

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده علوم زمین

گروه زیست محیطی

بررسی توفان های گرد و غبار و اثرات زیست محیطی آنها با استفاده از تصاویر ماهواره ای در غرب و جنوب غرب ایران

خدیجه کریمی

اساتید راهنما

دکتر ناصر حافظی مقدس

دکتر حمید طاهری شهرآیینی

استاد مشاور

دکتر مجید حبیبی نوخندان

پایان نامه کارشناسی ارشد

تیر ۱۳۹۰

تقدیم به روح پاک پدر و مادر عزیزم

و

تقدیم به همه‌ی هم‌وطنانم که در روزهای تاریک غباری

نفس ایشان تنگ شد

امید که یافته‌های این تحقیق، هر چند اندک،

غبار از چشم انداز هم‌وطنانم بردارد

راهشان تابانی آتشی پاک و روشن باد.

تقدیر و تشکر

سپاس بی حد به درگاه ایزد منان، خدای مهربان که نعمت حیات، کسب علم و شاگردی در محضر استادان دانشمند و گران قدر را نصیبم فرمود هر چند فضل عنایت خداوندی را شمار نتوان کرد چه رسد به شکر آن بی همتای سرمد.

اینک که به یاری خداوند و مساعدت استادان عالی قدر رو به پایان این دوره از تحصیل قرار دارم به مصداق فرمایش مولای متقیان علی علیه السلام که فرمود: «من علمنی حرفا قد سیرنی عبدا» بر خود لازم می دانم با کمال ادب و احترام از زحمات بی شائبه‌ی دانشمند ارجمند جناب آقای دکتر طاهری شهرآیینی که پیگیری مجدانه‌ای در تمامی مراحل تحقیق داشتند و بی حضورشان این امر از عهده‌ی من ساخته نبود، صمیمانه تشکر و قدردانی نمایم. همچنین از بذل توجه جناب آقایان دکتر حافظی مقدس به جهت راهنمایی‌های بسیار ارزنده‌شان و دکتر حبیبی به خاطر راهنمایی‌ها و حمایت‌های بی دریغ‌شان، طی مراحل انجام تحقیق بی نهایت سپاس گزارم.

از استادان گرامی سرکار خانم دکتر دهرآزما و جناب آقایان: دکتر کرمی، دکتر امیدی و دکتر قاسمی که افتخار شاگردی‌شان را در این دوره‌ی تحصیلی داشته‌ام، بسیار تشکر می کنم. از مسئولین سازمان فضایی ایران به ویژه آقای مهندس پناهنده که تصاویر ماهواره‌ای را در اختیارم قرار دادند، سپاس‌گزاری می نمایم. از سرکار خانم مهندس ملبوسی مسئول بانک داده‌های اقلیمی پژوهشکده‌ی اقلیم‌شناسی مشهد به سبب فراهم آوردن داده‌های هواشناسی مورد نیاز کمال امتنان را دارم. از یاری صمیمانه‌ی خانم مهندس فارسی و خانم مهندس سعیدی و آقای مهندس خان علیزاده تشکر فراوان دارم. از همراهی و محبت دوستانم خانم‌ها: ادهمی، ندایی، حیدریان، رحیمی، موسوی و حسنوند و آقایان: شریفی، بسکابادی، گراوند و یگانه صمیمانه قدردانی می نمایم. از صبر و شکیبایی همسر عزیزم و تحمل فرزندانم سپیده و علیرضا و یاری خواهران و برادر بسیار مهربانم سپاس ویژه دارم. از تمامی عزیزانی که لطفشان شامل حال اینجانب بوده و نام آن‌ها در این صفحه نیامده است سپاس‌گزاری می نمایم. در پایان از درگاه ایزد یکتا، برای تمامی عزیزان، سلامت، سعادت و سربلندی خواستارم.

چکیده

واقع شدن ایران در کمربند بیابانی کره زمین و وضعیت اقلیمی خشک و نیمه خشک منطقه‌ی خاورمیانه، هرچند مسئله‌ی وقوع توفان گرد و غبار را اجتناب ناپذیر می‌نماید اما تشدید این پدیده‌ی زیست محیطی در سال‌های اخیر به‌ویژه در مناطق غربی و مرکزی ایران می‌تواند بنا به دلایل طبیعی و انسانی باشد. شناخت مناطق منشاء ذرات غبار در منطقه و چگونگی پخش آن، در مدیریت این سرزمین‌ها و کاهش اثرات و حتی کاهش وقوع توفان‌های گرد و غباری مؤثر خواهد بود. بدین منظور در این تحقیق با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور اقدام به شناسایی مناطق منشاء ذرات گرد و غبار و نحوه‌ی پخش آن شد. در این راستا جهت ردیابی مناطق گرد و غباری، پارامترهای مناسب قابل استخراج از روی ۲۸ تصویر ماهواره‌ای سنجنده‌ی MODIS شامل اختلاف دمای روشنایی (BTDR) در باندهای مادون قرمز حرارتی، پارامتر D (تلفیق باندهای حرارتی و انعکاسی) و اندیس نرمالیزه‌ی گرد و غبار (NDDI) محاسبه گردید. توانایی این پارامترها در ردیابی گرد و غبار، با برازش دادن توابع خطی و نمایی بر داده‌های هواشناسی قابلیت دید در مقابل پارامترهای محاسبه شده، مورد ارزیابی قرار گرفت که بالاترین همبستگی را پارامتر D با داده‌های قابلیت دید برقرار کرد. بر اساس داده‌های پارامتر D استخراج شده از تصاویر موجود مربوط به ۴۱ ایستگاه، نقشه‌های قابلیت دید تهیه گردید و سپس این نقشه‌ها به نواحی با شدت‌های متفاوت گرد و غباری طبقه‌بندی شدند و در نهایت نقشه‌های قابلیت دید مبنای محاسبه‌ی نقشه‌های غلظت غبار بر اساس یک فرمول تجربی قرار گرفتند و به این ترتیب نقشه‌های غلظت غبار در اتمسفر ایجاد شد. برای ردیابی مناطق منشاء غبار، اولین قدم، اجرای الگوریتمی است که بتواند پیکسل‌های غباری را به بهترین حالت بارزسازی نماید. الگوریتم به کار گرفته در این بررسی، یک تکنیک ترکیب رنگ کاذب (FCC) بوده که از پارامترهای ردیابی گرد و غبار محاسبه شده در مراحل قبل، استفاده نموده است. از تصاویر بارز شده، ۴۲۰ نقطه‌ی منشاء استخراج گردید و محاسبه‌ی تعداد نقاط منشاء واقع در قلمرو سرزمینی کشورهای منطقه‌ی مورد مطالعه ثابت نمود که کشورهای عراق، سوریه، شمال عربستان سعودی، غرب ایران، اردن و ترکیه به ترتیب با ۳۹/۲، ۲۳، ۱۴/۵، ۱۳/۸ و ۵/۷ درصد از نقاط استخراج شده را به خود اختصاص داده‌اند و لذا می‌توانند به همین نسبت در تولید غبار منطقه نقش داشته باشند. ضمناً نقشه‌ی نقطه‌ای حاصل، با فرآیند درون‌یابی در محیط GIS به نقشه‌ی نواحی با تراکم متفاوت تولید ذرات غبار تبدیل شد و نتایج بیانگر این مطلب بود که غرب و شمال غرب عراق و شرق سوریه مهمترین منشاء‌های بروز گرد و غبار در منطقه هستند. در بخش پایانی این تحقیق، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای یک دوره‌ی گرد و غباری از ۱۳ تا ۱۷ تیر ۱۳۸۸ و نیز داده‌های سرعت و جهت باد مربوط به ۵۶ ایستگاه

هواشناسی (عمدتاً مستقر در غرب و مرکز ایران) و ایجاد نقشه‌های در بردارنده‌ی برآیند سرعت و جهت باد برای هر کدام از روزهای این دوره‌ی زمانی، نحوه‌ی حرکت و انتشار غبار از محل منشاء تا نواحی مرکزی ایران تعیین گردید. توده‌ی غبار، بعد از بلند شدن از منشاء اصلی ایجاد گرد و غبار (شمال غرب عراق و شرق سوریه)، به سمت شرق و جنوب شرق حرکت کرده و بخشی از آن در برخورد با ارتفاعات زاگرس به سمت جنوب تغییر مسیر داده است. توده بعد از عبور از بخش انتهایی رشته کوه زاگرس و وارد شدن به بخش‌های مرکزی ایران، در جهت شرق و شمال شرق ادامه‌ی مسیر داده و توانسته به نیمه‌ی شمالی و حتی شرق کشور نیز نفوذ داشته باشد.

کلمات کلیدی: توفان گرد و غبار، منشاء گرد و غبار، خاورمیانه، تصاویر ماهواره‌ای، غرب و جنوب

غرب ایران

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه:

1-Karimi, K., Taheri Shahraini, H., Habibi Nokhandan, M., Hafezi Moghadas, N., Sanaeifar, M., "A new false color composite technique for dust enhancement and point source determination in Middle East", 19-22 September 2011 Clarion Congress Hotel Prague in Prague, Czech Republic, Paper Number: 8177-39.

۲- کریمی، خ، طاهری شهرآیینی، ح، حبیبی نوخندان، م، حافظی مقدس، ن، " شناسایی منشاءهای تولید گرد و غبار در خاورمیانه"، نشریه پژوهش‌های اقلیم شناسی.

۳- کریمی، خ، طاهری شهرآیینی، ح، حافظی مقدس، ن، حبیبی نوخندان، م، " ارزیابی منشاء و مسیر حرکت توفان گرد و غباری ۱۳ تا ۱۷ تیر ماه ۱۳۸۸"، هفتمین کنفرانس زمین شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، دانشگاه صنعتی شاهرود، شهریور ۱۳۹۰.

فهرست مطالب

فصل اول

- کلیات ۱
- ۱-۱- بیان مسئله ۲
- ۲-۱- ضرورت انجام تحقیق ۳
- ۳-۱- اهداف تحقیق ۴
- ۴-۱- ساختار پایان نامه ۵

فصل دوم

- مطالعه‌ی روش‌های ارزیابی توفان‌های گرد و غبار و اثرات زیست محیطی آنها ۶
- ۱-۲- مقدمه ۷
- ۲-۲- مروری بر مطالعه‌ی پدیده‌ی گرد و غبار (در منابع خارجی) ۱۰
- ۳-۲- مروری بر مطالعه‌ی پدیده‌ی گرد و غبار (در ایران) ۱۸
- ۴-۲- اثرات زیست محیطی توفان‌های گرد و غبار ۲۱

فصل سوم

- خصوصیات منطقه‌ی مطالعاتی و داده‌های مورد استفاده ۲۶
- ۱-۳- مقدمه ۲۷
- ۲-۳- وضعیت اقلیمی خاورمیانه ۲۷
- ۳-۳- زمین‌شناسی خاورمیانه ۲۹
- ۴-۳- داده‌های مورد استفاده ۳۶
- ۱-۴-۳- داده‌های هواشناسی ۳۶
- ۲-۴-۳- تصاویر ماهواره‌ای ۳۸

فصل چهارم

۴۰	روش انجام مطالعات
۴۱	۱-۴- مقدمه
۴۳	۲-۴- تعیین روزهای غباری و دریافت تصاویر ماهواره‌ای
۴۴	۳-۴- محاسبه‌ی پارامترهای ردیابی گرد و غبار و نقشه‌ی شاخص پوشش گیاهی
۴۴	۱-۳-۴- اختلاف دمای روشنایی (BTD)
۴۷	۲-۳-۴- اندیس نرمالیزه گرد و غباری NDDI
۴۸	۳-۳-۴- پارامتر D (پیشنهاد شده توسط روسکووینسکی و لیو)
۴۹	۴-۳-۴- تهیه‌ی نقشه‌ی شاخص پوشش گیاهی (NDVI)
۵۱	۴-۴- مقایسه‌ی پارامترهای ردیابی گرد و غبار
۵۱	۵-۴- تهیه‌ی نقشه‌های قابلیت دید و نقشه‌های غلظت غبار
۵۲	۶-۴- ساختن تصاویر ترکیب رنگ کاذب (FCC) و بارزسازی مناطق گرد و غباری
۵۳	۷-۴- تعیین نقاط منشاء غبار
۵۴	۸-۴- تعیین سهم کشورهای منطقه در تولید ذرات گرد و غبار
۵۴	۹-۴- تصویر کردن نقشه‌ی نقاط منشاء روی نقشه‌ی زمین‌شناسی
۵۵	۱۰-۴- تعیین نحوه‌ی حرکت غبار

فصل پنجم

۵۸	نتایج و بحث
۵۹	۱-۵- مقدمه
۵۹	۲-۵- مقایسه‌ی پارامترهای ردیابی گرد و غبار
۵۹	۱-۲-۵- رابطه‌ی BTD_{3132} با قابلیت دید
۶۰	۲-۲-۵- رابطه‌ی BTD_{2931} با قابلیت دید
۶۲	۳-۲-۵- رابطه‌ی NDDI با قابلیت دید
۶۳	۴-۲-۵- رابطه‌ی پارامتر D با داده‌های قابلیت دید

۶۶	..... ۵-۲-۵- انتخاب پارامتر مناسب
۶۷	..... ۵-۳- تولید نقشه‌های قابلیت دید
۶۸	..... ۵-۴- طبقه بندی نقشه‌های قابلیت دید
۷۱	..... ۵-۵- تولید نقشه‌های غلظت گرد و غبار
۷۴	..... ۵-۶- تعیین مناطق منشاء گرد و غبار
۷۴	..... ۵-۶-۱- تهیه تصاویر ترکیب رنگ کاذب و بارزسازی مناطق گرد و غباری
۷۸	..... ۵-۶-۲- توزیع نقاط منشاء ردیابی شده روی نقشه‌ی زمین‌شناسی
۸۰	..... ۵-۶-۳- توزیع نقاط منشاء روی نقشه‌ی شاخص پوشش گیاهی
۸۲	..... ۵-۶-۴- تعیین نقاط منشاء ایجاد غبار در کشورهای منطقه
۸۳	..... ۵-۷- نحوه‌ی انتشار غبار در منطقه
۸۹	..... ۵-۸- پدیده‌ی غبار در سال ۱۳۹۰

فصل ششم

۹۲	..... نتیجه‌گیری و پیشنهادات
۹۳	..... ۶-۱- مقدمه
۹۳	..... ۶-۲- نقشه‌های قابلیت دید و نقشه‌های غلظت غبار
۹۴	..... ۶-۳- نقشه‌ی مناطق منشاء غبار
۹۴	..... ۶-۴- نحوه‌ی انتشار غبار
۹۵	..... ۶-۵- پیشنهادات
۹۷	..... منابع
۱۰۵	..... پیوست

فهرست شکل‌ها و جدول‌ها

- شکل ۳-۱: محدوده‌ی منطقه‌ی مورد مطالعه ۲۷
- شکل ۳-۲: کمربند توزیع جهانی غبار ۲۹
- شکل ۳-۳: ناحیه‌ی منشاء گرد و غبار جنوب غرب آسیا ۳۰
- شکل ۳-۴: نقشه‌ی زمین‌شناسی خاورمیانه ۳۴
- شکل ۳-۵: موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی (با داده‌های قابلیت دید) ۳۷
- شکل ۳-۶: موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی (با داده‌های سرعت و جهت باد) ۳۸
- شکل ۴-۱: الگوریتم تحقیق ۴۱
- شکل ۴-۲: منحنی‌های طیفی انعکاسی مربوط مناظر سطحی ۴۸
- شکل ۴-۳: نقشه‌ی شاخص پوشش گیاهی محاسبه شده ۵۰
- شکل ۴-۴: فلوجارت مربوط به الگوهای ساخت ترکیب رنگ کاذب از تصاویر ماهواره‌ای ۵۳
- شکل ۴-۵: زاویه باد اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های هواشناسی ۵۶
- شکل ۵-۱: توابع خطی و نمایی برازش داده شده بر پارامتر BTD_{3132} و داده‌های قابلیت دید ۶۰
- شکل ۵-۲: توابع خطی و نمایی برازش داده شده بر پارامتر BTD_{2931} و داده‌های قابلیت دید ۶۲
- شکل ۵-۳: توابع خطی و نمایی برازش داده شده بر پارامتر $NDDI$ و داده‌های قابلیت دید ۶۳
- شکل ۵-۴: توابع خطی و نمایی برازش داده شده بر پارامتر D و داده‌های قابلیت دید ۶۴
- شکل ۵-۵: تصویر ماهواره‌ای ۲ جولای ۲۰۰۸ و نمایش چهار پارامتر محاسبه شده ۶۵
- شکل ۵-۶: پراکندگی داده‌های حاصل از مدل در مقابل داده‌های هواشناسی ۶۶
- شکل ۵-۷: تصویر ماهواره‌ای، ۱۵ سپتامبر ۲۰۰۸ و نقشه‌ی قابلیت دید تهیه شده از آن ۶۷
- شکل ۵-۸: تصویر طبقه بندی شده‌ی حاصل از نقشه‌ی میدان دید ۷۱
- شکل ۵-۹: نمونه‌ای از هیستوگرام تصاویر ۷۳
- شکل ۵-۱۰: هیستوگرام یک نمونه تصویر دارای دو پیک فراوانی ۷۳
- شکل ۵-۱۱: تصویر ماهواره‌ای، ۱۷ ژوئن ۲۰۰۸ و نقشه‌ی غلظت گرد و غبار حاصل از آن ۷۴

- شکل ۵-۱۲: تصویر ماهواره‌ای ۱۵ سپتامبر ۲۰۰۸ و چهار روش ترکیب رنگ کاذب ۷۶
- شکل ۵-۱۳: نمایش موقعیت بعضی از نقاط منشاء ردیابی شده روی تصویر ترکیب رنگ کاذب ۷۷
- شکل ۵-۱۴: پراکندگی نقاط منشاء ردیابی شده بر روی تصویر ترکیب رنگ کاذب ۷۸
- شکل ۵-۱۵: توزیع نقاط منشاء ردیابی شده روی نقشه‌ی زمین‌شناسی خاورمیانه. ۷۹
- شکل ۵-۱۶: نقشه‌ی توپوگرافی جنوب غرب آسیا و نقاط منشاء ۸۰
- شکل ۵-۱۷: نقشه‌ی پوشش گیاهی محاسبه شده از تصویر ماهواره‌ای ۸۰
- شکل ۵-۱۸: نمودار مقادیر NDDI مربوط به ۲۱۴ نقطه‌ی ردیابی شده روی تصاویر ۸۱
- شکل ۵-۱۹: نقشه‌ی دارای ارزش عددی حاصل از فرآیند شبکه‌بندی ۸۲
- شکل ۵-۲۰: نقشه‌ی معرف نواحی ایجاد غبار در منطقه‌ی خاورمیانه ۸۳
- شکل ۵-۲۱: تصویر ماهواره‌ای ۴ جولای ۲۰۰۹ و بردارهای برآیند سرعت و جهت باد ۸۵
- شکل ۵-۲۲: تصویر ماهواره‌ای ۵ جولای ۲۰۰۹ و بردارهای برآیند سرعت و جهت باد ۸۶
- شکل ۵-۲۳: تصویر ماهواره‌ای ۶ جولای ۲۰۰۹ و بردارهای برآیند سرعت و جهت باد ۸۷
- شکل ۵-۲۴: تصویر ماهواره‌ای ۷ جولای ۲۰۰۹ و بردارهای برآیند سرعت و جهت باد ۸۸
- شکل ۵-۲۵: تصویر ماهواره‌ای ۸ جولای ۲۰۰۹ و بردارهای برآیند سرعت و جهت باد ۸۹
- شکل ۵-۲۶: تصویر ماهواره‌ای ۱۲ آوریل ۲۰۱۱ (۲۳ فروردین ۱۳۹۰) ۹۰
- شکل ۵-۲۷: تصویر ماهواره‌ای ۱۳ آوریل ۲۰۱۱ (۲۴ فروردین ۱۳۹۰) ۹۱
- شکل ۵-۲۸: تصویر ماهواره‌ای ۱۴ آوریل ۲۰۱۱ (۲۵ فروردین ۱۳۹۰) ۹۱
- جدول ۴-۱: نحوه‌ی محاسبه‌ی برآیند سرعت و جهت باد ۵۷
- جدول ۵-۱: طبقه‌بندی استاندارد گرد و غبار بر اساس شدت ۶۹
- جدول ۵-۲: اساس طبقه‌بندی نقشه‌های قابلیت دید ۷۱

فصل اول

کلیات

۱-۱- بیان مسئله

توفان گرد و غبار، فرآیند پیچیده‌ای است که تحت تأثیر فعل و انفعالات سیستم‌های اتمسفری زمین بوده و اساساً شرایطی مانند سرعت زیاد باد، خاک برهنه و هوای خشک باعث ایجاد آن می‌شود. توفان گرد و غبار می‌تواند روی تغییرات آب و هوایی اثر گذاشته و سبب آسیب‌های بزرگی برای مردم شود (Mei 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 درجه‌ی شمالی و جنوبی کره‌ی زمین بیشتر از سایر نقاط جهان رخ می‌دهد. 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 شده که به این هوای تغییر یافته، هوای آلوده گویند. آلوده‌کننده‌ها را معمولاً به عنوان موادی که باعث تغییرات قابل توجهی بر روی بشر، حیوانات، گیاهان یا مواد می‌شوند طبقه‌بندی می‌کنند. بر این اساس تقریباً هر ماده‌ی طبیعی یا مصنوعی که وارد هوا شده و خواص آن را تغییر دهد، به عنوان آلوده کننده‌ی هوا شناخته می‌شود (Diem and Comrie, 2002).

توفان‌های گرد و غباری باعث از بین رفتن خاک و بدتر از آن حذف مواد ارگانیک و مواد مغذی خاک می‌شوند، همچنین تأثیر ساینده‌ی توفان، به سرشاخه‌های گیاهان جوان آسیب می‌زند که در نهایت می‌توان کاهش قابل توجه محصولات کشاورزی را انتظار داشت. از دیگر اثرات اقتصادی گرد و غبار کاهش قابلیت دید^۱ و در نتیجه مختل شدن پرواز هواپیماها و حمل و نقل جاده‌ای، کاهش مقدار نور رسیده به سطح زمین، افزایش تشکیل ابر و ایجاد عایق حرارتی، تیره شدن منظره‌ی خورشید (البته در غلظت‌های بالای گرد و غبار) و نیز تأثیر بر سلامتی انسان‌ها به علت تنفس گرد و غبار می‌باشد. در هر صورت، ذرات گرد و غبار در جو، اثرات کوتاه مدت و بلند مدتی را به همراه دارند که اثرات طولانی

¹ visibility

مدت این توفان ها شدیدتر و مخرب تر بوده و کل سیاره ی زمین را تحت تأثیر قرار می دهد. تحقیقات اخیر در آمریکا نشان داده که ارتباط مستقیمی بین ظاهر شدن غلظت های بالای ذرات موجود در هوا با افزایش مرگ و میر ناشی از بیماری های قلبی- عروقی، بیماری های تنفسی و سرطان ریه وجود دارد (Pope et al., 2002; Samet et al., 2000).

کشور ایران به علت واقع شدن در کمربند بیابانی کره ی زمین، از پدیده ی توفان گرد و غبار و ماسه در امان نیست. به دلیل موقعیت جغرافیایی ایران در کمربند خشک و نیمه خشک جهان، این کشور مکرراً در معرض سیستم های گرد و غباری محلی و هم دیدی^۱ قرار می گیرد، غرب ایران نیز با توجه به نزدیکی به بیابان های کشورهای مجاور در معرض سیستم های گرد و غباری متعدد می باشد (ذوالفقاری و عابدزاده، ۱۳۸۴). در سال های اخیر به دلایل مختلف وقوع این پدیده در حال افزایش است.

۱-۲- ضرورت انجام تحقیق

اخیراً منطقه ی بحرانی جدیدی در شمال غرب عراق به عنوان کانون جدید ایجاد توفان گرد و خاک شکل گرفته که قبلاً دارای این رفتار نبوده است و استان های غربی و حتی مرکزی کشور را به دایره ی غبارهای غلیظ کشانده است. کم فشارهای بسته روی عراق و شمال عربستان سبب ایجاد شرایط مناسب برای صعود حجم عظیمی از گرد و خاک به هوا می شود که در صورت خشک بودن منطقه، این غبار و گرد و خاک به وسیله باد به سطوح میانی جو نواحی جنوب غربی و غرب ایران منتقل می شود. اگر شرایط ناپایدار روی فلات ایران منتقل شود و دارای رطوبت مناسب باشد معمولاً ابرهای تشکیل شده در این شرایط دارای بارندگی های گل آلود هستند، اما اگر شرایط ناپایدار ایجاد شده خشک باشد این وضعیت به صورت کاهش دید عمودی و افقی در منطقه ظاهر می شود. در برخی شرایط وضعیت ناپایدار ایجاد شده در جلگه ی عراق به فلات ایران منتقل نمی شود و اگر روی غرب فلات ایران شرایط

¹synoptic

نسبتاً پایدار باشد، در این شرایط غبار ایجاد شده به دلیل سکون و پایداری هوا روی منطقه از نظر زمانی دوام بیشتری داشته و روند نشست آن‌ها به سطح زمین و تهویه‌ی هوا از غبار بین ۳ تا ۵ روز و گاهی بیشتر دوام خواهد داشت (حیدری، <http://www.hamshahrionline.ir>). به رغم اهمیت زیاد توفان‌ها، از نظر برداشت و جابجایی ذرات رویه‌ی خاک مانند هوموس، رس و املاح خاک که می‌تواند علاوه بر کاهش حاصل‌خیزی اراضی کشاورزی، موجب آلودگی هوا، مشکلات تنفسی و کاهش قابلیت دید به خصوص برای تردد وسایل نقلیه نیز گردد، تحقیقات کمی در ایران بر روی آن انجام شده است. یکی از دلایل، مشکلات مربوط به اندازه‌گیری این پدیده می‌باشد (ایرانمنش و همکاران، ۱۳۸۴). مشاهدات سال‌های اخیر نشان‌دهنده‌ی افزایش فراوانی وقوع این پدیده، در استان‌های 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 کننده‌ی 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 اتمسفری هستند باید ابتدا مناطق مستعد برای تولید گرد و غبار را شناسایی کرد. یکی از روش‌های بسیار مؤثر در زمینه ردیابی مناطق منشاء، استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور می‌باشد، چرا که این روش‌ها علاوه بر صرف وقت و هزینه‌ی کمتر می‌توانند بسیار دقیق و وسیع عمل کرده و ما را به کشف چشمه‌های گرد و غبار و نحوه‌ی توزیع این منابع در منطقه‌ی مورد مطالعه هدایت کنند.

۱-۳- اهداف تحقیق

مطالعه‌ی منابع مختلف نشان می‌دهد که تاکنون تحقیق جامعی روی یافتن منابع انتشار گرد و غبار در مناطق غرب و جنوب غرب ایران و یافتن کانون‌ها انجام نشده و همچنین روش مناسب مدل‌سازی پخش این غبارها به کمک سنجش از دور در مناطق غرب و جنوب غرب ایران تعیین نشده است. در

این بررسی هدف تعیین مناطق منشاء گرد و غبار و نحوه توزیع چشمه‌های گرد و غباری با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای مربوط به روزهای گرد و غباری سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹ و تفسیر چشمی از روی تصاویر ترکیب رنگ کاذب می‌باشد که در همین راستا سهم هر کدام از کشورهای منطقه در ایجاد ذرات غبار و انتشار آلودگی در همین دوره‌ی زمانی تعیین خواهد شد. در ادامه شاخص‌های ردیابی گرد و غبار از روی تصاویر استخراج و بهترین آن‌ها برای منطقه‌ی خاورمیانه انتخاب و نقشه‌های شدت غبار بر اساس قابلیت دید ایجاد و طبقه‌بندی شده و نیز نقشه‌های غلظت غبار در منطقه‌ی مورد مطالعه تولید می‌گردد. در نهایت با به کار بردن تصاویر ماهواره‌ای، نحوه‌ی انتشار و مسیر حرکت توده غبار مورد نظر می‌باشد.

۱-۴- ساختار پایان‌نامه

مجموعه‌ی حاضر در شش فصل تنظیم گردیده‌است، شامل:

فصل اول: کلیات، ضرورت و اهداف تحقیق.

فصل دوم: مروری کوتاه بر مطالعه‌ی روش‌های ارزیابی توفان‌های گرد و غبار با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور ماهواره‌ای و اثرات زیست محیطی آن‌ها در تحقیقات داخلی و خارجی.

فصل سوم: معرفی منطقه‌ی مورد مطالعه از نظر وضعیت جغرافیایی، اقلیمی و زمین‌شناسی و نیز داده‌های مورد استفاده در تحقیق شامل تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های هواشناسی.

فصل چهارم: روش انجام مطالعات و معرفی پارامترهای مناسب ردیابی گرد و غبار از روی تصاویر ماهواره‌ای که در این تحقیق به کار گرفته شده‌اند. در این فصل نحوه‌ی تولید نقشه‌های قابلیت دید و نیز نقشه‌های غلظت غبار توضیح داده خواهد شد.

فصل پنجم: ارزیابی نتایج روش‌های سنجش از دور به کار گرفته شده در تحقیق.

فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

فصل دوم

مطالعه‌ی روش‌های ارزیابی توفان‌های
گرد و غبار و اثرات زیست محیطی آنها

۲-۱- مقدمه

باد را به جز در نواحی کوهستانی که تأثیر توپوگرافی بیشتر مشهود است، می‌توان جابه‌جایی تقریباً افقی هوا دانست. سرعت آن نیز به دو عامل بستگی دارد: ۱- اختلاف فشار در واحد طول، یعنی به مقدار افقی گرادیان، هر اندازه خطوط هم فشار نزدیک هم قرار گیرند، یا هر اندازه که سطوح هم فشار مایل باشند، باد نیز به همان اندازه شدیدتر خواهد بود. ۲- تراکم هوا، هر اندازه تراکم هوا کم باشد، جابه‌جایی آن سریع‌تر خواهد بود. این امر در ارتفاعات و در گرادیان مساوی، بادهای شدیدتری را موجب می‌شود (گودار و استین، ۱۳۶۶).

باد عامل اصلی حرکت و جابه‌جایی خاک به حساب می‌آید. توفان گرد و غبار، نامی است عمومی برای توفان ماسه^۱ و توفان گرد و خاک^۲، که در شرایط آب و هوایی آن، بادهای قوی مقدار زیادی گرد و غبار و ماسه را از نزدیک سطح زمین به جو حرکت می‌دهند. این شرایط نامطبوع جوی ایجاد شده، باعث کاهش قابلیت دید به کمتر از یک کیلومتر می‌شود. این فرآیند پیچیده، تحت تأثیر واکنش متقابل بین سیستم‌های اتمسفری و سطح زمین بوده و به وسیله‌ی بادهای قوی، خاک برهنه، شرایط آب و هوایی خشک و سایر عوامل ایجاد می‌شود (Di et al., 2008). در مناطق خشک و بیابانی، تغییر سریع درجه حرارت هوا موجب تشکیل بادهای قوی و دائمی شده و به دلیل کمبود رطوبت و پوشش گیاهی، چسبندگی ذرات خاک به یکدیگر کاهش می‌یابد (همتی، ۱۳۷۴). شدیدترین و گسترده‌ترین توفان‌های گرد و غباری، در مناطق بیابانی روی می‌دهند، گاهی این توفان‌ها فراتر از مرزهای قاره‌ها پیش می‌روند (Liu and Park, 2007). فرسایش بادی یک فرآیند زمین‌شناسی طبیعی است که شامل جداسازی، جابجایی و رسوبگذاری ذرات با قطر کمتر از ۱ میلی‌متر می‌باشد که به شیوه‌های متفاوتی حمل می‌شوند (Skimore, 1986). تأثیر انرژی ذرات در حال پرش نه تنها باعث خزیدن و غلتیدن

¹ Sand storm

² Dust storm

ذرات درشت‌تر ماسه می‌شود، بلکه باعث انتشار و تعلیق گرد و غبار ریز هم می‌گردد (Gillette, 1977; Shao and Raupach, 1993).

بیابان واقعی را به طور خلاصه این طور می‌توان توصیف کرد: سرزمینی که مقدار تبخیر و تعرق مطلق سالانه‌ی آن خیلی زیاد (حدود ۱۰۰ برابر بارش)، و متوسط بارش سالانه‌ی آن کمتر از ۵۰ میلی‌متر باشد. امکان دارد در طول سال یا سال‌ها در آن بارندگی صورت نگیرد و بارندگی چندین سال آن ظرف چند روز و یا چند ساعت انجام شود. از لحاظ آب و پوشش گیاهی بسیار فقیر و حتی مساحت‌های وسیعی از آن به کلی فاقد گیاه و آب باشد و فرسایش آبی و بادی در آن نیز شدید باشد. گسترش بیابان یا بیابان‌زایی^۱ پدیده‌ای است که در گذشته نیز اتفاق می‌افتاده است. بیابان‌زایی به اختصار عبارت است از کاهش تولید و فعالیت‌های بیولوژیک (انسان، حیوان، گیاه). به عبارتی، هر کجا فعالیت موجودات زنده و سطح تولید رو به کاهش رود بیابان‌زایی در حال اتفاق افتادن است. با از بین رفتن مقدار پوشش گیاهی تنک و اندک نواحی خشک، فرسایش بادی و آبی خاک آغاز می‌شود. ادامه‌ی این پدیده (فرسایش)، باز هم موجب از بین رفتن دیگر گیاهان موجود در آن‌جا می‌گردد (کردوانی، ۱۳۸۰). رویداد توفان گرد و غبار و یا توفان ماسه تحت تأثیر الگوهای گردش سینوپتیک جو در مقیاس منطقه‌ای و جهانی قرار دارد. بر این اساس توفان‌ها را به سه گروه تقسیم می‌نمایند. الف) توفان گرد و غبار محلی، در مناطق پست و ارتفاعات مجاور آن به دلیل اختلاف در میزان گرم شدن سطح زمین، گرادیان فشار، بین آن‌ها ایجاد شده و باعث پیدایش بادهای فصلی و یا دائمی می‌گردد که در آن مناطق غالباً باد از طرف ارتفاعات به سمت چاله‌ها و یا بالعکس می‌وزد. این بادهای مخصوصاً در شرایط خشکی هوا و زمین باعث ایجاد گرد و خاک در منطقه می‌شوند ولی پس از طی مسافت کوتاهی از بین می‌روند. ب) توفان گرد و غبار درون توده‌های هوایی، این توفان‌ها بین یک پر فشار قوی و یک کم فشار عمیق قرار می‌گیرند. ج) توفان گرد و غبار جبهه‌ای، عمدتاً در منطقه‌ی تقویت باد،

¹ Desertification

فصل دوم: مطالعه‌ی روش‌های ارزیابی توفان‌های گرد و غبار و اثرات زیست محیطی آن‌ها

در جلو جبهه‌ی سرد اتفاق می‌افتد. جبهه‌ی سرد مرز بین هوای سرد پیش‌رونده و هوای گرم پس رونده است (همتی، ۱۳۷۴).

آثار گرمایش زمین به صورت خشک‌سالی^۱ و به تبع آن افزایش قابل توجه میزان آلودگی هوا، بر اثر توفان‌های خاکی و خشک شدن تالاب‌ها و دریاچه‌ها در سال‌های اخیر مشهود می‌باشد. فراوانی غبار ارتباط مستقیمی با خشک‌سالی دارد. چرا که خشک‌سالی باعث توقف سامانه‌های طبیعی شده و از عواقب بلند مدت توقف سامانه‌های طبیعی، وقوع گرد و خاک‌های غلیظ در منطقه است. خشک‌سالی جزء بلایای طبیعی نامحسوس است. این پدیده تقریباً در تمامی مناطق اقلیمی رخ می‌دهد. گرچه مشخصات آن از یک منطقه به منطقه‌ی دیگر کاملاً تفاوت می‌کند. این پدیده با زمان و نیز مؤثر بودن بارش‌ها، شدت و تعداد رخداد‌های بارندگی مرتبط است. سایر فاکتورهای اقلیمی نظیر دمای بالا، باد شدید و رطوبت نسبی پایین‌تر غالباً در بسیاری از نقاط جهان با این پدیده همراه شده و می‌توانند به طرز قابل ملاحظه‌ای بر شدت آن بیفزایند (کرامت، ۱۳۸۸).

گرد و غبار و توفان‌های گرد و غباری تأثیر قابل توجهی روی قابلیت دید (Gillette, 1986) کیفیت هوا (Meng and Zhang, 2006; Wei and Meng,) سلامتی انسان (Chan et al., 2005; Liu et al., 2006) سیستم‌های اقلیمی (Arimoto, 2001; Kaufman, 2006) دارند. بعلاوه صنایع خورشیدی شدیداً به حضور هواویز‌های گرد و غباری حساس هستند (Breitkreuz et al., 2007) به خصوص در نواحی مدیترانه‌ای که وقوع این پدیده کاملاً معمول می‌باشد (Barkan et al., 2005). هر چند اثرات توفان‌های گرد و غبار به طور وسیع مورد بررسی قرار گرفته‌اند، ولی فرآیندهایی که در منشاء گرد و غبار وجود دارد مانند فراوانی، استمرار، شدت یا نحوه‌ی توزیع اندازه‌ی هواویزها به اندازه کافی توصیف

¹ Drought

² Aerosol

فصل دوم: مطالعه‌ی روش‌های ارزیابی توفان‌های گرد و غبار و اثرات زیست محیطی آن‌ها

نشده اند. در هر حال شبیه‌سازی‌ها و پایش^۱ ماهواره‌ای، به طور عمده در حال گسترش می باشد (Hoffman et al., 2008).

هواویزهای گرد و خاکی^۲ یک عامل مهم در سیستم‌های آب و هوایی می‌باشند. در حقیقت برای ارزیابی جنبه‌های متفاوت اثرات آب و هوایی گرد و غبار، برآوردهایی از تغییرپذیری بالای آن‌ها در توزیع اتمسفری نیازمند به محاسبه توسط مدل‌های انتقال می باشد. چنین مدل‌هایی هم‌چنین اهداف مهمی را جهت ارزیابی فرآیند های حاکم بر آلودگی گرد و غباری در طی دوره‌های آب و هوایی متفاوت تامین می کنند (Tegen, 2003).

۲-۲- مروری بر مطالعه‌ی پدیده‌ی گرد و غبار (در منابع خارجی)

یین و همکاران (Yin et al., 2005) میدان گرد و غبار مدل شده با تصاویر ماهواره‌ای مربوط به جنوب غرب آمریکا به تاریخ ۱۵ تا ۱۷ دسامبر ۲۰۰۳ را با داده های مربوط به اندازه‌گیری‌های PM_{10} (ذرات با قطر کمتر از ۱۰ میکرومتر) و $PM_{2.5}$ (ذرات با قطر کمتر از ۲/۵ میکرومتر) و داده‌های مربوط به قابلیت دید در نواحی تحت سیطره‌ی باد مقایسه نمودند. مدل حاصل، محدوده‌ها را از نظر آب و هوایی به خوبی پیش‌بینی کرد. سطح مدل شده و الگوی محدوده جو بالا با مقادیر اندازه‌گیری شده سازگاری داشتند. در ادامه‌ی همین تحقیق یین و همکاران (Yin et al., 2007) جهت مدل سازی گرد و غبار نقش داده‌های پوشش زمین را با به کارگیری دو روش مختلف با یکدیگر مقایسه کردند. در روش اول (S_1) از داده‌های مبتنی بر پوشش زمینی ^{3}OWE مربوط به دهه‌های ۱۹۷۰ و ۱۹۸۰ با تفکیک مکانی^۴ ۱۰ دقیقه‌ای و در روش دوم (S_2) از داده‌های به روز شده‌ی پوشش زمینی $^{5}MODIS$ با تفکیک مکانی ۳۰ ثانیه‌ای استفاده کردند. در یک مقایسه‌ی برابر بین اندازه‌گیری‌های زمینی و ماهواره‌ای، مدل توزیع

¹ Monitoring

² Mineral dust

³ Olson World Ecosystem

⁴ Spatial resolution

⁵ MODerate resolution Imaging Spectroradiometer

مکانی گرد و غباری که از داده‌های به روز شده‌ی MODIS استفاده کرده بود به طور قابل ملاحظه‌ای نسبت به داده‌های OWE بهتر بود.

تجن (Tegen, 2003) ضمن مطالعه در زمینه‌ی مدل‌سازی سیکل هواویزهای گرد و خاکی در سیستم‌های آب و هوایی بیان می‌دارد که مدل‌های ناحیه‌ای می‌توانند برای مدل‌سازی انتشار، پروسه‌های انتقال و رسوبگذاری در نزدیک منشاء مفید باشند. در ضمن مجموعه‌ی داده‌های واحدی وجود ندارد که به طور کامل تمام جنبه‌های سیکل گرد و غبار را توضیح دهد. اعتبار سنجی توزیع گرد و غبار مدل شده باید با انواع داده‌های هم‌دیدنی مقایسه گردد. در حالی که گردآوری چنین داده‌هایی بسیار دشوار است، نتایج مدل می‌تواند جهت اندازه‌گیری ویژگی‌های گرد و غبار برای تحقیقات آتی در زمینه‌ی سیکل گرد و غبار و اثرات آب و هوایی آن راهنمای خوبی باشد. پیش‌بینی توفان‌های گرد و غبار با استفاده از مدل عملی CARMA-dust¹ و داده‌های آب و هوایی مدل MM5² توسط بارنوم و همکاران (Barnum et al., 2004) در آفریقای شمالی، خاورمیانه و جنوب غربی آسیا صورت گرفت. مدل پیش‌بینی گرد و غبار از MM5 به عنوان ورودی برای مدل انتقال گرد و غبار CARMA استفاده می‌کند. جهت آنالیز دقیق‌تر، هر یک از نواحی مورد بررسی به بخش‌های کوچک‌تر تقسیم شدند. نتایج مطالعات نشان داد، این مدل پیش‌بینی یک ابزار مؤثر با دقتی بالغ بر ۶۸ درصد برای احتمال ردیابی ذرات گرد و غبار^۳ (POD) در آفریقای شمالی و هشدار خطای آن^۴ ۱۶ درصد و در جنوب غرب آسیا، احتمال ردیابی گرد و غبار با دقتی حدود ۶۱ درصد و خطای آن ۱۰ درصد بود. ارتباط بین تغییرات دراز مدت گرد و غبار آسیا و اندیس‌های آب و هوایی با استفاده از مدل انتقالی گرد و غبار در مقیاس ناحیه‌ای توسط هارا و همکاران (Hara et al., 2006) بررسی شد. نتایج شبیه‌سازی بر پایه گزارشات قابلیت دید آژانس‌های آب و هوایی چین و ژاپن آزمایش شد. مدل به خوبی

¹ Community Aerosol and Radiation Model for Atmospheres

² Mesoscale Meteorology Model

³ Particle Of Dust

⁴ False Alarm Rate

تغییرات سالانه‌ی گرد و غبار طی سال‌های ۱۹۷۲ تا ۲۰۰۴ را بدست آورد و روند دراز مدت روزهای گرد و غباری صحرای گبی^۱ روند کاهشی قابل توجهی در فاصله‌ی زمانی ۱۹۹۷ تا ۱۹۸۰ را نشان داد و یک روند افزایشی را در سال‌های اخیر (۲۰۰۰ تا ۲۰۰۲) برای ژاپن داشت. بررسی تغییرات زمانی بیان می‌دارد که روند کاهشی روزهای گرد و غباری به علت کاهش وقوع بادهای قوی بوده است و تحلیل آنومالی‌های گرد و غبار ناحیه گبی نشان می‌دهد که هجوم هوای سرد قطبی نقش مهمی در افزایش پدیده گرد و غبار ایفا می‌کند. به‌علاوه آنالیز هم‌بستگی غلظت گرد و غبار شبیه سازی شده و اندیس نوسانات جنوبی (SOI)^۲ پیشنهاد می‌کند که نوسانات جنوبی ال‌نینو (ENSO)^۳ روی مسیر انتقال گرد و غبار تاثیر می‌گذارد.

تغییرات زمانی در PM_{10} و توزیع اندازه‌ی ذرات طی توفان‌های گرد و غباری آسیا در مغولستان کاری بود که توسط هافمن و همکاران (Hoffman et al., 2008) صورت گرفت. برای تعیین ویژگی‌های فوق از امواج لیزر^۴ استفاده گردید. سرعت حد اصطکاک بالغ بر 0.6 متر بر ثانیه (ms^{-1}) اندازه‌گیری شد و مشاهده گردید که در پایان بعضی توفان‌های قوی، حتی اگر سرعت باد کاهش یافته و U^* (سرعت حد اصطکاک) به کمتر از 0.3 متر بر ثانیه رسیده باشد غلظت گرد و غبار در یک حد بالایی باقی می‌ماند.

