



سال چهاردهم، شماره‌ی ۴۶  
تابستان ۱۳۹۳، صفحات ۵۰-۳۱

دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر  
فصلنامه‌ی علمی- پژوهشی فضای جغرافیایی

سعید جهانبخش<sup>۱</sup>

خلیل ولی زاده کامران<sup>۲</sup>

محمود خسروی<sup>۳</sup>

بتول زینالی<sup>۴</sup>

صیاد اصغری<sup>۵</sup>

## شناسایی و آشکار سازی طوفان فراگیر ۱ ژوئیه ۲۰۰۸ ایران با استفاده از سنجنده مودیس

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۱/۱۰/۲۴

تاریخ دریافت مقاله: ۹۱/۰۸/۲۵

### چکیده

در این تحقیق از داده‌های ساعتی گرد و غبار (قدرت دید افقی و کدهای هواشناسی) ۸۷ ایستگاه سینوپتیکی کشور در سال ۲۰۰۸ استفاده شده است. بعد از استخراج روزهای گرد و غباری سال ۲۰۰۸ برای هر ایستگاه، روز ۱ ژوئیه ۲۰۰۸ به خاطر داشتن قدرت دید افقی کمتر از ۱۰۰۰ متر (معیار تشخیص طوفان‌های گرد و غباری در این مطالعه) در اکثر ایستگاه‌های مورد مطالعه در نیمه غربی ایران به صورت موردی برای مطالعه انتخاب گردید. همچنین برای آشکار سازی پدیده گرد و غبار بر روی تصاویر ماهواره‌ای، از تصاویر مودیس ماهواره‌های آکوا و ترا در روز ۱ ژوئیه ساعت‌های ۷:۱۵، ۷:۲۰ و ۸:۵۵ دقیقه استفاده شده است. در این مطالعه به منظور آشکار سازی گرد و غبار

۱- استاد، عضو هیات علمی گروه آب و هواشناسی (اقلیم شناسی) دانشگاه تبریز

۲- استادیار، عضو هیات علمی گروه آب و هواشناسی، دانشگاه تبریز

۳- دانشیار، عضو هیات علمی گروه جغرافیای طبیعی (اقلیم شناسی) دانشگاه سیستان و بلوچستان

۴- استادیار، عضو هیات علمی گروه جغرافیای طبیعی (اقلیم شناسی) دانشگاه محقق اردبیلی

۵- استادیار، عضو هیات علمی گروه جغرافیای طبیعی (ژئومورفولوژی) دانشگاه ارومیه

ایران بر روی تصاویر مودیس از شاخص بصری ترکیب رنگی کاذب و شاخص‌های کمی  $NDI^6$ ،  $BTD^7$ ،  $BTDI^8$  و  $LRDI^9$  استفاده شده است. نتایج تحقیق نشان داد که شاخص رقومی  $LRDI$  و همچنین شاخص بصری ترکیب رنگی کاذب از قدرت تفکیک بهتری نسبت به شاخص‌های دیگر برای آشکار سازی گرد و غبار برخوردار می‌باشند. طبق مطالعات صورت گرفته و تصویر ماهواره‌ای طوفان‌های گرد و غباری غرب ایران منشا خارجی داشته و منابع عمده آن صحاری سوریه، عربستان، شمال آفریقا و بسترهای خشک دریاچه‌ای عراق می‌باشد.

**کلیدواژه‌ها:** طوفان‌های گرد و غباری، مودیس آکوا/ترا، سنجش از دور، ایران.

#### مقدمه

سازمان هواشناسی جهانی (WMO<sup>10</sup>)، مک تینش و پیت بلیدو<sup>11</sup> (۱۹۸۷: ۴۱۵) و گودی و میدلتون<sup>12</sup> (۲۰۰۶: ۴) طوفان‌های گرد و غباری را چنین تعریف می‌کنند: طوفان‌های گرد و غبار به عنوان نوعی از رویداد غباری، در بیش تر موارد نتیجه بادهای متلاطم شامل بادهای قوی همرفتی هستند که ذرات زیادی از گرد و غبار را از سطوح بیابانی بالابرده و با گسترش آن‌ها در نواحی وسیع، قدرت دید را به کم‌تر از یک کیلومتر کاهش می‌دهند. در رویدادهای شدید تمرکز گرد و غبار به بیش از ۶۰۰۰ میکروگرم در متر مکعب می‌رسد (گودی، ۲۰۰۹: ۸۹). فراوانی وقوع طوفان‌های گرد و غباری در یک منطقه به عواملی از جمله سرعت باد بالا، خاک بدون پوشش، شرایط هوایی خشک (می و همکاران، ۲۰۰۸: ۹۶۵)، رطوبت خاک، پوشش گیاهی (هیونگ و همکاران<sup>13</sup>، ۲۰۰۶: ۲۱۶)، سیستم هوای محلی و بیرونی، بارش کوتاه مدت، وسعت جنگل زدایی، خشک‌سالی‌های بلندمدت، تغییرات کاربری زمین و فعالیت‌های انسانی (جان و همکاران<sup>14</sup>، ۲۰۰۶: ۴۸۴) بستگی دارد. در سال‌های اخیر با استفاده از داده‌های  $TOMS^{15}$

6 - The Normalized Difference Dust Index

7 - Brightness Temperature Difference

8 - Brightness Temperature Difference Index

9 - Local Radiance Difference Index

10 - WMO World Meteorological Organization

11 -McTainsh & Pitblado

12- Goudie and Middleton

13 -huang et al

14 - John

15- Total Ozone Mapping Spectrometer

تصویر روشنی از نواحی اصلی منابع پخش گرد و غبار به دست آمده که شامل صحارا<sup>۱۶</sup> و دیگر زمین‌های خشک شامل خاورمیانه<sup>۱۷</sup>، تاکلاماکان<sup>۱۸</sup> در چین، آسیای جنوب غربی، استرالیای مرکزی، حوضه‌های اتوشا<sup>۱۹</sup> و مگادیک گادی<sup>۲۰</sup> آفریقای جنوبی، سالار دی یونی (بولیویا)<sup>۲۱</sup> و گریت بیسن<sup>۲۲</sup> در ایالات متحده آمریکا می‌باشند (پرسپرو<sup>۲۳</sup>، ۲۰۰۲: ۱، واشینگتون و همکاران<sup>۲۴</sup>، ۲۰۰۳: ۲۹۷ و وانگارد و چوت، ۲۰۰۸: ۴۱۳). داده‌های TOMS همچنین مشخص کرده‌اند که بسیاری از منابع عمده گرد و غبار جهان، مناطقی بسیار خشک با میانگین بارش سالیانه کمتر از ۱۰۰ میلی متر می‌باشند (گودی، ۲۰۰۹: ۹۰).

جان<sup>۲۵</sup> و همکاران (۲۰۰۶) طوفان گرد و غبار ۲۷ مارس سال ۲۰۰۴ آسیا را با استفاده از تصاویر مودیس ماهواره‌های آکوا و ترا مورد مطالعه قرار داده و نشان دادند که NDDI<sup>۲۶</sup> شاخص مناسبی برای جدا کردن موثر SDSs<sup>۲۷</sup> از ابرهای یخ و آب و ویژگی‌های زمین (به جز زمین‌های ماسه و گرد و غباری) می‌باشد. بدین منظور از BT<sup>۲۸</sup> مودیس (باند ۳۱) برای جدا کردن گرد و غبار اتمسفری از زمین ماسه‌ای و گرد و غباری استفاده شد.

