

اثر طوفان گردوغباری بر روی خصوصیات اپتیکی و تابشی هواویزها در منطقه خاورمیانه

اسلام جوادنیا^{۱*}، علی اکبر آبکار^۲

^۱ دانشجوی دکتری سنجش از دور - دانشکده مهندسی نقشه‌برداری - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
jjavadnia@mail.kntu.ac.ir

^۲ استادیار دانشکده مهندسی نقشه‌برداری - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
abkar@kntu.ac.ir

(تاریخ دریافت اسفند ۱۳۹۵، تاریخ تصویب اردیبهشت ۱۳۹۶)

چکیده

گرد و غبار از طریق کاهش انرژی خورشیدی رسیده به سطح زمین، اقلیم و چرخه هیدرولوژیکی را تحت تأثیر قرار داده و پیامدهای زیست محیطی نامطلوبی بر جا می‌گذارد. خاورمیانه از جمله مناطقی در جهان است که بیشترین گزارش طوفان‌های گرد و غباری را داشته است. در این تحقیق طوفان گردوغباری رخ داده در جولای ۲۰۰۹، با استفاده از عمق اپتیکی هواویز (AOD) بدست آمده توسط الگوریتم ساده شده بازیابی هواویز (SARA) و داده‌های زمینی اندازه‌گیری شده در ایستگاه آثرون، مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. بیشینه AOD بدست آمده در منطقه در روز ۴ جولای بود، بطوریکه AOD در این روز در کویت، اهواز، خلیج فارس، بغداد و ریاض بترتیب به ۱/۴۴، ۲/۵۶، ۱/۰۷، ۳ و ۱/۹۹ رسید. توزیع اندازه حجمی هواویز (VSD) اندازه‌گیری شده در ایستگاه آثرون در روزهای گردوغباری به بیشینه مقدار و در روزهای غیر گردوغباری به کمترین مقدار رسید. خصوصیات اپتیکی استخراج شده از ایستگاه آثرون از قبیل VSD، آلبیدوی پراکنش منفرد، پارامتر تقارن و شاخص ضریب شکست، بیانگر این بود که هواویزهای گردوغباری ناشی از طوفان در مقایسه با هواویزهای انسانی (آلودگی‌های صنعتی و وسایل نقلیه) سهم زیادی در منطقه دارد. تابش فرودی موج کوتاه خورشیدی در سطح (DSSR) و تابش خالص موج کوتاه خورشیدی در سطح (NSSR) با استفاده از مدل اقبال و محصولات جو و زمین مادیس (از قبیل بخار آب، ازن، موقعیت جغرافیایی و آلبیدوی سطح)، SARA AOD و اندازه‌گیری‌های زمینی (آلبیدوی پراکنش منفرد و پارامتر تقارن) بدست آمدند. اثرات تابشی هواویزهای گردوغباری بر روی تابش موج کوتاه فرودی (ARF_{DSSR}) در روزهای مورد مطالعه (گردوغباری و غیرگردوغباری) بین ۵۱- و ۱۶۰- وات بر مترمربع و اثرات تابشی هواویزهای گردوغباری بر روی تابش خالص موج کوتاه (ARF_{NSSR}) بین ۳۹- تا ۱۲۲- وات بر مترمربع بود. طوفان گردوغباری موجب کاهش ۱۵ تا ۲۰ درصدی DSSR در روزهای گردوغباری شد و این کاهش باعث افزایش ۶۶ درصدی واداشت تابشی هواویز (ARF) در منطقه گردید. چنین شرایطی می‌تواند منجر به کاهش دما در بخش زیرین جو و سرمایش سامانه زمین گردد.

واژگان کلیدی: طوفان گردوغباری، AOD، آلبیدوی پراکنش منفرد، ARF

* نویسنده رابط

۱- مقدمه

طوفان‌های گردوغباری باعث پراکنش یا جذب تابش خورشیدی شده و بر اساس خصوصیات ذرات گردوغباری می‌توانند منجر به گرمایش یا سرمایش جو گردند [۱، ۲]. هواویزهای گردوغباری معدنی از طریق بازتاب تابش موج کوتاه در کانال پنجره‌های جوی و برگرداندن آن به فضا، باعث سرمایش سامانه زمین می‌گردند [۳]. مطالعات نشان داده است که هواویزهای گردوغباری معدنی، می‌توانند اقلیم و چرخه هیدرولوژیکی را تحت تأثیر قرار دهند [۴-۹]. ذرات گردوغباری، بودجه تابشی سطح زمین را تغییر داده و باعث تغییر دمای سطح زمین و جو شده و در نتیجه فرآیندهای تبادل انرژی بین سطح و جو و همچنین دینامیک جو را تحت تأثیر قرار می‌دهد. از طرف دیگر بعلت توزیع مکانی گسترده آنها و عمق ایتیکی بالایی که ایجاد می‌کنند، تخمین دقیق واداشت تابشی (RF) طوفان‌های گردوغباری بسیار مهم و اساسی است [۱۰]. آلپرت و همکاران [۱۱] تغییرات واداشت تابشی هواویز (ARF) بوجود آمده در لایه تروپوسفر جو را به علت طوفان‌های گردوغباری در منطقه غربی Sahara Desert و بخش شرقی اقیانوس اطلس شمالی، مورد مطالعه و بررسی قرار دادند.

طوفان‌های گردوغباری نشأت گرفته از مناطق خشک و بیابانی آفریقا (از قبیل Sahara Desert)، خاورمیانه (بخصوص بیابان‌های عربستان سعودی، عراق و سوریه)، اغلب با ورود به مناطق ساحلی ایران موجب بارگذاری بالای هواویز در بیشتر مناطق جنوب و جنوب غرب ایران می‌گردند. تغییرات در خصوصیات ایتیکی هواویزهای گردوغباری در جنوب غربی آسیا در مطالعات مختلفی گزارش شده است [۲، ۱۲، ۱۳]. هوسار و همکاران [۱۴] و میدلتون [۱۵]، تواتر طوفانهای گردوغباری در مناطق مختلفی در جنوب غرب آسیا را بحث و بررسی نموده‌اند. ذوالفقاری و عابدزاده [۱۶] طوفان‌های گردوغباری در مناطق غربی ایران را مورد بررسی و تحلیل قرار دادند. اثرات هواویز گردوغباری بر روی تابش موج کوتاه در منطقه خاورمیانه بخصوص مناطق غربی ایران در مطالعات مختلفی مورد بررسی قرار گرفته است [۱۷-۱۹]. پیش از

شروع فصول باران‌های موسمی در جنوب غرب آسیا، طوفان‌های گردوغباری باعث تغییر در بارگذاری هواویز در لایه تروپوسفر شده و توزیع بارش در منطقه را تحت تأثیر قرار می‌دهند، زیرا هواویزهای گردوغباری، یا بصورت مستقیم از طریق تضعیف تابش خورشید و زمین و یا بصورت غیرمستقیم از طریق ایجاد هسته تراکم ابر (CCN^۳)، موجب تغییر توازن تابشی زمین شده و در نتیجه، آلبیدوی ابر، طول عمر ابر، نرخ بارندگی و چرخه هیدرولوژیکی را تحت تأثیر قرار می‌دهد [۲۰، ۲۱]. تغییرات در RF می‌تواند روی چرخه موسمی اثر گذاشته و چنانچه این تغییرات ناشی از طوفان‌های گردوغباری باشد، می‌تواند تأثیر عمده‌ای بر قدرت بادهای موسمی منطقه داشته باشد [۸، ۲۲].

منطقه خاورمیانه بخصوص جنوب غربی ایران، عراق، عربستان سعودی و خلیج فارس از جمله نقاطی در جهان هستند که بیشترین گزارش طوفان‌های گردوغبار را داشته‌اند [۲۳]. یکی از شدیدترین طوفان‌ها در این منطقه، طوفان گردوغباری ماه جولای سال ۲۰۰۹ است (<http://earthobservatory.nasa.gov/NaturalHazards>).

این طوفان در مطالعات مختلفی مورد بررسی و پژوهش قرار گرفته است [۱۳، ۲۴]. اقبال و الکریم با بررسی خصوصیات ایتیکی هواویزهای گردوغباری و تحلیل سینوپتیکی این طوفان، منشأ آن را باد شمالی^۴ در منطقه عنوان نمودند [۲۵]. اختری و همکاران نیز با بررسی وضعیت پوشش گیاهی منطقه از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۹، علت این طوفان را فعالیت‌های انسانی در منطقه از قبیل گسترش شهرنشینی، خشکسالی، عملیات‌های نظامی در عراق، استفاده بی رویه از رودخانه‌ها بخصوص رودخانه دجله و فرات در عراق می‌دانند، بطوریکه این فعالیت‌ها باعث از بین رفتن پوشش گیاهی در منطقه شده و فرسایش ناشی از باد شمالی را افزایش داده است [۲۶].

برای تخمین کمی واداشت تابشی هواویز، نیاز به داده‌های دقیقی از خواص گردوغبار معدنی است. اما بعلت محدودیت اندازه‌گیری‌های زمینی، اطلاعات زیادی از اثر تابشی هواویزها در دسترس نیست. بنابراین استفاده از داده‌های ماهواره‌ای در کنار داده‌های زمینی برای پیش طوفان‌های گردوغباری و تخمین اثر تابشی آنها ضروری

^۳ Cloud Condensation Nuclei
^۴ Shamal wind

^۱ Radiative Forcing
^۲ Aerosol Radiative Forcing

برآورد گردیدند [۲، ۱۸، ۱۹، ۳۰] و یا از طریق همبستگی بین اندازه‌گیری‌های زمینی (مثل همبستگی بین AOD و تابش موج کوتاه خورشیدی (DSSR^۴)) محاسبه شدند [۳۱]. داده‌های زمینی اندازه‌گیری شده، نقطه‌ای بوده و معمولاً محدود به منطقه کوچکی هستند، مدل‌های انتقال تابشی نیز به داده‌های زیادی نیاز داشته و محاسبات آن بسیار پیچیده و زمان‌بر هستند و ضمناً بصورت نقطه‌ای DSSR را برآورد می‌نمایند.