در سال‌های اخیر با پیشرفت فن‌آوری سنجش از دور، پژوهش‌هایی در سطح بین‌المللی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای انجام شده است. واشنگتن و همکاران (Washington et al., 2003) با استفاده از داده‌های پایش طیفی ازن^۵ (TOMS) و مشاهدات سطحی، نواحی منشأ گرد و غبار را بررسی نمودند. آنان با تعیین نواحی اصلی (کلیدی) منشأ گرد و غبار ثابت کردند که ساهارا^۶ منشأ غبار اصلی بوده

¹ Gobi

² Southern Oscillation Index

³ EL-Nino Southern Oscillation

⁴ Laser Dust Monitor

⁵ Total Ozone Monitoring Spectrometer

⁶ Sahara

و سایر نواحی شامل: خاورمیانه، تکلهمکان^۱، آسیای جنوب غرب، استرالایای مرکزی، حوضه‌هایی در آفریقای جنوبی، بولیوی و ایالات متحده‌ی آمریکا می‌باشند. این کار به‌وسیله‌ی تکنیک‌های مهندسی، با استفاده از داده‌های TOMS صورت گرفت. ژنگ و همکاران (Zheng et al., 1998) با استفاده از داده‌های سنجنش از دور ماهواره‌ی NOAA و GMS 5، توفان گرد و غباری غرب چین را در تاریخ پنجم می ۱۹۹۳ مورد مطالعه قرار دادند. نتایج، ارتباط بین اندیس پوشش گیاهی و فراوانی وقوع توفان گرد و غبار در نواحی با پوشش گیاهی ضعیف مانند بیابان را مشخص نمود.

پایش منابع گرد و غبار در شمال شرق آسیا با استفاده از داده‌های دو سنجنده‌ی MODIS و NOAA به طور هم‌زمان صورت گرفت. اختلاف دمای روشنایی^۲ بین باندهای ۴ و ۵ از سنجنده‌ی NOAA و نیز باندهای تشعشی از سنجنده‌ی MODIS و داده‌های اندازه‌گیری شده‌ی ایستگاه‌های هواشناسی، به جهت تهیه و تست نقشه‌های توفان ماسه و گرد و غبار در ناحیه‌ی صحرائی مغولستان و شمال چین استفاده گردید. نتایج نشان داد که نقشه‌های توفان ماسه و غبار می‌توانند از باندهای تشعشی، جهت پایش گرد و غبار استخراج شوند (Ochirkhuyang and Tsolmon, 2008). در تحلیل و بررسی توفان‌های گرد و غباری شدید، در بخش شرقی از شمال غرب چین که بر اساس اطلاعات ثبت شده در ۶۰ ایستگاه هواشناسی در دوره‌ی زمانی ۱۹۵۴ تا ۲۰۰۱ برای ایجاد سری زمانی توفان‌های شدید انجام گرفت، مشخص شد که طی این ۴۸ سال، پایین‌ترین نرخ توفان‌های شدید گرد و غبار در دهه‌ی ۱۹۹۰ بوده است (Zhou and Wang, 2002). اختلاف دمای روشنایی در باندهای ۲۰، ۳۰، ۳۱ و ۳۲ سنجنده‌ی MODIS جهت ردیابی توفان گرد و غبار در صحرائی آفریقا هم‌بستگی خوبی با پارامتر ضخامت نوری هواویزها^۳ (AOT) در طول موج ۵۵۰ نانومتر دارند. داده‌های شاخص گرد و غبار استخراج شده از باندهای مادون قرمز حرارتی برای ردیابی توفان گرد و غبار و حتی ارزیابی هوای منطقه مانند تندبادها قابلیت خوبی دارند (Hao and Qu, 2007).

¹ Taklamakan

² Brightness Temperature

³ Aerosol Optical Thickness

هوانگ 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. اندازه‌گیری‌های ماکروویو برای ردیابی گرد و غبار در زیر پوشش‌های ابر به کار می‌روند در حالیکه اندازه‌گیری‌های مرئی و مادون قرمز برای سیستم‌های فاقد ابر مفیدند. ردیابی بر پایه تمایز دمای روشنایی^۱ (BTD) تلفیق شده از امواج ماکروویو و امواج مادون قرمز، از روشی که تنها بر پایه اختلاف دمای روشنایی امواج مادون قرمز باشد، مناسب‌تر بود. بخش تحقیقات موسسه‌ی بین‌المللی آب و هوایی کره، برای ردیابی گرد و غبار آسیا^۲ از بازتاب‌پذیری امواج مادون قرمز غیر قطبی^۳ استفاده کرد که جهت تشخیص پوشش گرد و غبار بر روی سطح دریا کاربرد مناسبی داشت در حالیکه روش‌های قبلی مبنی بر BTD و AOT دقت خوبی در تشخیص گرد و غبار بر روی دریای زرد را نداشتند (Hong, 2009). محققین مرکز فوق، از امواج مادون قرمز با طول موج ۳ تا ۱۲ میکرومتر (از یک ماهواره‌ی زمین‌آهنگ^۴) و نیز درجه حرارت سطح دریا^۵ (SST) در مدل‌سازی گرد و غبار استفاده کردند و نتایج نشان داد که از نظر کیفی، سازگاری مکانی مناسبی بین تصاویر MODIS و وقایع گرد و غباری آسیا وجود دارد و روش پیشنهادی برای اهداف عملی کشف گرد و غبار آسیا بر روی سطح دریا مفید می‌باشد. پارامترهای فیزیکی و نوری هواویزهای غبار شدیدی که در اکتبر ۲۰۰۵ در گوانگژو^۶ رخ داد بوسیله تلفیق تکنیک‌های سنجش از دور تعیین شد (Noh et al., 2009). این اندازه‌گیری‌ها از دو طریق: الف) اندازه‌گیری‌های زمینی ب) اندازه‌گیری از فضا (با استفاده از بازتابی ماهواره‌ای) صورت گرفت. دو نوع متفاوت هواویز بر اساس تغییرپذیری ویژگی‌های نوری برای شرایط توده هوای متفاوت تشخیص داده شد. یکی از روش‌های ردیابی گرد و غبار، استفاده از مشاهدات MSG-SEVIRI^۷ است که توسط لی

¹ Brightness Temperature Differences

² Hwangsa

³ Unpolarized infrared

⁴ Geostationary

⁵ Sea Surface Temperature

⁶ Guangzhou

⁷ Meteosat Second Generation-Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager

فصل دوم: مطالعه‌ی روش‌های ارزیابی توفان‌های گرد و غبار و اثرات زیست محیطی آن‌ها

و همکاران (Li et al., 2007) توضیح داده شده است. در این روش شعاع مؤثر ذرات، از طریق BTD قابل بازیابی است. BTD بستگی به مقدار گرد و غبار و اندازه ذرات دارد و تحت تاثیر بخار آب اتمسفری نیز قرار می‌گیرد، بنابراین گرد و غبار در یک محیط خشک بهتر بوسیله BTD قابل ردیابی است تا گرد و غبار در یک محیط مرطوب (Chaboureau et al., 2007). مقدار کم یا منفی BTD نشانه‌ی وجود گرد و غبار اتمسفری است. از طرفی در حضور گرد و غبار تفاوت $BT_{10.8}$ (دمای روشنایی در طول موج $10/8$ میکرومتر) شب و روز کاهش می‌یابد و از معادله‌ی زیر می‌توان برای ردیابی گرد و غبار استفاده کرد.

$$\Delta BT_{10.8} = BT_{10.8}(\text{day}) - BT_{10.8}(\text{night}) \quad (1-2)$$

اگر شرایط ابری نباشد (در شب یا در روز) مقدار کمتر از $\Delta BT_{10.8}$ نشانه‌ی مقدار گرد و غبار بیشتر است. از تفاوت BTD مشاهدات شبانه و روزانه نیز برای ردیابی گرد و غبار استفاده می‌شود:

$$\Delta BTD = BTD(\text{day}) - BTD(\text{night}) \quad (2-2)$$

اثرات گرد و غبار روی $\Delta BT_{10.8}$ و ΔBTD تنها برای اتمسفر بدون ابر معتبر است، چرا که ابرها می‌توانند اثرات مشابه یا خیلی متفاوت، روی مشاهدات داشته باشند، بنابراین اولین قدم برای هر الگوریتم ردیابی گرد و غبار حذف پوشش ابر است. بعد از این کار برای پیکسل‌های بدون ابر، می‌توان اندیس گرد و غبار دو زمانه^۱ (BMDI) را به شکل زیر محاسبه نمود:

$$BMDI = \Delta BTD + \frac{1}{7} \Delta BT_{10.8} \quad (3-2)$$

همان‌گونه که مقادیر پایین $\Delta BT_{10.8}$ و ΔBTD نشانه وجود گرد و غبار است، مقدار کم BMDI نیز نشانه‌ی بار گرد و غباری بالا می‌باشد (Klüser & Schepanski, 2009). به علت تاثیر شرایط محیطی مانند رطوبت بالا، درجه حرارت سطحی، مقدار گسیل‌مندی^۲ و غیره روی $\Delta BT_{10.8}$ و ΔBTD ، رابطه‌ی بین BMDI و مقدار گرد و غبار خطی نیست.

¹ Bitemporal Mineral Dust Index

² Emissivity

باداک و همکاران (Baddock et al., 2009) برای شناخت چشمه‌ی گرد و غبار، پنج روش اصلی را با استفاده از داده‌های گرد و غبار MODIS L1B و MODIS L2 در حوضه دریاچه‌ی ایر^۱ در استرالیا با یکدیگر مقایسه و ارزیابی نمودند. ارزیابی‌ها از نظر ۱- تفکیک بین وجود شرایط گرد و غبار و عدم گرد و غبار ۲- تعیین محدوده گرد و غبار، صورت گرفت. متدهای به کار گرفته شده در این تحقیق شامل: ۱- فرآیند ترکیب رنگ کاذب ۲- اختلاف دمای روشنایی 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^۲ اجرا شدند. تمام تکنیک‌ها وقتی با تصاویر ترکیب رنگ کاذب مقایسه شدند، در ردیابی گرد و غبار موفقیت‌آمیز بودند اما مؤثرترین تکنیک، از واقعه‌ای به واقعه دیگر بسته به فاکتورهایی مانند پوشش ابر، کانی-شناسی گرد و غبار و انعکاس سطحی متفاوت بود. برای بهینه‌سازی ردیابی گرد و غبار با استفاده از مسیر 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 روشنایی قابل اطمینان‌ترین تکنیک برای شناسایی منشاء گرد و غبار در حوضه دریاچه ایر بود. پیکسل‌های ماسه و غبار هوایی در مقایسه با پیکسل‌های دربردارنده‌ی ماسه و غبار زمینی سردتر می‌باشد. تعداد زیادی از روش‌های بارزسازی گرد و غبار، از نقشه‌های درجه حرارت روشنایی استفاده می‌کنند. اکرمین حساسیت باندهای مادون قرمز حرارتی نسبت به گرد و غبار را بررسی کرد و دریافت که اختلاف دمای روشنایی (BTD) بین باندهای ۳/۷ و ۱۲ میکرومتر ردیابی حادثه‌ی گرد و غبار را امکان‌پذیر می‌نماید (Ackerman, 1989). هم‌چنین نام‌برده در سال ۱۹۹۷ اختلاف دمای روشنایی بین باندهای ۸ و ۱۱ میکرومتر و ۱۱ و ۱۲ را

¹ Lake Eyre Basin

² Eyre

فصل دوم: مطالعه‌ی روش‌های ارزیابی توفان‌های گرد و غبار و اثرات زیست محیطی آن‌ها

برای هواویزهای استراتوسفری و هواویزهای تروپوسفری^۱ به طور جداگانه مورد تجزیه و تحلیل قرار داده و دریافت که عموماً مقدار تمایز دمای روشنایی در حضور گرد و غبار تروپوسفری بین طول موج-های ۸ و ۱۱ میکرومتر مثبت و برای ۱۱ و ۱۲ میکرومتر منفی می‌باشد.

میلر (Miller, 2003) 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 بارزسازی شده و به سادگی از ابر قابل تشخیص می‌باشد. ضمن اینکه این روش برای پردازش داده‌های هر سنجنده‌ای قابل استفاده می‌باشد، در این بررسی از داده‌های سنجنده‌ی MODIS استفاده شده است.

روسکووینسکی 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 که در این روش با استفاده از تلفیق نسبت انعکاسی باندها و اختلاف دمای روشنایی، پارامتر P را که قادر به آشکارسازی ابرهای سیروس از گرد و غبار است، معرفی می‌کنند. روسکووینسکی و لیو (2005) با توسعه و بهبود این پارامتر، پارامتر جدید D، را ارائه نمودند که گرد و غبار ارتفاع بالا از ابرهای سیروس به خوبی توسط آن قابل تفکیک می‌باشد. طی این بررسی برای اثبات کارآمد بودن فرآیند ردیابی و تفکیک گرد و غبار، از داده‌های سنجنده‌ی MODIS استفاده گردیده است.

روش‌های دیگری نیز جهت بارزسازی مناطق گرد و غباری ارائه شده است از جمله استفاده از شاخص گرد و غباری نرمالیزه شده^۲ (NDDI). آنالیز طیفی ماسه و خاک نشان می‌دهد که انعکاس گرد و غبار با افزایش طول موج (بین ۰/۴ تا ۲/۵ میکرومتر) افزایش می‌یابد. به گونه‌ای که در باند ۳ سنجنده‌ی MODIS (۰/۴۶۹ میکرومتر) یک مقدار حداقل و در باند ۷ سنجنده‌ی MODIS (۲/۱۳ میکرومتر) حداکثر 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.

¹ Soil- driven aerosol

² Normalized Difference Dust Index

فصل دوم: مطالعه‌ی روش‌های ارزیابی توفان‌های گرد و غبار و اثرات زیست محیطی آن‌ها

اندیس NDDI که برای ردیابی توفان‌های ماسه و غبار^۱ (SDS) پیشنهاد شده است به صورت رابطه زیر است (Qu et al., 2006).

$$NDDI = \frac{(\rho_{2.13} - \rho_{0.469})}{(\rho_{2.13} + \rho_{0.469})} \quad (4-2)$$

در این رابطه، $\rho_{2.13}$ و $\rho_{0.469}$ به ترتیب مقادیر انعکاسی در بالای اتمسفر، در باندهای ۲/۱۳ و ۰/۴۶۹ میکرومتر می باشند. جهت تعیین محدوده و قلمرو توفان گرد و غبار، می توان از تلفیقی از دو روش BT و NDDI نیز کمک گرفت. به این صورت که ابتدا پس از پردازش و آماده سازی تصاویر و تعیین BT با استفاده از باندهای ۳۱ و ۳۲ سنجنده‌ی MODIS مقدار آستانه $BTD < 0$ جهت ردیابی گرد و غبار به کار گرفته شده است و بعد از آن اندیس گرد و غباری $NDDI > 0$ جهت حذف اثر ابر و برف به کار می رود. این فرآیند برای تصاویر گرفته شده در روز که پرتوهای انعکاسی دارند به کار می رود اما برای تصاویر شب که حاوی اطلاعات انعکاسی در تصاویر گرفته شده نیستند فقط BT و BT استفاده می گردد (Mie et al., 2008).

۲-۳- مروری بر مطالعه‌ی پدیده‌ی گرد و غبار در ایران

در بررسی گرد و غبار شهرستان سبزوار توسط نکونام (۱۳۸۷) مطالعه‌ی آماری گسترده‌ای با استفاده از رسم گل‌بادها و گل‌توفان‌های سالانه و ماهانه ایستگاه هم‌دیدگی سبزوار طی دوره‌ی آماری ۱۹۸۹ تا ۲۰۰۸ انجام شده و به دو مورد از شدیدترین توفان‌های گرد و غباری رخ داده در این شهرستان، در سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۰۸ پرداخته شده است. نتایج این مطالعات آماری نشان داد که ۷۶/۷ درصد روزهای همراه با گرد و غبار شهرستان سبزوار، در دوره‌ی گرم سال اتفاق افتاده و اردیبهشت و خرداد بیشترین فراوانی ماهانه را به خود اختصاص می‌دهند. همچنین بررسی توپوگرافی منطقه و نتایج گل-بادها نشان داده که ارتفاعات شمالی و جنوبی سبزوار در کانالیزه کردن باد نقش مهمی داشته و

¹ Sand and Dust Storms

فصل دوم: مطالعه‌ی روش‌های ارزیابی توفان‌های گرد و غبار و اثرات زیست محیطی آن‌ها

ویژگی‌های توپوگرافی، اقلیمی، ساختار زمین‌شناسی منطقه، طی هزاران سال سبب شکل‌گیری بخش‌های گسترده‌ای از تپه‌های ماسه‌ای در جنوب شرق و جنوب غرب سبزواری شده است. طبق تحقیق صورت گرفته تحت عنوان "پدیده گرد و غبار در استان خوزستان" دلایل عمده ایجاد گرد و غبار به دو دسته تقسیم شده است: الف) دلایل طبیعی ب) دلایل انسانی. دلایل طبیعی مانند: خشکسالی‌های مداوم که باعث از بین رفتن پوشش گیاهی و در معرض فرسایش باد قرار گرفتن خاک است. از نشانه‌های خشکسالی در جنوب غرب ایران، خشکیدن بیش از ۸۰ درصد تالاب هورالعظیم در مرز ایران و عراق است. دلایل انسانی مانند: ۱- جنگ تحمیلی (که باعث از بین رفتن نخلستان‌های وسیع شده است) ۲- کشاورزی (با هدایت آب دجله و فرات به سمت اراضی کشاورزی باعث خشک شدن تالاب‌های منطقه شده است) ۳- سدسازی ۴- سیاست انتقال آب از مناطق پر آب به مناطق کم آب (رشنو، ۱۳۸۸).

ایرانمنش و همکاران (۱۳۸۴) به هدف شناخت مناطق منشاء توفان‌های غبارزا و چگونگی انتشار ذرات گرد و غبار با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای در منطقه‌ی سیستان تحقیقی انجام دادند که طی آن از تصاویر MODIS برای تفسیر چشمی مناطق منشاء گرد و غباری، و لندست ۷ (ETM⁺) برای تهیه نقشه‌های شاخص پوشش گیاهی^۱ (NDVI) و از آمار باد ایستگاه هواشناسی زابل در روزهای مورد بررسی استفاده گردید. اندازه‌گیری‌های انجام شده بر روی تصاویر نشان داد که جهت بادهای توفان‌های منطقه سیستان به طور عمده بین ۳۳۹ تا ۳۴۶ درجه می‌باشد که با جهت عمومی بادهای فرساینده در ایستگاه هواشناسی زابل هماهنگی دارد. اصلی‌ترین منطقه برداشت ذرات گرد و غباری بر روی دریاچه‌ی هامون سابوری قرار دارد و مسیر توفان‌ها 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.

¹ Normalized Difference Vegetation Index

فصل دوم: مطالعه‌ی روش‌های ارزیابی توفان‌های گرد و غبار و اثرات زیست محیطی آن‌ها

در یک مطالعه که توسط ذوالفقاری و عابدزاده (۱۳۸۴) صورت گرفته، شرایط پیدایش و منشاء سیستم‌های گرد و غبار غرب ایران در بازه زمانی ۵ ساله از سال ۱۹۸۳ تا ۱۹۸۷ بررسی شده است. داده‌های ساعتی گرد و غبار، قابلیت دید، رطوبت نسبی، بارندگی و باد مورد استفاده قرار گرفته و نتیجه‌گیری شده است که با توجه به مسیر حرکت سیستم‌های گرد و غبار و نحوه قرارگیری فرودها و کم‌فشارها در روزهای مختلف، مهمترین منبع گرد و غبارهای وارد شده به غرب ایران، صحرای سوریه، صحرای نفود در شمال شبه‌جزیره عربستان و شمال صحرای کبیر آفریقا می باشد. بیشترین تاثیر کم‌فشارهای حرارتی شبه جزیره عربستان در گرد و غبار منطقه‌ی مورد مطالعه هم مربوط به زمانی است که آن‌ها به ایران نزدیکتر بوده و همچنین توسط فرود مناسب در سطح بالا حمایت می شوند. به عبارت دیگر زمانی این اتفاق می‌افتد که این سیستم‌ها ویژگی حرارتی-دینامیکی پیدا می کنند (ذوالفقاری و عابدزاده، ۱۳۸۴).

بررسی و مطالعه‌ی تحقیقات مختلف در زمینه‌ی ردیابی گرد و غبار با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور نشان می‌دهد که اکثر مدل‌سازی‌ها و روش‌های شناسایی مناطق گرد و غباری، با به‌کارگرفتن باندهای مادون قرمز حرارتی و یا تلفیق آن‌ها با باندهای انعکاسی تصاویر ماهواره‌ای، اقدام به بارزسازی مناطق غباری و محاسبه‌ی پارامترهای ردیابی غبار نموده‌اند. تکنیک‌های به‌کار گرفته شده برای حوادث گرد و غباری در نقاط مختلف دنیا با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مربوط به سنجنده‌هایی که پوشش تصویری وسیع و محدوده‌ی طیفی گسترده‌ای دارند (مانند MODIS)، قابلیت خوبی در آشکارسازی مناطق تحت پوشش غبار را از خود نشان دادند. اما مطالعات انجام شده در منطقه‌ی خاورمیانه در رابطه با شناسایی مراکز تولید گرد و غبار و توزیع مکانی آن‌ها کارهای وسیعی صورت نگرفته است و الگوریتم بهینه‌ای که در زمینه‌ی ردیابی و مدل‌سازی پخش و غلظت گرد و غبار مفید باشد توسعه نیافته است. لذا در این تحقیق، سعی شده است که الگوریتم بهینه از بین الگوریتم‌های موجود جهت شناسایی مراکز تولید گرد و غبار و پخش آن‌ها برای منطقه‌ی خاورمیانه تعیین شود.

۴-۲- اثرات زیست محیطی توفان‌های گرد و غبار

توفان‌های گرد و غبار با این عنوان که طیف وسیعی از اثرات محیطی دارند شناخته می‌شوند (Washington et al., 2003). یافته‌های جدید پژوهشگران طی ۱۰ سال اخیر، نشان می‌دهد ذرات گرد و غبار در هوا، بیش از آنچه که تصور می‌شد، برای سلامتی عمومی خطرناک است. آخرین پژوهش‌های دانشگاه نیویورک نشان می‌دهد که تماس طولانی ذرات ریز گرد و غبار فاکتوری مهم در مرگ و میر در اثر سرطان ریه و بیماری‌های قلبی است. استنشاق هوای آلوده به ذرات معلق و گرد و غبار باعث نفوذ این هوا به کیسه‌های هوایی شده، بی‌نظمی ضربان قلب (آریتمی)، حملات قلبی و مشکلات تنفسی، سردردهای شدید و مزمن، حساسیت‌های شدید، ضعف در بینایی و بیماری‌های پوستی را ایجاد می‌کند. نمونه‌برداری و بررسی ترکیب فیزیکی و تجزیه‌ی شیمیایی گرد و غبارهای اخیر نشان می‌دهد که این ذرات صرفاً متشکل از دانه‌های خاک، شن، ماسه و ذرات نمک نیستند بلکه ترکیب پیچیده‌ای از عناصر شیمیایی هستند. عناصری از فلزات قلیایی خاکی، سیلیس، کربن، کلسیم، پتاسیم و برخی دیگر از عناصر آلی مشاهده می‌شود که تمامی این عناصر می‌توانند اثرات سوئی بر مجاری تنفسی و ریه‌ها داشته باشند. پایش‌های انجام شده از هجوم ذرات معلق اخیر در تیر و مرداد ماه ۱۳۸۸ نشان می‌دهد که میزان این ذرات در هوای تهران به حدود ۹ برابر حد مجاز و در برخی شهرها مانند اهواز این میزان به ۱۵ برابر و در اراک به ۱۰ برابر و قم به ۷ برابر حد مجاز رسید (کریمی و همکاران، ۱۳۸۹).

فرسایش حاصل از توفان‌های گرد و غبار باعث از دست رفتن نیتروژن و کربن خاک می‌شود (Wang et al., 2006). تحقیقی در شمال چین به هدف تخمین مقدار از دست دادن کربن و نیتروژن از مزارع در معرض فرسایش توفان گرد و غبار انجام گرفته است. طی مروری بر اطلاعات حاصل از دومین مطالعه‌ی فرسایش خاک، در سال ۲۰۰۰ از طریق سنجش از دور، مساحت نواحی تحت فرسایش باد، ۱/۹۱ میلیون کیلومتر مربع تعیین شد. نتایج نشان داد که زیان‌های اقتصادی و اکولوژی حاصل از

فرسایش باد، قابل توجه بوده و خاک فقیر شده نسبت به خاک فقیر نشده، محتوای نیتروژن و کربن آن به ترتیب کاهش حدود ۶۶ و ۷۳ درصد داشته که به شدت کاهش محصولات را باعث گردیده است.

توفان‌های گرد و غباری باعث از بین رفتن خاک و بدتر از آن حذف مواد ارگانیک و مواد مغذی خاک می‌شوند، همچنین تأثیر ساینده‌ی توفان، به سرشاخه‌های گیاهان جوان آسیب می‌زند که در نهایت می‌توان کاهش قابل توجه محصولات کشاورزی را انتظار داشت. از دیگر اثرات اقتصادی گرد و غبار کاهش قدرت دید و در نتیجه مختل شدن پرواز هواپیماها و حمل و نقل جاده‌ای، کاهش مقدار نور رسیده به سطح زمین، افزایش تشکیل ابر و ایجاد عایق حرارتی، تیره شدن منظره خورشید (البته در غلظت‌های بالای گرد و غبار) و نیز تأثیر بر سلامتی انسان‌ها به علت تنفس گرد و غبار می‌باشد. هواویزها، در مقایسه با ابر، در مقیاسی ضعیف‌تر، باعث جذب تابش مؤثر و تابش برگشتی می‌شوند. گرچه این مواد به مقدار زیاد تابش مؤثر را کاهش می‌دهند، اما نمی‌توانند مانند بخار آب و گاز کربنیک عامل تأثیر گلخانه‌ای باشند، زیرا افزایش آن‌ها باعث کاهش مقدار تابش کوتاه خورشیدی می‌شود و این به دلیل افزایش آلبیدوی زمین در اثر افزایش پوشش ابر و هواویز است (کاوپانی و علیجانی، ۱۳۷۷).

توفان گرد و غبار بر روند تشکیل خاک، ژئومورفولوژی سطحی در نواحی خشک و حرکت دادن پوشش سطحی نواحی صحرائی تأثیر دارد. 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 فرآیندهای حمل و نقل و ارتباطات نقش داشته باشد. تسریع فرسایش خاک و تقویت بیابان‌زایی از دیگر اثرات توفان-های 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. اثرات وقایع گرد و غباری آسیا، روی

مرگ و میر روزانه در سنول، طی دوره‌ی 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). اثر وقوع گرد و غبار روی مرگ و میر در تایوان نیز بررسی گردید. ارزیابی تأثیرات احتمالی توفان گرد و غبار روی مرگ و میر ساکنان تایپه، طی دوره‌ی زمانی ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۰ صورت گرفت. ۳۹ مورد توفان گرد و غباری که به عنوان روزهای شاخص طبقه بندی شده بودند، تعیین و مرگ و میر در این روزها، با مرگ و میر در روزهای شاهد مقایسه گردید. برای هر روز شاخص، دو روز شاهد (تطبیقی) که یکی هفت روز قبل و دیگری هفت روز بعد از روز شاخص بود مشخص گردید. نتایج نشان داد ۷/۶۶ درصد خطر برای بیماران تنفسی تا یک روز بعد از حادثه‌ی گرد و غبار و برای مرگ و میر کل ۴/۹۲ درصد تا دو روز بعد از حادثه، افزایش یافته بود (Chen et al., 2004). در ۱۹ اوت ۲۰۰۵، یک روز توفان گرد و غباری در عراق باعث ۱۰۰۰ مورد ابتلاء به بیماری حاد تنفسی و یک مورد مرگ در بیمارستان یرموک گردید. توفان‌های گرد و غبار می‌توانند همچنین روی اقلیم، دمای هوا و سرد شدن اقیانوس‌ها تأثیر داشته باشند (Goudie and Middleton, 2006).

میری و همکاران (Miri et al., 2007) اثرات توفان گرد و غبار روی آلودگی هوا و سلامت عمومی در آب و هوای گرم و خشک ناحیه‌ی سیستان ایران را بررسی نمودند. آغاز دوره‌ی خشک‌سالی در ناحیه-ی مزبور، در سال ۱۹۹۹ شرایط مناسبی را برای شکل گرفتن توفان‌های گرد و غبار ایجاد کرد. ابرهای گرد و غباری حمل شده در سطح منطقه، باعث آلودگی شدید هوا و مشکل شدن تنفس، برای ساکنان محلی به ویژه کسانی که ناراحتی تنفسی دارند، می‌شود. اثرات بالا رفتن آلودگی هوا، از توفان گرد و غبار بر روی مردم نشان داد که حدود نیمی از ساکنان منطقه، طی دوره‌ی مورد نظر دچار مشکلات تنفسی ناشی از توفان گرد و غبار شده‌اند و این تعداد بیشتر، ساکنان نواحی روستایی را

فصل دوم: مطالعه‌ی روش‌های ارزیابی توفان‌های گرد و غبار و اثرات زیست محیطی آن‌ها

شامل شده است. آچودام و الادیپو (Achudume and Oladipo, 2009) با هدف ارزیابی میزان سمی بودن ذرات گرد و غبار نمونه‌هایی از ذرات گرد و غبار در جاده‌های روستایی و خارج از مناطق مسکونی نیجریه را جمع‌آوری نمودند. بررسی‌ها مشخص کرد که محیط‌های روستایی عموماً از ذرات گرد و غبار پوشیده شده‌اند و در فصل خشک قابلیت دید، نسبت به فصل بارانی پایین‌تر می‌آید. نتایج آنالیز میکروبی نمونه‌های جمع‌آوری شده نشان داد که این ذرات حاوی نمونه‌های میکروبی ایجاد کننده‌ی بیماری‌های تنفسی می‌باشد. تأثیر توفان‌های گرد و غباری در بروز بیماری‌های چشمی و تنفسی و افزایش تنش‌های روحی و سوانح ترافیکی از مواردی است که به شدت بهداشت و سلامتی جوامع انسانی را تهدید می‌کند (خسروی، ۱۳۶۷).

گرد و غبار روی قدرت بارندگی ابرها نیز تاثیر گذاشته و تا حدود زیادی مانع بارندگی می‌گردد. این کاهش بارندگی، باعث خشک‌تر شدن خاک و در نتیجه ایجاد گرد و غبار بیشتر می‌شود، پس می‌توان نتیجه گرفت که وقایع گرد و غباری می‌توانند بالقوه خشک‌سالی را شدت بخشند. از دست دادن رطوبت خاک بر اثر خشک‌سالی و از بین رفتن پوشش گیاهی مناطق، باعث بروز پدیده‌ی فرسایش بادی و به دنبال آن افزایش آلاینده‌های هوا و بروز توفان‌های گرد و غبار می‌شود. پدیده‌ای که با بروز خشک‌سالی‌های اخیر در کشور، برخی استان‌ها از جمله خوزستان با آن درگیر شده‌اند. بیش از یک سال است که به دلیل نابودی پوشش گیاهی در جنوب عراق، با هر باد و نسیمی زندگی چهار میلیون ایرانی مختل می‌شود (کرامت، ۱۳۸۸). تأثیرات اجتماعی، اقتصادی و بهداشتی گرد و غبار در استان خوزستان شامل: ۱- تعطیلی مدارس، ادارات، بانک‌ها و سازمان‌های دولتی ۲- عدم انجام، تأخیر و یا جابه‌جایی برنامه‌های پروازی استان ۳- بالا رفتن آمار بیماری‌های تنفسی، حادثه شدن بیماری‌های قلبی و آسمی افراد مبتلا، تأثیر منفی بر سلامت کودکان و سالمندان، به طوری که تعداد مراجعین به بیمارستان‌ها به علت هوای آلوده، تنها در روزهای ۲۷ و ۲۸ خرداد ۱۳۸۷، ۲۰۵ نفر اعلام شد که دو نفر به علت مسمومیت تنفسی جان خود را از دست دادند. ۴- اختلال در حمل و نقل و تردد در سطح

فصل دوم: مطالعه‌ی روش‌های ارزیابی توفان‌های گرد و غبار و اثرات زیست محیطی آن‌ها

استان و به استان‌های دیگر و تأثیر سوء بر اقتصاد استان و کشور (کرامت، ۱۳۸۸). در هر صورت، ذرات گرد و غبار در جو اثرات کوتاه مدت و بلند مدتی را به همراه دارند که اثرات طولانی مدت این توفان‌ها شدیدتر و مخرب‌تر بوده و کل سیاره‌ی زمین را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

فصل سوم

خصوصیات منطقه‌ی مطالعاتی و

داده‌های مورد استفاده

۳-۱- مقدمه

منطقه مورد مطالعه‌ی این تحقیق بخش شرقی خاورمیانه و شامل غرب و جنوب غرب ایران، عراق، سوریه، جنوب شرق ترکیه، اردن و بخش‌های شمالی عربستان سعودی می‌باشد (شکل ۳-۱). محدوده‌ی طول و عرض جغرافیایی منطقه‌ی مورد مطالعه بین ۳۴ درجه تا ۵۴ درجه‌ی شرقی و ۲۵ درجه تا ۴۰ درجه‌ی شمالی را شامل شده که این بخش در اکثر تصاویر ماهواره‌ای انتخاب شده پوشش داده شده است.



شکل ۳-۱: محدوده‌ی منطقه‌ی مورد مطالعه

۳-۲- وضعیت اقلیمی خاورمیانه

خاورمیانه شامل آسیای غربی و بخشی از شمال آفریقا می‌باشد که در کمربند جهانی غبار قرار گرفته است. این کمربند جغرافیایی در نیمکره شمالی واقع شده (شکل ۳-۲) و از شمال آفریقا تا چین گسترده شده است. در خارج از این کمربند، پوشش غبار کم است. بطور کلی منابع عمده‌ی غبار عبارت

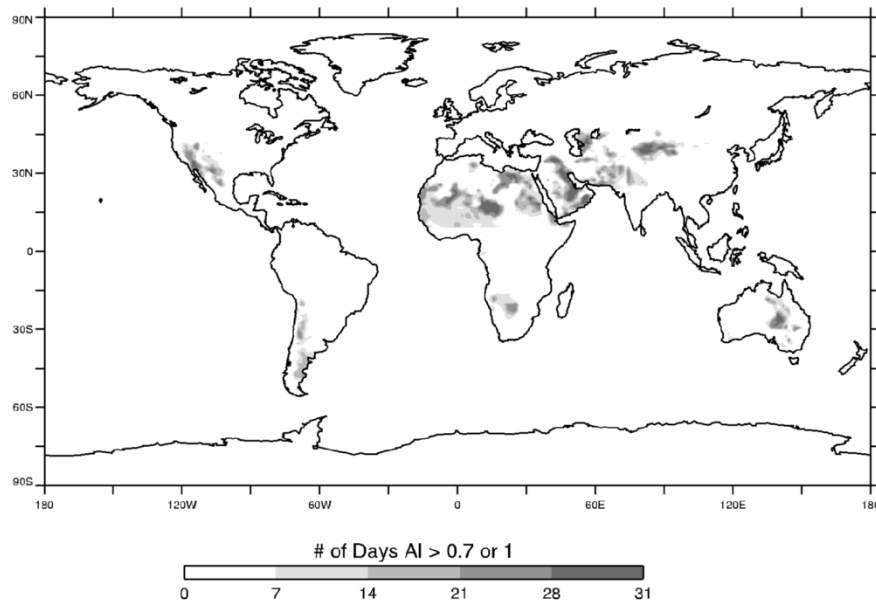
از سرزمین‌های کم‌ارتفاع و کم‌باران (با بارش کمتر از ۲۵۰ میلیمتر) می‌باشد. خاورمیانه عموماً دارای آب و هوای گرم و خشک بوده و به علت بارندگی بسیار کم سهم زیادی از مساحت این ناحیه را صحرا^۱ تشکیل می‌دهد. بروز گرد و غبار در این منطقه به ویژه در بهار، تابستان و زمستان رایج بوده و با بادهایی به نام بادهای شمال^۲ در ارتباط می‌باشد. این جریان‌های هوایی می‌توانند مقادیر عظیمی گرد و غبار وارد جو کرده و در بخش‌های شمالی شبه جزیره‌ی عربستان، عراق و کویت حرکت دهند. بادهای شمال بر حسب فصلی که اتفاق می‌افتند به شمال تابستانی^۳ یا شمال زمستانی^۴ تقسیم می‌شوند (Wilkerson, 1991). اقلیم مستعد گرد و غبار این منطقه، به ویژه در مقیاس وسیع می‌تواند تأثیر ژرفی روی فرسایش خاک داشته و به‌علاوه توفان‌های گرد و غباری حمل شده به‌وسیله‌ی بادهای موسمی خارج از مناطق گرمسیری باعث تشدید آن می‌گردد (Anderson, 2004). فراوانی پدیده غبار از قدیم‌الایام در برخی از کشورهای خاورمیانه از جمله عراق، اردن، شبه جزیره عربستان، کویت قابل ملاحظه بوده بطوریکه ناچار شده‌اند از ده‌ها سال قبل این پدیده را مورد بررسی قرار دهند. غبار به‌ویژه یکی از مشکلات هوانوردی در این کشورها است.

¹ Desert

² Shamal winds

³ Summer Shamal

⁴ Winter Shamal

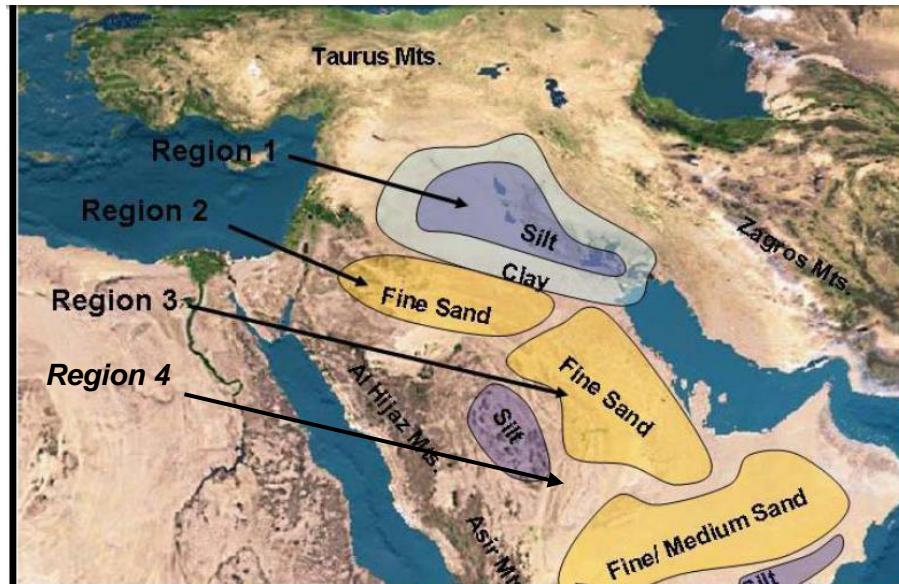


شکل ۳-۲: کمربند توزیع جهانی غبار (با استفاده از داده‌های TOMS) (Prospero et al., 2002)

۳-۳- زمین‌شناسی خاورمیانه

آسیای جنوب غربی با توپوگرافی ناهموار آن می‌تواند منبع بزرگی برای گرد و غبار باشد. با وجود این که این ناحیه به‌وسیله دریای سیاه و خزر در شمال و دریای سرخ و مدیترانه در غرب و در شرق و جنوب به‌وسیله خلیج فارس و دریای عمان احاطه شده است، اما جزو مناطق نیمه خشک^۱ محسوب می‌شود (Evans et al., 2001). نبود بارندگی در نواحی داخلی شبه جزیره‌ی عربستان، ناحیه‌ی سطحی خشکی شامل ماسه، رس و سیلت دانه ریز به وجود آورده که برای ایجاد توفان‌های گرد و غباری بسیار مناسب می‌باشند (Bartlett, 2004). طبق بررسی‌های صورت گرفته توسط بارتلت، مناطق اولیه‌ی منشاء گرد و غبار در جنوب غرب آسیا به چند ناحیه تقسیم می‌شود (شکل ۳-۳).

¹ Semi-arid



شکل ۳-۳: ناحیه‌ی منشاء گرد و غبار جنوب غرب آسیا (from: Anderson, 2004)

ناحیه‌ی ۱: جلگه‌های حاصل‌خیز هلالی شکل^۱، بین دلتاها و دشت‌های سیلابی رودهای فرات^۲ و دجله^۳

ناحیه‌ی ۲: صحرای نفود^۴، در شمال عربستان سعودی

ناحیه‌ی ۳: صحرای دنا^۵ در شرق و مرکز عربستان سعودی

ناحیه‌ی ۴: صحرای ربع الخالی^۶ در جنوب شرق شبه جزیره‌ی عربستان

همان‌گونه که در شکل ۳-۳ مشاهده می‌شود جلگه‌های حاصل‌خیز هلالی شکل، منطقه‌ای شامل مخروط‌های آبرفتی و دشت‌های سیلابی دربردارنده‌ی مخلوطی از ذرات رس (ذرات کمتر از ۲ میکرومتر) و ذرات سیلت (ذرات بین ۲ تا ۵۰ میکرومتر) بوده و دیگر نواحی بیشتر از ماسه (ذرات بین ۵۰ تا ۱۰۰۰ میکرومتر) و فقط بعضی از نواحی کوچک از سیلت ساخته شده‌اند (Bartlett, 2004).

¹ Fertile crescent
² Euphrates
³ Tigris
⁴ AN Nafud
⁵ Ad Dhana
⁶ Rub al-Khali

مناطق جنوبی جلگه‌ی بین‌النهرین از زمان‌های گذشته شرایط ایجاد گرد و غبار را داشته است، اما منطقه‌ی غبارزای جدید، شمال و غرب عراق بوده که منطقه‌ای وسیع در حد فاصل سوریه و عراق را شامل می‌گردد. غبارهای غلیظی که استان‌های غربی ایران و شهرهای شمال عراق را در بر می‌گیرد، از منطقه‌ای منشاء گرفته که قبلاً سابقه نداشته است و این عامل، نشانه‌ی تخریب و تغییر حالت زیست-بوم ناحیه‌ای در غرب عراق بوده که از نظر جغرافیایی هم عرض استان‌های غرب ایران می‌باشد.

به این علت که منشاء غبار در جنوب غرب ایران عمدتاً مربوط به منطقه‌ی غبارزای حد فاصل عراق و سوریه است، در این بررسی، زمین‌شناسی این منطقه بیشتر مورد توجه قرار می‌گیرد. شرایط آب و هوایی عراق مانند درجه‌ی حرارت بالا، تفاوت چشمگیر دمایی بین شب و روز و بین زمستان و تابستان، رطوبت نسبی پایین در تابستان، تفاوت بارندگی در نقاط مختلف آن، نرخ تبخیر روزانه‌ی بالا در تابستان و وزش بادهای با سرعت بالا در ماه‌های خشک سال (گاهی حداکثر سرعت، در ماه جولای به $3/3$ متر بر ثانیه که بالاتر از سرعت آستانه‌ی حرکت ذرات خاک و رسوب است می‌رسد)، شرایط وقوع توفان‌های گرد و غباری را به‌ویژه در فصل بهار و پاییز آماده می‌کند (AL-Farajii, 2001). عراق با توپوگرافی پست، نزدیک نواحی زراعی به نام جلگه‌های حاصل‌خیز هلالی شکل (ناحیه ۱ در شکل ۳-۳) واقع شده که از سوریه‌ی مرکزی تا خلیج فارس با جهت یافتگی شمال غرب- جنوب شرق و شامل جوان‌ترین رسوبات عراق گسترش می‌یابد. بلندترین ارتفاعات در غرب و جنوب غرب عراق نزدیک مرز عربستان سعودی و اردن با ارتفاع ۹۳۶ متر می‌باشد. در شمال غرب عراق یک بالا آمدگی توده‌ای وجود دارد که در مرکز این بالا آمدگی رسوبات سبخا مربوط به میوسن میانی و در جوانب آن آواری‌های^۱ میوسن بالایی دیده می‌شود. رخنمون‌های فوق به علت فرسایش توسط رودخانه‌ی فرات، کربنات‌های الیگوسن^۲ و میوسن زیرین^۳ در سطح ظاهر شده‌اند (Jassim and Goff, 2006).

