

# تعیین عناصر تشکیل دهنده، میزان غلظت و ارتفاع طوفان‌های گرد و غبار با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای MODIS و داده‌های CALIPSO

فرزانه شفیعی<sup>۱</sup>، علی درویشی بلورانی<sup>۲</sup>

۱. کارشناس ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، گروه سنجش از دور، علوم تحقیقات یزد

Farzaneh.shafiei@ymail.com

۲. دکتری سنجش از دور، گروه سنجش از دور، دانشگاه تهران

Ali.darvishi@ut.ac.ir

## چکیده:

طوفان گرد و غبار یکی از پدیده‌های جوی است که آثار و پیامدهای زیست محیطی نامطلوبی برجای می‌گذارد. نمونه‌برداری و بررسی ترکیب فیزیکی و شیمیایی گرد و غبارهای اخیر نشان می‌دهد این گرد و غبارها صرفاً متشکل از دانه‌های خاک، شن، ماسه و ذرات نمک نیستند، بلکه ترکیب پیچیده‌ای از عناصر شیمیایی هستند، عناصری از قبیل فلزات قلیایی خاکی، کربن، سیلیس، آلومینیوم، پتاسیم، کلسیم و برخی دیگر از عناصر آلی مشاهده می‌شود که تمامی این عناصر اثرات مضر بر سلامت محیط زیست و بالاخص بر موجودات زنده داشته باشند. در این تحقیق شهر اهواز که طی دهه گذشته شاهد طوفان‌های متعددی بوده است مورد بررسی قرار گرفت. با استفاده از نمونه‌های اندازه گیری شده‌ی عناصر مورد مطالعه در ایستگاه زمینی و آنالیزهای آزمایشگاهی، محتویات هفت رخداد گرد و غبار تعیین گردید. علاوه بر آنالیزهای آزمایشگاهی نمونه‌های جمع آوری شده، تصاویر ماهواره‌ای MODIS و داده‌های CALIPSO جهت شناسایی عناصر و تعیین غلظت این طوفان‌ها مورد تحلیل قرار گرفتند. پس از تهیه تصاویر MODIS و انجام تصحیحات مورد نیاز، مقادیر طیفی محل نمونه برداری ایستگاه زمینی بر روی تصاویر مشخص شد. با استفاده از روش کمترین مربعات و cross-validation مدل‌سازی ارتباط بین باندهای MODIS و نتایج حاصل از مشاهدات زمینی ایجاد شد. پس از مقایسه و تحلیل نتایج حاصله، مشخص شد که عنصر سیلیس، از نسبت باند ۲۱ به باند ۲۶ با میزان RMSE در حدود ۱،۲۸، شاخص مناسبی برای شناسایی این عنصر در تصاویر ماهواره‌ای MODIS می‌باشد. همچنین آلومینیوم، از نسبت باند ۲۵ به باند ۲۶ با میزان RMSE در حدود ۲،۰۸، کلسیم از نسبت باند ۲۴ به باند ۲۵ با میزان RMSE در حدود ۲،۳، سدیم از نسبت باند ۲۳ به باند ۲۷ با میزان RMSE در حدود ۰،۴۸ و منیزیم از نسبت باند ۱۵ به باند ۲۴ با میزان RMSE در حدود ۰،۷۸، شاخص‌های مناسبی برای شناسایی این عناصر در تصاویر ماهواره‌ای MODIS می‌باشند. با توجه به شاخص‌های به دست آمده برای هر عنصر، پیش بینی میزان غلظت عناصر موجود در طوفان‌های گرد و غبار، بدون استفاده از نمونه‌های زمینی و تنها با به‌کارگیری تصاویر MODIS و روش به دست آمده امکان‌پذیر می‌گردد. همچنین با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای CALIPSO در روزهای مورد مطالعه، مشخص شد که در روزهای گرم سال که نمونه برداری زمینی انجام گرفته میزان غلظت و تراکم گرد و غبار بیشتر از روزهای سرد سال می‌باشد و ارتفاع گرد و غبار به میزان ۶ کیلومتری سطح زمین می‌رسد.

واژه‌های کلیدی: طوفان گرد و غبار - عناصر - تصاویر ماهواره‌ای

## ۱- مقدمه

تحقیقات بر روی رسوبات کف اقیانوس‌ها نشان می‌دهد که سابقه‌ی بروز طوفان‌های گرد و غبار به ۷۰ میلیون سال پیش، قبل از دوره کرتاسه زمین‌شناسی، در کره زمین برمی‌گردد [۱۲]. غلظت گرد و غبار تولید شده توسط فعالیت‌های انسانی به طور پیوسته از زمان آغاز انقلاب صنعتی در حال افزایش است. اثر این ذرات در جو بر روی تابش امواج الکترومغناطیسی، با پراکندگی و جذب امواج می‌باشد [۹]. طوفان‌های گرد و غبار معمولاً از ذرات بسیار ریزی که عموماً اندازه آن‌ها از ۱۰۰-۶۰ میکرومتر کمتر است و می‌توانند به وسیله باد برداشته شوند تشکیل شده است. اما ذراتی که اندازه آن‌ها حدود ۲ میکرومتر است می‌توانند تا فواصل خیلی دور جابجا شوند [۱۶]. ذرات گرد و غبار تا ارتفاع ۶ کیلومتر و تا مسافت ۶۰۰۰ کیلومتر قابل انتقال می‌باشند و دید افقی را به یک تا ۱۰ کیلومتر کاهش می‌دهند [۳]. در تحقیقی که، در دانشگاه آیووا آمریکا در سال ۲۰۰۴ بر روی خصوصیات شیمیایی ذرات گرد و غبار در چین و عربستان انجام گرفت، نمونه‌های گرد و غبار عربستان و چین حاوی ذرات معدنی کلسیم از جنس کربنات کلسیم و دولومیت بود. کلسیم در گرد و غبار چین بیشترین مقدار را داشت و حتی نوع ترکیب کلسیم نیز متفاوت است. به گونه‌ای که در گرد و غبار سواحل عربستان کلسیم از جنس ژئوپیس است بنابراین نتایج کانی‌شناسی گرد و غبار در نواحی مختلف متفاوت است [۱۱].

