

# پایش زمانی و مکانی پدیده گردوغبار با استفاده از داده‌های ماهواره ای

## در جنوب شرق ایران، با تأکید بر منطقه جازموریان

علیرضا راشکی<sup>۱</sup>

مریم ارجمند<sup>۱</sup>

حسین سرگزی<sup>۳</sup>

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۵/۱۱/۱۰

تاریخ دریافت مقاله: ۹۵/۰۳/۱۲

\*\*\*\*\*

### چکیده

منطقه جازموریان واقع در جنوب شرقی ایران- بین دو استان کرمان و سیستان و بلوچستان ایران، هم‌اکنون به دلیل خشکسالی و سد سازی‌های متعدد، کاملاً خشک و تبدیل به بیابان شده است. این منطقه یکی از مناطق کلیدی تولید گردوغبار کشور است، اما تاکنون مطالعات محدودی در این منطقه بخصوص در زمینه گردوغبار صورت گرفته است. به‌منظور بررسی گردوغبار در این منطقه از داده‌های ماهواره‌ای شامل شاخص گردوغبار AAI بدست آمده از سنجنده‌های (۱۹۷۸- TOMS\_N7 (۱۹۹۳، ۱۹۹۶-۲۰۰۵) TOMS EP\_ و (۲۰۰۵-۲۰۱۴) OMI و شاخص عمق نوری گردوغبار AOD حاصل سنجنده‌های (۲۰۱۳- ۲۰۰۰) MISR و (۲۰۰۰-۲۰۱۴) MODIS استفاده گردید. نمودار تغییرات زمانی شاخص‌ها در منطقه جازموریان و نقشه‌های پهنه‌بندی رخدادهای گردوغبار برای جنوب شرق ایران تهیه شد. چند نقطه در جنوب شرق ایران به عنوان کانون تولید گردوغبار؛ شامل: زابل، منطقه‌ای در پاکستان نزدیک به مرز ایران، سواحل مکران (خلیج گواتر) و منطقه جازموریان شناسایی گردید. با توجه به تغییرات سالانه شاخص‌ها می‌توان چندین سال یا دوره را به‌عنوان دوره‌های اوج طوفان گردوغبار در منطقه شناسایی کرد، ۱۳۶۳ (شروع رخداد طوفان‌های گردوغبار)، ۱۳۷۰، ۱۳۸۲-۱۳۸۳، ۱۳۸۷ و ۱۳۹۱. به‌طور کلی روند صعودی در مقادیر شاخص‌ها را می‌توان در نتیجه ساخت سدهای متعدد بر سر راه رودهای تغذیه کننده جازموریان و در نتیجه خشک شدن تدریجی آن دانست و افزایش‌های ناگهانی در مقادیر می‌تواند در نتیجه وقوع خشکسالی‌ها باشد. عمده وقایع گردوغبار در منطقه جازموریان در دو فصل بهار و تابستان اتفاق می‌افتد و به ترتیب در فصل زمستان و پاییز از شدت آن کاسته می‌شود. بنابراین فعالیت گردوغبار در چهار ماه می، ژوئن، ژولای و آگوست شدید و در چهار ماه نوامبر، دسامبر، ژانویه و فوریه ضعیف تر از سایر ماه‌ها می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: گردوغبار، شاخص AAI و AOD، جازموریان، جنوب

\*\*\*\*\*

۱- کارشناس ارشد مهندسی منابع طبیعی، گرایش مدیریت مناطق بیابانی، دانشگاه فردوسی مشهد. arjmand690@gmail.com

۲- استادیار گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد (نویسنده مسئول) a.rashki@um.ac.ir

۳- اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان سیستان و بلوچستان، زاهدان hsargazi2000@yahoo.com

## ۱- مقدمه

گردو غبار کشور است، تاکنون مطالعات محدودی در آن بخصوص در زمینه گردو غبار صورت گرفته است. باتوجه به خطرات پدیده گردو غبار و تأثیرات نامطلوب آن بر سلامتی مردم و خسارات اقتصادی- اجتماعی آن، ضروری است قادر باشیم تولید گردو غبار را کنترل و رشد آن را پیش‌بینی کنیم. پایش پدیده گردو غبار این امکان را می‌دهد تا مناطق منشاء و متأثر شناسایی گردند و شناخت قابل قبولی در مورد چرخه‌ی تولید آن بدست آید. بادوک<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۰۹)، استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور را یکی از روش‌های بسیار مؤثر در زمینه‌ی شناسایی مناطق خاستگاه دانستند. از طرفی به علت محدود بودن ایستگاه‌های سینوپتیک در مناطق دور از دسترس و غیر شهری به‌علت هزینه بالای نصب و راه‌اندازی و همچنین نقطه‌ای بودن اندازه‌گیری‌های زمینی، داده‌های ایستگاه‌های زمینی قابلیت لازم برای تهیه نقشه غلظت ذرات در مقیاس ناحیه ای و جهانی را ندارند، اما در مقابل داده‌های ماهواره‌ای قابلیت شگفت‌انگیزی در پهنه‌بندی خصوصیات ذرات معلق جوی دارند (کو و همکاران، ۲۰۰۹).

شاخص‌های AAI<sup>۲</sup> (شاخص جذب آئروسول/گردو غبار) و AOD<sup>۳</sup> (شاخص عمق نوری آئروسول/گردو غبار) به‌لحاظ دقت در تشخیص و گستره زمانی و مکانی، امکان پایش زمانی و مکانی را در گستره زیادی در اختیار می‌گذارد. با استفاده از این روش، مطالعاتی انجام شده است که در ادامه به چند مورد از آنها اشاره می‌شود: راشکی و همکاران (۲۰۱۳)، با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای حاصل از سنجنده‌های TOMS<sup>۴</sup>، MODIS<sup>۵</sup> و MISR<sup>۶</sup> تأثیر تغییرات سطح آب دریاچه خشک شده هامون را در افزایش تولید گردو غبار در منطقه جنوب شرق ایران بررسی کردند و حوضه هامون واقع در جنوب شرق ایران و غرب مرزهای افغانستان را به‌عنوان یکی از مناطق منشاء مهم در جنوب

چرخه‌ی گردو غبار بخش جدایی‌ناپذیری از سیستم زمین است که هر ساله حدود ۲۰۰۰ تن گردو غبار تولید می‌کند که از این مقدار ۷۵ درصد در سطح زمین و ۲۵ درصد در سطح اقیانوس‌ها فرو می‌نشیند (شانو و همکاران، ۲۰۱۱). فراوانی رخداد گردو غبار در مناطق خشک و نیمه خشک به مراتب بیشتر بوده و در این بین دریاچه‌های خشک شده بیشترین سهم را در تولید گردو غبار دارند (گودی و میدتون، ۲۰۰۶). رسوبات سبک این دریاچه‌ها به هوا بلند شده و توسط باد به هرسو کشیده می‌شوند. پدیده طوفان گردو غبار اثرات مستقیمی بر آلودگی هوا، اختلال در سامانه‌های حمل و نقل، شیوع بیماری‌های تنفسی (سامت و همکاران، ۲۰۰۰؛ پاپ و همکاران، ۲۰۰۲) و مشکلات بنیایی و عفونی، آلودگی آب‌های سطحی (کلویگ و همکاران، ۲۰۰۴)، فضاهای شهری و ساختمان‌ها (شایگونگ و همکاران، ۱۹۹۵) دارند. در سال‌های اخیر گردو غبارهای بیابان‌ها به‌طور فزاینده‌ای افزایش یافته و نقش مهمی را در تغییرات آب‌وهوای جهان به وجود آورده است (پاری و جونگ، ۲۰۰۸). کشور ایران به‌علت قرار گرفتن در کمربند خشک و نیمه‌خشک جهان به‌طور مداوم در معرض سیستم‌های گردو غبار محلی و منطقه‌ای متعدد می‌باشد (راشکی و همکاران، ۲۰۱۳). منطقه جازموریان ایران به‌جای مانده از تالاب قدیمی جازموریان واقع در جنوب شرقی ایران- بین دو استان کرمان و سیستان و بلوچستان ایران- هم‌اکنون به‌دلیل خشکسالی و عدم اختصاص حقاآبه از سوی سدهای بالادست کاملاً خشک و تبدیل به بیابان شده است (محمدی، ۱۳۸۹؛ کاردان و همکاران، ۱۳۸۸). نجف‌آبادی و کهنعلی (۱۳۹۲)، تشدید تراکم ریزگردها در اثر خشکسالی‌های متعدد و طوفان‌های شن را از مهم‌ترین نقاط تهدید در منطقه جازموریان دانسته همچنین بررسی‌های رسوب شناسی صورت گرفته توسط محمدی (۱۳۸۹)، نشان دهنده این است که رسوبات این منطقه بیشتر در اندازه سیلت و رس بوده که می‌توانند به وسیله باد و طوفان برای مسافت و مدت زمان زیادی حمل گردند. این منطقه با وجود اینکه یکی از مناطق کلیدی تولید

1- Baddock

2- Absorption Aerosol Index

3- Aerosol Optical Depth

4- Total Ozone Mapping Spectrometer

5- Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer

6- Multi-angle Imaging Spectroradiometer

جدول ۱: داده‌های مورد استفاده در پژوهش

Variable Name	Source	Period	Spectral resolution	Spectral band
UV Aerosol Index (TOMSN7L3 v008)	TOMS Nimbus-7	01/1979- 05/1993	1.25° × 1°	UV
UV Aerosol Index (TOMSEPL3 v008)	Earth Probe	07/1996- 12/2005	1.25° × 1°	UV
UV Aerosol Index (OMTO3G.003)	OMI	01/2005- 10/2014	0.25° × 0.25°	UV
Aerosol Optical Depth (MIL3MAE v4)	MISR Terra	03/2000- 11/2013	0.5° × 0.5°	555nm
Aerosol Optical Depth (Deep Blue, Land-only (MYD08_M3 v6)	Aqua-MODIS	07/2002- 09/2014	1° × 1°	550nm
Aerosol Optical Depth (Deep Blue, Land-only (MOD08_M3 v6)	Terra-MODIS	03/2000- 12/2007	1° × 1°	550nm

