

پایش و تحلیل سینوپتیکی پدیده گرد و غبار با استفاده از سنجش از دور و GIS (مطالعه موردی: گرد و غبار ۱۸ ژوئن ۲۰۱۲)

محمد فلاح ززولی^۱
علیرضا وفایی نژاد^۲
میرمسعود خیرخواه زرکش^۳
فربرز احمدی دهکاء^۴

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۳/۸/۴

تاریخ دریافت مقاله: ۹۳/۴/۷

چکیده

پدیده گرد و غبار در دهه اخیر یکی از مهمترین چالش‌های زیست محیطی در ایران، غرب و جنوب غرب آسیا می‌باشد. این پدیده از فرآیندهای بیابان‌زایی بوده که در مناطق خشک و نیمه خشک جهان رخ می‌دهد. سنجش از دور علم و تکنیک به دست آوردن اطلاعات از پدیده‌های جغرافیایی بدون تماس با آنها می‌باشد. برای تشخیص پدیده گرد و غبار نیاز به تصاویری با پوشش وسیع و تکرار زیاد است. از این لحاظ، تصاویر مربوط به سنجنده مادیس به دلیل داشتن باندهای طیفی زیاد برای مطالعات مربوط به پدیده گرد و غبار مناسب می‌باشد. شناسایی منشاء تولید کننده ذرات گرد و غبار و پایش آن، با سرعت، دقت و هزینه کم از اهمیت فراوانی برخوردار است. اهداف اصلی این پژوهش شناسایی منشاء تولید کننده گرد و غبار ورودی به مناطق غرب و جنوب غرب ایران و همچنین پایش حرکت گرد و غبار می‌باشد. در این پژوهش منشاء رخداد پدیده گرد و غبار مربوط به ۱۸ ژوئن ۲۰۱۲ که در نواحی غرب و جنوب غرب کشور رخ داده است، به کمک تصاویر ماهواره‌ای و با استفاده از باندهای مرئی و باندهای حرارتی سنجنده مادیس و با به‌کارگیری شاخص اکرمین شناسایی شد. معلوم گردید منشاء اصلی آن محل اتصال رودخانه‌های دجله و فرات بوده که در محدوده شمال و شمال شرق عراق و غرب سوریه می‌باشد و در ادامه مشخص شد تصاویر سنجنده مادیس به دلیل در دسترس بودن، هزینه کم و تکرار پذیری آن در ۲ بازه زمانی در ۲۴ ساعت برای پایش گرد و غبار مناسب می‌باشد. همچنین تحلیل سینوپتیکی آن برای شناسایی چگونگی حرکت گرد و غبار از منشاء به داخل ایران با استفاده از داده‌های سینوپتیکی ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکالی، فشار تراز دریا و نقشه‌های جهت جریان باد ۵۰۰ و ۱۰۰۰ هکتوپاسکالی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تحلیل سینوپتیکی یافتن منشاء و نحوه انتقال گرد و غبار را بهینه کرده و تصمیم‌گیری مناسب تری را برای پایش مسیر حرکت گرد و غبار ممکن می‌سازد. در نهایت با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و با به‌کارگیری ابزار Spatial Analysis Tools نمایش حرکت آن از منشاء تا داخل ایران رهگیری شد.

واژه‌های کلیدی: پدیده گرد و غبار، سنجش از دور، سنجنده مادیس، شاخص اکرمین، سیستم اطلاعات جغرافیایی

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات مکانی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران. Mohammad.Fallah2029@yahoo.com

۲- استادیار گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات مکانی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران. a-vafaei@srbiau.ac.ir

۳- استادیار گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات مکانی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران. Kheikhah@alumi.itc.nl

۴- استادیار دانشگاه پیام نور ایران، واحد طالقان. Ahmad_phd@yahoo.com

مقدمه

سال اخیر شدت گرفته است که برای ساکنان این مناطق معضلات زیادی از جنبه‌های زیست محیطی، بهداشتی، اجتماعی و اقتصادی و برای سیاستمداران، مشکلات سیاسی و نارضایتی‌های عمومی را ایجاد کرده است. مطالعات نشان می‌دهد که پدیده گرد و غبار از بلایای طبیعی است که سالانه خسارت‌های زیادی در استان‌های غرب و جنوب غربی ایران ایجاد می‌کند. در نتیجه آشنایی با نحوه ایجاد و شکل گیری این پدیده در کاهش خسارت‌های ناشی از آن می‌تواند مؤثر باشد (امیدوار، ۱۳۸۵).

سنجش از دور علم، فن و هنر به دست آوردن اطلاعات در مورد پدیده‌ها از راه دور است، به عبارتی دیگر جمع آوری اطلاعات از مناطقی که به دلیل خطرناک بودن، هزینه زیاد و بعد مسافت به طور مستقیم قابل دسترسی نیست (درویش صفت و همکاران، ۱۳۹۰). برای تشخیص پدیده‌های گرد و غبار، تصاویر ماهواره‌ای با پوشش وسیع و تکرار زیاد همراه با باندهای طیفی بالا نیاز است. سنجنده مادیس از ماهواره ترا و آکوا دارای توان تفکیک رادیومتریکی بالا بوده و بازه وسیعی از انرژی تابشی محدوده مرئی و نامرئی را پوشش داده که از این لحاظ برای بررسی طوفان‌های گرد و غبار مورد استفاده قرار می‌گیرد (صمدی، ۱۳۹۰). سنجنده مادیس در دو باند دارای توان تفکیک مکانی ۲۵۰ متر، در ۵ باند دارای توان تفکیک مکانی ۵۰۰ متر و در ۲۹ باند دارای توان تفکیک ۱۰۰۰ متر است (علمی، ۱۳۹۱). مطالعات متنوعی در راستای شناخت پدیده گرد و غبار و ابعاد متفاوت این پدیده در ایران و مناطق مختلف جهان صورت گرفته است. مطالعات آماری پدیده گرد و غبار به منظور تحلیل زمانی نشان می‌دهد تعداد روزهای وقوع این پدیده در حال افزایش و بیشترین فراوانی آن مربوط به ماه‌های ژوئن و جولای است و از بین مطالعات صورت گرفته فقط یکی از این مطالعات روند کاهشی را نشان می‌دهد (مهرشاهی و نکونام، ۱۳۸۸ و امیدوار و نکونام، ۱۳۸۸ و Zarasvandi and et al., ۲۰۱۱).

