار  $PM_{10}$  موجود در هوای شهر سنندج در سال ۱۳۸۸



همان گونه که در شکل شماره ۱ نشان داده شده است غلظت  $PM_{10}$  به جز در آذرماه در دیگر ماه‌های سال بیش‌تر از استاندارد سازمان حفاظت محیط‌زیست کشور است. بیش‌ترین مقدار  $PM_{10}$  در ماه‌های خرداد، تیر، مرداد و اسفند دیده شد. بعد از شهریور ماه غلظت این ذرات معلق کاهش یافته و این روند تا بهمن ماه ادامه دارد. از این تاریخ به بعد روند صعودی ورود این ذرات از کشور عراق و از سمت غرب به کشور از سر گرفته می‌شود. میانگین ساعتی میزان  $PM_{10}$  در شکل شماره ۲ نشان داده شده است.



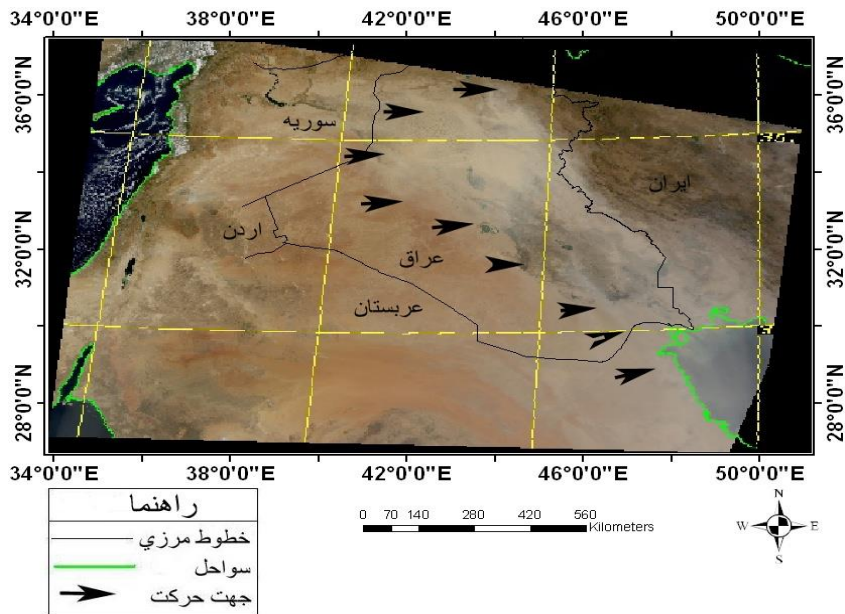
شکل ۲: میانگین ساعتی مقدار  $PM_{10}$  موجود در هوای شهر سنجندج در سال ۱۳۸۸

همان طور که شکل شماره ۲ نشان می‌دهد، میزان  $PM_{10}$  در ساعات اولیه بامداد دارای روندی نزولی است و در ساعت ۶ صبح به کم‌ترین میزان خود در طول ۲۴ ساعت می‌رسد. از ساعت ۶ صبح به بعد مجدداً روندی افزایشی پیدا کرده و در ساعت ۱۲ ظهر به اوج خود می‌رسد. از این ساعت به بعد، غلظت  $PM_{10}$  روندی نزولی و تدریجی به خود گرفته تا ساعت ۱۸ ادامه می‌یابد و بعد از آن دوباره به تدریج افزایش یافته و این افزایش تا ساعت ۲۴ ادامه دارد.

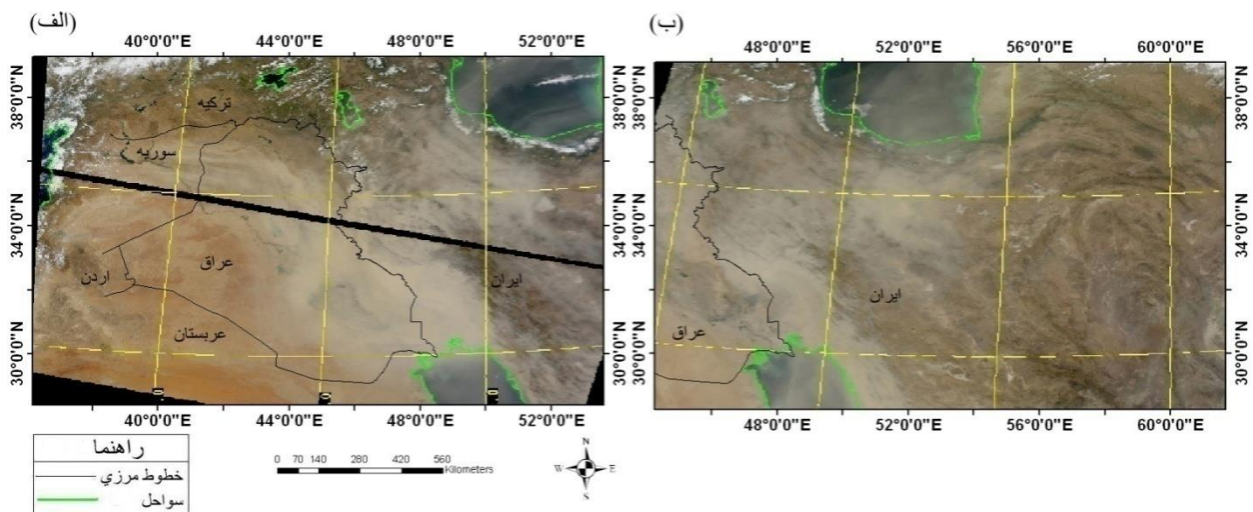
### بررسی الگوی پراکنش طوفان‌های گرد و غبار در غرب ایران

