

## وردایی زمانی - مکانی و نقطه تغییر شاخص جذب هواویز (AAI) ایران مبتنی بر برونداد سنجنده های OMI و TOMS

عباسعلی داداشی رودباری<sup>۱</sup> و محمود احمدی<sup>۲\*</sup>

۱. دانشجوی دکتری، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

۲. دانشیار، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

(دریافت: ۹۸/۱/۲۰، پذیرش نهایی: ۹۸/۷/۹)

### چکیده

هدف از این پژوهش وردایی زمانی-مکانی و نقطه تغییر شاخص هواویز (AI) فصلی در ایران است. در این راستا داده‌های سنجنده TOMS دو ماهواره Nimbus 7 (۱۹۷۹-۱۹۹۲) و Earth Probe (۱۹۹۶-۲۰۰۵) و سنجنده OMI (۲۰۰۵-۲۰۱۵) ماهواره EOS Aura اخذ و از آزمون Buishand برای شناسایی نقطه تغییر شاخص هواویز استفاده شد. نتایج نشان داد بیشینه شاخص هواویز در دوره گرم سال و بهار به دلیل کاهش میزان رطوبت خاک و فعال شدن چشمه‌های گردو خاک، بیشینه شاخص هواویز فصلی را دارا می‌باشد. همچنین فصل زمستان به دلیل اثر کنترلی بارش مقدار هواویز کمتری را دارا است. گردش منطقه‌ای و ردسپهر نیز نقش شایان توجهی در وردایی هواویزها در ایران دارند به طوری که باد شمال تابستانه، الگوهای دینامیکی و گرمایی غرب آسیا و کم فشار گرمایی سیند بیشترین نقش را در افزایش هواویزهای ایران دارند. همچنین شاخص هواویز (AI) حساسیت بالایی به ارتفاع لایه مرزی و ردسپهر دارد چرا که بیشینه ارتفاع لایه مرزی با مناطقی است که شار گرمایی قابل ملاحظه‌ای وجود داشته باشد و شار گرمای نهان به علت فقدان پوشش گیاهی و منابع آب کم است. میانگین شاخص هواویز (AI) پس از نقطه تغییر بیشتر از پیش از نقطه تغییر بوده است که نشان دهنده افزایش شاخص هواویز در ایران است. سال‌های ۱۹۸۳، ۲۰۰۰ و ۲۰۰۷ به ترتیب برای ماهواره‌های Nimbus7، EP و Aura به عنوان سال‌های میانگین جهش در سری زمانی تشخیص داده شدند که می‌توان این سه سال را به عنوان گرانیگاه دوره فعال و غیرفعال شاخص هواویز در ایران در دوره مورد مطالعه یاد کرد.

واژه‌های کلیدی: شاخص هواویز (AI)، سنجنده TOMS، سنجنده OMI، آزمون Buishand، ایران.

### ۱. مقدمه

هواویز بر وردسپهر به دو شیوه است (ایزالیچ و همکاران، ۲۰۰۲): ۱- کارایی مستقیم که هواویزها انرژی تابشی خورشید را منعکس و یا جذب می‌کنند و ۲- کارایی غیرمستقیم-هواویزها بر ابرها؛ کارایی نام برده به دو شیوه است؛ در شیوه نخست هواویزها می‌توانند باعث افزایش قطرک و عمق نوری ابر شوند و شیوه دوم: با کاهش اندازه قطرک باعث ایجاد ابرهای پایدارتر با استعداد کمتر برای تولید بارش می‌شوند. با افزایش دوره پایداری ابر در آسمان (طول عمر ابر) رطوبت سطح زمین وردایی بالایی خواهد داشت. تعیین کمیت واداشت تابشی کلید شناخت چگونگی دگرگونی آب و هوایی در مقیاس‌های گوناگون است؛ هئیت بین‌الدول تغییرات آب و هوایی (IPCC) در دو

هواویزها ذرات جامد یا مایع موجود در وردسپهر با شعاع معمول ۰/۰۰۱ تا ۱۰۰ میکرومتر هستند که کارایی چشم گیر و زیان‌آوری بر سلامت انسانی دارند (جیمز گاودرمن و همکاران، ۲۰۰۰). هواویزها از دو منشأ طبیعی و انسانی وارد وردسپهر می‌شوند و در سال‌های اخیر فعالیت‌های انسانی در ارتباط با شهرنشینی و صنعتی شدن جوامع منجر به افزایش تدریجی میزان این ذرات در وردسپهر شد (بابو و همکاران، ۲۰۱۳). نقش ذرات هواویز در فرآیندهای وردسپهری و تحقیقات آب و هوایی مهم است چرا که نقش چشم گیری در شکل گیری بارش، پیش‌بینی‌های کوتاه و بلند مدت، چرخه‌های ژئوشیمیایی و فرآیندهای مرتبط با بازتاب سطح دارد. کارایی واداشت

هوایز (AI) مثبت نمایانگر هوایزها، ابرها مقادیر نزدیک به صفر و مقدار منفی عدم وجود هوایز یا به علت وجود ذرات غیرجاذب در گروه اشعه UV هستند (بدوک و همکاران، ۲۰۰۹). UV-AAI یک اندازه کیفی از میزان غلظت آلودگی‌های گردو خاک در وردسپهر را نشان می‌دهد (دروباکس و همکاران، ۲۰۱۳). این شاخص به دلیل شکل، اندازه، زمان ساکن در وردسپهر، ارتفاع از سطح زمین و منشأ شکل‌گیری هوایزها وردایی درون سالی بالایی دارد (بدرینات و همکاران، ۲۰۰۷). با توجه به آنچه مورد بحث واقع شده است مطالعه دقیق این شاخص در بلندمدت می‌تواند اطلاعات سودمندی را در خصوص گردغبارها، منشأ آنها، وردایی زمانی-مکانی، واداشت آب‌وهوایی و بازخورد آن در سامانه آب‌وهوا را ارائه دهد.

اهمیت مطالعه هوایزها در سامانه آب‌وهوایی باعث شده است که تاکنون مطالعات بسیاری به ارزیابی آن پرداختند؛ طیف مطالعات انجام شده بالا است به طوری که بخش قابل توجهی از این مطالعات وردایی زمانی-مکانی این پارامتر را مورد مطالعه قرار داده‌اند. پژوهش‌های بسیاری در جهان به مطالعه شاخص جذب هوایز (AAI) در ارتباط با پدیده گردو خاک پرداخته‌اند که در ادامه به برخی از این پژوهش‌ها اشاره خواهد شد. ایزلویچ و همکاران (۲۰۰۲) گردو خاک‌های بیابانی حمل شده به مدیترانه را با استفاده از داده‌های سنجنده TOMS مطالعه کردند و به این نتیجه دست یافتند که گرد و غبار چشم‌گیری در بهار و تابستان از آفریقا به حوضه مدیترانه ترابرد می‌شود. حبیب و همکاران (۲۰۰۶) ضمن ارزیابی وردایی فصلی و سالانه شاخص AI بر اساس داده‌های سنجنده TOMS، ارتباط آن را پارامترهای هواشناسی و انتشار آن را در هند مورد ارزیابی قرار دادند؛ نتایج پژوهش نشان داده است مقدار بالای هوایز در هند ناشی از سوزاندن زیست‌توده است و روند رو به رشد شاخص هوایز طی دوره ۱۹۸۱ تا ۲۰۰۰ ناشی از دخالت‌های انسانی است. توزیع شاخص AI بر اساس داده‌های سنجنده

گزارش خود (۲۰۰۷ و ۲۰۱۳) یکی از بزرگ‌ترین بخش‌های عدم قطعیت در پیش‌نگری آب‌وهوایی را دانش محدود ما درباره توزیع زمانی-مکانی هوایزها، خواص فیزیکی-شیمیایی و فرآیندهای مرتبط با آنها دانسته است. به توجه به اهمیتی که مورد بحث واقع شد و از آنجایی که بخش چشم‌گیری از ایران را مناطق ساحلی، دشت‌های داخلی، مناطق نیمه‌خشک و خشک پوشش می‌دهند از یک سو و تنوع بالای آب‌وهوایی از سوی دیگر دانش ما از وردایی زمانی-مکانی و روند مشخصه‌های فیزیکی-شیمیایی و عمق نوری هوایزها در مقیاس جهانی، منطقه‌ای و محلی بسیار مهم است. در این راستا تلاش‌های گسترده‌ای برای پایش هوایزهای وردسپهری انجام شد و شاخص گوناگونی همچون عمق نوری هوایزها (AOD)، توان آنگستروم (AE) و شاخص جذب هوایز (AAI) ارائه شدند (ده لاوو و همکاران، ۲۰۱۸؛ هو و همکاران، ۲۰۱۸). سنجش از دور یک فناوری کارآمد برای ارزیابی هوایزها در سطحی گسترده است که کاستی‌های موجود در سطح زمین را تا حد زیادی برطرف کرده است. تاکنون سنجنده‌های فضایی گوناگونی با استفاده از الگوریتم‌های مختلف به پایش هوایزها پرداخته‌اند که می‌توان به لیدار هوایز و ابر با قطبش متعامد (CALIOP)، تابش‌سنج تصویربرداری با توان تفکیک متوسط (MODIS)، تابش‌سنج پیشرفته با توان تفکیک خیلی بالا (AVHRR)، طیف‌سنج نگاشتی کل ازن (TOMS)، ابزار پایشگر ازن (OMI)، تابش‌سنج تصویربرداری چند زاویه‌ای (MISR)، ابزار تعیین قطبش و جهت‌گیری ضریب بازتاب زمینی (POLDER) و سامانه ارتفاع‌سنج لیزری زمین‌شناسی (GLAS) اشاره کرد (بیات، ۱۳۹۲؛ هو و همکاران، ۲۰۱۸).

از آنجایی که کارایی هوایزها بر فرآیندهای وردسپهری در گروه اشعه UV شدیدتر است؛ شاخص هوایز (Aerosol Index (AI)) یک روش سودمند و دقیق برای تشخیص هوایزهای جاذب اشعه فرابنفش مانند دوده و گردو خاک است (تورس و همکاران، ۱۹۹۸). شاخص

روزآمد ماهواره‌ای تاکنون شاخص جذب هواویز (AAI) در کل ایران مورد مطالعه قرار نگرفته است؛ معهود مطالعات انجام شده نیز به صورت منطقه‌ای بود و نتوانسته دیدگاه جامع از رفتار این شاخص مهم در ایران را ارائه دهد. این مطالعه با هدف وردایی زمانی-مکانی و آشکار سازی نقطه تغییر شاخص جذب هواویز (AAI) مبتنی داده‌های سنجنده TOMS و OMI در ایران انجام شده است. نتایج این تحقیق می‌تواند در شناسایی کانون‌های فصلی گردو خاک، مناطق بحرانی و در نهایت بازخورد آن در سامانه آب‌وهوایی برای مطالعات بعدی مفید باشد.