در این مقاله DSSR با استفاده از مدل پارامتری اقبال [۳۲] (که ساده‌سازی شده مدل انتقال تابشی SOLTRAN است) و داده‌های ماهواره‌ای سنجنده مادیس و محاسبه می‌گردد، سپس با استفاده از DSSR بدست آمده و محصول آلبیدوی سطح مادیس، NSSR محاسبه می‌شود. ARF_{DSSR} و ARF_{NSSR} از طریق حاصل تفاضل DSSR و NSSR بدست آمده برای دوحالت هواویز و بدون هواویز برآورد می‌گردند. تقریباً تمامی داده‌های مورد نیاز در این روش بصورت تصویری با قدرت تفکیک مکانی ۱ کیلومتر هستند، بخصوص AOD که از طریق الگوریتم SARA با قدرت تفکیک مکانی ۱ کیلومتر بدست می‌آید. SARA AOD، محصولات جو و زمین مادیس (از قبیل بخار آب، ازن، زاویه زینتی خورشید و آلبیدوی سطح)، آلبیدوی پراکنش منفرد و پارامتر تقارن از داده‌های مورد نیاز در روش پیشنهادی هستند. آلبیدوی پراکنش منفرد و پارامتر تقارن تنها داده‌هایی هستند که از اندازه‌گیری‌های زمینی استخراج می‌شوند و با فرض اینکه در منطقه مورد مطالعه و برای روز مورد نظر این دو پارامتر تغییر زیادی نمی‌کنند، برای کل منطقه و روز مورد مطالعه ثابت فرض می‌شوند.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- داده‌های زمینی

به منظور بررسی دقیق خصوصیات اپتیکی و تابشی هواویز، استفاده از داده‌های آئرونت بهترین گزینه است. در این تحقیق از داده‌های اندازه‌گیری شده توسط دستگاه سانفتومتر CIMEL مستقر در ایستگاه آئرونت دانشگاه کویت استفاده گردید. سانفتومتر CIMEL، دستگاه

بنظر می‌رسد. اخیراً داده‌های عمق اپتیکی هواویز (AOD^۱) سنجنده مادیس در تحقیقات زیادی استفاده شده است، اما بعلاوه محدودیت‌هایی که محصول استاندارد عمق اپتیکی هواویز مادیس (MOD04) [۲۷] دارد (از قبیل قدرت تفکیک مکانی ۱۰ کیلومتر و محدودیت الگوریتم بکار رفته در آن)، و همچنین قدرت تفکیک مکانی پایین محصول سطح سه آن (MOD08) (حدود ۱۰۰ کیلومتر)، معمولاً اطلاعات دقیقی از AOD در زمان‌های گردوغباری موجود نمی‌باشد. بلال و همکاران [۲۸] به تازگی الگوریتم ساده شده بازیابی هواویز (SARA^۲) را با استفاده از داده‌های رادیانس بالای جو و بازتابندگی سطح سنجنده مادیس توسعه داده‌اند. این الگوریتم قادر به بازیابی AOD با قدرت تفکیک مکانی و زمانی بالا (۱ کیلومتر و روزانه) می‌باشد. بلال و همکاران الگوریتم SARA را در منطقه هنگ کنگ ارزیابی کرده‌اند و نشان دادند که این الگوریتم خصوصیات هواویزها را بهتر از محصول استاندارد مادیس در شرایط بارگذاری کم و زیاد هواویز^۳ بیان می‌کند [۲۸]. علاوه بر این، الگوریتم SARA بدلیل اعمال بر تمامی پیکسل‌های بدون ابر، قادر به بازیابی، به مراتب تعداد پیکسل‌های بیشتری از AOD برای یک منطقه خاص است، درحالی‌که الگوریتم محصول استاندارد مادیس، بعلاوه محدودیت‌هایی که در انتخاب پیکسل‌های تیره دارد، به پیکسل‌های محدودی اعمال می‌گردد [۲۹]. لذا در این تحقیق در کنار داده‌های ایستگاه آئرونت، از SARA AOD نیز برای بررسی خصوصیات اپتیکی هواویز در منطقه خاورمیانه در زمان طوفان گردوغباری جولای ۲۰۰۹ استفاده گردید. مسیر طوفان گردوغباری و مناطقی که احتمالاً منشأ این گردوغبارها هستند نیز توسط آنالیز Back trajectory و با استفاده از مدل HYSPLIT^۴ مورد بررسی قرار گرفت.

در تحقیقات پیشین، اثرات تابشی هواویز بر روی تابش فرودی و تابش خالص موج کوتاه (ARF_{DSSR}) و (ARF_{NSSR})، مستقیماً توسط مدل‌های انتقال تابشی (از قبیل SBDART^۵) و یا مدل پیش بینی عددی وضع هوا (مانند مدل WRF-Chem) و با استفاده از داده‌های زمینی

^۱ Aerosol Optical Depth

^۲ Simplified Aerosol Retrieval Algorithm

^۳ Low and high aerosol loading

^۴ Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory

^۵ Santa Barbara DISORT Atmospheric Radiative Transfer

^۶ Downward Surface Shortwave Radiation

استانداردی است که تابش مستقیم و پراکنده خورشیدی را در محدوده طیفی ۴۴۰ تا ۱۰۲۰ نانومتر در سایت‌های شبکه جهانی آثرونوت اندازه‌گیری می‌نماید [۳۳]. برای اندازه‌گیری توزیع اندازه حجمی هواویز از الگوریتم معکوس استفاده می‌شود، در حالیکه شاخص ضریب شکست، آلبیدوی پراکنش منفرد و پارامتر تقارن از داده‌های طیفی تابش مستقیم و پراکنده بدست می‌آیند. داده‌های آثرونوت در سه سطح، سطح ۱ (پالایش نشده)، سطح ۱/۵ (اثر ابر حذف شده) یا سطح ۲ (کنترل کیفیت شده) ارائه می‌گردند و از طریق وبسایت آثرونوت (<http://aeronet.gsfc.nasa.gov/>) قابل دانلود هستند. در این تحقیق از داده‌های سطح دو عمق اپتیکی هواویز (AOD)، آلبیدوی پراکنش منفرد^۱ (SSA)، پارامتر تقارن^۲ (AP)، شاخص ضریب شکست^۳ (RI) و داده‌های توزیع اندازه حجمی هواویز^۴ (VSD) برای روزهای مورد مطالعه در ماه جولای ۲۰۰۹ (۱، ۲، ۴، ۷ و ۹ جولای) استفاده گردید.

۲-۲- داده‌های سنجنده مادیس

بجز سایت کویت در بقیه سایت‌های مورد مطالعه (اهواز، بغداد، ریاض و خلیج فارس) داده‌های آثرونوت در دسترس نبود. بنابراین در کنار داده‌های آثرونوت از داده‌های سنجنده مادیس نیز استفاده گردید. سنجنده مادیس مستقر بر ماهواره‌های ترا و آکوا که اولی دسامبر ۱۹۹۹ و دومی می ۲۰۰۲ پرتاب شده است و اطلاعات مناسبی را با حساسیت رادیومتریکی بالا (۱۲ بیت) در ۳۶ باند طیفی در محدوده ۰/۴۱ تا ۱۴/۴ میکرون در اختیار کاربران قرار می‌دهد. قدرت تفکیک مکانی سنجنده مادیس در باندهای مختلف از ۲۵۰ متر تا ۱ کیلومتر تغییر می‌کند. علاوه بر این محصولات متعددی در رابطه با جو، سطح زمین و پدیده‌های اقیانوسی فراهم می‌نماید. محصول سطح یک رادیانس بالای جو MOD02، سطح یک موقعیت جغرافیایی MOD03، سطح دو بخار آب MOD05، سطح دو پروفایل جو MOD07 و سطح سه آلبیدوی سطح MOD43B3 سنجنده مادیس ماهواره ترا، از مرکز هوایی

گودارد^۵ و سیستم توزیع و بایگانی جوی^۶ ناسا برای روزهای مورد مطالعه استخراج گردیدند (<http://ladsweb.nascom.nasa.gov>). محصولات مختلف داده‌های مادیس و پارامترهای مورد استفاده، به همراه قدرت تفکیک مکانی آنها در جدول ۱ مشاهده می‌شود.

جدول ۱- محصولات داده‌های مادیس مورد استفاده در این تحقیق

محصول مادیس	نام اختصاری	قدرت تفکیک مکانی	پارامترهای مورد استفاده	الگوریتم
رادیانس	MOD02	۱ کیلومتر	باند سبز رادیانس بالای جو	SARA
موقعیت جغرافیایی	MOD03	۱ کیلومتر	ارتفاع، زوایای زینتی و آزیموتی	اقبال و SARA
بخار آب	MOD05	۱ کیلومتر	میزان بخار آب	اقبال
پروفایل جو	MOD07	۱ کیلومتر	میزان ازن	اقبال
بازتابندگی سطح	MOD09	۱ کیلومتر	باند سبز بازتابندگی سطح	SARA
آلبیدوی سطح	MOD43B3	۱ کیلومتر	آلبیدوی White-sky و Black-sky	محاسبه تابش خالص

۲-۳- مشاهدات ماهواره‌ای مسیریاب مادون قرمز و لیدار ابر-هواویز (CALIPSO)

CALIPSO، در تاریخ ۲۸ آوریل ۲۰۰۶ پرتاب گردید و هدف آن مطالعه اثرهای تابشی هواویزها و ابرها بر روی اقلیم است. CALIPSO در واقع یک لیدار با پلاریزاسیون قائم (CALIOP)^۷ است که در دو طول موج (۵۳۲ و ۱۰۶۴ نانومتر) ویژگی‌های ابر و هواویز را اندازه‌گیری می‌کند و اطلاعات مفیدی از قبیل توزیع قائم هواویزها و ابرها، فازهای ذرات ابر و طبقه بندی اندازه ذرات هواویز فراهم می‌نماید [۳۴-۳۶].

^۵ Goddard Space Flight Center (GSFC)

^۶ Atmosphere Archive and Distribution System (LAADS)

^۷ Cloud-Aerosol Lidar and Infrared Pathfinder Satellite Observation

^۸ Cloud-Aerosol Lidar with Orthogonal Polarization

^۱ Single Scattering Albedo

^۲ Asymmetry Parameter

^۳ Refractive Index

^۴ Volume Size Distribution

۲-۵- بازتابی تابش فرودی موج کوتاه خورشیدی (DSSR^۳) با استفاده از مدل اقبال

مدل پارامتری اقبال به همراه محصولات زمینی و جو مادیس برای محاسبه تابش موج کوتاه در سطح در شرایط آسمان بدون ابر، مورد استفاده قرار گرفت. تابش مستقیم فرودی موج کوتاه خورشیدی (I_{dir}) بر حسب اجزای مختلف جو با استفاده از معادله (۲) محاسبه می‌گردد.

$$I_{dir} = I_0 \cos(\theta) \times 0.9751 \times T_R T_G T_O T_W T_A \quad (2)$$

که I_0 تابش خورشیدی بالای جو، θ زاویه زینتی خورشیدی، T_R گذردهی پراکنش ریلی، T_G گذردهی جذب گازهای مخلوط (دی اکسید کربن و اکسیژن)، T_O گذردهی جذب ازن، T_W گذردهی جذب بخار آب و T_A گذردهی جذب و پراکنش هواویز است [۳۲]. تابش پراکنده فرودی موج کوتاه خورشیدی (I_{dif}) از طریق روابط (۳ و ۴) بدست می‌آید.

$$I_{dif} = I_{as} + \alpha r_s (I_{dir} + I_{as}) / (1 - \alpha r_s) \quad (3)$$

$$I_{as} = I_0 \cos(\theta) \times 0.79 \times T_G T_O T_W T_{AA} \times \frac{0.5(1 - T_R) + g(1 - T_{AS})}{1 - m_a + m_a^{1.02}} \quad (4)$$

که I_{as} تابش فرودی موج کوتاه ناشی از پراکنش ریلی و هواویز، T_{AA} گذردهی جذب هواویز، T_{AS} گذردهی پراکنش هواویز، g پارامتر تقارن، m_a توده هوای اصلاح شده برای فشارهای مختلف، α آلبیدوی سطح و r_s آلبیدوی جو می‌باشد. T_{AS} و T_{AA} نیز از طریق روابط (۵ و ۶) تعریف می‌گردند.

$$T_{AA} = 1 - K_l(1 - m_r + m_r^{1.06})(1 - T_A) \quad (5)$$

$$T_{AS} = T_A / T_{AA} \quad (6)$$

که m_r توده هوای نسبی، K_l ضریب جذب هواویز می‌باشد و تقریباً برابر $1 - \omega_0$ است ω_0 آلبیدوی پراکنش منفرد است. در نهایت تابش کل فرودی موج کوتاه خورشیدی (مستقیم بعلاوه پراکنده)، DSSR از رابطه (۷) بدست می‌آید.

