نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال دهم، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۲

صفحات ۱۵ - ۳۰

آشکارسازی تأثیرگذاری رخدادهای گردوغبار فراگیر در مقادیر شار تابش خالص موج کوتاه ورودی سطح زمین (مطالعه موردی استان خوزستان)

محمدصادق قدم خیر؛ دانشجوی دکتری آب‌وهواشناسی، گروه جغرافیا، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

رضا برنا [۱]؛ دانشیار گروه جغرافیا، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

جعفر مرشدی؛ استادیار گروه شهرسازی، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران.

جبرائیل قربانیان؛ استادیار گروه جغرافیا، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

دریافت مقاله :۱۴۰۲/۰۸/۰۱ پذیرش نهایی:۱۴۰۲/۰۹/۱۱

چکیده

در این مطالعه سعی شد که تأثیرگذاری رخداد گردوغبار در زمینه نوسانات و تغییرات روزانه میزان تابش خالص موج کوتاه دریافتی در سطح زمین استان خوزستان مورد بررسی قرار گیرد. در این راستا داده‌های روزانه ۶ ایستگاه سینوپتیک و کدهای گردوغباری و سرعت و جهت باد توأم با آن ها استخراج گردید. با استفاده از داده‌های ایستگاهی ۳ کیس گردوغبار فراگیر در سطح استان خوزستان و در ادامه با استفاده از دو شاخص گردوغباری محصول سنجنده MODIS یعنی شاخص انگستروم هواویزه ها (AEA) و شاخص عمق اپتیکال هواویزه‌ها (AOD) وضعیت توزیع فضایی گردوغبار در سطح استان بررسی شد و با استفاده از داده های باز تحلیل شده تابش خالص موج کوتاه دریافتی (در ساعت ۱۲ ظهر یا ۰۹ UTC) پایگاه ECMWF، تغییرات زمانی و مکانی میزان تابش دریافتی بررسی شد. نتایج حاصل از بررسی ۳ کیس گردوغبار فراگیر در سطح استان (شامل ۱۹ ژوئن ۲۰۱۲، ۱۲ می ۲۰۱۸ و ۲۲ جولای ۲۰۱۰) بیانگر آن بود که، ذرات آیروسل عموماً در بخش‌های مرکزی، جنوبی و غربی استان (نواحی دشتی و پست استان) از نوع ذرات با اندازه متوسط (شاخص نمایی انگستروم بین ۰/۵ تا ۱) و در بخش‌های شرقی و شمال شرقی، از نوع ذرات درشت (شاخص انگستروم کمتر از ۰/۵) بوده است. نتایج حاصل از تأثیرگذاری رخدادهای گردوغبار بر میزان تابش موج کوتاه دریافتی سطح زمین نشان داد که در رخداد گردوغباری ۲۲ جولای ۲۰۱۰ شاخص نمایی انگستروم بیانگر حضور ذرات درشت در اتمسفر نزدیک سطح زمین و شاخص AOD نیز بیانگر حضور گردوغبار غلیظ در کل پهنه استان بوده است، میزان تابش خالص موج کوتاه دریافتی (در ساعت ۱۲ ظهر یا ۰۹ UTC) حدود ۱۹۴ وات بر متر مربع (حدود۲۸ درصد) کمتر از میانگین همان ماه بوده است. این میزان افت در دو موج گردوغبار دیگر که مقادیر شاخص AOD و شاخص انگستروم آن‌ها بیانگر گردوغبار ریزتر و با غلظت کمتر بود، کمتر بوده است. در موج گردوغباری ۱۹ ژوئن ۲۰۱۲، میزان تابش خالص موج کوتاه دریافتی تنها ۵ درصد (۲۵ وات بر متر مربع در ساعت ۱۲ ظهر یا ۰۹ UTC) کمتر از میانگین بلندمدت بوده است و این افت در رخداد گردوغباری ۱۲ می ۲۰۱۸ برابر ۲۸ وات بر متر مربع (حدود ۴ درصد افت نسبت به میانگین همان ماه) بوده است.

واژه‌های کلیدی: گردوغبار، سنجنده MODIS، شاخص نمایی انگستروم ایروسل، استان خوزستان

[۱] نویسنده مسئول: Email: bornareza@yahoo.com

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.3.2.9]

[DOI: 10.61186/jsaeh.10.3.15]

مقدمه

امروزه فعالیت‌های گسترده انسان بر روی کره زمین، به منشأ بسیاری از تغییرات و چالش‌های محیطی و طبیعی تبدیل شده است. استان خوزستان به عنوان یکی از پرچالش‌ترین استان‌های کشور، طی ۳ دهه اخیر با بحران‌ها و چالش‌های متعدد و متنوع زیست محیطی همراه بوده است. فرسایش خاک، رخدادهای آتش‌سوزی در مراتع و جنگل‌ها، سیل و خشکسالی، امواج گرم، رخدادهای گردوغبار، همگی از بحران‌های اساسی محیطی این استان مهم کشور هستند. در کنار این چالش‌های محیطی این استان یکی از پرظرفیت‌ترین استان‌های کشور از لحاظ تولید محصولات کشاورزی، دشت‌های حاصلخیز، باغات استراتژیک به شمار می‌رود. به طوری که طی ۵ سال اخیر به صور مستمر از لحاظ حجم تولید محصولات کشاورزی (اعم از زراعی و باغی) استان خوزستان سالانه با تولید ۱۳ تا ۱۵ میلیون تن محصول زراعی و باغی رتبه اول تولیدات کشاورزی را در سطح کشور داشته است (بارونیان و همکاران،۱۴۰۰). این کشاورزی گسترده و عظیم، در کنار سایر فعالیت‌های کشاورزی دیگر از قبیل دامداری داشتی، فعالیت‌های صنعتی در نیمه جنوبی استان، زمینه ایجاد و تشدید تغییرات گسترده‌ای را در منابع محیطی و ساختار طبیعی استان فراهم کرده است. این تغییر گسترده، می‌تواند آثار و پیامدهای خود را در از بین رفتن اراضی جنگلی، تبدیل مراتع غنی به مراتع ضعیف و اراضی بایر، فرسایش شدید خاک و در نهایت ایجاد و توسعه کانون‌های داخلی گردوغبار نشان داده و از این طریق فراوانی و شدت رخدادهای گردوغبار در سطح استان را تشدید کند. رخدادهای گردوغبار آثار عمیق و قابل توجهی در ابعاد مختلف از کشاورزی و حاصلخیزی خاک، سلامت و بهداشت، مختل سازی و تخریب صنایع و نیروگاه‌ها، آثار منفی در زمینه محیط زیست از جمله زوال جنگل‌ها دارد. ذرات معلق در هوا که عمدتاً توسط طوفان‌های گردوغبار به منطقه هدایت می‌شوند، یکی از اجزای مهم سیستم جوی هستند. آنها نه تنها می‌توانند با عمل کردن به عنوان هسته‌های تشکیل دهنده ذرات ابر، یا هسته‌های یخ، آلبیدو بالانس انرژی را تغییر دهند(Li et al.,۲۰۱۸; Nguyen et al., ۲۰۱۹; Yan & Wang,۲۰۲۰) همچنین می‌توانند، بودجه تابش را با پراکندگی و جذب مستقیم تابش خورشیدی، کاهش میزان تابش دریافتی توسط زمین و لایه‌های تحتانی اتمسفر، را تغییر دهند(Samset et al.,۲۰۱۸;Zhou et al.,۲۰۲۲a;۲۰۲۲b). علاوه بر این، آئروسل-های گردوغبار می‌توانند با تغییر در توزیع زمانی مکانی هسته‌های تراکم، مقادیر بارش، نوع بارش، و الگوی توزیع فضایی بارش را نیز تحت تأثیر قرار دهند و از این طریق در سامانه هیدرولوژی نیز تأثیرگذار باشند (Lau et al., ۲۰۱۷; Zhao et al., ۲۰۲۰) نقش و تأثیر ذرات ریزگردها در تأثیرگذاری در میادین دید به ویژه در هوانوردی و حمل و نقل هوایی بسیار حایز اهمیت است.(Watson, ۲۰۰۲) . توده‌های گردوغبار و ذرات آیروسل موجود در آن‌ها بسته به نوع و اندازه ذرات و تراکم آن‌ها تأثیرات قابل توجهی در میزان تابش دریافتی خواهند داشت و از این طریق می‌توانند تأثیرات کوتاه مدتی در نوسانات دمایی سطح زمین و تروپوسفر میانی و تحتانی داشته باشند و حتی در الگوهای گردش اتسمفر نیز تغییر ایجاد کنند (Middleton, ۲۰۱۷; Middleton & Kang, ۲۰۱۷ ;Alizadeh-Choobari et al., ۲۰۱٤). امروزه تکنیک‌ها و محصولات سنجش از دوری امکان پایش و آشکارسازی رخدادهای گردوغبار را و نیز اثرات مختلف آن‌ها را به صورت مناسبی فراهم کرده است. عمق اپتیکی آیروسل و نیز شاخص نمایی انگستروم آیروسل‌ها، ضخامت اپتیکال ایروسل‌ها، که توسط سنجنده MODIS ماهواره آکوا/ترا از سال ۲۰۰۰ تولید شده‌اند، امکان بررسی و آشکارسازی دقیق نوع و حجم و تراکم توده‌های گردوغبار را فراهم کرده است. این شاخص‌ها عموماً کمیتی بدون بعد بوده و از میزان جلوگیری از گذر پرتو نور در جو به خاطر جذب و پراکنش ناشی از وجود هواویزه‌ها و در مسیر عبور نور حاصل می‌شوند

