

تحلیل تغییرات کانون‌های گردوغبار داخلی ایران در بیست سال اخیر

سودابه نامداری^۱

علی حاجیبگلو^۲

غلامرضا ابادری^۳

چکیده

در کشور ایران با توجه به شرایط بیابانی همواره وجود کانون‌های گردوغبار موجب آلودگی هوا و کاهش کیفیت زندگی ساکنین در مجاور این کانون‌ها شده است. در سال‌های اخیر در خصوص برخی از کانون‌ها ابهاماتی در خصوص افزایش شدت تولید گردوغبار به وجود آمده است. در این پژوهش با استفاده از محصول عمق اپتیکی سنجنده مادیس که غلظت گردوغبار معلق در اتمسفر را نشان می‌دهد و براساس فراوانی و میانگین‌های سالانه، موقعیت کانون‌های گردوغبار در داخل کشور شناسایی شد و سپس روند تغییرات زمانی هر یک از کانون‌ها به تفکیک مورد بررسی قرار گرفت. براساس نتایج به دست آمده از میانگین فراوانی‌های سالانه گردوغبار در سه دوره مطالعاتی ۲۰۰۰-۲۰۰۶، ۲۰۰۷-۲۰۱۲ و ۲۰۱۳-۲۰۱۸ در سطح کشور ایران حدود ۳۳ کانون گردوغبار شناسایی شد که با در نظر گرفتن کانون‌های مجاور هم روند تغییرات ۲۴ کانون مورد بررسی قرار گرفت. براساس نتایج حدود نیمی از مساحت مناطق بدون گردوغبار به مناطق دارای گردوغبار با فراوانی‌های مختلف و همچنین حدود نیمی از مساحت کانون‌های با فراوانی خیلی زیاد نیز به سایر کانون‌های با شدت کمتر تبدیل شده‌اند. همچنین بیشترین نوسانات در شدت گردوغبار در منطقه سیستان، جازموریان، جنوب شرق سمنان، آذربایجان شرقی، زنجان و استان خوزستان صورت گرفته است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد علی‌رغم وضعیت اقلیمی نسبتاً یکسان، روند تغییرات در این کانون‌ها از الگوی مشابهی تبعیت نمی‌کند و روند تغییرات غبارخیزی در کانون‌های داخلی کشور تحت تاثیر عوامل پیچیده انسانی و غیر انسانی متغیر می‌باشد. با استفاده از نتایج این تحقیق این امکان فراهم می‌گردد اطلاعات نسبتاً جامعی از روند تغییرات کانون‌های داخلی فراهم آید و وضعیت غبارخیزی کانون‌ها در آینده قابل پیش‌بینی گردد.

واژگان کلیدی: کانون گردوغبار، تصاویر ماهواره‌ای، AOD، فراوانی وقوع، انحراف استاندارد

^۱ دکترای تخصصی، سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور (نویسنده مسئول)

Email : soodabeh_namdari@yahoo.com- Tel: 09125366878

^۲ کارشناسی ارشد، سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور

^۳ کارشناسی ارشد، سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور

مقدمه

ذرات گردوغبار معدنی معلق در اتمسفر، نقش کلیدی در بودجه تابشی جو و چرخه هیدرولوژی دارند و با ایجاد اختلال در سیستم‌های آب و هوایی و همچنین آلودگی هوا بر سلامت عموم بشر تاثیر بسیاری می‌گذارند (سازمان سلامت جهانی، ۲۰۰۰).

کشور ایران به علت قرار گرفتن در کمربند خشک و نیمه‌خشک جهان به طور مداوم در معرض سیستم‌های گردوغبار محلی و منطقه‌ای متعدد می‌باشد (راشکی، ۲۰۱۳). با توجه به اهمیت آثار منفی توفان‌های گردوغباری و همچنین روند افزایشی آنها در برخی از کانون‌های داخلی کشور بررسی تغییرات ریزگردها در دو دهه اخیر نه تنها می‌تواند اهمیت پدیده توفان‌های گردوغباری را در سال‌های اخیر نشان دهد، بلکه تشخیص و تحلیل زمانی-مکانی ویژگی‌های این ریزگردها به منظور مدیریت این بحران و جلوگیری از اثرات زیان آور این ریزگردها بسیار مهم می‌باشد.

در دو دهه اخیر با کمک تصاویر ماهواره‌ای سنجنده مادیس^۱ شاخص‌های متعددی مانند NDDI^۲، BTD^۳ و BTDI^۴ برای آشکارسازی و تعیین شدت ذرات معلق اتمسفری استخراج گشته است. میلر، ۲۰۰۳، یک روش چند طیفی جدید برای بارزسازی گردوغبارهای هواپرد^۵ در طول روز ارائه نمود. وی توانست داده‌های مرئی را با داده‌های مادون قرمز ترکیب کند و با ایجاد یک ترکیب رنگی کاذب، توده‌های گردوغبار را از سطوح روشن بیابان و ابر تفکیک نماید. سو و همکاران، ۲۰۰۴، روشی جدید را برای بازیابی ویژگی-های ریزگرد بر روی سطوح خشک، نیمه‌خشک و سطوح شهری و به طور کل در مکان‌هایی که بازتاب سطح در طول موج قرمز و مادون قرمز طیف الکترومغناطیس بسیار روشن است اما در طول موج آبی (یعنی در طول موج‌های کمتر از ۵۰۰ نانومتر) بسیار مات‌تر است، ارائه دادند. سو و همکاران، ۲۰۰۶، الگوریتم جدیدی را به نام "Deep Blue" ارائه دادند تا ویژگی‌های ریزگرد را روی چشمه‌های گردوغبار با استفاده از رادینانس محاسبه شده از سنجنده مادیس تعیین کند. نتایج نشان داد این الگوریتم حتی در شرایط محیطی پیچیده قادر به تشخیص غبار با ذرات ریز می‌باشد. لوی و همکاران در سال ۲۰۱۰ یک الگوریتم محکم و پایدار را برای سنجنده مادیس ارائه دادند که براساس آن، نسخه ۵ محصولات سطوح تیره (Dark-Target) ریزگرد بر روی خشکی استخراج شد. آنها محصولات سطح ۲ مادیس را توسط نورسنج‌های خورشیدی^۶ که در ۳۰۰ ایستگاه نصب شده بودند، اعتبارسنجی کردند. از تعداد ۸۵۴۶۳ تصویر که عاری از پوشش ابری بودند مشخص شد که ۶۶٪ نتایج به دست آمده قابل مقایسه با مشاهدات اندازه‌گیری شده توسط نورسنج‌های خورشیدی است که یک خطای قابل انتظار حدود $(\pm 0.15 + 0.05)$ با یک همبستگی بالا ($R=0.9$) دارند. آتاناشیو و همکاران، ۲۰۱۲، توزیع زمانی و مکانی (۵۰×۵۰ کیلومتر) داده‌های عمق اپتیکی ریزگرد^۷ را در کشور یونان با میانگین‌های سالانه، فصلی و ماهانه بررسی کردند. محصولات روزانه از سنجنده مادیس برای دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۸ انتخاب شد. نتایج نشان داد حداکثر ارزش عمق اپتیکی ریزگرد در فصل بهار و آخر تابستان (آگوست) و حداقل آن در فصل زمستان مشاهده شد. بالاترین مقدار عمق اپتیکی ریزگرد در شرق یونان (به ویژه در فصل بهار و تابستان)

1 - MODIS (Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer)

2 - Normalized Difference Dust Index (NDDI)

3 - Brightness Temperature Difference

4 - Brightness Temperature Difference Index

5 - Airborne dust

6 - AERONET

7 - AOD (Aerosol Optical Depth)



و نزدیک به سواحل ترکیه و استانبول (در طول پاییز و زمستان) مشاهده شد. کمترین مقدار عمق اپتیکی ریزگرد در غرب یونان در مناطق همسایه بالکن (در طول فصل پاییز و زمستان) مشاهده شد. آنها اظهار کردند روند کاهشی منطقه‌ای از سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۸ نشان‌دهنده کاهش مقدار ریزگرد در منطقه مورد مطالعه بوده است.

زیپنگ و همکاران در سال ۲۰۱۳، روند تغییرات زمانی و مکانی عمق اپتیکی ریزگرد را در استان شانگسی چین با استفاده از داده‌های مادیس برای دوره زمانی سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۲ تحلیل کردند. نتایج نشان داد که توزیع ریزگرد به شدت تحت تاثیر توپوگرافی و فعالیت‌های اقتصادی منطقه می‌باشد. برای انجام تحلیل‌ها، سری‌های زمانی تغییرات ماهانه و سالانه در دوره زمانی مورد مطالعه ترسیم شد. نتایج، بارگیری سنگین ریزگرد و روند افزایشی آن را در حوضه‌های آبخیز گائژونگ، هائژونگ و آنکانگ نشان داد، در حالی که روندی معکوس در دیگر مناطق مشاهده شد. کیم و همکاران (۲۰۱۴) نیز، توزیع زمانی و مکانی ویژگی‌های عمق اپتیکی ریزگرد به دست آمده از تصاویر مادیس و همچنین محاسبات زمینی غلظت ذرات را در دریای زرد بر روی داده‌های سال ۲۰۰۹ انجام دادند. نتایج نشان دهنده آن بود که مقدار ریزگرد در سال ۲۰۰۹ در شرق آسیا در ماه مارس نسبتاً زیاد و در ماه سپتامبر، نسبتاً کم بوده است. همچنین نتایج بررسی همبستگی عمق اپتیکی ریزگرد و ذرات معلق (PM^۱) نشان دهنده وجود رابطه خطی بین این دو پارامتر بود به طوری که با افزایش مقدار ذرات معلق مقدار عمق اپتیکی ریزگرد نیز افزایش یافته است.