ایران کشور پهناوری است که به علت موقعیت خاص و ویژگی‌های توپوگرافیک، از آب و هوای گوناگونی برخوردار است. قسمت اعظم ایران در قلمرو آب و هوای خشک و نیمه خشک جهان می‌باشد. آمارهای سازمان هواشناسی کشور نشان می‌دهد که میانگین روزهای غبارآلود در طی ۵۰ سال گذشته در شهرهای اهواز و آبادان به طور میانگین به ترتیب ۶۵ و ۸۲ روز بوده است که فراوانی وقوع آن در مرداد ماه بیش از ماه‌های دیگر برآورد می‌شود. در زمان پدیده گرد و غبار مراجعات بیماران ریوی به مراکز درمانی اهواز با رشد ۷۰ درصدی روبرو بوده است [۱].

برای شناسایی میزان عناصر موجود در گرد و غبار، از ایستگاه‌های زمینی آلودگی سنج استفاده می‌شود. اندازه‌گیری‌های این ایستگاه‌ها دارای دقت بالایی هستند، اما این اندازه‌گیری‌ها تنها محدوده‌های اطراف ایستگاه اندازه‌گیری را پوشش می‌دهند و تعداد آن‌ها کم می‌باشد، همچنین این اندازه‌گیری‌ها زمان بر و پرهزینه هستند. تنها با اتکا به اندازه‌گیری‌های زمینی، برای برآورد حجم آلودگی‌ها، با در نظر گرفتن منبع، شناسایی مسیر حرکت و خصوصیات شیمیایی انواع آلودگی‌ها، در مناطق مختلف، که این ایستگاه‌ها تعبیه نشده‌اند، با مشکل مواجه می‌شود [۸]. Engel بیان داشت که ترکیب داده‌های LIDAR و تصاویر ماهواره‌ای MODIS و اندازه‌گیری‌های زمینی می‌تواند اساس تشکیل نمایش سه بعدی از کیفیت هوا باشند. یکپارچه‌سازی و استفاده همزمان این سه نوع مشاهدات سودمندتر از استفاده جداگانه آن‌ها می‌باشد [۶]. با ارسال ماهواره CALIPSO به فضا زمینه دسترسی به اطلاعات گرد و غبار توسط فناوری LIDAR مساعدتر شد [۶]. ماهواره CALIPSO می‌تواند ذرات معلق در هوا را، بر روی سطوح روشن و در زیر ابرهای نازک و همچنین در شرایط آسمان صاف مشاهده نماید. یکی از مزایای متمایز آن اندازه‌گیری مستقیم ساختار عمودی ذرات گرد و غبار در مقیاس منطقه‌ای و جهانی می‌باشد. مأموریت اصلی این ماهواره مطالعه نقش هواپیزها و ابرها در سیستم آب و هوایی جهانی می‌باشد. این ماهواره شامل محصولات می‌باشد که جهت مقایسه و تحلیل طوفان‌ها در راستای نیل به شناسایی تراکم و ارتفاع گرد و غبار بکار می‌رود [۷].

شناسایی عناصر موجود در گرد و غبار و ارتفاع آن، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای MODIS<sup>۱</sup> و داده‌های ماهواره

CALIPSO<sup>۲</sup>، در سطح وسیعی از یک منطقه، با هزینه و زمان کمتر از اهداف اصلی این تحقیق می‌باشد.

## ۲- مواد و روش‌ها:

اهواز مرکز استان خوزستان یکی از کلان شهرهای ایران، در موقعیت جغرافیایی ۳۱°۲۰' عرض شمالی و ۴۰' ۴۸° طول شرقی در بخش جلگه‌ای خوزستان و با ارتفاع ۱۸ متر از سطح دریا واقع می‌باشد. بر پایه تازه‌ترین آمار

<sup>1</sup> - Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

<sup>2</sup> - Cloud-Aerosol Lidar and Infrared Pathfinder Satellite Observation

رسمی، ۳۲٪ مردم استان خوزستان در کلان‌شهر اهواز زندگی می‌کنند. محل نمونه برداری ایستگاه زمینی در موقعیت جغرافیای  $31^{\circ}17'51''$  و در طول  $48^{\circ}39'11''$  شرقی، واقع در پشت بام موسسه تحقیقات ملی سلامت اهواز و در فاصله ۱۰ متری از سطح زمین انجام گرفته است. این ارتفاع اثر رفت و آمد ماشین‌ها و نیز اثر ساختمان‌ها بر روی الگوهای باد را به حداقل می‌رساند. مدت زمان نمونه برداری ۲۴ ساعت از ۸ صبح تا ۸ صبح روز بعد می‌باشد، اما در روزهای گرد و غبار زمان نمونه‌برداری با توجه به شدت گرد و غبار بین ۴ الی ۶ ساعت بوده‌است، نمونه‌گیری از عناصر در این تحقیق در ۷ روز مختلف در سال ۱۳۸۹ انجام گرفت. ایستگاه انستیتو تحقیقات ملی سلامت اهواز در شمال غربی این شهر و در جهت باد غالب و همچنین دور از صنایع و در نقطه ورودی شهر قرار گرفته است.

