

ارزیابی برخی شاخص‌های شناسایی گرد و غبار و پایش آن (مطالعه موردی توفان ۱۰ اوت ۲۰۰۸ شرق ایران)

بتول زینالی^۱

صیاد اصغری^۲

چکیده

این تحقیق در پی آن است که با بررسی توفان گرد و غباری ۱۰ اوت ۲۰۰۸ شرق ایران با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مودیس ضمن معرفی شاخصی مناسب جهت آشکارسازی توفان‌های گرد و غباری ایران، منابع و مسیرهای متأثر از این پدیده را در شرق ایران شناسایی کند. بدین منظور از داده‌های ساعتی گرد و غبار، تصاویر ماهواره‌ای مودیس و همچنین از شاخص‌های NDDI، BTDI، BTDI و LRDI و تکنیک ترکیب رنگی کاذب برای شناسایی توفان گرد و غباری استفاده شده است. در نهایت با استفاده از مطلوب‌ترین شاخص توفان‌های مذکور پایش گردید. نتایج نشان داد که شاخص رقومی LRDI و تکنیک بصری ترکیب رنگی کاذب از قدرت تفکیک بهتری نسبت به شاخص‌های دیگر برای آشکارسازی گرد و غبار برخوردار هستند. نتایج حاصل از پایش توفان گرد و غباری شرق ایران نشان داد که منبع تغذیه توفان‌های شرق شامل: بستر خشک دریاچه هامون، بیابانهای ریگستان، مارگو و خاش در بین مرز ایران، افغانستان و پاکستان و بیابان‌های مرکزی ایران می باشد. نتایج این تحقیق می تواند در شناسایی منابع ایجاد گرد و غبار و

۱- استادیار گروه آب و هواشناسی دانشگاه محقق اردبیلی

Email:Zeynali.b@uma.ac.ir

۲- دانشیار گروه ژئومرفولوژی دانشگاه محقق اردبیلی

مسیرهایی که از این پدیده متأثر می‌شوند توسط سازمان‌ها و موسسات ذیربط برای برنامه‌ریزی‌های ملی و بین‌المللی مورد استفاده قرار گیرد.

واژگان کلیدی: توفان‌های گرد و غباری، سنجنده مودیس، آشکارسازی و پایش

مقدمه

مقادیر زیادی گرد و غبار همه ساله از بیابان‌های شمال آفریقا، شبه جزیره عربستان، عراق و سوریه به مناطق مختلف خاورمیانه از جمله ایران منتقل می‌شود (خورشیددوست و همکاران، ۱۳۹۲: ۴۸). توفان‌های گرد و غباری یک فرایند پیچیده متأثر از برهمکنش بین سیستم زمین - جو هستند که بطور عمده به وسیله سرعت بالای باد، خاک بدون پوشش، شرایط هوایی خشک (می و همکاران، ۲۰۰۸: ۹۶۵)، رطوبت خاک (هیونگ و همکاران، ۲۰۰۶: ۲۱۶)، سیستم هوای محلی و بیرونی، بارش کوتاه مدت، وسعت جنگل‌زدایی، خشکسالی‌های بلندمدت، تغییرات کاربری زمین و فعالیت‌های انسانی (جان و کافتوس، ۲۰۰۶: ۴۸۴) ایجاد می‌شود. در سال‌های اخیر فراوانی توفان‌های گرد و غباری در حال افزایش بوده است که از روند تغییر اقلیم تأثیر پذیرفته و می‌تواند بر روی آن تأثیر گذاشته و باعث خسارات عمده به بشر گردد. بنابراین بسیار ضروری است بلاایای طبیعی به طور دقیق و به موقع شناسایی و پایش گردند. امروزه تکنیک سنجش از دور از روش‌های اصلی برای شناسایی و پایش گرد و غبار می‌باشد که به دلیل پوشش وسیع و مستمر در فضا، نظارت بر بلاایای طبیعی بطور سریع و همچنین داشتن قدرت نظارت بر دامنه توفان گرد و غبار، درجه شدت و ردیابی دینامیک آن، می‌تواند نقش عمده در پایش گرد و غبار داشته باشد (می و همکاران، ۲۰۰۸: ۹۶۵ و نظم فر و مرادی، ۱۳۹۵: ۲۷۴).

