

## مطالعات جغرافیایی مناطق خشک

دوره هشتم، شماره ۱ سی‌ام، زمستان ۱۳۹۶

دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۱۰/۲۱ تأیید نهایی: ۱۳۹۶/۰۶/۰۴

صص ۲۰-۱

### شناسایی توفان‌های گردوغبار در غرب و جنوب غرب ایران با استفاده از

### فناوری سنجش‌از‌دور در تاریخ ۱ ژوئیه ۲۰۰۸

غلامعباس فلاح قاله‌ری\*، دانشیار اقلیم‌شناسی-دانشگاه حکیم سبزواری

کاظم علی‌آبادی، عضو هیئت‌علمی مرکز پژوهشی علوم جغرافیایی و مطالعات اجتماعی-دانشگاه حکیم سبزواری

مریم مقیسه، دانشجوی کارشناسی ارشد آب و هواشناسی-دانشگاه حکیم سبزواری

#### چکیده

یکی از مهم‌ترین چالش‌های زیست‌محیطی به‌وجودآمده در منطقه‌ی خاورمیانه و ایران در سال‌های اخیر، پدیده‌ی گردوغبار است. با توجه به اینکه نیمه‌ی غربی کشور ایران در هم‌جواری با بیابان‌های بزرگی قرار دارد و به‌طور مستمر گردوغبار این بیابان‌ها، کشور ایران و خصوصاً نیمه‌ی غربی آن را تحت تأثیر خود قرار می‌دهند و نیز اثرات نامطلوبی که این گردوغبارها بر محیط‌زیست و سلامت انسان‌ها دارند؛ لذا هدف از این تحقیق، استفاده از روش ترکیبی (ماهواره‌ای-همدیدی) جهت شناخت هرچه دقیق‌تر این مخاطره‌ی محیطی در غرب و جنوب غرب ایران و در تاریخ ۱ ژوئیه ۲۰۰۸ است. در این تحقیق از تصاویر ماهواره‌ای ترا/مودیس برای رویداد گردوغباری ۱ ژوئیه ۲۰۰۸ غرب ایران و داده‌های پایگاه اطلاعاتی سازمان نوا شامل: ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، وضعیت فشار تراز دریا (SLP) و مؤلفه‌های مداری و نصف‌النهاری باد از وب‌گاه NCEP، استفاده شده است. شاخص‌های کمی آشکارسازی گردوغبار بر روی تصاویر ماهواره‌ای مودیس شامل شاخص‌های BTDI، NDDI، BTD و LRDI، شاخص‌های بصری آشکارسازی گردوغبار شامل ترکیب رنگی کاذب و حقیقی و نیز الگوهای ترکیب رنگی کاذب می‌باشد. نتایج حاصل از اعمال شاخص‌های کمی آشکارسازی گردوغبار بر روی تصاویر مودیس نشان داد که ترکیب شاخص‌های گردوغبار و ایجاد تصویر رنگی کاذب به‌نحوی که بتواند مستقیماً مناطق تحت پوشش گردوغبار را بارزسازی کند، برای آشکارسازی گردوغبار ایران بر روی تصاویر مودیس دارای قابلیت کافی و مناسبی است. همچنین بررسی نقشه‌های همدید هوایی، برای روز ۱ ژوئیه نشان داد استقرار یک سامانه‌ی کم‌فشار بر روی عراق و جنوب خلیج فارس و تأثیر هماهنگ فرود عمیق بر فراز جو منطقه هم‌زمان با تضعیف پرفشار آزور، زمینه مناسب را برای انتقال ریزگردها به جو منطقه فراهم می‌آورد.

**واژگان کلیدی:** گردوغبار، سنجش‌از‌دور، تحلیل سینوپتیک، غرب و جنوب غرب ایران.

\* Email: g.fallah@hsu.ac.ir

## ۱- مقدمه

توفان‌های گردوغبار از پدیده‌های هواشناسی هستند که معمولاً در مناطق خشک و نیمه‌خشک با بارش سالانه کم‌تر از ۲۰۰ تا ۲۵۰ میلی‌متر در مواقع وزش تندبادهایی با سرعت بیش‌ازحد آستانه رخ می‌دهند (شمشیری و همکاران، ۱۳۹۳: ۳۰). سازمان هواشناسی جهانی (WMO<sup>1</sup>)، توفان‌های گردوغباری را چنین تعریف می‌کند: توفان‌های گردوغبار به‌عنوان نوعی از رویداد غباری در بیش‌تر موارد نتیجه‌ی بادهای متلاطم شامل بادهای قوی همرفتی هستند که ذرات زیادی از گردوغبار را از سطوح بیابانی بالا برده و با گسترش آن‌ها در نواحی وسیع، قدرت دید را به کم‌تر از یک کیلومتر کاهش می‌دهند (McTainsh & Pitblado, 1987: 420; Goudie & Middleton, 2006: 150). شدت توفان گردوخاک با میزان ماندگاری، فراگیری مکانی و میزان کاهش دید تعیین می‌شود و بر حسب تداوم زمانی، به دو نوع توفان گردوخاک کوتاه‌مدت (تا نیم ساعت) و طولانی‌مدت (چند ساعت و گاهی یک شبانه‌روز) تقسیم می‌شود (شمسی‌پور و صفرراد، ۱۳۹۱: ۱۱۲). در رویدادهای شدید، تمرکز گردوغبار به بیش از ۶۰۰۰ میکروگرم در مترمکعب می‌رسد (Goudie, 2009: 90). از مهم‌ترین شرایط ایجاد گردوغبار در کنار هوای ناپایدار، مقدار نمناکی است؛ به‌طوری‌که اگر هوای ناپایدار نمناک باشد، بارش و پدیده رعدوبرق و اگر خشک باشد، پدیده‌ی گردوغبار ایجاد می‌کند (طاووسی و زهرایی، ۱۳۹۲: ۱۵۹). در سال‌های اخیر وقوع این پدیده در خاورمیانه در حال افزایش بوده است (کریمی و همکاران، ۱۳۹۰: ۵۷). همچنین پژوهش‌ها نشان می‌دهد که چاله‌های مرکزی ایران با بیش از ۱۵۰ روز و سپس مناطق جنوب غرب و غرب کشور که در همسایگی کشورهای عراق، عربستان و سوریه قرار دارند که منشأ پدیده‌ی گردوغباری در کشور هستند، دارای بیش‌ترین فراوانی روزهای گردوغبار هستند (علی‌جانی، ۱۳۷۶: ۱۵۰). از آنجایی‌که وجود این ذرات بر روی سلامتی انسان، گیاهان، حیوانات و منابع آبی آثار زیان‌باری داشته و باعث تغییر در میزان اشعه‌ی خورشید و کاهش دقت در اندازه‌گیری‌ها و محدودیت در پایش سطح زمین می‌گردد، از دیرباز موردتوجه خاص دانشمندان مرتبط با علوم و فناوری سنجش‌ازدور قرار گرفته است. روش‌های سنتی و میدانی در پژوهش‌ها نیاز به دسترسی به محل و بررسی مشاهداتی دارند، اما سنجش‌ازدور با ایجاد پوشش منظم و وسیع از منطقه‌ی مورد مطالعه امکان دید کلی‌تر و عام‌تر از آن را فراهم می‌سازد. یکی از روش‌های کاربرد فن‌آوری سنجش‌ازدور در مباحث مربوط به پدیده گردوغبار، شاخص‌های مختلفی است که بسته به اهداف پژوهشگر مورد استفاده قرار می‌گیرد (رضایی بنفشه و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۴).

از آنجاکه مدل‌های عددی هواشناسی به‌تنهایی قادر به ردیابی و بارزسازی این توفان‌های گردوغبار نیستند و در بسیاری از موارد خطاهای قابل‌توجهی دارند، لزوم استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور در کنار مشاهدات زمینی و مدل‌های عددی بیش‌ازپیش احساس می‌شود (تقوی و همکاران، ۱۳۹۲: ۸۳). مشاهدات سال‌های اخیر نشان‌دهنده‌ی افزایش فراوانی وقوع پدیده‌ی گردوغبار در استان‌های غربی کشور مانند ایلام، خوزستان، کرمانشاه و کردستان است (کریمی و همکاران، ۱۳۹۰: ۵۷). در حال حاضر انواع سنجنده‌های ماهواره‌ای با کاربردهای متنوع به فضا پرتاب شده است. با این حال، همه‌ی سنجنده‌ها برای شناسایی و پایش گردوغبار مناسب نیستند. نتایج تحقیقات متعدد و شاخص‌های اعمال‌شده در آن‌ها جهت شناسایی گردوغبار نشان داده است که سنجنده‌ی مودیس ماهواره‌های آکوا و ترا به خاطر تفکیک زمانی، مکانی و طیفی بالا دارای قابلیت کافی برای شناسایی گردوغبار و پایش دینامیک آن می‌باشد (Qu et al., 2006: 484; Roskovensky & Liou, 2005:2; Mei et al., 2008: 966; Xie; 2004: 55). اگرچه مطالعات بسیاری برای شناسایی گردوغبار انجام شده است، اما هنوز مشکلاتی برای بارزسازی گردوغبار روی تصاویر ماهواره‌ای وجود دارد. ردیابی گردوغبار با استفاده از باندهای انعکاسی تصاویر ماهواره‌ای، به‌ویژه روی سطوح درخشان مانند صحراها، به علت انعکاس بالا، کاری دشوار است. به کار گرفتن داده‌های چندطیفی تصاویر و ترکیب باندها و ایجاد تصویر رنگی کاذب به‌نحوی که

بتواند مستقیماً مناطق تحت پوشش گردوغبار را بارزسازی کند، در شناسایی ذرات غبار و موقعیت آن‌ها بسیار مفید خواهد بود.