در این تحقیق از تصاویر ماهواره‌ای MODIS و داده‌های CALIPSO استفاده شد. MODIS سنجنده‌ای است که توسط NASA در سال ۱۹۹۹ و ۲۰۰۲ به وسیله دو ماهواره EOS در فضا قرار گرفت. این سنجنده دارای حساسیت رادیومتریکی بالا ۱۲ بیت و در ۳۶ باند طیفی می‌باشد و دامنه‌ی طیفی آن از طول موج‌های  $0.4-1.4$  میکرومتر می‌باشد که این امر می‌تواند نیازهای کاربران مختلف را برطرف سازد [۱۳]. این سنجنده در مدار ۷۰۵ کیلومتری از سطح زمین قرار دارد، پهنای نوارهای تصویر برداری این سنجنده ۲۳۳۰ کیلومتر می‌باشد و در نتیجه در هر یک یا دو روز، پوشش جهانی را فراهم می‌سازد. باندهای ۱، ۳ و ۷ سنجنده MODIS در بازیابی اطلاعات گرد و غبار پر کاربرد می‌باشند [۱۴].

ماهواره CALIPSO در ۲۸ آوریل سال ۲۰۰۶ طی یک برنامه مشترک میان سازمان فضایی امریکا<sup>۱</sup> و سازمان فضایی فرانسه<sup>۲</sup> به فضا پرتاب شد. این ماهواره در یک مدار یکسان با ماهواره Aqua با نام A-Train و به فاصله زمانی ۹۰ ثانیه بعد از آن در حال گردش است. این مجموعه ماهواره‌ها در یک مدار قطبی خورشید آهنگ با ارتفاع ۷۰۵ کیلومتر و زمان عبور محلی  $13:30$  از مدار استوا می‌باشند. داده‌های این ماهواره، شامل پارامترهایی مانند مجموع سیگنال بازپخش عمودی و موازی در ۵۳۲ نانومتر، سیگنال بازپخش عمودی در ۵۳۲ نانومتر، سیگنال بازپخش در ۱۰۶۴ نانومتر، ارتفاع، طول جغرافیایی و عرض جغرافیایی می‌باشند. رزولوشن مکانی افقی و عمودی با تغییرات ارتفاع تغییر می‌کند.

پس از تهیه تصاویر ماهواره‌ای مورد نظر، برای تطبیق مطالعات سنجش از دور و اطلاعات زمینی جهت تعیین میزان صحت و حصول دقت بیشتر، در مراحل مختلف مطالعات به جمع‌آوری نمونه‌های زمینی از مطالعات شاهشونی<sup>۳</sup> در سال ۱۳۸۹، که اقدام به نمونه‌گیری از ذرات معلق در هوا و تجزیه و تحلیل اجزاء و عناصر موجود در آن‌ها نموده است، استفاده شد. نمونه‌گیری‌ها به وسیله دستگاه نمونه‌بردار با حجم زیاد<sup>۴</sup> انجام شده و ذرات معلق هر کدام با قطر کمتر از ۱۰ میکرومتر<sup>۵</sup> و کل ذرات معلق<sup>۶</sup> هر کدام به‌طور مجزا مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌اند. با توجه به مقدار بسیار جزئی بعضی از عناصر مانند مولیبدین، باریم، برلیوم، کروم، سرب، کادمیوم و ... در این تحقیق مورد بررسی قرار نگرفته‌اند. عناصر گرد و غبار مورد مطالعه شامل سیلیس<sup>۷</sup>، سدیم<sup>۸</sup>، آلومینیوم<sup>۹</sup>، کلسیم<sup>۱۰</sup> و منیزیم<sup>۱</sup> می‌باشد، که

<sup>۱</sup> - NASA

<sup>۲</sup> - CNES

<sup>۳</sup> - رساله شاهشونی با عنوان بررسی مشخصات فیزیکی و شیمیایی گرد و غبار استان خوزستان و تعیین هزینه اثر بخشی روش مالچ پاشی برای اخذ مدرک دکتری از دانشگاه علوم پزشکی و خدمات درمانی تهران- دانشکده بهداشت

<sup>۴</sup> - Hi-Vol

<sup>۵</sup> - PM10

<sup>۶</sup> - TSP

<sup>۷</sup> - Silica

<sup>۸</sup> - Sodium

<sup>۹</sup> - Aluminum

<sup>۱۰</sup> - Calcium

دارای فراوانی بیشتری نسبت به عناصر دیگر در طوفان‌های گرد و غبار هستند، بر حسب میکروگرم در هر متر مکعب برای هفت روز مختلف در سال ۱۳۸۹ نمونه‌گیری شد (شکل ۴).

در مرحله آنالیز تصاویر MODIS، جهت تعیین پیکسل‌های واقع در محل جمع‌آوری نمونه‌های زمینی و مقایسه آن با مقادیر ثبت شده در مطالعات زمینی، ابتدا منطقه نمونه‌گیری زمینی، با استفاده از مختصات جغرافیایی، بر تصاویر ماهواره‌ای منطبق گردید. با توجه به ماهیت پدیده گرد و غبار و تغییرات زیاد آن در پیکسل‌های نمونه‌گیری شده، مقادیر میانگین همه پیکسل‌های اطراف منطقه نمونه‌گیری شده، انتخاب شدند. به این ترتیب برای هر باند از سنجنده MODIS، داده‌های ماهواره‌ای متناظر با آن، در منطقه مورد مطالعه محاسبه و ثبت شد. در نهایت با داشتن مقادیر متناظر با هر روز گردو غبار از تصاویر ماهواره‌ای، با مقادیر عناصر موجود در ذرات که از نمونه برداری زمینی به دست آمده است، امکان مقایسه و تجزیه و تحلیل فراهم شد.

