

## صحت‌سنجی عمق نوری ریزگردها با استفاده از ایستگاه‌های زمینی آثرونیت در مناطق دریایی (مطالعه موردی: خلیج فارس)

سعید فرهادی<sup>۱</sup>، حسین محمد عسگری<sup>۱\*</sup>، علی دادالهی سهراب<sup>۱</sup>، سید محمدجعفر ناظم السادات<sup>۲</sup>، سید حسین خزایی<sup>۱</sup>

۱. گروه محیط زیست دریا، دانشکده منابع طبیعی دریا، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر.

۲. بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۹/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱/۲۶

### چکیده

پیش‌بینی ریزگردها نیز چون پیش‌بینی باد و باران نیاز به اطلاعات هم‌دیدگی سطح زمین، لایه‌های بالایی جو، نقشه‌های پیش‌بینی سطح زمین و سطوح فوقانی همین‌طور استفاده از رادار و ماهواره دارد. در این میان رصد راداری و ماهواره‌ای شامل سنجش از دور می‌تواند در صحت پیش‌بینی، کارآمد باشد. بر اساس همین ضرورت هدف از این پژوهش، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده مودیس جهت تخمین عمق نوری ریزگردها در سطح خلیج فارس و برآورد رابطه همبستگی خطی میان ریزگردهای جوی با اندازه‌گیری‌های زمینی می‌باشد. استخراج داده‌های عمق نوری استفاده از کد دستوری تهیه شده در نرم‌افزار متلب صورت گرفت و ارزیابی داده‌های استخراجی با استفاده از آزمون همبستگی پیرسون، شاخص RMSE و RMSD انجام گرفت. عمق نوری بدست آمده از پردازش تصویر در این مطالعه با عمق‌های نوری به‌دست آمده از شبکه آثرونیت مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج این ارزیابی‌ها نشان دهنده همبستگی بالا و معنی‌داری بین عمق نوری بدست آمده و عمق‌های نوری حاصل از شبکه آثرونیت برقرار است ( $R^2=0.99$ ). باندهای ۱/۲۴۳ و ۱/۶۳۲ بهترین و مناسب‌ترین حالت را نمایش دادند. در تمامی ایستگاه‌ها مقدار AOD بدست آمده از تصویر ماهواره‌ای بزرگتر از مقدار AOD متناظر با آن در ایستگاه آثرونیت می‌باشد و الگوریتم مورد استفاده دارای بیش برآورد است. علت این بیش برآورد را می‌توان استفاده از ذرات با شعاع موثرهای محدود دانست زیرا دامنه تحت پوشش این شعاع موثرها در توزیع اندازه ذرات لوگ‌نرمال محدود می‌شود. منابع خطا در ارزیابی ذرات معلق، مانند خطای کالیبراسیون سنسور، آلودگی موجود در زاویه تابش، و یا تخمین نادرست از انعکاس آب تعریف شد.

**کلمات کلیدی:** خلیج فارس، شعاع موثر، آثرونیت، ریزگرد، عمق نوری

\* نویسنده مسئول، پست الکترونیک: [hmasgari01@gmail.com](mailto:hmasgari01@gmail.com)

## ۱. مقدمه

پیش‌بینی ریزگردها نیز چون پیش‌بینی باد و باران نیاز به اطلاعات همدیدی سطح زمین، لایه‌های بالایی جو، نقشه‌های پیش‌یابی سطح زمین و سطوح فوقانی همین طور استفاده از رادار و ماهواره دارد. در این میان رصد راداری و ماهواره‌ای شامل سنجش از دور می‌تواند در صحت پیش‌بینی، کارآمد باشد چرا که بوسیله سنجش از دور می‌توان ضمن شناسایی پدیده ایجاد شده و تخمین سرعت و جهت حرکت آن زمان رسیدن این پدیده را به منطقه مورد نظر پیش‌بینی کرد. همچنین کمی‌سازی چشمه‌های ریزگرد و برآورد غلظت آن در مطالعات کیفیت هوا بسیار با اهمیت می‌باشد (Chan et al., 2005). با استفاده از دانش سنجش از دور می‌توان میزان ریزگردها در هوا را در مقیاس‌های خیلی وسیع و با هزینه خیلی کمتر اندازه‌گیری کرد. در سنجش از دور از میزان بازتابش تشعشع خورشید در سطح بالای اتمسفر برای شناسایی مقادیر ریزگردها در اتمسفر استفاده می‌شود (Liu., 2004; Chervenkov and Jakobs, 2011). ماهواره‌های سنجش از دور دارای مزایای زیادی در پایش غبار هستند که به دلیل پوشش مکانی و زمانی فوق‌العاده آن‌ها می‌باشد. در مقایسه با داده‌های اندازه‌گیری شده، تصاویر ماهواره‌ای می‌تواند پهنای وسیعی را پوشش داده و به دلیل قابلیت تکرار، ابزار بسیار مهمی برای کنترل ریزگردها و انتقال آنها به شمار می‌رود (Wang and Sunder., 2003). سنجنده‌های ماهواره توانایی ثبت سیگنال‌های تابشی از هواویزها و سطوح مختلف زمین در باندهای مختلف طیفی را دارند. سیگنال باندهای مختلف برای آشکارسازی پدیده‌های غبار می‌توانند ترکیب شوند و با استفاده از این ترکیبات، متغیرهایی را برای کمی‌سازی بار غبار و اندازه ذرات غبار می‌توان استخراج نمود (Ackerman et al., 1997). در این راستا مطالعاتی در مناطق مختلف جهان صورت گرفته است که می‌توان به بررسی رابطه داده‌های عمق نوری ریزگردها در مودیس و داده‌های ایستگاه‌های زمینی پرداخت.

سامانه مدل‌سازی جامع ریزگردها قادر به شبیه‌سازی و پیش‌بینی همه جنبه‌های ریزگردها در سطح یک منطقه می‌باشد. هدف از این چنین سامانه‌هایی ارزیابی و پیش‌بینی کمی از ذرات ریزگرد در مقیاس‌های محلی تا جهانی است. Geogdzhayev and Mishchenko (2015) مطالعه‌ای را برای ۷۵ ایستگاه آئرونت در کل سواحل و جزایر کره زمین برای دوره زمانی ۱۵ سال (۲۰۰۹-۱۹۹۵) برای باند ۰/۶۴۴ و ۰/۸۵۵ میکرومتر بر روی اقیانوس از جمله خلیج فارس انجام دادند. میانگین ماهانه مجموعه داده‌های عمق نوری هواویزهای ماهواره‌ای بر روی اقیانوس ضریب همبستگی بالایی را با مقادیر اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های زمینی نشان داد، تجزیه و تحلیل رگرسیون آنها نشان داد که به طور متوسط داده‌های AOT سنجنده مودیس برابر ۲۵-۵ درصد بالاتر از مقادیر آئرونت می‌باشد. مقایسه متوسط ماهانه AOT تصاویر مودیس در طول زمین و اقیانوس در مجاورت ایستگاه‌های آئرونت ساحلی سطح معنی‌دار قابل توجه‌ای را نشان داد. این امر نشان داد که مقدار ریزگردها در مکانهای ساحلی می‌تواند به طور معنی‌داری در مقایسه با مناطق آبی اقیانوس مجاور متفاوت باشد. (Levy et al., 2015) جهت توصیف الگوریتم بازیابی ریزگردها مطالعه‌ای را در بازه زمانی ۲۰۱۴-۲۰۱۲ با استفاده از الگوریتم پیکسل تاریک سنجنده مودیس در سطح خشکی و دریا انجام دادند. نتایج آنها نشان داد که بر روی خشکی تفاوت میان داده‌های AOD تصاویر با ایستگاه‌های زمینی کاهش می‌یابد و نزدیک به صفر می‌باشد. اما بر روی اقیانوس استفاده از الگوریتم باعث افزایش AOD سنجنده مودیس و داده‌های ایستگاه‌های زمینی (حدوداً تا ۰/۲۵) می‌شود. همچنین در این مطالعه میزان همبستگی برای ماه‌های مختلف در دامنه ۰/۸۸ تا ۰/۹۲ و RMSE نیز در دامنه ۰/۰۶ تا ۰/۰۸ متغیر بود در نتیجه مطالعات آنها نشان داد که همبستگی بالایی میان داده‌های استخراج شده از باند ۰/۵۵۳ و ۰/۸۵۵ میکرومتر با داده‌های ایستگاه‌های زمینی وجود دارد.

استفاده از فناوری ماهواره‌ای و علم سنجش از دور در دریافت و تحلیل پارامترهای هواشناسی و اقیانوس-شناسی گسترش روزافزونی یافته است (Tavoosi et al., 2011). در سال‌های اخیر استفاده از فناوری ماهواره‌ای و علم سنجش از دور در دریافت و تحلیل پارامترهای هواشناسی و اقیانوس‌شناسی گسترش روزافزونی یافته است. با توجه به اشراف ایران به بخش عظیمی از آب‌های خلیج فارس و دریاچه خزر لازم است که از این تحقیق و موارد مشابه، استفاده و با تجهیزات کامل و برنامه‌های مدون این تحقیقات به صورت گسترده و در زمان‌های مختلف از نظر فصول و سال‌ها انجام پذیرد تا بتوان به بعضی داده‌های لازم منطقه‌ای دست یافت. اگر هزینه‌ها و مقدار وقت مصرف شده محاسبه گردد، این نظریه تأیید می‌شود که استفاده از کاربری ماهواره در شناخت بیشتر دریاها حتی از نظر بیولوژیکی و صید آبزیان و پیش‌بینی بلایای طبیعی می‌تواند فوق‌العاده مفید باشد (Tavoosi et al., 2011). براساس همین ضرورت، هدف نهایی پژوهش حاضر بکارگیری فناوری سنجش از دور و استفاده از تصاویر سنجنده مودیس جهت تخمین عمق نوری ریزگردها در سطح خلیج فارس و برآورد رابطه همبستگی خطی میان ریزگردهای جوی با اندازه‌گیری‌های زمینی می‌باشد.