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.3.2.9]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.3.15]

(سلیمانی و همکاران، ۱۳۹۴). مسیر عمق اپتیکی عمودی فاصله عمودی است از زمین در قسمت فوقانی جو است مقدار عمق اپتیکی می‌تواند با تراکم تعداد هواویزه‌ها و ویژگی‌های آن ذرات متفاوت داشته باشد (Wilkerson, ۱۹۹۱). با توجه به اهمیت این موضوع، مطالعاتی قابل توجهی در این زمینه انجام گرفته است. فرهمند و همکاران (۱۳۹۸) به شبیه سازی واداشت‌های تابشی و اثر متقابل گردوغبار و اقلیم توسط مدلWRF_Chem در منطقه جنوب غربی آسیا پرداختند. نتایج این مطالعه نشان داد که رخداد گردوغبار باعث افزایش تابش موج بلند در سطح زمین و کاهش تابش موج کوتاه می‌شود که میزان کاهش تابش موج کوتاه بسیار بیشتر از میزان افزایش تابش موج بلند در سطح زمین است. علی پور و همکاران (۱۴۰۱) به مطالعه تأثیر طوفان گردوغبار بر روی شار گرمایی و بیلان تابش در حوزه هیرمند پرداختند. این مطالعه رخداد گردوغباری ۲۳ تا ۲۶ اوت ۲۰۱۰ را مورد بررسی قرار داد و نتایج بیانگر ان بود که مقادیر AOD نشان داد که از روز ۲۱ ام اوت مقدار این شاخص به تدریج افزایش یافت به گونه‌ای که در روز ۲۵ ام بیشینه مقدار AOD به ۱/۲۵ رسید. بررسی مقادیر شاخص‌های تابشی و شار گرمایی نشاندهنده کاهش قابل توجه شاخص‌های STR، SSR،SSHF و Rn بود و مقادیر آنها در روز ۲۶ ام به کمترین مقدار رسید و شاخص SLHF با اندکی تفاوت در روز ۲۵ ام به کمترین مقدار خود یعنی ۵۸ وات بر مترمربع رسید. بررسی همبستگی نشان داد که شاخص‌های SSR و Rn به ترتیب با مقدار ۰/۳۷۰- و ۰/۳۵۹- بیشترین و شاخص SLHF با مقدار ۰/۱۳- کمترین میزان همبستگی را با شاخص AOD نشان داد. سلگی و همکاران (۱۴۰۱) به مطالعه اثر ذرات معلق گرد و غبار بر برخی پارامترهای هواشناسی در دو منطقه خشک و مرطوب پرداختند. در این مطالعه به بررسی اثرات گرد و غبار بر تغییرات دما و رطوبت نسبی در دو منطقه استان خوزستان و استان کرمانشاه پرداخته شد که اثرات گرد و غبار بر تغییرات دما و رطوبت نسبی در روز انتخابی بررسی شد و با روز پاک مقایسه شد. نتایج این مطالعه نشان داد افزایش غلظت آئروسل در کرمانشاه باعث افزایش دما در طول روز در سطح پایین تر اتمسفر شده است و باعث کاهش دما در شب به دلیل خنک کننده تابشی موج بلند شده است. به دلیل رطوبت بالای فصلی در اهواز، طبیعت ذرات معلق در هوا منجر به ایجاد اثر گلخانه‌ای شده است و با جذب تشعشعات در شب، دما را افزایش داد. تأثیر ذرات معلق در هوا بر نیمرخ عمودی رطوبت نسبی بین کرمانشاه و اهواز متفاوت است. رطوبت نسبی به ویژه در سطوح پایین تر در اهواز در روزها و شب‌های پر گرد و غبار افزایش یافته است. افزایش ذرات معلق در هوا در هر دو منطقه اهواز و کرمانشاه تأثیری بر میزان بارش نداشته است. که دلیل آن می تواند نبود سیستم‌های بارشی در دو منطقه در فصول گرم سال باشد. Maghrabi و همکاران (۲۰۱۷) به مطالعه تأثیر طوفان‌های گرد و غبار بر داده‌های تابش خورشیدی، خواص آئروسل و متغیرهای هواشناسی در شبه جزیره عربستان مرکزی پرداختند. نتایج این مطالعه نشان داد که طوفان‌های گردوغبار به طور قابل توجهی عمق نوری آئروسل و تابش پراکنده را افزایش می‌دهند و مولفه‌های تابش جهانی و مستقیم خورشید و توان آنگستروم را کاهش می‌دهند. همچنین رویدادهای گردوغبار بر دمای هوا، تأثیر نسبی می‌گذارند. Tiantian و همکاران (۲۰۱۷) به بررسی اثرات طوفان‌های شن بر اقلیم شمال غربی چین پرداختند نتایج حاصل از بررسی اثرات و تداوم اثر تشعشع مستقیم (DRE) از ذرات معلق در هوا در طوفان‌های شن نشان داد که آئروسل‌های گرد و غبار در طوفان‌های شن می‌توانند نرخ گرمایش تشعشع جو را تغییر دهند، هوای تروپوسفر میانی و پایین را گرم کنند و سطح زمین را خنک کنند. اثرات آب و هوایی طوفان‌های شن مداوم و شدید در ماه آوریل در می‌تواند به مناطق پایین دستی مانند جنوب شرقی و شمال شرقی چین برسد و می‌تواند برای ماه‌ها ادامه یابد طوفان‌های گرد و غبار منجر به گرم شدن و خشک شدن محیط می‌شود. فونتوکیس و همکاران (۲۰۲۰) یکی از

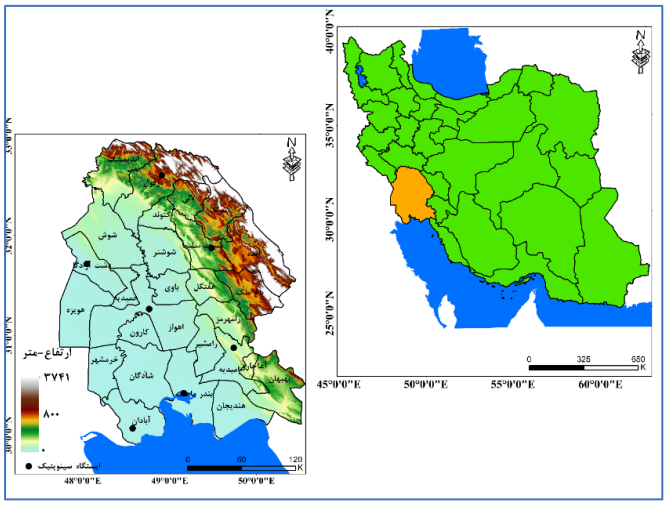
[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.3.2.9]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.3.15]

طوفان‌های گردوغبار شدید در خاورمیانه و اثر آن بر خواص نوری گردوغبار و بودجه تابشی را با استفاده از مدل WRF-Chem[۱] و تصاویر مودیس تحلیل کردند. آنها نتیجه گرفتند، مطابق با نتایج ماهواره‌ای، این مدل کاهش قابل توجه تابش موج کوتاه سطحی (۱۵۰تا ۳۰۰ وات بر مترمربع) را در شرق شبه جزیره عربستان و آب‌های خلیج پیش بینی کرد. هوانگ و همکاران (۲۰۲۳) به بررسی تأثیر ذرات معلق گردوغبار بر تابش خورشیدی و دمای نزدیک به سطح در طول یک دوره شدید گردوغباری پرداختند نتایج این مطالعه نشان داد که مناطق با AOD بالا بیشتر در نواحی بیابانی و حوضه‌های آبریز بوده، در حالی که مناطق با میزان AODکم، مناطق کوهستانی با ارتفاع نسبتاً زیاد به دلیل تأثیر شرایط جغرافیایی و اقلیمی بوده است. ذرات معلق گردوغبار حاصل از این طوفان سیاه باعث کاهش قابل توجهی در تابش خالص موج کوتاه (NSR) هم در بالای جو (TOA) و هم در سطح شد. اثر خنک کننده در منطقه با AOD بالا معنی‌دارتر بود. برای مناطقی که AOD بالاتر از ۰.۷ بود، نیروی تابشی خالص موج کوتاه آئروسل‌های غباری (ADRF) در سطح بالاتر از $W \bullet m^{-2}$-۷۰ بود. از سوی دیگر، اثر خنک کننده در بالای جو به اندازه سطح قابل توجه نبود.