در مورد هر موضوعی و در بررسی‌های مختلف وجود پیشینه‌ای از موضوع و یا اطلاع از بررسی‌های انجام‌شده می‌تواند تا حد زیادی به پیشرفت مطالعه و دستیابی به نتایج منطقی جدید کمک کند. آگاهی از تحقیقات قبلی درباره‌ی موضوع موردنظر، مسیر مطالعه را در ادامه بررسی‌های قبل قرار می‌دهد و چیزی تکراری و جدا از آن‌ها نیست. در ادامه تعدادی از منابع داخلی و خارجی موجود درباره‌ی موضوع تحقیق، موردبررسی قرار می‌گیرند. زینگ<sup>۲</sup> و همکاران (۱۹۹۸)، توفان گردوغبار پنجم می سال ۱۹۹۳ را در شمال غرب چین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای NOVA مورد پایش قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که میزان بازتاب از قسمت فوقانی توفان‌های گردوغبار تفاوت آشکاری با میزان بازتاب از سطح زمین دارد. ناتساگدرج<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۰۳)، توفان‌های گردوغبار مشاهده‌شده در مغولستان را در دوره‌ی آماری ۱۹۳۷-۱۹۹۹ تحلیل کرده‌اند. در این تحقیق، کلیماتولوژی توفان‌های گردوغبار مغولستان بر پایه‌ی داده‌های مشاهداتی گردوغبار ۴۹ ایستگاه هواشناسی از سال ۱۹۶۰-۱۹۹۹ و مقایسه آن‌ها با داده‌های دوره‌ی ۱۹۳۳-۱۹۸۰ مطالعه گردید. کو<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۰۶)، توفان گردوغبار ۲۷ مارس سال ۲۰۰۴ آسیا را با استفاده از تصاویر مودیس ماهواره‌های آکوا و ترا مورد مطالعه قرار دادند. نام بردگان نشان دادند که شاخص NDDI<sup>۵</sup> شاخص مناسبی برای جدا کردن مؤثر SDDs<sup>۶</sup> از ابرهای یخ و آب و ویژگی‌های زمین (به‌جز زمین‌های ماسه و گردوغباری) است. صمدی و همکاران (۲۰۱۴) از یک روش سنجش‌ازدوری جدید به نام شاخص GDDI<sup>۷</sup> برای شناسایی توفان‌های گردوغبار استفاده کردند. در این مطالعه ۲۰ حادثه‌ی گردوغبار در ناحیه‌ی غربی ایران در طی سال‌های ۲۰۱۱-۲۰۰۰ موردبررسی و مطالعه قرار گرفتند. نتایج نشان داد که مدل دارای یک عملکرد خوب در تمامی موارد است. همچنین می‌توان از این شاخص در هر سیستم هشدار و پیش‌بینی توفان‌های گردوغبار استفاده نمود. مریدنژاد و همکاران (۲۰۱۵) در طول سه دهه‌ی (۲۰۱۲-۱۹۸۴) رابط بین بیابان‌زایی و منابع گردوغبار در غرب آسیا را با استفاده از تجزیه‌وتحلیل تصاویر مودیس و لندست بررسی کردند. نامداری و همکاران (۲۰۱۶) در پژوهشی با استفاده از داده‌های میانگین ماهانه‌ی سنجنده MODIS به بررسی روند تغییرات مکانی-زمانی منطقه‌ی غرب ایران طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴ پرداختند. در روند بررسی نتایج، بخش جنوب غربی ایران شامل استان خوزستان بیش‌ترین مقدار متوسط عمق اپتیکی را طی کل دوره‌ی بررسی تجربه کرده بود. کریمی و همکاران (۱۳۹۰)، به شناسایی خاستگاه‌های تولید توفان‌های گردوغبار در خاورمیانه با استفاده از سنجش‌ازدور پرداختند. به این منظور از داده‌های ماهواره‌ای و یک روش جدید ترکیب رنگی کاذب (FCC) از طریق ترکیب شاخص‌های مشهور بارزسازی و شناسایی گردوغبار مثل شاخص NDDI، D، BTDD3132، BTDD2931 استفاده شد. شمشیری و همکاران (۱۳۹۳) آشکارسازی و پهنه‌بندی ریزگردهای استان کرمانشاه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای MODIS را انجام دادند. علی‌آبادی و همکاران (۱۳۹۴) به ارزیابی و پایش توفان گردوغبار با بهره‌گیری از مدل لاگرانژی HYSPLIT و با استفاده از روش ردیابی پسگرد پرداختند. نتایج حاصل از مدل HYSPLIT نشان داد که به‌طورکلی منابع اصلی توفان گردوغبار کشور، شمال تا شمال غرب عراق و شرق سوریه می‌باشد. جلالی و همکاران (۱۳۹۶) شناسایی منشأ و مناطق تحت تأثیر توفان‌های گردوغبار در جنوب غرب ایران با استفاده از تصاویر مادیس در بازه‌ی زمانی ۱۳۸۴ تا ۱۳۸۷ را انجام دادند. بررسی‌ها نشان داد که نتایج حاصل از به‌کارگیری روش طبقه‌بندی با نتایج حاصل از مدل‌سازی به روش محاسبه‌ی اختلاف دمای روشنایی هم‌خوانی دارد؛ بنابراین از این روش می‌توان برای تشخیص منشأ و مناطق تحت تأثیر توفان‌های گردوغبار استفاده نمود. دانیالی و همکاران (۱۳۹۷) با استفاده از شاخص عمق اپتیکی اخذشده از تصاویر سنجنده‌ی

2- Zeng

3- Natsagdorj

4- Qu

5- The Normalized Difference Dust Index

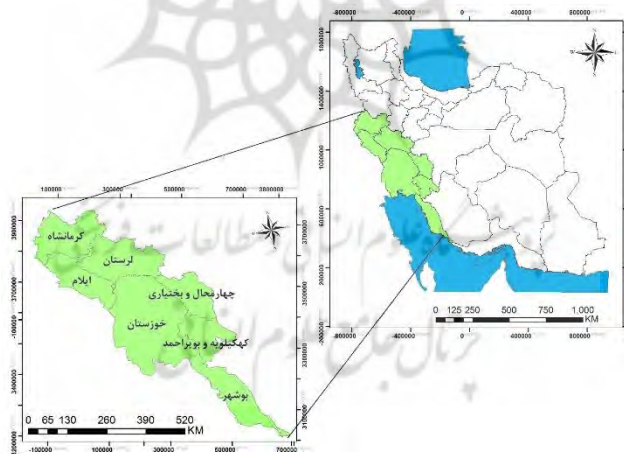
6- Sand and Dust Storms

7- Global Dust Detection Index

مودیس، روند تغییرات سالانه گردوغبار استان خوزستان از ماه مارس سال ۲۰۰۰ تا پایان ۲۰۱۶ را تعیین کرده و به این نتیجه رسیدند که افزایش فعالیت کانونی در جنوب شرق اهواز در سال ۲۰۱۵ در مقایسه با سال‌های ۲۰۰۵ و ۲۰۰۹ افزایش داشته که با توجه به مجاورت با شهر اهواز می‌تواند نقش قابل توجهی در بحران‌های گردوغباری سال‌های اخیر استان خوزستان داشته باشد. تحقیقات گذشته نشان می‌دهد که تاکنون از تلفیق شاخص‌های گردوغبار مختلف در جهت ایجاد تصاویر رنگی کاذب به منظور بارزسازی گردوغبار در غرب و جنوب غرب ایران استفاده نشده است؛ لذا هدف از این تحقیق اعمال برخی از این تکنیک‌ها بر روی تصاویر MODIS منطقه‌ی مورد مطالعه است. انتظار می‌رود که از تلفیق آن‌ها به صورت تصاویر رنگ کاذب، بهترین بارزسازی از غبار استخراج شود.

## ۲- منطقه‌ی مورد مطالعه

در این تحقیق، مناطق غرب و جنوب غربی ایران شامل استان خوزستان با توجه به وقوع توفان‌های متعدد گردوغبار در سال‌های اخیر، مورد مطالعه قرار گرفتند. حداکثر میزان غلظت ذرات گردوغبار و مواد آلاینده در هوا در سال‌های مختلف متفاوت است. با توجه به مطالعات انجام شده، عوامل اصلی داخلی و برون مرزی وقوع توفان‌های گردوغبار در غرب و جنوب غرب ایران عبارت‌اند از: کاهش میزان بارندگی در منطقه، خشک شدن قسمت‌های زیادی از تالاب‌های مسیر جریان باد از جمله عبدالعظیم، کم‌آبی و تغییر مسیر رودخانه‌ی دجله و فرات به مرور زمان، تغییر اکوسیستم و وجود کانون‌های حساس به فرسایش بادی است (حامدی و اسماعیلی، ۱۳۹۴: ۵۷). به طور کلی، غرب ایران با توجه به نزدیکی به بیابان‌های کشورهای مجاور در معرض رخدادهای گردوغباری متعددی است. با توجه به مسیر حرکت سامانه‌ها و نحوه‌ی قرارگیری ناو‌ها و کم‌فشارها در روزهای متفاوت، مهم‌ترین چشمه‌های گردوغبار وارد شده به غرب ایران، صحرای سوریه، صحرای نفود در شمال شبه جزیره‌ی عربستان و شمال صحرای بزرگ افریقا (تقوی و همکاران، ۱۳۹۲: ۸۵). موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱: موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه

## ۳- مواد و روش‌ها

### ۳-۱- داده‌های مورد استفاده

در پژوهش حاضر، سه الگوی ترکیب رنگی کاذب (FCC)<sup>۱</sup> به صورت RGB به کار گرفته شدند تا بهترین تصویری که می‌تواند مناطق غباری را بارزسازی نماید، تعیین شود. مطالعه حاضر در دو بخش جداگانه انجام شده است. ابتدا با کمک تصاویر ماهواره‌ای مودیس و روش‌های سنجش‌ازدور که اساس پژوهش حاضر را تشکیل می‌دهد، گردوغبار در

منطقه‌ی مورد مطالعه آشکارسازی شد. سپس مطالعه‌ی شرایط آب‌وهوایشناسی منطقه با استفاده از نقشه‌های همدید، تحلیل مختصری گردید. همچنین به منظور آشکارسازی پدیده‌ی گردوغبار منطقه‌ی مورد مطالعه بر روی تصاویر ماهواره-ای، از ۱۰ تصویر ماهواره‌ای دریافت شده از وبگاه سازمان ناسا در سطح اول از ماهواره‌ی ترا (که داده‌های روز هنگام برداشت می‌کند) مربوط به روزهای گردوغباری انتخابی از سال ۲۰۰۸ استفاده گردیده است (جدول ۱). این تصاویر از سایت <http://ladsweb.nascom.nasa.gov> اخذ شد. سپس تصویر روز ۲۰۰۸/۰۷/۰۱ در ساعت ۷:۲۰ صبح به وقت گرینویچ برای محدوده‌ی غرب و جنوب غرب ایران جهت آشکارسازی گردوغبار و اعمال شاخص‌های متعدد روی آن انتخاب گردید. در این مطالعه برای تشخیص توفان‌های گردوغباری (محلی و فرامحلی)، از فاکتور قدرت دید افقی کوچک‌تر یا مساوی ۱۰۰۰ متر استفاده شده است. بدین ترتیب پس از استخراج روزهای گردوغباری سال ۲۰۰۸، روز اول ژوئیه‌ی ۲۰۰۸ به خاطر داشتن قدرت دید افقی کم‌تر از ۱۰۰۰ متر (معیار تشخیص توفان‌های گردوغباری در این مطالعه) در اکثر ایستگاه‌ها در نیمه‌ی غربی ایران (جدول ۲) برای آشکارسازی گردوغبار بر روی تصاویر ماهواره‌ای مودیس انتخاب گردید.

جدول ۱: مشخصات زمانی تصاویر ماهواره‌ای MODIS استفاده شده در این تحقیق

| ردیف | ماهواره | تاریخ        | زمان (GMT) |
|------|---------|--------------|------------|
| ۱    | ترا     | ۱ جولای ۲۰۰۸ | ۰۷:۱۵      |
| ۲    | ترا     | ۱ جولای ۲۰۰۸ | ۰۷:۲۰      |
| ۳    | ترا     | ۱ جولای ۲۰۰۸ | ۰۸:۵۵      |
| ۴    | ترا     | ۲ جولای ۲۰۰۸ | ۰۸:۰۰      |
| ۵    | ترا     | ۲ جولای ۲۰۰۸ | ۰۸:۰۵      |
| ۶    | ترا     | ۳ جولای ۲۰۰۸ | ۰۷:۰۵      |
| ۷    | ترا     | ۳ جولای ۲۰۰۸ | ۰۷:۱۰      |
| ۸    | ترا     | ۴ جولای ۲۰۰۸ | ۰۷:۵۰      |
| ۹    | ترا     | ۲۵ مارس ۲۰۰۸ | ۰۷:۳۰      |
| ۱۰   | ترا     | ۳۰ ژوئن ۲۰۰۸ | ۰۸:۱۵      |

جدول ۲: ایستگاه‌های تحت تأثیر توفان و قدرت دید آن‌ها در اول ژوئیه‌ی ۲۰۰۸ نیمه غرب ایران بر اساس آمار هواشناسی

| ایستگاه‌ها | کد <sup>۹</sup> | قدرت دید | ایستگاه‌ها | کد | قدرت دید |
|------------|-----------------|----------|------------|----|----------|
| رامهرمز    | ۶               | ۵۰۰      | اهواز      | ۶  | ۴۰۰      |
| روانسر     | ۶               | ۸۰۰۰     | اراک       | ۷  | ۶۰۰۰     |
| شهرکرد     | ۶               | ۳۰۰۰     | آبادان     | ۶  | ۲۰۰      |
| شیراز      | ۷               | ۶۰۰      | الیگودرز   | ۶  | ۸۰۰۰     |
| سارا رود   | ۶               | ۶۰۰۰     | ایلام      | ۶  | ۵۰۰      |
| فسا        | ۶               | ۱۵۰۰     | بوشهر      | ۶  | ۱۰۰۰     |

۹- **کد ۶:** ذرات معلق گرد و خاک در هوا نتیجه توفان شن و خاک نقاط دیگر یا خارج از ایستگاه، **کد ۷:** گرد و غبارهای ایجاد شده به وسیله‌ی باد در خود یا نزدیکی ایستگاه، **کد ۸:** گردبادهای تکامل یافته در زمان دیده‌بانی یا طی یک ساعت گذشته در خود ایستگاه یا اطراف آن، **کد ۹:** توفان‌های گردوخاک در زمان دیده‌بانی یا ساعت گذشته در اطراف ایستگاه، **کد های ۳۰ تا ۳۵:** توفان‌های گرد و غباری در شدت‌های به ترتیب ضعیف تا شدید محلی (جهانبخش و همکاران، ۱۳۹۳: ۳۸).

