

## بررسی پدیده گرد و خاک و عوامل موثر بر آن در منطقه خاورمیانه با رویکرد لزوم انجام اقدامات کاهش تغییر اقلیم

سارا کرمی\*<sup>۱</sup>، نسیم حسین حمزه<sup>۲</sup>، ساویر صحت کاشانی<sup>۱</sup>، مهدی رهنما<sup>۱</sup>، عباس رنجبر سعادت آبادی<sup>۳</sup>

۱-استادیار پژوهشکده هواشناسی

۲-دانش آموخته پژوهشکده هواشناسی

۳-دانشیار پژوهشکده هواشناسی

(تاریخ دریافت: ۹۸/۰۷/۱۹، تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۸/۲۰)

### چکیده

هر تغییر اقلیم در سراسر دنیا سبب وقوع رخدادهای شدید و حدی شده است. یکی از مناطقی که به شدت تحت تاثیر تغییر اقلیم قرار گرفته منطقه خاورمیانه است. خشکسالی‌های شدید در این منطقه در کنار تغییرات انسان‌زا سبب وقوع پدیده‌های گرد و خاک شدید می‌شود. در این مطالعه پدیده گرد و خاک در منطقه خاورمیانه در دوره آماری ده ساله (سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۸) از دیدگاه‌های مختلفی مورد بررسی قرار گرفته است. خروجی شار گرد و خاک مدل GOCART نشان می‌دهد که بیشترین مقادیر شار گرد و خاک از جنوب شرقی عربستان، جنوب شرقی عراق، منطقه‌ای واقع در مرز دو کشور عراق و سوریه، مناطقی واقع در نیمه غربی ترکمنستان و بخش‌هایی از کشورهای قزاقستان و ازبکستان صورت می‌گیرد. همچنین در مناطقی از سواحل شمالی خلیج فارس و دریای عمان واقع در کشور ایران و مرز سه کشور افغانستان، پاکستان و ایران شار گرد و خاک مشاهده می‌شود. الگوی شاخص هواویز (AI) تشابه زیادی با شار گرد و خاک دارد. شاخص EVI در بخش وسیعی از منطقه، بسیار کوچک است که نشان دهنده نبود پوشش گیاهی کافی در این مناطق است. مقادیر میانگین بارش تجمعی سالانه نیز در بخش وسیعی از منطقه مورد مطالعه کمتر از ۲۵۰ میلیمتر است.

**واژه‌های کلیدی:** تغییر اقلیم، اثرات کاهش، شار گرد و خاک، شاخص‌های EVI و AI.

### مقدمه

زیرساخت‌های کشاورزی و سلامت اکوسیستم است (لیز و همکاران، ۱۹۹۶؛ شائو و همکاران، ۱۹۹۳).

بر اساس داده‌های جهانی که با استفاده از اندازه‌گیری ایستگاه‌های زمینی، داده‌های ماهواره‌ای و مدل‌های گرد و خاک به دست می‌آید، گرد و خاکی که از روی سطح زمین وارد جو می‌شود هر ساله به چند صد تا چندین هزار تن می‌رسد (نیکوویچ، ۲۰۰۱). از نظر کلی، منبع اصلی گرد و خاک در مناطق خشک و نیمه خشک جهان واقع است که از آن جمله می‌توان به بیابان‌های واقع در شرق آسیا، خاورمیانه، اروپا، آمریکای لاتین، شمال آمریکا، استرالیا، شرق و جنوب آفریقا اشاره کرد (واشنگتن، ۲۰۰۳). این پدیده اغلب در نیمکره شمالی کره زمین رخ می‌دهد. نیم کره جنوبی تنها ۱۰ درصد از سهم توفان‌های خاک (عمدتاً بیابان‌های کشور استرالیا) را داراست و ۹۰ درصد بقیه در نیم کره شمالی رخ می‌دهد (دوس و همکاران، ۱۹۷۵). در نیم کره شمالی کشورهایی که عمدتاً بر روی کمربند گرد و خاک قرار دارند از این پدیده متاثر هستند. این کمربند از شمال آفریقا تا

یکی از پدیده‌های مخرب زیست محیطی وقوع توفان‌های خاک است که سالانه سبب بروز خسارات مالی و جانی فراوانی می‌گردد. آلودگی هوای ناشی از وقوع توفان‌های خاک باعث تهدید سلامت افراد جامعه و مشکلات تنفسی و قلبی شده (چوی و همکاران، ۲۰۱۱)، همچنین کاهش دید افقی هر ساله موجب بروز حوادث و تصادفات شدید و افزایش میزان مرگ و میر می‌شود (دی، ۱۹۹۳). در سال‌های اخیر به دنبال تغییرات اقلیمی و همچنین تخریب‌های گسترده محیط زیست ناشی از فعالیت‌های انسانی مانند جنگ، سدسازی و غیره پدیده گرد و خاک شکل و ابعاد جدیدی به خود گرفته و به مشکلی جدی تبدیل شده است. تخریب زمین توسط فرسایش بادی مناطق زیادی از جهان را تحت تاثیر قرار می‌دهد (اولدمن، ۱۹۹۲). در مقیاس میدانی (کمتر از یک کیلومتر مربع)، فرسایش باد در داخل و خارج از محل دارای آثار مخربی بر رشد مح-۷-صول، تولیدات دامی،

باد و کاهش تنش‌های سطحی در سطح زمین، سبب حفاظت فیزیکی سطوح شده و در اثر حفظ و بازگرداندن مواد آلی به خاک، پایداری خاکدانه‌ها را ایجاد می‌کند (موزیک و جیلت، ۱۹۹۰) هر عاملی که باعث عدم پایداری اراضی شود و پوشش گیاهی را کاهش دهد، افزایش توفان‌های ماسه و گرد و خاک را به همراه دارد. در واقع عامل اصلی رخدادهای ناشی از ترکیب طولانی مدت خشکسالی و مدیریت ناپایدار اراضی است (تگن و همکاران، ۲۰۰۲). تغییرات اقلیمی یکی از عوامل مهمی است که سبب افزایش خطر فرسایش بادی و توفان‌های گرد و خاک است (ژنگ و همکاران، ۲۰۰۳).