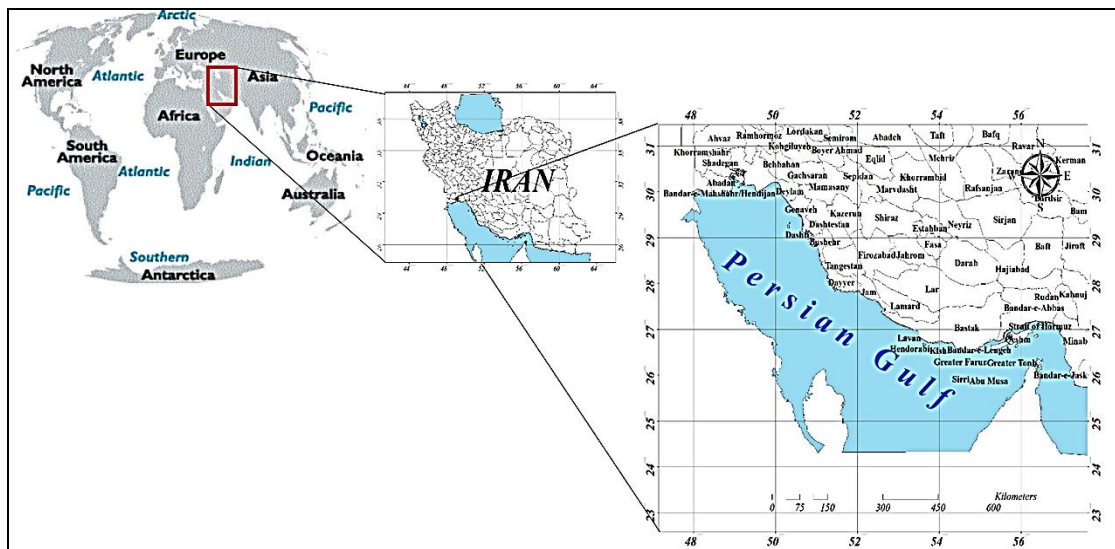
## ۲. مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق خلیج فارس می‌باشد (شکل ۱) که در عرض جغرافیایی ۲۴ تا ۳۰ درجه و ۳۰ دقیقه شمالی و ۴۸ تا ۵۶ درجه و ۲۵ دقیقه شرقی از نصف النهار گرینویچ قرار دارد. از نظر آب و هوایی شرایط خشک و نیمه استوایی دارد، عریض‌ترین بخش آن ۱۸۰ مایل و عمیق‌ترین نقطه آن ۹۳ متر در ۱۵ کیلومتری تنب بزرگ، و کم عمق-ترین بخش آن در غرب بین ۱۰ تا ۳۰ متر می‌باشد. بخش زیادی از اثرات سو بر اکوسیستم دریایی خلیج-فارس به علت تغییرات فیزیکی در ساحل است که در این رابطه می‌توان به استحصال زمین بیش از حد

(Wei et al., 2014) عمق نوری ریزگردها را در دریاچه بایکال با استفاده از داده‌های سنجنده مودیس و الگوریتم ذرات معلق ناسا بازیابی کردند. نتایج آنها نشان داد که مقادیر عمق نوری (AOT) استخراج شده از عمق نوری ایستگاه آثروننت بیشتر بوده و ضریب همبستگی ۰/۲۲ به دست آمد. که پس از حذف عمق‌های نوری بزرگتر از ۱ نتایج تحلیل رگرسیون برای عمق‌های نوری مشاهده شده و سنجنده مودیس میزان همبستگی ۰/۹ را ارائه داد. اما با توجه به اینکه بایکال در عرض جغرافیایی بالا می‌باشد (بالتر از ۵۰ درجه سانتی شمالی)، مدت زمان تابش آفتاب کوتاه می‌باشد که تابش خورشیدی تحت تاثیر قرار می‌دهد و در نتیجه بازیابی متأثر است. (Khoshsima et al., 2015) در مطالعه‌ای نشان داد که ضریب همبستگی بین مقادیر مشاهداتی با مقادیر پیش‌بینی شده برای روش همبستگی ساده چند متغیره و شبکه عصبی به ترتیب برابر ۰/۶۲ و ۰/۸۲ است. در مقایسه با روش همبستگی ساده چند متغیره روش مناسبی برای برای برآورد تمرکز PM10 است. از این رو استفاده از داده-های ماهواره ای برای برآورد ذرات معلق مناسب تلقی شد. (Mohammadinezhad et al., 2015) با هدف تهیه نقشه توزیع مکانی ذرات کمتر از ده میکرون استان خوزستان در دوازده زمانی ساعتی و روزانه با استفاده از مدل رگرسیون خطی مطالعه‌ای را انجام دادند. نتایج حاصله دقت خوبی از اندازه‌گیری‌های مودیس در تحقیقات آلودگی هوا نشان داد و نتایج آنها بیانگر این مساله است که بازه زمانی ساعتی، ضریب تعیین بالاتری (۹۰٪) نسبت به بازه روزانه (۷۶٪) دارا می‌باشد. نتایج آنها نشان داد که در مقادیر کم ذرات معلق (حدود ۱۰۰ میکروگرم بر متر مکعب) همبستگی معنی‌داری بین ذرات معلق و متغیر AOD دیده نمی‌شود در حالی که در مقادیر بالای ذرات معلق همبستگی قوی‌تر می‌باشد. تعیین پراکندگی ریزگردها و مواد معلق با روش‌های معمولی به علت گستردگی و همچنین متغیر بودن آن، کاری هزینه بر و وقت گیر و گاهی اوقات غیرممکن است. اما در سال‌های اخیر

فارس را با تهدید روبه‌رو ساخته است. حدود هزار تن ریزگرد به ازای یک کیلومتر مربع در خلیج فارس رسوب می‌یابد.

توان خلیج فارس اشاره کرد. لایروبی بنادر نیز از جمله این فعالیت‌ها به‌شمار می‌آیند. رسوب ریزگردها از جمله پدیده‌های نوظهور است که محیط‌زیست خلیج-



شکل ۱. منطقه مورد مطالعه

به عنوان یک سهم نسبی در سطح گسترده تر موثر می‌باشد. اثر خطای زاویه تابش مخرب‌ترین خطا در بازیابی پارامترهای اندازه می‌باشد. این گزینه ممکن است در نتایج ۱۰٪ خطا ایجاد کند اما خطای سیستماتیک در واقع وجود دارد. و مقادیر بهتر را در پارامترهای اندازه می‌توان به دور از انعکاس زاویه تابش بازیابی کرد که زوایای تابش  $> 40^\circ$  برای بازیابی ذرات معلق با کیفیت بالا در نظر گرفته می‌شود. الگوریتم تعیین عمق نوری ذرات معلق (AOD متناسب با تعیین کل ذرات معلق در ستون عمودی) برای تعیین توزیع اندازه ذرات از نور محیط استفاده می‌کند. در این الگوریتم فرض بر این است که حالات ذرات معلق ریز و درشت را می‌توان با وزن‌دهی مناسب به عنوان ذرات معلق محیطی با هدف مشخص ترکیب کرد. در این الگوریتم انعکاس طیفی جداول LUT با انعکاس طیفی سنجنده مودیس برای پیدا کردن بهترین حالت (حداقل مربعات خطا) مقایسه شده است و بهترین برآزش و یک میانگین از مجموعه‌ای از بهترین حالات ممکن را ارائه می‌دهد (Tanre et al.,

تئوری و استراتژی الگوریتم بازیابی ذرات معلق در اقیانوس توسط Levy et al., Tanre et al., (1997), (2007) و Remer et al., (2005) تشریح شده است. به طور کلی بازیابی داده‌های مودیس با دقت مورد انتظار تحت شرایط معین صورت می‌گیرد. تخمین ریزگردها بر فراز اقیانوس منجر به خطاهای در بازیابی عمق نوری هواویزهای طیفی می‌شود (Levy et al., 2007). منابع خطا در بازیابی ذرات معلق، مانند خطای کالیبراسیون سنسور، آلودگی موجود در زاویه تابش، و یا تخمین نادرست از انعکاس آب تعریف می‌شود. برای خطاهای تصادفی (خطاهای کالیبراسیون) هیچ اثر سیستماتیکی بر بازیابی عمق نوری ریزگردها وجود ندارد و تاثیر در بسیاری از موارد، تقریباً ناچیز است. خطاهای غیر تصادفی (خطاهای سطحی در طول زاویه تابش) منجر به برآورد بالای ضخامت نوری می‌شود. چرا که مشارکت سطح اضافی به داخل قسمت اتمسفری بزرگتر محاسبه شده، و در نتایج حاصل، ضخامت نوری بزرگتر می‌شود. این اثر بر ضخامت نوری کوچک، اما از اهمیت زیادی برخوردار است، و

تابعی از ترکیب مناسبی از تابش‌ها در یک سامانه سطح-جو است. این تابش در یک طول موج خاص تابع  $\rho_{\lambda}$  و در زوایای معینی از زاویه سرسوی خورشید  $\theta_s$ ، زاویه دید سنجنده  $\theta_v$  و آزیموت بازتابندگی  $\phi$ ، متشکل از تابش پراکنده شده در جو بدون دخالت سطح، بازتاب ناشی از سطح که به طور مستقیم به بالای جو می‌رسد و بازتاب خارج از زاویه دید سنجنده می‌باشد. جز سوم یعنی بازتاب خارج از زاویه دید سنجنده قابل چشم‌پوشی می‌باشد. بازتاب اندازه‌گیری شده در بالای جو برای ۹ زاویه سرسوی خورشیدی (۰، ۶، ۱۲، ۲۴، ۳۶، ۴۸، ۵۴، ۶۰ و ۶۶ درجه)، ۱۶ زاویه دید سنجنده (۰ تا ۸۸/۵ با فواصل ۶ درجه) و ۱۶ زاویه آزیموت بازتابندگی (۰ تا ۱۸۰ با فواصل ۱۲ درجه) محاسبه می‌شود. این محاسبات برای اندازه ذرات مختلف و عمق‌های نوری مختلف انجام می‌گیرد و جدول‌های LUT تشکیل می‌شود. این پارامترها با استفاده از مدل انتقال تابشی بدست می‌آیند. دیگر پارامترهای موجود در جدول‌های LUT شامل ضرایب پراکنش و میرایی و متغیرهای تشریح کننده خصوصیات فیزیکی (شعاع هندسی، انحراف معیار هندسی، شعاع ژئومتری) و ضریب غلظت توده می‌باشند. سپس با استفاده از معادله (۱)، بازتاب در بالای جو محاسبه می‌شود و با در نظر گرفتن شرایط زیر مقادیر عمق نوری محاسبه می‌شود.