راشکی و همکاران در سال ۲۰۱۴ براساس اطلاعات ماهواره‌های مختلف به بررسی تغییرات زمانی-مکانی گردوغبار در بازه زمانی ۱۹۷۸ تا ۲۰۱۰ بر روی منطقه سیستان ایران پرداختند. در این مطالعه الگوی گردوغبار بر روی منطقه خشک سیستان مورد تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان دهنده یک چرخه سالانه آشکار در گردوغبار منطقه با یک افزایش حداکثری در فصل تابستان و کاهش در فصل زمستان بود. آنها اظهار کردند نتایج حاصل از سنجنده‌های مختلف از نظر زمانی و مکانی تطابق داشت. نوتارو و همکارانش (۲۰۱۵)، تغییرات درون سالانه تا دهه‌ای فراوانی گردوغبار را در ۳۱ ایستگاه شبه جزیره عربستان بررسی کردند. آنها نشان دادند سال‌های ۲۰۰۵-۲۰۰۱ دوره با فعالیت پایین گردوغبار و سال‌های ۲۰۱۲-۲۰۰۸، دوره با فعالیت زیاد گردوغبار بوده است. نامداری و همکاران (۲۰۱۸) در بررسی تغییرات مکانی و زمانی توفان‌های گردوغباری خاورمیانه را در بازه زمانی ۱۶ ساله (۲۰۱۵-۲۰۰۰) از داده‌های کمی عمق اپتیکی ریزگرد مادیس استفاده کردند و ارتباط آن را با پارامترهای بارش و دما بررسی کردند. نتایج نشان دهنده ارتباط بیشتر ریزگرد و بارش در انتهای فصل سرد و همچنین ارتباط ریزگرد و دما در ابتدای فصل گرم بود.

در کشور ایران نیز تاکنون، برای شناسایی و بررسی کانون‌های اصلی گردوغبار مطالعات زیادی در داخل کشور صورت گرفته است.

بسیاری از مطالعات صورت گرفته در ایران با تاکید بر کانون‌های گردوغبار خارجی و داخلی، الگوهای اصلی انتشار، گسترش و تمرکز غبار و اثر آن بر بخش‌های داخلی کشور صورت گرفته است که در این راستا از داده‌های سینوپتیکی و تصاویر ماهواره‌ای استفاده شده است (ذوالفقاری و عابدزاده (۱۳۸۴)، خسروی (۱۳۸۷)، رسولی و همکاران (۱۳۸۹)، رئیس پور و همکاران (۱۳۸۹)، شمسی پور و صفرزاد (۱۳۹۰)، خوشحال دستجردی و همکاران (۱۳۹۱)، ولی و همکاران (۱۳۹۳)، ناصرپور و همکاران، (۱۳۹۴)). استفاده از تصاویر سنجنده مادیس با ارائه پارامتر کمی عمق اپتیکی ریزگرد می‌تواند راهکار مناسبی برای ردیابی تغییرات کمی غبار در مناطق مختلف باشد به طوری که با پایش بلند مدت غلظت و توزیع گردوغبار، از نظر مکانی و زمانی، موجبات درک بهتر تاثیرات ذکر شده گردوغبار بر نواحی تحت تأثیر فراهم شود. در مطالعه‌ای که خوش سیما و همکارانش (۱۳۹۲) و نامداری و همکارانش (۲۰۱۶) جهت بررسی دقت و اعتبار محصول عمق اپتیکی ریزگرد مادیس بر روی ایران انجام دادند نشان دادند این محصول به ترتیب رابطه ۸۷٪ و ۹۱٪ را با داده‌های نورسنج‌های خورشیدی نشان می‌دهد و دارای دقت مناسب در تشخیص شدت توفان‌های گردوغباری می‌باشد. در رابطه با شناسایی کانون‌های داخلی مطالعات موردی در ایران انجام شده است که با استفاده از روش‌های متفاوتی صورت گرفته‌اند. ایرانمنش و همکاران

¹ - Particulate Matter

(۱۳۸۴)، از چهار تصویر سنجنده مادیس مربوط به سال ۲۰۰۱ و همچنین از تصاویر لندست ۷ برای تهیه نقشه شاخص پوشش گیاهی و از آمار باد ایستگاه هواشناسی زابل برای شناسایی کانون‌های دشت سیستان استفاده کردند. رنجبر و همکارانش (۱۳۹۴) از داده‌های بلند مدت اقلیمی ایستگاه‌های هواشناسی، پوشش گیاهی، فیزیوگرافی و نمونه‌های خاک با هدف شناسایی کانون‌ها و نقاط بحرانی تولید ریزگرد استان ایلام استفاده کردند. حیدریان و همکارانش (۱۳۹۶)، با به‌کارگیری روش ترکیبی سنجنش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی و رسوب‌شناسی به شناسایی دقیق منشأهای داخلی گردوغبار استان خوزستان پرداختند. برای این منظور، داده‌های مکانی خاک‌شناسی، کاربری زمین، اقلیم، شیب و رسوب‌شناسی و لایه پوشش گیاهی، دمای سطح زمین و رطوبت خاک استفاده شدند. رایگانی و همکارانش (۱۳۹۸) از داده‌های ماهواره‌ای لندست ۸ در طول سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۵ جهت تهیه نقشه‌های پتانسیل باد فرسایشی از منظر پوشش گیاهی، رطوبت و پوشش زمین استفاده کردند. این نقشه‌ها با اطلاعات زمین‌شناسی و زبری زمین به روش ارزیابی چند معیاره تلفیق شدند تا یک نقشه مناطق بالقوه تولید گردوغبار به‌دست آید. سپس براساس داده‌های هواشناسی و تصاویر مادیس تاریخ توفان‌های گردوغبار شناسایی شد. همچنین بر اساس محل تلاقی جریان هوا با سطح زمین و با اعمال ماسک‌های مناطق فرسایش‌ناپذیر بر روی آن‌ها، مناطق محتمل تولید گردوغبار مشخص گردید. این مناطق با عنوان مناطق بالفعل تولید گردوغبار با مناطق بالقوه به‌عنوان کانون‌های مستعد تولید گردوغبار شناسایی شد.

در سال‌های اخیر با توجه به دسترسی به تصاویر ماهواره‌ای بلند مدت در داخل کشور نیز مطالعات مختلفی بر روی روند تغییرات شدت و فراوانی رخداد‌های گردوغبار صورت گرفته است. تحلیل توفان‌های گردوغبار در بلندمدت می‌تواند شرایطی را فراهم کند که علاوه بر آشکارسازی روند تغییرات کانون‌ها امکان پیش‌بینی غبارخیزی این کانون‌ها در آینده نیز فراهم شود. در مطالعه‌ای که نامداری و کریمی (۱۳۹۷) انجام دادند تغییرات غلظت ریزگردها در منطقه سیستان، با استفاده از داده‌های ماهانه عمق اپتیکی ریزگرد سنجنده مادیس ارزیابی شد. برای رسیدن به این هدف نقشه‌های روند تغییرات در طول سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۴ بر اساس محدوده استان سیستان و بلوچستان استخراج شد. نتایج تحقیق نشان داد، روند افزایش مشخصی در مقدار گردوغبار میانگین سالانه در شمال استان مشاهده نشد اما روند تغییرات در سال‌های اخیر در جنوب محدوده نشان دهنده فعال‌تر شدن کانون‌های گردوغبار بوده است. ارجمند و همکاران (۱۳۹۷)، با استفاده از شاخص‌های به دست آمده از سنجنده‌های مختلف تغییرات زمانی و مکانی پدیده گردوغبار را با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای در منطقه جازموریان در دوره زمانی ۱۹۷۸-۲۰۱۴ مورد بررسی قرار دادند. آنها نشان دادند در سال‌های ۱۳۷۰، ۱۳۸۲، ۱۳۸۳، ۱۳۸۷ و ۱۳۹۱ توفان‌های گردوغبار بسیار شدید بوده است. همچنین رئیس‌پور و خسروی (۱۳۹۸)، با استفاده از داده‌های عمق اپتیکی ریزگرد در دشت سیستان با استفاده از مدل MERRA-2 طی دوره‌ی آماری (۲۰۱۸-۱۹۸۰) روند تغییرات گردوغبار را در دشت سیستان بررسی کردند. نتایج حاصله به خوبی بیانگر افت و خیزهایی در میزان این شاخص طی سال‌های آماری مورد مطالعه بوده است. ولی به طور کلی روند شاخص مورد مطالعه صعودی بوده است. به لحاظ مکانی نیز بیشترین تمرکز گردوغبار در بخش جنوبی دشت سیستان مشاهده شده است. همچنین مطالعات بلند مدت تغییرات گردوغبار با استفاده از داده‌های افقی ایستگاه‌های هواشناسی بر کانون‌های داخلی نیز صورت گرفته است. میدلتون و همکارانش (۲۰۱۹) با هدف بررسی تاثیر خشک شدن دریاچه هامون در تولید گردوغبار سیستان سه کانون بزرگ گردوغبار را در عرض جغرافیایی مشابه در بازه زمانی ۱۹۶۰ تا ۲۰۱۸ با استفاده از داده‌های ایستگاهی مورد بررسی قرار داد. نتایج نشان دهنده روند کاهش گردوغبار در منطقه زابل از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ بوده است. همچنین در مطالعه باغبانان و همکارانش (۲۰۲۰) که با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های زمینی در اهواز، خرم‌آباد و جاسک انجام شد، روند افزایشی گردوغبار در همه ایستگاه‌ها مشاهده شد.

