نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال بیست و سوم، شماره ۷۰، پاییز ۱۴۰۲

مطالعه توزیع فصلی غبار در منطقه خاورمیانه با استفاده از داده‌های CALIOP و MODIS

دریافت مقاله: ۹۸/۷/۱۳ **پذیرش نهایی**: ۹۹/۲/۱۳

صفحات: ۱۵۶-۱۴۳

روح‌اله مرادحاصلی: گروه فیزیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد زنجان، زنجان، ایران.
Email: r.moradhaseli.iauz@gmail.com
علی بیات: استادیار گروه فیزیک، دانشگاه زنجان[1].
Email: abayat@znu.ac.ir
فاطمه رادمهری: دانشجوی کارشناسی ارشد فیزیک، دانشگاه زنجان.
Email: fatiradmehri1994@gmail.com

چکیده

عمق اپتیکی هواویزها در طول‌موج ۵۵۰ نانومتر و ضریب نمای آنگستروم حاصل از داده‌برداری سامانه مودیس با وضوح فضایی ۱ درجه در بازه زمانی ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۷ برای منطقه خاورمیانه بررسی‌شده است. عمق اپتیکی هواویزهای تروپوسفری در طول‌موج ۵۳۲ نانومتر و ضریب واقطبش ناشی از داده‌برداری لیدار کالیوپ نیز برای همین منطقه مطالعه شده است. این پارامترها به‌صورت فصلی طبقه‌بندی‌شده‌اند. نتایج حاصل از عمق اپتیکی نشان از غلظت بالای ذرات هواویز در جو خاورمیانه بخصوص در دو فصل بهار و تابستان دارد. در فصول سرد متوسط فصلی عمق اپتیکی بسیار کم‌تر از فصول گرم است. در فصل بهار چشمه‌های شمال عراق و چشمه‌های مرکزی و شمال عربستان فعالیت بیشتری دارند. با تغییر فصل و فرارسیدن تابستان چشمه‌های جنوب شبه‌جزیره عربستان نیز فعال می‌شوند. نمای آنگستروم حاصل از اندازه‌گیری‌های مودیس نشان‌دهنده این است که در مناطق خشک خاورمیانه اندازه غالب هواویزها در مد درشت‌دانه قرار دارند. در مناطق داخلی عراق و عربستان در تمام طول سال مد درشت‌دانه است، ولی در مناطق خشک داخل ایران بیشترین میزان مد درشت‌دانه در فصل‌های گرم رخ می‌دهد و در فصل‌های سرد از میزان ذرات درشت معلق در جو کاسته می‌شود. ضریب واقطبش حاصل از اندازه‌گیری‌های کالیوپ بیانگر این نکته است که در تمام فصول ذرات غیرکروی در جو خاورمیانه حاضر هستند که با توجه به قرار گرفتن خاورمیانه در کمربند غبار امری عادی به نظر می‌رسد.

کلید واژگان: غبار، سنجنده کالیوپ، سنجنده مودیس، عمق اپتیکی، واقطبش، نمای آنگستروم، خاورمیانه.

---

۱. **نویسنده مسئول**: دانشگاه زنجان، دانشکده علوم، گروه فیزیک ۰۹۱۲۷۴۲۰۰۱۹

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.98.1]
[DOI: 10.61186/jgs.23.70.143]

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.98.1]

[DOI: 10.61186/jgs.23.70.143]

مقدمه

مطالعه توفان غباری و ترابرد آن در جو زمین از اهمیت بالایی برخوردار است. تأثیر غبار بر دانه‌بندی ابرها و بارش آن‌ها می‌تواند در بلندمدت موجب تغییر در الگوهای بارشی و پیامدهای ناشی از آن شود. با تغییر دانه‌بندی ابرها، نرخ تابشی جو زمین نیز تحت تأثیر قرار می‌گیرد و این امر در درازمدت می‌تواند موجب تغییر در آب‌وهوا و اقلیم شود (Kokhanovsky A. A. 2008:16). توفان‌های غباری شدید می‌توانند موجب بروز مشکلاتی در ترافیک و حمل‌ونقل و اخلال در خطوط انتقال انرژی شوند. این پدیده اثرات بسیار مهمی بر سلامت انسان‌ها و محیط‌زیست دارد (Kampa M. et al. 2008:362). برای برآورد جنبه‌های مختلف پدیده غبار و مدیریت پیامدهای ناشی از آن لازم است مطالعه‌های فراگیر در زمینه شناخت عوامل مختلف این پدیده انجام شود. در ادامه برخی از پژوهش‌های انجام‌شده در زمینه غبار در خاورمیانه را مرور می‌کنیم.

پروسپرو[1] و همکاران در سال ۲۰۰۲ با استفاده از داده‌های مربوط به جذب هواویزهای حاصل از اندازه‌گیری‌های سنجنده تامس[2] چشمه‌های مهم غبار کره زمین را مشخص کردند. در این مطالعه کمربند غبار واقع در نیم‌کره شمالی معرفی شد. این منطقه از صحرای غربی در آفریقا شروع‌شده و تا بیابان‌های مغولستان و شمال‌غرب چین در فلات تبت کشیده می‌شود. چشمه‌های غبار خاورمیانه از فعال‌ترین چشمه‌های واقع در کمربند غبار بوده و سهم چشم‌گیری در ترابرد غبار در جو زمین دارند (Prospero J. M. et al. 2002). کوتیل[3] در سال ۲۰۰۳ چشمه‌های غبار خاورمیانه را دسته‌بندی و رفتار زمانی مربوط به بیشینه فعالیت هر دسته را مطالعه کرد. در این مطالعه فعالیت غالب چشمه‌های ایران، شمال عراق، شمال سوریه، خلیج‌فارس و جنوب شبه‌جزیره عربستان در فصل تابستان گزارش‌شده است (Kutiel H. 2003:419). راماسوامی[4] و همکاران در سال ۲۰۱۷ طی مطالعه‌ای نشان دادند جریان‌های گرم و خشک آمیخته با غبار دریای سرخ و شمال با سوارشدن بر جریان ارتفاع پایین موسوم به مونسون[5] از اقیانوس هند عبور کرده و به سواحل غربی هند می‌رسند. با ورود این جریان‌ها ترکیب بارش‌های منطقه از اسیدی به قلیایی تغییر می‌کند. این مسئله می‌تواند پیامدهای زیست‌محیطی جدی در پی داشته باشد. با وارون شدن جریان مونسون این جریان‌ها قطع‌شده و مجدد ترکیب بارش‌ها اسیدی می‌شود (Ramaswamy V. et al. 2017).