اوپر خویاگ و تسولمان (۲۰۰۸)، منابع گرد و غبار شمال شرق آسیا را با استفاده از شاخص BTd (اختلاف دمای روشنی) تصاویر AVHRR و مودیس و داده‌های اندازه‌گیری شده ایستگاه‌های هواشناسی مورد پایش و مطالعه قرار دادند. آنها ضمن نتیجه

مطلوب از این شاخص اشاره کردند منشأ گرد و غبار، بیابان گبی می باشد. بداک و همکاران (۲۰۰۹) منابع گرد و غبار حوضه دریاچه ایر در استرالیا را با استفاده از مقایسه روش های مختلف (ترکیب رنگی کاذب^۱ FCC، اختلاف دمای روشنی، روش آکرم^۲، الگوریتم میلر^۳، الگوریتم روسکونسی^۴) بر روی تصاویر مودیس مورد مطالعه قرار دادند. طبق نتایج، همه این شاخص ها برای شناسایی گرد و غبار موفقیت آمیز بودند ولی موثرترین روش با توجه به عواملی مانند پوشش ابر، متفاوت بودن ژئوشیمیایی کانی های گرد و غبارها و انعکاس های سطحی، از رویدادی به رویدادهای دیگر متفاوت است. لی و همکاران (۲۰۱۰) توفان گرد و غباری ۲۳ سپتامبر ۲۰۰۹ سیدنی را با استفاده از اختلاف دمای روشنی بین باندهای حرارتی سنجنده مودیس شناسایی و پایش کردند آنها به این نتیجه رسیدند که گرد و غبار از حوضه دریاچه ایر منشأ گرفته و بوسیله توفان، سراسر سیدنی، نیو ساوت و آلز و کوئینزلند را فراگرفته است. عزیز و همکاران (۲۰۱۲) رویدادهای گرد و غباری جنوب غرب ایران را با استفاده از تصاویر ماهواره ای مودیس و تحلیل های سینوپتیک مطالعه کردند. در این تحقیق برای شناسایی گرد و غبار بر روی تصاویر مودیس فقط از شاخص دمای روشنی (BTD) استفاده شده است. نتایج نشان داد که نواحی خشک عراق و عربستان از منابع مهم گرد و غبار منطقه محسوب می گردد. خسروی (۱۳۸۷) آلاینده های فضاپی توفان های گرد و غباری ناشی از بادهای ۱۲۰ روزه سیستان را با استفاده از داده های مودیس (به روش بصری) مورد تحلیل قرار داد. نتایج نشان داد که مهمترین منبع اولیه و تغذیه بار جامد توفان های این منطقه، بستر خشکیده هامون پوزک می باشد. فرج زاده و بهرامی (۱۳۸۹)، مخاطرات طبیعی شامل توفان گرد و خاک، سیلاب، بارش شدید گنو را با استفاده از تصاویر ماهواره ای سنجنده های مختلف به روش بصری آشکار سازی نموده و به این نتیجه رسیدند که سنجنده های MODIS و SEAWIFS برای مطالعه توفان گرد و غباری مناسب هستند.

^۱- False Color Composite

^۲- Ackerman's procedures

^۳- Miller's Algorithm.

^۴-Roskovensky Algorithm.

موضوع این تحقیق بررسی توفان گرد و غباری ۱۰ اوت ۲۰۰۸ شرق ایران به عنوان یکی از شدیدترین توفان‌های سال ۲۰۰۸ در شرق ایران با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده MODIS بوده تا بر اساس آن بتوان اهداف زیر را دنبال کرد:

- شناسایی محدوده‌های گرد و غبار از سایر پدیده‌ها بر روی تصاویر MODIS با استفاده از شاخص‌های متعدد و آگاهی از توانایی این شاخص‌ها برای مطالعه گرد و غبار.

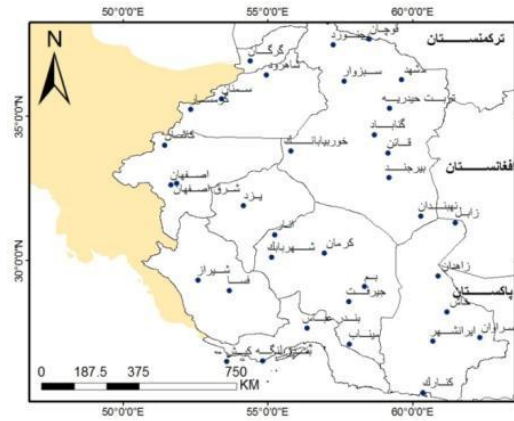
- پایش دینامیکی روزهای قبل و بعد اوج ۱۰ اوت ۲۰۰۸ شرق ایران جهت شناخت منابع ایجاد آن و مناطق متأثر از آن.