تحلیل مکانی این پدیده بیانگر آن است که مناطق عمده فعالیت‌های پدیده گرد و غبار، بیابان‌ها از جمله بیابان‌های

یکی از مهمترین چالش‌های زیست محیطی بوجود آمده در منطقه خاورمیانه و ایران در سال‌های اخیر پدیده گرد و غبار می‌باشد. این پدیده امروزه به یکی از مشکلات اساسی در مناطق خشک و نیمه خشک تبدیل شده است. پدیده‌ی گرد و غبار به عنوان پدیده‌ای اقلیمی در تمام شرایط آب و هوایی رخ می‌دهد که اثرات نامطلوب اجتماعی، اقتصادی، زیست محیطی و تجاری را سبب می‌گردد و به عنوان پدیده‌ی بارز مناطق بیابانی، سبب اختلال در فعالیت‌های انسانی، کشاورزی، زیرساخت‌های اجتماعی، حمل و نقل و صنایع می‌گردد. همچنین حجم فراوان ذرات حمل شده به تروپوسفر، بیان انرژی را تحت تأثیر قرار می‌دهد که متعاقب آن شرایط آب و هوایی و اقلیم آن ناحیه نیز تحت تأثیر قرار می‌گیرد. اهمیت ژئومورفولوژیکی طوفان‌های گرد و غبار بخاطر نقش آنها در فرسایش و رسوبگذاری است و زمانی رخ می‌دهند که قابلیت دید به کمتر از یک کیلومتر کاهش یابد (شمسی پور و همکار، ۱۳۹۱).

از عوامل اصلی و مؤثر در رخداد پدیده گرد و غبار، موقعیت جغرافیایی و شرایط اقلیمی مناطق منشاء و مناطق تحت تأثیر این پدیده می‌باشد. قرارگیری ایران در کمربند خشک و نیمه خشک جهان و از طرف دیگر مجاورت با کشورهای چون عربستان، عراق و سوریه که دارای فقر پوشش گیاهی بوده و به دلیل بارش اندک و دمای بالا اغلب مساحت این کشورها از بیابان تشکیل شده است و تحت تأثیر شرایط بیابانی، ناپایداری هوا و جریان باد در این مناطق که معمولاً شدید می‌باشد باعث بلند شدن گرد و غبار از این نواحی می‌گردد. رخداد خشکسالی‌های متناوب در این مناطق سبب رخداد متناوب پدیده گرد و غبار در نواحی غرب و جنوب غربی ایران شده است. از طرف دیگر استفاده نامطلوب از منابع طبیعی و محیط زیست توسط انسان در داخل ایران و کشورهای همسایه سبب تشدید رخداد پدیده گرد و غبار شده است (میری، ۱۳۹۰). این امر در شرایط خشکسالی و برخی عوامل انسانی از جمله تغییر کاربری زمین در چند

انجام گرفته که در آنها با استفاده از تصاویر MODIS، تصاویر TOMS و OMI، تصاویر AVHRR، تصاویر METEOSAT و تصاویر Sea-WIFS به آشکارسازی و پایش طوفان‌های گرد و غبار پرداخته‌اند.

تقوی و اسدی (2007)؛ (Taghavi and Asadi, 2007)؛ طوفان گردوغبار ۱۲ آوریل ۲۰۰۷ را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و مشاهدات هواشناسی مورد مطالعه قرار دادند و نتایج آن بدین صورت بود که استقرار کم‌فشار سطحی بر روی زاگرس در ایران و پرفشار بر روی جنوب شبه جزیره عربستان عامل اصلی فرارفت گردوغبار از عراق و شمال عربستان به نواحی مجاور بیان شده است. از این سیستم به عنوان سیستم وزشی شمال نیز یاد می‌شود که همواره باعث وزش طوفان‌های گرد و غبار از جهت شمال غرب به کشورهای حاشیه خلیج فارس و ایران گشته است. در مطالعاتی که می‌و همکاران (Mei and et al, 2008)؛ انجام دادند به این نتیجه رسیدند که مقدار بازتاب گرد و غبار در باند ۳۲ نسبت به باند ۳۱ سنجنده MODIS بیشتر است و اختلاف دمای درخشندگی بین باندهای ۳۱ و ۳۲ مقادیری منفی است. همچنین مقدار شاخص اختلاف نرمال شده گرد و غبار (NDDI) مقادیری مثبت است.

بادوک و همکاران (2009)؛ (Baddock and et al, 2009)؛ ۵ روش اصلی تشخیص گرد و خاک (با استفاده از داده‌های آروسل سطح یک B و سطح دو سنجنده مادیس MODIS level 1B & MODIS level 2) را برای تشخیص ذرات گرد و خاک معدنی از دیگر ذرات و تعیین وسعت گرد و خاک برای ۴ واقعه گرد و خاک در دریاچه Eyre در استرالیا مقایسه و ارزیابی نمودند. پنج روش بکار برده شده عبارت بودند از: ترکیب رنگ کاذب (FCC)، اختلاف دمای روشنایی، روش آکرم، الگوریتم افزایشی گرد و خاک میبر، الگوریتم اختلافی گرد و خاک روسکونسکی و لوئیس. تمام تکنیک‌ها برای آشکارسازی گرد و خاک در مقایسه با ترکیب رنگ کاذب (FCCs) موفق بودند؛ اما مؤثرترین تکنیک برای تعیین منبع گرد و خاک برای هر واقعه به فاکتورهایی مانند پوشش ابر، کانی‌شناسی ذرات گرد و خاک و انعکاس سطح بستگی دارد.

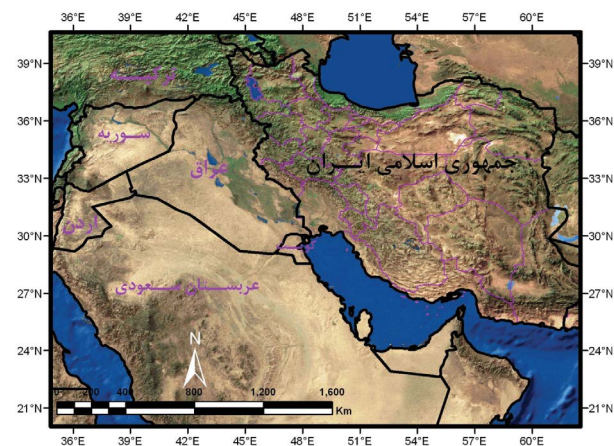
ماسه‌ای که به وسیله انسان تخریب شده است می‌باشد (علیزاد و همکاران، ۱۳۹۱ و ۲۰۱۲)؛ (Andoitu and et al, 2012). بررسی‌ها نشان می‌دهد با توجه به هدف، مواد و روش‌های مختلفی مانند استفاده از داده‌های سنجش از دور و نرم‌افزارهای این حوزه در بارزسازی پدیده گرد و غبار و استفاده از داده‌های سینوپتیکی در تحلیل چگونگی بوجود آمدن این پدیده در سطح زمین و همچنین حمل آن در جو و مدلسازی حرکت آنها و نمایش آن در محیط GIS^۱ و موارد دیگر می‌باشد که در ادامه به بخشی از این مطالعات اشاره خواهد شد.

