

## بررسی تغییرات زمانی و مکانی شاخص‌های گردوغبار در شرق خراسان بر پایه داده‌های ماهواره‌ای

پروین میری - دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت مناطق بیابانی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

علیرضا راشکی<sup>۱</sup> - استادیار بیابان‌زدایی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

عادل سپهر - استادیار ژئومورفولوژی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۲/۱۹ تاریخ تصویب: ۱۳۹۶/۱/۱۴

### چکیده

ذرات معلق در هوا نقش مهمی در توازن انرژی زمین و جو ایفا می‌کنند و به عنوان یک عامل مهم در تعیین تغییرات آب‌وهوایی شناخته می‌شوند. هر ساله طوفان‌های گردوغبار اثرات مخربی بر روی سلامت، مزارع، تأسیسات و اکوسیستم‌ها می‌گذارند. خراسان از جمله مناطقی است که به شدت تحت تأثیر این پدیده قرار دارد و بادهای ۱۲۰ روزه سیستان از عوامل تشدیدکننده این پدیده بخصوص در مناطق شرقی است. یکی از راه‌های مطالعه این پدیده روش‌های سنجش‌ازدوری است. این تحقیق با هدف بررسی تغییرات زمانی و مکانی شاخص‌های گردوغبار بر پایه داده‌های ماهواره‌ای در منطقه شرق خراسان انجام پذیرفته است. در این پژوهش جهت مطالعه ذرات معلق جو، از شاخص‌های UVAI، AAOD و AOD استفاده شده است. برای این منظور از داده‌های سنجنده TOMS بر روی ماهواره Nimbus 7 در سال‌های ۱۹۷۸ تا ۱۹۹۳ و بر روی ماهواره Earth probe در سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۵ و از داده‌های سنجنده OMI بر روی ماهواره Aura از سال ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۴ استفاده شده است. نتایج این پژوهش روند صعودی این شاخص‌ها را در طی سال‌های ۱۹۷۸-۲۰۱۴ نشان می‌دهد. همین‌طور شاخص UVAI بیشترین میزان ذرات معلق را در سال‌های ۲۰۰۲، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۴ و شاخص‌های AAOD و AOD بیشترین میزان ذرات معلق را در سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۱۴ نشان می‌دهند.

**کلیدواژه‌ها:** شاخص‌های گردوغبار، شرق خراسان، سنجنده TOMS، سنجنده OMI

## ۱. مقدمه

ذرات معلق در هوا نقش مهمی در توازن انرژی زمین و جو ایفا می‌کنند. تغییرات در بار آتروسول جو، گازهای گلخانه‌ای، تابش خورشیدی و خواص سطحی زمین تعادل انرژی جو و زمین را تغییر می‌دهد (الام<sup>۱</sup>، ۲۰۱۱: ۶۶۱). در دو دهه گذشته ذرات معلق هوا (آتروسول) به عنوان یک عامل مهم در تعیین تغییرات آب‌وهوایی شناخته شده است. از آنجایی که این ذرات نقش مهمی در انتقال تابش خورشید و انرژی حرارتی ایفا می‌کنند، بنابراین ذرات معلق در هوا اثر مهمی بر روی بودجه تابش خورشیدی هم در سطح زمین و جو و هم بر روی چرخه هیدرولوژیک و نرخ بارش دارند (کاسکائوتیس<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۴: ۴۰۷). این ذرات، اشیاء بسیار کوچک با اندازه به‌طور معمول حدود ۱۰۰ نانومتر بوده و با چشم غیر مسلح قابل رؤیت نیستند. باین وجود ذرات آتروسول به‌طور قابل توجهی باعث کاهش دید شده و آب‌وهوا را تحت تأثیر قرار می‌دهد. آن‌ها می‌توانند باعث مشکلات بهداشتی در انسان شوند (کوکائو سکی<sup>۳</sup>، ۲۰۰۸: ۹). انواع مختلف آتروسول اثرات مجزایی بر روی ورود و مقدار RF<sup>۴</sup> (فرکانس رادیویی) دارد (کاسکائوتیس و همکاران، ۲۰۰۷: ۶۳۷۵).

ذرات گردوغبار، عبور طول موج‌های کوتاه و بلند را از میان جو از طریق فرایندهای جذب و پراکندگی تغییر می‌دهد؛ به‌عبارت‌دیگر ذرات گردوغبار باعث ایجاد تغییر در پراکنش طول موج‌های کوتاه و بلند بازتابی از جو، از طریق فرایندهای پراکندگی جو و جذب می‌شود (اوتو<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۰۷: ۴۸۷)؛ در نتیجه در ستون جو به علت جذب گردوغبار حرارت تولید می‌شود. غلظت ذرات معلق در هر زمان و مکان متفاوت است. سنجش‌ازدور جهت پایش میزان آتروسول جهانی و اثرات تابشی ذرات معلق بر آب‌وهوا به‌طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد. در فناوری سنجش‌ازدور این امکان وجود دارد تا توزیع مکانی و خواص ذرات معلق در هوا ارزیابی شود و بدون شک یک فرصت منحصر به فرد برای استخراج الگوهای مکانی منطقه‌ای، جهانی و فصلی برای بارهای آتروسول و خواص آتروسول فراهم می‌کند. به‌منظور درک اثرات ذرات معلق هوا بر روی اقلیم زمین و سلامت انسان‌ها آن‌ها باید به‌طور مرتب در هر دو مقیاس جهانی و منطقه‌ای به‌خصوص با تجزیه و تحلیل الگوهای مکانی و زمانی پایش شوند برای ارزیابی تأثیر غبار بر محیط‌زیست جهانی و مشخص کردن خصوصیات منابع غبار جهانی و سنجش نقل و انتقال غبار، محققان با استفاده از تصویربرداری ماهواره‌ای در داده‌های خاص طیف‌سنج نقشه‌بردار کلی ازن<sup>۶</sup> (TOMS)، مسیرهای

1 Alam

2 Kaskaoutis

3 Kokhanovsky

4 Radio frequency

5 Otto

6 Total Ozone Mapping Spectrometer

توده هوا را مدل سازی کردند. TOMS بر روی ماهواره نیمبوس ۷، مشاهده و ردیابی توده‌های بزرگ غبار را میسر کرد (لیتی<sup>۱</sup>، ۱۳۹۰: ۳۶۶).