مواد و روش‌ها:

در این پژوهش از داده‌های ساعتی گرد و غبار (قدرت دید افقی و کدهای هواشناسی)^۱ ۳۵ ایستگاه سینوپتیکی نیمه شرق ایران در سال ۲۰۰۸ استفاده شده است (شکل ۱). بر اساس این داده‌ها، روز ۱۰ اوت ۲۰۰۸ بخاطر داشتن قدرت دید افقی کمتر از ۱۰۰۰ متر در اکثر ایستگاه‌های مورد مطالعه برای شناسایی و پایش گرد و غبار انتخاب گردید. بدین منظور از تصاویر سطح اول^۲ مودیس (مودیس ۲) ماهواره‌های ترا و آکوا استفاده شده است. لازم به ذکر است برای پایش توفان گرد و غباری مذکور از تصاویر ماهواره‌ای روزهای قبل و بعد آن استفاده گردیده شد (جدول ۱).

^۱ - 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 بوسیله باد درخود یا نزدیکی ایستگاه، کد ۸: گرد باد های تکامل یافته در زمان دیده بانی یا طی یک ساعت گذشته در خود ایستگاه یا اطراف آن، کد ۹: توفان های گرد و خاک در زمان دیده بانی یا ساعت گذشته در اطراف ایستگاه، کد های ۳۰ تا ۳۵: توفان های گرد و غباری در شدت های به ترتیب ضعیف تا شدید محلی.

^۲ - Level 1



شکل ۱- نقشه پراکنندگی ایستگاه های مورد مطالعه در سطح کشور

جدول ۱- مشخصات تصاویر ماهواره ای مودیس منطقه شرق ایران در روز های ۸-۱۲ اوت ۲۰۰۸

محدوده مطالعه	ماهواره	ساعت	تاریخ	تصویر
۲۰-۳۹ و	ترا	۶/۴۰	۲۰۰۸/۰۸/۰۸	MOD021KM.A2008221.0640.005.2010247011529
۴۹-۵۲	ترا	۶/۴۵	۲۰۰۸/۰۸/۰۸	MOD021KM.A2008221.0645.005.2010247004143
۲۳-۳۸ و ۴۸-۵۵	آکوا	۹	۲۰۰۸/۰۸/۰۹	MYD021KM.A2008222.0900.005.2009320121041
۲۰-۳۶ و ۵۳-۷۰	آکوا	۶.۳۰	۲۰۰۸/۰۸/۱۰	MOD021KM.A2008223.0630.005.2010247072921
۲۱-۴۷ و	آکوا	۸.۵۰	۲۰۰۸/۰۸/۱۱	MYD021KM.A2008224.0850.005.2009320103313
۴۷-۵۸	آکوا	۸.۴۵	۲۰۰۸/۰۸/۱۱	MYD021KM.A2008224.0845.005.2009320103339
۱۹-۳۷ و ۴۷-۵۲	آکوا	۹.۳۰	۲۰۰۸/۰۸/۱۲	MYD021KM.A2008225.0930.005.2009320214251

برای شناسایی گرد و غبار بر روی تصاویر ماهواره ای مودیس از شاخص های متعددی استفاده گردید که در زیر به آنها اشاره می گردد:

- شاخص^۱ NDDI یا اختلاف نرمال شده گردوغبار

انعکاس خاک و گرد و غبار با افزایش طول موج افزایش می‌یابد که حداقل آن در باند ۳ (۰/۴ میکرومتر) و حداکثر آن در باند ۷ (۲/۴ میکرومتر) می‌باشد. در حالی که بالاترین انعکاس ابر 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 (می و همکاران، ۲۰۰۸: ۹۶۶، جان و کفتوس، ۲۰۰۶: ۴۸۵) شناخته شده است. این شاخص به صورت زیر محاسبه می‌شود (رابطه ۱).

رابطه (۱)

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

$$b7 : 2.13 \mu m$$

$$b3 : 0.469 \mu m$$

شاخص‌های^۲ BTDI و^۳ BTDD یا اختلاف دمای روشنی

باند های ۳۱ و ۳۲ مودیس در محدوده پنجره حرارتی مادون قرمز قرار دارد که در این محدوده جذب بوسیله دیگر گازهای جوی بسیار ناچیز است. در هر کدام از باندهای ۳۱ و ۳۲، میزان اختلاف دما بین زمین، گرد و غبار و ابر 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 شاخص‌های BTDI و BTDD بکار گرفته شود (رابطه ۲ و ۳) (اوچیرخویاگ و تسولمان، ۲۰۰۸: ۸۳۶، زنگ و همکاران^۴، ۲۰۰۶: ۱۹۹ و بداک و همکاران، ۲۰۰۹: ۱۵۱۴).