افزایش ذرات گرد و خاک یکی از اثرات تغییرات اقلیم هستند که به مبادلات بین جو، سطح زمین و اقیانوس مربوط می‌شوند. افزایش توفان‌های خاک بر اثر کاهش رطوبت خاک، افزایش باد و کاهش پوشش گیاهی رخ می‌دهند. بار گرد و خاک موجود در جو هم‌اکنون، دو برابر میزان خود از آخرین عصر یخبندان شده است. افزایش گسیل گرد و خاک در شمال آفریقا به دلیل هوای سردتر، خشک‌تر و بادهای قویتر رخ می‌دهد در حالی که افزایش گرد و خاک از دیگر مناطق جهان عمدتاً به دلیل کاهش پوشش گیاهی و در نتیجه افزایش چشمه‌های تولیدکننده گرد و خاک رخ داده است (هریسون و همکاران، ۲۰۰۱).

پوشش گیاهی موجب کاهش دمای سطح و کاهش تغییر اقلیم می‌شود. اثر سرمایش گیاهان به خاطر افزایش تبخیر و تعرق، تغییر گردش جوی، کاهش انتقال موج کوتاه و کاهش آلبدو است. در مجموع می‌توان گفت در افزایش پوشش گیاهی موجب کاهش دمای سطح زمین می‌شود (ژنگ، ۲۰۱۷).

این مطالعه به بررسی پدیده گرد و خاک و برخی عوامل موثر بر آن مانند بارش و پوشش گیاهی در منطقه خاورمیانه می‌پردازد و در سه بخش داده‌ها و روش کار، بحث و بررسی و نتیجه‌گیری ارائه شده است.

### داده‌ها و روش کار

در این مطالعه پدیده گرد و خاک در منطقه خاورمیانه در دوره آماری ۱۰ ساله (سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۸) از

کشور چین کشیده شده است و منطقه خاورمیانه را در بر می‌گیرد (علیزاده و همکاران، ۲۰۱۵). صحرای ساهارا در آفریقا و حاشیه‌های آن بزرگترین منبع تولیدکننده گرد و خاک در جهان هستند (اشلزینگر و همکاران، ۲۰۰۶). چاله بودله، صحراهای جنوب مصر، شمال سودان و شاخ آفریقا از مناطق اصلی تولیدکننده گرد و خاک شناخته می‌شوند (بروکز و لگراند، ۲۰۰۰). پدیده گرد و خاک به خصوص یکی از معضلات منطقه خاورمیانه است زیرا دارای چشمه‌های فراوانی در شبه جزیره عربستان، سوریه، مصر، عراق و ایران است (شائو و همکاران، ۲۰۱۱). همچنین صحرای واقع در کشور سودان که یکی از منابع اصلی تولیدکننده گرد و خاک است (میدلتون و گودی، ۲۰۰۱) در نزدیکی منطقه خاورمیانه قرار دارد.

فعالیت سطوح منشاء ماسه و گرد و خاک وابسته به مناطقی است که سرعت باد در آن سطوح بیش از حد سرعت آستانه است و بستگی به ویژگی‌های محلی این سطوح دارد. اگر سرعت باد در بیابان‌ها از میزان آستانه (۸ متر بر ثانیه) بیشتر شود با توجه به زبری عناصر سطح، رطوبت خاک، اندازه دانه، پوشش گیاهی، بافت خاک، پستی و بلندی‌های زمین، ذرات ریز وارد جو می‌شوند (انگلسدتر و همکاران، ۲۰۰۶). بیشترین تعداد چشمه‌های گرد و خاک در مناطق خشک داخلی حوزه‌های آبخیزی است که دارای پوشش گیاهی محدود ناشی از عوارض خشکی و خشکسالی است (اربن و همکاران، ۲۰۰۹). از بین رفتن پوشش گیاهی، کاهش تنوع زیستی، تخریب و بهم خوردن خاک یا رسوب، استعداد ایجاد گرد و خاک را افزایش می‌دهد (شولز و شولز، ۲۰۱۳). تاثیر انسان بر چرخه‌های هیدرولوژی، اغلب ناشی از مصرف بیش از حد منابع آب که عامل خشک شدن سطوح آبی است، خطر ابتلا به رخدادهای توفان گرد و خاک را افزایش می‌دهد (ناویا و همکاران، ۲۰۱۰). عدم توسعه پایدار و تخریب اراضی به ویژه در مناطق نیمه-خشک، عامل مهم افزایش فرسایش بادی است که می‌تواند آثار مخربی بر کشاورزی داشته باشد (گودلند، ۱۹۹۷). پوشش گیاهی سازوکاری را ایجاد می‌کند که با اثر بادشکن، کنترل جریان

تفکیک یک درجه استفاده شده است. شاخص هواویز، شاخصی است که وجود هواویزهای جاذب اشعه ماوراء بنفش مانند گرد و غبار و دوده را شناسایی می‌کند.

شاخص هواویز UV بر پایه روش تضاد طیفی در محدوده اشعه ماوراء بنفش است که در آن جذب ازن بسیار اندک است. آن در حقیقت اختلاف بین مشاهدات و محاسبات مدل از نسبت تابش طیفی جذب شده و جذب نشده است. برای سنجنده

**TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer)** و ابزار اندازه گیری اُزن (**OMI (Ozone Measuring AI Instrument)** به صورت زیر تعریف شده است:

$$AI = 100 \left[ \log_{10} \left( \frac{I_{360}}{I_{331}} \right)_{measured} - \log_{10} \left( \frac{I_{360}}{I_{331}} \right)_{calculated} \right] \quad (V)$$

تابش‌های اندازه گیری شده در ۳۶۰ و ۳۳۱ نانومتر و  $\left( \frac{I_{360}}{I_{331}} \right)_{calculated}$  تابش‌های محاسبه شده در ۳۶۰ و ۳۳۱ نانومتر با فرض بازتابش جوی رابلی (**Rayleigh**) است.