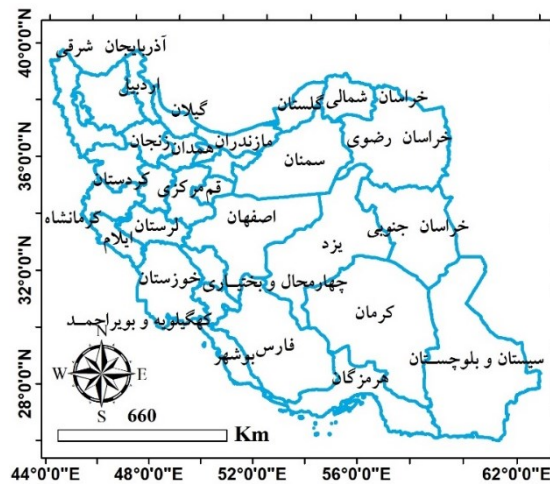
پس از بررسی مطالعات صورت گرفته بر روی کانون‌های گردوغبار در کشور ایران می‌توان گفت در خصوص تحقیق حاضر علاوه بر نوآوری در روش شناسایی کانون‌ها که مبتنی بر داده‌های بلند مدت روزانه می‌باشد، بررسی کانون‌های مهم گردوغبار در سراسر کشور نیز یکی از جنبه‌های مهم پژوهش حاضر است؛ چراکه در کلیه پژوهش‌های صورت گرفته تنها یکی از کانون‌های مهم کشور و یا در یک استان مد نظر قرار گرفته است. به ویژه که استخراج تغییرات غبارخیزی کانون‌های کشور با استفاده از داده‌های مشابه و در بازه زمانی مشابه امکان تشخیص علت نوسانات گردوغباری را در اقلیم نسبتاً مشابه مناطق بیابانی کشورمان فراهم می‌کند.



لذا با توجه به اطلاعات بلند مدتی که تصاویر ماهواره‌ای در اختیار قرار می‌دهند و اهمیت مطالعات گردوغبار و انجام مطالعات جامع در رابطه با پدیده گردوغبار در کشور با استفاده از داده‌های کمی ماهواره‌ای، لزوم انجام این مطالعه‌ای با استفاده از روش‌های نوین استاندارد کانون‌یابی و داده‌های با قدرت تفکیک مناسب مشخص می‌شود. در پژوهش حاضر تلاش شده است با استفاده از روش‌های استاندارد و توسط محصولات سنجنده مادیس، کانون‌های گردوغبار در بازه زمانی ۱۹ ساله (۲۰۱۸-۲۰۰۰) شناسایی شود و سپس روند تغییرات در این کانون‌ها مورد بررسی قرار گیرد.

منطقه مورد مطالعه

قرار گرفتن کشور ایران و همسایه‌های غربی از جمله عراق و سوریه در کمربند خشک و نیمه‌خشک جهان و حاکمیت آب و هوای خشک و نیمه‌خشک در بیش از دو سوم مساحت کشور و نیز دریافت میانگین باران با میانگین سالانه حدود یک سوم میانگین بارش سالانه در جهان (بوچانی، ۱۳۸۴)، ایران را در معرض توفان‌های گردوغبار در مقیاس محلی و منطقه‌ای قرار داده است.



شکل (۱). موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

از آنجا که تغییرات اقلیمی در ایران زیاد می‌باشد بنابراین تغییرات توفان‌های گردوغبار نیز در آن تغییرات زیادی دارد. شایان ذکر است بخش زیادی از گردوغبار تاثیر گذار بر اقلیم کشور ایران از کانون‌های کشورهای همسایه آورده شده است که در این پژوهش مورد بحث نیست.

داده‌ها و روش تحقیق

داده مورد استفاده:

سنجنده مادیس توسط ناسا در سال ۱۹۹۹ بر روی ماهواره ترا و در سال ۲۰۰۲ بر روی ماهواره آکوا قرار گرفته است. ماهواره ترا قبل از ظهر در ساعت ۱۰:۳۰ به وقت محلی و ماهواره آکوا بعد از ظهرها در ساعت ۱۳:۳۰ به وقت محلی از سطح زمین تصویربرداری می‌کنند. این سنجنده‌ها در ۳۶ باند طیفی که از ۰/۴ میکرومتر تا ۱۴/۴ میکرومتر متغیر است تصویربرداری را انجام می‌دهند. تصویربرداری از سطح کره زمین هر ۱ تا ۲ روز به طور کامل انجام می‌شود. سنجنده مادیس دارای باندهای با توان تفکیک‌های مکانی ۲۵۰ متر در باندهای ۱ و ۲، توان تفکیک ۵۰۰ متر در باندهای ۳ و ۷ و توان تفکیک ۱ کیلومتر در باندهای ۸ تا ۳۶ می‌باشد. این سنجنده‌ها طوری طراحی شده‌اند تا بتوانند تغییرات دینامیکی سطح و جو پایین کره زمین، بویژه از نظر پوشش ابری و بودجه تشعشع و فرآیندهایی که در اقیانوس‌ها شکل می‌گیرند را در مقیاس نسبتاً بزرگ ثبت نمایند. عمق اپتیکی ریزگردهای اتمسفر یا عمق اپتیکی ریزگرد، کمیت طیفی و

بدون واحد است که میزان شفافیت جو را توصیف می‌کند و با طول موج تغییر می‌کند (لوی و همکاران، ۲۰۰۴). داده‌های ماهواره‌ای مربوط به ریزگردها محصول عمق اپتیکی اقیانوس و خشکی ۱ به‌دست‌آمده از سری محصولات نسخه ۶ سنجنده مادیس می‌باشد که شامل محصول عمق اپتیکی روزانه سطح ۲ مادیس با قدرت تفکیک ۱۰ کیلومتر از سنجنده ترا می‌باشد. داده‌های مورد نیاز برای بازه زمانی مورد نظر از وبسایت <http://ladsweb.nascom.nasa.gov> تهیه گردید.

روش تحقیق

پس از اخذ داده‌های روزانه از سایت سازمان ناسا، فراوانی‌های روزهای با عمق اپتیکی بیشتر از ۰/۶ در هر سال استخراج گردید. برای تبدیل این داده‌ها به فراوانی‌های سالانه با توجه به اینکه داده‌های عمق اپتیکی در مواردی مانند پوشش ابری آسمان فاقد اطلاعات می‌باشند، پس از اعمال الگوریتم‌های لازم اثر پیکسل‌های بدون داده حذف شد و فراوانی سالانه استخراج گردید. در کنار محاسبه صحیح میانگین عمق اپتیکی، محاسبه تعداد روزهای بدون داده از جنبه بررسی درجه اعتماد به نتایج نیز حائز اهمیت است. با توجه به طول دوره مطالعاتی (۱۹ سال) با هدف بررسی توزیع مکانی و زمانی دقیق کانون‌ها، شناسایی کانون‌ها طی سه دوره مطالعاتی ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۶، ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۲ و ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۸ انجام گرفت، نقشه میانگین فراوانی سالانه کانون‌های گردوغبار به کلاس‌های مناطق بدون کانون، کانون‌های با فراوانی گردوغبار خیلی کم، کانون‌های با فراوانی گردوغبار کم، کانون‌های با فراوانی گردوغبار متوسط، کانون‌های با فراوانی گردوغبار زیاد و کانون‌های با فراوانی گردوغبار خیلی زیاد طبقه‌بندی شد. درصد تغییرات هر یک از کانون‌های ذکر شده در مرحله دوم و سوم مطالعاتی نسبت به دوره اول استخراج شد.

در مرحله بعد انحراف معیار هر ماه در طول دوره مطالعاتی ۲۰۱۸-۲۰۰۰ استخراج شد تا مناطق با بیشترین آسیب‌پذیری به توفان‌های گردوغباری شناسایی شوند. انحراف معیار ریشه دوم واریانس می‌باشد. معمولاً از این آماره به جای واریانس استفاده می‌شود، چون واحد آن همانند خود متغیر است. واریانس طبق فرمول ۱ قابل محاسبه می‌باشد:

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - m)^2 \quad (1)$$

واریانس، میانگین مربع اختلاف مقادیر مشاهده‌ای نسبت به میانگین می‌باشد. از آنجا که واریانس شامل مربع اختلافات است به مقادیر بالا حساسیت نشان می‌دهد. بنابراین در این پژوهش علاوه بر تحلیل‌های توصیفی و کمی، در توصیف داده‌های مکانی از رابطه آماری انحراف معیار میانگین‌های هر سال نیز با هدف استخراج تغییرات داده‌های سالانه در کل دوره زمانی مورد مطالعه، مقایسه مکانی شدت تغییرات و تعیین مناطق با بیشترین آسیب‌پذیری در مقابل پدیده توفان‌های گردوغباری استفاده شد. با تحلیل مقدار عددی نقشه‌های انحراف معیار علاوه بر تعیین شدت تغییرات توفان‌های گردوغباری در سال‌های مختلف نسب به هم، موقعیت تغییرات ایجاد شده نیز قابل استخراج است.