^۱ -Normalized Difference Dust Index (NDDI).

^۲ -Brightness temperature difference index

^۳ -Brightness temperature difference

^۴ - Zhang et al

(رابطه ۲)

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

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

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

$$BTD = B31 - B32$$

(رابطه ۳)

تفاوت روابط ۲ و ۳ در منفی و مثبت بودن DN های پدیده گرد و غبار است که مربوط به اختلاف دمای تابشی بالای پدیده گرد و غبار نسبت به سایر پدیده‌ها در باند ۳۲ نسبت به باند ۳۱ است. بنابراین اختلاف دمای روشنی باند ۳۱ از باند ۳۲ باعث دماهای منفی با ارزش بیشتر در پدیده گرد و غبار می‌شود (می و همکاران، ۲۰۰۸: ۹۶۶، آکرمن^۱، ۱۹۹۷: ۱۷۰۶۹ و سوکولیک^۲، ۲۰۰۲: ۲۱۵۴). لازم به ذکر است که دمای تابندگی از تبدیل داده‌های سطح IB باندهای حرارتی MODIS در باندهای ۳۱ و ۳۲ با استفاده از عکس معادله پلانک تهیه می‌شود (وان^۳، ۱۹۹۹: ۶ و داش و همکاران^۴، ۲۰۰۱: ۲۵).

شاخص LRDI^۵ یا شاخص اختلاف رادیانس محلی سازی شده:

با توجه به اینکه در باند ۱ سنجنده مودیس ابر با بازتاب بالا (ارزش‌های عددی بالا)، زمین با بازتاب پایین و گرد و غبار بین این دو مشخص می‌شوند و در باند ۳ نیز ابر دارای ارزش عددی بسیار بالایی است، بنابراین ترکیب این دو باند باعث نمایان شدن ابر با بازتاب 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 گسیل‌مندی بالایی نسبت به سایر پدیده‌ها دارد. بنابراین از ترکیب و تلفیق روابط بالا، شاخصی طراحی گردید که اشکالات و معایب شاخص‌های مطالعه شده را ندارد ولی خود نیز

1- Ackerman

2- Sokolik

3- Wan

4- Dash et al

5- Local Radiance Difference Index

به عنوان یک شاخصی نیست که از نظر کمی، به طور کاملاً دقیق گرد و غبار را از سایر پدیده‌ها تفکیک کند (رابطه ۴). این شاخص نسبت به شاخص‌های دیگر از کارایی بالایی برای ایران برخوردار می‌باشد. در واقع با مطالعه طیفی باند های مودیس شاخص LRDI برای ایران طراحی شد (نگارندگان، ۱۳۹۳).

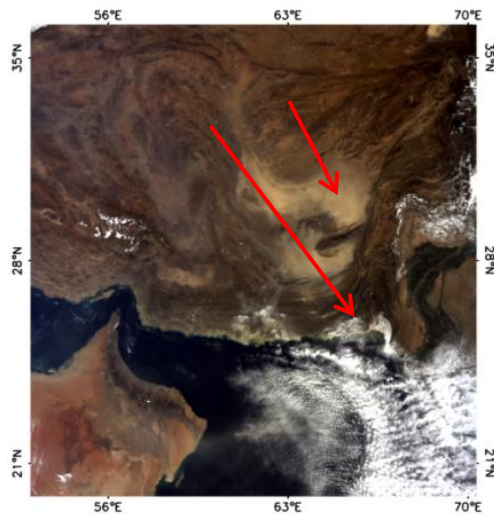
$$LRDI: (b1+b3) + (b32-b31) \quad (\text{رابطه ۴})$$

همچنین در این تحقیق از تکنیک FCC یا ترکیب رنگی کاذب^۱ حاصل باندهای ۳، ۱ و ۴ (می و همکاران، ۲۰۰۸: ۹۶۶، زی، ۲۰۰۴: ۱۷ و ژیل، ۲۰۰۴: ۲۴۹۵) برای تفکیک پدیده گرد و غبار از پدیده‌های دیگر به صورت بصری استفاده شده است که در این تحقیق به عنوان معیار صحت سنجی شاخص های کمی نیز، مورد استفاده قرار گرفت (رابطه ۵).

$$R(3)G(1)B(4) \quad (\text{رابطه ۵})$$

یافته‌ها و بحث

ترکیب رنگی کاذب (شکل ۲) حاصل باند های یک (قرمز)، سه (سبز) و چهار (آبی) از لحاظ بصری نتیجه بهتری از رویت گرد و غبار 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. تصویر ترکیب رنگی کاذب از لحاظ بصری می‌تواند معیاری برای صحت سنجی شاخص‌های کمی قرار گیرد. در شکل ۲ با استفاده از فلش، جهت و مکان گرد و غبار روز ۱۰ اوت ۲۰۰۸ بر روی تصویر نشان داده شده است.