می<sup>۲۹</sup> و همکاران (۲۰۰۸) مطالعه‌ای در زمینه‌ی پایش دینامیک فرایند گرد و غبار که در ۱۶-۱۷ آوریل سال ۲۰۰۶ در شمال چین اتفاق افتاده بود با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مودیس انجام دادند. در این مطالعه از شاخص‌های NDDI<sup>۳۰</sup>، BT<sup>۳۱</sup> و شاخص شدت (اختلاف باندهای ۳۱ و ۲۰) جهت تخمین وسعت، درجه شدت و مسیر حرکت طوفان‌های گرد و غبار استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهند که پدیده طوفان گرد و غبار در غرب

- 
- 16- Sahara.
  - 17 -The Middle East .
  - 18 -Taklamakan.
  - 19 - Atosha.
  - 20 - Mkgadikgadi.
  - 21 - The Salar de Uyuni of Bolivia.
  - 22 - Great Basin.
  - 23 -Prospero
  - 24 - Washington, et al
  - 25 - John J.
  - 26 - The Normalized Difference Dust Index.
  - 27 - Sand and Dust Storms.
  - 28 - Brightness Temperature
  - 29- Mei, et al
  - 30- The Normalized Difference Dust Index.
  - 31 - Brightness Temperature Difference.

میانه مغولستان اتفاق افتاده و سپس از ایالت‌های گنسو، شانکسی، هبی، تیانجین و شاندانگ<sup>۳۲</sup> حرکت کرده و شدت آن با افزایش فاصله زیادتر شده است.

کودوه<sup>۳۳</sup> (۲۰۱۰) پدیده گرد و غبار قاره آسیا را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مودیس و AVHRR مربوط به روزهای ۱۶ مارس ۲۰۰۲، ۸ آوریل ۲۰۰۶، ۳۰ آوریل ۲۰۰۵ و ۱ مارس ۲۰۰۸ بررسی کرده است. نامبرده در این بررسی بر روی تصاویر ماهواره‌ای AVHRR، ابتدا همپوشانی شاخص‌های<sup>۳۴</sup> NDVI،<sup>۳۵</sup> NDSI،<sup>۳۶</sup> NDWI را به منظور استخراج محدوده پوشش پدیده گرد و غبار استفاده کرد که به دلیل عدم وضوح آن، بجای شاخص NDVI از شاخص<sup>۳۷</sup> MSAVI/NDVI استفاده کرده است و در نهایت از همپوشانی آن‌ها به نتیجه مطلوبی رسید. در مطالعه مذکور بر روی تصویر رنگی کاذب حاصل از همپوشانی شاخص‌های NDWI، NDSI و MSAVI/NDVI، الگوریتم تبدیل برای<sup>۳۸</sup> اعمال شده و همچنین از شاخص AVI نیز استفاده شده است ولی نتیجه حاصله رضایت‌بخش نبوده است. نامبرده به منظور دستیابی به نتایج بهتر برای نشان دادن این پدیده بر روی تصاویر ماهواره‌ای مودیس، از شاخص‌های<sup>۳۹</sup> BTDI،<sup>۴۰</sup> NDDI و همپوشانی شاخص‌های NDWI، NDSI و MSAVI/NDVI استفاده کرد که منجر به وضوح پدیده مزبور در این روش شد.

ایرانمنش و همکاران (۲۵:۱۳۸۴) مناطق برداشت ذرات گرد و غبار و ویژگی‌های انتشار آن‌ها را در طوفان‌های منطقه سیستان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مودیس ۲۰۰۰ و ETM+<sup>+</sup> مربوط به سال ۲۰۰۱ بررسی کرده و به این نتیجه رسیده‌اند که اصلی‌ترین منطقه برداشت ذرات گرد و غبار بر روی دریاچه هامون صابری قرار دارد و مسیر طوفان‌ها نیز به طور مجزا از دالان‌های موازی با گرد و غبار بسیار غلیظ و دالان‌های دیگری با غلظت کم‌تر به سمت ایران، افغانستان و پاکستان ادامه می‌یابد. با استفاده از شاخص NDVI از روی تصاویر ETM+<sup>+</sup> مشخص گردید که مقادیر بالای این شاخص (۲۴٪) در حواشی شرقی دریاچه هامون صابری مربوط به پوشش گیاهی تقریباً انبوهی است که منطبق بر دالان گرد و غبار با غلظت کم بوده و دلیل آن نقش پوشش گیاهی در رسوب ذرات می‌باشد.

32- Gansu, Shanxi, Hebei, Tianjin, Shandong provinces.

33 - Kudoh, Jun-ichi.

34 - Normalized Difference Vegetation Index.

35 - Normalized Difference Soil Index.

36 - Normalized Difference Water Index.

37 - Modified Soil Adjusted Vegetation Index.

38-Brovey transformation.

39-Brightness Temperature Differences.

40 -Normalized Difference Dust Index.

خسروی (۱:۱۳۸۷) آلاینده‌های فضایی طوفان‌های گرد و غباری ناشی از بادهای ۱۲۰ روزه سیستان را با استفاده از داده‌های مودیس مورد تحلیل قرارداد. در این پژوهش، ۲۳ رویداد عمده که باعث حداکثر تأثیرات منفی در دشت سیستان بوده است، از نظر منطقه تحت تأثیر، منشاء بارگیری گرد و غبار و حدود نهایی گسترش و وزش طوفان با استفاده از عناصر اصلی تفسیر چشمی شامل شکل، اندازه، تن عکس‌برداری (تعیین جهت غلظت گرد و غبار)، بافت، الگو، موقعیت و ارتباط مورد بررسی قرار گرفت و الگوهای اصلی انتشار، گسترش و تمرکز غبار دشت سیستان استخراج گردید. نتایج نشان داد که مهم‌ترین منبع اولیه و تغذیه بار جامد طوفان‌ها بستر خشکیده هامون پوزک می‌باشد. پس از آن، بخش‌های جنوبی و مرکزی هامون صابری و در درجه سوم هامون هیرمند و بستر شيله نیز در این رابطه اهمیت دارند.

خسروی (۲۲:۱۳۸۹) توزیع عمودی گرد و غبار ناشی از طوفان در خاورمیانه را با استفاده از مدل NAAPS<sup>۴۱</sup> در سیستان ایران مورد بررسی قرار داد. نتایج نشان داد که بادهای ۱۲۰ روزه بر خلاف مطالعات پیشین که گرد و غبار جوی را بیشتر پدیده‌ای مربوط به سطح زمین تلقی نموده‌اند، تا سطوح حتی بالای ۳۰۰ هکتوپاسکالی (حدود ۱۰ کیلومتری) را با ذرات میکرونی غبار آلوده می‌سازند و در موارد استثنائی تمرکز گرد و غبار حتی تا ارتفاع ۲۰۰ هکتوپاسکالی نیز قابل مشاهده است هر چند حداکثر تمرکز گرد و غبار مربوط به سطوح پایینی جو می‌باشد. در شرایط شدیدترین تمرکز گرد و غبار، سطوح مختلف جو که با حداکثر محدودیت عمق اپتیکی توأم بوده، اکثراً در سطوح فوقانی جو جریان‌های باد غرب به شرق و در سطوح میانی و پایینی جریانات شمال غربی حاکم بوده است. در زمان غلبه جریانات شمالی و شمال شرقی در سطوح میانی و پایینی جو تمرکز گرد و غبار از درجات کمتری برخوردار بوده است. تغییرات مرزی عمودی توزیع گرد و غبار در جو دارای یک سیکل شبانه‌روزی بوده و حداکثر گسترش عمودی آن تحت تأثیر گرمایش زمین و همرفت ناشی از آن طی ساعت‌های میانی روز و حداقل آن در نیمه‌های شب مشاهده می‌شود که توأم با شرایط سکون و نشست گرد و غبار در محیط است. بیش‌ترین حرکات انتقالی گردو غبار در روز انجام می‌شود.