مقادیر مثبت **AI** معمولاً نشان‌دهنده هواویزهای جاذب (گرد و خاک و دود) هستند در حالیکه مقادیر کوچک یا منفی، هواویزهای غیر جاذب و ابرها را نشان می‌دهند. اگر شاخص شکست، توزیع اندازه ذرات و ارتفاع لایه هواویزها از دیگر اندازه‌گیری‌ها مشخص باشد این شاخص را می‌توان به صورت عمق نوری بیان کرد.

کاربردهای این شاخص در تصحیح جوی داده‌های سنجش از دور مربوط به ویژگی‌های سطح، بررسی کیفیت هوا، پایش چشمه‌ها و چاه‌های هواویزها، بهداشت و محیط زیست، نظارت بر فوران آتشفشان‌ها و آتش‌سوزی جنگل‌ها، بودجه تابشی زمین، مدل‌های انتقال تابشی و تغییر آب و هوا است.

از آنجا که بارش و پوشش گیاهی دو عامل مهم در وقوع رخدادهای گرد و خاک هستند، نقشه‌های میانگین سالانه شاخص **EVI** سنجنده مادیس ماهواره ترا به صورت ماهانه با تفکیک ۰٫۰۵ درجه در این دوره زمانی ترسیم شد. همچنین بارش تجمعی سالانه با استفاده از داده‌های تحلیل **ERA5** در سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۸ مورد تحلیل قرار گرفت.

دیدگاه‌های مختلفی مورد بررسی قرار گرفته است. نخست مدل گرد و خاک **GOCART** با استفاده از داده‌های باد بدست آمده از داده‌های تحلیل **ERA5** با تفکیک افقی ۰٫۲۵ درجه اجرا شده و خروجی شار گرد و خاک که میزان گرد و خاک گسیل شده از واحد سطح در واحد زمان را نشان می‌دهد؛ به صورت میانگین سالانه ارائه شده است. سایر داده‌های مورد نیاز در اجرای مدل شامل بافت خاک (۱۴ نوع متداول)، کسر پوشش گیاهی و فرسایش پذیری، از داده‌های جغرافیایی جهانی مورد استفاده در مدل **WRF** استخراج شده است (جیمز و همکاران، ۲۰۱۲). برای محاسبه مقادیر شار گرد و خاک سالانه، نخست مقادیر شار روزانه محاسبه شده، سپس با میانگین‌گیری از این مقادیر برای هر ماه، مقادیر میانگین ماهانه برای هر سال بدست می‌آید. در نهایت به منظور ارائه نتیجه کلی، مقادیر میانگین سالانه شار گرد و خاک با میانگین‌گیری از مقادیر ماهانه هر سال در کل دوره آماری محاسبه شده است.

مدل **GOCART**، چشمه‌های بالقوه گرد و خاک را بر پایه کسر فرسایش‌پذیر در نظر می‌گیرد. شار قائم گرد و خاک از سطح در این مدل به صورت زیر محاسبه می‌شود:

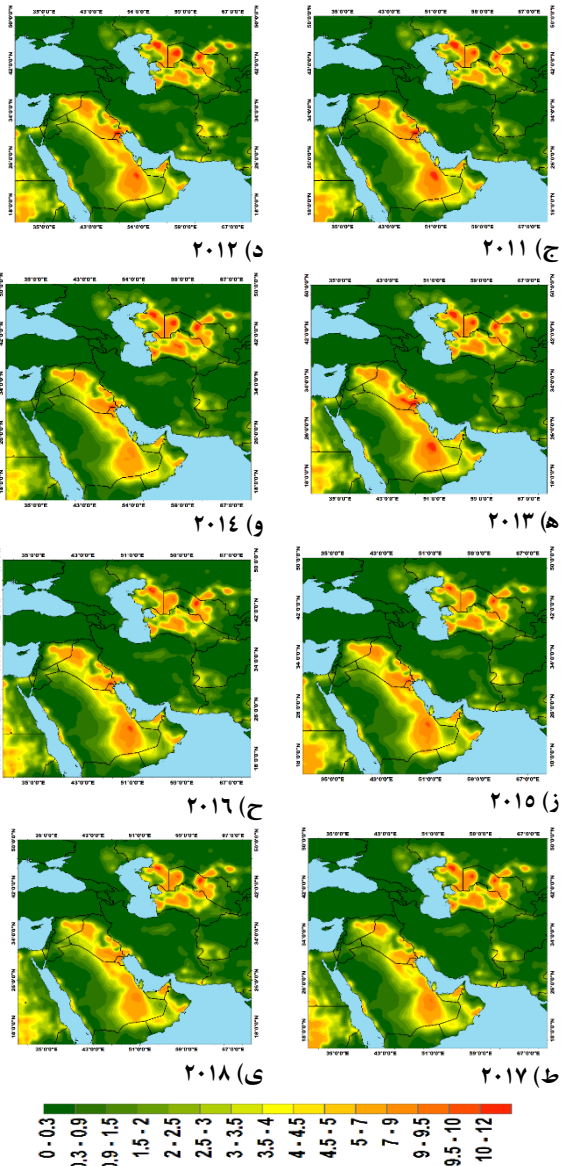
$$F = C S s_p u_{10}^2 (u_{10} - u_t^*) \text{ for } u_{10m} \geq u_t \quad (5)$$