اکرم (1997)؛ (Ackerman, 1997)؛ از اختلاف دمای درخشندگی (BTD)^۲ طیف ۳،۷ و ۱۱ میکرومتری برای آشکارسازی و پایش طوفان‌های گرد و غبار استفاده کرد. او بعدها در سال ۱۹۹۷ روشی را توسعه داد که در آن از سه باند طیفی ۸، ۱۱ و ۱۲ میکرومتری برای آشکارسازی گرد و غبار استفاده شده است. اکرم نشان داد که اختلاف دمای درخشندگی باندهای ۱۱ و ۱۲ میکرومتری برای گرد و غبار منفی می‌باشد، زیرا این پدیده بازتابش بالاتری در محدوده طیف ۱۲ نسبت به ۱۱ میکرومتری دارد. در این حالت ابرها از گرد و غبار تفکیک می‌شوند. اکرم آستانه دقیقی برای جداسازی گرد و غبار تعیین نکرد ولی مشاهده کرد که اختلاف دمای درخشندگی باندهای ۱۱ و ۱۲ میکرومتری برای گرد و غبار منفی می‌باشد، بنابراین آستانه جهانی برای تفکیک گرد و غبار می‌تواند بطور کلی مقدار صفر در نظر گرفته شود. میلر (2003)؛ (Miller, 2003)؛ روشی را توسعه داد که برای بارزسازی گرد و غبار سطح آب و زمین در هنگام روز بکار می‌رود. او برای این منظور از داده‌های سنجنده MODIS استفاده کرد. رسکونسکی و لیو (2005)؛ (Roskovensky and liou, 2005)؛ به منظور تفکیک گرد و غبار از ابرهای سیروس، روشی را بکار بردند که از چهار باند طیفی برای این منظور استفاده می‌کند. آنها در این روش از باندهای ۴، ۱۶، ۳۱ و ۳۲ استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که مقادیر بزرگتر از ۱ در این روش نشان دهنده گرد و غبار می‌باشد. تحقیقات دیگری نیز

1- Geospatial Information System

2- Brightness Temperature Difference

لی و همکاران (Li and et al, 2010)؛ بزرگترین گرد و غبار شرق استرالیا را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ی MODIS و شاخص اختلاف دمای روشنایی مورد ارزیابی قرار داده و با بیان کارائی قابل توجه این روش در شناسایی توده‌های گرد و غبار، چگونگی وقوع این پدیده را شناسایی نمودند. گائو و همکاران (Gao and et al, 2011) تأثیرات ناهنجاری‌های آب و هوایی در طوفان‌های گرد و غبار بر روی افزایش زمین‌های شنی در شمال شرق چین را طی ۲۰۰۸-۲۰۰۱ مورد مطالعه قرار دادند. آنها بیان کردند که هرچند که از سال ۱۹۶۱ تا سال ۲۰۰۸ از فراوانی کلی توفان‌های گرد و غبار در این منطقه کاسته شده ولی زمین‌های شنی طی فعالیت‌های گرد و غبار بخصوص بین سال‌های ۲۰۰۸-۲۰۰۱ افزایش یافته است. پس از بررسی متغیرهای آب و هوایی، خشکی را مهمترین عامل افزایش توفان‌های گرد و غبار ذکر کردند. همچنین کاهش بارش، تبخیر زیاد، کاهش رطوبت نسبی و رطوبت خاک با کاهش پوشش گیاهی طی دوره مورد مطالعه در مقایسه با ۳۰ سال قبل از آن تأیید شده است. شمسی پور و میری (Shamsipour and et al, 2011) تحولات مکانی و زمانی پدیده گرد و غبار در جنوب غرب ایران را بررسی کردند. در این تحقیق دو دوره پیشینه گرد و غبار با ویژگی‌های متفاوت مشخص گردید. لشکری (Lashkari and Keykhosravi, 2008) به تحلیل آماری همیدی طوفان‌های گرد و غبار استان خراسان رضوی در فاصله زمانی ۲۰۰۵-۱۹۹۳ پرداخته است و مشخص کرد که طوفان‌های گرد و غبار در جنوب استان خراسان رضوی یک پدیده متداول است بطوریکه از شمال به جنوب بر تعداد آنها افزوده می‌شود. ژنگ و همکاران (Zhang and et al, 2006) در مطالعه خود به این نتیجه رسیدند اگر صرفاً از باندهای مرئی استفاده شود، تشخیص لبه‌های نواحی متأثر از گرد و غبار مشکل خواهد بود که این مشکل با استفاده از بکارگیری روش پنجره مجزا^۱ با مقدار آستانه مشخص در اختلاف دمای درخشندگی باندهای ۳۱ (طیف ۱۱ میکرومتری) و ۳۲



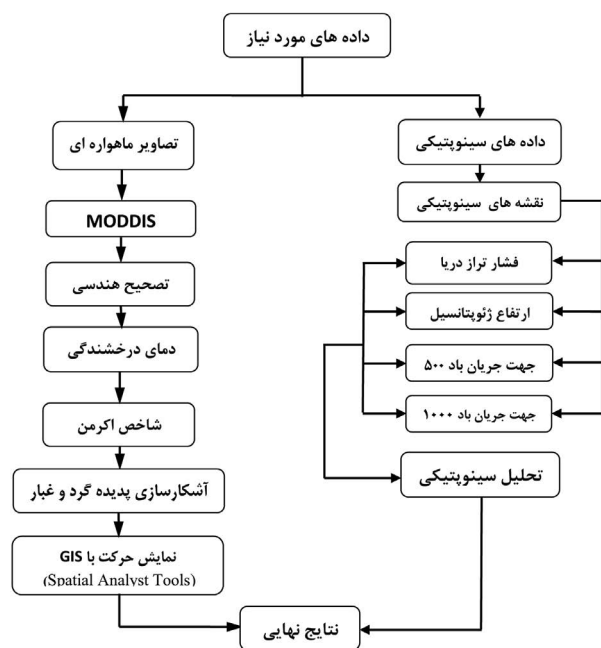
نگاره ۱: موقعیت جغرافیایی ایران و کشورهای همسایه مورد مطالعه
مواد و روش شناسی تحقیق

داده‌ها و اطلاعات مورد استفاده در این پژوهش، شامل سه سری از اطلاعات می‌باشد. اطلاعات اسنادی برای تقویت مبانی نظری و اشراف بر روش تحقیق که با جستجوی کتابخانه‌ای و مطالعه‌ی منابع مختلف بدست آمده است. داده‌های سنجش از دور، شامل تصاویر سنجنده‌ی مادیس مربوط به ماهواره ترا و آکوا مربوط به پدیده گرد و غبار ۱۸ الی ۲۱ ژوئن ۲۰۱۲، شامل باندهای مورد استفاده در تحقیق است که از وب گاه ناسا دریافت شده است.