داده‌ها و روش کار

- **قلمرو جغرافیایی مورد مطالعه**

موقعیت مورد مطالعه این تحقیق استان خوزستان است که از لحاظ مخاطرات محیطی یکی از پرچالش‌ترین استان‌های کشور به شمار می‌رود. این استان با مساحتی حدود ۶/۵ میلیون هکتار، حدود ۴ درصد از مساحت کشور را به خود اختصاص داده است. گردوغبار یکی از عمده‌ترین و مهمترین چالش‌های این استان است آثار مخرب آن در ابعاد مختلفی از قبیل، کیفیت منابع آب، کیفیت و عملکرد محصولات کشاورزی، صنایع و شبکه‌های انتقال انرژی، کیفیت هوای شهرها قابل ردیابی است. رخدادهای گردوغبار در این استان هم به دلیل وجود کانون های داخلی و هم نزدیکی به بیابان های عراق و عربستان، هر ساله به ویژه در بهار و تابستان، به یکی از پدیده های رایج اقلیمی این استان تبدیل شده است. اما در کنار این چالش‌های گسترده در سطح استان، استان خوزستان یکی از پرظرفیت‌ترین استان‌های کشور از لحاظ کشاورزی به شمار می‌رود، به طوری که براساس گزارش وزارت جهات کشاورزی، در طی ۵ سال اخیر استان خوزستان در زمینه حجم تولید محصولات کشاورزی (بین ۱۳ تا ۱۵ میلیون تن محصول زراعی باغی در سال)، رتبه نخست تولیدات محصولات کشاورزی را داشته است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و ایستگاه های سینوپتیک در سطح استان

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.3.2.9]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.3.15]

- **داده های مورد استفاده**

در این تحقیق از سه دسته از داده‌ها استفاده شده است. داده های دسته اول مربوط به داده‌های روزهای گردوغبار فراگیر در سطح استان خوزستان است. این داده‌ها از کدهای گردوغباری وضعیت جاری هوا (پارامتر ww ایستگاه‌های سینوپتیک استان) طی دوره آماری ۲۰۰۰، ۲۰۲۰، اخذ شد. براساس این داده‌ها، روزهایی که در همه ایستگاه‌ها یکی از کدهای مذکور گردوغبار ثبت شده باشد به عنوان روز گردوغبار فراگیر انتخاب می‌شود. با گزینش کیس‌های گردوغباری مذکور دو دسته داده دیگر دقیقاً برای همان روزهای منتخب برای سطح استان مورد بررسی قرار گرفت. دسته اول داده‌های ایستگاهی بود که در این تحقیق از داده‌های روزانه ۷ ایستگاه سینوپتیک سطح استان خوزستان شامل اهواز، دزفول، مسجد سلیمان، بستان، آبادن، امیدیه، و بندرماهشهر، استفاده شد. داده‌های ایستگاهی در مقیاس دیدبانی‌های ساعتی طی دوره آماری ۲۰۰۰-۲۰۲۰، اخذ شد از این داده‌ها ۳ فاکتور وضع هوا (w) که شامل کدهای گردوغبار نیز می‌باشد، سرعت (ff) و جهت (dd) باد استخراج گردید. دسته دوم از داده‌ها در واقع داده‌های سنجش از دوری سنجنده MODIS بودند که شامل محصول عمق اپتیکال ایروسل[۲](AOD) سنجنده MODIS (محصول MOD۰٤) و شاخص نمایی انگستروم هواویزه ها (AEA) بود. این دو شاخص بدون بعد اما با جهات متفاوت هستند. در شاخص AOD ارقام بالاتر نمایانگر مقادیر آیروسل بیشتر در مقطع اتمسفر و در شاخص AEA، علاوه بر حضور گردوغبار در محل، اندازه ذرات ایروسل را نیز ارائه می‌کند. در نهایت دسته سوم از داده‌ها، داده‌های باز تحلیل مربوط به تابش خالص موج کوتاه ورودی (SNSR[۳]) است، که از داده‌های باز تحلیل شده پایگاه اروپایی ECMWF[۴] نسخه ERA۵ با رزلوشن فضایی ۰/۵ درجه قوسی گرفته شد.

جدول ۱- داده‌های مورد استفاده در تحقیق

نوع داده	مشخصات داده ها	واحد اندازه گیری-رزلوشن	منبع اخذ
داده های ایستگاهی	کدهای گردوغبار-W	کدهای ۰۶-۰۷-۰۸-۰۹-۳۰ تا ۳۵	Irimo.ir
	سرعت باد – ff	سرعت باد-متر بر ثانیه	
	جهت باد- dd	جهت باد-برحسب درجه-پادساعتگرد	
داده های سنجش از دوری	عمق اپتیکال هواویزه ها	بدون بعد-۱ درجه	worldview.earthdata.nasa.gov
	شاخص نمای انگستروم هواویزه ها	بدون بعد-۱ درجه	
داده های بازتحلیل اقلیمی	تابش خالص موج کوتاه ورودی(SNSR)	وات بر متر مربع در ساعت-(۰/۵ درجه)	cds.climate.copernicus.eu

- **روش کار**

- **شاخص های اپتیکال هواویزه‌ها**

عمق نوری هواویزه‌ها با استفاده از قانون بیر- لامبرت، رابطه بین شدت نور عبوری از جو (شدت نوری که به سان فوتومتر میرسد)، شدت نور قبل از ورود به جو و عمق نوری جو به صورت رابطه (۱) است.

[۲] Aerosol Optical Depth (AOD)
[۳] Surface Net Solar Radiation (SNSR)
[٤] European Centre for Medium-Range Weather Forecasts

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.3.2.9]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.3.15]

$$I = I_0 \exp(-m\,\tau(\lambda))$$

که I شدت تابش نور رسیده به سطح زمین در طول موج مشخص λ و زاویه سرسوی z بوده و I_0 شدت نور تابیده شده به تارک جو است .m بیانگر جرم هوای در مسیر عبور پرتو و τ عمق نوری جو است (کوخانوسکی، ۲۰۰۸)

شاخص نمایی انگستروم[۵]هواویزه ها با استفاده از رابطه تجربی آنگستروم، ارتباط عمق نوری هواویزها و توزیع میانگین اندازه ذرات هواویزها مطابق رابطه (۲) را براورد میکند: جمله مربوط به عمق نوری هواویزها، (λ) ،τaer در طول موج (λ)برابر است با:

$$\tau aer = AOD = \beta\,\lambda^{-\alpha}$$

که در آن α و β به پارامترهای آنگستروم هستند α (آلفا) یا AE نمای انگستروم، نشان دهنده توزیع میانگین اندازه ذرات هواویز در جو است. بازه تغییرات این پارامتر بین صفر تا ۴ است. هر چه ذرات موجود در هوا ریزتر باشد، آلفا بزرگتر خواهد بود؛ به طوریکه اگر پراکندگی صرفاً از نوع رایلی باشد، آلفا به سمت چهار که حد بالای آن است، میل میکند هنگامیکه ذرات در مد درشت در جو غالب باشد (ذرات گرد و غبار بیابان)، آلفا به مقادیر صفر نزدیک میشود. برای مقادیر $\alpha>1$ و ،$\alpha\sim2$ ذرات به ترتیب در مد درشت و تجمعی هستند. به طور کلی برای جو استاندارد مقدار ۱/۳ را برای آلفا در نظر میگیرند (انگستروم، ۱۹۲۹،). گرچه لحاظ کردن مقدار $\alpha\sim1/3\pm0/5$ میتواند تقریب خوبی برای هواویزهای جو استاندارد باشد (اسمیرنوف و همکاران، ۲۰۰۰) نمای آنگستروم بر اساس مشتق اول عمق نوری هواویزها نسبت به طول موج در مقیاس لگاریتمی برای دو طول موج معین محاسبه کرد. نمای آنگستروم بیانگر وابستگی طیفی عمق نوری هواویزه ها در دو طول موج مختلف است.