در داخل ایران نیز مطالعاتی در زمینه غبار در منطقه خاورمیانه انجام‌شده است. در سال ۲۰۱۱ بیات و همکاران با استفاده از ابزار زمین- پایه شیدسنج خورشیدی پارامترهای اپتیکی جو زنجان را مطالعه و گزارش کردند. در این مطالعه مشخص شد که حدود ۸۰ درصد (۲۰ درصد) هواویزهای جو زنجان درشت‌دانه (ریزدانه) و دارای ابعادی بزرگ‌تر (کوچک‌تر) از یک میکرون هستند. با توجه به این نتایج مشخص می‌شود هواویز غالب در جو زنجان غبار است (Bayat A. et al. 2011:857). همین گروه در سال ۲۰۱۳ با استفاده از اندازه‌گیری‌های مد قطبیده شیدسنج

---

[1]. Prospero
[2]. Total Ozone Mapping Spectrometer: TOMS
[3]. Haim Kutiel
[4]. Ramaswamy
[5]. Monsoon

خورشیدی هواویزها را بررسی کردند و نشان دادند که پارامتر تابع فازی قطبیده ذرات جو قادر به جداسازی هواویزهای نوع غبار از ذرات هواویز شهری- صنعتی است (Bayat A. et al. 2013:2659). عبدی و همکاران در دو مطالعه با استفاده از داده‌های لیدار زمین- پایه پس‌پراکنشی کشسان، لیدار فضابرد کالیوپ، سنجنده مودیس و شبیه‌سازی‌های مدل ECMWF مکانیزم شکل‌گیری دو مورد توفان غبار زمستانی و تابستانی در بین‌النهرین و ترابرد آن به شمال‌غرب ایران را بررسی و گزارش کردند (Abdi Vishkaee F. et al. 2011, Abdi Vishkaee F. et al. 2012). در سال ۲۰۱۳ معصومی و همکاران نتایج مطالعه هواویزها در جو زنجان با استفاده از شیدسنج خورشیدی و مدل HYSPLIT را ارائه دادند. حدود ۵۰ پدیده غباری در این مطالعه بررسی و مشخص شد که غالب هواویزهای رسیده به جو زنجان غبار بوده و از چشمه‌های غبار ناحیه دجله و فرات وارد این منطقه می‌شوند. بیشترین فعالیت این چشمه‌ها در مطالعه اشاره‌شده فصل بهار و اوایل تابستان گزارش‌شده است. البته چشمه‌های دیگری مانند صحرای ترکمنستان و چشمه‌های مناطق داخلی ایران مانند دریاچه نمک قم نیز سهم کمی در غبار رسیده به زنجان دارند (Masoumi A. et al. 2013:343). در سال ۲۰۱۳ راشکی و همکاران با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای توزیع فضایی- زمانی و روند تغییرات ذرات معلق در آسیای جنوب غربی با تمرکز بر منطقه سیستان را مطالعه کردند. نتایج نشان دادند که در این منطقه بیش‌ترین (کم‌ترین) فعالیت چشمه‌های غباری در تابستان (زمستان) رخ می‌دهد. این تغییرات به علت خشک شدن فصلی دریاچه هامون و وزش بادهای ۱۲۰ روزه موسوم به لوار در منطقه سیستان رخ می‌دهد. در این مطالعه مشخص شد غلظت گردوغبارها از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۴ روند افزایشی و پس‌ازآن طی یک دهه اخیر روند کاهشی داشته است (Rashki A. et al. 2013). در سال ۲۰۱۶ ستوده‌ایان و همکاران سهم چشمه‌های غبار خاورمیانه در غلظت ذرات معلق ۱۰ میکرون شهرهای مختلف ایران را مطالعه و گزارش کردند. بر طبق نتایج این مطالعه حدود ۷۰ الی ۹۵ درصد از ذرات معلق ۱۰ میکرون در شهرهای موردمطالعه از چشمه‌های غبار واقع در مناطق مجاور دجله و فرات نشأت می‌گیرند (Sotoudeheian S. et al. 2016). یاراحمدی و همکاران در سال ۱۳۹۲ با استفاده از داده‌های دید افقی هواشناسی بین بازه زمانی بین ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۹ پهنه‌بندی پدیده‌های غباری برای نیمه غربی کشور ایران را انجام دادند. همچنین قویدل رحیمی و همکاران در سال ۱۳۹۷ با استفاده از داده‌های هواشناسی به بررسی تغییرات زمانی توفان‌های گردوغبار شهر خرم‌آباد پرداختند.

روش‌های مختلفی برای مطالعه غبار و ترابرد آن در جو پیش‌بینی شده است. از جمله مهم‌ترین این روش‌ها می‌توان به روش‌های سنجش‌ازدور فضاپایه اشاره کرد. از مهم‌ترین مزایای سنجنده‌های فضاپایه می‌توان به سنجش و اندازه‌گیری پارامترهای مختلف در محدوده فضایی وسیع در مدت‌زمانی به نسبت کوتاه اشاره کرد؛ ازاین‌رو مطالعه تحول فضایی- زمانی خواص مختلف هواویزها با استفاده از این ابزارها مقدور خواهد بود. نتایج چنین مطالعاتی ما را قادر خواهند ساخت تا تصمیمات مدیریتی دقیق‌تری اتخاذ کرده و عوارض بهداشتی و اقتصادی مربوط به پدیده‌های جوی مرتبط با هواویزها مانند توفان غبار را کاهش دهیم. روش‌های سنجش‌ازدور فضاپایه نیز مانند روش‌های سنجش‌ازدور زمین‌پایه شامل دو دسته اصلی عامل و غیرعامل هستند. لیدار کالیوپ بر ماهواره کالیپسو و سنجنده مودیس بر روی ماهواره‌های ترا و آکوا به ترتیب در دسته ابزارهای سنجش‌ازدور فضاپایه عامل و غیرعامل قرار دارند

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.98.1]
[DOI: 10.61186/jgs.23.70.143]

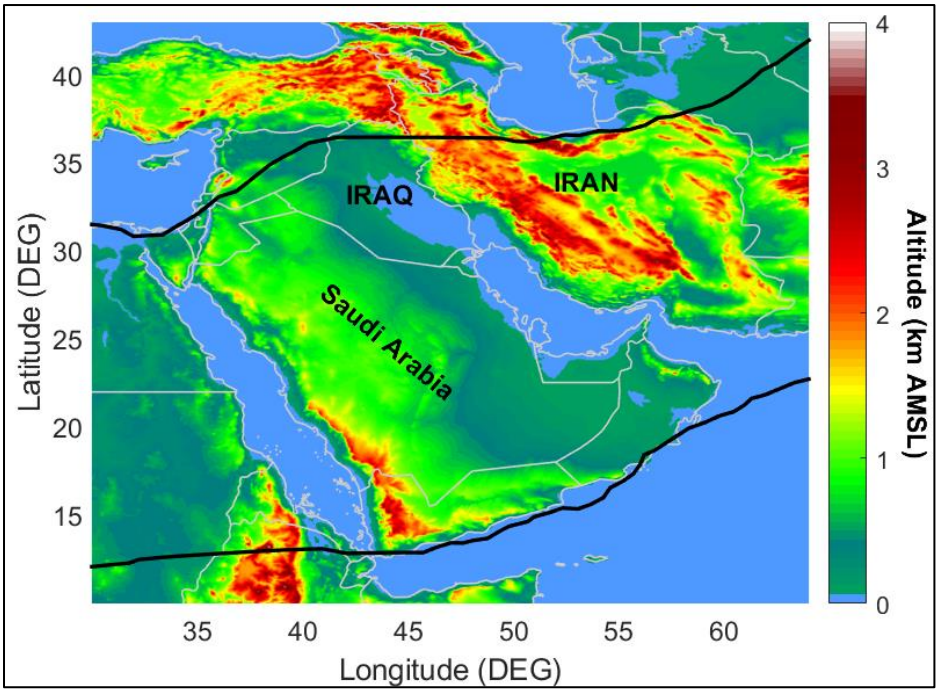
(Kutiel H. 2003; Abdi Vishkaee F. et al. 2011 and 2012). در این مطالعه از داده‌های این دو سنجنده برای مطالعه توزیع فصلی هواویزهای غبار در منطقه خاورمیانه استفاده‌شده است.