$$\rho_{\lambda}^{MODIS} - \rho_{\lambda}^{TOA} = 0 \quad (1)$$

که  $\rho_{\lambda}^{MODIS}$  بازتاب ثبت شده در باندهای مختلف سنجنده مودیس و  $\rho_{\lambda}^{TOA}$  بازتاب محاسبه شده در بالای جو است. الگوریتم محاسبه زاویه تابش<sup>۳</sup>، که نشان‌دهنده زاویه بازتاب، در مقایسه با زاویه بازتاب اینه طبی می‌باشد. به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\theta_{glint} = \cos^{-1}((\cos\theta_s \cos\theta_v) + (\sin\theta_s \sin\theta_v \cos\phi)) \quad (2)$$

که در آن  $\theta_s$ ،  $\theta_v$  و  $\phi$  به ترتیب زاویه سرسوی خورشیدی، زاویه سرسوی ماهواره‌ای و زاویه آزیموت نسبی (بین خورشید و ماهواره) می‌باشد. توجه کنید

حذف پوشش ابرها و رسوبات، به صورت ویژه در بازیابی داده‌های ریزگردها در طول انعکاس، با بررسی جدول LUT امکان‌پذیر می‌باشد. با این تغییرات، الگوریتم غلظت ریزگردها را در سطح دریاها محاسبه می‌کند. در مطالعه حاضر، برای بازیابی خواص ذرات معلق بر روی محدوده خلیج فارس با استفاده از انعکاس طیفی سنجنده مودیس ماهواره EOS (سامانه ترا<sup>۱</sup>) از الگوریتم مربوط به محیط دریایی و تصاویر مربوط سال ۱۳۸۸ که تعداد ایستگاه‌های آئرونت زیادی در سطح خلیج فارس بیشتر بوده است استفاده شد. در این پژوهش برای پردازش تصاویر برنامه‌ای به زبان نرم افزار متلب<sup>۲</sup> تهیه شد. کل فرایند پردازش در شبکه‌های ۵×۵ و پیکسل‌ها با توان تفکیک ۵۰۰ متر (۱۰ کیلومتر در نادیر) انتخاب شدند. قبل از اجرای الگوریتم، بازتاب اندازه‌گیری شده توسط مودیس در بالای جو، در طول موج‌های ۰/۶۴۴، ۰/۸۵۵، ۱/۲۴۳، ۱/۶۳۲ میکرومتر به ازای کلیه پیکسل‌های شبکه تعیین شد. برای تفکیک اثر پدیده‌های مختلف نظیر ابرها، محیط‌های آبی و برف از سیگنال هواویزها از ماسک‌های مختلف استفاده شد. اثرات اتمسفری و اثرات گازهای موجود در جو (ازن، بخار آب و دی اکسید کربن) و همچنین اصلاحات جذب، بازتاب نیز بر روی تصاویر اجرا شد. اعتبارسنجی داده‌ها نیز با استفاده از داده‌های AOD اندازه‌گیری شده توسط دستگاه‌های نورسنج خورشیدی در ایستگاه‌های آئرونت انجام شد. در این برنامه ماسک ابر براساس مقادیر بازتاب و انحراف معیار در باندهای ۰/۶۴۴، ۰/۸۵۵، ۰/۴۶۶، ۰/۵۵۳، ۱/۲۴۳ و ۱/۳۸ محاسبه شد. استفاده از این باندها اطلاعات مفیدی را در مورد ویژگی‌های انواع ابرها بدست می‌دهد (Martin et al., 2002). با تعیین ماسک ابر، ارزش پیکسل‌های دارای ابر برابر با صفر می‌شود و با ضرب این ماسک در سایر باندها، اثر ابر در سایر باندها نیز از بین می‌رود. بازتاب در بالای جو

<sup>۱</sup> Terra(EOS-AM1)

<sup>۲</sup> MATLAB@R

<sup>۳</sup> Glint Angle

انواع مختلف پارامترهای توزیع اندازه ذرات را که شامل عمق نوری طیفی، شعاع موثر و غیره می‌باشد را محاسبه می‌کند. برای ارزیابی و صحت‌سنجی نتایج از داده‌های روزانه عمق نوری ذرات معلق (AOD) اندازه‌گیری شده توسط ایستگاه‌های آئرونت خلیج فارس که موقعیت جغرافیایی آنها در جدول ۱ ذکر شده است، استفاده شد. این داده‌ها و موقعیت جغرافیایی آنها از طریق سایت جهانی آئرونت<sup>۲</sup> قابل دسترسی می‌باشد.

جدول ۱. موقعیت ایستگاه‌های آئرونت مورد مطالعه

ردیف	نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
۱	دالما	۵۲۱۹۵۵	۲۴۳۰۰۷
۲	صیر بو نعیر	۵۴۱۳۵۸	۲۵۱۳۰۱
۳	اووم الکوائین	۵۵۳۹۲۸	۲۵۳۱۵۸
۴	مارکو	۵۴۳۹۳۲	۲۴۴۱۶۰
۵	بحرین	۵۰۳۶۳۲	۲۶۱۲۲۸
۶	مصفح	۵۴۲۸۰۱	۲۴۲۲۱۹
۷	ابو البخوش	۵۳۰۸۴۵	۲۵۲۹۴۲

\*واحدهای طول و عرض جغرافیایی بر حسب درجه، دقیقه، ثانیه (DMS) می‌باشد.

داده‌های متناظر با این ایستگاه‌ها برای باندهای ۰/۶۴۴، ۰/۸۵۵، ۱/۲۴۳، ۱/۶۳۲ میکرومتر از تصویر استخراج شد. عمق نوری بدست آمده از تصاویر با مقادیر بدست آمده این باندها در ایستگاه‌های آئرونت مقایسه شد. در این تحلیل‌ها از آزمون همبستگی پیرسون و شاخص‌های آماری میانگین، انحراف معیار، همبستگی، میانگین مربعات خطا (RMSE) و اختلاف میانگین مربعات خطا (RMSD) استفاده شد.

$$RMSD = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N [(m_i - \bar{m}) - (o_i - \bar{o})]^2 \quad (4)$$

$$RMSE = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N [(m_i - o_i)]^2 \quad (5)$$

که  $m_i$  و  $o_i$  به ترتیب داده شبیه‌سازی و داده اندازه‌گیری،  $\bar{m}$  و  $\bar{o}$  میانگین داده‌های شبیه‌سازی و اندازه‌گیری و  $N$  تعداد داده‌ها می‌باشد. به دلیل اینکه

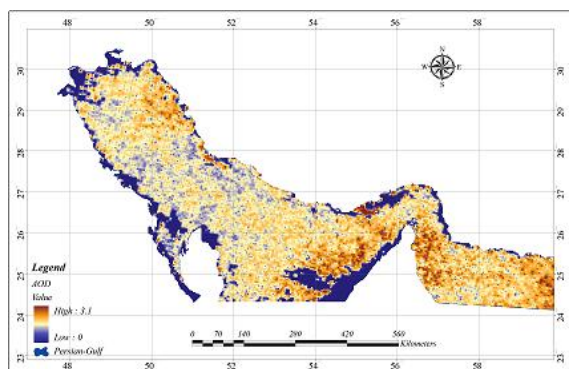
که انعکاس زاویه تابش<sup>۱</sup> مطابق با  $\theta_{glint} = 0$  می‌باشد. اگر  $\theta_{glint} > 40^\circ$  باشد می‌توان از آلودگی تابشی جلوگیری و اقدام به بازیابی کرد. این الگوریتم چندین بررسی پایدار از بازتاب طیفی انجام می‌دهد. و با توجه به ثبات نتایج این بررسی، می‌توان این الگوریتم را در تعیین بازتاب برای خارج از محدوده لازم به کار برد. طبق مطالعات Levy (2007)، Remer (2005) و Tanre (1996)، مشخص شد که درخشندگی طیفی سنجنده مودیس (۲/۱۳-۰/۵۵ میکرومتر) دارای تقریباً سه قطعه از اطلاعات مستقل درباره بازیابی ذرات معلق و خصوصیات ابعاد آنها می‌باشد. با استفاده از برخی فرضیات، این الگوریتم می‌تواند سه پارامتر اصلی را استخراج کند: عمق نوری ذرات معلق (AOD) در یک طول موج ( $\tau_{0.55}^{tot}$ )، پارامتر وزن‌دهی انعکاس (FW) و شعاع موثر ( $r_{eff}$ ) در یک طول موج ( $\eta_{0.55}$ )، که نسبتی از توزیع اندازه ذرات معلق می‌باشد. شعاع موثر تنها یکی از حالات ریز و درشت ذرات معلق را برای ترکیب با پارامتر وزن‌دهی یا FW نشان می‌دهد (Gupta et al., 2006). جداول LUT دارای چهار حالت ریز و پنج حالت درشت می‌باشد، بازیابی اطلاعات مستلزم یک حالت ریز و یک حالت درشت می‌باشد و برای تعیین بازیابی، ترکیباتی از حالات ریز و درشت و مشارکت نسبی نور آنها که بهترین حالت شبیه‌سازی انعکاس طیفی سنجنده مودیس نیاز می‌باشد، انعکاس از هر حالت ترکیبی از  $\eta$  به عنوان پارامتر وزن‌دهی به شکل زیر محاسبه می‌شود:

$$\rho_{\lambda}^{LUT}(\tau_{0.55}^{tot}) = \eta \rho_{\lambda}^f(\tau_{0.55}^{tot}) + (1 - \eta) \rho_{\lambda}^c(\tau_{0.55}^{tot}) \quad (3)$$