¹ Clastics

² Oligocene

³ Lower miocene

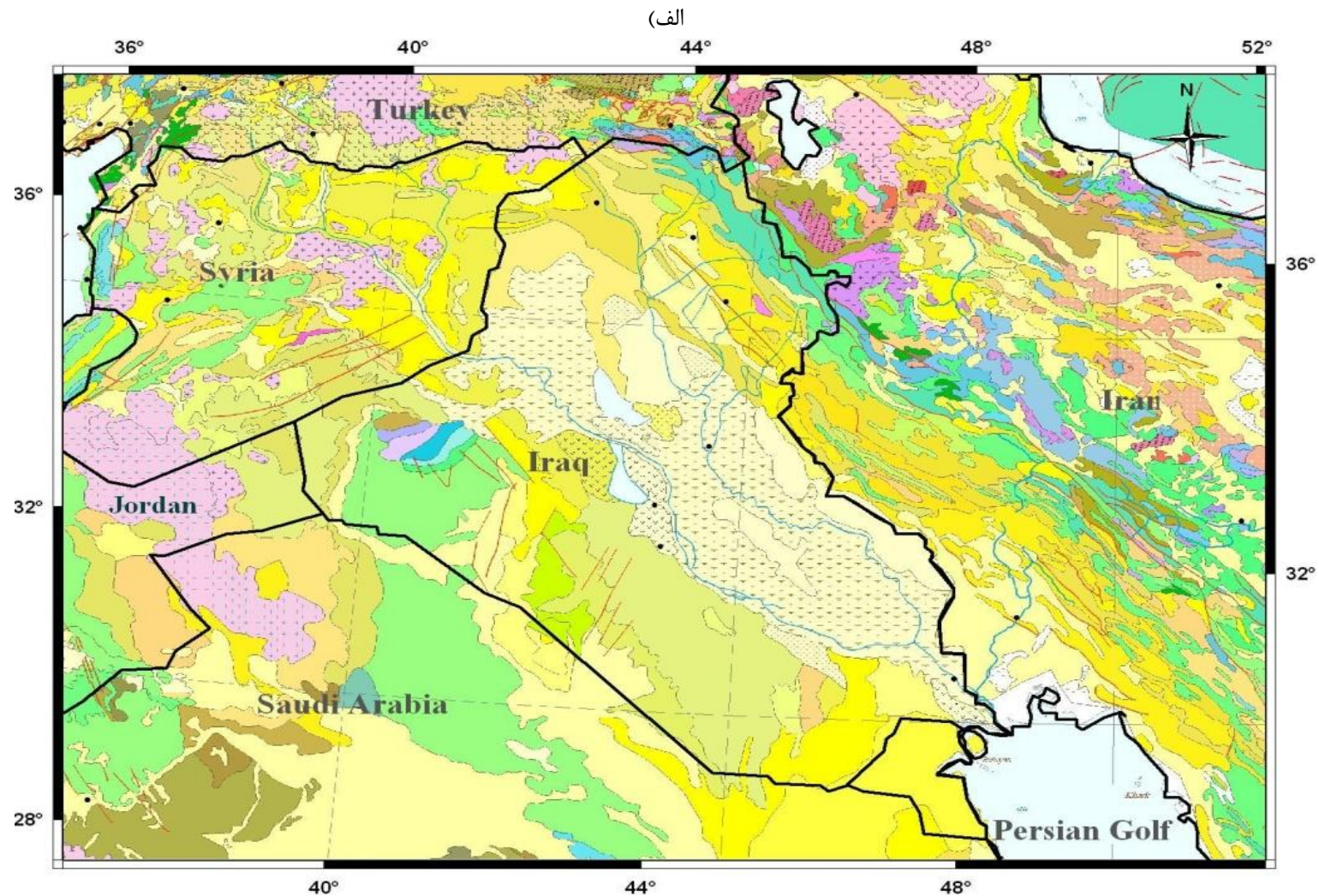
شدیدترین فعالیت‌های گرد و غباری در حوضه‌ی بین‌النهرین، از حدود ۳۲ درجه‌ی شمالی به طرف جنوب، ۲۰۰ کیلومتری جنوب شرق بغداد اتفاق می‌افتد. منابع این غبار، در یک دشت آبرفتی پهناور که از ۱۰۰ کیلومتری شمال بغداد تا خلیج فارس گسترش یافته، مستقر می‌باشد. این ذخایر آبرفتی بالغ بر ۱۳۰۰۰۰ کیلومتر مربع را می‌پوشانند، که به طور یکنواختی دارای ارتفاع کم (۱۰۰ متر) بوده و زهکشی طبیعی ضعیفی دارند. تابستان‌ها (می تا اکتبر)، بسیار گرم و خشک و همراه با حداکثر فعالیت‌های گرد و غباری می‌باشند. میدلتون (Middleton, 1986) فراوانی بسیار بالایی از توفان گرد و غبار در این محدوده، (۴۳ بار در سال در آبادان) گزارش داد، که آن را از گرد و غباری‌ترین مکان‌ها در جنوب غرب آسیا قرار می‌دهد. ذرات ریز رس و سیلت، (که از بقایای تپه‌های ماسه‌ای هستند) بین دو رود دجله و فرات شکل گرفته‌اند. باید متذکر شد که نواحی صحرایی پهناوری (۱۶۶۰۰۰ کیلومتر مربع) در غرب و جنوب عراق وجود دارند که ۴۰ درصد از سطح این کشور را پوشش می‌دهند. صحرای غربی ارتفاعی تا ۵۰۰ متر داشته و صحرای جنوبی (ارتفاع ۱۰۰ تا ۴۰۰ متر) دارای توپوگرافی پیچیده‌ای (وادی‌ها، صحراهای سنگی، تپه ماهورها و فرورفتگی‌ها) می‌باشد. زمین‌های اطراف خلیج فارس از نظر زمین‌شناسی یک پهنه‌ی جزر و مدی است که در قسمت جنوب و جنوب غرب پهن‌تر می‌شود، و به وسیله‌ی رسوبات آهکی، تبخیری و سبخ‌های آواری ساحلی پوشیده شده است (Prospero et al., 2002).

سوریه در کناره‌ی شمالی صفحه‌ی عربی دارای تنوع ساختمانی و چینه‌شناسی می‌باشد. زمین‌شناسی سطحی شرق سوریه تحت تأثیر رودخانه‌ی فرات است که عمدتاً از سنگ‌های کواترنری و نئوژن تغییر شکل نیافته به همراه مقدار کمی رسوبات سطحی، ترکیب یافته است و سنگ‌های سطحی کواترنری و نئوژن، سنگ بستر با سیستم ساختمانی پیچیده را می‌پوشانند. ناحیه‌ی غرب رودخانه‌ی فرات و سوریه از نظر ساختمانی نسبت به شرق آن پیچیدگی بیشتری دارد (Sawaf et al., 1993). ضخامت بخش رسوبی در سوریه به طور متوسط بین ۵ تا ۷ کیلومتر با یک حداکثر ۱۰ کیلومتری در بعضی از

حوضه‌های عمیق می‌باشد. ویژگی‌های مقاطع رسوبی از ناحیه‌ای به ناحیه‌ی دیگر تفاوت داشته، در داخل گودشدگی‌های فرات، زون‌های ساختمانی شامل سنگ‌های مزوزوئیک و سنوزوئیک با ضخامتی بالغ بر ۴ کیلومتر می‌باشند، در صورتی که در سایر مناطق ویژگی متفاوتی دارند و این پدیده نشان می‌دهد که فرونشست^۱ در مناطق متفاوت سوریه هم‌زمان صورت نگرفته است (Seber et al., 1992; Best et al., 1993).

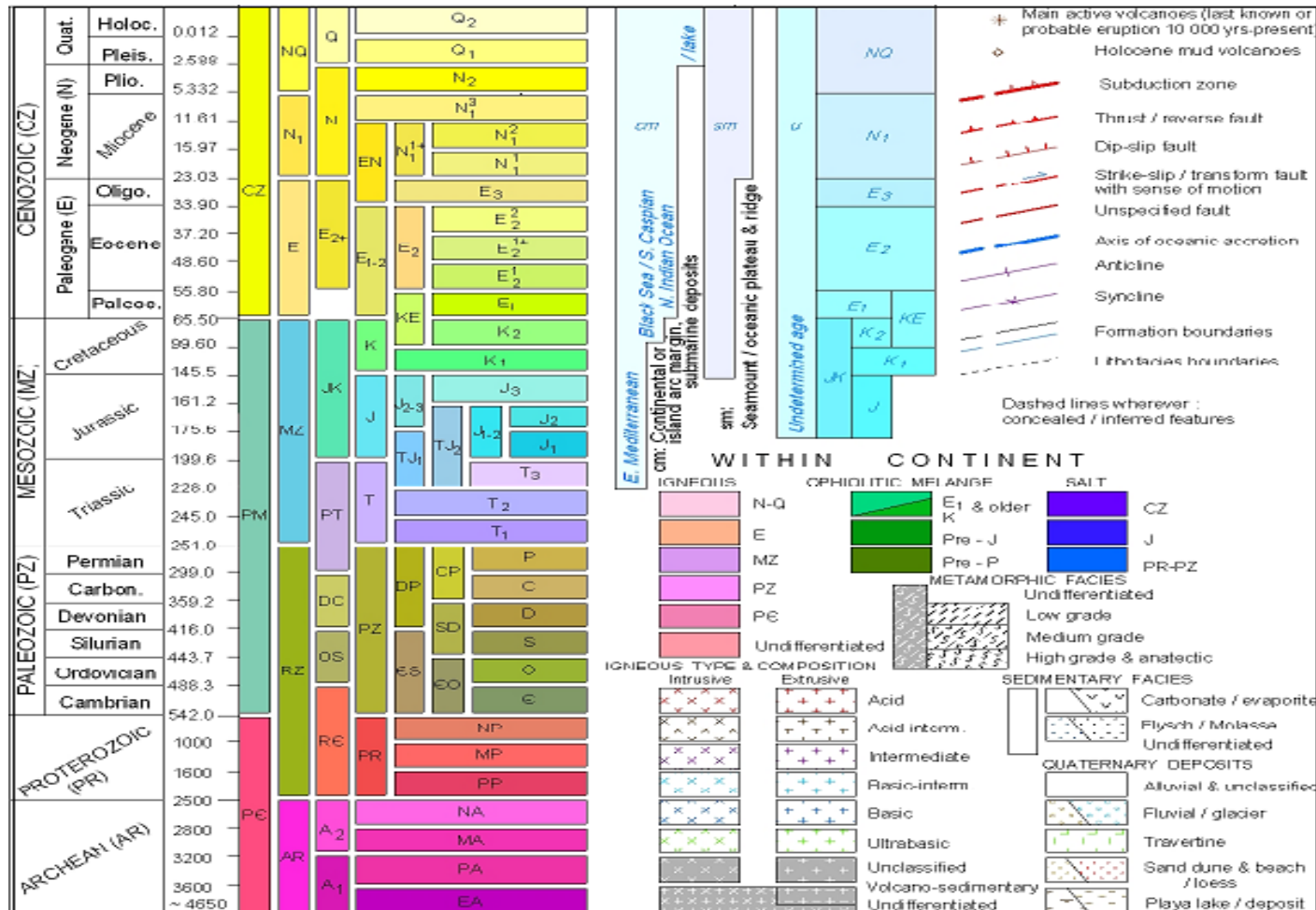
نقشه‌ی زمین‌شناسی خاورمیانه (شکل ۳-۴) نشان می‌دهد در غرب ایران از جمله کشورهای عراق و سوریه بیشترین سنگ‌هایی که در سطح زمین گسترش یافته‌اند نهشته‌های سخت نشده‌ی نئوژن به-ویژه در اطراف رودخانه‌های دجله و فرات می‌باشد. از اواخر میوسن به بعد غالب نهشته‌ها در محدوده-ی شمال ورقه‌ی عربی از نوع رسوبی-تخریبی بوده که غالباً از شیل و ماسه‌سنگ‌های ژوراسیک، سنگ‌های آهکی کرتاسه و سپس آهک‌های مارنی و شیل‌های پالتوسن تا میوسن نشأت گرفته‌اند. این رسوبات سست و جوان در مقابل عوامل فرسایش‌دهنده نظیر بارندگی و باد بسیار آسیب‌پذیر می‌باشند. تخریب این واحدهای رسوبی-تخریبی باعث شده است تا محصول فرسایش این واحدها توسط رودخانه‌ها و جویبارها به مناطق کم ارتفاع‌تر حمل شود و در مناطق پست و فروافتاده تجمع پیدا کند. برخی از این مناطق فروافتاده در گذشته توسط رودخانه‌های پرآب دجله و فرات تغذیه می‌شده‌اند و لذا کشاورزی در این مناطق رونق داشت. با کاهش آب و پوشش گیاهی در منطقه و نقش عوامل انسانی باعث شده است تا خاک عریان شده و سطح زمین راحت‌تر در معرض عوامل فرسایش قرار گیرد. به‌ویژه که رسوبات موجود در این مناطق غالباً دانه‌ریز (در حد سیلت و رس) می‌باشند. تغییرات آب و هوایی، خشک‌سالی‌ها و افزایش وقوع باد و توفان نیز به تشدید فرآیند فرسایش کمک نموده است.

¹ Subsidence



شکل ۳-۴: الف) بخشی از نقشه‌ی زمین‌شناسی خاورمیانه (عبدالعظیم حق‌پور، انتشار یافته توسط CGMW، ۲۰۰۹)

(ب)



شکل ۳-۴: (ب) راهنمای استفاده از نقشه زمین‌شناسی خاورمیانه

۳-۴- داده‌های مورد استفاده

داده‌ها و اطلاعات استفاده شده در این تحقیق به دو گروه عمده قابل تقسیم می‌باشند، گروه اول، داده‌های هواشناسی شامل قابلیت دید، جهت باد، سرعت باد، وضعیت هوای حاضر و مختصات ایستگاه‌های هواشناسی (طول، عرض و ارتفاع) اخذ شده از سازمان هواشناسی کشور^۱ (IRIMO). گروه دوم، تصاویر ماهواره‌ای سنجنده‌ی MODIS در سطح L1B از ماهواره‌ی ترا (Terra).

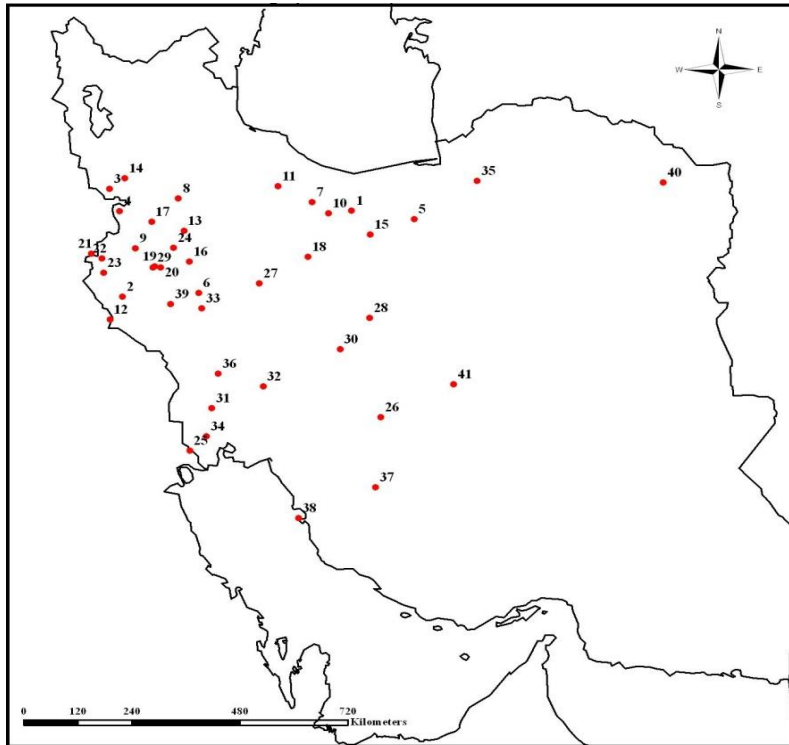
۳-۴-۱- داده‌های هواشناسی

در این پژوهش داده‌های هواشناسی مربوط به ۴۱ ایستگاه هواشناسی هم‌دیدگی که در غرب و جنوب غرب کشور واقع شده‌اند مورد استفاده قرار گرفت. نقشه‌ی پراکندگی ایستگاه‌های مورد نظر در شکل ۳-۵ نشان داده شده است. داده‌های دریافت شده، اطلاعات ساعتی ثبت شده‌ی مربوط به سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹ بودند. داده‌های هواشناسی ایستگاه‌های هم‌دیدگی در سه مرحله کنترل کیفی می‌شوند. مرحله‌ی اول در استان مربوط به ایستگاه مورد نظر و مرحله‌ی دوم و نهایی در سازمان هواشناسی کشور، بخش آمار و فن‌آوری اطلاعات، انجام می‌گیرد. داده‌های هواشناسی قابلیت دید مورد استفاده در این تحقیق، به دو صورت در اختیار قرار گرفتند. بعضی از داده‌ها کنترل نهایی روی آن‌ها صورت گرفته بود و تعدادی نیز (بیشتر مربوط به سال ۲۰۰۹) کنترل نهایی نشده بودند. بدین جهت، آنالیز و بررسی داده‌ها در دو بخش جداگانه انجام گرفت. در بخش اول، داده‌های کنترل نهایی شده و در بخش دوم داده‌هایی که هنوز کنترل نهایی روی آن‌ها انجام نگرفته بود. جدول مربوط به نام، مختصات جغرافیایی و ارتفاع ایستگاه‌هایی که داده‌های قابلیت دید آن‌ها در این بررسی به کار گرفته شده است در پیوست ۱ موجود می‌باشد. داده‌های هواشناسی سرعت و جهت باد مربوط به ۵۶ ایستگاه هواشناسی (که تعدادی از آن‌ها با ایستگاه‌های مورد استفاده در قابلیت دید مشترک بودند)، برای

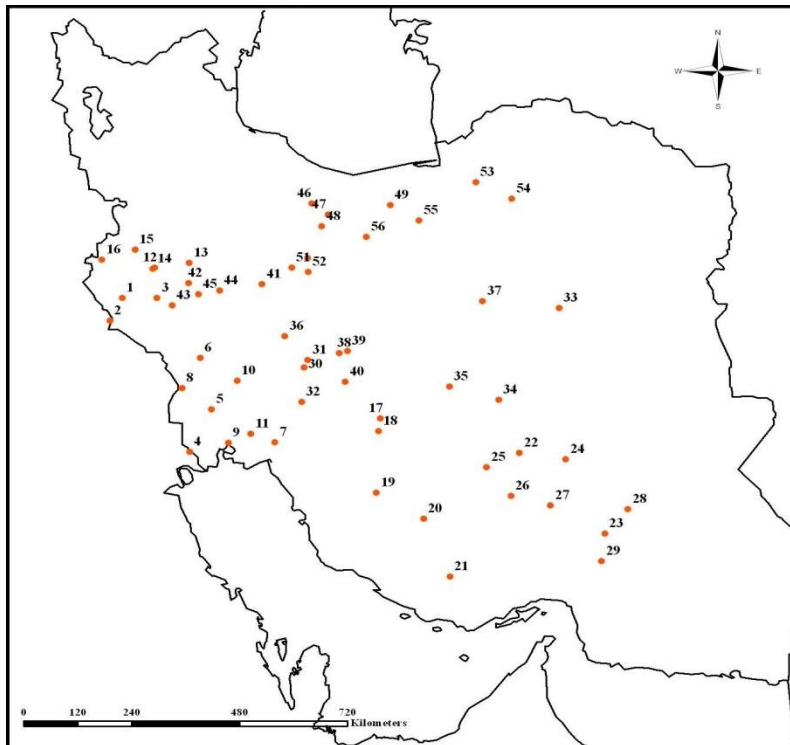
¹ Islamic Republic of Iran Meteorological Organization

فصل سوم: خصوصیات منطقه‌ی مطالعاتی و داده‌های مورد استفاده

تعیین نحوه‌ی انتشار غبار در محدوده‌ی زمانی ۴ تا ۸ جولای ۲۰۰۹ (۱۳ تا ۱۷ تیرماه ۱۳۸۸) مورد استفاده قرار گرفتند که پراکندگی مکانی این ایستگاه‌ها در شکل ۳-۶ مشاهده می‌گردد. نام، طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع این ایستگاه‌ها در پیوست ۲ موجود است.



شکل ۳-۵: موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی که داده‌های قابلیت دید آن‌ها مورد استفاده قرار گرفته است



شکل ۳-۶: موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی که داده‌های سرعت و جهت باد آن‌ها مورد استفاده قرار گرفته است

۳-۴-۲- تصاویر ماهواره‌ای

در هر بررسی و تحقیق بنا شده بر پایه‌ی سنجش از دور، بسته به موضوع و نیز منطقه مورد مطالعه، ماهواره و سنسور مناسب انتخاب می‌گردد. در تحقیق حاضر سنجنده‌ی MODIS به علت داشتن چندین ویژگی انتخاب گردید: ۱- میدان دید وسیع آن ۲- محدوده‌ی طیفی و تعداد باندهای موجود ۳- تفکیک مکانی^۱ و زمانی^۲ مناسب آن ۴- در دسترس بودن داده‌های این سنسور در ایران. داده‌های MODIS به شکل استاندارد به صورت پرتوهای کالیبره شده در دسترس می‌باشند. این سنجنده به وسیله‌ی ماهواره‌های اکوا^۳ و ترا^۴ حمل می‌شود. بنابراین دو ابزار MODIS به دلیل پوشش

¹ Spatial Resolution

² Temporal Resolution

³ Aqua

⁴ Terra

زمانی مناسب، جهت جمع‌آوری اطلاعات مرتبط با تغییرات روزانه‌ی ویژگی‌ها و شرایط سطح زمین استفاده می‌شوند. میدان دید^۱ آن ۲۳۳۰ کیلومتر و در محدوده‌ی 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، ۱ کیلومتر می‌باشد. از ۳۶ کانال MODIS، کانال‌های مرئی و مادون‌قرمز نزدیک^۲ جهت برداشت اطلاعات انعکاسی اجسام و مادون قرمز حرارتی برای اندازه‌گیری درجه حرارت روشنایی اجسام کاربرد دارد (عرض باند^۳ و مقدار طول موج مرکزی و موارد استفاده‌ی هرکدام از باندهای MODIS در پیوست ۳ موجود می‌باشد). در این بررسی تعداد ۲۸ تصویر ماهواره‌ای دریافت شده از سازمان فضایی ایران^۴ (پیوست ۴) مربوط به روزهای گرد و غباری انتخابی از سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹ جهت استخراج پارامترهای ردیابی گرد و غبار و تهیه نقشه‌های قابلیت دید و غلظت غبار به کار گرفته شده است.

تعداد ۵ تصویر ماهواره‌ای سنجنده‌ی MODIS جهت تعیین نحوه‌ی حرکت غبار در محدوده‌ی زمانی ۴ تا ۸ جولای ۲۰۰۹ و نیز ۳ تصویر دیگر مربوط به ۱۲ تا ۱۴ آوریل ۲۰۱۱ برای نمایش دادن وقوع این پدیده در فروردین ۱۳۹۰ از پایگاه اینترنتی http://ladsweb.nascom.nasa.gov/browse_images دریافت گردید.

¹ Swath Width

² Near Infrared

³ Band Width

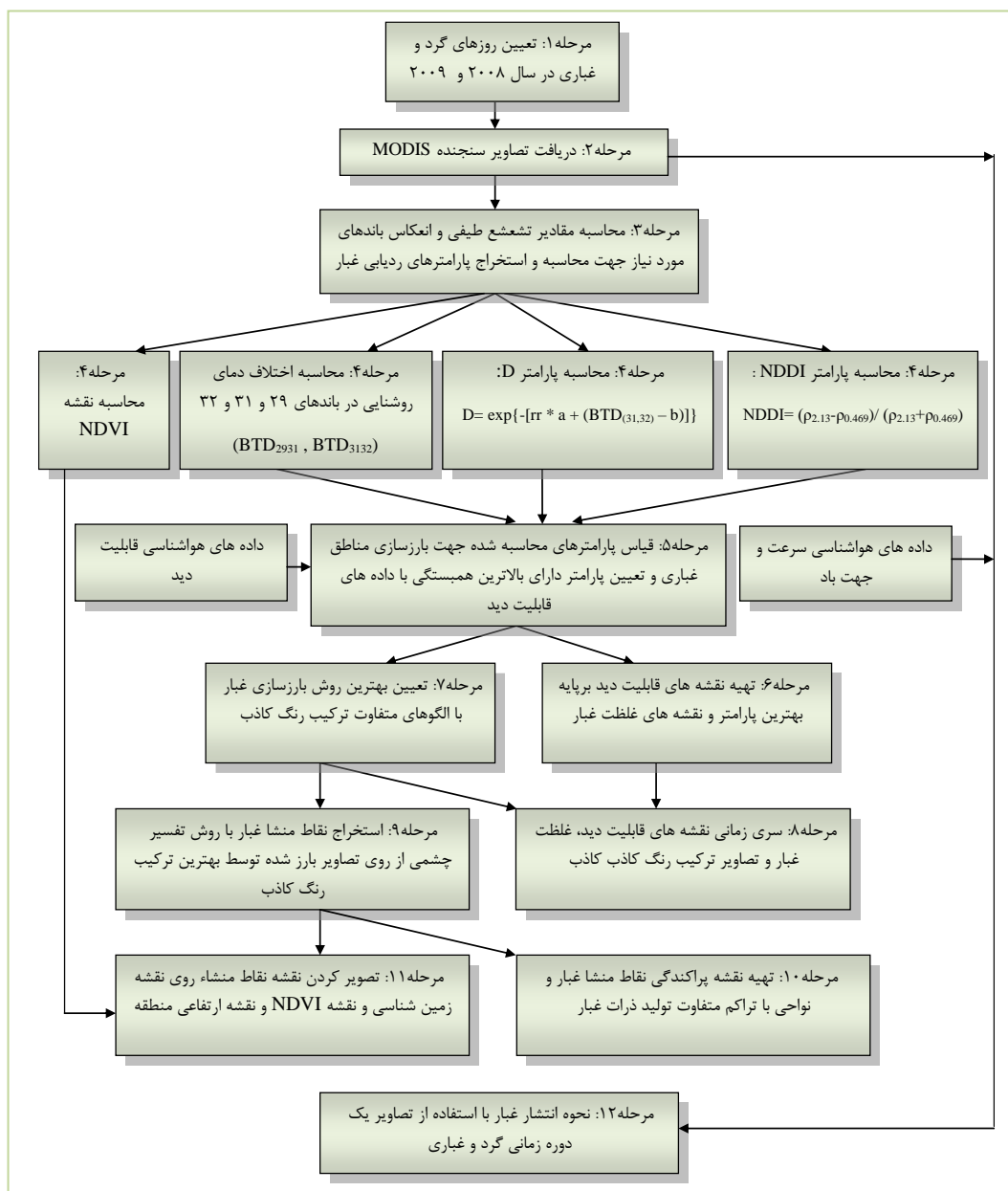
⁴ Iran Space Agency

فصل چهارم

روش انجام مطالعات

۴-۱- مقدمه

الگوریتم ارائه شده در این تحقیق به شکل ۴-۱ تنظیم گردیده است. به طور کلی مراحل تحقیق حاضر به دوازده مرحله‌ی زیر تقسیم می‌شود.



شکل ۴-۱: الگوریتم تحقیق

مرحله اول: در ابتدا روزهای وقوع گرد و غبار در سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹ تعیین گردید که این کار با استفاده از داده‌های هواشناسی از قبیل قابلیت دید، سرعت و جهت باد، وضعیت هوای حاضر، فشار و دمای ایستگاه‌های هم‌دید عمده‌تا مستقر در غرب کشور صورت گرفت.

مرحله دوم: دریافت تصاویر ماهواره‌ای سنجنده‌ی MODIS، مربوط به تاریخ‌های استخراج شده (۲۸ تصویر). تصاویر نهایی به گونه‌ای انتخاب شد که مناطق غرب و جنوب غرب و مناطق گرد و غباری (برای کاهش خطاهای محاسبه‌ای) تا حد امکان فاقد پوشش ابر باشند.

مرحله سوم: پردازش تصاویر و محاسبه‌ی مقدار تشعشع طیفی (رادینانس) و انعکاسی باندهای مورد نیاز برای محاسبه‌ی پارامترهای ردیابی گرد و غبار از روی تصاویر ماهواره‌ای مرحله‌ی چهارم: محاسبه‌ی پارامترهای انتخاب شده از منابع گوناگون (NDVI, BTDD₂₉₃₁, BTDD₃₁₃₂, D) جهت ردیابی مناطق گرد و غباری و نیز محاسبه‌ی نقشه‌ی شاخص پوشش گیاهی (NDVI).

مرحله پنجم: مقایسه‌ی پارامترها، به هدف تعیین پارامتری که دارای بالاترین همبستگی با داده‌های هواشناسی قابلیت دید می‌باشد.

مرحله ششم: نقشه‌های قابلیت دید با استفاده از مدل تعیین شده توسط بهترین پارامتر تولید گردید و همین نقشه‌ها، مبنای محاسبه‌ی تولید نقشه‌های غلظت غبار قرار گرفتند.

مرحله هفتم: از پارامترهای محاسبه شده در مرحله چهارم برای ایجاد بهترین تصویر ترکیب رنگ کاذب طبق الگوهای متفاوت با هدف بارزسازی مناطق غباری استفاده شد.

مرحله هشتم: از نقشه‌های قابلیت دید و نقشه‌های غلظت غبار تولید شده در مرحله ششم و نیز نقشه‌های ترکیب رنگ کاذب تولید شده در مرحله هفتم، سری زمانی ایجاد گردید.

مرحله نهم: نقشه‌های بارز شده با الگوی ترکیب رنگ کاذب مبنای استخراج مناطق منشاء غبار با روش تفسیر چشمی قرار گرفتند.

مرحله‌ی دهم: در این مرحله از نقشه‌ی نقطه‌ای تولید شده در مرحله‌ی قبل، برای تعیین سهم هر کدام از کشورهای منطقه در تولید ذرات گرد و غبار و نیز جهت تهیه‌ی نقشه‌ی نواحی با تراکم متفاوت تولید غبار استفاده شد.

مرحله‌ی یازدهم: نقشه‌ی نقطه‌ای تولید شده در مرحله‌ی نهم روی نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه و روی نقشه‌ی NDVI محاسبه شده در مرحله‌ی چهارم و نیز روی نقشه‌ی ارتفاعی منطقه تصویر گردید.

مرحله‌ی دوازدهم: در مرحله‌ی پایانی با استفاده از تصاویر غباری یک دوره‌ی زمانی ۵ روزه در سال ۲۰۰۹ و داده‌های سرعت و جهت باد ایستگاه‌های هواشناسی، نحوه‌ی انتشار غبار از محل منشاء تا نواحی مرکزی ایران تعیین شد.

۲-۴- تعیین روزهای غباری و دریافت تصاویر ماهواره‌ای (مراحل اول و دوم)

برای تعیین دوره‌ی گرد و غباری مورد نظر باید داده‌های هواشناسی از قبیل دید افقی، سرعت و جهت باد، میزان فشار، وضعیت هوای حاضر و دمای ایستگاه‌های هم‌دیدگی غرب کشور از سازمان هواشناسی کشور دریافت می‌گردید. بعد از دریافت این داده‌ها و کمک گرفتن از سایر منابع موجود (خبرگزاری‌ها، ستاد حوادث کشور، شبکه‌ی اینترنت)، روزهای گرد و غباری سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹ انتخاب گردید. انتخاب مناسب‌ترین و در دسترس‌ترین داده‌های ماهواره‌ای مورد نظر بود. به علت گسترش زیاد منطقه‌ی مورد مطالعه باید ابزار ماهواره‌ای انتخاب می‌شد که پوشش تصویری وسیعی داشته باشد. سنجنده‌ی MODIS با میدان دید وسیع (به علت گسترش زیاد منطقه‌ی مورد مطالعه) که در ایران داده‌های آن توسط سازمان فضایی ایران دریافت می‌گردد، مناسب‌ترین ابزار تشخیص داده شد. در ضمن نرم‌افزارهای مورد استفاده برای پردازش تصاویر ماهواره‌ای در این مطالعه، شامل ILWIS، ENVI، ARC GIS و ER MAPPER می‌باشد.

۴-۳- محاسبه‌ی پارامترهای ردیابی گرد و غبار و تهیه‌ی نقشه‌ی شاخص پوشش

گیاهی (مرحله‌ی سوم و چهارم)

برای محاسبه‌ی پارامترهای ردیابی گرد و غبار باید از باندهای مورد نیاز در ایجاد این پارامترها مقدار رادیانس و مقدار انعکاس محاسبه شود (باندهای: ۱ و ۲ برای محاسبه‌ی NDVI، ۳ و ۷ برای محاسبه‌ی NDDI، ۲۹ و ۳۱ و ۳۲ برای محاسبه‌ی BTM، ۲ و ۷ و ۳۱ و ۳۲ برای محاسبه‌ی پارامتر D). در ادامه نحوه‌ی محاسبه و نقش پارامترها در ردیابی گرد و غبار توضیح داده می‌شود.

۴-۳-۱- اختلاف دمای روشنایی^۱ (BTM)

همان‌گونه که قبلاً ذکر شد، یکی از روش‌های سنجش از دور استفاده از محدوده‌ی طول موج حرارتی طیف الکترومغناطیس می‌باشد، که به ویژه برای ردیابی گرد و غبار مورد استفاده قرار می‌گیرد. از مزایای این روش قابلیت برداشت داده‌ها، هم در شب و هم در روز بوده و نیز عوامل اتمسفری کمترین اثر را روی بازیابی امواج مادون قرمز دارد. همچنین برای سطوح درخشان (مانند صحراها) نیز کاربرد دارد، چرا که ردیابی گرد و غبار روی صحرا، با استفاده از تکنیک‌های مرئی، به علت بالا بودن انعکاس سطحی مشکل است.

بر اساس شبیه‌سازی انتقال تابش‌های مادون قرمز حرارتی، اکرم (Ackerman, 1997) یک تکنیک سه طیفی با طول موج‌های ۸/۵، ۱۱ و ۱۲ میکرومتر را برای ردیابی توفان‌های گرد و غبار با داده‌های MODIS و NOAA/AVHRR پیشنهاد می‌کند (ضمن این که این متد برای داده‌های هر سنجنده‌ی دیگر نیز قابل استفاده می‌باشد). او یادآور می‌شود که رفتار امواج حرارتی تحت تأثیر نوع هواویز، گسیل‌مندی سطحی^۲، زاویه‌ی دید، دمای سطحی و ساختار اتمسفری است. شکل ذرات و توزیع اندازه‌ی ذرات هواویزها نیز از نکاتی است که به آن اشاره نموده‌است. آنالیز میکروسکوپی ذرات نشان

¹ Brightness Temperature Difference

² Surface emissivity

می‌دهد که هواویزها شکل نامنظمی دارند و البته این مسئله ممکن است در محدوده‌ی باندهای جذبی مادون قرمز برای ذرات کوچک مشکل خاصی ایجاد نماید. به همین دلیل و به علت در دست نبودن ویژگی‌های تابشی ذرات نامنظم، اگرمن برای انجام شبیه‌سازی‌های اختلاف درجه حرارت روشنایی، ذرات را به شکل کروی فرض نموده است. توزیع اندازه‌ی ذرات را (مطابق منابع مختلف) به صورت توزیع نرمال در نظر گرفته، ضمناً اشاره می‌کند که هواویزهای با منشاء خاک (هر چند از نواحی جغرافیایی متفاوت)، دارای تشابهاتی در توزیع اندازه‌ی ذرات، صرف نظر از ناحیه‌ی منشاء آن‌ها می‌باشند. در تمام شبیه‌سازی‌ها، گسیل‌مندی سطحی، عدد یک فرض شده‌است (در عمده‌ی طرح‌های بازیابی مادون قرمز، گسیل‌مندی سطحی، یک فرض می‌شود). اختلاف دمای روشنایی در طول موج‌های مختلف حرارتی، ردیابی گرد و غبار را ممکن می‌سازد.

توفان‌های گرد و غبار مقادیر عظیمی از ذرات غبار و ماسه را شامل می‌شوند. این ذرات ویژگی‌های طیفی مشخصی نسبت به ذرات ابر یا دیگر گازها دارند. در واقع غبارهای سیلیکات گرایش به ایجاد یک اختلاف درجه‌ی روشنایی منفی بین ۱۱ و ۱۲ میکرومتر دارند. در محدوده‌ی طیفی ۱۰/۵ تا ۱۲/۵ میکرومتر، سیلیکات‌ها طول موج‌های کمتر را جذب کرده و ذرات یخ و آب طول موج‌های بزرگ‌تر را جذب می‌کنند.

در ابتدا با افزایش اندک عمق نوری^۱ گرد و غبار اختلاف دمای روشنایی بین باندهای ۸/۵ و ۱۱ میکرومتر (BT_{8.5}-BT₁₁) و نیز اختلاف دمای روشنایی بین باندهای ۱۱ و ۱۲ میکرومتر (BT₁₁-BT₁₂) افزایش می‌یابد، در حالی که با افزایش عمق نوری گرد و غبار، مقدار BT₁₁-BT₁₂ منفی می‌شود. علت این است که در آسمان فاقد گرد و غبار، ذرات بخار آب در طول موج‌های ۸/۵ و ۱۲ میکرومتر، نسبت به ۱۱ میکرومتر، جذب قوی‌تری دارند، بنابراین اختلاف درجه‌ی حرارت ۱۱ و ۱۲ (T₁₁-T₁₂) میکرومتر مثبت و اختلاف ۸/۵ و ۱۱ (T_{8.5}-T₁₁) منفی است اما در شرایط گرد و غباری، مقدار جذب

¹ Optical depth

ذرات گرد و غبار در ۱۱ میکرومتر قوی‌تر از ۸/۵ و ۱۲ میکرومتر بوده و در نتیجه باعث می‌شود اختلاف درجه‌ی حرارت ۸/۵ و ۱۱ میکرومتر ($T_{8.5}-T_{11}$) مثبت و برای طول موج‌های ۱۱ و ۱۲ میکرومتر ($T_{11}-T_{12}$) این مقدار کمتر از صفر باشد. در تحقیق حاضر جهت پیاده کردن این شبیه سازی، ابتدا برای تمام تصاویر موجود، بعد از تبدیل کردن مقدار رقومی تصاویر به رادیانس، با استفاده از معادله‌ی پلانک^۱ (معادله‌ی ۱-۴) مقدار درجه حرارت روشنایی باندهای ۸/۵، ۱۱ و ۱۲ میکرومتر تصاویر محاسبه گردید.

$$B(T, \lambda) = \frac{2hc^2}{\lambda^5 (e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1)} \quad (1-4)$$

در این رابطه، $B(T, \lambda)$ تابع پلانک در یک طول موج (λ) و دمای مشخص (T)، h ثابت پلانک (6.626×10^{-34})، k ثابت بولتزمن^۲ ($1.3806504 \times 10^{-23}$) و c سرعت نور (2.998×10^8 m/s) بوده T درجه حرارت می‌باشد (Hao et al., 2007). با استفاده از معادله‌ی پلانک، پارامتر درجه حرارت را می‌توان با رابطه‌ی زیر (معادله‌ی ۲-۴) استخراج کرد.

$$T = \frac{hc}{\lambda k \ln(1 + \frac{2hc^2}{\lambda^5 L})} \quad (2-4)$$

که در این رابطه، L همان مقادیر رادیانس تصاویر می‌باشد (بر حسب $w.m^{-2}.sr^{-1}.\mu m^{-1}$). بعد از محاسبه‌ی دمای روشنایی نوبت به تعیین اختلاف این دما در طول موج‌های مورد نظر می‌رسد. لازم به ذکر است که جهت نشان دادن اختلاف دمای روشنایی بین طول موج‌های ۸/۵ میکرومتر (باند 29 MODIS) و ۱۱ میکرومتر (باند 31 MODIS)، عبارت BTD_{2931} و برای اختلاف دمای روشنایی بین طول موج‌های ۱۱ میکرومتر و ۱۲ میکرومتر (باند 32 MODIS) عبارت BTD_{3132} به کار خواهد رفت. برای تمام تصاویر مقادیر BTD در باندهای مورد نظر محاسبه گردید.

¹ Plank

² Boltzmann

۴-۳-۲- اندیس نرمالیزه گرد و غباری^۱ NDDI

رفتارهای طیفی صدها ماده در بخش اطلاعات طیفی ASTER^۲ وجود دارد که به عنوان مرجعی جهت شناسایی مواد مختلف، مورد استفاده قرار می‌گیرد (Clark et al., 1993). با مراجعه به شکل ۴-۲ و یادآوری این نکته که انعکاس ذرات گرد و غبار (ماسه و خاک) با افزایش طول موج بین ۴ و ۵/۲ میکرومتر با یک حداقل مقدار در ۰/۴۶۹ میکرومتر (باند 3 MODIS) و یک حداکثر در ۲/۱۳ میکرومتر (باند 7 MODIS) افزایش می‌یابد، این ویژگی طیفی تشخیص گرد و غبار از ابر را ساده می‌کند. بر این اساس اندیس نرمالیزه گرد و غباری NDDI (معادله ۴-۳) قابل محاسبه می‌باشد.

$$NDDI = (\rho_{2.13 \mu m} - \rho_{0.469 \mu m}) / (\rho_{2.13 \mu m} + \rho_{0.469 \mu m}) \quad (3-4)$$

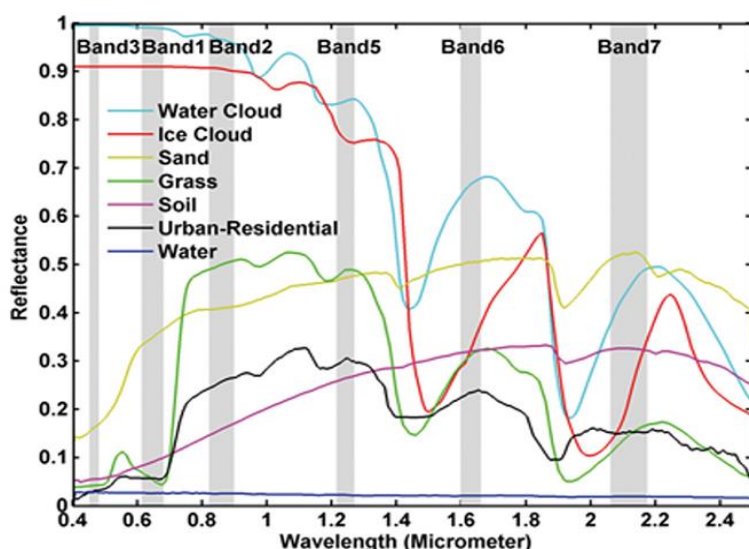
$\rho_{2.13\mu m}$ و $\rho_{0.469\mu m}$ به ترتیب مقادیر انعکاس در بالای اتمسفر^۳ (TOA)، در ۲/۱۳ میکرومتر و ۰/۴۶۹ میکرومتر می‌باشد (Qu et al., 2006).

جهت محاسبه‌ی مقدار NDDI ابتدا مقدار رقومی باندهای ۳ و ۷ تصاویر MODIS باید تبدیل به انعکاس شده و با استفاده از معادله‌ی فوق، مقدار اندیس تعیین شود. مقدار این پارامتر در پیکسل‌های دربردارنده‌ی ابر منفی است، چرا که ابر انعکاس بالاتری در باند ۳ و انعکاس پایین‌تری در باند ۷ دارد. برای مناظر سطحی مقدار آن عدد مثبت و کوچک و برای گرد و غبار عدد بزرگتر از یک آستانه (برای هر تصویر آستانه‌ی جداگانه) تعیین می‌شود.