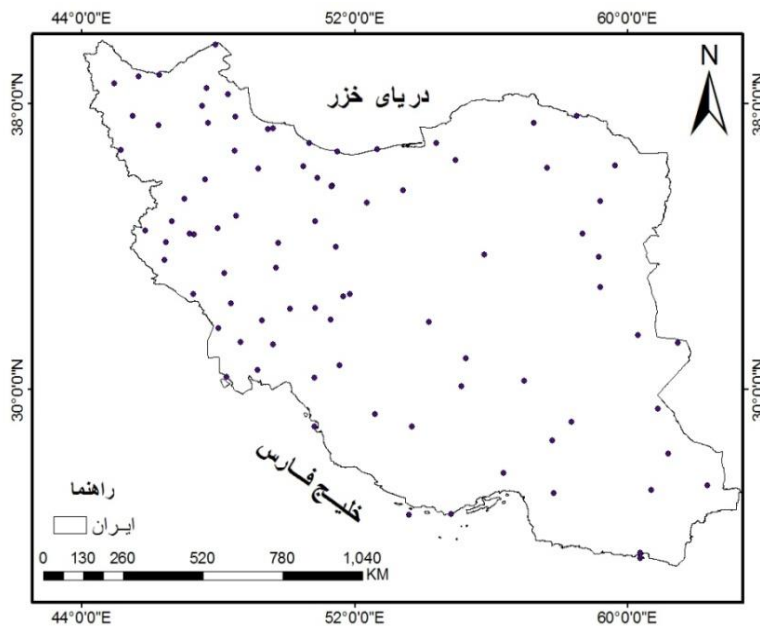
با توجه به اینکه در ایران تحقیق جامعی در زمینه آشکار سازی طوفان‌های گرد و غباری کشور بر روی تصاویر ماهواره‌ای MODIS صورت نگرفته است و همچنین شاخص مشخصی برای استخراج پدیده مذکور از روی تصاویر

ماهواره‌ی MODIS تعیین نشده است، در این پژوهش یک روز طوفان گرد و غباری ایران انتخاب و با اعمال شاخص‌های متعدد بر روی تصاویر ماهواره‌ی مودیس مورد مطالعه قرار گرفته شده است. با استفاده از آشکار سازی گرد و غبار بر روی تصاویر ماهواره‌ی می‌توان منابع تغذیه و مسیرهای تحت پوشش گرد و غبار را شناسایی کرد و اقدامات و برنامه‌ریزی‌های لازم را جهت جلوگیری از پخش آن از منابع اصلی انجام داد.

### مواد و روش‌ها

در این تحقیق از داده‌های ساعتی گرد و غبار (قدرت دید افقی و کدهای هواشناسی) ۸۷ ایستگاه سینوپتیکی کشور در سال ۲۰۰۸ استفاده شده است (شکل ۱). با توجه به اینکه داده‌های گرد و غبار به صورت تفکیک نشده از سایر پدیده‌های هواشناسی از سازمان هواشناسی در اختیار قرار می‌گیرد بنابراین در مرحله اول کدهای مربوط به گرد و غبار شامل کدهای (۶-۷-۸-۹) و (۳۰-۳۱-۳۲-۳۳-۳۴-۳۵)<sup>۴۲</sup> از سایر پدیده‌های اقلیمی (کدهای ۰-۱۰۰) در ساعات مختلف سینوپتیکی جدا گردید. در این تحقیق روز گرد و غباری روزی می‌باشد که طی ۸ بار دیده بانی عناصر جوی در شبانه‌روز حداقل یک بار در هر ایستگاه گزارش شود و اگر در یک روز معین، گرد و غبار چندین بار در طی هشت بار دیده بانی شبانه‌روزی عناصر جوی مشاهده گردد، ساعتی که کم‌ترین دید افقی را به همراه داشت به عنوان روز گرد و غباری انتخاب گردید. بعد از استخراج روزهای گرد و غباری سال ۲۰۰۸ برای هر ایستگاه، روز ۱ ژوئیه ۲۰۰۸ به خاطر داشتن قدرت دید افقی کمتر از ۱۰۰۰ متر (معیار تشخیص طوفان‌های گرد و غباری در این مطالعه) در اکثر ایستگاه‌های مورد مطالعه در نیمه غربی ایران (جدول ۱) به صورت موردی برای مطالعه انتخاب گردید.

۴۲- کد: ۶: ذرات معلق گرد و خاک در هوا نتیجه طوفان شن و خاک نقاط دیگر یا خارج از ایستگاه، کد: ۷: گرد و غبارهای ایجاد شده بوسیله باد در خود یا نزدیکی ایستگاه، کد: ۸: گرد باد‌های تکامل یافته در زمان دیده بانی یا طی یک ساعت گذشته در خود ایستگاه یا اطراف آن، کد: ۹: طوفان‌های گرد و خاک در زمان دیده بانی یا ساعت گذشته در اطراف ایستگاه، کد‌های ۳۰ تا ۳۵: طوفان‌های گرد و غباری در شدت‌های به ترتیب ضعیف تا شدید محلی.



شکل ۱: نقشه ایستگاه‌های مورد مطالعه

جدول ۱- ایستگاه‌های تحت تاثیر طوفان و شدت آن‌ها در ۱ ژوئیه ۲۰۰۸ ایران

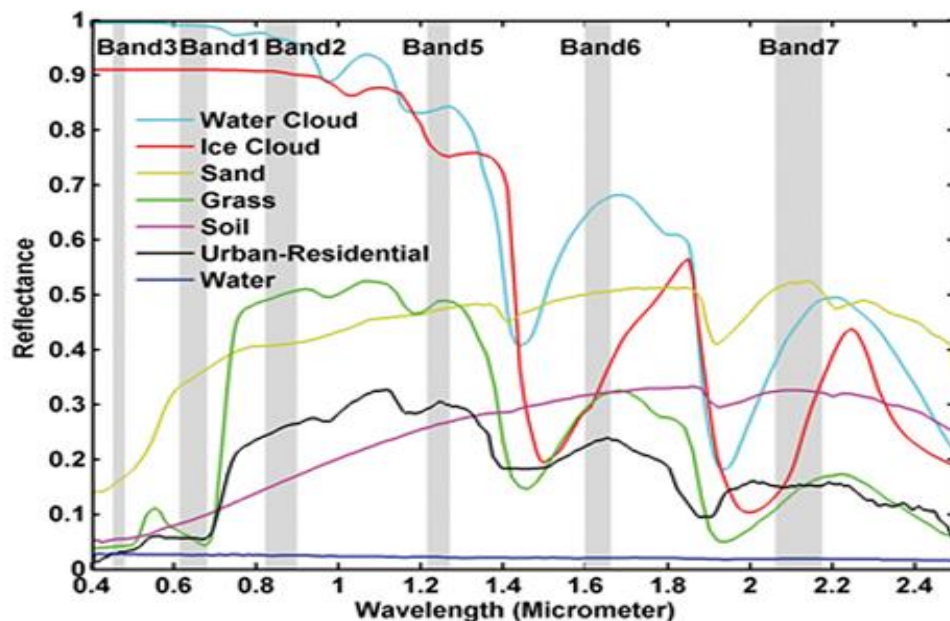
ایستگاه‌ها	کد	قدرت دید	ایستگاه	کد	قدرت دید
رامهرمز	۶	۵۰۰	اهواز	۶	۴۰۰
روانسر	۶	۸۰۰۰	اراک	۷	۶۰۰۰
شهرکرد	۶	۳۰۰۰	آبادان	۶	۲۰۰
شیراز	۷	۶۰۰	الیگودرز	۶	۸۰۰۰
سارارود	۶	۶۰۰۰	ایلام	۶	۵۰۰
فسا	۶	۱۵۰۰	بوشهر	۶	۱۰۰۰
کوه‌رنگ	۶	۶۰۰۰	بستان	۶	۶۰۰
کرمانشاه	۶	۲۰۰۰	بندر ماهشهر	۶	۵۰۰
کیش	۶	۱۷۰۰	بروجن	۶	۲۰۰۰
مسجد سلیمان	۶	۵۰۰	خرم‌آباد	۶	۱۰۰۰
همدان	۷	۷۰۰۰	دزفول	۶	۴۰۰
یاسوج	۶	۱۰۰۰	دهلران	۶	۲۰۰

