



فصلنامه علوم محیطی، دوره هجدهم، شماره ۱، بهار ۱۳۹۹

۵۷-۷۰

تحلیل سری زمانی سنجه‌های جذب هواویز سنجنده‌های GOME-2 و SCIAMACHY در ایران

فائزه علیزاده^۱، سامره فلاحتکار^{۱*} و افسانه افضل^۲

^۱ گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

^۲ گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۹/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۰/۳۰

علیزاده، ف.، س. فلاحتکار و ا. افضل. ۱۳۹۹. تحلیل سری زمانی سنجه‌های جذب هواویز سنجنده‌های GOME-2 و SCIAMACHY در ایران. فصلنامه علوم محیطی. ۱۸(۱): ۵۷-۷۰.

سابقه و هدف: در سه دهه گذشته گرد و خاک به‌عنوان یک پدیده جهانی سبب نگرانی جوامع جهانی شده است. ایران به‌دلیل قرارگیری در منطقه خشک به‌شدت تحت تأثیر این پدیده است. این پدیده به‌طور معمول با حمل توده‌ی عظیمی از ذرات معلق همراه است که در عصر جدید با تصاویر ماهواره‌ای به‌طور واضح قابل‌ردیابی و تشخیص هستند. هدف مطالعه حاضر بررسی تغییرات سری زمانی سنجه هواویز جذب با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در مقیاس ملی است.

مواد و روش‌ها: به‌منظور مطالعه روند تغییرات پدیده گرد و خاک در ایران از داده‌های ماهانه ماهواره‌ای سنجه جذب هواویز^۱ (AAI) سنجنده SCIAMACHY^۲ در سال‌های ۲۰۰۲ - ۲۰۱۲ و GOME-2^۳ در سال‌های ۲۰۰۷ - ۲۰۱۷ با استفاده از آزمون ناپارامتریک من - کندال پرداخته شد. نرخ تغییرات مربوط به بخش‌های مختلف با استفاده از شیب تایل - سن^۴ برآورد شد.

نتایج و بحث: نتایج حاصله از داده‌های SCIAMACHY بر مبنای آماره Z، روند صعودی در مناطق غرب، جنوب غرب، مرکز و شمال شرق ایران را در یک دوره ۱۰ ساله نشان می‌دهد. نتایج تحلیل سنجه جذب هواویز سنجنده GOME-2 روند صعودی را در محدوده‌ای از استان مرکزی، اصفهان، همدان، دریاچه ارومیه، فارس و استان‌های چهارمحال و بختیاری و کهگیلویه و بویراحمد به‌طور کامل و قسمت کوچکی از استان گلستان و سمنان را فاقد روند خاص نشان می‌دهد. بر اساس آماره p، روند تغییرات در بیشتر مناطق ایران معنی‌دار است. بر مبنای نتایج شیب تایل - سن مناطق غرب، جنوب و مرکز ایران بیشترین تغییرات را در غلظت هواویز جو نشان می‌دهد. انطباق بالای بین نتایج حاضر و گزارش‌های ایستگاه هواشناسی قابلیت بالای داده‌های ماهواره‌ای مورد استفاده در این تحقیق را جهت شناسایی مناطق درگیر با پدیده گرد و خاک در مقیاس ملی نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری: هر چند پدیده گردوغبار یک پدیده غیر قابل کنترل است ولی می‌توان با شناساندن محدوده آن در قالب الگوی گردشی و بررسی ویژگی‌های آماری در بازه‌های زمانی مختلف به برنامه‌ریزان فرصت لازم برای مقابله و سازگاری با آن داد بر این اساس پیشنهاد می‌گردد از این فناوری در مدیریت کلان منابع طبیعی کشور استفاده گردد.

واژه‌های کلیدی: سنجه‌های جذب هواویز، آزمون من - کندال، گرد و خاک.

*Corresponding Author. Email Address: samereh.falahatkar@modares.ac.ir

مقدمه

(Herman *et al.*, 1997). انواع هواویزهایی که بیشتر در سنج‌های جذب هواویز دیده می‌شوند، گرد و خاک بیابان، دود آتشفشان و هواویزهای سوختن زی توده هستند. روش‌های اندازه‌گیری ذرات معلق در حال حاضر شامل مشاهدات زمینی، مدل‌سازی‌های عددی و سنجش از دور است. سنجش از دور قادر به اندازه‌گیری بازتاب ذرات معلق در مقیاس بزرگ از نظر توزیع مکانی - زمانی و تنوع ذرات است، بنابراین بسیاری از کاستی‌های مشاهدات زمینی را جبران می‌کند (Heidary, 2015). بسیاری از حسگرهای مشاهداتی در سنجش از دور در ارتباط با هواویزها، بیشتر در شرایط عاری از ابر به کار گرفته شده‌اند. مطابق تحقیق‌ها (Ju and Roy (2008) به‌طور میانگین ۳۵٪ درصد از سطح جهان همواره دارای پوشش ابری بوده، این موضوع موجب محدود شدن بررسی کامل موضوع گرد و خاک می‌گردد (Kahn *et al.*, 2005; Remer *et al.*, 2005)، در این صورت حسگرهای غیرفعال نیز قادر به اندازه‌گیری پراکنش ذرات در هر شرایط آب و هوایی (ابری و غیر ابری) و ویژگی‌های هواویزها هستند. چندین حسگر غیرفعال از جمله OMI، GOME و SCIAMACHY تا حد زیادی به جهت آشکارسازی هواویزهای موجود در لایه‌های ارتفاعی و لایه‌های زیرین ابری، کمک نموده‌اند (Yu *et al.*, 2012). در زمینه به‌کارگیری پایش ماهواره‌ای جهت بررسی پدیده گرد و خاک مطالعات متعددی انجام پذیرفته که به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود.

نتایج مطالعه اعتبار سنجی (Tilstra *et al.*, 2010) بر روی داده‌های سنج‌های جذب هواویز (AAI) داده‌های GOME-2 در مقایسه با داده‌های GOME-1 برای کل جهان، داده‌های GOME-2 را دارای کیفیت بهتری می‌دانند. مطالعه (Shariepour and Aliakbari Bidokhti (2013) با استفاده از سنج هواویز حسگر SCIAMACHY برای کشور ایران در ماه جون^۱ با مقادیر بیشینه بیان می‌کنند که مقادیر بالای سنج هواویز در ایران منشأ فرامحلی داشته و ناشی از طوفان‌های گرد و خاک بیابان‌های عراق و عربستان است. آن‌ها مناطق جنوب غرب، غرب و جنوب را آلوده‌تر از دیگر مناطق ایران می‌دانند و بیان می‌کند که