برای ایجاد ارتباط بین مقادیر  $DN^2$  هر باند در تصاویر MODIS و مقادیر اندازه‌گیری شده بر روی ایستگاه زمینی، با استفاده از روش کمترین مربعات<sup>۳</sup>، میزان خطای به دست آمده برای هر عنصر، به طور جداگانه برای هر باند محاسبه شد. روش کمترین مربعات روشی در آمار است که برای حل دستگاه معادلاتی به کار می‌رود که تعداد معادله‌هایش بیش از تعداد مجهول‌هایش است. این روش بیشتر در تحلیل رگرسیون به کار می‌رود. کمترین مربعات در واقع روشی برای برازش<sup>۴</sup> داده‌ها و بهترین مدل برازش شده بر مجموعه‌ای از داده‌ها مدلی است که در آن مجموع مربع باقی‌مانده‌ها کمینه باشد. منظور از باقی‌مانده‌ها<sup>۵</sup>، اختلاف بین داده مشاهده شده و مقداری است که از مدل به دست می‌آید. در این تحقیق، نتایج به دست آمده از روش کمترین مربعات با استفاده از  $DN$  ماهواره MODIS به عنوان ماتریس معلومات و عناصر نمونه برداری شده زمینی به عنوان ماتریس مشاهدات در نظر گرفته شد، سپس مقدار باقی‌مانده برای تک تک باندها با عناصر نمونه‌گیری شده، مقایسه و ارزیابی شدند. با توجه به تعداد کم نمونه‌های زمینی در این تحقیق، برای دست‌یابی به نتایج با دقت بالاتر، در جهت شناسایی عناصر نمونه‌گیری شده با بهره‌بردن از تصاویر MODIS، از روش Cross-Validation استفاده شد.

اعتبارسنجی ضربدری<sup>۶</sup>، که گاهی تخمین‌گردشی نیز نامیده می‌شود، یک روش ارزیابی است که نتایج یک تحلیل آماری، بر روی یک مجموعه داده، تا چه اندازه قابل‌تعمیم و مستقل از داده‌های آموزشی است. این تکنیک به طور ویژه در موارد پیش‌بینی مورد استفاده قرار می‌گیرد، تا مشخص شود مدل مورد نظر تا چه اندازه در عمل مفید خواهد بود.

در مرحله شاخص‌سازی، ابتدا هر باند به طور جداگانه در محاسبات کمترین مربعات، به منظور اعتبارسنجی در مقایسه با نتایج حاصل از نمونه‌های زمینی، قرار گرفت. سپس با توجه به میزان خطای کمتر برای هر عنصر، باندهایی که توانایی بهتری در تشخیص عنصر مورد نظر داشت شناسایی شد و نتایج نهایی از روش تک‌باند در جدول (۱) قرار گرفت. در مرحله دوم حاصل رابطه (۱)، که از نسبت تک‌باند به یک دیگر حاصل شده، در محاسبات کمترین مربعات و اعتبارسنجی ضربدری قرار گرفت، پس از تجزیه و تحلیل نتایج آماری، پیش‌بینی باند مناسب با کمترین

1 - Magnesium

2 - Digital number

3 - Root Mean Square Error

4 - Fit

5 - RMSE

6 - cross-validation

خطا برای شناسایی هر عنصر حاصل شد، سپس با استفاده از رگرسیون خطی، میزان همبستگی میان دو باند شناسایی شد، و در جدول (۲) هریک از مقادیر محاسبه شده، قرار گرفت.

$$\frac{b_i}{b_j}$$

رابطه (۱)

i و j شماره باندهای ماهواره MODIS هستند، و  $b_i, b_j$  مقادیر DN باندهای ماهواره MODIS در محل مورد مطالعه، به ترتیب از ۱ الی ۳۶ می‌باشد.

در مرحله سوم روش دیگری برای کاهش میزان خطا، به کار برده شد. در این مرحله مقدار حاصل از نسبت نرمال شده اختلاف میان دو باند که از رابطه (۲) به دست آمد، در محاسبات کمترین مربعات و اعتبار سنجی ضربدری قرار گرفت، و نتایج به دست آمده برای پیش بینی باند مناسب با کمترین خطا و میزان همبستگی دو باند در جدول (۳) نشان داده شد.

$$\frac{b_i - b_j}{b_i + b_j}$$

رابطه (۲)

i و j شماره باندهای ماهواره MODIS هستند، و  $b_i, b_j$  مقادیر DN باندهای ماهواره MODIS در محل مورد مطالعه، به ترتیب از ۱ الی ۳۶ می‌باشد.

پس از آنالیز تصاویر ماهواره MODIS و شناسایی مناسب ترین باند برای هر عنصر، به معرفی محصولات CALIPSO در یکی از تاریخ های نمونه گیری به چگونگی شناسایی تراکم و میزان ارتفاع گرد و غبار روی منطقه پرداخته شد، سپس با مقایسه کلیه تصاویر در هریک از تاریخ های مورد مطالعه نتایج این پژوهش حاصل شد.

### ۳- نتایج

در جدول (۱)، با استفاده از روش تک باند، باندی که کمترین خطا را از میان ۳۶ باند ماهواره MODIS برای هر عنصر دارد، مشخص گردید.