شکل (۲). نمودار مراحل انجام پژوهش

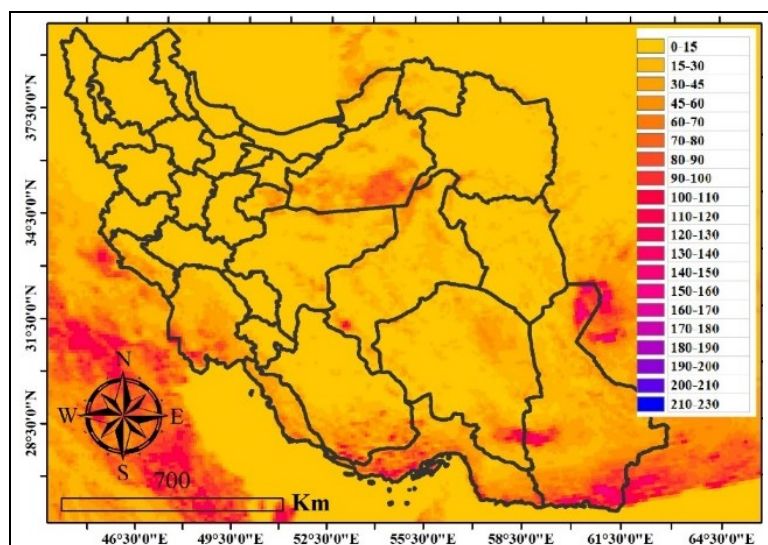
در پایان در این پژوهش برای تشخیص توزیع کمی در مقیاس زمان از روش تفسیر نمودار روند تغییرات عمق اپتیکی در کانون‌های مستخرج استفاده شد تا با مشاهده تغییرات روند شدت گردوغبار در این کانون‌ها، مشخص شود کدامیک از کانون‌های گردوغبار در کشور از نظر غبارخیزی در حال تشدید یا کاهش هستند و یا روند یکنواختی را طی می‌کنند (شکل ۲).

نتایج

پس از استخراج نقشه فراوانی‌های روزهای با عمق اپتیکی بیشتر از ۰/۶، نقشه میانگین فراوانی‌های سالانه در سه دوره زمانی مطالعاتی محاسبه شد و با استفاده از روش انحراف استاندارد جهت نمایش تغییرات مکانی طبقه‌بندی شد.

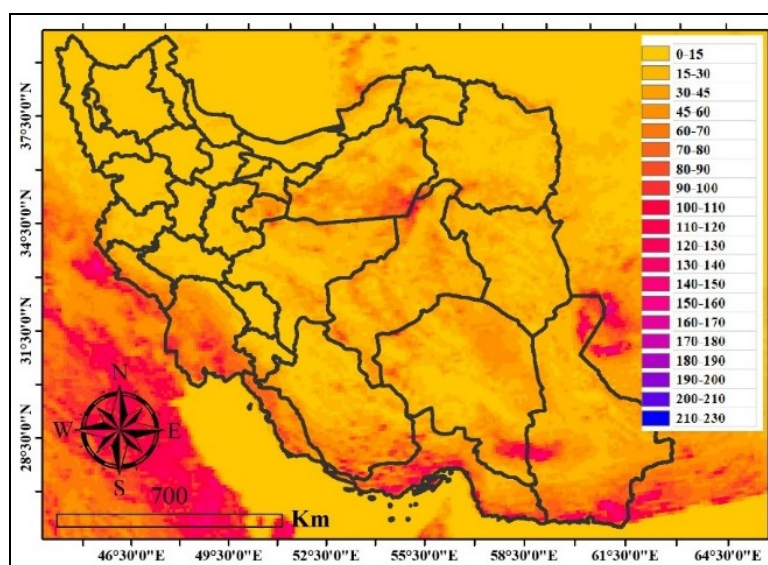
نقشه کانون‌های گردوغبار در دوره اول (شکل ۳) نشان می‌دهد کانون‌های اصلی گردوغبار در کشور در شمال سیستان و بلوچستان (زابل) و جنوب سیستان و بلوچستان (چاه‌بهار)، در جنوب شرق سمنان (دشت کویر)، دامغان، گرمسار، در محدوده جازموریان، جنوب غرب هرمزگان (محدوده بندرلنگه)، جنوب و جنوب غرب خوزستان، جنوب غرب یزد (نیر) و همچنین بخش‌هایی از استان قم، ایلام (مهران)، اصفهان و جنوب استان فارس قرار دارد.

در دوره دوم مطالعاتی (۲۰۰۷ تا ۲۰۱۲) از نظر مکانی در کانون‌های جنوب شرق استان سمنان جابجایی صورت گرفته است و به سمت جنوب شدت تولید گردوغبار افزایش یافته است (شکل ۴). همچنین کانون‌های گردوغبار استان خوزستان و بوشهر شدت و گسترش بیشتری یافته است. در جنوب استان هرمزگان نیز افزایش نسبی سطح کانون‌ها نسبت به دوره اول مشاهده می‌گردد. براساس شکل ۴ شدت غبارخیزی کانون نیر کاهش پیدا کرده است. در محدوده شهرستان زابل نیز کاهش نسبی از نظر سطح کانون‌های گردوغباری صورت گرفته است.

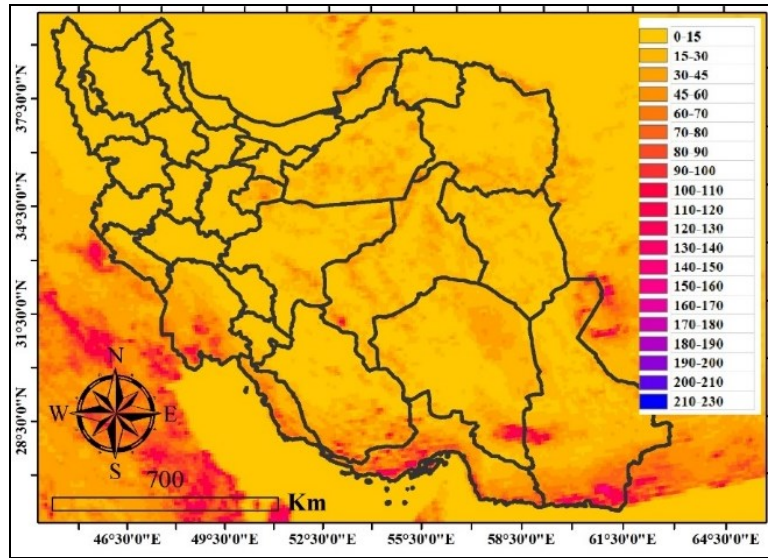


شکل (۳). نقشه میانگین فراوانی سالانه عمق اپتیکی بیشتر از ۰/۶ در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۶

در دوره سوم مطالعاتی به طور بارزی سطح کانون گردوغبار زابل کاهش یافته است (شکل ۵). درجه کاهش تولیدگردوغبار در کانون‌های دشت کویر در جنوب شرق سمنان بسیار زیاد بوده تا حدی که می‌توان اظهار کرد در فاصله سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۸ این کانون‌ها غیرفعال بوده‌اند. براساس نقشه کانون‌های گردوغبار در دوره سوم مطالعاتی به طور کلی نسبت به دوره اول و دوم وسعت کانون‌های گردوغبار در نیمه جنوبی ایران کاهش یافته است.



شکل (۴). نقشه میانگین فراوانی سالانه عمق اپتیکی بیشتر از ۰/۶ در سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۲



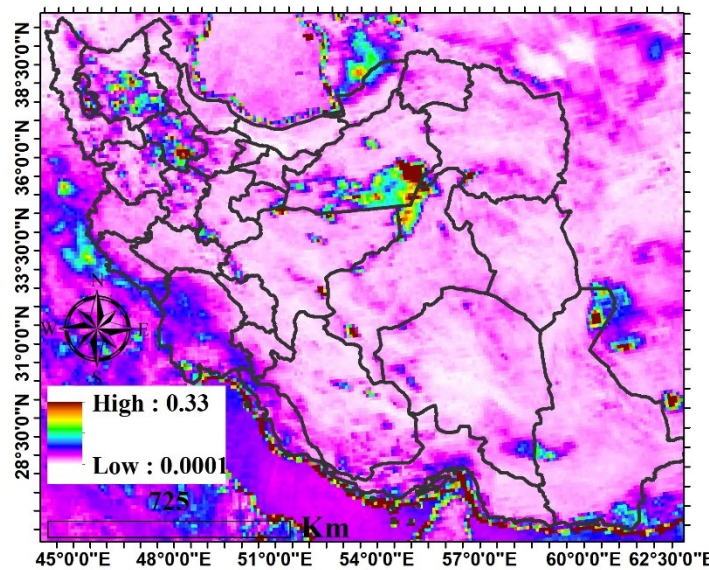
شکل (۵). نقشه میانگین فراوانی سالانه عمق اپتیکی بیشتر از ۰/۶ در سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۸