¹ Normalized Difference Dust Index

² Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer

³ Top Of Atmosphere



شکل ۴-۲: منحنی‌های طیفی انعکاسی مربوط به بعضی از مناظر سطحی با مکان طیفی تعدادی از باندهای MODIS در محدوده‌ی طول موجی ۰/۴ تا ۲/۵ میکرومتر

(http://www.brenucsb.edu/fac_staff/fac/dozier/Talks/RSS.mht!RSS_files/frame.htm)

۴-۳-۳- پارامتر D (پیشنهاد شده توسط روسکووینسکی و لیو، ۲۰۰۵)

گرد و غبار اتمسفری و ابرهای سیروس اغلب با الگوریتم‌های ردیابی ابر توسط داده‌های ماهواره‌ای به صورت خودکار غیر قابل تشخیص می‌باشند. به بعضی از دلایل متعدد این امر در زیر اشاره می‌گردد. گرد و غباری که به صورت افقی در مساحت زیاد حمل می‌شود، معمولاً در ارتفاع ۵ کیلومتر واقع شده و بنابراین در بالای مقادیر زیادی از ابر قرار گرفته و می‌تواند در طول موج ۱/۳۸ میکرومتر که برای ردیابی ابرهای سیروس استفاده می‌شود، انعکاس نسبتاً بالایی ایجاد کند. از طرفی ذرات ریز گرد و غبار بین طول موج ۸/۶ و ۱۱ میکرومتر اختلافات گسیل‌مندی ایجاد می‌کنند که مانند ابرهای سیروس باعث اختلاف درجه‌ی روشنایی بین این کانال‌ها می‌شود. محققان پیوسته در جستجوی روش مناسبی هستند که بتواند به شکل نتیجه بخشی، نواحی گرد و غباری را از سایر مناظر مانند ابر و صحرا به وضوح متمایز نماید. پارامتر پیشنهاد شده توسط روسکووینسکی و لیو (Roskovinsky and Liou, 2005) جهت تفکیک گرد و غبار جوی از ابرهای سیروس با استفاده از داده‌های MODIS به

کار می‌رود. این پارامتر ویژگی‌های انعکاسی و نیز اختلاف دمای روشنایی (BTD) باندهای حرارتی را با یکدیگر تلفیق می‌کند (معادله‌ی ۴-۴).

$$D = \exp\{-[rr \times a + (btd - d)]\} \quad (4-4)$$

در این رابطه، rr نسبت انعکاسی بین طول موج‌های ۰/۵۴ و ۰/۸۶ میکرومتر ($0.54\mu\text{m}/0.86\mu\text{m}$) است. در شرایط بدون ابر و گرد و غبار، این نسبت، به علت پراکنش مولکولی، بین کانال‌های این دو مسیر، بزرگ‌تر از یک است. در حضور ابرهای سیروس این نسبت، کاهش و نهایتاً به یک می‌رسد اما در شرایط گرد و غباری به علت پایین بودن انعکاس در طول موج کوتاه‌تر این نسبت به پایین‌تر از یک کاهش می‌یابد. a فاکتور مقیاس rr ، btd اختلاف دمای روشنایی بین باندهای ۱۱ و ۱۲ میکرومتر ($BT_{11}-BT_{12}$) و b مقدار انحراف مربوط به اختلاف دمای روشنایی می‌باشد. برای تعیین مقادیر a و b داده‌ها به شکل هسیتوگرام، برای برش‌های کوچکی از تصاویر که به عنوان پیکسل‌های دربردارنده‌ی آسمان تمیز، گرد و غباری و ابرهای سیروس می‌باشند، مورد آزمایش قرار گرفتند. با توجه به کانال‌های سنجنده‌ی MODIS (جدول موجود در پیوست ۳) جهت محاسبه‌ی پارامتر D ، باند ۴ (با تفکیک مکانی ۵۰۰ متر) برای تعیین مقدار انعکاسی طول موج ۰/۵۴ و باند ۲ (با تفکیک مکانی ۲۵۰ متر) برای تعیین مقدار انعکاسی طول موج ۰/۸۶ انتخاب گردید. به منظور تعیین مقادیر a و b باید تنظیمات برای تصاویر مختلف جداگانه صورت می‌گرفت که طی این فرآیند مقدار a بین ۰/۳ تا ۱/۵ و مقدار b در تمام تصاویر، صفر تعیین شد. در شرایط گرد و غباری، افزایش مقدار پارامتر D را انتظار داریم.

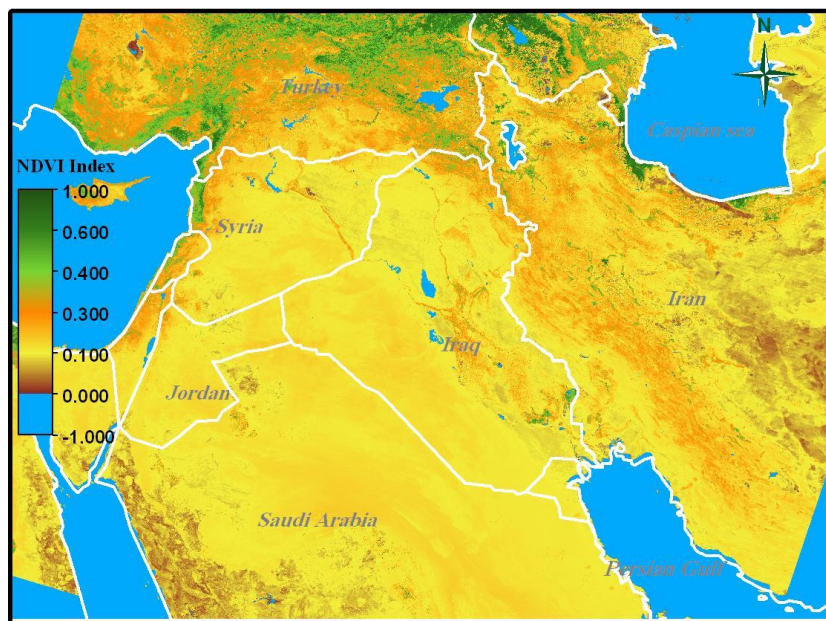
۴-۳-۴- تهیه‌ی نقشه‌ی شاخص پوشش گیاهی (NDVI)

با توجه به نقش پوشش گیاهی در جلوگیری از انتشار ذرات گرد و غبار یکی از موضوعاتی که در این مرحله به آن پرداخته شده تهیه نقشه‌ی گیاهی منطقه با استفاده از باندهای دارای تفکیک مکانی

۲۵۰ متر تصاویر MODIS می‌باشد. شاخص پوشش گیاهی (NDVI) محل‌های احتمالی پوشش گیاهی را با تغییرات عددی بین +۱ تا -۱ نشان می‌دهد. با استفاده از رابطه‌ی ۴-۵ می‌توان شاخص پوشش گیاهی را محاسبه نمود.

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R) \quad (۵-۴)$$

در این رابطه، NIR مقدار انعکاس در باند مادون قرمز و R مقدار انعکاس در باند قرمز می‌باشد. بالاترین مقدار این شاخص (+۱) نشان دهنده‌ی بیشترین میزان تراکم پوشش گیاهی و پایین‌ترین آن (-۱) نشان دهنده‌ی عوارضی مانند آب و برف بوده و برای خاک لخت مقادیر نزدیک به صفر محاسبه می‌گردد. جهت محاسبه‌ی شاخص پوشش گیاهی از باند ۱ MODIS (۰/۶۴۵ میکرومتر)، برای مقدار انعکاس در طول موج قرمز و از باند ۲ MODIS (۰/۸۵۶ میکرومتر)، برای مقدار انعکاس در باند مادون قرمز استفاده شد (شکل ۴-۳). در این تصویر، مناطقی که رنگ زرد تا قهوه‌ای دارند، معمولاً نواحی می‌باشند با تراکم ضعیف پوشش گیاهی ($0 < NDVI < 0.15$) و انعکاس سطحی بالا و البته مناطق با تراکم متوسط تا بالای پوشش گیاهی به رنگ نارنجی تا سبز قابل مشاهده هستند.



شکل ۴-۳: نقشه‌ی شاخص پوشش گیاهی محاسبه شده

۴-۴- مقایسه‌ی پارامترهای ردیابی گرد و غبار (مرحله‌ی پنجم)

برای قیاس چهار پارامتر محاسبه شده، مقدار عددی آن‌ها، در نقاط ایستگاهی (۴۱ ایستگاه) از ۲۸ تصویر ماهواره‌ای استخراج شد و در محیط Excel در مقابل داده‌های قابلیت دید (مربوط به ساعت دریافت تصویر) مدل گردید. با برازش توابع مختلف خطی و نمایی بر این داده‌ها، میزان هم‌بستگی آن‌ها با داده‌های قابلیت دید، تعیین گردید و در ادامه با اعمال مدل حاصل از بهترین پارامتر انتخاب شده، مقدار درصد خطای آن محاسبه شد.

۴-۵- تهیه‌ی نقشه‌های قابلیت دید و نقشه‌های غلظت غبار (مرحله‌ی ششم)

همان‌طور که قبلاً ذکر شد یکی از اطلاعات ساعتی هواشناسی ثبت شده که به طور وسیعی در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته، داده‌های قابلیت دید است. با اعمال مدل حاصل از پارامتری که بالاترین هم‌بستگی را با داده‌های قابلیت دید داشت، نقشه‌هایی تولید گردید که قابلیت دید را در سراسر منطقه‌ی مورد مطالعه مشخص می‌کرد. قابلیت دید کمتر حاصل وقوع توفان گرد و غباری شدیدتر است و بر همین اساس نقشه‌های ایجاد شده، به نواحی مختلف با شدت‌های متفاوت غباری، تقسیم شدند (مرزهای طبقه‌بندی طی مطالعه‌ی منابع مختلف انتخاب گردید).

هر چند قابلیت دید تحت تأثیر هم گرد و غبار و هم رطوبت هوا قرار می‌گیرد، اما می‌توان این گونه فرض کرد که طی یک واقعه‌ی گرد و غباری عامل تعیین کننده‌ی قابلیت دید، گرد و غبار می‌باشد (Shao and Dong, 2006). بنابراین می‌توان با استفاده از داده‌های قابلیت دید، مقدار غلظت گرد و غبار^۱ را تخمین زد. شائو و همکاران (Shao et al., 2003) به جهت پیش‌بینی گرد و غبار، از رخدادهای گرد و غباری مارس و آوریل ۲۰۰۲ شمال شرق چین استفاده کرده و با تعیین رابطه‌ی بین

¹ Dust Concentration

داده‌های قابلیت دید با مقدار کل ذرات معلق^۱ در هوای نزدیک سطح زمین (با استفاده از نمونه گیری اندرسن^۲)، رابطه‌ی تجربی زیر را برای تعیین غلظت گرد و غبار پیشنهاد نمودند.

$$C = \begin{cases} 3802.29 D_V^{-0.84} & D_V < 3.5 \text{ km} \\ \exp(-0.11 D_V + 7.62) & D_V > 3.5 \text{ km} \end{cases} \quad (6-4)$$

در این رابطه، C غلظت گرد و غبار بر حسب میکروگرم بر متر مکعب ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) و D_V قابلیت دید بر حسب کیلومتر می‌باشد. در تحقیق حاضر از نقشه‌های قابلیت دید تولید شده در همین مرحله برای تهیه‌ی نقشه‌های غلظت گرد و غبار استفاده شد.

۴-۶- ساختن تصاویر ترکیب رنگ کاذب^۳ (FCC) و بارزسازی مناطق گرد و

غباری (مرحله‌ی هفتم)

پایش مناطق گرد و غباری با استفاده از تلفیق ویژگی‌های انعکاسی پراکنش و جذبی ذرات گرد و غبار به طور وسیعی در سنجش از دور مورد استفاده قرار می‌گیرد. این‌جا از پارامترهای استخراج شده از تصاویر که خود نقش ردیابی مناطق گرد و غباری را به عهده داشتند و تلفیق ویژگی‌های تابشی در باندهای مرئی، مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز حرارتی، جهت بارزسازی مناطق تحت پوشش گرد و غبار استفاده شده است. ساختن تصاویر ترکیب رنگ کاذب (FCC) به صورت RGB^۴ به چند روش مورد آزمون قرار گرفت تا بهترین تصویری که می‌تواند مناطق غباری را بارزسازی کند، تعیین شود. مقادیر انعکاسی باندهای ۳ (۰/۴۶۵ میکرومتر)، ۴ (۰/۵۵۳ میکرومتر) و پارامترهای BTD₃₁₃₂، BTD₂₉₃₁، NDDI و پارامتر D جهت ساختن تصویر ترکیب رنگ کاذب مورد استفاده قرار گرفتند. نحوه‌ی قرار گرفتن هر کدام از مقادیر مورد نظر در موقعیت‌های قرمز، سبز و آبی در شکل ۴-۴ نشان داده شده است. ملاحظه می‌گردد که در طراحی ترکیب رنگ کاذب، سعی شده از محدوده‌های

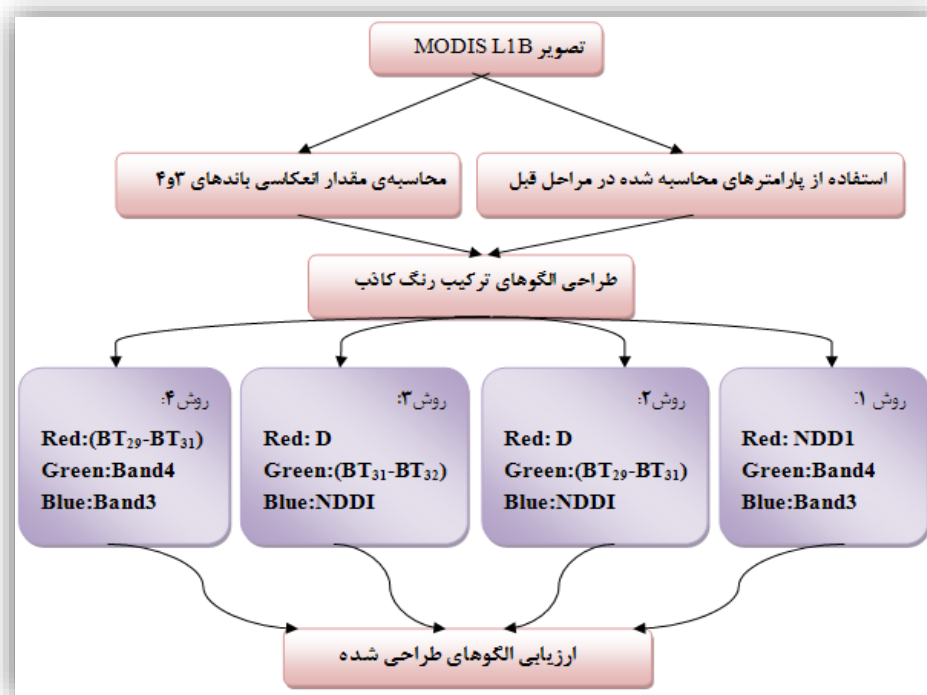
¹ Total Suspended Particle

² Andersen samplers

³ False Color Composite

⁴ Red, Green, Blue

مختلف طیفی (مرئی، مادون قرمز نزدیک، مادون قرمز حرارتی) برای بارسازی محدوده‌ی غبار استفاده گردد تا بتوان با ایجاد تمایز رنگ بین پیکسل‌های غباری و پیکسل‌های بدون غبار، با دقت بیشتری مناطق منشاء غبار را از تصاویر بارز شده، استخراج نمود.



شکل ۴-۴: فلوجارت مربوط به الگوهای ساخت ترکیب رنگ کاذب از تصاویر ماهواره‌ای

بعد از تولید نقشه‌های قابلیت دید، غظت غبار و تصاویر ترکیب رنگ کاذب، در مرحله‌ی بعد (مرحله‌ی هشتم) سری زمانی از تصاویر موجود تهیه گردید (پیوست ۵).

۴-۷- تعیین نقاط منشاء غبار (مرحله‌ی نهم)

از بهترین تصاویر ترکیب رنگ کاذب ساخته شده در مرحله‌ی هفتم که توانسته بودند مناطق غباری را بارسازی کنند، برای تعیین مناطق منشاء غبار استفاده گردید. این فرآیند به‌وسیله‌ی تفسیر چشمی، بر روی ۲۸ تصویر ماهواره‌ای موجود صورت گرفت. در تفسیر چشمی، نقاطی را که به نظر می‌رسد

ذرات گرد و غبار از آن محل‌ها سرچشمه گرفته و در جهت باد در منطقه پخش می‌شوند، در یک فایل نقطه‌ای به صورت مکانی، استخراج و علامت‌گذاری شدند.

۴-۸- تعیین سهم کشورهای منطقه در تولید ذرات گرد و غبار (مرحله‌ی دهم)

فایل نقطه‌ای مناطق منشاء غبار، حاوی تعدادی نقطه‌ی مشخص از مکان‌های برخاست ذرات گرد و غبار در منطقه‌ی مورد مطالعه است. با تعیین درصد نقاط واقع شده در داخل محدوده‌ی سرزمین هر کشور می‌توان مشخص نمود که هر کدام از کشورهای منطقه چه سهمی را می‌توانند در تولید غبار داشته باشند. لازم به ذکر است که نقشه‌ی نقطه‌ای حاصل با فرآیند درون‌یابی، تبدیل به نقشه‌ای شد که برای منطقه‌ی مورد مطالعه، نواحی با استعدادهای متفاوت تولید ذرات گرد و غبار را مشخص می‌کند.

۴-۹- تصویر کردن نقشه‌ی نقاط منشاء روی نقشه‌ی زمین‌شناسی، NDVI و

ارتفاعی منطقه (مرحله‌ی یازدهم)

مناطق مستعد تولید ذرات گرد و غبار دارای ویژگی‌های خاصی از نظر زمین‌شناسی و جنس سنگ و خاک منطقه، وضعیت پوشش گیاهی و نیز ارتفاعی خواهند بود که قطعا پوشش گیاهی ضعیف، رطوبت کم، سنگ‌های فرسایش یافته و خاک‌های سست و ارتفاع پست از ویژگی‌های این مناطق می‌باشد. به منظور به‌دست آوردن این ویژگی‌ها در منطقه‌ی مورد مطالعه، از نقشه‌ی زمین‌شناسی خاورمیانه (برای تعیین جنس سنگ‌ها)، از نقشه‌ی NDVI ساخته شده در مرحله‌ی چهارم (برای وضعیت پوشش گیاهی) و از نقشه‌ی مدل ارتفاعی منطقه (اخذ شده از منابع مورد مطالعه) استفاده گردید.

۴-۱۰- تعیین نحوه‌ی حرکت غبار (مرحله‌ی دوازدهم)

مدل حرکت غبار در یک دوره‌ی زمانی گرد و غباری می‌تواند تا حدود زیادی ما را در شناسایی نحوه‌ی انتشار توده‌های گرد و غباری یاری نماید. مدل‌ها به عنوان یک ابزار مناسب در پیش‌بینی بسیاری از پیامدهای زیست محیطی حائز اهمیت می‌باشند. در این بخش از داده‌های هواشناسی سرعت و جهت باد که در هر ایستگاه هواشناسی به صورت ساعتی (هر ۳ ساعت یک بار) برداشت می‌شوند، با هدف تعیین مسیر حرکت توده‌ی غبار استفاده شد. فعالیت‌های گرد و غباری در حوضه‌های دجله و فرات در حدود ماه می آغاز شده در جولای به حداکثر خود می‌رسد و در ماه‌های نوامبر و سپتامبر بیشترین کاهش را دارد، هرچند ممکن است از سالی به سال دیگر به طور قابل ملاحظه‌ای تغییر نماید (Prospero et al., 2002).

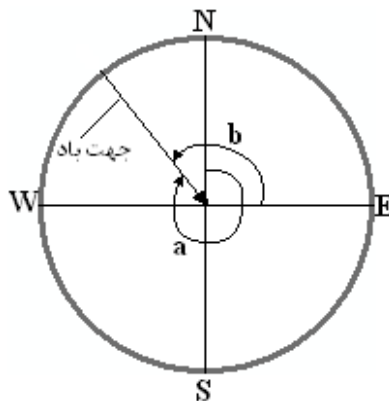
برای تعیین نحوه‌ی حرکت و انتشار غبار یک دوره‌ی زمانی پنج روزه ۱۳ تا ۱۷ تیر ۸۸ که شدت غبار ورودی به ایران بسیار زیاد بود و حتی تهران را نیز متأثر نمود به نحوی که به تعطیلی در تهران منجر شد و باعث ایجاد مشکلاتی در زمینه‌ی میدان دید به شکل کاهش شدید دید افقی در بسیاری از استان‌های غربی و مرکزی (از جمله روز یکشنبه ۱۴ تیر ۸۸ در کرمانشاه میدان دید به ۱۰۰ متر کاهش یافت)، مسائل بهداشتی، مشکلات تنفسی گردید، انتخاب و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. به این منظور ابتدا تصاویر ماهواره‌ای سنجنده‌ی MODIS مربوط به تاریخ‌های مورد نظر از پایگاه اینترنتی: http://ladsweb.nascom.nasa.gov/browse_images دریافت شد و در ادامه بر روی داده‌های دریافت شده از ایستگاه‌های هواشناسی عمدتاً مستقر در غرب و مرکز ایران (پیوست ۲) که اطلاعات سرعت و جهت باد ساعتی ثبت شده‌ی آن‌ها کامل بود، محاسباتی با هدف تعیین برآیند روزانه‌ی سرعت و جهت باد در هر کدام از روزهای تعیین شده، صورت گرفت. این اطلاعات در محیط GIS بر روی تصاویر ماهواره‌ای اخذ شده، ترسیم گردید. نقشه‌های حاصل به صورت چشمی تفسیر و با در نظر گرفتن بردارهای سرعت و جهت باد غالب، اقدام به استخراج مسیر کلی حرکت گرد و غبار و

نحوهی انتقال آن از منشاء به طرف ایران شد. در زیر نحوهی محاسبه‌ی برآیند سرعت و جهت باد توضیح داده می‌شود.

جهت باد در ایستگاه‌های هواشناسی به صورت ساعت‌گرد و از شمال جغرافیایی (به عنوان نقطه‌ی صفر) اندازه‌گیری می‌شود (زاویه a در شکل ۴-۵). برای انجام محاسبات این زاویه با استفاده از فرمول ۴-۷ به زاویه مثلثاتی (زاویه b در شکل ۴-۵) تبدیل شد.

$$\begin{cases} \text{if } a \leq 90 \Rightarrow b = 90 - a \\ \text{if } a > 90 \Rightarrow b = 450 - a \end{cases} \quad (4-7)$$

همان‌طور که در شکل ۴-۵ مشاهده می‌شود جهت باد در ایستگاه هواشناسی با زاویه 320° درجه ثبت شده است و در دایره مثلثاتی این زاویه 130° درجه را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۵: زاویه باد اندازه‌گیری شده در ایستگاه هواشناسی (زاویه a) و مقدار آن در جهت مثلثاتی (زاویه b)

داده‌های سرعت و جهت باد ساعتی مربوط به یکی از ایستگاه‌های هم‌دیدگی در روز ۴ جولای ۲۰۰۹ (۱۳ تیر ماه ۱۳۸۸) و نحوهی محاسبه‌ی برآیند سرعت و جهت باد در جدول ۴-۱ به عنوان نمونه آورده شده است. ملاحظه می‌شود که بعد از تبدیل جهت باد به زاویه مثلثاتی، مؤلفه‌های باد در جهت محورهای x و y برای هر کدام از ساعت‌های برداشت، تعیین شده و با جمع این مؤلفه‌ها در جهت محورهای x و y مقدار برآیند سرعت و جهت باد محاسبه گردیده است.

فصل چهارم: روش انجام مطالعات

جدول ۴-۱: نحوه‌ی محاسبه‌ی برآیند سرعت و جهت باد در یک روز (۴ جولای ۲۰۰۹)

نام ایستگاه	ساعت برداشت	جهت باد	سرعت باد	زاویه مثلثاتی جهت باد	مؤلفه x باد	مؤلفه y باد	مجموع مؤلفه‌های x	مجموع مؤلفه‌های y	برآیند سرعت باد	زاویه برآیند جهت باد
فرودگاه امام	0	130	3	320	2.29	-1.92	23.96	-14.24	27.88	329
فرودگاه امام	3	130	4	320	3.06	-2.57				
فرودگاه امام	6	120	7	330	6.06	-3.5				
فرودگاه امام	9	120	6	330	5.19	-3				
فرودگاه امام	12	120	7	330	6.06	-3.5				
فرودگاه امام	15	110	6	340	5.63	-2.05				
فرودگاه امام	18	310	2	140	-1.53	1.28				
فرودگاه امام	21	290	3	160	-2.81	1.02				

فصل پنجم

نتایج و بحث

۵-۱- مقدمه

مراحل اجرا شده در این تحقیق به طور کلی شامل دو بخش اصلی است. در بخش اول محاسبه‌ی پارامترهای ردیابی گرد و غبار و ارزیابی کارآمد بودن این پارامترها در منطقه‌ی مورد مطالعه، با استفاده از داده‌های هواشناسی صورت گرفته است و در بخش دوم مناطق منشاء ذرات غبار و سهم سرزمین کشورهای منطقه در تولید این ذرات تعیین گردیده است. در ادامه نتایج حاصله از مراحل اجرای الگوریتم تحقیق، مورد بحث و تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد.

۵-۲- مقایسه‌ی پارامترهای ردیابی گرد و غبار

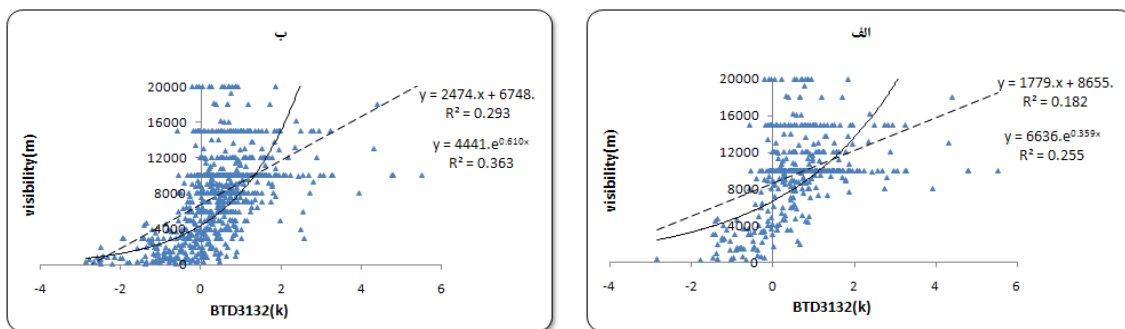
پارامترهای استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای هر کدام به نحوی برای ردیابی گرد و غبار طراحی و پیشنهاد شده‌اند، اما اینکه کدام پارامترها در محدوده‌ی غرب ایران در آشکارسازی مناطق غباری از قابلیت بیشتری برخوردار می‌باشد موضوعی است که در این بخش برای هر کدام از پارامترها به طور جداگانه مورد بررسی قرار می‌گیرد. به منظور آنالیز و ارزیابی نتایج، از داده‌های هواشناسی قابلیت دید استفاده گردیده است. قبلاً اشاره شد (فصل ۳) که داده‌های هواشناسی مورد استفاده به دو صورت، ۱- داده‌های کنترل کیفی شده‌ی نهایی ۲- داده‌هایی که کنترل نهایی روی آن‌ها انجام نگرفته، قابل تقسیم بودند. در این جا نیز جهت به دست آوردن ارتباط بین پارامترها و قابلیت دید، در دو گروه مجزا مورد بررسی و تحلیل قرار می‌گیرند: الف) داده‌های قابلیت دید که کنترل کیفی نهایی شده‌اند ب) مجموع داده‌های قابلیت دید شامل داده‌های کنترل نهایی شده و داده‌های کنترل نهایی نشده.

۵-۲-۱- رابطه‌ی BTD_{3132} با قابلیت دید

ابتدا اختلاف درجه حرارت روشنایی بین باندهای ۳۱ و ۳۲ MODIS محاسبه شد. در نقشه‌های BTD_{3132} محاسبه شده، مناطق غباری دارای اعداد نزدیک به صفر یا کمتر از آن می‌باشند به گونه‌ای

که می‌توان در بیشتر تصاویر با به کار بردن یک آستانه‌ی >0.5 مناطق غباری را به خوبی تفکیک نمود. سایر مناظر سطحی دارای مقادیر بیشتر از این آستانه و بالاترین اختلاف درجه‌ی روشنایی مربوط به مناظر ابری با تراکم بالا می‌باشد.

شکل ۵-۱ نتایج حاصل از برازش توابع خطی و نمایی بر داده‌های قابلیت دید کنترل شده‌ی مربوط به ۲۴ ایستگاه هواشناسی، در مقابل BTD_{3132} (شکل الف) و همین نتایج را برای کل داده‌های قابلیت دید مربوط به ۴۱ ایستگاه در مقابل BTD_{3132} (شکل ب) را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌گردد که در هر دو مورد توابع نمایی هم‌بستگی بهتری بین داده‌ها برقرار می‌کنند.



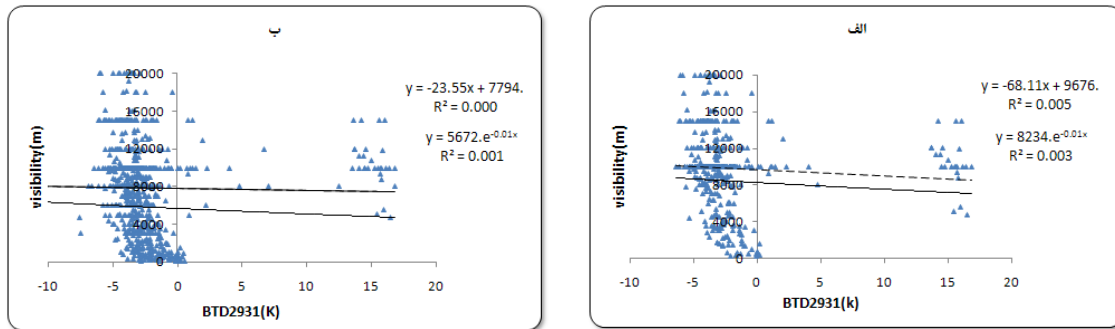
شکل ۵-۱: توابع خطی و نمایی برازش داده شده بر پارامتر BTD_{3132} و داده‌های قابلیت دید (الف) کنترل کیفی شده‌ی نهایی (ب) مجموع داده‌های قابلیت دید (کنترل شده‌ی نهایی و کنترل نهایی نشده)

۵-۲-۲- رابطه‌ی BTD_{2931} با قابلیت دید

محدوده‌ی تغییرات BTD_{2931} در تمام تصاویر محاسبه شده نسبت به BTD_{3132} بیشتر بوده که علت آن می‌تواند جذب بیشتر بخار آب در طول موج ۸ میکرومتر باشد و قویا تشعشع زمین را تحت تأثیر قرار می‌دهد. تفاوت میزان بخار آب در نقاط مختلف یک تصویر، پراکندگی مقادیر BTD_{2931} (به‌ویژه به سمت اعداد منفی‌تر) را افزایش داده است. طبق بررسی‌ها و نتیجه‌گیری اگرمن هواویزهای پشت-زمینه‌ی سطحی، مقادیر BT_8 - BT_{11} کمتری ایجاد می‌کنند که در تصاویر حاصل این وضعیت قابل

مشاهده است. به عنوان مثال نواحی صحرایی شمال عربستان که لایه‌های سخت نشده‌ی نئوژن گسترش دارند، دارای کم‌ترین مقدار BTD_{2931} محاسبه شده در عموم تصاویر بودند. البته این امر می‌تواند تحت تأثیر عوامل مختلفی، مانند تفاوت در گسیل‌مندی سطحی، تفاوت در درجه حرارت اتمسفری و تفاوت در غلظت غبار نیز باشد. نکته‌ی قابل ذکر در این قسمت این است که هم‌زمان با افزایش غلظت گرد و غبار، طبیعتاً اثرات سطحی روی BTD محاسبه شده کاهش می‌یابد. مناظر گرد و غبار هوایی هم دارای BTD_{2931} منفی می‌باشند که این عدد با افزایش غلظت گرد و غبار به سمت صفر و اعداد مثبت میل می‌کند.

در شکل ۵-۲ نتایج برازش توابع خطی و نمایی در دو بخش داده‌های قابلیت دید کنترل کیفی شده در ۲۴ ایستگاه (الف) و کل داده‌های قابلیت دید در ۴۱ ایستگاه موجود (ب) را در مقابل BTD_{2931} مشخص می‌کند، اما ارتباط مناسبی بین این پارامتر با داده‌های قابلیت دید وجود ندارد. می‌توان این‌گونه استنباط نمود که BTD_{2931} تحت تأثیر عواملی چون بخار آب بوده و این عامل باعث می‌شود که گرد و غبار به خوبی بازیابی نشود. از طرفی عامل دیگری مانند کروی نبودن ذرات گرد و غبار باعث می‌شود، بسیاری از شبیه‌سازی‌های تئوری با مشاهدات سازگاری نداشته باشد. از جمله در شبیه‌سازی ارائه شده توسط لانگتین و همکاران (Longtin et al., 1988) مقادیر منفی BTD_{3132} برای شرایط گرد و غباری ایجاد نمی‌شود، در حالی که در شبیه‌سازی کوپک و همکاران (Koepke et al., 1996) این پارامتر (BTD_{3132})، مقادیر منفی برای مناظر گرد و غباری ایجاد می‌کند، اما در جایی که گرد و غبار مشاهده نشده، مقدار BTD_{2931} مثبت ایجاد می‌کند. این موضوع نشان دهنده‌ی عدم هماهنگی بین مشاهدات و شبیه‌سازی‌ها بوده و در تحقیق حاضر نیز عدم ارتباط مناسب بین داده‌های قابلیت دید و پارامتر BTD_{2931} قابل انتظار می‌باشد.



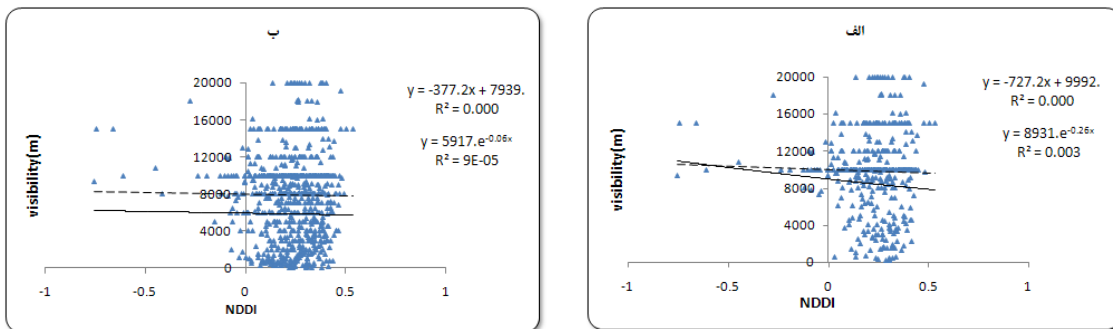
شکل ۵-۲: توابع خطی و نمایی برازش داده شده بر پارامتر BTD₂₉₃₁ و داده‌های قابلیت دید (الف) کنترل کیفی شده‌ی نهایی (ب) مجموع داده‌های قابلیت دید

۵-۲-۳- رابطه‌ی NDDI با قابلیت دید

افزایش بازتابندگی گرد و غبار در محدوده‌ی طیفی ۰/۴ تا ۲/۵ میکرومتر (شکل ۴-۲)، افزایش مقدار شاخص گرد و غباری NDDI (معادله‌ی ۴-۳) را باعث می‌شود و میتواند مناظر غباری را از ابری که حداکثر تابش آن در طول موج ۰/۴ (باند ۳ MODIS) است، تفکیک نماید. تغییرات عددی این شاخص به صورت $-1 < NDDI < +1$ است که حداکثر مقدار، برای مناظر گرد و غباری و حداقل آن، برای سطوح پوشیده از آب و ابر محاسبه می‌شود. در بعضی مناطق با به کارگیری یک آستانه‌ی مناسب، مناظر گرد و غباری به خوبی تعیین شده است. به عنوان مثال برای ناحیه‌ی صحرایی گبی در چین (Qu et al., 2006) با به کار بردن آستانه‌ی ۰/۲۸ برای NDDI، به طور مؤثری پیکسل‌های گرد و غباری از آب و ابرهای یخی جدا شدند. در تصاویر NDDI تولید شده در این بررسی نیز به خوبی پیکسل‌های در بردارنده‌ی آب و ابر با داشتن مقادیر منفی از سایر مناظر تفکیک شدند. اما مناظر گرد و غباری به خوبی از سایر مناظر سطح خشکی‌ها متمایز نشدند. چرا که بسیاری از مناطق که احتمالاً پوشیده از ماسه و گرد و غبار زمینی هستند، دارای NDDI بالاتر از مناظر گرد و غبار هوایی بودند.

شکل ۵-۳ نتایج برازش توابع خطی و نمایی در هر دو بخش داده‌های قابلیت دید را نشان می‌دهد. نحوه‌ی پراکندگی مقادیر NDDI استخراج شده از تصاویر نشان می‌دهد که ارتباط ضعیفی بین این

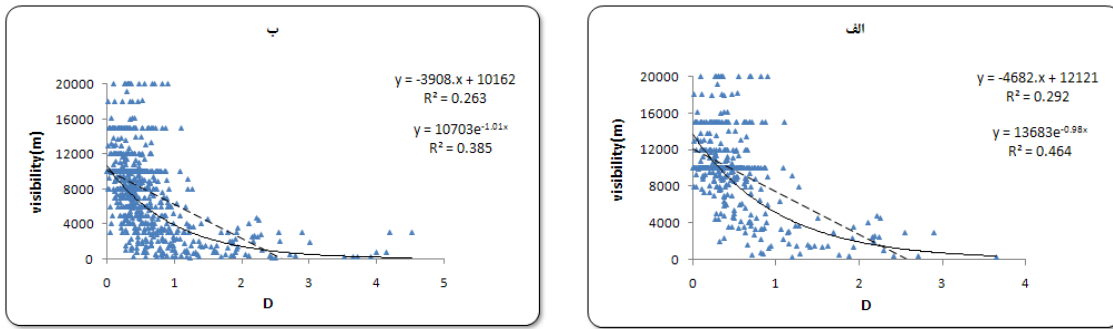
پارامتر با داده‌های قابلیت دید وجود دارد. وقوع این ارتباط ضعیف، می‌تواند بدان علت باشد که این پارامتر به تنهایی قادر به تفکیک پیکسل‌های گرد و غبار هوایی از پیکسل‌های ماسه و غبار زمینی نبوده و در نتیجه نتوانسته رابطه‌ی مناسبی را با داده‌های قابلیت دید ثبت شده، توسط ایستگاه‌های هواشناسی برقرار نماید.



شکل ۵-۳: توابع خطی و نمایی برازش داده شده بر پارامتر NDDI و داده‌های قابلیت دید (الف) کنترل کیفی شده‌ی نهایی (ب) مجموع داده‌های قابلیت دید

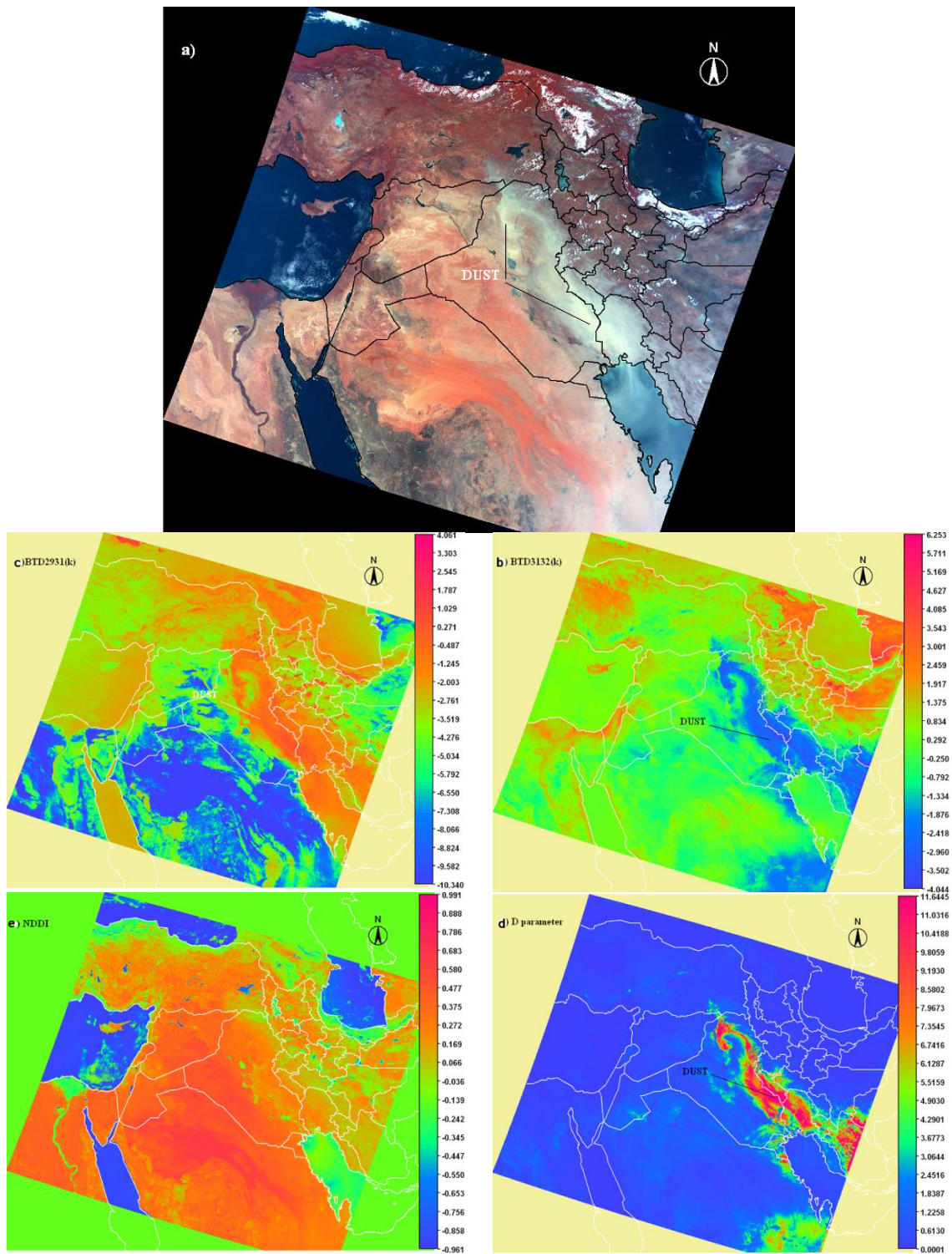
۵-۲-۴- رابطه‌ی پارامتر D با داده‌های قابلیت دید

ابتدا از مقادیر انعکاسی باندهای ۲ و ۴ برای تعیین نسبت انعکاسی ir و از BTD_{3132} محاسبه شده در مراحل قبل، به عنوان btd ، برای جای‌گذاری در معادله‌ی ۴-۴ استفاده شد. همان‌طور که از معادله‌ی ۴-۴ انتظار داریم، با کاهش ir و مقدار پارامتر D افزایش خواهد داشت. در تمام تصاویر حاصل، شرایط گرد و غباری (کاهش ir و BTD_{3132}) مقدار پارامتر D را افزایش داده است. کمترین مقدار D در تصاویر، برای پیکسل‌های دربردارنده‌ی آب و یا ابر به علت بالا بودن ir و BTD_{3132} آن‌ها بوده است. این نتایج در هنگام مقایسه‌ی تصاویر D با تصاویر ترکیب رنگ واقعی به‌دست آمده است. نتایج حاصل از برازش توابع خطی و نمایی پارامتر D با داده‌های قابلیت دید در شکل ۵-۴ نمایش داده شده است. در هر دو حالت برازش توابع نمایی روابط بهتری را بین داده‌ها ایجاد نموده است.



شکل ۵-۴: توابع خطی و نمایی برازش داده شده بر پارامتر D و داده‌های قابلیت دید (الف) کنترل کیفی شده‌ی نهایی (ب) مجموع داده‌های قابلیت دید

برای تصویر MODIS به تاریخ ۲ جولای ۲۰۰۸ هر چهار پارامتر محاسبه شده برای این تاریخ، (به عنوان نمونه)، در شکل ۵-۵ نمایش داده شده است. در این شکل، مشاهده‌ی نقشه‌های حاصل از محاسبه‌ی هر کدام از پارامترها گویای این مطلب است که پارامترهای D و BTD_{3132} نسبت به پارامترهای NDDI و BTD_{2931} قابلیت مؤثرتری در ردیابی مناطق تحت پوشش غبار دارند. به گونه‌ای که در شکل (b) پیکسل‌های غباری (در روی خشکی) به رنگ آبی از پیکسل‌های فاقد غبار به خوبی توسط پارامتر BTD_{3132} متمایز شده‌اند و حتی این تمایز توسط پارامتر D در شکل (d) بهتر صورت گرفته است (پیکسل‌های غباری بسته به غلظت آن‌ها به رنگ‌های سبز تا قرمز در زمینه‌ای از پیکسل-های بدون غبار به رنگ آبی). اما در شکل‌های (c) و (e) مشاهده می‌شود که پارامترهای BTD_{2931} و NDDI پیکسل‌های غباری را از پیکسل‌های فاقد غبار به خوبی تفکیک ننموده‌اند.