در ادامه مقاله، ابتدا منطقه موردمطالعه را بررسی می‌کنیم. سپس دو سنجنده کالیوپ و مودیس را توضیح داده و نتایج حاصل از داده‌برداری آن‌ها را بین سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۷ برای منطقه خاورمیانه ارائه خواهیم داد. در نهایت در مورد نتایج بحث خواهیم کرد.

روش تحقیق

معرفی محدوده موردمطالعه

در این مطالعه توزیع فصلی غبار با استفاده از داده‌های دو سنجنده کالیوپ و مودیس در منطقه خاورمیانه موردبررسی قرارگرفته است. منطقه موردمطالعه از ۱۰ تا ۴۵ درجه شمالی و ۳۰ تا ۶۵ درجه شرقی را در بر می‌گیرد. در شکل (۱)، توپوگرافی این منطقه با استفاده از داده‌های SRTM3 نشان داده‌شده است (Jansuz M. 2004).



شکل (۱). توپوگرافی خاورمیانه. رنگ‌ها نشان‌دهنده ارتفاع سطح زمین (برحسب کیلومتر) از سطح دریای آزاد هستند. مرز سیاسی کشورها با خطوط خاکستری رسم شده است. منطقه نشان داده‌شده با خطوط سیاه، مرز کمربند غباری معرفی‌شده توسط پروسپرو را نشان می‌دهد (Prospero J. M. et al. 2002).

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.98.1]
[DOI: 10.61186/jgs.23.70.143]

به‌جز بخش‌هایی محدود، غالب مناطق نشان داده‌شده در این شکل خشک، نیمه‌خشک و بیابانی هستند. این مناطق یا چشمه غبار فعال هستند، یا این‌که با توجه به پوشش خاک و شرایط آب و هوایی حاکم بر آن مستعد تبدیل‌شدن به چشمه‌های غبار هستند (Cao H. et al. 2015:224; Rahimi M. et al. 2014:100). از مهم‌ترین چشمه‌های غبار خارج از ایران در این منطقه می‌توان به چشمه‌های شمال و شمال شرق سوریه، شمال غرب عراق، منطقه دجله و فرات، جنوب شرق عراق، مناطق شمال و مرکز شبه‌جزیره عربستان و ربع‌الخالی در جنوب شرق شبه‌جزیره عربستان اشاره کرد. از سوی دیگر بیابان قره‌قوم در ترکمنستان قرار دارد. در برخی موارد غبار برخواسته از این منطقه نیز مناطق داخلی ایران را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Abdi Vishkaee F. et al. 2011). از چشمه‌های غبار داخلی نیز می‌توان به دشت لوت، دشت کویر، تالاب هورالعظیم در اهواز، دریاچه‌های فصلی مانند دریاچه نمک قم و هامون جازموریان اشاره کرد. منطقه سیستان و دریاچه هامون نیز فعالیت غباری چشم‌گیری دارند (Esmaili O. et al. 2006, Hui C. et al. 2015).

علاوه بر حضور مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌عنوان چشمه‌های غبار در منطقه، عوامل دیگری هم وجود دارند که در شدت و تعداد رخداد توفان‌های غباری تأثیرگذار هستند. از جمله این عوامل می‌توان به سیستم‌های جوی اشاره کرد. در عراق و منطقه بین‌النهرین سیستم جوی موسوم به بادهای شَمال[1] از شمال و شمال‌غرب به سمت جنوب‌شرق می‌وزند. این سیستم به دفعات موجب برخواست غبار و شکل‌گیری توفان‌های غباری می‌شود. در شرق ایران و در منطقه سیستان هم می‌توان به وزش بادهای ۱۲۰ روزه موسوم به لوار اشاره کرد. این سیستم قادر به برخواست غبار از سطح این منطقه و تشکیل توفان‌های غباری بسیار شدید است (Rashki A. et al. 2015:35). به این موارد باید فعالیت جریان‌های جوی موسوم به مونسون بر فراز اقیانوس هند در فصل تابستان را اضافه کرد. این جریان‌ها موجب برخواست غبار و شکل‌گیری توفان‌های غباری در منطقه در فصل تابستان و بارش‌های شدید در منطقه هندوستان می‌شوند (Jin Q. et al. 2014:4068). در این پژوهش روند فصلی عمق اپتیکی هواویزها، نمای آنگستروم و ضریب واقطبش لیدار حاصل از سنجنده‌های مودیس و لیدار کالیوپ برای منطقه اشاره‌شده در بالا موردبررسی قرارگرفته‌اند.

داده‌ها و روش کار

در این بخش ابتدا سنجنده‌های مودیس و کالیوپ معرفی‌شده و سپس پارامترهای استخراج‌شده از اندازه‌گیری هرکدام از آن‌ها به‌طور مختصر موردبحث قرار می‌گیرد. عمق‌اپتیکی هواویزها و نمای آنگستروم از داده‌های سنجنده مودیس و عمق‌اپتیکی تروپوسفری هواویزها و نسبت واقطبش از اندازه‌گیری‌های سنجنده کالیوپ استخراج می‌شوند. در اینجا با استفاده از محدوده‌های تعیین‌شده در مطالعات دیگر برای این پارامترها غبار منطقه خاورمیانه بررسی می‌شود. در این تحقیق داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار متلب ترسیم شده است.

[1]. Shamal

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.98.1]
[DOI: 10.61186/jgs.23.70.143]

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.98.1]

[DOI: 10.61186/jgs.23.70.143]

سنجنده مودیس

سنجنده مودیس[1]، تابش‌سنج تصویربرداری با توان تفکیک متوسط است که در ۳۶ کانال طول‌موجی در بازه طیفی ۴۷۰ تا ۲۱۳۰ نانومتر از جو زمین داده‌برداری می‌کند. این سنجنده بر روی دو ماهواره ترا[2] و آکوا[3] نصب‌شده و در ارتفاع ۷۰۵ کیلومتری از سطح زمین در مدار هم‌گام با خورشید[4] حرکت می‌کنند (https://modis.gsfc.nasa.gov/about/specifications.php) (حجازی و همکاران، ۱۶۶:۱۳۹۱). این دو ماهواره مکمل یکدیگر هستند و به‌صورت روزانه از سال ۲۰۰۲ میلادی تاکنون از جو زمین تصویربرداری می‌کند. ماهیت غیرعامل بودن سنجنده مودیس ایجاب می‌کند تا برای اندازه‌گیری خود بازتاب نور خورشید از سطح و جو زمین را اندازه‌گیری کند، لذا هر دو ماهواره ترا و آکوا اندازه‌گیری خود را در نیمه روزانه مدار خود انجام می‌دهند. ماهواره ترا از شمال به جنوب هم‌آهنگ با خورشید اندازه‌گیری کرده و از خط استوا در ساعت ۱۰:۳۰ محلی عبور می‌کند. این در حالی است که ماهواره آکوا با اندازه‌گیری جنوب به شمال در ساعت ۱۳:۳۰ محلی از خط استوا عبور می‌کند. از اندازه‌گیری‌های این طیف‌سنج می‌توان اطلاعات گوناگونی در مورد هواویزها، ابرها، میزان پوشش گیاهی زمین و بسیاری موارد دیگر را استخراج کرد (Remer, et al, 2005). داده‌های سنجنده مودیس، با سطوح مختلف در تارنمای رسمی پروژه مودیس قابل‌دسترسی است (https://modis.gsfc.nasa.gov/data/).