محاسبه درصد تغییرات هر یک از کانون‌ها: نقشه فراوانی کانون‌های گردوغبار در هر دوره مطالعاتی به شش طبقه بدون گردوغبار، کانون با شدت غبارخیزی خیلی کم، کانون با شدت غبارخیزی کم، کانون با شدت غبارخیزی خیلی کم، کانون با شدت غبارخیزی متوسط، کانون با شدت غبارخیزی خیلی کم، کانون با شدت غبارخیزی زیاد و کانون با شدت غبارخیزی خیلی کم، کانون با شدت غبارخیزی خیلی زیاد تقسیم بندی شد. مساحت هر یک از طبقات در کشور استخراج شد و نسبت تغییرات هر یک از طبقات در دوره دوم و سوم نسبت به دوره اول محاسبه شد. با توجه به جدول ۱ بخش زیادی (۴۰٪) از مساحت مناطق بدون گردوغبار دوره اول مطالعاتی، در دوره دوم نسبت به دیگر مناطق غبارخیز تبدیل شده است. این شدت کاهش در مناطق با شدت غبارخیزی بالا هم مشاهده می‌گردد به طوری که در دوره دوم ۴۸٪ و در دوره سوم ۶۵٪ کاهش یافته است. با توجه به شکل‌های ۳ تا ۵ کانون‌های نیمه جنوبی استان سمنان سهم زیادی در این کاهش داشته‌اند. در دوره دوم مساحت کانون‌های با فراوانی خیلی کم و کم به طور قابل توجهی افزایش یافته است (۵۴ تا ۸۸ درصد) که با توجه به جدول و شکل‌های ۳ و ۴ بخش زیادی از مساحت مناطق بدون گردوغبار به کانون‌های با فراوانی خیلی کم و کم تبدیل شده است. همچنین ۱۴٪ افزایشی که در کانون با فراوانی زیاد رخ داده است ناشی از کاهش فعالیت کانون‌های با فراوانی خیلی زیاد بوده است. در دوره سوم به بااستثناء کانون‌های با فراوانی خیلی کم، مساحت سایر کانون‌ها کاهش یافته است. این کاهش به ویژه در کانون‌های با فراوانی زیاد و خیلی زیاد مشاهده شده است.

جدول (۱). مساحت کانون‌های گردوغبار در دوره‌های مطالعاتی و تغییرات آن به هکتار

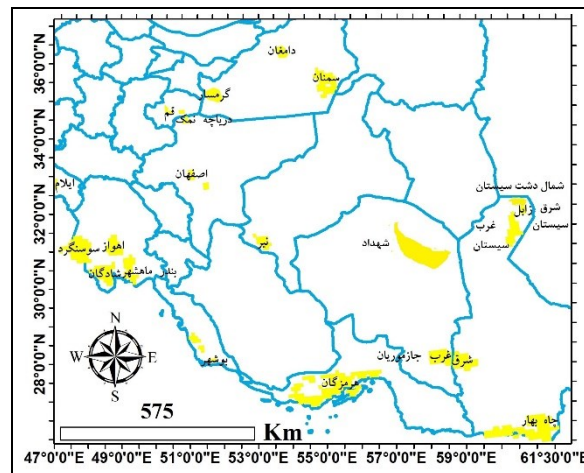
مساحت هکتار	بدون گردوغبار	کانون با فراوانی خیلی کم	کانون با فراوانی کم	کانون با فراوانی متوسط	کانون با فراوانی زیاد	کانون با فراوانی خیلی زیاد
دوره اول	۹۷۴۲۱۸۳۳	۴۷۳۳۷۶۱۴	۱۳۳۲۶۳۸۵	۳۴۴۲۴۷۸	۶۵۱۲۵۷	۱۰۴۳۰۴
دوره دوم	۵۸۰۱۵۹۱۳	۷۲۸۷۹۱۴۲	۲۵۰۹۸۵۵۸	۵۴۹۴۲۴۴	۷۴۲۷۵۱	۵۳۲۶۳
دوره سوم	۹۳۰۷۳۷۲۵	۵۵۹۰۱۲۶۹	۱۰۲۲۸۴۲۱	۲۷۱۵۹۸۱	۳۲۸۷۱۱	۳۵۷۶۴
تغییرات دوره دوم نسبت به دوره اول	-۴۰/۴٪	۵۴٪	۸۸/۳٪	۵۹٪	۱۴٪	-۴۸٪
تغییرات دوره سوم نسبت به دوره اول	-۴/۴٪	۱۸٪	-۲۳/۲٪	-۲۱/۱٪	-۴۹/۵٪	-۶۵٪

همانطور که پیش‌تر ذکر شد نقشه انحراف معیار در طول دوره مطالعاتی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ استخراج شد تا مناطق با بیشترین آسیب‌پذیری به توفان‌های گردوغباری شناسایی شوند (شکل ۶). نقشه انحراف معیار نیز با استفاده از روش انحراف استاندارد جهت نمایش تغییرات مکانی طبقه‌بندی شد. توسط نقشه انحراف معیار می‌توان نشان داد که کدامیک از مناطق در طول دوره مطالعاتی بیشترین تغییرات را در شدت ریزگردها را تجربه کرده‌اند. با تحلیل مقدار عددی نقشه‌های انحراف معیار علاوه بر تعیین شدت تغییرات توفان‌های گردوغباری، موقعیت تغییرات ایجاد شده نیز قابل استخراج است. براساس شکل ۶ در استان‌های آذربایجان شرقی، زنجان، اطراف دریاچه ارومیه، جنوب استان سمنان، شمال استان یزد، شمال غرب و جنوب استان سیستان و بلوچستان، منطقه جازموریان و بخش‌هایی از استان خوزستان بیشترین نوسانات وجود داشته است. شایان ذکر است در منطقه ساحلی خلیج فارس بخش زیادی از افزایش انحراف معیار به دلیل خطای داده‌های عمق اپتیکی ریزگرد در منطقه ساحلی می‌باشد.



شکل (۶). نقشه انحراف معیار فراوانی سالانه گردوغبار در طول دوره ۱۹ ساله

محدوده کانون‌های گردوغبار: جهت مطالعه تغییرات کانون‌ها براساس نقشه کانون‌های دوره اول، دوم و سوم، محدوده کانون‌های مورد مطالعه براساس شدت و اهمیت، جهت مطالعه تغییرات بلند مدت استخراج شد (شکل ۷).



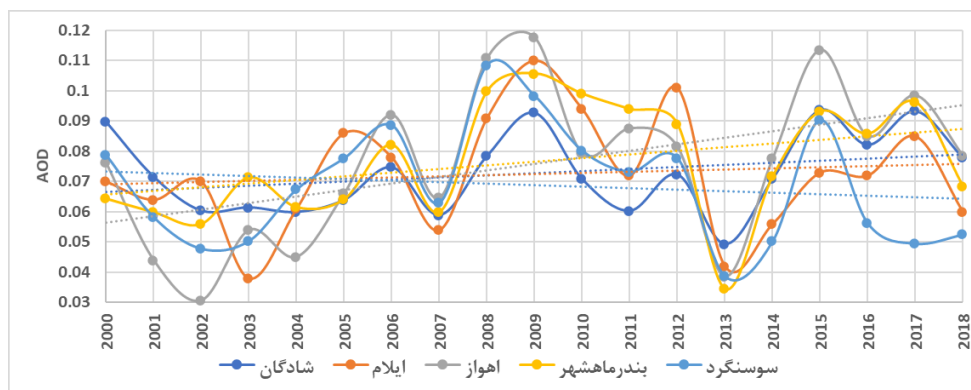
شکل (۷). موقعیت کانون‌های گردوغبار



پس از مشخص نمودن موقعیت کانون‌های گردوغبار داخلی کشور، روند تغییرات بلند مدت در این کانون‌ها با استفاده از نمودار روند تغییرات استخراج شد که به صورت موردی در ادامه مورد بحث قرار خواهد گرفت. با توجه به موقعیت و فاصله کانون‌ها از هم، ۲۴ کانون استخراج شده در ۸ نمودار بررسی شده است.

کانون‌های جنوب غرب ایران: این کانون‌ها شامل سوسنگرد، بندر ماهشهر، اهواز (جنوب شرق شهر اهواز)، ایلام و شادگان می‌باشند. در این کانون‌ها آنچه که اهمیت بیشتر دارد موقعیت کانون نسبت به مناطق مسکونی و مساحت کانون است. به عنوان مثال کانون جنوب شرق اهواز به علت نزدیکی به شهر اهواز همواره به علت آلوده کردن هوای شهر اهواز اهمیت قابل توجهی در موضوعات احیایی و مدیریتی داشته است. با توجه به شکل ۸ به طور قابل توجهی بیشترین میزان نوسانات در شدت گردوغبار در کانون اهواز (کویر رسی و اراضی کشاورزی) مشاهده می‌شود (۰/۰۹) و این کانون شیب صعودی بیشتری نسبت به سایر کانون‌ها در منطقه داشته است. به ترتیب کانون بندر ماهشهر (دشت رسی شور و مناطق مرطوب حاشیه پلایا)، شادگان (مناطق مرطوب حاشیه پلایا و کویر نمکی و دریاچه نمک) و ایلام نیز از روند صعودی نسبتاً اندکی برخوردار بوده‌اند. در میان کانون‌های این منطقه سوسنگرد (کویر رسی و نمکی) روند کاهشی اندکی را نیز داشته است. کانون‌ها در طول دوره مطالعاتی در موارد بسیاری دارای نوسان مشابه سال به سال بوده‌اند. از نظر میانگین عددی شدت تولید گردوغبار در کانون‌ها اختلاف قابل توجهی ندارد.