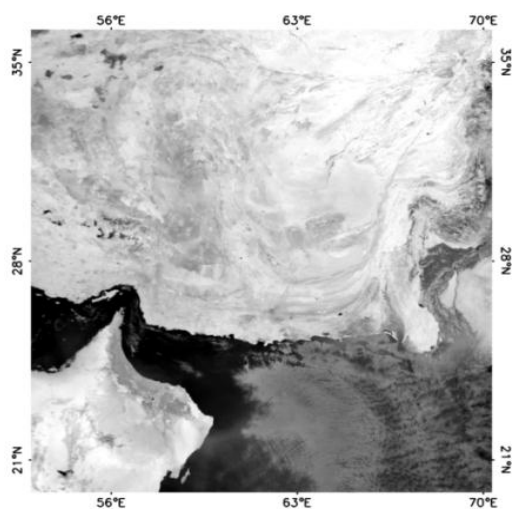


شکل ۲- تصویر رنگی کاذب بر روی تصاویر ۱۰ اوت ۲۰۰۸

نتایج حاصل از اعمال شاخص کمی NDDI بر روی تصاویر منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که ارزش‌های عددی ابر و آب کمتر از صفر هستند که علت آن بازتاب 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 گردوغبار را از زمین ندارد که در شکل ۳ کاملاً ملاحظه می‌گردد. محدوده عددی این شاخص $-0/9$ تا $0/5$ می‌باشد (شکل ۳ و جدول ۲).

جدول ۲- ارزش‌های عددی حاصل از شاخص NDDI

پدیده	ارزش‌های عددی (DN)
ابر	$NDDI < 0$
آب	$NDDI < 0$
گرد و غبار	$-0/1$ تا $0/5$
زمین	$-0/1$ تا $0/5$



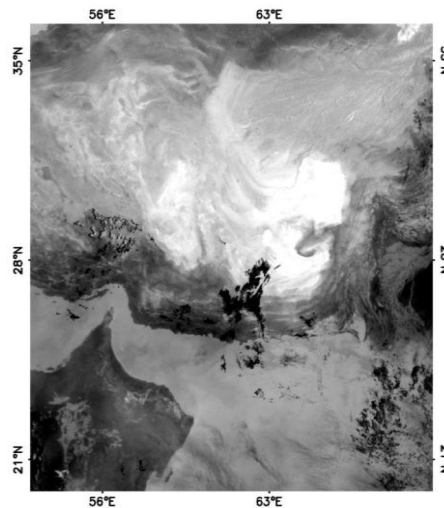
شکل ۳- شاخص اختلاف نرمال شده گردوغبار بر روی تصاویر ۱۰ اوت ۲۰۰۸

شاخص دمای روشنی (BTDI) نتیجه اختلاف دمای روشنی بین باندهای حرارتی ۳۲ و ۳۱ (۱۱ و ۱۲ میکرومتر) در سنجنده مودیس است که باند حرارتی ۳۲ دارای دمای پایین در ابر و دمای بسیار بالا در زمین است که میزان دمای گرد و غبار بین این دو پدیده قرار می‌گیرد. باند ۳۱ همانند باند ۳۲ از نظر دمای روشنی بین پدیده‌های ابر، گرد و غبار و زمین قرار دارد. 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 می‌باشد 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 وارونه می‌شود. در این شاخص ابر، آب و قسمت‌هایی از زمین از نظر عددی براحتی از گرد و غبار قابل تشخیص و تفکیک هستند، در حالی که گرد و غبار با غلظت کم و زمین‌های بیابانی دارای ارزش‌های عددی یکسانی هستند که در جدول ۳

ارزش های عددی این شاخص به تفکیک پدیده ها آورده شده اند. همچنین در این شاخص گرد و غبار بر روی آب قابل شناسایی و تفکیک نمی باشد (شکل ۴).

