نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال بیست و چهارم، شماره ۷۲، بهار ۱۴۰۳

آشکارسازی زمانی – مکانی فرین‌های فصلی گردوغبار در استان کردستان با استفاده از MACC و MODIS

دریافت مقاله: ۹۷/۱۰/۱۰ **پذیرش نهایی:** ۹۸/۲/۲۷

صفحات: ۲۴-۱

کاوه محمدپور: دکتری اقلیم‌شناسی، دانشگاه خوارزمی تهران، ایران.[1]
Email: Kawe.m@hotmail.com
محمد سلیقه: استاد گروه اقلیم‌شناسی، دانشگاه خوارزمی تهران، ایران.
Email: saligheh@khu.ac.ir
طیب رضئیی: استادیار مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، ایران.
Email: tayebrazi@yahoo.com
علی درویشی بلورانی: استادیار گروه سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه تهران، ایران.
Email: ali.darvishi@ut.ac.ir

چکیده

گردوغبارها، تحت عنوان عمده‌ترین نوع از آئروسل‌ها نقش بنیادی مستقیم و غیرمستقیمی بر روی هوا و اقلیم دارند. بدین منظور در پژوهش حاضر به بررسی قابلیت و توانمندی مدل MACC با استفاده از صحت سنجی MODIS برای بارزسازی پدیده‌های حدی گردوغبار در استان کردستان طی دوره ۲۰۰۳-۲۰۱۲ پرداخته شد. جهت تحلیل داده‌های ماهواره‌ای و مدل شده از آزمون‌های آماری و روندیابی من-کندال استفاده شده است. یافته‌های حاصل از توزیع سالانه نشان داد که میانگین بیشترین عمق نوری آئروسل (AOD) مربوط به سال ۲۰۰۸ با ۰/۳۶ و کمترین مقدار با ۰/۲۹۴ مربوط به سال ۲۰۰۴ می‌باشد. همچنین، میانگین بیشترین AOD مربوطه به سال ۲۰۰۸ در شهرستان‌های سنندج، سقز، قروه، کامیاران و مریوان به ترتیب با ۰/۳۵۶، ۰/۳۵۳، ۰/۳۵۸، ۰/۳۷۱ و ۰/۳۶۸ می‌باشد. نتایج حاصله از توزیع مکانی میانگین AOD در فصول مختلف نیز نشان داد زمستان و پاییز دارای کمترین مقدار و فصل بهار و تابستان دارای بیشترین مقدار AOD بوده است. توزیع زمانی-مکانی ماهانه AOD نشان داد که گردوغبار در طی آوریل تا آگوست سرتاسر پهنه منطقه موردبررسی را می‌پوشاند. نتایج آزمون روند من-کندال نیز حاکی از روند مثبت معنی‌دار در فصل بهار در سرتاسر استان و فصل تابستان در شرق استان دارد؛ بر همین اساس، فصل بهار در منطقه موردمطالعه به‌عنوان فصل فرین گردوغبار شناخته شد؛ و در بین پنج روز حدی گردوغبار در فصل مربوطه، روز ۱۹ ژوئن ۲۰۰۹ با میانگین مقدار AOD روزانه ۱/۱۶ و دید افقی کمتر از ۲۰۰۰ متر دارای بیشترین و گسترده‌ترین گردوغبار تحت عنوان روز فرینِ حدی است. در مجموع، نتایج حاصل از رویکرد چندبعدی MACC در بارزسازی گردوغبار نشان داد، عمق نوری (AOD، DOD) معیاری مناسب‌تر از دید افقی در تعیین روزهای فرین گردوغبار می‌باشد.

کلیدواژگان: عمق نوری آئروسل (AOD)، MACC، MODIS، فرین، فرین حدی، کردستان.

---

۱. **نویسنده مسئول:** تهران ، دانشگاه خوارزمی، دانشکده علوم جغرافیایی، گروه اقلیم‌شناسی

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.29.2]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.1]

مقدمه

بیابان‌های کره زمین تقریباً ۳۰×۱۰^{۸}-۵ تن گردوغبارهای ناشی شده از باد در سال را از منابع عمده گردوغبار در شمال آفریقا و خاورمیانه به اتمسفر تزریق می‌کنند (Prospero et al., 2002; Kutiel and Furman, 2003; Miller et al., 2004; Goudie and Middleton, 2006; Huneeus et al., 2011). گردوغبارها بسته به مکانیسم-های تشکیل، با ورود به سامانه‌های جوی به مناطق واقع در پیش روی این سامانه‌ها منتقل‌شده و با تقویت در شبه‌جزیره خشک عربستان منجر به بار زیادی از آئروسل (AOD[1] بالا) بر روی دریای عرب، خلیج‌فارس و غرب ایران می‌شوند (Dayan et al. 1991; Prijith et al., 2013; Kaskaoutis et al., 2014). گردوغبار، شار تابشی اتمسفر را به‌صورت مستقیم (جذب و پخش تابش) و غیرمستقیم (ویژگی‌های میکروفیزیک، تشکیل هسته و نور) تحت تأثیر قرار می‌دهد (Wurzler et al., 2000; Nakajima et al., 2001; Penner et al., 2001; Satheesh and Ramanathan, 2000; Harrison et al., 2001; S. Jayaraman et al., 2001; Haywood et al., 2003; Bangert et al., 2012). همچنین، گردوغبار بر روی تغییر دمای هوا و هسته‌های تراکم، شکل‌گیری ابر، همرفت و میزان بارش اثر دارد (Bryson and Barreis, 1967; Maley, 1982; Lohmann and Feichter, 2005; Wong and Dessler, 2005; Wong et al., 2009). در واقع آئروسل‌ها و از جمله عمده‌ترین آن‌ها یعنی گردوغبارها، اقلیم، محیط‌زیست و شیمی اتمسفر را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بنابراین، درک ما از گردوغبار، نه‌تنها ابزاری قدرتمند برای پیش‌بینی میزان گردوغبار منطقه‌ای و جهانی و تأثیرات متقابل در سیستم هوا – اقلیم است، بلکه در تکمیل خلأ داده‌های مشاهداتی و سنجش‌ازدوری و فهم فرآیندهایی که چرخه گردوغبار را به پیش می‌برد، یک اصل بنیادی است. به همین دلیل، استفاده از مدل‌های چندبعدی تجربی و کاربردی پیش‌بینی گردوغبار در سال‌های اخیر توسعه یافته است که از جمله مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به مدل‌های NAAPS[2]، MACC[3]، TBSC-DREAM8b[4]، CHIMERE[5] و NMMB/BSC-Dust[6] اشاره کرد (Morcrette et al., 2009; Benedetti et al., 2009; Westphal et al., 2009; Pérez et al., 2011; Schmechtig et al., 2011; Basart et al., 2012; Haustein et al., 2012). همه این فعالیت‌ها در جهت پیش‌برد درک دقیق‌تر رفتارهای پیچیده گردوغبار می‌باشد که به تولیدات مرتبط با گردوغبارها همچون: دید افقی[7]، غلظت مواد معلق[8]، عمق نوری آئروسل‌ها (AOD) و پروفایل عمودی ضریب خاموشی[9] در یک بسته جامع اطلاعات از آئروسل‌ها و فهم گردوغبار می‌باشد (Cuevas et al, 2015). از میان پارامترهای ذکر شده، معمول‌ترین و درعین‌حال کارآمدترین تولیدات برای آنالیز آئروسل‌ها و آشکارسازی گردوغبارها، متغیر عمق نوری آئروسل‌ها (AOD) می‌باشد این متغیر بیانگر میزان تراکم و ذرات معلق در ستون جو می‌باشد (Bengang li et al., 2009; Mao et al., 2014; Xuemei Zong et al., 2015; YIN Xiao-Mei et al., 2016; Sriharsha Madhavan et al., 2017; Kaskaoutis et al., 2012; David et al., 2016; Sriharsha Madhavan et al., 2017; Melanie et al., 2018).

1 . Aerosol Optical Depth
2 . Navy Aerosol Analysis and Prediction System
3. Monitoring Atmospheric Composition and Climate
4. Barcelona Supercomputing CenterCentro Nacional de Supercomputacio´n (BSC-CNS; ww.bsc.es/projects/earthscience/DREAM/)
5. Multi-Scale Chemistry-Transport Model for Atmospheric Composition Analysis and Forecast
6. Multi-Scale Atmospheric Dust Model Designed and Developed at the Barcelona Supercomputing Center
7. Visibility
8. Particulate Matter
9. Extinction Coefficient

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.29.2]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.1]

پژوهش‌های انجام‌گرفته بر روی ایران نشان می‌دهند که متغیر AOD در بررسی گردوغبارها با دقت مکانی پایین (۱×۱ درجه جغرافیایی) بوده است (Gharibzadeh et al., 2017; Arkian & Nicholson, 2017; Namdari et al., 2018).

از بهترین و جامع‌ترین مدل‌های چندبعدی‌نگر در حیطه مطالعات محیطی که راه را برای شناخت هر چه دقیق‌تر مخاطرات محیطی و از جمله گردوغبار با استفاده از AOD و DOD[1] هموار کرده است، پروژه «مانیتورینگ ترکیبات اتمسفری و آب‌وهوایی» (MACC[2]) می‌باشد. MACC، یک پروژه تحقیقاتی با هدف بنیان‌گذاری خدمات محیطیِ جوی با هسته منطقه‌ای و جهانی برای GMES[3] بود که تحت حمایت برنامه هفتم اتحادیه اروپا اجرا شد. MACC از جمله پروژه‌های پیشتاز مانیتورینگ تبادلات زمین-سیستم منطقه‌ای و جهانی با استفاده از داده‌های مشاهداتی و ماهواره‌ای و پروتکل خدمات مانیتورینگ جهانی محیط‌زیست و امنیت (GMES) جو ساخته شد (Hollingsworth et al., 2008; PROMOTE; http: //www.gse-promote.org/). این پروژه ترکیبی از مدل‌های پیشرفته جوی به همراه مشاهدات زمینی به‌منظور تهیه خدمات اطلاعاتی و داده‌ای کیفیت هوای اروپا، ترکیبات اتمسفری کره زمین، آب‌وهوا و انرژی خورشیدی و ماوراءبنفش است. در MACC، بر پایه سیستم پیش‌بینی جامع (IFS[4]) شامل گازهای واکنشی شیمیایی، آئروسل و گازهای گلخانه‌ای بوده و همچنین دارای سیستم ارزیابی چهاربعدی شبیه‌سازی مشابه داده‌های پیش‌بینی‌های هواشناختی میانبرد مرکز اروپایی (ECMWF[5]) می‌باشد که شبیه‌سازی مشاهدات ماهواره‌ای ترکیبات اتمسفری را در مقیاس جهانی توسعه داده است (Inness et al., 2009; Benedetti et al., 2009; Morcrette et al., 2009; Engelen et al., 2009; Flemming et al., 2009). داده‌های مدل «مانیتورینگ ترکیبات اتمسفری و آب‌وهوایی» (MACC) در طی دوره (۲۰۰۳-۲۰۱۲) موجود می‌باشد و انتخاب دهه موردمطالعه به دلیل وجود داده‌های موجود آئروسل‌ها (AOD) در این دهه و اطلاعات جامع مدل در خصوص ترکیبات اتمسفری بود. این داده‌ها دارای ویژگی‌هایی با دقت مکانی ۱/۱۲۵ × ۱/۱۲۵ تا ۰/۱۲۵ × ۰/۱۲۵ درجه جغرافیایی و مقیاس زمانی ۳ ساعته در طول‌موج ۵۵۰ نانومتر از ژانویه ۲۰۰۳ تا دسامبر ۲۰۱۲ با هدف بررسی ترکیبات اتمسفری جو زمین و اهمیت اقلیمی گردوغبارها و آئروسل‌ها بر پایه سیستم پیش‌بینی جامع (IFS) تولید شد. هرچند مطالعات محدودی در سطوح منطقه‌ای و جهانی بر روی استفاده از مدل MACC برای بررسی آئروسل‌ها و گردوغبار انجام شده است (Bellouin et al., 2013; Cesnulyte et al., 2014; Aristeidis et al., 2018)؛ که دلیل بر تولیدات جدید مدل در ارزیابی مطالعات اقلیمی گردوغبار دارد. اما مطالعه جامعی که بر روی گردوغبار با استفاده از MACC در منطقه خاورمیانه و شمال آفریقا و اروپا انجام شده است به‌روشنی دقت و توانای مدل در آشکارسازی و تطابق دقیق با داده‌های سطح زمین را نشان می‌دهد (Aristeidis et al., 2018). همین امر در مطالعه صورت گرفته در همسایه جنوبی ایران نشان داد که در بین AOD ایستگاه‌های مشاهداتی زمینی و MACC در امارات متحده عربی برای گردوغبارها دارای معنی‌داری بالایی است (Oumbe et al., 2012).