- **تابش خالص موج کوتاه ورودی(SNSR)**

این داده باز تحلیل شده از پایگاه اروپایی ECMWF، با رزلوشن فضایی ۰/۵ درجه قوسی اخذ گردید. در واقع در این محصول بازتحلیل، میزان تابش موج کوتاه رسیده به سطح زمین برحسب وات بر متر مربع ارائه شده است. این داده‌ها به صورت فایل NC فراخوانی شده و میانگین فضایی آن‌ها در سطح استان خوزستان توسط توابع آمار ناحیه‌ای (Zonal Statistic) نرم افزار GIS محاسبه گردید.

شرح و تفسیر نتایج

در جدول ۱ ویژگی‌های هواشناختی ۳ رخداد گردوغبار فراگیر در سطح استان خوزستان ارائه شده است. همانطور که در این جدول دیده می‌شود، سه کیس گردوغباری منتخب در سطح استان خوزستان شامل ۱۹ ژوئن ۲۰۱۲، ۱۲ می ۲۰۱۸ و ۲۲ جولای ۲۰۱۰ بوده است. در این سه کیس گردوغبار، در همه ایستگاه‌های سنیوپتیک سطح استان خوزستان کد گردوغبار ۰۶ ثبت شده است. کد گردوغباری ۰۶ که در واقع شامل گردوخاک شناور در هوادر اثر طوفان‌های ماسه‌ای و خاکی نقاط خارج از موقعیت ایستگاه است که توسط جریان باد در سطح زمین به موقعیت ایستگاه هدایت شده است. همانطور که در جدول ۱ دیده می‌شود، در رخداد گردوغباری ۲۲ جولای ۲۰۱۰، در همه ایستگاه‌های سینوپتیک استان کد گردوغباری ۰۶ ثبت شده است بیشترین سرعت باد مربوط به ایستگاه بندرماهشهر و سپس ایستگاه بستان بوده است

[۵] Aerosol Exponent Angstrom (AEA)

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.3.2.9]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.3.15]

که بیش از ۹ متر بر ثانیه از جهت غرب و شمال غرب ثبت شده است. جهت غالب بادها در این موج گردوغبار غرب (ایستگاه‌های دزفول، بستان، مسجدسلیمان) و شمال غرب (ایستگاه‌های آبادن و بندرماهشهر و اهواز) بوده است. در رخداد گردوغبار ۱۹ ژوئن ۲۰۱۲ نیز در همه ایستگاه‌ها کد گردوغبار ۰۶ که مربوط به ذرات گردوخاک شناور است ثبت شده است و جهت غالب باد در ایستگاه‌ها غرب و شمال غرب (دو ایستگاه اهواز و آبادان) بوده است و سرعت باد نیز به طور متوسط ۶ متر در ثانیه بوده است. در نهایت در موج گردوغبار ۲۲ جولای ۲۰۱۸ نیز جهت غالب باد در ایستگاه‌ها غرب و شمال غرب بوده است، و سرعت باد نیز در سطح ایستگاه‌های منطقه به طور متوسط ۷ متر در ثانیه بوده است.

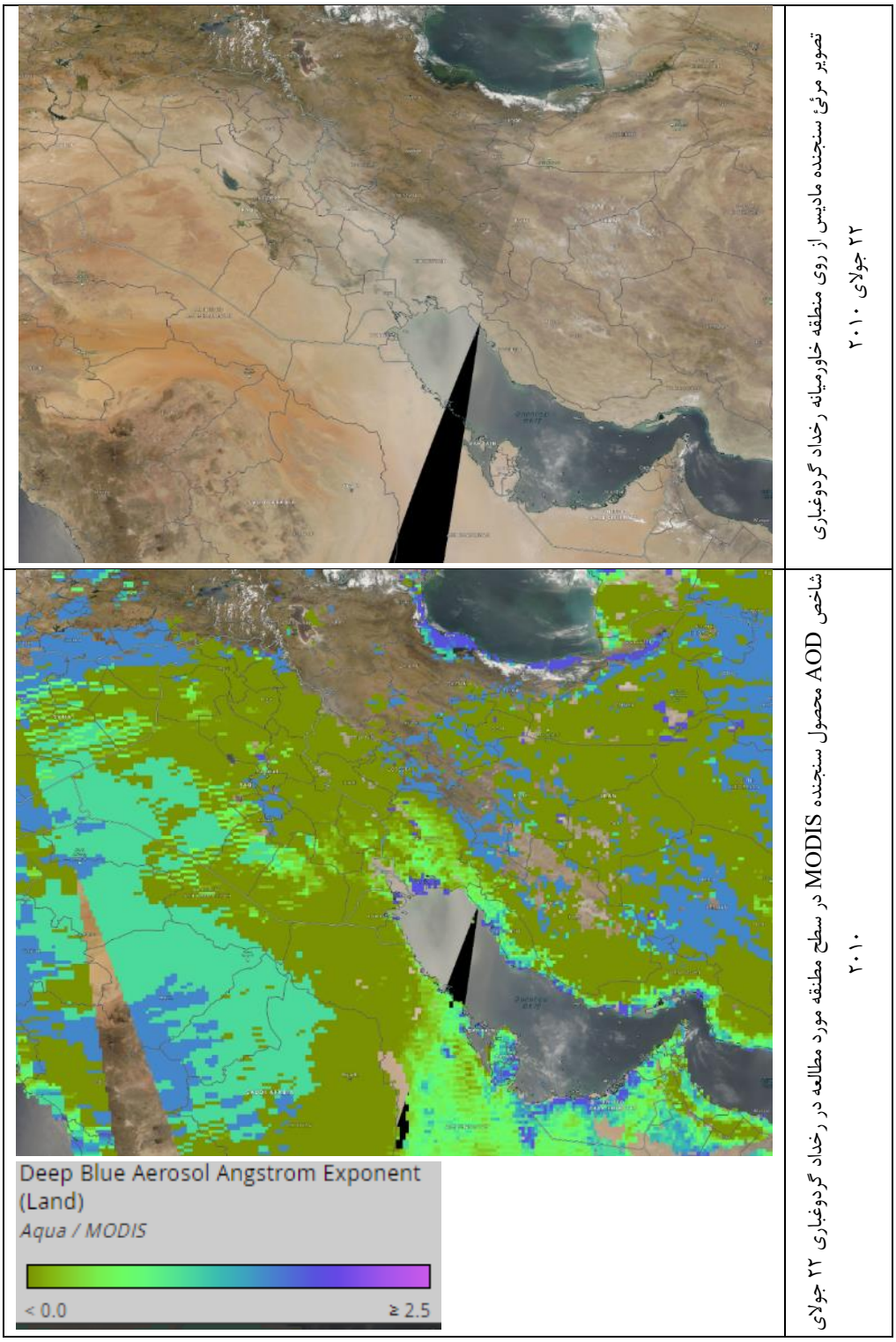
جدول ۱- مشخصات هواشناسی ثبت شده در ایستگاه‌های سینوپتیک هواشناسی سطح استان هنگام رخداد کیس‌های گردوغبار فراگیر و حاد در سطح استان

	۱۹ ژوئن ۲۰۱۲			۱۲ می ۲۰۱۸			۲۲ جولای ۲۰۱۰		
ایستگاه های سطح استان	کد گردغبار w	سرعت باد ff	جهت باد dd	کد گردغبار w	سرعت باد ff	جهت باد dd	کد گردغبار w	سرعت باد ff	جهت باد dd
فرودگاهی دزفول	۰۶	۴	۲۵۰	۰۶	۵	۲۵۰	۰۶	۶	۲۱۰
بستان	۰۶	۸	۲۷۰	۰۶	۱۱	۲۵۰	۰۶	۹	۲۶۰
اهواز	۰۶	۵	۳۳۰	۰۶	۷	۳۱۰	۰۶	۶	۳۱۰
مسجد سلیمان	۰۶	۵	۲۵۰	۰۶	۵	۲۷۰	۰۶	۵	۲۷۰
آبادان	۰۶	۹	۳۶۰	۰۶	۶	۳۳۰	۰۶	۷	۳۳۰
بندر ماهشهر	۰۶	۱۰	۲۷۰	۰۶	۷	۲۸۰	۰۶	۱۰	۳۰۰