در گذر نور خورشید از جو زمین، به دلیل وجود مولکول‌ها و ذرات معلق جامد و مایع در جو زمین نور خورشید جذب یا پراکنده می‌شود. با اندازه‌گیری نور خورشید بازتاب شده از زمین توسط سنجنده مودیس می‌توان میزان خاموشی نور بازگشتی را محاسبه کرد. با کم کردن سهم خاموشی مولکول‌ها از مقدار کل، سهم خاموشی مربوط به ذرات جوی موسوم به عمق‌اپتیکی هواویزها استخراج می‌شود. عمق اپتیکی هواویزها معیاری از غلظت هواویزها در جو زمین است که در چند طول‌موج مختلف اندازه‌گیری می‌شود. در این مطالعه از داده‌های عمق اپتیکی هواویزها در طول‌موج ۵۵۰ نانومتر در بازه زمانی بین ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۷ و بازه فضایی بین ۳۰ تا ۶۵ درجه طول‌جغرافیایی و ۱۰ تا ۴۵ درجه عرض‌جغرافیایی با تفکیک فضایی ۱ درجه در ۱ درجه استفاده‌شده است (Remer, et al, 2005).

آنگستروم در سال ۱۹۲۹ نشان داد که بستگی طول‌موجی عمق اپتیکی هواویز را می‌توان به‌صورت رابطه (۱) بیان کرد:

$$\tau_a = \beta\lambda^{-\alpha}$$ رابطه (۱)

که α نمای‌آنگستروم و β ضریب خاموشی جو است. نمای آنگستروم شاخصی حساس به ابعاد هواویزها است به‌طوری‌که رابطه‌ای معکوس با میانگین ابعاد هواویزها دارد. با استفاده از داده‌های عمق اپتیکی هواویزها در دو طول‌موج ۴۱۲ و ۴۷۰ نانومتر، پارامتر نمای آنگستروم برای هر اندازه‌گیری استخراج‌شده است. این پارامتر معیاری از ابعاد ذرات معلق

1. MODerate resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)
2. Terra
3. Aqua
4. Sun Synchronous

موجود در جو زمین است. درصورتی‌که ابعاد ذرات بزرگ‌تر از ۱ میکرومتر باشد ذرات درشت‌دانه و نمای آنگستروم آن‌ها کوچک‌تر از ۱ خواهد بود. اگر مقدار نمای آنگستروم بزرگ‌تر از ۱ باشد ذرات موجود در جو ریزدانه یعنی غالباً ابعادشان کوچک‌تر از ۱ میکرومتر خواهد بود (Levy, et al, 2007).

سنجنده کالیوپ

ماهواره تحقیقاتی کالیپسو[1] به‌وسیله مرکز تحقیقاتی لانگلی[2] ناسا و با همکاری سازمان فضایی فرانسه[3] ساخته و در سال ۲۰۰۶ میلادی به فضا پرتاب شد. کالیپسو در مداری نزدیک قطبی با زاویه میل ۹۸ درجه با ارتفاع ۷۰۵ کیلومتر حرکت می‌کند. هدف اصلی ماهواره کالیپسو جمع‌آوری اطلاعاتی در مورد هواویزها و ابرها و نقش آن‌ها در آب‌وهوا و تغییر اقلیم است. لیدار هواویز و ابر با قطبش متعامد، کالیوپ[4]، یکی از سه سنجنده مستقر بر روی ماهواره کالیپسو است. لیدار کالیوپ باریکه لیزری را در دو طول‌موج ۵۳۲ و ۱۰۶۴ نانومتر به جو زمین می‌فرستد و از پس‌پراکنش نور در این دو طول‌موج نمایه قائم هواویزها و ابرها را بررسی می‌کند. در طول‌موج ۵۳۲ نانومتر علاوه بر شدت، قطبش نور پس‌پراکنده در دو راستای موازی و عمود با قطبش نور فرستاده‌شده اندازه‌گیری می‌شود. سنجنده کالیوپ نمایه قائم پس‌پراکندگی و واقطبش هواویزها و ابرها را اندازه‌گیری می‌کند. داده‌های اندازه‌گیری شده اولیه دارای تفکیک قائم ۳۰ متر و تفکیک افقی ۳۳۳ متر هستند (Winker et al, 2009). داده‌های ماهواره کالیپسو در سطوح مختلف را می‌توان از طریق تارنمای رسمی پروژه کالیپسو جستجو و بارگیری کرد (https://eosweb.larc.nasa.gov/project/calipso/calipso_table).

در این پژوهش از داده‌های عمق اپتیکی تروپوسفری هواویزها[5] و نسبت واقطبش[6] در طول‌موج ۵۳۲ نانومتر جهت آشکارسازی و برآورد خواص مختلف غبار استفاده‌شده است. عمق‌اپتیکی هواویزها پارامتری بدون بعد است که میزان خاموشی نور در عبور قائم از جو زمین در یک طول‌موج را نشان می‌دهد؛ بنابراین عمق‌اپتیکی هواویزها معیاری از غلظت هواویزهای جوی را نشان می‌دهد (بیات، ۱۳۸۷). نور گسیل‌شده از لیزر سیستم لیدار کالیوپ دارای قطبش خطی است (Winker et al, 2009). به هنگام پراکندگی نور لیزر در جو از هواویزهای مختلف، بسته به نوع ذرات پراکننده مقداری از نور قطبش خود را از دست می‌دهد. این پدیده به‌عنوان واقطبش شناخته می‌شود. پارامتر واقطبش به نسبت شدت نور پس‌پراکنده شده با قطبش عمود به‌شدت نور پس‌پراکنده شده با قطبش موازی گفته می‌شود. دقت اندازه‌گیری آن برابر ۰/۰۱ است. پارامتر نسبت واقطبش وابسته به شکل (و تا حدودی غلظت) هواویزهای جوی است و مقدار آن بین صفر و یک تغییر می‌کند (Winker et al, 2009). برای ابرها که محیط چگالی نسبت به جو بدون ابر هستند، مقدار پارامتر نسبت واقطبش به دلیل پراکندگی چندگانه بین ۰/۵ تا ۱ است. این در حالی است که