۲-۴- بازتابی AOD با استفاده از الگوریتم SARA

الگوریتم SARA (معادله ۱) بر اساس هندسه دید است و طیف وسیعی از شرایط و انواع هواویزها را دربر می‌گیرد [۲۳، ۲۴]. این الگوریتم همچنین دارای سه فرض است: (۱) سطح لامبرتی است، (۲) تقریب پراکنش منفرد^۱ و (۳) آلبیدوی پراکنش منفرد و پارامتر تقارن در روز بازتابی و بر فراز یک منطقه وسیع تغییر نمی‌کنند [۲۸].

$$\tau_{a,\lambda} = \frac{4\mu_s\mu_v}{\omega_0 P_a(\theta_s, \theta_v, \phi)} \left[\rho_{TOA}(\lambda, \theta_s, \theta_v, \phi) - \rho_{Ray}(\lambda, \theta_s, \theta_v, \phi) \right] - \frac{e^{-(\tau_R + \tau_{a,\lambda})/\mu_s} e^{-(\tau_R + \tau_{a,\lambda})/\mu_v} \rho_s(\lambda, \theta_s, \theta_v, \phi)}{1 - \rho_s(\lambda, \theta_s, \theta_v, \phi) (0.92\tau_R + (1 - g)\tau_{a,\lambda}) \exp[-(\tau_R + \tau_{a,\lambda})]} \quad (1)$$

که $\tau_{a,\lambda}$ عمق اپتیکی طیفی هواویز، τ_R عمق اپتیکی ریلی، ρ_{TOA} بازتابندگی بالای جو، ρ_s بازتابندگی سطح، ρ_{Ray} بازتابندگی ریلی، P_a تابع فاز هواویز، ω_0 آلبیدوی پراکنش منفرد، g پارامتر تقارن، μ_s کسینوس زاویه زینتی خورشید، μ_v کسینوس زاویه زینتی سنجنده، θ_s زاویه زینتی خورشید، θ_v زاویه زینتی سنجنده، ϕ زاویه آزیموت نسبی و λ طول موج (در این الگوریتم $\lambda = 550$ نانومتر، باند سبز مادیس) می‌باشد. زوایای زینتی خورشید و سنجنده و زاویه آزیموت نسبی براحتی از محصول MOD03 مادیس بدست می‌آیند. بازتابندگی بالای جو و بازتابندگی سطح نیز بترتیب از محصول MOD02 و MOD09 مادیس استخراج می‌شوند. عمق اپتیکی ریلی عمدتاً وابسته به فشار محیط و ارتفاع زمین است و از طریق معادله پیشنهاد شده توسط لی یانگ [۳۷] و محصول MOD03 محاسبه می‌شود. بازتابندگی ریلی^۲ نیز تابع عمق اپتیکی ریلی بوده و به آسانی قابل محاسبه می‌باشد. تابع فاز هواویز، بیانگر توزیع زاویه‌ای نور پراکنش شده توسط ذرات است و با استفاده از روش single-term Henyey-Greenstein محاسبه می‌گردد [۳۸]. تابع فاز هواویز وابسته به آلبیدوی پراکنش منفرد و پارامتر تقارن است و با فرض اینکه این دو پارامتر برای منطقه وسیعی تغییر زیادی نمی‌کنند، لذا در این تحقیق از ω_0 و g استخراج شده از ایستگاه آژرونت دانشگاه کویت، برای تمامی سایت‌های مورد مطالعه استفاده شد.

^۱ single scattering approximation

^۲ Rayleigh reflectance

^۳ Downward Surface Shortwave Radiation

$$DSSR = I_{dir} + I_{dif} = \frac{I_{dir} + I_{as}}{1 - \alpha r_s} \quad (7)$$

برای محاسبه تابش فرودی موج کوتاه با استفاده از مدل اقبال، SARA AOD به همراه محصولات جو و زمین مادیس (بخار آب، ازن، زاویه زنیستی خورشید) مورد استفاده قرار گرفتند (جدول ۱).

۲-۶- محاسبه اثرات تابشی هواویز بر روی تابش فرودی و تابش خالص موج کوتاه خورشیدی

برای محاسبه اثر تابشی هواویز بر روی تابش فرودی موج کوتاه ابتدا تابش لحظه‌ای فرودی موج کوتاه با استفاده از رابطه ارائه شده توسط بیش^۱ و همکاران [۳۹]، [۳۹]، به میانگین روزانه تابش فرودی موج کوتاه تبدیل می‌شود. سپس با استفاده از رابطه (۸)، اثر تابشی هواویز بر روی میانگین روزانه تابش فرودی محاسبه می‌گردد.

$$ARF_{DSSR} = DSSR - DSSR^0 \quad (8)$$

که $DSSR$ میانگین روزانه تابش موج کوتاه در حضور هواویز و $DSSR^0$ میانگین روزانه تابش موج کوتاه در شرایط عدم حضور هواویز (یعنی $AOD=0.1$) است. اثر تابشی هواویز بر روی میانگین روزانه تابش خالص نیز با استفاده از معادله (۹) محاسبه می‌شود.

$$ARF_{NSSR} = (1 - \alpha) \times ARF_{DSSR} \quad (9)$$

که α آلبدوی سطح است و از طریق محصول آلبدوی مادیس و معادله (۱۰) بدست می‌آید [۴۰].

$$\text{Surface albedo } (\alpha) = WSA * DSF + BSA(1 - DSF) \quad (10)$$

که WSA آلبدوی White-sky بیانگر وضعیت تابش کاملاً پراکنده (یعنی آسمان کاملاً ابری)، BSA آلبدوی Black-sky بیانگر وضعیت تابش کاملاً مستقیم (آسمان کاملاً صاف) می‌باشد. DSF سهم تابش پراکنده آسمان (تابعی از AOD و زاویه زنیستی خورشید است). DSF با استفاده look-up table تهیه شده توسط تیم زمینی مادیس بدست می‌آید

[۴۱]. آلبدوی White-sky و آلبدوی Black-sky را می‌توان از محصول MOD43B3 سنجنده مادیس بدست آورد.

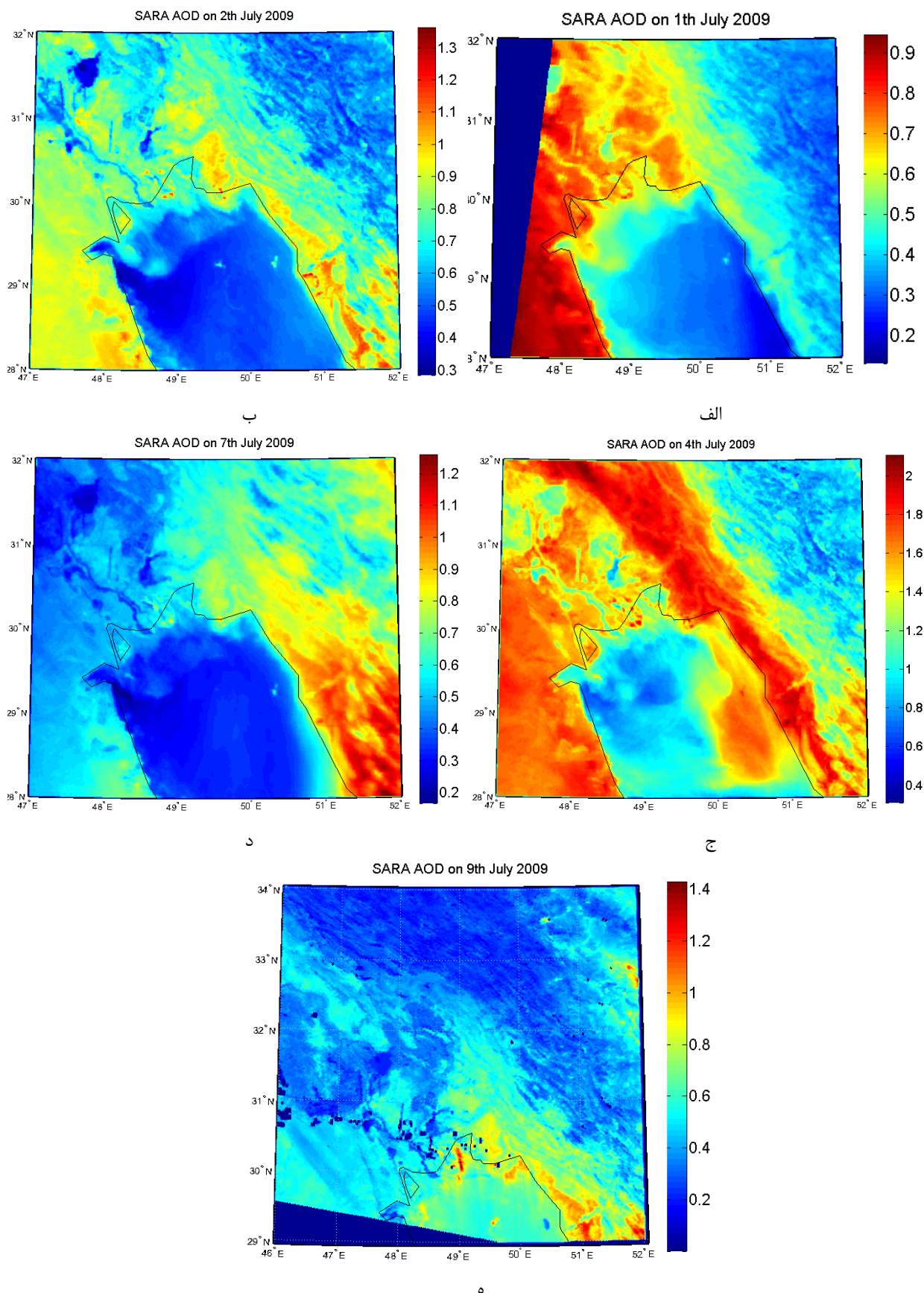
۳- تجزیه و تحلیل نتایج

۳-۱- تغییرات AOD در زمان طوفان گردوغباری

تغییرات AOD در زمان طوفان گردوغباری جولای ۲۰۰۹، برای نقاط مختلفی در منطقه خاورمیانه از جمله کویت، اهواز (ایران)، خلیج فارس، بغداد (عراق) و ریاض (عربستان سعودی)، با استفاده از SARA AOD و داده‌های آژرونت، مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. شکل ۱ و جدول ۲، AOD بدست آمده توسط الگوریتم SARA در سایت‌های مورد مطالعه، برای روزهای مختلف (۱، ۲، ۴، ۷ و ۹ جولای) را نشان می‌دهد. شکل ۱-الف تا ه، به‌خوبی ورود هواویزهای گردوغباری به منطقه را از سمت غرب نشان می‌دهد، بطوریکه در روزهای ۱ و ۲ جولای گردوغبار با متوسط AOD، ۰/۷ وارد منطقه شده و در روز ۴ جولای به بیشینه مقدار خود (یعنی AOD برابر ۳) می‌رسد و در روزهای ۷ و ۹ جولای با خارج شدن از منطقه، به سمت ایران حرکت کرده و بیشتر نقاط ایران را فرا می‌گیرد. SARA AOD بخوبی ابرهای گردوغباری بوجود آمده در منطقه را در روزهای ۲ و ۴ جولای نشان می‌دهد.