ذرات معلق هوا در غرب ایران طی دوره زمانی ۲۰۰۰ - ۲۰۱۱، از داده‌های سطح ۳ سنجنده MODIS استفاده کردند، نتایج این پژوهش نشان داد که تغییرات ذرات معلق هوا در استان خوزستان متفاوت و بسیار بیش‌تر از سایر استان‌های غربی کشور می‌باشد. الام و همکاران (۲۰۱۱)، با استفاده از داده‌های گردوغبار حاصل از سنجنده‌های TOMS، MODIS و MISR تغییرات زمانی و مکانی گردوغبار را بر فراز چند شهر در پاکستان بررسی و بالاترین میانگین AOD را در طول فصل تابستان و کمترین آن را در زمستان مشاهده کردند. کاسکوتیس<sup>۲</sup> و همکاران، (۲۰۰۷) جهت پایش فصلی ذرات معلق بر فراز یونان از آمار طولانی مدت (۲۰۰۰ تا ۲۰۰۵) شاخص AOD محصول MODIS استفاده کردند. آن‌ها حداقل مقدار AOD را در زمستان (۰/۲) و ماکزیم مقدار آن را در تابستان (۰/۴۵) مشاهده کردند.

هدف از این پژوهش آنالیز زمانی و مکانی گردوغبار در جنوب شرق ایران و به‌طور ویژه منطقه جازموریان ایران با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای (دو شاخص AOD و AAI) است.

آسیا معرفی کردند. راشکی و همکاران (۲۰۱۴)، تغییرات زمانی و مکانی طوفان‌های گردوغبار منطقه سیستان ایران را با استفاده از داده‌های شاخص گردوغبار AI و عمق نوری ذرات AOD حاصل سنجنده‌های TOMS، OMI، MODIS و MISR بررسی کردند و غلظت بالاتر ذرات معلق در اتمسفر در طول تابستان را نتیجه عمل ترکیبی خشک شدن فصلی دریاچه هامون و بادهای قوی لوار دانستند. راشکی و همکاران (۲۰۱۵)، با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای به بررسی فصلی توده گردوغبار و نواحی متأثر از طوفان‌های گردوغبار نشأت گرفته از منطقه سیستان (جنوب شرق ایران)، در طول فصل تابستان (از ژوئن تا سپتامبر) در دوره ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۲ پرداختند. نامداری و همکاران (۲۰۱۶)، با استفاده از میانگین ماهانه عمق نوری گردوغبار (AOD) آنالیز زمانی و مکانی توزیع طوفان‌های گردوغبار را در بخش‌های غربی ایران و مناطق متأثر از آنها در طول دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴ را بررسی کردند. بر اساس نتایج این پژوهش، در بیشتر سال‌ها، ژولای بالاترین میانگین AOD را دارد. برتینا و همکاران (۱۳۹۲)، به‌منظور بررسی توزیع زمانی و مکانی

2- Kaskaoutis

1- Ozone Monitoring Instrument

## ۱-۱- روش شناسی تحقیق

گردوغبارهای جوی می باشد. از داده های TOMS علاوه بر سنسج و کنترل آزون، برای استخراج شاخص هواویزه (AAI) نیز استفاده می گردد (تورس و همکاران، ۲۰۰۷)، به طوری که می توان گفت، مقادیر، نسبت خطی با ضخامت نوری هواویزه دارند. با واکاوی داده های TOMS تصویر جهانی از منابع گردوغبار بیابانی به دست می آید.

سنسجند TOMS سال ۱۹۷۹ روی ماهواری (N7) Nimbus7 نصب شد و عملیات سنسجش را تا سال ۱۹۹۴ میلادی ادامه داد و پس از آن در سال ۱۹۹۶ میلادی بر روی ماهواری Earth Probe (EP) نصب گردید و تا سال ۲۰۰۵ به مأموریت خود ادامه داد، اما داده های آن پس از سال ۲۰۰۱ به دلیل عدم کالیبراسیون مناسب، برای تجزیه و تحلیل روند توصیه نمی شود (کیس و همکاران، ۲۰۰۷؛ بولاسینا و همکاران، ۲۰۰۸) (برای اطلاعات بیشتر رجوع شود به کوریبر و همکاران، ۲۰۰۸).

نسل جدید ابزار TOMS که ابزار نظارت بر ازن (OMI) نامیده شده است، از اصول مشابه TOMS استفاده می کند، اما قدرت تفکیک مکانی و طیفی بسیار بالاتری دارد. OMI شاخص AAI را فراهم می کند. این سنسجند بر روی ماهواره EOS Aura در آگوست ۲۰۰۴ فعالیت خود را آغاز کرد. داده های شاخص AAI مورد استفاده در این پژوهش، حاصل از سنسجند های TOMS (TOMS7L3 v008) و (TOMSEPL3) و (v008) OMI (OMT03G, 003) به صورت ماهانه به ترتیب برای دوره زمانی ۱۹۷۹-۱۹۹۳، ۱۹۹۶-۲۰۰۵ و ۲۰۰۵-۲۰۱۴ از وب سایت Giovanni به آدرس <http://gdata1.sci.gsfc.nasa.gov> با قدرت تفکیک مکانی ۱،۰۳ درجه در ۱،۲۵ درجه داده های TOMS و ۰،۲۵ درجه داده های OMI برای محدوده مورد بررسی اخذ شد. نقطه ضعف اصلی در استفاده AI وابستگی آن به ارتفاع است، لایه های بالایی آئروسول، مقادیر بیشتری تولید می کند (مسو و همکاران، ۱۹۹۹).

## ۱-۱-۲- عمق نوری آئروسول (AOD)

عمق اپتیکی آئروسول (AOD) یکی از پارامترهای مهم در مطالعه گردوغبار می باشد. عمق اپتیکی آئروسول در

شاخص های گردوغبار حاصل از تصاویر ماهواره ای به دلیل قابلیت دسترسی به تمامی نقاط معیار مهمی برای بررسی توزیع مکانی گردوغبار می باشد (راشکی، ۱۳۹۲). به همین منظور از داده های ماهواره ای شامل شاخص های AAI (شاخص گردوغبار) و AOD (شاخص عمق نوری گردوغبار) بدست آمده از سنسجند های TOMS, OMI, MISR, MODIS در دوره زمانی قابل دسترس (جدول ۱) استفاده شد. این داده ها با فرمت ASCII از وب سایت Giovanni به آدرس <http://gdata1.sci.gsfc.nasa.gov> برای محدوده ۲۳ تا ۳۰/۵ درجه شمالی و ۵۵/۲۵ تا ۶۱ درجه شرقی اخذ گردید. در این پژوهش، جهت بررسی روند تغییرات شاخص در منطقه جازموریان، محدوده ۲۳ تا ۳۱ درجه شمالی و ۵۵/۵ تا ۶۴ درجه شرقی به عنوان محدوده تقریبی جازموریان تفکیک و میانگین ارزش پیکسل های دو شاخص AAI و AOD در این محدوده در مقیاس های زمانی مختلف سالانه، فصلی و ماهانه بررسی شد. بعد از تجزیه و تحلیل داده ها نمودارها و جداول مورد نیاز برای منطقه جازموریان همچنین نقشه شاخص های گردوغبار در محدوده مذکور (جنوب شرق ایران) رسم گردید. جهت تهیه نقشه های پهنه بندی گردوغبار حاصل از میانبایی شاخص های AAI و AOD از نرم افزار GIS Arc Map نسخه ۹،۳ و نمودارها از نرم افزار Origin Pro 8.6 استفاده گردید.

## ۱-۱-۱- شاخص جاذب گرد وغبار

### (Absorption Aerosol Index)

شاخص AAI، یا شاخص جذب آئروسول یک شاخص کیفی از ذرات آئروسول جاذب فرابنفش نزدیک، مانند دود یا گردوغبار معدنی است. از آنجا که بازتاب سطحی فرابنفش بر روی بیابان تیره است، TOMS از اطلاعات طیفی به منظور تعیین شاخص آئروسول جذب کننده (AAI) UV استفاده می کند، که در درجه اول به گردوغبار و دود حساس است. طیف سنسج کامل نقشه برداری ازن (TOMS) یکی از کارآمدترین ابزارها برای تشخیص

۱-۱-۴- عمق نوری آئروسول (MODIS Deep Blue AOD) در حالی که شاخص TOMS-OMI AAI تنها قادر به بازیابی آئروسول‌های جاذب است، اندازه‌گیری MODIS AOD حساس به هر دو آئروسول‌های جاذب و غیرجاذب UV است. سنسورهای MODIS بر روی ماهواره ترا<sup>۱</sup> (راه اندازی شده در دسامبر ۱۹۹۹) و آکوا<sup>۲</sup> (راه‌اندازی شده در ماه می ۲۰۰۲) نصب شده‌اند (کافمن و همکاران، ۲۰۰۱).