سنجده‌ی مادیس دستگاهی است با حساسیت رادیومتریکی بالا که در ۳۶ باند طیفی در طول موج‌های ۰/۴۰۵ میکرومتر تا ۱۴/۸۳۵ میکرومتر سنجش را انجام

لی و همکاران (Li and et al, 2010)؛ بزرگترین گرد و غبار شرق استرالیا را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ی MODIS و شاخص اختلاف دمای روشنایی مورد ارزیابی قرار داده و با بیان کارائی قابل توجه این روش در شناسایی توده‌های گرد و غبار، چگونگی وقوع این پدیده را شناسایی نمودند. گائو و همکاران (Gao and et al, 2011) تأثیرات ناهنجاری‌های آب و هوایی در طوفان‌های گرد و غبار بر روی افزایش زمین‌های شنی در شمال شرق چین را طی ۲۰۰۸-۲۰۰۱ مورد مطالعه قرار دادند. آنها بیان کردند که هرچند که از سال ۱۹۶۱ تا سال ۲۰۰۸ از فراوانی کلی توفان‌های گرد و غبار در این منطقه کاسته شده ولی زمین‌های شنی طی فعالیت‌های گرد و غبار بخصوص بین سال‌های ۲۰۰۸-۲۰۰۱ افزایش یافته است. پس از بررسی متغیرهای آب و هوایی، خشکی را مهمترین عامل افزایش توفان‌های گرد و غبار ذکر کردند. همچنین کاهش بارش، تبخیر زیاد، کاهش رطوبت نسبی و رطوبت خاک با کاهش پوشش گیاهی طی دوره مورد مطالعه در مقایسه با ۳۰ سال قبل از آن تأیید شده است. شمسی پور و میری (Shamsipour and et al, 2011) تحولات مکانی و زمانی پدیده گرد و غبار در جنوب غرب ایران را بررسی کردند. در این تحقیق دو دوره پیشینه گرد و غبار با ویژگی‌های متفاوت مشخص گردید. لشکری (Lashkari and Keykhosravi, 2008) به تحلیل آماری همیدی طوفان‌های گرد و غبار استان خراسان رضوی در فاصله زمانی ۲۰۰۵-۱۹۹۳ پرداخته است و مشخص کرد که طوفان‌های گرد و غبار در جنوب استان خراسان رضوی یک پدیده متداول است بطوریکه از شمال به جنوب بر تعداد آنها افزوده می‌شود.

ژنگ و همکاران (Zhang and et al, 2006) در مطالعه خود به این نتیجه رسیدند اگر صرفاً از باندهای مرئی استفاده شود، تشخیص لبه‌های نواحی متأثر از گرد و غبار مشکل خواهد بود که این مشکل با استفاده از بکارگیری روش پنجره مجزا^۱ با مقدار آستانه مشخص در اختلاف دمای درخشندگی باندهای ۳۱ (طیف ۱۱ میکرومتری) و ۳۲



منبع: نگارندگان

نگاره ۲: روند نمایش روش شناسی مطالعه در تحقیق

روش مطالعه سنجش از دور بدین صورت بود: همانگونه که می دانیم تصاویر چند طیفی، ابزاری مناسب برای بارزسازی و پایش گرد و غبار به شمار می روند (Miller, 2003). در این پژوهش به منظور شناسایی منشاء طوفان های گرد و غبار از تفسیر بصری تصاویر ماهواره ای و رهگیری در تصاویر ماهواره ای و همچنین استفاده از روش های آشکارسازی گرد و غبار (روش اختلاف دمای درخشندگی اکرمین) استفاده شده است. منشاء طوفان گرد و غبار محدوده ای می باشد که در آن با دخالت باد مقدار زیادی گرد و خاک از سطح زمین بالا رفته و به نواحی دور و نزدیک انتقال می یابد. کانون های تولید گرد و غبار عمدتاً مناطقی می باشند که بیشترین تأثیر را از باد می پذیرند، عمدتاً دارای بافت ریزدانه بوده، فاقد پوشش گیاهی و رطوبت کافی می باشند (صمدی، ۱۳۹۰).

برای تشخیص گرد و غبار برخاسته از سطح زمین و نمایش محدوده دارای این پدیده و تعیین منشاء آن با استفاده از باندهای مرئی و ترکیب رنگی این باندها، در بسیاری موارد مشکل و دارای خطا می باشد. از این رو در پژوهش حاضر برای آشکارسازی پدیده گرد و غبار

می دهد، دستگاه مادیس به وسیله دو ماهواره ی آمریکایی ترا و آکوا حمل می شود. زمان عبور دو ماهواره ی ترا و آکوا از خط استوا، ساعت ۱۰:۳۰ و ۱۳:۳۰ به وقت محلی است. محور ترا هنگام چرخش به دور زمین از شمال به جنوب، استوا را در پیش از ظهر قطع می کند، در حالی که آکوا با جهت دوران جنوب به شمال، استوا را پس از ظهر قطع می کند. باندهای ۱ الی ۳۶ در طول قسمت مدار روز و باندهای ۲۰ الی ۳۶ در قسمت مدار شب جمع آوری می شوند. توان تفکیک مکانی باندهای ۱ و ۲، ۲۵۰ متر باندهای ۳ تا ۷، ۵۰۰ متر و باندهای ۸ تا ۳۶، ۱۰۰۰ متر در نادر هستند. پهنای گذر ۲۳۳۰ کیلومتر، تصویربرداری از هر نقطه روی سطح زمین را دست کم یکبار در هر روز، امکان پذیر می کند (Mather, 2004). همچنین از داده های سینوپتیکی فشار تراز دریا (SLP)^۱ و ارتفاع ژئوپتانسیل فشار تراز (HGT)^۲ ۵۰۰ میلی باری و همچنین داده های باد مداری و نصف النهاری (مؤلفه های U و V) برای فشار تراز ۱۰۰۰ میلی باری و فشار تراز ۵۰۰ میلی باری مربوط به گرد و غبار رخ داده استفاده شده است. این داده ها از پایگاه داده های NCEP/NCAR سازمان ملی جو و اقیانوس شناسی ایالات متحده آمریکا دریافت شده است و مربوط به ۱۸ ژوئن ۲۰۱۲ روز رخداد پدیده گرد و غبار می باشند.