## ۲. روش تحقیق

### ۲-۱. داده‌ها و پیش‌پردازش

شاخص جذب هواویز (AAI) شاخصی کیفی از ذرات هواویز جاذب فرابنفش نزدیک، مانند دود یا گردو خاک معدنی است. از آنجایی که بازتاب سطحی فرابنفش در مناطق بیابانی تیره است، سنجنده‌هایی همچون TOMS از اطلاعات طیفی به منظور تعیین شاخص هواویز جذب کننده (AAI) UV استفاده می‌کنند. این شاخص به گردو خاک و دود در درجه نخست حساس است. طیف سنج نگاشتی کل ازن (TOMS) یکی از ابزار کارآمد برای تشخیص گردو خاک‌های وردسپهری است (ارجمند و همکاران، ۱۳۹۷). سنجنده TOMS در سال ۱۹۷۹ روی ماهواره Nimbus 7 نصب شد و تا سال ۱۹۹۴ به سنجنش AAI پرداخته است. در سال ۱۹۹۶ همین سنجنده روی ماهواره Earth Probe (EP) نصب شد و تا سال ۲۰۰۵ به اخذ داده پرداخت. به استناد پژوهش‌های بسیار از جمله بولاسینا و همکاران (۲۰۰۸) از سال ۲۰۰۱ به دلیل عدم کالیبراسیون مناسب از سوی این سنجنده داده‌های این سنجنده برای تجزیه روند توصیه نمی‌شوند (بولاسینا و همکاران، ۲۰۰۸). جدیدترین فناوری TOMS با عنوان ابزار نظارت بر ازن (OMI) شناخته می‌شود که از همان اصول مشابه TOMS اما با تفکیک طیفی و مکانی بالاتری استفاده می‌کند. سنجنده نام‌برده روی ماهواره EOS Aura در سال

OMI ماهواره Aura پژوهشی است که توسط کاسکاو تیس و همکاران (۲۰۱۰) در یونان انجام شده است. نتایج پژوهش آنها نشان داد مقدار هواویز بخش‌های جنوبی یونان بیشتر از بخش‌های شمالی آن است و یک گرادیان قوی بین شمال و جنوب یونان وجود دارد. درو بایکس و همکاران (۲۰۱۳) کارایی شاخص هواویز سنجنده OMI را در منطقه ساحل در آفریقا برای گردو خاک معدنی مورد ارزیابی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که این شاخص برای مطالعه گردو خاک مناسب است. بوچارد و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از شاخص‌های AOD و AAI به دست آمده از سنجنده OMI و پایگاه MERRA در آفریقا به هم‌سنجی این دو شاخص پرداخته‌اند و نتایج شاخص AAI سنجنده OMI را در مقایسه با AOD سنجنده MODIS تأیید کردند. در ایران نیز راشکی و همکاران (۲۰۱۴) دگرگونی زمانی-مکانی طوفان‌های گردو خاک منطقه سیستان را با استفاده از شاخص هواویز (AI) و عمق نوری هواویزها (AOD) را با استفاده از سنجنده‌های MODIS، OMI، TOMS و MISR بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که غلظت بالای ذرات معلق در وردسپهر در فصل تابستان نتیجه خشک شدن فصلی دریاچه هامون و بادهای شدید در منطقه است. ارجمند و همکاران (۱۳۹۷) با استفاده از شاخص AAI به پایش زمانی-مکانی گرد و غبار در منطقه جازموریان پرداختند و به این نتیجه رسیدند که عمده وقایع گرد و غباری منطقه جازموریان در فصل بهار و تابستان اتفاق می‌افتد. احمدی و داداشی رودباری (۱۳۹۷) به آشکار سازی روند و نقطه تغییر گردو خاک با استفاده از شاخص جذب هواویز (AAI) در پهنه‌های کلان آب‌وهوایی ایران با استفاده از دو سنجنده TOMS ماهواره EOS Aura و EP و سنجنده OMI ماهواره EOS Aura پرداختند. نتایج پژوهش آنها نشان داد شاخص هواویز در هشت پهنه مورد بررسی روند افزایشی داشته است و نقطه تغییر نیز مقدار افزایشی را تأیید کرده است. مرور منابع نشان می‌دهد که به رغم وجود شاخص‌ها و داده‌های

## ۲-۲. آزمون‌های آماری

## ۲-۲-۱. آزمون نقطه تغییر Buishand

در این پژوهش نقطه تغییر شاخص AAI با استفاده از آزمون Buishand (بوشند، ۱۹۸۲) بررسی شد. نقطه تغییر، نقطه‌ای است که سری داده‌ها پیش از آن دارای یکی توزیع معین با میانگین  $\mu$  و برای سال‌های بعد از آن دارای یک توزیع معین با میانگین  $\mu_1$  است (علیزاده چوبری و نجفی، ۱۳۹۶). مفیدی و همکاران (۱۳۹۲) کاربرد نقطه تغییر را در پژوهش‌های آب‌وهواشناسی وردایی دوره‌ای آب و هوایی، وجود یا عدم وجود روند کاهشی و افزایشی، تغییر در ساختار گردش کلی و ردسپهر، تغییر مکان ایستگاه و یا ابزار اندازه‌گیری عنوان کرده‌اند. یک تخمین‌گر نقطه تغییر درصد یافتن نقطه‌ای از زمان است که در آن نقطه زمانی فراسنج سری زمانی تغییر کرده است. آزمون Buishand طوری طراحی شده است که می‌تواند برای متغیرهایی استفاده شود که از هیچ توزیع آماری پیروی نمی‌کنند؛ اما این آزمون به‌طور ویژه برای حالت‌های نرمال پیش‌بینی شده است (بوشند، ۱۹۸۲؛ علیزاده چوبری و نجفی، ۱۳۹۶).

$$S_0 = 0, \quad S_k^* = \sum_{i=0}^k (x_i - \mu), \quad k = 1, 2, \dots, T \quad (2)$$

$$S_k^{**} = \frac{S_k^*}{\sigma} \quad (3)$$

$$Q = 0 \leq \max_k T |S_k^{**}| \quad (4)$$

در روابط فوق  $S$  آماره همگنی داده‌ها است و مقادیر در صورتی که نزدیک به صفر باشند به معنای همگنی سری داده است.  $x_i$  مقادیر سری زمانی،  $\mu$  میانگین حسابی مقادیر سری زمانی فراسنج مورد نظر،  $\sigma$  انحراف معیار سری زمانی،  $T$  زمان و  $Q$  مقادیر بحرانی آزمون است که می‌تواند بین صفر تا بی‌نهایت متغیر باشد. در این آزمون فرض  $H_0$  نشان‌دهنده فاقد نقطه تغییر در سری زمانی و  $H_1$  بیانگر رخداد یک نقطه تغییر در سری داده‌های مورد استفاده در یک نقطه نامعلوم است. در صورت رد شدن فرض صفر و با تأیید اینکه سری زمانی نقطه تغییر وجود

۲۰۰۴ نصب شد و تاکنون در حال فعالیت است. قدرت تفکیک داده‌ها برای سنجنده TOMS  $1/25 \times 1/03$  درجه قوسی و برای OMI با تفکیک  $0/25 \times 0/25$  درجه قوسی است که از پایگاه LAADS DAAC بارگیری و پردازش شدند. داده‌ها به‌صورت ماهانه اخذ و پس از پردازش‌های لازم تبدیل به مقادیر فصلی شدند؛ داده‌های TOMS Nimbus 7 (TOMSN7L3 v008) طی دوره زمانی ۱۹۷۹ تا ۱۹۹۲؛ TOMS EP (TOMSEPL3 v008)؛ ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۵ و OMI (OMTO3d v003) برای دوره زمانی ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۵ میلادی استفاده شدند (عناوین نام‌برده در پرازنر نام فرآورده مربوطه است). تعداد یاخته‌های برای سنجنده TOMS در ایران ۱۲۷ و برای سنجنده OMI ۱۵۳ است. بر این اساس ابعاد آرایه‌های ایجاد شده برای سنجنده TOMS ماهواره Nimbus 7  $127 \times 56$ ؛ سنجنده TOMS ماهواره Earth Probe  $127 \times 40$ ؛ سنجنده OMI ماهواره Aura  $127 \times 44$  می‌باشد (اعداد ۵۶، ۴۰ و ۴۴ نمایانگر شمار فصل‌های سال در کل سری زمانی می‌باشد).

همان‌طور که پیش‌تر بحث شد در مطالعه حاضر از شاخص جذب هواویز (AAI) که معمولاً به‌صورت ساده آن را شاخص هواویز (AI) می‌نامند؛ استفاده شد. شاخص AI به‌عنوان باقی‌مانده بین تابش اندازه‌گیری شده و محاسباتی با استفاده از معادله Lambert Equivalent Reflectivity (LER) فرض می‌شود (هرمان و کلاریر، ۱۹۹۷). شاخص هواویز (AI) بر اساس رابطه (۱) محاسبه می‌شود.

$$AI = -100 \log \left\{ \left( \frac{I_{\lambda 1}}{I_{\lambda 2}} \right)_{meas} \right\} + 100 \log \left\{ \left[ \frac{I_{\lambda 1}(ALER_{\lambda 1})}{I_{\lambda 2}(ALER_{\lambda 2})} \right]_{calc} \right\}. \quad (1)$$

از آنجایی که در این مطالعه رابطه فوق محاسبه نشد؛ جزئیات رابطه به جهت کاهش حجم مقاله ارائه نشد. علاقه‌مندان می‌توانند جهت مطالعه بیشتر به منبع کاسکاوتیس و همکاران (۲۰۱۰) مراجعه کنند.