الگوریتم AOD استاندارد MODIS در مناطق طیفی روشن (بازتابنده) کار نمی‌کند، از این رو نیاز به اطلاعات Deep Blue AOD است. "Deep Blue AOD" همان متغیر AOD است، اما از طول موج متفاوت نزدیک به «آبی» (۵۵۰ نانومتر) که در انتهای طیف مرئی قرار دارد، استفاده می‌کند تا بازتاب سطح را محاسبه کند، به طوری که بتوان مقادیر AOD را بر روی سطوح روشن، به ویژه مناطق بیابانی محاسبه کرد. Deep Blue AOD (DB AOD) " نیز مشابه AOD، یک پارامتر بدون بُعد است و اندازه عمق نوری را محاسبه می‌کند و مقادیر بالاتر AOD به علت غلظت بالاتر ذرات معلق در جو است. در پژوهش پیش رو از Deep Blue AOD از تولیدات سنجنده MODIS نصب شده روی دو ماهواره Terra (MOD08-M3v6) و Aqua (MYD08-M3 v6) با قدرت تفکیک مکانی ۱ درجه برای محدوده جنوب شرق ایران، به صورت ماهانه به ترتیب برای دوره زمانی ۲۰۰۷-۲۰۰۰ و ۲۰۱۴-۲۰۰۲ از وبسایت Giovanni به آدرس (<http://gdata1.sci.gsfc.nasa.gov>) اخذ گردید (جدول ۱).

#### ۱-۲- معرفی محدوده مورد مطالعه

جازموریان فرورفتگی وسیعی در جنوب شرقی ایران، با وسعت ۶۹۶۰۰ کیلومتر مربع، واقع در ارتفاع بین ۵۰۰-۳۶۰ متر از سطح دریا، در استان کرمان و در غرب بلوچستان مابین کوه‌های مکران و شاهسواران قرار گرفته است. در حقیقت فروافتادگی جزموریان یک فروافتادگی خشکی‌زایی مربوط به اواخر پلیوسن می‌باشد. طول آن تقریباً ۳۰۰-۲۸۰ کیلومتر (از کهنوج تا ایرانشهر) و عرض آن ۱۴۰-۸۰ کیلومتر و دارای شکل بیضوی و با جهت

واقع به توزیع آئروسول‌های گردوغبار موجود در جو اشاره دارد. این کمیت وابسته به طول موج، به صورت کاهش نور در واحد طول بر روی یک مسیر مشخص تعریف می‌شود. مقدار عمق اپتیکی می‌تواند با تراکم تعداد هواویزه‌ها (آئروسول‌ها) و ویژگی‌های آن ذرات متفاوت باشد. شرایط هوای قاره‌ای صاف دارای دامنه‌ی تغییرات عمق اپتیکی ۰/۱ تا ۰/۲ و برای هوای بحری صاف ۰/۱ تا ۰/۰۵ است (وگرن، ۱۹۹۵). ذرات آئروسول تمایل به جذب یا انعکاس تابش خورشیدی وارده را داشته و بنابراین میزان قابلیت دید را کاهش داده و عمق اپتیکی را افزایش می‌دهند. AOD کمیتی بدون بُعد بوده و عبارت است از میزان جلوگیری از گذر پرتو نور در جو به خاطر جذب و پراکنش ناشی از وجود هواویزه‌ها در مسیر عبور نور. بیشتر بودن مقادیر AOD از این مقدار نشان دهنده‌ی تراکم هواویزه‌ها در امتداد ستون عمودی هوا بوده و به عبارتی دید در امتداد آن ستون کم می‌باشد.

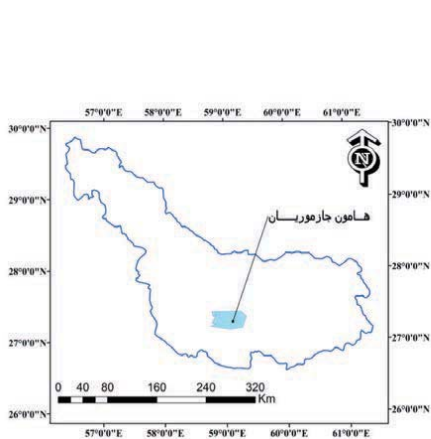
#### ۱-۱-۳- سنجنده MISR

سنجنده MISR در ۱۸ دسامبر ۱۹۹۹ روی ماهواره Terra ناسا آغاز بکار کرد. دوربین‌های ۹ گانه با ۴ باند طیفی MISR نه زاویه دید متفاوت از جو و سطح زمین ارائه می‌کنند، در نتیجه می‌تواند اطلاعات مفیدی در مورد ذرات معلق در هوا، جو زمین، ابر، و سطح پوشش زمین ارائه دهد. به سبب نوار باریک آن (۳۶۰ کیلومتر)، در حدود ۷-۹ روز، زمان برای پوشش جهانی نیاز دارد. این چرخه طولانی MISR باعث افزایش دوره زمانی آنالیز، اما دقت بالا در بازیابی بر روی مناطق روشن بیابانی می‌شود (کان و همکاران، ۲۰۱۰؛ راشکی و همکاران، ۲۰۱۳).

داده‌های AOD حاصل از سنجنده MISR (MIL3MAE) ۷۴ با قدرت تفکیک مکانی ۰/۵ درجه (۲ کیلومتر) با فرمت ASCII در مقیاس ماهانه برای محدوده جنوب شرق ایران در دوره زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۳ از وبسایت Giovanni به آدرس (<http://gdata1.sci.gsfc.nasa.gov>) دریافت گردید (جدول ۱).

1- Terra

2- Aqua



نگاره ۱: موقعیت حوضه آبریز جازموریان و هامون جازموریان

— مرز حوضه آبریز جازموریان  
 — مرز استان ها  
 — مرز کشورها  
 هامون جازموریان

MODIS حمل بر دو ماهواره Terra و Aqua در دوره‌های زمانی درج شده در جدول ۱ می‌باشد. بنابراین از سال ۱۹۷۹-۲۰۱۴ می‌توان تحلیل مناسبی از تغییرات این دو شاخص داشت (سه سال ۱۹۹۴ تا ۱۹۹۶، به دلیل عدم وجود داده، گپ آماری وجود دارد). دو شاخص AOD و AAI می‌تواند معیار مناسبی برای تحلیل پدیده گردوغبار قرار گیرد. اهمیت این دو شاخص برای مناطقی همچون منطقه جازموریان که به دلایل مختلف از جمله عدم دسترسی به دستگاه‌های ثبت کننده، اطلاع دقیقی از آمار وقوع این پدیده در دست نیست، دو چندان می‌شود. بنابراین در تحقیق حاضر، از این دو شاخص به عنوان معیاری جهت تحلیل پدیده گردوغبار در محدوده طرح با محوریت منطقه جازموریان، استفاده شد. افزایش این دو شاخص نشان دهنده افزایش غلظت گردوغبار در اتمسفر می‌باشد.

## ۲-۱- تغییرات سالانه

از سال ۱۹۷۹ تا ۱۹۹۴ شاخص AAI حاصل از سنجنده TOMS-N7 روند افزایشی با شیب کلی حدود ۰/۰۱۴ را نشان می‌دهد. این شاخص از مقدار اولیه ۱/۱۶ در سال ۱۹۷۹ بعد از یک روند افزایش و کاهش هرساله در ۱۹۸۴ تا مقدار ۱/۳۹ افزایش یافته و بعد از کاهش جزئی و تغییرات کم تا سال ۱۹۹۱ در این سال به یک باره مقدار شاخص به

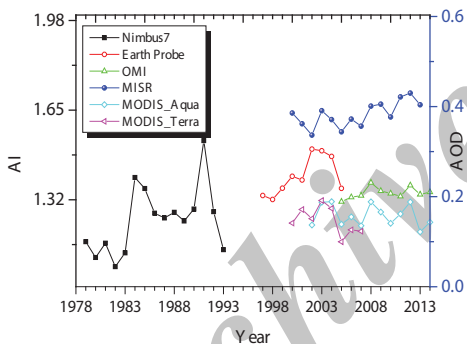
شرقی- غربی است. رشته کوه‌های آتشفشانی جبال بارز در شمال شرق (ارتفاعات بزمان، مگسان و شهسواران)، جازموریان را از کویر لوت جدا می‌کند (محمدی، ۱۳۱۹).

از طرف جنوب به رشته کوه‌های بشاگرد محدود می‌شود (نجف‌آبادی و کهنعلی، ۱۳۹۲). در مرکز جازموریان و در عمق این فرورفتگی، یک پلایای فصلی به وسعت ۳۷۷۵ کیلومتر مربع وجود دارد که در دوره ی بارندگی و زمستان به زیر آب رفته و سپس در تابستان خشک می‌گردد، البته به دلیل خشکسالی‌های پیاپی در طول سال‌های اخیر، پلایا فاقد آب بوده است (محمدی، ۱۳۱۹). آب رودخانه‌های هلیل رود از غرب و رود بمپور از شرق، به آن می‌ریزند (کاروان و همکاران، ۱۳۳۱). ارتفاع میانگین حوزه ۶۰۰ متر و در پست‌ترین مناطق ۳۵۲ متر است. به لحاظ نزولات آسمانی نیز غیر از ارتفاعات شمالی که ۲۰۰ میلی‌متر در سال بارش دریافت می‌کند بقیه مناطق در وضعیت خشک و شدیداً خشک به سر می‌برند تبخیر از سطح این مناطق نیز بسیار زیاد و به بیش از ۲۵۰۰ میلی‌متر در سال می‌رسد.