|      |   |             |      |   |             |
|------|---|-------------|------|---|-------------|
| ۶۰۰  | ۶ | بستان       | ۶۰۰۰ | ۶ | کوه‌رنگ     |
| ۵۰۰  | ۶ | بندر ماهشهر | ۲۰۰۰ | ۶ | کرمانشاه    |
| ۲۰۰۰ | ۶ | بروجن       | ۱۷۰۰ | ۶ | کیش         |
| ۱۰۰۰ | ۶ | خرم‌آباد    | ۵۰۰  | ۶ | مسجد سلیمان |
| ۴۰۰  | ۶ | دزفول       | ۷۰۰۰ | ۷ | همدان       |
| ۲۰۰  | ۶ | دهلران      | ۱۰۰۰ | ۶ | یاسوج       |

در پژوهش حاضر، آشکارسازی پدیده‌ی گردوغبار به‌واسطه‌ی تصاویر MODIS و با تکیه بر ویژگی‌های دمایی درخشندگی صورت گرفته است. بر اساس قانون پلانک، تابایی تک‌باند (monochromatic radiance) یا شدت تابش  $B_\lambda(T)$  (انرژی بر واحد زمان، بر واحد سطح، بر واحد زاویه فضایی، بر واحد طول موج) گسیلی از یک جسم سیاه در دمای  $T$  به‌صورت زیر بیان می‌شود:

$$B_\lambda(T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5 \left[ \exp\left(\frac{hc}{\lambda kT}\right) - 1 \right]} \quad \text{رابطه‌ی ۱}$$

که  $T$  دمای مطلق جسم سیاه،  $h$  ثابت پلانک برابر با  $6.626 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ ،  $c$  سرعت نور برابر با  $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ ،  $k$  ثابت بولتزمن برابر با  $1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$  است. به این منظور، مقادیر رادیانس تصاویر از طریق عکس تابع پلانک را به دمای درخشندگی تبدیل کردیم.

$$T = \frac{hc}{\lambda_i k \ln \left[ \frac{2hc^2}{B_\lambda(T) \lambda_i^5} + 1 \right]} \quad \text{رابطه‌ی ۲}$$

که در آن،  $T$  دمای درخشندگی،  $L(\lambda_i)$  مقادیر رادیانس باند  $i$  و  $\lambda_i$  طول موج مرکزی باند  $i$  برحسب میکرومتر ( $\mu\text{m}$ ) است (تقوی و همکاران، ۱۳۹۲: ۹۰). در پژوهش حاضر سنجنده‌ی MODIS به علت داشتن چندین ویژگی انتخاب گردید؛ ۱- قابلیت دید وسیع آن، ۲- محدوده طیفی و تعداد باندهای آن، ۳- قدرت تفکیک مکانی<sup>۱۱</sup> و زمانی<sup>۱۱</sup> مناسب آن و ۴- در دسترس بودن داده‌های این سنسور در ایران. جدول ۳ مشخصات باندهای استفاده شده در پژوهش حاضر را نشان می‌دهد.

جدول ۳: مشخصات باندهای استفاده شده در تحقیق

| کاربرد                             | شماره‌ی باند | پهنای باند    | بازتاب طیفی | نسبت سیگنال به نویز |
|------------------------------------|--------------|---------------|-------------|---------------------|
| تعیین محدوده‌های ابرها و زمین‌ها   | ۱            | ۶۷۰ - ۶۲۰     | ۲۱/۸        | ۱۲۸                 |
| شناخت ویژگی‌های ابرها و یا زمین‌ها | ۳            | ۴۷۹ - ۴۵۹     | ۳۵/۳        | ۲۴۳                 |
|                                    | ۴            | ۵۶۵ - ۵۴۵     | ۲۹          | ۲۲۸                 |
|                                    | ۷            | ۲۱۵۵ - ۲۱۰۵   | ۱           | ۱۱۰                 |
| تعیین درجه‌حرارت سطح زمین و ابر    | ۲۰           | ۳/۸۴ - ۳/۶۶   | ۰/۴۵        | ۰/۰۵                |
| تعیین میزان بخار آب                | ۲۹           | ۸/۷ - ۸/۴     | ۹/۵۸        | ۰/۰۵                |
| تعیین درجه‌حرارت ابر و سطح زمین    | ۳۱           | ۱۱/۲۸ - ۱۰/۷۸ | ۹/۵۵        | ۰/۰۵                |
|                                    | ۳۲           | ۱۲/۲۷ - ۱۱/۷۷ | ۸/۹۴        | ۰/۰۵                |

## ۳-۲- مدل‌ها و شاخص‌های مطالعه‌شده برای آشکارسازی گردوغبار

## ۳-۲-۱- ترکیب رنگی RGB

الف) ترکیب رنگی کاذب (FCC<sup>۱۲</sup>)

در این روش، نحوه‌ی شناسایی پدیده‌ها بر اساس نسبت بازتابندگی آن‌ها در باندهای مختلف طیفی است؛ بنابراین نحوه‌ی شناسایی گردوغبار بر اساس روش حاضر بدین ترتیب است که در داخل پالت قرمز باند ۲۰، پالت سبز باند ۱ و پالت آبی باند ۲۹ قرار می‌گیرد (فرج‌زاده و کریمی، ۱۳۹۲: ۱۸۵).

R(20) G(1) B(29)

ب) ترکیب رنگی حقیقی (TCC<sup>۱۳</sup>)

برای ایجاد تصویر رنگی حقیقی به ترتیب از باندهای ۱ (۰/۶۷ - ۰/۶۲ میکرومتر)، ۴ (۰/۵۶۵ - ۰/۵۴۵ میکرومتر) و ۳ (۰/۴۵۹/۴۷۹ - ۰/۴ میکرومتر) به‌عنوان محدوده‌های قرمز، سبز و آبی استفاده شده است.

R(1) G(4) B(3)

پس از اعمال ترکیب رنگی کاذب و حقیقی بر روی تصاویر با استفاده از نرم‌افزار ENVI، به ترتیب شاخص‌های زیر محاسبه و بر روی تصاویر اعمال گردید.

۳-۲-۲- شاخص NDDI<sup>۱۴</sup>

اندیس NDDI برای ردیابی توفان‌های ماسه و غبار<sup>۱۵</sup> (SDS) پیشنهاد شده است (Qu et al., 2006: 485). انعکاس خاک و گردوغبار با افزایش طول موج افزایش می‌یابد (شکل ۲) که حداقل آن در باند ۳ (۰/۴ میکرومتر) و حداکثر آن در باند ۷ (۲/۴ میکرومتر) می‌باشد؛ درحالی‌که بالاترین انعکاس ابر در باند ۳ و کم‌ترین آن در باند ۷ است. این ویژگی طیفی باعث تشخیص راحت ابر و گردوغبار می‌شود که در جهان به‌عنوان شاخص NDDI (Mei et al., 2008: 967; Qu et al., 2006: 485) شناخته شده است (رابطه‌ی ۳).

$$NDDI = \frac{b7 - b3}{b7 + b3}$$

رابطه‌ی ۳

$$b7 = 2.3 \mu m$$

$$b3 = 0.469 \mu m$$

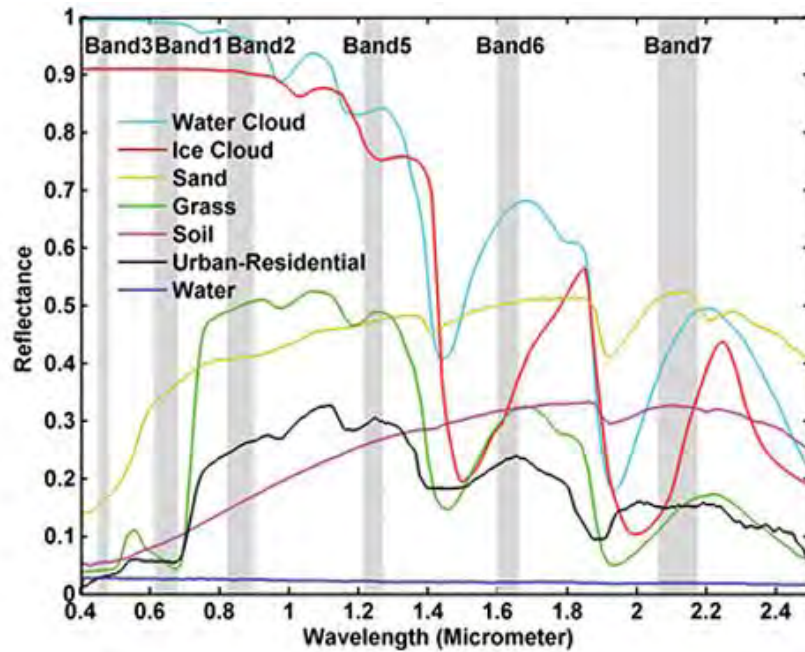
هنگامی‌که توفان گردوغبار اتفاق می‌افتد، مقدار زیادی از ذرات گردوغبار به شکل یک لایه کنار هم قرار می‌گیرند. لایه‌ی ضخیم گردوغبار می‌تواند تابش خورشیدی را جذب و بازتاب کند. در میان ۳۶ باند مودیس، باندهای مرئی و مادون قرمز نزدیک برای اندازه‌گیری بازتاب و باندهای مادون قرمز حرارتی برای اندازه‌گیری دمای روشنی اشیا استفاده می‌شود. با مقایسه ویژگی‌های طیفی در میان گردوغبار، زمین و ابر می‌توان دریافت که ابر با انعکاس بالا اما دمای روشنی پایین، زمین با بازتاب کم اما دمای روشنی بالا و گردوغبار بین این دو پدیده قرار دارد (Mei et al., 2008: 967).

12- False Color Composite

13- True Color Composite

14- Normalized Difference Dust Index (NDDI)

15- Sand and Dust Storms



شکل ۲: انعکاس ابر یخی و آبی، آب، خاک، ماسه، علف در محدوده‌ی طیفی ۰/۴ تا ۲/۴ میکرومتر (Clark et al., 1993: 93)

### ۳-۲-۳- مدل آکرمن<sup>۱۶</sup>

از دیگر روش‌هایی که جهت شناسایی ذرات گردوغبار معلق موجود در هوا به کار می‌رود، استفاده از باندهای حرارتی به دلیل وجود اختلاف دما و اختلاف تابندگی ذرات گردوغبار نسبت به سایر پدیده‌های جوی و زمینی است؛ بنابراین محققان مختلف با استفاده از اختلاف دماهای درخشندگی در دو یا سه باند مختلف حرارتی اقدام به طراحی روش‌های مختلفی جهت شناسایی گردوغبار نمودند. استفاده از اختلاف دمای درخشندگی از این واقعیت نشئت می‌گیرد که در زمان واحد ذرات گردوغبار دمای پایین‌تری نسبت به سایر پدیده‌های سطح زمین دارد که دلیل آن نیز در عدم تحت تأثیر قرار گرفتن این ذرات به وسیله‌ی خورشید نسبت به گازهای اتمسفری است؛ بنابراین بر این اساس علاوه بر اینکه با استفاده از این روش‌ها می‌توان ذرات گردوغبار را از سطح زمین تشخیص داد می‌توان آن‌ها را نیز از سایر عناصر جوی همانند ابرها تمییز داد. مدل آکرمن که یکی از ساده‌ترین اما پرکاربردترین مدل‌های موجود است به شرح زیر استفاده می‌شود (Mei et al., 2008: 966).