برای آشکار سازی پدیده گرد و غبار منطقه مورد مطالعه بر روی تصاویر ماهواره‌ای، از تصاویر سطح اول<sup>۴۳</sup> مودیس (مودیس ۲) ماهواره‌ی ترا استفاده شده است. مدار ماهواره ترا از شمال به جنوب بوده و صبح هنگام از استوا می‌گذرد و مدار ماهواره آکوا از جنوب به شمال بوده و عصر هنگام از استوا می‌گذرد. سنجنده مودیس تعبیه شده در ترا و آکوا کل سطح زمین را در فاصله زمانی یک تا دو روز یکبار نظاره می‌کند. مودیس به صورت ردیفی دیدی به عرض ۲۳۳۰ کیلومتر را در برمی گیرد (خسروی، ۱۳۸۷: ۴). سنجنده مودیس دارای ۳۶ باند می‌باشد که ۲۰ باند آن به صورت باندهای انعکاس خورشیدی (SRB<sup>۴۴</sup>) و ۱۶ باند دیگر حرارتی می‌باشند که محدوده طیفی آن بین ۰/۴ تا ۱۴/۳۸ میکرومتر است. سنجنده مودیس دارای تفکیک‌های فضایی مختلف شامل ۲۵۰ متر (باندهای ۱ و ۲)، ۵۰۰ متر (باندهای ۳-۷) و ۱ کیلومتر (باندهای ۸ تا ۳۶) است. ۳ تصویر روز ۲۰۰۸/۰۷/۰۱ در ساعت‌های ۷:۱۵، ۷:۲۰ و ۸:۵۵ صبح به وقت گرینویچ برای محدوده ایران و کشورهای همسایه غربی آن برای آشکار سازی انتخاب گردیده شد (جدول ۲) که بعد از تصحیحات هندسی و اتمسفر بر روی تصاویر، شاخص‌های شناسایی گرد و غبار بر روی آن‌ها اعمال گردید.

جدول ۲- سه تصویر مودیس استفاده شده در این مطالعه

تصویر	تاریخ	ساعت	ماهواره	طول E	عرض N
MOD021KM.A2008183.0715.005.2010241235347.hdf	۲۰۰۸/۰۷/۰۱	۷:۱۵	ترا	۶۳-۴۳	۴۰-۳۴
MOD021KM.A2008183.0720.005.2010241235404.hdf	۲۰۰۸/۰۷/۰۱	۷:۲۰	ترا	۶۳-۴۰	۳۶-۱۸
MOD021KM.A2008183.0855.005.2010242011256.hdf	۲۰۰۸/۰۷/۰۱	۸:۵۵	ترا	۴۴-۴۰	۴۰-۳۶





شکل ۲: انعکاس ابر یخی و آبی، آب، خاک، ماسه، علف در محدوده طیفی ۰/۴ تا ۲/۴ میکرومتر (کلارک و همکاران، ۱۹۹۳)

انعکاس خاک و گرد و غبار با افزایش طول موج افزایش می‌یابد (شکل ۲) که مینیمم آن در باند ۳ (۰/۴ میکرومتر) و ماکزیمم آن در باند ۷ (۲/۴ میکرومتر) می‌باشد. درحالی‌که ابر بالاترین انعکاسش در باند ۳ و کمترین آن در باند ۷ است. این ویژگی طیفی باعث تشخیص راحت ابر و گرد و غبار می‌شود که در جهان به عنوان شاخص  $NDDI^{45}$  (می و همکاران، ۲۰۰۸، ص ۹۶۶ و جان، مینس کفتوس<sup>۴۶</sup>، ۲۰۰۶: ۴۸۵) شناخته شده است (رابطه ۱).

$$NDDI = (b7 - b3) / (b7 + b3)$$

$$b7 : 2.13 \mu m$$

$$b3 : 0.469 \mu m$$

(رابطه ۱)

هنگامی که طوفان گرد و غبار اتفاق می‌افتد مقدار زیادی از ذرات گرد و غبار به شکل یک لایه کنار هم قرار می‌گیرند. لایه ضخیم گرد و غبار می‌تواند تابش خورشیدی را جذب و بازتاب کند. در میان ۳۶ باند مودیس، باندهای مرئی و مادون‌قرمز نزدیک برای اندازه‌گیری بازتاب و باندهای مادون‌قرمز حرارتی برای اندازه‌گیری دمای روشنی اشیا استفاده می‌شود. با مقایسه ویژگی‌های طیفی در میان گرد و غبار زمین و ابر می‌توان دریافت که ابر با

45 -Normalized Difference Dust Index

46 -John, Kafatos.

انعکاس بالا اما دمای روشنی پایین، زمین با بازتاب کم اما دمای روشنی بالا و گرد و غبار بین این دو پدیده است (می و همکاران، ۲۰۰۸:۹۶۶). باندهای ۳۱ و ۳۲ مودیس در محدوده پنجره حرارتی مادون قرمز می‌باشند که جذب به وسیله دیگر گازهای اتمسفری بسیار ناچیز هست. در باندهای ۳۱ و ۳۲ میزان اختلاف دما بین زمین، گرد و غبار و ابر بسیار بالا است ولی گرد و غبار نسبت به سایر پدیده‌ها دمای بالاتری در باند ۳۲ نسبت به باند ۳۱ دارد از این رو باندهای ۳۱ و ۳۲ و اختلاف دمای تابندگی بین این دو باند می‌تواند در تشخیص پدیده گرد و غبار بر روی تصاویر مودیس به عنوان شاخص  $BTDI_{47}$  و  $BTD_{48}$  بکار گرفته شود (رابطه ۲). دمای تابندگی از تبدیل داده‌های سطح IB باندهای حرارتی MODIS در باندهای ۳۱ و ۳۲ با استفاده از عکس معادله پلانک تهیه می‌شود.

(رابطه ۲) (آکیرکیاک و سلمن<sup>۴۹</sup>، ۲۰۰۸: ۸۳۶).

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

$$CH31: MODIS - 31(10.780\mu m \approx 11.280)$$

$$CH32: MODIS - 32(11.770\mu m \approx 12.270)$$

تفاوت رابطه ۲ و ۳ در منفی و مثبت بودن DN های پدیده گرد و غبار هست که مربوط به اختلاف دمای تابشی بالای پدیده گرد و غبار نسبت به سایر پدیده‌ها در باند ۳۲ نسبت به باند ۳۱ است. (می و همکاران، ۲۰۰۸، ص ۹۶۶، آکرمن<sup>۵۰</sup>، ۱۹۹۷: ۱۷۰۶۹، سوکولیک<sup>۵۱</sup>، ۲۰۰۲: ۲۱۵۴).

$$BTD = B31 - B32 \quad \text{(رابطه ۳)}$$

در روش دیگر ترکیب رنگی کاذب حاصل باندهای ۳، ۱ و ۴ (می و همکاران، ۲۰۰۸: ۹۶۶) برای تفکیک پدیده گرد و غبار از پدیده‌های دیگر به صورت بصری استفاده شده است.

$$R(3)G(1)B(4) \quad \text{(رابطه ۴)}$$

با توجه به اینکه در باند ۱ سنجنده مودیس ابر با انعکاس بالا (ارزش‌های عددی بالا)، زمین با انعکاس پایین و گرد و غبار 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 گرد و غبار از اختلاف باندهای ۳۱ و ۳۲ استفاده شده است چون زمین در باندهای ۳۱ و ۳۲ اختلاف گسیل مندی بالایی نسبت

47 - Brightness temperature difference index

48- Brightness temperature difference

49 - Ochirkhuyag ,Tsolmon.