هواویز (AI) در فصل بهار به دست آمده است که نشان دهنده فعال شدن چشمه‌های گردو خاک مؤثر در منطقه است. به طور کلی دوره گرم سال مقدار بیشینه شاخص AI در ایران بیشتر از دوره سرد سال است. بر اساس آزمون چارک (چارک سوم) در بین سه ماهواره مورد بررسی بیشینه شاخص هواویز در فصل بهار و سنجنده TOMS ماهواره Earth Probe اتفاق می‌افتد؛ بر این اساس در یک چهارم از مساحت ایران مقدار شاخص هواویز بیشتر از ۱/۹۶ است. مهم‌ترین عامل کاهش مقدار هواویز در فصول سرد سال بارش است؛ به طوری که حیب و همکاران (۲۰۰۶) نشان داده‌اند که بارندگی میزان شاخص هواویز (AI) را کاهش می‌دهد؛ کلینگمولر و همکاران (۲۰۱۶) نشان داده‌اند که عمق نوری هواویزها (AOD) به شدت تحت تأثیر بارش قرار دارد. پژوهش حاضر به نقش مهم مسیرهای ترابرد هواویزها به ایران اشاره کردند که با عبور از مسیرهایی با بارندگی قابل توجه همانند رشته کوه زاگرس؛ مقدار AOD کاهش چشم‌گیری دارد. همچنین انصافی مقدم و همکاران (۱۳۹۶) نیز نشان دادند که یک رابطه معکوس بین گردو خاک و بارش وجود دارد، به طوری که کاستی بارش با افزایش گردو خاک با یکدیگر متناظرند. به عبارتی می‌توان تغییرپذیری شاخص هواویز (AI) در ایران را در ارتباط با انتشار الگوی گردش کلی و ردسپهر، طوفان‌های گردو خاکی منطقه‌ای، بار ورودی گردو خاک به ایران و بارش مرتبط دانست. شایان ذکر است که هر یک از این موارد نام‌برده نیازمند تحقیقات جداگانه‌ای هستند اما در حالت کلی موارد ذکر شده یک امر پذیرفته است و پژوهش‌هایی که در داخل کشور نیز انجام شده است تا حدودی فرض‌های حاضر را اثبات کرده‌اند.

دارد، فرض مقابل آن پذیرفته می‌شود (علیزاده چوپری و نجفی، ۱۳۹۶). در پژوهش حاضر معناداری آزمون Buishand با استفاده از روش مونت کارلو در سطح ۹۵ درصد آزمون شده است.

پس از رمزگشایی داده‌ها و محاسبات لازم؛ نقشه‌های هر فصل در محیط ARCGIS با استفاده از روش معکوس فاصله وزنی (IDW) به واسطه کمترین مقدار انحراف جذر میانگین مربعات (RMSE) ترسیم شد.

### ۳. نتایج و بحث

#### ۳-۱. ارزیابی آماری شاخص جذب هواویز (AAI)

##### فصلی در ایران

اطلاعات آماری شاخص هواویز (AI) فصلی ایران با استفاده از داده‌های سنجنده‌های TOMS و OMI سه ماهواره Earth Probe، Nimbus 7 و EOS Aura در جدول ۱ ارائه شد. با ارزیابی همزمان این ماهواره‌ها می‌توان اطلاعات ارزشمندی را در خصوص هواویزهای بلندمدت ایران کسب کنیم. همان‌طور که در جدول آمده است برای هر سه ماهواره بهار و تابستان بیشینه مقدار مشخصات آماری میانگین و بیشینه را به خود اختصاص داده‌اند. دامنه تغییرات نیز در فصولی که مقدار میانگین اوج می‌گیرد طبیعتاً افزایش می‌یابد که بر این اساس دامنه تغییرات فصل بهار و تابستان بیشینه است. وردایی فصلی مقدار شاخص هواویز (AI) در ایران ناشی از هم افزایی در میزان انتشار و شرایط و ردسپهری فصلی (اختلاف لایه‌های و ردسپهر) در ارتباط است. در دوره سرد سال که قطعاً گرد و خاک کمتری ایران را تحت تأثیر قرار می‌دهد مقدار هواویز نیز کمتر است. مقدار متوسط AI ایران مبتنی بر داده‌های بلندمدت بین ۰/۶۴۰ تا ۲/۱۴۵ به ترتیب برای فصول پاییز و بهار در نوسان است، بالاترین مقدار شاخص

جدول ۱. مشخصات آماری شاخص جذب هواویز (AAI) در ایران بر اساس سنجنده‌های TOMS و OMI.

| OMI-EOS Aura | TOMS-Earth Probe | TOMS-Nimbus7 | آماره/ ماهواره و سنجنده |               |
|--------------|------------------|--------------|-------------------------|---------------|
| ۰/۷۴۴        | ۰/۷۳۱            | ۰/۶۴۶        | زمستان                  | کمینه         |
| ۰/۸۵۲        | ۰/۹۷۷            | ۰/۷۳۱        | بهار                    |               |
| ۰/۷۵۱        | ۰/۸۵۲            | ۰/۷۲۰        | تابستان                 |               |
| ۰/۷۲۲        | ۰/۶۲۳            | ۰/۵۷۷        | پاییز                   |               |
| ۱/۲۳۲        | ۱/۰۵۹            | ۱/۰۸۸        | زمستان                  | پیشینه        |
| ۲/۰۹۷        | ۲/۳۰۶            | ۲/۰۳۲        | بهار                    |               |
| ۱/۹۱۴        | ۲/۱۴۷            | ۲/۱۹۴        | تابستان                 |               |
| ۱/۲۱۲        | ۰/۹۸۸            | ۱/۰۶۲        | پاییز                   |               |
| ۰/۴۸۸        | ۰/۳۲۸            | ۰/۴۴۳        | زمستان                  | دامنه تغییرات |
| ۱/۲۴۵        | ۱/۳۳۰            | ۱/۳۰۱        | بهار                    |               |
| ۱/۱۶۳        | ۱/۲۹۵            | ۱/۴۷۳        | تابستان                 |               |
| ۰/۴۹۰        | ۰/۳۶۴            | ۰/۴۸۵        | پاییز                   |               |
| ۰/۸۳۷        | ۰/۸۱۹            | ۰/۷۲۲        | زمستان                  | چارک اول      |
| ۰/۹۹۴        | ۱/۲۴۵            | ۰/۹۵۱        | بهار                    |               |
| ۰/۹۰۹        | ۱/۰۹۰            | ۰/۹۲۳        | تابستان                 |               |
| ۰/۸۳۴        | ۰/۶۹۸            | ۰/۶۹۴        | پاییز                   |               |
| ۰/۹۸۳        | ۰/۹۰۴            | ۰/۸۳۷        | زمستان                  | چارک سوم      |
| ۱/۳۲۵        | ۱/۷۴۰            | ۱/۴۰۵        | بهار                    |               |
| ۱/۲۲۴        | ۱/۵۰۸            | ۱/۳۶۹        | تابستان                 |               |
| ۰/۹۲۲        | ۰/۷۹۴            | ۰/۷۹۱        | پاییز                   |               |
| ۰/۹۱۹        | ۰/۸۶۵            | ۰/۷۸۹        | زمستان                  | میانگین       |
| ۱/۱۸۴        | ۱/۵۳۳            | ۱/۱۹۹        | بهار                    |               |
| ۱/۰۹۱        | ۱/۳۴۰            | ۱/۱۸۸        | تابستان                 |               |
| ۰/۸۸۰        | ۰/۷۴۹            | ۰/۷۴۳        | پاییز                   |               |

۰/۷۲۱ تا ۲/۱۹۳، ماهواره EP ۰/۸۵۲ تا ۲/۱۴۶ و ماهواره Aura ۰/۷۵۱ تا (۱/۹۱۱) و فصل پاییز (ماهواره Nimbus7 ۰/۵۷۷ تا ۱/۰۶۲، ماهواره EP ۰/۶۲۳ تا ۰/۹۸۷ و ماهواره Aura ۰/۷۲۲ تا (۱/۲۱۱) به‌دست آمده است. در تمامی فصول مبتنی خروجی‌های ماهواره‌های Nimbus7، Earth Probe و EOS Aura مقدار AI در جنوب غرب ایران پیشینه است که از آن می‌توان به‌عنوان یک منطقه پیشینه شاخص هواویز در ایران نام برد. در فصل زمستان بر اساس

۲-۳. توزیع فضایی شاخص جذب هواویز (AAI) فصلی در ایران

میانگین فضایی فصلی شاخص هواویز (AI) ایران (شکل ۱) در فصل زمستان (ماهواره Nimbus7 ۰/۶۴۸ تا ۱/۰۸۸، ماهواره EP ۰/۷۳۱ تا ۱/۰۵۸ و ماهواره Aura ۰/۷۴۴ تا ۱/۲۳۱)، فصل بهار (ماهواره Nimbus7 ۰/۷۳۱ تا ۲/۰۳۱، ماهواره EP ۰/۹۷۷ تا ۲/۳۰۵ و ماهواره Aura ۰/۸۵۲ تا ۲/۰۹۴)، فصل تابستان (ماهواره Nimbus7

سامانه را الگوی پویا، گرمای پویا و گرمایی گروه‌بندی کردند. در الگوی پویا، سامانه‌های مهاجر بادهای غربی در شکل‌گیری گردوخاک، نقش تعیین‌کننده‌ای دارند. در الگوی گرمای پویا، گردوخاک هم تحت تأثیر شرایط گرمایی سطح زمین در عرض‌های پایین در کشور عربستان ایجاد می‌شود و هم در اثر نفوذ ناوه غربی در تراز میانی جو در عرض‌های بالاتر که حاصل آن، افزایش ناپایداری در کشور عراق است. الگوی گرمایی مربوط به اواخر فصل بهار بوده که پرفشار جنب‌حاره، پدیده غالب جو بالا در خاورمیانه به‌شمار می‌رود و گردوخاک در اثر شکل‌گیری کم‌فشارهای گرمایی و افزایش سرعت باد در مناطق خشک مجاور ایران ایجاد می‌شود. همچنین در فصل بهار ذرات گرد و خاک معدنی منطقه صحرا در آفریقا نیز در بار هواویزهای ورودی به ایران نقش‌آفرینی می‌کنند این ذرات که ناشی از کم‌فشارهای گرمایی صحرا در جنوب کوه‌های اطلس شکل گرفته و توسعه می‌یابند در سرتاسر ساحل آفریقای شمالی به سمت شرق حرکت می‌کنند و نهایتاً ذرات ریزتر تحت سامانه‌های مختلف وارد سپهر به ایران می‌رسند. مهم‌ترین عاملی که باعث شده است مناطق مرکزی ایران هواویز کمتری به نسبت مناطق مرزی جنوب شرق تا جنوب غربی ایران داشته باشند ارتفاعات می‌باشد. رشته کوه زاگرس با کشیدگی شمال غرب-جنوب شرق سوی خود همچون سد مانع از انتقال گردوخاکی غربی به ایران مرکزی می‌شوند که یکی از مهم‌ترین دلایل افزایش شاخص هواویز در مناطق غربی و جنوب غربی ایران است.