در موج گردوغباری ۲۲ جولای ۲۰۱۰، تصاویر مرئی سنجنده MODIS حاکی از ورود یک توده گردوغبار از طرف غرب و شمال غرب ایران به ویژه کشورهای عراق و سوریه به غرب ایران است. بادهای با سرعت بیش از ۶ متر بر ثانیه با جهت شمال غرب و غرب که در داده‌های ایستگاهی ثبت شده بودند، این توده‌های گردوغبار را وارد استان‌های غربی ایران از جمله ایلام، کرمانشاه و خوزستان شده است. شاخص نمایی انگستروم آیروسل‌ها که از سنجنده MODIS اخذ شده است، بیانگر وجود ذرات گردوغبار بسیار درشت در روی استان خوزستان است، شاخص نمایی انگستروم روی استان خوزستان به طور متوسط کمتر از ۱ بوده است. در بخش‌های غالبی از مرکز استان به ویژه شهرستان‌های اهواز، آبادان، ماهشهر، امیدیه و شادگان میزان این شاخص کمتر از ۰/۵ بوده است که بیانگر غلظت ذرات متوسط و ذرات گردوغبار درشت و ذرات نمک در سطح منطقه است. در حالی که در بخش‌های شمال‌غرب استان به ویژه شهرستان‌های دزفول، ایذه، اندیمیشک و اندیکا و مسجد سلیمان و لالی میزان شاخص شاخص نمایی انگستروم به سمت ارقام کمتر از ۰/۱ که بیانگر ذرات بسیار درشت گردوغبار است، تمایل داشته است. براین اساس در رخداد گردوغبار ۲۲ جولای ۲۰۱۰، کل استان خوزستان درگیر گردوغبار بوده است، توزیع فضایی قطر ذرات آیروسل در سطح استان به این صورت بوده است که در بخش‌های جنوبی و مرکزی و غربی استان که شاخص انگستروم بین ۰/۵ تا ۱ بوده است، ذرات با قطر متوسط تا

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.3.2.9]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.3.15]

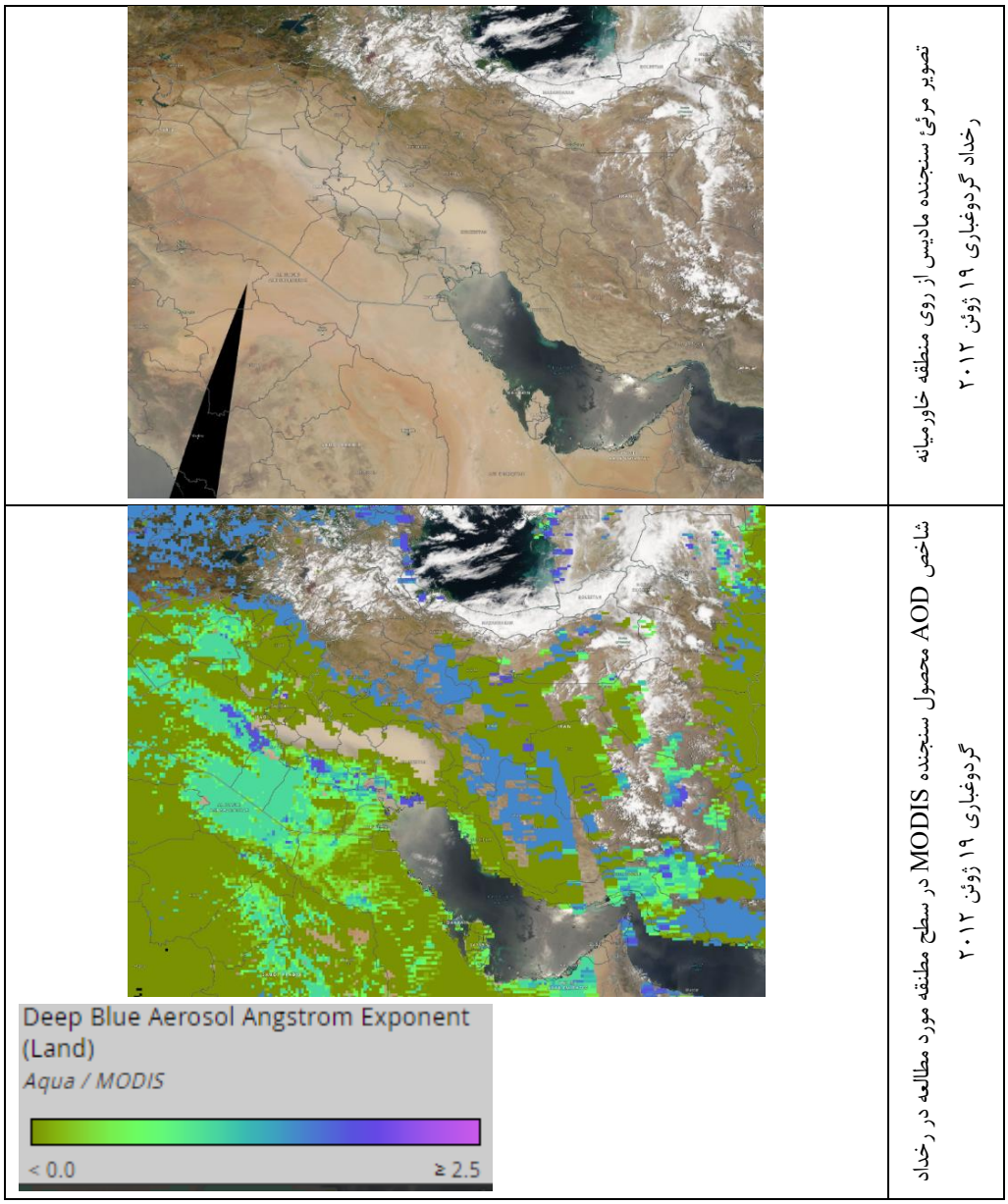
درشت در اتمسفر نزدیک سطح زمین وجود داشته است در حالی که درارتفاعات و بخش‌های شمالی و شمال شرق استان شاخص انگستروم بیانگر حضور ذرات درشت‌تر در اتمسفر منطقه بوده است.



شکل ۲- تصویر مرئی سنجنده MODIS از رخداد گردوغبار ۲۲ جولای ۲۰۱۰ به همراه توزیع فضایی شاخص نمایی انگستروم هواویزه ها(AEA) محصول سنجنده MODIS

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.3.2.9]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.3.15]