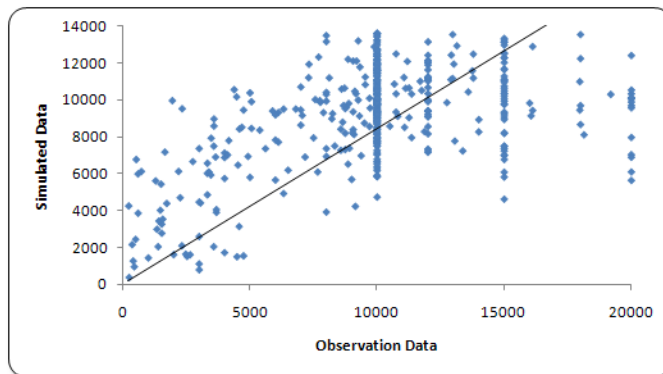


شکل ۵-۵: (a) تصویر ماهواره‌ای MODIS به تاریخ ۲ جولای ۲۰۰۸ (07:53 GMT) و نمایش چهار پارامتر محاسبه شده برای این تصویر در (b) BT3132 (c) BT2931 (d) D parameter (e) NDDI

۵-۲-۵- انتخاب پارامتر مناسب

بر اساس نتایج ارائه شده در بخش قبل می‌توان نتیجه گرفت که در مجموع بهترین هم‌بستگی را پارامتر D با داده‌های قابلیت دید، هم در قسمت کنترل شده‌ی نهایی و هم کل داده‌های قابلیت دید داشته است. هم‌چنین تفسیر چشمی تصاویر ارائه شده از روش‌های مختلف نیز این نتیجه را تأیید می‌کند. اما جهت انتخاب تابع مورد نظر، واضح است که در بخش اول، یعنی داده‌های قابلیت دید کنترل کیفی شده‌ی نهایی بهترین نتیجه ($R^2=0.464$) را با هم‌بستگی $0/68$ ایجاد نموده است. با اعمال معادله‌ی $y=13683e^{-0.98x}$ و قرار دادن مقادیر پارامتر D در موقعیت متغیر x، قابلیت دید تخمین زده شده و مقدار درصد خطای حاصل اندازه‌گیری شد. درصد خطای حاصل از اعمال مدل فوق با استفاده از فرمول (۱-۵) محاسبه گردید. در این رابطه Xobs مقدار داده‌ی قابلیت دید دریافت شده از ایستگاه هواشناسی و Xsim مقدار قابلیت دید حاصل از مدل پارامتر D می‌باشد. درصد خطای بدست آمده از اعمال مدل $45/6\%$ محاسبه شد. نحوه پراکندگی داده‌های قابلیت دید دریافت شده از ایستگاه‌های هواشناسی در مقابل داده‌های قابلیت دید مدل شده براساس پارامتر D در شکل ۵-۶ مشاهده می‌شود.

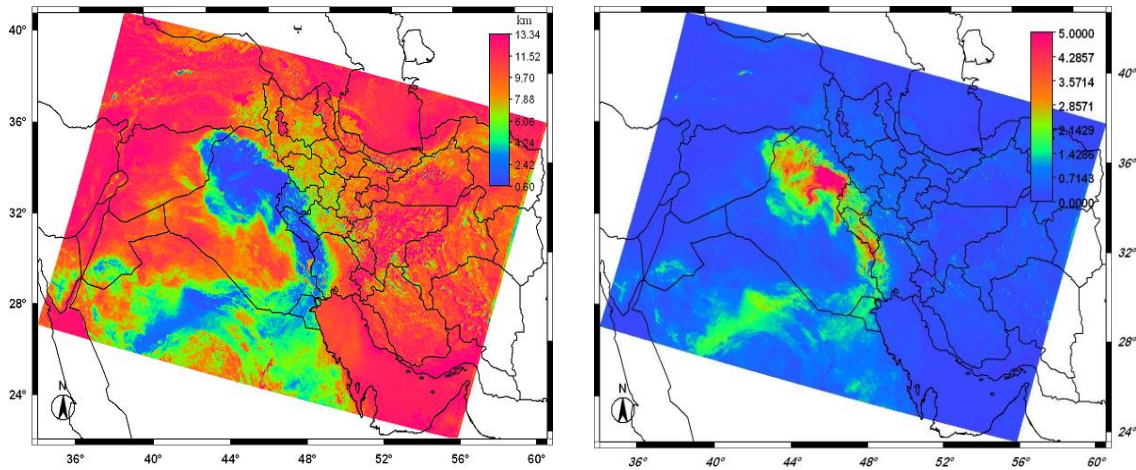
$$E\% = \frac{\sum |X_{obs} - X_{sim}|}{\sum |X_{obs}|} \times 100 \quad (1-5)$$



شکل ۵-۶: پراکندگی داده‌های حاصل از مدل در مقابل داده‌های هواشناسی

۵-۳- تولید نقشه‌های قابلیت دید

در مفاهیم هواشناسی، قابلیت دید، معادل بیشترین فاصله‌ای است که یک جسم سیاه در مسیر افقی می‌تواند به وضوح تشخیص داده شود و بنابراین دید تابعی از هواویزها شامل توزیع اندازه و غلظت هواویز و نیز رطوبت هوا (محتوای بخار آب) می‌باشد (Lin et al., 2009). در بخش قبل ملاحظه گردید که بهترین رابطه را با قابلیت دید، پارامتر D با معادله‌ی $y=13683e^{-0.98x}$ ایجاد نموده است. بر همین اساس نقشه‌های قابلیت دید با استفاده از نقشه‌های پارامتر D برای ۲۸ تصویر ماهواره‌ای موجود ایجاد شد. به این ترتیب که در معادله‌ی فوق نقشه‌های حاصل از پارامتر D را در موقعیت x قرار داده و نقشه‌های خروجی مقدار قابلیت دید را در سطح منطقه نشان خواهند داد. نمونه‌ای از نقشه‌های حاصل در شکل ۵-۷ ب مشاهده می‌گردد.



شکل ۵-۷: الف) نقشه‌ی پارامتر D محاسبه شده برای تصویر ماهواره‌ای، ۱۵ سپتامبر ۲۰۰۸ ب) نقشه‌ی قابلیت دید تهیه شده با استفاده از پارامتر D برای تصویر ۱۵ سپتامبر ۲۰۰۸

۵-۴- طبقه بندی نقشه‌های قابلیت دید

بر اساس توافق سازمان هواشناسی جهانی^۱ (WMO) هر گاه در ایستگاهی سرعت باد از ۱۵ متر در ثانیه تجاوز کرده و دید افقی به علت گرد و غبار به کمتر از یک کیلومتر برسد توفان گرد و غبار گزارش می‌شود. پیش‌تر ذکر گردید که یکی از عوامل اصلی تعیین کننده‌ی قابلیت دید به‌ویژه در هنگام پدیده‌ی غباری، ذرات گرد و غبار هستند که بسته به شدت واقعه‌ی گرد و غباری، میزان دید کاهش می‌یابد. بنابراین بر اساس تغییرات قابلیت دید می‌توان گرد و غبار را گروه‌بندی کرد. یکی از این طبقه‌بندی‌ها توسط سازمان هواشناسی جهانی به صورت زیر ارائه شده است.

۱) گرد و غبار معلق^۲: گرد و غبار معلق گسترش یافته‌ی یکنواختی که در زمان مشاهده در اطراف ایستگاه از زمین بلند نشده باشد. قابلیت دید معمولاً بیشتر از ۱۰ کیلومتر نیست.

۲) گرد و غبار پخش شده^۳: ماسه و غباری که در زمان مشاهده از زمین بلند شده و درمقایسه با گروه قبلی به وسیله‌ی بادهای قوی‌تری شکل گرفته است. کاهش قابلیت دید به یک تا ۱۰ کیلومتر.

۳) توفان گرد و غبار^۴: در این حالت بادهای قوی مقادیر زیادی گرد و غبار از زمین بلند می‌کنند. کاهش قابلیت دید بین ۲۰۰ تا ۱۰۰۰ متر.

۴) توفان شدید گرد و غبار^۵: بادهای بسیار قوی مقادیر بسیار زیادی گرد و غبار از زمین بلند کرده و قابلیت دید به کمتر از ۲۰۰ متر کاهش می‌یابد.

جوزف و همکاران (Joseph et al., 1980) و میدلتون (Middleton, 1986) در هند بر اساس تغییرات قابلیت دید و سرعت باد طبقه‌بندی استاندارد از توفان گرد و غبار را به صورت ضعیف، متوسط و شدید ارائه داده‌اند. بر طبق این معیار و شرایط واقعی در چین Xu و همکاران (Xu et al., 1996) و

¹ World Meteorological Organisation

² Dust in Suspension

³ Blowing Dust

⁴ Dust Storm

⁵ Severe Dust Storm

کیان و همکاران (Qian et al., 1997) طبقه‌بندی استاندارد از گرد و غبار (جدول ۵-۱) بر حسب شدت آنها در شمال غرب چین انجام دادند. این طبقه‌بندی استاندارد برای عملکرد اداره هواشناسی چین مناسب تشخیص داده شد (Zhou and Wang, 2002).

جدول ۵-۱: طبقه‌بندی استاندارد گرد و غبار بر اساس شدت (Zhou and Wang, 2002)

حد اقل قابلیت دید [v(m)]	ماکزیمم سرعت لحظه‌ای باد [f(m/s)]	شدت گرد غبار
$v \leq 200$	$f \geq 20$	Severe
$200 < v \leq 500$	$f \geq 17$	Moderate
$500 < v \leq 1000$	$f \geq 10$	Light

از آنجا که ذرات گرد و غبار توسط باد از سطح زمین در اتمسفر معلق می‌شوند، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و بنابراین ویژگی‌های تابشی گرد و غبار، تابعی از سرعت باد است. مؤسسه‌ی هواشناسی چین^۱ (1979) طبق مشاهدات استاندارد هواشناسی، توفان گرد و غبار را در چهار سطح طبقه‌بندی می‌کند، به صورت: ۱-گرد و غبار معلق^۲: زمانی که گرد و غبار ریز توسط نسیم سبک در نزدیک سطح زمین در حالت معلق مشاهده شده و مقدمه‌ی ایجاد دید افقی کمتر از ۱۰ کیلومتر است. ۲-گرد و غبار منتشر شده^۳: باد ذرات ماسه و گرد و غبار را در هوا منتشر می‌کند و دید افقی بین ۱ تا ۱۰ کیلومتر است. ۳-توفان گرد و غبار/ ماسه^۴: زمانی که انتشار گرد و غبار و ماسه از سطح زمین توسط بادهای قوی باعث تیره شدن هوا می‌شود و دید افقی بین ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ کیلومتر است. ۴-توفان شدید گرد غبار/ ماسه^۵: هجوم گرد و غبار و ماسه توسط توفان شدید، آلودگی شدید هوا را باعث شده و دید افقی کمتر از ۵۰۰ متر ایجاد می‌کند (Yang et al., 2008).

¹ China Meteorological Administration

² Floating Dust

³ Blowing Dust

⁴ Sand/Dust storm

⁵ Severe Sand/Dust storm

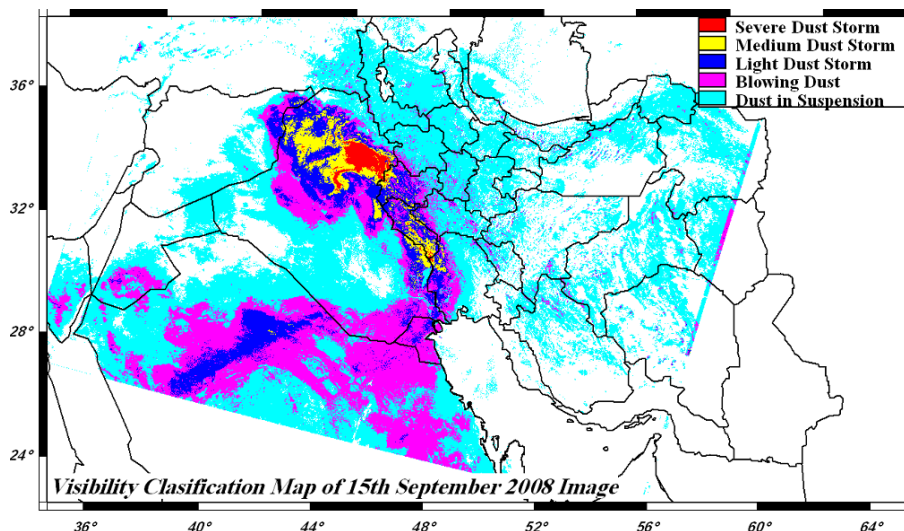
یک شاخص گرد و غباری که اطلاعات ثبت شده از وقایع غباری را ترکیب می‌کند، به صورت توفان شدید گرد و غبار، توفان گرد و غبار متوسط و وقایع غباری محلی توسط Squires (2001) ارائه شده است. توفان شدید گرد و غباری زمانی که قابلیت دید کمتر از ۲۰۰ متر، توفان گرد و غبار متوسط قابلیت دید کمتر از ۱۰۰۰ متر و وقایع غبار محلی، زمانی که کل ذرات معلق در هوا بیشتر از ۱۵۰ میکروگرم در متر مکعب در هر ساعت باشد. اما به دلیل نبود داده‌های اندازه‌گیری ذرات معلق، قابلیت دید ۱۰۰۰ تا ۳۰۰۰ به عنوان توفان گرد و غباری سبک انتخاب شد (Jamalizadeh et al., 2008). ملاحظه می‌گردد که در مطالعات مختلف، طبقه‌بندی‌های متفاوتی بسته به شرایط محیطی و آب و هوایی به کار رفته است. علاوه بر این که تأکید بیشتر، روی طبقه‌بندی توفان‌های گرد و غباری که دید کمتر از ۱۰۰۰ متر ایجاد می‌کنند شده است و وقایعی که دید بین ۱ تا ۱۰ کیلومتر دارند در یک محدوده کلی قرار گرفته‌اند.

در تحقیق حاضر، علاوه بر ترکیب روش‌های به کار گرفته شده در مطالعات گذشته و در نظر گرفتن گروه‌های اصلی، سعی شده بسته به شرایط منطقه‌ای، گونه‌ای از طبقه بندی ارائه شود تا بتواند نقشه‌هایی ایجاد کند که با به کار گیری سطوح مختلف قابلیت دید، گویای پهنه‌ی وقایع گرد و غباری متفاوت باشد. جدول ۵-۲ طبقه بندی پیشنهادی این تحقیق و مرزهای جدایش قابلیت دید به کار گرفته شده در هر طبقه را نشان می‌دهد. یک نمونه از تصاویر حاصل از طبقه‌بندی نقشه‌های قابلیت دید در شکل ۵-۸ آورده شده است سایر تصاویر طبقه‌بندی شده در پیوست ۵ موجود می‌باشد.

¹ Light dust storm

جدول ۵-۲: اساس طبقه‌بندی نقشه‌های قابلیت دید

ویژگی‌ها	دید افقی (متر)	نام کلاس
توفان شدید گرد و غبار همراه با آلودگی شدید هوا	کمتر از ۲۰۰	Severe Dust Storm
بادهای قوی، باعث تیره شدن هوا	۲۰۰-۱۰۰۰	Medium Dust storm
توفان گرد و غباری سبک	۱۰۰۰-۳۰۰۰	Light Dust Storm
انتشار ذرات گرد و غبار از سطح زمین، در اطراف ایستگاه	۳۰۰۰-۶۰۰۰	Blowing Dust
انتشار ذرات معلق، مقدمه‌ی ایجاد دید کمتر از ۱۰ کیلومتر	۶۰۰۰-۱۰۰۰۰	Dust in Suspension



شکل ۵-۸: تصویر طبقه‌بندی شده‌ی حاصل از نقشه‌ی میدان دید (شکل ۵-۶ ب) مربوط ۱۵ سپتامبر ۲۰۰۸

۵-۵- تولید نقشه‌های غلظت گرد و غبار

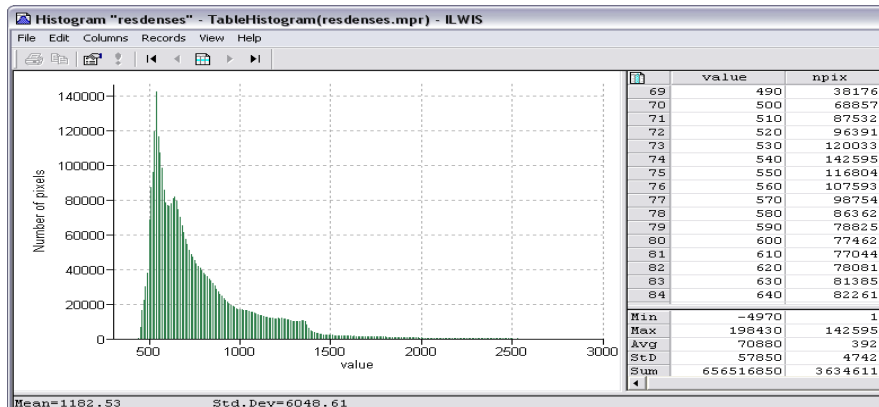
رابطه‌ی قابل درک بین کل ذرات معلق و قابلیت دید به شکلی است که با کاهش قابلیت دید، مقدار ذرات معلق به سرعت افزایش می‌یابد. در این بخش جهت تولید نقشه‌های غلظت گرد و غبار از معادله‌ی تجربی شائو و همکاران (Shao et al., 2003) استفاده شده است. در این روش، زمانی که دید افقی کمتر از $\frac{3}{5}$ کیلومتر باشد، از رابطه‌ی $C=3802.29D_v^{-0.84}$ و در مناطقی که دید افقی

بیشتر از ۳/۵ کیلومتر است، از معادله‌ی $C = \exp(-0.11Dv + 7.62)$ برای تعیین غلظت غبار استفاده می‌شود. در این رابطه همان مقدار قابلیت دید بر حسب کیلومتر در نقشه‌های قبلا محاسبه شده می‌باشد و C غلظت غبار بر حسب میکروگرم بر متر مکعب است. این معادلات تأثیر رطوبت هوا روی قابلیت دید را شامل نمی‌شوند و بالطبع عدم قطعیت در این روابط تجربی می‌تواند زیاد باشد. اما به هر حال برای اهداف این مطالعه که همانا تولید نقشه‌هایی است که نشان دهنده‌ی تراکم نسبی ذرات معلق، در نقاط مختلف یک توده‌ی غبار می‌باشد، مفید است.

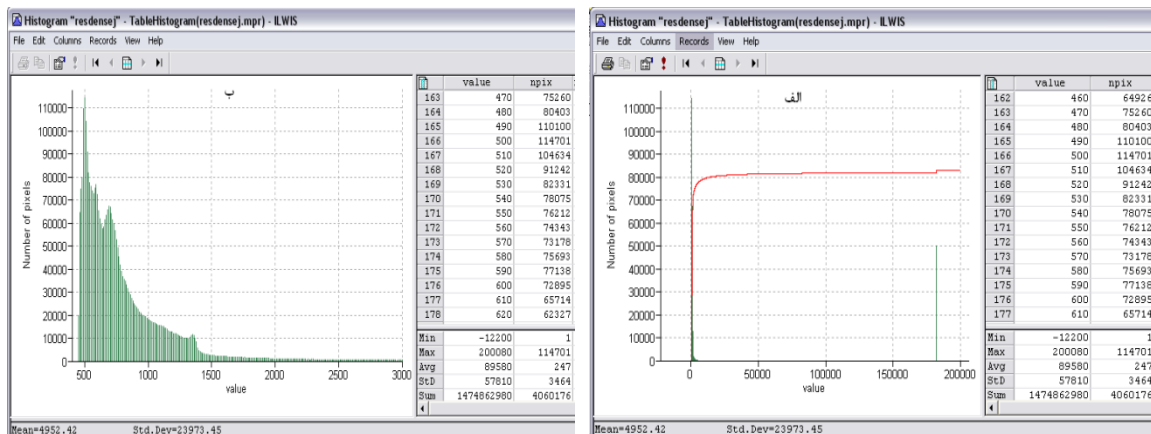
نقشه‌های قابلیت دید ایجاد شده در مراحل قبل بر حسب متر بوده که باید به کیلومتر تبدیل شود. بعد از این تبدیل، نقشه‌های غلظت با جای‌گذاری نقشه‌های قابلیت دید جدید در موقعیت Dv معادله‌های بالا محاسبه گردید. غلظت غبار حاصل بر حسب میکروگرم بر متر مکعب است و حداکثر غلظتی که در نقشه‌ها، محاسبه گردیده ۱۸۱۹۸۹ میکروگرم بر متر مکعب است که در بیشتر تصاویر موجود پیکسل‌های کمی دارای این غلظت بوده و نقشه‌ی تولید شده، نمایش ظاهری مناسبی را در محدوده‌ی غلظت ۰ تا ۱۸۱۹۸۹ نشان نمی‌دهد. بدین جهت و برای یکسان‌سازی، تمام نقشه‌ها در محدوده‌ی ۴۵۰ تا ۳۰۰۰ (میکروگرم بر متر مکعب) بسط^۱ داده شده‌اند تا نمایش بهتری را از پیکسل‌های گرد و غباری و یا بدون غبار داشته باشند. این بدان معنی نیست که غلظت‌های بالاتر یا حتی پایین‌تر از این محدوده در نقشه‌ی محاسبه شده وجود ندارد و این فرآیند تنها برای نمایش یکسان و مناسب‌تر نقشه‌ها صورت گرفته است. محدوده‌ی نمایش با بررسی هیستوگرام (مانند شکل ۵-۹) در همه‌ی تصاویر به طور جداگانه و مشخص شدن بیشترین محدوده‌ی فراوانی پیکسل‌های هر تصویر که نمایانگر مناسب‌ترین حالت نمایشی برای عموم تصاویر باشد تعیین شده است. هر چند که تعداد کمی از تصاویر در غلظت‌های بالاتر هم دارای پیک فراوانی بوده‌اند (شکل ۵-۱۰). در هیستوگرام این تصویر، هم در غلظت‌های پایین (حدود ۵۰۰ میکروگرم بر متر مکعب) و هم در غلظت‌های بالا (حدود ۱۸۰۰۰۰

¹Stretch

میکروگرم بر متر مکعب) فراوانی بالایی مشاهده می‌گردد (شکل ۵-۱۰-الف) که به علت فراوانی بیشتر در پیک اول نسبت به پیک دوم، تشخیص داده شد که این تصویر نیز مانند سایر تصاویر، در محدوده‌ی ۴۵۰ تا ۳۰۰۰ میکروگرم بر متر مکعب بسط داده شود (شکل ۵-۱۰-ب).

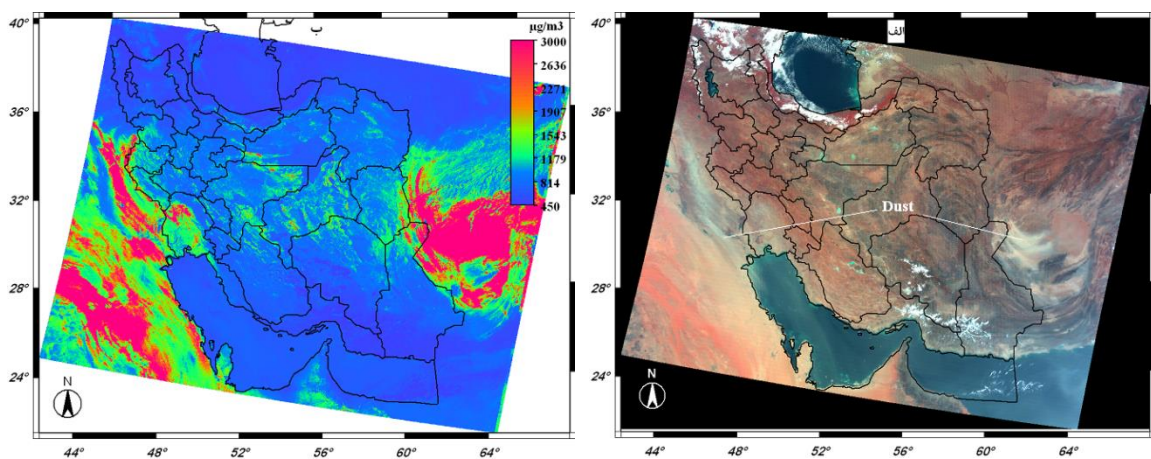


شکل ۵-۹: نمونه‌ای از هیستوگرام تصاویری که فراوانی پیکسل، در محدوده‌ی انتخابی داشته‌اند (محور value بیانگر غلظت بر حسب میکروگرم بر متر مکعب می‌باشد).



شکل ۵-۱۰: الف) هیستوگرام یک نمونه تصویر دارای دو پیک فراوانی در غلظت‌های پایین و بالا (ب) هیستوگرام بسط داده شده‌ی بخش اول فراوانی تصویر الف

نمونه‌ای از نقشه‌های غلظت غبار تولید شده در شکل ۵-۱۱ مشاهده می‌گردد. (نقشه‌های غلظت تهیه شده از سایر تصاویر در پیوست ۵ موجود می‌باشد).



شکل ۵-۱: الف) تصویر ماهواره‌ای، ۱۷ ژوئن ۲۰۰۸ ب) نقشه‌ی غلظت گرد و غبار بسط داده شده‌ی ۱۷ ژوئن ۲۰۰۸

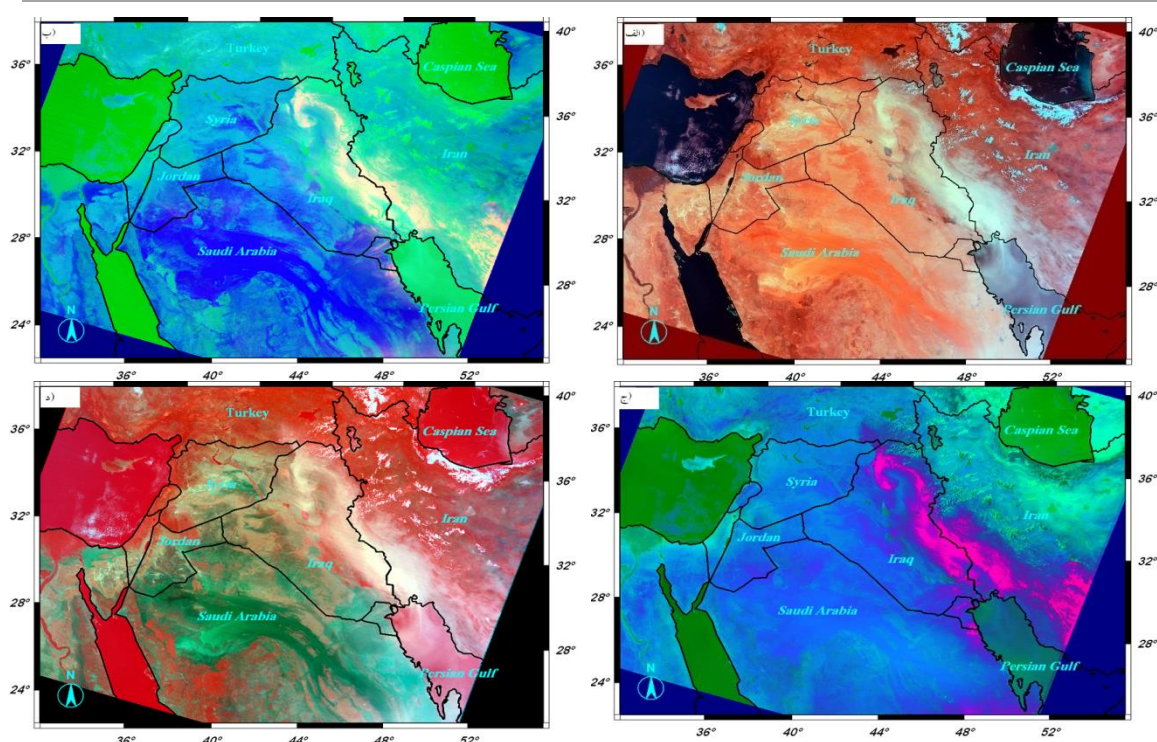
۵-۶- تعیین مناطق منشاء گرد و غبار

ردیابی گرد و غبار با استفاده از باندهای انعکاسی تصاویر ماهواره‌ای، به‌ویژه روی سطوح درخشان مانند صحراها، به علت انعکاس بالا کاری دشوار است و شرایط سخت‌تر می‌شود زمانی که پدیده‌ی گرد و غباری خفیف باشد. آنچه مسلم است، روشی کاملاً ایده‌آل برای شناخت مناطق غباری که بتواند برای تمام نواحی و تمام وقایع گرد و غباری قابل استفاده باشد، وجود ندارد. اما می‌توان با توجه به شرایط و اطلاعات موجود، از داده‌های میدانی، روش‌های آماری و یا تفسیر چشمی تصاویر جهت شناخت مناطق برداشت ذرات گرد و غبار بهره جست. در این تحقیق از اطلاعات حاصل از ترکیب رنگ تصاویر ماهواره‌ای و بارزسازی مناطق گرد و غباری برای ردیابی بصری وقایع توفان گرد و غبار استفاده شده است.

۵-۶-۱- تهیه‌ی تصاویر ترکیب رنگ کاذب و بارزسازی مناطق گرد و غباری

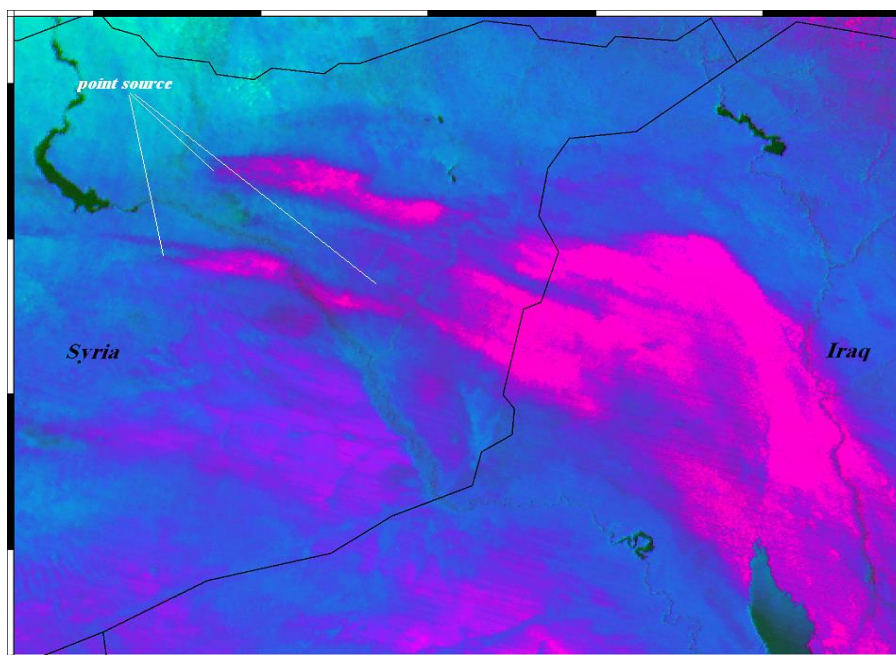
با به کار گرفتن داده‌های چند طیفی تصاویر و ترکیب باندها که بتواند مستقیماً مناطق تحت پوشش توده‌های گرد و غباری را بارزسازی کند، می‌توان به سادگی در تصاویر حاصل، با استفاده از روش تفسیر چشمی، نقاط منشاء ذرات غبار و موقعیت آن‌ها را مشخص نمود.

طبق الگوریتمی که در شکل ۴-۳ ارائه شده، از روش‌های مختلف ترکیب رنگ کاذب، برای بارسازی مناطق غباری استفاده گردیده است و نتایج حاصل از اجرای هر یک از روش‌ها در شکل ۵-۱۲ نشان داده شده است. ملاحظه می‌گردد که هر کدام از الگوهای ترکیب رنگ به گونه‌ای توده‌ی غباری را برجسته نموده‌اند. اما بهترین روشی را که ما برای هدفمان یعنی تعیین مناطق منشاء غبار انتخاب کردیم، الگوی سوم (R:D G:BTD₃₁₃₂ B:NDDI) بوده است. زیرا مقایسه‌ی بین باندهای مرئی و تصاویر ترکیب رنگ 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. در این بخش فقط یکی از تصاویری که به روش سوم ترکیب رنگ شده‌اند مشاهده می‌شود (شکل ۵-۱۲ ج) و سایر تصاویر اجرا شده به این روش در پیوست ۵ موجود می‌باشند. در تصاویر حاصل، مناطق تحت پوشش آب به رنگ تیره، مناطق ابری دارای سایه‌های متفاوتی از رنگ سبز و پیکسل‌های گرد و غباری به رنگ صورتی در زمینه‌ای از پیکسل‌های بدون گرد و غبار به رنگ آبی ظاهر شده‌اند.



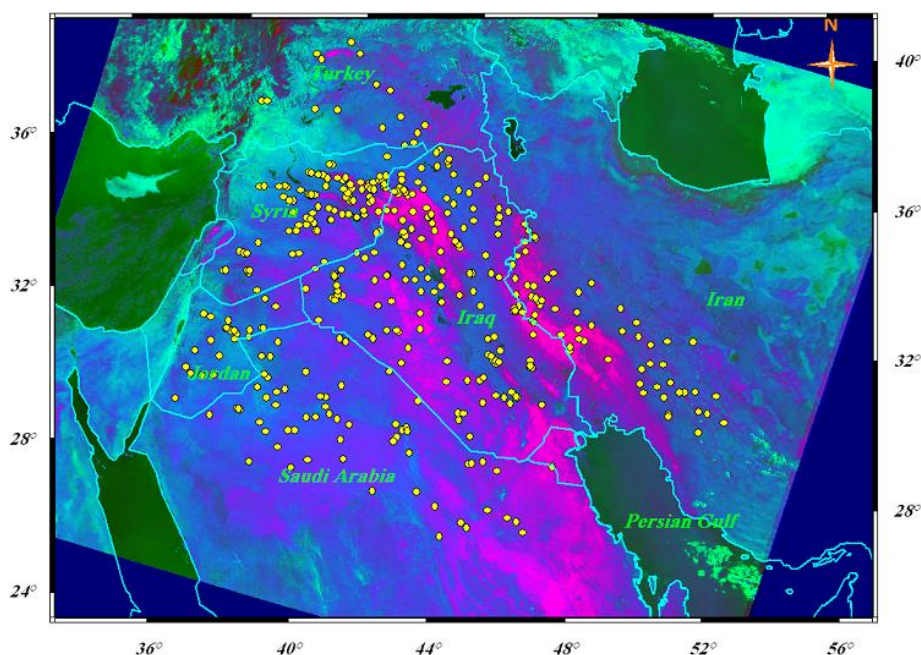
شکل ۵-۱۲: تصویر سنجنده‌ی MODIS ماهواره‌ی TERRA به تاریخ ۱۵ سپتامبر ۲۰۰۸ که چهار روش ترکیب رنگ کاذب روی آن اعمال شده است: (الف) روش ۱ (ب) روش ۲ (ج) روش ۳ (د) روش ۴

با کمک گرفتن از تکنیک ترکیب رنگ کاذب روی ۲۸ تصویر موجود و تفسیر چشمی آن‌ها، نقاط منشاء احتمالی، شناسایی و ردیابی شدند. شکل ۵-۱۳ بخشی از تصویر بزرگ‌نمایی شده‌ی ترکیب رنگ کاذب، به تاریخ ۱۴ جولای ۲۰۰۹، به منظور نشان دادن نحوه‌ی ردیابی نقاط منشاء گرد و غبار را از طریق تفسیر چشمی نشان می‌دهد. ملاحظه می‌گردد که ذرات گرد و غبار از چند نقطه (واقع در غرب عراق و شرق سوریه) توسط باد از سطح زمین، بلند شده و در جهت حرکت باد به طرف شرق و جنوب شرق در سطح منطقه گسترش یافته‌اند. پخش و انتشار توده‌های غباری، گاهی باعث می‌گردد که به علت کاهش تمایز رنگ بین پیکسل‌های غباری و بدون غبار، در باندهای مرئی تصاویر، ناحیه‌ی غباری، به سادگی قابل تشخیص نباشد، اما در تصاویر بارز شده به وسیله‌ی ترکیب رنگ، پهنه‌ی در بردارنده‌ی گرد و غبار به خوبی مشخص می‌شود. چگونگی توزیع نقاط منشاء ردیابی شده، در منطقه، در بخش‌های بعد مورد بررسی قرار می‌گیرد.



شکل ۵-۱۳: نمایش موقعیت بعضی از نقاط منشاء (point sources) ردیابی شده با استفاده از تصویر ترکیب رنگ کاذب (قسمتی از تصویر ۱۴ جولای ۲۰۰۹ ساعت ۷:۴۷)

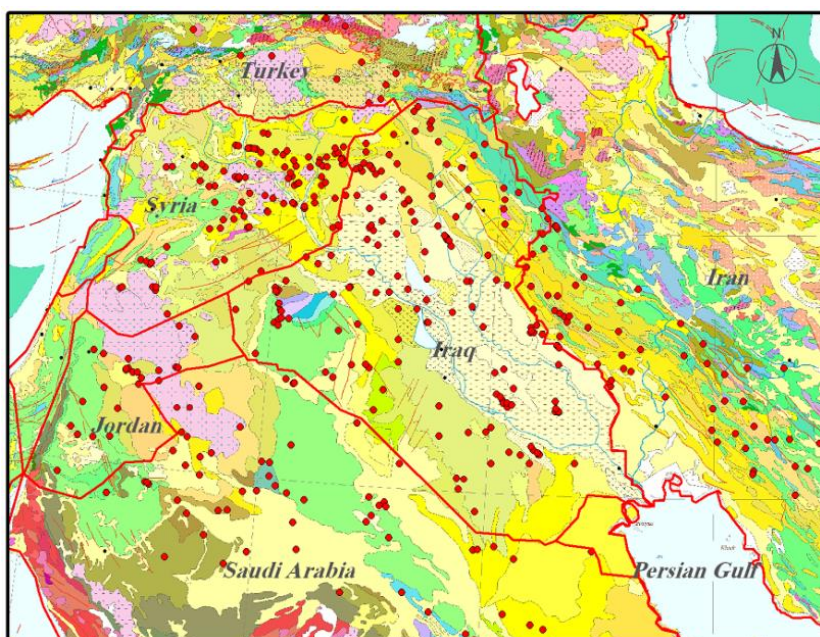
با استفاده از روش ردیابی غبار بر روی تصاویر بارز شده‌ی حاصل از ۲۸ تصویر ماهواره‌ای موجود که حاوی مناظر گرد و غباری بودند نقشه نقطه‌ای منشاءهای گرد و غبار تولید گردید که در شکل ۵-۱۴ بر روی تصویر ترکیب رنگ کاذب ۱۴ جولای ۲۰۰۹ مشاهده می‌گردد. نقشه‌ی نقطه‌ای تصویر شده بر روی تصویر ترکیب رنگ منطقه، در شکل ۵-۱۴ حاصل تلفیق کل منشاءهای استخراج شده از ۲۸ تصویر ماهواره‌ای مختلف (در محیط GIS با هم ترکیب شده‌اند) می‌باشد. به این ترتیب حدود ۴۲۰ نقطه منشاء، استخراج و مشخص شد.



شکل ۵-۱۴: نحوه‌ی پراکندگی نقاط منشاء ردیابی شده بر روی تصویر ترکیب رنگ کاذب (۱۴ جولای ۲۰۰۹)

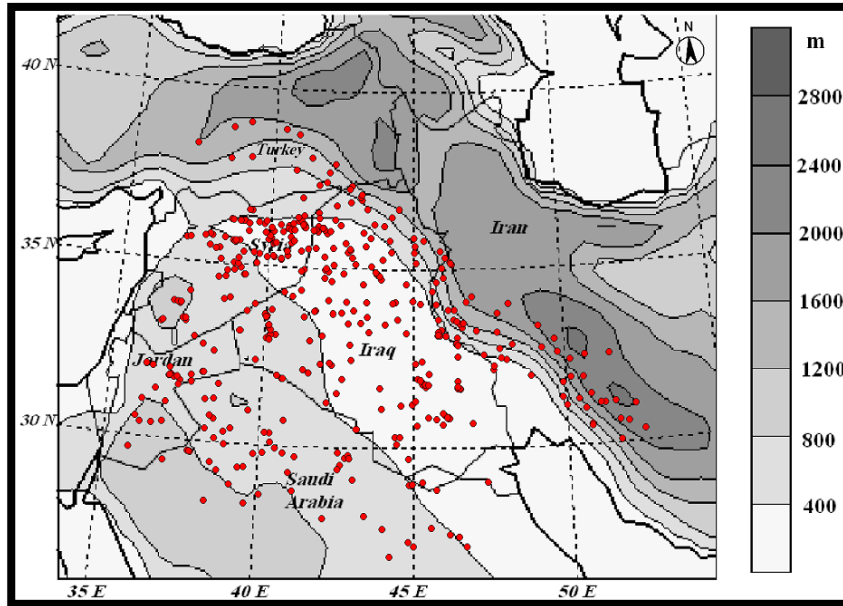
۵-۶-۲- توزیع نقاط منشاء ردیابی شده روی نقشه‌ی زمین‌شناسی

نقاط منشاء ردیابی شده، روی نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه‌ی خاورمیانه پیاده گردید. در شکل ۵-۱۵ مشاهده می‌گردد که نقاط منشاء بیشتر در غرب عراق و شمال شرق سوریه قرار گرفته و عمدتاً در حاشیه‌ی رودخانه‌ی فرات و سرشاخه‌های آن قرار دارند. مطالعه‌ی منابع مختلف (Prospero, 2002; Barnum et al., 2004) نیز نشان می‌دهد که حوضه‌ی رودهای دجله و فرات، از جمله نواحی دنیا است که به ویژه تحت تأثیر فعالیت بشری، استعداد تولید ذرات گرد و غبار را دارد (Ochirkhuyag and Tsolmon, 2008). سنگ کف زمین‌شناسی در این منطقه، نهشته‌های سخت‌نشده‌ی نئوژن می‌باشد. همچنین بعضی از نقاط منشاء در حاشیه‌ی رخنمون‌های آذرین و نیز تعدادی روی نهشته‌های داخل پلایاها و کفه‌های رسی در جلگه‌ی بین دجله و فرات واقع شده‌اند.



شکل ۵-۱۵: توزیع نقاط منشاء ردیابی شده روی نقشه‌ی زمین‌شناسی خاورمیانه (عبدالعظیم حقی‌پور، انتشار یافته توسط CGMW، ۲۰۰۹) (راهنمای استفاده از نقشه‌ی زمین‌شناسی، در شکل ۳-۴ ب).

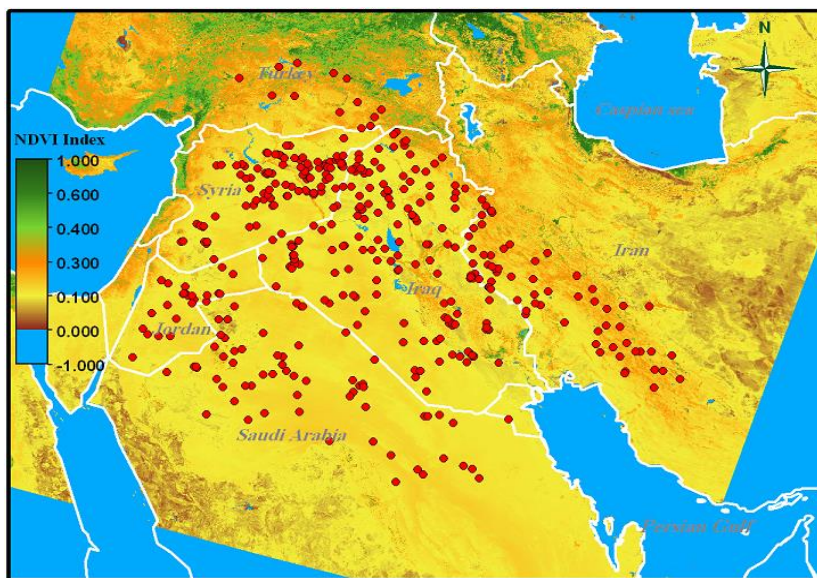
مناطق صحرایی مساحت زیادی از عراق به‌ویژه ناحیه‌ی غرب آن را پوشانده و تپه‌های ماسه‌ای نیز در موقعیت‌های مختلفی از این سرزمین از جمله غرب رودخانه‌ی فرات وجود دارند. بافت این تپه‌ها از لوم تا ماسه با اندازه‌های ریز تا متوسط تغییر می‌کند و پتانسیل فرسایش این ماسه‌ها در حدود ۱۲۵ تن در هکتار در سال محاسبه شده است (AL-Farajii, 2001). بنابراین می‌توانند به عنوان منشاء ذرات گرد و غبار توسط باد جابه‌جا شوند. از طرفی مناطقی که در این بررسی به عنوان منشاء گرد و غبار تعیین شدند دارای توپوگرافی پست می‌باشند (شکل ۵-۱۶) و عموماً ارتفاعی کمتر و یا حدود ۴۰۰ متر دارند، که این وضعیت نیز خود مستعد کننده‌ی نواحی منشاء غبار می‌باشد. فاکتورهایی مانند توپوگرافی و شرایط سطحی نقش مهمی را جهت تعیین نواحی منشاء گرد و غبار بازی می‌کنند (Anderson, 2004).