1. Dust Optical Depth
2. Monitoring Atmospheric Composition and Climate
3. Global Monitoring for Environment and Security
4. Integrated Forecast System
5. European Centre for Medium-Range Weather Forecasts

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.29.2]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.1]

بنابراین، مطالعات محدود در منطقه خاورمیانه نشان می‌دهد هیچ‌گونه مطالعه جامعی با مدل MACC در ایران صورت نگرفته و تمام مطالعات آشکارسازی گردوغبار بر پایه داده‌های ماهواره‌ای یک روز مشخص بود که مشاهدات زمینی گزارش کرده است؛ و این امر منجر به تشخیص گردوغبار تنها بر پایه دید افقی ایستگاه زمینی بوده و ارتفاع لایه گردوغبار و عمق نوری گردوغبار را نادیده می‌گیرد. پس در مطالعه حاضر با استفاده از متغیر AOD تلاش گردید که فصل فرین گردوغبار در یک رویکرد جامع و چندبعدی (ماهواره‌ای و مشاهداتی) در مقیاس مکانی و زمانی بر روی استان کردستان شناسایی گردد. صحت‌سنجی مدل در استفاده از AOD پیش‌تر در بستر مطالعات پیشین خاورمیانه با مشاهدات زمینی[1] تأیید شده است (Oumbe et al., 2012, Cesnulyte et al., 2014, Cuevas et al, 2015; Marinou et al.,2017; Aristeidis et al., 2018).

در بعدی دیگر، مطالعات پیشین انجام‌گرفته در ایران نشان می‌دهند که در دو دهه اخیر تعداد روزهای گردوغباری در غرب کشور روبه افزایش بوده به‌طوری‌که در برخی موارد با دید افقی محدود و میزان غلظت آئروسل‌ها در ایستگاه‌های زمینی بحرانی گزارش شده است. این مطالعات بر روی منشأیابی سینوپتیکی گردوغبار باتوجه به روزهای گردوغباری رکورد شده در ایستگاه‌های زمینی تأکید داشته‌اند (اکبری و فرحبخشی، ۱۳۹۵ بنفشه و همکاران، ۱۳۹۱؛ Akbary & farahbakhshi, 2015). امری که با ارتفاع گرفتن لایه گردوغبار دید افقی را بیشتر نشان داده و این امر علی‌رغم وجود عمق نوری زیاد گردوغبار، روز موردنظر در ایستگاه زمینی تحت عنوان طوفان گردوغبار ثبت نمی‌شود؛ بنابراین، علت و عوامل درهم‌پیچیده اقلیمی و محیط‌زیستی موجب گردوغبار در یک منطقه هستند که با دید تک‌بعدی دشوار خواهد بود. پس بارزسازی و آشکارسازی گردوغبار با انواع مختلفی از مدل‌ها، سنجش‌ازدور و مشاهدات زمینی، جامع‌تر از رویکرد تک‌بعدی در بررسی مخاطره محسوب شده و این مسئله، بنا بر نقش محوری آئروسل و به‌ویژه گردوغبارها و آنالیز چگونگی آن‌ها با یک مدل جامع در یک چهارچوب چندبعدی می‌تواند خلأهای مطالعاتی موجود را پر نموده و رویکرد جدیدی در طرح مسئله آشکارسازی گردوغبار و حل آن داشته باشد. امری که محور مدل موردبررسی تحقیق حاضر با یک رویکرد چندبعدی در محدوده ریزمقیاس مکانی در راستای رسیدن به هدف پژوهش ضروری به نظر می‌رسد. هدف پژوهش حاضر آشکارسازی مکانی – زمانی رخدادهای فرین در فصل حدی گردوغبار و مسیریابی پسگرد فرین گردوغبار بر اساس مدل HYSPLIT می‌باشد.

روش تحقیق

محدوده موردمطالعه در این پژوهش، استان کردستان می‌باشد. جامعه آماری موردمطالعه در چهار پایگاه داده‌ای ۱- مشاهدات زمینی ایستگاه‌های سینوپتیک و ۲- نوا (NOAA[2]) برای بررسی دید افقی (در هر دو مجموعه داده بر اساس متر می‌باشد) در پنج ایستگاه سینوپتیک استان کردستان (سنندج، سقز، قروه، مریوان و کامیاران) از سازمان هواشناسی کل کشور و دو ایستگاه سقز و سنندج از سازمان ملی جوی و اقیانوس‌شناسی ایالات‌متحده دریافت شد. پایگاه سوم شامل داده‌های مدل شده MACC با دقت مکانی ۰/۱۲۵ ×۰/۱۲۵ درجه یا ۱۴ کیلومتر و مقیاس زمانی ۳ ساعته است و پایگاه چهارم شامل تولیدات سنجنده MODIS نصب بر روی

[1]. AERONET
[2]. National Oceanic and Atmospheric Administration

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.29.2]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.1]

ماهواره Terra می‌باشد؛ که برای ارزیابی و صحت سنجی داده‌های مدل به همراه مشاهدات زمینی استفاده شد. تولیدات این سنجنده در دو نوع، یکی تولیدات با دقت مکانی ۱×۱ درجه مجموعه ۶ (Collection 6.1) و دیگری تصاویر مرئی در مقیاس زمانی روزانه برای فرین‌های گردوغباری استخراج شد. جدول (۱) ویژگی‌های داده‌های مورداستفاده را نشان داده است.

جدول (۱). داده‌های مورداستفاده در تحقیق

Data Name	Spatial Resolution	Time Scale	Dimensions	Layers/Cells	Extent	Area
MACC	14km^2	Daily/hourly	15×21	3653/315	X: 45.5625- 48.1875 Y: 34.6875-36.5625	Kurdistan
	20km^2	Daily/hourly	13×9	3653/117	X: 45.5625- 48.1875 Y: 34.6875-36.5625	Kurdistan
	14km^2	Daily/hourly	222×231	5/51282	X: 34.4375- 63.3125 Y: 12.0625-39.8125	Middle East
MODIS	100km^2	Daily	28×29	5/812	X: 34-63 Y: 12-40	Middle East
NOAA	-	Daily	-	-	stations	Kurdistan
Synoptic Observation	-	Hourly	-	-	Synoptic stations	Kurdistan

به‌منظور تحلیل و آنالیز طوفان‌های گردوغبار در منطقه موردمطالعه در دوره آماری ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۲ از روش‌های آماری، مدل شده و شبیه‌سازی بهره گرفته شده و رخدادهای فرین گردوغباری مورد پردازش قرارگرفته است. روش کار بدین‌صورت است که میانگین روزانه AOD در ابعاد مکانی ۱۳×۹ پیکسل تشکیل و میانگین ۱۱۷ پیکسل برای محدوده موردمطالعه محاسبه روابط (۱ و ۲) و ماتریسی با ارائه ۱۱۷×۳۶۵۳ سری زمانی در حالت (S) تشکیل گردید. سپس، با استفاده از آزمون روند من-کندال (مجموعه بسته‌های R؛ رابطه (۳)) (Forkel et al., 2013) پراکنش فضایی میزان AOD در طی چهارفصل سال محاسبه و فصل حدی گردوغبار به دست آمد. در مرحله بعدی، میزان میانگین AOD در ایستگاه‌های سینوپتیک (نزدیک‌ترین پیکسل به نقطه ایستگاه‌های سینوپتیک) و سراسر استان کردستان (میانگین ۱۱۷ پیکسل در سطح استان) برای سری زمانی روزانه در فصلی که دارای روند مثبت معنی‌دار بود، استخراج و استانداردسازی گردید. درنهایت، روزهایی را که دارای AOD بزرگ‌تر مساوی ۰/۹ مشخص و این عدد برای تمام ایستگاه‌های موردمطالعه و میانگین استان به‌عنوان معیار تعیین روزهای حدی گردوغباری در فصل فرین به کار گرفته شد. سرانجام، بیشترین مقدار AOD در روزهای فرین در سطح استان، شناسایی و روز موردنظر تحت عنوان رخداد فرینِ حدیِ گردوغبار تعیین و با استفاده از مدل لانگرانژی هایسپلیت مسیریابی گردید.

روابط (۱ تا ۵) محاسبه چگونگی میانگین AOD را برای کل دوره موردمطالعه در هرکدام از ایستگاه‌ها و استان کردستان بر پایه مقدار پیکسل‌ها را نشان می‌دهد:

$$1-1).AOD_l = \begin{bmatrix} \tau^l_{1,1} & \tau^l_{1,2} & \dots \tau^l_{i,j} \\ \tau^l_{2,1} & \tau^l_{2,2} & \dots \tau^l_{i,j} \\ \tau^l_{i,j} & \tau^l_{i,j} & \dots \tau^l_{i,j} \end{bmatrix} \qquad l = 1,\dots,3653$$

رابطه(۱)

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.29.2]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.1]

رابطه(۲)

$$1-2).AOD_l = [\tau_{ij}^{l}]$$

رابطه(۳)

$$1-3).\overline{AOD}_l = \frac{\sum_{l=1}^{l} AOD_{l_{9\times12}}}{l}$$

رابطه(۴)

$$2-1).\overline{AOD}_{Kurdistan}^{daily} = \frac{\sum_{pix=1}^{n}(\tau_1+\cdots+\tau)}{n}$$

رابطه(۵)

$$2-2).\overline{AOD}_{Kurdistan}^{decadal} = \frac{\sum_{l=1}^{l}(\overline{AOD}_1+\cdots+\overline{AOD}_l)}{l}$$

در روابط (۱ تا ۵)، (AOD): ماتریس عمق نوری آئروسل در لایه (l)؛ (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).

رابطه (۶) میزان چگونگی برآورد روند را برای پیکسل‌ها در سری زمانی موردمطالعه تحقیق نشان می‌دهد. پس ارزش AOD (y) در زمان t می‌تواند به‌صورت رابطه (۶) بیان شود (Forkel et al., 2013):

رابطه(۶)

$$3).\ y_t = \alpha_1 + \alpha_2^t \sum_{j=1}^{k} \gamma_j \sin\left(\frac{2\pi jt}{f} + \delta_j\right) + \varepsilon_t$$

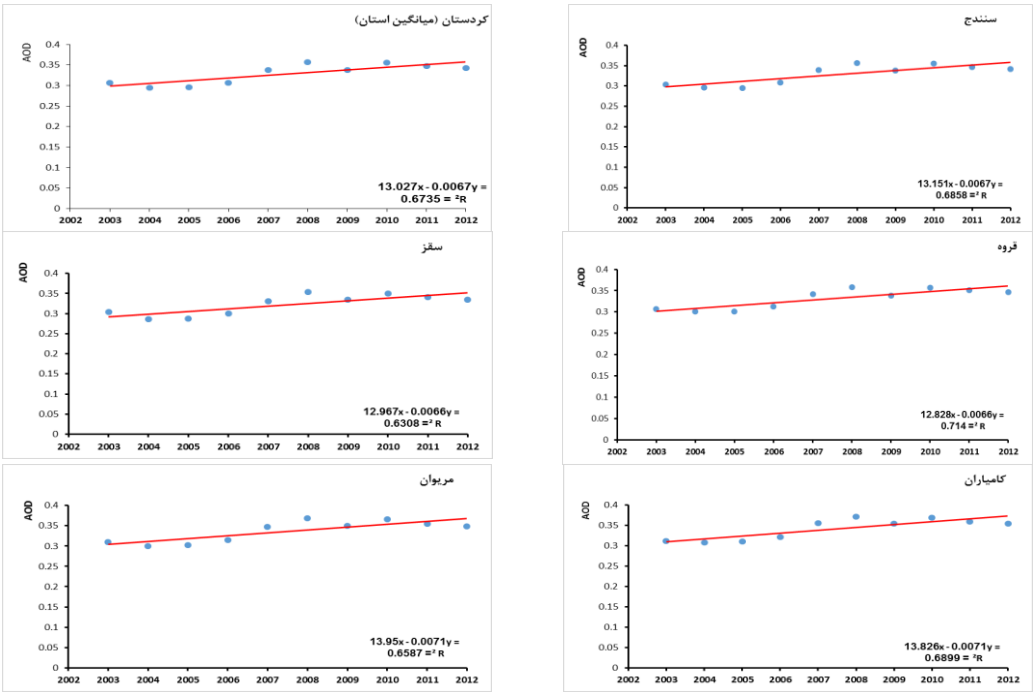
در رابطه (۶): α_1: عرض از مبدأ رگرسیون؛ α_2: شیب‌خط،γ دامنه و δ فازهای دوره‌های همساز k، ε مقدار خطای باقیمانده، f فراوانی و تعداد مشاهدات در هر فصل یا سال (مثلاً سه ماه در هر فصل سال، یا دوازده ماه برای هرسال)، t سری زمانی. پارامترهای α_1 و α_2 بر اساس حداقل مربعات رگرسیون ساده (OLS) بر اساس سری‌های زمانی مستخرج شده که به‌عنوان دوره یا زمان که به‌عنوان دوره تأثیرات متقابل طبقه‌بندی‌شده با روند شیب‌خطی α_2 را نشان می‌دهد. معنی‌داری روند در هر بخش از آزمون t-test در پارامتر دارای اثر متقابل رگرسیون بین بخش (Segment) سری زمانی و α_2 برآورد شده است.