مطالعه حاضر در دو بخش انجام شده است (نگاره ۲)، ابتدا با استفاده از تصاویر ماهواره ای مادیس و روش های سنجش از دور، گرد و غبار در منطقه مورد مطالعه آشکارسازی شده و منشاء تولید گرد و غبار شناسایی شد و سپس با کمک تصاویر پیوسته حرکت آنها بررسی شد و با کمک مطالعه سینوپتیکی منطقه در سطح زمین و سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال شرایط تولید گرد و غبار در منشاء بررسی و تحلیل سینوپتیکی طوفان رخ داده صورت گرفت و در نهایت در نرم افزار ARC GIS و با استفاده از ابزار Spatial Analyst Tools و طی فرآیندی گرد و غبار از سایر پدیده جداسازی شده و حرکت گرد و غبار نشان داده شده است.

1- Sea Level Pressure
2- Height Geopotential Level

در ابتدا منشاء طوفان گرد و غبار مربوط به طوفان مورد مطالعه بررسی شد. منشاء طوفان گرد و غبار محدوده‌ای می‌باشد که در آن با دخالت باد مقدار زیادی گرد و خاک از سطح زمین بالا رفته و به نواحی دور و نزدیک انتقال می‌یابد. کانون‌های تولید گرد و غبار عمدتاً مناطقی می‌باشند که بیشترین تأثیر را از باد می‌پذیرند؛ عمدتاً دارای بافت ریزدانه بوده، فاقد پوشش گیاهی و رطوبت کافی می‌باشند (صمدی، ۱۳۹۰). در این پژوهش به منظور شناسایی و پایش گردوغبار از دو روش تفسیر بصری و رهگیری در تصاویر ماهواره‌ای و استفاده از روش‌های آشکارسازی گردوغبار (مثل روش اختلاف دمای درخشندگی اکرمین) استفاده گردید. بطور کلی تشخیص گرد و غبار برخاسته از سطح زمین و نمایش محدوده دارای این پدیده و همچنین تعیین منشاء آن با استفاده از باندهای مرئی و ترکیب رنگی از این باندها، در بسیاری موارد مشکل و دارای خطا می‌باشد. از این رو در پژوهش حاضر از اختلاف دمای درخشندگی باندهای ۳۱ و ۳۲ استفاده شده است. در شاخص اکرمین ابرها دارای مقادیر مثبت و گرد و غبار دارای مقادیر منفی می‌باشد.

در نگاره ۳ منشاء طوفان گرد و غبار مربوط به روز ۱۷۰ سال ۲۰۱۲ میلادی، مصادف با ۲۸ خرداد ماه ۱۳۹۱ شمسی می‌باشد، که با استفاده از تفسیر بصری و اختلاف دمای درخشندگی به منشاء ریزگردها رسیدیم. همانگونه که در نگاره مشاهده می‌شود عمده ترین منشاء گرد و غبار در این طوفان در شمال و شمال شرق عراق و مرز عراق و سوریه می‌باشد. نقطه اولیه بلند شدن گرد و غبار بین‌النهرین (محل پیوستن دجله و فرات) بوده که دارای رسوبات ریزدانه رودخانه‌ای می‌باشد.

این مناطق قبلاً به صورت باتلاقی بوده و به دلیل استفاده غیر معمول آب در بالا دست رودخانه‌ها در کشورهای ترکیه و سوریه به صورت حوضه خشکی درآمده که با فعالیت‌های انسانی در این مناطق حوضه فعالیت گرد و غبار گسترده شده است. این منطقه جزء حوزه رودخانه دجله و فرات می‌باشد که در سال‌های قبل به دلیل داشتن رطوبت بالا با

از اختلاف دمای درخشندگی باندهای ۳۱ و ۳۲ استفاده شده است. اختلاف دمای درخشندگی از تفاضل دمای درخشندگی در دو باند حرارتی محاسبه می‌شود و می‌تواند پدیده یا پدیده‌هایی را روی تصویر بارزسازی نماید (صمدی، ۱۳۹۰). برای مثال اختلاف دمای درخشندگی طول موج‌های ۱۱ و ۱۲ میکرومتری به منظور بارزسازی طوفان گرد و غبار بکار می‌رود. اکرمین در سال ۱۹۹۷ از این روش به منظور آشکارسازی گرد و غبار استفاده کرد و نتیجه گرفت که مقادیر منفی این شاخص نشان دهنده پدیده گرد و غبار می‌باشد که علت آن نیز بالا بودن بازتابش پدیده گرد و غبار در طیف ۱۲ میکرومتری نسبت به طیف ۱۱ میکرومتری می‌باشد. بنابراین استفاده از این شاخص می‌تواند در آشکارسازی طوفان گرد و غبار و تعیین منشاء آن بسیار مؤثر باشد. در روش مطالعه‌ی همدیدی به این گونه عمل شد که برای مطالعه و تحلیل شرایط همدیدی منطقه هنگام رخداد گرد و غبار، داده‌های مؤلفه‌ی مداری و نصف النهاری باد، میانگین شرایط فشار سطحی (SLP) و میانگین ارتفاع ژئوپتانسیل (HGT) تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال از وبگاه سازمان ملی جو و اقیانوس شناسی ایالات متحده آمریکا (NCEP) استخراج شدند. برای ترسیم نقشه‌ی جریان هوا، از برآیند مؤلفه مداری U (اعداد منفی نماینده‌ی جهت وزش شرقی و اعداد مثبت نشان دهنده‌ی جهت وزش غربی) و نصف النهاری V باد (اعداد منفی نماینده‌ی وزش باد جنوبی و اعداد مثبت نشانگر جهت وزش باد شمالی) برای تحلیل مسیر گرد و غبار استفاده شده است.

یافته‌ها

برای انجام این پژوهش، ابتدا با استفاده از داده‌های آماری سازمان هواشناسی روزهای گرد و غبار با دید کمتر از ۱۰۰۰ متر استخراج و روزهای مورد نظر انتخاب شد. سپس تصاویر مربوط به روزهای مورد نظر تهیه و پردازش‌های لازم بر روی آن انجام شد و در نهایت با استفاده از ابزارهای سنجش از دور و داده‌های سینوپتیکی و توابع GIS مورد تحلیل قرار گرفت.