$$BT D = BT_{31} - BT_{32} \quad \text{رابطه‌ی ۴}$$

### ۳-۲-۴- شاخص BTDI<sup>۱۷</sup>

باندهای ۳۱ و ۳۲ مودیس در محدوده پنجره حرارتی مادون قرمز می‌باشند که در این محدوده جذب به وسیله‌ی دیگر گازهای اتمسفری بسیار ناچیز است. در باندهای ۳۱ و ۳۲ میزان اختلاف تابش بین زمین و گردوغبار بسیار بالاست. همچنین گردوغبار، تابش بالایی در باند ۳۱ نسبت به باند ۳۲ دارد. از این رو باندهای ۳۱ و ۳۲ و اختلاف بین این دو باند می‌تواند در تشخیص پدیده‌ی گردوغبار بر روی تصاویر مودیس به‌عنوان شاخص BTDI (رابطه‌ی ۵) به کار گرفته شود (Zhang et al., 2006: 199; Baddock et al., 2009: 1515):

$$BT DI = CH32 - CH31 \quad \text{by MODIS/TERRA}$$

$$CH31: MODIS - 31(10.78 \mu m \approx 11.28)$$

رابطه‌ی ۵

16- Ackerman

17- Brightness Temperature Difference Index



CH32: MODIS – 32(11.77  $\mu\text{m} \approx 12.27$ )

### ۳-۲-۵- شاخص LRDI<sup>۱۸</sup>

با توجه به اینکه در باند ۱ سنجنده‌ی مودیس ابر با انعکاس بالا (ارزش‌های عددی بالا)، زمین با انعکاس پایین و گردوغبار بین این دو قرار دارد و در باند ۳ نیز ابر دارای ارزش عددی بسیار بالایی می‌باشد؛ بنابراین ترکیب این دو باند باعث نمایان شدن ابر با انعکاس بالا نسبت به سایر پدیده‌ها می‌شود. همچنین برای تفکیک بهتر زمین و گردوغبار از اختلاف باندهای ۳۱ و ۳۲ استفاده شده است؛ چون زمین در باندهای ۳۱ و ۳۲ اختلاف گسیل‌مندی بالایی نسبت به سایر پدیده‌ها دارد؛ بنابراین از ترکیب و تلفیق روابط فوق، شاخصی طراحی گردید که اشکالات و معایب شاخص‌های مطالعه شده را ندارد (رابطه‌ی ۶). این شاخص علاوه بر ایران برای مناطق عربستان، آذربایجان نیز اعمال گردیده و نتیجه‌ی مطلوبی گرفته شد که با عنوان شاخص LRDI شناخته شده است (جهانبخش و همکاران، ۱۳۹۳: ۴۱):

$$\text{LRDI: } (b1 + b3) + (b32 - b31) \quad \text{رابطه‌ی ۶}$$

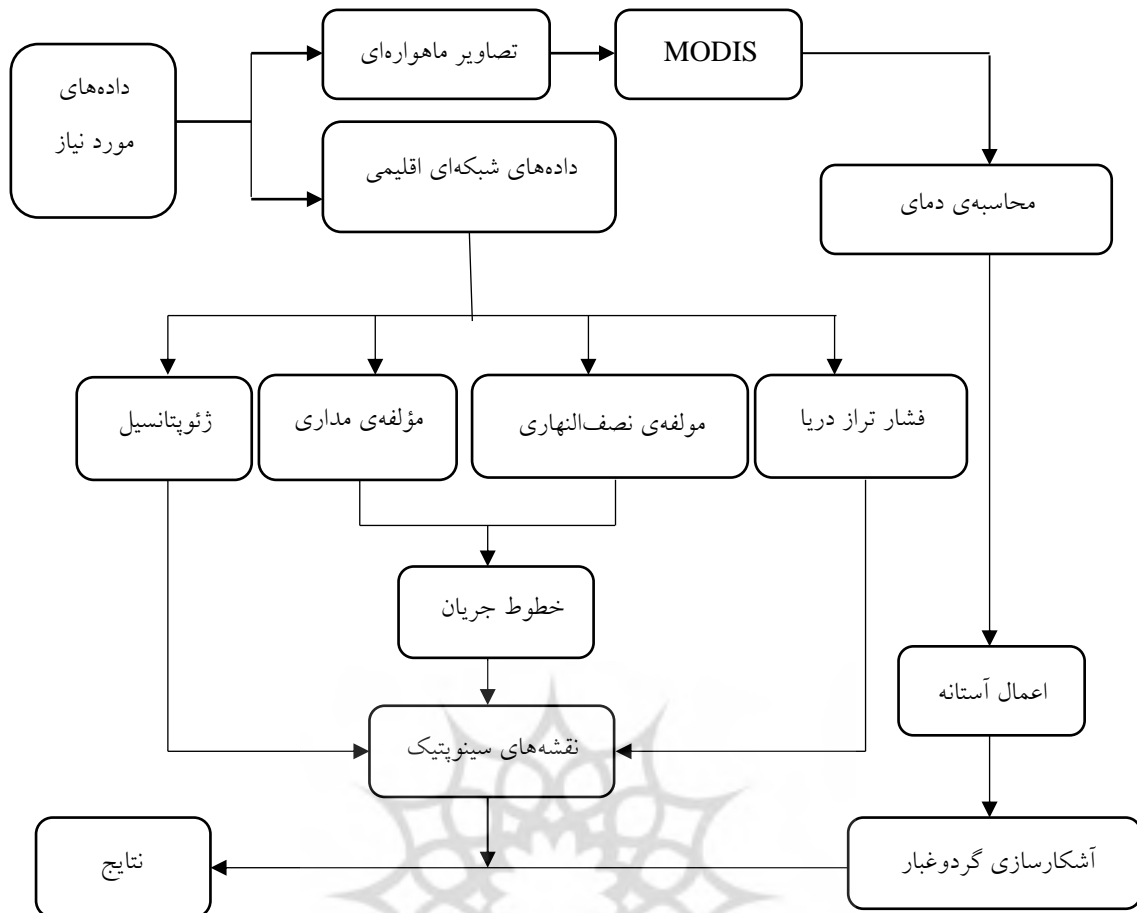
### ۳-۲-۶- الگوهای ترکیب رنگی کاذب (FCC)

در این روش از تلفیق شاخص‌های گردوغبار همچون، NDDI، BTDI، BTD و LRDI جهت ایجاد تصاویر رنگی کاذب به منظور بارسازی گردوغبار استفاده کرده‌ایم. چگونگی تلفیق شاخص‌های مذکور به شرح زیر است: مطالعه‌ی حاضر در دو بخش جداگانه انجام شده است. ابتدا با کمک تصاویر ماهواره‌ای مودیس و روش‌های سنجش‌ازدور که پایه‌ی تحقیق حاضر را تشکیل می‌دهد، گردوغبار در منطقه‌ی مورد مطالعه آشکارسازی شده است. سپس

|             |            |             |
|-------------|------------|-------------|
| Red: BTD    | Red: NDDI  | Red: BTDI   |
| Green: NDDI | Green: BTD | Green: NDDI |
| Blue: LRDI  | Blue: BTDI | Blue: BTD   |

مطالعه‌ی شرایط آب‌وهواشناسی منطقه با استفاده از داده‌های جوی مشتمل بر ارتفاع ژئوپتانسیل ( $^9\text{HGT}$ ) تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، وضعیت فشار تراز دریا ( $^2\text{SLP}$ )، مؤلفه‌های مداری و نصف‌النهاری باد از وب‌گاه NCEP، امکان‌شناسایی کانون‌های تشکیل گردوغبار و مسیر حرکت آبی آن‌ها را امکان‌پذیر کرد. داده‌های موردنیاز از پایگاه داده‌های NCEP/NCAR وابسته به سازمان ملی جو و اقیانوس‌شناسی ایالات‌متحده اخذ گردید. این داده‌ها در تارنمای [www.cdc.noaa.gov.com](http://www.cdc.noaa.gov.com) قابل‌دسترسی می‌باشند. سپس نقشه‌های موردنیاز بر اساس داده‌های موجود، توسط نرم‌افزار Grads ترسیم گردید. درنهایت، ترکیب یافته‌های سنجش‌ازدور و آب‌وهواشناسی برای تحلیل شرایط و نتیجه‌گیری استفاده شدند. استفاده از دو منبع داده‌ای و اطلاعاتی سنجش‌ازدور و نقشه‌های جوی، نتایج دقیق‌تر و بیش‌تری از الگوی پراکنش و انتقال ذرات معلق را ارائه می‌دهد که در ادامه به آن خواهیم پرداخت. در شکل ۳ کلیه‌ی فرآیند تحقیق به‌طور خلاصه آورده شده است.

18- Localized Radiance Difference Index  
19- Geopotential height  
20- Sea Level Pressure

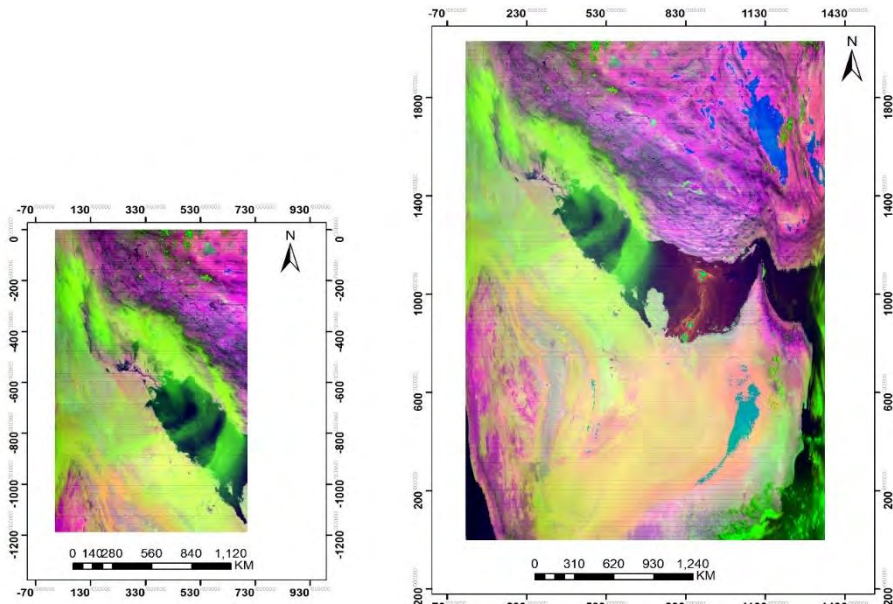


شکل ۳: مراحل الگوریتم تحقیق

#### ۴- بحث و نتایج

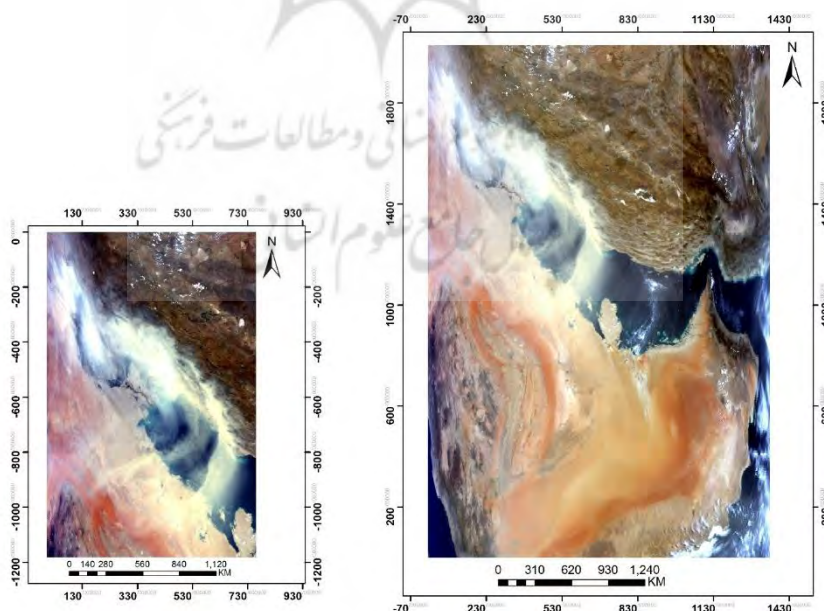
#### ۴-۱- آشکارسازی توفان گردوغبار ۱ ژوئیه ۲۰۰۸ غرب ایران بر روی تصاویر ماهواره‌ای مودیس با به‌کارگیری شاخص‌های گردوغبار

همان‌طور که در شکل ۴ نشان داده شده است با روش ترکیب رنگی کاذب، قرمز (۲۰) سبز (۱) آبی (۲۹) می‌توان گردوغبارها را با رنگ سبز شناسایی کرد. میزان بازتابندگی گردوغبارها در باند ۱ سنجنده‌ی MODIS بالاتر از باندهای ۲۰ و ۲۹ است؛ بنابراین با رنگ سبز نمایان شده است. ۱- در ترکیب رنگی حاضر، ابرها نیز به رنگ سبز نمایش داده شده است؛ بنابراین در صورت وجود ابر در تصویر ماهواره‌ای (به‌خصوص ابرهای سیروسی که معمولاً هم‌زمان با گردوغبارها وجود دارند) نمی‌توان ذرات ریز گردوغبار را از ابرها به‌خوبی تمییز داد. ۲- سطح مناطق بیابانی در ترکیب رنگی یادشده همانند سطح گردوغبارها به رنگ سبز نمایان شده است. در صورتی که ذرات گردوغبار بر روی چنین مناطقی مستقر باشد، روش حاضر قادر به تفکیک ذرات گردوغبار از سطح زیرین آن‌ها نیست. ۳- اگرچه روش حاضر به‌عنوان یک روش سریع و راحت جهت شناسایی گردوغبارها مورد استفاده قرار می‌گیرد، اما با توجه به اینکه یک روش چشمی محسوب می‌شود، از آن به‌خوبی نمی‌توان برای شناسایی دقیق ذرات گردوغبار بر روی تصاویر ماهواره‌ای استفاده کرد.