دخالست نادرست انسان در طبیعت، بویژه در سده‌های اخیر، سبب شده که محققان علوم محیطی، خبر از باز شدن مبحث جدید فراروی بشر، به نام تغییرات اقلیمی دهند (Pourali and Taghizadeh, 2011). امروزه تغییرات اقلیم به یکی از مهمترین چالش‌های کره زمین تبدیل شده است (IPCC, 2001). دخالت گسترده‌ی انسان در محیط‌زیست گیاهی و جانوری دارای اثرهای پنهان بسیاری است که به تدریج در حال نمایان شدن هستند. از طرف دیگر، استفاده‌ی روزافزون از سوخت‌های فسیلی سبب تشدید نوسانات اقلیمی شده است (Pourali and Taghizadeh, 2011). پژوهشگران فرآیندهای تغییر اقلیم و بیابان‌زایی را از عوامل تولید و تشدیدکننده پدیده گرد و خاک می‌دانند که باد و آب به‌عنوان دو عامل اقلیمی مهم که دارای تغییرات و نوسانات به‌نسبت زیادی هستند در شکل‌گیری مناطق خشک و نیمه‌خشک نقش دارند (Heidary, 2015). شرایط خاص جغرافیایی و سیاسی حاکم بر منطقه خاورمیانه و مجاور بودن با کشورهای خشک و بیابانی سبب افزایش ضرورت پایش ذرات معلق در هوا، برای کشورهای منطقه بویژه ایران شده است. البته قرارگیری ایران در کمربند گرد و خاک (Liu *et al.*, 2009) نیز بر میزان اهمیت و چالش این موضوع افزوده است. سیری در برنامه‌های کوتاه و بلندمدت چند دهه گذشته کشور بیانگر آن است که در بیشتر برنامه‌های تدوینی کمترین توجه و اشاره‌ای به آمایش اقلیمی کشور نشده است. در صورتی که آمایش اقلیمی بویژه در کشور با شرایط اقلیمی ایران یک رکن اساسی است. هواویزهای گرد و خاکی شامل همه اجزای معلق در هوا به‌جز گازهاست. این اجزا را می‌توان بلوره‌های یخ، برخی اجزای جامد و قطرات آب برشمرد. مقادیر معین برای هواویزهای گرد و خاکی را اجزایی با قطری کمتر از ۱ میلی‌متر مشخص می‌کند (Hrdličková *et al.*, 2008).

سنج‌های جذب هواویز (AAI) نشان‌دهنده حضور جذب اشعه‌ی ماورا بنفش در جو زمین است که به‌عنوان سنج‌های اندازه‌گیری کمی از هواویزها مورد استفاده قرار می‌گیرد

حاوی گرد و خاک ضعیف و شدید روند افزایشی داشته است. به طوری که روزهای با گرد و خاک شدید بیشترین روند افزایشی را به خود اختصاص داده است. عمده مطالعات در زمینه تأثیر گرد و خاکها در کیفیت هوا، بررسی سینوپتیکی وقوع طوفانهای گرد و خاک، مدل سازی و پایش این پدیده توسط تصاویر ماهواره ای متمرکز شده است. تعیین وقوع این رخداد در سالهای گذشته و جواب به این سؤال که آیا این دفعات وقوع تغییری داشته یا خیر، سبب شد بررسی در مورد روند طوفانهای گرد و خاک در سالهای گذشته انجام پذیرد. این مطالعه قصد دارد به بررسی تحلیل روند پدیده گرد و خاک در ایران در دوره ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۲ داده های ماهانه AAI سنجنده SCHIAMACHY و داده های ماهانه AAI سنجنده GOME-2 در سالهای ۲۰۰۷ - ۲۰۱۷ در مقیاس ملی با استفاده از آزمون ناپارامتریک من - کندال^۸ بپردازد.

مواد و روشها

محدوده قلمروی مورد مطالعه

منطقه ی مورد مطالعه، کشور ایران است که در جنوب غربی آسیا، در منطقه خاورمیانه با وسعت حدود ۱/۶ کیلومتر مربع که در عرض جغرافیایی ۲۵ تا ۴۰ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۴۴ تا ۶۳ درجه شرقی (شکل ۱) واقع شده و دارای حدود ۷۸ میلیون نفر جمعیت است. ایران از لحاظ آب و هوایی یکی از منحصربه فردترین کشورها است. اختلاف دمای هوا در زمستان بین گرم ترین و سردترین نقطه گاهی به بیش از ۵۰ درجه سانتی گراد می رسد. (Alai Taleghani, 2009). تقسیمات اقلیمی ایران به چهار دسته ی اقلیم معتدل و مرطوب (سواحل جنوبی دریای خزر)، اقلیم سرد (کوهستانهای غربی)، اقلیم گرم و خشک (فلات مرکزی) و اقلیم گرم و مرطوب (سواحل جنوبی) دسته بندی می شود (Masoodian, 2003).

داده ماهواره سنجنده SCIAMACHY

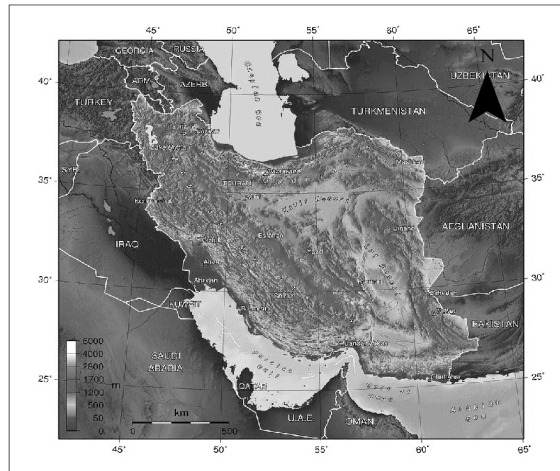
این سنجنده روی ماهواره محیط زیستی^۹، در ۱ مارس ۲۰۰۲ در مدار یکپارچه ۸۰۰ کیلومتری از سطح زمین

در ماه جون ۲۰۰۹ مقدار سنجه هواویز در غرب ایران بالا بوده است. بررسی فراوانی روزهای گرد و خاکی در کشور، نشان می دهد که چاله های مرکزی ایران، بیشترین روزهای گرد و خاکی را دارند. در مناطق مرکزی ایران از جمله یزد، حداقل ۲۵ روز در سال پدیده گرد و خاک اتفاق می افتد (Washington *et al.*, 2003) همچنین به دلیل مجاورت مناطق غرب و جنوب غرب کشور با بیابانهای بزرگ کشورهای هم جوار، روزهای غبارآلود در این مناطق قابل توجه بوده و در سالهای اخیر افزایش یافته است (Rafiei Majoomerd *et al.*, 2016).

Rasouli *et al.* (2010) به تحلیل روند وقوع پدیده اقلیمی گرد و خاک در غرب کشور با استفاده از ۱۶ ایستگاه سینوپتیک^۷ در غرب ایران (۱۹ استان) و روشهای آماری ناپارامتریک پرداختند. نتایج مطالعه نشان داد که با توجه به طبیعت ورودی، روشهای آماری من - کندال کارایی مناسبی را برای تحلیل روند پدیده گرد و خاک دارد و مشخص گردید، طوفان گرد و خاک غرب ایران از نظر تعداد روزهای گرد و خاک همگن نیست. از بین آنها تنها ۷ ایستگاه روند قابل توجهی دارند، ۳ ایستگاه روند کاهشی و ۵ ایستگاه روند افزایشی را نشان دادند. (Rashki *et al.* (2013) با استفاده از تصاویر ماهواره ای به بررسی خشک شدن دریاچه های موقتی و در پی آن رخداد طوفان گرد و خاک در منطقه حوضه زهکشی هامون در جنوب شرقی ایران پرداختند، نتایج کار آنها نشان داد که خشک شدن دریاچه هامون سبب افزایش شدت و تکرار وقوع طوفان گرد و خاک در منطقه شده است.