## ۲- نتایج و بحث

شاخص AAI بدست آمده از سنجنده‌های Nimbus (N7) OMI, Earth Probe (EP) و شاخص AOD تولید سنجنده MISR و AOD Deep Blue (DB AOD) از تولیدات سنجنده

کلی از ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۴ تغییرات مقادیر سالانه دارای روند صعودی با شیب بسیار کم حدود ۰/۰۰۰۹۶ است، اما دارای میانگین بالاتری  $1/43 \pm$  نسبت به AAI-N7 و کمتر نسبت به AAI-EP است. انحراف معیار کمتر حدود ۰/۰۵ نسبت به هر دو AAI-EP و AAI-N7 نشان دهنده پراکندگی کمتر مقادیر آن نسبت به میانگین در دوره ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۴ است. در طول این دوره زمانی (۲۰۱۴-۲۰۰۵) دو سال ۲۰۰۸ با مقدار ۱/۳۳ و ۲۰۱۲ با مقدار ۱/۳۱ بیشترین و سال ۲۰۰۵ با مقدار ۱/۱ کمترین مقدار شاخص AAI را دارا می‌باشند. از ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۴ هر دو شاخص AAI و AOD تغییرات مشابهی دارند و به‌طور کلی روند صعودی دارند بخصوص در دو سال ۲۰۰۸ و ۲۰۱۲ هر دو شاخص مقداری افزایشی را نشان می‌دهند.



نگاره ۲: نمودار تغییرات سالانه دو شاخص AAI و AOD در منطقه جازموریان (E 60-57, 28N-27)

MISR به‌طور کلی از ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۳ با میانگین و انحراف معیار  $0/38 \pm 0/03$  دارای روندی صعودی با شیب ملایم  $0/00435$  همراه با افزایش و کاهش‌های متوالی است. بیشترین مقدار شاخص AOD در ۲۰۱۲ با  $0/43$  و کمترین آن در ۲۰۰۱ و ۲۰۰۵ با مقدار ۰/۳۳ بوده است. نمودارهای حاصل از MODIS Deep Blue AOD نیز در مجموع از ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴ همراه با تغییرات بسیار زیادی با میانگین و انحراف معیار  $0/04 \pm 0/26$  است. شیب کلی این نمودار

۱/۵۲ بیشترین مقدار خود در طول دوره نمونه‌برداری آن (۱۹۹۴-۱۹۷۹) می‌رسد که دلیل آن تشدید وقوع طوفان‌های گردوغبار از سال ۱۳۷۱ (۱۹۹۱) به بعد در منطقه به علت خشک شدن دریاچه جازموریان در اثر سدسازی‌های متعدد از جمله سد جیرفت بر روی رودخانه هلیل‌رود و سد بمپور بر روی رودخانه بمپور، دو رود اصلی تغذیه کننده جازموریان، صورت گرفته باشد (شعبانی‌گورجی و صاحب‌زاده، ۱۳۹۴). ۱۹۸۴ تا ۱۹۸۶ برای سه سال به علت فقدان داده‌های AAI در گپ اطلاعاتی وجود دارد (اتمام مأموریت ماهواره نیمبوس در سال ۱۹۸۴). سنجنده EP ۲۰۰۵-۱۹۸۷ را پوشش می‌دهد که بر اساس تولیدات این سنجنده شاخص AAI روندی افزایشی داشته و فقط بعد از یک کاهش جزئی در سال ۲۰۰۱، در ۲۰۰۲ به بیشترین مقدار خود تا  $1/76$  می‌رسد که تا ۲۰۰۴ نیز این مقدار پیک با کمی کاهش جزئی دیده می‌شود. در ۲۰۰۵ مقدار شاخص AAI کاهش یافته و به  $1/26$  می‌رسد. در مقادیر سالانه شاخص AAI سنجنده TOMS-EP با مقدار حدود  $0/06$  بیشترین میزان شیب را داراست، که علت آن دوره زمانی مورد بررسی (قرار گرفتن سال‌های خشک در انتهای آن) است و همچنین دارای بالاترین میزان میانگین و انحراف معیار  $1/43 \pm 0/25$  می‌باشد، البته داده‌های AAI حاصل از سنجنده TOMS بعد از سال ۲۰۰۱ به‌علت عدم قطعیت مناسب، به‌تنهایی قابل استناد نبوده (کیس و همکاران، ۲۰۰۷؛ بولاسیا و همکاران، ۲۰۰۸) و در این بازه زمانی تغییرات شاخص AOD تحلیل مناسب‌تری به‌دست می‌دهد. درحالی‌که در ۲۰۰۲ شاخص AAI مقدار بیشینه را نشان می‌دهد، شاخص AOD حاصل از MISR و MODIS مقدار کمتری نسبت به سال قبل دارند. هر دو شاخص AAI و AOD در ۲۰۰۳ و ۲۰۰۴ مقداری بیشینه داشته و در ۲۰۰۵ کاهش زیادی نشان می‌دهند.

از ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۴ داده‌های شاخص AAI حاصل از OMI با قدرت تفکیک طیفی و مکانی بالا نیز در اختیار است؛ نمودار سبز رنگ در نگاره ۲ تغییرات این شاخص را نشان می‌دهد. با توجه به این نمودار (نگاره ۲) و جدول ۲ به‌طور

## ۲-۲- تغییرات فصلی

نگاره ۴، نمودار تغییرات فصلی دو شاخص AAI و AOD را برای منطقه جازموریان طی سال‌های ۱۹۷۹ تا ۲۰۱۴ نشان می‌دهد. و جدول ۲ میانگین، انحراف معیار و شیب تغییرات سالانه و فصلی را نمایش می‌دهد. با توجه به این نمودار و جدول ۲ میانگین شاخص AAI از ۱۹۷۹ تا ۲۰۱۴ حاصل از سه سنجنده مورد بررسی در بهار (در اینجا شامل ۳ ماه آوریل، می و ژوئن)، بیشتر از تابستان و سپس زمستان بیشتر از پاییز بوده است.

با توجه به جدول ۲ شیب شاخص AAI برای تمام فصول در دوره‌های مورد بررسی مثبت بوده و تنها در پاییز ۱۹۷۹ تا ۱۹۹۳، زمستان ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۵ و تابستان ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۴ به ترتیب برای سنجنده‌های TOMS-EP, TOMS-N7 و OMI مقدار جزئی منفی بوده است. به‌طور کلی از ۱۹۷۹ تا ۲۰۱۴ بیشترین میزان شیب مربوط به فصل بهار می‌باشد و فصل بهار در طول دوره ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۵ از سنجنده TOMS-EP با مقدار ۰/۱۲ بالاترین میزان شیب را دارا بوده است. بالاترین میزان میانگین و انحراف معیار AAI نیز مربوط به سنجنده TOMS\_EP در دوره زمانی ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۵ است. شاخص

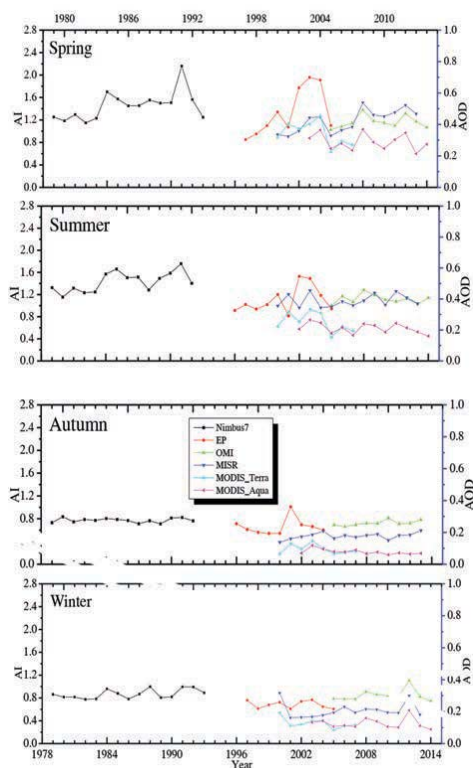
منفی با مقدار جزئی (۰/۰۰۲۰۳-) می‌باشد، که دلیل منفی بودن آن می‌تواند مقدار زیاد این شاخص در سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۴ (در ابتدای دوره مورد بررسی) به‌علت خشکسالی شدید باشد. علت تفاوت در مقادیر AOD حاصل از دو سنجنده مادیس و میسر در الگوریتم متفاوت آنهاست (AOD حاصل از سنجنده مادیس با استفاده از الگوریتم دیپ بلو به دست آمده که مناسب برای مناطق بیابانی است). به‌طور کلی می‌توان برای آن سه دوره مهم افزایشی در نظر گرفت، ۲۰۰۴-۲۰۰۳، ۲۰۰۹-۲۰۰۸ و ۲۰۱۲-۲۰۱۱ که در این سال‌ها ۲۰۰۳، ۲۰۰۴ و ۲۰۰۸ و ۲۰۱۲ بیشترین مقدار شاخص AOD (۰/۳۱) را دارا می‌باشند. بنابراین با توجه تغییرات سالانه شاخص‌ها می‌توان چندین سال یا دوره را به‌عنوان دوره‌های اوج طوفان گردوغبار در منطقه شناسایی کرد، ۱۹۸۴ (شروع رخداد طوفان‌های گردوغبار)، ۱۹۹۱، ۲۰۰۴-۲۰۰۳، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۲. به‌طور کلی روند صعودی در مقادیر شاخص‌ها را می‌توان در نتیجه ساخت سدهای متعدد بر سر راه روده‌های تغذیه‌کننده جازموریان و در نتیجه خشک شدن تدریجی آن دانست و افزایش‌های ناگهانی در مقادیر می‌تواند در نتیجه وقوع خشکسالی‌ها باشد.