50 - Akerman.

51 - Sokolik.

به سایر پدیده‌ها دارد؛ بنابراین از ترکیب و تلفیق روابط فوق، شاخصی طراحی گردید که اشکالات و معایب شاخص‌های مطالعه شده را ندارد ولی خود نیز به عنوان یک شاخصی نیست که از نظر کمی، به طور کامل گرد و غبار را از سایر پدیده‌ها تفکیک کند که در بخش یافته‌ها در این مورد صحبت خواهد شد (رابطه ۵). این شاخص علاوه بر ایران برای مناطق عربستان، آذربایجان نیز اعمال گردید و همانند منطقه مورد مطالعه نتیجه مطلوبی گرفته شد که با عنوان شاخص  $LRDI^{۵۲}$  شناخته شد.

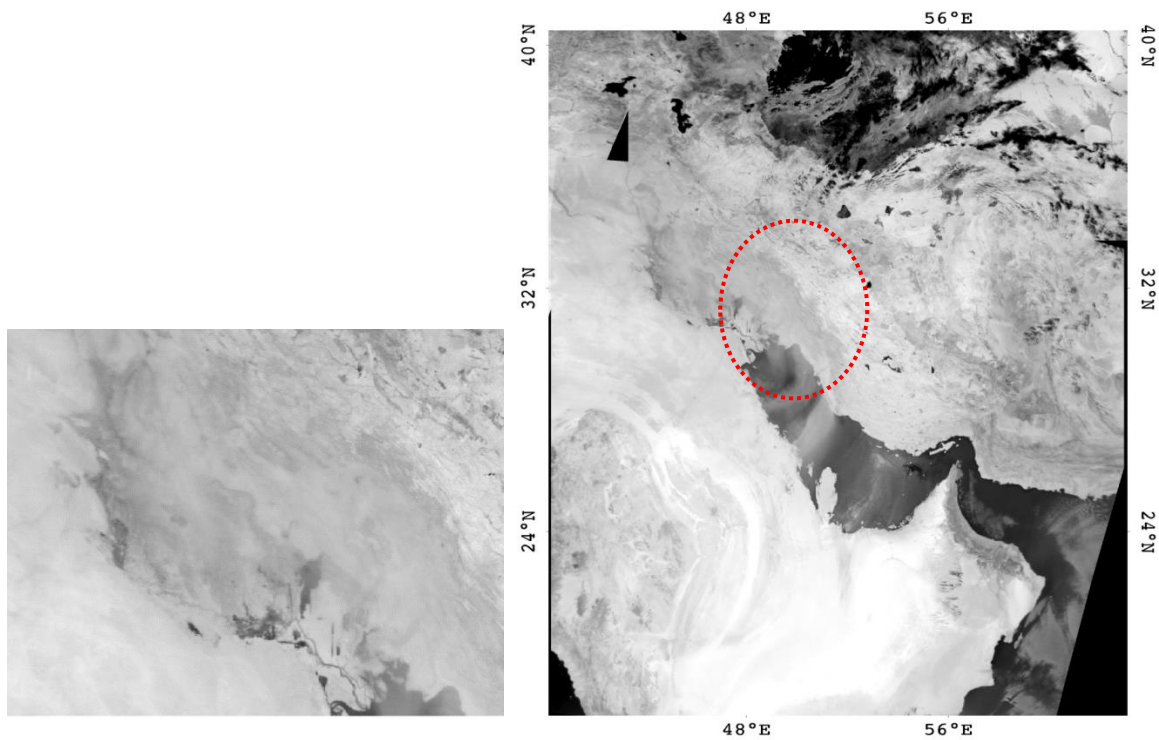
$$LRDI : (b1 + b3) + (b32 - b31) \quad (\text{رابطه ۵})$$

#### یافته‌ها

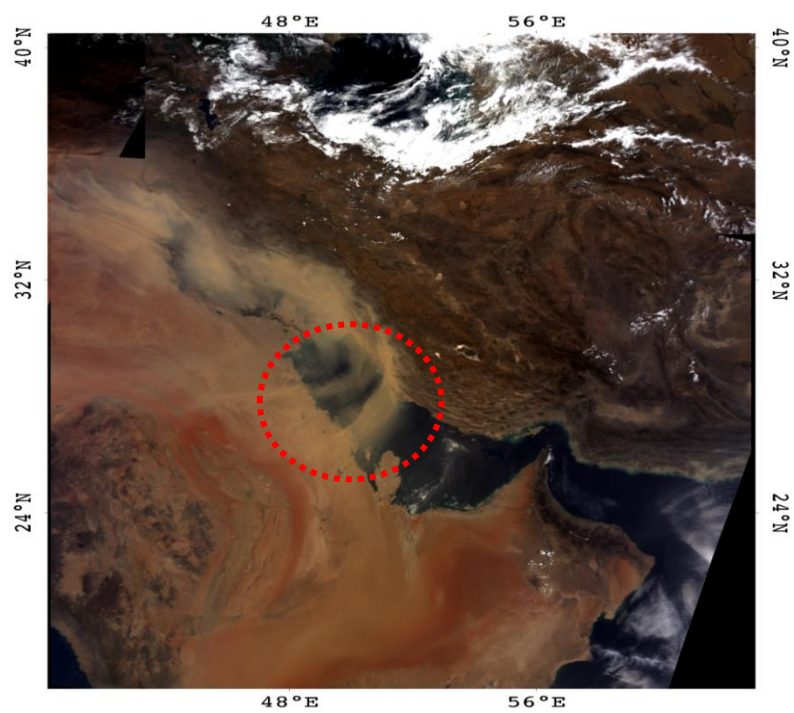
نتایج حاصل از اعمال شاخص کمی NDDI بر روی تصویر منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که ارزش‌های عددی ابر و آب کمتر از صفر می‌باشند که علت آن انعکاس بیشتر ابر و آب در باند ۳ نسبت به باند ۷ است. در این شاخص ارزش‌های عددی زمین و گرد و غبار در یک محدوده قرار می‌گیرند بنابراین این شاخص قدرت تفکیک پدیده گرد و غبار را از زمین ندارد. محدوده عددی این شاخص  $۰/۹ - ۰/۵$  تا  $۰/۵$  می‌باشد (شکل ۳ و جدول ۳).