در طول فصل تابستان پرفشار آזור تقویت شده و با گسترش به سمت شرق باعث ترابرد گرد و خاک می‌شود. جهت باد در ماه‌های گرم و خشک می‌تواند گرد و خاک را از کشورهای عراق و سوریه به قسمت غربی ایران ترابرد کند. همچنین بادهای شمال تابستانی باعث انتشار گرد و خاک از چشمه‌های گرد و خاک در منطقه می‌شود که می‌توان به مخروط افکنه دجله و فرات، بیابان زبیر در عراق و سایر مناطق بیابانی در عراق و کویت اشاره کرد.

داده‌های بلندمدت سنجنده‌های TOMS و OMI جنوب غربی ایران، سواحل خلیج فارس و جنوب شرق ایران در سواحل دریای عمان بیشینه مقدار AI در ایران دارند. مقدار AI زمستانی دارای الگوی غیر متناوب آن است. سامانه‌هایی که ایران را در دوره سرد سال و به‌ویژه فصل زمستان تحت تأثیر قرار می‌دهند چون دارای رطوبت و بارندگی‌های قابل توجهی هستند باعث کاهش AI می‌شود. انصافی مقدم و همکاران (۱۳۹۶) با مقایسه میانگین فصلی بارش و رخداد‌های گردوخاک در جنوب غرب ایران، رابطه معکوس بین گردوخاک و بارش را به دست آوردند؛ آنها ابراز داشتند که کاستی بارش با افزایش گردوخاک در هر فصل با یکدیگر متناظرند. یکی از کانون‌های بالای مقدار هواویز در ایران منطقه‌ای بین زاهدان تا بم است که در هر سه ماهواره مورد بررسی بیش از یک است؛ بیشینه مقدار شاخص هواویز بر اساس داده‌های سنجنده TOMS ماهواره Nimbus7 (۱۹۹۲-۱۹۷۹) در جنوب غرب ایران ۱/۰۸۸ به دست آمده است. طی دوره زمانی ۲۰۱۵-۲۰۰۵ بر اساس سنجنده OMI ماهواره EOS Aura بیشینه افزایش ۰/۱۴۳ را تجربه کرده است که نشان‌دهنده افزایش مقدار گردوخاک در فصل زمستان در ایران است.

فصل بهار بیشینه مقدار هواویز در سنجنده TOMS ماهواره EP (۰/۹۷۷ تا ۲/۳۰۵) طی دوره ۱۹۹۶-۲۰۰۵ مشاهده می‌شود. سنجنده OMI که دگرگونی هواویز را در دوره اخیر نشان می‌دهد مقدار هواویز بیشینه که بر اساس سنجنده TOMS تنها بخش‌های استان خوزستان را در بر گرفته بود اما بر اساس اطلاعات ماهواره Aura تمامی استان خوزستان، بخش‌های جنوبی استان ایلام، و بخش‌هایی از استان‌های کهگیلویه و بویراحمد و چهارمحال و بختیاری را در بر گرفته است. بار هواویزهای ورودی به ایران از سوی مرزهای غربی و جنوب غربی در فصل بهار که بتوانند پتانسیل بالایی برای ایجاد طوفان‌های گرد و خاکی داشته باشند می‌تواند ناشی از سه الگوی همدید باشد که خوش اخلاق و همکاران (۱۳۹۱) این سه

هوایز کمتری نسبت به مناطق مرزی جنوب غرب و شرق کشور داشته‌اند اما در پاییز مناطقی با هوایز بالا تقریباً تمامی مناطق به غیر از سواحل شمالی، شمال غرب و رشته کوه زاگرس را در بر گرفته است. دشت کویر طی سه دوره زمانی متفاوت زمانی (۱۹۹۲-۱۹۷۹؛ ۲۰۰۵-۱۹۹۶ و ۲۰۱۵-۲۰۰۵) ضمن افزایش شدت شاخص هوایز بر وسعت مکانی آن نیز افزوده شده است به طوری که بر اساس اطلاعات ماهواره Nimbus7 مقدار شاخص ۰/۸۹۱، ماهواره EP شاخص به ۰/۹۸۷ رسیده است. در دوره اخیر (۲۰۱۵-۲۰۰۵) و بر اساس پرونداد سنجنده OMI ماهواره EOS Aura مقدار شاخص به ۱/۲۱۱ رسیده است. منطقه دیگری که شاخص هوایز (AI) رشد قابل توجهی را دهه اخیر بر اساس سنجنده OMI نشان داده است شمال شرق ایران و منطقه سرخس است که شاخص بالای ۱ رسیده است.

در دوره سرد سال (فصل پاییز و زمستان) مقدار شاخص هوایز (AI) در هر سه ماهواره مورد مطالعه Nimbus7، EP و EOS Aura در فصل زمستان مقدار شاخص هوایز (AI) بیشتر از فصل پاییز است. علت نخستی که می‌توان برای این اختلاف عنوان کرد وجود مناطق پر جمعیت و صنعتی است که در زمستان باعث افزایش آلودگی ناشی از فعالیت‌های انسانی است. همچنین دمای کم به همراه عمق کم لایه مرزی و ردسپهر در زمستان به همراه همان‌طور که بحث شد با افزایش آلودگی‌های انسانی ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی یک توده متمرکز از هوایزها در نزدیکی سطح زمین ایجاد شود که این امر تا حدودی به افزایش شاخص هوایز (AI) فصل زمستان نسبت به فصل پاییز کمک می‌کند. ذرات درشت‌تر در ارتباط با عوامل طبیعی قابل توجه است که در ارتباط با مناطق با بیابانی و خشک و وسیع واقع در جنوب غرب، جنوب و جنوب شرق ایران است. گودی و میدلتون (۲۰۰۶) چهار منطقه با منشأ اصلی شاخص هوایز در خاورمیانه را: ۱- منطقه ساحلی مکران که در جنوب شرق ایران و به سمت پاکستان گسترش دارد. ۲- منطقه وسیعی

گرد و خاک‌های ترابرد شده توسط باد تابستانی شمال در جنوب غربی ایران کیفیت هوا را به شدت کاهش داده و مقدار هوایز را افزایش می‌دهند. عمده کانون‌های هوایز در فصل تابستان در جنوب غرب، سواحل خلیج فارس در بوشهر و جنوب شرق ایران در سواحل دریای عمان اتفاق افتاده است. همچنین کانونی از شاخص هوایز که در استان سمنان بر اساس اطلاعات سنجنده TOMS طی دوره‌های ۱۹۹۲-۱۹۷۹ و ۲۰۰۵-۱۹۹۶ تشکیل شده بود. طی دوره آماری ۲۰۱۵-۲۰۰۵ افزایش چشم‌گیری داشته است.

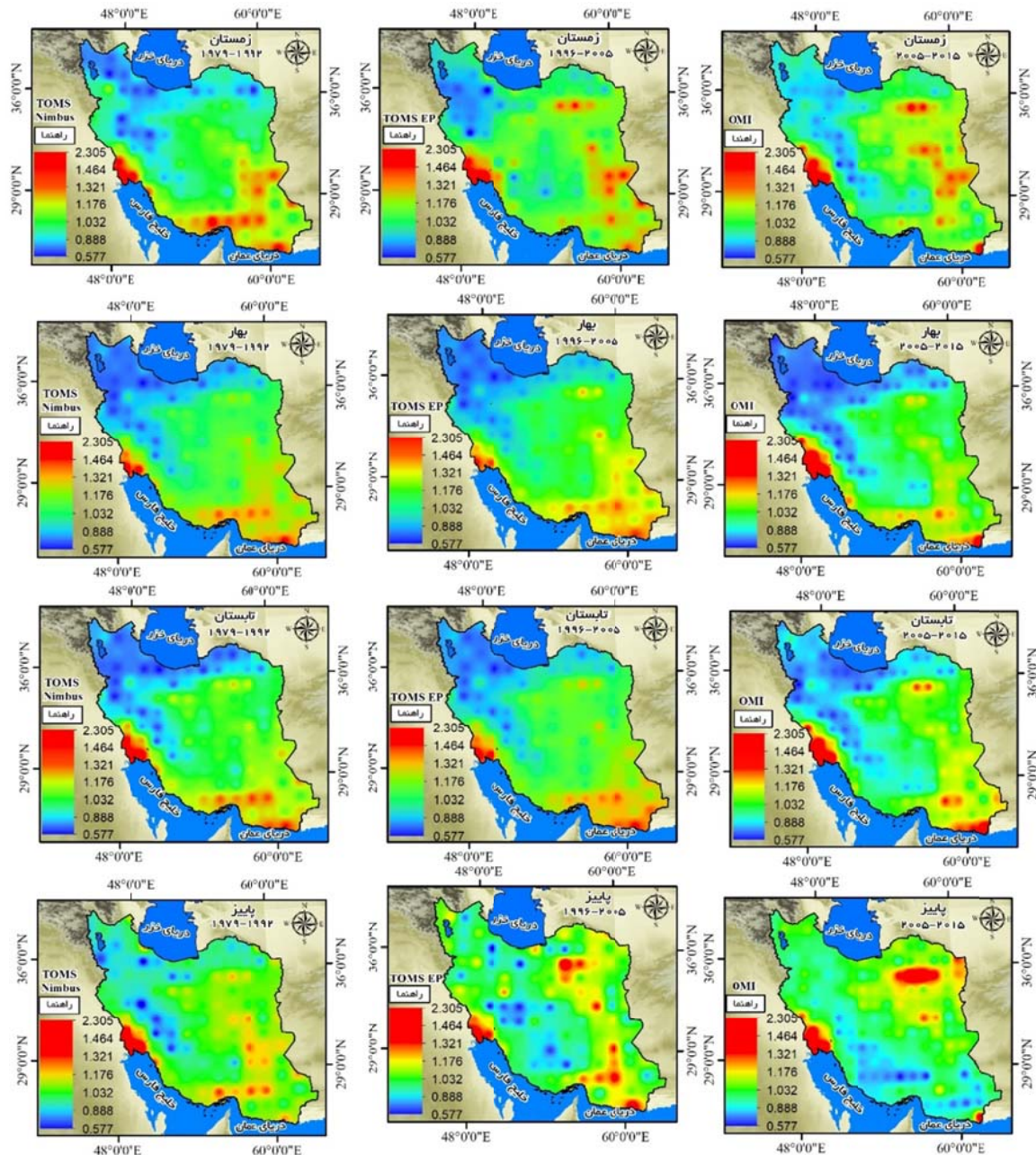
راشکی و همکاران (۲۰۱۴) نشان دادند که در منطقه سیستان و گستره وسیعی از آن در ماه‌های اواخر بهار و تابستان به‌ویژه در شرق سیستان (جنوب شرق ایران) مقدار هوایز به‌طور قابل توجهی افزایش می‌یابد. همچنین دریافتند که در طول فصل زمستان مقادیر هوایز بالایی در حوضه سند در پاکستان و برخی از مناطق همچون عربستان و سیستان مشاهده می‌شود؛ که راشکی و همکاران (۲۰۱۴) مقدار بالای منطقه اول را ناشی از هوایزهای انسانی نسبت داده‌اند. بر اساس داده‌های سنجنده‌های TOMS و OMI بیشینه مناطق فعال در سواحل بلوچستان و مکران است. مکران منطقه‌ای فراخشک متعلق به اواخر دوره کواترنر است. مواد کوه‌های داخلی در قسمت نوار ساحل ذخیره می‌شود و مواد ریزه به اندازه سیلت از رودخانه موقتی و مخروط افکنه‌ها به طرف جنوب خلیج فارس منتقل شده و در ساحل رسوب می‌کنند. منطقه مرزی ایران، افغانستان و پاکستان به دشت مارگو مشهور است. قسمت‌های پست این منطقه کوهستانی مثل حوضه سیستان منطقه برداشت گردو خاک است (گودی و میدلتون، ۲۰۰۶).