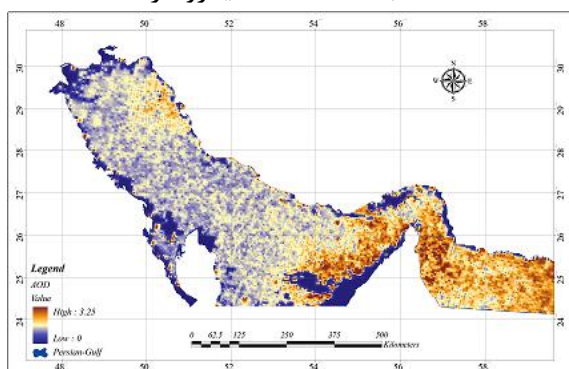
که در آن  $\rho_{\lambda}^{LUT}(\tau_{0.55}^{tot})$  میانگین وزنی انعکاس در اتمسفر در یک حالت ریز (F) و ضخامت نوری  $\tau_{0.55}^{tot}$  و انعکاس در اتمسفر در یک حالت درشت (C) نیز با همان  $\tau_{0.55}^{tot}$  می‌باشد. الگوریتم برای هر ۲۰ ترکیب از حالات ریز و درشت، یک جفت از  $\tau_{0.55}^{tot}$  و  $\eta_{0.55}$  را پیدا می‌کند. هنگامی که یک حالت مناسب یافت شد، حالت‌هایی که عملاً از مدل ذرات معلق مشتق شده و

<sup>۲</sup> aeronet.gsfc.nasa.gov

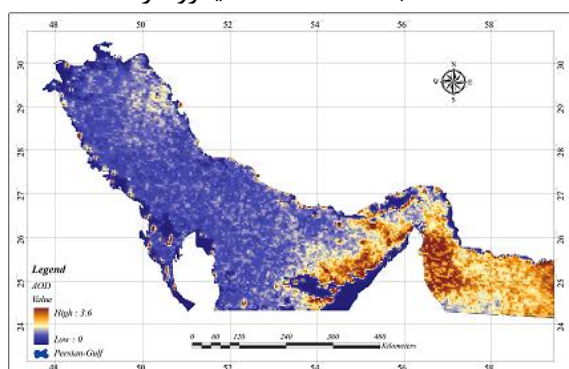
<sup>۱</sup> Fresnel



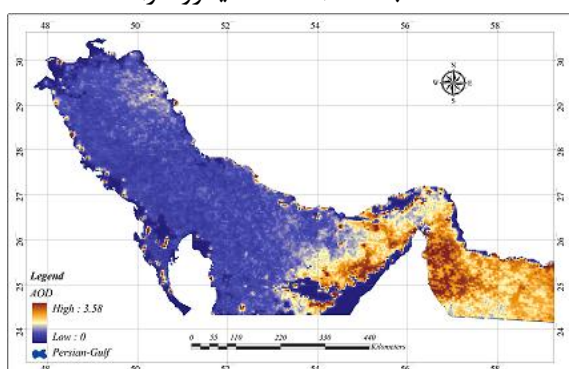
باند ۱ (۰/۶۴۴ میکرومتر)



باند ۲ (۰/۸۵۵ میکرومتر)



باند ۵ (۱/۲۴۳ میکرومتر)



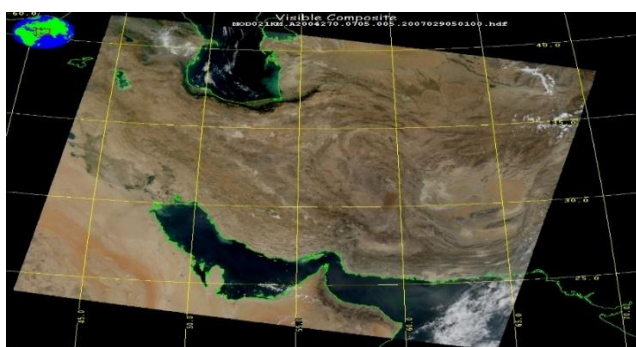
باند ۶ (۱/۶۴۳ میکرومتر)

شکل ۳. عمق نوری (AOD) شبیه‌سازی شده در حوزه خلیج فارس برای توفان گرد و غبار روز ۵ مهر ۱۳۸۳

نزدیک‌ترین ایستگاه‌های آثرونت فعال در محدوده خلیج فارس، ایستگاه‌های دالما (قطر)، بحرین، ابوالبخوش، صیر بو نعیر، اووم الکوئین، مارکو و مصفح (امارات) و در سال ۱۳۸۳ می‌باشد از داده‌های روزانه عمق نوری این ایستگاه‌ها استفاده شد.

### ۳. نتایج

شکل ۲ تصویر RGB مربوط به روز ۵ مهر ۱۳۸۳ را نشان می‌دهد و شکل ۳ عمق نوری (AOD) شبیه‌سازی شده را در باندهای ۱ (۰/۶۴۴)، ۲ (۰/۸۵۵)، ۵ (۱/۲۴۳) و ۶ (۱/۶۴۳) برای حوزه خلیج فارس و نحوه پراکنش آن را نشان می‌دهد. براساس شکل ۳ می‌توان بیان کرد که مدل توانایی مناسبی در نشان دادن تغییرات داده‌های مشاهداتی دارد. شکل ۴ تا ۷ نمودار ارزیابی نتایج شبیه‌سازی شده را با داده‌های بدست آمده در ایستگاه‌های آثرونت دالما، مارکو، صیر بو نویر، ابوالبخوش و اووم الکوئین در روز ۵ مهر ۱۳۸۳ نشان می‌دهد. بر اساس شکل ۶ و ۷ باند ۵ (۱/۲۴۳) و باند ۶ (۱/۶۴۳) حالت مناسب و صحیحی از شبیه‌سازی و همبستگی بالایی را برای میزان غلظت ذرات در این روز نشان می‌دهد که باند ۱/۶۴۳ بهترین حالت را نشان می‌دهد. جداول ۲ تا ۵ خلاصه آماری داده‌های اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده و شاخص‌های ارزیابی را نشان می‌دهد. باتوجه به اشکال ۴ تا ۷ مشاهده می‌شود که نمودارهای پراکنش به نیمساز ربع اول و سوم نزدیکتر می‌باشد.



شکل ۲. تصویر RGB تاریخ ۵ مهر ۱۳۸۳

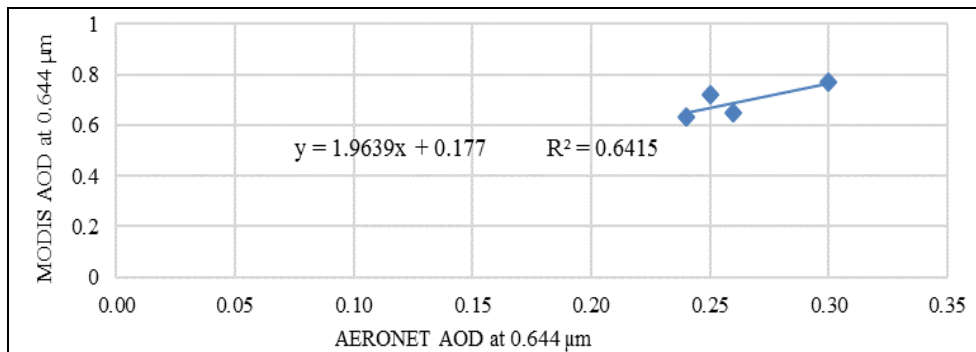
زمین آثرونت می‌باشند که این اختلاف داده می‌تواند ناشی از خطا سنجنده و ارتفاع زیاد سنجنده از زمین نسبت به ارتفاع پدیده ریزگردها که تقریباً در سطح زمین اتفاق می‌افتد، خطای زاویه تابش و آلودگی زاویه تابش باشد.

جدول ۲. شاخص‌های آماری برای باند ۱ (۰/۶۴۴ میکرومتر)

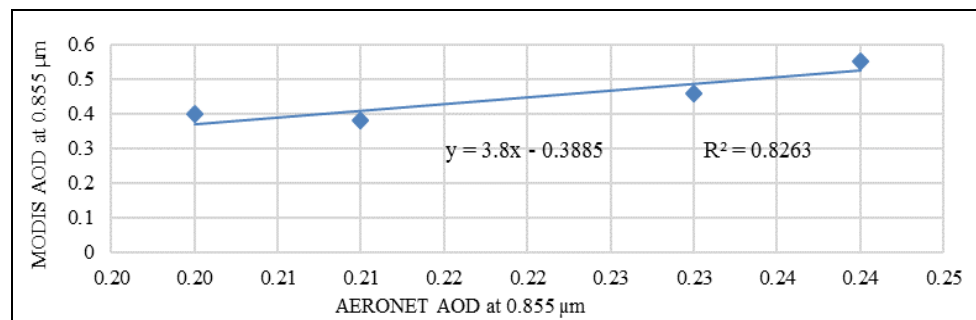
شاخص	اندازه‌گیری شده	مدلسازی سازی شده
میانگین	۰/۲۶	۰/۶۹
انحراف معیار	۰/۰۳	۰/۰۶
همبستگی		۰/۸۰
RMSE		۰/۴۳
RMSD		۰/۰۴

باند ۱ (۰/۶۴۴) و باند ۲ (۰/۸۵۵) در تصاویر حالت مناسبی از پراکندگی ریزگردها را نشان نداد که احتمالاً به دلیل پخش ذرات گسیل شده بوسیله جریان‌های جوی و دامنه کوتاه انعکاسی جداول LUT می‌باشد.