کانون‌های شرق و غرب منطقه جازموربان: از نظر عددی و از نظر الگوی تغییر بلند مدت شباهت بسیاری بین شرق و غرب محدوده پیشین تالاب جازموربان وجود دارد (شکل ۹). آنچه که اهمیت بیشتری دارد روند افزایشی در غرب جازموربان نسبت به بخش شرقی آن است که دارای روند کاهشی است. احداث سدهای متعدد بر حوضه آبریز جازموربان همچون سد جیرفت استان کرمان بر روی هلیل رود تاثیر چشمگیری بر کاهش رطوبت خاک در غرب جازموربان داشته است و شدت غبارزایی در بلند مدت در این منطقه افزایشی بوده است. بخش غربی تالاب جازموربان ترکیبی است از دشت رسی کربناته و اراضی زراعی و در شرق جازموربان دشت‌های ریگی فعال و غیرفعال و مخروط افکنه پلایایی وجود دارد.

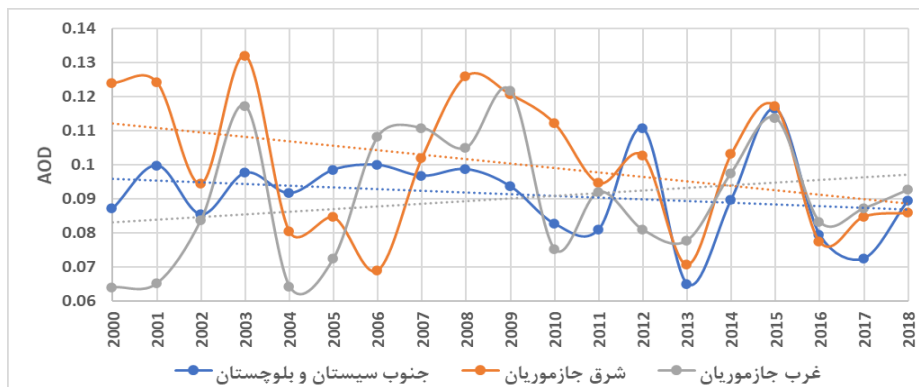


شکل (۸). روند تغییرات کانون‌های جنوب غرب ایران

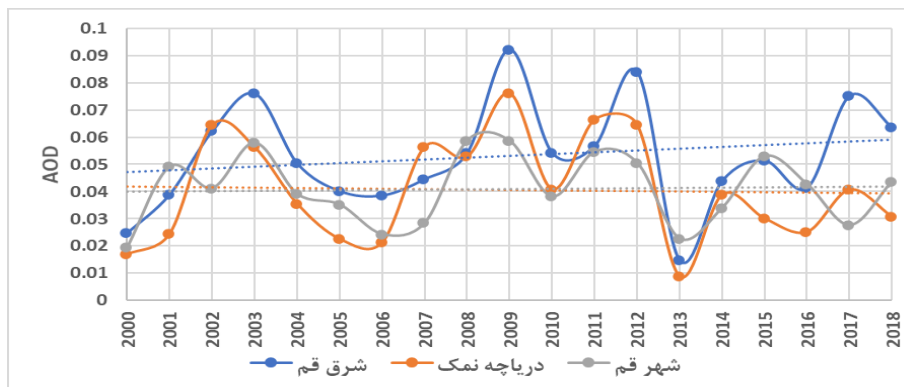
مقدار متوسط عمق اپتیکی ریزگرد سالانه در کانون‌های جنوب سیستان و بلوچستان (چابهار) ۰/۰۶ تا ۰/۱۱ متغیر است و به استثنای سال‌های ۲۰۱۲، ۲۰۱۳ و ۲۰۱۵ روند تغییرات نسبتاً یکنواختی داشته است و در طول دوره مطالعاتی روند کاهشی اندکی داشته است. غالب پوشش سطحی زمین در این منطقه دشت‌های رسی کربناته است و کاربری اصلی منطقه زراعت می‌باشد. حداکثر نوسانات در میان این سه کانون محدوده ۰/۰۵ بوده است که نشان دهنده آن است نسبت به سایر کانون‌ها شدت گردوغبار در طول دوره مطالعاتی از نوسانات کمتری برخوردار بوده است.

کانون‌های استان قم: در استان قم سه کانون استخراج شد که شامل کانون شرق استان، کانون اطراف شهر قم و کانون دریاچه نمک می‌باشد. وجود دشت‌های رسی عامل بروز توفان‌های گردوغبار در کانون شرق استان قم است و مقدار عمق اپتیکی ریزگرد در این کانون

از ۰/۰۱ در سال ۲۰۱۳ تا ۰/۰۹ در سال ۲۰۰۹ متغیر بوده است. روند تغییرات در این کانون تا حدی افزایشی بوده است. اما در اطراف شهر قم، وجود معادن متعدد آهک و همچنین دشت‌های ریگی فعال در اطراف این شهر موجب آلودگی هوای شهر می‌شود. با توجه به منبع انسانی این کانون‌ها، شدت تغییرات این کانون تا حد زیادی مستقل از شرایط اقلیمی بوده است، در طول دوره نوسان کمتری نسبت به سایر کانون‌های منطقه داشته است. به طور کلی در بلندمدت روند تغییرات کاهش‌ی یا افزایشی مشخصی در کانون اطراف شهر قم و دریاچه نمک مشاهده نشده است. وجود نوسانات شدید در سال‌های متوالی (به عنوان مثال ۰/۰۷ از سال ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۳) در کانون‌های شرق استان قم و دریاچه نمک یکی از ویژگی‌های بارز این کانون‌ها می‌باشد. این موضوع و همچنین نوسانات مشابه میان این دو کانون نشان دهنده تاثیر بارز شرایط اقلیمی بر غبارخیزی این کانون‌ها می‌باشد.



شکل (۹). روند تغییرات گردوغبار کانون‌های شرق و غرب منطقه جازموریان



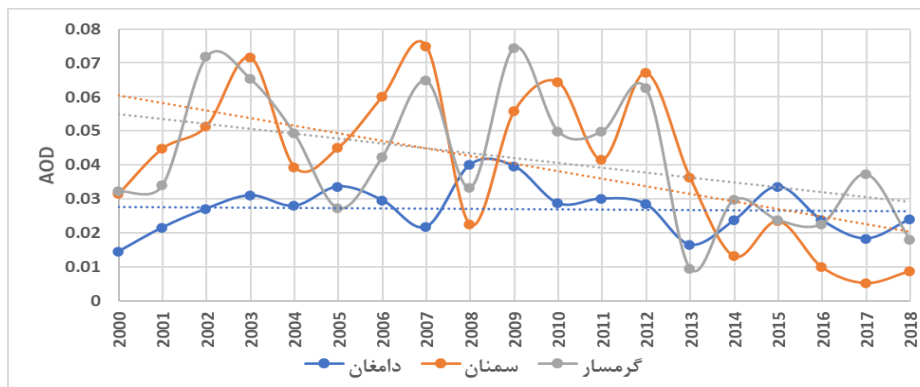
شکل (۱۰). روند تغییرات گردوغبار کانون‌های استان قم

روند تغییرات گردوغبار کانون جنوب کشور: با توجه به اینکه از سال ۲۰۱۳ نمودارهای تغییرات منطقه جازموریان، جنوب سیستان و بلوچستان و جنوب غرب هرمزگان از شباهت بسیار زیادی برخوردار هستند، عوامل منطقه‌ای مانند شرایط اقلیمی و تغییر سرعت باد می‌تواند یکی از دلایل اصلی نوسانات گردوغبار در این کانون‌ها باشد. در کانون جنوب غرب هرمزگان (دشت عربی، کناخ و چاه مسلم) و کانون بوشهر مقدار عمق اپتیکی ریزگرد روند تغییرات نسبتاً ثابت با شیب اندک افزایشی وجود دارد. پهنه‌های رسی در جنوب غرب هرمزگان و اراضی زراعی و کویر رسی عامل اصلی تولید گردوغبار در کانون بوشهر می‌باشد. موضوع قابل توجه در این کانون‌ها نوسانات اندک سال‌های متوالی در این کانون‌ها می‌باشد.



