نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال هفتم، شماره ۱، بهار ۱۳۹۹.
صفحات ۱۵تا۳۲

واکاوی و مقایسه تولیدات ماهواره‌ای و شبیه‌سازی‌شده AOD در تحلیل گردوغبارهای غرب ایران (۲۰۱۸-۲۰۰۰)

کاوه محمدپور[۱]، دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی تهران، ایران.
محمد سلیقه، دانشیار اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی تهران.
علی درویشی بلورانی، استادیار گروه سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
طیب رضئیی، استادیار مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، کرج، ایران.

دریافت مقاله : ۱۳۹۸/۰۱/۲۰ پذیرش نهایی:۱۳۹۸/۰۴/۰۵

چکیده

گردوغبار، تحت تأثیر تعامل سیستم اتمسفر – زمین بوده و با تغییر در انرژی تابشی، شیمی و فیزیک اتمسفر، اقلیم یک منطقه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بنابر ضرورت نقش گردوغبارها و پراکنش فضایی-دینامیکی گسترده آن‌ها و نیز وجود تکنیک‌های پیشرفته سنجش‌ازدور و مدل‌سازی در شبیه‌سازی گردوغبار، در پژوهش حاضر سعی در مقایسه، کمی‌سازی و شبیه‌سازی رفتار گردوغبار با استفاده از عمق نوری آئروسل (AOD) MODIS و MACC گردید. میزان همبستگی پیرسون بین داده‌ها نشان داد که در منطقه موردمطالعه بین سنجنده و مدل ارتباط معنی‌داری وجود دارد و کمترین همبستگی در استان همدان مشاهده شد. توزیع سالانه AOD نمایان ساخت که مقدار گردوغبار دارای دو دوره فعال (۲۰۱۰-۲۰۰۰) و غیرفعال (۲۰۱۸-۲۰۱۰) بود. همچنین، توزیع ماهانه AOD نشان داد که منطقه موردمطالعه در ماه‌های آوریل تا آگوست دارای بیشترین غلظت گردوغبار است؛ که همخوانی ماهانه AOD بین مدل و سنجنده به تفکیک استان در ماه‌های مرطوب (دسامبر تا مارس) بیشتر از ماه‌های خشک (آوریل تا نوامبر) است. توزیع مکانی گردوغبار در هر دو سنجنده و مدل دارای الگوی کلی مورب مکانی جنوبی-شمالی است و با افزایش عرض جغرافیایی از مقدار آن کاسته می‌شود، اما این تغییرات در MODIS منظم‌تر از MACC است.

واژه‌های کلیدی: عمق نوری آئروسل (AOD)، MACC، MODIS، غرب ایران.

[۱]. نویسنده مسئول: Email:Kawe.m@hotmail.com

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.1.3]

مقدمه

گردوغبارها تحت عنوان عمده‌ترین نوع از آئروسل‌ها هستند که انتقال انرژی تابشی را به‌صورت مستقیم (جذب و پخش تابش) (Harrison et al., 2001; S. Jayaraman et al., 2001; Sokolik et al., 2001; Haywood et al., 2003; Bangert et al., 2012 Tegen et al., 1996, 1997; A. Jayaraman et al., 1998; Satheesh and Ramanathan, 2000; و غیرمستقیم (ویژگی‌های میکرو فیزیک، تشکیل هسته تراکم و نور) (Levin et al., 1996; Rosenfeld et al., ۱۹۹۷; Wurzler et al., 2000; Nakajima et al., 2001; Penner et al., 2001; Bangert et al., 2012) تحت تأثیر قرار می‌دهند. همچنین، گردوغبارها بر روی تغییر دمای هوا، شکل‌گیری ابر، همرفت و میزان بارش اثر می‌گذارند (Bryson and Barreis, 1967; Maley, 1982; Lohmann and Feichter, 2005; Wong and Dessler, 2005; Rosenfeld et al., 2008; Wong et al., 2009). درواقع آئروسل‌ها و به‌ویژه گردوغبار ازنظر تغییراتی که در فیزیک و شیمی اتمسفر ایجاد می‌کنند، اقلیم یک منطقه را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد (Kaufman et al., 2002; Lohmann and Feichter, ۲۰۰۵; IPCC, 2013).

در سال‌های اخیر، افزایش سنجنده‌ها و مدل‌های مختلف با دقت زمانی و مکانی مختلف امکان پژوهش در حیطه گردوغبار را دوچندان نموده است (Mao et al., 2014). از این میان، مهم‌ترین مطالعات به بررسی عمق نوری آئروسل (AOD) به‌عنوان کلیدی‌ترین پارامتر در تحلیل گردوغبار پرداخته‌اند. در دو دهه اخیر، پارامتر AOD به‌عنوان اصلی‌ترین پارامتر ثبت‌شده در مشاهدات زمینی، ماهواره‌ها و مدل‌های پیشرفته جهانی توجه بسیاری از پژوهشگران را در بررسی گردوغبار به خود جلب کرده است (Morcrette et al. 2009; Mangold et al. 2011; Mao et al., 2014; Cuevas et al, 2015; Xuemei Zong et al., 2015). علاوه بر مشاهدات زمینی[1]سنجنده‌هایی همچون MODIS، MISR، CALIPSO وSeaWiFi نیز عمق نوری آئروسل را تولید می‌کنند که خاموشی نور توسط آئروسل را در ستونی از جو در بالای سطح زمین نشان می‌دهد (Levy et al., 2013; Sayer et al., 2013; van Donkelaar et al., 2010, 2015; Ma et al., ۲۰۱۶). پارامتر AOD تخمینی است از مقدار کاهش نور خورشید در ستونی از جو توسط ذرات معلق که به علت جذب یا پراکنش نور اتفاق می‌افتد و به‌عنوان کلیدی‌ترین فاکتور در مطالعات اثرات آب و هوایی آئروسل‌ها و آلودگی‌های جوی می‌باشد (Pan et al., 2010; Mao et al., 2014). شایان‌ذکر است، قبلاً در مطالعات مذکور میزان AOD مدل و سنجنده با مشاهداتی زمینی در اقصی نقاط جهان به‌ویژه در منطقه مدیترانه و خاورمیانه صحت‌سنجی شده است (Morcrette et al. 2009; Mangold et al. 2011; Cuevas et al, 2015; Xuemei Zong et al., 2015;) و به همین دلیل در پژوهش حاضر به صحت‌سنجی پرداخته نشده است.

اگرچه مطالعات محدودی به مقایسه آئروسل و گردوغبار با استفاده از داده‌های شبیه‌سازی‌شده مدل‌ها با تولیدات ماهواره-ای پرداخته‌اند (Morcrette et al. 2009; Mangold et al. 2011; Cuevas et al, 2015;). اما، برخی از پژوهش‌ها با تمرکز بر روی کمیت‌های ماهانه و روزانه‌ی عمق نوری آئروسل (AOD[2]) در باند مرئی میانی نشان دادند که داده‌های شبیه‌سازی‌شده با داده‌های زمینی و ماهواره‌ای در مناطق گردوغباری و سواحل دریا همخوانی معنی‌داری باهم دارند (Morcrette et al. 2009; Mangold et al. 2011)؛ هرچند که در برخی موارد مشاهده می‌شود که مدل‌ها مقدار حداکثرها را نادیده می‌گیرند (Mangold et al. 2011). همچنین، پژوهش‌های انجام‌گرفته در ایران نشان می‌دهد که

[1]- AERONET
[2]- Aerosol Optical Depth

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]
[DOI: 10.29252/jsaeh.7.1.3]

این پژوهش‌ها با دقت مکانی پایین (۱×۱درجه قوسی یا ۱۰۰ کیلومترمربع) بوده و مقدار گردوغبار را با استناد به مشاهدات زمینی مقایسه و تحلیل کرده‌اند. این پژوهش‌ها باهدف ارزیابی مسیریابی پسگرد گردوغبار، ارتباط گردوغبار غرب ایران با بیابان‌های عراق، سوریه و عربستان، تأثیر آئروسل بر شار تابش، مقایسه باندهای متفاوت یک سنجنده طی روز خاص و یا تحلیل ارتباط بارش و دما با استفاده از مقدار AOD انجام گرفته‌اند (Gharibzadeh et al., 2017; Ashrafi et al., ۲۰۱۴; Arkian & Nicholson, 2018; Namdari et al., 2018). در جدیدترین مطالعات در ایران، پژوهشگران نیز بیشتر علاقه‌مند به ردیابی و مسیریابی، تحلیل فراوانی روزهای گردوغباری و تحلیل همدیدی و ماهواره‌ای رخدادهای مشخص در قالب رخدادهای محدود و چندروزه در نیمه غربی ایران داشته‌اند (زولی و همکاران، ۱۳۹۳؛ اکبری و فرحبخشی، ۱۳۹۵؛ زینالی، ۱۳۹۵؛ ساری صراف و همکاران، ۱۳۹۶؛ حجازی زاده و همکاران، ۱۳۹۷؛ ترکاشوند، ۱۳۹۷). که علی‌رغم تلاش‌ها در این خصوص، مطالعات جامعی در دهه اخیر در استفاده از AOD و سنجش‌ازدور ماهواره‌ای و مدل‌سازی در مقیاسی مشابه پژوهش‌های جامع و طولانی‌مدت جهانی (Cuevas et al, 2015; Mao et al., 2014) مشاهده نمی‌شود. پس، در غرب ایران نیاز به یک بررسی طولانی‌مدت رخدادهای گردوغبار در سری‌های زمانی روزانه یک دوره کامل سنجش‌ازدوری و پراکنش فضایی و زمانی در قالب شبیه‌سازی و سنجش‌ازدور ماهواره‌ای است. فلذا، با توجه به نتایج متنوع حاصله از مدل‌ها و الگوریتم‌ها در مناطق مختلف جهان، عدم قطعیت و چگونگی رفتار پیچیده گردوغبار هنوز بحثی باز در مطالعات محسوب می‌گردد. بنابراین، واکاوی و تحلیل گردوغبار با انواع مختلفی از داده‌های باز واکاوی و شبیه‌سازی‌شده و تکنیک‌های سنجش‌ازدور کمک شایان توجهی به درک صحیح‌تر رخدادهای گردوغبار است، که معمول‌ترین و کارآمدترین پارامتر مورداستفاده در تحلیل آن‌ها، تحلیل عمق نوری آئروسل (AOD) توسط سنجنده‌ها و نهایتاً مدل‌هاست (Morcrette et al., 2009; Mao et al., 2014; Cuevas et al, 2015; Xuemei Zong et al., 2015). به همین منظور داده‌های ماهواره‌ای و شبیه‌سازی‌شده ازلحاظ ویژگی‌های منحصربه‌فرد خود چون چند زمانه بودن، چند طیفی بودن، وسعت منطقه تحت پوشش و ابعاد بررسی، امکانات مناسبی را برای مطالعه پدیده‌های دینامیکی گسترده همچون گردوغبار ارائه می‌دهند (Mei et al. 2008).