در مناطق خشک و نیمه‌خشک، تغییر سریع درجه حرارت هوا موجب ایجاد گرادیان فشار در نقاط مختلف آن و تشکیل بادهای قوی و دائمی می‌شود. خشکی منطقه و وزش بادهای قوی دو عامل ایجاد پدیده گردوغبار می‌باشند (مهرشاهی و نکونام، ۱۳۸۸: ۸۳)؛ بنابراین یکی از پدیده‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک و یا مناطق همجوار با این مناطق، پدیده گردوغبار است (سمیرمی، مرادی و همکاران، ۱۳۹۲: ۱). منطقه شرق خراسان نیز در چنین اقلیمی جای دارد. در ماه‌های خرداد تا شهریور همزمان با آغاز بادهای ۱۲۰ روزه سیستان، وزش باد شدید در شرق خراسان بزرگ رخ می‌دهد (علیجانی و رئیس پور، ۱۳۹۰: ۱۰۷). وجود یک کم فشار در شرق ایران و یک ناحیه پرفشار در شمال شرق ایران و دریای خزر، منشأ ایجاد بادهای ۱۲۰ روزه است و شرق خراسان در مسیر این بادهای قرار گرفته است (احمدی، ۱۳۹۲: ۶۸). مطالعات انجام شده حاکی از بروز پدیده گردوغبار در این منطقه می‌باشد. به‌عنوان مثال تحلیل آماری سینوپتیکی طوفان‌های گردوغبار استان خراسان رضوی در فاصله زمانی (۲۰۰۵-۱۹۹۳) نشان داد که طوفان گردوغبار در جنوب استان خراسان رضوی یک پدیده متداول است. به‌طوری‌که از شمال به جنوب استان تعداد طوفان‌ها در طول دوره آماری در سال از ۱ روز در قوچان به ۱۲/۶ روز در گناباد می‌رسد (لشکری و کیخسروی، ۱۳۸۵: ۱۷). بررسی آماری و پهنه‌بندی طوفان‌های گردوغبار در خراسان رضوی (سیستانی، ۱۳۹۰: ۹). نشان داده است که مناطق شرقی استان خراسان رضوی و عمدتاً ایستگاه‌های گناباد و سرخس بیشترین گردوغبار را تجربه کرده‌اند همچنین پژوهش تحلیل مکانی و زمانی طوفان‌های گردوخاک در ایران؛ نشان از رخداد پدیده گردوغبار در شرق خراسان بزرگ دارد (فرج‌زاده و علیزاده، ۱۳۸۸: ۴۸). همچنین در مطالعه‌ای دیگر که به شناسایی الگوهای همدیدی منجر به وقوع پدیده گردوغبار در استان خراسان جنوبی (بهار، تابستان) پرداخته شده و نتایج آن نشان داده است که با افزایش شدت وزش باد، دید افقی در خراسان جنوبی کمتر می‌شود؛ به عبارت دیگر شیب فشار بین شمال و جنوب شرق کشور در ایجاد گردوغبار در این استان نقش تعیین کننده دارد (احمدی، ۱۳۹۲: ۶۸).

با توجه به اینکه تاکنون در شرق خراسان تحقیقی در خصوص بررسی ذرات معلق بر پایه داده‌های ماهواره‌ای انجام نشده است<sup>۱</sup> بنابراین هدف اصلی این مقاله بررسی تغییرات زمانی و مکانی شاخص‌های آئروسول در شرق خراسان بر پایه داده‌های ماهواره‌ای می‌باشد.

## ۲. منطقه مورد مطالعه

منطقه شرق خراسان ( ۲۸ ۵ ۳۷ - ۲ ۱۱ ۳۱ شمالی و ۱۱ ۱۷ ۶۱ - ۴۱ ۳۳ ۵۸ شرقی) با پستی و بلندی‌های فراوان و مساحت ۱۰۰۱۶۱ کیلومترمربع از جنوب با استان سیستان و بلوچستان از شمال با کشور ترکمنستان و از شرق با کشور افغانستان و ترکمنستان مرز مشترک دارد. این منطقه شامل ایستگاه‌های سرخس، مشهد، تربت حیدریه، تربت جام، تایباد، خواف، گناباد، قائن، بیرجند، سریشه و نهبندان می‌باشد (شکل ۱).



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه و شهرهای مورد بررسی در شرق خراسان

منطقه مورد مطالعه تحت تأثیر بادهای ۱۲۰ روزه می‌باشد که عموماً در فصل تابستان و در ماه‌های خرداد تا شهریور وزش دارند. وزش بادهای شدید و خشکی منطقه باعث شده است تا این منطقه مستعد انتشار گرد و غبار باشد (کاسکاتوتیس و همکاران، ۲۰۱۴). شکل‌گیری طوفان‌های گرد و غبار از کشور پاکستان شروع می‌شود و پس از عبور از شرق خراسان و غرب افغانستان به منطقه سیستان و در نهایت به پاکستان و دریای عمان می‌رسد (راشکی و همکاران، ۲۰۱۵)

## ۳. مواد و روش‌ها

## ۳.۱. جمع‌آوری و آنالیز داده‌ها

در این تحقیق از داده‌های ماهانه دو سنجنده TOMS با وضوح مکانی (( $1.25^\circ \times 1^\circ$ ) و OMI با وضوح مکانی (( $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ ) استفاده شده است. این داده‌ها از سایت <http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/giovanni> تهیه شده‌اند.

لازم به ذکر است که داده‌های این دو سنجنده مربوط به ذرات معلق در ارتفاعات بالاتر از ۲۰۰۰-۱۰۰۰ متر می‌باشد (هیکی و گائودی<sup>۱</sup>، ۲۰۰۷: ۳۷). سپس میانگین ماهانه، سالانه و فصلی آن‌ها و به دنبال آن نقشه‌های سالانه و فصلی با استفاده از نرم‌افزار GIS تهیه شدند. جدول ۱ اطلاعات دقیقی در مورد داده‌های استفاده شده فراهم می‌کند. همچنین از داده‌های سرعت و جهت باد ایستگاه‌های هواشناسی منطقه مورد مطالعه جهت تهیه گلبادهای منطقه در نرم‌افزار WRPLOT استفاده شد.

سنجنده OMI<sup>۲</sup> در دوره زمانی (2004-2014) بر روی ماهواره Aura و سنجنده TOMS در دوره زمانی (-1978 1993) بر روی ماهواره Nimbus و در دوره زمانی (1996-2005) بر روی ماهواره Probe Earth نصب شده‌اند. OMI یک طیف سنج است که تشعشعات بالا آمده از جو را در محدوده ۲۷۰-۵۰۰ نانومتر اندازه‌گیری می‌کند. این سنجنده تشعشع بالایی جو را که ناشی از پراکنش نور خورشید و انعکاس از سطح و اتمسفر می‌باشد را اندازه‌گیری می‌کند (تروس<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۱۳: ۳۲۵۷). سنجنده OMI نسبت به TOMS دارای قدرت تفکیک مکانی بهتر است. OMI همانند TOMS پوشش یکپارچه جهانی را به صورت روزانه با استفاده از پهنای گذر ۲۶۰۰ کیلومتر فراهم می‌آورد. این سنجنده در حوضیض دارای قدرت تفکیک مکانی ۱۳×۲۴ کیلومتر می‌باشد (مک کورمیک<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۱۳: ۲۵۹). از آنجایی که OMI بهبود یافته و ویژگی‌های TOMS می‌باشد؛ بنابراین این سنجنده تغییرات آئروسل را توسط شاخص UVAI به دلیل قدرت تفکیک فضایی بالا، بهتر نشان می‌دهد. OMI جانشین TOMS می‌باشد و وضوح آن تا ۸ برابر بهتر است (۱۳×۲۴ کیلومتر در حوضیض)؛ و پوشش گسترده‌ای از طیف ۲۷۰-۵۰۰ نانومتر را دارا می‌باشد (تانسکانن<sup>۵</sup> و همکاران؛ ۲۰۰۵: ۱۷)

جدول ۱. مجموعه داده‌های استفاده شده در مطالعه

پارامتر	سنجنده	تاریخ استفاده شده	محصولات	وضوح مکانی	باند طیفی
UV AI	OMI/Aura	2004/10/01 - 2014/10/05	ماهانه	(0.25° × 0.25°)	nm <sup>۲۷۰-۴۰۰</sup>
UV AI	TOMS Nimbus-7	1978/11/01 - 1993/05/06	ماهانه	(1° × 1.25°)	nm <sup>۳۴۰-۳۸۰</sup>
UV AI	TOMS Earth probe	1996/07/22 - 2005/12/14	ماهانه	(1° × 1.25°)	nm <sup>۳۴۰-۳۸۰</sup>
AAOD	OMI/Aura	2004/10/01 - 2014/10/05	ماهانه	(0.25° × 0.25°)	nm <sup>۳۵۴ و ۳۸۸</sup>
AOD	OMI/Aura	2004/10/01 - 2014/10/05	ماهانه	(0.25° × 0.25°)	nm <sup>۳۵۴ و ۳۸۸</sup>