که در آن **c** ثابتی تجربی است و برابر  $1.9 \frac{\mu g s^2}{m^5}$  در نظر گرفته شده،  $u_{10}$  سرعت باد تراز ۱۰ متری،  $u_t^*$  سرعت آستانه برای فرسایش بادی ذره به اندازه **p** است که در سرعت‌های پایین‌تر از آن هیچ گسلی صورت نمی‌گیرد.  $s_p$  کسر هر دسته گرد و خاک است که برای کوچکترین اندازه ذرات برابر ۰٫۱ و برای سایر اندازه‌ها برابر ۰٫۲۵ در نظر گرفته می‌شود. **S** تابع فرسایش پذیری است که با رابطه زیر به دست می‌آید:

$$S = \left( \frac{z_{max} - z_i}{z_{max} - z_{min}} \right)^5 \quad (6)$$

$z_i$  ارتفاع سلول شبکه،  $z_{min}$  و  $z_{max}$  به ترتیب ارتفاع بیشینه و کمینه توپوگرافی در فاصله ۱۰ درجه در ۱۰ درجه از مرکز سلول شبکه است.

برای درستی سنجی خروجی مدل از داده‌های شاخص هواویز (**AI**) سنجنده **OMI** ماهواره **AURA** که به صورت روزانه با



**شکل ۱-** میانگین سالانه شار قائم گرد و خاک در سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۸  
 میانگین سالانه شاخص هواویز (AI) که در شکل ۲ نمایش داده شده است، بیشینه مقادیر را در شرق سوریه، بخش وسیعی از کشور عراق، جنوب غربی ایران و سواحل جنوبی خلیج فارس نشان می‌دهد. همچنین میزان AI در غرب ترکمنستان و مرز ایران، پاکستان و افغانستان نیز قابل توجه است. به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که الگوی AI تشابه زیادی با شار گرد و خاک دارد. با توجه به اینکه داده‌های AI از سال ۲۰۱۵ به بعد در دسترس نیست نمی‌توان الگویی برای تغییر آن ارائه کرد. با این وجود مقایسه مقادیر میانگین سالانه شاخص AI نشان می‌دهد که میزان گسیل گرد و خاک در

پوشش گیاهی به نوعی از پوشش زمینی گفته می‌شود که توسط گیاهان ایجاد شده است. پوشش گیاهی به صورت NDVI، EVI (Enhanced Vegetation Index) (Normalized Difference Vegetation Index) و یا کسر پوشش اندازه‌گیری می‌شود.

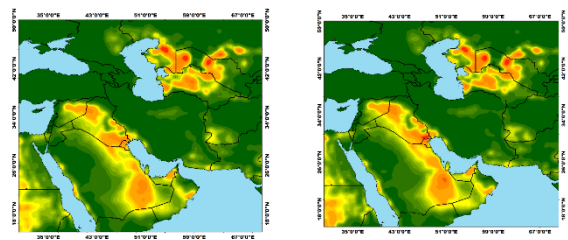
فرمول ریاضی برای NDVI عبارت است از:

$$NDVI = (NIR - VIS) / (NIR + VIS)$$

که در آن NIR تابش نزدیک مادون قرمز و VIS تابش طول موج مرئی است. EVI از فرمول مشابه NDVI استفاده می‌کند، اما یک تصحیح جوی را نیز انجام می‌دهد. الگوریتم برای تولید این محصول بهترین مقدار پیکسل موجود را از بین کلیه داده‌ها در دوره ۱۶ روزه انتخاب می‌کند. معیارهای انتخاب، وجود ابرهای کم، زاویه دید کم و بالاترین مقدار NDVI/EVI است.

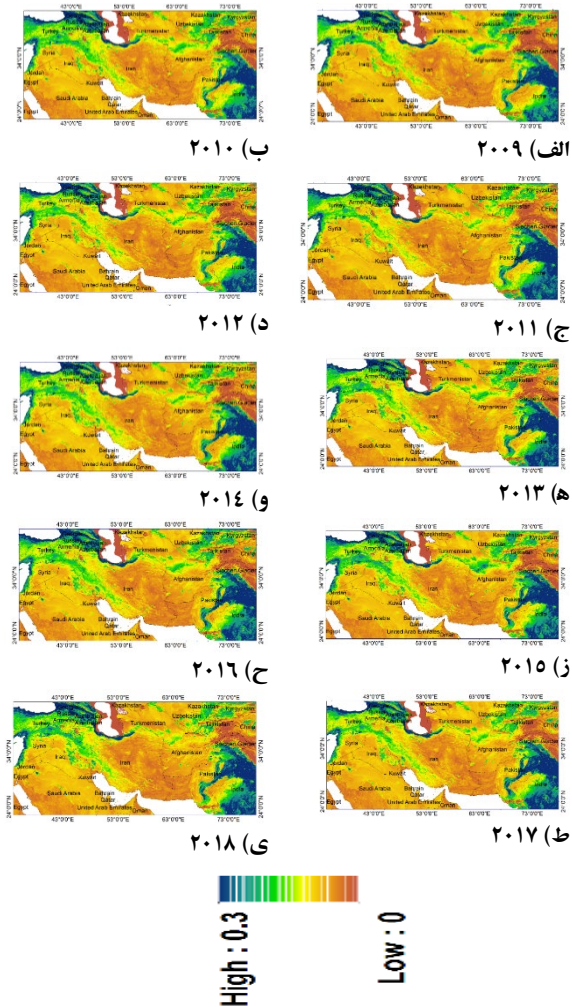
### بحث و بررسی

شکل ۱ میانگین سالانه شار قائم گرد و خاک خروجی مدل GOCART را در دوره زمانی سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۸ نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که بیشترین مقادیر شار گرد و خاک از جنوب شرقی عربستان، جنوب شرقی عراق، منطقه‌ای واقع در مرز دو کشور عراق و سوریه، مناطقی واقع در نیمه غربی ترکمنستان و بخش‌هایی از کشورهای قزاقستان و ازبکستان صورت می‌گیرد. همچنین در مناطقی از سواحل شمالی خلیج فارس و دریای عمان واقع در کشور ایران، مرز سه کشور افغانستان، پاکستان و ایران و مناطق مرکزی ایران شار گرد و خاک مشاهده می‌شود. علی‌رغم اینکه الگوی شار گرد و خاک در سال‌های مختلف تشابه زیادی دارد، ولی به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که در سال‌های اخیر میزان شار گرد و خاک در بخش وسیعی از منطقه کاهش نسبی نشان داده است.