فصل پاییز جنوب غرب ایران همچنان کانون بیشینه شاخص هوایز (AI) در ایران است؛ جنوب شرق ایران و به‌ویژه چابهار نیز همچنان یکی از کانون‌های اصلی هوایز در ایران است. بر خلاف فصول پیشین نظم مکانی شاخص هوایز در ایران از پراکندگی بالایی برخوردار است؛ در این فصل بر خلاف فصول پیشین که ایران مرکزی مقدار



هواویزها در این شهر بوده است. بعد از جنگ ایران و عراق، استخراج نفت در اطراف تالاب، سطح آب را کاهش داد و فراوانی طوفان‌های گرد و غبار در خوزستان را افزایش داد. دلیل دوم این است که برخی منابع گرد و خاک در خاورمیانه مانند عراق، سوریه و شبه جزیره عربستان به تولید گرد و خاک در منطقه کمک می‌کنند.

در مرکز پاکستان، ۳-منطقه وسیعی در مرز ایران، افغانستان و پاکستان در حوضه سیستان. ۴-منطقه‌ای که تا حدودی با دلتای سند در ارتباط است؛ معرفی کردند که با نتایج به‌دست در این تحقیق همراستا است. خشک شدن تالاب هورالعظیم در دوره مورد مطالعه، یکی از تالاب‌های مهم در جنوب غربی ایران، احتمالاً دلیل اصلی غلظت بالای



شکل ۱. شاخص هواویز فصلی ایران مبتنی بر داده‌های سنجنده‌های TOMS و OMI سه ماهواره Earth Probe، Nimbus 7 و EOS Aura (نام فصل، ماهواره و سنجنده در هر شکل نوشته شده است و برای مقایسه بهتر مقیاس نقشه‌ها یکسان شد).

ایران در ماه‌های سرد سال منسجم‌تر از ماه‌های گرم سال می‌باشد. همچنین متناسب با تغییرات فصلی دمای هوا، بیشینه ارتفاع لایه مرزی در ماه‌های سرد سال در نواحی جنوب شرق ایران و در ایام گرم سال به‌خصوص ماه‌های ژوئن و ژولای، در نواحی مرکزی ایران مانند مناطق جنوب کرمان شمال استان هرمزگان رخ می‌دهد. تغییرات شاخص هواویز (AI) نیز در ایران نشان داده است که جنوب و جنوب شرق ایران یکی از مهم‌ترین کانون‌های هواویز در ایران هستند که بر این اساس می‌توان اذعان داشت که شاخص هواویز (AI) در ایران را به ارتفاع لایه مرزی حساسیت بالایی دارد. همچنین احمدی و همکاران (b) (۱۳۹۸) تأثیر ارتفاع لایه‌مرزی در طوفان‌های گردو خاک جنوب غرب ایران طی طوفان فراگیر ۲۱ تا ۲۴ فوریه ۲۰۱۶ مورد ارزیابی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که لایه‌مرزی وردسپهر در ایجاد تلاطم و ترابرد گردو خاک به کشور نقش مهم و غیرقابل‌انکاری را دارا می‌باشد به طوری که در هر ۴ روز مورد مطالعه همبستگی بین ارتفاع لایه‌مرزی و عمق نوری ذرات بیشتر از ۰/۷۰ بوده است. همچنین سرعت باد و دمای بالا می‌تواند باعث افزایش شاخص هواویز (AI) شود چرا که با کاهش خلوص خاک؛ حساسیت خاک به سایش بادی بیشتر می‌شود در نتیجه مقدار هواویز موجود در وردسپهر نیز افزایش خواهد یافت.

### ۳-۳. نقطه تغییر شاخص جذب هواویز (AAI) سالانه

#### در ایران

وردایی سالانه شاخص هواویز (AI) در ایران در جدول ۲ و شکل ۲ نشان داده شد. به‌رغم وجود نوسان شاخص هواویز (AI) که ذات طبیعی آب‌وهوا است؛ اما تغییراتی در مقدار شاخص در ایران مشهود است که بیشتر نقش عامل انسانی آن در دیده می‌شود. در هیچ یک از فصول مورد مطالعه روند صعودی و نزولی شاخص هواویز (AI) یکنواخت نیست. ارزیابی نقطه تغییر در ایران مؤید افزایشی بودن مقدار شاخص در سری زمانی مورد مطالعه

پروسپرو و همکاران (۲۰۰۲) برای تشخیص مناطق تحت پوشش گردو خاک‌های بیابانی با استفاده از داده‌های سنجنده TOMS و شاخص جذب هواویز (AAI) مقدار ۰/۷ را در بسیاری از نقاط جهان پیشنهاد کردند؛ همچنین مقدار آستانه‌ای ۱ را در شمال آفریقا، خاورمیانه و آسیای مرکزی پیشنهاد کردند. لذا می‌توان اذعان داشت که مناطقی با مقدار شاخص هواویز  $> 1$  در ایران ناشی رویدادهای گردو خاکی است. گودی و میدلتون (۲۰۰۶) با ارزیابی‌های جهانی داده‌های سنجنده TOMS نشان دادند که قسمت‌های مهم اراضی خشک دنیا همچون خاورمیانه و جنوب غرب آسیا منابع عمده هواویزها ناشی از گردو خاک بیابانی جهان هستند. نامبردگان اشاره کردند که بارزترین ویژگی این مناطق اهمیت زهشکی درونی حوضه‌های بزرگ است که به‌عنوان منشأ هواویز است که از منطقه سیستان نیز نامبردند. پروسپرو و همکاران (۲۰۰۲) بیشتر منابع هواویز را مربوط نهشته‌های آبرفتی وسیع و عمیق دانسته‌اند و تپه‌های شنی را منبع خوبی برای ایجاد ریزگرد دانه‌ریز نمی‌دانند. یکی از دلایل مهم انتشار گردو خاک منطقه‌ای در ایران وردایی ارتفاع لایه مرزی است که تاکنون در کمتر پژوهشی به‌ویژه مطالعات مربوط به گردو خاک مورد توجه قرار گرفته است. بالاترین ارتفاع لایه مرزی با مناطقی است که شار گرمایی قابل‌ملاحظه‌ای وجود داشته باشد و شار گرمای نهان به‌علت فقدان پوشش گیاهی و منابع آب کم باشد. علاوه بر این در مناطق بیابانی ابرهای کمی وجود دارد؛ در نتیجه تابش خورشیدی جذب شده در سطح افزایش می‌یابد (مهوالد و دوفرسنه، ۲۰۰۴). بنابراین ارتفاع لایه مرزی در مناطق بسیار خشک و مناطق مرکزی بیابانی طبیعتاً بالاتر از مناطق مرطوب‌تر حاشیه بیابان است در نتیجه مقدار شاخص هواویز (AI) از شدت بیشتری برخوردار خواهد بود. حساسیت بالای شاخص هواویز به ارتفاع لایه مرزی پیش‌تر توسط پروسپرو و همکاران (۲۰۰۲) و مهوالد و دوفرسنه (۲۰۰۴) اثبات شده است. احمدی و همکاران (۱۳۹۸a) نشان دادند که تغییرات فضایی ارتفاع لایه مرزی

است؛ به طوری که در هیچ یک از سه ماهواره و سنجنده مورد بررسی پس از نقطه تغییر میانگین به دست آمده کمتر از پیش از نقطه تغییر نبوده است که نشان دهنده افزایش قابل توجه ذرات موجود در وردسپهر ایران است. همان طور که آزمون Buishand نشان داده است؛ بیشینه تغییرات افزایشی مربوط به سنجنده OMI ماهواره EOS Aura است. به طوری که اختلاف پیش و پس از نقطه تغییر در این سنجنده ۰/۱۶۶ محاسبه شد. که به نوعی می توان اذعان داشت ناهنجاری مثبت در مقدار شاخص هواویز (AI) در این سنجنده به دست آمده است. درصد یاخته های که دارای نقطه تغییر بوده اند نیز در جدول ۲ نشان داده شد. همان طور که در جدول نیز پیداست بیشینه یاخته های دارای نقطه تغییر مربوط به ماهواره Nibbus7 با ۷۰/۸۶ درصد بوده است. همچنین ماهواره Aura با ۴۴/۴۴ درصد از یاخته های دارای نقطه تغییر بعد از ماهواره Nimbus7 دارای مقدار بیشینه است. همان طور که در جدول ۲ نشان داده شد بر اساس میزان سطح معناداری آزمون Buishand در تمامی یاخته های مورد مطالعه که نقطه تغییر در سری سالانه شاخص هواویز (AI) وجود داشته است جهش در سری داده ها برای سنجنده TOMS ماهواره Nimbus7 در سال ۱۹۸۳؛ سنجنده TOMS ماهواره EP سال ۲۰۰۰ و سنجنده OMI ماهواره Aura در سال ۲۰۰۷ اتفاق افتاده است. همان طور که گفته شد سال های مورد اشاره به طور متوسط در تمامی یاخته ها هستند؛ از مهم ترین دلایلی که اختلاف در یاخته ها وجود دارد را می توان تغییر در کاربری اراضی سطح زمین، کارایی سامانه های همدید و موقعیت قرارگیری یاخته که متأثر از طول و عرض جغرافیایی، توپوگرافی، شیب و وجه شیب عنوان کرد.