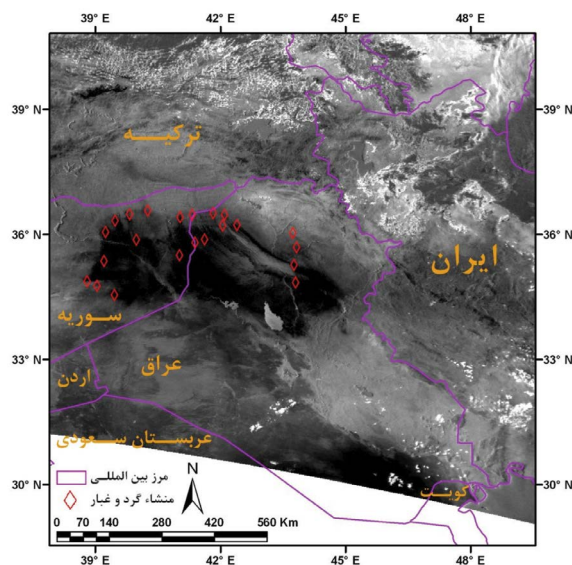
فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (ص ۷۵) پایش و تحلیل سینوپتیکی پدیده‌ی گردوغبار ... / ۷۵

را نشان داده، هر چه تیره تر می‌شود بر تراکم گردوغبار افزوده می‌شود و در قسمت مرکزی و نزدیک مرز شرقی سوریه و جنوب عراق و شمال عربستان دارای فشردگی بالایی می‌باشد. در ادامه، این گردو غبار شکل گرفته وارد ایران شده و در استان‌های خوزستان، ایلام، کرمانشاه و جنوب شرق عراق مشاهده می‌شود (نگاره C-۵). در تصویر بارزسازی شده مربوط به روز ۱۷۱ تراکم گرد و غبار که از رنگ صورتی به رنگ مشکی متمایل می‌باشد و رنگ مشکی که نشان دهنده تراکم بالا در آن می‌باشد قابل مشاهده است (نگاره D-۵). در نگاره E-۶ مربوط به روز ۱۷۲ در تصویر رنگی حقیقی گرد و غبار وارد شده به ایران با نبود باد کافی در همان استان‌ها مشاهده می‌شوند که در نگاره F-۶ تصویر آشکارسازی شده تراکم با رنگ مشکی در استان خوزستان و ایلام مشاهده می‌شود. همچنین در تصاویر مربوط به روز ۱۷۳ گرد و غبار به طور کامل وارد ایران شده و از مرزهای جنوب غربی نیز فاصله گرفته است. توده گرد و غباری که در جنوب عراق و شمال و شمال شرق عربستان شکل گرفته است همانگونه که در تصاویر مشاهده می‌گردد، در حال وارد شده به خلیج فارس می‌باشد (نگاره G-۷ و H-۷).

تحلیل و بررسی سینوپتیکی طوفان ۱۸ June ۲۰۱۲

نگاره A-۸ نقشه فشار تراز دریا را در روز ۱۸ June ۲۰۱۲ نشان می‌دهد. همانطور که در نگاره فوق مشاهده می‌شود مرکز کم فشاری با یک منحنی هم فشار بسته بر روی قسمت‌های مرکزی کشور بسته شده است. در این روز زبان‌های سامانه کم فشار موسمی با منحنی‌های هم فشار ۱۰۰۰، ۱۰۰۴ و ۱۰۰۸ میلی باری از نیمه شرقی، شمالی و شمال غربی کشور، نیمه مرکزی، شمال غربی و غربی کشور را تحت تأثیر قرار داده و با گذر از کشور عراق و سوریه در جهت جنوب گسترش می‌یابد. نگاره B-۸ نقشه ارتفاع ژئوپتانسیل فشار تراز ۵۰۰ میلی باری را در روز ۱۸ June ۲۰۱۲ نشان می‌دهد. همانطور که در نقشه فوق مشاهده می‌شود مرکز پرارتفاعی بر روی اروپای مرکزی با ارتفاع

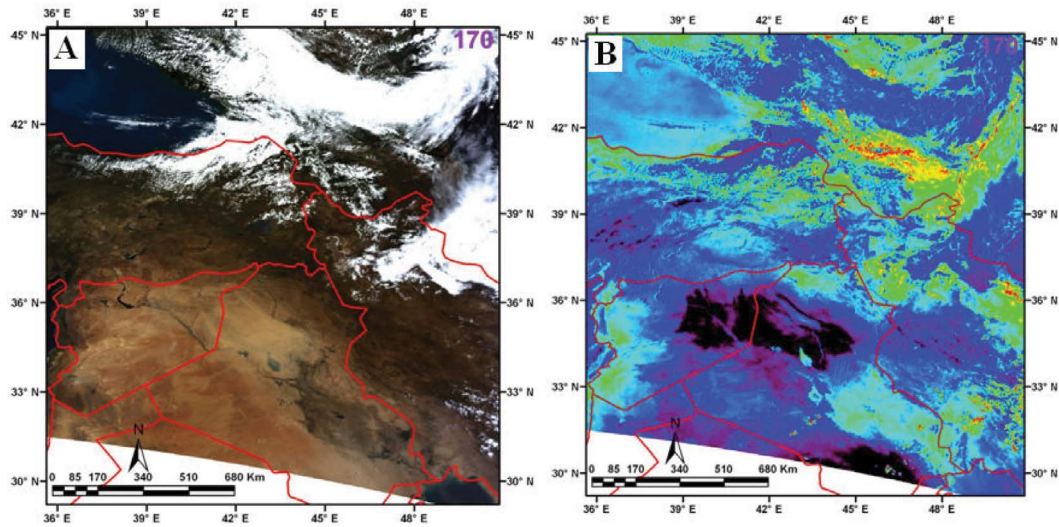
شکل گیری باد باعث بوجود آمدن طوفان گرد و غبار نشده اما به دلیل از دست دادن رطوبت و فعالیت انسانی در این منطقه فرسایش بادی شکل گرفته است که با شکل گیری باد، طوفان گرد و غبار بوجود می‌آید.



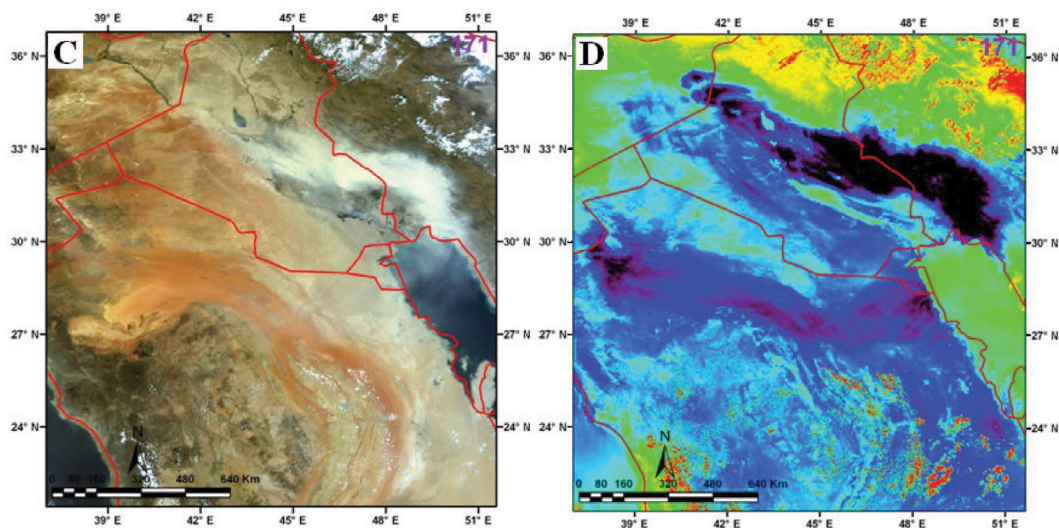
نگاره ۳: منشاء گرد و غبار طوفان ۱۸ June ۲۰۱۲

در ادامه پایش طوفان گرد و غبار ۱۸ ژوئن ۲۰۱۲ را در نگاره‌های ۵ و ۶ و ۷ و ۸ مربوط به طوفان رخ داده در ۱۷۰ الی ۱۷۳ اُمین روز از سال میلادی برابر با ۱۸ الی ۲۱ ژوئن ۲۰۱۲ که مصادف با ۲۸ الی ۳۱ خرداد ۱۳۹۱ رخ داده است را مشاهده می‌کنید.