شکل ۴: ترکیب رنگی کاذب (FCC)، قرمز (۲۰) سبز (۱) آبی (۲۹)، رویداد ۱ ژوئیه ۲۰۰۸ غرب ایران

علاوه بر ترکیب رنگی کاذب ( $FCC^1$ )، می‌توان از ترکیب رنگی واقعی ( $TCC^2$ ) در تصاویر ماهواره‌ای استفاده نمود. در واقع بسته به نحوه‌ی ترکیب باندهای مختلف طیفی در پالتهای قرمز، سبز و آبی، هر پدیده‌ای با توجه به درجه‌ی روشنایی (بازتابندگی) آن در هر کدام از پالتهای نام‌برده شده رنگ خاصی به خود می‌گیرد. برای مثال در ترکیب رنگی حقیقی مادیس، از باندهای ۱، ۴ و ۳ به ترتیب R، G و B می‌توان استفاده کرد؛ بدین ترتیب تمام عوارض و پدیده‌های موجود در سطح زمین را به رنگ واقعی آن‌ها دید. این ترکیب رنگی در تفکیک گردوغبار از آب و زمین به خوبی عمل می‌کند، اما با توجه به اینکه یک روش چشمی محسوب می‌شود، کاربر را در تشخیص گردوغبار از ابر و تفکیک آن‌ها، گمراه می‌نماید. شکل ۵ ترکیب رنگی حقیقی مادیس را برای توفان ۱ ژوئیه ۲۰۰۸ نشان می‌دهد.



شکل ۵: ترکیب رنگی واقعی (TCC)، قرمز (۱) سبز (۴) آبی (۳)، رویداد ۱ ژوئیه ۲۰۰۸ غرب ایران

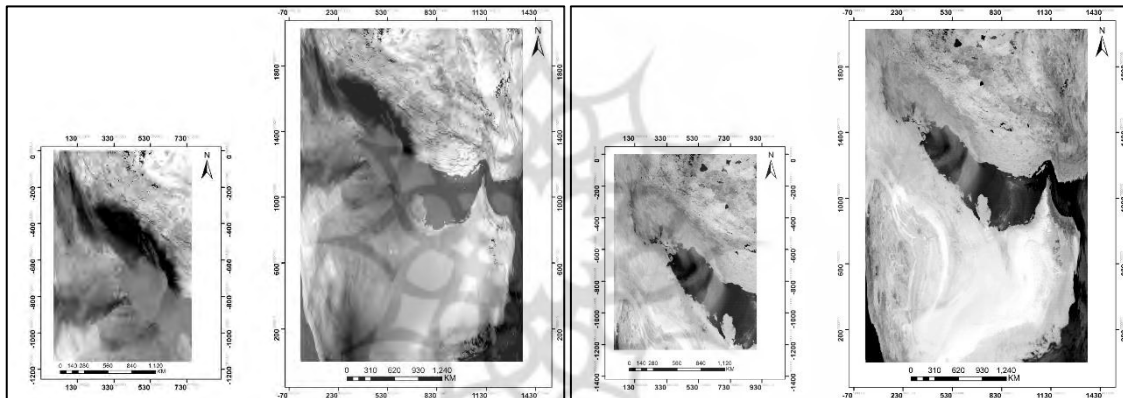
21- False Color Composite

22- True Color Composite

نتایج حاصل از شاخص NDDI بر روی منطقه‌ی مورد مطالعه نشان می‌دهد که ارزش‌های عددی ابر و آب کمتر از صفر و منفی می‌باشند که علت آن انعکاس بیش‌تر ابر و آب در باند ۳ نسبت به باند ۷ است. با توجه به اینکه بخشی از سطح اراضی منطقه به وسیله‌ی بیابان پوشیده شده است و طبیعتاً جنس ذرات گردوغبار منتشر شده در اتمسفر با سطح زمین یکسان است، ارزش‌های عددی زمین و گردوغبار در یک محدوده قرار می‌گیرند (جدول ۴)؛ بنابراین این شاخص قدرت تفکیک پدیده‌ی گردوغبار از زمین را ندارد. همان‌طور که در شکل ۶ نشان داده شده است، اجرای شاخص مذکور بر روی منطقه‌ی مورد مطالعه چندان رضایت‌بخش نیست و قادر به شناسایی گردوغبارها و تفکیک آن از زمین نیست.

جدول ۴: ارزش‌های عددی حاصل از شاخص NDDI

| پدیده    | ارزش‌های عددی (DN) |
|----------|--------------------|
| ابر      | NDDI < ۰           |
| آب       | NDDI < ۰           |
| زمین     | ۰/۵ تا -۰/۱        |
| گردوغبار | ۰/۵ تا -۰/۱        |



شکل ۷: شاخص اختلاف دمای روشنایی (BTD) رویداد ۱ ژوئیه ۲۰۰۸ غرب ایران

شکل ۶: اختلاف نرمال شده شاخص گردوغبار (NDDI) رویداد ۱ ژوئیه ۲۰۰۸ غرب ایران

جدول ۵، ارزش‌های عددی به دست آمده از شاخص BTD بر روی منطقه‌ی مورد مطالعه را نشان می‌دهد که گردوغبار با بعضی قسمت‌های ابر دارای ارزش‌های عددی مشترک می‌باشند. همین عامل باعث تردید در تشخیص گردوغبار از ابر می‌شود. همان‌طور که در شکل ۷ نشان داده شده است، اجرای شاخص مذکور بر روی منطقه‌ی مورد مطالعه چندان رضایت‌بخش نیست و قادر به تفکیک ابر از گردوغبار نیست، همین عامل شناسایی مطلق گردوغبار در تصاویر ماهواره‌ای را با مشکل مواجه می‌کند.

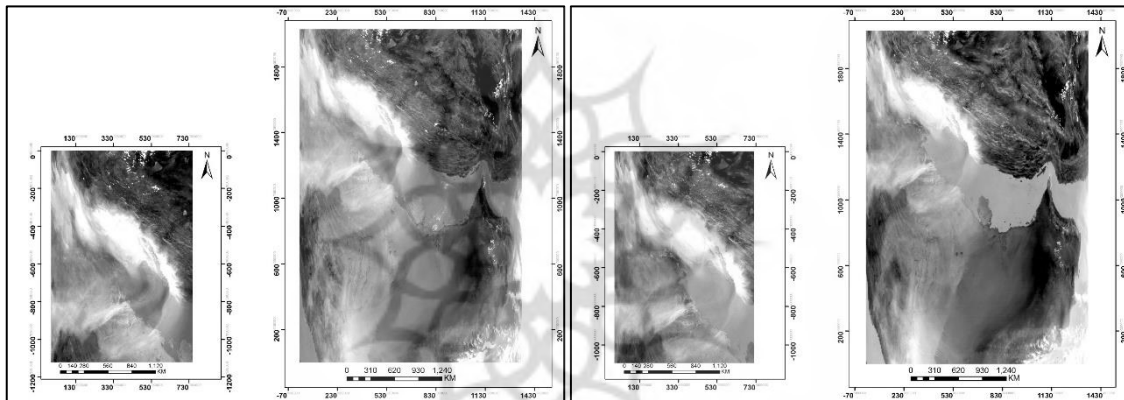
جدول ۵: ارزش‌های عددی حاصل از شاخص BTD

| پدیده    | ارزش‌های عددی (DN) |
|----------|--------------------|
| ابر      | ۰/۳۵ - ۰/۰۲        |
| آب       | ۰/۳۵ - ۰/۲۸        |
| زمین     | ۰/۷ - ۰/۴۴         |
| گردوغبار | ۰/۷ - ۰/۱          |

شاخص دمای روشنی (BTDI) نتیجه‌ی اختلاف بین باندهای حرارتی ۳۱ و ۳۲ می‌باشد که باند حرارتی ۳۲ دارای تابش و دمای پایین در ابر و تابش و دمای بسیار بالا در زمین بوده و میزان تابش گردوغبار بین این دو پدیده قرار دارد. باند ۳۱ نیز مطابق باند ۳۲ می‌باشد؛ فقط با این تفاوت که در باند ۳۱ میزان تابش‌های پدیده‌ها بالاتر از باند ۳۲ هستند. اختلاف باند ۳۲ از باند ۳۱ باعث تابش‌های منفی در تمام پدیده‌ها می‌شود که ارزش‌های عددی حاصل از اعمال این شاخص بر روی تصویر مودیس منطقه‌ی مورد مطالعه در جدول ۶ نشان داده شده است. شکل ۸، اعمال شاخص BTDI بر روی منطقه‌ی مورد مطالعه را نمایش می‌دهد. در این شاخص زمین و گردوغبار به راحتی از هم تفکیک می‌شوند، ولی گردوغبار و ابر از هم قابل تفکیک نیستند و بر روی ابر، لکه‌های با ارزش عددی گردوغبار مشاهده می‌گردد.

جدول ۶: ارزش‌های عددی حاصل از شاخص اختلاف دمای روشنی BTDI

| پدیده    | ارزش‌های عددی (DN) |
|----------|--------------------|
| ابر      | -۰/۳۴ تا -۰/۰۷     |
| آب       | -۰/۶۲ تا -۰/۷۱     |
| زمین     | -۱/۷۵ تا -۰/۷۵     |
| گردوغبار | -۱/۵ تا -۰/۴۸      |



شکل ۸: شاخص اختلاف دمای روشنی

شکل ۹: شاخص اختلاف دمای روشنی

BTDI رویداد ۱ ژوئیه ۲۰۰۸ غرب ایران

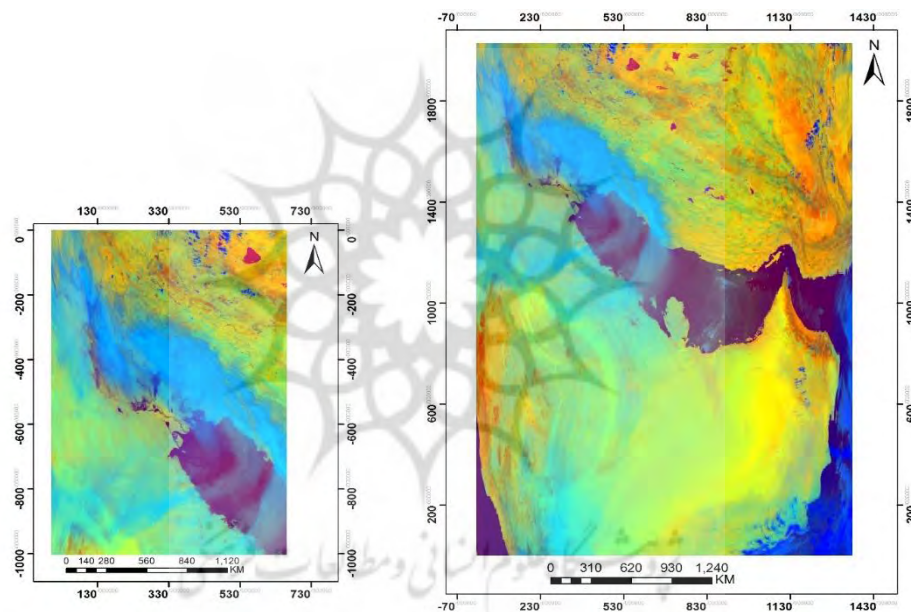
LRDI رویداد ۱ ژوئیه ۲۰۰۸

شاخص LRDI تعدیل شده شاخص BTDI است؛ چون در شاخص BTDI قسمت‌هایی از ابر و گردوغبار دارای ارزش‌های عددی یکسان هستند. بدین منظور از ترکیب باندهای ۱ و ۳ به دلیل انعکاس بالای ابر در آن‌ها در سنجنده‌ی مودیس استفاده گردیده تا میزان انعکاس ابر بالا برده شود (زینالی و اصغری، ۱۳۹۷: ۸). پیکسل‌های مربوط به ذرات گردوغبار، ارزش عددی ۰/۶۵ تا -۱ را نشان می‌دهند. همان‌طور که گفته شد، بالاترین انعکاس ابر در باند ۳ است. انتظار می‌رفت با اعمال این شاخص ابر از گردوغبار به خوبی تفکیک شود؛ درحالی‌که همانند شاخص‌های مذکور، ابر و گردوغبار دارای ارزش‌های عددی یکسان بوده و تا حدی دارای هم‌پوشانی هستند و همین عامل موجب عدم شناسایی دقیق ذرات گردوغبار بر روی تصویر ماهواره‌ای مورد نظر است (جدول ۷ و شکل ۹).