جدول ۳- ارزش های عددی حاصل از شاخص اختلاف دمای روشنی BTDI

پدیده	ارزش های عددی
زمین و سایر پدیده ها	$1/3 >$
گرد و غبار	۴ تا ۰/۵

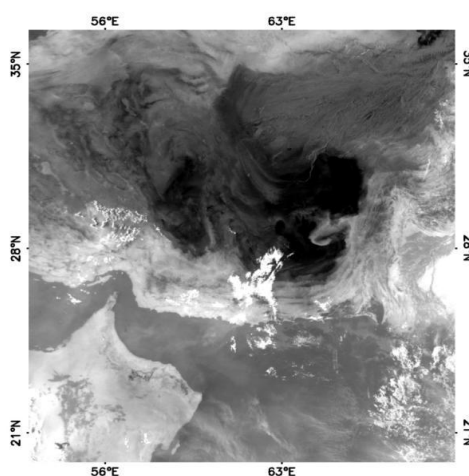


شکل ۴- شاخص اختلاف دمای روشنی باندهای ۱۱ و ۱۲ میکرومتر بر روی تصاویر ۱۰ اوت ۲۰۰۸

شاخص BTD تفاضل باند ۳۱ از باند ۳۲ سنجنده مودیس می باشد. نتیجه این شاخص دقیقاً مطابق با شاخص BTDI بوده و تنها تفاوت آنها در منفی بودن ارزش پیکسل های گرد و غبار نسبت به آن می باشد. علت این حالت مربوط به دمای بیشتر پدیده گرد و غبار در باند ۳۲ نسبت به باند ۳۱ سنجنده مودیس است (جدول ۴ و شکل ۵).

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

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

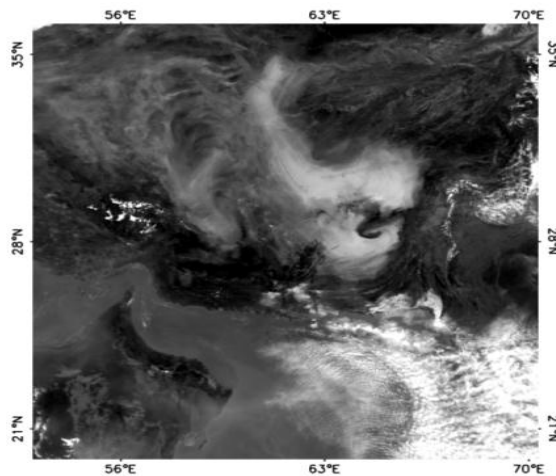


شکل ۵- شاخص اختلاف دمای روشنی باند‌های ۱۱ و ۱۲ میکرومتر بر روی تصاویر ۱۰ اوت ۲۰۰۸

مطابق شکل ۶ و جدول ۵ می‌توان دریافت که از امتیازهای 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 است. در حالی که سایر شاخص‌های مطالعه شده فاقد این امتیازها هستند، ولی در عوض گرد و غبار و ابر در آنها بطور کامل و دقیق تفکیک می‌گردد. در این شاخص ارزش عددی پیکسل‌های قسمت کناری و انتهایی ابر مقارن با ارزش‌های عددی قسمت‌های غلیظ گرد و غبار می‌باشد که تعداد پیکسل‌های محدودی را شامل می‌شود.

جدول ۵- ارزش های عددی حاصل از شاخص LRDI

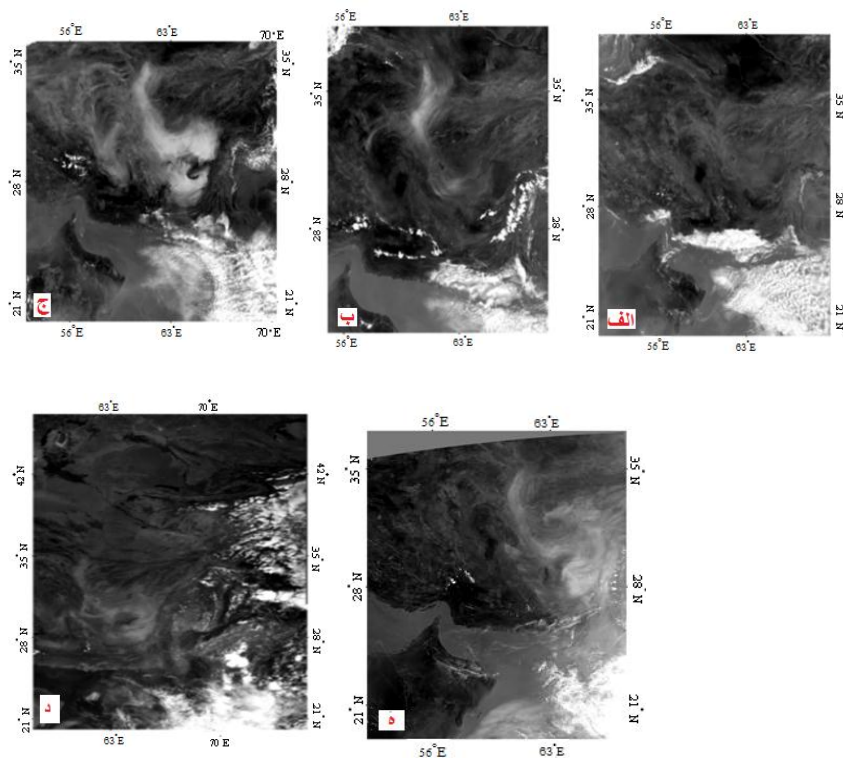
پدیده	ارزش های عددی
زمین	-۰/۵ تا -۱/۱
آب	-۰/۵ تا -۰/۲
گرد و غبار	-۰/۱ تا ۰/۶۴
ایر	۱/۷ تا ۰/۶۵