بررسی طوفان‌های گرد و غبار در مقیاس‌های منطقه‌ای امکان وصول نتایج بهتری را در به دست آوردن الگوهای حرکتی آن‌ها فراهم می‌کند که این کار فقط با استفاده از علم سنجش از دور امکان پذیر است. نتایج حاصل از تصاویر نوع (MOD021KM) سنجنده مودیس الگوی پراکنش طوفان‌های گرد و غبار را در هنگام ورود به ایران نشان می‌دهد. همان طور که شکل شماره ۳ نشان می‌دهد، طوفان‌های گرد و غبار ابتدا در کشورهای عراق، سوریه و عربستان تشکیل شده و توسط بادهای غربی به طرف ایران رانده می‌شوند. شکل شماره ۳ تصویر یک روز قبل از

طوفان سهمگین گرد و غبار در تاریخ ۱۳ تا ۲۰ تیر ماه سال ۱۳۸۸ است که موجب تعطیل شدن مدارس و ادارات دولتی در بسیاری از شهرهای غربی کشور از جمله شهر تهران شد. گرد و غبار حاصل از این طوفان تقریباً کل کشور ایران را در بر گرفت. همان طور که این شکل نشان می‌دهد، این طوفان‌ها در مناطق غربی کشور به کوه‌های زاگرس برخورد می‌کنند و ذرات گرد و غبار موجود در آن‌ها تجمع یافته و بر غلظت آن‌ها افزوده می‌شود.



شکل ۳: تجمع ذرات گرد و غبار در پشت کوه‌های زاگرس قبل از ورود به مناطق غربی کشور در تاریخ ۱۳۸۸/۴/۱۲.



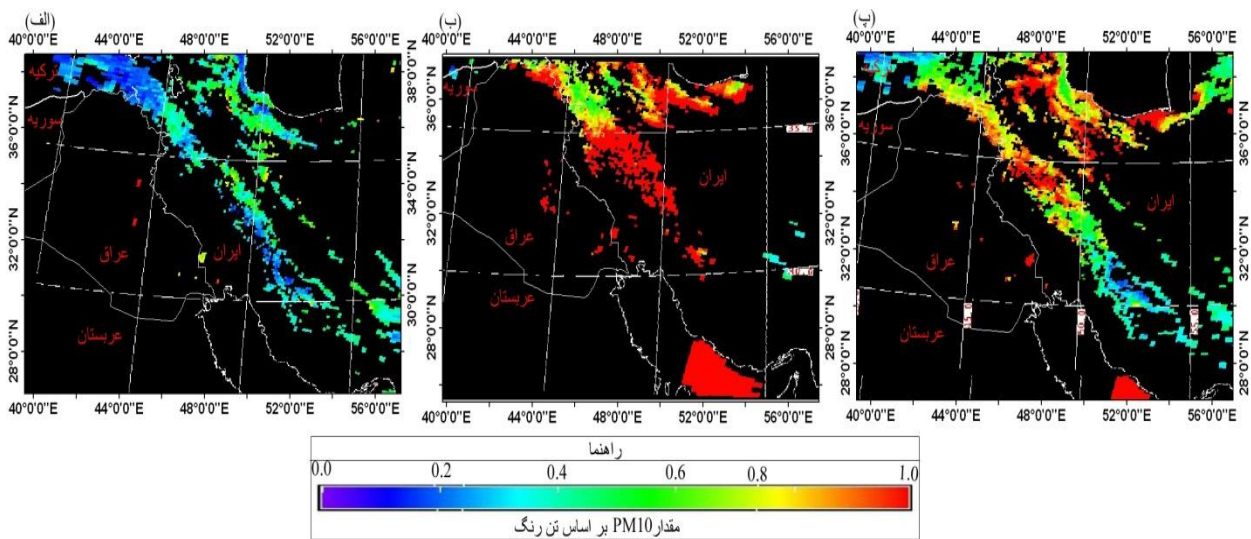
شکل ۴: عبور طوفان‌های گرد و غبار از روی کوه‌های زاگرس و ورود آن به ایران. (الف) تاریخ ۱۳۸۸/۴/۱۴، (ب) تاریخ ۱۳۸۸/۴/۱۵