جدول ۳- ارزش‌های عددی حاصل از شاخص NDDI

پدیده	ارزش‌های عددی (DN)
ابر	$NDDI < ۰$
آب	$NDDI < ۰$
گرد و غبار	$۰/۵$ تا $-۰/۱$
زمین	$۰/۵$ تا $-۰/۱$



شکل ۳- اختلاف نرمال شده شاخص گرد و غبار بر روی ایران

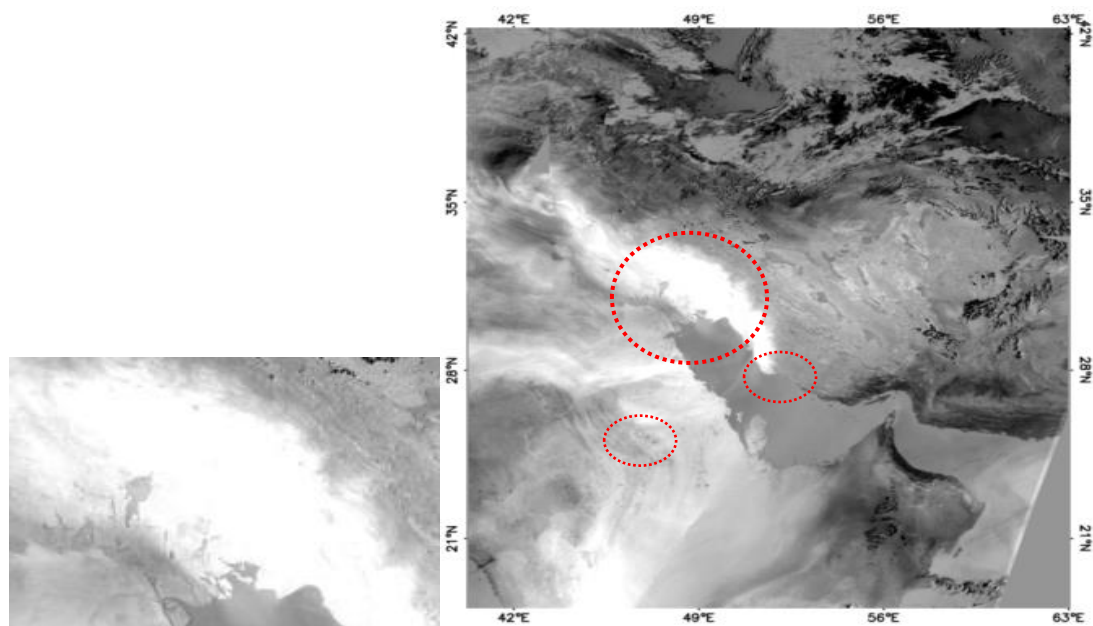


شکل ۴- تصویر رنگی کاذب (R(1)G(3)B)



ترکیب رنگی کاذب (شکل ۴) حاصل باندهای یک (قرمز)، سه (سبز) و چهار (آبی) از لحاظ بصری نتیجه بهتری از رویت گرد و غبار ایران را بر روی تصاویر ماهواره‌ای مودیس نشان می‌دهد که علت آن انعکاس بالای ابر در هر سه باند نسبت به زمین می‌باشد که انعکاس پدیده گرد و غبار در بین آن‌ها قرار دارد.

شاخص دمای روشنی (BTDI) نتیجه اختلاف دمای روشنی بین باندهای حرارتی ۳۲ و ۳۱ (۱۱ و ۱۲ میکرومتر) در سنجنده مودیس می‌باشد که باند حرارتی ۳۲ دارای دمای پایین در ابر، دمای بسیار بالا در زمین بوده و میزان دمای گرد و غبار بین این دو پدیده قرار دارد. باند ۳۱ نیز از نظر دمای روشنی بین پدیده‌های ابر، گرد و غبار و زمین مثل باند ۳۲ می‌باشد. فقط با این تفاوت که اختلاف دمایی بین باند ۳۱ و ۳۲ در پدیده گرد و غبار نسبت به پدیده‌های دیگر بیشتر است. شاخص مذکور معرف اختلاف دمای روشنی باند ۳۲ از باند ۳۱ هست که محاسبه این اختلاف باعث نمایان شدن گرد و غبار با ارزش‌های عددی مثبت بالاتر نسبت به سایر پدیده‌ها شده است. در حالت عادی دمای روشنی باند ۳۱ با طول موج ۱۱ میکرومتر بالاتر از باند ۳۲ با طول موج ۱۲ میکرومتر می‌باشد ولی در هنگام گرد و غبار این وضعیت عکس می‌شود. در این شاخص ابر، آب و قسمت‌هایی از زمین از نظر عددی به راحتی از گرد و غبار قابل تشخیص و تفکیک می‌باشند در حالی که گرد و غبار با غلظت کم و زمین‌های بیابانی دارای ارزش‌های عددی یکسانی می‌باشند که در جدول ۴ ارزش‌های عددی این شاخص در تفکیک پدیده‌ها آورده شده است. همچنین در این شاخص گرد و غبار بر روی آب قابل شناسایی و تفکیک نمی‌باشد (شکل ۵).

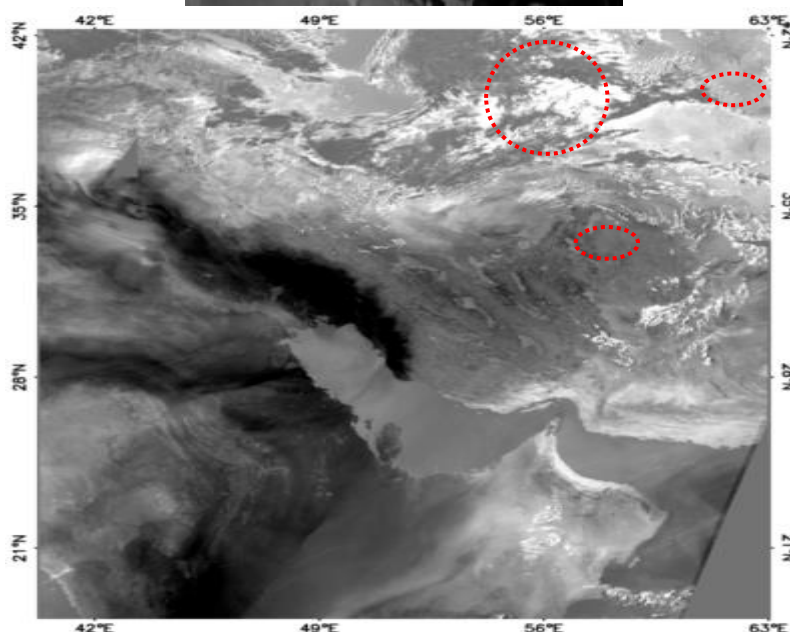
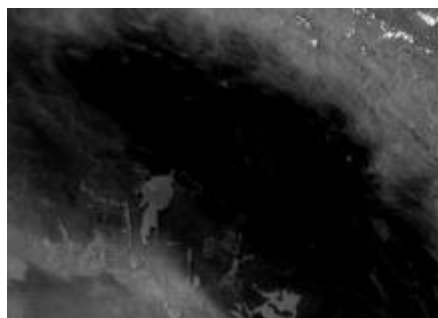


شکل ۵- شاخص دمای روشنی برای منطقه مورد مطالعه

شکل ۴- ارزش‌های عددی حاصل از شاخص اختلاف دمای روشنی BTD

پدیده	ارزش‌های عددی
زمین و سایر پدیده‌ها	$1/2 >$
گرد و غبار	۴ تا ۰/۵

شاخص BTD تفاضل باند ۱۱ میکرومتر از باند ۱۲ میکرومتر سنجنده مودیس می‌باشد. نتیجه این شاخص دقیقاً مطابق با شاخص BTDI بوده و تنها تفاوت آن‌ها در منفی بودن ارزش پیکسل‌های گرد و غبار نسبت به آن می‌باشد. علت این امر مربوط به دمای بیشتر پدیده گرد و غبار در باند ۳۲ نسبت به باند ۳۱ سنجنده مودیس می‌باشد (جدول ۵ و شکل ۶).