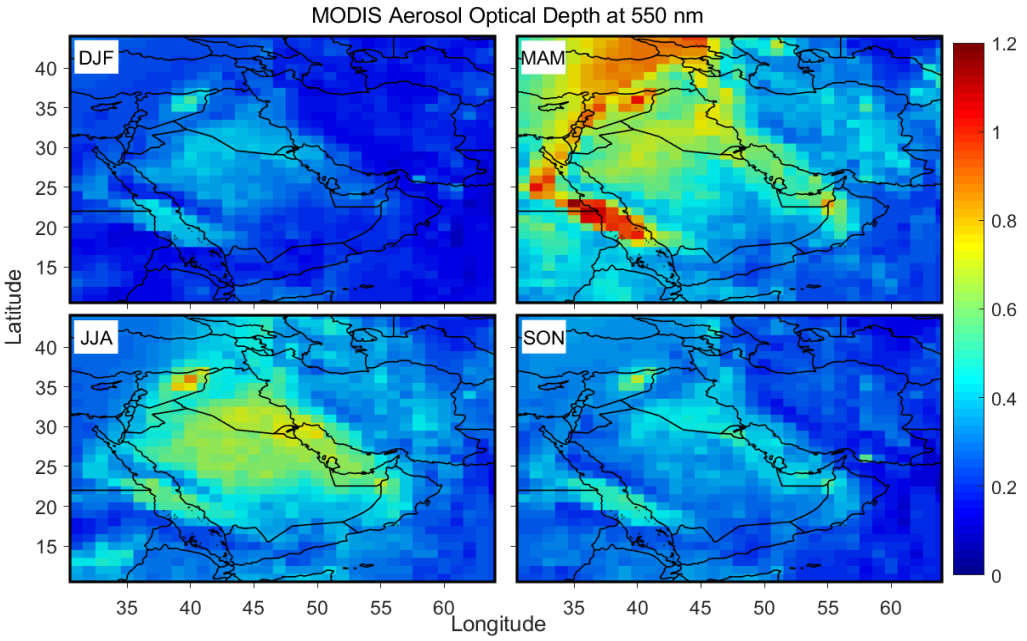
1. Cloud Aerosol Lidar and Infrared Pathfinder Satellite Observations (CALIPSO)
2. Langley Research Center
3. Centre National d' Etudes Spatiales
4. Cloud Aerosol LIdar with Orthogonal Polarization (CALIOP)
5. Column optical depth tropospheric aerosol
6. Depolarization Ratio

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.98.1]
[DOI: 10.61186/jgs.23.70.143]

برای هواویزها (که پراکندگی چندگانه قابل‌توجهی ندارند) این پارامتر بیشتر به شکل ذرات بستگی دارد و در محدوده صفر تا ۰/۳ تغییر می‌کند. برای ذرات کروی مقدار نسبت واقطبش بین صفر تا ۰/۱ و برای ذرات غیرکروی بین ۰/۱ تا ۰/۳ گزارش شده است (Mishchenko et al, 1999).

نتایج

در این بخش، نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌های سنجنده مودیس و لیدار کالیوپ برای چهار فصل زمستان (DJF[1])، بهار (MAM[2])، تابستان (JJA[3]) و پاییز (SON[4]) در منطقه خاورمیانه نمایش داده‌شده است. از سنجنده مودیس دو پارامتر عمق اپتیکی هواویزها در طول‌موج ۵۵۰ نانومتر و نمای آنگستروم (که به ترتیب معیاری از چگالی اپتیکی و ابعاد ذرات معلق در جو هستند) استفاده‌شده است. نسبت واقطبش که معیاری از شکل ذرات معلق جوی است از اندازه‌گیری‌های سنجنده کالیوپ استخراج شده است. در ادامه در مورد هرکدام از نتایج بحث شده است.

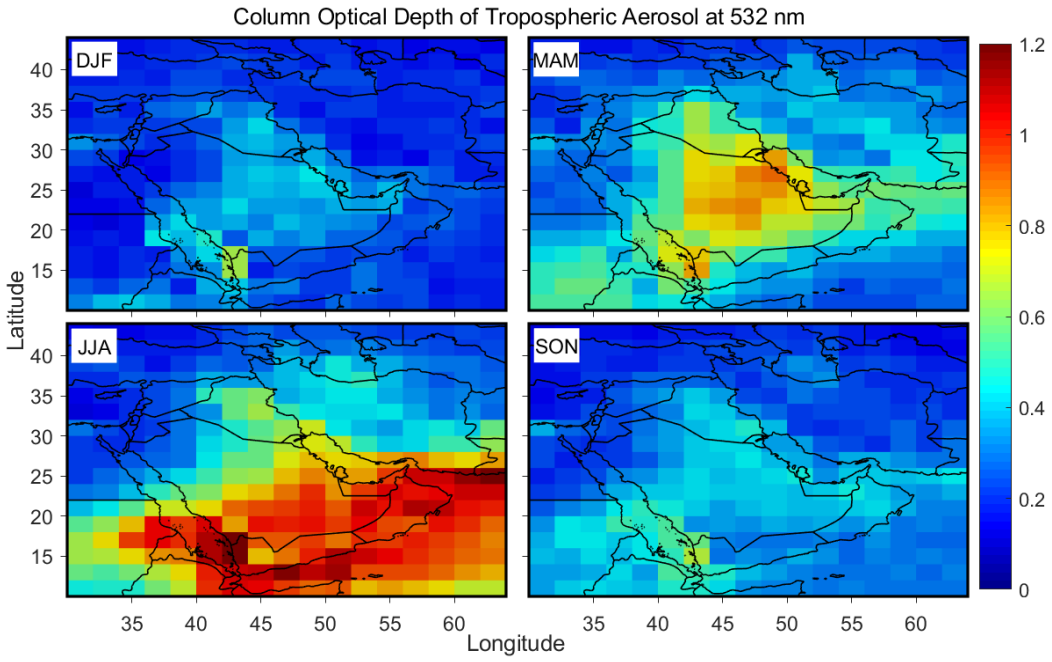


شکل (۲). توزیع فضایی میانگین فصلی عمق اپتیکی هواویزها در طول‌موج ۵۵۰ نانومتر برای بازه زمانی بین سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۷. رنگ نشان‌دهنده مقدار عمق اپتیکی است. تفکیک فضایی داده‌ها یک درجه است (منبع: نگارندگان).

1. December, January, and February (DJF)
2. March, April, and May (MAM)
3. Jun, July, and August (JJA)
4. September, October, and November (SON)

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.98.1]
[DOI: 10.61186/jgs.23.70.143]

در شکل (۲) توزیع فضایی میانگین عمق اپتیکی هواویزها برای کل جو اندازه‌گیری شده با سنجنده مودیس در طول‌موج ۵۵۰ نانومتر از ژوئن ۲۰۰۶ تا نوامبر ۲۰۱۷ ترسیم شده است. این نمودار با تفکیک فضایی ۱ درجه و برای چهار فصل زمستان، بهار، تابستان و پاییز میانگین‌گیری شده است. توزیع رنگ نشان‌دهنده عمق اپتیکی هواویزها است که معیاری از میزان ذرات موجود در جو زمین است. در دو فصل تابستان و بهار بیشترین مقدار هواویزها در منطقه وجود دارد و غرب ایران متأثر از چشمه‌های فعال غبار در عراق و عربستان است. در فصل تابستان علاوه بر چشمه‌های غبار عراق، چشمه‌های غبار جنوب عربستان نیز فعالیت بیشتری دارد. میزان ذرات موجود در جو در فصل پاییز بیشتر از فصل زمستان است. در شمال شرق سوریه چشمه‌هایی وجود دارند که در تمام فصول سال فعالیت چشم‌گیری دارند. امتداد شمال غرب به جنوب شرق توزیع عمق اپتیکی منطقه بین‌النهرین در سه فصل بهار، تابستان و پاییز (که در زمستان با شدت کم‌تری رخ می‌دهد) ناشی از فعالیت جریان‌های جوی موسوم به بادهای شَمال در این منطقه است.