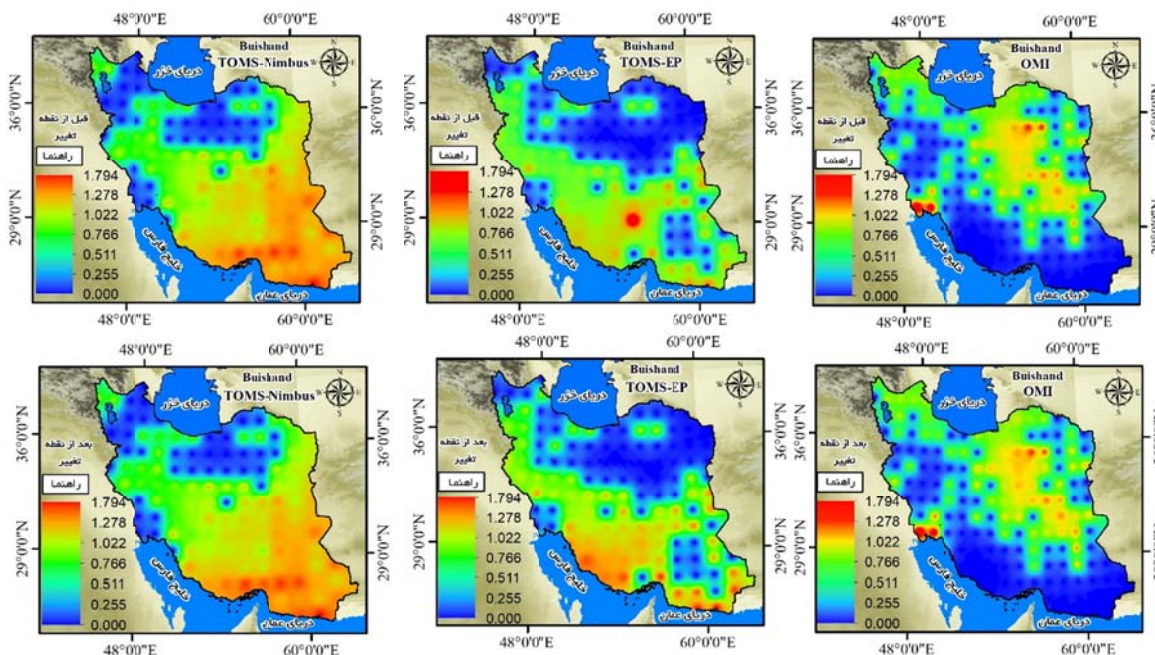
توزیع فضایی میانگین سالانه شاخص هواویز پیش و پس از نقطه تغییر در شکل ۲ نشان داده شد؛ در این شکل مناطقی که با مقدار صفر نشان داده شدند فاقد نقطه تغییر هستند؛ همچنین مقادیری که در راهنمای شکل ها دیده می شود همان طور که گفته شد میانگین نقطه تغییر پیش و پس از نقطه تغییر است. بر اساس اطلاعات ماهواره Nimbus7 بیشینه مناطقی که دارای نقطه تغییر هستند در جنوب شرق و جنوب ایران قرار گرفته اند؛ اطلاعات ماهواره EP و سنجنده TOMS برای دوره ۲۰۰۵-۱۹۹۶ تقریباً همان الگو را نشان داده است با این تفاوت که ۳۰/۸۳ درصد از یاخته های سنجنده TOMS که در ماهواره پیشین (Nimbus7) دارای نقطه تغییر بودند در این ماهواره (Earth Probe) کمتر شده اند. به لحاظ توزیع فضایی یاخته های دارای نقطه تغییر سنجنده OMI از ماهواره EOS Aura الگوی متفاوتی را ارائه داده است؛ بر اساس اطلاعات این ماهواره جنوب، جنوب شرق و بخش چشم گیری از غرب ایران فاقد نقطه تغییر هستند و بیشینه یاخته هایی که دارای نقطه تغییر هستند در جنوب غرب و به خصوص در استان خوزستان، و مناطق داخلی و شمال شرق ایران قرار دارند. عدم نقطه تغییر در سری زمانی ۲۰۱۵-۲۰۰۵ سنجنده OMI به این مفهوم نیست که این مناطق فاقد روند هستند بلکه در این سری زمانی ۱۱ ساله نقطه تغییری مشاهده نشده است؛ این می تواند وجود یک روند افزایشی بی وقفه یا عدم تغییر جدی در مقدار گردغبارهای موجود در وردسپهر این مناطق باشد که مستلزم پژوهشی مستقل در این زمینه است. اما آنچه که این سنجنده در خصوص هواویزهای ایران آشکار ساخته است افزایش قابل توجه در مقدار هواویز موجود در وردسپهر ایران است. نقطه تغییر را می توان یک آزمون کارآمد در مطالعات آب و هواشناسی قلمداد کرد؛ به طوری که در این مطالعه سال نقطه تغییر را می توان تغییر فاز دوره های فعال و غیر فعال هواویزها عنوان کرد. نامداری و همکاران (۲۰۱۶) در مطالعه خود که عمق نوری هواویزها (AOD) در غرب ایران را مطالعه قرار داده است دو دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۷ و ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۴ را برای AOD به دست آوردند که اختلاف آماری بین AOD ماهانه داشته اند که نتایج به دست آمده نقطه تغییر شاخص هواویز (AI) را برای اساس داده های سنجنده TOMS ماهواره Aura را تأیید می کند.

است؛ به طوری که در هیچ یک از سه ماهواره و سنجنده مورد بررسی پس از نقطه تغییر میانگین به دست آمده کمتر از پیش از نقطه تغییر نبوده است که نشان دهنده افزایش قابل توجه ذرات موجود در وردسپهر ایران است. همان طور که آزمون Buishand نشان داده است؛ بیشینه تغییرات افزایشی مربوط به سنجنده OMI ماهواره EOS Aura است. به طوری که اختلاف پیش و پس از نقطه تغییر در این سنجنده ۰/۱۶۶ محاسبه شد. که به نوعی می توان اذعان داشت ناهنجاری مثبت در مقدار شاخص هواویز (AI) در این سنجنده به دست آمده است. درصد یاخته های که دارای نقطه تغییر بوده اند نیز در جدول ۲ نشان داده شد. همان طور که در جدول نیز پیداست بیشینه یاخته های دارای نقطه تغییر مربوط به ماهواره Nibbus7 با ۴۴/۴۴ درصد بوده است. همچنین ماهواره Aura با ۴۴/۴۴ درصد از یاخته های دارای نقطه تغییر بعد از ماهواره Nimbus7 دارای مقدار بیشینه است. همان طور که در جدول ۲ نشان داده شد بر اساس میزان سطح معناداری آزمون Buishand در تمامی یاخته های مورد مطالعه که نقطه تغییر در سری سالانه شاخص هواویز (AI) وجود داشته است جهش در سری داده ها برای سنجنده TOMS ماهواره Nimbus7 در سال ۱۹۸۳؛ سنجنده TOMS ماهواره EP سال ۲۰۰۰ و سنجنده OMI ماهواره Aura در سال ۲۰۰۷ اتفاق افتاده است. همان طور که گفته شد سال های مورد اشاره به طور متوسط در تمامی یاخته ها هستند؛ از مهم ترین دلایلی که اختلاف در یاخته ها وجود دارد را می توان تغییر در کاربری اراضی سطح زمین، کارایی سامانه های همدید و موقعیت قرارگیری یاخته که متأثر از طول و عرض جغرافیایی، توپوگرافی، شیب و وجه شیب عنوان کرد.

توزیع فضایی میانگین سالانه شاخص هواویز پیش و پس از نقطه تغییر در شکل ۲ نشان داده شد؛ در این شکل مناطقی که با مقدار صفر نشان داده شدند فاقد نقطه تغییر هستند؛ همچنین مقادیری که در راهنمای شکل ها دیده می شود همان طور که گفته شد میانگین نقطه تغییر پیش و پس از نقطه تغییر است. بر اساس اطلاعات ماهواره Nimbus7 بیشینه مناطقی که دارای نقطه تغییر هستند در جنوب شرق و جنوب ایران قرار گرفته اند؛ اطلاعات ماهواره EP و سنجنده TOMS برای دوره ۲۰۰۵-۱۹۹۶ تقریباً همان الگو را نشان داده است با این تفاوت که ۳۰/۸۳ درصد از یاخته های سنجنده TOMS که در ماهواره پیشین (Nimbus7) دارای نقطه تغییر بودند در این ماهواره (Earth Probe) کمتر شده اند. به لحاظ توزیع فضایی یاخته های دارای نقطه تغییر سنجنده OMI از ماهواره EOS Aura الگوی متفاوتی را ارائه داده است؛ بر اساس اطلاعات این ماهواره جنوب، جنوب شرق و بخش چشم گیری از غرب ایران فاقد نقطه تغییر هستند و بیشینه یاخته هایی که دارای نقطه تغییر هستند در جنوب غرب و به خصوص در استان خوزستان، و مناطق داخلی و شمال شرق ایران قرار دارند. عدم نقطه تغییر در سری زمانی ۲۰۱۵-۲۰۰۵ سنجنده OMI به این مفهوم نیست که این مناطق فاقد روند هستند بلکه در این سری زمانی ۱۱ ساله نقطه تغییری مشاهده نشده است؛ این می تواند وجود یک روند افزایشی بی وقفه یا عدم تغییر جدی در مقدار گردغبارهای موجود در وردسپهر این مناطق باشد که مستلزم پژوهشی مستقل در این زمینه است. اما آنچه که این سنجنده در خصوص هواویزهای ایران آشکار ساخته است افزایش قابل توجه در مقدار هواویز موجود در وردسپهر ایران است. نقطه تغییر را می توان یک آزمون کارآمد در مطالعات آب و هواشناسی قلمداد کرد؛ به طوری که در این مطالعه سال نقطه تغییر را می توان تغییر فاز دوره های فعال و غیر فعال هواویزها عنوان کرد. نامداری و همکاران (۲۰۱۶) در مطالعه خود که عمق نوری هواویزها (AOD) در غرب ایران را مطالعه قرار داده است دو دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۷ و ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۴ را برای AOD به دست آوردند که اختلاف آماری بین AOD ماهانه داشته اند که نتایج به دست آمده نقطه تغییر شاخص هواویز (AI) را برای اساس داده های سنجنده TOMS ماهواره Aura را تأیید می کند.