جدول ۲: میانگین، انحراف معیار و شیب تغییرات شاخص‌های AAI و AOD حاصل از سنجنده‌های مختلف

Satellite Sensors		Parameter	Spring	Summer	Autumn	Winter	Annual
UV_AAI	TOMS_N7	Mean $\bar{a}$ SD	1.45 $\bar{a}$ 0.26	1.43 $\bar{a}$ 0.18	0.79 $\bar{a}$ 0.07	0.87 $\bar{a}$ 0.08	1.24 $\bar{a}$ 0.13
	(1979-1993)	Slope	0.02997	0.02587	- 0.00552	0.00881	0.01364
	TOMS_EP	Mean $\bar{a}$ SD	1.67 $\bar{a}$ 0.54	1.38 $\bar{a}$ 0.30	0.82 $\bar{a}$ 0.18	0.85 $\bar{a}$ 0.08	1.43 $\bar{a}$ 0.25
	(1996-2005)	Slope	0.12576	0.04049	0.00911	- 0.00658	0.05581
OMI	(2005-2014)	Mean $\bar{a}$ SD	1.45 $\bar{a}$ 0.14	1.40 $\bar{a}$ 0.10	0.91 $\bar{a}$ 0.06	1.06 $\bar{a}$ 0.13	1.21 $\bar{a}$ 0.08
		Slope	0.00762	- 0.00082	0.00791	0.00995	0.00096
AOD	MISR	Mean $\bar{a}$ SD	0.42 $\bar{a}$ 0.07	0.39 $\bar{a}$ 0.04	0.18 $\bar{a}$ 0.02	0.21 $\bar{a}$ 0.05	0.38 $\bar{a}$ 0.03
	(2000-2013)	Slope	0.01258	0.00180	0.00219	0.00089	0.00435
	MODIS_Aqua	Mean $\bar{a}$ SD	0.43 $\bar{a}$ 0.08	0.32 $\bar{a}$ 0.05	0.12 $\bar{a}$ 0.02	0.19 $\bar{a}$ 0.05	0.26 $\bar{a}$ 0.04
	Deep Blue	(2002-2014)	Slope	- 0.00528	- 0.00489	- 0.00415	- 0.00066



این موضوع نشان‌دهنده این است که در این سال‌ها علاوه بر بهار و تابستان، در زمستان نیز فعالیت گردوغبار زیاد بوده که دلالت بر زمستانی خشک دارد. مقدار میانگین و انحراف معیار شاخص AAI حاصل از OMI در طول دوره ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۴ برای فصل‌های زمستان ( $1/06 \pm 0/13$ ) و پاییز ( $0/91 \pm 0/06$ ) نسبت به دو دوره مورد بررسی دیگر مقادیر بیشتر و دارای روند صعودی بوده که نشان‌دهنده افزایش طوفان گردوغبار در فصل‌های سرد طی سال‌های اخیر است.



نگاره ۳: تغییرات فصلی دو شاخص AAI و AOD منطقه جازموریان (27-28N, 57-60 E)

میانگین AOD و Deep Blue AOD نیز در بهار بیشتر از تابستان و سپس در زمستان بیشتر از پاییز است. در تمامی

AAI در بهار ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۵ دارای بالاترین میزان میانگین و انحراف معیار  $0/54 \pm 1/77$  نسبت دو سنجنده دیگر است که نشان‌دهنده تأثیر زیاد خشکسالی‌ها در این فصل در طول این دوره است.

با توجه به نمودار به‌طور کلی مقدار شاخص AAI تولید شده توسط EP از ۱۹۹۷ تا ۲۰۰۴ دارای روند صعودی است و بیشترین مقدار آن در ۲۰۰۳ به اندازه  $(2/45)$  در فصل بهار بوده است. در ۲۰۰۵ مقدار شاخص AAI مقدار زیادی افت داشته است که نشان‌دهنده کاهش رخداد‌های گردوغبار در این سال است. شاخص AAI تولید شده توسط OMI و شاخص‌های AOD تولید شده توسط سنجنده‌های MISR, Terra MODIS و Aqua نیز تغییرات مشابهی دارند. تغییرات شاخص‌ها در تابستان نیز تا حدود زیادی مانند فصل بهار بوده، اما شاخص AAI در طول این دوره در تابستان با وجود خشکسالی‌های شدید (۲۰۰۱-۲۰۰۴)، دارای مقدار میانگین کمتر ( $1/38$ ) ولی انحراف معیار بالاتری ( $0/3$ ) نسبت به هر دو دوره نمونه‌برداری TOMS\_N7 و OMI در این فصل است.

تغییرات بهار و تابستان بسیار شبیه به تغییرات سالانه بوده که نشان‌دهنده نقش مهم این دو فصل در تغییر وضعیت سالانه است. از ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۴ تناوبی از افزایش و کاهش در شاخص AOD و تا حدودی AAI مشاهده می‌گردد. در طول این دوره (۲۰۰۵ تا ۲۰۱۴) مقدار هر دو شاخص در بهار ۲۰۰۸ و ۲۰۱۲ افزایش یافته است، مانند آنچه در نمودار سالانه (نگاره ۲) دیده می‌شود.

به‌طور کلی در فصل پاییز نسبت به سایر فصل‌ها تغییر قابل ملاحظه‌ای مشاهده نمی‌شود (نگاره ۳)، تنها تغییر ناگهانی در آن را می‌توان به افزایش شاخص AAI در ۲۰۰۱ اشاره نمود، که مقدار آن  $1/3$  مشابه فصل بهار در این سال است، دلیل آن می‌تواند عدم کالیبراسیون مناسب شاخص AAI توسط سنجنده TOMS از سال ۲۰۰۱ بعد باشد (کیس و همکاران، ۲۰۰۷؛ بولاسینا و همکاران، ۲۰۰۸). تغییرات فصل زمستان نیز قابل توجه نیست، اما مقدار تغییرات آن به مراتب از فصل پاییز بیشتر بوده، بخصوص افزایش آن در ۲۰۰۸ و ۲۰۱۲ به‌خوبی قابل مشاهده است که

نشان می‌دهد که می‌توان دلیل آن را طول دوره نمونه‌برداری دانست و در سال‌های خشک (۱۹۹۷-۲۰۰۵) بوده، و در طول آن فعالیت طوفان‌های گردوغبار بیشتر بوده است. دو نمودار AOD (Deep Blue) بدست آمده از سنجنده مادیس حمل بر دو ماهواره ترا و آکوا، نیز بالاترین مقدار را در ماه ژوئن با ۰/۵ و در ماه اکتبر با ۰/۸ کمترین مقدار را دارند.

مقدار میانگین AOD Deep Blue بدست آمده از سنجنده مادیس تولید دو ماهواره ترا و آکوا نسبت به سایر سنجنده‌ها در سه ماه آگوست، سپتامبر و اکتبر مقدار بسیار کمتری را نشان می‌دهند. تغییرات شاخص AAI حاصل از OMI و TOMS-N7 و AOD حاصل از MISR بسیار شبیه به هم هستند، به طوری که بالاترین مقدار میانگین در ماه ژولای و پایین‌ترین آن در دو ماه دسامبر و ژانویه رخ می‌دهد.

## ۲-۴- پهنه‌بندی منابع عمده تمرکز ذرات معلق در جنوب شرق ایران با استفاده از شاخص‌های AAI و AOD

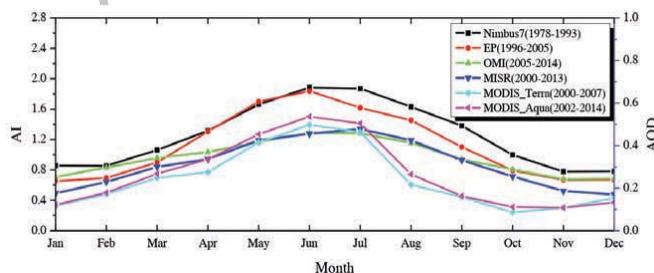
نگاره ۵ پهنه‌بندی منابع عمده تمرکز ذرات معلق بر اساس میانگین سالانه شاخص AAI و AOD بدست آمده از سنجنده‌های TOMS-EP, OMI-Aura, MISR-Terra, Aqua-MODIS (Deep Blue) را نشان می‌دهد. رنگ آبی به منزله آسمانی صاف و رنگ نارنجی تا قرمز نشان دهنده افزایش غلظت گردوغبار بر فراز جو براساس افزایش مقدار شاخص AAI و AOD می‌باشد. شاخص AAI بدست آمده از سنجنده OMI به دلیل تفکیک مکانی بالاتر (۰/۲۵° x ۰/۲۵°) تصویر بهتری از پراکنش طوفان‌های گردوغبار را نشان می‌دهد. شاخص AOD حاصل سنجنده MISR به علت

فصل‌ها شاخص AOD MISR مقادیری بالاتر از DB AOD دارند، به‌جز فصل بهار که در آن مقدار DB AOD (۰/۴۳) با اختلاف جزئی بیشتر از AOD MISR (۰/۴۲) است. میزان تغییرپذیری هر دو شاخص در تمام فصل‌ها شبیه به هم است، به طوری که بالاترین میزان انحراف معیار در بهار برای AOD، ۰/۰۸ برای DP AOD، و ۰/۰۷ کمترین آن برای هر دو در پاییز با مقدار ۰/۰۲ است. شیب تغییرات AOD حاصل از سنجنده MISR در تمام فصل‌ها مثبت اما AOD DB حاصل از سنجنده MODIS روند جزئی منفی دارند که در بهار با مقدار ۰/۰۰۵۳- بالاترین شیب منفی را دارد. دلیل این شیب منفی در تولیدات MODIS می‌تواند، تأثیر وجود سال‌های با خشکسالی شدید در ابتدای دوره مورد بررسی آن باشد (جدول ۲).