1 Hickey & Goudie

2 Ozone Monitoring Instrument

3 Torres

4 McCormick

5 Tanskanen

شاخص آئروسول<sup>۱</sup> (UVAI)

یکی از داده‌های ماهواره‌ای که می‌توان از آن جهت بررسی وضعیت آئروسول موجود در هوا استفاده کرد، شاخص آئروسول (UVAI) می‌باشد. این شاخص به صورت رابطه (۱) تعریف می‌شود:

$$AI = 100 \log_{10} \left[ \frac{I_{360}^{Meas}}{I_{360}^{Calc}} \right] \quad \text{رابطه ۱:}$$

$I_{360}^{Meas}$  پرتو اندازه‌گیری شده در طول موج ۳۶۰ نانومتر =

$I_{360}^{Calc}$  پرتو محاسبه شده در طول موج ۳۶۰ نانومتر =

شاخص UVAI برای مشخص شدن محل حضور آئروسول مورد استفاده قرار می‌گیرد و اطلاعاتی در مورد محتوی و توزیع اندازه آئروسول در اختیار قرار نمی‌دهد (مک کورمیک و همکاران، ۲۰۱۳: ۲۵۹). شاخص ذرات معلق عددی بین ۰-۵ بوده و به مقدار جذب امواج توسط ذرات معلق در هوا مانند غبارها، شاخص پراکندگی و انعکاس در محدوده فرابنفش و ارتفاع ذرات معلق از سطح زمین بستگی دارد. در بیشتر شرایط شاخص آئروسول برای آلاینده‌های جذب‌کننده مثبت و برای آلاینده‌های دفع‌کننده (کاملاً پراکنده‌کننده) منفی می‌باشد. UVAI یکی از مفیدترین ابزارهای مطالعه رفتار ذرات معلق است؛ زیرا به وسیله آن توزیع زمانی و مکانی ذرات معلق تروپوسفر روی دریاها و خشکی‌ها را می‌توان تخمین زد. UVAI نشان‌دهنده آن است که تا چه مقدار، تابش UV بازگشته از اتمسفر دارای ذرات معلق، از اتمسفر مولکولی خالص متفاوت است. داده‌های UVAI توسط دو سنجنده TOMS و OMI تهیه می‌شود (ودرویو<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۵: ۱۰۵).

شاخص‌های خواص نوری ذرات معلق در جو ( $AAOD^3 - AOD^3$ )

نور می‌تواند توسط ذرات معلق در اتمسفر زمین پراکنده و یا جذب شود. تسلط فرایندهای پراکندگی نور بر فرایندهای جذب امری واضح است. باین حال جذب نور را نمی‌توان نادیده گرفت. جذب نور توازن تابش کل را به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر قرار می‌دهد. کاهش در شدت پرتو مستقیم در طول انتشار آن از طریق محیط‌های آئروسول به‌طور همزمان توسط فرایندهای جذب و پراکندگی تعیین می‌شود. مجموع جذب و پراکندگی نور در همه جهات<sup>۵</sup> میرایی یا کاهش نور نامیده می‌شود. ترکیب شیمیایی آئروسول‌ها و توزیع اندازه آن‌ها به‌وسیله تعدادی از فرایندهای پیچیده که درک آن‌ها مشکل است؛ اداره می‌شوند. آن‌ها منجر به ضریب خاموشی یا انقراض آئروسول طیفی می‌شوند. انقراض نور توسط ذرات معلق به خاطر هر دو فرایند پراکندگی و جذب نور صورت می‌پذیرد. معمولاً نور جذب شده بسیار کوچک است و نسبت جذب به ضریب کاهش نور بسیار کوچک‌تر از ۰/۱ و حتی

1 Ultraviolet Aerosol Index

2 Vadrevu

3 Aerosol Optical Depth

4 Aerosol Absorption Optical Depth

5 Extinction

۰/۰۱ برای مناطق روستایی و دور افتاده می‌باشد. جاذب اولیه در اتمسفر دوده می‌باشد. اگر درصد دوده افزایش پیدا کند؛ این نسبت به‌طور قابل توجهی از صفر فاصله خواهد گرفت که این در مناطق شهری رایج است. میزان جذب آئروسول از لحاظ مسئله تغییر اقلیم مهم است؛ چرا که ذرات جاذب آئروسول اثر خنک‌کنندگی و گرم‌کنندگی بالایی بر روی زمین دارند (کوکائواسکی، ۲۰۰۸: ۹).

الف- عمق جذب نوری آئروسول (AAOD): این شاخص میزان غلظت آئروسول جاذب UV نزدیک مانند دود، گردوغبار و مواد معدنی را نشان می‌دهد؛ محصولات OMI این شاخص را در تعدادی از طول موج‌های بین ۵۰۰-۳۴۲ نانومتر ارائه می‌دهند (کوکائواسکی، ۲۰۰۸: ۹).

ب- عمق نوری کاهش نور آئروسول (AOD): میزان یا شدت تمایل آئروسول‌ها برای جلوگیری از انتقال نور را یا AOD گویند. AOD میزان وضوح یا شفافیت مواد در جو است. هر چه ذرات معلق در جو افزایش یابند میزان AOD نیز افزایش می‌یابد. AOD بالا نشان می‌دهد که مقدار قابل توجهی از جذب و پراکندگی تابش در جو صورت گرفته است و AOD پایین نیز بیانگر حضور ذرات معلق با غلظت پایین، شفافیت بالای جو و افزایش انتقال تابش است (کوکائواسکی، ۲۰۰۸: ۹).

#### ۴. نتایج و بحث

##### ۴.۱. تغییرات ماهانه آئروسول با استفاده از سنجنده OMI در منطقه مورد مطالعه در دوره (۲۰۱۴-۲۰۰۴)

##### تغییرات ماهانه شاخص UVAI

شکل ۲ نشان‌دهنده مقادیر میانگین ماهانه این شاخص برای شهرهای مذکور است؛ که توسط سنجنده OMI فراهم شده است. بر این اساس بیشترین مقادیر UVAI متعلق ماه خرداد در شهر تایباد (۱/۶) و سپس گناباد (۱/۵) می‌باشد و کمترین آن مربوط به شهر مشهد در ماه شهریور (۰/۶) می‌باشد. این نمودار بیانگر این است که تمام شهرها، در ماه‌های خرداد، تیر و فروردین بیشترین مقدار ذرات معلق و در ماه‌های آذر، آبان، مهر، شهریور و دی کمترین مقدار را دارا می‌باشند. تمام شهرها به جز مشهد و سریشه در ماه خرداد و شهر سریشه در ماه تیر و شهر مشهد در ماه فروردین بیشترین میزان ذرات معلق را دارا می‌باشند. همچنین شهرهای نهبندان، سریشه، گناباد و تربت‌جام در ماه آذر و شهرهای خواف و سرخس در ماه آبان و شهر بیرجند در ماه مهر و قائن، تایباد و تربت‌حیدریه در ماه دی همچنین شهر مشهد در ماه شهریور کمترین مقدار میانگین ماهانه شاخص UVAI را به خود اختصاص داده‌اند. افزایش این شاخص در مشهد در ماه‌های فروردین و آذر و کاهش آن در فصل تابستان با نتایج مطالعه آلودگی هوا در شهر مشهد توسط گلریز ضیائی و همکاران در ۱۳۹۰ همسو می‌باشد.