در مناطق جنوب غربی این ذرات معلق بدون هیچ مانع طبیعی وارد کشور می‌شوند. چنانچه که در شکل شماره ۴ قابل مشاهده است، با افزایش سرعت باد، گرد و غبار ناشی از طوفان‌های ذکر شده از سد کوه‌های زاگرس عبور کرده و وارد ایران می‌شود. این طوفان‌ها در ابتدا شهرهای غربی کشور را فرا گرفته و موجب آلودگی شدید هوا در این مناطق می‌گردند. میزان  $PM_{10}$  موجود در هوای شهر سنندج برای روزهای ۱۳، ۱۴ و ۱۵ تیر سال ۱۳۸۸ در جدول شماره ۱ نشان داده شده است. این طوفان‌ها پس از عبور از کوه‌های زاگرس وارد مناطق مرکزی ایران می‌شوند که پس از عبور از روی شهر تهران به کوه‌های البرز برخورد کرده و دوباره متوقف می‌گردند. این فرآیند به خوبی در شکل شماره (۴ - الف) دیده می‌شود. این امر سبب افزایش میزان غلظت گرد و غبار بر روی شهر تهران شده تا در نهایت یا این ذرات ته نشین می‌شوند یا توسط بادهای قوی‌تری از این سد طبیعی نیز عبور کرده و وارد مناطق شمالی کشور شوند. این فرآیند نیز در شکل شماره (۴ - ب) دیده می‌شود.

جدول ۱- کم‌ترین، میانگین و بیش‌ترین غلظت  $PM_{10}$  اندازه‌گیری شده در هوای شهر سنندج در تاریخ‌های ۱۳، ۱۴ و ۱۵ تیر ماه سال ۱۳۸۸

تاریخ (تیر ماه ۱۳۸۸)	کم‌ترین ( $\mu g/m^3$ )	میانگین ( $\mu g/m^3$ )	بیش‌ترین ( $\mu g/m^3$ )
۱۳	۶۴۴	۱۱۱۵	۲۰۳۲
۱۴	۱۲۰۰	۲۸۴۸	۵۶۱۶
۱۵	۴۹۳	۷۶۹	۱۲۱۰

جدول شماره ۱ نشان می‌دهد که میزان  $PM_{10}$  به صورت فزاینده‌ای در روزهای ذکر شده افزایش یافته است. با حرکت طوفان به سمت شرق کشور، از غلظت این ذرات در هوای شهر سنندج کاسته می‌شود. همان‌طور که قبلاً ذکر شد تصاویر RGB سنجنده مودیس نیز با ارائه تن رنگ‌های مختلف قابلیت شناسایی میزان گرد و غبار را دارند. این تصاویر برای روز ۱۱ تیر ماه سال ۱۳۸۸ که یک روز قبل از شروع طوفان است (شکل شماره ۵ - الف) و روزهای ۱۶ و ۱۸ تیر ماه سال ۱۳۸۸ که هنوز گرد و غبار حاصل از طوفان در کوه‌های زاگرس و قسمت‌های شمالی کشور وجود داشت، نشان داده شده است (شکل شماره ۵ - ب و پ).



شکل ۵- تصاویر RGB مناطق تحت نفوذ طوفان. (۵ - الف) تصویر قبل از شروع طوفان در تاریخ ۱۳۸۸/۴/۱۱، تصاویر (ب و پ) در

هنگام وقوع طوفان در تاریخ ۱۳۸۸/۴/۱۶ و ۱۳۸۸/۴/۱۸

بر اساس راهنمای تصاویر، رنگ آبی نشان دهنده‌ی کمترین مقدار ذرات معلق در هوا و رنگ قرمز نشان دهنده‌ی بیشترین مقدار این ذرات در هوا است. بر این اساس، قسمت اعظم شکل شماره (۵ - الف) که نشان دهنده میزان ذرات معلق در کوه‌های زاگرس در تاریخ ۱۱ تیر ماه است، به صورت آبی و سبز و قسمت اعظم شکل شماره (۵ - ب) که نشان دهنده‌ی میزان ذرات معلق در کوه‌های زاگرس در تاریخ ۱۶ تیر ماه به صورت قرمز رنگ دیده می‌شود که نشان دهنده وجود مقادیر زیاد ذرات معلق در هوای این مناطق است. در تاریخ ۱۸ تیر وجود رنگ قرمز در مناطق زاگرس و کوهپایه‌های البرز کم‌تر شده و جای خود را به رنگ سبز و آبی که نشان دهنده میزان کم تری از ذرات معلق در هوا است، داده است.