جدول ۱. باند مناسب برای پیش بینی عنصر نمونه برداری شده با روش تک باند

عنصر	RMSE	باند	خطا
آب	"6/)/5	11	11 μm
گاز	"51)16	11	11 μm
گرد و غبار	"2/)/5	34	34 μm
کربن	"1.)- 5	11	11 μm
کربن دی اکسید	". .)04	5	04 μm

با استفاده از رابطه (۱) دو باندی که از نسبت گیری آن ها کمترین خطا را از میان ۳۶ باند ماهواره MODIS به دست می‌آوردند مشخص گردید و در جدول (۲) نمایش داده شد و برای هر عنصر دو باندی که از نسبت آن ها کمترین خطا حاصل گردید، با علامت اختصاری  $b_i$  و  $b_j$  مشخص شد.

جدول ۲. دو باند مناسب برای پیش بینی عنصر نمونه برداری شده با استفاده از رابطه (۱)

"- aēs-	RMSE	bi	bi"κ UOE U-	bj	bj"κ UOE U-	" Q'U"ā ES }Ö'Öxāó
" " ää	". /5	"/.	"0)42 μm	"/3	"1)2. μm	"-)10
"İ ÜSāÖİİ	" /)- 5	"/2	"1)13 μm	"/3	"1)2. μm	"-)64
"Ñā İÄ	" /)0-	"/1	"1)- 2 μm	"/2	"1)13 μm	"-)04
"Ñä	"-)15	"/0	"0)62 μm	"/4	"3)4. μm	"-) 6
"Ñä äó	"-)45	". 2	)-60 μm	"/1	"1)- 2 μm	"-) /2

همچنین در جدول (۳) دو باندی که کمترین خطا را از رابطه (۲) دارند، نمایش داده شد.

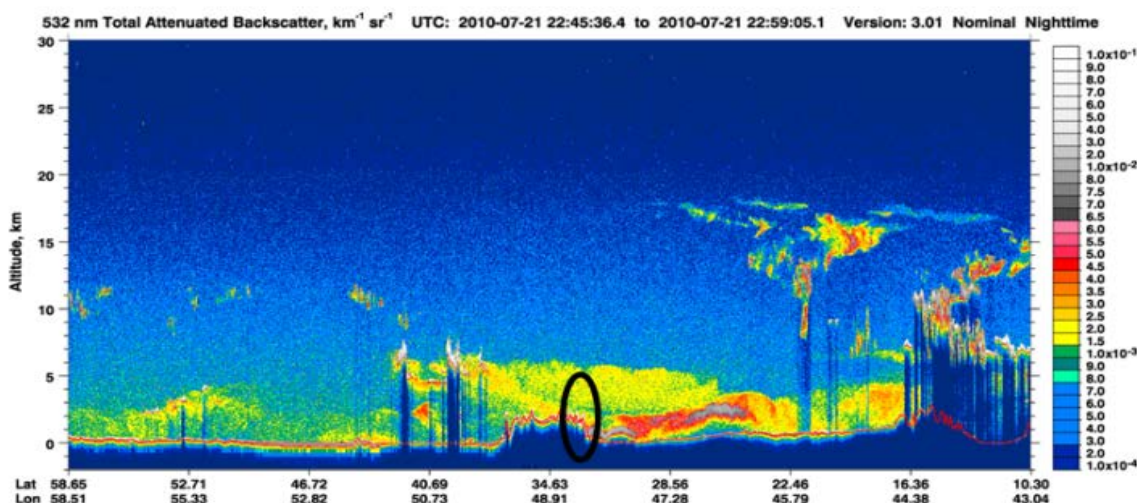
جدول ۳. دو باند نرمال شده مناسب برای پیش بینی عنصر نمونه برداری شده از رابطه (۲)

"- aēs-	RMSE	bi	bi"κ UOE U-	bj	bj"κ UOE U-	" Q'U"ā ES }Ö'Öxāó
" " ää	. 4)5	"/3	"1)2. μm	"/2	"1)13 μm	"-)64
"İ ÜSāÖİİ	".-)65	"/0	"0)62 μm	"/2	"1)13 μm	"-)01
"Ñā İÄ	" /)-65	"/1	1)- 2 "μm	"/2	"1)13 μm	"-)04
"Ñä	"3)41	"/	"0)62 μm	"/2	"1)13 μm	"-)02
"Ñä äó	"4)5-	"/1	"1)- 2 μm	"/2	"1)13 μm	"-)04

هریک از داده‌های ماهواره CALIPSO در یکی از روزهای نمونه گیری زمینی بر روی منطقه مورد مطالعه با استفاده از طول و عرض جغرافیایی از دیگر مناطق اطراف متمایز گردید و با توجه به خصوصیات محصولات تولید شده در هر یک از تاریخ‌های نمونه گیری، میزان تراکم و ارتفاع گرد و غبار منطقه شناسایی شد.

### تصویر مجموع سیگنال بازتابی عمودی و موازی در طول موج ۵۳۲ نانومتر ماهواره CALIPSO:

با استفاده از این محصول، تشخیص عوارض از یکدیگر و حذف نویزها امکان پذیر خواهد بود. در شکل (۱) یک نمونه داده این ماهواره در یکی از زمان‌های نمونه گیری، به همراه مقیاس رنگ آن آورده شد. سیگنال‌های بازتابی با کدهای رنگی مختلفی نمایش داده می‌شوند. آنچه که در تصویر مجموع سیگنال بازتابی وجود دارد، خط ممتد قرمز در محدوده ارتفاعی نشان دهنده سطح زمین است و به وسیله آن می‌توان پستی و بلندی منطقه را مشاهده کرد. در توصیف مقیاس رنگ به کار رفته در سمت راست هر تصویر، قسمت مربوط به رنگ‌های آبی، پراکندگی مولکولی و پراکندگی ضعیف گرد و غبار را نمایش می‌دهد و ذرات معلق در هوا با رنگ زرد و قرمز و نارنجی مشخص می‌شوند. برای ابرها، در صورتی که ابر ضخامت زیادی داشته باشد سیگنال‌های بازگشتی در تصویر در محدوده خاکستری ترسیم می‌شوند در حالی که ابرهای ضعیف‌تر به رنگ‌های زرد و قرمز نمایش داده می‌شوند. در هر تصویر می‌توان ارتفاع هواویزها و ابرها را در محل مختصات جغرافیایی که در پایین تصویر مشخص شده و با استفاده از قسمت Altitude در سمت چپ تصویر، بر حسب کیلومتر محاسبه کرد.