شکل ۶- شاخص اختلاف دمای روشنی (BTDI)

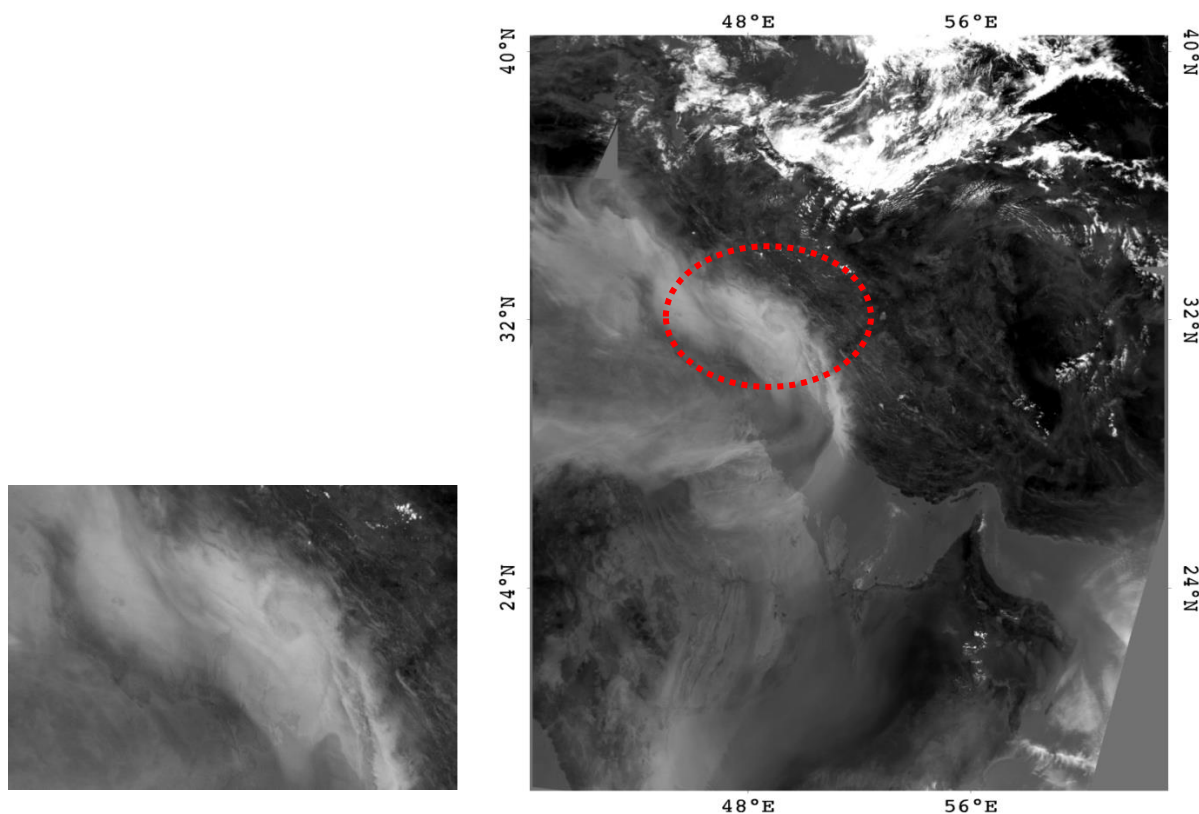
جدول ۵- ارزش‌های عددی حاصل از شاخص BTD

پدیده	ارزش‌های عددی
زمین و سایر پدیده‌ها	$-1/2 <$
گرد و غبار	$-4$ تا $-0/5$

با توجه به اینکه پدیده‌ها در باند ۳۱ سنجنده مودیس (محدوده ۱۱ میکرومتر) نسبت به باند ۳۲ (محدوده ۱۲ میکرومتر) دارای گسیل مندی بیشتری می‌باشند و بیش‌ترین اختلاف هم مربوط به زمین می‌باشد بنابراین اعمال رابطه  $b31 - b32$  یا  $b32 - b31$  (با تفاوت علامت پیکسل‌ها) باعث آشکاری شدن بهتر زمین نسبت به سایر پدیده‌ها می‌گردد. در این شاخص زمین و گرد و غبار به راحتی از هم تفکیک می‌شوند ولی گرد و غبار و ابر از هم قابل تفکیک نیستند. بدین منظور از ترکیب باندهای ۱ و ۳ به دلیل انعکاس بالای ابر در آن‌ها در سنجنده مودیس استفاده گردیده تا میزان ارزش‌های عددی ابر بالا برده شود. این شاخص دارای قدرت تفکیک بهتر گرد و غبار از پدیده‌های دیگر است و تحت عنوان LRDI یا شاخص اختلاف رادیانس محلی شده برای منطقه مطالعاتی می‌باشد. در این شاخص ارزش عددی پیکسل‌های قسمت کناری و انتهایی ابر مقارن با ارزش‌های عددی قسمت‌های غلیظ گرد و غبار می‌باشد. از امتیازهای این شاخص (LRDI)؛ تفاوت غلظت‌های گرد و غبار بر روی خشکی، مشاهده گرد و غبار بر روی آب، تفکیک کامل زمین‌های بیابانی و گرد و غبار از لحاظ کمی بر روی تصاویر می‌باشد. درحالی‌که سایر شاخص‌های مطالعه شده فاقد این امتیازها هستند ولی در عوض گرد و غبار و ابر در آن‌ها به طور کامل و دقیق تفکیک می‌گردد.

جدول ۶- ارزش‌های عددی حاصل از شاخص LRDI

پدیده	ارزش‌های عددی
زمین	$-0/5$ تا $-1/1$
آب	$-0/2$ تا $-0/5$
گرد و غبار	$-0/1$ تا $0/64$
ابر	$0/65$ تا $1/7$



شکل ۷- شاخص اختلاف دمای روشنی محلی شده

نتایج پژوهش‌ها نشان می‌دهند که پرفشار آזור همراه با سیستم‌های مهاجر غربی، مهم‌ترین عوامل سینوپتیک تاثیر گذار بررسی سیستم‌های گرد و غبار منطقه مورد مطالعه هستند. فرودها و سیکلون‌های مهاجر زمانی به منطقه نفوذ می‌کنند که پرفشار جنب حاره‌ای آזור در منطقه حضور نداشته و یا ضعیف باشد؛ اما زمانی که پرفشار آזור تقویت شده و بر منطقه حاکم می‌گردد، فروبراهای حرارتی در سطح زمین تشکیل می‌شوند که نقش زیادی در ایجاد گرد و غبارهای منطقه دارند. با توجه به مسیر حرکت این سیستم‌ها و نحوه قرارگیری فرودها و کم فشارها در روزهای مختلف، مهم‌ترین منبع گرد و غبارهای وارده شده به غرب ایران شامل رسوبات ریزدانه کف دریاچه‌های محلی عراق، صحرای سوریه، صحرای نفود در شمال شبه‌جزیره عربستان و شمال صحرای کبیر آفریقا می‌باشد (ذوالفقاری و عابد زاده، ۱۳۸۴: ۱۷۳، طاووسی و همکاران، ۱۳۸۹: ۹۷، علیجانی، ۱۳۸۳: ۲۷-۳۸). مطابق با تصویر ماهواره‌ای مطالعه شده در اول ژوئیه ۲۰۰۸ گرد و غبار از رسوبات ریزدانه کف دریاچه‌های محلی عراق منشأ گرفته و استان‌های بوشهر، خوزستان، ایلام، کهگلویه و بویراحمد و شمال غرب خلیج فارس را به شدت تحت تاثیر قرار داده و قسمت‌های محدودی از استان‌های چهارمحال بختیاری، کرمانشاه و لرستان را نیز دربر گرفته و باعث کاهش



دید تا ۲۰۰ متر گردیده است در ادامه وارد قسمت‌های شمالی عربستان گردیده است. البته در قسمت‌های جنوبی عربستان نیز گرد و غبار ایجاد شده است.