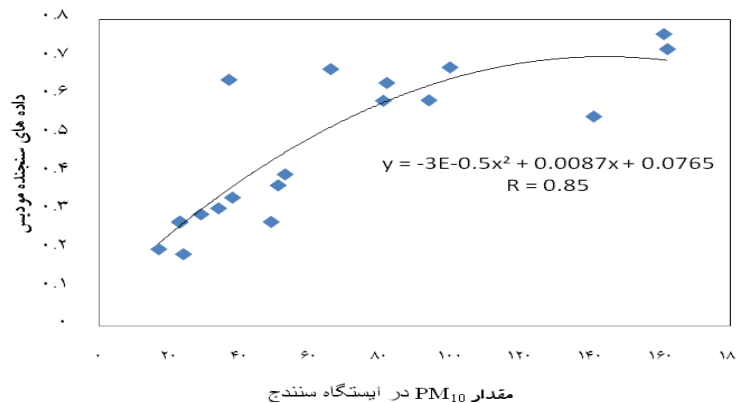
بررسی مقدار همبستگی داده‌های مودیس با داده‌های ایستگاه شهر سنندج

سری زمانی  $PM_{10}$  ( $\mu g/m^3$ ) موجود در هوا و AOT استخراج شده از سنجنده مودیس در یک زمان که همان زمان عبور ماهواره بین ساعت ۱۱ تا ۱۲ ظهر می‌باشد، در جدول شماره ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲- مقدار  $PM_{10}$  ( $\mu g/m^3$ ) و AOT متناظر آن‌ها برای ماه‌های خرداد و تیر سال ۱۳۸۹

$PM_{10}$ ( $\mu g/m^3$ )	AOT	$PM_{10}$ ( $\mu g/m^3$ )	AOT
۲۳	۰/۲۷۲۷	۱۰۰	۰/۶۷۴۶
۱۷	/۲۰۰۵	۸۱	۰/۵۸۷۵۵
۲۴	/۱۸۷۶	۵۱	۰/۳۶۷۰
۴۹	/۲۷۱۶	۳۸	۰/۳۳۵۰
۶۶	/۶۷۰۰۶	۲۳	۰/۲۷۰۰
۱۶۲	۰/۷۲۲۱	۲۹	۰/۲۹۱۵
۱۶۱	۰/۷۶۱۲۷	۳۴	۰/۳۰۷۱
۸۲	۰/۶۳۴۰	۳۷	۰/۶۴۲۱
۵۳	۰/۳۹۵۵	۱۴۱	۰/۵۴۶۴
۹۴	۰/۵۸۸۶	-	-

در شکل شماره ۶ ضریب همبستگی بین داده‌های حاصل از سنجنده مودیس و داده‌های ایستگاه مستقر در شهر سنندج برای ماه‌های خرداد و تیر که بیش‌ترین تعداد طوفان‌های گرد و غبار رخ می‌دهد، نشان داده شده است. از کل داده‌های مربوط به ماه‌های تیر و خرداد، فقط از ۱۸ داده برای دو ماه مذکور استفاده شده است که علت آن حذف برخی از داده‌ها به دلیل داشتن انحراف معیار بیشتر از ۰/۵ و ابری بودن برخی از روزهای بازه‌ی زمانی این مطالعه است. ضریب همبستگی (R) خط رگرسیون بین دو سری داده ۰/۸۵ است که رابطه‌ی معنی‌داری را نشان می‌دهد. داده‌های سنجنده مودیس دارای دامنه‌ی از ۰/۱۸ در شرایط معمولی تا ۰/۷۶ در شرایط وجود طوفان‌های گرد و غبار می‌باشد (جدول شماره ۲).