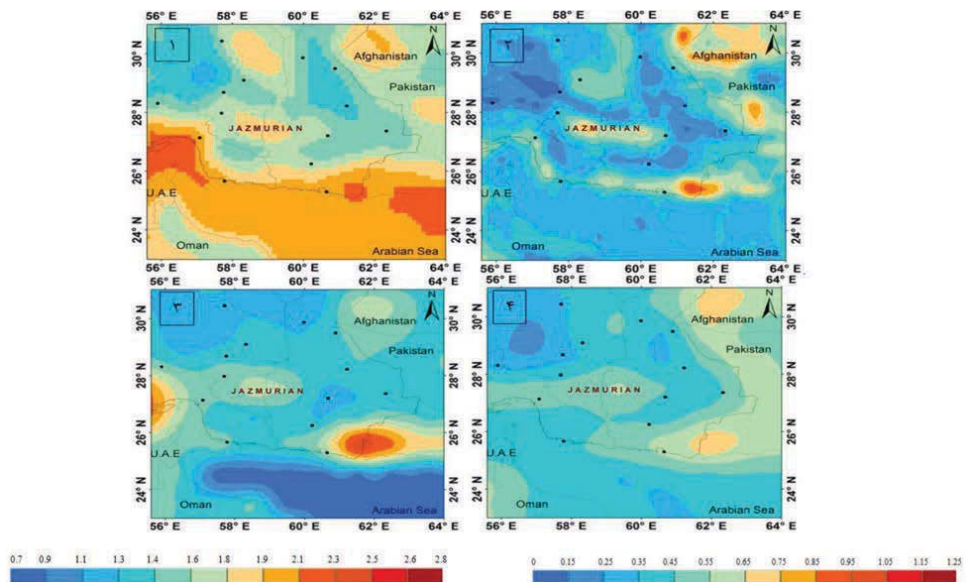
تغییرات بهار و تابستان بسیار شبیه به تغییرات سالانه بوده که نشان‌دهنده نقش مهم این دو فصل در تغییر وضعیت سالانه دارد. به‌طور کلی، در منطقه جازموریان، در فصل بهار و تابستان بیشترین مقدار رخدادهای گردوغبار و در زمستان بیشتر از پاییز با پدیده گردوغبار مواجه می‌باشیم.

## ۲-۳- تغییرات ماهانه

نگاره ۴ نمودار تغییرات ماهانه دو شاخص AAI و AOD را نشان می‌دهد. باتوجه به آن مقدار قابل‌توجه شاخص‌ها از ماه مارس تا سپتامبر اتفاق می‌افتد. مقدار اوج شاخص‌ها را می‌توان در دو ماه ژوئن و ژولای مشاهده کرد. میانگین شاخص AAI اندازه‌گیری شده توسط EP، در ماه ژوئن با ۲/۳ بیشینه و در ماه فوریه با ۰/۹ کمترین مقدار را دارد. به‌طورکلی این نمودار بالاتر از سایر نمودارها و تقریباً برای تمامی ماه‌ها مقادیر بیشتری را



نگاره ۴: نمودار تغییرات میانگین ماهانه دو شاخص AAI و AOD در طول دوره زمانی (۱۹۷۸-۲۰۱۴) در منطقه جازموریان (27-28N, 57-60 E)



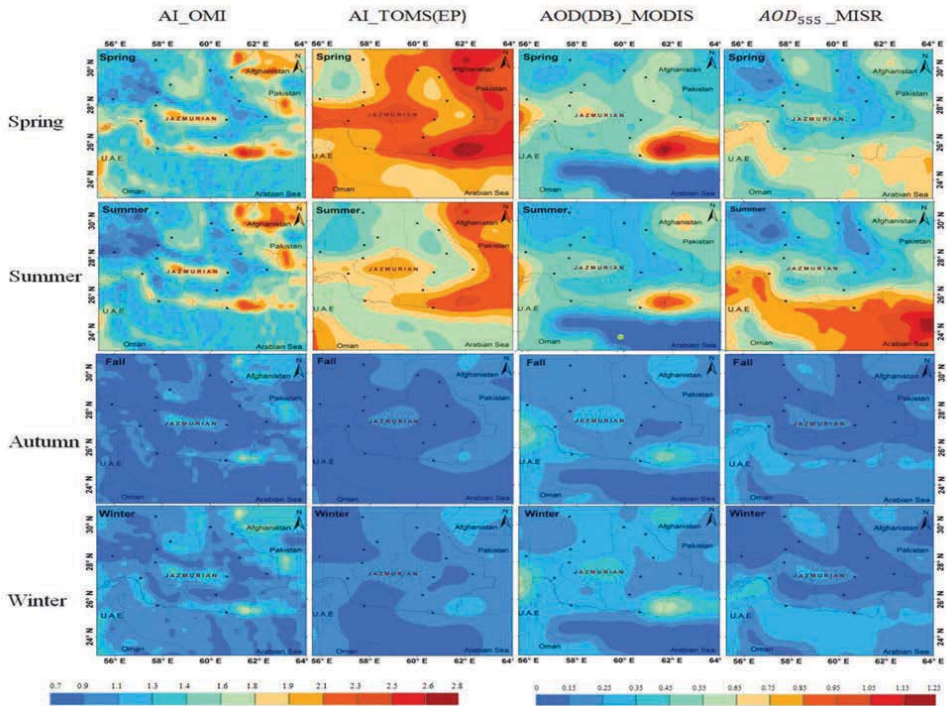
نگاره ۵: نقشه پهنه بندی گردوغبار با استفاده از میانبایی میانگین سالانه شاخص‌ها در جنوب شرق ایران (27-28N, 57-60 E): ۱- شاخص AOD تولید سنجنده MISR (۲۰۰۰-۲۰۱۳) ۲- شاخص AAI سنجنده OMI (۲۰۰۵-۲۰۱۴) ۳- شاخص AOD سنجنده MODIS Deep Blue (۲۰۰۲-۲۰۱۴) ۴- شاخص AAI از محصولات سنجنده TOMS (۱۹۹۷-۲۰۰۵). منطقه جازموریان با حروف JAZMURIAN مشخص شده است. نقاط تیره روی نقشه نقاط شهری مهم هستند.

می‌دهد. با توجه به تصویر (نگاره ۶) در جنوب شرق ایران و به‌ویژه منطقه جازموریان عمده رخدادهای گردوغبار در دو فصل بهار و تابستان اتفاق می‌افتد و در دو فصل زمستان و پاییز از شدت آن کاسته می‌شود. نقشه پهنه‌بندی فصلی گردوغبار بر اساس داده‌های AAI سنجنده TOMS از ماهواره EP به‌طرز اغراق‌آمیزی تجمع ذرات معلق را در جنوب شرق ایران به‌ویژه برای فصل بهار زیاد نشان می‌دهد، که دلیل آن می‌تواند در درجه اول دوره زمانی نمونه برداری ۲۰۰۵-۱۹۹۶ که مصادف می‌شود با دوره‌ی شدید خشکسالی (۲۰۰۱-۲۰۰۴) و همچنین عدم کالیبراسیون مناسب داده‌ها بعد از ۲۰۰۱ توسط سنجنده EP باشد.

نگاره‌های ۷ و ۸، نقشه پهنه‌بندی ماهانه طوفان‌های گردوغبار را به ترتیب با استفاده از شاخص AAI بدست آمده از سنجنده OMI و AOD (DB) تولید سنجنده MODIS\_

قدرت بازیابی بهتر بر روی مناطق آبی، تجمع گردوغبار بر روی دریای عمان را به‌خوبی نشان می‌دهد. به‌طور کلی می‌توان چند نقطه در جنوب شرق ایران شامل: زابل، منطقه ای در پاکستان نزدیک به مرز ایران، سواحل دریای عمان و منطقه جازموریان را به‌عنوان کانون تولید گردوغبار معرفی کرد. منطقه جازموریان به‌عنوان منطقه مورد بررسی با حروف JAZMURIAN (در مرکز نقشه) مشخص شده است. AAI و AOD بالا نشان‌دهنده مقدار قابل توجهی از جذب و پراکندگی تابش (به عنوان مثال، نور) به‌علت تراکم بالای هواویزه‌ها است (راشکی و همکاران، ۲۰۱۳ و ۲۰۱۴).

مقدار پایین‌تر شاخص‌ها، هوایی صاف با مقدار کمتر ذرات معلق در هوا در نتیجه افزایش انتقال تابش را نشان می‌دهد. نگاره ۶ نقشه پهنه‌بندی فصلی گردوغبار را در جنوب شرقی ایران طی سال‌های ۱۹۹۷ تا ۲۰۱۴ نشان



نگاره ۶: نقشه پهنه‌بندی فصلی گردوغبار با استفاده از میانگین فصلی دو شاخص AOD و AAI حاصل از چهار سنجنده OMI (۲۰۰۵-۲۰۱۴)، TOMS (۲۰۰۵-۱۹۹۷)، MODIS (۲۰۱۳-۲۰۰۰) و MISR (۲۰۱۴-۲۰۰۰) در جنوب شرق ایران. منطقه جازموریان با حروف JAZMURIAN مشخص شده است. نقاط تیره روی نقشه نقاط شهری مهم هستند