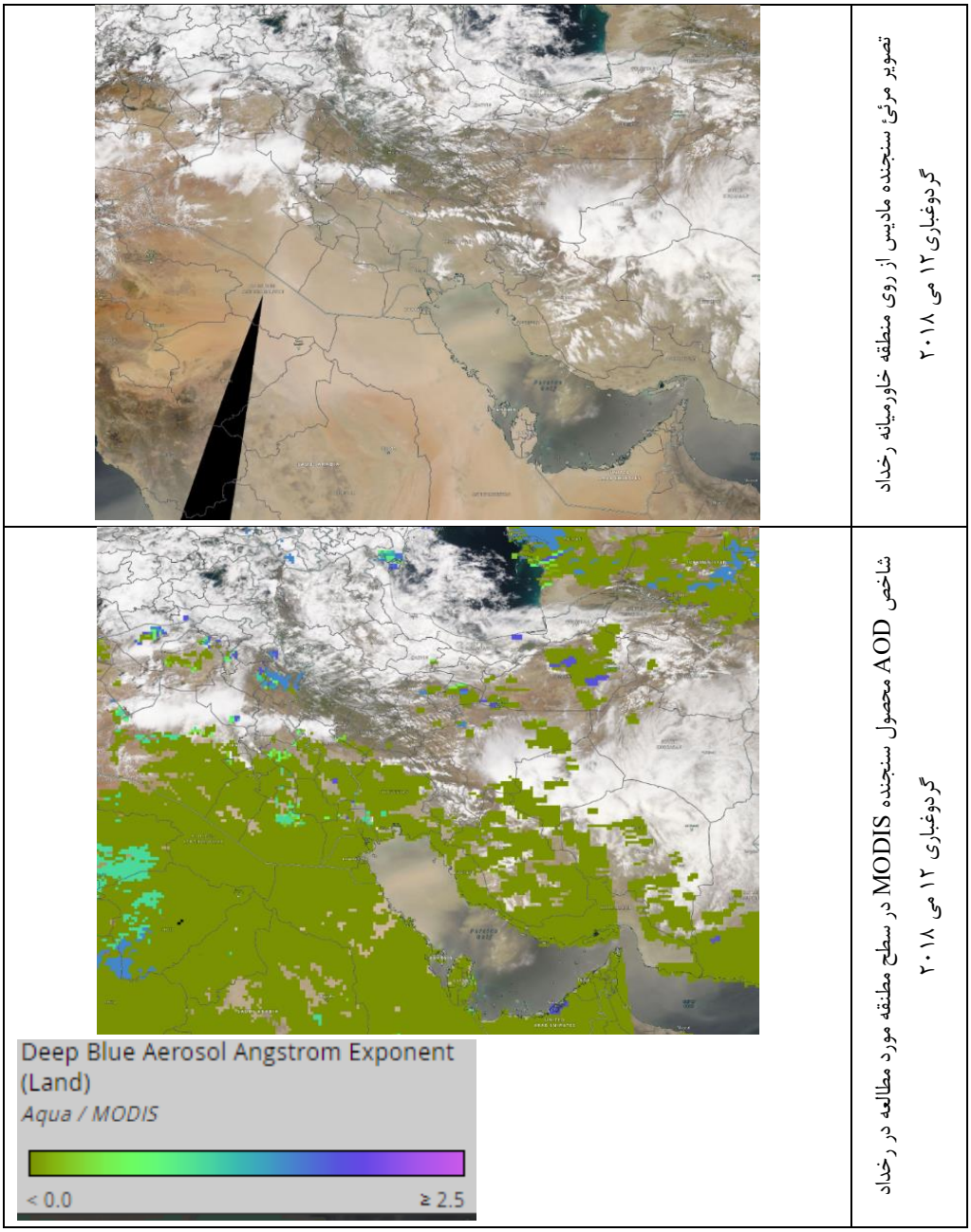
در موج گردوغبار ۱۹ ژوئن ۲۰۱۲ نیز تصاویر مرئی سنجنده MODIS نشان داد که یک توده گردوغبار عموماً از بیابان‌های شمال غرب در خارج از کشور به ویژه عراق و سوریه توسط بادهای با جهت شمال غرب و غرب (براساس داده‌های جهت باد ایستگاه های سینوپتیک منطقه) وارد استان‌های غرب کشور به ویژه استان خوزستان شده است. در این موج فراگیر گردوغبار نیز به طور کلی در سطح استان خوزستان شاخص نمایی انگسترو هواویزه ها، کمتر از ۰/۱ بوده است که حاکی از وجود ذرات درشت گردوغبار در سطح استان دارد. در این موج گردوغبار توزیع شاخص انگستروم هواویزه ها در سطح استان همگن تر بوده است و کل استان درگیر گردوغبار با ذرات درشت بوده است، که می‌توان گفت توده گردوغبار تحت تأثیر یک ساختار همدید فراگیر توسط میادین کم فشار سطح زمین به سطح کل استان به صورت یکسان تزریق شده است.



شکل ۳- تصویر مرئی سنجنده MODIS از رخداد گردوغباری ۱۹ ژوئن ۲۰۱۲ به همراه توزیع فضایی شاخص نمایی انگستروم هواویزه ها(AEA) محصول سنجنده MODIS

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.3.2.9]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.3.15]

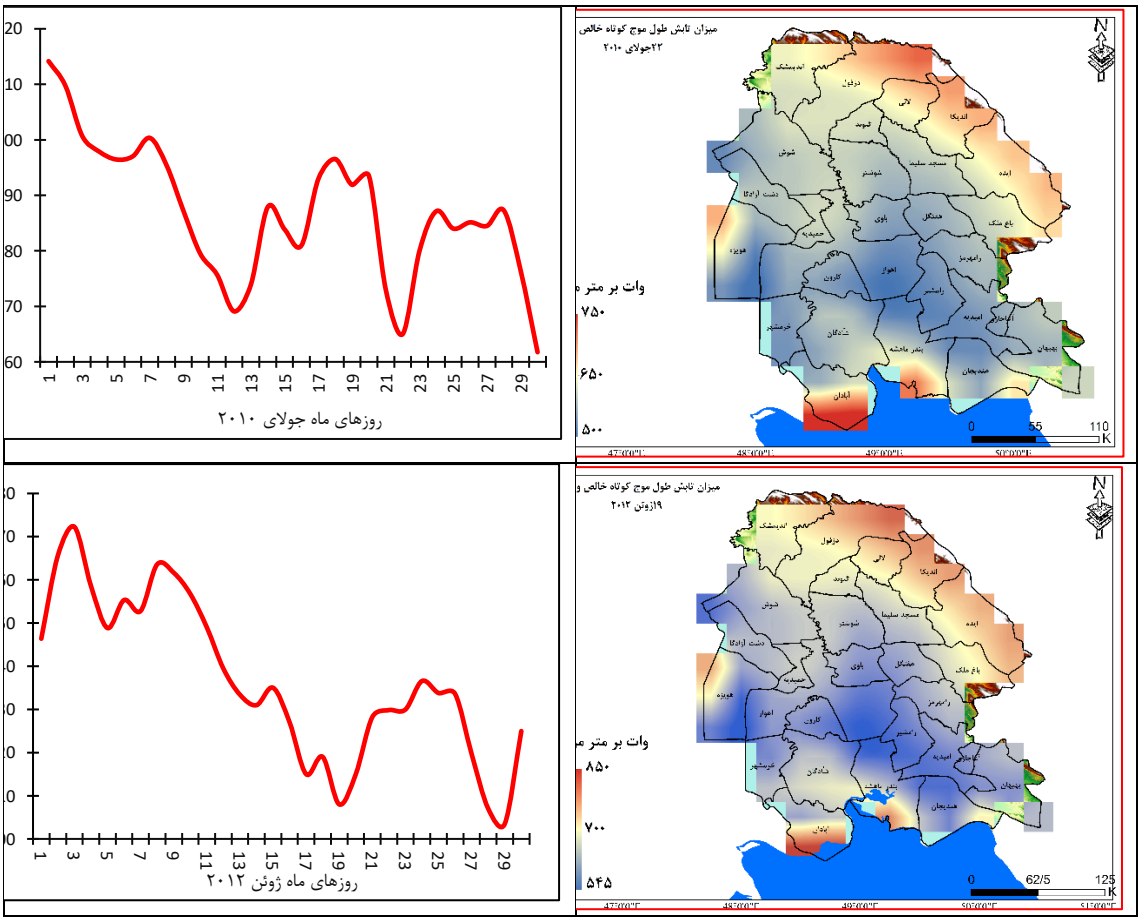
در نهایت در سومین موج گردوغباری مورد بررسی یعنی رخداد گردوغباری۱۲ می ۲۰۱۸ نیز توده عظیمی از گردوغبار از سمت غرب و به ویژه کانون‌های گردوغبار در کشور عراق وارد استان خوزستان شده است. در این موج گردوغباری بخش جنوبی کشور از جمله استان‌های بوشهر، فارس، هرمزگان نیز درگیر بوده است. عموماً جهت باد در این روز غرب و شمال غرب بوده که با سرعت بیش از ۶ متر بر ثانیه موجبات تزریق گردوغبار به سطح استان را فراهم کرده است. در این موج گردوغباری نیز سهم ذرات درشت گردوغباری غالب بوده است. شاخص نمایی انگستروم هواویزه‌ها در سطح استان کمتر از ۰/۱ بوده است که بیانگر وجود ذرات درشت در سطح منطقه است.