شکل ۶: مدل رگرسیونی و ضریب همبستگی برای داده‌های  $PM_{10}$  حاصل از سنجد مودیس در ارتباط با  $PM_{10}$  اندازه‌گیری شده در ایستگاه

#### زمینی شهر سنجد

آن چه که مسلم است ورود ناگهانی طوفان‌های گرد و غبار در ساعت‌های مختلف، بر افزایش یا کاهش میانگین ساعتی غلظت  $PM_{10}$  در شهر سنجد اثر گذاشته و روند تغییرات آن را نامنظم می‌کند. ارتفاع لایه اتمسفری از سطح زمین با خنک شدن هوا کاهش می‌یابد و در هنگام صبح در کمترین ارتفاع خود از سطح زمین است (فن و همکاران ۲۰۰۸: ۶۱۷۸). پائین بودن لایه اتمسفری در جوار کوه‌های زاگرس که بلندتر از زمین‌های تحت تاثیر طوفان گرد و غبار در عراق است، مانع از صعود ذرات گرد و غبار این مناطق به لایه‌های بالاتر اتمسفر می‌شود. در نتیجه این ذرات در ساعت‌های خنک شب و صبح قادر به ورود به ایران نیستند. پائین بودن لایه اتمسفری در ساعت‌های اولیه صبح در شکل شماره ۷ نشان داده شده است.



شکل ۷: ارتفاع لایه اتمسفری از سطح زمین در اطراف شهر خرمال عراق همراه با ذرات گرد و غبار موجود در هوا

شکل شماره ۷ به خوبی اثر لایه اتمسفری بر روی ذرات گرد و غباری که از کشور عراق وارد ایران می‌شوند، را نشان می‌دهد. این عکس در منطقه مرزی شهرستان سروآباد از روی ارتفاعات کوه تته (ارتفاع حدود ۳۰۰۰ متری) گرفته شده است. همان‌گونه که این شکل نشان می‌دهد، لایه اتمسفری از صعود ذرات گرد و غبار جلوگیری کرده و در نتیجه ذرات گرد و غبار در چنین شرایطی قادر به صعود از کوه‌های مرزی و ورود به ایران نیستند. با گرم شدن زمین و افزایش تشعشع خورشید، لایه اتمسفری صعود می‌کند و در ساعت ۱۳ به اوج ارتفاع خود می‌رسد (فن و همکاران<sup>۲۵</sup>، ۲۰۰۸: ۶۱۷۸). که در این صورت ذرات گرد و غبار قادر به صعود از کوه‌ها بوده و وارد ایران می‌شوند. روند ورود ذرات گرد و غبار به محدوده شهر سنندج نیز با روند صعود لایه اتمسفری هم خوانی کامل دارد (شکل شماره ۲). از ساعت ۱۳ به بعد ارتفاع لایه اتمسفری شروع به کاهش می‌کند ولی این کاهش روندی ملایم دارد و به طبع آن ورود ذرات نیز کمتر می‌شود.

بررسی شکل‌های شماره ۳ و ۴ نشان می‌دهد که طوفان‌های گرد و غبار ایجاد شده در کشور عراق برای ورود به ایران علاوه بر گذشتن از سد لایه اتمسفری نیازمند شرایطی دیگری از جمله باد با سرعت و جهت لازم هستند. در بعضی مواقع سرعت بادی که موجب حرکت دادن ذرات معلق در هوا است، کم است و قادر به عبور از سد کوه‌های زاگرس نمی‌باشد و ذرات گرد و غبار در خاک عراق باقی می‌مانند که در شکل شماره ۳ نشان داده شده است. در حالتی دیگر سرعت باد به حدی بوده که ذرات گرد و غبار قادر به عبور کامل از کوه‌های زاگرس نبوده و در نتیجه در دره‌های این رشته کوه‌ها به دام افتاده و به مناطق مرکزی ایران نمی‌رسند. همان‌طور که شکل‌های (۴ - الف و ب) نشان می‌دهند، شکل طوفان گرد و غبار بر روی کوه‌های زاگرس به صورت نواری مورب دیده می‌شود که بیانگر به دام افتادن ذرات گرد و غبار در داخل دره‌ها می‌باشد، به طبع، میزان آلودگی در شهرهایی مانند سنندج که در داخل دره قرار دارند، بیشتر از نقاط اطراف است. حداکثر میزان ذرات معلق موجود در هوای شهر سنندج در جدول شماره ۱ نشان دهنده ۲۳، ۶۲ و ۱۳/۴ برابر، بیشتر بودن مقدار این آلودگی نسبت به استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست کشور به ترتیب در روزهای ۱۳، ۱۴ و ۱۵ تیر ماه سال ۱۳۸۸ است. در تاریخ ۱۱ تیر مقدار  $PM_{10}$  ثبت شده در شهر سنندج  $136 \mu g/m^3$  و روزهای ۱۶ و ۱۸ به ترتیب  $452 \mu g/m^3$  و  $242 \mu g/m^3$  است که این اعداد با تغییرات تن رنگ‌های موجود در تصاویر (شکل شماره ۵) که به ترتیب نشان دهنده‌ی افزایش و کاهش میزان  $PM_{10}$  است، همخوانی دارد.