بیشینه AOD ثبت شده در روز ۴ جولای رخ داد، بطوریکه در این روز، AOD در کویت، اهواز، خلیج فارس، بغداد و ریاض بترتیب به ۱/۴۴، ۲/۵۶، ۱/۰۷، ۳ و ۱/۹۹ رسید (شکل ۱-ج و جدول ۲). روزهای ۱ و ۲ جولای نیز در بیشتر نقاط مورد مطالعه (بجز خلیج فارس و کویت)، AOD بالایی را نشان داد. درحالیکه در روزهای ۷ و ۹ جولای، AOD مقادیر پایین‌تری داشت. بر اساس AOD بدست آمده در سایت دانشگاه کویت، روزهای ۲ و ۴ جولای بعنوان روزهای گردوغباری و روزهای ۱، ۷ و ۹ جولای به‌عنوان روزهای غیر گردوغباری تعیین گردیدند. شکل ۲-الف و ب، تغییرات AOD را در روزهای گردوغباری بر اساس داده‌های سطح دو آژرونت دانشگاه کویت، نشان می‌دهد. تغییرات AOD در روز ۲ جولای از ۰/۷۹ تا ۱/۰۷ با میانگین ۰/۹۷ و در روز ۴ جولای از ۱/۰۹ تا ۱/۷۶ با میانگین ۱/۴۴ است.

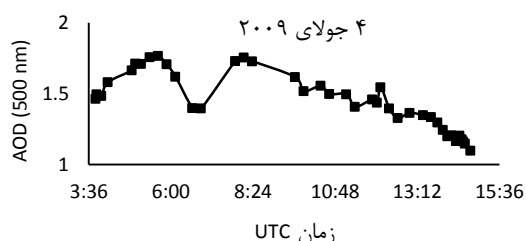
^۱ Bisht



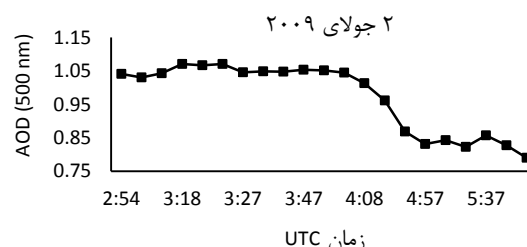
شکل ۱- تغییرات مکانی و زمانی عمق اپتیکی هواویز (AOD) بدست آمده از الگوریتم SARA در منطقه مورد مطالعه

جدول ۲- عمق اپتیکی هواویز (AOD) بدست آمده از الگوریتم SARA در روزهای مورد مطالعه در سایت‌های کویت، اهواز، خلیج فارس، بغداد و ریاض

روز	سایت (مختصات)	۱ جولای	۲ جولای	۴ جولای	۷ جولای	۹ جولای
کویت (۲۹/۳۲ شمالی و ۴۷/۹۷ شرقی)	۰/۶۸	۰/۷۸	۱/۴۴	۰/۴۳	۰/۴۵	
اهواز (۳۱/۱۴ شمالی و ۴۹/۰۷ شرقی)	۰/۷۰	۰/۹۱	۲/۵۶	۰/۶۴	۰/۶۳	
خلیج فارس (۲۹/۴۳ شمالی و ۴۹/۶۶ شرقی)	۰/۳۳	۰/۴۷	۱/۰۷	۰/۳۲	۰/۶۰	
بغداد (۳۳/۳۳ شمالی و ۴۹/۰۷ شرقی)	۲/۱	۰/۷۸	۳/۰۰	۰/۲۰	۰/۱۸	
ریاض (۲۴/۶۳ شمالی و ۴۶/۷۱ شرقی)	۰/۹۰	۰/۶۴	۱/۹۹	۰/۴۱	۰/۳	



ب



الف

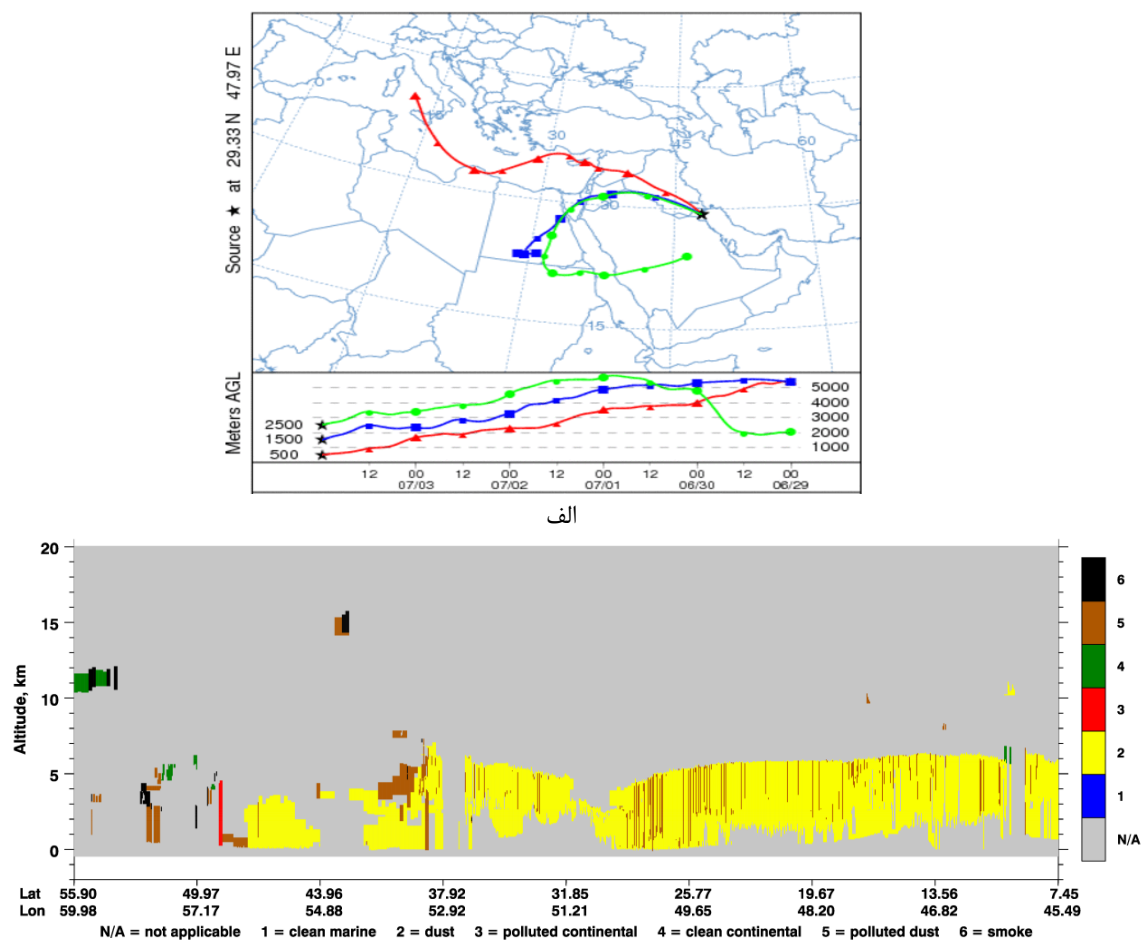
شکل ۲- تغییرات روزانه AOD در ایستگاه آئرونت کویت برای روزهای گردوغباری (الف) - ۲ جولای، (ب) - ۴ جولای

عمده غبار را در منطقه خاورمیانه شناسایی نمودند (که شامل سودان، عربستان سعودی و بخشی از عراق و ایران هستند) و نشان دادند که هریک از این چشمه‌ها در طی رویداد غبار، نقش‌های متفاوتی دارند.

شکل ۳- ب پروفایل ارتفاعی هواویز که توسط مشاهدات ماهواره‌ای CALIPSO در روز ۴ جولای ۲۰۰۹ اندازه‌گیری شده است را نمایش می‌دهد. در این شکل لایه گردوغباری در منطقه مورد مطالعه بخوبی نشان داده شده است. هواویز تشخیص داده شده توسط CALIPSO در منطقه مورد مطالعه از نوع گردوغبار و گردوغبار آلوده^۱ (هواویزهای انسانی) است. اما هواویزهای از نوع گردوغبار در مقایسه با هواویزهای انسانی غلبه بیشتری دارد. پروفایل هواویز CALIPSO، لایه ضخیمی از گردوغبار که از سطح زمین تا ارتفاع حدود ۶ کیلومتر گسترده شده است را نشان می‌دهد.

