

شناسایی خاستگاه‌های تولید توفان‌های گرد و غبار در خاورمیانه با استفاده از سنجش از دور

خدیدجه کریمی^۱، حمید طاهری شهرآئینی^{۲*}، مجید حبیبی نوخندان^۳، ناصر حافظی مقدس^۴

۱- کارشناس ارشد زمین شناسی زیست محیطی، دانش آموخته دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود.

۲- دکتری مهندسی عمران- آب، استادیار، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

۳- دکتری اقلیم شناسی، دانشیار، پژوهشکده اقلیم شناسی، مشهد.

۴- دکتری زمین شناسی مهندسی، دانشیار، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد.

hamid.taheri@modares.ac.ir

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۸۹/۱۲/۷، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۰/۸/۱۷

چکیده

در سال‌های اخیر، وقوع پدیده توفان گرد و غبار در منطقه‌ی خاورمیانه در حال افزایش است. این توفان‌ها می‌توانند اثرات جدی روی سلامت افراد، فرسایش خاک، بیابان‌زایی و حمل و نقل و غیره داشته باشند. اولین گام در جهت مطالعه‌ی این توفان‌ها، تعیین خاستگاه‌های آن‌ها در منطقه‌ی خاورمیانه می‌باشد. در این مقاله از داده‌های ماهواره‌ای برای این مهم استفاده می‌شود و یک روش جدید ترکیب رنگی کاذب (FCC) از طریق ترکیب شاخص‌های مشهور بارزسازی و شناسایی گرد و غبار مثل شاخص NDDI، D، BTDD3132 و BTDD2931 توسعه داده می‌شود. داده‌های ماهواره‌ای استفاده شده شامل ۲۸ تصویر سنجنده‌ی MODIS طی سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹ می‌باشد. روش مناسب FCC برای بارزسازی گرد و غبار، استفاده از شاخص D، BTDD3132 و NDDI به ترتیب برای باندهای R، G و B تعیین شد. با ساخت ترکیب رنگی برای ۲۸ تصویر MODIS و تعیین خاستگاه‌های گرد و غبار مختلف در هر تصویر، حدود ۴۲۰ خاستگاه تولید گرد و غبار مختلف در منطقه‌ی خاورمیانه شناسایی شد. نتایج این شناسایی نشان داد که سهم کشورهای عراق، سوریه، عربستان سعودی، ایران، اردن و ترکیه در تولید توفان گرد و غبار در خاورمیانه به ترتیب ۳۹/۲، ۲۳، ۱۴/۵، ۱۳/۸، ۵/۷ و ۳/۸ درصد می‌باشد و کشورهای عراق و سوریه بیش از ۶۰ درصد گرد و غبار منطقه‌ی خاورمیانه را تولید می‌کنند. همچنین ترکیب نقشه‌ی خاستگاه‌های تولید گرد و غبار با نقشه‌های NDVI، توپوگرافی و زمین شناسی منطقه نشان داد که عموماً خاستگاه‌ها در مناطق دارای پوشش گیاهی ضعیف، ارتفاع کمتر از ۴۰۰ متر و سطح خاک سخت نشده واقع شده‌اند. سپس با ایجاد یک نقشه معرف تراکم نواحی تولید گرد و غبار در خاورمیانه، مشخص شد که مناطقی در غرب عراق و شرق سوریه عامل‌های اساسی تولید گرد و غبار در خاورمیانه می‌باشند.

واژگان کلیدی: توفان‌های گرد و غبار، خاستگاه‌های گرد و غبار، خاورمیانه، تصاویر MODIS، ترکیب رنگی کاذب.

مقدمه

فرآیندهای حمل و نقل و ارتباطات نقش داشته باشد. تسریع فرسایش خاک و تقویت بیابانزایی از دیگر اثرات توفان‌های گرد و غباری می‌باشد (Ochirkhutag and Tsolmon, 2008). هر گرم از ذرات گرد و غبار، حامل یک میلیون سلول باکتریایی است که می‌تواند سیستم تنفسی افراد را با مخاطرات بسیار جدی مواجه کند و حتی به اپیدمی‌های مرگ‌بار جهانی نیز منجر گردد (Kwon et al., 2002). اثرات وقایع گرد و غباری آسیا، روی مرگ و میر روزانه در سئول، (جنوب کره)، طی دوره زمانی ۱۹۹۵ تا ۱۹۹۸ بررسی شده و مشخص گردید که وابستگی بین وقایع گرد و غباری و مرگ ناشی از ناراحتی‌های تنفسی و قلبی- عروقی وجود دارد و افراد با ناراحتی‌های پیشرفته‌ی قلبی- عروقی و تنفسی، نسبت به رویدادهای گرد و غباری، در معرض خطر بیشتری می‌باشند (Kwon et al., 2002).

مشاهدات سال‌های اخیر نشان‌دهنده افزایش فراوانی وقوع این پدیده در استان‌های غربی کشور مانند ایلام، خوزستان، کرمانشاه و کردستان است. با توجه به عواقب این پدیده در سلامت و بهداشت مردم، کشاورزی و هوانوردی، مطالعات دقیق‌تری در مورد یافتن منابع تولید کننده گرد و غبار، پایش و پیش‌بینی گسترش و پخش آن در منطقه و برآورد شدت، فرکانس و نیز اثرات زیست محیطی این پدیده در منطقه ضروری می‌باشد. بنابراین جهت مدیریت صحیح زمین‌های خشک و بیابانی که تولید کننده گرد و غبار جوی هستند باید ابتدا مناطق مستعد برای تولید گرد و غبار را شناسایی کرد. یکی از روش‌های بسیار مؤثر در زمینه‌ی شناسایی مناطق خاستگاه، استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور می‌باشد (Ackerman, 1997; Zheng et al., 1998; Tegen, 2003; Miller, 2003; Hu and Sokhi, 2009; Baddock et al., 2009)؛ زیرا که این

توفان گرد و غبار، فرآیند پیچیده‌ای است که تحت تأثیر فعل و انفعالات سامانه‌های جوی بوده و اساساً شرایطی مانند سرعت زیاد باد، خاک برهنه، و هوای خشک باعث ایجاد آن می‌شود. در سال‌های اخیر، وقوع این پدیده در خاورمیانه در حال افزایش است. توفان گرد و غبار می‌تواند روی تغییرات آب و هوایی اثر گذاشته و سبب آسیب‌های جدی برای مردم شود (Mie et al., 2008). توفان گرد و غبار که به عنوان رویدادی تکرار شونده در مناطق خشک و نیمه خشک جهان، از بلایای طبیعی به شمار می‌آید در اطراف عرض جغرافیایی ۴۰ درجه شمالی و جنوبی کره‌ی زمین بیشتر از سایر نقاط جهان رخ می‌دهد (Yang et al., 2008). در این مناطق بادهای غربی، ذرات گرد و غبار را با جریان باد حمل می‌کنند و آن‌ها را به نقاط دیگر کره‌ی زمین منتقل می‌نمایند (Yang et al., 2008). زمانی که این مواد وارد جو می‌شوند، باعث تغییر خواص فیزیکی، شیمیایی و زیستی آن می‌شوند (Mahowald et al 2007; Washington and Todd 2005; Washington et al., 2003; Tegen, 2003; Huang et al., 2007). تحقیقات اخیر در آمریکا نشان داده که ارتباط مستقیمی بین ظاهر شدن غلظت‌های بالای ذرات موجود در هوا با افزایش مرگ و میر ناشی از بیماری‌های قلبی- عروقی، بیماری‌های تنفسی و سرطان ریه وجود دارد (Samet et al., 2000; Pope et al., 2002).

توفان گرد و غبار بر روند تشکیل خاک، ژئومورفولوژی سطحی در نواحی خشک و حرکت دادن پوشش سطحی نواحی صحرایی تأثیر دارد و به طور همزمان می‌تواند در انتقال عوامل بیماری‌زای خطرناک به انسان، آلودگی هوا و آسیب رساندن به عملکرد دستگاه تنفس و حتی در قطع کردن

روشی که تنها بر پایه اختلاف دمای درخشندگی امواج مادون قرمز باشد مناسب‌تر بود.