جدول ۷: ارزش‌های عددی حاصل از شاخص LRDI

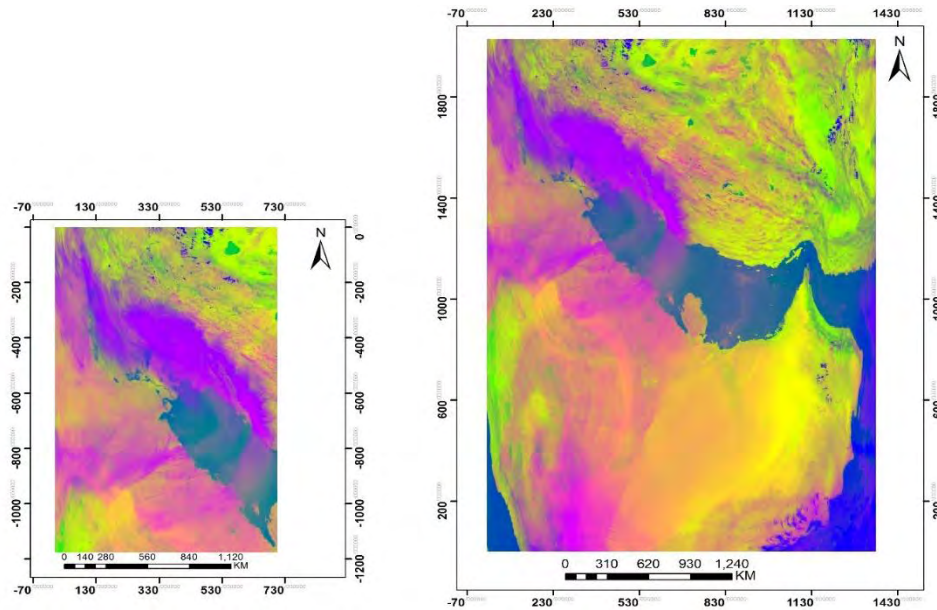
| پدیده    | ارزش‌های عددی (DN) |
|----------|--------------------|
| ابر      | ۰/۱۸ تا ۱/۲۶       |
| آب       | -۰/۳۳ تا -۰/۴۱     |
| زمین     | -۱/۰۸ تا -۰/۶      |
| گردوغبار | -۱ تا ۰/۶۵         |

ردیابی گردوغبار با استفاده از باندهای انعکاسی تصاویر ماهواره‌ای، به‌ویژه روی سطوح درخشان مانند صحراها، به علت انعکاس بالا، کاری دشوار است. به‌کار گرفتن داده‌های چندطیفی تصاویر و ترکیب باندها و ایجاد تصویر رنگی کاذب به‌نحوی که بتواند مستقیماً مناطق تحت پوشش گردوغبار را بارزسازی کند، در شناسایی ذرات غبار و موقعیت آن‌ها بسیار مفید خواهد بود. بدین منظور سه الگوی ترکیب رنگی کاذب (FCC<sup>۲۳</sup>) به صورت RGB به کار گرفته شدند تا بهترین تصویری که می‌تواند مناطق غباری را بارزسازی نماید تعیین شود. ارزیابی این روش‌ها برحسب اینکه کدام روش توانسته است تمایز رنگ بیش‌تری بین پیکسل‌های غباری و پیکسل‌های بدون غبار ایجاد کند و موجب تمایز هرچه بیش‌تر آن با عارضه‌ی ابر روی تصاویر ماهواره‌ای شود، صورت گرفت. سه نمونه از نحوه‌ی قرار گرفتن هر کدام از الگوهای موردنظر در موقعیت‌های قرمز، سبز و آبی تصویر ترکیب رنگی کاذب در شکل‌های ۱۰، ۱۱ و ۱۲ نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود هر ۳ الگوی ترکیب رنگ به‌گونه‌ای توده‌ی غباری را بارزسازی نموده‌اند و هر سه آن‌ها توانسته‌اند به‌خوبی پیکسل‌های غباری را از پیکسل‌های بدون غبار تفکیک کرده و محقق را در جهت تفکیک هرچه بهتر گردوغبار از ابر یاری دهند؛ لذا مقایسه‌ی چشمی تصاویر ترکیب رنگی شده، در تمام موارد نشان داد که این روش قابلیت بهتری در آشکارسازی نواحی گردوغباری نسبت به سایر روش‌ها داشته و به‌طور مؤثری مناطق غباری را از سایر عوارض و مناظر متمایز نمود.

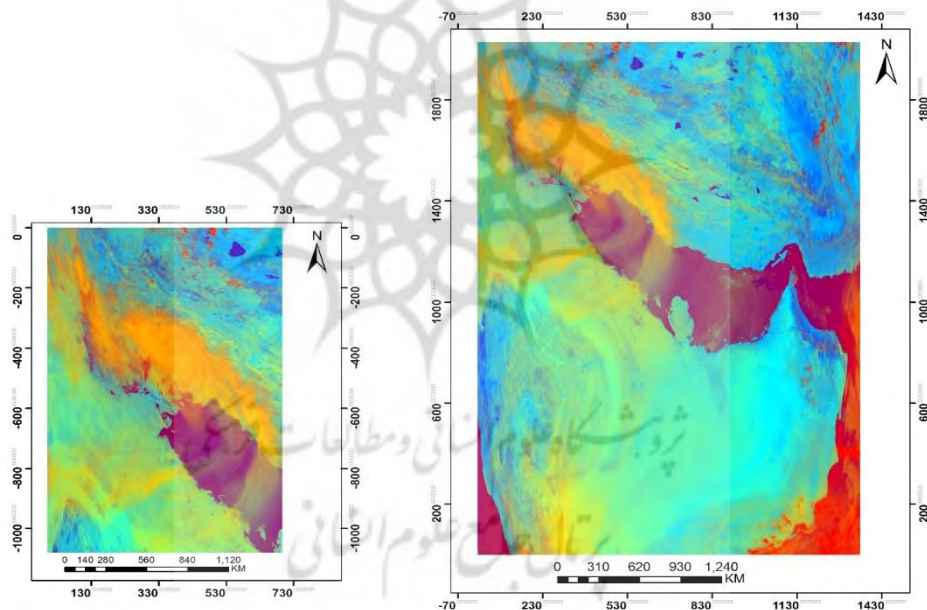


شکل ۱۰: تصویر مربوط به الگوی ترکیب رنگی کاذب R(BTD) G(NDDI) B(LRDI) برای تصویر ماهواره‌ای MODIS به تاریخ ۱ ژوئیه ۲۰۰۸





شکل ۱۱: تصویر مربوط به الگوی ترکیب رنگی کاذب R(NDDI) G(BTD) B(BTD) برای تصویر ماهواره‌ای MODIS به تاریخ ۱ ژوئیه ۲۰۰۸

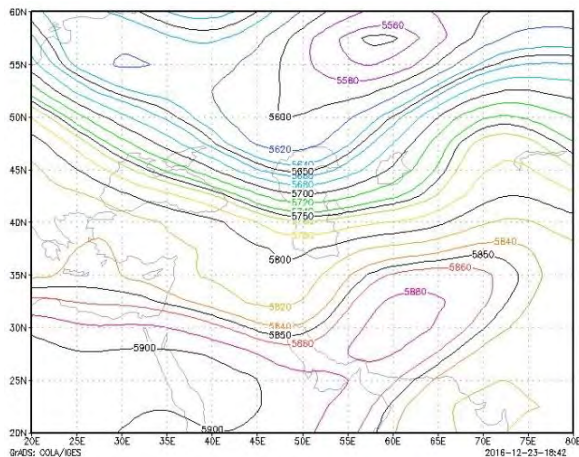


شکل ۱۲: تصویر مربوط به الگوی ترکیب رنگی کاذب R(BTD) G(NDDI) B(BTD) برای تصویر ماهواره‌ای MODIS به تاریخ ۱ ژوئیه ۲۰۰۸

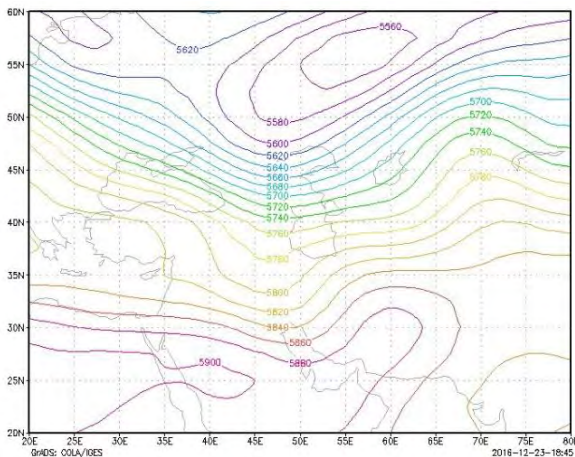
#### ۴-۲- مطالعه‌ی سینوپتیکی توفان گردوغباری مطالعه‌شده

همان‌طور که در شکل ۱۳ ملاحظه می‌شود، در روز ۱ ژوئیه ۲۰۰۸، شاهد فرودی عمیق روی ایران هستیم که محور آن در جنوب غرب ایران روی خلیج فارس و دریای مدیترانه است که موجب تقویت واگرایی سطوح فوقانی می‌شود. این فرود نشان‌دهنده‌ی تقویت شرایط ناپایداری، صعود و چرخندزائی در سطح منطقه است که البته در ساعت ۱۲ به وقت گرینویچ هم همین شرایط حاکم می‌باشد (شکل ۱۴). در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال در روز ۱ ژوئیه که روز اوج گردوغبار در ایران است، محور ناوه به‌طور بسیار کم به‌طرف غرب ایران حرکت کرده است و تقویت بادهای غربی و شمال

غربی در منطقه باعث می‌شود که گردوغبار صعود یافته از سطح بیابان‌های عراق که در کانون فعالیت ناپایداری قرار گرفته است، به غرب منتقل شود.