هدف مطالعه حاضر مقایسه داده‌های شبیه‌سازی‌شده با مشاهدات ماهواره‌ای در باند ۵۵۰ نانومتر بر روی غرب ایران است؛ که اساساً منطقه‌ای گردوغباری به‌حساب نمی‌آید بلکه گردوغبارهای حاصله در مناطق غربی ایران دارای منشأهای خارجی همچون بیابان‌های عراق، سوریه و عربستان و شمال آفریقاست (Akbary & Farahbakhshi, 2015; Ashrafi et al., 2014). در همین راستا، انجام تحلیل رفتار پیچیده گردوغبار با توجه به خلأ مطالعاتی موجود در ایران ضروری به نظر می‌رسد. فلذا، موضوع موردبررسی با کمک سنجش‌ازدور و سنجنده MODIS تحت عنوان مشاهدات ماهواره‌ای و داده‌های شبیه‌سازی‌شده در مدل MACC می‌تواند گامی نوین و بااهمیت در مطالعه و شناسایی رفتار رخداد گردوغبار درگذر زمان در دو دهه اخیر بر روی ایران باشد. همچنین، در این بررسی به مقایسه تغییرات توزیع فضایی گردوغبار با استفاده از مدل‌سازی و سنجش‌ازدور بر روی منطقه موردمطالعه پرداخته و گردوغبار را مورد واکاوی قرار می‌دهد.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.1.3]

داده‌ها و روش کار

محدوده موردمطالعه در این پژوهش، استان‌های ایلام، کرمانشاه، کردستان، لرستان و همدان می‌باشد که با استفاده از پارامتر AOD در دو سری داده شامل: ۱- داده‌های شبیه‌سازی‌شده در مدل MACC با دقت مکانی ۱۴ کیلومترمربع و مقیاس زمانی ۳ ساعته و ۲- تولیدات سنجنده MODIS نصب بر روی ماهواره Terra با دقت مکانی ۱۰ کیلومترمربع موردبررسی قرار گرفت. تولیدات این سنجنده از مجموعه ۶ (Collection 6.1) استخراج و از الگوریتم Deep Blue استفاده‌شده است. جدول (۱) ویژگی‌های داده‌های مورداستفاده را نشان داده است.

جدول (۱). ویژگی داده‌های مورداستفاده در تحقیق

Data	Spatial Resolution	Time Scale	Dimensions	Layers/Cells	Extent	period	Area
MACC	14km^2	Daily	۲۲×۲۳	3653/560	X: 45.41276 - 50.00153 Y: 32.1126 - 36.50776	2003-2012	West Iran
MODIS	10km^2			6489/560		2000-2018	

به‌منظور تحلیل طوفان‌های گردوغبار در منطقه موردمطالعه در دوره آماری ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ از روش‌های آماری و شبیه-سازی پارامتر AOD درMACC و MODIS بهره گرفته‌شده و رخدادهای گردوغباری مورد پردازش قرار گرفتند. روش کار بدین‌صورت است که قبل از هرگونه پردازش آماری داده‌های تولیدشده به ابعاد ۰/۲×۰/۲ درجه جهت مقایسه تبدیل گردید. سپس، میانگین روزانه AOD در ابعاد مکانی ۲۳×۲۲ پیکسل تشکیل و میانگین ۵۶۰ پیکسل برای محدوده موردمطالعه در ماتریسی با ارایه ۵۶۰×۳۶۵۳ برای MACC و ۵۶۰×۶۴۸۹ برای MODIS در سری‌های زمانی روزانه جهت استخراج میزان AOD تشکیل گردید، و میانگین AOD در طی دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ برای MODIS و در طی ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۲ برای MACC با استفاده از معادلات ۱-۱ تا ۲-۲ محاسبه گردید. سپس، پراکنش فضایی میزان AOD در طی ماه‌های گردوغباری سال برای ایستگاه‌های سینوپتیک و سراسر استان موردمطالعه با استفاده از مجموعه بسته‌های R برای سری زمانی روزانه در طول دوره موردمطالعه استخراج شد. درنهایت، توزیع مکانی میزان AOD بدست آمده با استفاده از تابع کریجینگ (Kriging) درون‌یابی گردید. معادلات (۱-۱، ۲-۱، ۳-۱) و معادلات (۱-۲ و ۲-۲) محاسبه میانگین AOD را برای کل دوره در منطقه موردمطالعه را نشان می‌دهد:

$$\mathbf{1-1}).\ \boldsymbol{AOD_l} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{\tau^l_{1,1}} & \boldsymbol{\tau^l_{1,2}} & \dots \boldsymbol{\tau^l_{i,j}} \\ \boldsymbol{\tau^l_{2,1}} & \boldsymbol{\tau^l_{2,2}} & \dots \boldsymbol{\tau^l_{i,j}} \\ \boldsymbol{\tau^l_{i,j}} & \boldsymbol{\tau^l_{i,j}} & \dots \boldsymbol{\tau^l_{i,j}} \end{bmatrix} \qquad \boldsymbol{l = 1, \dots, n}$$

$$\mathbf{1-2}).\ \boldsymbol{AOD_l} = \left[\boldsymbol{\tau^l_{ij}}\right]$$

$$\mathbf{1-3}).\ \overline{\boldsymbol{AOD_l}} = \frac{\sum_{\boldsymbol{l=1}}^{\boldsymbol{l}} \boldsymbol{AOD_{l_{22\times23}}}}{\boldsymbol{l}}$$

$$\mathbf{2-1}).\ \overline{\boldsymbol{AOD}}^{\boldsymbol{daily}}_{\boldsymbol{Area}} = \frac{\sum_{\boldsymbol{pix=1}}^{\boldsymbol{n}}(\boldsymbol{\tau_1 + \dots + \tau})}{\boldsymbol{n}}$$

$$\mathbf{2-2}).\ \overline{\boldsymbol{AOD}}^{\boldsymbol{Period}}_{\boldsymbol{Area}} = \frac{\sum_{\boldsymbol{l=1}}^{\boldsymbol{l}}(\overline{\boldsymbol{AOD}}_{\boldsymbol{1}} + \dots + \overline{\boldsymbol{AOD}}_{\boldsymbol{l}})}{\boldsymbol{l}}$$

در معادله فوق، (τ): عمق نوری آئروسل در سطر (i) و ستون (j) در لایه (l)؛ (l): سری زمانی یا تعداد لایه؛ (i): تعداد سطر ماتریس؛ (j) تعداد ستون ماتریس؛ n برابر با تعداد پیکسل در لایه (l).

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

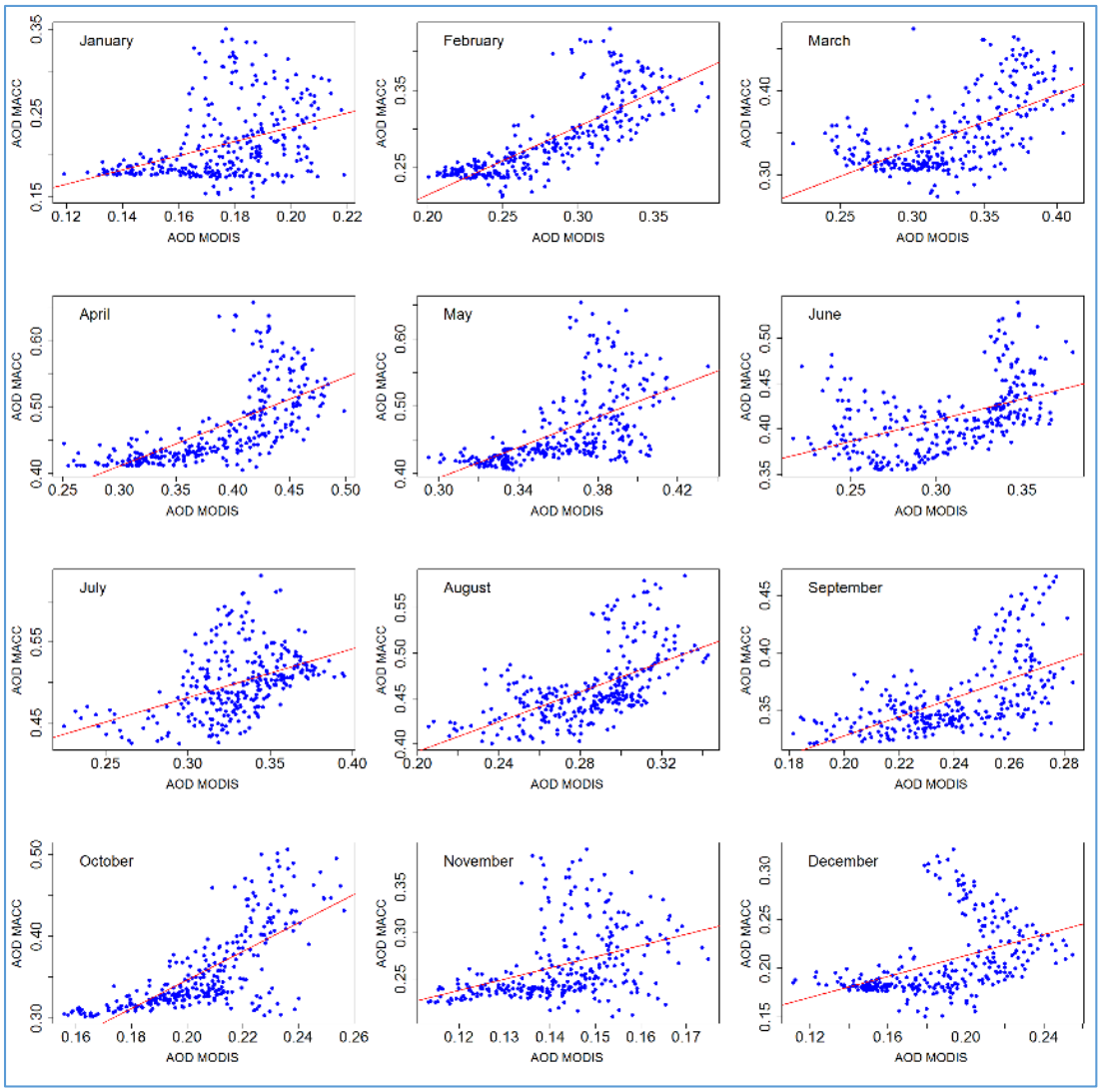
[DOI: 10.29252/jsaeh.7.1.3]