در شکل ۵ میزان همبستگی و شاخص‌های RMSE و RMSD به ترتیب ۰/۹۶، ۰/۳۲ و ۰/۱۰ برای باند ۰/۸۵۵ میکرومتر سنجنده مودیس بدست آمد که این باند نیز مانند باند ۰/۶۴۴ میکرومتر همبستگی بالایی را نشان می‌دهد با این تفاوت که مقادیر به دست آمده از اعمال الگوریتم به داده‌های زمینی نزدیکتر بوده اما با این حال در این باند نیز مقادیر شبیه‌سازی شده بزرگتر از مقادیر اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های



شکل ۴. عمق نوری (AOD) اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده برای باند ۱ (۰/۶۴۴ میکرومتر)



شکل ۵. عمق نوری (AOD) اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده برای باند ۲ (۰/۸۵۵ میکرومتر)

باتوجه به شکل ۶ و ۷ و داده‌های آماری جداول ۴ و ۵ باندهای ۱/۲۴۳ و ۱/۶۳۲ میکرومتر برای بازیابی عمق نوری ریزگردها در خلیج فارس مناسب‌تر می‌باشند و جهت برآورد دقت الگوریتم و ارزیابی داده‌ها در این

جدول ۳. شاخص‌های آماری برای باند ۲ (۰/۸۵۵ میکرومتر)

شاخص	اندازه‌گیری شده	مدلسازی سازی شده
میانگین	۰/۲۲	۰/۴۵
انحراف معیار	۰/۰۲	۰/۰۸
همبستگی		۰/۹۱
RMSE		۰/۲۳

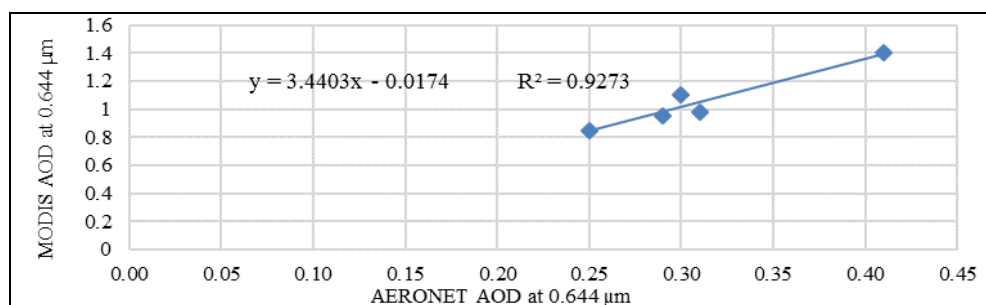


دقت شبیه‌سازی‌ها در این باندها مناسب می‌باشد. و تفاوت‌های ایجاد شده می‌تواند ناشی از خطای ارتفاع سنجنده و پخش ذرات گسیل شده بوسیله جریان‌های جوی و دامنه کوتاه انعکاسی جداول LUT باشد. همچنین تفاوت در مقادیر پارمترهای آماری برای روزهای مختلف بدلیل تغییر شدت توزیع ریزگردها در فضا و تغییر در انعکاس ثبت شده در سنجنده و همچنین پوشش ابر در منطقه می‌باشد.

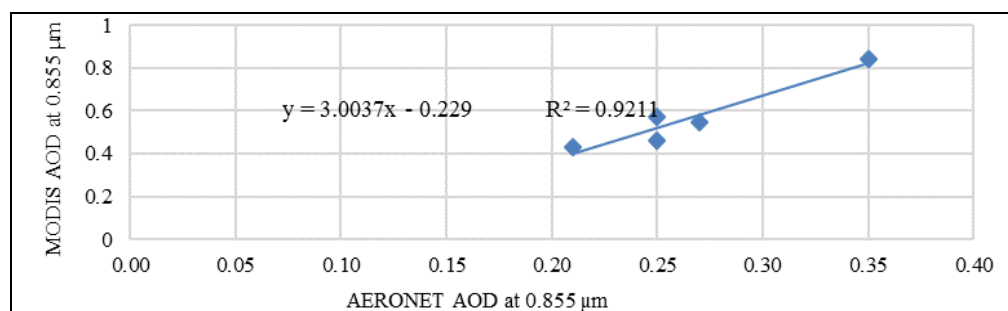
جدول ۴. شاخص‌های آماری برای باند ۵ (۱/۲۴۳ میکرومتر)

شاخص	اندازه‌گیری شده	مدلسازی سازی شده
میانگین	۰/۳۱	۱/۰۶
انحراف معیار	۰/۱۰۶	۰/۲۱
همبستگی		۰/۹۶
RMSE		۰/۷۶
RMSD		۰/۱۴

باندها از داده‌های باند ۱/۲۴۳ و ۱/۶۳۲ میکرومتر ایستگاه‌های آئرونت دالما (قطر)، بحرین، ابوالبخوش (امارات) و مصفح (امارات) که از سایت جهانی آئرونت سازمان ناسا دریافت شده است، استفاده شد. جداول ۴ و ۵ نشان می‌دهد که باندهای ۱/۲۴۳ و ۱/۶۴۳ میانگین و انحراف معیار شبیه‌سازی‌ها به میانگین داده‌های اندازه‌گیری شده نسبت به سایر باندها نزدیکتر می‌باشد. برای باندهای ۱/۲۴۳ و ۱/۶۴۳ میزان RMSE و RMSD کمتر از ۱ و نزدیک به صفر می‌باشد. بنابراین می‌توان بیان کرد دقت شبیه‌سازی‌ها در این باندها مناسبتر می‌باشد. میزان همبستگی برای این باندها در تصاویر و ایستگاه‌های آئرونت ۰/۹۶ به دست آمد. که روند خوبی را بین داده‌های اندازه‌گیری نشان می‌دهد. پارامتر RMSD برای این دو باند به ترتیب برابر با ۰/۷۶، ۰/۳۲ و پارامتر RMSD برابر با ۰/۱۴، ۰/۱۰ محاسبه شد. بنابراین می‌توان بیان کرد



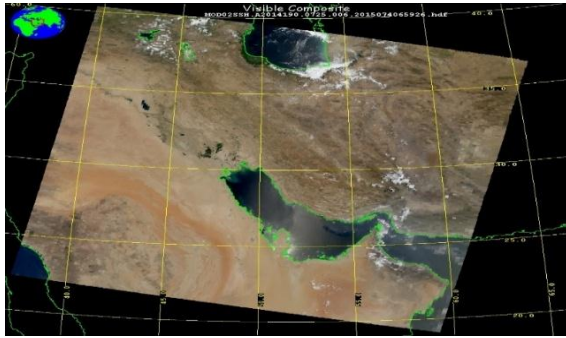
شکل ۶. عمق نوری (AOD) اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده برای باند ۵ (۱/۲۴۳ میکرومتر)



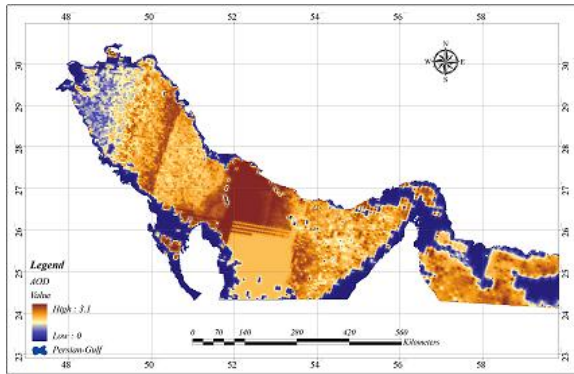
شکل ۷. عمق نوری (AOD) اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده برای باند ۶ (۱/۶۳۲ میکرومتر)

خلیج فارس و نحوه پراکنش آن را نشان می‌دهد. براساس شکل ۹ می‌توان بیان کرد که مدل توانایی مناسبی در نشان دادن تغییرات داده‌های مشاهداتی در باندهای ۰/۸۵۵، ۱/۲۴۳ و ۱/۶۳۲ میکرومتر دارد.

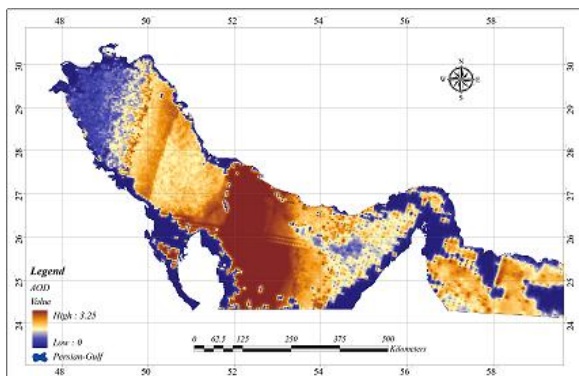
شکل ۸ تصویر RGB مربوط به روز ۱۸ تیر ۱۳۹۳ را نشان می‌دهد و شکل ۹ عمق نوری (AOD) شبیه سازی شده ریزگردها را در باندهای ۱ (۰/۶۴۴)، ۲ (۰/۸۵۵)، ۵ (۱/۲۴۳) و ۶ (۱/۶۴۳) برای حوزه



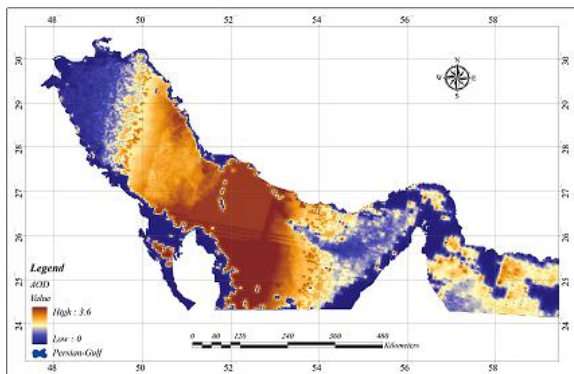
شکل ۸. تصویر RGB تاریخ ۱۸ تیر ۱۳۹۳



باند ۱ (۰/۶۴۴ میکرومتر)



باند ۲ (۰/۸۵۵ میکرومتر)



شکل ۱۰ تا ۱۳ نمودار ارزیابی نتایج شبیه‌سازی شده را با داده‌های بدست آمده در ایستگاه‌های آثرون تیر دالما، ابوالبخوش، مصفح و بحرین در روز ۱۸ تیر ۱۳۹۳ را نشان می‌دهد.

جدول ۵. شاخص‌های آماری برای باند ۶ (۱/۶۳۲ میکرومتر)

شاخص	اندازه‌گیری شده	مدلسازی سازی شده
میانگین	۰/۲۷	۰/۵۷
انحراف معیار	۰/۰۵	۰/۱۶
همبستگی		۰/۹۶
RMSE		۰/۳۲
RMSD		۰/۱۰

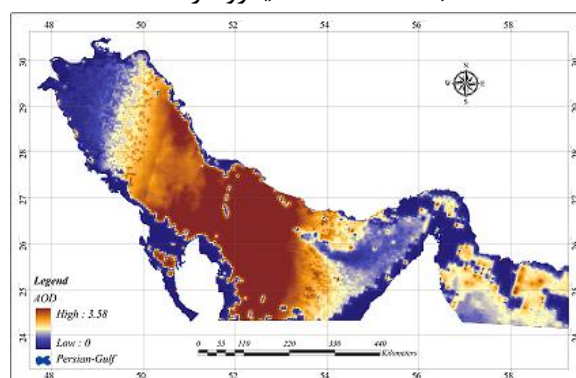
جداول ۶ تا ۹ خلاصه آماری داده‌های اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده و شاخص‌های ارزیابی را نشان می‌دهد. با توجه به اشکال ۱۰ تا ۱۳ مشاهده می‌شود که نمودارهای پراکنش به نیمساز ربع اول و سوم نزدیکتر می‌باشد. شکل ۱۰ و ۱۱ به همراه جداول ۶ و ۷ نشان می‌دهد که باند ۰/۶۴۴ و ۰/۸۵۵ میکرومتر حالت مناسبی از پراکنش ریزگردها را نشان نمی‌دهد. زیرا میزان RMSE بزرگتر از ۱ می‌باشد که نشان دهنده تفاوت زیاد داده‌های شبیه‌سازی با اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های زمینی می‌باشد که این نیز احتمالاً به دلیل پخش ذرات گسیل شده بوسیله جریان‌های جوی و دامنه کوتاه انعکاسی جداول LUT می‌باشد. بر اساس شکل ۱۲ و ۱۳ و شاخص‌های آماری ذکر شده در جداول ۸ و ۹ باندهای ۵ (۱/۲۴۳) و ۶ (۱/۶۴۳) حالت مناسب و صحیحی از شبیه‌سازی و همبستگی بالایی را برای میزان غلظت ذرات در این روز نشان می‌دهد که باند ۱/۲۴۳ بهترین حالت را نشان می‌دهد.