باداک و همکاران (Baddock et al., 2009) برای شناخت چشمه گرد و غبار، ۵ روش را با استفاده از داده‌های گرد و غبار MODIS L1B و MODIS L2 در حوضه دریاچه ایر^۳ در استرالیا با یکدیگر مقایسه و ارزیابی نمودند. روش‌های به کار گرفته شده در این تحقیق شامل: ۱- فرآیند ترکیب رنگ کاذب، ۲- اختلاف دمای درخشندگی، ۳- پروسه اکرمین (Ackerman, 1997)، ۴- الگوریتم بارزسازی گرد و غبار میلر (Miller, 2003)، ۵- الگوریتم تفکیک گرد و غبار روسکوینسکی و لیو (Roskovensky and Liou, 2005) بود. این تکنیک‌ها برای چهار حادثه گرد و غباری به تاریخ‌های متفاوت در حوضه دریاچه ایر اجرا شدند. تمام روش‌ها وقتی با تصاویر ترکیب رنگ کاذب مقایسه شدند در ردیابی گرد و غبار موفقیت‌آمیز بودند اما موثرترین روش، از واقعه‌ای به واقعه دیگر بسته به فاکتورهایی مانند پوشش ابر، کانی‌شناسی گرد و غبار و میزان بازتابندگی سطحی متفاوت بود. برای بهینه‌سازی ردیابی گرد و غبار با استفاده از MODIS L1B، آستانه پیشنهادی بین حالت غبار و عدم غبار مورد تنظیمات قابل توجهی برای هر واقعه قرار گرفت. در مجموع، روش استفاده از اختلاف دمای درخشندگی قابل اطمینان‌ترین تکنیک برای شناسایی خاستگاه گرد و غبار در حوضه دریاچه ایر بود.

پیکسل‌های ماسه و غبار هوایی در مقایسه با پیکسل‌های دربردارنده ماسه و غبار زمینی سردتر می‌باشد (Ackerman, 1997; Tegen, 2003). تعداد زیادی از روش‌های بارزسازی گرد و غبار، از نقشه‌های دما درخشندگی استفاده می‌کنند. اکرمین

روش‌ها علاوه بر صرف وقت و هزینه کمتر می‌توانند بسیار دقیق و وسیع عمل کنند و ما را به کشف چشمه‌های گرد و غبار و نحوه توزیع این منابع در منطقه خاورمیانه هدایت کنند. تاکنون روش‌های مختلفی در مورد استخراج و بارزسازی گرد و غبار توسط تصاویر ماهواره‌ای توسعه داده شده‌اند (e. g. Shenk and Curran, 1974; Mackinnon et al., 1996; Ackerman, 1997; Kaufman et al., 2000; Prospero et al., 2002; Zha and Li, 2007; Dubovik et al., 2008; Bullard et al., 2008; Klüser and Schepanski, 2009).

پایش منابع گرد و غبار در شمال شرق آسیا با استفاده از داده‌های دو سنجنده^۱ MODIS و NOAA به طور همزمان صورت گرفت. اختلاف دمای درخشندگی^۲ (BTD) بین باندهای ۴ و ۵ سنجنده NOAA و نیز باندهای تشعشعی سنجنده MODIS و داده‌های اندازه‌گیری شده ایستگاه‌های هواشناسی، به جهت تهیه و آزمون نقشه‌های توفان ماسه و گرد و غبار در ناحیه صحرائی مغولستان و شمال چین استفاده گردید. نتایج نشان داد که نقشه‌های توفان ماسه و غبار می‌توانند از باندهای تشعشعی سنجنده‌ها، استخراج شوند (Ochirkhuyag and Tsolmon, 2008).

هانگ و همکاران (Huang et al., 2007) برای ردیابی گرد و غبار شمال غرب چین، مشاهدات حاصل از ابزارهای ماهواره‌ای امواج ماکروویو، مادون قرمز و مرئی را تلفیق کردند. نتایج نشان داد که اندازه‌گیری‌های ماکروویو برای ردیابی گرد و غبار در زیر پوشش‌های ابر به کار می‌روند در حالی که اندازه‌گیری‌های مرئی و مادون قرمز برای سامانه‌های فاقد ابر مفیدند. ردیابی بر پایه دمای درخشندگی تلفیق شده از امواج ماکروویو و امواج مادون قرمز، از

1. MODerate Resolution Imaging Spectroradiometer
3. Lake Eyre Basin

2. Brightness Temperature Difference

شاخص گرد و غباری نرمال شده^۱ (NDDI). آنالیز طیفی ماسه و خاک نشان می‌دهد که پراکنش نور توسط گرد و غبار با افزایش طول موج (بین ۰/۴ تا ۲/۵ میکرومتر) افزایش می‌یابد به گونه‌ای که در باند ۳ سنجنده MODIS (۰/۴۶۹ میکرومتر) یک مقدار کمینه و در باند ۷ سنجنده MODIS (۲/۱۳ میکرومتر) بیشینه مقدار را دارد. بنابراین، ویژگی طیفی ماسه و خاک آن را برای تشخیص گرد و غبار از ابر که بالاترین بازتابندگی را باند ۳ دارند آسان می‌کند (Qu et al., 2006). جهت تعیین محدوده و قلمرو توفان گرد و غبار، می‌توان از تلفیقی از دو روش BT و NDDI نیز کمک گرفت. این فرآیند برای تصاویر گرفته شده در روز که پرتوهای بازتابندگی دارند به کار می‌رود اما برای تصاویر شب که حاوی اطلاعات بازتابندگی نیستند فقط BT و BT D استفاده می‌گردد (Mie et al., 2008). تحقیقات گذشته نشان می‌دهد که تاکنون از تلفیق شاخص‌های گرد و غبار مختلف در جهت ایجاد تصاویر رنگ کاذب در جهت بازسازی گرد و غبار و تعیین خاستگاه گرد و غبار استفاده نشده است. لذا در این تحقیق با توجه به تکنیک‌های معرفی شده برخی از این تکنیک‌ها را بر روی تصاویر MODIS در منطقه‌ی خاورمیانه اعمال کرده و با تلفیق آن‌ها به صورت تصاویر رنگی کاذب، بهترین بازسازی از غبار را استخراج کرده، سپس منابع و خاستگاه‌های گرد و غبار شناسایی می‌شوند.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه این تحقیق بخش شرقی خاورمیانه و شامل غرب و جنوب غرب ایران، عراق، سوریه، اردن و بخش‌های شمالی عربستان سعودی

حساسیت باندهای مادون قرمز حرارتی نسبت به گرد و غبار را بررسی کرد و دریافت که اختلاف دمای درخشندگی بین باندهای ۳/۷ و ۱۲ میکرومتر ردیابی حادثه گردو غبار را امکان‌پذیر می‌نماید (Ackerman, 1989). در ادامه اکرم (Ackerman, 1997) اختلاف دمای درخشندگی بین باندهای ۸ و ۱۱ میکرومتر و ۱۱ و ۱۲ میکرومتر را برای هواویزهای آرام سپهری و هواویزهای زیرین سپهر به طور جداگانه مورد تجزیه و تحلیل قرار داده و دریافت که عموماً مقدار اختلاف دمای درخشندگی در حضور گرد و غبار زیرین سپهری بین طول موج‌های ۸ و ۱۱ میکرومتر مثبت و برای ۱۱ و ۱۲ میکرومتر منفی می‌باشد.

میلر با به کارگیری تکنیک ترکیب رنگ کاذب، با استفاده از تلفیق کانال‌های مرئی و مادون قرمز روشی را پیشنهاد می‌کند که گرد و غبار روی آب و روی خشکی بازسازی شده و به سادگی از ابر قابل تشخیص می‌باشد. ضمن اینکه این متد برای مراحل پردازش هر سنجنده‌ای قابل استفاده می‌باشد، در این بررسی از داده‌های سنجنده MODIS استفاده شده است (Miller, 2003). روسکوینسکی و لیو (Roskovensky and Liou, 2003) جهت ردیابی و تفکیک گرد و غبار از ابرهای سیروس، با به کارگیری سنجش از دور ماهواره‌ای روشی ارائه کرده‌اند. در این روش با استفاده از تلفیق نسبت بازتابندگی باندها و اختلاف دمای درخشندگی، پارامتر P را که قادر به آشکارسازی ابرهای سیروس از گرد و غبار است استخراج می‌کنند. با توسعه و بهبود این پارامتر و معرفی پارامتر جدید D (Roskovensky and Liou, 2005) گرد و غبار ارتفاع بالا از ابرهای سیروس به خوبی قابل تفکیک می‌باشد.