Azizi *et al.* (2012) با استفاده از بررسی تصاویر MODIS پدیده گرد و خاک در نیمه غربی ایران در طول دوره آماری ۱۹۷۹ - ۲۰۰۸ را ردیابی نمودند. نتایج نشان داد که ایستگاه دزفول و بوشهر دو مرکز بحرانی طوفان گرد و خاک در نیمه غربی ایران هستند.

Rezaei Banafsheh *et al.* (2012) در استان کردستان با استفاده از تصاویر ماهواره ای به برآورد میزان گرد و خاکها پرداختند. نتایج آنها بیان داشت که میزان روزهای بدون گرد و خاک و با گرد و خاک متوسط روند کاهشی و روزهای



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه
Fig. 1- Location of the study area

است. این سنجه برای محاسبه انعکاس فضای بدون ابر و هواویز در اتمسفر محاسبه می‌گردد. سنجه جذب هواویز در بیشتر موارد از ذرات گرد و خاک^{۱۱} بیابان‌ها و همچنین سوختن گیاهان^{۱۲} ناشی می‌شود (De Graaf *et al.*, 2007). AAI مطابق فرمول شماره ۱ محاسبه می‌شود:

$$r = -100,10 \log \left(\frac{R_{\lambda}^{obs}}{R_{\lambda}^{Ray}} \right) \quad (1)$$

R_{λ}^{obs} اشاره به بازتاب‌های اندازه‌گیری شده در هر مورد، R_{λ}^{Ray} اشاره به پراکنش سطح آلبیدو^{۱۳} دارد. λ اشاره به کوتاه‌ترین طول موج AAI در جفت طول موج ۳۴۰ نانومتر و A_s سطح آلبیدو استفاده‌شده در این مدل می‌باشد که فرض بر این است، آلبیدو در طول موج دوم $\lambda_0=380$ نانومتر است.

$$R_{\lambda_0}^{obs} = R_{\lambda_0}^{Ray}(A_s) ; A_s(\lambda) = A_s(\lambda_0) \quad (2)$$

در معادله شماره ۲ این الگوریتم برای محاسبه باقیمانده استفاده و تعریف می‌گردد. زمانی که باقی‌مانده مثبت باشد به این معنی است که جذب هواویز صورت گرفته و از سوی دیگر، اگر منفی یا صفر باشد مبنی بر نبود جذب هواویز است (De Graaf *et al.*, 2007).

روش کار

آزمون من - کندال

آزمون ناپارامتری رتبه‌ای بر اساس من - کندال برای تشخیص روند (Mann, 1945; Kendall, 1975) مناطق دارای سنجه جذب هواویز در نظر گرفته شد. آزمون من -

قرار گرفته است SCIAMACHY طیف‌سنجی است که برای اندازه‌گیری انعکاس و پراکنش نور خورشید توسط جو یا سطح زمین، در طیف وسیع از ۲۴۰ تا ۲۳۸۰ نانومتر با تفکیک طیفی ۰/۲ تا ۱/۵ نانومتر را پوشش می‌دهد. دارای پوشش زمانی گذر استوایی به وقت ۱۰:۰۰ صبح در مدار خورشید آهنگ است. دارای اندازه پیکسل ۶۰×۳۰ کیلومترمربع و طی ۶ روز کل جهان را پوشش می‌دهد. (De Graaf *et al.*, 2007) داده‌های ماهانه سنجنده SCIAMACHY از وبسایت (<http://www.temis.nl>) قابل دانلود است.

سنجنده GOME-2

این سنجنده بر روی ماهواره MetOP-A^{۱۴} قرار دارد. طیف وسیعی از ۲۴۰ تا ۷۹۰ نانومتر، با تفکیک طیفی ۰/۲۶ تا ۰/۵۱ نانومتر را پوشش می‌دهد. دارای پوشش زمانی گذر استوایی به وقت ۹:۳۰ در مدار خورشید آهنگ است. دارای اندازه پیکسل ۴۰×۸۰ کیلومترمربع و عرض اسکن ۱۹۲۰ کیلومتر است که طی ۱/۵ روز کل جهان را پوشش می‌دهد (Tilstra *et al.*, 2010). داده‌های ماهانه ماهواره GOME-2 MetOP-A از وبسایت (<http://www.temis.nl>) قابل دانلود است.

سنجه‌های جذب هواویز (AAI)

سنجه جذب هواویز، یک سنجه بدون واحد است که نشان‌دهنده جذب اشعه ماوراءبنفش (UV) در اتمسفر زمین

مثبت و جاهایی که آماره Z کمتر از $-1/96$ باشد روند سنجه، منفی و در مناطقی که آماره $Z > 1/96$ در چنین حالتی باشد مناطق بدون روند بوده و نشان‌دهنده توزیع تصادفی است. نرخ شیب واقعی (میزان تغییر در واحد زمان) روند را می‌توان با استفاده از روش ناپارامتری ساده‌ی تایل - سن برآورد نمود، این شیوه زمانی به کار می‌رود که فرض خطی بودن روند پذیرفته شود. این به معنی آن است که $f(t)$ مطابق رابطه شماره ۸:

$$f(t) = Q_1 + B \quad (8)$$

در رابطه بالا Q شیب و B ثابت خط است. برای برآورد شیب، نخست شیب هر جفت داده متوالی سری از رابطه شماره ۹ به دست می‌آید:

$$Q_j = \frac{(x_j - x_k)}{j - k}, j > k \quad (9)$$

اگر n مقدار x_j در سری زمانی وجود داشته باشد، به اندازه $N = n(n-1)/2$ برآورد شیب Q_j به دست می‌آید. برآورد شیب تایل - سن میانه N مقدار Q_j است از Q_j از کوچکترین به بزرگترین مرتب می‌شوند و برای برآورد شیب تایل - سن اگر N فرد باشد برآورد کننده شیب تایل - سن طبق رابطه شماره ۱۰ محاسبه خواهد شد:

$$Q = Q_{[(N+1)/2]} \quad (10)$$

اگر N زوج باشد برآورد کننده شیب تایل - سن طبق رابطه شماره ۱۱ به دست می‌آید:

$$Q = \frac{1}{2} (Q_{[N/2]} + Q_{[(N+2)/2]}) \quad (11)$$

اگر مقدار برآورد شیب با آزمون دوطرفه در فاصله اطمینان $100(1-a)\%$ بررسی شود، شیب واقعی نمودار روند به دست می‌آید. اگر عدد صفر در دامنه بین دو شیب استخراج شده قرار بگیرد فرض صفر تأیید شده و در نتیجه برای سری زمانی مورد آزمون نمی‌توان هیچ روندی را در فاصله اطمینان مورد نظر نسبت داد. در غیر این صورت فرض صفر رد شده و می‌توان پذیرفت که سری زمانی دارای روند معنی‌داری در فاصله اطمینان مورد آزمون است (Mohammadi, 2011).