نتایج

شکل (۱) میانگین AOD استان و شهرستان‌های مختلف آن را در سال‌های مختلف نشان می‌دهد. با توجه به شکل (۱) نمودارهای تغییرات میانگین AOD سالانه در سطح استان کردستان و شهرستان‌های مختلف آن یک روند افزایشی را در طی دوره موردمطالعه نشان می‌دهد که در بین شهرستان‌های استان دارای اختلاف جزئی است. نتایج به‌دست‌آمده در طی سال‌های موردمطالعه نشان می‌دهد که بیشترین مقدار AOD (0.36) مربوط به سال ۲۰۰۸ و کمترین آن با مقدار ۰/۲۹۴ مربوط به سال ۲۰۰۴ می‌باشد. بالاترین میزان AOD در سال ۲۰۰۸ روی داده است که مقدار آن در شهرستان‌های سنندج، سقز، قروه، کامیاران و مریوان به ترتیب ۰/۳۵۶، ۰/۳۵۳،

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.29.2]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.1]

۰/۳۵۸، ۰/۳۷۱ و ۰/۳۶۸ می‌باشد شکل (۱) که بیشترین میزان آن مربوط به ایستگاه کامیاران واقع در جنوب استان و کمترین مقدار آن مربوط به ایستگاه سقز در شمال غرب منطقه موردمطالعه است. همچنین، تغییرات مقدار AOD سالانه در شهرستان‌های مختلف استان حاکی از این است که مقدار AOD در سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۱ نسبت به کل دوره موردبررسی بالا بوده است. دامنه تغییرات میانگین سالانه AOD در سطح استان کردستان در این دوره بین ۰/۲۹۴ تا ۰/۳۵۷ می‌باشد شکل (۱)؛ (میانگین استان). همان‌گونه که در شکل (۱) دیده می‌شود دامنه تغییرات AOD در سطح شهرستان‌های مختلف استان تقریباً همانند دامنه تغییرات مشاهده‌شده در سطح کل استان است.

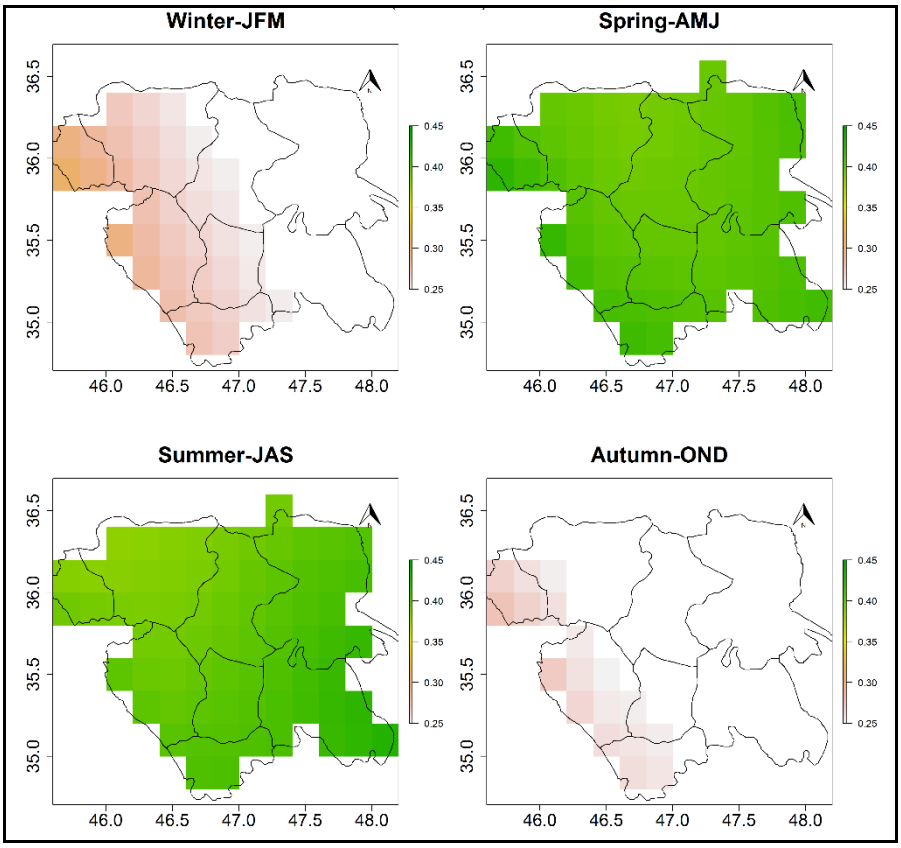


شکل (۱). میانگین سالانه عمق نوری آئروسل (AOD 550nm) در استان کردستان (۲۰۰۳-۲۰۱۲)

اشکال (۲ و ۳) نیز نشان می‌دهند که توزیع مکانی و زمانی AOD در سطح استان و در فصول مختلف متفاوت است. با توجه به شکل (۳) تغییرات زمانی AOD در فصل زمستان بین ۰/۲۴ تا ۰/۳۰ است؛ توزیع مکانی این بیشینه بر روی شهرستان‌های بانه، مریوان و تا حدودی کمتر بر روی شهرستان کامیاران مشاهده می‌شود شکل (۲). همچنین، مقدار AOD فصل پاییز بین ۰/۲۳ تا ۰/۲۷ است شکل (۳) که تنها در بخشی از شهرستان‌های سروآباد و مریوان در جنوب غرب استان مشاهده می‌شود شکل (۲)؛ اما مقدار AOD در فصل تابستان و بهار به‌مراتب بیشتر بوده و دامنه AOD در تابستان بین ۰/۳۸ و ۰/۴۳ است شکل (۳) که بیشترین مقدار آن در جنوب‌شرقی استان و در شهرستان‌های قروه، دهگلان و بیجار دیده می‌شود شکل (۲). افزایش مقدار AOD در تابستان می‌تواند به دلیل خشکی سطح زمین در فصل موردمطالعه باشد که سبب ایجاد گردوغبارهای محلی می‌شود که باعث تشدید میزان گردوغبارهای وارده به استان شده که سرچشمه اصلی آن‌ها فرامنطقه‌ای است.

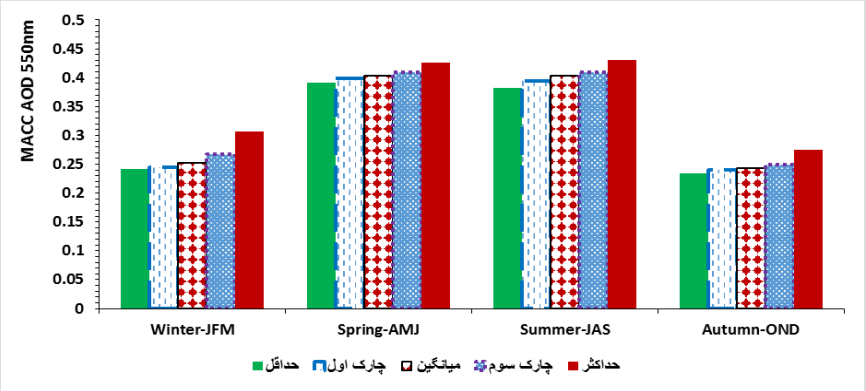
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.29.2]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.1]

این شرایط به‌ویژه در اواخر مرداد و شهریور مساعدتر و همراه با فصل خشک در منطقه اتفاق می‌افتد که فرود بادهای غربی به سمت جنوب جابجا می‌شوند و باعث افزایش تلاطم جو و در نتیجه افزایش مقدار گردوغبار در جو زمین می‌شود. با توجه به شکل (۲) بیشترین مقدار AOD در سطح استان در فصل بهار روی می‌دهد که مقدار آن‌ها بین ۰/۳۹ تا ۰/۴۲۵ است شکل (۳). افزایش مقدار AOD در این فصل نشان‌دهنده سیطره گردوغبارهای منطقه‌ای و انتقال‌یافته از عراق و سوریه است که در ارتباط با جابجایی بادهای غربی از جنوب به شمال و افزایش فعالیت‌های همرفت دامنه‌ای در این فصل است. البته ناهمواری‌ها و ویژگی‌های جغرافیایی و محیطی منطقه موردمطالعه نیز بر چگونگی توزیع مکانی AOD در سطح استان تأثیر می‌گذارد به‌طوری‌که در شهرستان‌های شمالی مانند دیواندره که از ارتفاع زیادی برخوردارند و امکان جابجایی ذرات معلق در هوا فراهم است مقدار AOD کمتر ولی در شهرستان‌هایی که در درون دره‌ها و دشت‌های محصور در کوهستان‌ها قرار دارند (کاسه مانند) (مریوان، سنندج و کامیاران) شدت ریزگردها بیشتر و از نظر زمانی ماندگارتر هستند.



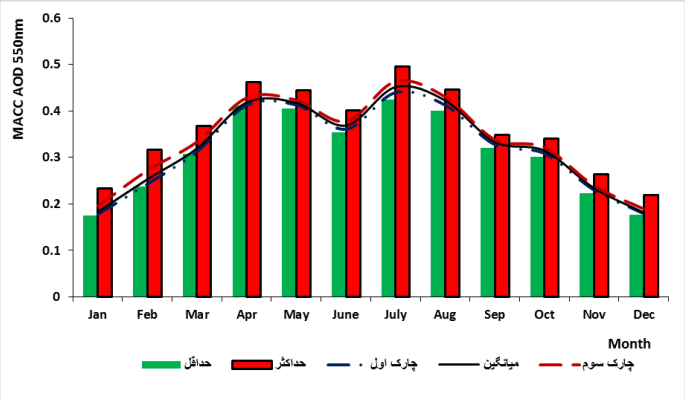
شکل (۲). توزیع مکانی فصلی عمق نوری آئروسل (AOD 550nm) در استان کردستان بر اساس میانگین دوره زمانی ۲۰۱۲-۲۰۰۳

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.29.2]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.1]



شکل (۳). میانگین مقدار عمق نوری آئروسل (AOD 550nm) بر روی استان کردستان در فصل‌های مختلف سال بر اساس میانگین دوره زمانی ۲۰۰۳-۲۰۱۲

جدول (۲) و شکل (۴) نشان می‌دهند که بیشترین AOD با میانگین ۰/۴۱۸، ۰/۴۱۷، ۰/۳۶۸، ۰/۴۵۱ و ۰/۴۲۲ به ترتیب مربوط به ماه‌های آوریل، مه، ژوئن، جولای و آگوست می‌باشد؛ به‌طوری‌که در ماه جولای با مقدار حداقل ۰/۴۲۴ و حداکثر ۰/۴۹۵ به اوج می‌رسد. سپس، این مقدارها به‌سرعت کاهش پیدا کرده و در ماه دسامبر به کمترین مقدار (بین ۰/۱۷ و ۰/۲۱) می‌رسد. این کاهش در ماه دسامبر همراه با جابجایی بادهای غربی باران‌آور به سمت جنوب کشور و آغاز فعالیت سامانه‌های مرطوب مدیترانه‌ای و فصل بارش می‌باشد. الگوی توزیع فضایی گردوغبار ماهانه در شکل (۵) نشان می‌دهد که پدیده گردوغبار از ماه مارس بر روی غرب استان و به‌ویژه بر روی شهرستان بانه پدیدار می‌شود. سپس در ماه‌های آوریل و مه به‌صورت گسترده و فراگیر سرتاسر استان را دربرگرفته و در ماه ژوئن از شدت آن بر روی بخش شمال غرب استان کاسته می‌شود و در ماه‌های جولای تا آگوست مجدداً گردوغبار سراسر پهنه استان را می‌پوشاند. با توجه به شکل (۵) کمترین مقدار گردوغبار مربوط به ماه‌های ژانویه و دسامبر است که از مرطوب‌ترین ماه‌های سال در استان هستند. بر این اساس، توزیع مکانی و زمانی گردوغبار نشان می‌دهد که ماه‌های آوریل تا آگوست فصل گردوغباری استان را تشکیل می‌دهند.