شکل ۱. تصویر مجموع سیگنال بازتابی عمودی و موازی در طول موج ۵۳۲ نانومتر

#### ۴- نتیجه گیری

در تحقیقی که بر روی عناصر موجود در گرد و غبار انجام گرفت، مشخص شد که پدیده گرد و غبار آسیایی یکی از مهم‌ترین منابع گرد و غبار است که حاوی عناصری مانند آهن، کلسیم، منیزیم، آلومینیوم و سیلیس می‌باشد؛ و نسبت اجزاء ریز به اجزاء درشت به میزان زیادی در دوره پدیده گرد و غبار آسیایی افزایش می‌یابد [۱۰]. با توجه به مطالعاتی که بر روی عناصر گرد و غبار انجام گرفته بود، در این تحقیق عناصری که در گرد و غبار دارای فراوانی بیشتری بودند؛ مانند: آلومینیوم، سیلیس، کلسیم، سدیم و منیزیم؛ برای نمونه گیری‌های زمینی انتخاب شدند. مطالعاتی که بر روی شناسایی طول موج موثر بر روی گرد و غبار توسط Remer صورت گرفت، نشان داد که، در طول موج ۲,۱۲ میکرومتر در محدوده باند ۲۰ وجود هواویز و ذرات معلق تأثیر محسوسی بر مشاهدات ماهواره‌ای ندارد. به این ترتیب در این طول موج امکان محاسبه بازتابندگی سطحی وجود دارد. اما در طول موج ۰,۶۴۴ میکرومتر در باند ۸ تأثیر ذرات معلق بر اندازه‌گیری‌های ماهواره‌ای محسوس می‌باشد [۱۵]. استفاده از شاخص<sup>۱</sup> NDDI با استفاده از میزان بازتاب در باندهای شماره ۳ و ۷ سنجنده MODIS در منطقه جنوب شرق آسیا، در شناسایی گرد و غبار موثر بوده است [۴]. در مطالعات دیگری که برای تشخیص و پایش طوفان گرد و غبار غرب ایران با استفاده از سنجش از دور انجام گرفت، بررسی‌های صورت گرفته نشان داد که، با بهره‌گیری از طول موج‌های ۸,۵ میکرومتر باند ۲۹ سنجنده MODIS و ۱۱ میکرومتر باند ۲۶ سنجنده MODIS در محدوده‌ی فروسرخ گرمایی، گرد و غبار به خوبی آشکار می‌شود [۲].

نتایج حاصل از این تحقیق بر روی باندهای مختلف MODIS و ترکیب کردن و به‌دست آوردن نسبت‌های متفاوت از آن‌ها و محاسبه میزان کمترین خطا برای هر عنصر با استفاده از روش کمترین مربعات و اعتبار سنجی ضربدری و مقایسه نتایج به دست آمده با یکدیگر، مشخص نمود که، میزان RMSE برای عناصر نمونه‌گیری شده با استفاده از نسبت میان دوباند از رابطه (۱)، دارای میزان خطای بسیار کمتری نسبت به حالت تک باند بود. استفاده از روش تک باند مشخص نمود که باند ۲ سنجنده MODIS با طول موج ۰,۴۴ میکرومتر در محدوده طیف مرئی و توان

تفکیک ۲۵۰ متر، میزان خطای کمتری نسبت به باندهای دیگر برای شناسایی عناصر سیلیس، آلومینیوم و سدیم دارد. برای عنصر کلسیم باند ۱۰ نسبت به باندهای دیگر RMSE کمتری در برداشت، که این باند هم در محدوده طیف مرئی قرار دارد. همچنین عنصر منیزیم با استفاده از باند ۱۸ با طول موج ۱,۳۷ میکرومتر، در محدوده مادون قرمز، کمترین میزان RMSE را نسبت به باندهای دیگر داشت.