نتایج و بحث

روش آماری مورد استفاده، کارایی مناسبی برای تحلیل روند

کنندال در مواردی به کار می‌رود که فرض شود مقادیر داده x_i از مدل شماره ۳ پیروی می‌کنند.

$$x_i = f(t_i) + \varepsilon_i \quad (3)$$

در این رابطه $f(t)$ تابع یکنواخت در حال افزایش یا کاهش پیوسته در زمان است و فرض می‌شود باقی‌مانده ε_i از توزیع با میانگین صفر است. چنین فرض می‌شود که توزیع S در طی زمان ثابت است. در این آزمون فرضیه صفر، نبود روند را آزمون کرده است یعنی مشاهدات به طور تصادفی در زمان مرتب شده‌اند و در فرض یک، یکروند یکنواخت افزایشی و یا کاهشی در داده‌ها را نشان می‌دهد. n سری زمانی داده‌ها، x_j, x_k به ترتیب داده K و J سری است، که در رابطه شماره ۴، $J \leq n$ است و $k \neq j$

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (4)$$

sgn تابع علامت نیز، به شرح رابطه شماره ۵ محاسبه می‌شود:

$$\text{sgn}(x_j - x_k) = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad (5)$$

محاسبه واریانس به کمک رابطه شماره ۶ برآورد می‌گردد. $\text{Var}(S) = \frac{1}{18} [n(n-1)(2n+5) - \sum_{j=1}^n t(t-1)(2t+5)]$ (۶) که در آن n تعداد داده‌های مشاهده‌ای و m معرف تعداد سری‌هایی است که در آن تا حداقل یک داده تکراری وجود دارد. T نیز بیانگر فراوانی، داده‌های با ارزش یکسان است. استخراج آماره Z به کمک روابط شماره ۷ انجام می‌شود:

$$Z = \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{\text{Var}(s)}} & s > 0 \\ 0 & s = 0 \\ \frac{s+1}{\sqrt{\text{Var}(s)}} & s < 0 \end{cases} \quad (7)$$

در یک آزمون دو دامنه برای روند یابی سری داده‌ها، فرض صفر در حالتی پذیرفته می‌شود که رابطه زیر برقرار باشد:

$$|Z| \leq Z_{\alpha/2}$$

α سطح معنی‌داری برای آزمون در نظر گرفته می‌شود و آماره توزیع نرمال در سطح معنی‌داری α است که با توجه به دو دامنه بودن آزمون، از $\alpha/2$ استفاده می‌شود که سطح معنی‌داری (α) در کمتر از 0.05 سنجیده شده است. در صورتی که آماره Z بیشتر از $1/96$ باشد روند سنجه،

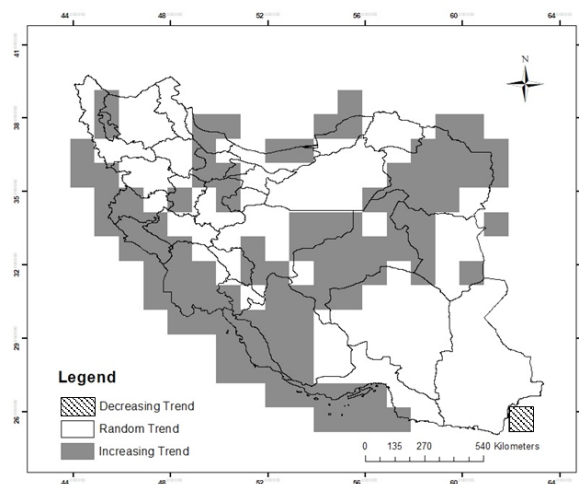
حوضه آبریز رود هیرمند و دشت سیستان روی داده است سبب خشک شدن بستر رودخانه‌ها و بویژه دریاچه‌های هامون شده است. در معرض قرار گرفتن حجم عظیمی از رسوبات ریزدانه و دریاچه‌ای که در اثر خشکی و حرارت بالای محیط پیوستگی خود را ازدست داده، به‌عنوان منبع اصلی تغذیه طوفان‌های گرد و خاکی در طول سال مطرح هستند (Khosravi, 2009) که با نتیجه افزایش روند در شکل ۳ به‌طور کامل مطابقت دارد.

تحقیق‌های مختلف نشان می‌دهد افزایش شدت گرد و خاک‌ها در مناطق غرب و جنوب غرب کشور، نتیجه خشکسالی و همچنین استفاده نامطلوب از منابع طبیعی در داخل کشور و کشورهای همسایه مانند عراق و سوریه است که موجب شده زیستگاه‌ها و مناطق بیابانی در کشورهای بیان شده، حفاظت نشده و به آستانه فرسایش بادی برسد و رفته‌رفته این پدیده گسترده‌تر و شدیدتر شود. همچنین بارش کم در این مناطق، خشک و کم آب شدن تالاب‌ها و آبگیرها، سبز نشدن گیاهان صحرایی و در نتیجه شدت یافتن وزش باد، موجب افزایش گرد و خاک‌ها در بیشتر مناطق ایران شده است (Fayazi, 2014).

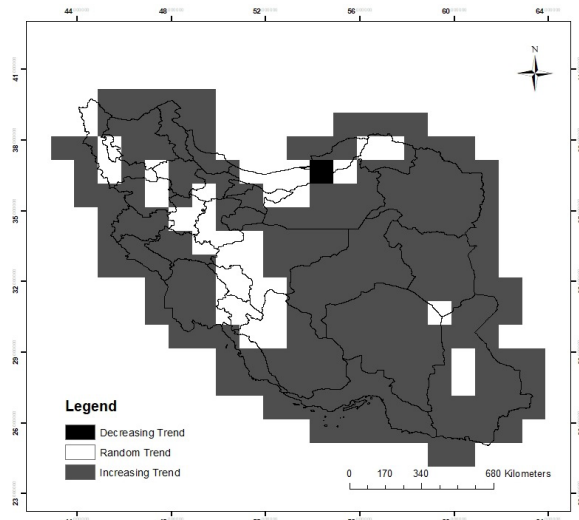
(Pourali Taghizedah (2011) در پژوهش خود در ارتباط با استان خوزستان بیان می‌کند دشت‌های متعدد کوچک و بزرگ واقع در مناطق جنوب غرب ایران به‌طور عمده از نهشته‌های آبرفتی و رسوبات ریزدانه رودخانه‌های کرخه،

سنج‌های جذب هواویز دارد و موجب شده مقادیر آماره Z آزمون من - کندال در سری زمانی سنج‌های جذب هواویز در فاصله اطمینان ۹۵٪ روند مثبت، منفی و تصادفی را در موقعیت‌های مکانی مختلف ایران نشان دهد. آماره Z سطح احتمال روند آزمون را در سطح اطمینان ۹۵٪، معادل $\pm 1/96$ می‌داند و از توزیع نرمال استاندارد با میانگین صفر و واریانس واحد تحت فرض صفر پیروی می‌کند. مقدار مثبت آماره Z بیشتر از $1/96+$ نشان‌دهنده روند صعودی و مقدار منفی آماره Z کمتر از $1/96-$ نشان‌دهنده روند نزولی است. برای مقدار آماره Z بین $1/96 \pm$ روند خاصی را نمی‌توان متصور شد. شکل ۲ آماره Z آزمون در فاصله اطمینان ۹۵٪ سنجنده SCIAMACHY، نشان‌دهنده روند صعودی سنج AAI در بیشتر مناطق غرب، جنوب غرب، مرکز و شمال شرق و مناطق محدوده‌ی از شمال، شمال غرب، شرق و جنوب شرق را با روند نزولی نشان می‌دهد.