شاخص	اندازه‌گیری شده	مدلسازی سازی شده
میانگین	۰/۳۴	۱/۶۷
انحراف معیار	۰/۰۷	۰/۲۷
همبستگی		۰/۹۲
RMSE		۱/۳۴
RMSD		۰/۱۸

جدول ۷. شاخص‌های آماری برای باند ۲ (۰/۸۵۵ میکرومتر)

شاخص	اندازه‌گیری شده	مدلسازی سازی شده
میانگین	۰/۴۲	۱/۲۵
انحراف معیار	۰/۱۱	۰/۱۳
همبستگی		۰/۸۴
RMSE		۰/۸۳
RMSD		۰/۰۶

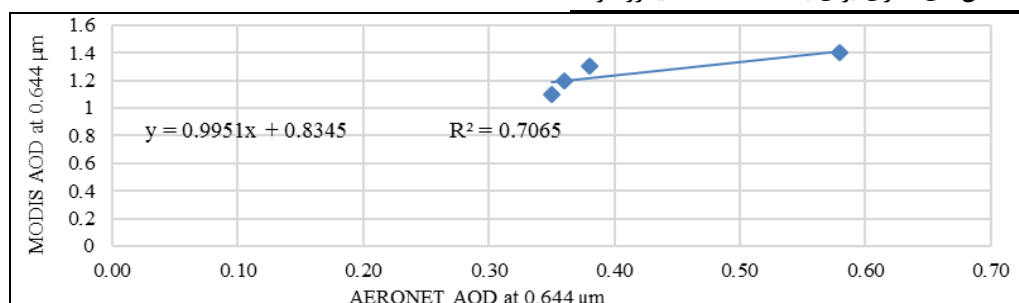
باند ۵ (۱/۲۴۳ میکرومتر)



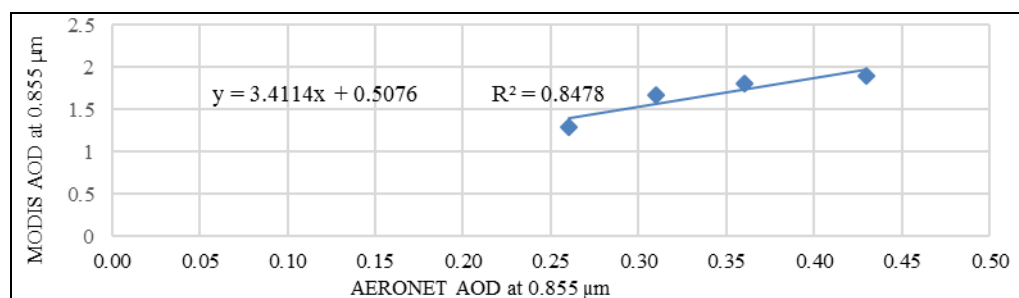
باند ۶ (۱/۶۴۳ میکرومتر)

شکل ۹. عمق نوری (AOD) شبیه‌سازی شده در حوزه خلیج فارس برای توفان گرد و غبار روز ۱۸ تیر ۱۳۹۳

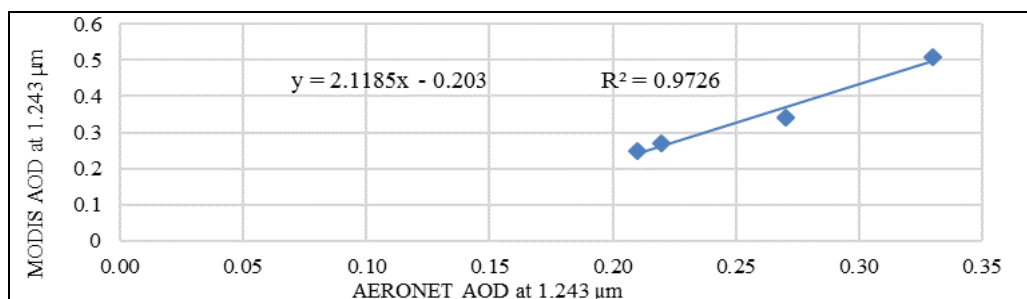
جدول ۶. شاخص‌های آماری برای باند ۱ (۰/۶۴۴ میکرومتر)



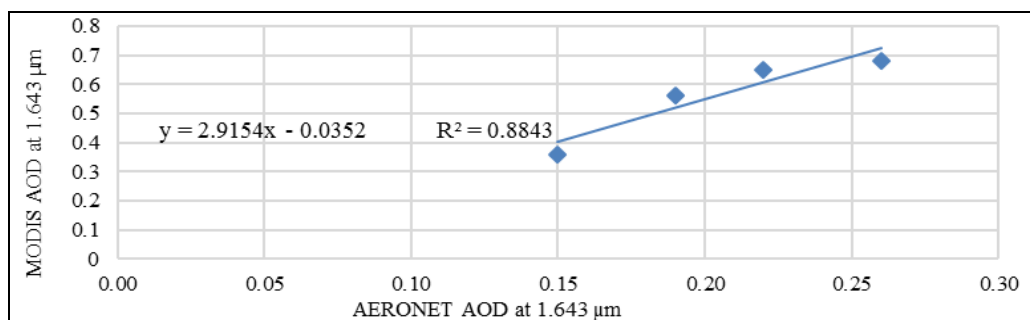
شکل ۱۰. عمق نوری (AOD) اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده برای باند ۱ (۰/۶۴۴ میکرومتر)



شکل ۱۱. عمق نوری (AOD) اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده برای باند ۲ (۰/۸۵۵ میکرومتر)



شکل ۱۲. عمق نوری (AOD) اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده برای باند ۵ (۱/۲۴۳ میکرومتر)



شکل ۱۳. عمق نوری (AOD) اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده برای باند ۶ (۱/۶۴۳ میکرومتر)

این بیش برآورد را می‌توان استفاده از ذرات با شعاع موثرهای محدود دانست زیرا دامنه تحت پوشش این شعاع موثرها در توزیع اندازه ذرات لوگ‌نرمال محدود می‌شود. همچنین در پردازش تصویر بازتاب ثبت شده توسط سنجنده در ارتفاع ۷۵۰ کیلومتری از زمین شبیه‌سازی می‌گردد.

#### ۴. بحث و نتیجه‌گیری

Levy و همکاران (2015) جهت توصیف الگوریتم بازیابی هواویزها مطالعه‌ای را در بازه زمانی ۲۰۱۴-۲۰۱۲ با استفاده از الگوریتم پیکسل تاریخ در شبکه‌ی ۵×۵ پیکسل برای داده‌های مربوط به باندهای ۰/۵۵۳ و ۰/۸۵۵ میکرومتر سنجنده مودیس در سطح خشکی و دریا انجام دادند. و عمق نوری (AOD) ماهانه سری‌های زمانی را با هم مقایسه کردند. و داده‌های AOD حاصله را به صورت شبکه‌های ۱×۱ با داده‌های آئرونوت مقایسه کردند. نتایج آنها نشان داد که بر روی خشکی تفاوت میان داده‌های AOD تصاویر با ایستگاه‌های زمینی کاهش می‌یابد و نزدیک به صفر می‌باشد. اما بر روی اقیانوس استفاده از الگوریتم باعث افزایش عرض از مبدا<sup>۱</sup> AOD سنجنده مودیس و داده‌های ایستگاه‌های زمینی (حدوداً تا ۰/۰۲۵) می‌شود. آنها همچنین داده‌های حاصل از الگوریتم را با داده‌های عمق نوری سطح ۲ ایستگاه‌های آئرونوت مقایسه کردند. میزان همبستگی برای ماه‌های مختلف در دامنه ۰/۸۸ تا ۰/۹۲ و RMSE نیز در دامنه ۰/۰۶ تا ۰/۰۸ متغیر بود

جدول ۸ و ۹ نشان می‌دهد که باندهای ۱/۲۴۳ و ۱/۶۴۳ میانگین داده‌های اندازه‌گیری شده نسبت به سایر باندها نزدیکتر می‌باشد. همچنین برای این باندها همبستگی بالا (۰/۹۹ و ۰/۹۴) میزان RMSE و RMSD کمتر از ۱ و نزدیک به صفر می‌باشد. بنابراین می‌توان بیان کرد دقت شبیه‌سازی‌ها در این باندها مناسبتر می‌باشد.