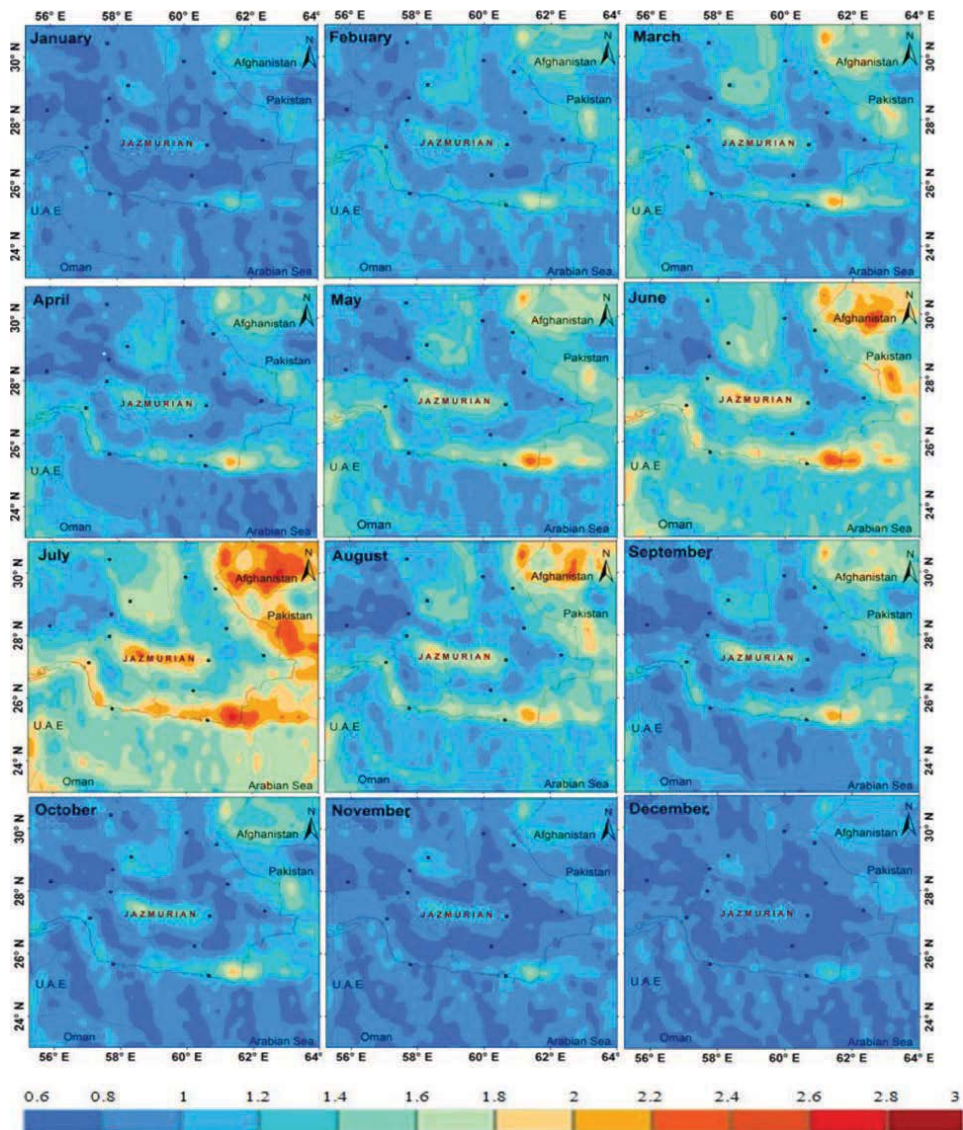
به بازیابی AOD بر روی سطوح روشن همچون بیابان است (مسو و همکاران، ۲۰۰۴). توسط سنجنده مادیس سه کانون اصلی گردوغبار را در جنوب شرق ایران مشخص می‌کند که تقریباً در تمام طول سال با شدت‌های مختلف فعالند، شامل: دریاچه هامون (منطقه سیستان)، هامون جازموریان و منطقه خلیج گواتر در جنوب شرقی‌ترین نقطه ایران.

### ۳- نتیجه‌گیری

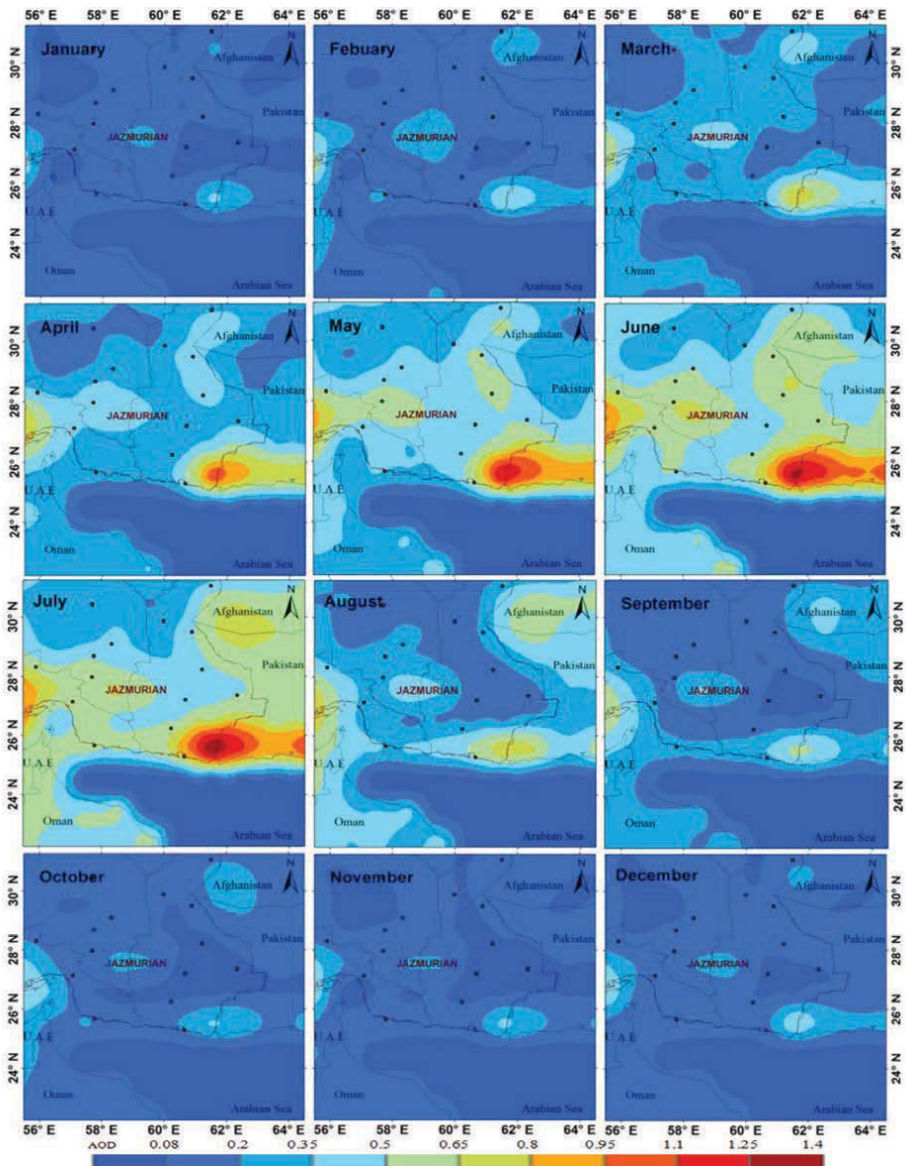
در این پژوهش تغییرات زمانی و مکانی طوفان‌های گردوغبار در جنوب شرق ایران با تأکید روی منطقه جازموریان بررسی شد.

Terra نشان می‌دهد. از ماه مارس وقوع گردوغبار آغاز و در ژوئن و سپس ژولای به بالاترین حد خود می‌رسد و سپس از مقدار آن در ماه‌های آگوست و سپتامبر کاسته شده و به کمترین مقدار خود در دسامبر می‌رسد. فعالیت گردوغبار در جنوب شرق ایران به‌ویژه منطقه جازموریان تقریباً در تمام طول سال با شدت و ضعف ادامه دارد. در ماه ژولای تعداد منابع گردوغبار در منطقه افزایش می‌یابد، مقدار شاخص AAI در این ماه علاوه بر منطقه جازموریان، در منطقه سیستان (دریاچه هامون)، خلیج گواتر و سواحل دریای عمان و منطقه‌ای در غرب پاکستان، نزدیک به مرز ایران، بالاتر از ۲/۸ است. الگوریتم «Deep Blue» که قادر

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سیر)  
پایش زمانی و مکانی پدیده گرد و غبار با ... / ۱۶۵



نگاره ۷: نقشه پهنه‌بندی ماهانه گردوغبار بر حسب میانگین ماهانه شاخص AAI حاصل از سنجنده OMI در جنوب شرق ایران در دوره زمانی ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۴. منطقه جازموریان با حروف JAZMURIAN مشخص شده است. نقاط تیره روی نقشه نقاط شهری مهم هستند.



نگاره ۸: نقشه پهنه‌بندی ماهانه گردوغبار بر حسب میانگین ماهانه شاخص AOD حاصل از سنجنده MODIS\_Terra در جنوب شرق ایران در دوره زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۴. منطقه جازموریان با حروف JAZMURIAN مشخص شده است. نقاط تیره روی نقشه نقاط شهری مهم هستند.

با استفاده از فناوری سنجنش از دور، هشتمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران، ۲۱-۲۳ اردیبهشت ۱۳۸۸، دانشگاه شیراز، ۸-۱  
۲. راشکی، علیرضا. (۱۳۹۲). بررسی روند زمانی و مکانی ریزگردهای جنوب غرب آسیا و ارتباط آن با خشک شدن دریاچه‌های هامون. سومین همایش ملی فرسایش بادی و طوفان‌های گردوغبار، ۲۵-۲۶ دی ماه ۱۳۹۲- یزد، دانشگاه یزد، ۱۱-۱

۳. شعبانی گورچی، صاحب‌زاده، کاظم، بهروز (۱۳۹۴). بررسی تاثیر خشکسالی‌های متوالی بر زیست بوم جازموریان جنوب شرق ایران. کنفرانس بین‌المللی علوم، مهندسی و فناوری‌های محیط زیست، ۱۵-۱۶ اردیبهشت ماه ۱۳۹۴، تهران، ۱۰-۱

۴. کاردان، عزیززی، زواررضا، محمدی؛ رحمت‌اله، قاسم، پیمان، حسین (۱۳۸۸). مدل‌سازی تأثیر دریاچه بر مناطق مجاور (مطالعه‌ی موردیک مدل‌سازی اقلیمی حوضه‌ی آبخیز جازموریان با ایجاد دریاچه‌ی مصنوعی). مجله علمی-پژوهشی علوم مهندسی آبخیزداری ایران، سال سوم، شماره ۱۵، ۲۲-۱۵

۵. گودی، ای. اس، میدلتون، ان. جی (۲۰۰۶). ریزگرد بیابانی در سیستم جهانی. ترجمه حسین آذریوند، حمید غلامی و حسن خسروی، انتشارات دانشگاه تهران

۶. محمدی، علی (۱۳۸۹). رسوب شناسی و ژئوشیمی نهشته‌های پلایای جازموریان. فصلنامه علمی- پژوهشی خشک بوم، سال اول- شماره ۱، ۶۸- ۷۹

۷. مهدوی نجف‌آبادی، احمدی کهنعلی، رسول، جاسم (۱۳۹۲). بررسی ظرفیت‌های اکوتوریسمی منطقه جازموریان در شرایط خشکسالی. سومین همایش ملی سلامت محیط زیست و توسعه پایدار، ۳۰ بهمن و اول اسفندماه ۱۳۹۲، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بندرعباس، ۱-۳۰

8. Alam, K., Qureshi, S., & Blaschke, T. (2011). Monitoring spatio-temporal aerosol patterns over Pakistan based on MODIS, TOMS and MISR satellite data and a HYSPLIT model. *Atmospheric Environment*, 45(27), 4641-4651.