مطابق با شکل ۳، آماره Z سنجنده GOME-2 در فاصله اطمینان ۹۵٪، سنج AAI بیشتر مناطق ایران را روند صعودی طی سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۷ نشان می‌دهد و محدوده‌های از استان مرکزی، اصفهان، همدان، دریاچه ارومیه، فارس، استان‌های چهارمحال و بختیاری و کهگیلویه و بویراحمد به‌طور کامل و قسمت کوچکی از استان گلستان و سمنان را بدون روند خاص به نمایش می‌گذارد. خشکسالی‌های مکرر که در نتیجه نوسانات اقلیمی در



شکل ۲- آماره Z سنجنده SCIAMACHY دوره زمانی (۲۰۱۲ - ۲۰۰۲)
Fig. 2- Z statistic of SCIAMACHY sensor during 2002-2012



شکل ۳- آماره Z سنجنده GOME-2 ماهواره MetOp-A دوره زمانی (۲۰۰۷ - ۲۰۱۷)
 Fig. 3- Z statistic of GOME-2 sensor on MetOp-A satellite during 2007-2017

و خاک‌ها به جو منطقه فراهم می‌آورد. همگرایی سامانه‌های پرفشار آזור، کم‌فشار حرارتی و افزایش شیب فشاری در روزهای اوج فعالیت پدیده، سبب تقویت سیستم‌های بادی سطح بالا شده و موجب انتقال و انتشار مقادیر انبوهی از گرد و خاک‌ها در بخش‌های وسیعی از جنوب غرب، غرب و شمال غرب ایران می‌شود (Zolfaghari, 2011).
 Tahmasbi *et al.* (2009) اصلی‌ترین دلیل وقوع گرد و خاک در نواحی جنوب غربی کشور را فرسایش بادی می‌دانند که در زمین‌های کشور صورت می‌گیرد. تمام عوامل یاد شده که دلایل روند صعودی گرد و خاک را در مناطق غرب و جنوب غرب کشور بیان می‌کنند، با نتایج تحلیل سری زمانی سنجه جذب هواویز سنجنده SCIA-MACHY مطابقت دارد.

آماره Z آزمون در فاصله اطمینان ۹۵٪، روند سنجه جذب هواویز در استان لرستان را صعودی نشان می‌دهد که در این راستا (Khoshkish *et al.*, 2011) به تحلیل سینوپتیکی سامانه‌های گرد و خاک در استان لرستان پرداختند. آن‌ها از بین سامانه‌های گرد و خاکی شدید، دو سامانه را انتخاب و مورد تحلیل قرار دادند. نتایج نشان داد فرود تراز میانی جو سیستم‌های فشار سطح زمین که مهم‌ترین آن سیستم کم‌فشار منطقه خلیج فارس و جریانی که به دلیل اختلاف دما از غرب به ترکیه و از شمال غرب عراق به سمت خلیج فارس می‌وزد عامل اصلی ایجاد گرد و خاک و

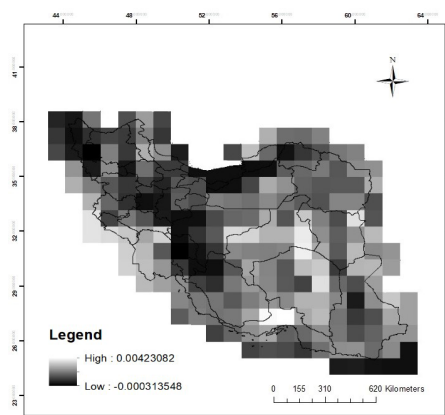
کارون، دز، جراحی و هندیجان و شاخه‌های آن‌ها پوشیده شده است که بستر مناسبی برای تبدیل شدن به کانون فرسایش بادی و گرد و خاک به‌شمار می‌آیند. افزون بر آن وجود رسوبات بادرفتی، تپه‌های ماسه‌ای و شن‌زارهایی که در مناطق مختلف این قسمت از کشور از شمال غرب کرخه تا اطراف اهواز وجود دارد موجب تشدید پدیده گرد و خاک شده است. بنابر آمارهای سازمان هواشناسی کشور میانگین روزهای غبارآلود در ۵۰ سال گذشته در شهرهای اهواز، آبادان، بوشهر و کرمانشاه به‌طور میانگین به ترتیب ۶۸، ۷۶، ۷۵ و ۲۷ روز در طول سال است (Rafiei Majoomerd *et al.*, 2016).

Rashnov (2010) عوامل مؤثر طوفان‌های گرد و خاک استان خوزستان را مربوط به تولید طبیعی و انسانی که اولین عامل مؤثر را خشکسالی شدید و مداوم منطقه و دومین عامل را جنگ، کشاورزی، سدسازی و سیاست انتقال آب از تالاب‌ها به مناطق کم آب می‌داند. بنابر تحقیقی، طوفان‌های گرد و خاک در مناطق غربی ایران در سال‌های ۱۳۸۴ تا ۱۳۸۸ مورد تحلیل همدیدی قرار گرفتند. برای این کار ۱۰ موج گرد و خاک مهم انتخاب و مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج گویای این است که در تمام موارد استقرار یک سامانه کم‌فشار بر منطقه خاورمیانه و تقویت شرایط ناپایداری در سطح بیابان‌ها و همچنین تأثیر هماهنگ یک موج کم‌فشار دینامیک بر فراز جو منطقه، زمینه مناسب را برای انتقال گرد