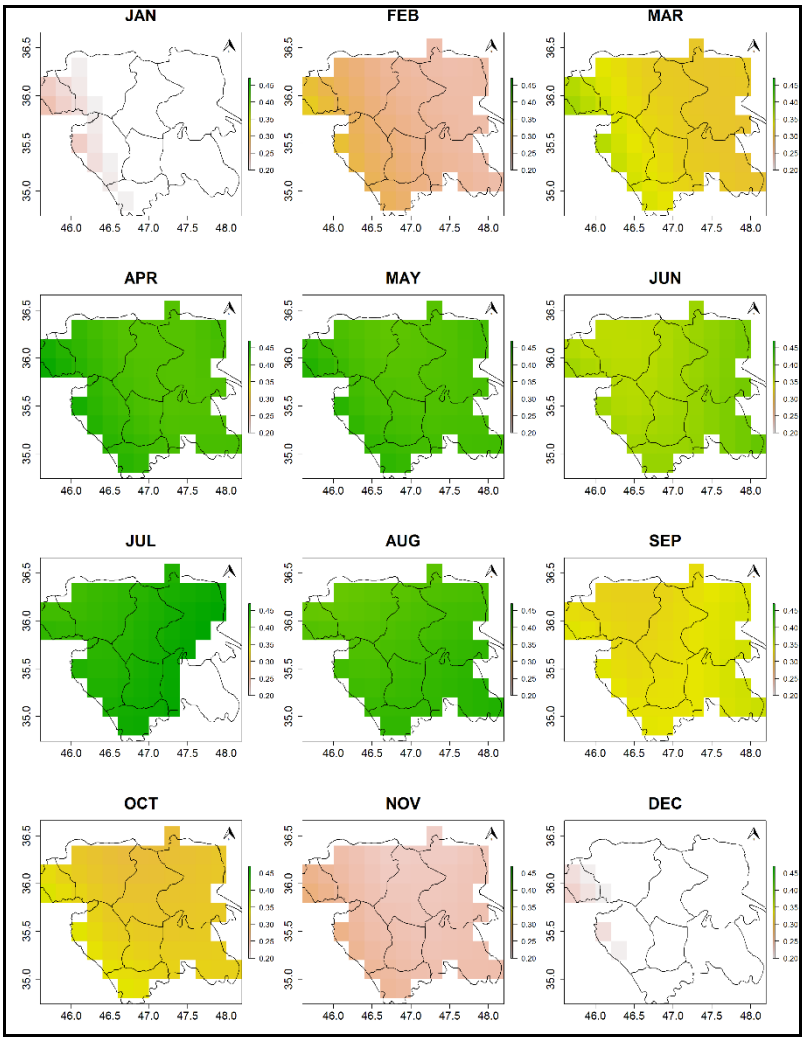


شکل (۴). توزیع ماهانه شاخص‌های آماری میانگین عمق نوری آئروسل (AOD 550nm) بر روی استان کردستان (۲۰۰۳-۲۰۱۲)

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.29.2]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.1]

جدول (۲). توزیع ماهانه شاخص‌های آماری میانگین عمق نوری آئروسل (AOD 550nm) بر روی استان کردستان

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	June	July	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
حداقل	۰.۱۷۵۷	۰.۲۳۸۲	۰.۳۰۸۲	۰.۴۱۱۳	۰.۴۰۵۱	۰.۳۵۵۰	۰.۴۲۴۳	۰.۴۰۰۶	۰.۳۲۰۸	۰.۳۰۱۵	۰.۲۲۲۹	۰.۱۷۶۱
چارک اول	۰.۱۷۸۲	۰.۲۴۳۴	۰.۳۱۳۶	۰.۴۱۳۰	۰.۴۱۳۵	۰.۳۶۱۴	۰.۴۴۰۵	۰.۴۱۳۱	۰.۳۲۸۱	۰.۳۰۹۰	۰.۲۳۰۱	۰.۱۷۹۴
میانگین	۰.۱۸۳۰	۰.۲۵۳۳	۰.۳۱۹۷	۰.۴۱۸۴	۰.۴۱۷۸	۰.۳۶۸۹	۰.۴۵۱۷	۰.۴۲۲۶	۰.۳۳۳۵	۰.۳۱۴۶	۰.۲۳۴۱	۰.۱۸۱۶
چارک سوم	۰.۱۹۶۲	۰.۲۷۲۶	۰.۳۳۴۲	۰.۴۲۸۴	۰.۴۲۳۶	۰.۳۷۸۱	۰.۴۶۳۸	۰.۴۳۰۵	۰.۳۳۸۸	۰.۳۲۱۸	۰.۲۳۹۶	۰.۱۸۹۷
حداکثر	۰.۲۳۳۸	۰.۳۱۶۵	۰.۳۶۷۸	۰.۴۶۲۵	۰.۴۴۴۶	۰.۴۰۲۱	۰.۴۹۵۷	۰.۴۴۵۹	۰.۳۴۸۸	۰.۳۳۹۹	۰.۲۶۳۹	۰.۲۱۹۸

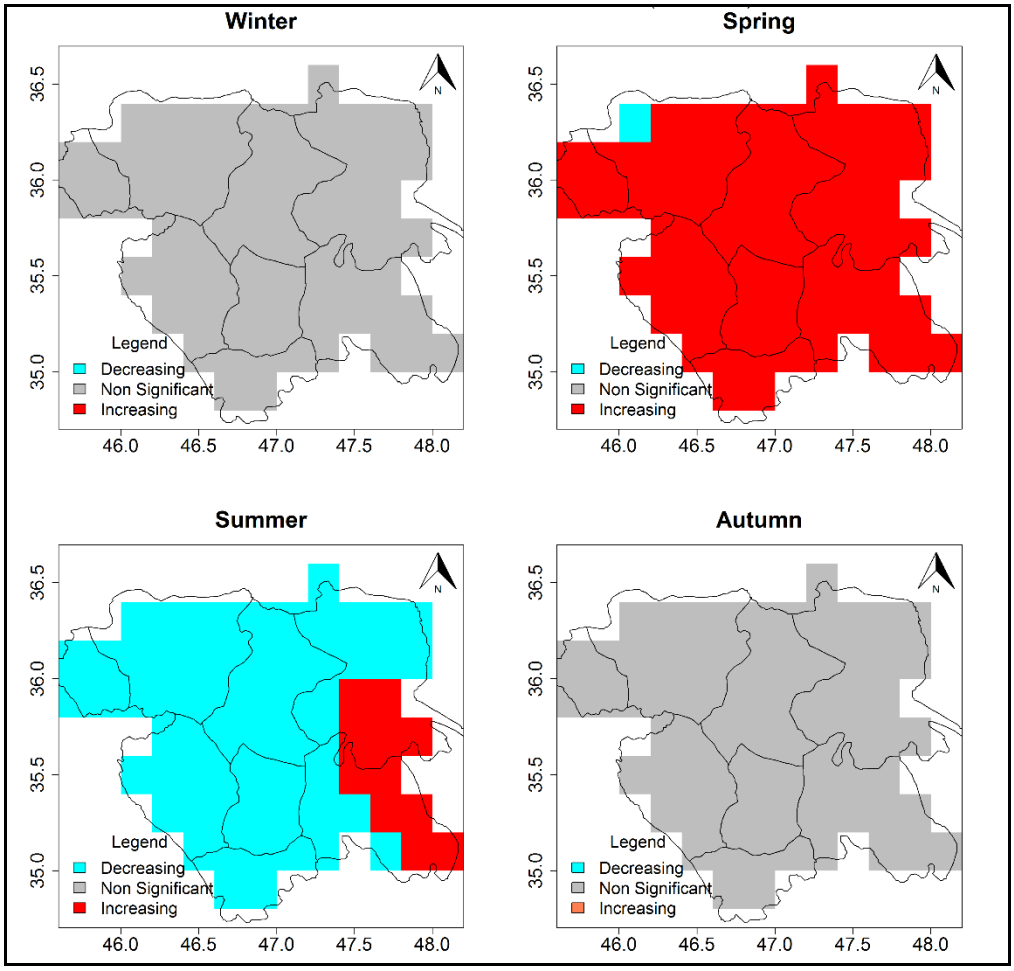


شکل (۵). توزیع مکانی میانگین ماهانه عمق نوری آئروسل (AOD 550nm) بر روی استان کردستان (۲۰۰۳-۲۰۱۲)

علاوه بر توزیع مکانی و زمانی عمق نوری آئروسل، بررسی روند تغییرات زمانی AOD در فصل‌های مختلف سال ضروری است. نتایج حاصله از آزمون من-کندال نشان داد که تغییرات زمانی AOD فصل بهار در سراسر استان دارای روند مثبت است که از نظر آماری در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار است. این روند همچنین در فصل تابستان بر

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.29.2]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.1]

روی بخش شرقی استان (شرق قروه و جنوب بیجار) معنی‌دار می‌باشد. به‌بیان‌دیگر، روند فصلی گردوغبار در تابستان به‌جز در بخش شرقی، در بقیه سطح استان دارای روند کاهشی و در فصل بهار در سراسر استان میزان گردوغبار روند افزایشی و معنی‌دار داشته است. در دو فصل پاییز و زمستان تغییرات زمانی AOD در سطح استان روند معنی‌داری از خود نشان نداد شکل (۶)؛ بنابراین، افزایش چشمگیر و معنی‌دار گردوغبار در فصل بهار در کل سطح استان نشان‌دهنده فصل فرین گردوغبار در استان کردستان است.

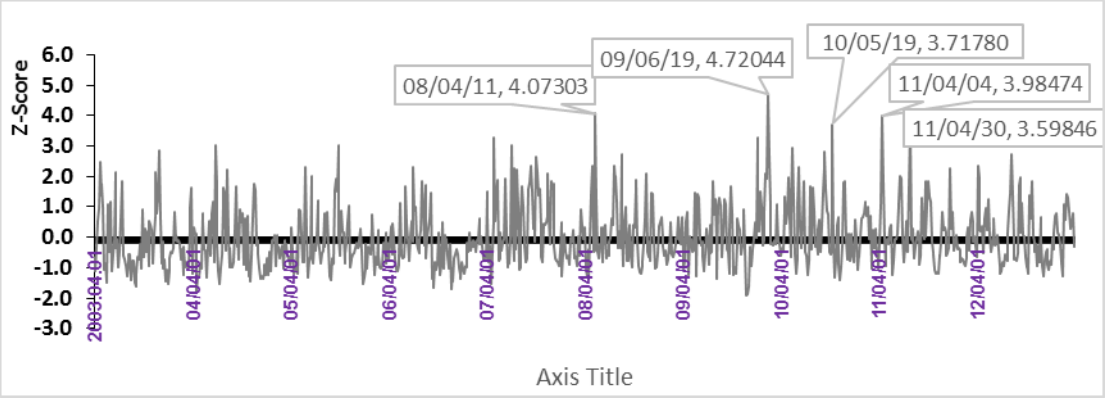


شکل (۶). روند تغییرات فصلی میانگین عمق نوری آئروسل (AOD 550nm) بر روی استان کردستان (۲۰۰۳-۲۰۱۲)؛ روند کاهشی (رنگ آبی)، افزایشی (رنگ قرمز) و بدون روند معنی‌دار (خاکستری)