همچنین استفاده از حالت ترکیب دو باند نرمال شده از رابطه (۲)، نیز مورد بررسی قرار گرفت و نتایج حاکی از این است که استفاده از رابطه (۱) میزان دقت بیشتری دارد و شاخص مناسب تری برای شناسایی عناصر گرد و غبار خواهد بود. طبق جدول (۲) مشخص شد که عنصر Si با میزان RMSE در حدود ۱,۲۸ با استفاده از نسبت باند ۲۱ به باند ۲۶ میزان خطای کمتری نسبت به دیگر باندها خواهد داشت، همچنین عنصر Al با میزان RMSE در حدود ۲,۰۸ با استفاده از نسبت باند ۲۵ به باند ۲۶، عنصر Ca با میزان RMSE در حدود ۲,۳ با استفاده از نسبت باند ۲۴ به باند ۲۵، عنصر Na با میزان RMSE در حدود ۰,۴۸ با استفاده از نسبت باند ۲۳ به باند ۲۷، عنصر Mg با میزان RMSE در حدود ۰,۷۸ با استفاده از نسبت باند ۱۵ به باند ۲۴، قابل اندازه گیری می‌باشند. همچنین میزان همبستگی باندهای منتخب، برای هر عنصر محاسبه شد. مشخص شد که میان باندهای شناسایی شده برای عناصر سیلیس، سدیم، کلسیم و منیزیم همبستگی کمی وجود دارد، در صورتی که برای عنصر Al باندهای ۲۵ و ۲۶ کاملاً بهم وابسته‌اند. کلیه باندهایی که در این روش برای شناسایی عناصر موجود در گرد و غبار استفاده شده‌اند، در محدوده مادون قرمز می‌باشند، لازم به ذکر است که استفاده از روش تک باند در مقایسه با دو روش دیگر مقدار RMSE بالاتری را نشان داد و باندهای مناسب‌تر روش تک باند ۲ و ۱۰ و ۱۸ شناخته شدند که در محدوده طیف مرئی و مادون قرمز می‌باشند و در مقایسه با روش Remer که با تک باند کار کرد باندهای شناسایی شده دارای نتایج نزدیکی به یکدیگر بودند. استفاده از باند ۲ سنجنده MODIS با طول موج ۰,۴۴ میکرومتر در محدوده طیف مرئی و توان تفکیک ۲۵۰ متر، میزان خطای کمتری نسبت به باندهای دیگر برای شناسایی عناصر سیلیس، آلومینیوم و سدیم دارد. همچنین برای عنصر کلسیم باند ۱۰ با طول موج ۰,۶۷ میکرومتر نسبت به باندهای دیگر خطای کمتری در برداشت، که این باند هم در محدوده طیف مرئی قرار دارد و توان تفکیک این باند ۱۰۰۰ متر می‌باشد. همچنین عنصر منیزیم با استفاده از باند ۱۸ با طول موج ۱,۳۷ میکرومتر، در محدوده مادون قرمز، کمترین میزان خطا را نسبت به باندهای دیگر داشت.

توزیع عمودی ذرات معلق در هوا یک مسئله اصلی برای برآورد تابش گرد و غبار و اثرات آن بر روی آب و هوا می‌باشد [۷]. همچنین با نقشه‌برداری از ذرات معلق، در درهٔ هیمالیا با استفاده از رزولوشن متوسط MODIS و Cloud Aerosol Lidar و CALIPSO طول نفوذ و ارتفاع گرد و غبار شناسایی شد. نتایج نشان دادند که، در طول فصول قبل از باران‌های موسمی، پروفیل‌های شبانه CALIPSO حضور یک لایه گرد و غبار را نشان می‌دهد [۵]. ماهواره CALIPSO می‌تواند ذرات معلق در هوا را، بر روی سطوح روشن و در زیر ابرهای نازک و همچنین در شرایط آسمان صاف مشاهده نماید. یکی از مزایای متمایز آن اندازه‌گیری مستقیم ساختار عمودی ذرات گرد و غبار در مقیاس منطقه‌ای و جهانی می‌باشد [۷]. در تحلیل‌های انجام گرفته بر روی داده‌ها و محصولات CALIPSO در منطقه نمونه گیری، ذرات آب، یخ، ابر، ابرهای سیروس، هوای پاک، گرد و غبارهای معدنی و گرد و غبارهای آلوده را از ذرات گرد و غبار، روی منطقه تفکیک و ارتفاع آن را محاسبه شد. در تصاویری که از منطقه مورد نظر در فصل زمستان به دست آمده، هیچ نوع قطرات آب و یخی و ابر سیروسی در بالای فضای جو آن منطقه وجود ندارد. در حالی که در تصاویر مربوط به فصول تابستان، ارتفاع و تراکم قطرات آب، قابل شناسایی می‌باشند و هیچ گونه اثری از ذرات یخ در



محدوده منطقه مورد مطالعه، موجود نمی‌باشد و تراکم گرد و غبار های آلوده بیشتر از گرد و غبارهای بیابانی می‌باشد و در روزهایی که نمونه گیری در فصل گرم، انجام گرفته است ذرات گرد و غبار دارای تراکم و ارتفاع بیشتری نسبت به روزهای فصل سرد می‌باشد و در ارتفاع تقریباً ۶ کیلومتری نسبت به سطح زمین واقع شده‌اند، در حالی که در روزهای سرد میزان تراکم مولکولی ذرات گرد و غبار بر روی منطقه مورد نظر کاهش یافته است.

با توجه به نتایج حاصل شده، مشخص شد که برای اندازه‌گیری میزان غلظت عناصر موجود در گرد و غبار با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای MODIS می‌توان برای هر عنصر با به‌کارگیری روابط و محاسبات ذکر شده، با توجه به باندهای شناسایی شده، به کانی شناسی پرداخت. این امر می‌تواند ما را در زمینه پایش عناصر گرد و غبار بدون استفاده از ایستگاه نمونه برداری زمینی یاری دهد که باعث کاهش زمان و هزینه در شناسایی عناصر گرد و غبار خواهد شد. همچنین می‌توان با استفاده از تصاویر ماهواره CALIPSO در هر منطقه‌ای میزان تراکم و ارتفاع گرد و غبار را شناسایی کرد.

در پایان پیشنهاد می‌شود که، اگر در انجام مطالعات بر روی این موضوع، از داده‌های زمینی بیشتری استفاده گردد، شناسایی عناصر با استفاده از باندهای MODIS با دقت بالاتری انجام خواهد گرفت. همچنین می‌توان کارایی دیگر سنجنده‌ها را در شناسایی گرد و غبار مورد آزمایش قرار داده تا نتایج کامل‌تری در این زمینه با استفاده از سنجش از دور حاصل شود.