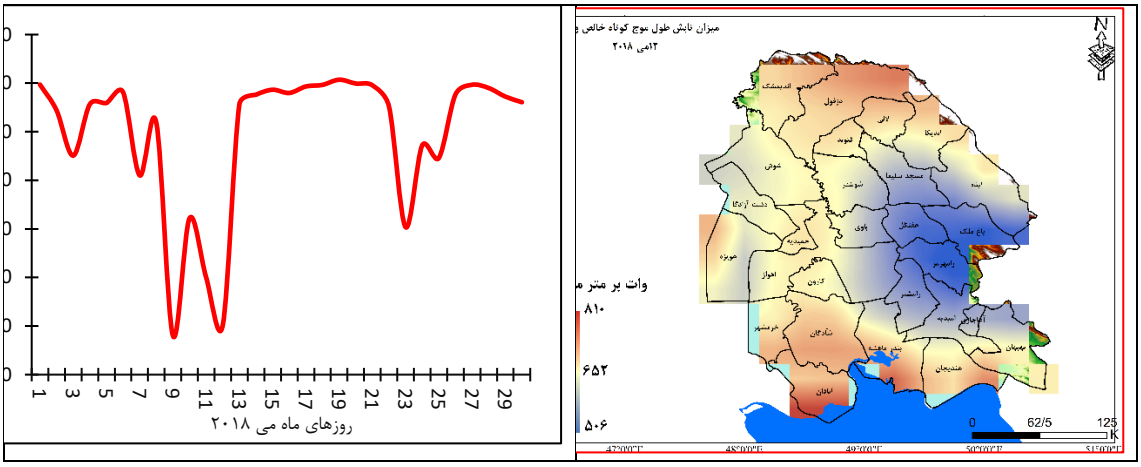
شکل ۴- تصویر مرئی سنجنده MODIS از رخداد گردوغباری ۱۲ می ۲۰۱۸ به همراه توزیع فضایی شاخص نمایی انگستروم هواویزه ها(AEA) محصول سنجنده MODIS

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.3.2.9]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.3.15]

اما بعد از بررسی و اثبات وجود گردوغبار و تنوع قطر ذرات در سطح استان با استفاده از داده‌های ایستگاهی و سنجش از دوری محصولات سنجنده MODIS، در این بخش با استفاده از داده‌های باز تحلیل شده ساعتی میزان تابش خالص موج کوتاه ورودی به سطح زمین (SNSR)، در روزهای رخداد گردوغبار (در ساعت ۱۲ ظهر یا ۰۹ UTC) به صورت زمانی مکانی مورد بررسی قرار می‌گیرد. همانطور که در شکل ۵ دیده می‌شود، در موج گردوغباری روز ۲۲ جولای ۲۰۱۰، میزان تابش خالص موج کوتاه ورودی به سطح زمین در سطح استان خوزستان (میانگین گریدهای ۰/۵ درجه قوسی در سطح استان) نسبت به روزهای قبل و بعد به صورت قابل توجهی افت کرده است. در این روز میزان SNSR در سطح زمین به حدود ۵۶۵ وات بر مترمربع (در ساعت ۱۲ ظهر یا ۰۹ UTC) رسیده است در حالی که میانگین ماهانه این شاخص در سطح استان برابر ۵۹۰ وات بر متر مربع بوده است و در روزهای قبل و بعد از این رخداد گردوغباری نیز میزان تابش ورودی موج کوتاه به سطح زمین در استان خوزستان دوباره به مقادیر بیش از ۵۸۰ وات بر متر مربع رسیده است. در رخداد گردوغباری ۱۹ ژوئن ۲۰۱۲ نیز مقایسه میزان SNSR روز ۱۹ ژوئن با سایر روزهای ماه بیانگر یک افت معنی‌دار در میزان تابش موج کوتاه ورودی به سطح زمین است. میانگین تابش موج کوتاه ورودی به سطح زمین در این ماه برابر ۷۳۶ وات بر متر مربع بوده است در حالی که در روز ۱۹ ژوئن که روز اوج گردوغبار فراگیر در سطح استان بوده است این میزان تابش دریافتی به ۷۰۸ وات بر مترمربع رسیده است.



[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.3.2.9]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.3.15]



شکل ۵- توزیع زمانی (ماهانه) و مکانی داده های باز تحلیل شده ساعتی میزان تابش خالص موج کوتاه ورودی به سطح زمین (SNSR) در سطح استان خوزستان (مستخرج از پایگاه اقلیمی اروپایی ECMWF نسخه ERA۵) (در ساعت ۱۲ ظهر یا ۰۹ UTC)

در نهایت در موج سوم گردوغباری مورد بررسی یعنی رخداد گردوغباری ۱۲ می ۲۰۱۸ نیز میزان تابش موج کوتاه دریافتی در سطح زمین (سطح استان خوزستان در ساعت ۱۲ ظهر یا ۰۹ UTC) به صورت قابل توجهی نسبت به روزهای دیگر ماه افت داشته است. میانگین تابش خالص موج کوتاه دریافتی در این ماه در سطح زمین برابر ۶۹۵ وات بر متر مربع بوده است که این مقدار در روز ۱۲ می ۲۰۱۸ به ۵۰۱ وات بر متر مربع افت داشته است. همانطور که در شکل ۵ دیده می‌شود، به طور کلی میزان تابش خالص موج کوتاه دریافتی در سطح زمین در بخش‌های مرکزی و جنوبی (بخش‌های دشتی و کم ارتفاع استان) و غربی استان کمتر از بخش‌های شرقی و شمال‌شرق استان است. در جدول ۳ دیده می‌شود که دو شاخص عمق اپتیکی ایروسل و شاخص نمایی ایروسل، هر دو در رخداد گردوغباری ۲۲ جولای ۲۰۱۰ نسبت به دو رخداد گردوغباری دیگر، در حالت بیشینه بوده‌اند به نحوی که شاخص AEA کمتر از ۰/۱ بیانگر حضور ذرات درشت در اتمسفر نزدیک سطح زمین و شاخص AOD نیز بین ۰/۹ تا ۱/۲ بوده است که بیانگر حضور گردوغبار غلیظ در کل پهنه استان بوده است، این حجم از ذرات درشت در سطح استان باعث این شده است که در روز ۲۲ جولای ۲۰۱۰ میزان تابش خالص موج کوتاه دریافتی (در ساعت ۱۲ ظهر یا ۰۹ UTC) به حدود ۵۰۱ وات بر متر مربع افت کرده است که حدود ۱۹۴ وات بر متر مربع (حدود۲۸ درصد) کمتر از میانگین همان ماه بوده است. این میزان افت در دو موج گردوغبار دیگر کمتر بوده است. در موج گردوغباری ۱۹ ژوئن ۲۰۱۲، میزان تابش خالص موج کوتاه دریافتی تنها ۵ درصد (۲۵ وات بر متر مربع در ساعت ۱۲ ظهر یا ۰۹ UTC) کمتر از میانگین بلندمدت بوده است و این افت در رخداد گردوغباری ۱۲ می ۲۰۱۸ برابر ۲۸ وات بر متر مربع (حدود ۴ درصد افت نسبت به میانگین همان ماه) بوده است.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.3.2.9]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.3.15]

جدول ۳- مشخصات توزیع فضایی شاخص های گردوغباری (دو شاخص AOD و AEA) و میزان تابش موج کوتاه دریافتی در سطح زمین در روزهای رخداد گردوغباری در سطح زمین(در ساعت ۱۲ ظهر یا ۰۹ UTC)

تاریخ رخداد	۱۹ ژوئن ۲۰۱۲	۱۲ می ۲۰۱۸	۲۲ جولای ۲۰۱۰
کد گردوغبار ایستگاهی	کد ۰۶ در همه ایستگاه‌های استان	کد ۰۶ در همه ایستگاه‌های استان	کد ۰۶ در همه ایستگاه‌های استان
شاخص AEA	۰/۸ تا ۱/۱- ذرات متوسط	۰/۱ تا ۰/۷ ذرات درشت و متوسط	کمتر از ۰/۱ درشت فراگیر
شاخص AOD	۰/۲ تا ۰/۸ غلظت متوسط	۰/۸ تا ۱ غلظت بالا	۰/۹ تا ۱/۲ غلظت بالا
میانگین فضایی SNSR در سطح استان در روز اوج گردوغبار-وات بر متر مربع	۵۶۵	۷۰۸	۵۰۱
میانگین ماهانه SNSR در سطح استان - وات بر متر مربع	۵۹۰	۷۳۶	۶۹۵
درصد افت SNSR	۵	۴	۲۸