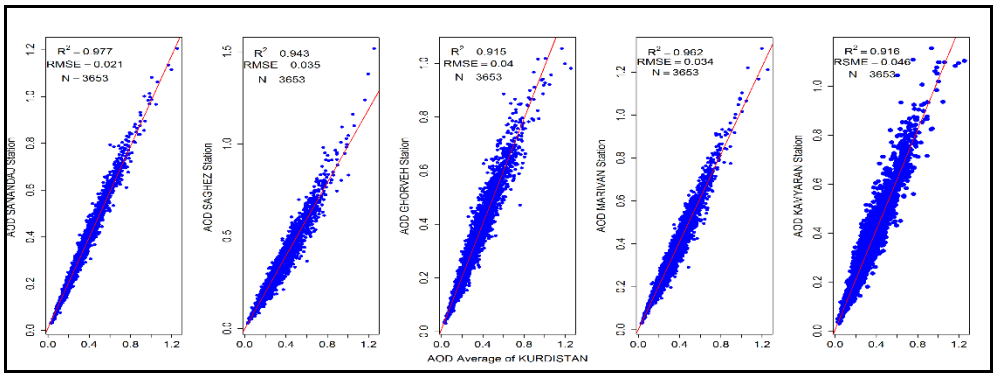
یافته‌های شکل (۷)، میزان استانداردشده میانگین AOD را در سری‌های زمانی روزانه فصل بهار (۹۹۱ روز) بر روی استان کردستان به نمایش می‌گذارد. با توجه به معیارهای مذکور در روش تحقیق (AOD بیشتر مساوی ۰/۹)، بر روی شکل (۷) پنج روز فرین گردوغباری (۱۱ آوریل ۲۰۰۸؛ ۱۹ ژوئن ۲۰۰۹؛ ۱۹ مه ۲۰۱۰؛ ۴ و ۳۰ آوریل ۲۰۱۱) برای استان کردستان قابل‌ملاحظه است. شکل (۸) پراکنش میانگین AOD پیکسل‌ها در سطح

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.29.2]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.1]

استان کردستان را در برابر میزان AOD مشاهده‌شده در سطح ایستگاه‌های سینوپتیک استان نشان می‌دهد. با توجه به همخوانی دقیق میانگین AOD به‌دست‌آمده در سطح استان و ایستگاه‌های سینوپتیک موردبررسی در شهرستان‌های مختلف، میانگین استان معیاری مناسب جهت استخراج فرین‌ها در فصل حداکثر گردوغبار بود. با توجه به شکل (۸) میانگین AOD در ایستگاه‌ها با میانگین سطح استان رابطه معنی‌داری (ضریب تعیین و ریشه میانگین مربعات خطا) دارد و ضریب تعیین رابطه مذکور برای ایستگاه‌های سنندج، سقز، قروه، کامیاران و مریوان به ترتیب ۰/۹۷۷، ۰/۹۴۳، ۰/۹۱۵، ۰/۹۱۶ و ۰/۹۶۲ می‌باشد.



شکل (۷). نمودار توزیع سری زمانی AOD 550nm استانداردشده در فصل بهار بر روی استان کردستان (۲۰۰۳-۲۰۱۲)



شکل (۸). رابطه همبستگی میان میزان AOD 550 nm نزدیک‌ترین پیکسل به ایستگاه‌های سینوپتیک با میانگین AOD استان کردستان (۱۱۷ پیکسل) (۲۰۰۳-۲۰۱۲)

جدول (۳) میانگین توزیع AOD در روزهای فرین گردوغبار فصل بهار را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج حاصله، میانگین AOD در روز ۱۱ آوریل ۲۰۰۸ برای شهرهای سنندج، سقز، قروه، مریوان و کامیاران به ترتیب برابر با ۱/۰۶، ۱/۰۹، ۰/۹۵، ۱/۲۲ و ۱/۰۹ می‌باشد. میانگین استانی در روز مذکور برابر با ۱/۰۶ است، درحالی‌که ایستگاه قروه با وجود دید افقی کمتر، عمق نوری گردوغبار کمتری نسبت به میانگین استان و دیگر ایستگاه‌های استان دارد که دلیل بر ارتفاع کم لایه گردوغبار در این ایستگاه می‌باشد. دومین روز فرین موردمطالعه، مربوطه به ۱۹ ژوئن ۲۰۰۹ با میانگین عمق اپتیکی گردوغبار برابر با ۱/۱۶ در سطح استان

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.29.2]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.1]

می‌باشد. این مقدار برای شهرستان‌های دیگر بین ۱/۰۵ و ۱/۲۳ می‌باشد که کمترین مقدار در ایستگاه قروه و بیشترین مقدار آن در ایستگاه سقز دیده شده است که نشان می‌دهد که عمق گردوغبار در ایستگاه‌های غربی نسبت به ایستگاه شرقی بیشتر است. مقدار AOD ایستگاه‌های سنندج و مریوان ناشی از توپوگرافی کاسه مانند این شهرها است که باعث ته‌نشینی گردوغبارها در این ایستگاه‌ها می‌شود. در روز ۱۹ ژوئن ۲۰۰۹، دید افقی در اکثر ایستگاه‌های استان به کمتر از سه هزار (۳۰۰۰) متر رسیده و تنها در سقز دید افقی حداکثر به ۶۰۰۰ متر رسیده است. بیشتر بودن دید افقی در این شهرستان به دلیل ارتفاع بلند دشت سقز و وزش باد در آن نسبت به دیگر ایستگاه‌های استان است؛ که از تداوم رویدادهای گردوغبار کاسته و نشان‌دهنده ارتفاع پایه‌ی لایه گردوغبار در این ایستگاه می‌باشد. میانگین AOD استانی روز فرین ۱۹ مه ۲۰۱۰ برابر با ۱/۰۰ است و بین ۰/۹۲ تا ۱/۰۴ در سطح ایستگاه‌های استان در تغییر است. در روز موردنظر، بیشترین دید افقی در ایستگاه‌های جنوبی همچون مریوان و کامیاران و کمترین مقدار در ایستگاه شمالی مانند سقز دیده شده است. در جدول (۳) روزهای فرین گردوغباری ۴ و ۳۰ آوریل ۲۰۱۱ به ترتیب با میانگین AOD استانی ۱/۰۴ و ۰/۹۸ نشان داده شده است. در روز ۴ آوریل ۲۰۱۱ کمترین مقدار AOD در ایستگاه‌های کامیاران و قروه (با دید افقی بیشتر از ۶ کیلومتر) و بیشترین مقدار با ۱/۱۶ و دید افقی ۲/۵ کیلومتر در ایستگاه سقز دیده شده است. از میان ۵ روز فرین استخراج‌شده از مدل، روز ۳۰ آوریل ۲۰۱۱ کمترین میانگین AOD را در سطح استان (۰/۹۸) دارا بوده است که دامنه دید افقی چهار کیلومتر را در بین ایستگاه‌ها نشان می‌دهد. به‌علاوه، دامنه تغییرات AOD در بین ایستگاه‌های موردمطالعه بین ۰/۱۳ و ۰/۲۷ به ترتیب در روزهای ۲۰۱۱/۰۴/۳۰ و ۲۰۰۸/۰۴/۱۱ روی داده است؛ بنابراین، یافته‌ها نشان می‌دهد که روز ۱۹ ژوئن ۲۰۰۹ در میان روزهای موردمطالعه، با حداکثر میانگین AOD (۱/۱۶) و کمترین دید افقی تحت عنوان بحرانی‌ترین روز رخداد فرین گردوغباری در سطح استان بوده است جدول (۳). با توجه به جدول (۳) دامنه تغییرات AOD در بین ایستگاه‌های مختلف استان در روزهای فرین گردوغباری فصل بهار اغلب ناچیز بوده که نشان‌دهنده این است همه بخش‌های جغرافیایی استان تقریباً به یک اندازه تحت تأثیر پدیده گردوغبار قرار می‌گیرند.

جدول (۳). مقایسه میانگین AOD 550nm سطح استان و ایستگاه‌های استان کردستان با دید افقی مشاهدات زمینی

		AOD ± Standard Deviation						
		میانگین سطح استان	سنندج	سقز	قروه	مریوان	کامیاران	
بهار	2008/04/11	۱.۰۶۰۸۶ ±۰.۱	۱.۰۶۲۰۹	۱.۰۹۸۸۶	۰.۹۵۷۷۱	۱.۲۲۱۱۴	۱.۰۹۸۸۶	AOD
		-	۶۰۰۰	۱۰۰۰۰	۶۰۰۰	۱۰۰۰۰	۱۵۰۰۰	Obs./m
		-	۷۷۲۳	۹۹۷۵	NA	NA	NA	NOAA/m
	2009/06/19	۱.۱۶۵۲۴ ±۰.۰۵	۱.۱۳۵۱۸	۱.۲۳۸۴۲	۱.۰۵۶۰۲	۱.۱۶۸۱۸	۱.۰۸۳۳۵	AOD
		-	۲۵۰۰	۶۰۰۰	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۳۰۰۰	Obs. /m
		-	۶۱۱۴	۸۲۰۵	NA	NA	NA	NOAA /m.
	2010/05/19	۱.۰۰۳۵۸ ±۰.۰۷	۰.۹۸۶۷۲	۱.۰۴۶۲۱	۰.۹۲۷۰۴	۱.۱۰۳۸۸	۱.۰۱۹۰۲	AOD
		-	۴۰۰۰	۴۰۰۰	۴۰۰۰	۶۰۰۰	۵۰۰۰	Obs.
		-	۶۹۱۸	۷۴۰۱	NA	NA	NA	NOAA /m

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.29.2]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.1]

		۱.۰۴۶۶۲ ±۰.۰۷	۰.۹۶۷۵۴	۱.۱۶۰۶۵	۰.۹۲۲۴۷	۱.۰۶۶۲۶	۰.۹۳۶۵۰	AOD
	2011/04/04	-	۲۰۰۰	۲۵۰۰	۶۰۰۰	۲۰۰۰	۷۰۰۰	Obs. /m
		-	۵۴۷۰	۴۶۶۶	NA	NA	NA	NOAA /m
		۰.۹۸۴۳۴ ±۰.۰۶	۱.۰۱۳۳۸	۰.۹۸۳۳۸	۰.۹۴۱۹۱	۱.۰۷۴۰۶	۱.۰۷۶۹۸	AOD
	2011/04/30	-	۴۰۰۰	۸۰۰۰	۷۰۰۰	۷۰۰۰	۸۰۰۰	Obs. /m
		-	۸۰۴۵	۹۶۵۴	NA	NA	NA	NOAA /m

NA: عدم داده در ایستگاه؛ Obs: دید افقی ایستگاه زمینی بر حسب متر؛ NOAA: دید افقی موجود برای ایستگاه‌ها در وب سایت نوا

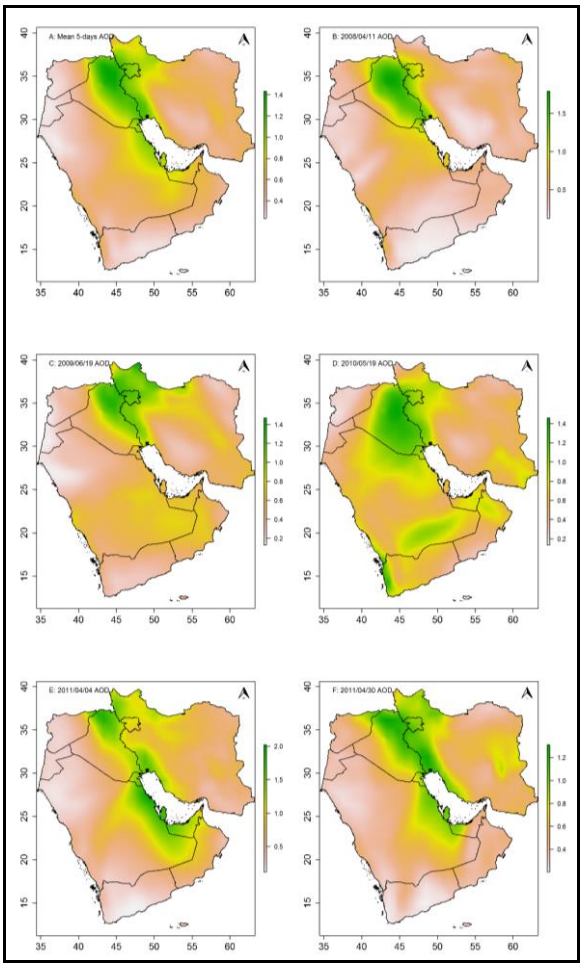
اشکال (۹ و ۱۰) پراکنش مکانی مقدار AOD روزهای فرین ذکر شده در جدول (۳) را برای کل محدوده خاورمیانه نشان می‌دهند تا درک روشنی از گستردگی و منشأ گردوغبار و توانایی مدل در بارزسازی رخدادهای در پهنه منطقه‌ای را نمایان کنند. با توجه به اشکال (۹ A و ۱۰ A) میانگین AOD پنج‌روزه رخدادهای فرین به‌روشنی نشان می‌دهند که گردوغبارهای انتقال‌یافته به منطقه موردمطالعه از گستردگی منطقه‌ای برخوردار بوده و از سرزمین‌های بیابانی عراق و سوریه سرچشمه گرفته‌اند. در روز یازدهم آوریل سال ۲۰۰۸ بیشینه AOD به شکل یک هسته بیضوی با جهت شمال‌غربی- جنوب‌شرقی بر روی ایران و غرب کشور تشکیل شده است اشکال (۹، B؛ و ۱۰: B). دامنه تغییرات روزانه عمق نوری در سطح منطقه خاورمیانه در این روز بین ۰/۱۲ تا ۱/۷۹ می‌باشد که بیشترین مقدار آن در عراق دیده می‌شود.