سرچشمه طوفان‌های گردوغباری و مسیر پیموده شده قبل از رسیدن به منطقه مورد مطالعه، از طریق محاسبه مسیرهای پیموده شده توده هوا، ۵ روز پیش از وقوع طوفان (Five day back-trajectories) با استفاده از مدل HYSPLIT [۴۲] مورد بررسی و آنالیز قرار گرفت. داده‌های هواشناسی مورد استفاده در این مدل، مجموعه داده‌هایی است که توسط مرکز ملی آمریکا جمع‌آوری گردیده است. نظر به اینکه AOD بیانگر میزان ستونی محتویات هواویز می‌باشد، لذا مدل‌های back-trajectory در سه سطح ارتفاعی مختلف (۵۰۰، ۱۵۰۰ و ۲۵۰۰) اجرا می‌گردند. آنالیز back-trajectory اجرا شده توسط مدل HYSPLIT در منطقه مورد مطالعه نشان داد که منشأ توده هوای رسیده به منطقه عمدتاً از بخش غربی Sahara Desert در شمال غربی آفریقا و عربستان سعودی در خاورمیانه بوده و این توده هوا در سوریه و عراق تقویت شده و وارد کویت و سپس از مناطق جنوب و جنوب غربی وارد ایران شده است (شکل ۳- الف). رضا زاده و همکاران [۱۳]، برای طوفان غبار جولای ۲۰۰۹، چهار چشمه

^۱ polluted dust



ب
 شکل ۳- (الف) مسیره‌های پی‌موده شده توده هوا، ۵ روز پیش از وقوع طوفان (Five day back-trajectories) در سایت کویت. (ب) طبقه‌بندی هواویز، بازپایی شده توسط CALIPSO در منطقه مورد مطالعه

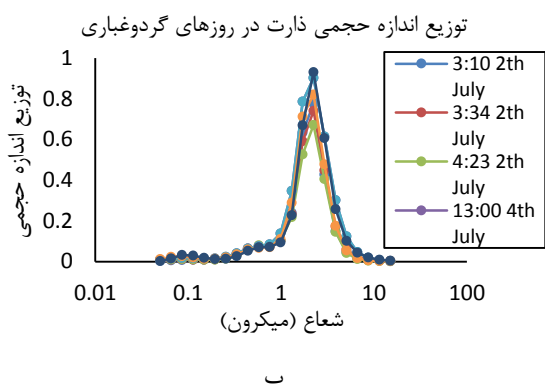
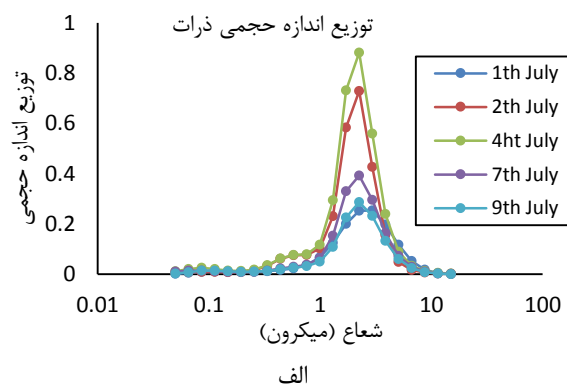
۳-۲- توزیع اندازه حجمی (VSD) هواویز

به علت اثر تابشی که ذرات هواویز می‌توانند روی اقلیم داشته باشند، توزیع اندازه حجمی (VSD) هواویز حائز اهمیت می‌باشد. VSD هواویز در ایستگاه آئرونوت دانشگاه کویت برای جولای ۲۰۰۹ و در ۲۲ شعاع مختلف (۱۵-۰/۰۵ میکرون) اندازه‌گیری شد.

تغییرات VSD هواویز آئرونوت در روزهای مورد مطالعه در جولای ۲۰۰۹، بوضوح تمایز بین روزهای گردوغباری (۲ و ۴ جولای) و غیر گردوغباری (۱، ۷ و ۹ جولای) را نشان می‌دهد (شکل ۴-الف). همانطور که در شکل مشخص است، دو نقطه اوج، یکی بین شعاع‌های ۰/۰۵ و ۰/۲۵ و دیگری بین ۰/۲۵ و ۱۰ میکرون وجود دارد، این نقاط اوج، بیانگر دو حالت (ریز و درشت دانه) برای تمامی توزیع اندازه ذرات هستند. توزیع اندازه ذرات حالت درشت دانه (۰/۲۵ تا ۱۰ میکرون) برای روزهای گردوغباری در

مقایسه با روزهای غیر گردوغباری، یک افزایش قابل توجه در حجم ذرات را نشان می‌دهد که بیانگر وجود ذرات گردوغباری معدنی بدلیل طوفان گردوغباری است. علاوه بر اندازه شعاع‌هایشان، خصوصیات دیگر ذرات هواویز نیز می‌تواند علت ایجاد نقاط اوج مختلف در روزهای گردوغباری و غیر گردوغباری باشد. ارتفاع نقاط اوج، با افزایش AOD ناشی از طوفان گردوغبار، بتدریج افزایش می‌یابد. ماکزیمم مقدار VSD هواویز در روزهای گردوغباری در شعاع‌های ۱/۷ و ۲/۲۴ رخ داده است، بطوریکه ارتفاع نقاط اوج در این دو شعاع به ۰/۷۳ و ۰/۸۸ می‌رسد. این مقادیر بدست آمده، مشابه نتایج گزارش شده توسط پراساد و سینک [۱۲] در طوفان‌های گردوغباری بین سال‌های ۲۰۰۱ و ۲۰۰۵ در دشت‌های Indo-Gangetic است. نقاط اوج در روزهای گردوغباری (۲ و ۴ جولای) تیز هستند، اما در روزهای غیر گردوغباری (۷ و ۹ جولای) نسبتاً مسطح هستند.

شکل ۴-ب تغییرات روزانه VSD ذرات هواویز، در ایستگاه آثرونیت برای روزهای گردوغباری (۲ و ۴ جولای) را نمایش می‌دهد. مقادیر VSD هواویز در حالت درشت دانه، در ساعتهای بعدازظهر نسبتاً بزرگتر از ساعتهای صبح هستند، در مقابل در حالت ریز دانه مقادیر VSD هواویز در ساعتهای صبح به مقدار کمی بیشتر از ساعتهای



شکل ۴- (الف) توزیع اندازه حجمی ذرات هواویز آثرونیت در ایستگاه آثرونیت کویت برای روزهای گردوغباری و غیرگردوغباری (ب) تغییرات روزانه توزیع اندازه حجمی ذرات هواویز در ایستگاه آثرونیت برای روزهای ۲ و ۴ جولای

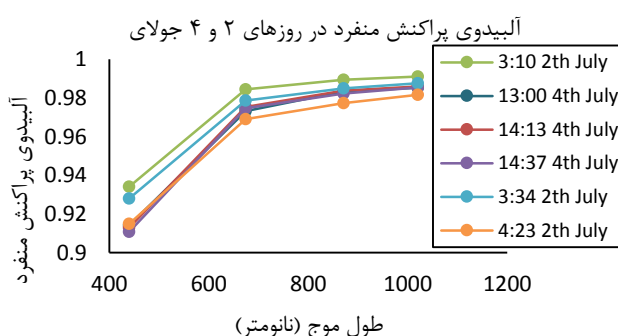
۳-۳- آلبیدوی پراکنش منفرد (SSA) و پارامتر تقارن (AP)

SSA و AP، از عوامل بسیار مهم و تأثیرگذار در تعیین اثرات تابشی هواویزها هستند [۴۳]. SSA، نسبت تضعیف تابش خورشیدی ناشی از پراکنش به تضعیف تابش ناشی از پراکنش و جذب ذرات گردوغباری است. SSA اطلاعات با ارزشی را در رابطه با ویژگی‌های جذب و پراکنش هواویزها فراهم می‌نماید. تأکید این مقاله بیشتر روی ویژگی‌های اپتیکی هواویزها و اثرات آن روی تابش خورشیدی در زمان طوفان گردوغباری در منطقه خاورمیانه است. بنابراین برای تعیین اندازه تغییرات این ویژگی‌ها در طوفان گردوغباری رخ داده در این منطقه در جولای ۲۰۰۹ و اثرات تابشی آنها، از داده‌های اندازه‌گیری شده در ایستگاه آثرونیت دانشگاه کویت استفاده گردید. شکل ۵-الف تغییرات طیفی SSA در روزهای گردوغباری و غیر گردوغباری را نشان می‌دهد. SSA در روزهای گردوغباری در مقایسه با روزهای غیر گردوغباری برای همه طول موج‌ها، مقادیر بالاتری داشته و این افزایش در طول موج‌های ۶۷۴، ۸۷۱ و ۱۰۲۰ نانومتر در مقایسه با طول موج ۴۴۰ نانومتر محسوس‌تر است. تغییرات SSA در روزهای غیرگردوغباری بین ۰/۸۸ و ۰/۹۶ و در روزهای گردوغباری بین ۰/۹۱ و ۰/۹۹ است. بیشینه

بعدازظهر است. نقطه اوج VSD هواویز ۰/۹۳ بوده و در شعاع ۲/۲۴ در ساعتهای بعدازظهر اتفاق افتاد. مقدار VSD هواویز در حالت درشت دانه، در روزهای طوفان گردوغباری حدود ۲ تا ۴ برابر روزهای غیر گردوغباری بود، در حالیکه تغییر قابل توجهی در حالت ریز دانه مشاهده نگردید.

مقدار SSA، ۰/۹۹ و در طول موج ۱۰۲۰ نانومتر است. SSA با بیشتر شدن طول موج، افزایش می‌یابد بنابراین SSA به طول موج بستگی دارد و این افزایش در هر دو شرایط گردوغباری و غیر گردوغباری دیده می‌شود. افزایش SSA با بیشتر شدن طول موج، بیانگر این است که هرچه اندازه ذرات هواویز بزرگتر گردد، خاصیت پراکنش آنها در مقایسه با جذب غلبه بیشتری دارد [۴۴]. تغییرات روزانه SSA در روزهای گردوغباری (۲ و ۴ جولای) در شکل ۵-ب نمایش داده شده است. اختلاف طیفی $SSA = SSA_{1020\text{ nm}} - SSA_{440\text{ nm}}$ برای روزهای گردوغباری ۲ و ۴ جولای بترتیب ۰/۰۶۶ و ۰/۰۷۲ بدست آمد. دوبویک و همکاران [۴۵] اختلاف طیفی بزرگتر از ۰/۰۵۰ را برای ذرات گردوغباری معدنی بدست آوردند. الم و همکاران [۲] نیز ΔSSA را برای روزهای گردوغباری ۰/۰۷۳ و ۰/۰۷۴ محاسبه نمودند. نتایج بدست آمده در تحقیق حاضر، قابل مقایسه با نتایج دوبویک و الم است. بیشینه مقدار SSA (۰/۹۹) در روز گردوغباری ۴ جولای و در طول موج ۱۰۲۰ نانومتر بدست آمد. بیشینه SSA گزارش شده توسط الم و همکاران [۲]، ۰/۹۸ و ۰/۹۹ بود که مشابه نتیجه بدست آمده در تحقیق حاضر است.

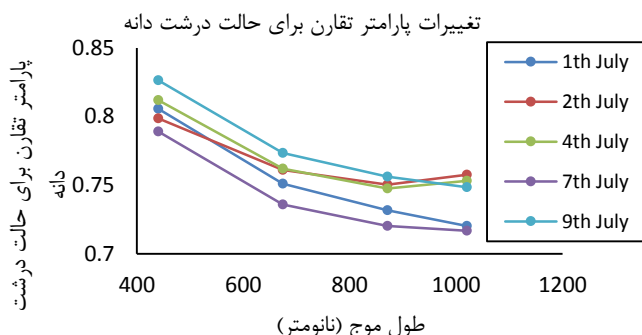
مطالعه (گردوغباری و غیرگردخاکی)، با افزایش طول موج از ۴۴۰ نانومتر تا ۸۷۱ نانومتر، کاهش می‌یابد. در روزهای گردوغباری پارامتر تقارن از ۸۷۱ تا ۱۰۲۰ نانومتر افزایش و در روزهای غیرگردوغباری کاهش می‌یابد. تغییرات روزانه پارامتر تقارن کلی در روزهای گردوغباری (۲ و ۴ جولای) در شکل ۵-ه نشان می‌دهد که تغییرات در این دو روز مشابه همدیگر هستند. تعیین تغییرات روزانه AOD، توزیع اندازه حجمی هواویز، SSA و AP برای محاسبه اثر تابشی هواویزهای گردوغباری، بسیار مهم هستند. بطوریکه تغییر به اندازه ۰/۱ در AOD می‌تواند منجر به تغییر ۱۰ وات بر متر مربع در تابش فرودی موج کوتاه خورشیدی در سطح گردد [۴۶].