9. Baddock, M. C., Bullard, J. E., & Bryant, R. G. (2009). Dust source identification using MODIS: A comparison of techniques applied to the Lake Eyre Basin, Australia. *Remote Sensing of Environment*, 113(7), 1511-1528.

10. Bollasina, M., Nigam, S., & Lau, K. M. (2008).

نمودارهای تغییرات سالانه، فصلی و ماهانه در منطقه جازموریان و نقشه‌های پهنه‌بندی طوفان‌های گردوغبار برای جنوب شرق ایران در مقیاس سالانه، فصلی و ماهانه ترسیم و بررسی گردید. با توجه به نقشه‌های پهنه‌بندی طوفان گردوغبار، چند نقطه در جنوب شرق ایران به عنوان کانون تولید گردوغبار شناسایی گردید که شامل: زابل، منطقه‌ای در پاکستان نزدیک به مرز ایران، سواحل دریای عمان (به‌ویژه خلیج گواتر) و منطقه جازموریان هستند.

نتایج به دست آمده از پهنه بندی مراکز تولید و تجمع گرد و غبار تا حدود زیادی با مطالعات راشکی و همکاران در جنوب غرب آسیا در ۲۰۱۳ و ۲۰۱۴ مطابقت دارد. پروسپرو و همکاران (۲۰۰۲) و اسماعیلی و تجربی (۱۳۸۸) نیز با استفاده از داده‌های دورسنجی منطقه جازموریان را به عنوان منشأ تولید گرد و غبار معرفی کردند.

با توجه به بررسی‌های صورت گرفته به‌طور کلی رشد طوفان گردوغبار در منطقه جازموریان از سال ۲۰۰۱ به بعد روند صعودی داشته و چند دوره زمانی ۲۰۰۳-۲۰۰۴، ۲۰۰۸-۲۰۰۹ و ۲۰۱۲-۲۰۱۱ را می‌توان به‌عنوان اوج طوفان‌های گردوغبار تفکیک کرد که در این سال‌ها ۲۰۰۳، ۲۰۰۴ و ۲۰۰۸ و ۲۰۱۲ بالاترین مقدار شاخص‌های AAI و AOD را داشته‌اند که نشان‌دهنده این است که در این سال‌ها شدت وقوع گردوغبار بیشتر بوده و دلیل آن می‌تواند خشکسالی‌های شدید باشد. عمده وقایع گردوغبار در منطقه جازموریان در دو فصل بهار و تابستان اتفاق می‌افتد که در فصل بهار بالاترین شدت رخداد گردوغبار و بعد از آن به‌ترتیب در تابستان، زمستان و پاییز از شدت آن کاسته می‌شود. فعالیت گردوغبار در چهار ماه می، ژوئن، ژولای و آگوست شدید و در چهار ماه نوامبر، دسامبر، ژانویه و فوریه ضعیف‌تر از سایر ماه‌ها می‌باشد.

## منابع و مآخذ

۱. اسماعیلی، تجربی، دانشکار آراسته؛ امید، مسعود، پیمان. (۱۳۸۸). پهنه‌بندی نواحی مستعد در تولید طوفان غبار در کشور و بررسی شدت، تداوم و گستره مکانی طوفان‌های غبار

Geosciences, 9(3), 1-11.

21. Ogren, J. A. (1995). A systematic approach to in situ observations of aerosol properties. *Aerosol forcing of climate*, 215-226.

22. Park, S. U., & Jeong, J. I. (2008). Direct radiative forcing due to aerosols in Asia during March 2002. *Science of the total Environment*, 407(1), 394-404.

23. Pope III, C. A., Burnett, R. T., Thun, M. J., Calle, E. E., Krewski, D., Ito, K., & Thurston, G. D. (2002). Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate AAIr pollution. *Jama*, 287(9), 1132-1141.

24. Prospero, J. M., Ginoux, P., Torres, O., Nicholson, S. E., & Gill, T. E. (2002). Environmental characterization of global sources of atmospheric soil dust identified with the Nimbus 7 Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) absorbing aerosol product. *Reviews of geophysics*, 40(1).

25. 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, southeastern Iran. *Science of the Total Environment*, 463, 552-564.

26. Rashki, A., Kaskaoutis, D. G., Eriksson, P. G., Rautenbach, C. D. W., Flamant, C., & Vishkaee, F. A. (2014). Spatio-temporal variability of dust aerosols over the Sistan region in Iran based on satellite observations. *Natural hazards*, 71(1), 563-585.

27. Rashki, A., Kaskaoutis, D. G., Francois, P., Kosmopoulos, P. G., & Legrand, M. (2015). Dust-storm dynamics over Sistan region, Iran: seasonality, transport characteristics and affected areas. *Aeolian Research*, 16, 35-48.

28. Samet, J. M., Dominici, F., Curriero, F. C., Coursac, I., & Zeger, S. L. (2000). Fine particulate AAIr pollution and mortality in 20 US cities, 1987-1994. *New England journal of medicine*, 343(24), 1742-1749.

29. Shao, Y., Wyrwoll, K. H., Chappell, A., Huang, J., Lin, Z., McTAAInsh, G. H., ... & Yoon, S. (2011). Dust cycle: An emerging core theme in Earth system science. *Aeolian Research*, 2(4), 181-204.

30. Shi-gong W. De-bao Y. Jiong J. (1995). Study on the Formative Causes and Countermeasures of the Catastrophic Sandstorm Occurred in Northwest China. *Journal of Desert Research*, 15(1), 19-30.

31. Torres, O., Tanskanen, A., Veihelmann, B., Ahn, C., Braak, R., Bhartia, P. K., ... & Levelt, P. (2007). Aerosols and surface UV products from Ozone Monitoring Instrument observations: An overview. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 112(D24).

32. www.gdata1.sci.gsfc.nasa.gov.

Absorbing aerosols and summer monsoon evolution over South Asia: An observational portrayal. *Journal of Climate*, 21(13), 3221-3239.

11. Curier, R. L., Veefkind, J. P., Braak, R., Veihelmann, B., Torres, O., & De Leeuw, G. (2008). Retrieval of aerosol optical properties from OMI radiances using a multiwavelength algorithm: Application to western Europe. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 113(D17).

12. Guo, J.P., Zhang, X.Y., Che, H.Z., Gong, S.L., An, X.Q., Cao, C.X., Guang, J., Zhang, H., Wang, Y.Q., Zhang, X.C., Xue, M., and Li, X.W. (2009). Correlation between PM concentrations and aerosol optical depth in eastern China. *Atmospheric Environment*, 43(37), 5876-5886.

13. Hsu, N. C., Tsay, S. C., King, M. D., & Herman, J. R. (2004). Aerosol properties over bright-reflecting source regions. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, 42(3), 557-569.

14. Hsu, N. C., Herman, J. R., Torres, O., Holben, B. N., Tanre, D., Eck, T. F., ... & Lavenu, F. (1999). Comparisons of the TOMS aerosol index with Sun photometer aerosol optical thickness: Results and applications. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 104(D6), 6269-6279.

15. Kahn, R. A., GAAItley, B. J., Garay, M. J., Diner, D. J., Eck, T. F., Smirnov, A., & Holben, B. N. (2010). Multiangle Imaging SpectroRadiometer global aerosol product assessment by comparison with the Aerosol Robotic Network. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 115(D23).

16. Kaskaoutis, D. G., Kosmopoulos, P., Kambezidis, H. D., & Nastos, P. T. (2007). Aerosol climatology and discrimination of different types over Athens, Greece, based on MODIS data. *Atmospheric Environment*, 41(34), 7315-7329.

17. Kaufman, Y. J., Tanré, D., Dubovik, O., Karnieli, A., & Remer, L. A. (2001). Absorption of sunlight by dust as inferred from satellite and ground-based remote sensing. *Geophysical Research Letters*, 28(8), 1479-1482.

18. Kellogg, CA. Griffin, DW. Garrison, VH. Peak, KK. Royall N. Smith RR. (2004). Characterization of aerosolized bacteria and fungi from desert dust events, in Mali, West Africa. *Aerobiologia*, 20(2). 305-322.

19. Kiss, P., Janosi, I. M., & Torres, O. (2007). Early calibration problems detected in TOMS Earth Probe aerosol signal. *Geophysical research letters*, 34(7).

20. Namdari, S., Valizade, K. K., Rasuly, A. A., & Sarraf, B. S. (2016). Spatio-temporal analysis of MODIS AOD over western part of Iran. *Arabian Journal of*