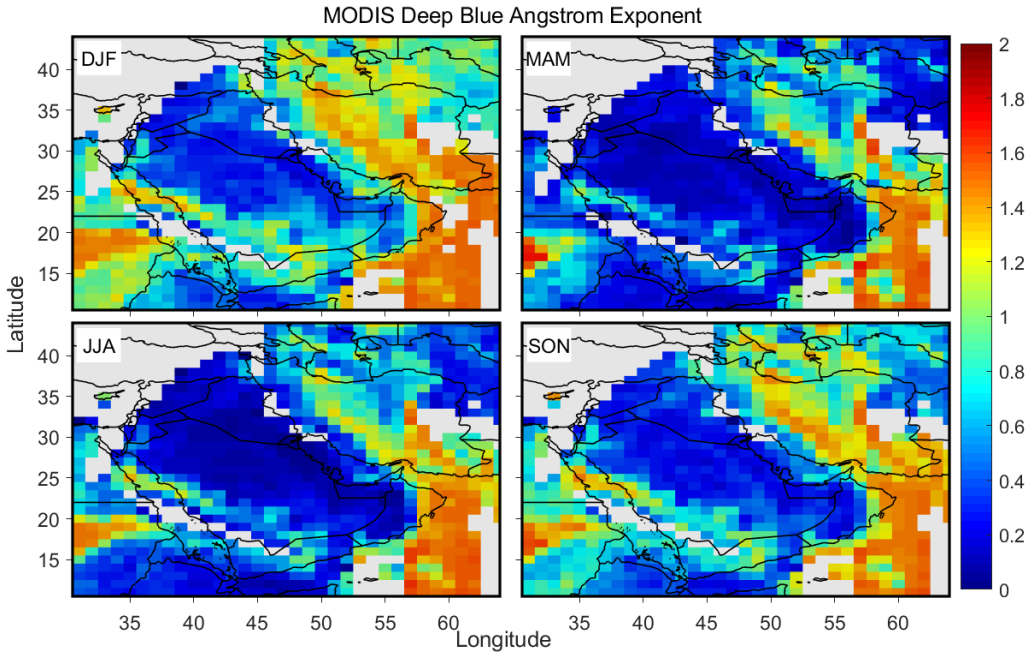


شکل (۳). توزیع فضایی میانگین فصلی عمق اپتیکی تروپوسفری هواویزها اندازه‌گیری شده توسط سنجنده کالیوپ در طول‌موج ۵۳۲ نانومتر بین سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۷. رنگ نشان‌دهنده مقدار عمق اپتیکی است. داده‌ها برای هر ۲ درجه به‌صورت فضایی میانگین‌گیری شده است (منبع: نگارندگان).

ازآنجایی‌که لیدار کالیوپ قادر به اندازه‌گیری پروفایل پارامترهای مختلف است، بنابراین می‌توان پارامترها را برای ارتفاع خاصی از جو زمین به دست آورد. اغلب هواویزها در لایه تروپوسفر جو زمین قرار دارد. در شکل (۳) توزیع

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.98.1]
[DOI: 10.61186/jgs.23.70.143]

فضایی میانگین عمق اپتیکی تروپوسفری هواویزها در طول‌موج ۵۳۲ نانومتر از ژوئن ۲۰۰۶ تا نوامبر ۲۰۱۷ به‌طور فصلی ترسیم شده است. این نمودار با تفکیک فضایی ۲ درجه و برای چهار فصل زمستان، بهار، تابستان و پاییز میانگین‌گیری شده است. توزیع رنگ نشان‌دهنده عمق اپتیکی هواویزهای تروپوسفر و نمایان‌گر میزان ذرات موجود در بخش تروپوسفر است. به ترتیب در فصل تابستان و بهار بیشترین مقدار هواویزها در منطقه وجود دارد؛ اما در فصل‌های مختلف مناطق مختلفی فعال هستند. در فصل بهار چشمه‌های غبار شمال عربستان و شمال عراق فعال‌تر هستند. در فصل تابستان علاوه و بر چشمه‌های غبار عراق، چشمه‌های غبار جنوب عربستان فعالیت بیشتری دارند. با توجه به نتایج حاصل از داده‌برداری لیدار کالیوپ میزان ذرات موجود در جو در فصل پاییز بیشتر از فصل زمستان است. همخوانی نتایج مربوط به عمق اپتیکی حاصل از سامانه مودیس و لیدار کالیوپ چشم‌گیر است.

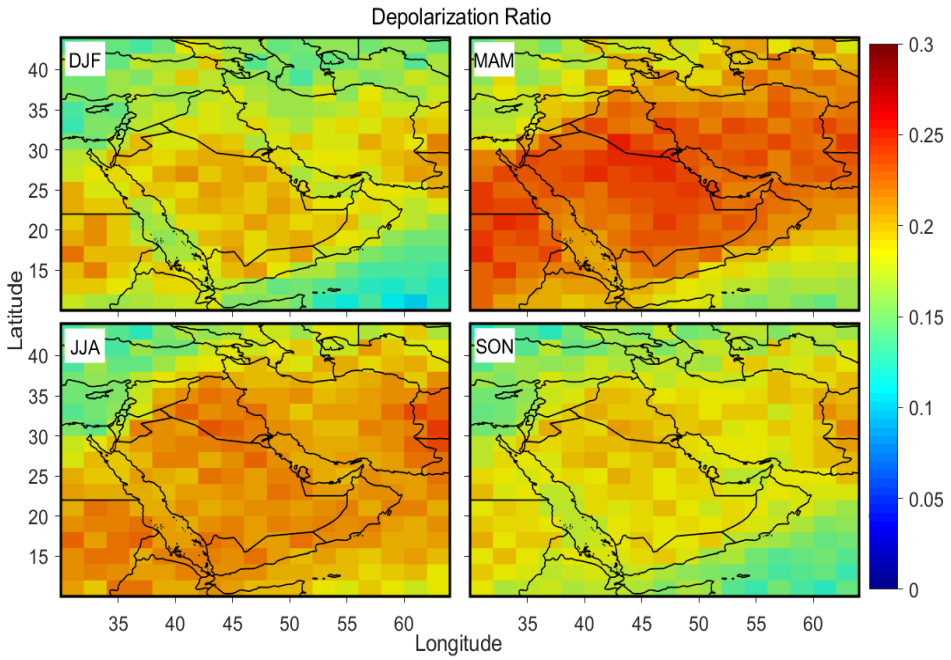


شکل (۴). توزیع فضایی میانگین فصلی نمای آنگستروم هواویزها استخراج‌شده از عمق اپتیکی هواویزها در دو طول‌موج ۴۱۲ و ۴۷۰ نانومتر اندازه‌گیری شده توسط سنجنده مودیس برای بازه زمانی بین سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۷. رنگ نشان‌دهنده مقدار نمای آنگستروم است. تفکیک فضایی داده‌ها یک درجه است (منبع: نگارندگان).