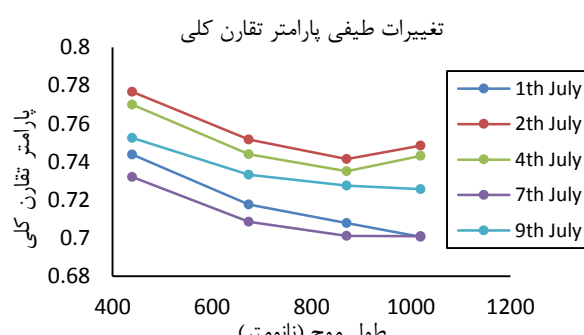
ب



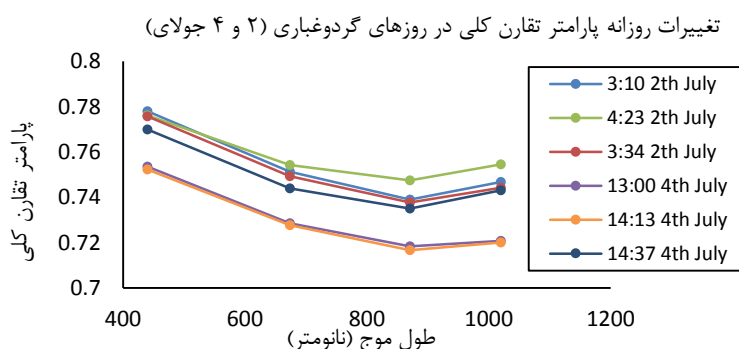
الف



د



ج



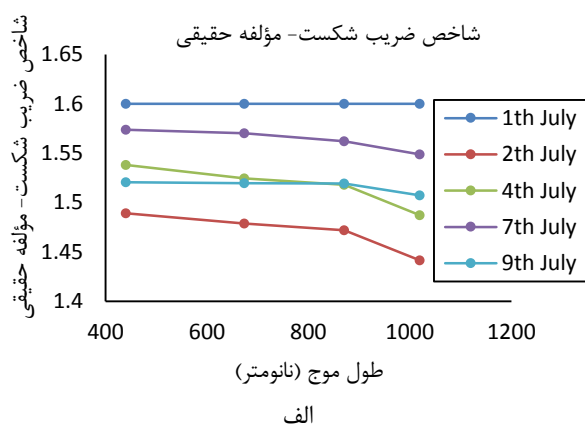
ه

شکل ۶- تغییرات طیفی (الف) آلبیدوی پراکنش منفرد، (ج) پارامتر تقارن حالت کلی و (د) پارامتر تقارن حالت درشت دانه، استخراج شده از ایستگاه آئرونوت کویت در روزهای گردوغباری و غیر گردوغباری. تغییرات روزانه (ب) آلبیدوی پراکنش منفرد و (ه) پارامتر تقارن حالت کلی در روزهای ۲ و ۴ جولای

۳-۴- شاخص ضریب شکست (RI)

مؤلفه‌های حقیقی و مجازی ضریب شکست، اطلاعات مفیدی درباره انواع هواویزها (پراکنش یا جذب)، در اختیار کاربران قرار می‌دهند. بالا بودن مقدار مؤلفه حقیقی نشان‌دهنده اینست که هواویزها از نوع پراکنش کننده و بالا بودن مقدار مؤلفه مجازی بیانگر حضور نوع جذب کننده هواویزها است [۴۳، ۴۷]. مقادیر RI گزارش شده برای ذرات گردوغباری معدنی، 1.5 ± 0.05 برای مؤلفه حقیقی و حدود 0.006 برای مؤلفه مجازی است [۴۸-۵۰]. شکل ۶ الف و ب، مؤلفه‌های حقیقی و مجازی RI در طول موج‌های ۴۴۰، ۶۷۴، ۸۷۱ و ۱۰۲۰ نانومتر را در ایستگاه آئرونت دانشگاه کویت نشان می‌دهد. مقادیر مؤلفه‌های حقیقی در روز گردوغباری (۴ جولای) در طول موج‌های مذکور بترتیب 1.53 ، 1.52 ، 1.51 و 1.48 بدست آمد. مؤلفه‌های حقیقی در روزهای گردوغباری در محدوده طیفی طول‌موج‌های کوتاه‌تر، مقادیر بالاتری داشته و این نشان‌دهنده حضور عمده ذرات گردوغباری معدنی و همچنین بیانگر حضور هواویزها با خاصیت پراکنش‌کنندگی بالا، می‌باشد. مؤلفه‌های حقیقی بدست آمده در این تحقیق، مطابقت خوبی با نتایج گزارش شده در [۴۳، ۲] دارند. مؤلفه مجازی بیانگر ویژگی جذبی ذرات است [۵۱]. مقادیر مؤلفه‌های مجازی در منطقه مورد مطالعه در این تحقیق، در روز گردوغباری ۴ جولای و برای طول موج‌های ۴۴۰، ۶۷۴، ۸۷۱ و ۱۰۲۰ نانومتر بترتیب 0.00323 ، 0.00124 ، 0.00103 و 0.00099 بدست آمد. مقادیر مؤلفه‌های مجازی در روزهای گردوغباری پایین‌تر از مؤلفه‌های حقیقی است، بطوریکه برای روزهای غیر گردوغباری مقادیر بین 0.00349 و 0.00540 و برای روزهای گردوغباری بین 0.00082 و 0.00323 می‌باشد. پایین بودن مقادیر مؤلفه‌های مجازی در روزهای گردوغباری (شکل ۶-ب) نشان‌دهنده خصوصیت غیرجذبی هواویزهای گردوغباری معدنی است. مؤلفه‌های مجازی در روزهای غیر گردوغباری در مقایسه با روزهای گردوغباری مقادیر بالاتری را نشان داد و این بیانگر حضور بیشتر هواویزهای انسانی^۱ (صنعتی و وسایل نقلیه) با خاصیت جذبی در این روزها می‌باشد. تغییرات

کلی RI در منطقه مورد مطالعه نشان‌دهنده غالب بودن هواویزهای گردوغباری معدنی در روزهای گردوغباری در مقایسه با روزهای غیر گردوغباری است.

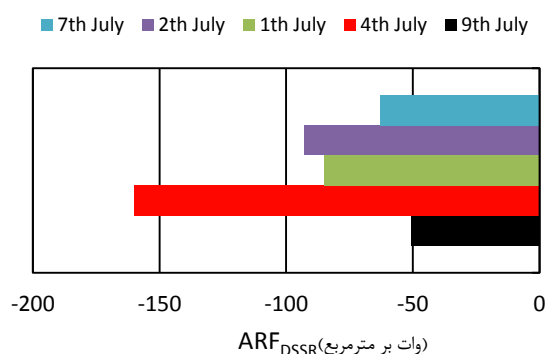


شکل ۶- تغییرات طیفی (الف) مؤلفه‌های حقیقی شاخص ضریب شکست و (ب) مؤلفه‌های مجازی شاخص ضریب شکست، استخراج شده از ایستگاه آئرونت در روزهای گردوغباری و غیر گردوغباری

۳-۵- اثرات تابشی هواویز بر روی تابش فرودی موج کوتاه خورشیدی (ARF_{DSSR})

برای محاسبه ARF_{DSSR} ، یک‌بار تابش فرودی موج کوتاه خورشیدی ($DSSR$) در شرایط جو بدون هواویز (یعنی AOD برابر $0/1$) و بار دیگر در شرایط جو با حضور هواویز (AOD بدست آمده از الگوریتم SARA)، محاسبه شده و با تفاضل این دو $DSSR$ ، اثر تابشی هواویز بر روی تابش فرودی موج کوتاه خورشیدی، ARF_{DSSR} بدست می‌آید. شکل ۷ تغییرات، میانگین روزانه ARF_{DSSR} در ایستگاه آئرونت دانشگاه کویت، برای روزهای مورد مطالعه را نشان می‌دهد. محدوده تغییرات ARF_{DSSR} در روزهای مورد مطالعه بین 0.51 و 1.60 وات بر مترمربع بوده (با مقدار متوسط 0.90 وات بر مترمربع)، و متوسط مقدار برای روزهای گردوغباری 1.26 و برای روزهای

^۱ Anthropogenic aerosols



شکل ۷- اثرات تابشی هواویز بر روی تابش فرودی موج کوتاه خورشیدی، در روزهای گردوغباری و غیر گردوغباری

۳-۶- اثرات تابشی هواویز بر روی تابش خالص موج کوتاه خورشیدی (ARF_{NSSR})

برای محاسبه ARF_{NSSR} نیز، ابتدا تابش خالص موج-کوتاه خورشیدی (NSSR) در شرایط جو بدون هواویز (AOD=0.1) و سپس در شرایط جو با حضور هواویز، بدست آمده و حاصل تفاضل آنها، اثر تابشی هواویز بر روی تابش خالص موج کوتاه خورشیدی یعنی ARF_{NSSR} را بدست می‌دهد. شکل ۸ تغییرات، میانگین روزانه ARF_{NSSR} را در ایستگاه آثرون دانشگاه کویت برای روزهای مورد مطالعه نشان می‌دهد. محدوده تغییرات ARF_{NSSR} در روزهای مورد مطالعه (گردوغباری و غیر گردوغباری) بین ۳۹- تا ۱۲۲- وات بر مترمربع (با مقدار متوسط ۶۹- وات بر مترمربع) بوده، بطوریکه متوسط مقدار برای روزهای گردوغباری ۹۶- و برای روزهای غیر گردوغباری ۵۰- وات بر مترمربع است. ARF_{NSSR} در روزهای گردوغباری (۲ و ۴ جولای) به بیشینه مقدار رسیده است. علت آن نیز مقادیر بالای AOD در روزهای گردوغباری است. الم و همکاران [۲]، ARF_{NSSR} را در لاهور پاکستان در ماه مارس ۲۰۱۲ در روزهای گردوغباری، ۱۶۷- و در روزهای غیر گردوغباری ۹۸- بدست آوردند. پاندیتورای^۲ و همکارانش [۳۰] نیز ARF_{NSSR} را در دهلی نو بین ۳۹- و ۱۰۶- برآورد نمودند. مقادیر بدست آمده در لاهور پاکستان بزرگتر از نتایج تحقیق ما در کویت است و این می‌تواند بعلة مقادیر بالای AOD گزارش شده هم در روزهای گردوغباری و هم غیر گردوغباری (بترتیب ۲ و ۰/۷۵) در ایستگاه لاهور باشد. اما