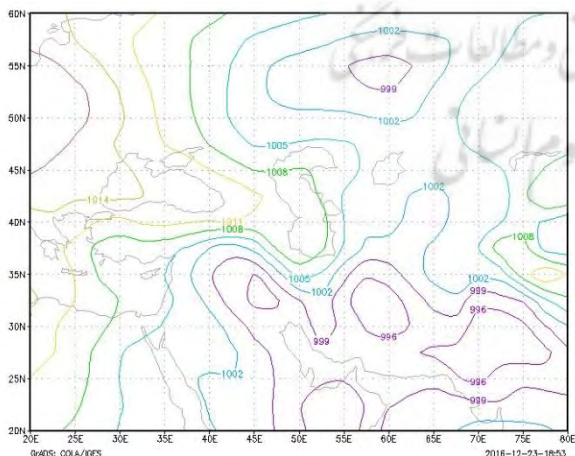


شکل ۱۴: نقشه‌ی همدید ۱ ژوئیه‌ی ۲۰۰۸ تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، ساعت ۱۲ به وقت گرینویچ

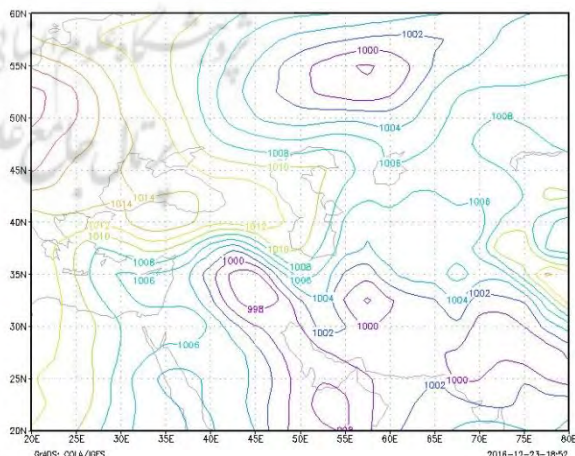


شکل ۱۳: نقشه‌ی همدید ۱ ژوئیه‌ی ۲۰۰۸ تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، ساعت ۰۶ به وقت گرینویچ

با توجه به گرمایش شدید سطح زمین، جو ایران در تابستان ناپایدار بوده و تا ارتفاع ۲-۳ کیلومتری از سطح زمین به صورت لایه نازکی شرایط برای صعود مهیاست. همان‌طور که در شکل ۱۵ ملاحظه می‌شود، دو مرکز کم‌فشار در غرب و جنوب غرب ایران تشکیل شده است که با توجه به حرکت پاد ساعت‌گرد هوا در مرکز کم‌فشار موجب شده جریان‌ات غربی در منطقه حاکم شوند. در شکل ۱۶ موقعیت کم‌فشار در ساعت ۱۲ به وقت گرینویچ عمیق‌تر شده و چندین سلول تشکیل داده که یکی در غرب و دیگری در شرق ایران است. این سلول‌های کم‌فشار هم‌زمان با شروع ناپایداری حاصل از فرود در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال می‌باشند؛ بنابراین گردوغبار در ابتدا در اثر فعالیت‌های چرخندی زمین به جو منتقل می‌شود و سپس توسط بادهای سطح بالا در جهت غرب و جنوب غرب به داخل مرزها منتقل می‌شود.



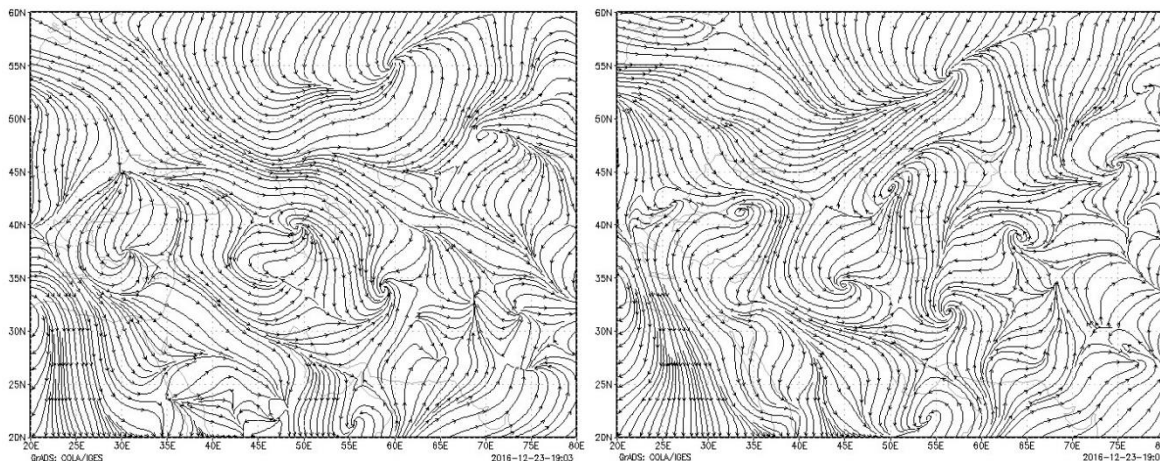
شکل ۱۶: نقشه‌ی همدید فشار سطح دریا ۱ ژوئیه‌ی ۲۰۰۸، ساعت ۱۲ به وقت گرینویچ



شکل ۱۵: نقشه‌ی همدید فشار سطح دریا ۱ ژوئیه‌ی ۲۰۰۸، ساعت ۰۶ به وقت گرینویچ

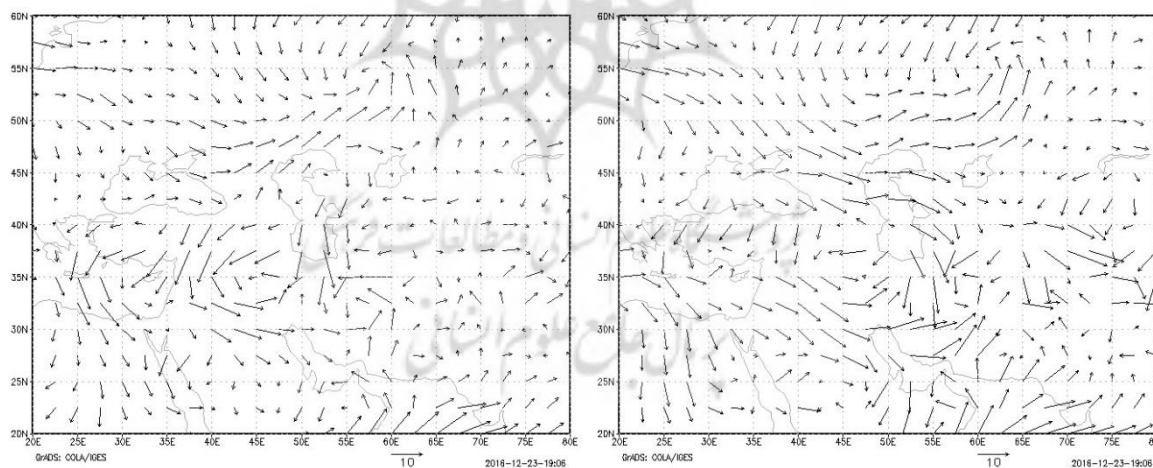


شکل ۱۷ نشان می‌دهد که در غرب و جنوب غرب دو کم‌فشار در جهت پاد ساعت‌گرد ایجاد شده که از مناطقی همچون سوریه و عراق وارد ایران شده است و موجب تقویت جریانات غربی در این منطقه شده‌اند؛ به‌طوری‌که در شکل ۱۸ در ساعت ۱۲ به وقت گرینویچ به‌خوبی می‌توان تقویت جریانات غربی را مشاهده نمود.



شکل ۱۷: نقشه‌ی جریان باد ۱ ژوئیه‌ی ۲۰۰۸ تراز دریا، ساعت ۰۶ به وقت گرینویچ  
 شکل ۱۸: نقشه‌ی جریان باد ۱ ژوئیه‌ی ۲۰۰۸ تراز دریا، ساعت ۱۲ به وقت گرینویچ

شکل ۱۹ و ۲۰ آرایش جهت باد را نشان می‌دهد؛ جریانات غربی باد که از سوریه و عراق وارد ایران شده‌اند. وجود دو مرکز کم‌فشار نیز موجب همگرایی شده و گردوغبار را بیش‌تر کرده و اجازه‌ی خروج گردوغبار از منطقه را نمی‌دهد.



شکل ۱۹: آرایش جهت باد ۱ ژوئیه‌ی ۲۰۰۸، ساعت ۰۶ به وقت گرینویچ  
 شکل ۲۰: آرایش جهت باد ۱ ژوئیه‌ی ۲۰۰۸، ساعت ۱۲ به وقت گرینویچ

##### ۵- نتیجه‌گیری

ترکیب رنگی کاذب حاصل باندهای ۲۰ (قرمز)، ۱ (سبز) و ۲۹ (آبی) و ترکیب رنگی حقیقی حاصل باندهای ۱ (قرمز)، ۴ (سبز) و ۳ (آبی) بر روی تصاویر مودیس از لحاظ بصری دارای قابلیت کافی برای تشخیص گردوغبار از سایر پدیده‌ها می‌باشند. از آنجایی‌که این شاخص‌ها فقط جهت مشاهده‌ی گردوغبار بر روی تصویر هست به‌عنوان یک روش سریع و راحت جهت شناسایی گردوغبارها مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ اما با توجه به اینکه یک روش چشمی محسوب می‌شود، از

آن به خوبی نمی‌توان برای شناسایی دقیق ذرات گردوغبار بر روی تصاویر ماهواره‌ای استفاده کرد؛ لذا شاخص‌های عددی در مقایسه با این شاخص‌ها برای مطالعه‌ی دقیق در اولویت هستند.

شاخص‌های مطالعه‌شده برای آشکارسازی گردوغبار بر روی تصاویر ماهواره‌ای مودیس در مناطق مختلف جهان می‌تواند پاسخ‌های متفاوتی نشان دهد که به دلیل ویژگی‌های محیطی، آب و هوایی و جغرافیایی آن منطقه می‌باشد. در این مطالعه شاخص‌های کمی  $NDDI$ ،  $BTD$ ،  $BTDI$  و  $LRDI$  بر روی تصاویر مودیس در روز اول ژوئیه اعمال گردید. نتایج حاکی از این است که در شاخص  $NDDI$ ، ارزش‌های عددی زمین و گردوغبار در یک محدوده قرار می‌گیرند؛ بنابراین این شاخص قادر به شناسایی گردوغبار از زمین نیست. نتایج به‌دست‌آمده از اعمال شاخص  $BTD$  و  $BTDI$  بر روی منطقه‌ی مورد مطالعه نشان داد گردوغبار و ابر از هم قابل تفکیک نیستند و بر روی ابر، لکه‌های با ارزش عددی گردوغبار مشاهده می‌گردد. همچنین انتظار می‌رفت با اعمال شاخص  $LRDI$ ، ابر از گردوغبار به خوبی تفکیک شود؛ در حالی که همانند شاخص‌های مذکور، ابر و گردوغبار دارای ارزش‌های عددی یکسان بوده و تا حدی دارای هم‌پوشانی هستند و همین عامل موجب عدم شناسایی دقیق ذرات گردوغبار بر روی تصاویر ماهواره‌ای است؛ لذا نتایج نشان داد اجرای شاخص‌های مذکور بر روی منطقه‌ی مورد مطالعه چندان رضایت‌بخش نیست و قادر به تفکیک و شناسایی گردوغبار از سایر عوارض نمی‌باشند.

تلفیق شاخص‌های گردوغبار در جهت ایجاد تصاویر رنگی کاذب به منظور آشکارسازی توفان گردوغبار بر روی تصویر ۱ ژوئیه اعمال گردید و توانست مناطق تحت پوشش گردوغبار را به خوبی بارزسازی نماید. پایه‌ی ارزیابی این روش بر حسب اینکه از میان شاخص‌های کمی  $NDDI$ ،  $BTD$ ،  $BTDI$  و  $LRDI$  تلفیق کدام یک از شاخص‌ها در پالت‌های  $R$ ،  $G$  و  $B$  توانسته است تمایز رنگ بیش‌تری بین پیکسل‌های غباری و پیکسل‌های بدون غبار ایجاد کند، صورت گرفت. نتایج نشان داد هر ۳ الگوی ترکیب رنگ به‌گونه‌ای توده غباری را بارزسازی نموده‌اند و هر سه آن‌ها توانسته‌اند به خوبی پیکسل‌های غباری را از پیکسل‌های بدون غبار تفکیک کرده و محقق را در جهت تفکیک هرچه بهتر گردوغبار از ابر و سایر عوارض سطح زمین یاری دهند؛ لذا مقایسه چشمی تصاویر ترکیب رنگی شده، در تمام موارد نشان داد که این روش قابلیت بهتری در آشکارسازی نواحی گردوغباری نسبت به سایر روش‌های مذکور داشته و به‌طور مؤثری مناطق غباری را از سایر عوارض و مناظر متمایز نمود؛ لذا به کار گرفتن داده‌های چند طیفی تصاویر، ترکیب شاخص‌های گردوغبار و ایجاد تصویر رنگی کاذب به‌نحوی که بتواند مستقیماً مناطق تحت پوشش گردوغبار را بارزسازی کند، برای آشکارسازی گردوغبار ایران بر روی تصویر مودیس دارای قابلیت کافی و مناسبی می‌باشد.