## نتیجه‌گیری

آنچه که از نتایج این تحقیق برمی‌آید این است که طوفان‌های گرد و غبار به بحرانی زیست محیطی برای مناطق غربی و جنوب غربی کشور تبدیل شده‌اند و به شدت سلامت مردم، اقتصاد جامعه و محیط زیست کشور را تهدید می‌کنند. شکل‌های شماره ۱ و ۲ به وضوح بیانگر این واقعیت‌ها هستند. شکل شماره ۱ وجود مقدار بیش‌تر ذرات معلق در هوا در فصل خشک را نسبت به فصل مرطوب نشان می‌دهد که این با نتایج کیم‌انه و همکاران<sup>۲۶</sup> (۲۰۰۶) و رشید و گریفیتس<sup>۲۷</sup> (۱۹۹۵) هم‌خوانی دارد. شکل شماره ۲ بیانگر این است که میزان میانگین ساعتی  $PM_{10}$  بیشتر تحت تأثیر فاصله لایه اتمسفری<sup>۲۸</sup> از سطح زمین و شدت ترافیک است. با افزایش میزان ترافیک از ساعت ۶ صبح به بعد میزان غلظت  $PM_{10}$  نیز افزایش می‌یابد و این افزایش در ساعت ۱۲ به اوج خود می‌رسد، از این ساعت به بعد غلظت  $PM_{10}$  دارای تغییرات کم‌تری است. این نتایج بر خلاف نتایج ونگ و کریستوفر (۲۰۰۳) است. آن‌ها گزارش کرده‌اند که میزان  $PM_{10}$  در ساعت اولیه صبح به دلیل پائین بودن لایه اتمسفری و شدت ترافیک - دارای بیش‌ترین میزان است. البته این امر می‌تواند به دلیل تفاوت در عرض جغرافیایی، خصوصیات اقتصادی اجتماعی و اقلیم حاکم بر این مناطق باشد. شکل شماره ۵ موید این مطلب است که تصاویر مودیس برای تاریخ‌های ذکر شده، برای مطالعات منطقه‌ای حرکت ذرات گرد و غبار قابل اعتماد است. نتایج حاصل از همبستگی بین داده‌های سنجنده مودیس و داده‌های ایستگاه شهر سنندج برای ماه‌های تیر و خرداد نسبتاً قابل اعتماد است (۰/۸۵). ضریب همبستگی محاسبه شده در این مطالعه به مراتب بیش‌تر از نتایج به دست آمده برای مناطقی در آمریکای شمالی (انگل کوكس و همکاران<sup>۲۹</sup>، ۲۰۰۴: ۲۴۹۵)، و شهر سیدنی در استرالیا (گوپتا و همکاران، ۲۰۰۷: ۴۴۸۳) که رقمی حدود ۰/۳ است، می‌باشد.

در کل، نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد، استفاده از تصاویر و داده‌های سنجنده مودیس برای بررسی میزان  $PM_{10}$  موجود در هوا و الگوهای حرکتی آن‌ها در قالب طوفان‌های گرد و غبار در سطوح وسیع منطقه‌ای مناسب و کاربردی می‌باشد. سنجنده مودیس با ارائه داده‌های ذرات گرد و غبار در پیکسل‌هایی با اندازه‌های مختلف در قالب تصویر و داده‌های عددی در سطوح وسیع این امکان را برای محققین فراهم می‌آورد که مراکز اولیه ایجاد طوفان

26- Kim Oanh et al

27- Rashid and Griffiths

28 - Atmospheric Boundary Layer

29 -Engeli- Cox et al



های گرد و غبارزا را شناسایی کرده و همچنین با ارائه تولیدات دیگری مانند میزان تغییرات حرارتی زمین و میزان پوشش گیاهی سطح زمین، کمک زیادی در شناسایی دلایل ایجاد این طوفان‌ها کند. در نهایت متولیان و مدیران مملکتی بر اساس اطلاعات به دست آمده از این سنجنده، می‌توانند تصمیمات اجرایی درستی در جهت مهار طوفان های گرد و غبار اتخاذ نمایند.