شکل ۵-۱۶: نقشه‌ی توپوگرافی جنوب غرب آسیا (Evan & Smith, 2001)

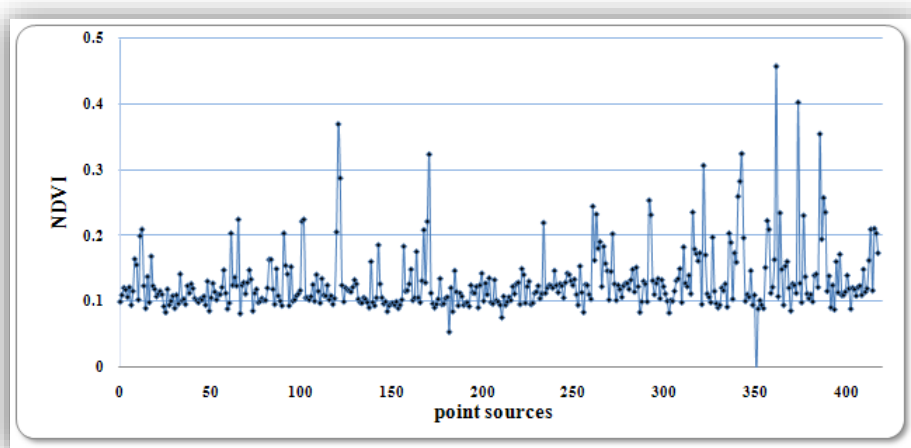
۵-۶-۳- توزیع نقاط منشاء روی نقشه‌ی شاخص پوشش گیاهی

نقشه‌ی شاخص پوشش گیاهی منطقه که با استفاده از باندهای ۱ و ۲ سنجنده‌ی MODIS محاسبه گردیده است، به همراه نقاط منشاء، در شکل ۵-۱۷ نشان داده شده است.



شکل ۵-۱۷: نقشه‌ی پوشش گیاهی (NDVI) محاسبه شده از تصویر ماهواره‌ای MODIS به تاریخ ۲۵ ژوئن ۲۰۰۸

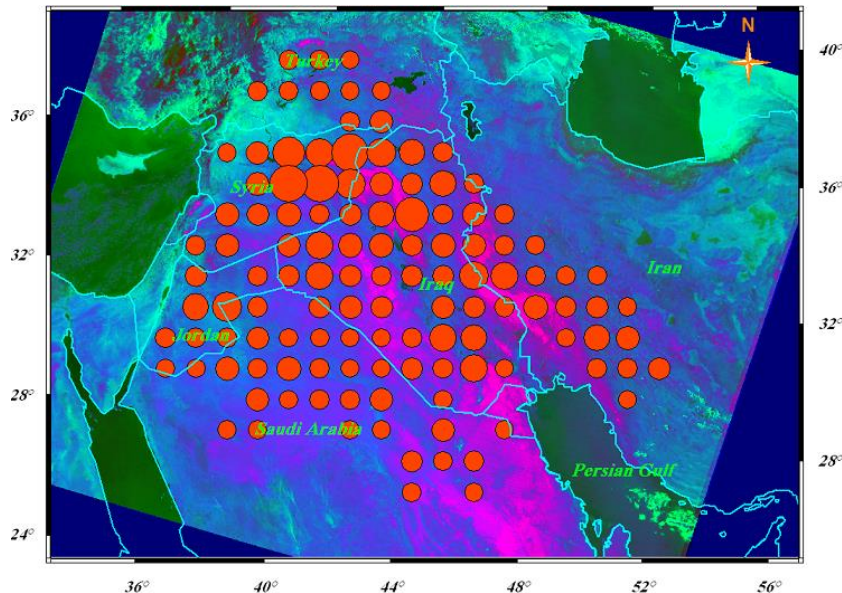
از جمله عواملی که در آسیب‌پذیری خاک نسبت به فرسایش بادی مؤثرند، پوشش گیاهی، سنگ‌های سطحی و نوع خاک حاصل از آن می‌باشد. تغییر پوشش گیاهی می‌تواند تأثیر چشمگیری روی آسیب‌پذیری نسبت به فرسایش خاک داشته و در واقع ایجاد گرد و غبار می‌تواند نوعی واکنش به تغییر پوشش گیاهی زمین باشد. با استفاده از روش چند طیفی ماهواره‌ای می‌توان تصاویری ایجاد کرد که مستقیماً مقدار پوشش گیاهی و ویژگی‌های سطحی را نمایش دهد. زمانی که هر دو شرط یعنی ۱- درصد پوشش گیاهی کم ۲- انعکاس سطحی خاک بالا، در یک منطقه به طور همزمان وجود داشته باشد، آسیب‌پذیری خاک نسبت به فرسایش بالاست (Chavez et al., 2002). مقدار عددی NDVI مربوط به نقاط منشاء استخراج شده از تصاویر در شکل ۵-۱۸، نمایانگر پوشش گیاهی ضعیف در منطقه است. مقدار میانگین NDVI برای ۴۲۰ نقطه‌ی ردیابی شده، ۰/۱۳ محاسبه شد و ۹۲ درصد نقطه‌های استخراج شده، NDVI کمتر از ۰/۲ دارند. با کاهش پوشش گیاهی سرعت آستانه‌ی 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 توسعه‌ی صحرا و نیز ویژگی‌های آب و هوایی آن، شرایط ایجاد مناطق منشا گرد و غبار را بسیار مساعد نموده است.



شکل ۵-۱۸: نمودار مقادیر NDDI مربوط به ۲۱۴ نقطه‌ی ردیابی شده روی تصاویر

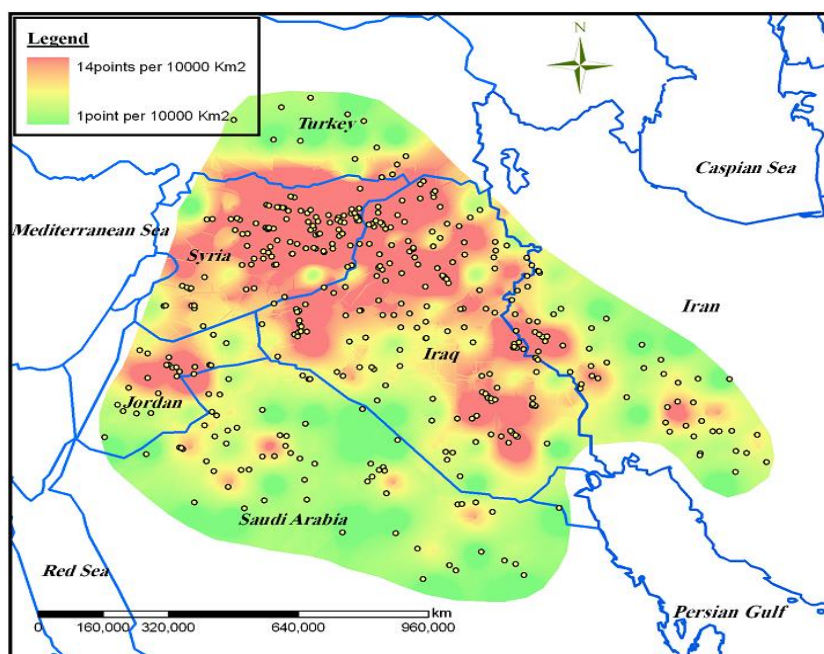
۵-۶-۴- تعیین نقاط منشاء ایجاد غبار در کشورهای منطقه

هدف دیگر این تحقیق تعیین نقش هر کدام از کشورهای منطقه در ایجاد مناطق منشاء غبار و در نتیجه شکل‌گیری توفان‌های غباری در منطقه بود که با استفاده از نقشه‌ی نقطه‌ای و قرار گرفتن تعداد نقاط در داخل سرزمین هر کشور این امر نیز تأمین گردید. نتایج این مرحله نشان داد که ۲۳، ۳۹/۲، ۱۴/۵، ۱۳/۸، ۵/۷ و ۳/۸ درصد از نقاط منشاء غبار به ترتیب در داخل کشورهای عراق، سوریه، شمال عربستان سعودی، غرب ایران، اردن و ترکیه قرار می‌گیرند. نقشه‌ی نقطه‌ای ایجاد شده شامل نقاطی است که فاقد مقدار عددی بوده و فقط دارای نمایش مکان جغرافیایی نقاط است و برای تولید یک نقشه که به جای نقاط، منشاءها را به صورت نواحی ایجاد گرد و غبار (با شدت‌های مختلف) نشان دهد باید نقاط دارای ارزش عددی باشند. به این جهت نقشه‌ی نقطه‌ای شبکه‌بندی شد و برای مرکز هر کدام از شبکه‌ها، ارزشی به تعداد نقاط واقع در واحد شبکه تعیین گردید (شکل ۵-۱۹).



شکل ۵-۱۹: نقشه‌ی دارای ارزش عددی حاصل از نقشه‌ی نقاط منشاء به وسیله‌ی فرآیند شبکه‌بندی (دوایر بزرگ‌تر نشان دهنده‌ی تعداد نقاط بیش‌تر در واحد شبکه می‌باشد)

خروجی ایجاد شده، به عنوان نقشه‌ی پایه برای محاسبه‌ی نواحی منشاء گرد و غبار با استفاده از فرآیند درون‌یابی به روش عکس فاصله^۱ در محیط GIS قرار گرفت (شکل ۵-۲۰). وجود سرزمین مستعد ایجاد غبار در غرب و شمال غرب عراق و شرق سوریه در روی نقشه‌ی تولید شده کاملاً قابل تشخیص می‌باشد که می‌توان این منطقه را مهمترین عامل غبارهای خاورمیانه معرفی کرد.



شکل ۵-۲۰: نقشه‌ی معرف نواحی ایجاد غبار در منطقه‌ی خاورمیانه حاصل فرآیند درون‌یابی در محیط GIS

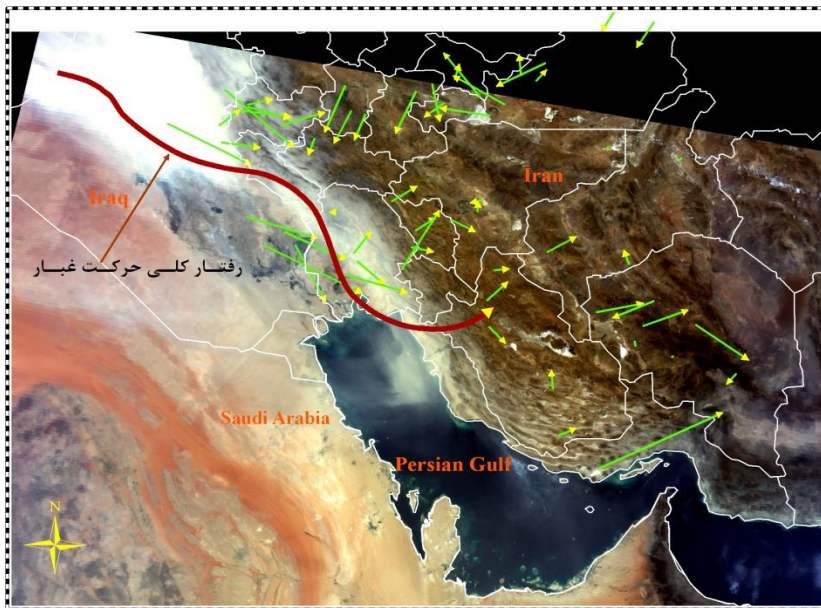
۵-۷- نحوه‌ی انتشار غبار در منطقه

نحوه‌ی حرکت و انتشار غبار در یک دوره‌ی زمانی از چهارم جولای ۲۰۰۹ (۱۳ تیر ۱۳۸۸) تا هشتم جولای ۲۰۰۹ (۱۷ تیر ۱۳۸۸) که، بروز گرد و غبار در غرب و مرکز ایران باعث ایجاد مشکلاتی گردید، مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. در ادامه نتایج تجزیه و تحلیل انجام شده برای هر کدام از روزهای مورد نظر به طور جداگانه توضیح داده می‌شود.

¹ Inverse distance weighted

چهارم جولای ۲۰۰۹ (۱۳ تیر ۱۳۸۸)

بردارهای برآیند سرعت و جهت باد در روز چهارم جولای ۲۰۰۹ برای ۵۶ ایستگاه هواشناسی انتخاب شده، بر روی تصویر ماهواره‌ای مربوط به این تاریخ ترسیم شد (شکل ۵-۲۱) (روی نقشه نوک پیکان‌ها مکان جغرافیایی ایستگاه‌ها و جهت وزش باد را نشان می‌دهد). ملاحظه می‌گردد که توده‌ای از غبار غلیظ از طرف شمال و شمال غرب عراق و شمال شرق سوریه (که دارای استعداد زیادی برای تولید غبار هستند) سرچشمه گرفته و ضمن پوشش آسمان شمال عراق، با حرکت خود به طرف شرق و جنوب شرق، مرزهای غربی ایران تا قسمت‌های شرقی استان‌های خوزستان، ایلام، کرمانشاه، کردستان و نیز شمال غرب استان بوشهر را در معرض گرد و غبار قرار داده است. همانطور که بردارهای باد ایستگاه‌های مرزی در استان‌های ایلام و کرمانشاه نشان می‌دهند به طور کلی جهت باد به سمت شرق و جنوب شرق است و باعث می‌شود که گرد و غبار وارد ایران شود. از طرفی بادهایی که از طرف استان‌های لرستان و مرکزی با جهت جنوب غربی در حال وزش هستند باعث جلوگیری از پیشرفت غبار به سمت استان‌های مرکزی ایران و تغییر جهت آن‌ها به سمت استان‌های جنوب غربی کشور می‌شوند که وزش بادهای استان خوزستان با جهت جنوب شرقی نیز به این امر کمک کرده و باعث می‌شود که غبار وارد استان خوزستان و بوشهر شود. به این ترتیب شکل انطباق بسیار خوبی بین بردارهای باد در ایستگاه‌های مختلف و پخش گرد و غبار در منطقه را نمایش می‌دهد. در شکل ۵-۲۱ به طور کلی رفتار حرکتی گرد و غبار در منطقه نمایش داده شده است.

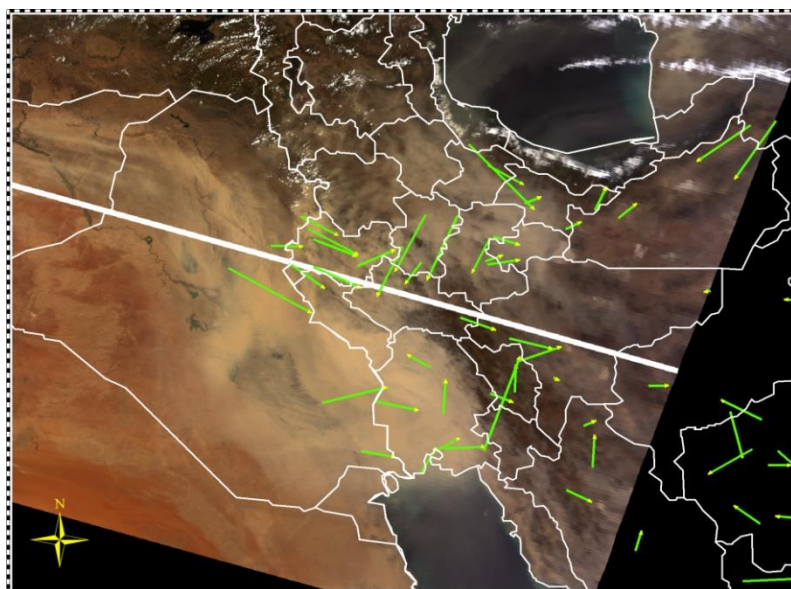


شکل ۵-۲۱: تصویر ماهواره‌ای سنجنده‌ی MODIS به تاریخ ۴ جولای ۲۰۰۹ و بردارهای برآیند سرعت و جهت باد محاسبه شده برای هر کدام از ایستگاه‌ها (نوک پیکان محل ایستگاه و جهت وزش باد را نمایش می‌دهد)

پنجم جولای ۲۰۰۹ (۱۴ تیر ۱۳۸۸)

برآیندهای باد محاسبه شده‌ی روزانه برای ایستگاه‌های غرب و جنوب غرب ایران عموماً به سمت جنوب شرق می‌باشد که باعث می‌شود رفتار کلی حرکت توده‌ی غبار مطابق مسیر ترسیم شده در شکل ۵-۲۱ باشد. اما در این روز تغییر شرایط فشار در ارتفاعات منطقه (زاگرس)، شرایط صعود بخشی از توده‌ی گرد و غبار که پشت مرزهای ایران، توان صعود از کوه‌های زاگرس ندارند و تنها مسیر جنوب را در پیش گرفته‌اند، فراهم می‌آورد. سیکل چرخشی در استان خوزستان و حوالی آن باعث حمل و انتقال ذرات گرد و غبار از تپه‌های ماسه‌ای اطراف شده است و لذا به افزایش غلظت و انتشار غبار در منطقه و حتی به داخل مرزهای ایران، کمک فراوانی می‌نماید. در ادامه‌ی روند انتشار غبار با توجه به جهت باد در استان‌های چهارمحال بختیاری و اصفهان که اساساً به سمت شمال شرق است (شکل ۵-۲۱)، باعث شده است که گرد و غبار بیشتری وارد قسمت‌های مرکزی و شمال ایران شود (شکل ۵-۲۲). در ضمن وضعیت باد در استان ایلام، کرمانشاه، لرستان و مرکزی مشابه روز چهارم

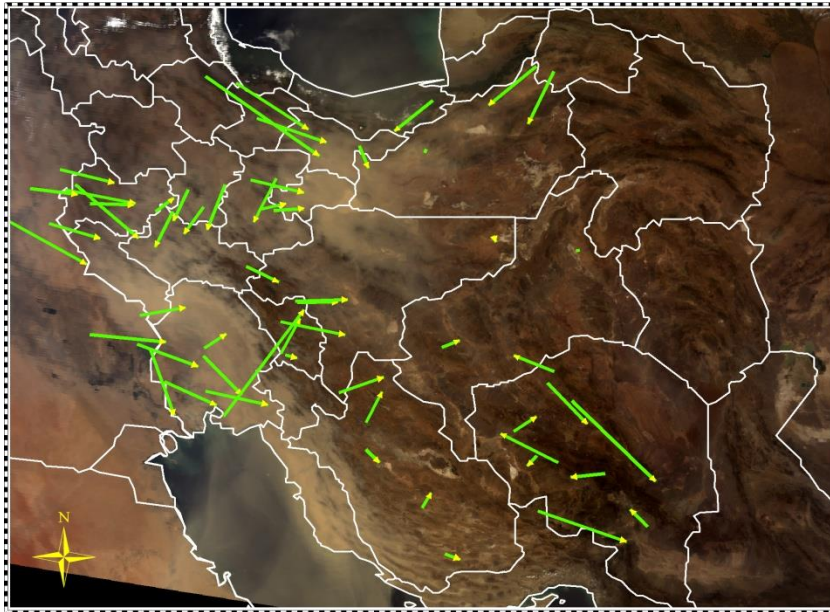
جولای است. لذا مانند روز قبل بخشی از گرد و غباری که وارد ایران شده بود به سمت جنوب غربی ایران تغییر مسیر داده، منطقه را متأثر می‌سازد.



شکل ۵-۲۲: تصویر ماهواره‌ای سنجنده‌ی MODIS به تاریخ ۵ جولای ۲۰۰۹ و بردارهای برآیند سرعت و جهت باد محاسبه شده برای هر کدام از ایستگاه‌ها

ششم جولای ۲۰۰۹ (۱۵ تیر ۱۳۸۸)

هر چند به ظاهر از غلظت غبار در این تصویر کاسته شده است اما به نظر می‌رسد که همچنان توده‌ی غبار در منطقه بر روی استان‌های کرمانشاه، ایلام، خوزستان، بوشهر، فارس، تهران، اصفهان، همدان، قزوین و لرستان مستقر بوده و جهت باد، نشان دهنده‌ی گسترش توده به سمت بخش‌های مرکزی ایران بوده و انتظار می‌رود که این توده در روزهای بعد به مناطق شرقی ایران نیز نفوذ داشته باشد (شکل ۵-۲۳). به طور کلی وضعیت باد در روز ششم جولای نیز مانند دو روز قبل بوده و لذا روند گسترش گرد و غبار مشابه دو روز قبل می‌باشد.

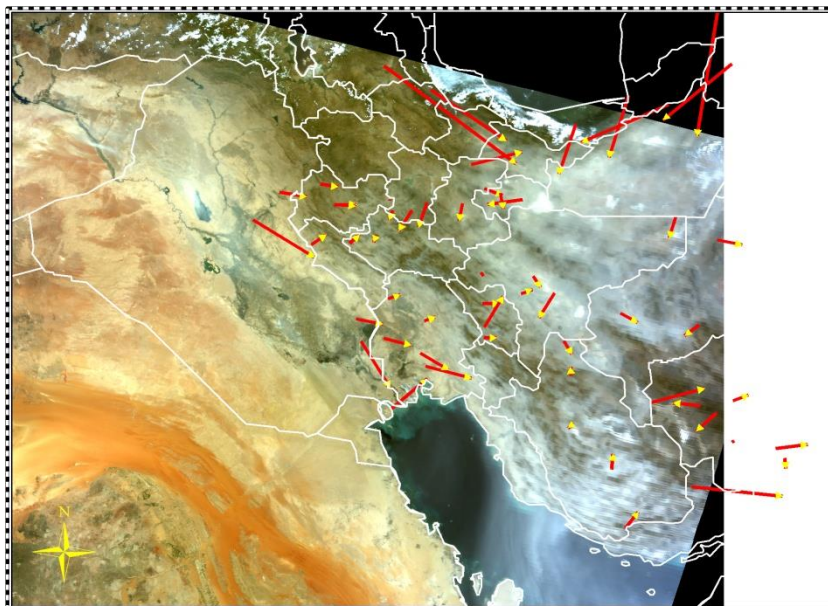


شکل ۵-۲۳: تصویر ماهواره‌ای سنجنده‌ی MODIS به تاریخ ۶ جولای ۲۰۰۹ و بردارهای برآیند سرعت و جهت باد محاسبه شده برای هر کدام از ایستگاه‌ها

هفتم جولای ۲۰۰۹ (۱۶ تیر ۱۳۸۸)

نحوه‌ی حرکت توده‌ی هوا در ششم جولای مؤید این نکته بود که توده غبار در روز بعد گسترشی به سمت مرکز و شرق ایران خواهد داشت. وضعیت قرار گیری توده‌ی غبار در روز هفتم جولای روی پهنه‌ی ایران (شکل ۵-۲۴) نشان دهنده‌ی گسترش غبار از طرف غرب به سمت مرکز و شرق ایران بوده و گستره‌ی آن بیشتر مناطق ایران به‌ویژه استان‌های تهران، قم، سمنان، یزد، کرمان، اصفهان، فارس و هرمزگان را در بر گرفته و در نتیجه در این زمان مشکلاتی در حمل و نقل، میدان دید، مسائل بهداشتی، محیطی و نیز تعطیلی بعضی ادارات و مراکز دولتی را باعث گردید. مشاهده می‌گردد که فراز پهنه‌ی آبی خلیج فارس نیز از این پوشش غبار بی نصیب نمانده است. همانطور که اشاره شد در روز ششم جولای غلظت گرد و غبار، در مناطق عراق که منبع تولید گرد و غبار است کاهش یافته بود و در روز هفتم نیز این کاهش بسیار چشمگیر است. لذا اگر چه جهت کلی باد از سمت عراق به طرف ایران می‌باشد، اما به خاطر کاهش گرد و غبار در عراق و حرکت غبار موجود در مناطق غرب و

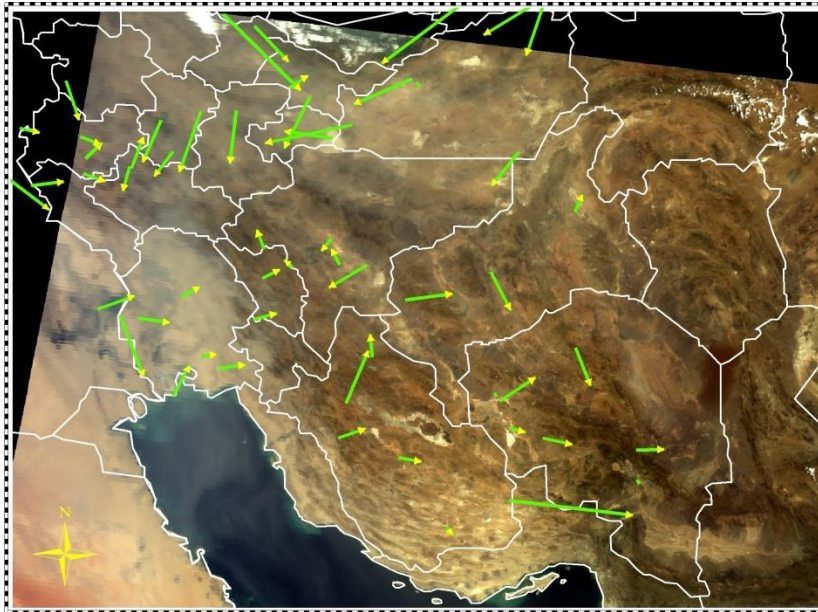
جنوب غرب کشور به سمت مناطق مرکزی و شمالی، منطقه‌ی غرب و جنوب کشور از گرد و غبار کمی برخوردار می‌باشند.



شکل ۵-۲۴: تصویر ماهواره‌ای سنجنده‌ی MODIS به تاریخ ۷ جولای ۲۰۰۹ و بردارهای برآیند سرعت و جهت باد محاسبه شده برای هر کدام از ایستگاه‌ها

هشتم جولای ۲۰۰۹ (۱۷ تیر ۱۳۸۸)

تصویر ماهواره‌ای برداشت شده در این تاریخ توسط سنجنده‌ی MODIS نشان می‌دهد که توده‌ای جدید از گرد و غبار در بخش‌های غربی و جنوب غرب ایران در حال شکل‌گیری است (شکل ۵-۲۵). با توجه به بردارهای جهت و سرعت باد می‌توان استنباط نمود که در روزهای بعدی این توده حرکتی به سمت بخش‌های داخلی ایران داشته و احتمالاً روندی مشابه با دوره‌ی قبل در پیش داشته باشد.



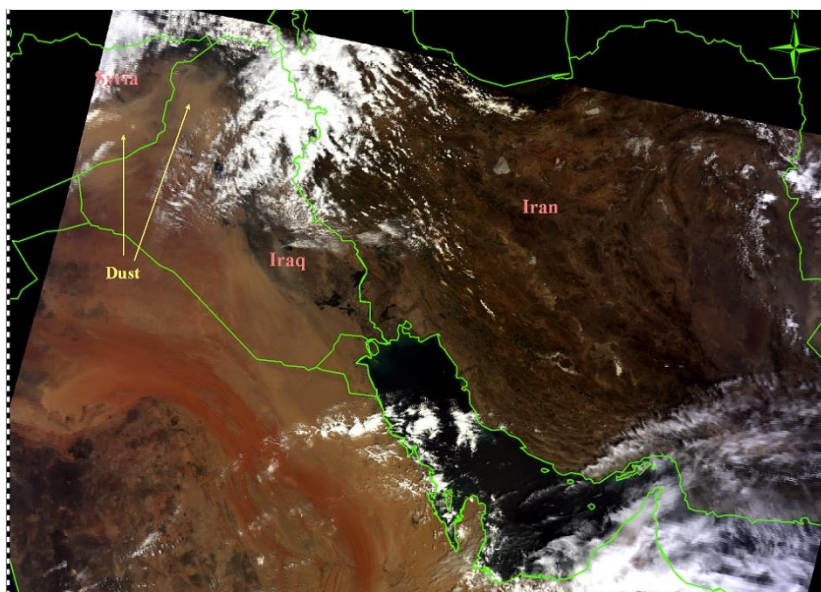
شکل ۵-۲۵: تصویر ماهواره‌ای سنجنده‌ی MODIS به تاریخ ۸ جولای ۲۰۰۹ و بردارهای برآیند سرعت و جهت باد محاسبه شده برای هر کدام از ایستگاه‌ها

بررسی تصاویر ارائه شده نشان می‌دهد که جهت بردار برآیند کل حرکت باد و انتشار گرد و غبار در عمده روزهای این دوره‌ی زمانی مشابه پیکان ممتد ارائه شده در شکل ۵-۲۱ می‌باشد. در ضمن بررسی داده‌های گرد و غبار نشان می‌دهد که نحوه‌ی انتقال گرد و غبار به مرکز و شمال ایران اساساً از طریق استان‌های خوزستان، بوشهر و لرستان و از طریق قسمت انتهایی رشته کوه زاگرس انجام می‌شود.

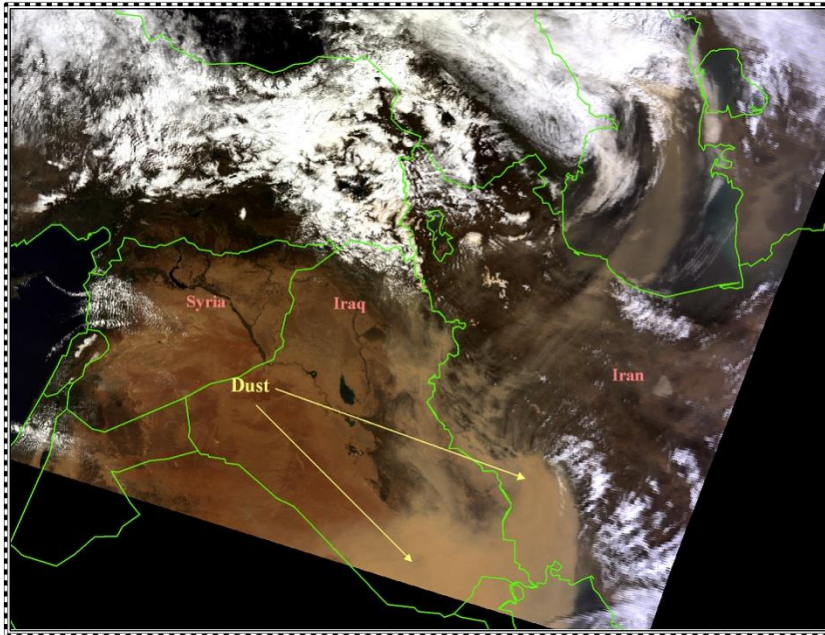
۵-۸- پدیده‌ی غبار در سال ۱۳۹۰

در فروردین ۱۳۹۰ سه موج گرد و غبار از عراق به ایران وارد شد، که در مقایسه با فروردین سال ۱۳۸۹ غلظت گرد و غبار در ایران افزایش و تعداد استان‌های درگیر با این پدیده‌ی زیست محیطی نسبت به مدت مشابه سال گذشته ۳ برابر شده است و طبق آمار هواشناسی، قابلیت دید ثبت شده در بعضی از ایستگاه‌های واقع در غرب کشور به کمتر از ۵۰ متر هم رسیده است. غلظت بالای این گرد و

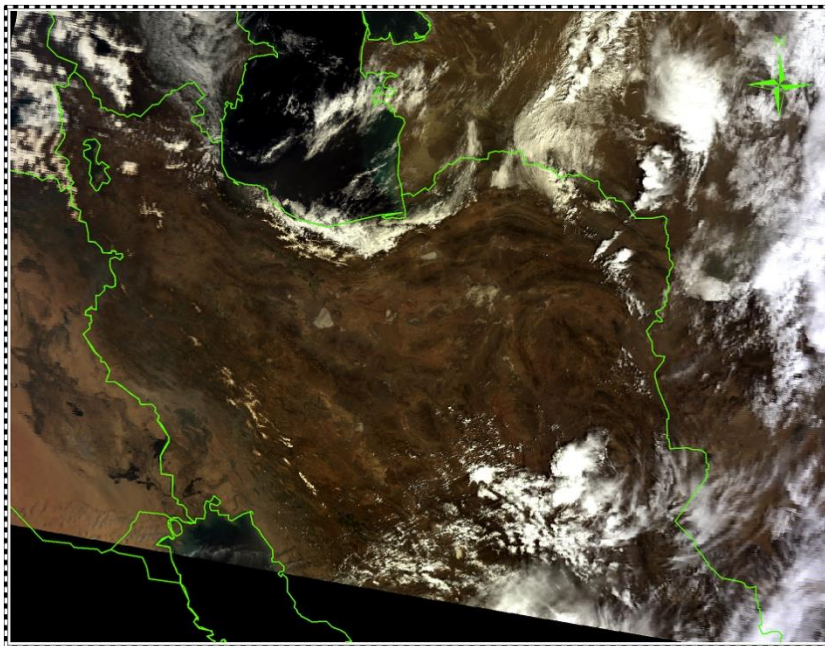
غبار در بسیاری از استان‌ها مانند خوزستان، کردستان، ایلام، کرمانشاه و... زندگی را برای ساکنان این مناطق دشوار نمود. نمونه‌هایی از تصاویر ماهواره‌ای دریافت شده از پایگاه اینترنتی ناسا (http://ladsweb.nascom.nasa.gov/browse_images) مربوط به ۱۲ تا ۱۴ آوریل ۲۰۱۱ (۲۳ تا ۲۵ فروردین ۱۳۹۰) در این بخش آمده است. در شکل ۵-۲۶ تصویر ۲۳ فروردین ۹۰ مشاهده می‌گردد که ضمن پوشش ابر روی شمال غرب ایران توده‌ای از غبار روی کشور عراق در حال حرکت به سمت شرق و جنوب شرق، مسیری را به سمت استان‌های غرب و جنوب ایران در پیش گرفته است. ادامه‌ی این روند در تصویر روز ۲۴ فروردین ۹۰ (شکل ۵-۲۷) قابل مشاهده است که توده، ضمن حرکت به طرف ایران کاملاً استان‌های خوزستان، ایلام، کرمانشاه و چهارمحال بختیاری را زیر پوشش غبار غلیظ گرفته و بخش‌های مرکزی و شمالی ایران مانند قم، تهران و قزوین نیز از این غبار بی‌نصیب نمانده است. غلظت غبار در روز ۲۵ فروردین (شکل ۵-۲۸) تحت تاثیر حرکت توده‌ی هوا تا حدود زیادی کاهش یافته و آسمان نسبتاً تمیزی را در مناطق غبار گرفته‌ی روز قبل ایجاد نموده است.



شکل ۵-۲۶: تصویر ماهواره‌ای سنجنده‌ی MODIS (ماهواره‌ی Terra) ۱۲ آوریل ۲۰۱۱ (۲۳ فروردین ۱۳۹۰) (۷:۲۵)



شکل ۵-۲۷: تصویر ماهواره‌ای سنجنده‌ی MODIS (ماهواره‌ی Terra) ۱۳ آوریل ۲۰۱۱ (۲۴ فروردین ۱۳۹۰) (۸:۰۵)



شکل ۵-۲۸: تصویر ماهواره‌ای سنجنده‌ی MODIS (ماهواره‌ی Terra) ۱۴ آوریل ۲۰۱۱ (۲۵ فروردین ۱۳۹۰) (۷:۱۰)

فصل ششم

نتیجه گیری و پیشنهادات

۶-۱- مقدمه

هدف این تحقیق، یافتن مناطق برداشت ذرات غباری بود که منابع اصلی ایجاد توفان‌های گرد و غباری در خاورمیانه هستند. این کار با استفاده از ابزارها و تکنیک‌های سنجش از دور صورت گرفت که در تامین هدف مورد نظر بسیار کارآمد و دقیق می‌باشند. در این راستا از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده‌ی MODIS که میدان دید وسیع و تفکیک مکانی و زمانی و نیز محدوده‌ی طیفی مناسبی دارد استفاده شد. ضمن انتخاب و استخراج پارامترهای ردیابی گرد و غبار از تصاویر موجود، به منظور آشکارسازی مناطق تحت پوشش غبار، اقدام به ایجاد نقشه‌های قابلیت دید، غلظت گرد و غبار و نقشه‌ی مناطق منشاء غبار شد و ویژگی‌های مناطق منشاء از نظر توپوگرافی و پوشش گیاهی مورد بررسی قرار گرفت. نهایتاً با انتخاب یک دوره‌ی زمانی گرد و غباری و دریافت تصاویر ماهواره‌ای مرتبط با این روزها مسیر انتشار ذرات گرد و غبار در محدوده‌ی خاورمیانه تعیین گردید. در این بخش نتیجه-گیری کلی مراحل تحقیق ارائه می‌گردد.

۶-۲- نقشه‌های قابلیت دید و نقشه‌های غلظت غبار

جهت تولید این نقشه‌ها، بین پارامترهای ردیابی گرد و غبار استخراج شده از تصاویر (D, NDDI, BTD_{2931}, BTD_{3132}) پارامتر D بیش‌ترین همبستگی ($R=0.68$) را نشان داد و به عنوان بهترین روش برای استخراج داده‌های قابلیت دید از تصاویر ماهواره‌ای در منطقه‌ی خاورمیانه تشخیص داده شد. پارامتر D توانست با خطای ۴۵/۶ درصد، مقدار قابلیت دید را از تصاویر ماهواره‌ای استخراج نماید. سپس نقشه‌های قابلیت دید استخراج شده از روی پارامتر D، به پنج کلاس Sever Dust Storm, Medium Dust Storm, Light Dust Storm, Blowing Dust و Dust in Suspension دسته‌بندی شدند. و در نهایت با استفاده از روابط تجربی، داده‌های قابلیت دید به نقشه‌های غلظت گرد و غبار تبدیل شد.

۳-۶- نقشه‌ی مناطق منشاء غبار

مناطق منشاء غبار از طریق نقطه‌یابی روی ۲۸ تصویر ماهواره‌ای بارز شده‌ی پیکسل‌های غباری که با استفاده از تلفیق پارامترهای ردیابی گرد و غبار، ساخته شده بودند، استخراج گردیدند. این نقشه‌ی نقطه‌ای که شامل ۴۲۰ نقطه معرف چشمه‌های غباری است و با فرآیند درون‌یابی نواحی با تراکم‌های متفاوت ایجاد گرد و غبار را مشخص می‌نماید، نشان داد که کشورهای عراق و سوریه به ترتیب با ۳۹/۲ و ۲۳ درصد، بیش از ۶۰ درصد نقاط منشاء ردیابی شده در خاورمیانه را در سرزمین خود جای داده‌اند و بعد از آن بخش شمالی عربستان سعودی (واقع شده در محدوده‌ی مورد مطالعه) و غرب ایران به ترتیب با ۱۴/۵ و ۱۳/۸ درصد، در ردیف بعدی مناطق ایجاد غبار قرار می‌گیرند.

در یک بررسی بیش‌تر روی وضعیت توپوگرافی و پوشش گیاهی و نیز پوشش سنگ‌های سطحی مشخص شد که این مناطق دارای ارتفاعی پست، پوشش گیاهی بسیار ضعیف و جنس سنگ‌های سطحی از رسوبات سخت نشده‌ی نئوژن می‌باشد که نشان‌دهنده‌ی وجود سرزمینی مستعد ایجاد غبار واقع در غرب عراق و شرق سوریه بوده و تأیید کننده‌ی 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 پدیده‌ی زیست محیطی سهم عمده‌ای را ایفا نمایند.

۴-۶- نحوه‌ی انتشار غبار

در این بخش هدف تعیین نحوه‌ی حرکت و انتشار غبار در یک دوره‌ی زمانی توأم با گرد و غبار در محدوده‌ی غرب و جنوب غرب ایران و اثبات وجود ارتباط مستقیم بین سرعت و جهت باد، با پخش گرد و غبار، بود. بررسی تصاویر در این بخش مشخص نمود که توده بعد از بلند شدن از سرزمین مستعد گرد و غبار (غرب عراق و شرق سوریه) حرکتی به سمت شرق و جنوب شرق داشته و بخشی از

آن در برخورد با ارتفاعات زاگرس به سمت جنوب تغییر مسیر داده و بعد از تحت تأثیر قرار دادن استان‌های مسیر و حتی پوشش دادن آب‌های خلیج فارس، در جهت شرق و شمال شرق حرکت کرده و توانسته به نیمه‌ی شمالی و حتی شرق کشور نیز نفوذ داشته باشد. آنچه مسلم است الگوهای انتشار غبار در زمان‌های مختلف در یک منطقه یکسان نبوده و تفاوت‌هایی را بسته به فصل و شرایط آب و هوایی دارا می‌باشند، اما الگوهای انتشار غبار از سمت عراق به طرف ایران، طبق آمار هواشناسی، تفاوت‌های عمده‌ای با یکدیگر نداشته و لذا می‌توان با شناخت دقیق الگوی حرکتی این توده‌های هوایی و نیز مناطق مستعد برداشت ذرات غبار، شرایط ایجاد توفان‌های گرد و غبار در منطقه را پیش بینی نموده و با توجه به عواقب خطرناک این پدیده‌ی زیست محیطی با اقدامات پیشگیرانه تا حد زیادی در جهت کنترل و کاهش اثرات آن اقدام نمود.

۶-۵- پیشنهادات

- ۱- تعیین سرعت انتشار، حجم و غلظت ذرات گرد و غبار در پدیده‌های غباری با استفاده از مدل-سازی‌های کمی و معادلات حاکم بر انتقال ذرات و استفاده از نتایج پردازش‌های ماهواره‌ای در کالیبره کردن و اعتبارسنجی مدل‌های توسعه داده شده
- ۲- بررسی وسیع‌تر روی کانون‌های تولید کننده‌ی غبار با تلفیق داده‌های زمینی و تصاویر ماهواره‌ای با مشارکت کشورهای مجاور
- ۳- تعیین جنس ذرات و توزیع اندازه‌ی ذرات گرد و غبار با استفاده از پارامترهای قابل استخراج از تصاویر ماهواره‌ای و آمار و اطلاعات زمینی
- ۴- بررسی وسیع عوامل مؤثر در برخاست و حرکت ذرات و زمان ماندگاری آلودگی در منطقه
- ۵- بررسی پدیده‌ی رسوب غبار و برداشت مجدد آن طی توفان‌های بعدی

۶- بررسی و مطالعه روی اثر حفاظت، توسعه و تقویت زیست‌بوم‌های منطقه، مانند تالاب‌ها، جنگل‌ها و

نخلستان‌ها بر کاهش توفان‌های گرد و غبار و اثرات ناشی از آن

۷- مطالعه روی مالچ‌پاشی مناطق برداشت غبار جهت جلوگیری از حرکت مجدد ذرات در کوتاه مدت

و بررسی اثرات و نتایج مالچ‌پاشی

۸- مطالعه روی نهال‌کاری و ایجاد کمربند سبز در نزدیکترین فاصله نسبت به مناطق برداشت ذرات

غبار

منابع

- ایرانمنش، ف، عرب خدری، م، اکرم، م، (۱۳۸۴)، "بررسی مناطق برداشت ذرات گرد و غبار و ویژگی های انتشار آنها در طوفان های منطقه سیستان با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره ای" پژوهش و سازندگی شماره ۶۷، ص ۳۳-۲۵.
- خسروی، م، (۱۳۶۷)، "تأثیرات متقابل انسان و محیط در دشت سیستان" مجموعه مقالات سمینار بررسی توان های طبیعی استان سیستان و بلوچستان با توجه به برنامه و تهران، ص ۲.
- ذوالفقاری، ح، عابد زاده، ح، (۱۳۸۴)، "تحلیل سینوپتیک سیستم های گرد و غبار در غرب ایران" مجله جغرافیا و توسعه، پاییز و زمستان ۱۳۸۴، ص ۱۷۴-۱۸۸.
- رشنو، ع، (۱۳۸۸)، "پدیده گرد و غبار در استان خوزستان" فصلنامه بارش، بهار ۸۸، ص ۲۳-۱۶.
- علیجانی، ب، (۱۳۷۶)، "آب وهوای ایران" چاپ سوم، انتشارات دانشگاه پیام نور تهران، ص ۲۲۸.
- کاویانی، م، ر، علیجانی، ب، (۱۳۷۷)، "مبانی آب وهواشناسی" چاپ پنجم، انتشارات سمت، تهران، ص ۵۷۶.
- کرامت، ا، (۱۳۸۸) "خشک سالی های اخیر، افزایش آلاینده های هوا و گرد و غبار در استان خوزستان" دومین همایش ملی اثرات خشکسالی و راهکارهای مدیریت آن، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی، اصفهان و ستاد حوادث غیر مترقبه استانداری اصفهان، ص ۱-۶.
- کردوانی، پ، (۱۳۸۰)، "خشکسالی و راه های مقابله با آن" چاپ اول، انتشارات دانشگاه تهران، تهران، ص ۳۹۲.
- کریمی، م، هاشمی، م، ن، کریمی، ع، (۱۳۸۹)، "بررسی اثرات زیست محیطی ذرات معلق و گرد و غبار (ایروسل ها) موجود در هوا" چهاردهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران مؤسسه ژئوفیزیک تهران، ص ۱-۵.
- گودار، پ، استین، آ، (۱۳۶۶)، "آب وهواشناسی" رجایی، ع، چاپ اول، انتشارات نیما، تهران، ص ۵۹۲.
- نکونام، ز، (۱۳۸۷)، "بررسی و تحلیل توفان های گرد و غبار در شهرستان سبزوار"، پایان نامه ارشد، دانشگاه یزد.
- همتی، ن، (۱۳۷۴)، "بررسی فراوانی وقوع توفان های خاک در نواحی مرکزی و جنوب غرب کشور"، پایان نامه ارشد، مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران.