روش‌های دیگری نیز جهت بازسازی مناطق گرد و غباری ارائه شده است از جمله استفاده از

1. Soil- derived aerosol

اطلاعات بازتابندگی اجسام مورد استفاده قرار می‌گیرد و مادون قرمز حرارتی برای اندازه‌گیری دمای درخشندگی اجسام کاربرد دارد.^۲

در این تحقیق از ۲۸ تصویر ماهواره‌ای دریافت شده از سازمان فضایی ایران در سطح IB از ماهواره ترا (Terra) (که داده‌های روز هنگام برداشت می‌کند) مربوط به روزهای گرد و غباری انتخابی از سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹ استفاده گردیده است جدول (۱).

۲-۳- الگوریتم تحقیق

الگوریتم اجرا شده این تحقیق در شکل (۲) نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می‌گردد هدف اصلی این بررسی، شناسایی خاستگاه‌های ایجاد غبار در خاورمیانه با استفاده از سنسور از دور است. در این راستا ایجاد تصاویری که بتوانند محدوده‌های غباری را بارز نمایند بسیار مؤثر خواهد بود. در مرحله اول ابتدا روزهای احتمالی وقوع گرد و غبار در سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹ با استفاده از داده‌های هواشناسی مانند قابلیت دید، سرعت و جهت باد و وضعیت هوا تعیین گردید. انتخاب و دریافت تصاویر ماهواره‌ای سنجنده MODIS در سطح IB در صورت موجود بودن در آرشیو سازمان فضایی ایران بر اساس همین روزها صورت گرفت (البته جهت محاسبه قیق‌تر پارامترهای ردیابی غبار تنها تصاویری انتخاب شدند که تا حد امکان در مناطق غباری، بدون ابر یا تحت پوشش ضعیف ابر باشند). مرحله دوم شامل محاسبه مقدار تشعشع طیفی^۳ و مقدار بازتابندگی در باندهای مورد نیاز جهت استخراج پارامترهای ردیابی از روی مقدار رقومی^۴ تصاویر

می‌باشد شکل (۱). خاورمیانه عموماً دارای آب و هوای گرم و خشک بوده و به علت بارندگی بسیار کم سهم زیادی از مساحت این ناحیه را صحرا تشکیل می‌دهد. بروز گرد و غبار در این منطقه به ویژه در بهار، تابستان و زمستان رایج بوده و با بادهایی به نام بادهای شمال^۱ در ارتباط می‌باشد (Wilkerson, 1991).

۲-۲- تصاویر ماهواره‌ای

در هر بررسی و تحقیق بنا شده بر پایه سنسور از دور، بسته به موضوع و نیز منطقه مورد مطالعه، ماهواره و سنجنده مناسب بایستی انتخاب گردد. سنجنده MODIS با داشتن باندهای چند طیفی، تفکیک مکانی و زمانی مناسب، داده‌های با کیفیت بالایی را جهت پیش‌پایش توفان‌های گرد و غبار فراهم می‌کند (EL-Askary et al., 2000). در تحقیق حاضر سنجنده MODIS به علت داشتن چندین ویژگی انتخاب گردید: ۱- قابلیت دید وسیع آن، ۲- محدوده طیفی و تعداد باندهای آن، ۳- قدرت تفکیک مکانی^۲ و زمانی^۳ مناسب آن، ۴- در دسترس بودن داده‌های این سنسور در ایران. تصاویر سنجنده MODIS که بوسیله ماهواره‌های Aqua و Terra حمل می‌شود داده‌های آن از سازمان فضایی ایران^۴ دریافت می‌گردد. میدان دید MODIS ۲۳۳۰ کیلومتر و در محدوده طیف مرئی تا فروسرخ حرارتی از طول موج ۰/۴۰۵ تا ۱۴/۳۸۵ میکرومتر در ۳۶ باند تصویربرداری می‌کند. تفکیک مکانی باندهای ۱ و ۲، ۲۵۰ متر، باندهای ۳ تا ۷، ۵۰۰ متر و برای باندهای ۸ تا ۳۶، یک کیلومتر می‌باشد. از ۳۶ کانال MODIS، کانال‌های مرئی و مادون‌قرمز نزدیک^۵ جهت برداشت

1. Swath Width
3. Temporal Resolution
5. Near Infrared
7. Digital Number

2. Spatial Resolution
4. Iranian Space Agency
6. Radiance

(λ) و دمای مشخص (T) ، h ثابت پلانک (6.626×10^{-34}) ،
 k ثابت بولتزمن $(1.3806504 \times 10^{-23})$ و c سرعت نور
 $(2.998 \times 10^8 \text{ m/s})$ و T دما می‌باشد (Hao et al., 2007).

ماهواره‌ای بود. همچنین دمای درخشندگی تصاویر با
 استفاده از تابع پلانک (رابطه ۱) نیز در این مرحله
 محاسبه گردید.

$$B(T, \lambda) = (2hc)^2 / (\lambda^5 \times (\exp(hc/\lambda kT) - 1)) \quad (1)$$

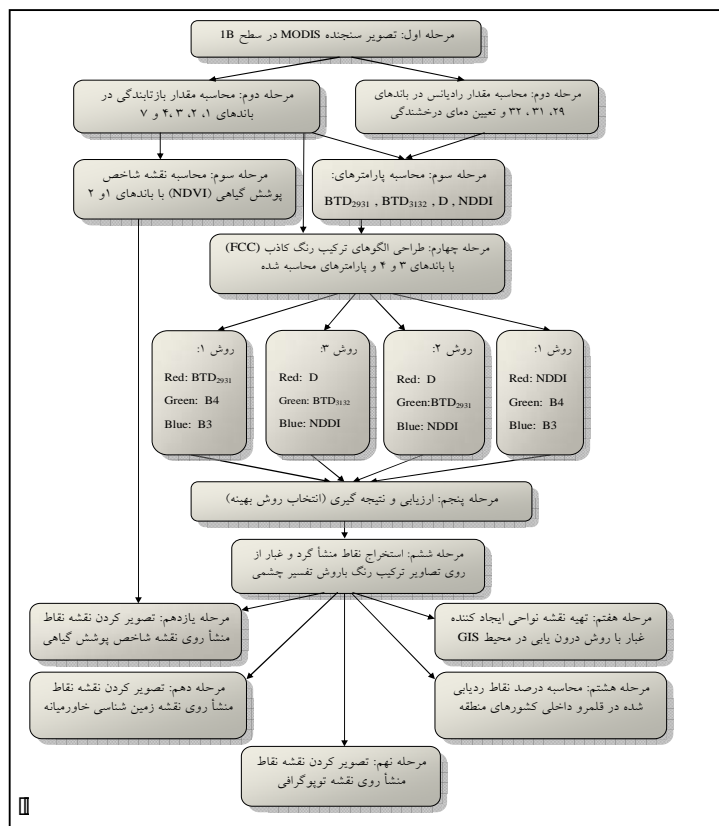
در این رابطه، $B(T, \lambda)$ تابع پلانک در یک طول موج

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

ردیف	ماهواره	تاریخ	زمان (GMT)	ردیف	ماهواره	تاریخ	زمان (GMT)
۱	Terra	2008 March 25	07:22	۱۵	Terra	2008 July 09	07:59
۲	Terra	2008 April 24	07:35	۱۶	Terra	2008 July 27	07:47
۳	Terra	2008 May 24	07:47	۱۷	Terra	2008 July 29	07:35
۴	Terra	2008 May 26	07:35	۱۸	Terra	2008 September 15	07:35
۵	Terra	2008 May 31	07:53	۱۹	Terra	2008 September 17	07:23
۶	Terra	2008 June 16	07:53	۲۰	Terra	2008 October 08	07:41
۷	Terra	2008 June 17	06:58	۲۱	Terra	2009 July 04	07:10
۸	Terra	2008 June 25	07:47	۲۲	Terra	2009 July 09	07:29
۹	Terra	2008 June 28	08:18	۲۳	Terra	2009 July 12	07:59
۱۰	Terra	2008 June 30	08:06	۲۴	Terra	2009 July 14	07:47
۱۱	Terra	2008 July 01	07:15	۲۵	Terra	2009 July 21	07:53
۱۲	Terra	2008 July 02	07:53	۲۶	Terra	2009 July 30	07:47
۱۳	Terra	2008 July 07	08:15	۲۷	Terra	2009 August 01	07:35
۱۴	Terra	2008 July 08	07:17	۲۸	Terra	2009 August 03	07:23



شکل ۱: محدوده منطقه مورد مطالعه



شکل ۲: مراحل الگوریتم تحقیق

اندیس $NDDI$ که برای ردیابی توفان‌های ماسه و غبار (SDS) پیشنهاد شده (Qu et al., 2006) به صورت رابطه زیر است:

$$NDDI = \frac{\rho_{2.13} - \rho_{0.469}}{\rho_{2.13} + \rho_{0.469}} \quad (2)$$

که در این رابطه، $\rho_{2.13}$ و $\rho_{0.469}$ به ترتیب مقادیر بازتابندگی در بالای جو، در طول موج‌های ۲/۱۳ میکرومتر (باند ۷ MODIS) و ۰/۴۶۹ میکرومتر (باند ۳ MODIS) می‌باشند.