جدول ۸. شاخص‌های آماری برای باند ۵ (۱/۲۴۳ میکرومتر)

شاخص	اندازه‌گیری شده	مدلسازی سازی شده
میانگین	۰/۲۶	۰/۳۴
انحراف معیار	۰/۰۶	۰/۱۲
همبستگی		۰/۹۹
RMSE		۰/۱۰
RMSD		۰/۰۶

جدول ۹. شاخص‌های آماری برای باند ۶ (۱/۶۴۳ میکرومتر)

شاخص	اندازه‌گیری شده	مدلسازی سازی شده
میانگین	۰/۲۱	۰/۵۶
انحراف معیار	۰/۰۵	۰/۱۴
همبستگی		۰/۹۴
RMSE		۰/۳۷
RMSD		۰/۱۴

نتایج ارزیابی‌ها نشان داد مقادیر AOD بدست آمده از تصاویر ماهواره‌ای همبستگی معنی‌داری با AOD اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های مورد مطالعه دارد. در تمامی ایستگاه‌ها مقدار AOD بدست آمده از تصویر بزرگتر از مقدار AOD متناظر با آن در ایستگاه است و الگوریتم مورد استفاده دارای بیش برآورد است. علت

<sup>۱</sup> Offset

داده‌های سطح ۱/۵ از ۱۱ ایستگاه آثرونیت در پنجره-های ۵\*۵٪ برای ۲۱ آگوست ۲۰۰۰ به مدت ۲ ماه مورد مطالعه قرار دادند. میزان همبستگی برای باند ۰/۶۴۴ برابر با ۰/۹۴ و برای باند ۰/۸۵۵ برابر با ۰/۹۵ با خطای استاندارد برای هر دو باند ۰/۰۲ بدست آمد. آنها نتیجه گرفتند که در عمق‌های نوری (AOD) پایین حساسیت بیشتری نسبت به خطاهای کوچک بازیابی برای عدم قطعیت هر دو آزمون الگوریتم و سنجنده وجود دارد. که باعث تفاوت در میزان داده‌های عمق‌نوری مستخرج از الگوریتم با داده‌های آثرونیت می‌شود. در پژوهش حاضر نیز باندهای ۰/۶۴۴، ۰/۸۵۵، ۱/۲۴۳ و ۱/۶۳۲ میکرومتر برای بازیابی عمق نوری ریزگردها در خلیج فارس استفاده شد و جهت برآورد دقت الگوریتم و ارزیابی داده‌ها از داده‌های همین باندها در ایستگاه‌های آثرونیت دالما (قطر)، بحرین، ابوالبخوش (امارات) و مصفح (امارات) استفاده شد. میزان همبستگی برای روز ۵ مهر سال ۱۳۸۳ و ۱۸ تیز ۱۳۹۳ برای باند ۰/۶۴۴ به ترتیب برابر با ۰/۸۰ و ۰/۹۲ برای باند ۰/۸۵۵ عدد ۰/۹۱ و ۰/۸۴ به دست آمد. که روند نسبتاً معمولی را بین داده‌های اندازه‌گیری نشان می‌دهد اما برای باند ۰/۶۴۴ پارامتر RMSE در این روز برابر با ۰/۴۳ و ۱/۳۴ و پارامتر RMSD برابر با ۰/۰۴ و ۰/۱۸ و برای باند ۰/۸۵۵ پارامتر RMSE در این روز برابر با ۰/۲۳ و ۰/۸۳ و پارامتر RMSD برابر با ۰/۰۵ و ۰/۰۶ محاسبه شد. بنابراین می‌توان بیان کرد دقت شبیه‌سازی‌ها در این باندها نسبتاً مناسب می‌باشد. و تفاوت‌های ایجاد شده می‌تواند ناشی از خطای ارتفاع سنجنده و پخش ذرات گسیل شده بوسیله جریان‌های جوی و دامنه کوتاه انعکاسی جداول LUT باشد. همچنین تفاوت در مقادیر پارمترهای آماری برای روزهای مختلف بدلیل تغییر شدت توزیع ریزگردها در فضا و تغییر در انعکاس ثبت شده در سنجنده و همچنین پوشش ابر در منطقه می‌باشد. (Smirnov et al., 2002) در مطالعه‌ای میزان عمق نوری ذرات معلق (AOD) سنجنده مودیس را با استفاده از ایستگاه آثرونیت

در نتیجه مطالعات آنها نشان داد که همبستگی بالایی میان داده‌های استخراج شده از باند ۰/۵۵۳ و ۰/۸۵۵ میکرومتر با داده‌های ایستگاه‌های زمینی وجود دارد. که در پژوهش حاضر نیز میزان همبستگی برای روزهای مورد مطالعه برای باند ۰/۸۵۵ به ترتیب ۰/۹۱ و ۰/۸۴ به دست آمد. که روند مناسبی را بین داده‌های اندازه‌گیری نشان می‌دهد پارامتر RMSE برای باند ۰/۸۵۵ برابر با ۰/۲۳ و ۰/۸۳ محاسبه شد. که نشان دهنده کیفیت بالای داده‌ها در باند ۰/۸۵۵ میکرومتر می‌باشد. و با توجه به بالا بودن میزان RMSE این باند نمی‌تواند برآورد خوبی از ریزگردها را در محیط دریایی نشان دهد. (Geogdzhayev and Mishchenko (2015) مطالعه‌ای را برای ۷۵ ایستگاه آثرونیت در کل سواحل و جزایر کره زمین برای دوره زمانی ۱۵ سال (۲۰۰۹-۱۹۹۵) برای باند ۰/۶۴۴ و ۰/۸۵۵ میکرومتر بر روی اقیانوس از جمله خلیج-فارس انجام دادند. میانگین مجموعه داده‌های ماهواره‌ای AOT ماهانه در طول اقیانوس ضریب همبستگی بالایی را با مقادیر اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های زمینی نشان داد، به گونه‌ای که ضریب همبستگی برای مقایسه داده‌های آثرونیت و داده‌های GACP برابر با ۰/۸۱-۰/۸۵ و برای داده‌های تصاویر مودیس برابر با ۰/۷۹-۰/۷۴ بدست آمد. تجزیه و تحلیل رگرسیون نشان می‌دهد که به طور متوسط میزان عمق‌نوری (AOD) برای داده‌های GACP حدود ۲۷-۱۷ درصد پایین‌تر از مقادیر آثرونیت، در حالی که برای داده‌های AOD سنجنده مودیس برابر ۲۵-۵ درصد بالاتر از مقادیر آثرونیت می‌باشد. مقایسه متوسط ماهانه AOD تصاویر مودیس در طول زمین و اقیانوس در مجاورت ایستگاه‌های آثرونیت ساحلی سطح معنی‌داری بالایی را نشان داد. این امر نشان داد که مقدار هواویزها در مکانهای ساحلی می‌تواند به طور معنی‌داری در مقایسه با مناطق آبی اقیانوس مجاور متفاوت باشد. (Remer et al., 2002) بازیابی عمق نوری هواویزها (AOD) را برای طول موج‌های ۰/۶۴۴ و ۰/۸۵۵ میکرومتر سنجنده مودیس محاسبه و با

مقادیر عمق‌نوری (AOD) با داده‌های عمق‌نوری (AOD) در ایستگاه‌های آثرون‌ت استفاده شد. ارزیابی کارایی مدل با استفاده از آزمون همبستگی پیرسون، شاخص مجموع مربعات خطا (RMSE) و اختلاف میانگین مربعات خطا (RMSD) انجام گرفت. نتایج ارزیابی‌ها نشان داد مقادیر AOD بدست آمده از تصاویر ماهواره‌ای همبستگی معنی‌داری با AOD اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های مورد مطالعه دارد. در تمامی ایستگاه‌ها مقدار AOD بدست آمده از تصویر بزرگتر از مقدار AOD متناظر با آن در ایستگاه است و الگوریتم مورد استفاده دارای بیش برآورد است. علت این بیش برآورد را می‌توان استفاده از ذرات با شعاع موثرهای محدود دانست زیرا دامنه تحت پوشش این شعاع موثرها در توزیع اندازه ذرات لوگ‌نرمال محدود می‌شود.

منابع خطا در بازیابی ذرات معلق، مانند خطای کالیبراسیون سنسور، آلودگی موجود در زاویه تابش، و یا تخمین نادرست از انعکاس آب تعریف شد. برای شبیه‌سازی این اثرات، منابع خطا به طور مجزا اندازه‌گیری و  $\rho_j^m$  برای هر کانال (j) به روش زیر تعریف می‌شود: خطای کالیبراسیون؛  $\rho_j^m \Rightarrow \rho_j^m -$  ( $Rnd_j$ ) که در آن  $Rnd_j$  خطای تصادفی بین مقیاس  $\pm 0.01$  می‌باشد. این نشان دهنده یک خطای تصادفی کالیبراسیون طیفی در حداکثر ۱٪ می‌باشد. خطای زاویه تابش؛  $\rho_j^m \Rightarrow \rho_j^m + 0.01$ . که در اینجا می‌توان اثر تابش را به‌طور کامل در نظر نگرفت و یا پیش‌بینی شده که یک مقدار ثابت به بازتاب در تمام باندها افزوده شود. خطای سطح نوع ۱؛  $\rho_j^m \Rightarrow \rho_j^m + Rnd_j$  که در آن  $Rnd_j$  خطای تصادفی در مقیاس بین  $\pm 0.002$  می‌باشد که این نشان دهنده، نمونه خطاهای احتمالی در درخشندگی آب می‌باشد. خطای سطح نوع ۲؛  $\rho_j^m \Rightarrow \rho_j^m + 0.005/\lambda_j$ ، جایی که در آن  $\lambda_j$  طول موج مرکزی (بر حسب میکرومتر) در کانال j می‌باشد. برای انجام این کار، بازتاب تقریباً در حدود

بحرین در خلیج فارس در ماه مارچ تا جولای ۱۹۹۸ مورد ارزیابی قرار دادند. آنها در این مطالعه از داده‌های مربوط به باندهای ۰/۴۶۶، ۰/۶۴۴، ۰/۸۵۵ و ۱/۲۴۳ میکرومتر استفاده کردند. آنها در این مطالعه همبستگی قوی در عمق‌نوری ریزگردهای شدید و مقدار بخار آب در ستون جوی بدست آوردند (ضریب همبستگی ۰/۸۲) و پارامتر آنگستروم بالاتر از ۰/۷ محاسبه شد. و در هوای صاف و عاری از ریزگرد ضریب همبستگی ۰/۴۵ با آنگستروم کمتر از ۰/۷ به دست آمد. آنها نتیجه گرفتند که در شرایط وجود ریزگردها آلودگی در طول موج‌های مختلف کاهش می‌یابد.