بررسی طوفان گردوغبار بر روی تصاویر True color باند مرئی مادیس نشان می‌دهد (نگاره A-۴) که این طوفان در مرز شرقی سوریه و مرز غربی عراق که تا مرکز کشیده شده، شروع شده است که در تصویر کاملاً مشخص می‌باشد و در تصویر بارزسازی شده بر روی تصویر ماهواره‌ای مادیس نشان می‌دهد که هسته گردوغبار شکل گرفته در مرز بین عراق و شرق سوریه و در ادامه به طرف مرکز عراق است و همچنین در قسمت جنوب شرقی و جنوب عراق و شمال عربستان هم توده‌ای دیگر از گردوغبار مشاهده می‌شود. در نگاره B-۴ تصویر آشکاری سازی با روش اکرمین مشاهده می‌شود. مناطق صورتی که به سمت سیاه میزان گرد و غبار



نگاره ۴: تصویر گرد و غبار رنگی حقیقی (A) و تصویر بارزسازی شده (B) ۱۸ June ۲۰۱۲



نگاره ۵: تصویر گرد و غبار رنگی حقیقی (C) و تصویر بارزسازی شده (D) ۱۹ June ۲۰۱۲

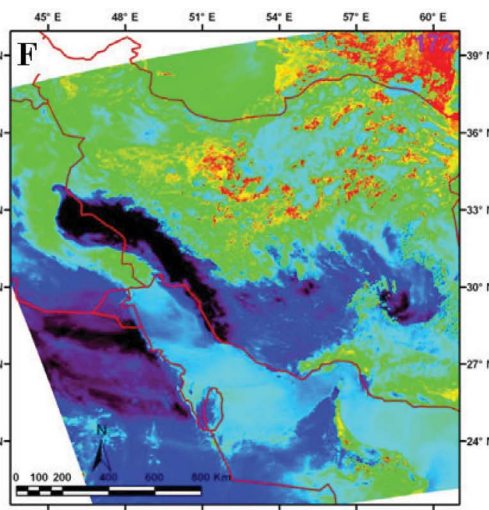
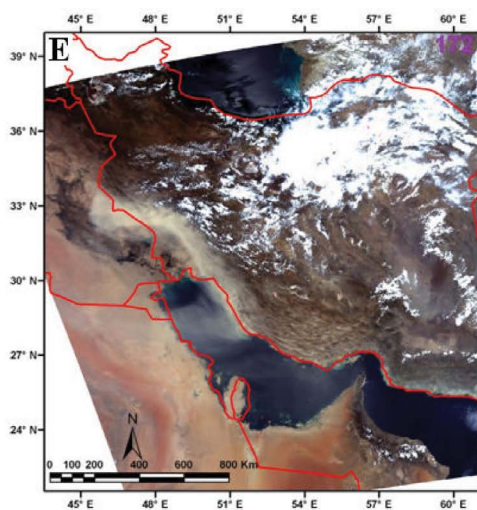
و شمال غربی کشور جهت جریان‌ها کاملاً شمالی - جنوبی بوده، همچنین بر روی کشور عراق جریان‌ها شمالی با عبور از روی کشور عراق، از شمال خلیج فارس، جنوب غرب کشور را تحت تأثیر قرار می‌دهند. نگاره ۹-B نقشه جهت جریان باد را در تراز ۵۰۰ میلی باری در روز ۱۸ June ۲۰۱۲ نشان می‌دهد. در این روز جریان‌ها واپرخندی بر روی شمال کشور عربستان سبب شده است جریان‌ها بر روی کشور عراق در جهت شرق منحرف شده و به سمت غرب و جنوب غرب کشور هدایت شود.

۵۹۷۰ ژئوپتانسیل متر بسته شده است. پشته عمیق غربی با ارتفاع ۵۸۲۰ ژئوپتانسیل متر با عبور از جنوب اسکانداویا در جهت جنوب گسترش یافته و با عبور از شرق دریای مدیترانه وارد شمال غرب عراق شده و با عبور از مرکز و جنوب شرقی عراق، غرب، مرکز و شرق ایران را تحت تأثیر قرار می‌دهد. نگاره ۹-A نقشه جهت جریان باد را در تراز ۱۰۰۰ میلی باری در روز ۱۸ June ۲۰۱۲ نشان می‌دهد. در این روز، جهت جریان‌ها در نیمه شرقی و شمال شرقی کشور، شمال شرقی - جنوب غربی می‌باشد. در نیمه شمالی

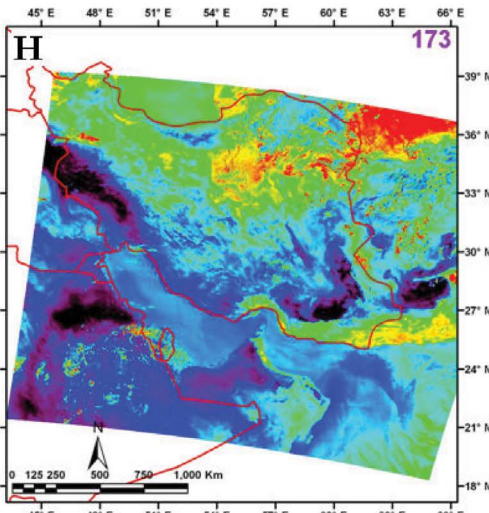
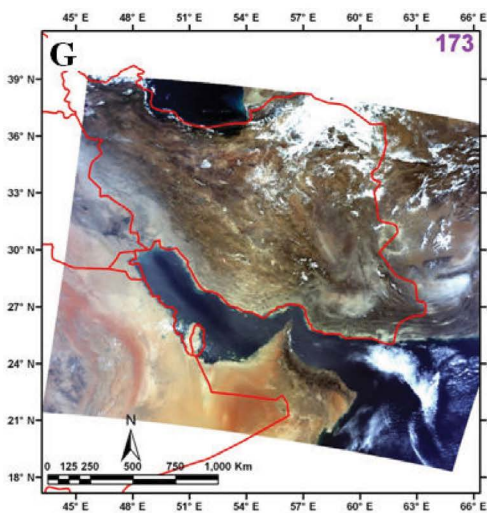
مدل تهیه خروجی نقشه در محیط GIS مشاهده می‌شود. بعد از گرفتن خروجی از مدل بالا فایل مورد نظر را در نرم افزار ArcGIS باز نموده و گردوغبار جدا شده در هر روز را با رنگی مشخص می‌نماییم. بسته به تعداد روزهای طوفان مورد مطالعه همه را بر روی نقشه یا تصویر ماهواره‌ای اصلی ایران اضافه می‌کنیم و با توجه به جهت باد و سرعت باد نقشه هر دوره گرد و غباری تهیه می‌شود. در نگاره ۱۱ طوفان رصد شده قابل مشاهده است که مربوط به طوفان ۱۷۰ الی ۱۷۳ امین روز از سال میلادی برابر با ۱۸ الی ۲۱ ژوئن ۲۰۱۲ است