شرح و تفسیر نتایج

همبستگی عمق نوری آئروسل بین MODIS و MACC در شکل ۲ (چپ) نشان می‌دهد که میزان عمق نوری آئروسل در سطح منطقه‌ی موردمطالعه بین یاخته‌های مدل و سنجنده بالا (R^2= 49) است. در یاخته‌هایی که مقدار AOD افزایش داشته است از میزان همبستگی کاسته شده و همبستگی بالا در یاخته‌هایی مشاهده‌شده است که دارای AOD کمتر از ۰/۳۵ می‌باشند. به‌عبارت‌دیگر، اختلاف برآورد AOD در مقدارهای بالاتر بوده و از همبستگی کمتری برخوردار است که این موضوع ناشی از مقدار بیشتر آن در برخی از پیکسل‌های مدل موردبررسی نسبت به مشاهدات سنجنده بوده است. بنابراین بعد از حذف یاخته‌های دارای AOD بزرگ‌تر از ۰/۳۵، میزان ضریب تعیین به ۰/۵۹ می‌رسد (شکل ۲: راست). همچنین شکل ۴ (نقشه) نقشه همبستگی مکانی (همبستگی بین ۰/۳۸ تا ۰/۷۶) را نشان می‌دهد که نشاندهنده ارتباط معنی‌دار بین پیکسل‌های MACC و MODIS در سطح منطقه موردمطالعه می‌باشد و این ارتباط در استان‌های غربی منطقه مورد مطالعه بیشتر از شمال شرق منطقه (همدان) نمایان است. شایان‌ذکر است، تغییرات حاصله از همبستگی بین سنجنده و مدل در پژوهش حاضر به دلیل اینکه از بهترین تخمین پارامتر AOD در سنجنده MODIS استفاده شده و از پیکسل‌های کم‌اهمیت (flag 0) چشم‌پوشی شده است، چشمگیرتر است. جدول (۱) مقایسه میانگین AOD سنجنده و مدل در کل منطقه موردمطالعه را نشان داده است. درمجموع، همبستگی بین سنجنده و مدل در برآورد میزان گردوغبار بالاست (شکل ۲)؛ و در سطح کل منطقه موردمطالعه، بالاترین همبستگی بین داده‌های AOD سنجنده و مدل مربوط به ماه فوریه و اکتبر می‌باشد (جدول ۱ و شکل ۱).

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.1.3]



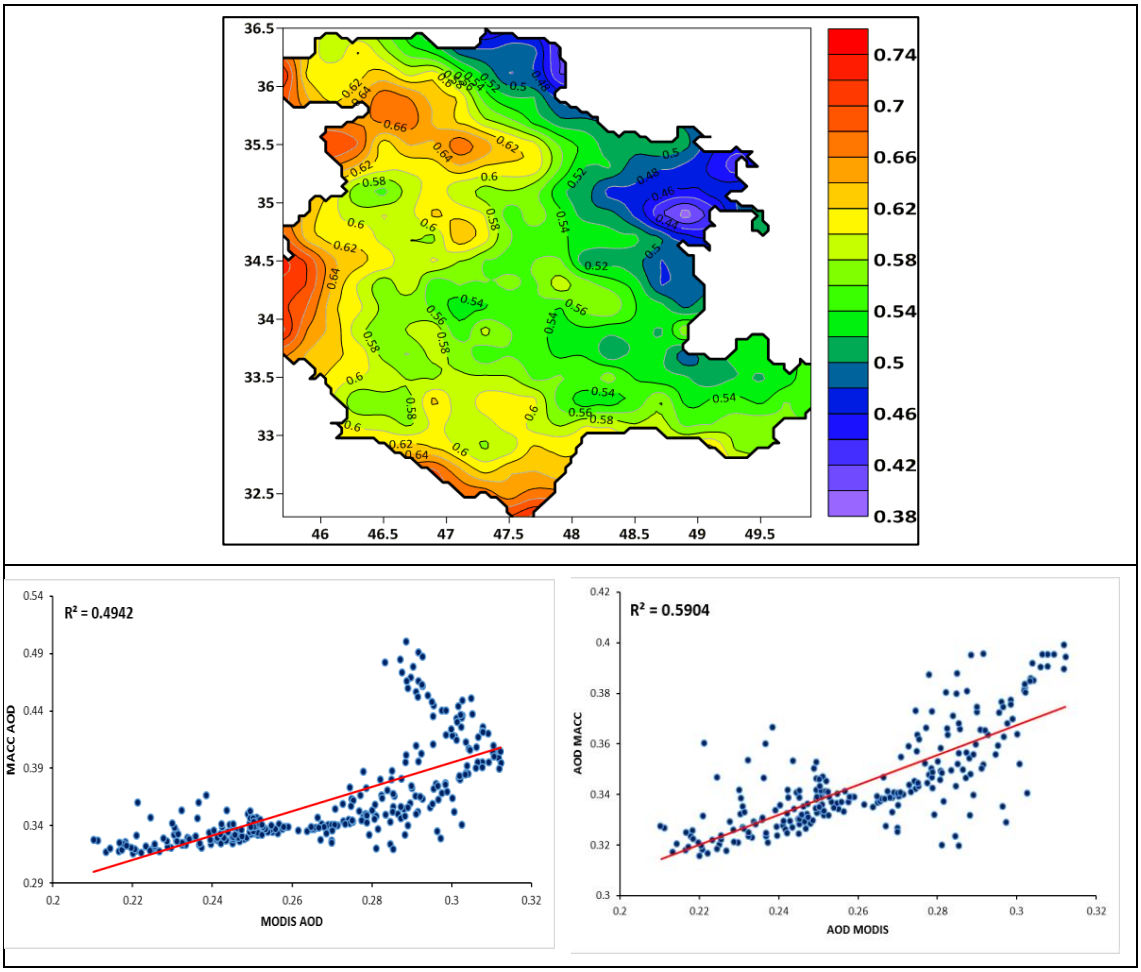
شکل (۱). نمودار پراکندگی میانگین ماهانه AOD 550nm بین پیکسل‌های MACC و MODIS در کل منطقه موردمطالعه

جدول (۱). مقایسه میانگین ماهانه AOD 550nm بین MACC و MODIS در کل منطقه موردمطالعه

فصل	ماه	MAE	RMSE	r	R^2
زمستان	ژانویه	0.04	0.05	0.39	0.15
	فوریه	0.02	0.03	0.80	0.63
	مارس	0.03	0.04	0.61	0.37
بهار	آوریل	0.08	0.09	0.68	0.45
	می	0.10	0.11	0.57	0.33
	ژوئن	0.10	0.11	0.49	0.23
تابستان	جولای	۰.۱۶	۰.۱۷	۰.۴۴	۰.۱۹
	آگوست	۰.۱۷	۰.۱۸	۰.۵۹	۰.۳۵
	سپتامبر	۰.۱۲	۰.۱۲	۰.۵۹	۰.۳۵
پاییز	اکتبر	0.15	0.15	0.72	0.52
	نوامبر	0.12	0.12	0.39	0.15
	دسامبر	0.03	0.04	0.45	0.20

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.1.3]



شکل (۲). همبستگی میانگین سالانه AOD 550nm بین پیکسل‌های MACC و MODIS در منطقه موردمطالعه