یافته‌های تحقیق در بخش سینوپتیکی، ما را به این نتایج می‌رساند که با توجه به تحلیل مشترک داده‌های سنجش‌ازدور و نقشه‌های جوی می‌توان به این نتیجه رسید برای مدل‌سازی و مطالعه و پیش‌بینی حرکت پدیده‌ی گردوغبار نیاز به بررسی نقشه‌های جوی ارتفاع ژئوپتانسیل فشار تراز ۵۰۰ میلی باری (HGT) و نقشه فشار تراز دریا (SLP) و نقشه جهت جریان باد در تراز ۱۰۰۰ میلی بار می‌باشد؛ یعنی باید نقشه‌ی سطح زمین و نقشه‌ی ارتفاع بالای جو هم‌زمان بررسی شود و نمی‌توان با بررسی یکی از نقشه‌های جوی به نتیجه مناسبی رسید. پدیده‌ی گردوغبار در آسمان ایران به‌ویژه در بخش‌های غرب و جنوب غرب کشور، رخدادی آشناست. بررسی سیستم‌های جوی در سطوح فوقانی بر اساس نقشه‌های همدید هوایی ترازهای مختلف در روز ۱ ژوئیه ۲۰۰۸ نشان داد که استقرار یک سامانه‌ی کم‌فشار بر روی عراق و جنوب خلیج فارس و تأثیر هماهنگ فرود عمیق بر فراز جو منطقه هم‌زمان با تضعیف پرفشار آזור زمین‌ی مناسب را برای انتقال ریزگردها به جو منطقه فراهم می‌آورد که کم‌فشارهای بسته روی عراق و سوریه سبب ایجاد شرایط مناسب برای صعود حجم عظیمی از گردوغبار به هوا می‌شود که در صورت خشک بودن منطقه و نیز غربی و جنوب غربی بودن جریانات سطوح فوقانی، این گردوغبار به‌وسیله‌ی باد به سطوح میانی جو نواحی غربی و جنوب غربی ایران منتقل می‌شود. بررسی تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌های همدید هوایی، برای روز ۱ ژوئیه نشان داد که در روز فعالیت این موج گردوغباری، یک سامانه‌ی کم‌فشار سطحی بر روی بیابان‌های خاورمیانه مستقر بود. استقرار این سامانه

بر روی منطقه و تقویت شرایط ناپایداری در سطح بیابان‌ها زمینه‌ی مناسبی را برای انتقال ریزگردها به جو منطقه فراهم نمود. هماهنگی سامانه‌ی کم‌فشار سطحی و فرود موج کوتاه بادهای غربی که در روزهای فعالیت موج گردوغبار در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکالی به‌وضوح مشاهده می‌شود. با تقویت جریان چرخندی در روی بیابان‌های عراق و سوریه باعث تقویت سیستم‌های بادی سطح بالا گردیده و توانست انبوهی از گردوغبار را بر بخش‌های وسیعی از غرب و جنوب غرب ایران پخش نمایند. نتایج حاصل از بررسی هم‌زمان تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های سینوپتیکی، نحوه‌ی شکل‌گیری و حرکت گردوغبار را فراهم کرده و تلفیق نتایج حاصل از بارزسازی گردوغبار با تصاویر سنجنده‌ی مادیس و نقشه‌های سینوپتیکی، یافتن منشأ و نحوه‌ی انتقال گردوغبار را بهینه کرده و تصمیم‌گیری و تصمیم‌سازی بهتری را برای پیش‌بینی مسیر حرکت گردوغبار برای مدیران بخش‌های مختلف و محققین فراهم می‌سازد.

## ۶- منابع

۱. تقوی، فرحناز، اولاد، الهه، صفرراد، طاهر، ایران‌نژاد، پرویز (۱۳۹۲). تشخیص و پایش توفان گردوغبار غرب ایران با استفاده از روش‌های سنجنش‌ازدور، مجله‌ی فیزیک زمین و فضا، دوره‌ی ۳۹، شماره‌ی ۳، صص ۹۶-۸۳.
۲. جلالی، نادر، ایران‌منش، فاضل، داودی، محمدهادی (۱۳۹۶). شناسایی منشأ و مناطق تحت تأثیر توفان‌های گردوغبار در جنوب غرب ایران با استفاده از تصاویر مادیس، نشریه‌ی مهندسی و مدیریت آبخیز، دوره‌ی ۹، شماره‌ی ۳، صص ۳۱۸-۳۱۸.
۳. جهان‌بخش، سعید، ولی‌زاده کامران، خلیل، خسروی، محمود، زینالی، بتول، اصغری، صیاد (۱۳۹۳). شناسایی و آشکارسازی توفان فراگیر ۱ ژوئیه‌ی ۲۰۰۸ ایران با استفاده از سنجنده‌ی مودیس، فصلنامه‌ی علمی- پژوهشی فضای جغرافیایی، دوره‌ی ۱۴، شماره‌ی ۴۶، صص ۵۰-۳۱.
۴. حامدی، عذرا، اسماعیلی، علی (۱۳۹۴). شناسایی و ارزیابی پدیده‌ی گردوغبار ۸ ژانویه ۲۰۱۵ جنوب غرب ایران با استفاده از داده‌های سنجنش‌ازدور، بیست و دومین همایش و نمایشگاه ملی ژئوماتیک، سازمان نقشه‌برداری کشور.
۵. دانیالی، محمد، محمدنژاد، بایرامعلی، کریمی، نعمت‌الله (۱۳۹۷). تحلیل مکانی گردوغبار استان خوزستان به کمک تصاویر ماهواره‌ای، نشریه‌ی سنجنش‌ازدور و سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، دوره‌ی ۹، شماره‌ی ۱، صص ۷۳-۵۸.
۶. رضایی بنفشه، مجید، شریفی، لیلا، پیر خضریان، لقمان (۱۳۹۱). برآورد میزان گردوغبار با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مطالعه موردی: استان کردستان، فصل‌نامه جغرافیای طبیعی، دوره‌ی ۵، شماره‌ی ۱۸، صص ۲۲-۱۳.
۷. زینالی، بتول، اصغری، صیاد، (۱۳۹۷). ارزیابی برخی شاخص‌های شناسایی گرد و غبار و پایش آن (مطالعه موردی توفان ۱۰ اوت ۲۰۰۸ شرق ایران)، نشریه جغرافیا و برنامه ریزی، دوره ۲۲، شماره ۶۵، صص ۱۸-۱.
۸. شمسی‌پور، علی‌اکبر، صفرراد، طاهر (۱۳۹۱). تحلیل ماهواره‌ای-همدیدی پدیده‌ی گردوغبار (گردوغبار تیرماه ۱۳۸۸)، پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی، دوره‌ی ۴۴، شماره‌ی ۷۹، صص ۱۱۱-۱۲۶.
۹. شمشیری، سیروس، جعفری، رضا، سلطانی، سعید، رضانی، نفیسه (۱۳۹۳). آشکارسازی و پهنه‌بندی ریزگردهای استان کرمانشاه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ی MODIS، بوم‌شناسی کاربردی، دوره‌ی ۳، شماره‌ی ۸، صص ۴۱-۲۹.
۱۰. طاووسی، تقی، زهرایی، اکبر (۱۳۹۲). مدل‌سازی سری‌های زمانی پدیده‌ی گردوغبار شهر اهواز، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، دوره‌ی ۲۸، شماره‌ی ۲، صص ۱۷۰-۱۵۹.
۱۱. علی‌آبادی، کاظم، داداشی رودباری، عباسعلی، اسدی زنگنه، محمدعلی (۱۳۹۴). ارزیابی و پایش توفان گردوغبار با استفاده از روش‌های سنجنش‌ازدور، نشریه‌ی امداد و نجات، دوره‌ی ۲۵، شماره‌ی ۱.
۱۲. علیجانی، بهلول (۱۳۷۶). آب‌وهوای ایران، تهران: انتشارات پیام نور.
۱۳. فرج‌زاده، منوچهر، کریمی، نعمت‌الله (۱۳۹۲). مبانی هواشناسی ماهواره‌ای، تهران: انتشارات سمت.
۱۴. کریمی، خدیجه، طاهری شهرآئینی، حمید، حبیبی نوخندان، مجید، حافظی مقدس، ناصر (۱۳۹۰). شناسایی خاستگاه‌های تولید توفان‌های گردوغبار در خاورمیانه با استفاده از سنجنش‌ازدور، نشریه‌ی پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، سال ۲، شماره‌ی ۸-۷ (دو فصلنامه)، صص ۷۲-۵۷.
۱۵. نجفی، محمد سعید، خوش‌اخلاق، فرامرز، زمان‌زاده، محمد، شیرازی، محمدحسن، صمدی، مهدی (۱۳۹۲). بررسی ترکیبات بار گردوغبار در غرب و جنوب غربی ایران، جغرافیا و مخاطرات محیطی، دوره‌ی ۲، شماره‌ی ۶، صص ۳۶-۱۷.

16. Ackerman, S. A. (1997). Remote sensing aerosols using satellite infrared observations. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 102(D14), 17069-17079.
17. Baddock, M. C., Bullard, J. E., & Bryant, R. G. (2009). Dust source identification using MODIS: a comparison of techniques applied to the Lake Eyre Basin, Australia. *Remote Sensing of Environment*, 113(7), 1511-1528.
18. Clark, R. N., Swayze, G. A., King, T. V., Gallagher, A. J., & Calvin, W. M. (1993). The US Geological Survey, digital spectral reflectance library: Version 1: 0.2 to 3.0 microns.
19. Goudie, A. S. (2009). Dust storms: Recent developments. *Journal of environmental management*, 90(1), 89-94.
20. Goudie, A. S., & Middleton, N. J. (2006). *Desert dust in the global system*. Springer Science & Business Media.
21. McTainsh, G. H., & Pitblado, J. R. (1987). Dust storms and related phenomena measured from meteorological records in Australia. *Earth Surface Processes and Landforms*, 12(4), 415-424.
22. Mei, D., Xiushan, L., Lin, S., & Ping, W. A. N. G. (2008). A dust-storm process dynamic monitoring with multi-temporal MODIS data. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37, 965-970.
23. Moridnejad, A., Karimi, N & .Ariya, P.A. (2015). Newly desertified regions in Iraq and its surrounding areas: Significant novel sources of global dust particles. *Journal of Arid Environments*, 116, 1-10.
24. Namdari S, Valizade K, Rasuly A, Sarraf BS. (2016). Spatio-temporal analysis of MODIS AOD over western part of Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 9(3): 191-199.
25. Natsagdorj, L., Jugder, D., & Chung, Y. S. (2003). Analysis of dust storms observed in Mongolia during 1937–1999. *Atmospheric Environment*, 37(9-10), 1401-1411.
26. Qu, J. J., Hao, X., Kafatos, M., & Wang, L. (2006). Asian dust storm monitoring combining Terra and Aqua MODIS SRB measurements. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 3(4), 484-486.
27. Roskovensky, J. K., & Liou, K. N. (2005). Differentiating airborne dust from cirrus clouds using MODIS data. *Geophysical Research Letters*, 32(12).
28. Samadi, M., Bolorani, A. D., Alavipanah, S. K., Mohamadi, H., & Najafi, M. S. (2014). Global dust Detection Index (GDDI); a new remotely sensed methodology for dust storms detection. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 12(1), 20.
29. Tsolmon, R., Ochirkhuyag, L., & Sternberg, T. (2008). Monitoring the source of transnational dust storms in north east Asia. *International Journal of Digital Earth*, 1(1), 119-129.
30. Xie, Y. (2009). *Detection of smoke and dust aerosols using multi-sensor satellite remote sensing measurements* (Doctoral dissertation).
31. Zheng, X., Lu, F., Fang, X., Wang, Y., & Guo, L. (1998, August). Study of dust storms in China using satellite data. In *Optical remote Sensing of the Atmosphere and Clouds* (Vol. 3501, pp. 163-169). International Society for Optics and Photonics.