شکل ۶- شاخص اختلاف رادیانس محلی شده بر روی تصاویر ۱۰ اوت ۲۰۰۸

نتایج پایش توفان گرد و غباری ۱۰ اوت ۲۰۰۸ در شرق ایران نشان داد که در روزهای قبل این رویداد، گرد و غبار ضعیفی بر روی مرز ایران و افغانستان وجود داشته است. در روز ۱۰ اوت شدت توفان مذکور بیشتر شده و منطقه وسیعی از شرق ایران، غرب، جنوب غرب کشور افغانستان و شمالغرب پاکستان را تحت تاثیر قرار می دهد که دارای جهت منطبق بر بادهای ۱۲۰ روزه است. این توفان در کشور افغانستان دارای شدت و وسعت بیشتری است که علت آن فراهم بودن منابع تغذیه توفان در آن منطقه است. در روز ۱۱ اوت از شدت توفان کاسته شده و در مرز افغانستان و پاکستان گرد و غبار ضعیفی دیده می شود. در روز ۱۱ اوت به نظر می رسد که توفان خاتمه یافته است در حالی که تصویر ۱۲ اوت نشان

می‌دهد دوباره توفان در منطقه شدت یافته است، بطوری که اثرات آن از مرز ایران، افغانستان وارد و نهایتاً وارد اقیانوس هند گردیده است. (شکل ۷).



شکل ۷- وضعیت گرد و غبار منطقه شرق ایران (روزهای ۸ تا ۱۲ اوت ۲۰۰۸): الف: روز ۸ اوت ب: روز ۹ اوت ج: روز ۱۰ اوت د: روز ۱۱ اوت و: روز ۱۲ اوت

بنابراین پایش تصاویر ثابت می‌کند که گرد و غبارهای این منطقه با توجه به ویژگی‌های اقلیمی و محیطی منطقه، شدت آن در روزهای متوالی متفاوت است. وقوع خشکسالی در منطقه سیستان، به تبع آن کاهش پوشش گیاهی، خشک شدن دریاچه‌های هامون، وجود بادهای ۱۲۰ روزه و همچنین وجود بیابان‌های مارگو، ریگستان و خاش بین مرز کشورهای ایران، افغانستان و پاکستان از عوامل وقوع گرد و غبار در این منطقه می‌باشد.

نتیجه گیری

مطالعات اخیر داخلی و خارجی نشان می‌دهد که مدل‌های عددی هواشناسی به تنهایی قادر به آشکارسازی و ردیابی توفان‌های گرد و غبار نیستند و نیاز به داده‌های دورسنجی برای بارسازی وسعت و غلظت گرد و غبار ضروری است. نتایج حاصل از اعمال شاخص-های کمی بر روی تصاویر ماهواره‌ای مودیس نشان داد که شاخص NDDI قادر به تفکیک کمی گرد و غبار از زمین نیست. شاخص‌های BTDI و BTD با اینکه از نظر تفکیک کمی گرد و غبار نسبت به سایر پدیده‌ها از دقت بالایی برخوردارند ولی این شاخص‌ها نیز دارای معایبی از قبیل عدم تشخیص غلظت‌های مختلف گرد و غبار بر روی خشکی، عدم تشخیص گرد و غبار بر روی آب و همچنین عدم تفکیک کامل زمین‌های بیابانی و گرد و غبار هستند. بنابراین در این پژوهش شاخص LRDI طراحی گردید که معایب سایر شاخص‌های یاد شده را ندارد. از مزایای این شاخص، 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. در حالی که سایر شاخص‌های مطالعه شده فاقد این امتیازها هستند. در این شاخص فقط قسمت‌های محدودی از کناره‌های ابر با قسمت‌های غلیظ گرد و غبار دارای ارزش‌های عددی یکسانی هستند. تکنیک بصری ترکیب رنگی کاذب نیز از لحاظ بصری دارای قابلیت کافی برای تشخیص گرد و غبار بر روی منطقه مورد مطالعه هست. نتایج حاصل از پایش رخداد تابستانه گرد و غبار شرق ایران نشان داد منابع اصلی تغذیه توفان‌های شرق محلی می‌باشد. در پژوهش‌های داخلی، مطالعات صورت گرفته در زمینه توفان‌های گرد و غباری بیشتر با استفاده از روش‌های آماری و سینوپتیکی می‌باشد و فقط در مطالعات محدودی این پدیده با استفاده از روش سنجش از دور مطالعه شده است که این مطالعات نیز صرفاً به صورت بصری (رنگ، تن، بافت، شکل، اندازه و ...) می‌باشند. مطالعات خارجی زیادی در رابطه با توفان‌های گرد و غباری با استفاده از تکنیک سنجش از دور صورت گرفته است. مطالعات خارجی انجام شده با تصاویر مودیس نشانگر مطلوب بودن شاخص‌های BTDI و BTD در شناسایی و پایش توفان‌های گرد و غباری