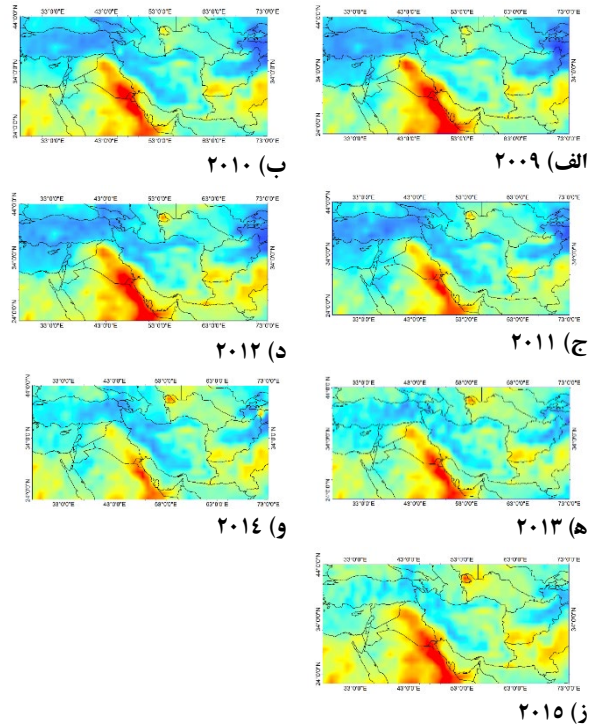
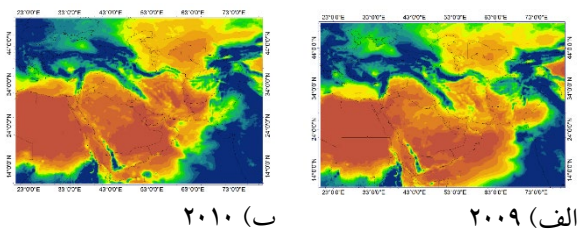
الف) ۲۰۰۹ ب) ۲۰۱۰

این دوره ۱۰ ساله در سال ۲۰۰۹ نسبت به سایر سالها به صورت قابل توجهی بیشتر بوده است، در این سال میزان شار گرد و خاک نیز در برخی مناطق به صورت قابل توجهی افزایش نشان داده است.



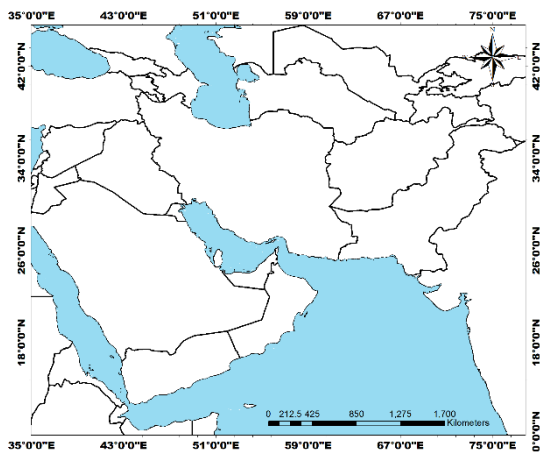
شکل ۳- میانگین سالانه شاخص EVI در سالهای ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۸

مقادیر بارش تجمعی سالانه در سالهای ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۸ در منطقه خاورمیانه نشان می‌دهد که در بیشتر مناطق بارش کمتر از ۲۵۰ میلی‌متر است. کمترین میزان بارش در این منطقه مربوط به شمال شرقی آفریقا، جنوب عربستان، بخش‌هایی از کشورهای یمن و عمان، جنوب شرقی ایران و غرب افغانستان و پاکستان است. مقایسه شکل‌ها نشان می‌دهد که در سال ۲۰۱۰ کاهش شدید بارش در سراسر منطقه، دریای مدیترانه، منطقه‌ای واقع در کشور ازبکستان و مرز پاکستان و افغانستان مشاهده می‌شود.

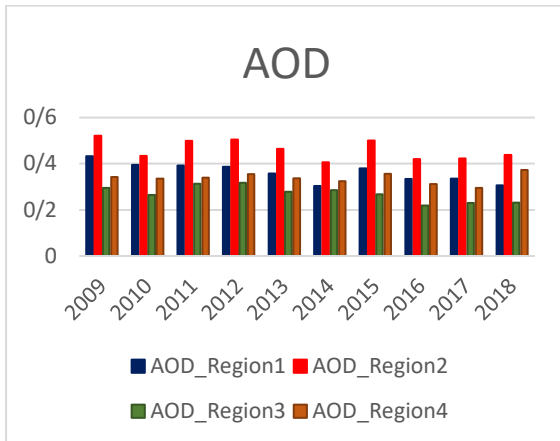


شکل ۴- میانگین شاخص AI در سالهای ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۸

شکل ۳ میانگین سالانه شاخص EVI در منطقه خاورمیانه را در دوره زمانی سالهای ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۸ نشان می‌دهد. مقدار شاخص در بخش وسیعی از منطقه، بسیار کوچک است که نشان‌دهنده عدم وجود پوشش گیاهی کافی در این مناطق است. در مناطق فاقد پوشش گیاهی مانند عربستان، کشورهای حاشیه جنوبی خلیج فارس، مناطق مرکزی ایران، بخش وسیعی از کشورهای عراق، سوریه، افغانستان، پاکستان و ترکمنستان مقادیر سالانه این شاخص تغییر چندانی نشان نمی‌دهد ولی در برخی مناطق دارای پوشش گیاهی مانند دامنه‌های زاگرس در ایران و مناطق شمالی کشورهای عراق، سوریه و افغانستان، تغییراتی قابل مشاهده است به گونه‌ای که شاخص EVI در سالهای ۲۰۰۹ و ۲۰۱۱ در بیشتر مناطق کمتر از سایر سالها است.