در شکل (۴) ضریب نمای آنگستروم که معیاری از ابعاد ذرات است، با تفکیک فضایی یک درجه برای منطقه موردمطالعه به ترتیب برای چهار فصل زمستان، بهار، تابستان و پاییز رسم شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در منطقی که چشمه‌های غباری وجود دارد مقادیر نمای آنگستروم غالباً کم‌تر از ۱ است. این مقادیر نشان‌دهنده ذرات درشت‌دانه با ابعادی بیش‌تر از ۱ میکرون هستند. با فاصله گرفتن از چشمه‌های غبار مقادیر نمای آنگستروم

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.98.1]
[DOI: 10.61186/jgs.23.70.143]

افزایش‌یافته و ذرات معلق در جو ریزدانه می‌شوند. در فصل تابستان و بهار با فعال‌تر شدن چشمه‌های غبار ابعاد ذرات معلق در جو درشت‌تر از دو فصل زمستان و پاییز می‌شوند. در مناطق مرکزی ایران، در مجاورت شهرهای بزرگ در فصل‌های گرم نمای آنگستروم نزدیک مرز ریزدانه و درشت‌دانه است. این مقادیر در فصل‌های سرد سال به سمت مقادیر ریزدانه جابجا می‌شوند. البته در مناطق خشک داخل ایران نیز در فصل‌های گرم غالب ذرات معلق در جو دارای ابعاد درشت‌دانه هستند.



شکل (۵). توزیع فضایی میانگین فصلی نسبت واقطبش لیداری استخراج‌شده از سنجنده کالیوپ در طول‌موج ۵۳۲ نانومتر از سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۷. رنگ نشان‌دهنده مقدار نسبت واقطبش است. داده‌ها برای هر ۲ درجه به‌صورت فضایی میانگین‌گیری شده است (منبع: نگارندگان).

نسبت واقطبش یکی از پارامترهای مهم در تشخیص ذرات غیرکروی است. برای تشخیص شکل ذرات موجود در جو، در شکل (۵) توزیع فضایی میانگین فصلی نسبت واقطبش اندازه‌گیری شده با سنجنده کالیوپ در طول‌موج ۵۳۲ نانومتر از ژوئن ۲۰۰۶ تا نوامبر ۲۰۱۷ ترسیم‌شده است. داده‌ها با تفکیک فضایی ۲ درجه برای چهار فصل زمستان، بهار، تابستان و پاییز میانگین‌گیری شده است. توزیع رنگ نشان‌دهنده مقدار واقطبش اعمال‌شده توسط ذرات موجود در جو بر روی نور لیزر است. بیشترین واقطبش در فصل بهار رخ می‌دهد و در فصل تابستان واقطبش نسبت به دو فصل زمستان و پاییز بیشتر است. واقطبش بر روی دریاها به واقطبش ذرات کروی (یعنی حدود ۰/۱) نزدیک است؛ اما تقریباً در هر چهار فصل ذرات غیرکروی در منطقه دیده می‌شوند. یادآوری می‌کنیم که خاورمیانه در کمربند غبار

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.98.1]
[DOI: 10.61186/jgs.23.70.143]

قرار دارد و بالا بودن ضریب واقطبش در تمام فصول امری عادی است. میزان غیرکروی بودن ذرات برای بهار و تابستان که در آن چشمه‌های غبار فعال‌تر هستند بیشترین مقدار را دارد. بیشترین مقدار واقطبش نیز به محل چشمه‌ها نزدیک است. مشاهده می‌شود که در اطراف شهر بزرگی مثل تهران در فصل زمستان میزان واقطبش نسبتاً پایین است. این بدان معناست که هواویز غالب برای این منطقه در فصل زمستان ذراتی غیر از غبار خواهند بود. ذرات کروی دارای مقدار نسبت واقطبش ۰ تا ۰/۱ بوده این مقدار برای ذرات غیرکروی بین ۰/۱ تا ۰/۳ گزارش شده است. با توجه به شکل (۵) در خاورمیانه در اغلب مناطق شکل ذرات غیرکروی است و میزان غیرکروی بودن در فصل‌های مختلف متفاوت است. بیشترین (کمترین) غیرکروی بودن در فصل بهار (زمستان) مشاهده می‌شود.

نتیجه‌گیری

در این مقاله نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌های سنجنده مودیس (با دقت یک درجه) و لیدار کالیوپ (با دقت دو درجه) برای چهار فصل زمستان، بهار، تابستان و پاییز در بازه زمانی بین سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۷ برای بررسی و مطالعه غبار در منطقه خاورمیانه استفاده‌شده است. از سنجنده مودیس دو پارامتر عمق اپتیکی هواویزها در طول‌موج ۵۵۰ نانومتر و نمای آنگستروم (که به ترتیب نشان‌دهنده چگالی و ابعاد هواویزها در جو هستند) استفاده‌شده است. نسبت واقطبش که معیاری از شکل ذرات معلق جوی است از اندازه‌گیری‌های سنجنده کالیوپ استخراج‌شده است. نتایج نشان می‌دهند که چشمه‌های فعال غبار در عراق و عربستان در دو فصل تابستان و بهار منطقه غرب ایران را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در فصل تابستان علاوه بر چشمه‌های غبار عراق، چشمه‌های غبار جنوب عربستان نیز فعالیت بیشتری دارد. چشمه‌های شمال شرق سوریه در تمام فصول سال فعالیت چشم‌گیری دارند شکل (۲). نتایج عمق اپتیکی هواویزها حاصل از سنجنده‌های مودیس و لیدار کالیوپ همخوانی زیادی دارند اشکال (۲ و ۳). ابعاد ذرات در مناطقی که چشمه‌های غباری وجود دارد درشت‌تر است. با فاصله گرفتن از چشمه‌های غبار ابعاد ذرات معلق در جو کاهش می‌یابد. در فصل تابستان و بهار با فعال‌تر شدن چشمه‌های غبار ابعاد ذرات معلق در جو درشت‌تر از دو فصل زمستان و پاییز است شکل (۴). شکل ذرات در فصل بهار و تابستان غیرکروی‌تر هستند. ذرات دریاها کروی هستند؛ اما تقریباً در هر چهار فصل ذرات غیرکروی در منطقه دیده می‌شوند. ازآنجایی‌که خاورمیانه در کمربند غبار قرار دارد غیر کروی بودن ذرات امری عادی است؛ بنابراین از داده‌های دو سنجنده مودیس و کالیوپ می‌توان میزان، ابعاد و شکل ذرات جوی تشخیص داده و انواع مختلف چشمه‌های هواویزها (بخصوص غبار) را دسته‌بندی کرد شکل (۵). نتایج این مطالعه تطابق خوبی با مطالعات انجام شده توسط پروسپرو و همکاران (۲۰۰۲)، عبدی و همکاران (۲۰۱۱ و ۲۰۱۲)، بیات و همکاران (۲۰۱۱ و ۲۰۱۳) و معصومی و همکاران (۲۰۱۳) دارد.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.98.1]
[DOI: 10.61186/jgs.23.70.143]

منابع

بیات، علی. (۱۳۸۷). **مطالعه پارامترهای اپتیکی جو زنجان با استفاده از شیدسنج خورشیدی**، پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تحصیلات تکمیلی زنجان.