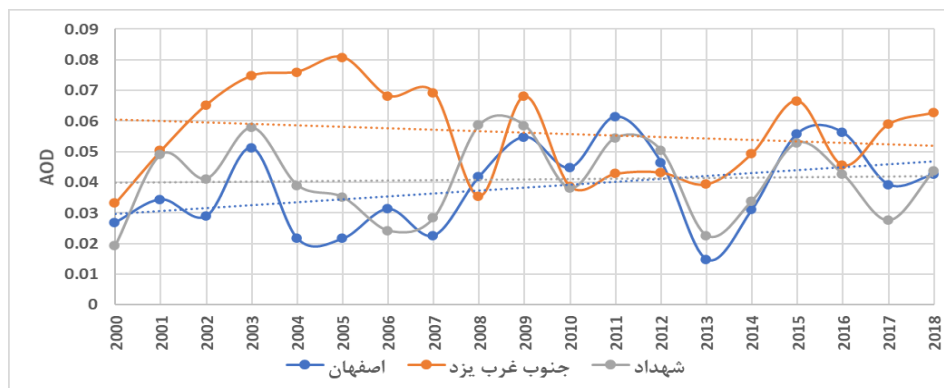
شکل (۱۱). روند تغییرات گردوغبار کانون جنوب کشور

روند تغییرات گردوغبار کانون‌های استان سمنان: در رابطه با شرایط کانون سمنان (کانون‌های جنوب شاهرود و شمال طیس) و گرمسار می‌توان اظهار داشت بررسی روند تغییرات در این کانون‌ها نشان می‌دهد از سال ۲۰۱۴ تا سال ۲۰۱۸ کاهش ناگهانی چشمگیری در شدت گردوغبار برخاسته از این کانون مشاهده می‌شود. کانون سمنان که بخشی از دشت کویر می‌باشد شامل کویر نمکی و دریاچه نمک و کویر رسی می‌باشد و بخش زیادی از کانون گرمسار نیز دربرگیرنده پهنه رسی و دشت رسوبی شور می‌باشد. از آنجا که مناطق مورد بحث دارای پوشش گیاهی و اراضی کشاورزی نمی‌باشند، به نظر می‌رسد تغییر در بافت خاک و سله بستن سطح خاک یکی از مهمترین عوامل زمینی تغییر در میزان عمق اپتیکی ریزگرد بوده باشد. کانون دامغان که شامل دریاچه نمک و مناطق مرطوب حاشیه پلایا است در طول دوره روند یکنواختی داشته و نوسانات بسیار اندکی (۰/۰۳) را تجربه کرده است.



شکل (۱۲). روند تغییرات گردوغبار در کانون‌های استان سمنان

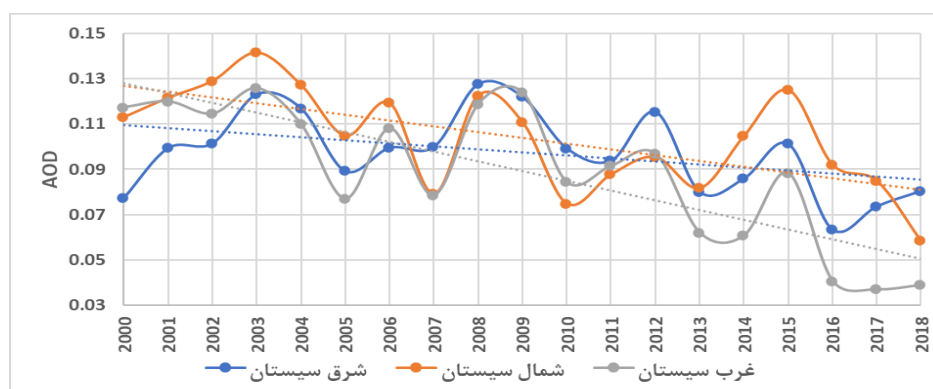
کانون‌های اصفهان به طور غالب در برگیرنده اراضی کشاورزی می‌باشد که با توجه به افزایش فرسایش خاک در طول دوره مطالعاتی شدت غبارخیزی این کانون نیز افزایش پیدا کرده است.



شکل (۱۳). روند تغییرات گردوغبار در کانون های اصفهان و یزد

در حالی که کانون شهداد که پهنه‌های نمکی را شامل می‌شود یکنواخت بوده و حتی کانون یزد روند کاهشی اندکی را تجربه کرده است. اما به طور کلی نوسانات سال به سال در کانون شهداد و کانون اصفهان از الگوی نسبتاً مشابهی تبعیت می‌کند که نشان دهنده تاثیر شرایط اقلیمی منطقه‌ای بر این کانون‌ها می‌باشد.

تغییرات کانون‌های شهرستان‌های زابل و زهک (شمال شرق سیستان): دشت سیستان به طور کل ترکیبی از پهنه‌های نمکی، دریاچه نمک، مناطق مرطوب حاشیه پلایا، و اراضی زراعی می‌باشد که در حال حاضر در بیشتر فصل‌ها خشک است و تحت تاثیر بادهای با سرعت بالا تولید گردوغبار می‌کند. عمق اپتیکی ریزگرد از نظر عددی از حدود 0.03 در غرب دشت سیستان تا 0.14 در شمال دشت سیستان متغیر است. مقدار عمق اپتیکی ریزگرد شدت بحران گردوغبار در دشت زابل را نسبت به بسیاری از کانون‌های مطالعه نشان می‌دهد. با توجه به نمودار تغییرات از سال 2016 شدت گردوغبار در محدوده نسبت به سال‌های گذشته تا حد زیادی کاهش یافته است. همانطور که نتایج بررسی بلند مدت نشان می‌دهد روند تغییرات غبارخیزی به ویژه در غرب دشت سیستان کاهشی بوده است و بیشترین نوسانات نیز در این بخش از دشت مشاهده شده است. همچنین نوسانات نسبتاً یکنواخت سال به سال نیز یکی از ویژگی‌های بارز منطقه می‌باشد.



شکل (۱۴). روند تغییرات گردوغبار در کانون های دشت سیستان

۵- بحث و نتیجه گیری

با توجه به موقعیت جغرافیایی کشور ایران و وجود بیابان‌های پهناور، همواره تحت تاثیر کانون‌های گرد و غبار داخل و خارج از کشور قرار داشته است، اما با نقش انسان در فرسایش و کاهش رطوبت خاک به واسطه کشاورزی و استفاده بی رویه از منابع آب سطحی و



زیرزمینی و همچنین بروز خشکسالی‌های پی‌درپی در دو دهه اخیر بسیاری از کانون‌های گردوغبار از نظر شدت غبارخیزی دارای تغییرات و یا نوساناتی بوده‌اند. در این مطالعه با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مناسب ابتدا موقعیت کانون‌های گردوغبار در سه دوره زمانی از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ استخراج شد. تغییرات هر یک کلاس‌های گردوغباری در دوره دوم و سوم با دوره اول مقایسه شد تا فارغ از موقعیت مکانی، تغییرات شدت غبارخیزی را بتوان در کشور ارزیابی کلی کرد. سپس با استفاده از روش انحراف استاندارد کانون‌های با بیشترین درصد تغییرات مشخص شد. و در پایان با استفاده از بررسی نمودار تغییرات در ۲۴ کانون اصلی گردوغبار کشور روند تغییرات محاسبه شد. با توجه به نتایج پژوهش حاضر، در برخی از کانون‌ها تغییرات بسیار زیادی مشاهده شده است و شدت غبارخیزی در بسیاری از کانون‌های گردوغبار در کشور کاهش یافته است. در حالی که برخی از کانون‌ها مانند کانون اصفهان، و کانون‌های استان خوزستان به علت نقش عوامل انسانی مانند فعالیت‌های کشاورزی و همچنین کاهش آب‌های سطحی و زیرزمینی و در نتیجه خشکی و تغییر در بافت خاک دارای روند افزایشی در تولید گردوغبار بوده‌اند. از آنجا که روند کاهشی در بسیاری از کانون‌های مرکزی، شرق و جنوب کشور مشاهده می‌گردد، نتایج این پژوهش بیانگر نقش کلیدی عوامل اقلیمی در تغییرات و نوسانات تولید گردوغبار در کشور می‌باشد چراکه عامل اقلیمی تنها فاکتوری می‌تواند باشد که در مقیاس وسیع کشوری بر کانون‌ها اثر نسبتاً یکنواختی داشته باشد. براساس مطالعات معتبر صورت گرفته بر روی روند تغییرات کانون‌های داخلی کشور صحت نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر تأیید می‌شود. به طوری که در مطالعه انجام شده توسط میدلتون (۲۰۱۹) روند تغییرات در شدت گردوغبار در شمال سیستان (زابلی) کاهشی بوده است و همچنین نتایج به دست آمده در کانون اهواز و کانون جنوب ایران (جاسک) با نمودارهای به دست آمده از مطالعه باغبانیان و همکارانش (۲۰۱۰) مطابقت دارد، که بیانگر فعال‌تر شدن این کانون‌ها می‌باشد.