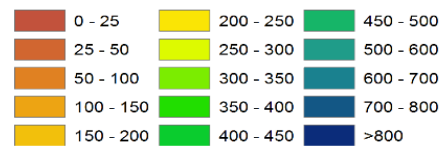
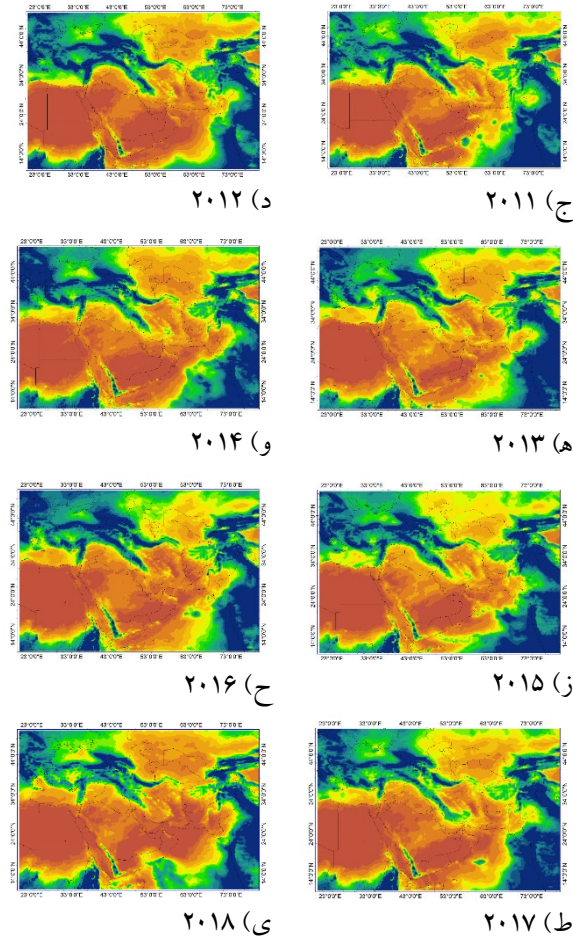


**شکل ۵-** مناطق مختلف در محدوده مطالعاتی جهت بررسی سری زمانی مقادیر AOD در شکل ۶ نمایش داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که در منطقه ۲ مقادیر AOD به شکل قابل توجهی بیشتر از سایر مناطق است. مقایسه سال‌های مختلف نشان می‌دهد که بویژه در مناطق ۱ و ۲ مقادیر AOD روند نزولی دارند. بیشترین مقادیر AOD در دو منطقه ۱ و ۲ در سال ۲۰۰۹، در منطقه ۳ در سال‌های ۲۰۱۱ و ۲۰۱۲ و در منطقه ۴ در سال ۲۰۱۸ مشاهده می‌شود.



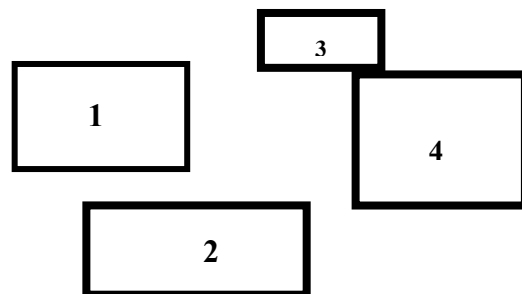
**شکل ۶-** میانگین سالانه عمق نوری هواویزها در مناطق ۱ تا ۴

مقادیر شاخص EVI در سال‌های مختلف در شکل ۷ نشان داده شده است. مقادیر EVI در منطقه ۲ که بیشترین مقادیر عمق نوری را دارد به شدت کمتر از سایر مناطق است. به طور کلی می‌توان بیان کرد که شاخص EVI روند قابل توجهی نشان نمی‌دهد. با توجه به کوچک بودن این شاخص در عربستان نمی‌توان تغییرات آن را در سال‌های مختلف مقایسه کرد ولی در منطقه ۱ در سال‌های ۲۰۰۹، ۲۰۱۱ و ۲۰۱۲ به



**شکل ۷-** بارش تجمعی سالانه در سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۸

به منظور تعیین دقیق‌تر تغییرات زمانی میزان گرد و خاک موجود در جو و همچنین پوشش گیاهی، سری زمانی دو کمیت عمق نوری هواویزها AOD و شاخص EVI در دوره زمانی سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۸ بررسی می‌شود. برای مقایسه بهتر بخشی از منطقه مورد مطالعه به چهار بخش تقسیم شده است. شکل ۵ مناطق مورد بررسی را نشان می‌دهد.



آسیب پذیری از دیدگاه‌های مختلفی مورد بررسی قرار گرفته است. از دیدگاه جغرافیایی افرادی که در سرزمین‌های خشک و نیمه خشک، ساحلی، محدوده مسیل یا در جزایر کوچک زندگی می‌کنند آسیب پذیرتر هستند و از دیدگاه اجتماعی کشورهای در حال توسعه دارای ظرفیت کمتری برای انطباق بوده و نسبت به تغییر آب‌وهوا آسیب پذیرتر هستند. این وضعیت در میان فقیرترین افراد بسیار شدیدتر است.