### بحث و نتیجه گیری

نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که شاخص‌های مطالعه شده برای گرد و غبار بر روی تصاویر مودیس، در مناطق مختلف می‌تواند پاسخ‌های متفاوتی نشان دهد که به دلیل ویژگی‌های محیطی، اقلیمی و جغرافیایی آن منطقه می‌باشد. در این مطالعه شاخص‌های آشکار سازی توفان‌های گرد و غباری شامل شاخص‌های LRDI, BTDI, LTD, NDDI و همچنین تصویر رنگی کاذب بر روی تصاویر مودیس روز ۱ ژوئیه ۲۰۰۸ اعمال گردید. نتایج حاکی از این بود که شاخص NDDI قادر به تفکیک زمین و گرد و غبار از هم نمی‌باشد. شاخص‌های BTDI و LTD نیز دارای ارزش‌های عددی مشترک بین گرد و غبار و قسمت‌های کمی از زمین‌های بیابانی بودند. همچنین در این شاخص‌ها گرد و غبار بر روی آب قابل‌شناسایی و تفکیک نمی‌باشد ولی در این شاخص‌ها ابر و گرد و غبار از لحاظ عددی کاملاً از هم تفکیک گردیدند. در این تحقیق شاخصی طراحی گردید که این شاخص قابلیت تشخیص بهتری نسبت به دیگر شاخص‌های معرفی شده دارد که تحت عنوان LRDI هست. این شاخص برای مناطقی نظیر آفریقا، آذربایجان نیز صحت سنجی گردید و می‌تواند به عنوان یک شاخص جهت ارزیابی گرد و غبار مورد استفاده قرار گیرد. از امتیازهای این شاخص (LRDI) تفاوت غلظت‌های گرد و غبار بر روی خشکی، مشاهده گرد و غبار بر روی آب، تفکیک کامل زمین‌های بیابانی و گرد و غبار از لحاظ کمی بر روی تصاویر می‌باشد. درحالی‌که سایر شاخص‌های مطالعه شده فاقد این امتیازها هستند. از لحاظ بصری نیز ترکیب رنگی کاذب تصویری مناسبی برای شناسایی محدوده توفان‌های گرد و غباری نشان داد. توفان ۱ ژوئیه ۲۰۰۸ دارای منشأ خارجی بوده و از بیابان‌های عراق نشأت گرفته و استان‌های بوشهر، خوزستان، کهگلویه و بویراحمد، چهارمحال بختیاری و سواحل خلیج فارس را در بر گرفته است و باعث کاهش دید تا ۲۰۰ پدیده هوایی گردیده است که کاملاً مطابق با داده‌های هواشناسی بوده است.

## منابع

- ایران‌منش، فاضل؛ عرب خدری، محمود؛ اکرم، مجتبی (۱۳۸۴)، «بررسی مناطق برداشت ذرات گرد و غبار و ویژگی‌های انتشار آن‌ها در طوفان‌های منطقه سیستان با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای»، *پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی*، شماره ۶۷، صص ۳۳-۲۵.
- خسروی، محمود (۱۳۸۷)، «تحلیل فضایی آلاینده‌ی طوفان‌های گرد و غباری ناشی از بادهای ۱۲۰ روزه سیستان با استفاده از داده‌های سنجش از دور ۲۰۰۱-۲۰۰۸، یازدهمین همایش ملی بهداشت محیط، دانشکده علوم پزشکی زاهدان، صص ۱۱-۱».
- خسروی، محمود (۱۳۸۹)، «بررسی توزیع عمودی گرد و غبار ناشی از طوفان در خاورمیانه با استفاده از مدل NAAPS مورد: سیستان ایران»، *چهارمین کنگره بین‌المللی جغرافیدانان جهان اسلام*، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، صص ۲۲-۱.
- ذوالفقاری، حسن؛ عابدزاده، حیدر (۱۳۸۴)، «تحلیل سینوپتیک طوفان‌های گرد و غبار در غرب ایران»، *مجله جغرافیا و توسعه*، شماره ۷، صص ۱۸۸-۱۷۳.
- طاووسی، تقی؛ خسروی، محمود؛ رئیس پور، کوهزاد (۱۳۸۹)، «تحلیل همدید گرد و غبارهای استان خوزستان»، *مجله جغرافیا و توسعه*، شماره ۲۰، صص ۱۱۸-۹۷.
- علیجانی، بهلول (۱۳۸۳)، «آب و هوای ایران»، تهران، انتشارات پیام نور.
- Ackerman, S. A., (1997) "Remote sensing aerosols using satellite infrared observations", *Journal of Geophysical research*, 102(14):17069-17079.
- 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: 1511- 1528
- Clark, R. N., Swayze G. A., Gallagher A. J., King, T. V. V., Calvin, W. M., (1993), "The U.S. geological survey, digital spectral library: Version 1: 0.2 to 3.0 microns," *U.S. Geol. Surv. Open File Rep.* 93-592, [Online]. Available: <http://speclab.cr.usgs.gov>.
- Goudie, A. S. Middleton, N. J, (2006), "*Desert Dust in the Global System, Springer*", pp 1-287.

- Goudie, A.S., (2009), "Dust storms: Recent developments". *Journal of Environmental Management*, 90: 89–94.
- Huang, M; Peng, G; Zhang, J and Zhang, Sh , (2006), "Application of artificial neural networks to the prediction of dust storms in Northwest China. *Global and Planetary Change*, 52: 216–224.
- Jill A. Engel-Cox, Christopher H. Holloman, Basil W. Coutant, Raymond M. Hoff, (2004), "Qualitative and quantitative evaluation of MODIS satellite sensor data for regional and urban scale air quality", *Atmospheric Environment* 38: 2495–2509.
- John J; Qu and Kafatos M, (2006), "Asian dust storm monitoring combining Terra and Aqua MODIS SRB measurements." *Geosciences and Remote Sensing letters*, 3(4), pp 484- 486.
- Kudoh, J-i, (2010), "Visualization of Asian Dust by using Satellite Images", 19th International Remote Sensing Conference, Hawaii, August 1-3, pp 1-28.
- Baddock, M. C., Bullard, J. E. and 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: 1511– 1528.
- McTainsh GH; Pitblado JR, (1987), "Dust storm and related phenomena measured from meteorological record in Australia", *Earth Surf. Process. Landforms* 12:415-424.
- Mei, D., Xiushan, L., Lin, S. and Ping, W., (2008), "A Dust-Storm Process Dynamic Monitoring With Multi-Temporal MODIS Data", *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVII, Part B7, pp 965-970.
- Ochirkhuyag, L. and Tsolmon, R., (2008), "Monitoring the Source of Trans-National Dust Storms in North East Asia, The International Archives of the Photogrammetric", *Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Vol. XXXVII. Part B7.
- Zhang, P., Lu, N-m., Hu, X-q. and Dong, Ch-h, (2006), "Identification and physical retrieval of dust storm using three MODIS thermal IR channels". *Global and Planetary Change*, 52: 197 – 206.
- Prospero, J. M., Ginoux, P., Torres, O., Nicholson, S. E. and Gill, T. E., (2002), "Environmental characterization of global sources of atmospheric soil dust identified with the Nimbus -7 Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) absorbing aerosol product", *Reviews of Geophysics*, 40 (4):1378-1392.

- Schwanghart, W. and Schutt, B., (2008), "Meteorological causes of Harmattan dust in West Africa". *Geomorphology*, 95: 412–428.
- Washington, R, Todd, M, Middleton, N, Goudie, A.S, (2003), "Global dust storm source areas determined by the Total Ozone Monitoring Spectrometer and ground observations", *Ann. Assoc. Am. Geogr*, 93: 297–313.
- WMO
- Xiaojing L., Linlin G., Yusen D. and Hsing-Chung Ch., (2009), "Estimating the greatest Dust Storm in Eastern Australia with Modis Satellite Images".
- Yong X., (2004), "Detection of Smoke and Dust Aerosols Using Multi-sensor Satellite Remote Sensing Measurements", Master of Electronics, Nanjing Normal University, P. R. China.