پارامتر D پیشنهاد شده توسط روسکوینسکی و لیو (Roskovensky and Liou 2005) ویژگی‌های بازتابندگی و نیز اختلاف دمای درخشندگی باندهای دمایی را با یکدیگر تلفیق می‌کند (رابطه ۳).

$$D = \exp \{-[rr \times a + (btd - b)]\} \quad (3)$$

در مرحله سوم پارامترهای ارائه شده در تحقیقات گذشته (مثل: Ackerman, 1997; Roskovensky and Liou, 2005; Qu et al., 2006) که نقش ردیابی مناطق گرد و غباری را به عهده دارند شامل BTD_{2931} ، BTD_{3132} ، $NDDI$ و D محاسبه گردیدند.

BTD_{2931} و BTD_{3132} به ترتیب اختلاف دمای درخشندگی بین طول موج‌های ۸/۵ (باند ۲۹ MODIS) و ۱۱ (باند ۳۱ MODIS) میکرومتر و ۱۱ و ۱۲ (باند ۳۲ MODIS) میکرومتر می‌باشند که توسط اکرمین (Ackerman, 1997) جهت ردیابی گرد و غبار ارائه گردیده است. برای تمامی تصاویر، مقادیر اختلاف دمای درخشندگی در باندهای مذکور محاسبه گردید.

کاذب در شکل (۲) نشان داده شده است. ارزیابی این روش‌ها بر حسب این که کدام روش توانسته است تمایز رنگ بیش‌تری بین پیکسل‌های غباری و پیکسل‌های بدون غبار ایجاد کند در مرحله پنجم صورت گرفت. در مرحله بعد (ششم) روش ترکیب رنگ کاذب انتخابی بر روی ۲۸ تصویر ماهواره‌ای موجود اعمال گردید تا با روش تفسیر چشمی مناطق خاستگاه غبار تعیین گردند. در این مرحله خاستگاه‌های استخراج شده از روی کل تصاویر، در محیط GIS تلفیق گردیدند تا نقشه نقطه‌ای واحدی تولید شده و با روش درون‌یابی در مرحله هفتم، نقشه نقطه‌ای حاصل به نقشه نواحی مستعد ایجاد غبار با شدت‌های متفاوت تبدیل شود. سپس در مرحله هشتم با تعیین درصد نقاط خاستگاه غبار در محدوده سرزمینی هر کشور، سهم کشورهای منطقه در تولید غبارهای ایجاد شده در دوره زمانی مورد مطالعه مشخص گردید. در مراحل نهم تا یازدهم جهت شناخت ویژگی‌های مناطق خاستگاه غبار مانند وضعیت پوشش گیاهی، جنس سنگ‌ها و حدود ارتفاعی این مناطق، که در تفسیر دقیق‌تر یافته‌های این تحقیق کمک می‌کند، نقشه نقطه‌ای تولید شده در مرحله ششم بر روی نقشه شاخص پوشش گیاهی (تولید شده در مرحله سوم) و بر روی نقشه مدل ارتفاعی خاورمیانه (Evan and Smith, 2001) و نیز بر روی نقشه زمین‌شناسی خاورمیانه (Haghipour et al., 2009) تصویر گردید تا بتوان اطلاعات بیش‌تری از مناطق ایجاد گرد و غبار در منطقه استخراج نمود.

۳- نتایج و بحث

روش‌های مختلف ترکیب رنگ کاذب اشاره شده در شکل (۲)، برای بارزسازی مناطق غباری تصاویر

در این رابطه، IR نسبت بازتابندگی بین طول موج‌های ۰/۵۴ و ۰/۸۶ میکرومتر ($0.54\mu m/0.86\mu m$) است و btd اختلاف دمای درخشندگی بین باندهای ۱۱ و ۱۲ میکرومتر ($BT_{11}-BT_{12}$)، a و b ضرایب ثابتی هستند که توسط کالیبره کردن رابطه ۳ بدست می‌آیند.

در انتهای این مرحله نقشه شاخص پوشش گیاهی^۱ (NDVI)، با استفاده از طول موج‌های قرمز و مادون قرمز نزدیک برای توسط رابطه ۴ محاسبه گردید.

$$NDVI=(NIR-R)/(NIR+R) \quad (4)$$

در این رابطه، NIR مقدار انعکاس در باند مادون قرمز (باند ۲ MODIS، ۰/۸۵۶ میکرومتر) و R مقدار انعکاس در باند قرمز (باند ۱ MODIS، ۰/۶۴۵ میکرومتر) می‌باشد (Knight et al., 2006).

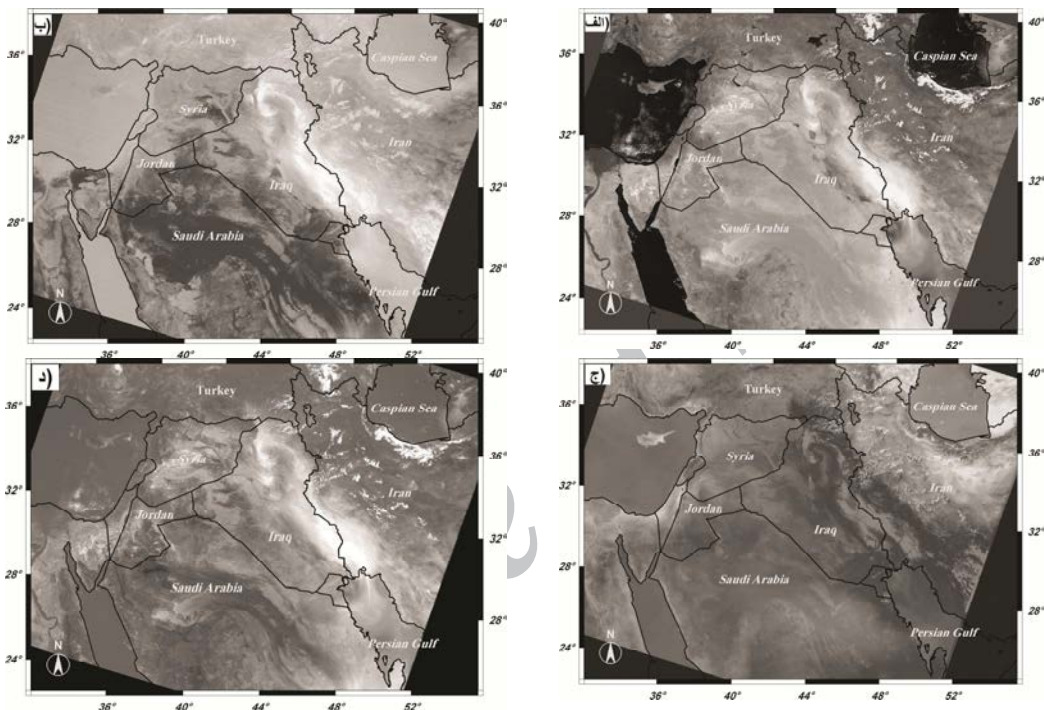
ردیابی گرد و غبار با استفاده از باندهای انعکاسی تصاویر ماهواره‌ای، به‌ویژه روی سطوح درخشان مانند صحراها، به علت انعکاس بالا، کاری دشوار است. به کار گرفتن داده‌های چند طیفی تصاویر و ترکیب باندها و ایجاد تصویر رنگی کاذب به نحوی که بتواند مستقیماً مناطق تحت پوشش گرد و غبار را بارزسازی کند، در تشخیص نقاط خاستگاه ذرات غبار و موقعیت آن‌ها بسیار مفید خواهد بود. به این منظور در مرحله چهارم پارامترهای تشخیص مناطق گرد و غباری ساخته شده در مرحله قبل و نیز مقدار بازتابندگی باندهای ۳ و ۴ به چند روش جهت ساختن تصاویر ترکیب رنگ کاذب^۱ (FCC) به صورت RGB^۳ به کار گرفته شدند تا بهترین تصویری که می‌تواند مناطق غباری را بارزسازی نماید تعیین شود. چند نمونه از نحوه قرار گرفتن هر کدام از مقادیر مورد نظر در موقعیت‌های قرمز، سبز و آبی تصویر ترکیب رنگی

1. Sand and Dust Storms
3. Red, Green, Blue

2. False Color Composite

شد الگوی سوم (R: D, G: BTD₃₁₃₂, B: NDDI) بود. زیرا مقایسه چشمی تصاویر ترکیب رنگی شده، در تمام موارد، نشان داد که این روش قابلیت بهتری در آشکارسازی نواحی گرد و غباری، نسبت به سایر روش‌ها داشته و به طور مؤثری مناطق غباری را از سایر عوارض و مناظر متمایز نمود.