پراکنش AOD در روز ۱۹ ژوئن ۲۰۰۹ اشکال (۹ C و ۱۰ C) نشان از گستردگی پدیده گردوغبار بر روی عراق و شمال غرب ایران و به‌ویژه استان کردستان دارد. میانگین دامنه تغییرات AOD در سطح منطقه خاورمیانه در این روز بین ۰/۱۲ تا ۱/۴۷ می‌باشد. همچنین، مقدار عمق نوری گردوغبار در دو روز قبل از این رخداد فرین نشان می‌دهد که منشأ گردوغبار انتقال‌یافته به منطقه موردمطالعه از بیابان‌های عراق و سوریه بوده است که هسته آن در روز رخداد بر روی مرز کرمانشاه و کردستان و متمایل به شمال غرب ایران واقع‌شده است اشکال (۱۱ A و A۱۲) که میزان عمق نوری گردوغبار را در منطقه موردمطالعه تأیید می‌کند.

پراکنش فضایی AOD در روز ۱۹ مه ۲۰۱۰، مشابه رخداد ۱۹ ژوئن ۲۰۰۹ است اشکال (۹ D و۱۰ D). دامنه تغییرات میانگین روزانه AOD در سطح خاورمیانه در این روز بین ۰/۱۳ تا ۱/۴۵ می‌باشد که بالاترین مقدار آن بر روی عراق و غرب کشور دیده می‌شود اشکال (۹ D و۱۰ D). مقدار AOD بر روی استان کردستان در این روز کمتر از روز فرین در سال ۲۰۰۹ می‌باشد جدول (۳). از میان رویدادهای فرین گردوغباری یادشده در جدول (۳)، رویداد روز چهارم آوریل ۲۰۱۱ از نظر پراکنش فضایی به‌عنوان گسترده‌ترین روز گردوغباری شمرده می‌شود اشکال (۹ E و ۱۰ E)؛ اگرچه گستره مکانی گردوغبار در این روز بیشتر از دیگر روزهای گردوغباری فرین است ولی عمق نوری گردوغبار در این روز در سطح استان کردستان در مقایسه با دیگر روزهای گردوغباری کمتر است جدول (۳). دامنه AOD در این روز در سطح خاورمیانه بین ۰/۱۱ تا ۲/۰۲ می‌باشد. پس با استناد به جدول (۳) و اشکال (۹ E و ۱۰ E) می‌توان اظهار کرد که در روز چهارم آوریل ۲۰۱۱ بیشینه عمق نوری گردوغبار بر روی استان نمی‌باشد. در مقابل، در روز ۳۰ آوریل ۲۰۱۱ دامنه گردوغبار بر روی خاورمیانه بین ۰/۲ تا ۱/۱۳ است که در مقایسه با دیگر روزهای فرین گردوغباری دارای کمترین میزان

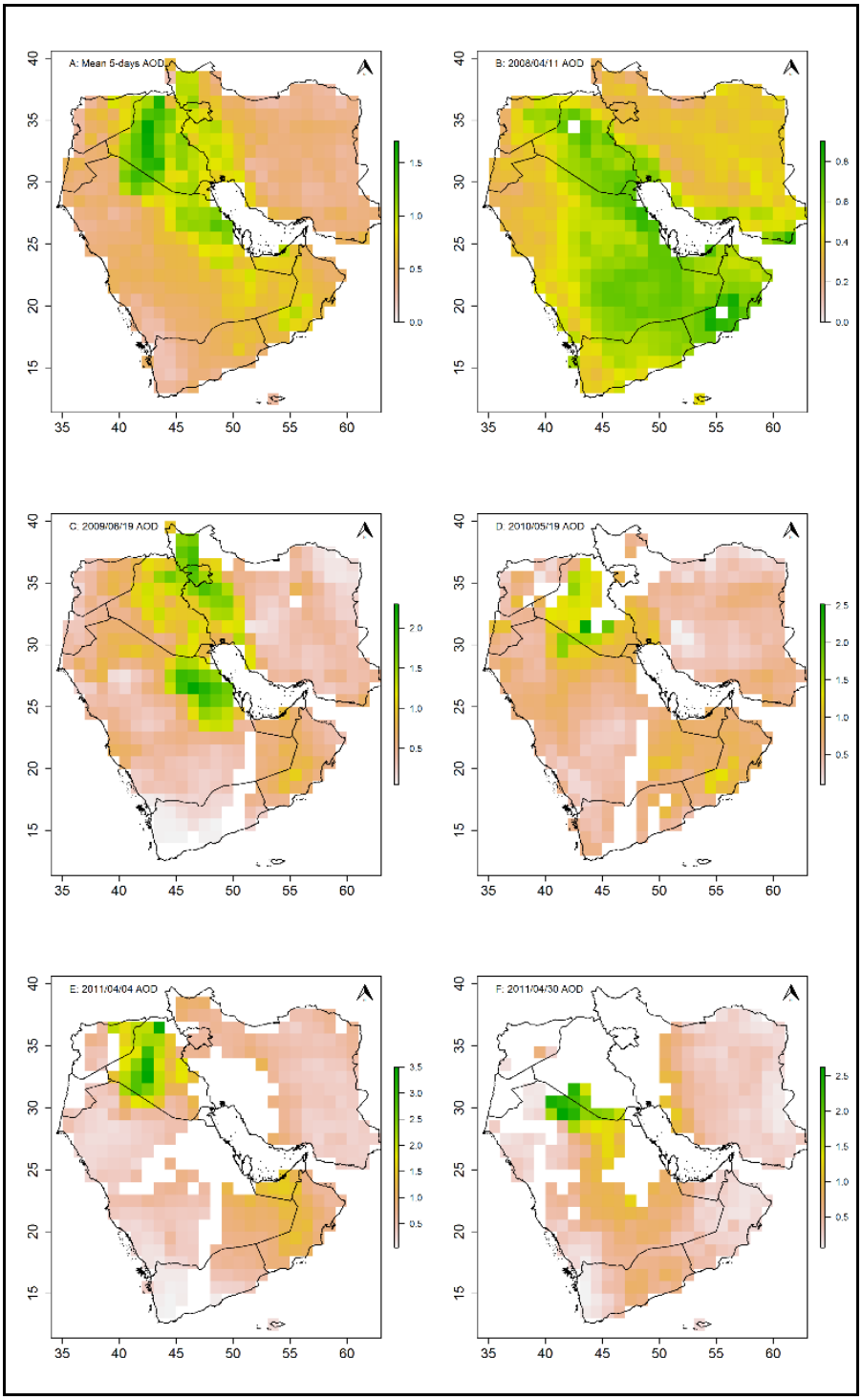
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.29.2]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.1]

عمق گردوغبار است. هرچند که گسترش مکانی رخداد گردوغبار در تمام خاورمیانه تا شمال ایران قابل‌ملاحظه است. نتایج حاصل از بررسی فرین‌ها در فصل بهار نشان داد که استان کردستان در روز ۱۹ ژوئن ۲۰۰۹ دارای بیشترین عمق گردوغبار و کمترین دید افقی بوده است که به‌عنوان شدیدترین رخداد فرینِ گردوغبار استان شناخته شد اشکال (۹ C و ۱۰ C) و جدول (۳). مسیریابی پسگرد گردوغبار رخداد فرین در روز ۱۹ ژوئن ۲۰۰۹ بر روی کردستان نشان می‌دهد که گردوغبار ایجادشده در دو روز قبل از رخداد دارای دو هسته، یکی بر روی مرزهای سوریه و عراق و دیگری بر روی عربستان بوده است اشکال (A۱۱ و A۱۲). هسته مستقر بر روی عربستان نشان می‌دهد که این رخداد گردوغبار یک پدیده فرا منطقه‌ای بوده و بر خاستگاه آن از شمال آفریقا است که پس از گذر از روی بیابان‌های عربستان تشدید شده است. این رویداد در نهایت با دو مسیر منحنی با ارتفاع زیاد (۲۰۰۰ تا ۳۰۰۰ متر) از روی سوریه و عراق شکل (۱۴) و دیگری با منشأ بیابان‌های عربستان منجر به دید افقی کمتر در غرب و جنوب غرب کشور شده است شکل (۱۱).



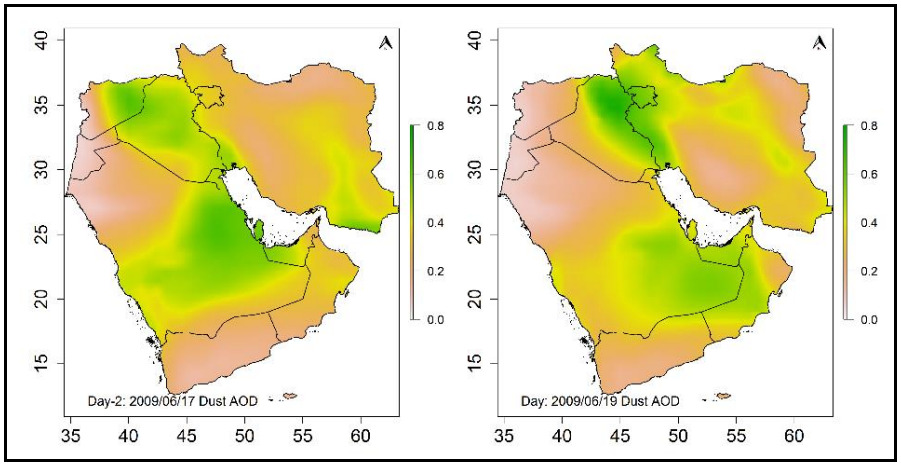
شکل (۹). پراکنش مکانی میانگین روزانه عمق نوری آئروسل (AOD 550nm) مدل MACC بر روی خاورمیانه، A: میانگین ۵-روزه فرین‌های گردوغبار، روزهای فرین B: ۲۰۰۸/۰۴/۱۱؛ C: ۲۰۰۹/۰۶/۱۹؛ D: ۲۰۱۰/۰۵/۱۹؛ E: ۲۰۱۱/۰۴/۰۴ و F: ۲۰۱۱/۰۴/۳۰

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.29.2]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.1]



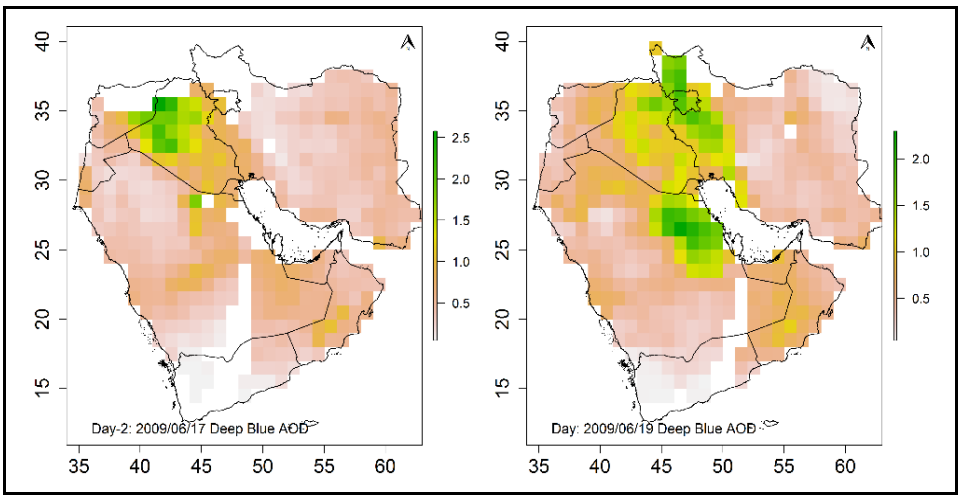
شکل (۱۰). پراکنش مکانی عمق نوری آئروسل (MODIS (AOD 550nm بر روی خاورمیانه، A: میانگین ۵-روزه فرین‌های گردوغبار، B: فرین ۲۰۰۸/۰۴/۱۱؛ C: ۲۰۰۹/۰۶/۱۹؛ D: ۲۰۱۰/۰۵/۱۹؛ E: ۲۰۱۱/۰۴/۰۴ و F: ۲۰۱۱/۰۴/۳۰