- Achudume, A. C., Oladipo, B. O., (2009), "Effects of dust storm on health in the Nigerian environment", *Biology and Medicine* vol 1 (4), 21-27.
- Ackerman, S. A., (1989), "Using the radiative temperature difference at 3.7 and 11 μ m to track dust outbreaks", *Rem. Sens. Environ.* 27, 129-133.
- Ackerman, S.A., (1997), "Remote sensing aerosols using satellite inferared observations", *Journal of Geophysical Research* 102, 17069-17080.
- AL-Farajii, F. A. H., (2001), "Combating desertification and sand storms in Iraq", 203-212, In: *GLOBAL ALARM: Dust and sandstorm from the world's drylands*. Bakker. P. United Nations, Bangkok. [online] Available: <http://www.unccd.int/publicinfo/duststorms/part0-eng.pdf>.
- Anderson, J. W., (2004), MS, thesis, "An analysis of a dust storm impacting operation IRAQI freedom, 25-27 March 2003", Naval postgraduate school, Monterey, California.
- Arimoto, R., (2001), "Eolian dust and climate: relationships to sources, tropospheric chemistry, transport and deposition", *Earth- Science Reviews*, 54, 29-42.
- 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.
- Barkan, J., Alpert, P., Kutiel, H., Kishcha, P., (2005), "Synoptics of dust transportation days from Africa toward Italy and central Europe", *Journal of Geophysical Research*, 110, D07208. doi:10.1029/2004JD005222
- Barnum, B. H, Winstead, N. S., Wesely, J., Hakola, A., Colarco. P. R., Toon, O. B., Ginoux, P., Brooks, G., Hasselbarth, L., Toth, B., (2004), "Forecasting dust storms using the CARMA-dust model and MM5 weather data", *Environmental Modeling & Software*, 19, 129-140.
- Bartlett, K. S., (2004), "Dust storm forecasting for AL Udeid AB, Qatar: an empirical analysis, Air Force Inst", of *Tech, Wright-patterson AFB, OH*, 6-11.
- Best, J., Barazangi, M., AL-Saad, D., Sawaf, T., Gebran, A, (1993), "Continental margin evolution of the northern Arabian platform in Syria". *Am. Assoc. pert. Geolt. Bull.*, 77, 173-193.
- Breithreuz, H., Schroedter, H. M. Holzer, P. T., (2007), "A case study to prepare for the utilization of aerosol forecasts in solar energy industries", *Solar Energy*. 81, 1377-1385.

- Chaboureau, J.P., Tulet, C., (2007), "Diurnal cycle of dust and cirrus over West Africa as seen from Meteosat Second Generation satellite and a regional forecast model", *Geophysical Research Letters*, 34, L02882.dio:10.1029/2006GL027771.
- Chan, Y.C. McTainsh, G., Leys, J., McGowan, H., Tews, K., (2005), "Influence of the 23 october 2002 dust storm on the air quality of four Australian cities", *Water Air and soil pollution*, 164, 329-348.
- Chavez, P. S., Mackinnon, D. J., Reynolds, R. L., Velaso, M. G., (2002), "Monitoring dust storm and Mapping landscape vulnerability to wind erosion using satellite and ground-based digital images", *ARIDLANDS (ALN)* No. 51, 1-8.
- Chen, Y. S., Sheen, P. C., Chen, E. R., Liu, Y. K., Wa, T. N., Yang, C. Y., (2004), "Effects of Asian dust storm events on daily mortality in Taipei, Taiwan", *Environmental Research* 95, 151-155.
- 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>.
- Di, M., Lu, X., Sun, L., Wang, P., (2008), "A Dust-Storm process dynamic monitoring with Multi-Temporal MODIS data", *Remote Sensing and Spatial Information Science XXXVII (part B7)*, 965-969.
- Diem, J. E., Comrie, A. C., (2002), "Predictive mapping of air pollution involving sparse spatial observations" *Environmental pollution* 119, 99-117.
- Evans, J. P., Smith, R. B., (2001), "Modeling the climate of Southwest Asia", [online] Available: <http://www.yale.edu/ceo/projects/swap/pubs/evans.smith2001.pdf>
- Gengsheng, Y., Honglang, X., Wanquan, T.,(2001), "Mitigating the effects of disastrous sand-dust storms: A Chinese perspective", 283-318 *GLOBAL ALARM: Dust and sand storms from the world's dry lands*, Barkker. P., United Nations, Bangkok. [online] Available: <http://www.unccd.int/publicinfo/duststorms/part0-eng.pdf>.
- Gillette, D.A., (1977), "Fine particulate-emissions due to wind erosion", *Transactions of ASAE*, 20, 890-897.
- Gillette, D.A., (1986), "Dust production by wind erosion: necessary condition and estimates of vertical fluxes of dust and visibility reduction by dust", 361-371, In: *El-Baz, F., Hassan, M.H.A.(EDS), Physics of Desertification*, Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht.

- Goudie, A., Middleton, N., (2006), "Desert dust in the Global System", *Springer*, Berlin.
- Hao, X., Qu, J. J., Hauss, B., Wang, C., (2007), "A high-performance approach for brightness temperature inversion", *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 28, No. 21, 4733-4743.
- Hao, X., Qu, J.J., (2007), "Sahran dust storm detection using moderate resolution imaging spectroradiometer thermal infrared bands", *Journal of Applied Remote Sensing*, Vol. 1, 013510.
- Hara, Y., Uno, I., Wang, Z., (2006), "Long-term variation of Asian dust and related climate factors", *Atmospheric Environment*, 40, 6730-6740.
- Hoffman, C., Funk, R., Sommer, M., Li, Y., (2008), "Temporal variations in PM10 and particle size distribution during Asian dust storms in Inner Mongolia", *Atmospheric Environment*, 42, 8422-8434.
- Hong, S., (2009), "Detection of Asian dust (Hwangsa) over the yellow sea by decomposition of unpolarized infrared reflectivity", *Atmospheric Environment*, xxx 1-7.
- Huang, J., Ge, J., Weng, F., (2007), "Detection of Asian dust storms using multisensory satellite measurements", *Remote Sensing Environment*, 110, 186-191.
- Jamalizadeh, M. R., Moghaddamnia, A., Piri, J., Arbabi, V., Homayounifar, M., Shahryari, A. (2008) "Dust storm prediction using ANNs technique (A case study: Zabol city)", *Engineering and Technology*, 43, 512-520.
- Jassim, S. Z., and Goff, J. C., (2006), "*Geology of Iraq*". First edition, 337.
- Joseph, P. V., Raipal, D. K., Deka, S. N., (1980), "ANDHI, the convective dust storm of northwest india", *Mausam*, 31, 431-442.
- Kaufman, Y.J., (2006), "Satellite observations of natural anthropogenic aerosol effects on clouds and climate", *Space Science Review*, 125, 139-147.
- Klüser, L., Schepanski, K., (2009), "Remote sensing of mineral dust over land with MSG infrared channels: A new Bitemporal Mineral Dust Index", *Remote Sensing of Environment*, 113, 1853-1867.
- Koepke, P., Schult, I., Hess, M., Shettle, E., (1996), "Global set of aerosol microphysical data and optical properties for modeling of direct aerosol radiative forcing in climate studies", *Presented at the Goddard Space Flight Center Aerosol Remote Sensing Workshop*, Washington D. C., April 15-19.

- Kwno, H. J., Cho, S. H., Chun, Y., Langarde, F., Pershanger, G., (2002), "Effects of the Asian dust events on daily mortality in Seoul, Korea", *Environ. Res. Sec A*, 90, 1-5.
- Li, J., Zhang, P., Schmit, T.J., Schmetz, J., Menzel, W.P., (2007), "Quantitative monitoring of a Saharan dust event SEVIRI on Meteosat-8", *International Journal of remote sensing*, 28, 2181-2186.
- Lin, T. H., Hsu, N. C., Tsay, S. C., Huang, S. J., (2011), "Asian dust weather categorization with satellite and surface observations", *International Journal of Remote Sensing*, 32, 153-170.
- Liu, C.M., Young, C.Y., Lee, Y.C., (2006), "Influence of Asian dust storms on air quality in Taiwan", *Science of the Total Environments* 368, 884-897.
- Liu, G., Park, S. U., (2007), "The logarithm-Linear relationship of the occurrence frequency to the duration of sand-dust storms: Evidence from observational data in China", *Journal of Arid. Environment* 71, 243-249.
- Longtin, E. R., Shettle, E. P., Hummel, J. R., Pryce, J. D., (1988), "A wind dependent desert aerosol model: Radiative properties", AFGL-TR-88-0112, 105, pp., *Air Force Geophys. Lab.*, Air Force Syst. Command, Hanscom Air Force Base, Mass.
- Mei, D., Xiushan, L., Lin, S., Ping, W., (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, 965-969.
- Meng, Z.Q., Zhang, Q.X., (2006) "Oxidative damage of dust storm fine particles instillation on lungs, hearts and livers of rats", *Environmental Toxicology and Pharmacology* 22, 277-282.
- Middleton, N. J., (1986), "A geography of dust storms in southwest Asia", *J. Climatology*, 6, 183-196.
- Miller, S. D., (2003), "A consolidated technique for enhancing desert dust storms with MODIS", *Geophysical Research Letters*, 30, 20(art.no.2071). doi:10.1029/2003GL018279
- Miri, A., Ahmadi, H., Ghanbari, A., Moghaddamnia, A., (2007), "Dust Storm impacts on air pollution and public health under hot and dry climate", *International Journal of Energy and Environment Issue 2, Vol 1*, 101-105.
- Noh, Y.M., Muller, D., Shin, D.H., Lee, H., Jung, J.S., Lee, K.H., Cribb, M., Li, z., Kim, Y.J., (2009), "Optical and microphysical properties of severe haze smoke aerosol measured by integrated remote sensing techniques in Gwangju, Korea", *Atmospheric Environment*, 43, 879-888.

- Ochirkhuyang, L., Tsolmon, R., (2008), "Monitoring the source of trans-national dust storms in north east Asia", *Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol XXXVII*, part B7, 835-839.
- Pope, C.A., Brunett, R.T., Thum, M.J., Calle, E.E., Krewski, D., Ito, K., Thurston, G.D., (2002), "Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution", *The Journal of American Medical Association*, 287(9), 1132-1141.
- Prospero, J. M., Ginoux, P., Torres, O., Nicholson, S. E., 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, 1-31.
- Qian, Z. A., He, H. X., Qu, Z., et al., (1997), "The classification standard of dust storm in Northwest china and its case spectra and statistic characteristics", In: Fang, Z. y. eds., *China Dust-Storm Research, Beijing: Meteorological Press*, 1-10.
- Qu, J.J., Hao, X., Kafatos, M., Wang, I., (2006), "Asian Dust Storm Monitoring Combining Terra and Aqua MODIS SRB Measurements", *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, Vol. 3, No. 4, 484-486.
- Roskovensky. J. K., Liou, K. N., (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.
- Roskovensky. J. K., Liou, K. N., (2005), "Differentiating airborne dust from cirrus clouds using MODIS data", *Geophysical Research Letters*, 32, L12809. doi:10.1029/2005GL022798.
- Samet, J.M., Dominici, F., Currie, F.C., Coursac, I., Zeger, S.L. (2000), "Fine particulate air pollution and mortality in 20 US cities, 1987-1994", *The New England Journal of Medicine*, 343, 1742-1749.
- Sawaf, T., AL-Saad, D., Gebran, A., Barazangi, M., Best, J., Chaimove, T., (1993), "Stratigraphy and structure of Eastern Syria across the Euphrates depression", *Tectonophysics*, 220, 267-281.
- Seber, D., Barazangi, M., Chaimov, T., AL-Saad, D., Sawaf, T., Khaddour, M., (1992), "Upper crustal velocity structure and basement morphology beneath the intercontinental palmyride fold-thrust belt and north Arabian platform in Syria", *Geophys. Jour. Inter, in press*.

- Shao, Y., Dong, C. H., (2006), "A review on East Asian dust storm climate modeling and monitoring", *Global and Planetary Change* 52, 1-22.
- Shao, Y., Raupach, M.R., (1993), "Effect of saltation bombardment on the entrainment of dust by wind", *Journal of Geophysical Reserch Atmospheres*, 98, 12719-12726.
- Shao, Y., Yang, Y., Wang, J., Song, Z., Leslie, L. M., Dong, C., Zhang, Z., Lin, Z., Kanai, Y., Yabuki, S., Chun, Y., (2003), "Northeast Asian dust storms: Real-time numerical prediction validation", *J. Geophys.Res.*, 108 (D22), 4691, doi: 10.1029/2003JD003667.
- Skimore, E.L., (1986), "Soil erosion by wind. In: El- Baz, F., Hassan, M.H.A.(Eds), *Physics of Desertification*", *Martinus Nijhoff Publishers*, Dordrecht, pp.263-271.
- Squires, V.R., (2007), "Physics, Mechanics and processes of Dust and Sandstorms", *Adelaide university*, Australia. <http://www.unccd.int/publicinfo/duststorms/part1-eng.pdf>.
- Tegen, I., (2003), "Modeling the mineral dust aerosol cycle in the climate system", *Quaternary Science Reviews*, 22, 1821-1834.
- Wang, X., Oenema, O., Hoongmoend, W. B., Perdok, U. D., Dianxiong, C., (2006), "Dust storm erosion and its impact on soil carbon and nitrogen losses in northern China". *CATENA* 66, 221-227.
- Washington, R., Todd, M., Middleton, N. J., Goudie, A. S., (2003), "Dust-Storm sources areas determined by the Total Ozone Monitoring Spectrometer surface observations", *Annals of the Association of American Geographers*, 93 (2), 297-313.
- Wei, A.L. Meng, Z.Q., (2006), "Evaluation of micronucleus induction of sand dust storm fine particles(PM2.5) in human blood lymphocytes", *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 22, 292-297.
- Wilkerson, W. D., (1991), "Dust and sand forecasting in Iraq and adjoining countries", *Air weather service TN-91/001*, p63.
- Xu, Q., Hu, J., (1996), "Features of spatial and temporal distributions of the dust storms in Northwest china", *Quaterly Journal Appliel Meteorology*, 7, 479-482.
- Yang, Y. Q., Hou, Q., Zhou, C. H., Liu, H. L., Wang, Y. Q., Niu, T., (2008), "Sand/dust storm processes in Northeast Asia and associated large-scal circulations", *Atmospheric Chemistry and Physics* 8, 25-23.

-
- Yin, D., Nickovic, S., Barbaris, B., Chandy, B., Sprigg, W.A., (2005), "Modeling wind-blown desert dust in the southwestern United States for public health warning: A case study", *Atmospheric Environment*, 39, 6243-6254.
- Yin, D., Nickovic, S., Sprigg, W.A., (2007) "The impact of using different land cover data on wind-blown desert dust modeling results in the southwestern United States", *Atmospheric Environment*, 41, 2214-2224.
- Zheng, X., Lu, F., Fang, X., Wang, Y., Guo, L., (1998), "Study of dust storms in china using satellite data", In *Optical Remote Sensing of the Atmosphere and Cloud*, Edited by J. Wang, B., Wu, T., Ogawa, and Z., Guan, proc. SPIE, 3501, 163-168.
- Zhou, Z., Wang, X., (2002), "Analysis of the severe group dust storms in eastern part of northwest China", *Journal of Geographical Sciences*. 12, 3, 357-362.

پیوست ۱

جدول مربوط به مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی که داده‌های قابلیت دید آن‌ها استفاده شده است.

ردیف	نام ایستگاه	مختصات ایستگاه	ارتفاع (متر)	ردیف	نام ایستگاه	مختصات ایستگاه	ارتفاع (متر)
1	آبعلی	(35 45 N, 51 53 E)	2465.2	22	سرپل ذهاب	(34 27 N, 45 52 E)	545
2	ایلام	(33 38 N, 46 26 E)	1337	23	گیلانغرب	(34 08 N, 45 56 E)	816.3
3	بانه	(36 00 N, 45 54 E)	1600	24	سنقر	(34 47 N, 47 35 E)	1700
4	مریوان	(35 31 N, 46 12 E)	1286.8	25	آبادان	(30 19 N, 48 16 E)	6.6
5	سمنان	(35 35 N, 53 25 E)	1127	26	آباده	(31 10 N, 52 40 E)	2030
6	الشترا	(33 49 N, 48 15 E)	1567.2	27	اراک	(34 04 N, 49 42 E)	1708
7	کرج	(35 55 N, 50 54 E)	1312.5	28	اردستان	(33 22 N, 52 22 E)	1252.4
8	بیجار	(35 53 N, 47 37 E)	1883.4	29	اسلام آبادغرب	(34 19 N, 47 07 E)	1348.8
9	روانسر	(34 43 N, 46 39 E)	1379.7	30	اصفهان	(32 40 N, 51 40 E)	1550.4
10	تهران	(35 41 N, 51 19 E)	1190.8	31	اهواز	(31 16 N, 48 43 E)	22.5
11	قزوین	(36 15 N, 50 03 E)	1279.2	32	ایذه	(31 48 N, 49 53 E)	767
12	مهران	(33 07 N, 46 11 E)	150	33	خرم آباد	(33 28 N, 48 21 E)	1147.8
13	قروه	(35 10 N, 47 48 E)	1906	34	شادگان	(30 39 N, 48 38 E)	3
14	سقز	(36 15 N, 46 16 E)	1522.8	35	شاهرود	(36 25 N, 54 58 E)	1345.3
15	گرمسار	(35 14 N, 52 21 E)	899.9	36	شوشتر	(32 02 N, 48 49 E)	67
16	کنگاور	(34 30 N, 47 59 E)	1468	37	شیراز	(29 37 N, 52 34 E)	1484
17	سنندج	(35 20 N, 47 00 E)	1373.4	38	بوشهر	(28 55 N, 50 49 E)	8.4
18	قم	(34 42 N, 50 51 E)	877.4	39	کوهدشت	(33 31 N, 47 36 E)	1199.8
19	کرمانشاه	(34 21 N, 47 09 E)	1318.6	40	مشهد	(36 16 N, 59 34 E)	999.2
20	سرارود	(34 20 N, 47 18 E)	1361.7	41	یزد	(31 55 N, 54 22 E)	1237.2
21	قصر شیرین	(34 32 N, 45 36 E)	375.9				

پیوست ۲

جدول مربوط به مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی که داده های جهت و سرعت باد آن‌ها استفاده شده است.

ردیف	نام ایستگاه	مختصات جغرافیایی	ارتفاع (متر)	ردیف	نام ایستگاه	مختصات جغرافیایی	ارتفاع (متر)
1	ایلام	(33 38 N , 46 26 E)	1337	29	کهنوج	(27 58 N , 57 42 E)	469.7
2	مهران	(33 07 N , 46 11 E)	150	30	شهرکرد	(32 17 N , 50 51 E)	2048.9
3	دهلران	(33 41 N , 47 16 E)	232	31	سامان	(32 27 N , 50 56 E)	2057
4	آبادان	(30 19 N , 48 16 E)	6.6	32	لردگان	(31 31 N , 50 49 E)	1580
5	اهواز	(31 16 N , 48 43 E)	22.5	33	طبس	(33 36 N , 56 55 E)	711
6	دزفول	(32 24 N , 48 23 E)	143	34	بافق	(31 36 N , 55 26 E)	991.4
7	بهبهان	(30 36 N , 50 14 E)	313	35	یزد	(31 54 N , 54 17 E)	1237.2
8	بستان	(31 43 N , 48 00 E)	7.8	36	داران	(32 58 N , 50 22 E)	2290
9	بندرماهشهر	(30 33 N , 49 09 E)	6.2	37	خور بیابانک	(33 47 N , 55 05 E)	845
10	مسجد سلیمان	(31 56 N , 49 17 E)	320.5	38	اصفهان	(32 37 N , 51 40 E)	1550.4
11	امیدیه	(30 46 N , 49 40 E)	34.9	39	شرق اصفهان	(32 40 N , 51 52 E)	1543
12	کرمانشاه	(34 21 N , 47 09 E)	1318.6	40	شهرضا	(31 59 N , 51 50 E)	1845.2
13	کنگاور	(34 30 N , 47 59 E)	1468	41	اراک	(34 06 N , 49 46 E)	1708
14	اسلام آباد	(34 19 N , 47 07 E)	1348.8	42	نورآباد	(34 03 N , 48 00 E)	1859.1
15	روانسر	(34 43 N , 46 39 E)	1379.7	43	کوهدشت	(33 32 N , 47 38 E)	1199.8
16	سر پل ذهاب	(34 27 N , 45 52 E)	545	44	بروجرد	(33 55 N , 48 45 E)	1629
17	آباده	(31 11 N , 52 40 E)	2030	45	الشتر	(33 49 N , 48 15 E)	1567.2
18	اقلید	(30 54 N , 52 38 E)	2300	46	کرج	(35 55 N , 50 54 E)	1312.5
19	شیراز	(29 32 N , 52 36 E)	1484	47	تهران مهرآباد	(35 41 N , 51 19 E)	1190.8
20	فسا	(28 58 N , 53 41 E)	1288.3	48	فرودگاه امام	(35 25 N , 51 10 E)	990.2
21	لار	(27 41 N , 54 17 E)	792	49	فیروزکوه	(35 55 N , 52 50 E)	1975.6
22	رفسنجان	(30 25 N , 55 54 E)	1580.9	50	قم	(34 42 N , 50 51 E)	877.4
23	جیرفت	(28 35 N , 57 48 E)	601	51	کهنک	(34 29 N , 50 28 E)	1403.2
24	کرمان	(30 15 N , 56 58 E)	1753.8	52	سلفچگان	(34 24 N , 50 52 E)	1380.5
25	شهر بابک	(30 06 N , 55 08 E)	1834.1	53	شاهرود	(36 25 N , 54 57 E)	1345.3
26	سیرجان	(29 28 N , 55 41 E)	1739.4	54	بیارجمند	(36 03 N , 55 50 E)	1106.2
27	بافت	(29 14 N , 56 35 E)	2280	55	سمنان	(35 35 N , 53 33 E)	1130.8
28	بم	(29 06 N , 58 21 E)	1066.9	56	گرمسار	(35 12 N , 52 16 E)	825.2

پیوست ۳

جدول مربوط به مشخصات باندهای سنجنده‌ی MODIS

Primary Use	Band	Bandwidth (nm)	Central Wavelength (nm)	Pixel Size (m)
Land/Cloud/Aerosols	1	620 - 670	645.5	250
	2	841 - 876	856.5	250
Boundaries	3	459 - 479	465.6	500
	4	545 - 565	553.6	500
	5	1230 - 1250	1241.6	500
	6	1628 - 1652	1629.1	500
	7	2105 - 2155	2114.1	500
Ocean Color/ Phytoplankton/ Biogeochemistry	8	405 - 420	411.3	1000
	9	438 - 448	442.0	1000
	10	483 - 493	486.9	1000
	11	526 - 536	529.6	1000
	12	546 - 556	546.8	1000
	13	662 - 672	665.5	1000
	14	673 - 683	676.8	1000
	15	743 - 753	746.4	1000
Atmospheric Water Vapor	16	862 - 877	866.2	1000
	17	890 - 920	904.0	1000
	18	931 - 941	935.5	1000
	19	915 - 965	935.2	1000

continued

Primary Use	Band	Bandwidth (μm)	Central Wavelength (μm)	Pixel Size (m)
Surface/Cloud Temperature	20	3.660 - 3.840	3.785	1000
	21	3.930 - 3.989	3.960	1000
	22*	3.930 - 3.989	3.960	1000
	23	4.020 - 4.080	4.056	1000
Atmospheric Temperature	24	4.433 - 4.498	4.472	1000
	25	4.482 - 4.549	4.545	1000
Cirrus Clouds	26	1.360 - 1.390	1.383	1000
Water Vapor	27	6.535 - 6.895	6.752	1000
	28	7.175 - 7.475	7.334	1000
Cloud Properties	29	8.400 - 8.700	8.518	1000
Ozone	30	9.580 - 9.880	9.737	1000
Surface/Cloud Temperature	31	10.780 - 11.280	11.017	1000
	32	11.770 - 12.270	12.032	1000
Cloud Top Altitude	33	13.185 - 13.485	13.359	1000
	34	13.485 - 13.785	13.675	1000
	35	13.785 - 14.085	13.907	1000
	36	14.085 - 14.385	14.192	1000

*different saturation levels

پیوست ۴

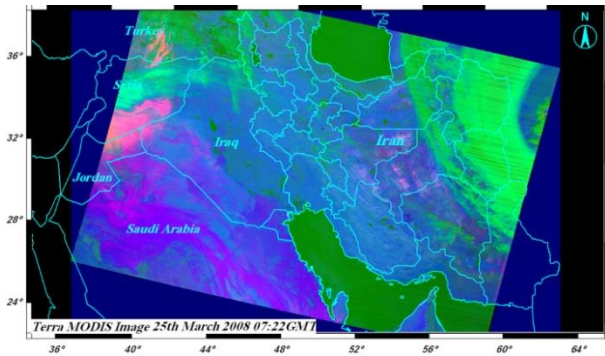
جدول مربوط به مشخصات تصاویر MODIS L1B مورد استفاده در این تحقیق

Number	Satellite	Date	Time(GMT)
1	Terra	2008 March 25	07:22
2	Terra	2008 April 24	07:35
3	Terra	2008 May 24	07:47
4	Terra	2008 May 26	07:35
5	Terra	2008 May 31	07:53
6	Terra	2008 June 16	07:53
7	Terra	2008 June 17	06:58
8	Terra	2008 June 25	07:47
9	Terra	2008 June 28	08:18
10	Terra	2008 June 30	08:06
11	Terra	2008 July 01	07:15
12	Terra	2008 July 02	07:53
13	Terra	2008 July 07	08:15
14	Terra	2008 July 08	07:17
15	Terra	2008 July 09	07:59
16	Terra	2008 July 27	07:47
17	Terra	2008 July 29	07:35
18	Terra	2008 September 15	07:35
19	Terra	2008 September 17	07:23
20	Terra	2008 October 08	07:41
21	Terra	2009 July 04	07:10
22	Terra	2009 July 09	07:29
23	Terra	2009 July 12	07:59
24	Terra	2009 July 14	07:47
25	Terra	2009 July 21	07:53
26	Terra	2009 July 30	07:47
27	Terra	2009 August 01	07:35
28	Terra	2009 August 03	07:23

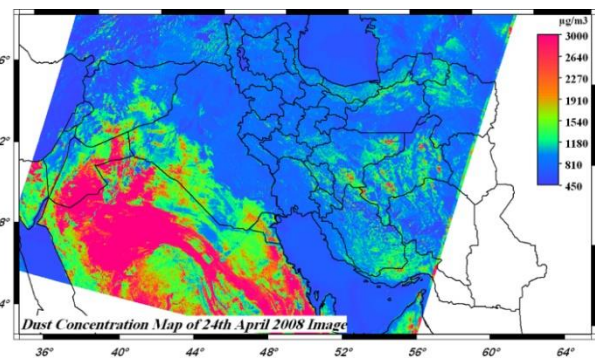
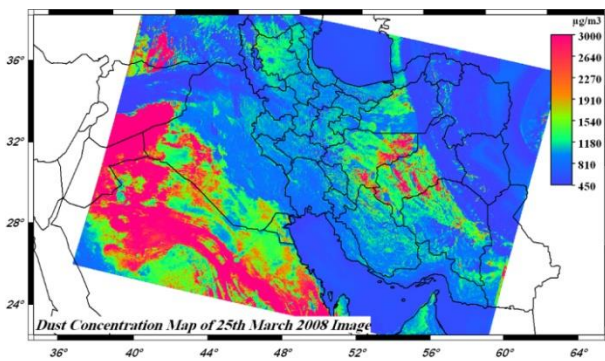
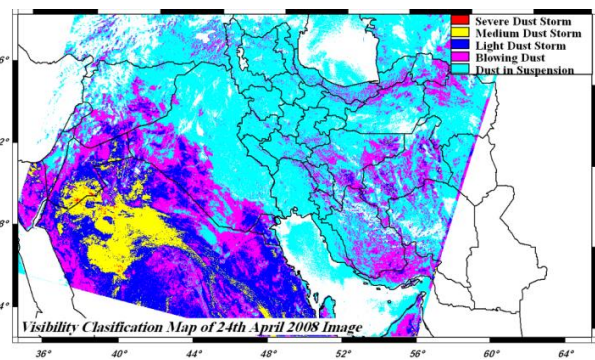
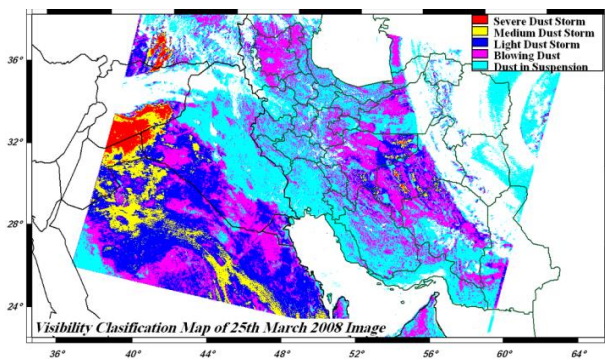
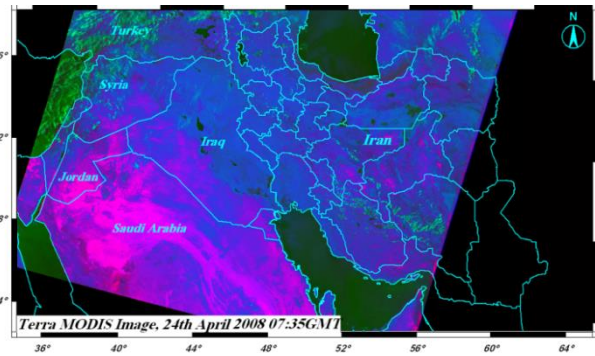
پیوست ۵

تصاویر مربوط به سری زمانی، در هر کدام از ستون‌ها: تصاویر ترکیب رنگ کاذب در ریف اول، نقشه‌های طبقه‌بندی شده‌ی قابلیت دید در ریف دوم و نقشه‌های غلظت غبار در ریف سوم نشان داده شده است.

تصویر 1: 25 مارس 2008

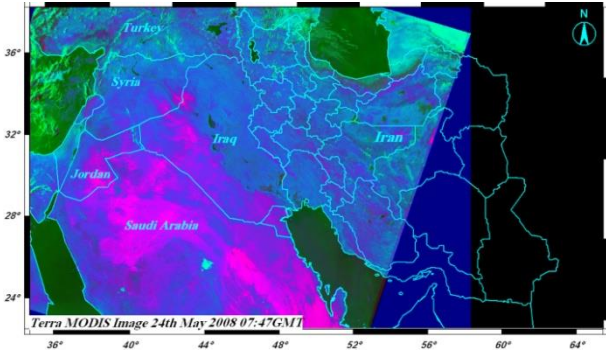


تصویر 2: 24 آوریل 2008

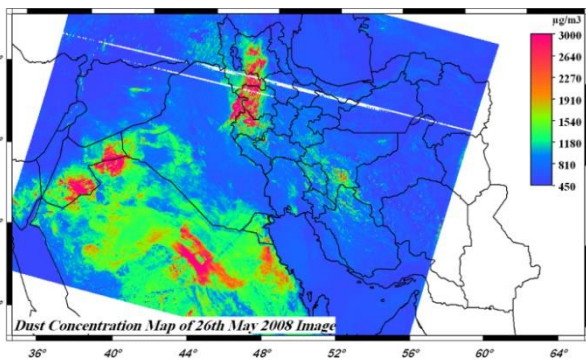
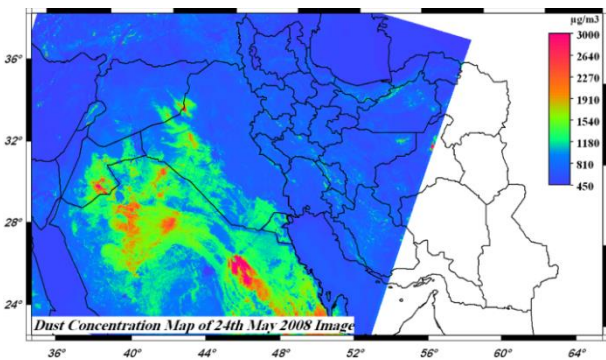
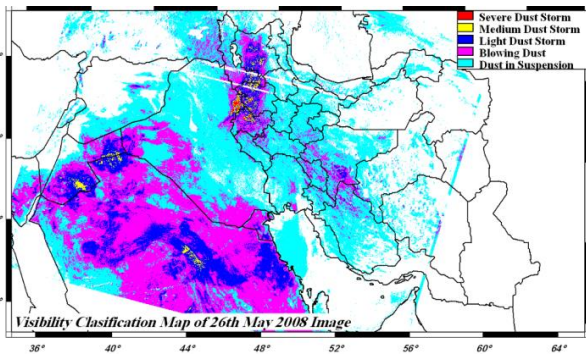
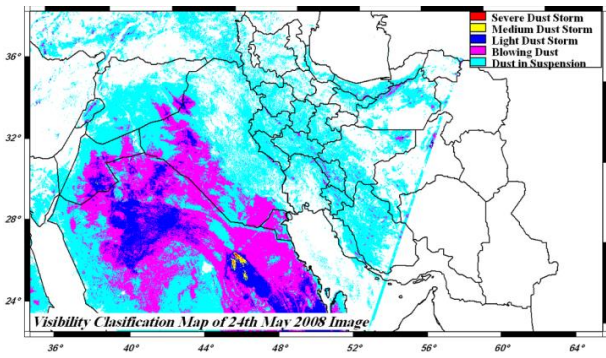
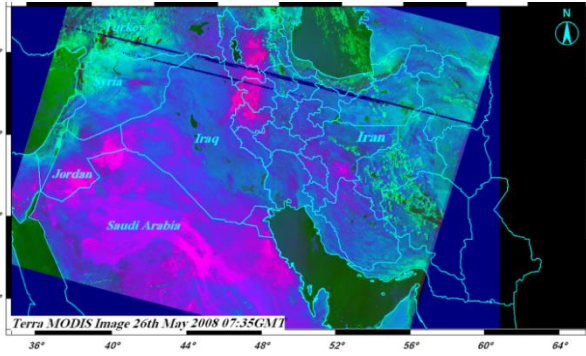


continued

تصویر 3: 24 می 2008

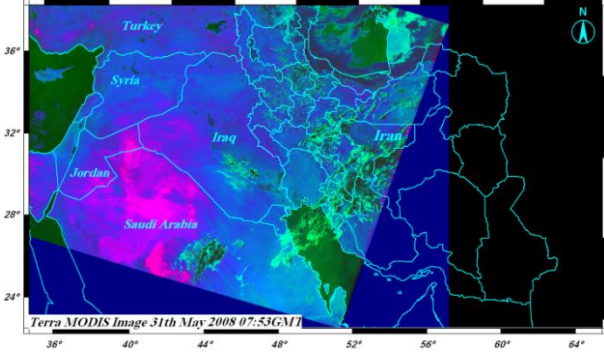


تصویر 4: 26 می 2008

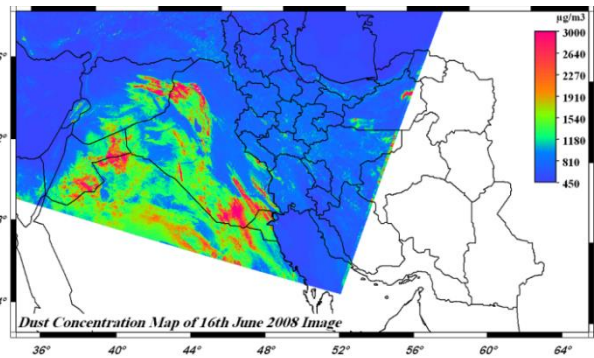
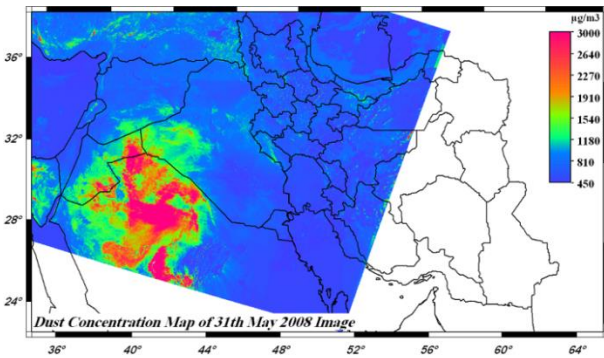
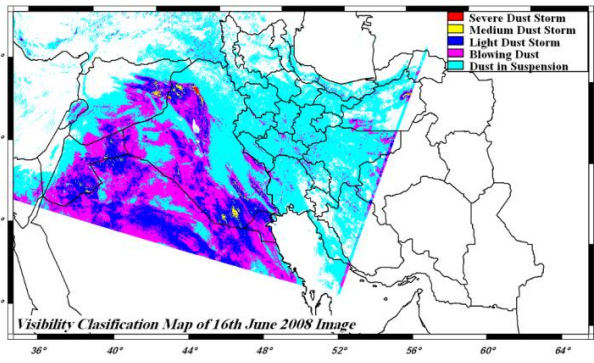
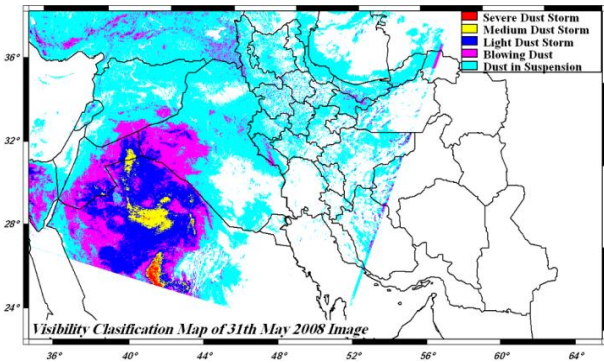
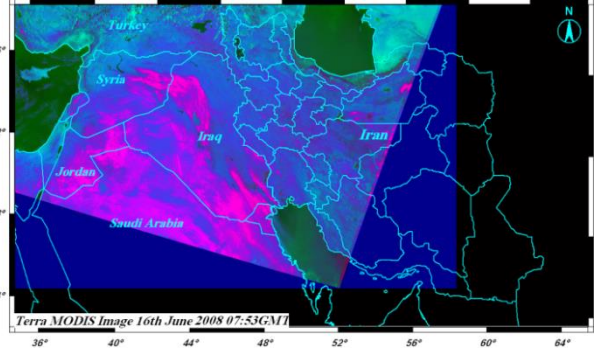


continued

تصویر 5: 31 می 2008

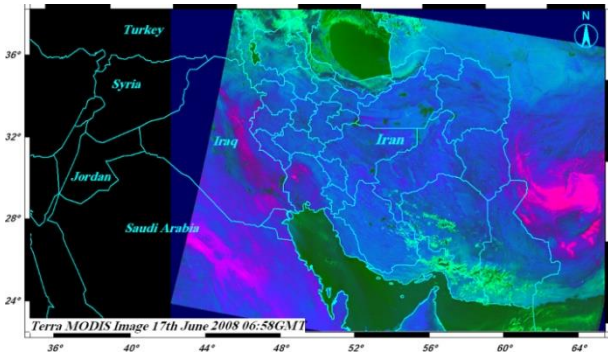


تصویر 6: 16 ژوئن 2008

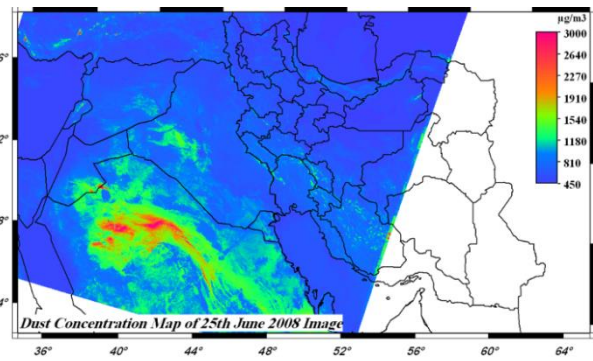
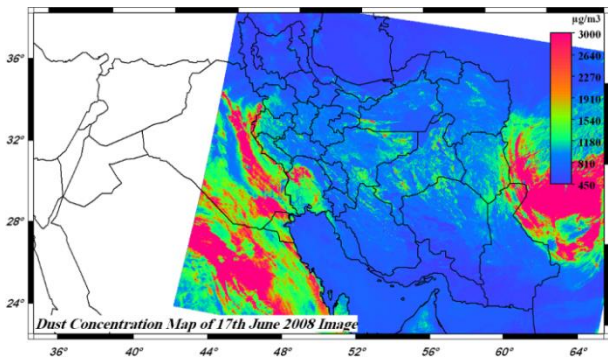
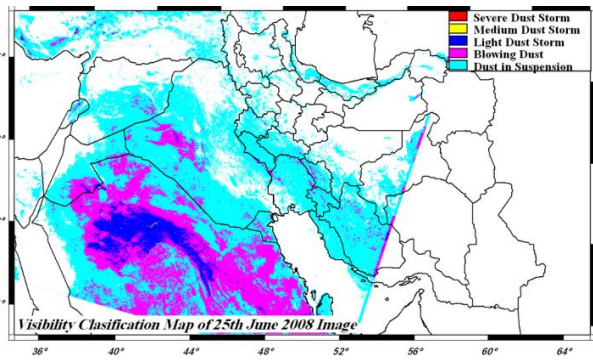
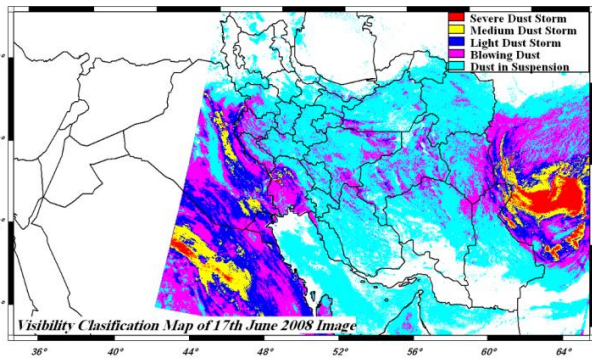
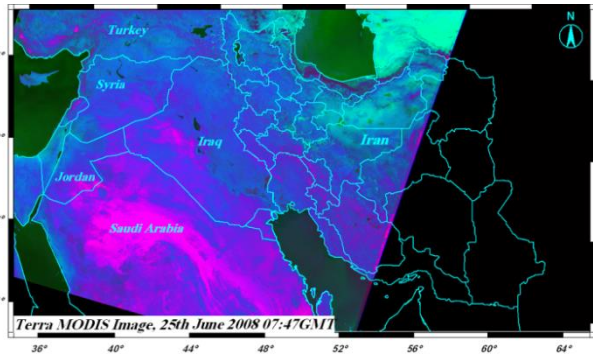