### تقدیر تشکر

از کلیه دوستان و همکارانی که در انجام این تحقیق حمایت و راهنمایی داشتند، من جمله، آقای دکتر شاهسونی و آقای دکتر ندافی و مهندس دهقان کمال تشکر دارم.

### منابع

۱. ایران‌منش فاضل، عرب خدري محمود، اکرم مجتبی، ۱۳۸۴، بررسی مناطق برداشت ذرات گردوغبار و ویژگی های انتشار آنها در طوفان های منطقه سیستان با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره ای، پژوهش سازندگی در منابع طبیعی، دوره ۱۸، شماره ۲، صص ۲۵-۳۳.
۲. تقوی فرحناز، اولاد الهه، صفرراد طاهر، ایران‌نژاد پرویز، ۱۳۹۲، تشخیص و پایش توفان گرد و غبار غرب ایران با استفاده از روش های سنجش از دور، مجله فیزیک و فضا، دوره ۳۹، شماره ۳، صص ۸۳-۹۶.
۳. شاهسونی عباس، یار احمدی مریم، جعفرزاده حقیقی فرد نعمت الله، نعیم آبادی ابوالفضل، محمودیان محمد حسن، صاکی حامد، صولت محمد حسین و ندافی کاظم، ۱۳۸۹، اثرات طوفان‌های گردوغباری بر سلامت و محیط زیست، مجله دانشگاه علوم پزشکی خراسان شمالی، صص ۴۵-۵۶.

4. Bullard, Joanna, Matthew Baddock, Grant McTainsh, and John Leys, 2008, Sub-basin scale dust source geomorphology detected using MODIS, *Geophysical Research Letters*, 35(15).
5. Brun, Julien, Prabhakar Shrestha, and Ana P. Barros, 2011, Mapping aerosol intrusion in Himalayan valleys using the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer MODIS and Cloud-Aerosol Lidar and Infrared Pathfinder Satellite Observation CALIPSO, *Atmospheric Environment*, 45(35), 6382-6392.
6. Engel-Cox, Jill A., Raymond M. Hoff, Raymond Rogers, Fred Dimmick, Alan C. Rush, James J. Szykman, Jassim Al-Saadi, D. Allen Chu, and Erica R. Zell., 2006, Integrating lidar and satellite optical depth with ambient monitoring for 3-dimensional particulate characterization. *Atmospheric Environment*, 40(40), 8056-8067.

7. Geng, Fuhai, Qiong Liu, Yonghang Chen, Zhang Hua, and Mao Xiaoqin, 2011, Preliminary Study of Vertical Distribution of Aerosols during Dry Haze Period around Shanghai Based on CALIPSO, *ELSEVIER*, 217-222.
8. Kaufman, Y. J., D. Tanré, H. R. Gordon, T. Nakajima, J. Lenoble, R. Frouin, H. Grassl, B. M. Herman, M. D. King, and P. M. Teillet, 1997, Passive remote sensing of tropospheric aerosol and atmospheric correction for the aerosol effect, *geophysical research* 102: 16815-16830.
9. Kawata, Y., H. Fukui, and K. Takemata, 2004, The validation of aerosol optical thickness retrieved by band correlation method from MODIS image data, *Proceedings of the XXth Congress of ISPRS Vol*, 35, No. B1, pp524-527.
10. Kim, Ki-Hyun, Gyoo-Hoon Choi, Chang-Hee Kang, Jin-Hong Lee, J. Y. Kim, Y. H. Youn, and S. R. Lee 2003, The chemical composition of fine and coarse particles in relation with the Asian Dust events. *Atmospheric Environment*, 37(6), 753-765.
11. Krueger, Brenda J., Vicki H. Grassian, James P. Cowin, and Alexander Laskin, 2004, Heterogeneous chemistry of individual mineral dust particles from different dust source regions: the importance of particle mineralogy. *Atmospheric Environment*, 38:6253-6261.
12. Shao, Guangfu, Xiangyu Li, Chen Ji, and Takahiro Maeda, 2011, Focal mechanism and slip history of the 2011 Mw 9.1 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, constrained with teleseismic body and surface waves, *Earth, planets and space*, 63, no. 7: 559-564.
13. Savtchenko, A., Ouzounov, D., Ahmad, S., Acker, J., Leptoukh, G., Koziara, J., Nickless, D. 2004, Terra and Aqua MODIS products available from NASA GES DAAC. *Advances in Space Research*, 34(4), 710-714.
14. Remer, L.A., Kaufman, Y.J., Koren, I., Taner, D., Ginoux, P., Fan, S., 2005, Dust transport and deposition observed from the Terra-Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer MODIS spacecraft over the Atlantic Ocean, *Geophysical research*.
15. Remer, L.A., Kaufman, Y.J., Tanré, D., Mattoo, S., Chu, D.A., Martins, J.V., ... & Holben, B.N, 2005, The MODIS aerosol algorithm, products, and validation. *Journal of the atmospheric sciences*, 62(4), 947-973.
16. Tian, J., Dongmei, C., 2010, A semi-empirical model for predicting hourly ground-level fine particulate matter (PM<sub>2.5</sub>) concentration in southern Ontario from satellite remote sensing and ground-based meteorological measurements, *remote sensing of environment*, 114: 221-229.
17. Wang, Y., Zhuang, G., Sun, Y., An, Z., 2006, The variation of characteristics and formation mechanisms of aerosols in dust, haze, and clear days in Beijing, *Atmospheric Environment* 40: 6579-6591.

بیست و دومین  
همایش و نمایشگاه ملی ژئوماتیک