غیر گردوغباری ۶۶- وات بر مترمربع است. ARF_{DSSR} در روزهای گردوغباری به بیشینه مقدار خود رسیده است. علت آن نیز مقادیر بالای AOD در روزهای گردوغباری است، بطوریکه در روزهای ۲ و ۴ جولای، AOD بترتیب ۰/۹۷ و ۱/۴۴ می‌باشد. مقادیر میانگین ARF_{DSSR} گزارش شده توسط آلباگ^۱ و همکاران [۳۱]، برای رخداد مارس ۲۰۱۲ در منطقه آلباگ^۱ هند، در روزهای گردوغباری و غیر گردوغباری بترتیب ۸۰- و ۵۲- وات بر مترمربع بود. مقدار گزارش شده در روزهای غیر گردوغباری قابل مقایسه با نتایج ما در تحقیق حاضر است در حالیکه مقدار گزارش شده در روزهای گردوغباری کمتر از نتیجه بدست آمده در تحقیق ما است. در تحقیق آهر و همکاران، AOD برای روزهای گردوغباری و غیر گردوغباری بترتیب ۰/۴ و ۱ بود، در حالیکه در تحقیق حاضر ۰/۴۶ و ۱/۴۴ بود. بنابراین مقادیر پایین ARF_{DSSR} در روزهای گردوغباری در آلباگ^۱ هند، می‌تواند بعلة مقدار پایین AOD در مقایسه با تحقیق حاضر باشد. DSSR در روزهای گردوغباری ۲ و ۴ جولای بترتیب ۱۵ و ۲۰ درصد کاهش یافته است و این کاهش منجر به افزایش ۶۶ درصدی ARF_{DSSR} در روزهای گردوغباری شده است. آهر و همکاران [۳۱] نیز افزایش ۵۷ تا ۷۴ درصدی را در منطقه آلباگ^۱ هند گزارش نمودند که تقریباً مشابه مقدار گزارش شده در تحقیق حاضر می‌باشد. ساری‌صراف و همکاران [۱۹] مقدار اثرات تابشی گردوغبار بر روی تابش فرودی موج کوتاه برای رخداد ۱۲ تا ۱۵ آوریل ۲۰۱۱ در منطقه خاورمیانه را ۵۰- وات بر مترمربع بدست آوردند، AOD در ماه آوریل مقادیر پایینی دارد لذا مقدار پایین ARF_{DSSR} در این تحقیق می‌تواند مرتبط با AOD باشد.

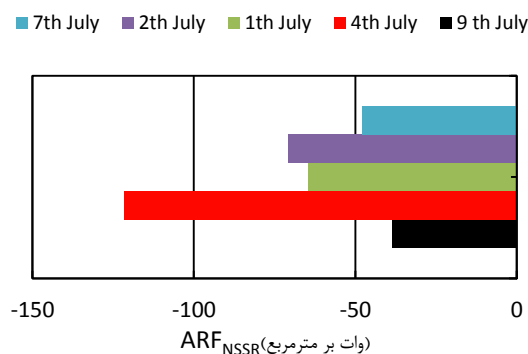
آهر و همکاران [۳۱] از طریق همبستگی بین داده‌های زمینی AOD و اندازه‌گیری‌های زمینی تابش موج کوتاه، ARF_{DSSR} را محاسبه نمودند، ساری‌صراف و همکاران از مدل WRF-Chem برای این منظور استفاده نمودند، در حالیکه در تحقیق حاضر، ARF_{DSSR} با استفاده از روش پیشنهادی (مدل پارامتری اقبال، به همراه AOD بازیابی شده از الگوریتم SARA و داده‌های ماهواره‌ای سنجنده مادیس) بازیابی گردید. مقادیر بدست آمده برای ARF_{DSSR}، کارآیی روش توسعه داده شده در این تحقیق را نشان می‌دهد.

^۲ Pandithurai

^۱ Alibaug

ARF_{NSSR} بدست آمده در دهلی نو تقریباً مشابه تحقیق حاضر است. AOD گزارش شده در دهلی نو در شرایط گردوغباری و غیر گردوغباری، ۱/۲۲ و ۰/۵ است که قابل مقایسه با AOD بدست آمده در تحقیق ما یعنی ۱/۴۴ و ۰/۴۵ هستند. عطایی و همکاران [۱۸]، اثر تابشی هواویز گردوغباری بر روی تابش خالص موج کوتاه در منطقه خاورمیانه را بررسی نموده و مقدار متوسط ۷۷- وات بر مترمربع را برای ماه جولای ۲۰۱۱ برآورد نمودند. این مقدار قابل مقایسه با مقدار متوسط بدست آمده در تحقیق حاضر (۶۹- وات بر مترمربع) است. الم و همکاران [۲] و پاندیتورای و همکارانش [۳۰] برای محاسبه ARF_{NSSR} از مدل انتقال تابشی SBDART و عطایی و همکاران [۱۸]، از مدل پیش بینی عددی هوا، WRF-Chem، استفاده نمودند، درحالیکه در تحقیق حاضر ARF_{NSSR} با استفاده از روش پیشنهادی (مدل پارامتری اقبال، به همراه AOD بازیابی شده از الگوریتم SARA و محصول آلبیدوی سطح و داده‌های جوی مادیس) بدست آمد. روش توسعه داده شده در این مقاله نتایج قابل قبولی را برای محاسبه ARF_{NSSR} ارائه داد.

اثرات تابشی هواویز منجر به کاهش تابش موج کوتاه و تابش خالص در سطح زمین گردید، بنابراین حضور گردوغبار در جو و برهمکنش آن (جذب و پراکنش) با تابش موج کوتاه می‌تواند باعث سرد شدن سامانه زمین گردد.



شکل ۸- اثرات تابشی هواویز بر روی تابش خالص موج کوتاه خورشیدی، در روزهای گردوغباری و غیر گردوغباری

۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق طوفان گردوغباری رخ داده در منطقه خاورمیانه در جولای ۲۰۰۹ با استفاده از اندازه‌گیری‌های زمینی و داده‌های ماهواره‌ای مورد بررسی و آنالیز قرار

گرفت. داده‌های زمینی از ایستگاه آثرونیت دانشگاه کویت و داده‌های ماهواره‌ای از سنجنده مادیس بدست آمدند. برای بررسی و پایش مسیر طوفان ۵ روز قبل از وقوع در منطقه و همچنین تعیین منشأ طوفان، آنالیز Back-trajectory، توسط مدل HYSPLIT اجرا شد. به علت محدودیت‌های الگوریتمی محصول استاندارد عمق اپتیکی هواویز (AOD) مادیس، در این تحقیق AOD با استفاده از الگوریتم SARA و داده‌های بازتابندگی سطح و بالای جو مادیس، برای روزهای مورد مطالعه با قدرت تفکیک مکانی ۱ کیلومتر، بازیابی گردید. AOD بدست آمده از الگوریتم SARA (SARA AOD) برای بررسی تغییرات مکانی-زمانی AOD در منطقه مورد مطالعه استفاده شد. داده‌های زمینی از قبیل آلبیدوی پراکنش منفرد (SSA)، پارامتر تقارن (AP)، شاخص ضریب شکست (RI) و توزیع اندازه حجمی ذرات (VSD) نیز از ایستگاه آثرونیت استخراج شد و خصوصیات اپتیکی، فیزیکی و تابشی هواویزها براساس این داده‌ها مورد بحث و بررسی قرار گرفت. اثرات تابشی هواویز بر روی تابش فرودی موج کوتاه و تابش خالص موج کوتاه، با استفاده از مدل اقبال و عمق اپتیکی بازیابی شده از الگوریتم SARA، اندازه‌گیری‌های زمینی بدست آمده از ایستگاه آثرونیت (SSA, AP) و محصولات جو و زمین سنجنده مادیس (بخار آب، ازن، زاویه زینتی خورشید و آلبیدوی سطح) برآورد گردید. یافته‌های اصلی حاصل از تحقیق حاضر را می‌توان بطور خلاصه بصورت زیر بیان نمود.

- AOD بدست آمده از الگوریتم SARA، در روز ۴ جولای بیشینه مقدار را در منطقه مورد مطالعه داشت، بطوریکه در این روز، AOD در کویت، اهواز، خلیج فارس، بغداد و ریاض بترتیب به ۱/۴۴، ۲/۵۶، ۱/۰۷، ۳ و ۱/۹۹ رسید.
- SARA AOD بخوبی ابر گردوغباری بوجود آمده در منطقه را در روزهای گردوغباری (۲ و ۴ جولای) نشان داد.
- آنالیز back-trajectory اجرا شده توسط مدل HYSPLIT در منطقه مورد مطالعه نشان داد که منشأ توده هوای رسیده به منطقه عمدتاً از بخش غربی Sahara Desert در شمال غربی آفریقا و عربستان سعودی در خاورمیانه است.
- پروفایل ارتفاعی هواویز اندازه‌گیری شده توسط مشاهدات ماهواره‌ای CALIPSO بیانگر حضور

شرایطی می‌تواند منجر به کاهش دما در بخش زیرین جو در مناطق تحت تأثیر گردوغبار و سرمایش سامانه زمین گردد.

- روش توسعه داده شده در این مقاله با وجود سادگی، نتایج قابل قبولی را برای واداشت تابشی هواویز در زمان‌های طوفان گردوغباری ارائه نمود، بطوریکه ARF_{DSSR} و ARF_{NSSR} بدست آمده در این تحقیق قابل مقایسه با تحقیقات پیشین در منطقه خاورمیانه و جنوب غرب آسیا بودند.

هواویزهای از نوع گردوغبار و گردوغبار آلوده (هواویزهای انسانی) در منطقه است، بطوریکه سهم بیشتری از هواویزها، گردوغبار ناشی از طوفان می‌باشد.