مختلف استفاده شد و به عنوان مثال یک نمونه از نتایج حاصل از اجرای هر ۴ روش در شکل (۳) نشان داده شده است. ملاحظه می‌گردد که هر کدام از الگوهای ترکیب رنگ به گونه‌ای توده غباری را بارزسازی نموده‌اند. اما بهترین روشی که برای بارزسازی غبار و تعیین مناطق خاستگاه غبار انتخاب



شکل ۳: تصاویر مربوط به الگوهای ترکیب رنگی کاذب برای تصویر ماهواره‌ای MODIS به تاریخ ۲ جولای ۲۰۰۸ (الف) روش اول (ب) روش دوم (ج) روش سوم (د) روش چهارم

به روزهای گرد و غباری یک دوره زمانی دو ساله (۲۰۰۸ و ۲۰۰۹) استخراج شده‌اند، می‌تواند عمده خاستگاه‌های گرد و غباری منطقه را شامل شوند. (شکل ۴) بخشی از یک نمونه تصویر بزرگ‌نمایی شده ترکیب رنگی کاذب مذکور مربوط به تاریخ ۱۴ جولای ۲۰۰۹ را نشان می‌دهد. برخی از خاستگاه‌ها در روی این تصویر نشان داده شده است. ملاحظه می‌گردد که ذرات گرد و غبار از چند نقطه (واقع در غرب عراق و شرق سوریه) توسط باد از سطح زمین،

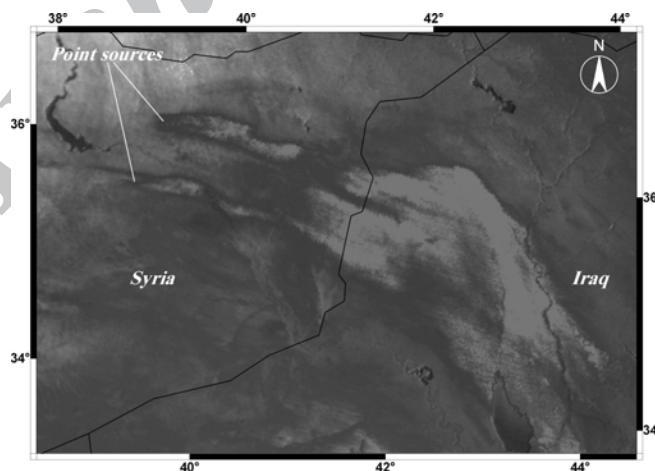
با کمک گرفتن از این تکنیک ترکیب رنگ کاذب و اعمال آن روی ۲۸ تصویر موجود و تفسیر چشمی آن‌ها، نقاط خاستگاه گرد و غبار (حدود ۴۲۰ نقطه)، شناسایی شدند. قاعده تشخیص خاستگاه در این تحقیق، براساس مدل انتشار گوسی پلوم بوده است و وقتی یک مخروط انتشار گرد و غبار در تصویر مشاهده شود راس مخروط، بیانگر نقطه شروع پلوم یا خاستگاه گرد و غبار می‌باشد. از آنجا که این نقاط خاستگاه از روی ۲۸ تصویر ماهواره‌ای انتخابی مربوط

نقاط خاستگاه ردیابی شده، روی نقشه زمین‌شناسی منطقه خاورمیانه پیاده گردید شکل (۸). شکل (۸) نشان می‌دهد که نقاط خاستگاه بیشتر در غرب عراق و شمال شرق سوریه قرار گرفته و عمدتاً در حاشیه رودخانه‌ی فرات و سرشاخه‌های آن قرار دارند. سنگ کف زمین‌شناسی، نهشته‌های سخت‌نشده نئوژن می‌باشد. همچنین بعضی از نقاط خاستگاه در حاشیه رخنمون‌های آذرین و نیز تعدادی روی نهشته‌های داخل پلایاها و کفه‌های رسی در جلگه بین دجله و فرات واقع شده‌اند. مناطقی که در این بررسی به عنوان خاستگاه گرد و غبار تعیین شدند عموماً دارای توپوگرافی پست بوده شکل (۹) و بیشتر نقاط ارتفاعی کمتر از ۴۰۰ متر دارند، که این وضعیت یعنی کم ارتفاع بودن مناطق خشک نیز خود مستعد کننده این نواحی برای خاستگاه غبار شدن می‌باشد (Prospero et al., 2002). فاکتورهایی مانند توپوگرافی و شرایط سطحی نقش مهمی را جهت تعیین نواحی خاستگاه گرد و غبار بازی می‌کنند (Anderson, 2004).

بلند شده و در جهت حرکت باد به طرف شرق و جنوب شرق با رفتار انتشار گوسی در سطح منطقه گسترش یافته‌اند.

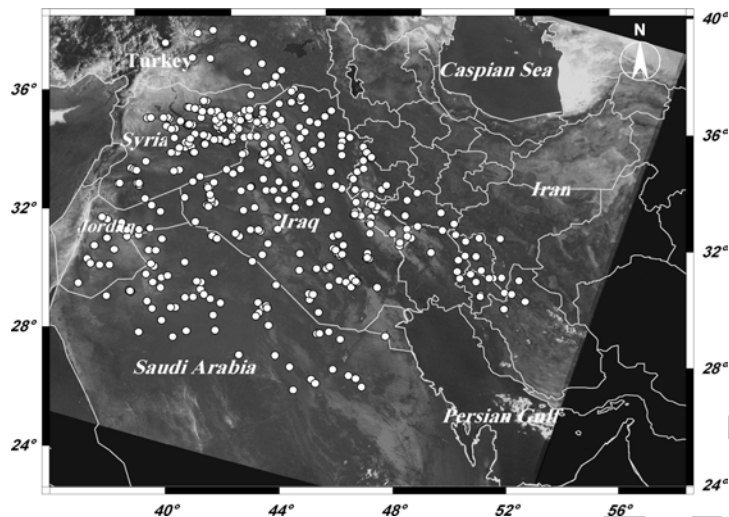
نحوه پراکندگی مجموع نقاط خاستگاه تعیین شده از کل تصاویر ماهواره‌ای، در شکل (۵) نشان داده شده است که بر روی تصویر ترکیب رنگی کاذب به تاریخ ۱۴ جولای ۲۰۰۹ تصویر شده است. همین نقاط بر روی نقشه شاخص پوشش گیاهی منطقه نیز تصویر شده است شکل (۶).

مقدار میانگین NDVI برای ۴۲۰ نقطه‌ی ردیابی شده، ۰/۱۳ محاسبه شد و حدود ۹۲ درصد نقطه‌های استخراج شده، NDVI کمتر از ۰/۲ دارند شکل (۷). که با توجه به شکل (۶)، مقایسه مقادیر NDVI خاستگاه‌ها با دیگر مناطق، بیانگر NDVI پایین خاستگاه‌ها می‌باشد. با کاهش پوشش گیاهی سرعت آستانه باد برای حمل ذرات خاک کاهش یافته و حجم بیش‌تری از مواد قابل انتقال می‌باشند (Gengsheng et al., 2001). بنابراین پوشش گیاهی ضعیف در این منطقه و توسعه صحرا، شرایط ایجاد مناطق خاستگاه گرد و غبار را بسیار مساعد نموده است.