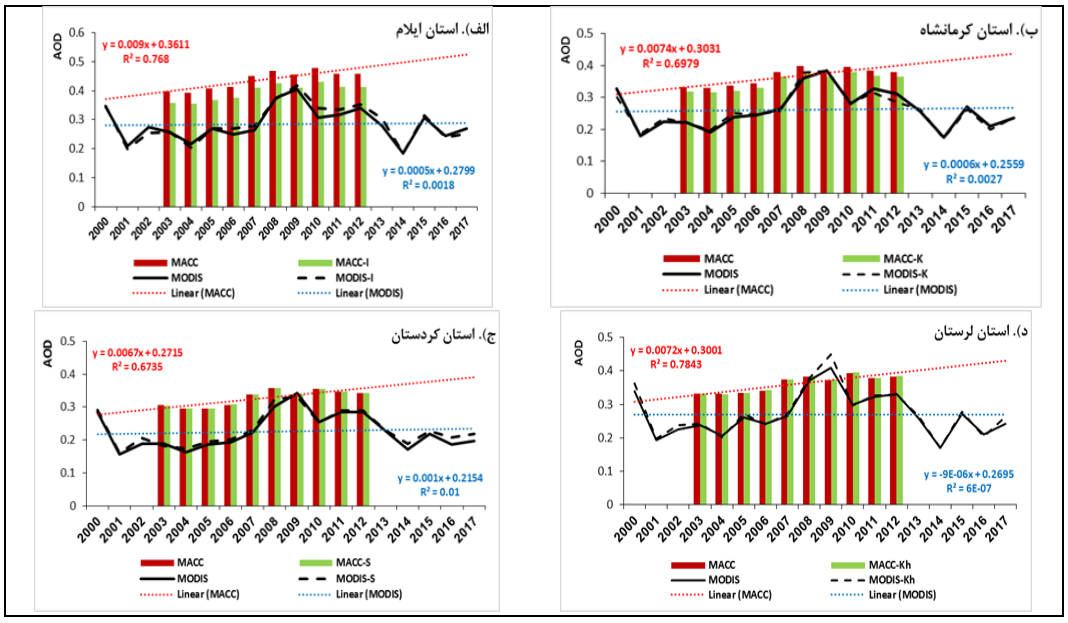
نتایج حاصله از میانگین سالانه عمق نوری آئروسل (AOD) در منطقه موردمطالعه نشان می‌دهد که تغییرات سالانه مقدار AOD از سال ۲۰۰۰ تا سال ۲۰۰۹ در سنجنده MODIS و از سال ۲۰۰۳ تا سال ۲۰۱۰ در MACC افزایش چشمگیری داشته است (شکل ۳). لازم به یادآوری است که مقدار AOD در سطح هر استان با نشانه MACC و MODIS و در سطح ایستگاه‌ها همراه با پسوند لاتین (ایلام: I، کرمانشاه: K، سنندج: S، خرم‌آباد: Kh و همدان: H) نشان داده‌شده است. شکل ۳ نشان می‌دهد که استان ایلام و ایستگاه سینوپتیک ایلام با بیشترین میزان AOD به ترتیب بین حداقل ۰/۳۹۸ تا حداکثر ۰/۴۷۷ در بین استان‌های موردمطالعه و بین حداقل ۰/۳۵ تا حداکثر ۰/۴۳ در بین ایستگاه‌های موردمطالعه بر اساس مدل هستند.

بررسی روند سالانه عمق نوری آئروسل در شکل ۳ نشان می‌دهد که مقدار AOD در پنج استان موردمطالعه از سال ۲۰۰۰ تا سال ۲۰۰۹ در سنجنده MODIS روند افزایشی را نشان می‌دهد و از سال ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۸ دارای شیب کاهشی است. شایان‌ذکر است، مقدار محاسبه‌شده در سال ۲۰۰۰ به دلیل کمبود تصاویر سنجنده MODIS از ماه ژانویه تا مارس مقدار بیشتری را نشان می‌دهد و نمی‌تواند نماینده واقعی AOD در تمام سطح منطقه موردمطالعه در این سال باشد. نکته قابل‌ملاحظه بررسی سالانه AOD در این است که برخلاف بقیه استان‌ها و ایستگاه‌های موردمطالعه، میزان AOD سنجنده در سطح استان لرستان با ایستگاه خرم‌آباد در سال ۲۰۰۸ دارای اختلاف قابل‌ملاحظه‌ای است و در ایستگاه

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]
[DOI: 10.29252/jsaeh.7.1.3]

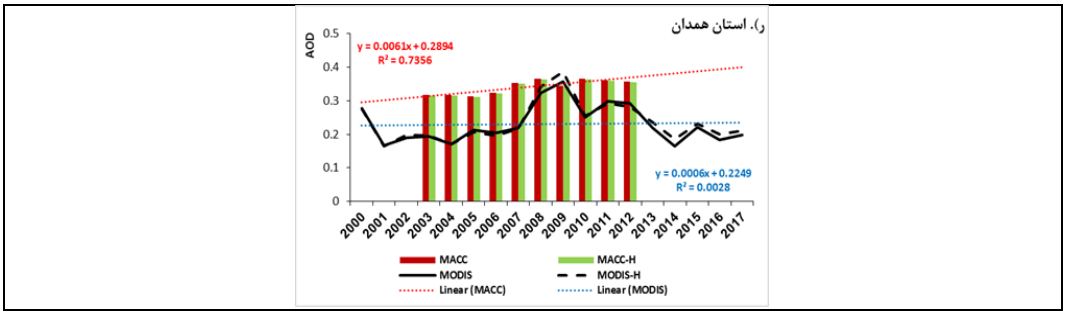
خرم‌آباد نسبت به سطح استان بیشتر مشاهده می‌شود. تفاوت چشمگیر استان لرستان با دیگر استان‌های کردستان، کرمانشاه و ایلام در این نکته است که مقدار AOD سنجنده (۰/۴۴) بیشتر از مدل (۰/۳۷) در سال ۲۰۰۹ گزارش شده است، این مقدار در ایستگاه خرم‌آباد تفاوت چشمگیری را نسبت به سطح استان داشته و برآورد پایین مدل را در ایستگاه خرم‌آباد و سطح استان لرستان نسبت به سنجنده نشان می‌دهد (شکل ۳: د). اختلاف مشابه استان لرستان در میانگین AOD مدل و مشاهدات سنجنده در شکل ۳ (ر) برای ایستگاه سینوپتیک همدان نیز صادق است. درمجموع، میانگین AOD سالانه بدست آمده از الگوریتم Deep Blue سنجنده در همه ایستگاه‌های موردمطالعه بجز در مواردی همچون ایستگاه‌های همدان و خرم‌آباد در سایر استان‌های موردمطالعه مقدار کمتری را نسبت به مدل نشان داد. همچنین روند تغییرات سالانه در مدل در کل دهه موردمطالعه از ۲۰۰۳-۲۰۱۲ روبه افزایش بوده است. ولی AOD مشاهداتی سنجنده در همه استان‌ها تا سال ۲۰۰۹ افزایش داشته و بعد از سال ۲۰۰۹ این روند رو به کاهش گذاشته است (شکل ۳).

شکل ۴ نقشه میانگین عمق نوری گردوغبار (DOD) را در سال ۲۰۰۹ نشان می‌دهد که در این سال سنجنده و مدل در برآورد AOD در استان‌های موردمطالعه باهم منطبق بوده‌اند. در شکل ۴ به‌وضوح نمایان است که مقدار گردوغبار دارای الگوی جنوبی- شمالی است و از عرض جغرافیایی تبعیت می‌کند که دلیل روشنی بر موقعیت استان‌ها با توجه به فصول و ماه‌های تولید و انتقال گردوغبار و مجاورت آن‌ها با منابع مستعد گردوغبار در خاورمیانه دارد. روند افزایشی گردوغبار حاصل از پژوهش اخیر، پیشتر در مطالعات انجام شده در غرب کشور نیز نشان داده شده است (Akbary & Farahbakhshi,2015, Arkian & Nicholson, 2018; Namdari et al., 2018) و افزایش و شدت گردوغبار را تائید می‌کند. همچنین، این میزان افزایش گردوغبار تا سال ۲۰۰۹ نیز در مطالعه‌ای با مقیاس جهانی با استفاده از AOD سنجنده MODIS بررسی‌شده است (Mao et al., 2008)، و می‌توان گفت که این روند افزایشی شدید گردوغبار در منطقه موردمطالعه تابع فعالیت منابع گردوغبار در منطقه خاورمیانه بوده است و منابع گردوغباری محلی و داخلی چندان نقش اساسی در آلودگی منطقه نداشته‌اند.

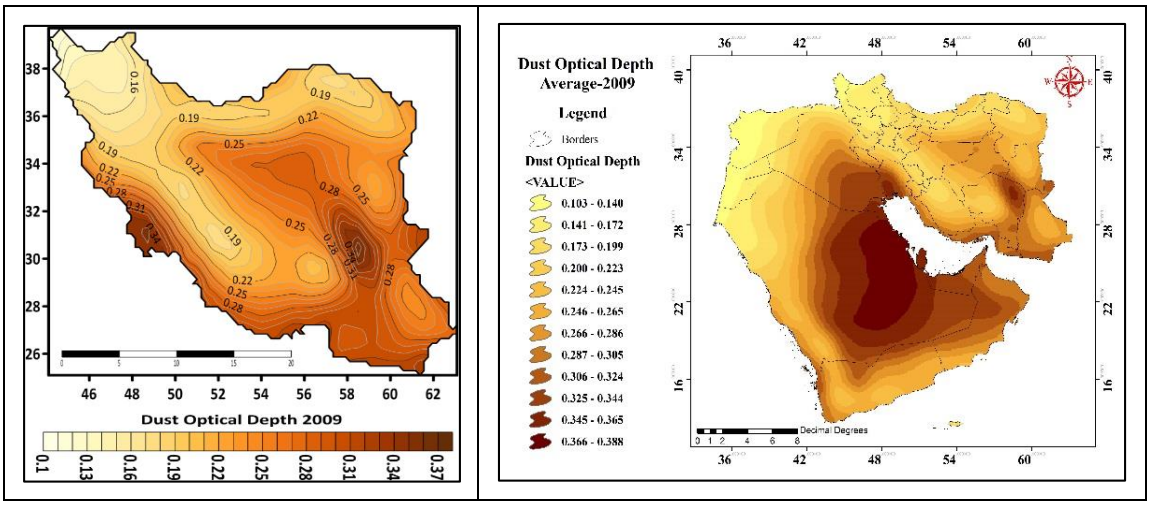


[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.1.3]



شکل (۳). میانگین سالانه AOD 550nm در استان‌های ایلام، کرمانشاه، کردستان، لرستان و همدان (MACC & MODIS) و ایستگاه‌های سینوپتیک ایلام (I)، کرمانشاه (K)، سنندج (S)، خرم‌آباد (Kh) و همدان (H)