- SSA در روزهای گردوغباری در مقایسه با روزهای غیر گردوغباری برای همه طول موج‌ها، مقادیر بالاتری داشته و بیشینه مقدار SSA، ۰/۹۹ بوده و در طول موج ۱۰۲۰ نانومتر رخ داد.
- بر اثر طوفان گردوغباری رخ داده در منطقه، تابش فرودی موج کوتاه خورشیدی ۱۵ تا ۲۰ درصد کاهش یافته است و این کاهش باعث افزایش ۶۶ درصدی ARF در روزهای گردوغباری شده است. چنین

مراجع

- [1] Alpert, P., Kishcha, P., Shtivelman, A., Krichak, S., and Joseph, J.: 'Vertical distribution of Saharan dust based on 2.5-year model predictions', *Atmospheric Research*, 2004, 70, (2), pp. 109-130
- [2] Xia, X., and Zong, X.: 'Shortwave versus longwave direct radiative forcing by Taklimakan dust aerosols', *Geophysical Research Letters*, 2009, 36
- [3] Golitsyn, G., and Gillette, D.A.: 'Introduction: A joint Soviet-American experiment for the study of Asian desert dust and its impact on local meteorological conditions and climate', *Atmospheric Environment. Part A. General Topics*, 1993, 27, (16), pp. 2467-2470
- [4] Kaufman, Y.J., Tanré, D., and Boucher, O.: 'A satellite view of aerosols in the climate system', *Nature*, 2002, 419, (6903), pp. 215-223
- [5] Miller, R., Tegen, I., and Perlwitz, J.: 'Surface radiative forcing by soil dust aerosols and the hydrologic cycle', *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2004, 109, (D4)
- [6] Prospero, J.M., Ginoux, P., Torres, O., Nicholson, S.E., and Gill, T.E.: 'Environmental characterization of global sources of atmospheric soil dust identified with the Nimbus 7 Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) absorbing aerosol product', *Rev. Geophys*, 2002, 40, (1), pp. 1002
- [7] Ramanathan, V., Crutzen, P., Kiehl, J., and Rosenfeld, D.: 'Aerosols, climate, and the hydrological cycle', *science*, 2001, 294, (5549), pp. 2119-2124
- [8] Tegen, I., Lacis, A.A., and Fung, I.: 'The influence on climate forcing of mineral aerosols from disturbed soils', *Nature*, 1996, 380, (6573), pp. 419-422
- [9] Mishra, S.K., and Tripathi, S.: 'Modeling optical properties of mineral dust over the Indian Desert', *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2008, 113, (D23)
- [10] Alpert, P., Kaufman, Y., Shay-El, Y., Tanre, D., Da Silva, A., Schubert, S., and Joseph, J.: 'Quantification of dust-forced heating of the lower troposphere', *Nature*, 1998, 395, (6700), pp. 367-370
- [11] Alam, K., Trautmann, T., Blaschke, T., and Subhan, F.: 'Changes in aerosol optical properties due to dust storms in the Middle East and Southwest Asia', *Remote Sensing of Environment*, 2014, 143, pp. 216-227
- [12] Prasad, A.K., Singh, S., Chauhan, S., Srivastava, M.K., Singh, R.P., and Singh, R.: 'Aerosol radiative forcing over the Indo-Gangetic plains during major dust storms', *Atmospheric Environment*, 2007, 41, (29), pp. 6289-6301
- [13] Rezazadeh, M., Irannejad, P., and Shao, Y.: 'Dust emission simulation with the WRF-Chem model using new surface data in the Middle East region', *Journal of the EARTH AND SPACE PHYSICS*, 2012, 39, (1), pp. 191-212, (In Persian).
- [14] Husar, R.B., Tratt, D., Schichtel, B.A., Falke, S., Li, F., Jaffe, D., Gasso, S., Gill, T., Laulainen, N.S., and Lu, F.: 'Asian dust events of April 1998', *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2001, 106, (D16), pp. 18317-18330
- [15] Middleton, N.: 'A geography of dust storms in South-west Asia', *Journal of Climatology*, 1986, 6, (2), pp. 183-196

- [16] Zolfaghari, H., MASOUMPOUR, S.J., SHAYGAN, M.S., and AHMADI, M.: 'A Synoptic Investigation of Dust Storms in Western Regions of Iran during 2005-2010 (A Case Study of Widespread Wave in July 2009)', 2011
- [17] Mashayekhi, R., Iran Nejad, P., and AliAkbari-Bidokhti, A.A.: 'The simulation of aerosols and its radiative forcing using the new coupled system of aerosol HAM model with the Weather Research and Forecasting (WRF) model', Journal of the EARTH AND SPACE PHYSICS, 2009, 31, (2), pp. 91-107, (in Persian).
- [18] Ataie, F., Irannejad, P., Mazareh-Farahani, M., and Alizade-Chobari, O.: 'Study of short-wave radiative forcing by dust in Middle East'. Proc. Geophysics, Tehran, 13-15 May 2014.
- [19] SariSarraf, B., Rasouli, A.A., Zarrin, A., and Najafi, m.s.: 'Simulation of radiative forcing of Middle Eastern mineral dust on Western Iran', GEOGRAPHY AND ENVIRONMENTAL HAZARDS, 2016, 6, (21), (In Persian).
- [20] Charlson, R.J., and Heintzenberg, J.: 'Aerosol forcing of climate' (John Wiley & Sons New York, NY, 1995)
- [21] Hansen, J., Sato, M., and Ruedy, R.: 'Radiative forcing and climate response', Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 1997, 102, (D6), pp. 6831-6864
- [22] Miller, R., and Tegen, I.: 'Climate response to soil dust aerosols', Journal of climate, 1998, 11, (12), pp. 3247-3267
- [23] Furman, H.K.H.: 'Dust storms in the Middle East: sources of origin and their temporal characteristics', Indoor and Built Environment, 2003, 12, (6), pp. 419-426.
- [24] Hamidi, M., Kavianpour, M.R., and Shao, Y.: 'Synoptic analysis of dust storms in the Middle East', Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences, 2013, 49, (3), pp. 279-286.
- [25] AlKareem, I.H.A.: 'Synoptic Analysis of 3-5 July 2009 Severe Dust Storm in Iraq', International Journal of Scientific and Research Publications, 2015, pp. 605
- [26] Akhzari, D., Pessarakli, M., Shayesteh, K., and Bashir Gonbad, M.: 'Effect of Source Areas Anthropogenic Activities on Dust Storm Occurrences in the Western Parts of Iran', Environmental Resources Research, 2014, 2, (2), pp. 124-132
- [27] Levy, R.C., Remer, L.A., Mattoo, S., Vermote, E.F., and Kaufman, Y.J.: 'Second-generation operational algorithm: Retrieval of aerosol properties over land from inversion of Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer spectral reflectance', Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2007, 112, (D13), pp. D13211
- [28] Bilal, M., Nichol, J.E., Bleiweiss, M.P., and Dubois, D.: 'A Simplified high resolution MODIS Aerosol Retrieval Algorithm (SARA) for use over mixed surfaces', Remote Sensing of Environment, 2013, 136, pp. 135-145
- [29] Bilal, M., Nichol, J.E., and Chan, P.W.: 'Validation and accuracy assessment of a Simplified Aerosol Retrieval Algorithm (SARA) over Beijing under low and high aerosol loadings and dust storms', Remote Sensing of Environment, 2014, 153, pp. 50-60.
- [30] Pandithurai, G., Dipu, S., Dani, K., Tiwari, S., Bisht, D., Devara, P., and Pinker, R.: 'Aerosol radiative forcing during dust events over New Delhi, India', Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2008, 113, (D13)
- [31] Aher, G., Pawar, G., Gupta, P., and Devara, P.: 'Effect of major dust storm on optical, physical, and radiative properties of aerosols over coastal and urban environments in Western India', International Journal of Remote Sensing, 2014, 35, (3), pp. 871-903
- [32] Iqbal, M.: 'Total (broadband) radiation under cloudless skies', in Editor (Ed.): 'Book Total (broadband) radiation under cloudless skies' (Academic Press Canada, 1983, edn.), pp. 169-213
- [33] Holben, B.N., Eck, T., Slutsker, I., Tanre, D., Buis, J., Setzer, A., Vermote, E., Reagan, J.A., Kaufman, Y., and Nakajima, T.: 'AERONET—A federated instrument network and data archive for aerosol characterization', Remote sensing of environment, 1998, 66, (1), pp. 1-16
- [34] Winker, D.M., Hunt, W.H., and McGill, M.J.: 'Initial performance assessment of CALIOP', Geophysical Research Letters, 2007, 34 (19)
- [35] Hunt, W.H., Winker, D.M., Vaughan, M.A., Powell, K.A., Lucker, P.L., and Weimer, C.: 'CALIPSO lidar description and performance assessment', Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 2009, 26, (7), pp. 1214-1228
- [36] Winker, D.M., Pelon, J.R., and McCormick, M.P.: 'The CALIPSO mission: Spaceborne lidar for observation of aerosols and clouds', (International Society for Optics and Photonics, 2003, edn.), pp. 1-11
- [37] Liang, S.: 'Quantitative Remote Sensing of Land Surfaces' (John Wiley & Sons, Inc., 2004)
- [38] Rahman, H., Pinty, B., and Verstraete, M.M.: 'Coupled surface-atmosphere reflectance (CSAR) model: 2. Semiempirical surface model usable with NOAA advanced very high resolution radiometer data', Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 1993, 98, (D11), pp. 20791-20801

- [39] Bisht, G., Venturini, V., Islam, S., and Jiang, L.: 'Estimation of the net radiation using MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) data for clear sky days', Remote Sensing of Environment, 2005, 97, (1), pp. 52-67
- [40] Moody, E.G., King, M.D., Platnick, S., Schaaf, C.B., and Gao, F.: 'Spatially complete global spectral surface albedos: Value-added datasets derived from Terra MODIS land products', IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2005, 43, (1), pp 144-158
- [41] Lucht, W., Schaaf, C.B., and Strahler, A.H.: 'An algorithm for the retrieval of albedo from space using semiempirical BRDF models', IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2000, 38, (2), pp. 977-998
- [42] Draxler, R.R., & Rolph, G.: HYSPLIT (HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) model access via NOAA ARL READY website. NOAA Air Resources Laboratory, Silver Spring', (Md, 2003, edn.), pp (<http://www.arl.noaa.gov/ready/hysplit4.html>).
- [43] Alam, K., Trautmann, T., Blaschke, T., and Majid, H.: 'Aerosol optical and radiative properties during summer and winter seasons over Lahore and Karachi', Atmospheric Environment, 2012, 50, pp. 234-245
- [44] Dey, S., Tripathi, S.N., Singh, R.P., and Holben, B.: 'Influence of dust storms on the aerosol optical properties over the Indo-Gangetic basin', Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2004, 109, (D20)
- [45] Dubovik, O., Holben, B., Eck, T.F., Smirnov, A., Kaufman, Y.J., King, M.D., Tanré, D., and Slutsker, I.: 'Variability of absorption and optical properties of key aerosol types observed in worldwide locations', Journal of the atmospheric sciences, 2002, 59, (3), pp. 590-608
- [46] Christopher, S., and Wang, J.: 'Intercomparison between MISR and Sunphotometer AOT in Dust Source Regions over China: Implication for satellite retrievals and radiative forcing calculations', Tellus, Ser. B, 2004, 56, (5), pp. 451-456
- [47] Bohren, C.F., and Huffman, D.R.: 'Absorption and scattering of light by small particles' (John Wiley & Sons, 2008.)
- [48] Koepke, P., Hess, M., Schult, I., and Shettle, E.: 'Global aerosol data set', MPI Meteorologie Hamburg Rep, 1997, 243, pp. 44
- [49] Levin, Z., Joseph, J.H., and Mekler, Y.: 'Properties of Sharav (Khamsin) dust-comparison of optical and direct sampling data', Journal of the Atmospheric Sciences, 1980, 37, (4), pp. 882-891
- [50] WMO, W.: 'Radiation commission of IAMAP meeting of experts on aerosol and their climatic effects', Rep. WCP55, World Meteorological Organization, Williamsburg, Va, 1983, 57
- [51] Sokolik, I.N., and Toon, O.B.: 'Incorporation of mineralogical composition into models of the radiative properties of mineral aerosol from UV to IR wavelengths', Journal of Geophysical Research, 1999, 104, (D8), pp. 9423-9444