جدول ۲. نقطه تغییر شاخص جذب هواویز (AAI) سالانه در ایران با استفاده از سنجنده‌های TOMS و OMI بر اساس آزمون Buishand

| ماهواره/سنجنده | درصد یاخته‌های دارای نقطه تغییر | نقطه تغییر (سال) | میانگین AAI پیش از تغییر | میانگین AAI پس از تغییر |
|----------------|---------------------------------|------------------|--------------------------|-------------------------|
| TOMS Nimbus 7  | ۷۰/۸۶                           | ۱۹۸۳             | ۰/۹۰۲                    | ۱/۰۴۳                   |
| TOMS EP        | ۴۰/۰۳                           | ۲۰۰۰             | ۱/۱۴۳                    | ۱/۲۸۴                   |
| OMI EOS Aura   | ۴۴/۴۴                           | ۲۰۰۷             | ۰/۹۱۱                    | ۱/۰۷۷                   |



شکل ۲. نقطه تغییر شاخص هواویز (AI) در ایران اساس آزمون Buishand مبتنی بر داده‌های سنجنده‌های TOMS و OMI سه ماهواره Earth, Nimbus 7 و EOS Aura و Probe (برای مقایسه بهتر مقیاس نقشه‌ها یکسان شد).

#### ۴. نتیجه‌گیری

نفوذ گرد و غبار به وردسپهر یک فرآیند پیچیده است که منجر به تعامل بین حرکت جریان هوا و ذرات خاک بر روی زمین می‌شود (سچپانسکی، ۲۰۱۸). شناخت درست این پدیده می‌تواند در حوزه‌های مختلف سلامت، کیفیت آب‌وهوای شهری، واداشت منطقه‌ای آب‌وهوا و به‌عنوان مؤلفه ورودی مدل‌های آب‌وهوایی برای پیش‌بینی آن کارا باشد. در این پژوهش از داده‌های TOMS Nimbus 7 (۱۹۷۹ تا ۱۹۹۲) Earth Probe (۱۹۹۶ تا ۲۰۰۵) و OMI (۲۰۰۵ تا ۲۰۱۵) برای وردایی زمانی-مکانی و نقطه تغییر شاخص جذب هواویز (AAI) در ایران استفاده شد. از روش Buishand برای نقطه تغییر سری زمانی داده‌ها

استفاده شد.

نتایج تحقیق نشان داد در هر سه ماهواره و دو سنجنده مورد مطالعه دوره گرم سال بیشینه شاخص هواویز (AI) را به خود اختصاص داده است. وردایی فصلی شاخص هواویز در ایران ناشی از اختلاط لایه‌های وردسپهر است؛ در بین فصول، بهار بیشینه شاخص را نشان داده است که مبین فعال شدن چشمه‌های منطقه‌ای گردوخاک است. کمینه مقدار شاخص هواویز (AI) در فصل زمستان اتفاق افتاده است که به‌علت افزایش بارش در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. بارندگی دو اثر کنترلی مهم بر فعالیت طوفان‌های گرد و خاک دارد: ۱- از راه رطوبت خاک و ۲- پوشش گیاهی. بارهای هواویزها در سطح وسیعی از ایران را

می‌توان در سه دسته کلی تقسیم‌بندی کرد:

۱- فعالیت‌های شهری/صنعتی و سوزاندن زیست‌توده (عمدتاً در اصفهان، تبریز، تهران و خوزستان)، ۲- ترابرد گرد و خاک مناطق بیابانی و نیمه‌خشک (عمدتاً مناطق خشک و نیمه خشک عراق، سوریه، عربستان سعودی و شمال آفریقا) و ۳- محیط‌های دریایی. شایان ذکر است ذرات هواویزهای ناشی از فعالیت‌های انسانی ریزتر هستند در حالی که ذرات ناشی از منابع طبیعی درشت‌تر هستند. یکی از دلایل افزایش گرد و خاک شرایط خشکسالی و دمای بسیار زیاد است انتظار می‌رود که کمک به تغییرات آب‌وهوایی باشد. به نظر می‌رسد که انتشار ذرات حساس به افزایش دما، رطوبت نسبی را کاهش می‌دهد، بنابراین باعث افزایش تبخیر می‌شود. توزیع فضایی گردو خاک در ایران نشان داده است که مناطق داخلی نسبت به مناطق مرزی شاخص هواویز (AI) کمتری دارد که به دلیل نقش سدکنندگی ارتفاعات به‌ویژه زاگرس است.

نقش گردش منطقه‌ای وردسپهر در انتشار و ترابرد هواویزها به ایران نقش قابل توجهی دارد به‌طوری که در اواسط بهار تا اواخر تابستان یک کم‌فشار گرمایی در عربستان شکل می‌گیرد و تا جنوب غرب ایران کشیده می‌شود و این اختلاف فشار قوی مسئول ایجاد باد شمال تابستانی با جهت‌گیری شمال غربی است (علیزاده‌چوبری و همکاران، ۲۰۱۶). بر این اساس بادهای شمال تابستانه باعث انتشار گرد و خاک از منابع بالقوه گرد و خاک (منطقه بین النهرین، بیابان‌های خشک غرب آسیا) در منطقه می‌شود. در دوره سرد سال الگوی مکانی شاخص هواویز (AI) در ایران نسبتاً غیر متناوب است که مهم‌ترین دلیل آن مقدار چشم‌گیر رطوبت و بارش سامانه‌هایی است که ایران را تحت تأثیر قرار می‌دهند. عامل مهم دیگری که در انتشار گردو خاک در ایران نقش قابل توجهی دارد ارتفاع لایه مرزی (PBL) است. همان‌طور که مه‌والد و دوفرسنه (۲۰۰۴) بالاترین ارتفاع لایه مرزی را با مناطقی که شار گرمایی قابل ملاحظه‌ای وجود دارد و شار گرمای نهان به‌علت فقدان پوشش گیاهی و منابع آب کم باشد

دانسته‌اند؛ مشخص شد که مناطقی که شاخص هواویز (AI) در آن بالاست به استناد پژوهش احمدی و همکاران (a ۱۳۹۸) ارتفاع لایه مرزی نیز در آن مناطق بالا بوده است. احمدی و داداشی رودباری (۲۰۱۷) در تأیید نتیجه به‌دست آمده با ارزیابی طوفان فراگیر گردو خاک ۸ فوریه ۲۰۱۵ نشان دادند که درست بعد از شیوع اولین گرد و خاک، گرد و خاک‌های موجود در وردسپهر در ارتفاعی زیر ستون ۱/۵ کیلومتری باقی می‌ماند، که به‌خوبی نقش لایه مرزی وردسپهر (ABL) را در ترابرد و کنترل گرد و غبار در منطقه را نشان می‌دهد.

نقطه تغییر شاخص جذب هواویز (AAI) سالانه ایران با استفاده از آزمون Buishand نشان داده شاخص هواویز بر اساس اطلاعات سه ماهواره و دو سنجنده مورد ارزیابی روندی صعودی داشته است به‌طوری که میانگین شاخص هواویز (AI) پس از نقطه تغییر در هر سه ماهواره و دو سنجنده مورد بررسی بیشتر از پیش از نقطه تغییر بوده است. بیشینه افزایش شاخص نیز مربوط به دوره ۲۰۱۵-۲۰۰۵ سنجنده OMI ماهواره EOS Aura است؛ که میانگین پس از نقطه تغییر ۰/۱۶۶ بیش از پیش از نقطه تغییر بوده است. به لحاظ درصد یاخته‌های دارای نقطه تغییر سنجنده TOMS ماهواره Nimbus7 با ۷۰/۸۶ درصد از مجموع یاخته بیشینه مقدار را به خود اختصاص داده است. سال‌های ۱۹۸۳، ۲۰۰۰ و ۲۰۰۷ به‌ترتیب برای ماهواره‌های Earth Probe، Nimbus7 و EOS Aura به‌عنوان سال‌های میانگین جهش در سری زمانی تشخیص داده شدند که به‌نوعی پرتکرارترین سال‌های جهش در سری زمانی هستند. در تأیید نتایج به‌دست آمده نامداری و همکاران (۲۰۱۶) که عمق نوری هواویزهای ماهانه غرب ایران را مطالعه کردند دو دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۷ و ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۴ را به‌عنوان دو سری متفاوت به‌جهت تفاوت در رفتار AOD شناسایی کردند که در مقایسه با متوسط نقطه تغییر شاخص هواویز (AI) سنجنده OMI ماهواره Aura همخوانی بالایی دارد. لذا از سال‌های نام‌برده می‌توان به‌عنوان گرانیگاه دوره فعال و غیر فعال شاخص هواویز در

ایران یاد کرد.

تأثیر ارتفاع لایه‌مرزی در طوفان‌های گردو خاک جنوب غرب ایران (مطالعه موردی ۲۱ تا ۲۴ فوریه ۲۰۱۶)، مخاطرات محیط طبیعی، ۸(۱۹)، ۱۵۱-۱۷۴.

### تشکر و قدردانی

مقاله حاضر مستخرج از رساله دکتری آب‌وهواشناسی (گرایش شهری) دانشگاه «شهید بهشتی» با عنوان «واکاوی وردایی زمانی-مکانی الگوهای قائم و افقی ریزگردها و ارزیابی بازخوردهای آب هوایی آن در ایران» است که با پشتیبانی صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور (بنیاد ملی علم ایران) (INSF) با کد ۹۶۰۰۰۹۹۳ انجام شد.

ارجمند، م.، راشکی، ع. و سرگزی، ح.، ۱۳۹۷، پایش زمانی و مکانی پدیده گردو خاک با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای در جنوب شرق ایران، با تأکید بر منطقه جازموریان، فصلنامه علمی-پژوهشی اطلاعات جغرافیایی سپهر، ۲۷(۱۰۶)، ۱۵۳-۱۶۸.

انصافی‌مقدم، ط.، خوش‌اخلاق، ف.، شمسی‌پور، ع.ا.، اخوان، ر.، صفرراد، ط. و امیراصلانی، ف.، ۱۳۹۶، پایش و ارزیابی اثرات گردو خاک بر تغییرات بارش در جنوب غرب ایران با استفاده از سنجش از دور و GIS، سنجش از دور و GIS ایران، ۹(۲)، ۷۹-۹۸.

### مراجع

احمدی، م.، و داداشی رودباری، ع.، ۱۳۹۷، آشکارسازی روند و نقطه تغییر گردو خاک با استفاده از شاخص جذب هواویز (AAI) در پهنه‌های کلان آب‌وهوایی ایران مبتنی بر برون داد داده‌های سنجش از دور، هفتمین همایش ملی مدیریت آلودگی هوا و صدا، ۸ و ۹ بهمن ۱۳۹۷ دانشگاه شهید بهشتی، تهران.

بیات، ع.، ۱۳۹۲، دسته بندی هواویزهای جوی با استفاده از داده‌های قطبیده شیدسنج خورشیدی، پایان نامه دکتری، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان.