نتیجه گیری

استان خوزستان یکی از پرظرفیت‌ترین و در عین حال پرچالش‌ترین (چالش‌های طبیعی و محیطی) استان‌های کشور است. گردوغبار یکی از عمده‌ترین و مهمترین چالش‌های این استان است که هم به دلیل وجود کانون‌های داخلی و هم نزدیکی به بیابان‌های عراق و عربستان، هر ساله به ویژه در بهار و تابستان، به یکی از پدیده‌های رایج اقلیمی این استان تبدیل شده است. در این تحقیق سعی شد که تأثیرگذاری رخداد گردوغبار در زمینه نوسانات و تغییرات روزانه میزان تابش خالص موج کوتاه دریافتی در سطح زمین مورد بررسی قرار گیرد. نتایج حاصل از بررسی سه کیس گردوغبار فراگیر در سطح استان بیانگر آن بود در این سه کیس گردوغبار فراگیر، ذرات آیروسل عموماً در بخش‌های مرکزی، جنوبی و غربی استان (نواحی دشتی و پست استان) از نوع ذرات متوسط تا درشت (شاخص نمایی انگستروم بین ۰/۵ تا ۱) و در بخش‌های شرقی و شمال شرقی، از نوع ذرات درشت (شاخص انگستروم کمتر از ۰/۵) بوده است. در زمینه تأثیرگذاری رخدادهای گردوغبار بر میزان تابش موج کوتاه دریافتی سطح زمین دیده شد که در رخداد گردوغباری ۲۲ جولای ۲۰۱۰ شاخص نمایی انگستروم بیانگر حضور ذرات درشت در اتمسفر نزدیک سطح زمین و شاخص AOD نیز بیانگر حضور گردوغبار غلیظ در کل پهنه استان بوده است، میزان تابش خالص موج کوتاه دریافتی (در ساعت ۱۲ ظهر یا ۰۹ UTC) حدود ۱۹۴ وات بر متر مربع (حدود ۲۸ درصد) کمتر از میانگین همان ماه بوده است. این میزان افت در دو موج گردوغبار دیگر که مقادیر شاخص AOD و شاخص انگستروم آن ها بیانگر گردوغبار ریزتر و با غلظت کمتر بود، کمتر بوده است. در موج گردوغباری ۱۹ ژوئن ۲۰۱۲، میزان تابش خالص موج کوتاه دریافتی تنها ۵ درصد (۲۵ وات بر متر مربع در ساعت ۱۲ ظهر یا ۰۹ UTC) کمتر از میانگین بلندمدت بوده است و این افت در رخداد گردوغباری ۱۲ می ۲۰۱۸ برابر ۲۸ وات بر متر مربع (حدود ۴ درصد افت نسبت به میانگین همان ماه) بوده است.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.3.2.9]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.3.15]

منابع

بارونیان، ایرج؛ رضا برنا، منیژه ظهوریان، جعفر مرشدی.۱۴۰۰. آشکارسازی تاثیرگذاری تغییرات کاربری زمین‌ها در توزیع فضایی غلظت گردوغبار استان خوزستان با استفاده از محصولات سنجنده MODIS . جغرافیا و پایداری محیط، **۱۱(۳)**: ۹۷-۱۱۴.

سلیمانی، آرزو؛ حسین محمد عسگری ، سهراب علی دادالهی، هیوا علمی زاده، سید حسین خزاعی. ۱۳۹۴. ارزیابی عمق اپتیکی حاصل از تصاویر ماهواره مادیس در خلیج فارس. مجله علوم و فنون دریایی، **۱۴(۴)**: ۷۵-۸۳

علی پور، ناهید؛ طیبه مصباح زاده، حسن احمدی، محمد جعفری، سارا کرمی، علی محمد. طهماسبی بیرگانی.۱۴۰۱. ارزیابی تاثیر طوفان گردوغبار بر روی شار گرمایی و بیلان تابش در حوزه هیرمند. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، **۲۹(۱)**: ۵۳-۷۳

فرهمند، هاجر؛ سعید جهانبخش اصل، مجید رضائی بنفشه، علی محمد خورشیددوست. ۱۳۹۸. شبیه سازی واداشت های تابشی و اثر متقابل گردوغبار و اقلیم توسط مدل WRF_Chem در منطقه جنوب غربی آسیا. نشریه هواشناسی و علوم جوّ،**۲(۱)**: ۲۹-۴۱

Ångström, A.۱۹۲۹. On the atmospheric transmission of sun radiation and on dust in the air. Geografis Annal, **۲**:۱٥٦-۱٦٦.

Fountoukis, C.; H. Harshvardhan, I. Gladich, L. Ackermann, and M.A. Ayoub .۲۰۲۰. Anatomy of a severe dust storm in the Middle East: Impacts on aerosol optical properties and radiation budget. Aerosol and Air Quality Research, **۲۰:** ۱. ۱٥٥-۱٦٥

Huang, G.; Y. Zhou, Z. Guo, X. Liu, Y. Chen, Q. Liu, Z. Ta, P. Wang, Q. He, J. Gao, and Y. Zhang .۲۰۲۳. The influence of dust aerosols on solar radiation and near-surface temperature during a severe duststorm transport episode. Front. Environ. Sci, ۱۱:۱۱۲٦۳۰۲.

Kokhanovsky, A. A. ۲۰۰۸. Aerosol optics: Light absorption and scattering by particlesin the atmosphere. Springer-Praxis.

Lau, W. K. M.; K. M. Kim, J. J. Shi, T. Matsui, M .Chin, Q. Tan. ۲۰۱۷. Impacts of aerosol monsoon interaction on rainfall and circulation over Northern India and the Himalaya Foothills. Clim. Dyn, ٤۹: ۱۹٤٥_۱۹٦۰.

Li, H.; H. Chen, H. Wang, and E. Yu. ۲۰۱۸. Future precipitation changes over China under ۱,٥ °C and ۲,۰ °C global warming targets by using CORDEX regional climate models. Sci. Total Environ, ٦٤۰: ٥٤۳_٥٥٤.

Maghrabi, A.۲۰۱۷. The influence of dust storms on solar radiation data, aerosol properties and meteorological variables in Central Arabian Peninsula. Int. J. Environ. Sci Technol, ۱٤: ۱٦٤۳_۱٦٥۰

Middleton, N. ۲۰۱۷. Desert dust hazards: A global review. Aeolian Res, ۲٤: ٥۳_٦۳.

Middleton, N.; and Kang. U.۲۰۱۷. Sand and dust storms: Impact mitigation. Sustainability, ۹: ۱۰٥۳.

Nguyen, H. D.; M. Riley, J. Leys, and D. Salter. ۲۰۱۹. Dust storm event of February ۲۰۱۹ in central and East Coast of Australia and evidence of long-range transport to New Zealand and Antarctica. Atmosphere, ۱۰: ٦٥۳.

Samset, B. H.; M. Sand, C.J. Smith, S. E. Bauer, P.M.Forster, J.S.Fuglestvedt. ۲۰۱۸. Climate impacts from a removal of anthropogenic aerosol emissions. Geophys. Res. Lett, ٤٥: ۱۰۲۰_۱۰۲۹

Smirnov, A.; N.O'Neill,A. Royer,A. Tarussov. ۱۹۹٦. Aerosol optical depth over Canada and the link with synoptic air mass types. Journal of Geophysical Research, ۱۰۱: ۱۹۲۹۹.

Solgi, R.;M. Mazraeh Farahani, M. Gharaylou. ۲۰۲۳.The Effect of Dust Aerosols on Some Meteorological Parameters in Two Dry and Humid Areas. Journal of the Earth and Space Physics, **٤۸(٤):** ۱۸۳-۱۹٥.

Tiantian Hu.; W. Di, L. Yaohui, and W. Chenghai. ۲۰۱۷. The Effects of Sandstorms on the Climate of Northwestern China. Advances in Meteorology, **۲۰۱۷:**۱-۱۷.

Watson, J. G.; J. D. Bachmann, , S. S. Wierman, C. Mathai, W.C.Malm,W.H. White.۲۰۰۲. Visibility: Science and regulation. J. Air Waste Manage. Assoc. ٥۲ view of the seasonal distribution of mineral dust and its correlation with atmospheric circulation. Dyn. Atmos. Oceans. ٦۸:۲۰_۳٤.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.3.2.9]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.3.15]

Wilkerson Walter, D. ۱۹۹۱. Dust and sand forecasting in Iraq and adjoining countries. USAF Environmental Technical ,ApplicationsCenter, pp۷۲.

Yan, H.; and T. Wang. ۲۰۲۰.Ten years of aerosol effects on single-layer overcast clouds over the US Southern Great Plains and the China Loess Plateau. Adv. Meteorol, ٦٧١٩١٦٠: ١–١٥.

Zhao, J.; X. Ma, S. Wu, and T. Sha. ۲۰۲۰. Dust emission and transport in northwest China: WRF-chem simulation and comparisons with multi-sensor observations. Atmos. Res, ۲٤١: ١٠٤٩٧٨.

Zhou, C.; Y. Liu, Q. He, X. Zhong, Q. Zhu, F. Yang, F. ۲۰۲۲a. Dustcharacteristics observed by unmanned aerial vehicle over the Taklimakan Desert. Remote Sens, ١٤ (٤): ٩٩٠.

Zhou, C.; Y. Liu, Q. He, X. Zhong, Q. Zhu, F. Yang, F. ۲۰۲۲b. In situ observation of warm atmospheric layer and the heat contribution of suspended dust over the Tarim Basin. Atmos. Chem. Phys, ۲۲: ٥١٩٥–٥٢٠٧.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.3.2.9]

[DOI: 10.61186/jsaeh.10.3.15]

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.3.2.9]

[DOI: 10.61186/jsaeh.10.3.15]