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.29.2]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.1]



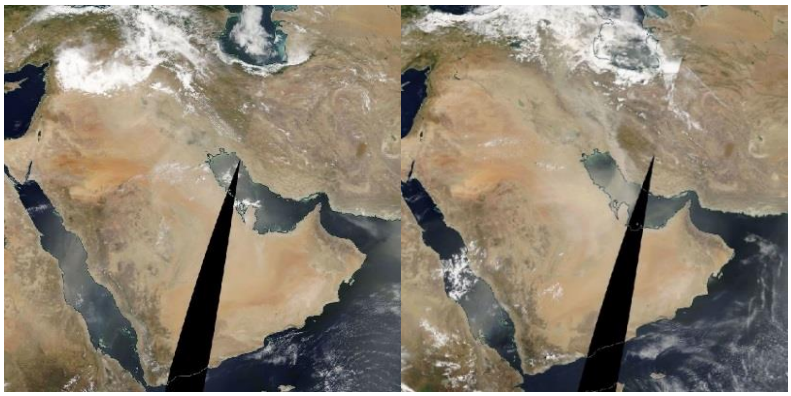
شکل (۱۱). توزیع مکانی عمق نوری گردوغبار (Dust AOD 550nm) مدل MACC در روز ۱۷ (Day-2: دو روز قبل از رخداد) و ۱۹ (Day: روز رخداد فرینِ حدی) ژوئن ۲۰۰۹

نتایج صحت سنجی گردوغبار برای شدیدترین رخداد فرین و دو روز قبل از آن در اشکال (۱۲ و ۱۳) نشان داده شده است. این نتایج صحت مدل موردبررسی را در نمایش شدیدترین رخداد فرین، شکل‌گیری و شناسایی منشأ گردوغبارهایی وارده به منطقه موردمطالعه را به‌وضوح تأیید می‌کند. نتایج حاصله همچنین نشان داد که بیشترین عمق نوری گردوغبار در منطقه موردمطالعه مربوط به روز ۱۹ ژوئن ۲۰۰۹ بوده است. قابل‌یادآوری است که رویداد فرین ۱۹ ژوئن ۲۰۰۹ در ایستگاه‌های زمینی به‌عنوان طوفان گردوغبار (دید افقی کمتر از ۱۰۰۰ متر بر مبنای تعریف WMO) ثبت نشده است؛ بنابراین، استناد به پارامتر عمق نوری آئروسل و گردوغبار در کنار دید افقی می‌تواند ابهام مذکور را رفع نموده و به برنامه‌ریزی‌های آتی و استراتژیک در جهت کاهش خطای انسانی کمک شایان توجهی نماید.

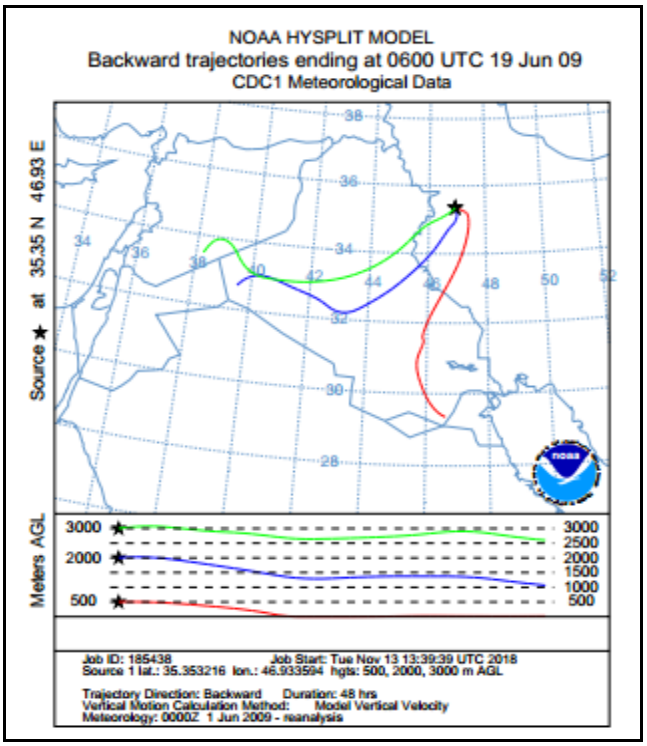


شکل (۱۲). توزیع مکانی MODIS Deep blue AOD 550nm در روز ۱۷ (Day-2: دو روز قبل رخداد) و ۱۹ (Day: روز رخداد) فرینِ حدی ژوئن ۲۰۰۹

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.29.2]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.1]



شکل (۱۳). تصاویر باند مرئی MODIS در ۱۷ (چپ: دو روز قبل فرین حدی) و ۱۹ (روز رخداد فرینِ حدی) ژوئن ۲۰۰۹



شکل (۱۴). خروجی مدل HYSPLIT و ردیابی پسگرد ۴۸ ساعته طوفان فرین حدی مدل MACC در ۱۹ ژوئن ۲۰۰۹

نتیجه‌گیری

گردوغبارها تحت عنوان عمده‌ترین نوع از آئروسل‌ها نقش بنیادی و مهمی را در برهمکنش سیستم آب‌وهوا-زمین بازی می‌کنند؛ بنابراین، نقش محوری گردوغبار و تحلیل آن با یک مدل جامع و رویکرد چندبعدی در پژوهش می‌تواند رویکرد جدیدی در طرح مسئله و حل آن داشته باشد، امری که در یافته‌های مدل موردبررسی در تحقیق حاضر قابل‌ملاحظه بود. یافته‌ها نشان دادند که تغییرات زمانی گردوغبار در استان کردستان روند افزایشی داشته است و سال ۲۰۰۸ (0.36) سال اوج آن بوده است. این روند افزایشی دو برابر میزان میانگین

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.29.2]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.1]

نیمکره شمالی (0.151) و یک و نیم برابر قاره آسیا (0.182) می‌باشد (Mao et al., 2014). شناسایی سال ۲۰۰۸ به‌عنوان شدیدترین سال گردوغباری در استان کردستان در مطالعات انجام شده پیشین برای غرب کشور نیز دیده شده است (اکبری و فرحبخشی، ۱۳۹۵؛ محمدی، ۱۳۹۴؛ Akbary & Frahbakshi, 2015؛ Arkian & Nicholson, 2018) که نشان از فراگیر بودن پدیده گردوغبار در سال ۲۰۰۸ در غرب ایران بوده است.

توزیع مکانی- زمانی میانگین گردوغبار در فصول مختلف نشان داد که فصل گردوغباری استان در دوره زمانی آوریل تا آگوست است و زمستان و پاییز با کمترین مقدار گردوغبار پاک‌ترین فصل‌ها و فصل بهار و تابستان با بیشترین میزان آلوده‌ترین فصل‌های استان هستند. بررسی تغییرات مکانی گردوغبار در فصل تابستان نشان داد که پدیده گردوغبار در جنوب شرقی استان و شهرستان‌های قروه، دهگلان و بیجار روند افزایشی داشته است که با گردوغبارهای محلی و گردوغبارهایی منشأ گرفته از خاورمیانه و شمال آفریقا در اواخر مرداد و شهریور در ارتباط می‌باشد. گردوغبارهای فرامنطقه‌ای در این فصل نیز در نتیجه جابجایی فرود بادهای غربی به سمت جنوب و انتقال سامانه‌های خشک جوی در اواخر تابستان بوده و میزان گردوغبار را در استان تشدید می‌کند. هرچند که روند کاهشی در بیشتر پهنه استان در فصل تابستان قابل‌ملاحظه‌تر و چشمگیر است که نشان‌دهنده رخداد معمول گردوغبار در این فصل بوده است. به‌عبارت‌دیگر، رخدادهای گردوغبار در طی دهه موردبررسی از پدیده‌هایی بوده است که در تابستان رایج‌تر از بقیه فصول بوده است. در مقابل، روند تغییرات مکانی گردوغبار در فصل بهار نشان می‌دهد که در سرتاسر استان پدیده گردوغبار دارای روند افزایشی است که از نظر آماری معنی‌دار می‌باشد. روندی که نشان‌دهنده نوظهور بودن این رخداد در طی فصل بهار می‌باشد. ازاین‌رو، افزایش گردوغبار در منطقه به دلیل نوسانی که در شار تابشی ایجاد می‌کند (قانون لامبرت: AOD > ۰/۳؛ Houssos et al., 2015)، منجر به تغییرات جزئی در محیط طبیعی و آب‌وهوایی منطقه (Park et al., 2005; Goudie & Middelton, 2006) و فعالیت‌های همرفتی (Lohmann & Feicher, 2005; Wong & Dessler, 2005) و شدت و ضعف ابر و نهایتاً بارش می‌گردد؛ بنابراین، افزایش گردوغبارها در منطقه موردمطالعه زنگ خطری برای تغییر مناسبات میان ابر و بارش (اثر غیرمستقیم گردوغبار) به‌ویژه در فصل بهار (که فصل بارش‌های همرفتی استان است) می‌باشد و نهایتاً، هشداری برای سیاست‌گذاران مدیریت منابع آب و کاربری‌های مختلف در منطقه خاورمیانه است. نتایج حاصله نشان دادند که تحقیق حاضر با نتایج مطالعه‌ی مرتبط با گردوغبار در غرب کشور (محمدی، ۱۳۹۴: ص ۷۳) هماهنگ بوده است. به‌طوری‌که هر دو مطالعه روند افزایشی گردوغبار در فصل بهار و روند کاهشی آن در فصل تابستان را نشان دادند؛ با این اختلاف که مطالعه پیشین با استفاده از فراوانی روزهای گردوغباری در ایستگاه‌های سینوپتیک به شناسایی طوفان‌های گردوغبار و بررسی میزان روند پرداخته است (محمدی، ۱۳۹۴: ص ۷۳) و صرفاً از آمارهای دید افقی روزانه در روزهای همراه با گردوغبار ایستگاه سینوپتیک سنندج استفاده کرده است؛ درصورتی‌که در مطالعه حاضر نه‌تنها مقدار گردوغبار برآورد شده در ایستگاه‌های سینوپتیک استان، بلکه مقدار AOD در ۱۱۷ یاخته پراکنده در سطح استان (ابعاد هر یاخته در حدود ۲۰ کیلومترمربع است) بررسی‌شده است.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.29.2]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.1]

نتایج حاصل از پراکنش مکانی در روزهای فرین گردوغبار نشان داد که گردوغبارهای وارد شده به منطقه موردمطالعه در طی روزهای فرین از بیابان‌های عراق و سوریه سرچشمه گرفته‌اند و در سرتاسر منطقه خاورمیانه گسترش‌یافته و در برخی موارد به‌صورت فرامنطقه‌ای بوده و با عبور از روی بیابان‌های عربستان تشدید شده‌اند؛ بنابراین، مدل MACC به همراه داده‌های ماهواره‌ای MODIS و مشاهدات زمینی، نه‌تنها توانایی بهتر و دقیق‌تری در آشکارسازی و نحوه ارائه گسترش مکانی پدیده‌های فرین گردوغباری دارد. بلکه، استفاده از مدل MACC در مطالعه حاضر نشان داد که تکیه‌بر داده و مشاهدات نقطه‌ای ایستگاهی صرف نمی-تواند طوفان‌های گردوغباری مرتفع را به‌خوبی نمایان کند. به‌طوری‌که بررسی رخدادهای گردوغبار در مطالعات پیشین بیشتر تأکید بر استفاده از دید افقی زمینی در شناسایی روزهای گردوغباری بوده است (رضایی بنفشه و همکاران، ۱۳۹۰؛ اکبری و فرحبخشی، ۱۳۹۵؛ Akbary & farahbakhshi, 2015) که این داده‌ها نیز خود از نظر سری زمانی کامل نیستند و یا اینکه دقت لازم را در شناسایی روز گردوغباری ندارند چراکه فقط شرایط ایستگاه را در نظر می‌گیرد. در مجموع، استفاده از داده‌های AOD تولیدشده در MACC و MODIS نه‌تنها خلأ داده‌های لازم برای شناسایی، بارزسازی و تحلیل پدیده گردوغباری را تا حدی پر می‌نماید، بلکه رویکردی به‌مراتب جغرافیایی‌تر با تأکید بر ماهیت جغرافیایی و دینامیکی مخاطرات محیطی همچون گردوغبار می‌باشد که برای مطالعات مربوط به ترکیبات اتمسفری همچون گردوغبار، ازن و گازهای گلخانه‌ای مناسب می‌باشد.