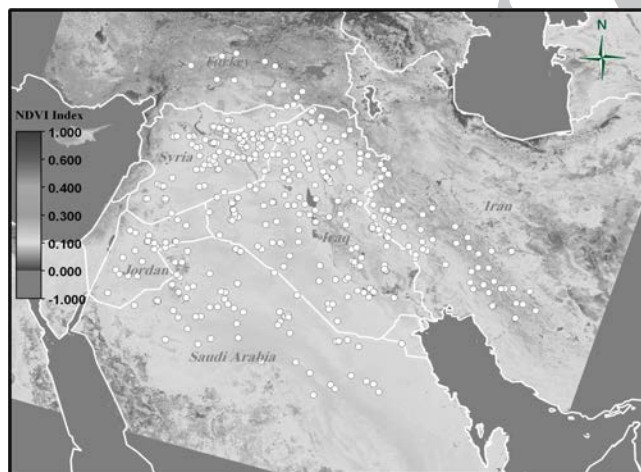


شکل ۴: بخشی از تصویر ترکیب رنگی کاذب بزرگ‌نمایی شده جهت نمایش برخی از خاستگاه‌های گرد و غبار،

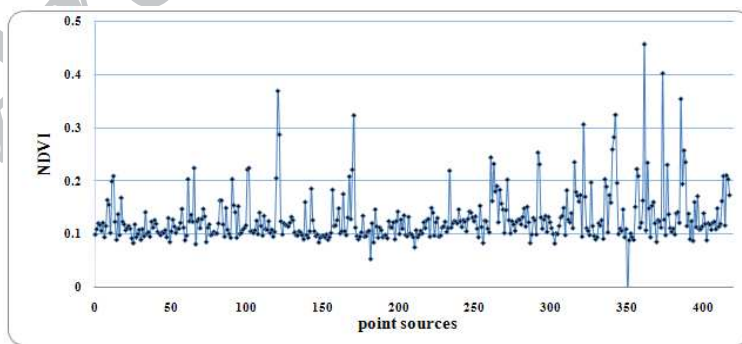
مربوط به تاریخ ۱۴ جولای ۲۰۰۹ ساعت ۷:۴۷



شکل ۵: نحوه پراکندگی نقاط خاستگاه ردیابی شده بر روی تصویر ترکیب رنگ کاذب به تاریخ ۱۴ جولای ۲۰۰۹



شکل ۶: پراکندگی نقاط خاستگاه ردیابی شده بر روی نقشه شاخص پوشش گیاهی (۲۵ ژوئن ۲۰۰۸) منطقه خاورمیانه



شکل ۷: مقادیر NDVI مربوط به ۲۰ نقطه خاستگاه شناسایی شده

نتیجه شکل‌گیری توفان‌های غباری در منطقه بود که با استفاده از نقشه نقطه‌ای و قرار گرفتن تعداد نقاط در

هدف دیگر این تحقیق تعیین نقش هر کدام از کشورهای منطقه در ایجاد مناطق خاستگاه غبار و در

نتیجه گیری

در این تحقیق، یک روش جدید بارزسازی غبار با استفاده از روش ترکیب رنگی کاذب توسعه داده شده است که در این روش تصاویر معرفی شده به باندهای R و G و B نه تنها از انعکاس‌های باندهای مختلف، بلکه از شاخص‌های تشخیص و بارزسازی گرد و غبار مختلف (BTD2931, BTDD3132, NDDI, D) انتخاب شدند. بهترین روش برای نمایش و بارزسازی خاستگاه‌های گرد و غبار ترکیب D, BTDD3132 و NDDI به ترتیب برای باندهای R, G و B تشخیص داده شد. با استفاده از ترکیب رنگی مذکور در ۲۸ تصویر ماهواره‌ای در حوادث گرد و غبار مختلف در طول یک سال خاستگاه‌های گرد و غباری تعیین شدند (حدود ۴۲۰ خاستگاه). نتایج نشان داد که سهم کشورهای عراق، سوریه، عربستان سعودی، ایران، اردن و ترکیه در توفان‌های گرد و غباری خاورمیانه به ترتیب ۳۹/۲، ۲۳، ۱۴/۵، ۱۳/۸ و ۵/۷ درصد می‌باشد. به این ترتیب بیش از ۶۰ درصد از غبار منطقه خاورمیانه توسط کشورهای عراق و سوریه ایجاد می‌شود. مشاهدات این تحقیق بر اساس توسعه یک نقشه معرف نواحی گرد و غبار در خاورمیانه، وجود سرزمین مستعد ایجاد غبار در غرب عراق و شرق سوریه را به اثبات رسانید که می‌توان این منطقه را مهمترین عامل غبارهای خاورمیانه معرفی کرد. عمده خاستگاه‌های گرد و غباری شناسایی شده دارای پوشش گیاهی ضعیف و ارتفاع کم بوده و جنس سطح زمین در این مناطق از رسوبات سخت نشده می‌باشند که تمام این عوامل در بروز توفان گرد و غبار با تبدیل یک منطقه به منطقه‌ای مستعد ایجاد توفان گرد و غبار نقش مؤثری دارند.

داخل سرزمین هر کشور این امر نیز تأمین گردید. نتایج این مرحله نشان داد که ۳۹/۲، ۲۳، ۱۴/۵، ۱۳/۸ و ۵/۷ درصد از نقاط خاستگاه غبار به ترتیب در داخل کشورهای عراق، سوریه، شمال عربستان سعودی، غرب ایران، اردن و ترکیه قرار می‌گیرند. این نتیجه سازگاری مناسبی با نتایج بخش‌های قبلی که نشان می‌دادند کشورهای عراق و سوریه دارای پوشش گیاهی ضعیف شکل (۶) و توپوگرافی پست شکل (۹) و نیز سنگ سطح رسوبی نسبتاً جوان و سخت نشده شکل (۸) می‌باشند، دارد.

نقشه نقطه‌ای ایجاد شده شامل نقاطی است که فقط دارای نمایش موقعیت جغرافیایی نقاط است و برای تولید یک نقشه که به جای نقاط، خاستگاه‌ها را به صورت نواحی ایجاد گرد و غبار (با شدت‌های مختلف) نشان دهد بایستی نقاط دارای ارزش عددی باشند. به این جهت نقشه‌ی نقطه‌ای شبکه‌بندی شد و برای مرکز هر کدام از شبکه‌ها، ارزشی به تعداد نقاط خاستگاه واقع در واحد شبکه تعیین گردید شکل (۱۰) و با توجه به تعداد نقاط واقع در هر شبکه، آن شبکه با دایره‌ای بزرگتر در شکل (۱۰) نمایش داده شده است.

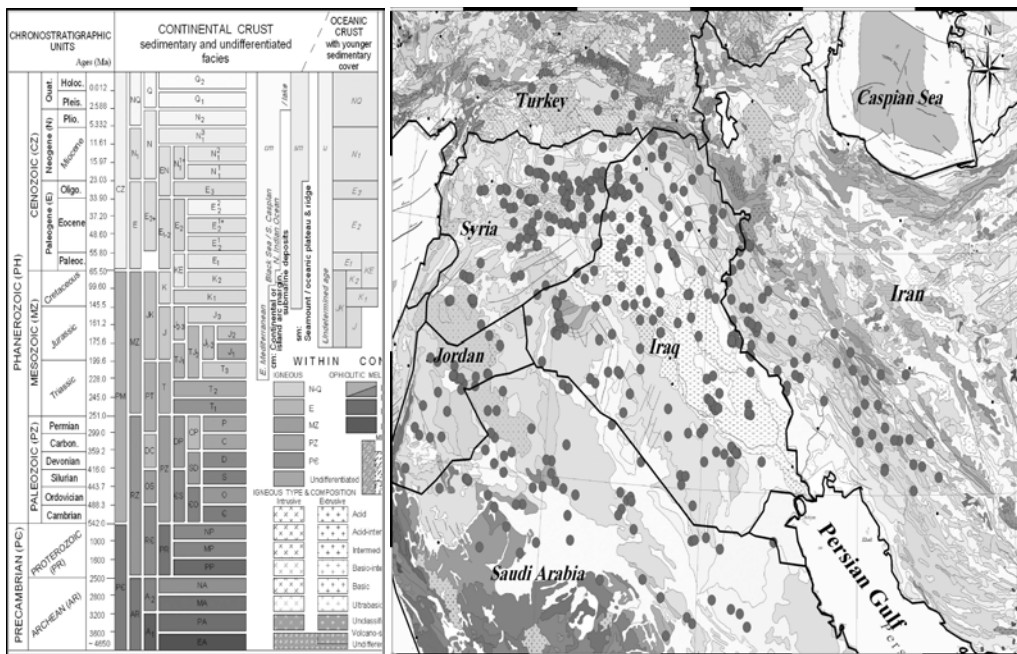
خروجی ایجاد شده، به عنوان نقشه پایه برای محاسبه نواحی خاستگاه گرد و غبار با استفاده از فرآیند درون‌یابی به روش عکس فاصله^۱ در محیط GIS قرار گرفت شکل (۱۱). نقشه شکل (۱۱) نشان دهنده وجود سرزمینی مستعد ایجاد غبار واقع در غرب عراق و شرق سوریه بوده و تأیید کننده این نکته است که شرایط زمین شناسی، ارتفاعی، پوشش گیاهی و آب و هوایی حوضه‌های دجله و فرات می‌تواند به شدت در ایجاد توفان‌های گرد و غبار مؤثر بوده و با حرکت غبارها به سمت سرزمین‌های مجاور در ایجاد این پدیده زیست محیطی سهم عمده‌ای را ایفا نمایند.