## شکل ۲. تغییرات ماهانه شاخص UVAI با استفاده از سنجنده OMI

۱-نهبندان ۲-سربیشه ۳-بیرجند ۴-قائن ۵-گناباد ۶-خواف ۷-تایباد ۸-ترت حیدریه ۹-ترت جام ۱۰-مشهد ۱۱-سرخس

### تغییرات ماهانه شاخص AAOD در شهرهای مورد مطالعه

این نمودار نشان‌دهنده بیشترین ذرات جاذب در شهر مشهد (۰/۰۶۶) در ماه مرداد و کمترین ذرات معلق جاذب در شهر ترت حیدریه (۰/۰۰۰۵۸) و در ماه دی می‌باشد. همان‌طور که از شکل بر می‌آید نمودار مربوط به هر شهر کاملاً متفاوت از دیگر شهرها می‌باشد و هیچ ماه خاصی دارای بیشترین و یا کمترین غلظت ذرات جاذب نمی‌باشد؛ به نظر می‌رسد این شاخص، برخلاف شاخص UVAI از قاعده خاصی تبعیت نمی‌کند؛ اما در شهرهای نهبندان، خواف و تایباد بیشترین مقدار این شاخص مربوط به خرداد و در سربیشه، ترت جام و ترت حیدریه بیشترین مقدار مربوط به ماه اردیبهشت همچنین بیرجند در ماه فروردین، گناباد در ماه تیر و قائن، مشهد و سرخس در ماه مرداد بیشترین مقدار این شاخص را به خود اختصاص داده‌اند. همچنین برخلاف شاخص UVAI در این شاخص شهر مشهد دارای بیشترین مقدار می‌باشد. به‌طور کلی ماه‌های دی و آذر دارای کمترین مقدار ذرات معلق جاذب می‌باشد؛ اما شهر نهبندان در ماه آبان و شهر قائن در ماه بهمن دارای کمترین مقدار AAOD است.



### شکل ۳. تغییرات ماهانه شاخص AAOD با استفاده از سنجنده OMI

۱-نهبندان ۲-سربیشه ۳-بیرجند ۴-قائن ۵-گناباد ۶-خواف ۷-تایباد ۸-ترت حیدریه ۹-ترت جام ۱۰-مشهد ۱۱-سرخس

#### تغییرات ماهانه شاخص AOD

برخلاف UVAI شاخص AOD در شهر مشهد در بالاترین رده قرار گرفته است. بیشترین مقدار عمق نوری کاهش نور آتروسول (عمق نوری آتروسول) در ماه خرداد در شهر مشهد و کمترین مقدار این شاخص در ماه آذر در شهرهای تایباد و سپس خواف رخ داده است. بیشترین مقدار این شاخص در شهرهای سربیشه، ترت حیدریه و ترت جام در بیرجند در ماه فروردین رخ داده است. بیشترین مقدار این شاخص در شهرهای گناباد و قائن در ماه تیر رخ داده است. به طور کلی تمام شهرها ماه آذر کمترین مقدار این شاخص را دارا بوده‌اند به جز شهر ترت حیدریه که ماه دی ماه کمترین میزان کاهش نوری آتروسول بوده است. همان‌طور که نشان داده شده است در شهرهای مختلف حداکثر میانگین ماهانه شاخص عمق نوری کاهش نور آتروسول در ماه‌های متفاوت رخ می‌دهد.

### شکل ۴. تغییرات ماهانه شاخص AOD با استفاده از سنجنده OMI

۱۱-نهبندان ۲-سربیشه ۳-بیرجند ۴-قائن ۵-گناباد ۶-خواف ۷-تایباد ۸-ترت حیدریه ۹-ترت جام ۱۰-مشهد ۱۱-سرخس

#### ۴.۲. تغییرات ماهانه شاخص UVAI از سنجنده TOMS در منطقه مورد مطالعه در دوره (۱۹۷۸-۲۰۰۵)

شکل ۵ بیانگر تغییرات ماهانه آئروسول با استفاده از سنجنده TOMS در دوره زمانی (۱۹۷۸-۲۰۰۵) می‌باشد. این نمودار نشان می‌دهد که شهر مشهد کمترین میزان آئروسول را دارد؛ اما نهبندان و بعد از آن تایباد و خواف در این بازه زمانی بیشترین میزان این شاخص را به خود اختصاص داده‌اند.

#### شکل ۵. تغییرات ماهانه شاخص UVAI با استفاده از سنجنده TOMS

۱-نهبندان ۲-سربیشه و بیرجند ۳-قائن ۴-گناباد ۵-تایباد و خواف ۶-ترت حیدریه ۷-ترت جام ۸-مشهد ۹-سرخس

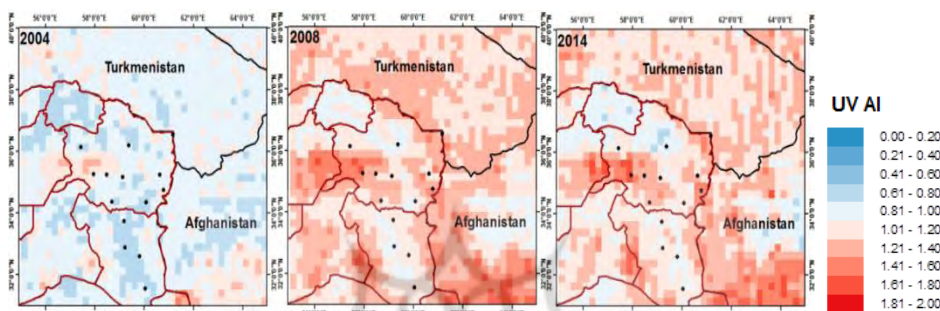
همچنین این نمودار بیانگر این است که در ماه‌های دی، آبان و آذر ذرات معلق به کمترین مقدار خود می‌رسند؛ اما در ماه خرداد بیشترین مقدار را دارا می‌باشند. از مقایسه شکل ۲ و ۵ می‌توان دریافت که سنجنده OMI در نشان دادن تغییرات زمانی (ماهانه) هم همانند مکانی بر سنجنده TOMS برتری دارد. چرا که سنجنده TOMS تنها ماه خرداد را برای تمام شهرها ماه حداکثر میزان آئروسول می‌داند حال آن که سنجنده OMI ماه‌های خرداد، تیر و مرداد را برای شهرهای مختلف ماه حداکثر میزان آئروسول می‌داند. در هر دو نمودار ماه‌های گرم سال که اوج وقوع طوفان‌های گردوغبار است؛ اوج شاخص UVAI نیز می‌باشد.