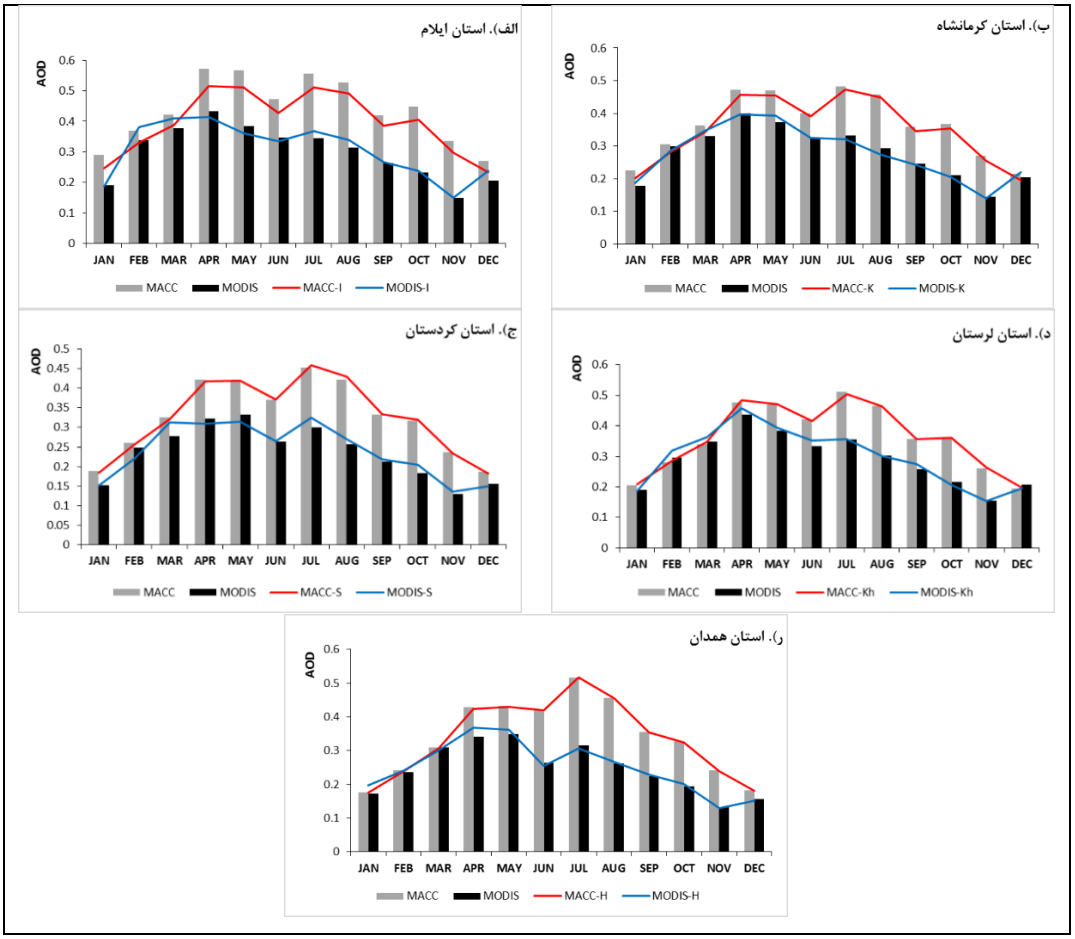


شکل (۴). نقشه میانگین سالانه عمق نوری گردوغبار در سال ۲۰۰۹

نتایج حاصل از بررسی توزیع میانگین ماهانه AOD در منطقه موردمطالعه در شکل ۵ نشان داده شده است. مطابق شکل ۵ میزان AOD مدل در سطح پنج استان موردمطالعه نسبت به میزان مشاهدات سنجنده در ماه‌های مختلف سال بیشتر است. شکل ۵ نشان می‌دهد که بیشترین مقدار گردوغبار در بین استان‌ها و ایستگاه‌های موردمطالعه، متعلق به استان ایلام (۰/۵۷) و ایستگاه سینوپتیک ایلام (۰/۵۱) در ماه آوریل و حداقل آن مربوط به ماه دسامبر برابر با ۰/۲۶ و ۰/۲۳ به ترتیب برای استان و ایستگاه سینوپتیک ایلام بر اساس مدل است. میزان موردبحث در مشاهدات ماهواره‌ای بین ۰/۱۴ تا ۰/۴۳ و ۰/۱۵ تا ۰/۴۱ به ترتیب برای استان و ایستگاه سینوپتیک ایلام می‌باشد (شکل ۵: الف). همچنین کمترین مقدار عمق نوری آئروسل متعلق به استان کردستان و ایستگاه سینوپتیک سنندج بین ۰/۱۸ تا ۰/۴۵ برای مدل و بین ۰/۱۲ تا ۰/۳۳ برای مشاهدات ماهواره بود (شکل ۵: ج). درمجموع، کمترین میزان همخوانی و حداکثر اختلاف در میزان AOD بین سنجنده و مدل در بین استان‌های موردمطالعه از جولای تا نوامبر به چشم می‌خورد که جزو ماه‌های خشک سال به‌حساب می‌آیند (شکل ۵). به‌طوری‌که در ماه‌های مرطوب سال از دسامبر تا مارس در سطح استان‌ها و ایستگاه‌های موردمطالعه، مقدار AOD قابل‌توجهی نمایان نیست و ماهواره و مدل میزان مشابهی را نشان می‌دهند. یافته‌های MODIS و MACC در منطقه موردمطالعه بیان می‌کنند که توزیع زمانی ماهانه گردوغبار از آوریل تا آگوست دارای بیشترین غلظت است. بنابراین، میزان شدت گردوغبار تا سال ۲۰۰۹ در منطقه خاورمیانه و در فصل تابستان و بهار و انتقال آن به غرب کشور در مطالعات پیشین خاورمیانه تائید شده است که تحت تأثیر تغییرات پارامترهای آب و هوایی همچون سرعت بالای باد بر روی دریای سرخ و بیابان‌های عربستان، تغییرات رطوبت نسبی، کاهش بارش و کاهش رطوبت خاک

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]
[DOI: 10.29252/jsaeh.7.1.3]

(Klingmüller et al., 2016; Chin et al., 2014) و نیز تغییرات کاربری زمین (Notaro et al., 2015) در منطقه خاورمیانه بوده و منجر به تشدید فعالیت‌های گردوغبار شده است. موضوع موردبحثی که در این پژوهش نیز به تبعیت از روند گردوغبار در خاورمیانه، افزایش چشمگیری را در فصل بهار و تابستان در منطقه موردمطالعه نشان داد.

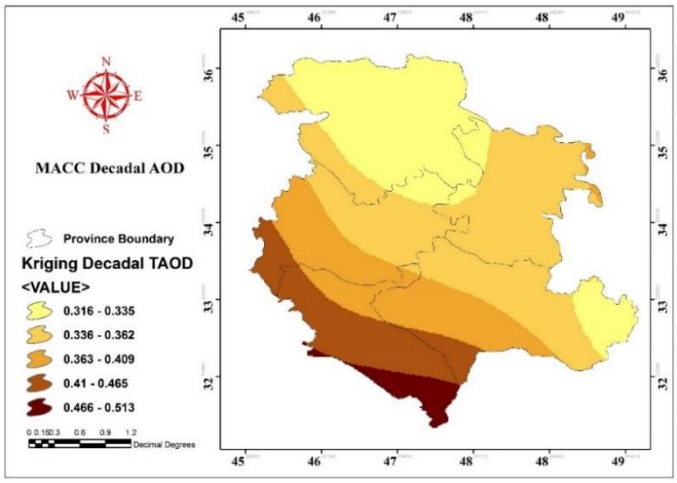


شکل (۳). میانگین ماهانه AOD 550nm در استان‌های ایلام، کرمانشاه، کردستان، لرستان و همدان (MACC & MODIS) و ایستگاه‌های سینوپتیک ایلام (I)، کرمانشاه (K)، سنندج (S)، خرم‌آباد (Kh) و همدان (H)

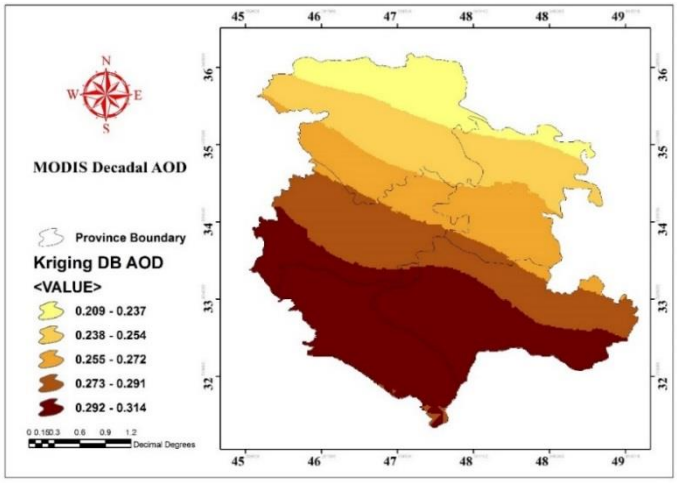
درون‌یابی توزیع مکانی میانگین در MACC طی دهه موردمطالعه نشان داد که روند تغییرات مکانی از جنوب و ایستگاه ایلام به شمال کاهش داشته و به کمترین مقدار خود در شمال استان کردستان می‌رسد (شکل ۵). مطابق شکل ۵، بیشترین مقدار AOD در کل استان ایلام و غرب و جنوب استان کرمانشاه مشاهده می‌شود. شرق استان لرستان و شمال استان کردستان دارای کمترین گردوغبار در دهه موردبررسی بر اساس مدل است. استان ایلام با بیشترین سطح گردوغبار تحت عنوان آلوده‌ترین استان گردوغباری در منطقه موردمطالعه نمایان شده است (شکل ۵). پراکندگی مکانی گردوغبار در سطح استان کرمانشاه نیز نشان می‌دهد که بخش‌های غربی و جنوب غرب استان آلوده به‌حساب می‌آیند. همچنین توزیع فضایی گردوغبار در استان لرستان نشان می‌دهد که بیشترین گردوغبار مربوط به غرب استان و در هم‌جواری با استان ایلام به چشم می‌خورد که به‌تدریج به‌طرف شرق استان از غلظت آن کاسته می‌شود. آلایندگی گردوغبار و سطح پوشش آن در استان همدان تقریباً یکسان بوده و AOD همه سطح استان بین ۰/۳۳ تا ۰/۳۶ می‌باشد (شکل ۵).