احمدی، م.، داداشی رودباری، ع. و احمدی، ح.، ۱۳۹۸ا، واکاوی وردایی زمانی-مکانی ارتفاع لایه مرزی ایران مبتنی بر برون داد پایگاه داده مرکز پیش‌بینی میان‌مدت و ردسپهر اروپایی (ECMWF)، فصلنامه جغرافیا و توسعه، ۱۷(۵۴)، ۱۶۳-۱۸۴.

خوش‌اخلاق، ف.، نجفی، م. س. و صمدی، م.، ۱۳۹۱، واکاوی هم‌دید رخداد گردو خاک بهاره در غرب ایران. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۴۴(۲)، ۹۹-۱۲۴. عزیزاده‌چوبری، ا. و نجفی، م. س.، ۱۳۹۶، روند تغییرات دمای هوا و بارش در مناطق مختلف ایران، فیزیک زمین و فضا، ۴۳(۳)، ۵۶۹-۵۸۴.

احمدی، م.، داداشی رودباری، ع. و جعفری، م.، ۱۳۹۸b،

storm over Indian region and its impact on the ground reaching solar radiation—a case study using multi-satellite data and ground measurements, Science of the Total Environment, 384, 316-332.

Ahmadi, M. and DadashiRoudbari, A., 2017, Regional modeling of dust storm of February 8, 2015 in the southwest of Iran, Arabian Journal of Geosciences, 10(21), 459.

Alizadeh-Choobari, O., Ghafarian, P. and Oulad, E., 2016, Temporal variations in the frequency and concentration of dust events over Iran based on surface observations. International Journal of Climatology, 36(4), 2050-2062.

Babu, S. S., Manoj, M. R., Moorthy, K. K., Gogoi, M. M., Nair, V. S., Kompalli, S. K., Satheesh, S. K., Niranjan, K., Ramagopal, K., Bhuyan, P. K. and Singh, D., 2013, Trends in aerosol optical depth over Indian region: Potential causes and impact indicators, Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 118(20).

Badarinath, K. V. S., Kharol, S. K., Kaskaoutis, D. G. and Kambezidis, H. D., 2007, Dust

Baddock, M. C., Bullard, J. E. and 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.

Buchard, V., da Silva, A. M., Colarco, P. R., Darmenov, A., Randles, C. A., Govindaraju, R., Torres, O., Campbell, J. and Spurr, R., 2015, Using the OMI aerosol index and absorption aerosol optical depth to evaluate the NASA MERRA Aerosol Reanalysis, Atmospheric Chemistry and Physics, 15(10), 5743.

Buishand, T. A., 1982, some methods for testing

- the homogeneity of rainfall records, *Journal of hydrology*, 58(1-2), 11-27.
- de Leeuw, G., Sogacheva, L., Rodriguez, E., Kourtidis, K., Georgoulas, A. K., Alexandri, G., Amiridis, V., Proestakis, E., Marinou, E. and Xue, Y., 2018, Two decades of satellite observations of AOD over mainland China using ATSR-2, AATSR and MODIS/Terra: data set evaluation and large-scale patterns, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 18(3), 1573.
- Deroubaix, A., Martiny, N., Chiapello, I. and Marticoréna, B., 2013, Suitability of OMI aerosol index to reflect mineral dust surface conditions: Preliminary application for studying the link with meningitis epidemics in the Sahel, *Remote sensing of environment*, 133, 116-127.
- Goudie, A. S. and Middleton, N. J., 2006, *Desert dust in the global system*. Springer Science & Business Media.
- Habib, G., Venkataraman, C., Chiapello, I., Ramachandran, S., Boucher, O. and Reddy, M. S., 2006, Seasonal and interannual variability in absorbing aerosols over India derived from TOMS: Relationship to regional meteorology and emissions, *Atmospheric Environment*, 40(11), 1909-1921.
- Herman, J. R. and Celarier, E. A., 1997, Earth surface reflectivity climatology at 340–380 nm from TOMS data, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 102(D23), 28003-28011.
- Hu, K., Kumar, K. R., Kang, N., Boiyo, R. and Wu, J., 2018, Spatiotemporal characteristics of aerosols and their trends over mainland China with the recent Collection 6 MODIS and OMI satellite datasets, *Environmental Science and Pollution Research*, 25(7), 6909-6927.
- IPCC 2013, In: Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P. M. (Eds.), *Climate Change 2013: the Physical Science Basis* Exit EPA Disclaimer, Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge Univ. Press, Cambridge, U. K. and New York, NY, USA.
- IPCC, *Climate Change 2007, the Physical Science Basis*. In: Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K. B., Tignor, M., and Miller, H. L. (Eds.), *Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University, 2007.
- Israelevich, P. L., Levin, Z., Joseph, J. H. and Ganor, E., 2002, Desert aerosol transport in the Mediterranean region as inferred from the TOMS aerosol index, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 107(D21), AAC-13.
- James Gauderman, W., McConnell, R.O.B., Gilliland, F., London, S., Thomas, D., Avol, E., Vora, H., Berhane, K., Rappaport, E. B., Lurmann, F. and Margolis, H. G., 2000, Association between air pollution and lung function growth in southern California children, *American journal of respiratory and critical care medicine*, 162(4), 1383-1390.
- Kaskaoutis, D. G., Nastos, P. T., Kosmopoulos, P. G., Kambezidis, H. D., Kharol, S. K. and Badarinath, K. V. S., 2010, The aura-OMI aerosol index distribution over Greece, *Atmospheric Research*, 98(1), 28-39.
- Klingmüller, K., Pozzer, A., Metzger, S., Stenchikov, G. L. and Lelieveld, J., 2016, Aerosol optical depth trend over the Middle East, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 16(8), 5063-5073.
- Mahowald, N. M. and Dufresne, J. L., 2004, Sensitivity of TOMS aerosol index to boundary layer height: Implications for detection of mineral aerosol sources, *Geophysical Research Letters*, 31(3).
- Namdari, S., Valizade, K. K., Rasuly, A. A. and Sarraf, B. S., 2016, Spatio-temporal analysis of MODIS AOD over western part of Iran, *Arabian Journal of Geosciences*, 9(3), 191.
- Prospero, J. M., Ginoux, P., Torres, O., Nicholson, S. E. and 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), 2-1.
- Rashki, A., Kaskaoutis, D. G., Eriksson, P. G., Rautenbach, C. D. W., Flamant, C. and 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.
- Schepanski, K., 2018, Transport of mineral dust and its impact on climate. *Geosciences*, 8(5), 151.
- Torres, O., Bhartia, P. K., Herman, J. R., Ahmad, Z. and Gleason, J., 1998, Derivation of aerosol properties from satellite measurements of backscattered ultraviolet radiation: Theoretical basis, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 103(D14), 17099-17110.

## Spatio-temporal variation and change point of Iran Aerosol absorption index (AAI) based on the output of TOMS and OMI sensors

Dadashi Roudbari, A. A.<sup>1</sup> and Ahmadi, M.<sup>2\*</sup>

1. Ph.D. Student, Department of Physical Geography, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

2. Associate Professor, Department of Physical Geography, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

(Received: 9 April 2019, Accepted: 1 Oct 2019)

### Summary

Aerosols are solid or liquid particles in the air with a typical radius of 0.001 to 100  $\mu\text{m}$ , which have a significant and harmful effect on human health. Aerosols come from both natural and human sources, and in recent years, human activities associated with urbanization and industrialization have led to a steady increase in the amount of these particles in the airborne state. Since the effect of aerosols on airborne processes is more intense in the ultraviolet group, the Aerosol Index (AI) is a useful and accurate method for detecting ultraviolet absorbing humus, such as soot and dust. The positive AI indicator represents aerosols, clouds are close to zero, and negative values are the absence of humus or due to the presence of non-absorbent particles in the UV group. The aim of this study was to investigate the spatio-temporal retrieval of the TOMS and OMI sensors in Iran. The results of this research can be useful in identifying seasonal sources of dust, critical areas and ultimately its feedback in the climate system for future studies.

TOMS Nimbus 7 (TOMSN7L3 v008) data was used during the period 1979 to 1992; TOMS EP (TOMSEPL3 v008); 1996 to 2005; and OMI (OMTO3d v003) for the period of 2005 to 2015. In this research, the change of AAI index was studied using the Buishand test. After decoding the necessary data and calculations, the maps of each in the ARCGIS environment were mapped using the inverse distance-weighted method (IDW) with the least amount of Root Mean Square Error (RMSE).

For each of the three satellites data, spring and summer, the highest amount of statistical data is the mean and maximum. The range of changes also increases naturally in the seasons with the mean peak, which is the maximum range of spring and summer changes. Seasonal changes of the amount of AI in Iran is due to a synergy in terms of emissions and atmospheric conditions. Winter AI has its non-alternating pattern synoptic systems that affect Iran during the cold season, especially winter is mainly, due to significant rainfall and humidity that, reduce AI. This is the most important factor that has caused the regions of central Iran to have fewer highs than those of the southeast to southwest of Iran. Therefore, the height of the boundar layer in very dry areas and the central regions of the desert naturally is higher than wetland areas of the desert, resulting in a higher value of Aerosol index (AI). So, in none of the three satellites data set studied after the average change point was less than before the change point, which indicates a significant increase in the aerosol in Iran's airspace.

The results of the study have shown that in each of the three satellites data set studied, the warm-period has the maximum Aerosol index (AI). Seasonal variation of the aerosol index in Iran is due to the mixing of airborne aerosol the spring it has been shown the activation of the regional dust sources. The minimum amount of Aerosol Index (AI) occurred in winter, possibly due to increased precipitation in the studied area. Rainfall has two important control effects on dust storm activity. 1-From soil moisture and 2-vegetation. Dust loads in the vast area of Iran can be classified into three general categories: 1-Urban/industrial activities and biomass burning (mainly in Isfahan, Tabriz, Tehran and Khuzestan), 2. Dust transport of desert areas and semi-arid (mainly arid and semiarid areas of Iraq, Syria, Saudi Arabia and North Africa) and 3) marine environments. The regional role of the atmosphere in the release and transport of aerosols to Iran plays a significant role, in the middle of spring until late summer, a small area of thermal low is formed inside Iran and Saudi Arabia, and this leads to strong pressure gradient responsible for the creation of northwesterly winds. The point of change in the annual Aerosol Absorption Index (AAI) by the Buishand test has shown that the Aerosol Index has been upgraded based on three satellite data and two sensors, so that the mean Aerosol Index (AI) after the change point in every three satellite and the two sensors data surveyed that have more the change point than before.

**Keywords:** Aerosol Index (AI), TOMS Sensor, OMI Sensor, Buishand Test, Iran.

\* Corresponding author:

ma\_ahmadi@sbu.ac.ir