#### ۴.۳. تغییرات سالانه شاخص‌های AOD, AAOD و UVAI آئروسول با استفاده از سنجنده OMI در شهرهای

منطقه مورد مطالعه در دوره (۲۰۰۴-۲۰۱۴)

شکل ۷ نشان می‌دهد که شهر تایباد بیشترین میزان آئروسول (UVAI) و مشهد کمترین میزان را دارد. همچنین در طی زمان از سال ۲۰۰۴ تا سال ۲۰۱۴ میزان آئروسول در منطقه روند افزایشی را طی کرده است؛ از این شکل می‌توان دریافت که سال ۲۰۰۸ و ۲۰۱۴ افزایش شدید در شاخص UVAI وجود داشته است که البته تفاوت‌هایی در برخی مناطق مختلف وجود دارد. افزایش این شاخص در سال ۲۰۱۱ در ترت حیدریه، مشهد، سرخس، نهبندان و تایباد مشاهده شده است و این افزایش در تمام شهرها برای سال ۲۰۱۴ محسوس است. شکل ۶ حاکی از افزایش میزان

ذرات معلق در دوره زمانی (۲۰۰۴-۲۰۱۴) در سال ۲۰۰۸ در بخش وسیعی از ترکمنستان، افغانستان و شمال شرق ایران می‌باشد. این در حالی است که در سال ۱۳۸۸ با میانگین و انحراف معیار ۳۹/۸۹ ع ۴۲/۸ روز گردوغبار در سال بیشترین گردوغبار در کشور رخ داده است. بیشترین تعداد روزهای گردوغبار در سال ۱۳۸۷ در استان کرمانشاه، به تعداد ۱۰۷ روز و در سال ۱۳۸۸ در استان خوزستان به تعداد ۱۰۲ روز رخ داده است (شاهسونی و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۹۲)؛ بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری نمود که ذرات معلق نیز در سایر نقاط کشور نیز به بیشترین مقدار خود رسیده است.



شکل ۶. تغییرات مکانی شاخص UV AI با استفاده از سنجنده OMI

ارتباط نزدیک بین دو شاخص AAOD و AOD در شکل ۷ مشهود است. بیشترین میزان شاخص AAOD در سال ۲۰۰۸ و در شهر گناباد (۰/۰۴۵) است. در سال ۲۰۰۸ ذرات معلق جاذب به ترتیب در گناباد، قائن و تربت‌حیدریه بیشترین میزان را به خود اختصاص داده‌اند. به‌طور کلی در سال ۲۰۰۸ تمام شهرها دارای قله‌ای در نمودار شاخص AAOD می‌باشند. تا سال ۲۰۱۴ در تمام شهرها به غیر از سریشه سیر صعودی AAOD اتفاق افتاده است. مفهوم نمودار AAOD این است که ذرات معلق جاذب UV نزدیک مانند دود، گردوغبار و مواد معدنی در تمام شهرها به غیر از سریشه در دوره زمانی ۱۱ ساله افزایش یافته است. در سال ۲۰۱۴ بیشترین میزان ذرات جاذب به ترتیب در شهرهای سرخس، مشهد، تایباد، خواف و تربت‌جام وجود داشته‌است. سال‌های ۲۰۱۲ در نهبندان، ۲۰۰۶ در بیرجند و ۲۰۰۴ در سریشه اوج حضور ذرات معلق بوده است. همچنین این نمودارها بیان می‌کنند که ذرات معلق جاذب از سال ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۴ در تمام شهرها به جز سریشه، تربت‌حیدریه، بیرجند و قائن روند صعودی با شیب تند را داشته‌اند؛ اما شهرهای قائن، بیرجند و تربت‌حیدریه روند صعودی با شیب کند داشته‌اند؛ و سریشه نیز شیب تند اما منفی را در نمودار خود نشان می‌دهد. از آنجایی که شاخص AAOD بخشی از شاخص AOD می‌باشد از مقایسه نمودارهای این دو شاخص مشخص می‌شود که شباهت‌های بسیاری بین این دو گروه از نمودارها از لحاظ شکل وجود دارد؛ اما مقدار عددی عمق نوری کاهش نور آئروسول بسیار بیشتر از عمق جذب نوری آئروسول می‌باشد. همچنین کمترین مقدار این شاخص در سال ۲۰۰۴ مربوط به شهر سرخس و بیشترین مقدار این

شاخص در سال ۲۰۰۸ مربوط به شهر گناباد می‌باشد. تمام شهرها در سال ۲۰۰۸ دارای قله‌ای در نمودار خود می‌باشند. عمق نوری کاهش نور آتروسل از سال ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۴ برای تمام شهرها به جز سریشه روند صعودی داشته‌است. همچنین شیب این شاخص در شهر بیرجند تا سال ۲۰۰۶ بسیار تند بوده و پس از آن روند نزولی را طی کرده است؛ اما به‌طور کلی از سال ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۴ روند صعودی با شیب کند داشته است. در شهرهای سرخس، گناباد، مشهد، خواف گناباد و تایباد این روند، صعودی با شیب تند و در سایر شهرها با شیب کند بوده است.

#### ۴.۳. تغییرات سالانه آتروسل با استفاده از سنجنده TOMS در منطقه مورد مطالعه در دوره (۲۰۰۵-۱۹۷۸)

شکل ۸ نشان دهنده روند صعودی شاخص UVAI در تمام منطقه شرق خراسان می‌باشد. از سال ۱۹۷۸ تا سال ۲۰۰۵ چهار بار افزایش در این شاخص اتفاق افتاده است. به نظر می‌رسد این افزایش‌ها کمتر به فعالیت‌های انسانی مربوط باشد. چرا که به‌طور همزمان در نقاط مختلف جهان به‌خصوص در اطراف منطقه مورد مطالعه رخ داده است به‌طوری‌که اورلوسکی<sup>۱</sup> در بررسی طوفان‌های گردوغبار ترکمنستان؛ در دوره زمانی (۱۹۹۵-۱۹۳۶) درباره فرکانس طوفان‌های گردوغبار در طی زمان به این نتیجه رسید که فرکانس طوفان‌های گردوغبار بعد از سال ۱۹۸۵-۱۹۸۰ افزایش یافته است؛ و آنچه در این نمودارها نشان داده شده مؤید همین مطلب است. وی همچنین مشخص نمود که از سال ۱۹۸۰-۱۹۶۰ در منطقه دریاچه آرال فرکانس طوفان‌های گردوغبار سه بار افزایش یافته است؛ بنابراین می‌توان احتمال داد که دوره ۱۹۸۰-۱۹۶۰ سه بار افزایش در شاخص UVAI رخ داده باشد. اورلوسکی و همکاران (۲۰۰۵) مشخص نمودند که این نوع تنوع در فرکانس طوفان‌های گردوغبار با تغییر دوره‌ای در گردش جهانی جو توضیح داده می‌شود. در دوره ۱۹۶۰-۱۹۳۰ مربوط به افزایش این نوع گردش است در سال ۱۹۸۵-۱۹۶۱ این گردش از نوع کاهشی است و در دوره ۱۹۹۳-۱۹۸۶ یک دوره انتقالی است و ممکن است یک توضیح برای افزایش فرکانس از طوفان گردوغبار در طول ۱۹۹۳-۱۹۹۵ باشد از شکل ۷ و ۸ می‌توان دریافت که از سال ۱۹۸۷ تا سال ۲۰۱۴ شاخص UVAI روند افزایش را طی کرده است.