(Soleimani et al., 2015) در مطالعه‌ای عمق اپتیکی ریزگردها را در منطقه خلیج فارس از مارس ۲۰۰۸ تا دسامبر ۲۰۱۳ بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد که داده‌های عمق ریزگردها (AOD) از سنجنده مودیس دارای دقت قابل قبولی هستند و همبستگی بسیار زیادی بین مقادیر اندازه‌گیری شده با سنجنده مودیس و شبکه آثرون‌ت، وجود دارد (ضریب همبستگی ۰/۹۰). نتایج این بررسی نشان داد که داده‌های عمق نوری حاصل از تصاویر مودیس می‌تواند اطلاعات دقیقی از میزان ریزگردهای منطقه خلیج فارس فراهم نمایند. این مطالعه نشان داد که باندهای ۱/۲۴۳ و ۱/۶۴۳ میانگین و انحراف معیار شبیه‌سازی‌ها به میانگین داده‌های اندازه‌گیری شده نسبت به سایر باندها نزدیکتر می‌باشد، همچنین در این حوزه همبستگی بالا (۰/۹۹) و RMSE و RMSD کمتر از ۱ و نزدیک به صفر می‌باشد. بنابراین می‌توان بیان کرد دقت شبیه‌سازی‌ها در این دو باند مناسبتر می‌باشد. در پژوهش حاضر نیز، نتایج اولیه حاصل از اجرای الگوریتم نشان‌دهنده توانایی مدل در شبیه‌سازی ذرات ریزگردها بود. بررسی نتایج مدل نشان داد که الگوریتم موجود به درستی عمل می‌کند و با توجه به داده‌های انعکاس طیفی برای شعاع موثرهای مختلف در جداول LUT، مقادیر را برای عمق نوری ریزگردها شبیه‌سازی می‌کند. برای دقیق‌تر کردن شبیه‌سازی

- Martins, J. V., Tanré, D., 2002, MODIS Cloud screening for remote sensing of aerosols over oceans using spatial variability, *Geophysical Research Letters*, 29: 1619-1624.
- Mohammadinezhad, Sh., Alimohammadi Sarab, A., Farajzadeh Asl, M., 2015, Air particles (less than 10Mq) spatial distribution Analysis and mapping in Khuzestan area based on MODIS sensor products, *Journal of Spatial Planning (MJSP)*, 18 (3): 79-98
- Razmi, M., Mohammad Asgari, H., Dadolahi-Sohrab, A., Nazemossadat, S.M.J., Khazaei, S.H., 2018, Assessing changes shoreline in Dayyer city using the Landsat satellite data, sensor TM and OLI 1991 and 2014 years, *Journal of Marine Science and Technology*, 16(4), 1-12 (In Persian).
- Remer, L. A., Kaufman, Y. J., Tanre, D., Mattoo, S., Chu, D. A., Martins, J V., 2005, The MODIS aerosol algorithm, products, and validation, *Journal of atmospheric sciences*, 62(4): 947-973.
- Smirnov, A., Holben, B, N., Dubovik, O., O'Neill, N, T., Eck, T. F., Westphal, D. L., Goroch, A. K., Pietras, C., Slutsker, I., 2002, Atmospheric Aerosol Optical Properties in the Persian Gulf, *J. Atmos. Sci.*, 59: 620–634.
- Soleimani, A., Mohammad Asgari, H., Dadolahi Sohrab, A., Elmizadeh, H., Khazaei, H., 2016, Evaluation of optical depth from MODIS satellite imagery in the Persian Gulf, *Journal of Marine Science and Technology*, 14(4): 75-83 (In Persian)
- Tanré, D., Herman, M., Kaufman, Y., 1996, Information on the aerosol size distribution contained in the solar reflected spectral radiances, *J. Geophys. Res.*, 101: 19043-19060.
- Tanré, D., Kaufman, Y. J., 1997, Remote sensing of aerosol properties over oceans using the MODIS/EOS spectral radiances, *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 102(14): 16971-16988.
- Tavoosi, T., Khosravi, M., Raeispour, K., 2011, Statistical Analysis of Dust Phenomenon in Khuzestan Province in During Period (1996-2005), *Journal of Meteorological Organization*, 35(74-75): 17-26
- Wang, J., Sunder, A.C., 2003, Inter comparison between satellite derived aerosol optical thickness and PM 2.5 mass: Implications for air quality studies. *Geophysical Research Letters*, 30(21).
- Wei. P., Hong. J. and Zhan-yong. X., 2014, Using MODIS to retrieve the AOT over the ۰/۰۱ در ۰/۵۵۳ میکرومتر و ۰/۰۰۲۵ در کانال ۲/۱۱۹ میکرومتر افزایش یافته است که نشان‌دهنده خطاهای سیستماتیک در وابستگی طیفی از بازتاب، مانند عدم قطعیت نتایج حاصل وابستگی طیفی می-باشد.

## منابع

- Ackerman, S., 1997, Remote sensing aerosols using satellite infrared observations. *Journal of Geophysics. Res.*, 102: 17069 - 17079.
- Chan, Y. C., McTainsh, G. H., Leys, J. F., McGowan, H., Tews, K., 2005, Influence of the 23 October 2002 dust storm on the air quality of four Australian cities. *Journal of Water Air Soil Poll*, 164: 329–348.
- Chervenkov, H., Jakobs, H., 2011, Dust storm simulation with regional air quality model: Problems and results. *Journal of Atmos. Env.*, 45: 3965-3976.
- Geogdzhayev, I. V. and Mishchenko, M. I., 2015, Validation of Long-Term Global Aerosol Climatology Project Optical Thickness Retrievals Using AERONET and MODIS Data. *Journal of Remote Sensing*, 7: 12588-12605.
- Gupta, P., Christopher, S. A., Wang, J., Gehing, R., Lee, Y. and Kumar, N., 2006, Satellite remote sensing of particulate matter and air quality assessment over global cities. *Atmospheric Environment*. 40: 5880–5892.
- Khoshsima, M., Sabet Ghadam, S.S., and Aliakbari Bidokhti, A., 2015, Estimation of atmospheric particulate matter (PM10) concentration based on remote sensing, *Journal of Earth and Space Physics*, 41(3), 499-510.
- Levy, R. C., Remer, L. A., and Dubovik, O., 2007, Global aerosol optical properties and application to Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer aerosol retrieval over land. *Journal of Geophysics Res.*, 112, D13210.
- Levy R., Munchak. L., Mattoo. S., Patadia. F., Remer. L. A., Kolz. R. E., 2015, Towards a long-term global aerosol optical depth record: applying a consistent aerosol retrieval algorithm to MODIS and VIIRS-observed reflectance, *Atmosphere Measurement Tech Journal*. (8): 4083–4110.
- Liu, Y., 2004, The application of satellite remote sensing in estimating fine particle concentration, PhD thesis, Harvard University.

doi:10.1088/1755-1315/17/1/012038.

region of Baikal, IOP Conf, Series: Earth and  
Environmental Science, 17(2014), 012038



## Validation of aerosol optical depth using AERONET ground stations in marine areas (Case Study: Persian Gulf)

Saeid Farhadi<sup>1</sup>, Hossein Mohammad Asgari\*<sup>1</sup>, Ali Dadollahi Sohrab<sup>1</sup>, Seyed Mohammad Jafar Nazemosadat<sup>2</sup>, Sayyed Hossein Khazaei<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of environment, Faculty of Natural Resources, Khorramshahr University of Marine Sciences and Technology

<sup>2</sup> Department of water engineering, Faculty of Agriculture, University of Shiraz

### Abstract

Dust prediction such as prediction of wind and rain needs to synoptic information to the earth's surface, upper layers of the atmosphere, the prediction maps of land surface and upper levels as well as using radar and satellites. In the meantime, radar and satellite observations included remote sensing can be useful in prediction accuracy. The purpose of this study, use of remote sensing technology and MODIS images to estimate dust optical depth on the Persian Gulf surface and estimating the linear correlation relationship between the dust measurements in ground and atmospheric. The dust optical depth calculated using the code developed in MATLAB software. Evaluation of extracted data conducted using Pearson correlation coefficient, RMSE and RMSD index. In this study, optical depth obtained from image processing compared with the optical depths obtained from AERONET network. The evaluation results showed a high and significant correlation between the obtained optical depth and optical depths obtained from AERONET network ( $R^2=0.99$ ). The best and most suitable mode demonstrated for 1.243 and 1.632 bands. At all stations, AOD value obtained from satellite image is bigger than AOD amount corresponding to the AERONET station and the algorithm used has overestimated. The cause of this more estimate can be use of limited particle's effective radius, because the scope of this effective radius is limited at the distribution of particle size in log-normal. Error resources at the retrieving particulate matter was defined such as sensor calibration error, pollution on the radiation angle, or poor predictor of water reflection.

**Keywords:** Persian Gulf, Effective Radius, AERONET, Dust, Optical Depth.

Fig. 1 Study area

Fig. 2 RGB Image Date October 5, 2004

Fig. 3 The optical depth (AOD) simulated in the Gulf region for dust storms dated October 5, 2004

Fig. 4 The optical depth (AOD) measured and simulated for band 1 (0.464  $\mu\text{m}$ )

Fig. 5 The optical depth (AOD) measured and simulated for band 2 (855/0 micrometers)

Fig. 6 The optical depth (AOD) was measured and simulated for band 5 (243/1 micrometers)

Fig. 7 The optical depth (AOD) measured and simulated for band 6 (1.632  $\mu\text{m}$ )

Fig. 8 RGB Image Date 18 July 2014

Fig. 9 Aerodynamic depth (AOD) in the Gulf region for storm dust

Fig. 10 The optical depth (AOD) measured and simulated for band 1 (0.464  $\mu\text{m}$ )

Fig. 11 The optical depth (AOD) measured and simulated for band 2 (0.885  $\mu\text{m}$ )

Fig. 12 The optical depth (AOD) measured and simulated for band 5 (243/1 micrometer)

Fig. 13 The optical depth (AOD) measured and simulated for band 6 (643/1 micrometer)

Table. 1 Location of aeronated stations studied

Table. 2 Statistical indices for band 1 (0.664  $\mu\text{m}$ )

Table. 3 Statistical Indices for Band 2 (0.885  $\mu\text{m}$ )

Table. 4 Statistical Indices for Band 5 (243.1  $\mu\text{m}$ )

\*Corresponding author E-mail: hmasgari01@gmail.com

Table. 5 Statistical Indices for band 6 (1.632  $\mu\text{m}$ )

Table. 6 Statistical indices for band 1 (0.464  $\mu\text{m}$ )

Table. 7 Statistical Indices for Band 2 (0.885  $\mu\text{m}$ )

Table. 8 Statistical Indices for Band 5 (243.1  $\mu\text{m}$ )

Table 9. Statistical Indices for band 6 (643 1  $\mu\text{m}$ )