منابع

- ارجمند، مریم؛ راشکی، علیرضا؛ سرگزی، حسین. (۱۳۹۷). پایش زمانی و مکانی پدیده گردوغبار با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای در جنوب شرق ایران، با تاکید بر منطقه جازموریان. *اطلاعات جغرافیایی*. تابستان ۱۳۹۷ - شماره ۱۰۶. صص ۱۶۸-۱۵۳.
- ایرانمنش، فاضل؛ عرب خدری، محمود؛ مجتبی، اکرم. (۱۳۸۴). بررسی مناطق برداشت ذرات گردوغبار و ویژگی‌های انتشار آنها در طوفان‌های منطقه سیستان با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای. *پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی*، دور ۱۸، شمار ۲ (پی آیند ۶۷). صص ۳۳-۲۵.
- جهانبخش، سعید؛ ولی‌زاده کامران، خلیل؛ خسروی، محمود؛ زینالی، بتول؛ اصغری، صیاد. (۱۳۹۳). شناسایی و آشکار سازی طوفان فراگیر I ژوئیه ۲۰۰۸ ایران با استفاده از سنجنده مودیس. *فصلنامه علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی*. سال چهاردهم. شماره ۴۶. صص ۵۰-۳۱.
- حیدریان، پیمان؛ اژدری، علی؛ جودکی، محمد؛ درویشی خاتونی، جواد؛ شهبازی، رضا. (۱۳۹۶). شناسایی منشأهای داخلی توفان‌های گردوغبار با استفاده از سنجش از دور، GIS و زمین‌شناسی (مطالعه موردی: استان خوزستان). *فصلنامه علمی-پژوهشی علوم زمین*. دوره ۲۷، شماره ۱۰۵. صص ۴۶-۳۳.
- خسروی، محمود. (۱۳۸۷). تحلیل فضایی آلاینده‌های توفان‌های گردوغبار ناشی از بادهای ۱۲۰ روزه سیستان با استفاده از داده‌های سنجش از دور ۲۰۰۱-۲۰۰۸، یازدهمین همایش ملی بهداشت محیط، دانشکده علوم پزشکی زاهدان، صص ۱۱-۱.
- خوش‌سیما، مسعود؛ علی‌اکبری بیدختی، عباسعلی؛ احمدی گیوی، فرهنگ. (۱۳۹۲). تعیین عمق نوری هواویزها با استفاده از داده‌های دید افقی و سنجش از دور در دو منطقه شهری در ایران. *مجله فیزیک زمین و فضا*، دوره ۳۹، شماره ۱، صص ۱۷۴-۱۶۳.
- خوشحال دستجردی، جواد؛ موسوی، حجت؛ کاشکی، عبدالرضا. (۱۳۹۱). تحلیل هم‌دید طوفان‌های گردوغبار ایلام (۱۹۸۷-۲۰۰۵). *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*. سال ۲۳، پیاپی ۴۶، شماره ۲.
- ذوالفقاری، حسن؛ عابدزاده، حیدر. (۱۳۸۴). تحلیل سینوپتیک سیستم‌های گردوغبار غرب در ایران. *مجله جغرافیا و توسعه*. صص ۱۷۳-۱۸۸.
- رایگانی، بهزاد؛ براتی قهفرخی، سوسن؛ خوش‌نوا، احمد. (۱۳۹۸). شناسایی کانون‌های تولید گردوغبار به کمک داده‌های دورسنجی: یک رویکرد جامع. *مرتع و آبخیزداری دوره ۷۲*. شماره ۱. صص ۱۰۵-۸۳.
- رسولی، علی‌اکبر؛ ساری صراف، بهروز؛ محمدی، غلام حسن. (۱۳۸۹). تحلیل روند وقوع پدیده اقلیمی گردوغبار در غرب کشور در ۵۵ سال اخیر، *فصلنامه جغرافیای طبیعی*، سال سوم، شماره ۹، صص ۲۸-۱۵.
- رنجبر، هاجر؛ بازرگر، مسعود؛ نامدار خجسته، داود؛ رستمی نیا، محمود. (۱۳۹۴). شناسایی مناطق و کانون‌های تولید ریزگرد در استان ایلام. *اولین کنفرانس بین‌المللی گردوغبار*. اهواز.
- رئیس‌پور، کوهزاد؛ خسروی، محمود. (۱۳۹۸). تحلیل رفتار بلندمدت عمق اپتیکی آتروسل (AOD) در دشت سیستان با استفاده از مدل MERRA-2. *کنفرانس بین‌المللی گردوغبار در جنوب غرب آسیا*. زابل.
- رئیس‌پور، کوهزاد؛ طاوسی، تقی؛ خسروی، محمود. (۱۳۸۹). بررسی علل شکل‌گیری گردوغبارهای عربی و گسترش آن بر ایران، *مجموعه مقالات چهارمین کنگره بین‌المللی جغرافیادانان*، ایران-زاهدان، دانشگاه سیستان و بلوچستان.



- شمسی پور، علی اکبر؛ و صفرزاد، طاهر. (۱۳۹۱)، تحلیل ماهواره‌ای همدیدی پدیده‌ی گردوغبار (گردوغبار تیرماه). پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ۴۴، شماره ۷۹، صص ۱۱۱-۱۲۶.
- ناصرپور، سمیه؛ علیجانی، بهلول؛ ضیائیان، پرویز. (۱۳۹۴). منشایابی توفان‌های گردوغبار در جنوب غرب ایران با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های هوا، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ۴۷، شماره ۱. صص ۳۶-۲۱.
- نامداری، سودابه. (۱۳۹۵). تحلیل روند زمانی و مکانی توفان‌های گردوغبار در غرب و جنوب‌غرب ایران با پردازش تصاویر ماهواره‌ای. پایان نامه دکتری. دانشگاه تبریز. دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی.
- نامداری، سودابه؛ کریمی، نعمت‌اله. (۱۳۹۷). مطالعه توزیع مکانی طوفان‌های گردوغبار منطقه سیستان در بلندمدت با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، دومین همایش بین‌المللی گردوغبار، ایلام.
- ولی، عباسعلی؛ خاموشی، سجاد؛ موسوی، حجت؛ پناهی، فاطمه؛ تمسکی، احسان. (۱۳۹۳). تحلیل اقلیمی و ردیابی توفان‌های گردوغبار فراگیر در جنوب و مرکز ایران. محیط‌شناسی، دوره ۴۰، شماره ۴، صص ۹۶۱-۹۷۲.
- Athanassiou, G., Hatzianastassiou, N., Gkikas, A., Papadimas, C. D. 2012. Estimating Aerosol Optical Depth over the Broader Greek area from MODIS satellite. *Water, Air, & Soil Pollution*. 224 (7). 1-14.
- Baghbanan, P., Ghavidel, Y. & Farajzadeh, M. Temporal long-term variations in the occurrence of dust storm days in Iran. *Meteorol Atmos Phys* 132, 885–898 (2020). <https://doi.org/10.1007/s00703-020-00728-3>
- Hsu, N. C., S. C. Tsay, M. D. King, and J. R. Herman. 2004. Aerosol properties over bright-reflecting source regions, *IEEE Trans. Geosci. and Remote Sensing*, 42 (3).
- Hsu, N. C., S. C. Tsay, M. D. King, and J. R. Herman. 2006. Deep blue retrievals of Asian aerosol properties during ACE-Asia, *IEEE Trans.*
- Kim, H.S., Chung, Y.S., Kim, J.T. 2014. Spatio-temporal variations of optical properties of aerosols in East Asia measured by MODIS and relation to the ground-based mass concentrations observed in central Korea during 2001~2010. *Asia-Pac J Atmos Sci* 50(2).191–200.
- Levy, R., Remer, L., Kleidman, R., Mattoo, S., Ichoku, C., Kahn, R. and Eck, T. 2010. Global Evaluation of the Collection 5 MODIS Dark-target Aerosol Products over Land. *Atmos. Chem. Phys.* 10: 10399–10420.
- Middleton, N. Variability and Trends in Dust Storm Frequency on Decadal Timescales: Climatic Drivers and Human Impacts. *Geosciences* 2019, 9, 261.
- Miller, S. D. 2003. A consolidated technique for enhancing desert dust storms with MODIS. *Geophysical Research Letters*, 30. NO. 20, doi:10.1029/2003GL018279,2003
- Namdari, S., Karimi, N., Sorooshian, A., Mohammadi, Gh. Sehatkashani, S. 2018. Impacts of climate and synoptic fluctuations on dust storm activity over the Middle East. *Atmospheric Environment*. 173. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.11.016>.
- Namdari, S., Valizade, K.K., Rasuly, A.A., Sarraf, B. Sari, 2016. Spatio-temporal analysis of MODIS AOD over western part of Iran. *Arabian J. Geosciences*. 9. 191. <https://doi.org/10.1007/s12517-015-2029-7>.

- Notaro, M., Yu, Y., Kalashnikova O. V. 2015. Regime shift in Arabian dust activity, triggered by persistent Fertile Crescent drought, *J. Geophys. Res. Atmos.* 120 (10). 229–,249.
- Rashki, A., Kaskaoutis, D. G., Goudie, A. S., & Kahn, R. A. 2013. Dryness of ephemeral lakes and consequences for dust activity: the case of the Hamoun drainage basin, southeast in Iran. *Science of the Total Environment*, 463, 552-564.
- Rashki, D., Kaskaoutis, G., Eriksson, P. G., de W., Rautenbach, C. J., Flamant, C., Abdi Vishkaee, F. 2014. "Spatio-temporal variability of dust aerosols over the Sistan region in Iran based on satellite observations". *Nat Hazards*. Vol:71:563–585. DOI 10.1007/s11069-013-0927-0 *Remote Sens.*, 42, 557–569.
- WHO (World Health Organization). 2000. "Air quality guidelines for Europe (2nd Ed.)", Chapter 7 WHO regional publications, European series. 91.
- Yu, Y., Notaro, M., Liu, Z., Wang, F., Alkolibi, F., Fadda, E., Bakhrjy, F. 2015. Climatic controls on the interannual to decadal variability in Saudi Arabian dust activity: Toward the development of a seasonal dust prediction model. American Geophysical Union, Fall Meeting 2013, abstract #A41G-0148.
- ZiPeng, D., Xing, Y., XingMin, L., Jin, DAI. 2013. Analysis of variation trends and causes of aerosol optical depth in Shaanxi Province using MODIS data. *Chin Sci Bull.* 58 (35). 4486-4496. doi: 10.1007/s11434-013-5991-z.