شکل ۷. تغییرات سالانه شاخص‌های AAOD, AOD و UVAI در محدوده‌ی طیف near-UV با استفاده از

سنجندة OMI

### شکل ۸. تغییرات سالانه شاخص UVAI با استفاده از سنجنده TOMS

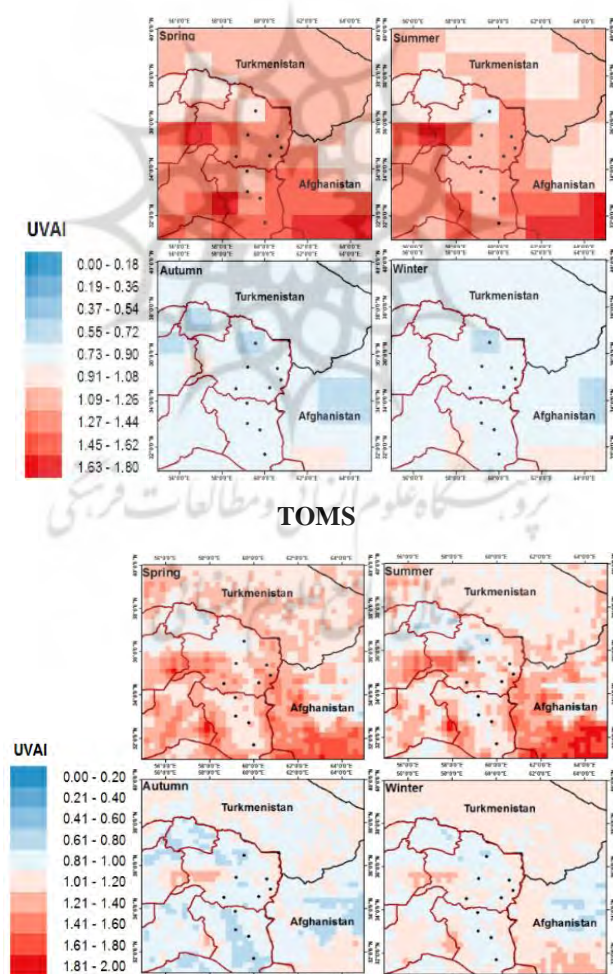
۱-نهبندان ۲-سربیشه و بیرجند ۳-قائن ۴-گناباد ۵-تایباد و خواف ۶-ترت حیدریه ۷-ترت جام ۸-مشهد ۹-سرخس

#### ۴.۴. تغییرات فصلی شاخص UVAI با استفاده از سنجنده های TOMS و OMI در شهرهای مورد مطالعه

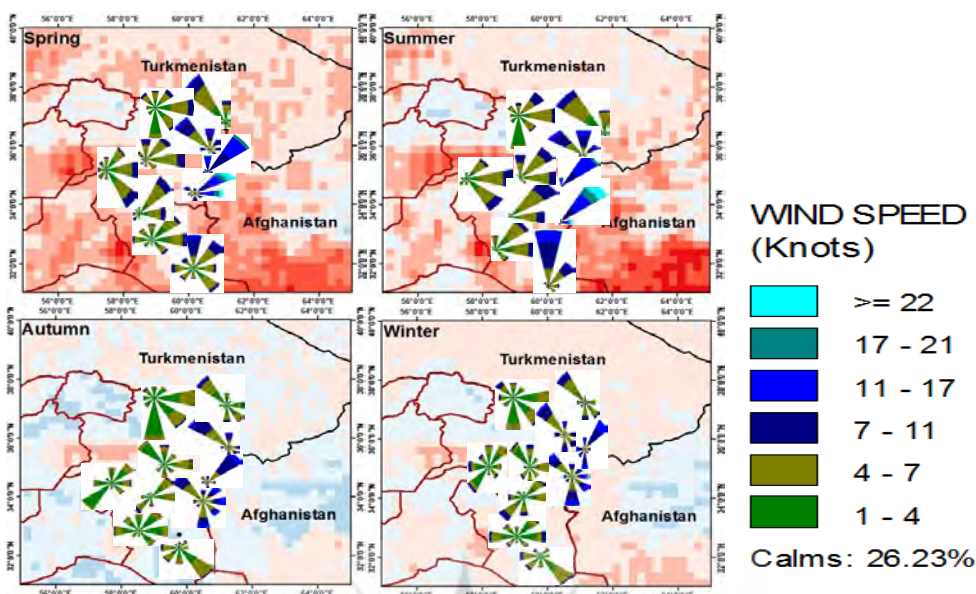
تغییرات فصلی در میزان این شاخص بسیار محسوس می باشد. بیشترین میزان شاخص UVAI در فصل بهار و کمترین آن در فصل پاییز می باشد. همان طور که در منطقه تایباد و خواف در تصویر ۹ مشاهده می شود در فصل بهار و تابستان یک علت عمده افزایش آئرسل ها در جو می تواند قرار گرفتن این دو شهر در مسیر وزش بادهای ۱۲۰ روزه باشد که از دو پرفشار حاکم بر کوه های کپه داغ و هندوکش به سمت کم فشار مستقر در جنوب شرق ایران در فصل گرم وزیدن می گیرند. منطقه سرخس نیز در فصل بهار نسبت به فصل تابستان بیشتر در معرض این بادهای قرار گرفته است حال بسته به قدرت هر کدام از پرفشارها جهت گسترش ذرات معلق جو در فصول گرم متفاوت است (کاسکائوتیس و همکاران، ۲۰۱۴: ۴۰۷ و رئیس پور و علیجانی، ۱۳۹۰: ۱۰۷). به همین دلیل گسترش حضور آئروسل در این شهر و در این دوره زمانی در فصل بهار بیشتر می باشد. بادهای ۱۲۰ روزه در چهار ماهه گرم سال، یعنی در فصل بهار و تابستان و در ماه های خرداد تا شهریور ظاهر می شوند (کاسکائوتیس و همکاران، ۲۰۱۴: ۴۰۷). در فصل های تابستان و بهار از میان شهرهای منطقه مورد مطالعه تایباد بیشترین مقدار آئروسل های گردوغبار را دارد. در شکل ۱۰ گلبادهای شهرهای منطقه مورد مطالعه در چهار فصل سال قابل رؤیت هست.

همان طور که در گلبادهای شهرهای منطقه مورد مطالعه در شکل ۱۰ مشهود است. باد غالب برای فصل تابستان که اوج زمان وزش بادهای ۱۲۰ روزه می باشد؛ در شهرهای سرخس از شمال غرب، ترت جام از شمال، تایباد از شمال شرق، خواف از شمال شرق، قائن از شمال شرق، بیرجند، مشهد و ترت حیدریه از شرق، گناباد از جنوب شرق و نهبندان از سمت شمال وزیدن می گیرد. قوی ترین بادهای در شهر خواف با سرعت بیش از ۲۲ نات (بیش از ۱۱ متر بر ثانیه) و سپس در شهر تایباد با سرعت ۱۷-۲۱ نات (۸/۸-۱۱/۱ متر بر ثانیه) می وزد؛ بنابراین انتظار می رود در شهر خواف و سپس شهر تایباد شاخص UVAI بیشترین مقدار را داشته باشد؛ اما مشاهده می شود که عکس این انتظار رخ