مرادحاصلی، روح‌اله. (۱۳۸۶). **استفاده از لیدار پس‌پراکنشی کشسان در راست آزمایی داده‌های ماهواره‌ی کالیپسو**، پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تحصیلات تکمیلی زنجان

حجازی، عباس؛ مباشری، محمدرضا؛ احمدیان مرج، ابوالفضل (۱۳۹۱). **تهیه نقشه توزیع مکانی ذرات معلق با قطر کمتر از دو نیم میکرومتر در هوای شهر تهران با استفاده از داده‌های سنجنده مودیس**. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی. ۱۲ (۲۶): ۱۶۱-۱۷۸.

یاراحمدی، داریوش؛ خوش کیش، اسدالله (۱۳۹۲). **پهنه‌بندی پدیده‌ی گردوغبار در نیمه غربی ایران در بازه زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۹**. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی. ۱۳ (۳۱): ۲۱۱-۲۲۵.

قویدل رحیمی، یوسف؛ فرج زاده، منوچهر؛ لشنی زند، اسماعیل (۱۳۹۷). **تحلیل تغییرات زمانی توفان‌های گردوغباری خرم‌آباد**. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی. ۱۸ (۵۱): ۸۷-۱۰۲.

Abdi Vishkaee F. Flamant C. Cuesta J. Flamant P. and Khalesifard H. R. (2011). **Multiplatform observations of dust vertical distribution during transport over northwest Iran in summertime**, Journal of Geophysical Research, 116.

Abdi Vishkaee F. Flamant C. Cuesta J. Oolman L. Flamant P. and Khalesifard H. R. (2012). **Dust transport over Iraq and northwest Iran associated with winter Shamal: A case study**, Journal of Geophysical Research, 117.

Bayat A. Khalesifard H. R. and Masoumi A. (2013). **Retrieval of aerosol single-scattering albedo and polarized phase function from polarized sun-photometer measurements for Zanjan's atmosphere**, Atmos. Meas. Tech. 6.

Bayat A. Masoumi A. and Khalesifard H. R. (2011). **Retrieval of atmospheric optical parameters from ground-based sun-photometer measurements for Zanjan, Iran**, Atmos. Meas. Tech. 4.

Cao H. Amiraslani F. Liu J. and Zhou N. (2015). **Identification of dust storm source areas in West Asia using multiple environmental datasets**, Science of the Total Environment, 502.

Esmaili O. Tajrishy M. and Daneshkar Arasteh P. (2006). **Results of the 50-year ground-based measurements in comparison with satellite remote sensing of two prominent dust emission sources located in Iran**, Proc. of SPIE, 6362.

Hui C. Jian L. Guizhou W. Guang Y. and Lei L. (2015). **Identification of sand and dust storm source areas in Iran**, J. Arid Land, 7(5).

Jansuz M. (2004). **DEM Data Obtained from the Shuttle Radar Topography Mission – SRTM3**. Annals of Geomatics, 2.

Jin Q. Wei J. and Yang Z. (2014). **Positive response of Indian summer rainfall to Middle East dust**, Geophysical Research Letters.

Kampa M. and Castanas E. (2008). **Human Health Effects of Air Pollution**, Env. Pol. 151, 362-367

Kokhanovsky A. A. (2008). **Aerosol Optics**, Springer.

Kutiel H. (2003). **Dust Storms in the Middle East: Sources of Origin and Their Temporal Characteristics**. Indoor and Built Environment, 12, 419-426.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.98.1]
[DOI: 10.61186/jgs.23.70.143]

Levy, R.C. Remer, L.A. Mattoo, S. Vermote, E.F. Kaufman, Y.J. (2007). **Second generation operational algorithm: retrieval of aerosol properties over land from inversion of Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer spectral reflectance**. J. Geophys. Res. Atmos. (1984e2012) 112.

Masoumi A. Khalesifard H. R. Bayat A. and Moradhaseli R. (2013). **Retrieval of aerosol optical and physical properties from ground-based measurements for Zanjan, a city in Northwest Iran**, Atmospheric Research, 120-121.

Mishchenko, M. I. Hovenier, J.W. Travis. L. D. (1999). **Light Scattering by Nonspherical Particles Theory**, Measurements and Applications.

Prospero J. M. Ginoux P. Torres O. Nicholson S. E. and Gill Th. E. (2002). **Envirionmental characterization of global sources of atmospheric soil dust identified with the nimbus 7 total ozone mapping spectrometer (TOMS) absorbing aerosol product,** Review of Geophysics 40(1)

Rahimi M. Yazdani M. R. Asadi M. and Karem A. (2014). **Temporal and spatial variability of dust storm events in West Asia (Iran and Iraq border)**. International Journal of Civil and Environmental Research, 1(3).

Ramaswamy V. Muraleedharan P. M. and Prakash Babu C. (2017). **Mid-troposphere transport of Middle-East dust over the Arabian Sea and its effect on rainwater composition and sensitive ecosystems over India**, Scientific Reports, 7.

Rashki A. Kaskaoutis D. G. Eriksson P. G. Rautenbach C. J. de W. Flamant C. and Abdi Vishkaee F. (2013). **Spatio-temporal variability of dust aerosols over the Sistan region in Iran based on satellite observations**, Natural Hazards, 71(1).

Rashki A. Kaskaoutis D. G. Francois P. Kosmopoulos P. G. and Legrand M. (2015). **Dust-storm dynamics over Sistan region, Iran: Seasonality, transport characteristics and affected areas**. Aeolian Research, 16.

Remer, L.A. Kaufman, Y. Tanr_e, D. Mattoo, S. Chu, D. Martins, J.V. Li, R.R. Ichoku, C. Levy, R. Kleidman, R. (2005). **The MODIS aerosol algorithm, products, and validation**. J. Atmos. Sci. 62, 947e973.

Sotoudeheian S. Salim R. and Arhami M. (2016). **Impact of Middle Eastern dust sources on PM_{10} in Iran: Highlighting the impact of Tigris-Euphrates basin sources and Lake Urmia desiccation**, Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 121.

Winker, D.M. Vaughan, M.A. Omar, A. Hu, Y. Powell, K.A. Liu, Z. Hunt, W.H. Young, S.A. (2009). **Overview of the CALIPSO mission and CALIOP data processing algorithms**. J. Atmos. Ocean. Technol. 26, 2310e2323.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.98.1]

[DOI: 10.61186/jgs.23.70.143]