1. Inverse Distance Weighting

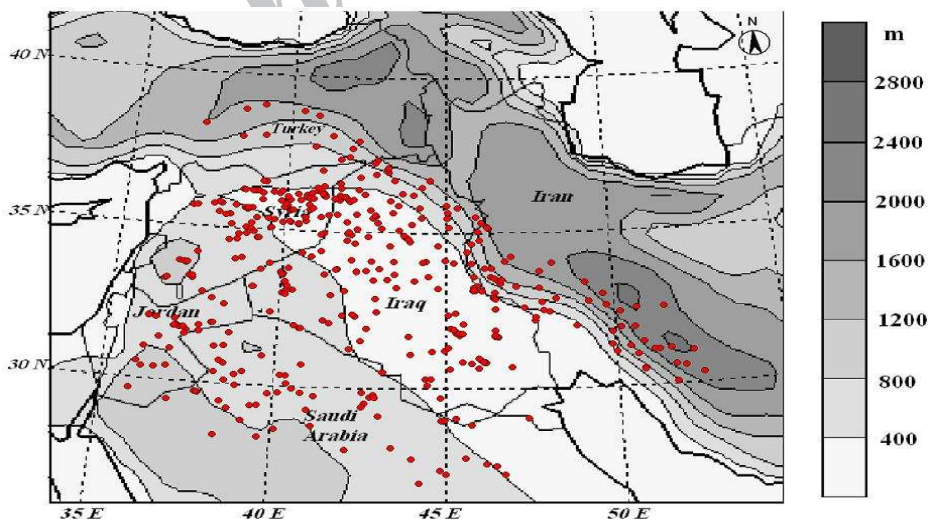
است لذا از همکاری صمیمانه مسئولین این سازمان تشکر و قدردانی می‌گردد.

سپاس‌گزاری

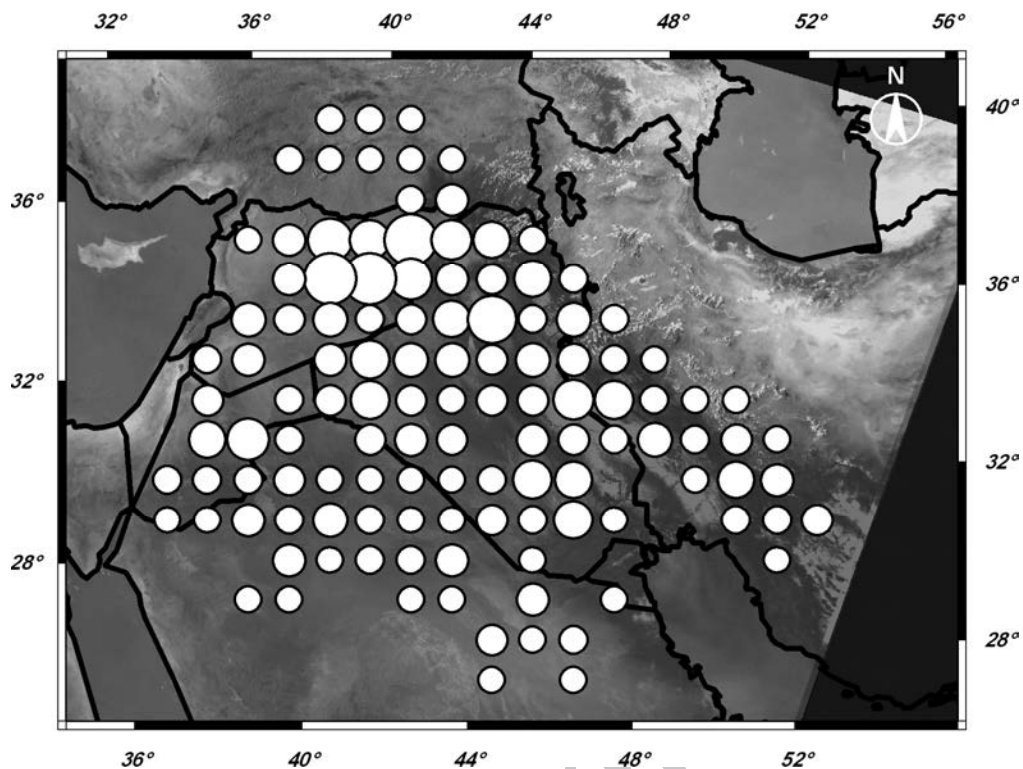
تصاویر به کار گرفته شده در این تحقیق توسط سازمان فضایی ایران آماده سازی و تأمین گردیده



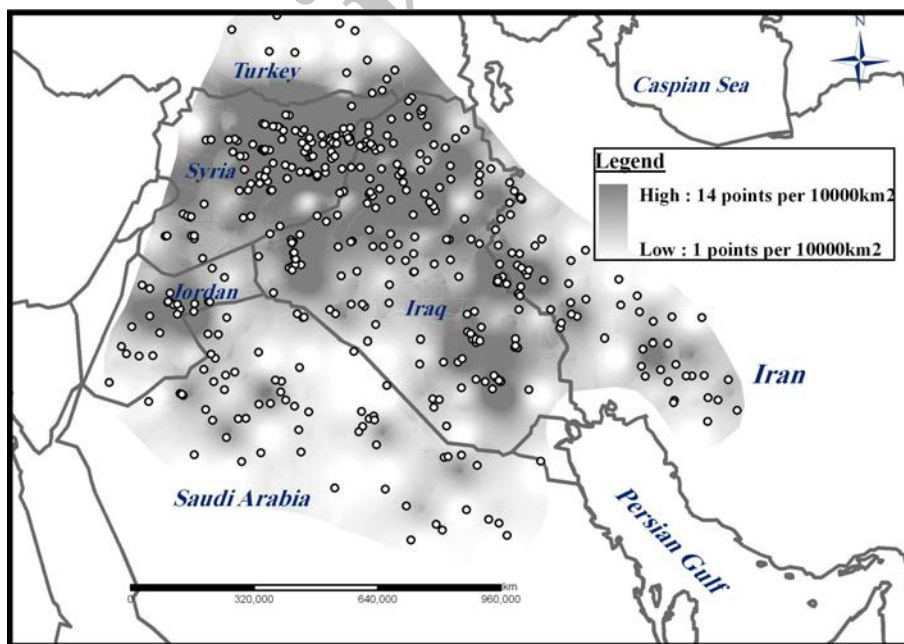
شکل ۸: پراکندگی نقاط خاستگاه ردیابی شده بر روی قسمتی از نقشه‌ی زمین‌شناسی خاورمیانه، (Haghipour et al., 2009).
(راهنمای استفاده از نقشه، در سمت چپ نقشه نشان داده شده است).