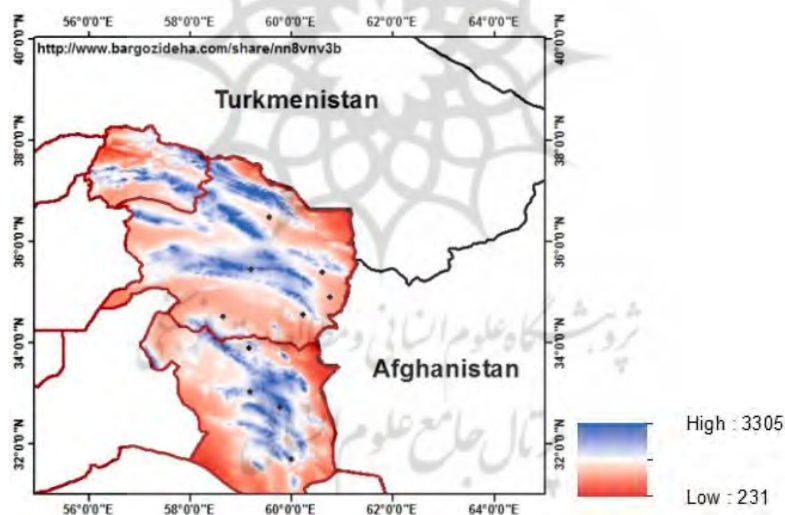
داده است. دلیل آن را می‌توان در شکل ۱۱ مشاهده کرد. ارتفاعات منطقه مانع از نفوذ بیشتر گردوغبار به شهر خواف شده است. شاید نکته دیگری که بتوان در این جا به آن اشاره کرد؛ این باشد که در شهر تایباد با توجه به جهت باد، گردوغبار از دره هرات در افغانستان وارد این منطقه شده است و در برخورد با ارتفاعات از مقدار آن کاسته می‌شود؛ اما باد بدون تغییر جهت و در شهر خواف سرعت می‌گیرد. همچنین با مشاهده گلبادها در فصل پاییز و زمستان کاهش سرعت باد در تمام مناطق محسوس می‌باشد؛ بنابراین کاهش میزان شاخص UVAI قابل توجیه است. شکل ۱۱ نقشه تغییرات ارتفاعی خراسان بزرگ می‌باشد. از مقایسه این تصویر با تصویر ۶ این نتیجه حاصل می‌شود که در مناطق با ارتفاع بالا میزان آثر و سل کاهش محسوس می‌یابد و در مناطق پست همچون شهرهای سرخس، خواف، تایباد، تربت‌جام، و گناباد این مقدار افزایش می‌یابد. شهر مشهد به دلیل اینکه بین دو منطقه کوهستانی قرار گرفته است، از نفوذ گردوغبار تا حدی در امان مانده است.



شکل ۹. نقشه تغییرات فصلی شاخص UVAI



شکل ۱۰. گلبادهای منطقه شهرهای مورد مطالعه در چهار فصل سال



شکل ۱۱. نقشه تغییرات ارتفاعی خراسان بزرگ

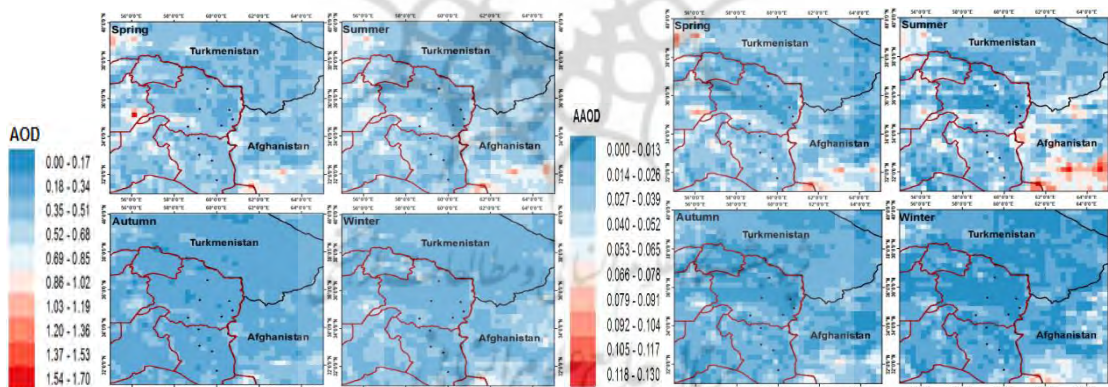
۴. ۵. تغییرات فصلی شاخص **AAOD** و **AOD** با استفاده از سنجنده **OMI** در شهرهای مورد مطالعه

تغییرات فصلی شاخص **AAOD** حاکی از افزایش این شاخص (افزایش ذرات جاذب UV) در فصل تابستان و سپس بهار دارد؛ اما تغییرات فصلی شاخص **AOD** نشان دهنده افزایش این شاخص در شرق خراسان در فصل بهار و سپس تابستان دارد. از مقایسه این نقشه‌ها با نقشه تغییرات ارتفاعی می‌توان دریافت که مناطق کوهستانی دارای



ذرات جاذب کمتر نسبت به مناطق مناطق دشتی هستند و همچنین کاهش نور در این مناطق کمتر از سایر مناطق است. در شرق خراسان و در فصل تابستان بیشترین میزان این دو شاخص مربوط به شهر مشهد و گناباد و کمترین آن مربوط به تربت حیدریه می‌باشد. افزایش شاخص AAOD در مشهد نمی‌تواند تنها به دلیل افزایش میزان گردوغبار باشد چرا که شاخص UVAI بیانگر این مطلب نیست. شاخص UVAI نشان می‌دهد ذرات معلق در این منطقه زیاد نیست؛ حال آنکه جزء شهرهای دارای بیشترین مقدار شاخص AAOD در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. در این گونه موارد وقتی UVAI کم است یا به دلیل کمبود میزان ذرات معلق است؛ یا به دلیل افزایش میزان ذرات جاذب است که در حقیقت مانع از انعکاس نور UV شده و آن را جذب می‌نمایند.

البته این مطلب به این معنی نیست که هر کجا این شاخص‌ها کاهش یابند با مناطق کوهستانی روبه‌رو هستیم؛ به‌عنوان مثال ۸۰ کشور ترکمنستان را بیابان شنی قره‌قوم تشکیل داده که فاقد مناطق کوهستانی می‌باشد. همچنین این کشور رکورددار طوفان‌های گردوغبار در میان کشورهای آسیای مرکزی می‌باشد (اورلوسکی و همکاران، ۲۰۰۵: ۸۳)، پس انتظار می‌رود شاخص‌های دو سنجنده OMI و TOMS در این منطقه بسیار بالا باشند؛ اما از آنجایی که شن نمی‌تواند تا ارتفاع بالاتر از ۲۰۰۰-۱۰۰۰ صعود کند و در بنابراین گردوغبار در این گونه مناطق آن گونه که باید به تصویر کشیده نخواهد شد و در صورت صعود به دلیل وزن بالاتر سریع‌تر سقوط می‌کنند.



شکل ۱۲. نقشه‌های تغییرات فصلی شاخص AOD و AAOD

##### ۵. نتیجه‌گیری

آنچه از این پژوهش نتیجه می‌شود این است که در منطقه شرق خراسان و حتی مناطق اطراف (بخش وسیعی از ترکمنستان و افغان‌ستان و بخش‌هایی از شمال شرق ایران) شاخص UVAI در ماه‌های خرداد، تیر و اردیبهشت بیشترین مقدار را و در ماه‌های آبان، آذر و دی کمترین مقدار را دارا می‌باشند؛ اما شاخص‌های AAOD و AOD ماه خاصی را که نشان از افزایش میزان آئروسول باشد، نشان نمی‌دهند. همین‌طور شاخص UVAI بیشترین میزان