می باشد ولی در این تحقیق بدلیل عدم نتیجه گیری دقیق تر از این شاخص ها، شاخص اصلاح شده برای ایران ارائه شد.

منابع

- خسروی، م (۱۳۸۷)، تحلیل فضایی آلاینده‌گی توفان های گرد و غباری ناشی از باد های ۱۲۰ روزه سیستان با استفاده از داده های سنجش از دور ۲۰۰۱-۲۰۰۸، یازدهمین همایش ملی بهداشت محیط ایران، دانشگاه علوم پزشکی زاهدان، صص ۱-۱۱.
- خورشیددوست، م. ع.، محمدی، غ. ح.، حسینی صدر، ع.، جوان، خ و جمالی، ا (۱۳۹۲)، تحلیل همدید عوامل موثر در فراوانی روزهای گرد و غباری غرب کشور، نشریه جغرافیا و برنامه ریزی، سال ۱۷، شماره ۴۶، صص ۴۶-۴۷.
- فرج زاده، م و بهرامی، ب (۱۳۸۹)، قابلیت استفاده از داده های سنجش از دور در مطالعه توفان های گرد و خاک، سیلاب ها و بارش شدید، فصلنامه جغرافیای طبیعی، سال ۳، شماره ۸، صص ۱-۱۶.
- نظم فر، ح و مرادی، م (۱۳۹۵)، شبیه سازی رواناب ناشی از ذوب برف با استفاده از داده‌های سنجش از دور (مطالعه موردی: حوضه آبی دهگلان)، نشریه جغرافیا و برنامه ریزی، سال ۲۰، شماره ۵۵، صص ۲۸۹-۲۷۳.
- Ackerman, S. A., 1997, Remote sensing aerosols using satellite infrared observations, *Journal of Geophysical Research*, 102, (14), 17069-17079.
- Azizi, Gh., Shamsipour, A. A., Miri, M and Safarrad, T., 2012, Synoptic and remote sensing analysis of dust events in southwestern Iran, *Nat Hazards*, 64:1625-1638
- 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
- Dash, P., Gotische, F-M., Olesen, F-S., and Fischer, H., 2001, Retrieval of Land Surface Temperature and Emissivity from Satellite Data: Physics, Theoretical Limitations and Current Methods, *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, Vol. 29, No. 1 & 2, pp 23-30).
- 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, pp 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, pp. 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.
- Li, X, Ge, L and Dong, Y, 2010, Estimating the greatest dust storm in eastern Australia with MODIS satellite images, Geosciences and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2010 *IEEE International*, 25-30 July, pp 1039-1042.
- 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, pp 835-840.
- Sokolik, I., (2002), the spectral radiative signature of wind-blown mineral dust: Implications for remote sensing in the thermal IR region, *Geophysical Research Letters*, 29, 2154.
- WAN, Z., 1999, MODIS Land-Surface Temperature Algorithm Theoretical Basis Document (LST ATBD) Version 3.3, Institute for Computational Earth System Science University of California Santa Barbara, CA 93106-3060, pp 1-77.
- Xie, Y, 2004, Detection of Smoke and Dust Aerosols Using Multi – Sensor Satellite Remote Sensing, Master of Electronics, Nanjing Normal University, P. R. China, pp 1-136.
- 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.