منابع

اکبری، مهری و ملودی فرحبخشی (۱۳۹۵)، **تحلیل سینوپتیک و شبیه‌سازی مسیر حرکت طوفان‌های شدید گردوغبار (مطالعه موردی: جنوب‌غرب ایران)**، فصلنامه فضای جغرافیایی، ۱۶(۵۵): ۲۷۳-۲۹۱.

رضایی بنفشه، مجید؛ شریفی، لیلا و سید لقمان پیرخضرانیان (۱۳۹۰)، **برآورد میزان گردوغبار با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای (مطالعه موردی: استان کردستان)**، فصلنامه جغرافیای طبیعی، ۵(۱۸).

شمسی‌پور علی‌اکبر و طاهر صفرراد (۱۳۹۱)، **تحلیل ماهواره‌ای ـ همدیدی پدیده‌ی گردوغبار (گرو غبار تیرماه ۱۳۸۸)**، مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، (۷۹): ۱۱۱- ۱۲۶

محمدی، غلامحسین (۱۳۹۴)، **تحلیل سازوکارهای جوی انتقال ریزگردها به غرب کشور**، رساله دکتری، دانشگاه تبریز.

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

Aristeidis K. Georgoulias, Athanasios Tsikerdekis, Vassilis Amiridis, Eleni Marinou, Angela Benedetti, Prodromos Zanis, Georgia Alexandri, Lucia Mona, Konstantinos A. Kourtidis, and Jos Lelieveld (2018), **A 3-D evaluation of the MACC reanalysis dust product over Europe, northern Africa and Middle East using CALIOP/CALIPSOdust satellite observations**, Atmos. Chem. Phys., 18, 8601–8620

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 (2018) 190: 1-15.

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

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.29.2]

[DOI: 10.52547/jgs.24.72.1]

Basart S., L. Vendrell, J.M. Baldasano (2016), **High-resolution dust modelling over complex terrains in West Asia**, Aeolian Research 23: 37–50.

Bellouin, N., Quaas, J., Morcrette, J.-J., and Boucher, O. (2013), Estimates of aerosol radiative forcing from the MACC re-analysis, Atmos. Chem. Phys., 13, 2045–2062.

Benedetti, A., Morcrette, J.-J., Boucher, O., Dethof, A., Engelen, R. J., Fisher, M., Flentjes, H., Huneeus, N., Jones, L., Kaiser, J. W., Kinne, S., Mangold, A., Razinger, M., Simmons, A. J., Suttie, M., and the GEMS-AER team (2009), **Aerosol analysis and forecast in the ECMWF Integrated Forecast System. Part II: Data assimilation**, J. Geophys. Res., 114, D13205 doi:10.1029/2008JD011115, 2009.

Bengang Li, Huishi Yuan, Nan Feng and Shu Tao (2009), **Comparing MODIS and AERONET aerosol optical depth over China, International Journal of Remote Sensing**, Vol. 30, No. 24: 6519–6529.

Cesnulyte V., A. V. Lindfors1, M. R. A. Pitkänen, K. E. J. Lehtinen, J.-J. Morcrette, and A. Arola (2014), **Comparing ECMWF AOD with AERONET observations at visible and UV wavelengths**, Atmos. Chem. Phys., 14: 593–608.

Cuevas E., C. Camino, A. Benedetti, S. Basart, E. Terradellas, J. M. Baldasano, J. J. Morcrette, B. Marticorena, P. Goloub, A. Mortier, A. Berjón, Y. Hernández, M. Gil-Ojeda, and M. Schulz (2015), **The MACC-II 2007–2008 reanalysis: atmospheric dust evaluation and characterization over northern Africa and the Middle East,** Atmos. Chem. Phys., 15, 3991–4024.

David A. Ridley, Colette L. Heald, Jasper F. Kok, and Chun Zhao (2016), **An observationally constrained estimate of global dust aerosol optical depth**, Atmos. Chem. Phys., 16, 15097–15117.

Dayan, U., J. Hefter, J. Miller, and G. Gutman (1991), **Dust intrusion events into the Mediterranean basin**, J. Appl. Meteor., 30, 1188–1193.

Engelen, R. J., Serrar, S., and Chevallier, F (2009), **Four-dimensional dataassimilation of atmospheric CO2 using AIRS observations**, J. Geophys. Res., 114, D03303.

Flemming, J., Inness, A., Flentje, H., Huijnen, V., Moinat, P., Schultz, M. G., and Stein, O. (2009), **Coupling global chemistry transport models to ECMWF's integrated forecast system**, Geosci. Model Dev., 2, 253–265.

Forkel Matthias, Nuno Carvalhais, Jan Verbesselt, Miguel D. Mahecha, Christopher S.R. Neigh and Markus Reichstein (2013), **Trend Change Detection in NDVI Time Series: Effects of Inter-Annual Variability and Methodology**, Remote Sens 5: 2113-2144.

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.

Goudie, A. S., and N. J. Middleton (2006), **Desert Dust in the Global System**, Heidelberg, Springer.

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

Haustein, K., Pérez, C., Baldasano, J.M., Jorba, O., Basart, S., Miller, R.L., Janjic, Z., Black, T., Nickovic, S., Todd, M.C., Washington, R., Müller, D., Tesche, M., Weinzierl, B., Esselborn, M., Schladitz, A., 2012**. Atmospheric dust modeling from meso to global scales with the online NMMB/BSC-Dust model – Part 2: experimental campaigns in Northern Africa**. Atmos. Chem. Phys. 12, 2933– 2958. http://dx.doi.org/10.5194/acp-12-2933-2012.

Haywood, J., Pete Francis, Simon Osborne, Martin Glew,1Norman Loeb, Eleanor Highwood, Didier Tanre´, Gunnar Myhre, Paola Formenti, and Edwin Hirst (2003), **Radiative properties**

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.29.2]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.1]

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.

Hollingsworth, A., Engelen, R. J., Textor, C., Benedetti, A., Boucher, O., Chevallier, F., Dethof, A., Elbern, H., Eskes, H., Flemming, J., Granier, C., Kaiser, J. W., Morcrette, J.-J., Rayner, R., Peuch, V.-H., Rouil, L., Schultz, M. G., Simmons, A. J., and The GEMS Consortium (2008),**Toward a monitoring and forecasting system for atmospheric composition: the GEMS project,** B. Am. Meteorol. Soc., 89, 1147–1164, doi:10.1175/2008BAMS2355.1,

Huneeus, N., M. Schulz, Y. Balkanski, J. Griesfeller1, J. Prospero, S. Kinne, S. Bauer, O. Boucher, M. Chin, F. Dentener, T. Diehl, R. Easter, D. Fillmore, S. Ghan, P. Ginoux, A. Grini, L. Horowitz, D. Koch, M. C. Krol, W. Landing, X. Liu, N. Mahowald, R. Miller, J.-J. Morcrette, G. Myhre, J. Penner, J. Perlwitz, P. Stier, T. Takemura, and C. S. Zender (2011), **Global dust model intercomparison in AeroCom phase I**, Atmos. Chem. Phys., 11, 7781–7816, doi:10.5194/acp-11-7781-2011.

Inness, A., Flemming, J., Suttie, M. and Jones, L. (2009), **GEMS data assimilation system for chemically reactive gases,** ECMWF RD Tech Memo 587, available at: http://www. ecmwf.int/publications/library/do/references/list/14 (last access: 29 November 2012).

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.

Kaskaoutis D. G., A. K. Prasad, P. G. Kosmopoulos, P. R. Sinha, S. K. Kharol, P. Gupta, H. M. El-Askary, and M. Kafatos (2012), **Synergistic Use of Remote Sensing and Modeling for Tracing Dust Storms in the Mediterranean**, Advances in Meteorology volume 2012: 1-14 (doi:10.1155/2012/861026)

Kaskaoutis D.G,.A.Rashki E.E.Houssos D.Goto P.T.Nastos (2014), **Extremely high aerosol loading over Arabian Sea during June 2008: The specific role of the atmospheric dynamics and Sistan dust storms, Atmospheric Environment**, Volume 94,September 2014, Pages 374-384.

Kutiel, H., and H. Furman (2003), **Dust storms in the Middle East: sources of origin and their temporal characteristics**, Indoor Built Environ, 12, 419–426.

Lohmann, U., and J. Feichter (2005), **Global indirect aerosol effects: A review**, Atmos. Chem. Phys., 5, 715–737, doi:10.5194/acp-5-715-2005.

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.

Melanie S. Hammer, Randall V. Martin, Chi Li1, Omar Torres, Max Manning, and Brian L. Boys (2018), **Insight into global trends in aerosol composition from 2005 to 2015 inferred from the OMI Ultraviolet Aerosol Index**, Atmos. Chem. Phys., 18, 8097–8112.

Miller, R. L., J. Perlwitz, and I. Tegen (2004), **Modeling Arabian dust mobilization during the 41 Asian summer monsoon: The effect of prescribed versus calculated SST**, Geophys. Res. Lett., 31,L22214.

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.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.29.2]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.1]

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

Oumbe A., H. Bru, Z. Hassar1, P. Blanc, L. Wald, A. Fournier, D. Goffe, M. Chiesa, H. Ghedira (2012), **Selection and implementation of aerosol data for the prediction of solarresource in United Arab Emirates**, Conference: September 2012, (https://www.researchgate.net/publication/236624672).

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.

Pérez, C., Haustein, K., Janjic, Z., Jorba, O., Huneeus, N., Baldasano, J.M., Black, T., Basart, S., Nickovic, S., Miller, R.L., Perlwitz, J.P., Schulz, M., Thomson, M., (2011), **Atmospheric dust modeling from meso to global scales with the online NMMB/ BSC-Dust model: 1. Model description, annual simulations and evaluation**, Atmos. Chem. Phys. 11, 13001–13027. http://dx.doi.org/10.5194/acp-11- 13001-2011.

Prijith S.S., K.Rajeev Bijoy V.Thampi Sandhya K.Nair MannilMohan (2013), **Multi-year observations of the spatial and vertical distribution of aerosols and the genesis of abnormal variations in aerosol loading over the Arabian Sea during Asian summer monsoon season**, Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, Volumes 105–106,December 2013, Pages 142-151.

Prospero, J., M. Ginoux, P. Torres, S. E. Nicholson, and T. E. Gill (2002), **Environmental characterization of global sources of atmospheric soil dust identified with the NIMBUS 7 total ozone mapping spectrometer (TOMS) absorbing aerosol product**, Reviews of Geophysics, 40, 2-31.

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.

Schmechtig, C., Marticorena, B., Chatenet, B., Bergametti, G., Rajot, J.L., Coman, A., (2011), **Simulation of the mineral dust content over Western Africa from the event to the annual scale with the CHIMERE-DUST model,** Atmos. Chem. Phys. 11, 7185–7207. http://dx.doi.org/10.5194/acp-11-7185-2011.

Sriharsha Madhavan, John J. Qu and X. Hao (2017), **Saharan dust detection using multi-sensor satellite measurements,** Article No~e00241, http://dx.doi.org/10.1016/j.heliyon.2017.e00241.

Westphal, D. L., Curtis, C. A., Liu, M., and Walker, A. L. (2009), **Operational aerosol and dust storm forecasting**, IOP C. Ser. Earth Env., 7, 012007, doi:10.1088/1755-1307/7/1/012007, 2009.

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.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.29.2]
[DOI: 10.52547/jgs.24.72.1]

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

Yin Xiao-Mei, Dai Tie, Xin Jin-Yuan, Gong Dao-Yie, Yang Jing, Teruyuki Nakajimaf, Shi Guang-Yu (2016), **Estimation of aerosol properties over the Chinese desert region with MODIS AOD assimilation in a global model**, Advances in Climate Change Research 7: 90-98.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.29.2]

[DOI: 10.52547/jgs.24.72.1]