گردوغبار را در سال‌های ۲۰۰۲، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۴ نشان می‌دهد؛ و شاخص‌های AAOD و AOD بیشترین میزان گردوغبار را در سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۱۴ نشان می‌دهند. در طی سال‌های ۲۰۱۴-۱۹۷۸ این شاخص روند صعودی داشته که می‌تواند در ارتباط مستقیم با میزان گردوغبار برخاسته از زمین باشد؛ که این روند صعودی گردوغبار را می‌توان در ارتباط با فرایندهای اقلیمی دانست. چرا که منطقه وسیعی را در بر گرفته است. در نتیجه تغییرات زمانی این شاخص‌ها بیشتر در ارتباط با فرایندهای اقلیمی است؛ و تغییرات مکانی را بیشتر می‌توان با توپوگرافی زمین در ارتباط دانست. چرا که مناطق کم ارتفاع دارای بیشترین مقدار شاخص UVAI و مناطق کوهستانی دارای کمترین مقدار این شاخص می‌باشند؛ اما در این ارتباط علاوه بر موارد ذکر شده ویژگی‌های سنجنده و نوع خاک منطقه در نشان دادن ذرات معلق توسط سنجنده تاثیرگذار است. در بررسی تغییرات زمانی و مکانی شاخص UVAI سنجنده OMI قدرتمندتر می‌باشد. چرا که قدرت تفکیک مکانی این سنجنده نسبت به TOMS بهتر می‌باشد و همچنین تصویرسازی OMI از حاشیه مناطق دارای آئروسول بهتر می‌باشد. به عبارت بهتر مرز بین مناطق با شاخص بالا و مناطق با شاخص پایین به صورت تدریجی تغییر می‌کند. از میان شاخص‌های OMI که در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفته است شاخص UVAI و سپس شاخص AOD و AAOD در نشان دادن ذرات معلق به خصوص گردوغبار توانمند می‌باشند. همچنین خصوصیات دو شاخص AAOD و AOD در نشان دادن ذرات معلق به هم گره خورده است؛ چرا که AOD مجموع جذب و پراکندگی ذرات است و AAOD نشان‌دهنده ذرات جاذب جو می‌باشد.

#### کتابنامه

- احمدی، زهره؛ ۱۳۹۲. شناسایی الگوهای همدیدی منجر به وقوع پدیده گردوغبار در استان خراسان جنوبی (بهار، تابستان). پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته جغرافیا (گرایش اقلیم‌شناسی)، دانشگاه فردوسی مشهد، استاد راهنما: رضا دوستان.
- شاهسونی، عباس و همکاران؛ ۱۳۹۱. تحلیل روند گردوغبار ورودی به ایران با تاکید بر استان خوزستان. مجله پژوهشی حکیم دوره ۱۵ شماره ۳، صص ۲۰۲-۱۹۲. وزارت بهداشت درمان و آموزش پزشکی.
- طائی سمیرمی، سیاوش و همکاران؛ ۱۳۹۲. شناخت و بررسی عوامل مؤثر بر پدیده گردوغبار در غرب ایران. فصلنامه انسان و محیط‌زیست شماره ۲۷، صص ۱-۱۰. دانشگاه آزاد اسلامی-واحد علوم و تحقیقات تهران
- علیجانی، بهلول؛ رئیس پور، کوهزاد؛ ۱۳۹۰. تحلیل آماری، همدیدی طوفان‌های گردوخاک در جنوب شرق ایران (مطالعه موردی: منطقه سیستان). مطالعات جغرافیایی مناطق خشک سال دوم، شماره پنجم، صفحه ۱۳۰-۱۰۷.
- دانشگاه تربیت معلم سبزوار
- فرج زاده اصل، منوچهر؛ علیزاده، خاطره؛ ۱۳۹۰. تحلیل زمانی و مکانی طوفان‌های گردوخاک در ایران. برنامه‌ریزی و آمایش فضا دوره ۱۵، شماره ۱، صفحه ۶۵-۸۴. دانشگاه تربیت مدرس.

- کارکن سیستانی، مرضیه؛ ۱۳۹۰. بررسی آماری و پهنه‌بندی طوفان‌های گردوغبار در استان خراسان رضوی. اولین همایش ملی بیابان.
- گلریز ضیائی، زهرا و همکاران؛ ۱۳۹۰. پیش‌بینی، ارزش‌گذاری، و ترسیم نقشه آلودگی هوای شهر مشهد: مطالعه موردی گاز مونوکسید کربن، اولین کنفرانس اقتصاد شهری ایران
- لشکری، حسن؛ کیخسروی، قاسم؛ ۱۳۸۷. تحلیل آماری سینوپتیکی طوفان‌های گردوغبار استان خراسان رضوی در فاصله زمانی (۲۰۰۵-۱۹۹۳)، پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی شماره ۶۵، صص ۳۳-۱۷. دانشگاه تهران.
- لیتی، جولی؛ بیابان‌ها و زیست بوم‌های بیابانی. ۱۳۹۰. مترجمان: زهتابیان، غلامرضا؛ کریم پور ریحان، مجید؛ دماوندی، علی اکبر؛ کیانیان، محمدکیا؛ شیرازی، میترا؛ صالح پور جم، امین؛ چاپ. تهران: موسسه انتشارات دانشگاه تهران
- مهرشاهی، داریوش؛ نکونام، زری؛ ۱۳۸۸. بررسی آماری پدیده گردوغبار و تحلیل الگوی وزش بادهای گرد و غبارزا در شهرستان سبزوار، جغرافیا (نشریه علمی پژوهشی انجمن جغرافیای ایران) سال هفتم، شماره ۲۲، صص ۸۳
- 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.
- Hickey, B., & Goudie, A. S. (2007). The use of TOMS and MODIS to identify dust storm source areas: The Tokar delta (Sudan) and the Seistan basin (south west Asia). In A. S. Goudie & J. Kalvoda (Eds.), *Geomorphological variations* (pp.17-43). Prague: P3K.
- Kaskaoutis, D., Kambezidis, H., Hatzianastassiou, N., Kosmopoulos, P., & Badarinath, K. (2007). Aerosol climatology: On the discrimination of aerosol types over four AERONET sites. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*, 7(3), 6357-6411.
- Kaskaoutis, D., Rashki, A., Houssos, E., Mofidi, A., Goto, D., Bartzokas, A., Legrand, M. (2014). Meteorological aspects associated with dust storms in the Sistan region, southeastern Iran. *Climate Dynamics*, 45(1-2), 407-424.
- Kokhanovsky, A. A. (2008). *Aerosol optics: Light absorption and scattering by particles in the atmosphere*. Springer press, 118 pages
- McCormick, B. T., Edmonds, M., Mather, T. A., Campion, R., Hayer, C. S., Thomas, H. E., & Carn, S. A. (2013). Volcano monitoring applications of the Ozone monitoring instrument. *Geological Society, London, Special Publications*, 380(1), 259-291.
- Menon, S., Hansen, J., Nazarenko, L., & Luo, Y. (2002). Climate effects of black carbon aerosols in China and India. *Science*, 297(5590), 2250-2253.
- Orlovsky, L., Orlovsky, N., & Durdyev, A. (2005). Dust storms in Turkmenistan. *Journal of Arid Environments*, 60(1), 83-97.
- Otto, S., Reus, M. D., Trautmann, T., Thomas, A., Wendisch, M., & Borrmann, S. (2007). Atmospheric radiative effects of an in situ measured Saharan dust plume and the role of large particles. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 7(18), 4887-4903.
- Tanskanen, A., Maatta, A., Kaurola, J., Krotkov, N., Karpetchko, A., Bernhard, G., & Fioletov, V. (2005). Validation of the OMI surface UV data. The AGU Fall Meeting. 5-9 Dec, McKenzie / NIWA Y. Kondo / University of Tokyo, Japan

- Torres, O., Ahn, C., & Chen, Z. (2013). Improvements to the OMI near-UV aerosol algorithm using A-train CALIOP and AIRS observations. *Atmospheric Measurement Techniques*, 6(11), 3257-3270.
- Vadrevu, P. K., Lasko, K., & Justice, C. (2015). Vegetation fires and smoke plume characteristics in Asia. *Environmental Research Letters*, Vol 10, Number 10