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]
[DOI: 10.29252/jsaeh.7.1.3]

توزیع فضایی گردوغبار سالانه Deep Blue سنجنده MODIS در شکل ۶ نشان داده شده است، که مقدار گردوغبار در منطقه موردمطالعه از جنوب غرب به شمال شرق با کاهش روبه‌رو بوده است. میزان تغییرات گردوغبار در منطقه بین ۰/۲۰ و ۰/۳۱ می‌باشد که استان ایلام با بیشترین مقدار گردوغبار در جنوب منطقه موردمطالعه و در همجوار با بیابان‌های کشور عراق قابل‌ملاحظه است. همچنین، جنوب استان ایلام به دلیل ارتفاع کم منطقه نسبت به بقیه مناطق موردمطالعه دارای غلظت و تراکم گردوغبار بالایی است. بیشترین گردوغبار بعد از ایلام به تفکیک استان مربوط به استان‌های لرستان، جنوب و غرب کرمانشاه، جنوب کردستان، شمال کرمانشاه و جنوب استان همدان می‌باشد. کمترین میزان گردوغبار با توجه به شکل ۶ مربوط به نوار باریکی در شمال استان همدان و شمال استان کردستان هست. در کل، روند مکانی گردوغبار در هر دو سنجنده و مدل از جنوب غرب منطقه موردمطالعه به شمال شرق بوده است. با این اختلاف که شرق استان لرستان در MACC نسبت به سطح منطقه موردمطالعه دارای گردوغبار کمتری است. ولی تغییرات فضایی سالانه گردوغبار در MODIS نشان می‌دهد که روند جنوب غرب به شمال شرق در سطح منطقه موردمطالعه برخلاف مدل به‌صورت تدریجی و منظم است (شکل ۶).



شکل (۵). نقشه توزیع مکانی میانگین سالانه AOD 550nm برای MACC در غرب ایران (۲۰۱۲-۲۰۰۳)



شکل (۶). نقشه توزیع مکانی میانگین سالانه AOD 550nm برای MODIS در غرب ایران (۲۰۱۲-۲۰۰۳)

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.1.3]

شکل ۷ و ۸ توزیع فضایی گردوغبار را در سنجنده و مدل در ماه‌هایی از سال نشان می‌دهد که دارای بیشترین گردوغبار در طی دوره مطالعه می‌باشند. شکل ۷ میزان گردوغبار فصل خشک مدل را نشان می‌دهد که از الگوی سالانه مدل پیروی می‌کند و تغییرات گردوغبار از جنوب به شمال در حال کاهش است. به‌طوری‌که حداکثر گردوغبار در ایستگاه‌های جنوبی استان ایلام مشاهده می‌شود و با حرکت به سمت شمال از شدت آن کاسته می‌شود. تفاوت الگوی سالانه و فصلی گردوغبار در استان لرستان نشان می‌دهد که در الگوی سالانه میزان گردوغبار در بخش شرقی استان کمتر از بخش‌های دیگر استان بوده است (شکل ۵) ولی میزان گردوغبار در الگوی فضاییِ فصلی از روند عرض جغرافیایی پیروی کرده و با افزایش عرض جغرافیایی از میزان گردوغبار کاسته شده است. میزان AOD در سطح استان لرستان در فصل خشک بین حداقل۰/۴۶ تا حداکثر ۰/۶۳ (شکل ۷) و الگوی سالانه بین حداقل ۰/۳۱ تا حداکثر ۰/۴۶ در حال تغییر بوده است (شکل ۵). همچنین، شکل ۷ نشان می‌دهد که توزیع مکانی گردوغبار در استان همدان بین ۰/۴ تا ۰/۵ و از غرب به شرق افزایش داشته و تابع طول جغرافیایی است. نتایج حاصل از توزیع گردوغبار نیز بر روی استان کردستان نیز نشان داد که کل استان از یکنواختی گردوغبار برخوردار است (شکل ۷) هرچند که در توزیع الگوی سالانه (شکل ۵) آشکار است که بخش‌های غربی به‌طرف جنوب در استان دارای شدت بیشتری نسبت به بخش‌های شمال و شمال شرق دارند.

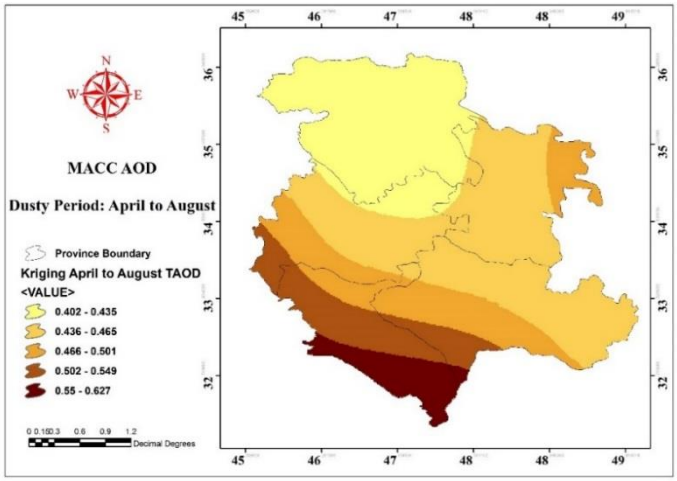
شکل ۸ میزان توزیع مکانی گردوغبار سنجنده MODIS را در طی دوره موردمطالعه نشان می‌دهد. در شکل ۸ الگوی گردوغبار به‌وضوح نشان می‌دهد که با افزایش عرض جغرافیایی از شدت و تراکم گردوغبار کاسته شده است. میزان شدت AOD در جنوب منطقه و بر روی کل استان ایلام، بخش جنوبی استان کرمانشاه و نیمه جنوبی استان لرستان بیشتر از ۰/۳۵ مشاهده شده است. الگوی سالانه گردوغبار در استان کرمانشاه با الگوی فصل خشک از مارس تا آگوست کاملاً باهم مطابق بود و تنها اختلاف در نوسان غلظت گردوغبار آن‌هاست که در توزیع فصلی بیشتر است.

به‌طور جامع، یافته‌های توزیع مکانی سالانه و فصلی (دوره خشک از آوریل تا آگوست) گردوغبار نشان داد که MACC نسبت به مقدار مشاهداتی MODIS میزان گردوغبار منطقه موردمطالعه را بیشتر نشان داده است و الگوی گردوغبار در هر دو سنجنده و مدل از جنوب به شمال افزایش نشان می‌دهد. ولی روند مکانی گردوغبار در سنجنده موردبررسی منظم‌تر از مدل نشان داده شده است به‌طوری‌که در استان همدان میزان گردوغبار سالانه و فصلی در مدل تابع طول جغرافیایی است و از غرب به شرق در حال افزایش است، اما در سنجنده از روند مکانی کل منطقه موردمطالعه تبعیت می‌کند. بی‌نظمی مذکور برای میانگین سالانه گردوغبار در MACC در شرق استان لرستان نیز قابل‌ملاحظه است و از روند جنوب به شمال منطقه پیروی نمی‌کند، بلکه از غرب به شرق افزایش نشان می‌دهد. توزیع مکانی گردوغبار در استان‌های ایلام، کرمانشاه و کردستان در MODIS و MACC نشان می‌دهد که گردوغبار در جنوبی‌ترین نقطه استان ایلام دارای بیشترین میزان و از غلظت بالایی برخوردار بوده و کمترین آن در شمال شرق استان کردستان مشاهده می‌شود. این وضعیت در توزیع مکانی گردوغبار نشان داد که گردوغبار در استان‌های غربی منطقه موردمطالعه تابع عرض جغرافیایی است که توپوگرافی مرتفع استان‌های کرمانشاه و کردستان و مجاورت استان ایلام به منشأهای گردوغبار در توزیع شدت میزان گردوغبار نیز بی‌تأثیر نبوده است. این موضوع در مطالعات قبلی انجام‌گرفته در غرب کشور نشان داد که با شروع دوره گرم فعالیت گردوغبار افزایش داشته و شدت گردوغبار را به تبعیت از عرض جغرافیایی تحت‌الشعاع قرار داده است (Namdari et al., 2016). پس، فعالیت الگوهای گردش جوی و مجاورت منطقه موردمطالعه با بیابان‌های عراق، سوریه و عربستان در تشدید گردوغبار قابل توجیه است. در مطالعه اخیر، به دلیل تفکیک مکانی ۱۰ کیلومترمربع

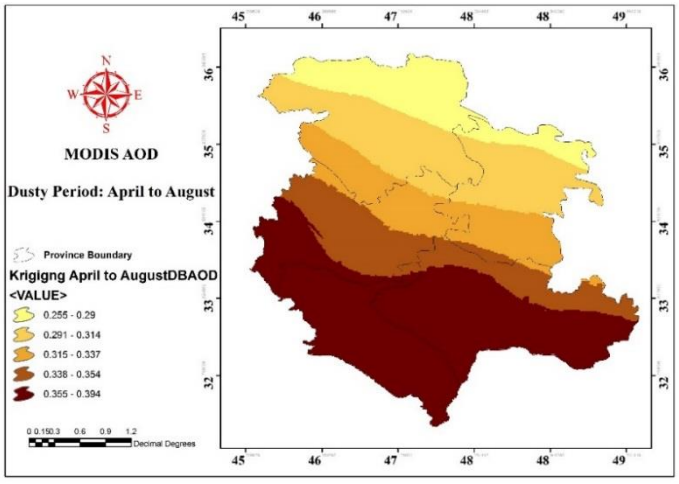
[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.1.3]

در یاخته‌ها، درک دقیق‌تری از توزیع مکانی گردوغبار استان‌ها و منطقه موردمطالعه در سطح محلی به نمایش گذاشته‌شده است که تفکیک مکانی پایین موردتوجه مطالعات قبلی انجام‌گرفته در غرب ایران از نشان دادن آن‌ها عاجز بودند. بنابراین، دقت مطالعه در پراکنش نظم مکانی جنوب به شمال گردوغبار در استان‌های غربی منطقه موردمطالعه نشان از رخداد گردوغبار به تبعیت از عرض جغرافیایی است؛ هرچند که از توپوگرافی مرتفع استان‌های کرمانشاه و کردستان نسبت به مناطق پست‌تر در جنوب ایلام، و مجاورت استان ایلام به منابع عمده گردوغبار در توزیع شدت میزان گردوغبار در ایلام و فعالیت الگوهای تابستانه مولد گردوغبار در دوره گرم نمی‌توان چشم‌پوشی کرد.