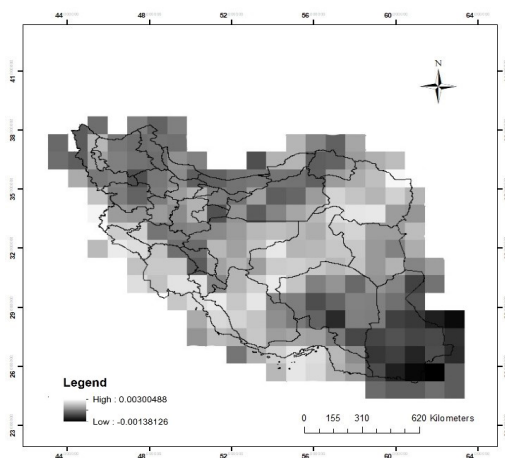
هکتوپاسکال داده‌های سمت و سرعت باد، دید افقی، رطوبت، دما، فشار و گرد و خاک دوازده ایستگاه دوره انتخابی نمونه، نتیجه گرفت که سیستم‌های کم‌فشار دینامیک با جبهه سرد همراه است که جریان‌های قائم هوا، سبب ناپایداری شدید جو و ایجاد طوفان‌های شدید ماسه در منطقه می‌گردد. شکل ۳ منطقه کوچک دریاچه ارومیه و دریاچه قم دارای روند تصادفی در غلظت AAI است که در پژوهش (Shariepour and Aliakbari Bidokhti, 2013) برای سنجه هواویز در ایران مطالعه نموده و نشان دادند، در ماه‌های جون و جولای مناطقی که دارای بیشینه‌های سنجه هواویز هستند منشأ محلی دارند. از جمله این مناطق به دریاچه‌های نمک ارومیه، آران بیدگل اصفهان و دریاچه نمک قم اشاره دارد. در این مناطق، در فصل گرم، با افزایش دما و خشکی هوا و تبخیر آب، نقش وزش بادهای محلی دریاچه به خشکی و دریاچه به کوه برجسته می‌شود و طی روز، در اثر وزش این بادها ذرات نمک دریاچه به محیط اطراف پخش شده و سبب افزایش سنجه هواویز می‌شود. منطقه جنوب شرق اصفهان نیز دارای روند صعودی است که بنابر مطالعه (Nowruz Bagheri, 2013) یکی از منابع گرد و خاک در جنوب شرق اصفهان تپه‌های ماسه‌ای سبا است که به دلیل بادهای فصل تابستان استان اصفهان از جانب شرق و شمال شرق می‌وزد، سبب جابه‌جایی و حرکت این ماسه‌ها می‌شود و ممکن است این گرد و خاک شهر اصفهان و حتی استان‌های مجاور را نیز تحت تأثیر قرار دهد. وجود روند موجب بررسی برآورد شیب سن شد. شیب آزمون

انتقال آن به منطقه لرستان است. روند صعودی تغییرات غلظت جذب هواویز در گرگان (شمال) و بندرعباس (جنوب) ممکن است به دلیل موقعیت مشابه آن‌ها کنار پهنه آبی باشد. در نوار ساحلی جنوب کشور، کمبود رطوبت و پوشش گیاهی و همچنین وزش نسیم دریا به خشکی و برعکس در ساعات مختلف شبانه‌روز می‌تواند از عوامل تشدیدکننده پدیده گرد و خاک در این قسمت از کشور باشد (Shariepour and Aliakbari Bidokhti, 2013). با نتیجه این پژوهش که روند صعودی در شمال و جنوب کشور را نشان می‌دهد به‌طور کامل مطابقت دارد.

(Farajzadeh and Alizadeh, 2011) به مطالعه طوفان‌های گرد و خاک در ایران پرداختند و نتیجه گرفتند ایستگاه‌های بوشهر، طبس، جاسک، ایرانشهر، همدان و اهواز به ترتیب دارای بیشترین فراوانی رخداد این پدیده هستند. با تحقیق صورت گرفته توسط (Lashkari and Keykhosravi, 2005) به مطالعه آماری و هم‌دیدگی طوفان‌های گرد و خاک در استان خراسان رضوی پرداختند و نتیجه گرفتند که ایستگاه سرخس بیشترین طوفان‌های گرد و خاکی در سال را داراست و مهمترین عامل هم‌دیدگی آن شکل‌گیری سامانه‌ی کم‌فشار در تراز دریا و مرکز چرخند در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال و با استقرار مرکز پرفشار بر روی دریای خزر و مرکز زبانه چرخند در ترازهای ۸۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال است. (Omidvar, 2012) در پژوهشی به بررسی و تحلیل سینوپتیکی طوفان‌های ماسه در دشت یزد - اردکان پرداخت و با استفاده از نقشه‌های سینوپتیکی سطح زمین و ترازهای ۸۵۰ و ۵۰۰



شکل ۴- نرخ تغییرات سنج‌های جذب هواویز SCIAMAHY دوره ۲۰۰۲ - ۲۰۱۲
Fig. 4- Change rate of Absorbing Aerosol Index from SCIAMAHY during 2002-2012



شکل ۵- نرخ تغییرات سنجه‌های جذب هواویز 2-GOME (2007-2017)
 Fig. 5- Change rate of Absorbing Aerosol Index from GOME-2 during 2007-2017

می‌دهد که در بسیاری از پژوهش‌ها این مناطق به‌عنوان کانون اصلی پدیده گرد و خاک شناخته شده‌اند. تحلیل‌های هر دو سنجنده نشان‌دهنده روند افزایشی گرد و خاک از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۷ است. قابل بیان است مناطقی که در سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۲ احتمالاً درگیر این پدیده نبودند و یا میزان وقوع این پدیده متوالی نبوده، طی سال‌های ۲۰۰۷-۲۰۱۷ بیشتر این مناطق روند افزایش معنی‌داری را در سنجه AAI نشان داده‌اند. کاهش بارش و خشکسالی و تغییرات اقلیمی ناشی از گرمایش زمین طی این سال‌ها می‌تواند از دلایل افزایش روند در این مناطق باشد. البته روند معنی‌دار افزایشی در غرب و جنوب غرب ایران عوامل گوناگونی شامل جریان طوفان از عربستان سعودی و عراق، تغییر و نوسانات اقلیمی، رسوبات سیلابی و آبرفتی، نبود پوشش گیاهی و بیابان‌زایی، سدسازی، سیاست انتقال آب از تالاب‌ها به مناطق کم آب سبب گرد و خاک در استان‌های غرب و جنوب غرب ایران شده است (Rezazadeh *et al.*, 2013). امروزه شرایط نامناسب جوی در ایران با ورود گرد و خاک به مناطق شهری گزارش می‌شود. طوفان تیرماه ۱۳۸۸ در ۱۸ استان که ذرات معلق از بیابان‌های سوریه و عراق تا تهران پیشروی کرد، به‌طوری‌که بالاترین میزان ذرات معلق 460 PPM در تهران ثبت گردید (Ranjbar Saadatabadi and Azizi, 2012). پدیده گرد و خاک در استان کهگیلویه و بویراحمد از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۲ نشان از روند افزایشی در طوفان‌های گرد و خاک در این منطقه دارد (Khozoejad *et al.*, 2015). طوفان گرد و خاک

من - کندال نرخ تغییر در مشاهدات است. شکل ۴ نرخ تغییر شاخص سنجنده SCIAMACH نشان می‌دهد که تعدادی پیکسل شمال شرق، غرب و جنوب غرب دارای نرخ بالای تغییر هستند و بقیه پیکسل‌های مناطق نرخ تغییرات کاهشی دارند. شکل ۵ نرخ تغییرات سنجه در ۱۰ سال نشان می‌دهد که بالاترین نرخ تغییرات در غرب، جنوب غرب، مرکز و شمال شرق ایران است و بقیه مناطق تغییرات زیادی مانند این مناطق نداشته‌اند، اما بازهم از نظر روند، معنی‌دار است.

نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر، به‌منظور آشکارسازی روند تغییرات زمانی و مکانی سنجه‌های جذب هواویز AAI سنجنده‌های SCIAMACHY و GOME-2 از روش تجزیه و تحلیل سری زمانی به روش من - کندال استفاده شد. نتایج بررسی سنجنده SCIAMACHY روند افزایشی و معنی‌دار هواویزها در مناطق غرب، مرکز و شمال شرق ایران را نشان می‌دهد که با نرخ تغییرات پدیده گرد و خاک مطابقت دارد. در دیگر مناطق کشور روند معنی‌دار مشاهده نشد که این امر بدین معنا است که این مناطق شاید درگیر پدیده گرد و خاک هستند اما این پدیده به‌طور مداوم در سال‌های متوالی رخ نداده است. تغییرات سنجه‌های جذب هواویز سنجنده GOME-2 روند افزایشی و معنی‌دار را بیشتر در مناطق شرق، جنوب شرق، جنوب و جنوب غرب کشور نشان

تالاب‌ها، تجدیدنظر در راهبردهای توسعه بخش کشاورزی و تغییر الگوی کشت، بازنگری مطالعات محیط زیستی در پروژه‌های کلان در حال اجرا از جمله راهکارهای راهبردی جهت کاهش پدیده گرد و خاک است. استفاده از داده‌های سنجش از دور جهت پایش کوتاه‌مدت و بلندمدت گرد و خاک در مدیریت‌های کلان از جمله پیشنهاد‌های این تحقیق است.

پی‌نوشت‌ها

- ¹ Absorbing Aerosol Index (AAI)
- ² Scanning Imaging Absorption Spectrometer for Atmospheric Chartography (SCIAMACHY)
- ³ The second Global Ozone Monitoring Experiment (GOME-2)
- ⁴ Theil-Sen slope
- ⁵ The Ozone Monitoring Instrument (OMI)
- ⁶ June month
- ⁷ Synoptic
- ⁸ Mann kendall non-parametric
- ⁹ Envisat
- ¹⁰ Meteorological Operational satellite program (MetOP-A)
- ¹¹ Dust
- ¹² Biomass
- ¹³ Surface albedo
- ¹⁴ United Nations Environment Programme (UNEP)

در کرمانشاه که منجر به کاهش دید از ۱۰۰ متر به ۲۰۰ متر در طی چند روز شد و در ۵ جولای ۲۰۰۹ آلودگی به ۲۱ بار بیشتر از حد مجاز رسید (Akbari and Farahbakhshi, 2015) نمونه‌هایی از این گزارش‌ها است.

در سال ۱۳۸۸ ایران وارد یک خشکسالی شدید شد و از طرفی کشور عراق نیز دچار خشکسالی شده و موجب پیچیده‌تر شدن وضعیت گردید به طوری که برنامه محیط‌زیست سازمان ملل^{۱۴} به طور رسمی به سازمان محیط‌زیست ایران در مورد شکل‌گیری فاجعه محیط زیستی در غرب عراق هشدار داد. به این ترتیب شرایط به گونه‌ای پیش رفت که ذرات معلق بیش از ۱۸ استان کشور از جمله تهران، قزوین، سمنان، کردستان، مرکزی حتی مازندران و گیلان را هم در بر گرفت (Rashnov, 2010). هر چند پدیده گرد و خاک یک پدیده فراملی بوده و غیرقابل کنترل است ولی می‌توان با شناساندن محدوده آن در قالب الگوی گردشی و بررسی ویژگی‌های آماری در بازه‌های زمانی مختلف، برنامه‌های لازم برای مقابله و سازگاری فراهم نمود. با توجه به گستردگی زیاد منطقه تغذیه‌کننده گرد و خاک، به طور قطع امکان تغییر مؤثر در کوتاه‌مدت امکان‌پذیر نخواهد بود. تجدیدنظر اساسی در همه پروژه‌های سدسازی، مدیریت منابع آب، جلوگیری از اجرای پروژه‌های انتقال آب بین حوضه‌ای و افزایش حق آبه

منابع

- Alai Taleghani, M., 2009. Geomorphology of Iran. Ghomes. Tehran.
- Azizi, G., Miri, M. and Nabavi, O., 2012. Detection of dust phenomena in the southwest of Iran. *Geographic Studies Arid Regions*. 7, 63-81.
- Brown, O. and Crawford, A., 2009. Rising temperatures, Rising tensions. *Climate change and the risk of violent conflict in the Middle East*. *Environment*. 52, 4-5.
- De Graaf, M., Stammes, P. and Aben, E.A.A., 2007. Analysis of reflectance spectra of UV-absorbing aerosol scenes measured by SCIAMACHY. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, (D2)112.1-16.
- Farajzadeh Asl, M. and Alizadeh, K.H., 2011. Analysis of temporal and spatial dust storm in Iran. *Quarterly Spatial Planning (Modares Human Sciences)*. 15(1), 65-84.
- Fayazi, M., 2014. Study evaluation of dust detection algorithms on Modis Satellite images case study of southwest of Iran. Msc. Thesis. University of Tabriz, Tabriz, Iran.
- Heidary, P., 2015. Development of a model for extracting the optical depth of particles with high spatial resolution. Msc. Thesis. Sharif University of Technology, Tehran, Iran.
- Herman, J.R., Bhartia, P.K., Torres, O., Hsu, C.,