continued

تصویر 7 : 17 ژوئن 2008

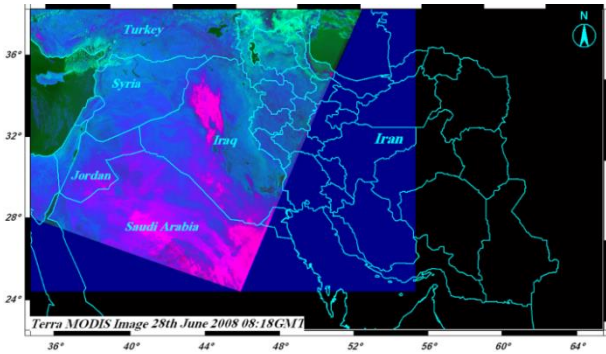


تصویر 8 : 25 ژوئن 2008

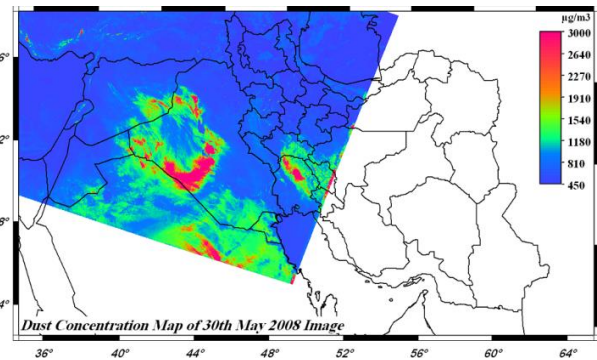
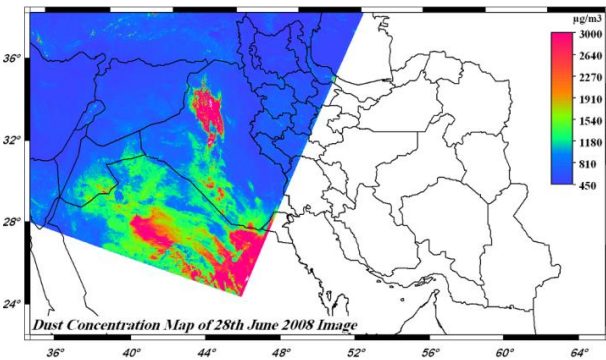
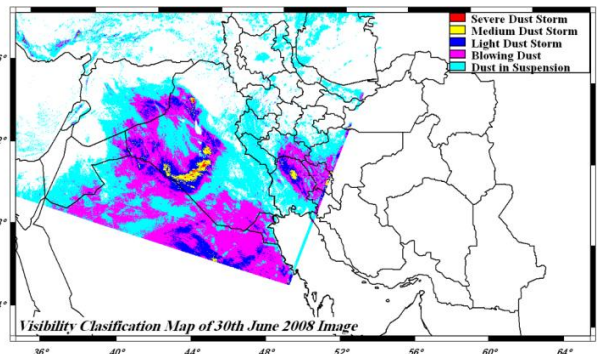
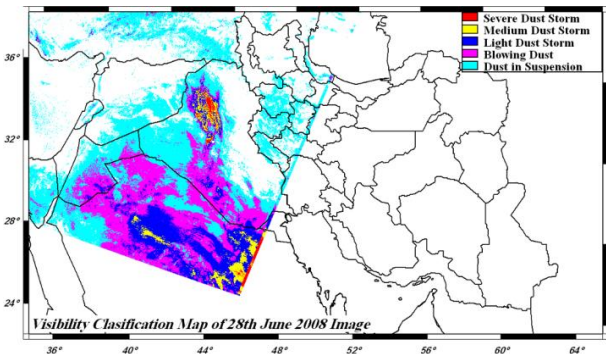
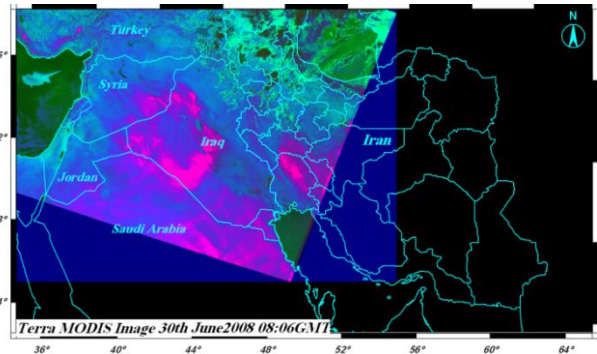


continued

تصویر 9 : 28 ژوئن 2008

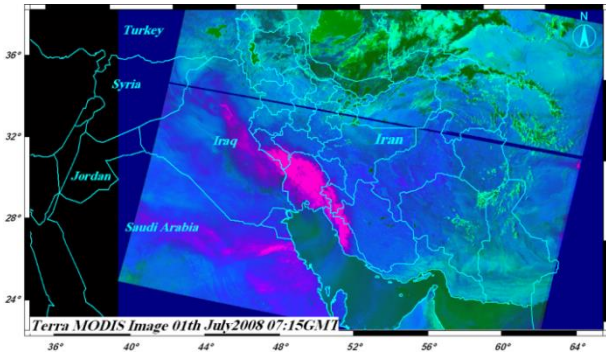


تصویر 10 : 30 ژوئن 2008

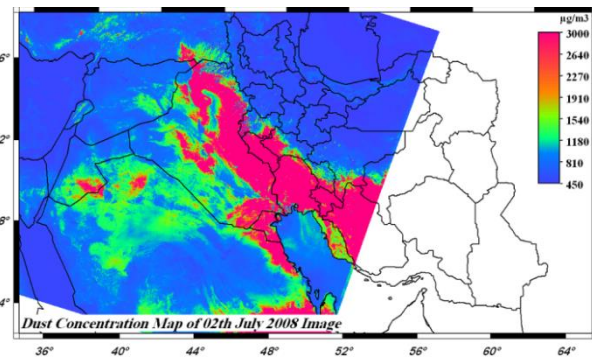
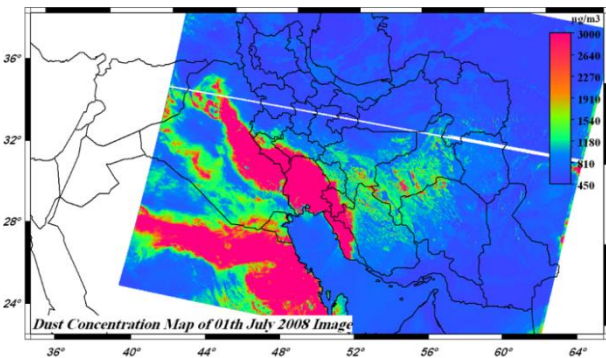
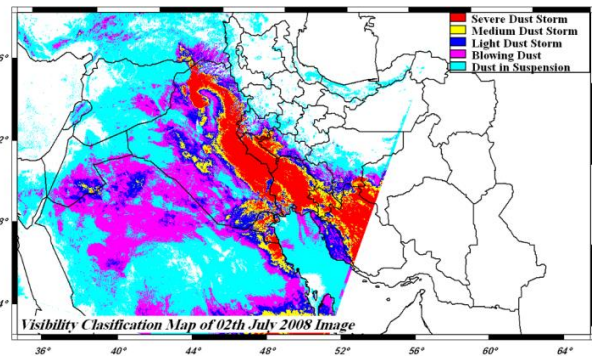
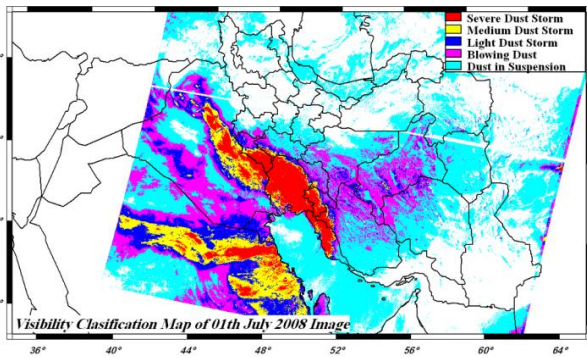
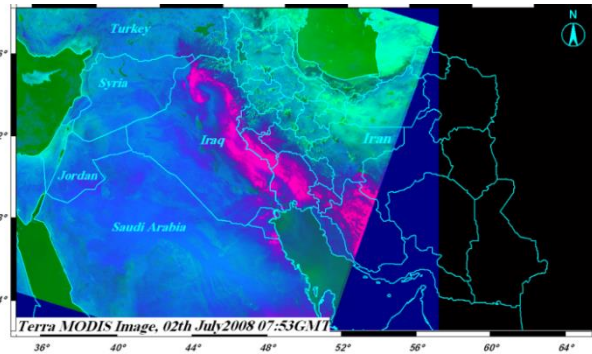


continued

تصویر 11: 1 جولای 2008

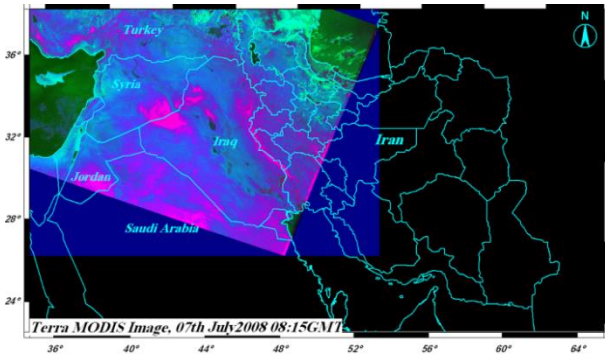


تصویر 12: 2 جولای 2008

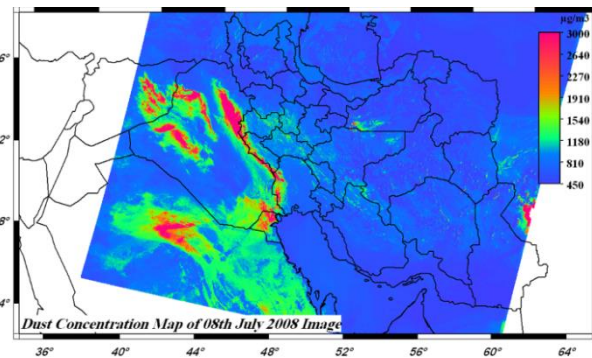
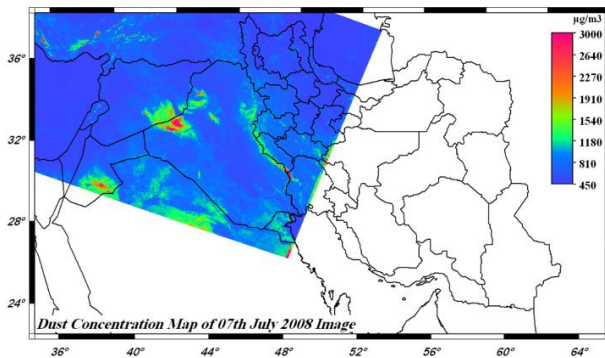
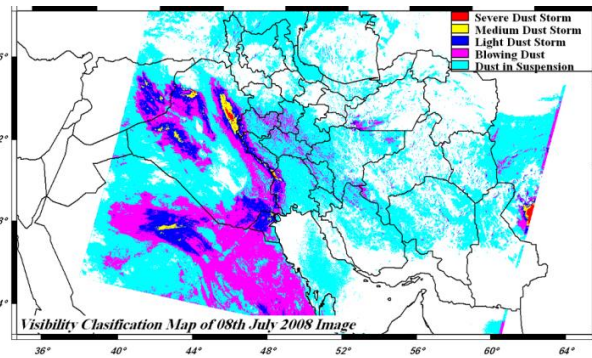
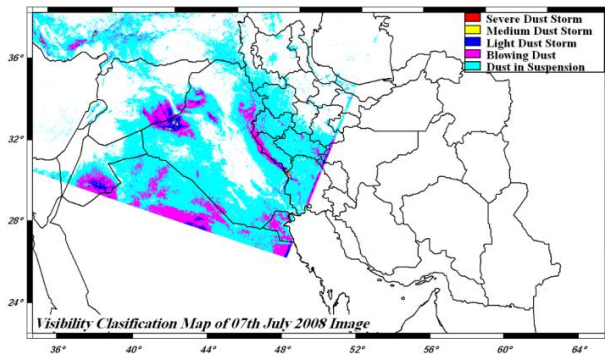
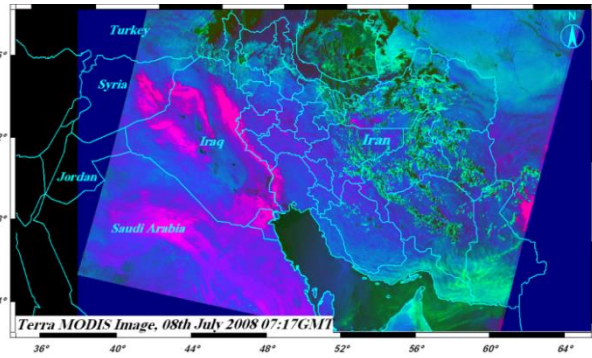


continued

تصویر 7:13 جولای 2008

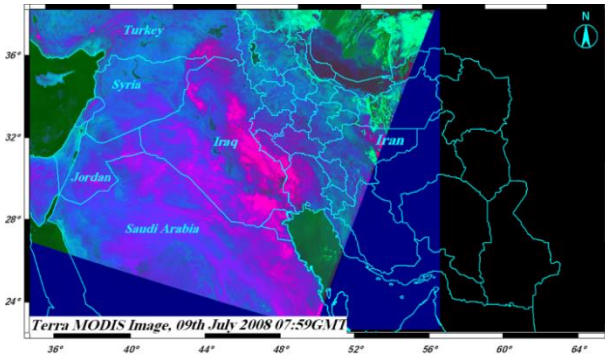


تصویر 8:14 جولای 2008

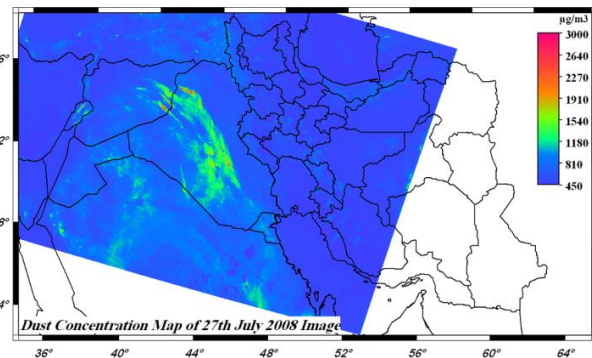
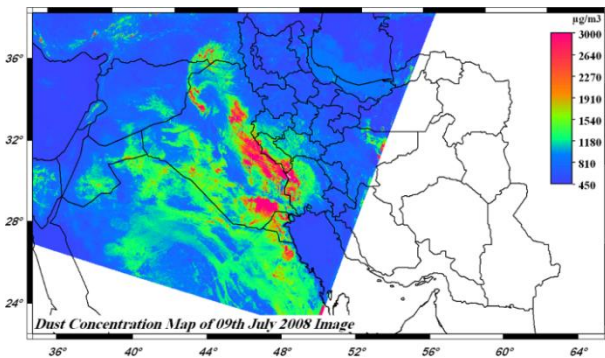
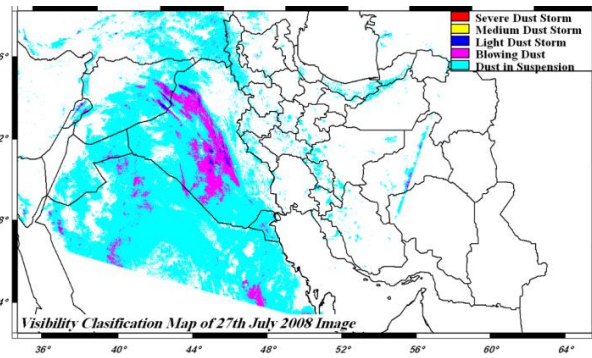
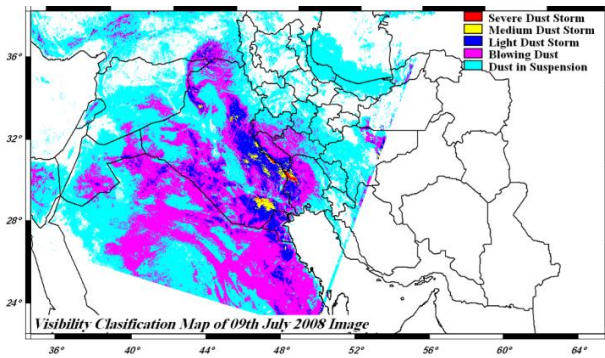
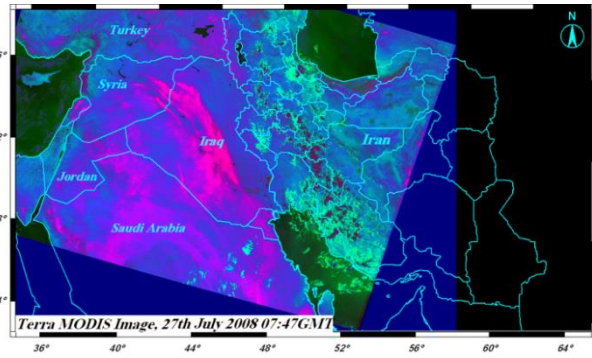


continued

تصویر 9 :15 جولای 2008

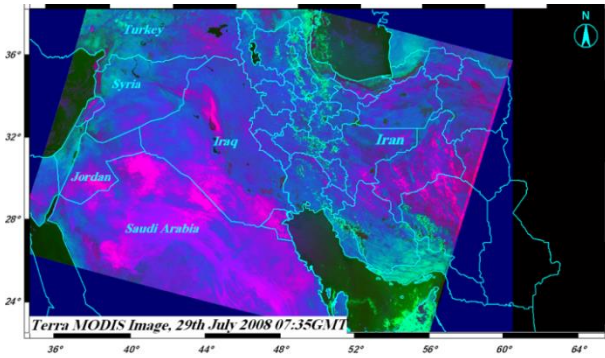


تصویر 16 :27 جولای 2008

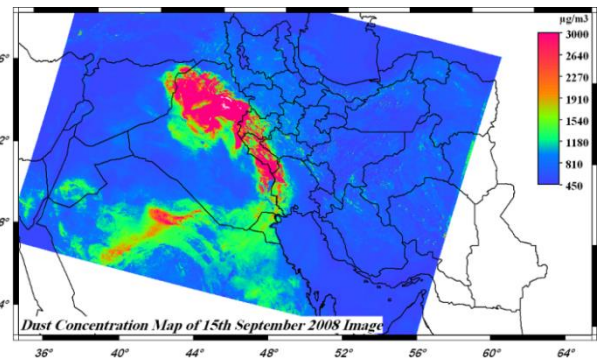
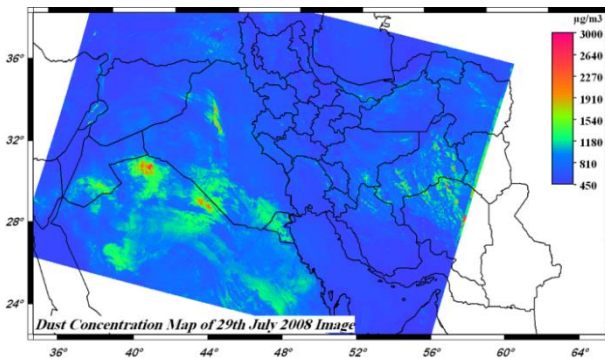
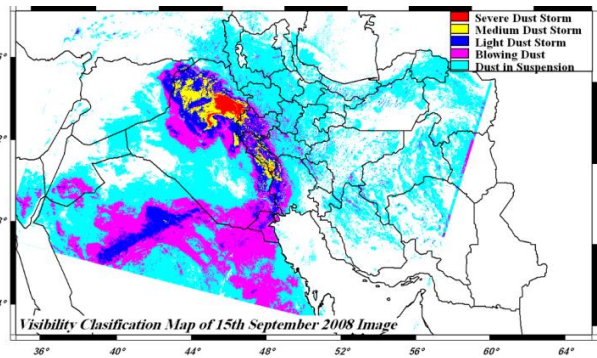
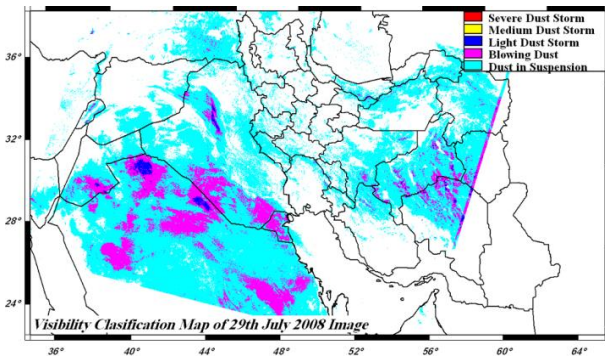
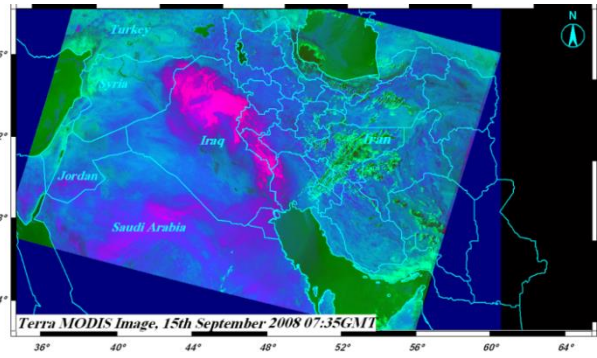


continued

تصویر 17: 29 جولای 2008

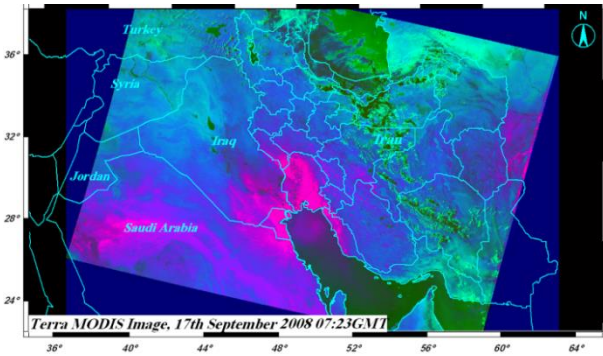


تصویر 18: 15 سپتامبر 2008

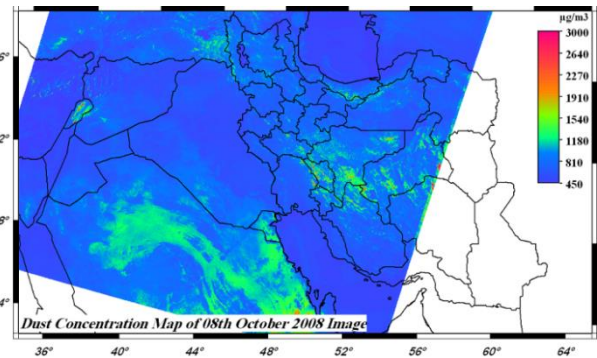
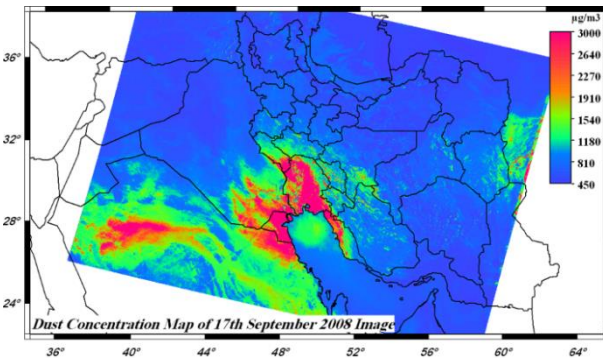
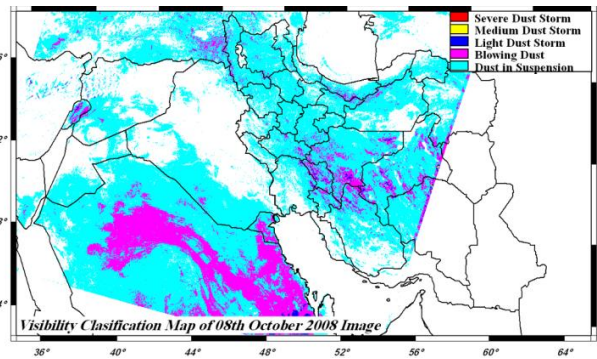
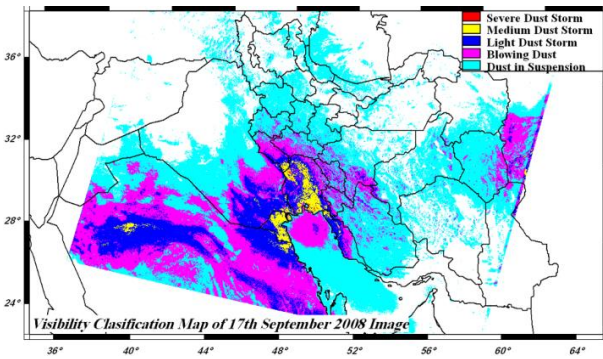
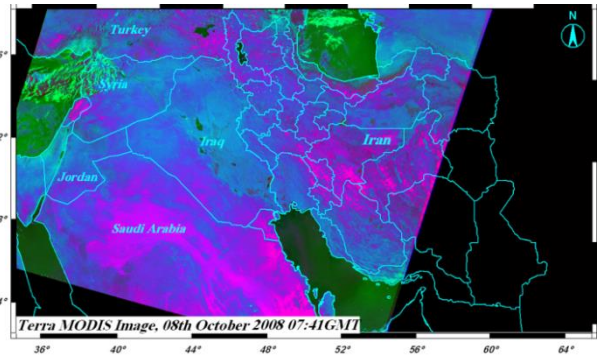


continued

تصویر 17:19 سپتامبر 2008

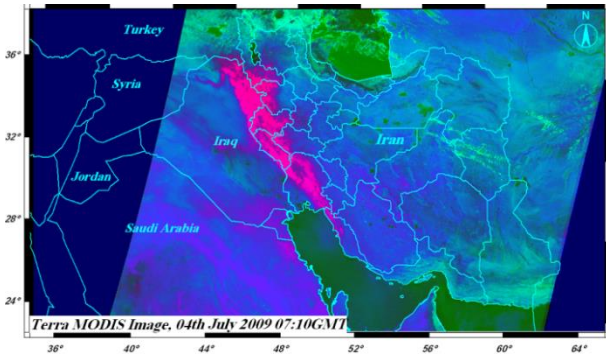


تصویر 8:20 اکتبر 2008

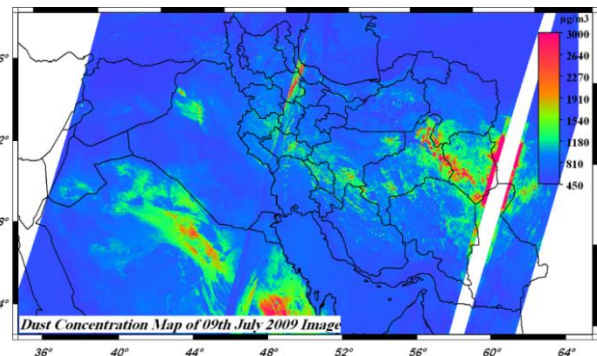
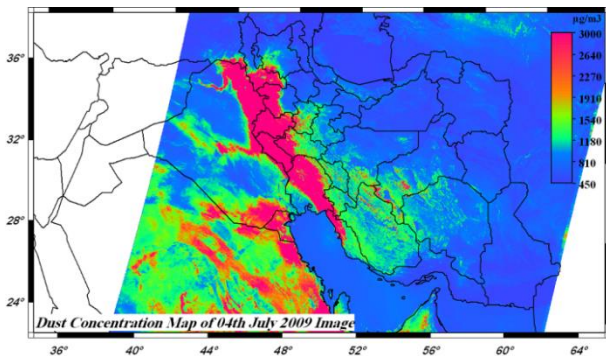
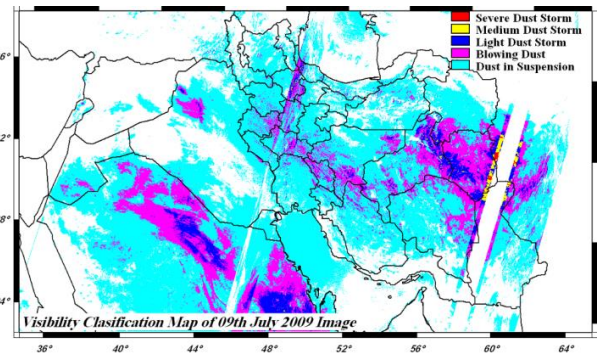
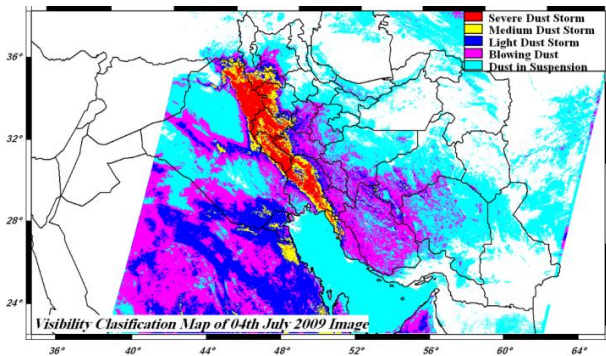
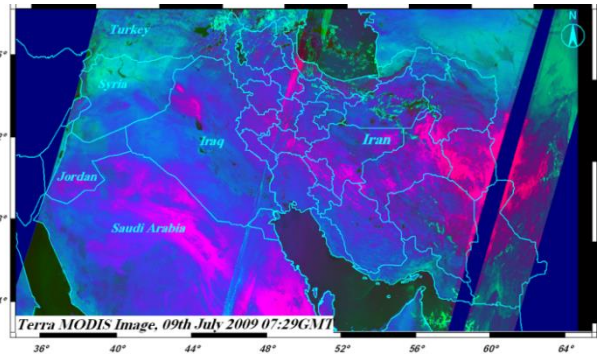


continued

تصویر 4 :21 جولای 2009

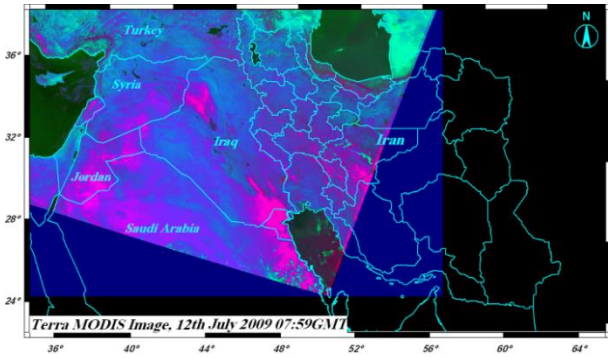


تصویر 9 :22 جولای 2009

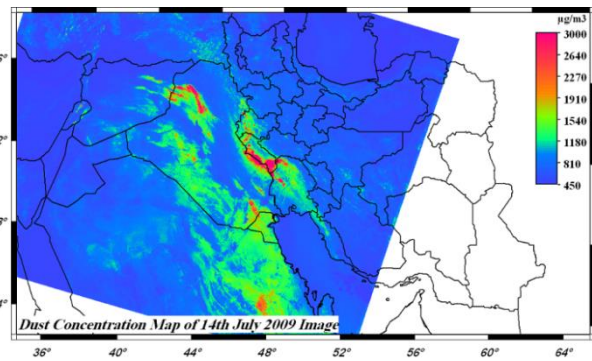
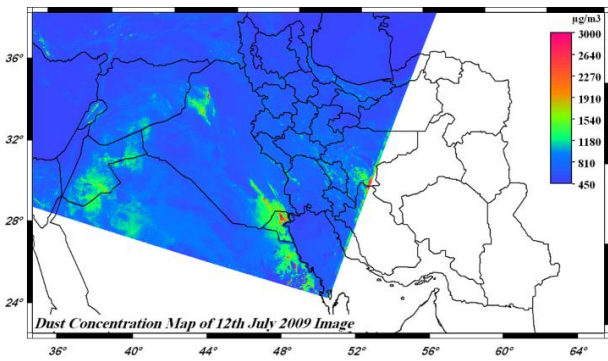
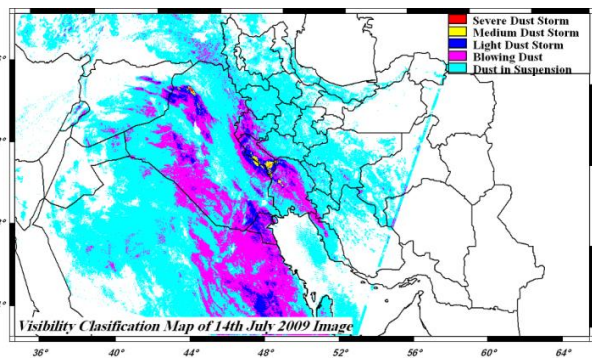
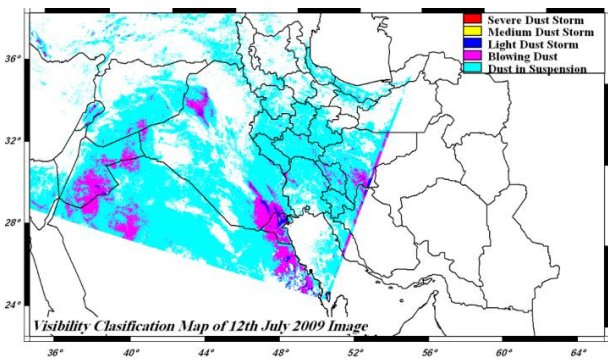
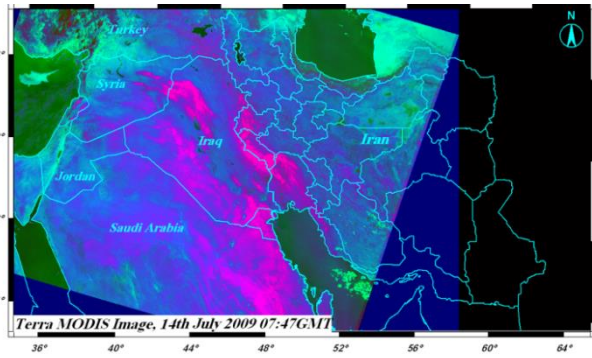


continued

تصویر 12 : 23 جولای 2009

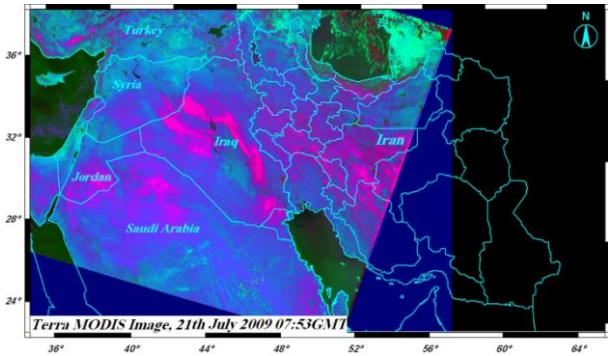


تصویر 14 : 24 جولای 2009

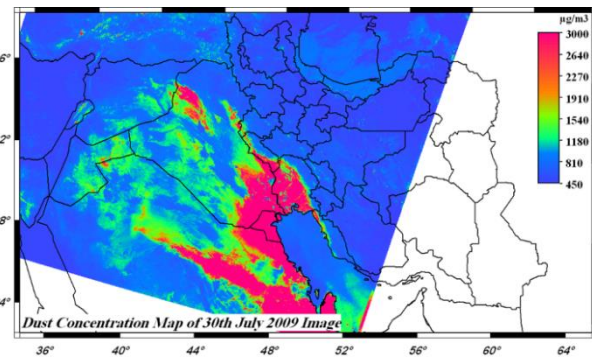
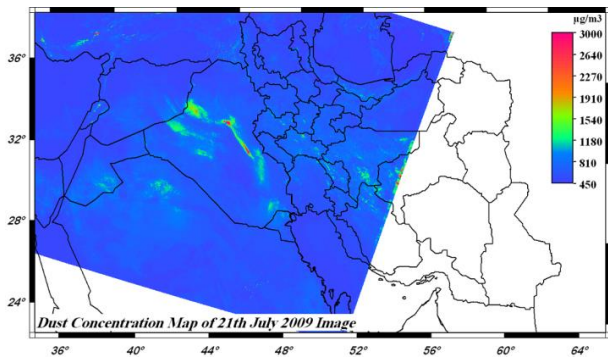
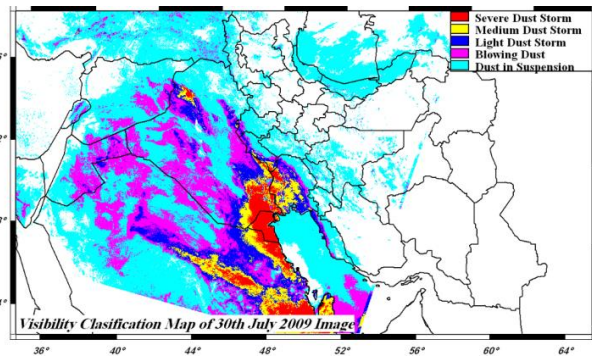
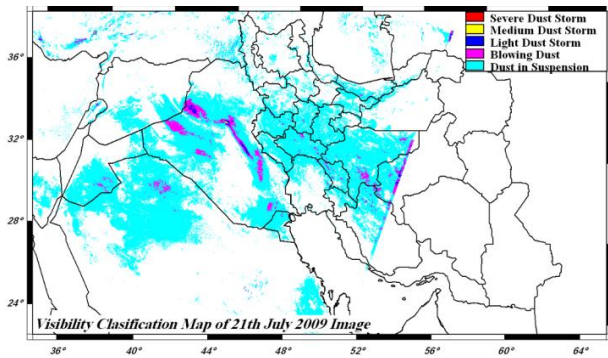
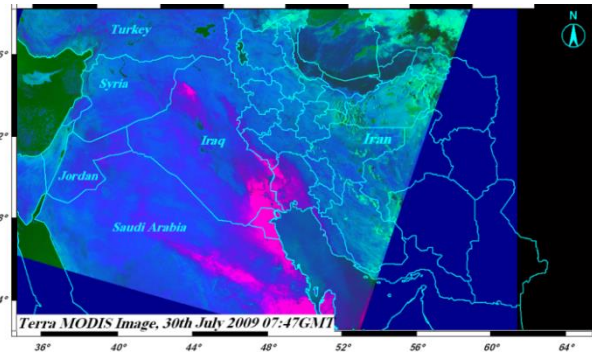


continued

تصویر 25 : 21 جولای 2009

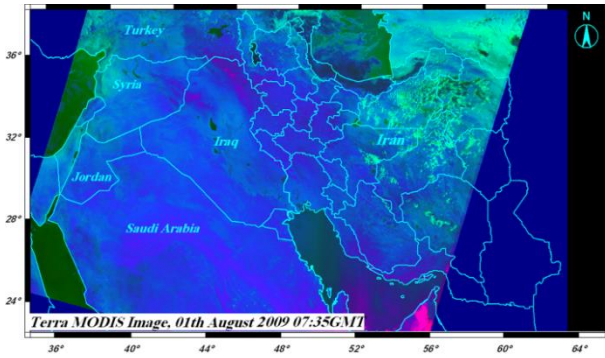


تصویر 26 : 30 جولای 2009

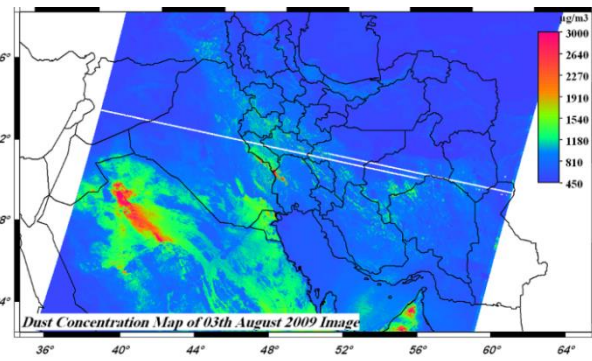
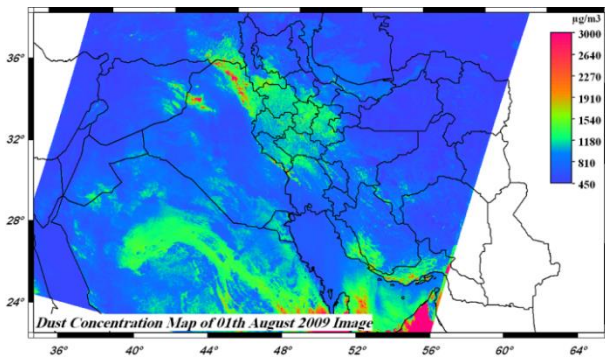
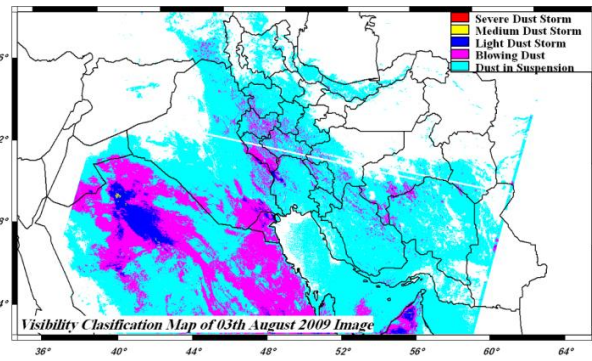
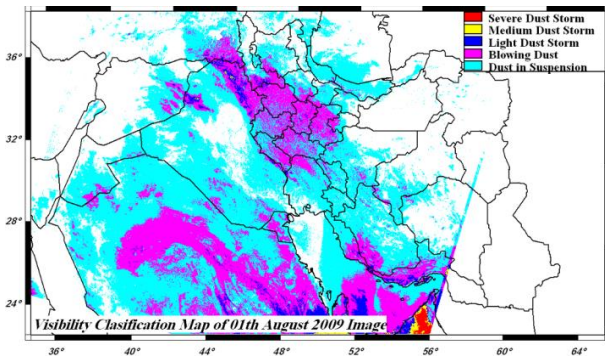
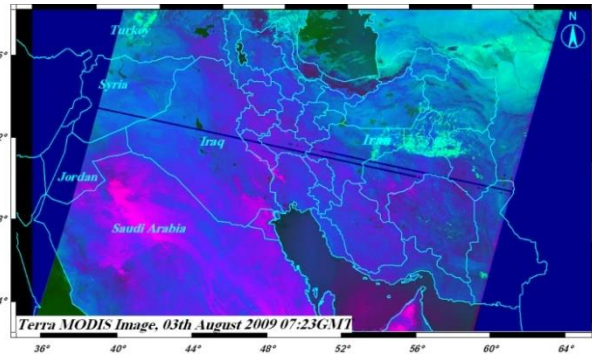


continued

تصویر 1 : 27 اگست 2009



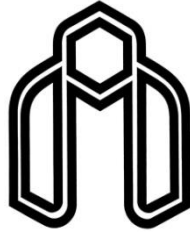
تصویر 3 : 28 اگست 2009



Abstract

Dust storms are hazardous events that makes air conditions very foul and causes low visibility. Iran is located in the Middle East and in semi-arid climatic regions. Although the dust storm often takes place in arid and semi-arid areas but it happens frequently in the recent years and could be highly related to natural and human activity effects. It is important to the detect point sources of dust storm and tracking its emission in the Middle East region. Therefore remote sensing techniques have been utilized in this investigation for dust sources determination and dust storm tracking, monitoring and mapping. Firstly, several dust detection parameters such as brightness temperature difference (BTD), normalized difference dust index (NDDI) and D parameter were calculated for 28 MODIS L1B images expanded in 2008 and 2009. These dust storm detection methods were evaluated by comparing these parameters and visibility data (41 stations) by fitting different functions (Linear and Exponential). D parameter was distinguished as the most effective technique for dust area detection. Then visibility maps generated on the basis of D parameter model and next these maps classified to different dust storm intensity. Also dust concentration maps were generated with empirical relationship based on visibility maps. Dust sources can be identified using dust enhancement method. In this research, dust detection parameters (BTD, NDDI, D) have been utilized for false color composite (FCC) technique that enhances the dust over land effectively. The point sources were identified by visual interpretation of FCC maps. About 420 points were extracted from 28 MODIS images. This generated point sources map showed that about 39.2, 23, 14.5, 13.8, 5.7 and 3.8 of dust storm point sources have been located in the territory of Iraq, Syria, north of Saudi Arabia, west of Iran, Jordan and Turkey respectively. Also a density map of dust point source was generated by IDW interpolation technique and it proved that northwest of Iraq and east of Syria are the most important dust sources in the Middle East. Finally the path of dust particles from main sources toward Iran was determined by combination between satellite images of dusty period (July 4th to July 8th 2009) and its corresponding wind data (56 stations). The results demonstrated that the plume had been lifted from source (northwest of Iraq and east of Syria) and then moved toward the east direction and after arriving to Zagros Mountains its path changed toward south and then entered to central part of Iran from the down part of Zagros Mountains.

Keywords: Dust Storm, Dust source, Middle East, Satellite image, Iran



Shahrood University of Technology
Faculty of Earth Sciences

M.Sc. Thesis

Investigation of dust storms and their environmental impacts using
remote sensing imagery (case study: west and southwest of Iran)

Khadijeh karimi

Supervisors:

Dr. N. Hafezi Moghadas

Dr. H. Taheri Shahraini

Advisor:

Dr. M. Habibi Nokhandan

June 2011