شکل (۷). نقشه توزیع مکانی میانگین آوریل تا آگوست AOD 550nm برای MACC در غرب ایران (۲۰۱۲-۲۰۰۳)



شکل (۸). نقشه توزیع مکانی میانگین آوریل تا آگوست AOD 550nm برای MODIS در غرب ایران (۲۰۱۲-۲۰۰۳)

نتیجه‌گیری

رخداد گردوغبار فرایند پیچیده‌ای است که تحت تأثیر تعامل سیستم اتمسفر – زمین بوده و اغلب درنتیجه سرعت‌بالای باد، خاک عریان و خشک و شرایط آب و هوایی خشک ایجاد می‌شود. هرچند که گردوغبار در آسمان استان‌های غربی ایران در دوره‌های قبل نیز وجود داشته است، اما در دو دهه اخیر با توجه به خشک‌سالی‌ها و خشکی‌های پیاپی، کمبود آب و تغییر رطوبت خاک در منابع تولیدکننده گردوغبار، برشدت آن افزوده است. پس، افزایش تکنیک‌های سنجش‌ازدور و مدل‌های طراحی‌شده در شبیه‌سازی گردوغبار در دو دهه اخیر می‌تواند مطالعات را به سَمتی هدایت کند که دارای کمترین خطا و بیشترین دقت در تحلیل رفتار گردوغبارها بوده و درک دقیقی را نمایان کند. در این بررسی به بررسی

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]
[DOI: 10.29252/jsaeh.7.1.3]

رفتار گردوغبار و مقایسه مدل و سنجنده از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ پرداخته شد. نتایج نشان داد که همبستگی معنی‌داری در منطقه موردمطالعه بین داده‌های تولیدشده سنجنده و مدل وجود دارد و در تمام ماه‌های سال ضریب تعیین مذکور بیشتر از ۰/۴ می‌باشد. یافته‌های حاصل از میزان سالانه گردوغبار در MODIS بر پایه پارامتر AOD نشان داد که مقدار گردوغبار در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۹ در همه منطقه موردمطالعه رو به افزایش بوده است و از سال ۲۰۰۹ به بعد این روند سالانه تا سال ۲۰۱۸ روبه کاهش گذاشته است. تغییرات مذکور سالانه AOD در استان ایلام دارای بیشترین مقدار (۰/۴۱) و کمترین مقدار آن نیز متعلق به استان کردستان (۰/۳۳) در سال ۲۰۰۹ بود. یافته‌های MACC نیز نشان دادند که AOD در سال‌های تحت بررسی دارای روند رو رشدی بوده است؛ هرچند که میزان گردوغبار تا سال ۲۰۱۰ دارای شیب شدیدی است ولی از سال ۲۰۱۰ به بعد میزان گردوغبار دارای شیب تغییرات یکنواختی در منطقه مرود مطالعه بود. بنابراین، غرب ایران دو دوره فعال (قبل از سال ۲۰۱۰) و غیرفعال (بعد از سال ۲۰۱۰) گردوغباری در طی ۱۸ سال موردبررسی را تجربه کرده است. توزیع ماهانه و فصلی میزان گردوغبار نیز نشان داد که میزان AOD در MACC همانند توزیع زمانی سالانه بیشتر از مقدار AOD در MODIS است و اختلاف مذکور در ماه‌های خشک‌سال بین سنجنده و مدل نسبت به ماه‌های مرطوب چشمگیرتر است. یافته‌های MODIS و MACC در منطقه موردمطالعه بیان می‌کنند که توزیع زمانی ماهانه گردوغبار از آوریل تا آگوست دارای بیشترین غلظت است.

توزیع مکانی سالانه و فصلی (ماه‌های دارای بیشترین AOD) گردوغبار در پژوهش حاضر نیز نشان داد که شدت برآورد گردوغبار در MACC نسبت به MODIS در منطقه موردمطالعه بیشتر است. هرچند که میزان گردوغبار در سنجنده و مدل دارای یک الگوی تقریباً مشابه و از جنوب به شمال افزایش دارد، اما روند مذکور در MODIS منظم‌تر از MACC است. ناهماهنگی الگوی مکانی موردبحث AOD در استان همدان بیشتر نمایان است، به‌طوری‌که میزان گردوغبار سالانه و فصل خشک (ماه‌های دارای بیشترین AOD) در MACC تابع طول جغرافیایی است و از غرب به شرق در حال افزایش است، ولی AOD همدان در MODIS از روند مکانی کل منطقه تبعیت کرده و به‌صورت مورب از جنوب استان ایلام تا شمال استان کردستان به‌تدریج کاهش می‌یابد. همچنین، ناهماهنگی بین مدل و سنجنده در الگوی میانگین سالانه نیز نشان داد که میزان گردوغبار در شرق استان لرستان در مدل کمتر از بقیه نقاط استان است و همچون سنجنده از روند منظم جنوب به شمال منطقه پیروی نمی‌کند. بالعکس، توزیع مکانی گردوغبار در استان‌های ایلام، کرمانشاه و کردستان برای MODIS و MACC در جنوبی‌ترین نقطه استان ایلام دارای بیشترین میزان و کمترین آن در شمال شرق استان کردستان مشاهده می‌شود.

منابع

اکبری، مهری و فرحناز فرحبخشی .۱۳۹۵. تحلیل سینوپتیکی و شبیه‌سازی حرکت طوفان‌های شدید گردوغبار (مطالعه مورد: جنوب غرب ایران)، *فصلنامه‌ی علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی*، **۱۶(۵۵)**،: ۲۹۱-۲۷۳.

ترکاشوند، محمدقاسم .۱۳۹۷. مدل‌سازی گردش منطقه‌ای جو در رخداد شدیدترین توفان ریز گرد بهاره غرب ایران، *مجلهٔ مخاطرات محیط طبیعی*، **۵(۲)**: ۳۴-۱۹.

حجازی زاده، زهرا؛ میثم طولابی نژاد؛ زهرا زارعی چقابلکی و بهزد امرایی .۱۳۹۷. پایش طوفان گردوغبار در نیمه غربی ایران مطالعه موردی: طوفان گردوغبار ۱۶-۱۹ ژوئن ۲۰۱۰، *نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال پنجم*، **۴**: ۱۰۷-۱۲۴.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.1.3]

ززولی، محمد فلاح، علیرضا وفایی نژاد؛ میر مسعود خیرخواه زرکش و فریبرز احمدی دهکا .۱۳۹۳. پایش و تحلیل سینوپتیکی پدیده گردوغبار با استفاده از سنجش‌ازدور و GIS، (مطالعه موردی: گردوغبار ۱۸ژوئن ۲۰۱۲)، *فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)*، **۲۳(۹۱)**.

زینالی، بتول .۱۳۹۵. بررسی روند تغییرات فراوانی روزهای همراه با توفان‌های گردوغباری در نیمه غربی ایران، *مجلهٔ مخاطرات محیط طبیعی*، **۵ (۷)**: ۱۰۰-۸۷.

ساری صراف، بهروز، علی اکبر رسولی، آذر زرین و محمد سعید نجفی .۱۳۹۶. شبیه قائم سامانه‌های گردوغبار زا در ارتباط با سامانه‌های همدید و توپوگرافی در غرب ایران، *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، **۴۹(۲)** : ۱۶۹-۱۸۹

Akbary M. and M. Farahbakhshi (2015), Analyzing and Tracing of Dust Hazard in Recent Years in Kermanshah Province, Int. J. Environ. Res., **9(2):**673-682.

Arkian F. & S. E. Nicholson (2018), Long-term variations of aerosol optical depth and aerosol radiative forcing over Iran based on satellite and AERONET data, *Environ Monit Assess* **190:** 1-15.

Ashrafi Khosro, Majid Shafiepour-Motlagh, Alireza Aslemand and Sarmad Ghader (2014), Dust storm simulation over Iran using HYSPLIT, *Journal of Environmental Health Science and Engineering* :1-9.

Bangert, M., and Coauthors (2012) Saharan dust event impacts on cloud formation and radiation over Western Europe, *Atmos. Chem. Phys.*, **12:** 4045–4063.

Chin, M., Diehl, T., Tan, Q., Prospero, J. M., Kahn, R. A., Remer, L. A., Yu, H., Sayer, A. M., Bian, H., Geogdzhayev, I. V., Holben, B. N., Howell, S. G., Huebert, B. J., Hsu, N. C., Kim, D., Kucsera, T. L., Levy, R. C., Mishchenko, M. I., Pan, X., Quinn, P. K., Schuster, G. L., Streets, D. G., Strode, S. A., Torres, O., and Zhao, X.-P. (2014), Multi-decadal aerosol variations from 1980 to 2009: a perspective from observations and a global model, *Atmos. Chem. Phys.*, **14:** 3657–3690, **doi**:10.5194/acp-14-3657-2014.