شکل ۹: نقشه نقاط خاستگاه بر روی نقشه مدل ارتفاعی منطقه خاور میانه (Evan and Smith, 2001)



شکل ۱۰: نقشه دارای ارزش عددی حاصل از نقشه نقاط خاستگاه به وسیله فرآیند شبکه‌بندی (دایره بزرگتر نشان دهنده تعداد نقاط منشأ بیشتر در واحد اندازه شبکه می باشد)



شکل ۱۱: نقشه معرف نواحی ایجاد غبار در منطقه خاورمیانه حاصل فرآیند درون یابی در محیط GIS

- منابع
- Ackerman, S. A., 1989, using the radiative temperature difference at 3.7 and 11 μ m to track dust outbreaks. *Rem. Sens. Environ.*, 27, pp. 129–133.
 - Ackerman, S. A., 1997, Remote sensing aerosols using satellite infrared observations. *Journal of Geophysical Research*, 102, pp. 17069–17080.
 - Anderson, J. W., 2004, An analysis of a dust storm impacting operation IRAQI freedom, 25-27 March 2003. MSc thesis. Naval Postgraduate School, Monterey, California.
 - Baddock, M. C., J. E Bullard and R. G. Bryant, 2009, Dust source identification using MODIS: A comparison of techniques applied to the Lake Eyre Basin Australia. *Remote Sensing of Environment*, 113, pp. 1511–1528.
 - Bullard, J. E., M. C. Baddock, G. H. McTinish and J. F. Leys, 2008, Sub-basin scale dust source geomorphology detected using MODIS. *Geophysical Research Letters*, 35(15), L15404.
 - Di, M., X. Lu, L. Sun and P. Wang, 2008, A Dust-Storm process dynamic monitoring with Multi-Temporal MODIS data. *Remote Sensing and Spatial Information Science XXXVII (part B7)*, pp. 965–969.
 - Dubovik, O., T. Lapyonok, Y. J. Kaufman, M. Chin, P. Ginoux, R. A. Kahn et al, 2008, Retrieving global sources from satellites using inverse modeling. *Atmos. Chem. Phys.*, 8(2), pp. 209-250.
 - EL-Askary, H. M. M. Kafatos and M. N. Hegazy, 2000, Environmental monitoring of dust storms over the Nile Delta, Egypt, Using MODIS Satellite Data. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 3, pp. 113-124.
 - Evan, J. P and R. B. Smith, 2001, Modeling the climate of Southwest Asia. *Proc. Of International Congress on Modeling and Simulation, MODSIM01*, Australian National University, Canberra, Australia, December 10-13.
 - Gengsheng, Y., X. Honglang and T. Wanquan, 2001, GLOBAL ALARM: Dust and sand storms from the world's dry lands. Mitigating the effects of disastrous sand-dust storms: A Chinese perspective. *UNCCD, Part VI*, pp. 283–318.
 - Haghipour, A., A. Saidi, A. Aghanabati, A. Moosavi, A. Mohebi, M. Sadeghi, T. Delavar, Sh. Eskandari, F. Bagheri and M. Zarei Nejad, 2009, International Geological Map of the Middle East: Scale, 1:5000000, Second Edition, Commission for the Geological Map of the World (CGMW), Subcommission for the Middle East.
 - Hao, X., J. J. Qu, B. Hauss and C. Wang, 2007, A high-performance approach for brightness temperature inversion, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 28, No. 21, pp. 4733-4743.
 - Hu, R. M and R. S. Sokhi, 2009, Light scattering and absorption properties of dust particles retrieved from satellite measurements. *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer*, 110, pp. 1698-1705.
 - Huang, J., J. Ge and F. Weng, 2007, Detection of Asian dust storms using multisensor satellite measurements. *Remote Sensing Environment*, 110, pp. 186–191.
 - Kaufman, Y. J., A. Karnieli, and D. Tanre, 2000, Detection of dust over deserts using satellite data in the solar wavelengths. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 38(1), pp. 525-531.
 - Klüser, L and K. Schepanski, 2009, Remote sensing of mineral dust over land with MSG infrared channels: A new Bitemporal Mineral Dust Index, *Remote Sensing of Environment*, 113, pp. 1853-1867.
 - Knight, J. F., R. L. Lunetta, J. Ediriwicherma and S. Khorram, 2006, Regional scale land-cover characterization using MODIS NDVI 250m multi-temporal imagery: A phenology based approach. *GIScience and Remote Sensing*, 43(1), pp. 1-23.
 - Kwon, H. J., S. H. Cho, Y. Chun, F. Langarde and G. Pershagen, 2002, Effects of the Asian dust events on daily mortality in Seoul, Korea. *Environ. Res. Sec A*, 90, pp. 1–5.
 - Mackinnon, D. J., P. S. Chavez Jr, R. S. Fraser, T. Niemeier, T. C., and Gillette, D. A., 1996. Calibration of GOES-VISSR visible-band satellite data and its application to the analysis of a dust storm at Owen Lake California. *Geomorphology*, 17, pp. 229-250.
 - Mahowald, N. M., J. A. Ballantine, J. Feddema and N. Ramankutty, 2007, Global trends in visibility: implications for dust sources. *Atmos. Chem. Phys.*, 7, pp.3309-3339.

21. Mie, D., L. Xiushan, S. Lin and W. Ping, 2008, A dust-storm process dynamic monitoring with multi-temporal MODIS data. The International Archives of photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVII. Part B7, pp. 965–969.
22. Miller, S. D., 2003, a consolidated technique for enhancing desert dust storms with MODIS. Geophysical Research Letters, 30, 20 (Art. no. 2071).
23. Ochirkhuyang, L and R. Tsolmon, 2008, S Monitoring the source of trans-national dust storms in north east Asia. Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol XXXVII, part B7, pp. 835–839.
24. Prospero, J. M., P. Ginoux, O. Torres, S. E. Nicholson and T. E. Gill, 2002, Environmental characterization of global sources of atmospheric soil dust identified with the Nimbus 7 Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) absorbing aerosol product. Review of Geophysics, 40, 1 (art.no.1002).
25. Pope, C. A., R. T. Brunett, M. J. Thum, E. E. Calle, D. Krewski, K. Ito and G. D. Thurston, 2002, Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. The Journal of American Medical Association, 287(9), pp. 1132–1141.
26. Qu, J. J., X. Hao, M. Kafatos and L. Wang, 2006, Asian Dust Storm Monitoring Combining Terra and Aqua MODIS SRB Measurements, IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, Vol. 3, No. 4, pp. 484-486.
27. Roscovensky. J. K and K. N. Liou, 2003, Detection of thin cirrus from 1.38 μm /0.65 μm reflectance ratio combined with 8.6 - 11 μm brightness temperature difference. Geophys. Res. Lett., 30(19), 1985, doi: 10.1029/2003GL018135.
28. Roscovensky. J. K and K. N. Liou, 2005, differentiating airborne dust from cirrus clouds using MODIS data. Geophysical Research Letters, 32, L12809. doi: 10.1029/2005GL022798.
29. Samet, J. M., F. Dominici, F. C. Currie, I. Coursac and S. L. Zeger, 2000, Fine particulate air pollution and mortality in 20 US cities, 1987-1994. The New England Journal of Medicine, 343, pp. 1742-1749.
30. Shenk, W. E and R. J. Curran, 1974, The detection of dust storms over land and water with satellite visible and infrared measurements. Mon. Weather Rev, 102, pp. 830-837.
31. Tegen, I., 2003, Modeling the mineral dust aerosol cycle in the climate system”, Quaternary Science Reviews, 22, pp.1821-1834.
32. Wilkerson, W. D., 1991, Dust and sand forecasting in Iraq and adjoining countries. Air weather service TN-91/001, p63.
33. Washington, R., M. C. Todd, N. J. Middleton, N. J and A. S. Goudie, 2003, Dust-Storm sources areas determined by the Total Ozone Monitoring Spectrometer surface observations, Annals of the Association of American Geographers, 93 (2), pp. 297-313.
34. Washington, R., and M. C. Todd, M, 2005, Atmospheric controls on mineral dust emission from Bodele Depression, Chad: The role of the low level jet. Geophysical Research Letters, 32, L17701.
35. Yang, Y. Q., Q. Hou, C. H. Zhou, H. L. Liu, Y. Q. Wang and T. Niu, 2008, Sand/dust storm processes in Northeast Asia and associated large-scale circulations. Atmospheric Chemistry and Physics 8, pp. 25–23.
36. Zha, Y and L. Li, 2007, Influence of the 17 April 2006 dust storm on Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer data for land cover identification. Journal of Geophysical Research, 112, D14205.
37. Zheng, X., F. Lu, X. Fang, Y. Wang and L. Guo, 1998, Study of dust storms in china using satellite data, SPIE Proc. on Optical Remote Sensing of the Atmosphere and Cloud, Edited by J. Wang, B., Wu, T., Ogawa, and Z., Guan, Proc. Vol. 3501, pp. 163-168.