## منابع

- ایرانمنش، ف؛ عرب خدری، م؛ اکرم، م (۱۳۸۳)، «بررسی مناطق برداشت ذرات گردوغبار و ویژگی‌های انتشار آن‌ها در طوفان‌های منطقه سیستان با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای»، *مجله پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی*، شماره ۶۷، صص ۳۳-۲۵.
- پورمحمدی، س؛ دستورانی، م؛ چراغی، ع؛ مختاری، م؛ رحیمیان، م (۱۳۹۰)، «ارزیابی و برآورد اجزای بیلان آبی در حوضه‌های مناطق خشک با به‌کارگیری سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز منشاء یزد)»، *آب و فاضلاب*، شماره ۳، صص ۱۰۸-۹۹.
- ثنایی نژاد، ح؛ شاه طهماسبی، ا؛ صدرآبادی حقیقی، ر؛ کلارستانی، ک (۱۳۸۷)، «مطالعه تغییرات طیف بازتابی مزارع گندم در مشهد با استفاده از تصاویر MODIS»، *علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی*، سال دوازدهم، شماره ۴۵ (الف)، صص ۱۹-۱۱.
- ثنایی نژاد، ح؛ نوری، س؛ هاشمی نیا، م (۱۳۹۰)، «برآورد تبخیر و تعرق واقعی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در منطقه مشهد»، *آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)*، شماره ۳، صص ۵۴۷-۵۴۰.
- خسروی، م (۱۳۸۹)، «بررسی توزیع عمودی گرد و غبار ناشی از طوفان در خاورمیانه با استفاده از مدل NAAPS، مطالعه موردی: سیستان ایران»، *چهارمین کنگره بین‌المللی جغرافیدانان جهان اسلام، فروردین ۱۳۸۹*.
- ذوالفقاری، ح؛ عابدزاده، ح (۱۳۸۴)، «تحلیل سینوپتیک سیستم‌های گرد و غبار در غرب ایران»، *مجله جغرافیا و توسعه*، شماره ۸، صص ۱۸۷-۱۷۳.
- رایگانی، ب (۱۳۸۴)، «بررسی تغییرات سطح پوشیده از برف و برآورد رواناب حاصل از ذوب برف با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای MODIS در حوضه آبخیز سد زاینده‌رود»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد بیابان‌زدایی، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده مهندسی منابع طبیعی.
- رسولی، ع؛ ساری صراف، ب؛ محمدی، غ (۱۳۸۹)، «تحلیل روند وقوع پدیده اقلیمی گردوغبار در غرب کشور در ۵۵ سال اخیر با استفاده از روش‌های آمارهای ناپارامتری»، *فصلنامه جغرافیای طبیعی*، شماره نهم، صص ۲۸-۱۵.
- طهماسبی بیرگانی، ع؛ عبدی نژاد، غ؛ نوش آفرین، ب (۱۳۸۸)، «بررسی چگونگی وقوع طوفان گردوغبار و فرسایش بادی در استان خوزستان و راهکارهای مقابله با آن»، *مجله جنگل و مرتع*، شماره ۸۱، صص ۲۹-۱۴.

- سازمان حفاظت محیط زیست کشور (۱۳۸۹) «دبیرخانه مرکزی گرد و غبار سازمان حفاظت محیط زیست کشور»،  
<http://www.doe.ir/portal/Home/Default.aspx?CategoryID=b2836ab6-63cf-4a25-9b5a>
- شاهسونی، ع؛ یاراحمدی، م؛ جعفرزاده حقیقی فرد، ن؛ نعیم آبادی، ا؛ محمودیان، م؛ صاکی، ح؛ صولت، م؛ سلیمانی، ز؛ ندافی، ک (۱۳۸۹)، «اثرات طوفان های گرد و غباری بر سلامت و محیط‌زیست»، *مجله دانشگاه علوم پزشکی خراسان شمالی زمستان*، شماره ۴، صص ۵۶-۴۵.
- میریعقوب‌زاده، م؛ قنبرپور، م (۱۳۸۸)، «بررسی دقت تفکیک رقومی پارامترهای ابر، برف و زمین در تصاویر ماهواره‌ای MODIS»، *مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران*، شماره ۹، صص ۵۴-۵۱.
- میریعقوب‌زاده، م؛ قنبرپور، م (۱۳۸۹)، «بررسی کاربرد نقشه‌های پوشش برفی حاصل از تصاویر ماهواره‌ای MODIS در مدل سازی رواناب ذوب برف (مطالعه موردی: حوضه آبخیز سد کرج)»، *علوم زمین*، شماره ۱۹، صص ۱۴۸-۱۴۱.
- Adamson, I. Prieditis, H. and Vincent, R (1999), "Pulmonary toxicity of an atmospheric particulate sample is due to the soluble fraction", *Toxicology and Applied Pharmacology*. 157: 43-50.
- Chrysoulakis, N. Spiliotopoulos, M. Domenikiotis, C. and Dalezios, N. (2003), "Towards monitoring of regional atmospheric instability through MODIS/Aqua images", In: *Proceedings of the International Symposium Held at Volos, Greece*, pp 7-9.
- Chu, D.A. Kaufman, Y.J. Zibordi, G. Chern, J.D. Mao, J. Li, C. and Holben, B.N (2003), "Global monitoring of air pollution over land from the Earth observing System-Terra Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)", *Journal of Geophysical Research*. 108: 1-18.
- Engeli- Cox, J.A. Christopher, H.H. Coutant, B.W. and Hoff, R.M (2004), "Qualitative and quantitative evaluation of MODIS satellite sensor data for regional and urban scale air quality", *Atmospheric Environment*. 38: 2495-2509.
- Fan, S. Wang, B. Tesche, M. Engelmann, R. Althausen, A. Liu, J. Zhu, W. Fan, Q. Li, M. Ta, N. Song, L. and Leong, K (2008), "Meterological conditions and structures of atmospheric boundary layer in October 2004 over PeARL River Delta area", *Atmospheric Environment*. 42: 6174-6186.
- Gupta, P. Christopher, S.A. Box, M.A. and Box, G.P (2007), "Multiyear satellite remote sensing of particulate matter air quality over Sydney, Australia", *International Journal of Remote Sensing*. 20: 4483-4498.