Gharibzadeh Maryam, Khan Alam, Abbasali Aliakbari Bidokhti, Yousefali Abedini, Amir Masoumi (2017), Radiative Effects and Optical Properties of Aerosol during Two Dust Events in2013 over Zanjan, Iran, *Aerosol and Air Quality Research*, **17:** 888–898.

Harrison, S. P., K. E. Kohfeld, C. Roelandt, and T. Claquin (2001), The role of dust in climate changes today, at the last glacial maximum and in the future, Earth-Sci. Rev., 54 (1–3): 43–80

Haywood, J. M., and O. Boucher (2000), Estimates of the direct and indirect radiative forcing due to tropospheric aerosols: A review, *Rev. Geophys.*, **38:** 513–543.

Haywood, J., Pete Francis, Simon Osborne, Martin Glew,1Norman Loeb, Eleanor Highwood, Didier Tanre´, Gunnar Myhre, Paola Formenti, and Edwin Hirst (2003), Radiative properties and direct radiative effect of Saharan dust measured by the C-130 aircraft during SHADE: 1. Solar spectrum, *J. Geophys. Res.*, **108,** D188577, doi: 10.1029/D2002JD002687.

IPCC: Climate Change (2013) the Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, edited by: Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S. K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., and Midgley, P. M., Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, *USA*, **1535 p**., 2013.

Jayaraman, A., D. Lubin, S. Ramachndran, V. Ramanathan, E. Woodbridge, W. D. Collins, and K. S. Zalupuri (1998), direct observation of aerosol radiative forcing over the tropical Indian Ocean during the January-February 1996 pre-INDOEX cruise, *J. Geophys. Res*., **103** (D12): 13827–13836.

Jayaraman, S., Y. Song, L. Vetrivel, L. Shankar, and A. S. Verkman (2001) Noninvasive in vivo fluorescence measurement of airway-surface liquid depth, salt concentration, and pH, *J. Clin. Invest.* **107:** 317–324.

Kaufman, Y.J., Tanre, D., Boucher, O. (2002) a satellite view of aerosols in the climate system. *Nature* **419**: 215–223.

Klingmüller, K., Pozzer, A., Metzger, S., Stenchikov, G. L., and Lelieveld, J.(2016), Aerosol optical depth trend over the Middle East, *Atmos. Chem. Phys.*, **16:** 5063–5073, **doi:**10.5194/acp-16-5063-2016.

Levin, Z., E. Ganor, and V. Gladstein (1996), the effect of desert particles coated with sulfate on rain formation in the eastern Mediterranean, *J. Appl. Meteor.*, **35:** 1511–1523.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.1.3]

Levy, R. C., Remer, L. A., and Dubovik, O. (2007): Global aerosol optical properties and application to Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer aerosol retrieval over land, *J. Geophys. Res. Atmos.*, **112:** D13210, doi: 10.1029/2006JD007815.

Levy, R.C., Mattoo, S., Munchak, L.A., et al., (2013) The Collection 6 MODIS aerosol products over land and ocean.*Atmos.Meas.Tech*.**6 (11):** 2989e3034.

Lohmann, U., Feichter, J., 2005. Global indirect aerosol effects: a review. *Atmospheric Chemistry and Physics* **5:** 715–737.

Ma, Z.-W., Hu, X.-F., Sauer, A.M., et al., (2016), Satellite-based spatiotemporal trends in PM2.5 concentrations: China, 2004e2013. *Environ. Health Perspect*. **124** (2), 184e192. http://dx.doi.org/10.1289/ehp.1409481s.

Maley, J. (1982), Dust, clouds, rain types and climatic variations in tropical north Atlantic, *Quat. Res*., **18:** 1–6.

Mao K.B., Y. Ma, L. Xia, Wendy Y. Chen, X.Y. Shen, T.J. He, T.R. Xu (2014), Global aerosol change in the last decade: An analysis based on MODIS data, *Atmospheric Environment* **94:** 680-686.

Mei, Di, Xiushan, Lu, Lin, Sun, Ping, Wang. (2008). A Dust-Storm process dynamic monitoring with multi-temporal MODIS data, the international archives of the photogrammetric, *Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. **Vol. XXXVII, Part B7**, Beijing, pp 965-970.

Morcrette, J.-J., Boucher, O., Jones, L., Salmond, D., Bechtold, P., Beljaars, A., Benedetti, A., Bonet, A., Kaiser, J. W., Razinger, M., Schulz, M., Serrar, S., Simmons, A. J., Sofiev, M., Suttie, M., Tompkins, A. M., and Untch, A. (2009), Aerosol analysis and forecast in the ECMWF integrated forecast system. Part I: Forward modelling, *J. Geophys. Res.*, **114:** D06206 **doi:** 10.1029/2008JD011235.

Nakajima, T., A. Higurashi, K. Kawamoto, and J. E. Penner (2001), A possible correlation between satellite-derived cloud and aerosol microphysical parameters, *Geophys. Res. Lett.*, **28:** 1171–1174.

Namdari Soodabeh, Neamat Karimi, Armin Sorooshian, GholamHasan Mohammadie, Saviz Sehatkashani (2018), Impacts of climate and synoptic fluctuations on dust storm activity over the Middle East, *Atmospheric Environment* **173:** 265–276.

Namdari1 S. & KK Valizade2 & A.A. Rasuly1,3 & B. Sari Sarraf1 (2016), Spatio-temporal analysis of MODIS AOD over western part of Iran, *Arab J Geosci:* **9:**191.

Notaro, M., Yu, Y., and Kalashnikova, O. V. (2015), Regime shift in Arabian dust activity, triggered by persistent Fertile Crescent drought, *J. Geophys. Res.-Atmos.*, **120**: 10229–10249, **doi:** 10.1002/2015JD023855.

Pan, L., H. Che, F. Geng, X. Xia, Y. Wang, C. Zhu, M. Chen, W. GAO and L. Guo, (2010), Aerosol optical properties based on ground measurements over the Chinese Yangtze Delta Region. *Atmos Environ*, **44:** pp. 2587– 2596.

Penner, J. E., M. Andreae, H. Annegarn, L. Barrie, J. Feichter, D. Hegg, R. Leaitch, D. Murphy, J. Nganga, and G. Pitari (2001), Aerosols, their direct and indirect effects, in Climate Change 2001: The Scientific Basis, edited by J. T. Houghton et al., pp. 289 – 348, Cambridge Univ. Press, New York

Rosenfeld, D., Lohmann, U., Raga, G. B., O'Dowd, C. D., Kulmala, M., Fuzzi, S., Reissell, A., and Andreae, M. O.(2008), Flood or Drought: How do aerosols affect precipitation?, *Science*, **321:** 1309–1313, **doi**:10.1126/science.1160606.

Rosenfeld, J. E., D. B. Considine, P. E. Meade, J. T. Bacmeister, C.H. Jackman, and M.R. Schoeberl (1997), stratospheric effects of Mount Pinatubo aerosol studied with a coupled two-dimensional model, *J. Geophys. Res.*, **102:** 3649–3670.

Satheesh, S. K., and V. Ramanathan (2000), large differences in tropical aerosol forcing at the top of the atmosphere and Earth's surface, *Nature*, **405:** 60–63.

Sayer, A.M., Hsu, N.C., Bettenhausen, C., et al., (2013), Validation and uncertainty estimates for MODIS Collection 6 "Deep Blue" aerosol data. *J. Geophys. Res. Atmos*. **118 (14),** 7864e7872. http://dx.**doi**.org/10.1002/ jgrd.50600.

Sokolik, I. N., et al. (2001), Introduction to special section: Outstanding problems in quantifying the radiative impacts of mineral dust, *J. Geophys. Res*., **106 (D16):** 18015–18028

Tegen, I., A. A. Lacis, and I. Fung (1996), the influence of mineral aerosols from disturbed soils on the global radiation budget, *Nature*, **380:** 419–422, **doi:** 10.1038/380419a0.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.1.3]

Tegen, I., P. Hollrig, M. Chin, I. Fung, D. Jacob, and J. Penner (1997), Contribution of different aerosol species to the global aerosol extinction optical thickness: Estimates from model results. *J. Geophys. Res*., **102 (D20):** 23895–23916.

Van Donkelaar, A., Martin, R.V., Brauer, M., et al., (2010), Global estimates of ambient fine particulate matter concentrations from satellite-based aerosol optical depth: development and application. *Environ. Health Perspect*. **118 (6):** 847e855.

Van Donkelaar, A., Martin, R.V., Brauer, M., et al., (2015), Use of satellite observations for long-term exposure assessment of global concentrations of fine particulate matter. *Environ. Health Perspect*. **123 (2):** 135e143.

Wong Sun, Andrev E. Dessler , Natalie M. Mahowald Ping Yang and Qian Feng (2009), Maintenance of Lower Tropospheric Temperature Inversion in the Saharan Air Layer by Dust and Dry Anomaly, *American Meteorological Society*, **Volume 22:** 5149-5162, **DOI:** 10.1175/2009JCLI2847.1

Wong, S., and A. E. Dessler (2005), Suppression of deep convection over the tropical North Atlantic by the Saharan air layer, *Geophys. Res. Lett*., **32**: L09808, **doi:** 10.1029/2004GL022295.

Wurzler, S. C., T. G. Reisin, and Z. Levin (2000), Modification of mineral dust particles by cloud processing and subsequent effects on drop size distributions, *J. Geophys. Res.*, **105 (D4):** 4501–4512.

Xuemei Zong 1, Xiangao Xia 1,2, Huizheng Che (2015), Validation of aerosol optical depth and climatology of aerosol vertical distribution in the Taklimakan Desert, *Atmospheric Pollution Research* **6 :** 239-244.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.1.3]

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.1.3]