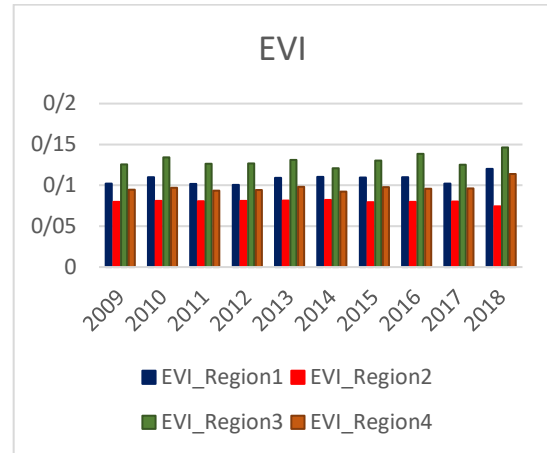
شکل ۹- عوامل موثر در تعیین میزان آسیب پذیری ناشی از تغییر اقلیم

به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که از آنجا که بخش عمده‌ای از خاورمیانه را کشورهای در حال توسعه تشکیل می‌دهند و رخدادهای حدی بویژه خشکسالی‌های شدید در سال‌های اخیر به وفور در این منطقه رخ داده است، این منطقه دارای آسیب پذیری زیادی است که باید با مطالعات کارشناسی از دیدگاه‌های مختلف مورد بررسی قرار می‌گیرد.

### نتیجه‌گیری

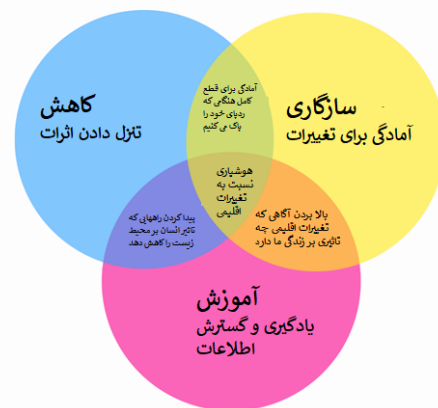
میانگین سالانه شار گرد و خاک در منطقه خاورمیانه در دوره زمانی ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۸ نشان می‌دهد که بیشترین مقادیر شار گرد و خاک از جنوب شرقی عربستان، جنوب شرقی عراق، منطقه‌ای واقع در مرز دو کشور عراق و سوریه، مناطقی واقع در نیمه غربی ترکمنستان و بخش‌هایی از کشورهای قزاقستان و ازبکستان صورت می‌گیرد. همچنین در مناطقی از سواحل شمالی خلیج فارس و دریای عمان واقع در کشور ایران و مرز سه کشور افغانستان، پاکستان و ایران نیز شار گرد و خاک مشاهده می‌شود. مقادیر میانگین سالانه شاخص هواویز (AI) نشان می‌دهد که الگوی AI تشابه زیادی با شار گرد و خاک دارد. مقایسه مقادیر میانگین سالانه شاخص AI نشان می‌دهد که میزان گسیل گرد و خاک در این دوره ۱۰ ساله در سال ۲۰۰۹ نسبت به سایر سال‌ها بیشتر بوده است، که در این سال میزان شار گرد و خاک نیز در برخی مناطق به صورت قابل توجهی افزایش نشان داده است. شاخص EVI در بخش وسیعی از منطقه، بسیار کوچک است که نشان دهنده فقر

صورت قابل توجهی کمتر از سایر سال‌ها است. در مناطق ۲ و ۳، شاخص EVI در سال ۲۰۱۴ به حداقل مقدار خود در دوره ۱۰ ساله رسیده است.



شکل ۲- میانگین سالانه شاخص EVI در مناطق ۱ تا ۴

راهکارهای مقابله با تغییر اقلیم که در شکل ۸ نشان داده شده است، سه مساله کلی را بیان می‌کند: کاهش، سازگاری و آموزش. کاهش به ما کمک می‌کند تا از مسالهای اجتناب ناپذیر جلوگیری کرده و یا حداقل آن را به تعویق اندازیم، در حالی که سازگاری به ما کمک می‌کند تا آن را مدیریت کنیم. در کنار کاهش و سازگاری، آموزش به عنوان راهکاری مهم مطرح می‌شود، زیرا امکان عملیاتی نمودن هیچ راهکاری بدون آموزش وجود ندارد.



شکل ۸- راهکارهای مقابله با تغییر اقلیم

CCVATCH سه عامل، میزان مواجهه هر منطقه با خطرات ناشی از تغییرات اقلیمی، میزان حساسیت به آن و ظرفیت سازگاری با این تغییرات را برای ارزیابی آسیب‌پذیری در برابر تغییرات اقلیمی در نظر می‌گیرد (شکل ۹). میزان