- Gupta, P. Christopher, S.A. Wang, J, Gehing, R. Lee, Y. and Kumar, N (2006), "Satellite remote sensing of particulate matter and air quality assessment over global cities", *Atmospheric Environment*. 40: 5880–5892.
- Ichoku, C. Chu, D.A. Mattoo, S. Kaufman, Y.J. Remer, L.A. Tanre, D. Slutsker, I. and Holben, B.N (2002), "A spatio-temporal approach for global validation and analysis of MODIS aerosol products", *Geophysical Research Letters*. 29: 1-5.
- Kampe, T.U (2008), "Data analysis from remote sensing to better constrain emission and transport of carbonaceous aerosol and carbon monoxide resulting from burning processes", PhD thesis, Colorado University, 272 pp.
- Kaufman, Y.J. Tanre, D. and Boucher, O. (2002), "A satellite view of aerosols in climate systems", *Nature*. 419: 215–223.
- Kim Oanh, N.T. Upadhyay, N. Zhuang, Y.H. Hao, Z.P. Murthy, D.V.S. Lestari, P. Villarin, J.T. Chengchua, K. Co, H.X. Dung, N.T. and Lindgren, E.S (2006), "Particulate air pollution in six Asian cities: spatial and temporal distributions, and associated sources", *Atmospheric Environment*. 40: 3367–3380.
- Krewski, D. Bumett, R.T. Goldberg, M.S. Hoover, K. Siemiatycki, J. Jerrett, M. Abrahamowicz, A. and White, W.H (2000), "Reanalysis of the Harvard Six Cities Study and the American Cancer Society Study of Particulate Air Pollution and Mortality", A Special Report of the Institute's Particle Epidemiology Reanalysis Project. Health Effects Institute, Cambridge MA, 273 pp.
- Liu, R. and Huza, M.A (1995), "Filtration and indoor air quality: A practical approach", *ASHRAE Journal*. 37: 18–23.
- Liu, Y. (2004), "The application of satellite remote sensing in estimating fine particle concentration", PhD thesis, Harvard University, 113 pp.
- NASA, (2010). "National Aeronautics and Space Administration". Available at: [http://gcmd.nasa.gov/records/GCMD\\_MOD021KM.html](http://gcmd.nasa.gov/records/GCMD_MOD021KM.html)
- Rashid, M. and Griffiths, R.F., (1995), "Trends of atmospheric fine and coarse particulates in Kuala Lumpur, Malaysia (1986–1990)", *Environmental Technology*. 16: 25–34.
- Sohrabinia, M. and Khorshiddoust, A.M (2007), "Application of satellite data and GIS in studying air pollution in Tehran", *Habitat International*. 31: 268–275.
- Wang, J. and Christopher, S.A., (2003), "Inter comparison between satellite-derived aerosol optical thickness and PM 2.5 mass: Implication for air quality studies", *Geophysical research letters*. 30: 1-4.
- Xu, X. Ding, G. Zhou, L. Zheng, X. Bian, L. Qiu, J. Yang, L. and Mao, J (2003), "Localized 3D-structural features of dynamic-chemical processes of urban air pollution in Beijing winter", *Chinese Science Bulletin*. 8: 819–825.

-Zhou, L. Xu, X. Ding, G. Zhou, M. and Cheng, X., (2005), "Diurnal variations of air pollution and atmospheric boundary layer structure in Beijing during winter 2000/2001", *Advances in Atmospheric Sciences*. 22: 126–132.