- Seftor, C. and Celarier, E., 1997. Global distribution of UV-absorbing aerosols from Nimbus 7/TOMS data. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 102(D14), 16911-16922.
- Hrdličková, Z., Michálek, J., Kolář, M. and Veselý, V., 2008. Identification of factors affecting air pollution by dust aerosol PM₁₀ in Brno City, Czech Republic. *Atmospheric Environment*. 42(37), 8661-8673.
- McCarthy, J.J., Canziani, O.F., Leary, N.A., Dokken, D.J. and White, K.S., 2001. *Climate change 2001: impacts, adaptation, and vulnerability: contribution of Working Group II to the third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Vol. 2)*. Cambridge University Press. UK.
- Ju, J. and Roy, D.P., 2008. The availability of cloud-free Landsat ETM+ data over the conterminous United States and globally. *Remote Sensing of Environment*. 112(3), 1196-1211.
- Kahn, R.A., Gaitley, B.J., Martonchik, J.V., Diner, D.J., Crean, K.A. and Holben, B., 2005. Multiangle Imaging Spectroradiometer (MISR) global aerosol optical depth validation based on 2 years of coincident Aerosol Robotic Network (AERONET) observations. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 110(D10), 1-16.
- Kendall, M.G., 1975. *Rank Correlation Methods*. Griffin, London.
- Khoshkish, A., Alijani, B. and Hejazi Zadeh, Z., 2011. Synoptic analysis of dusting systems in Lorestan Province. *Scientific Journals Management System*. 18(21), 91-101.
- Khosravi, M., 2009. The environmental impact of Hirmand River and system 120 day winds interactions. *Geographic Research*. 99, 49-19.
- Lashkari, H. and Keykhosravi, G.H., 2005. Statistical synoptic analysis of dust storm in Khorasan Razavi Province (1993-2005). *Physical Geography Research Quarterly*. 40(65), 33-17.
- Liu, Z., Vaughan, M., Winker, D., Kittaka, C., Getzewich, B., Kuehn, R., Omar, A., Powell, K., Treppe, C. and Hostetler, C., 2009. The CALIPSO lidar cloud and aerosol discrimination: Version 2 algorithm and initial assessment of performance. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*. 26(7), 1198-1213.
- Mann, H.B., 1945. Non-parametric tests against trend. *Econometrica*. 13, 245-259.
- Masoodian, A., 2003. Climate regions of Iran. *Geography and Development Iranian Journal*. 1(2), 171-184. (In Persian).
- Mohammadi, M., 2011. Trend Analysis of annual rainfall over Iran. *Geography and Environmental Planning*. 22(3), 95-106.
- Nowruz Bagheri, J., 2013. Saba Sand dunes, New Esfahan Risk. 16th National Conference on Environmental Health. 1th-3th Octobr, Tabriz University of Medical Sciences, Iran.
- Omidvar, K., 2012. Synoptic survey analysis of sand storm in Yazd-Ardakan Plain. *World Applied Sciences Journal*. 21(2), 43-58.
- Pourali, M. and Taghizadeh, A., 2011. Study of causes and source of dust in Khuzestan province. *Growth of Geographic Education*. 94, 8-13. (In Persian with English abstract).
- Rafiei Majoomerd, Z., Yazdani, M. and Rahimi, M., 2016. Trend analysis of number of dusty days in Iran. *Journal of Arid Regions Geographic Studies*. 6(2), 11-23.
- Ranjbar Saadatabadi, A. and Azizi, G.H., 2012. Studying of meteorological patterns, identifying of dust sources and motion track of particles for dust storm, July 2009. *Physical Geography Research Quarterly*. 44(3), 73-92.
- Rashki, A., Kaskaoutis, D.G., Goudie, A.S. and 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.

Rashnov, A.R., 2010. The phenomenon of dust in Khuzestan Province. Journal of Precipitation Ahvaz. Special issue, 23-16.

Rasouli, A.A., Sari Sarraf, B. and Mohammadi, G.H., 2010. Trend analysis the number of dusty days in the past 55 years in the west of Iran, using non-parametric statistics. Journal of Physical Geography. 3(9), 15-28. (In Persian).

Remer, L.A., Kaufman, Y.J., Tanré, D., Mattoo, S., Chu, D.A., Martins, J.V., Li, R.R., Ichoku, C., Levy, R.C., Kleidman, R.G. and Eck, T.F., 2005. The MODIS aerosol algorithm, products, and validation. Journal of the Atmospheric Sciences. 62(4), 947-973.

Rezaei Banafsheh, M., Sharifi, L. and Pirkhazranian, L., 2012. Estimated dust using satellite images (case study: Kurdistan Province). Natural Geography. 5(18), 13-22. (In Persian with English abstract).

Rezazadeh, M., Irannejad, P. and Shao, Y., 2013. Climatology of the Middle East dust events. Aeolian Research. 10, 103-109.

Shariepour, Z. and Aliakbari Bidokhti, A., 2013. Study of spatial and temporal variations of aerosol index over the Middle East during 2009. Third International Conference on Environmental Planning Management (ICEPM), 26th November, University Tehran, Iran.

Tahmasbi Byrgany, A.S., Abdinejad, Gh. and Nooshafarin, B., 2009. To study wind erosion and dust storms in Khuzestan and strategies to deal with it grassland and forest. Quarterly. 81, 21-25.

Tilstra, L.G., Tuinder, O.N. and Stammes, P., 2010. GOME-2 Absorbing Aerosol Index: statistical analysis, comparison to GOME-1 and impact of instrument degradation. In Proceedings of the 2010 EUMETSAT Meteorological Satellite Conference, 20th-24th September, Córdoba, Spain. p. 57.

Washington, R., Todd, M., Middleton, N.J. and Goudie, A.S., 2003. Dust-storm source areas determined by the total ozone monitoring spectrometer and surface observations. Annals of the Association of American Geographers. 93(2), 297-313.

Yu, H., Zhang, Y., Chin, M., Liu, Z., Omar, A., Remer, L.A., Yang, Y., Yuan, T. and Zhang, J., 2012. An integrated analysis of aerosol above clouds from A-Train multi-sensor measurements. Remote Sensing of Environment. 121, 125-131.

Zolfaghari, H., Masoumpour Samakosh, J., Shaygan Mehr, S.H. and Ahmadi, M., 2011. A synoptic investigation of dust storms in western regions of Iran during 2005- 2010 (a case study of widespread wave in July 2009). Geography and Environmental Planning Journal. 43, 17-34.





Environmental Sciences Vol.18/ No.1/ Spring 2020

57-70

Time series analysis of SCIAMACHY and GOME-2 absorbing aerosol index in Iran

Faezeh Alizadeh¹, Samereh Falahatkar^{*1} and Afsaneh Afzali²

¹ Department of Environmental Science, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University

² Department of Environment, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Kashan

Received: 2018.12.05 Accepted: 2019.01.20

Alizadeh, F., Falahatkar, S. and Afzali, A., 2020. Time series analysis of SCIAMACHY and GOME-2 absorbing aerosol index in Iran. *Environmental Sciences*. 18(1): 57-70.

Introduction: In the past three decades, dust has become a global concern for global societies. Due to Iran's location in an arid region, it is severely influenced by this phenomenon. This phenomenon usually carries a huge mass of particle matters that can be clearly detected by satellite images. The purpose of the present study was to investigate the time series changes of absorbing aerosol index using satellite images at a national scale.

Material and methods: In order to study the trend of monthly changes in dust phenomena in Iran, the data of Absorbing Aerosol Index (AAI) of SCIAMACHY sensor, which was taken during 2002-2012, and GOME-2 during 2007-2017 were evaluated using non-parametric Man-Kendall test. The variation rates for different sectors were estimated using Theil-Sen slope.

Results and discussion: The results showed an increasing trend in the western, southwest, center, and northeastern regions of Iran during 10 years based on Z statistics SCIAMACHY. The results also showed an increasing trend of GOME-2 Aerosol Absorbing Index in some parts of Markazi, Isfahan, Hamedan, and Fars provinces, and Lake Urmia and completely in Chaharmahal & Bakhtiari, and Kohgiluyeh & Boyerahmad provinces. Also, Golestan and Semnan provinces didn't show any specific trends. According to P statistic, the trend of change in most regions of Iran was significant. Based on the results of Theil-Sen slope, the western, southern and central regions of Iran showed the most changes in atmospheric aerosol concentration.

Conclusion: The high compatibility between the present results and the reports of meteorological stations showed the high capability of satellite data, which we used in this study, in order to identify the areas that encountered to

*Corresponding Author. *Email Address:* samereh.falahatkar@modares.ac.ir

dust phenomenon at a national scale. Accordingly, it is recommended that this technology be used for the macro-management of the natural resources in Iran.

Keywords: Absorbing Aerosol Index, Mann-Kendall test, Dust.