- 5- Duce, R. A., Hoffman, G. L., & Zoller, W. H. (1975). Atmospheric trace metals at remote northern and southern hemisphere sites: pollution or natural? *Science*, 187 (4171), 59-61.
- 6- Engelstaedter, S., Tegen, I., & Washington, R. (2006). North African dust emissions and transport. *Earth-Science Reviews*, 79 (1-2), 73-100.
- 7- Goodland, R. (1997). Environmental sustainability in agriculture: diet matters. *Ecological economics*, 23 (3), 189-200.
- 8- Harrison, S. P., Kohfeld, K. E., Roelandt, C., & Claquin, T. (2001). The role of dust in climate changes today, at the last glacial maximum and in the future. *Earth-Science Reviews*, 54 (1-3), 43-80.
- 9- Jiménez, P. A., Dudhia, J., González-Rouco, J. F., Navarro, J., Montávez, J. P., & García-Bustamante, E. (2012). A revised scheme for the WRF surface layer formulation. *Monthly Weather Review*, 140 (3), 898-918.
- 10- Leys, J., Koen, T., & McTainsh, G. (1996). The effect of dry aggregation and percentage clay on sediment flux as measured by a portable field wind tunnel. *Soil Research*, 34 (6), 849-861.
- 11- Middleton, N.J. and Goudie, A.S., 2001. Saharan dust: sources and trajectories. *Transactions of the Institute of British Geographers*, 26 (2), pp.165-181.
- 12- Musick, H. B., & Gillette, D. A. (1990). Field evaluation of relationships between a vegetation structural parameter and sheltering against wind erosion. *Land Degradation & Development*, 2 (2), 87-94.
- 13- Navea, J. G., Chen, H., Huang, M., Carmichel, G. R., & Grassian, V. H. (2010). A comparative evaluation of water uptake on several mineral dust sources. *Environmental Chemistry*, 7 (2), 162-170.
- 14- Nickovic, S., Kallos, G., Papadopoulos, A., & Kakaliagou, O. (2001). A model for prediction of desert dust cycle in the atmosphere. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 106 (D16), 18113-18129.
- 15- Oldeman, L. R. (1992). Global extent of soil degradation. In *Bi-Annual Report 1991-1992/ISRIC* (pp. 19-36). ISRIC.
- 16- Schlesinger, P., Mamane, Y., & Grishkan, I. (2006). Transport of microorganisms to Israel during Saharan dust events. *Aerobiologia*, 22 (4), 259.
- 17- Scholes, M. C., & Scholes, R. J. (2013). Dust unto dust. *Science*, 342 (6158), 565-566.
- 18- Shao, Y., Ishizuka, M., Mikami, M., & Leys, J. F. (2011). Parameterization of size-resolved dust emission and validation with measurements. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 116 (D8).
- شدید پوشش گیاهی کافی در این مناطق است. در مناطق فاقد پوشش گیاهی مقادیر سالانه این شاخص تغییر چندانی نشان نمی‌دهد ولی در برخی مناطق دارای پوشش گیاهی شاخص EVI در سال‌های ۲۰۰۹ و ۲۰۱۱ در بیشتر مناطق کمتر از سایر سال‌ها است. مقادیر میانگین بارش جمعیتی سالانه نیز در بخش وسیعی از منطقه مورد مطالعه کمتر از ۲۵۰ میلیمتر است. مقایسه بارش سالانه در دوره ۱۰ ساله نشان می‌دهد که در سال ۲۰۱۰ در بخش وسیعی از منطقه مقدار بارش نسبت به سایر سال‌ها بسیار کمتر بوده است. ممکن است دلیل کاهش پوشش گیاهی در سال ۲۰۱۱ کاهش قابل توجه بارش در سال ۲۰۱۰ باشد. به طور کلی می‌توان بیان کرد با توجه به اینکه بخش وسیعی از منطقه خاورمیانه دارای مقادیر بارش سالانه کم (کمتر از 250 mm) و پوشش گیاهی ضعیف است، در این منطقه مدیریت منابع آب اهمیت فراوانی دارد و چنانچه مدیریت درستی صورت نگیرد و اقدامات اساسی جهت ترمیم و احیای پوشش گیاهی که خود وابسته به منابع آب موجود در منطقه است انجام نشود، افزایش وسعت مناطق مستعد گسیل گرد و خاک و همچنین شدت فعالیت آنها بوقوع خواهد پیوست. در این صورت پدیده‌های گرد و خاک شدید و فراگیر نه تنها ساکنان این منطقه، بلکه بخش وسیعی از جهان را تحت تاثیر قرار خواهد داد.

#### منابع

- 1- Alizadeh-Choobari, O., Sturman, A., & Zawar-Reza, P. (2015). Global distribution of mineral dust and its impact on radiative fluxes as simulated by WRF-Chem. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 127 (6), 635-648.
- 2- Brooks, N., & Legrand, M. (2000). Dust variability over northern Africa and rainfall in the Sahel. In *linking climate change to land surface change* (pp. 1-25). Springer, Dordrecht.
- 3- Choi, H., Shin, D. W., Kim, W., Doh, S. J., Lee, S. H., & Noh, M. (2011). Asian dust storm particles induce a broad toxicological transcriptional program in human epidermal keratinocytes. *Toxicology letters*, 200 (1-2), 92-99.
- 4- Day, R. W. (1993). Accidents on interstate highways caused by blowing dust. *Journal of performance of constructed facilities*, 7 (2), 128-132.



- 22- Washington, R., Todd, M., Middleton, N. J., & 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.
- 23- Zeng, Z., Piao, S., Li, L. Z., Zhou, L., Ciais P., Wang, T. & Mao, J. (2017). Climate mitigation from vegetation biophysical feedbacks during the past three decades. *Nature Climate Change*, 7 (6), 432.
- 24- Zhang, X. Y., Gong, S. L., Zhao, T. L., Arimoto, R., Wang, Y. Q., & Zhou, Z. J. (2003). Sources of Asian dust and role of climate change versus desertification in Asian dust emission. *Geophysical Research Letters*, 30 (24).
- 19- Shao, Y., McTainsh, G. H., Leys, J. F., & Raupach, M. R. (1993). Efficiencies of sediment samplers for wind erosion measurement. *Soil Research*, 31 (4), 519-532.
- 20- Tegen, I., Harrison, S. P., Kohfeld, K., Prentice, I. C., Coe, M., & Heimann, M. (2002). Impact of vegetation and preferential source areas on global dust aerosol: Results from a model study. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 107 (D21), AAC-14.
- 21- Urban, F. E., Reynolds, R. L., & Fulton, R. (2009). The dynamic interaction of climate, vegetation, and dust emission, Mojave Desert, USA. *Arid environments and wind erosion*, 243-267.