مدلسازی حرکت طوفان گرد و غبار در محیط GIS

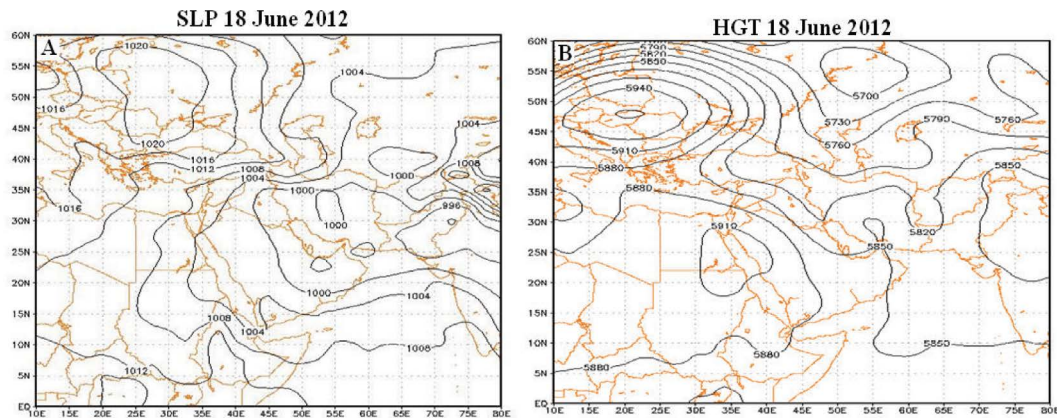
برای انجام مدلسازی حرکت طوفان گرد و غبار در محیط GIS از ابزار Spatial Analyst Tools استفاده شده است. در ابتدا، تصاویر ماهواره سنجنده مادیس مربوط به دوره‌های گرد و غباری که در نرم افزار ENVY با استفاده از شاخص اکرمین گرد و غبار در آن بارزسازی شده است به فرمت Geotiff ذخیره شده و در نرم افزار ArcGIS و با استفاده از جعبه ابزار Spatial Analyst Tools کلاسه بندی بین گرد و غبار و سایر عوارض موجود بر روی تصاویر انجام گرفت. در نگاره ۱۰



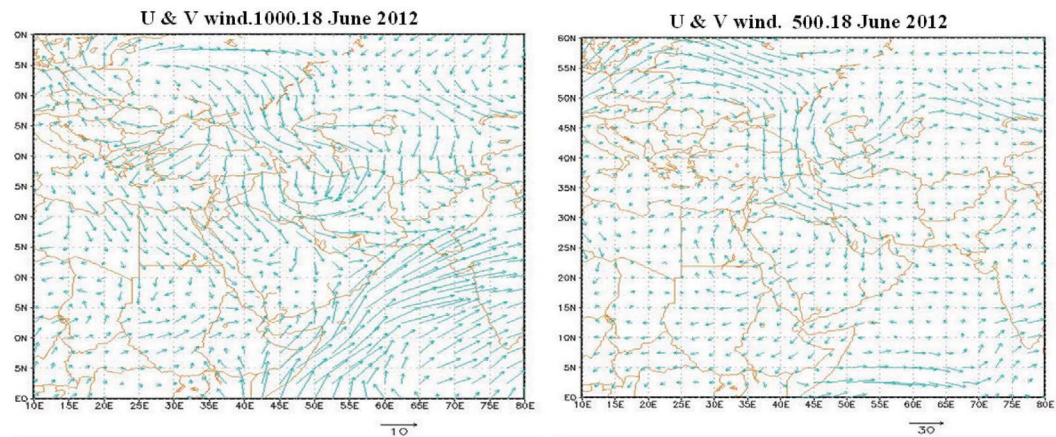
نگاره ۶: تصویر گرد و غبار رنگی حقیقی (E) و تصویر بارزسازی شده (F) ۲۰ June ۲۰۱۲



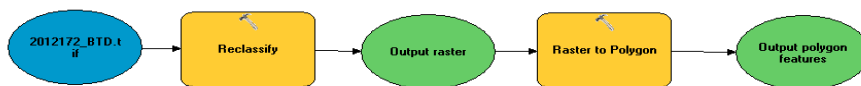
نگاره ۷: تصویر گرد و غبار رنگی حقیقی (G) و تصویر بارزسازی شده (H) ۲۱ June ۲۰۱۲



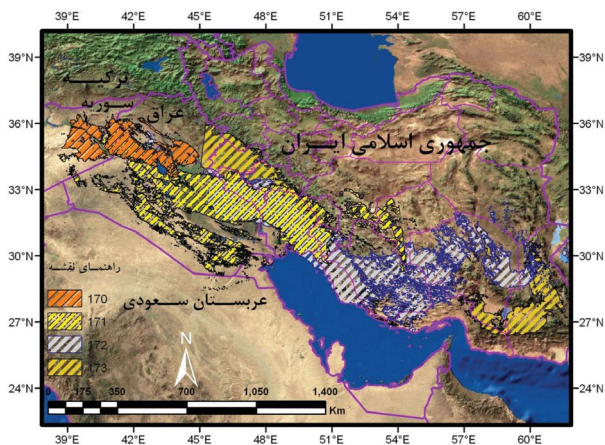
نگاره ۸: نقشه فشار تراز دریا (SLP) نقشه ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ میلی باری (HGT) در روز ۱۸ June ۲۰۱۲



نگاره ۹: نقشه جهت جریان باد در تراز ۱۰۰۰ و ۵۰۰ میلی باری در روز ۱۸ June ۲۰۱۲



نگاره ۱۰: مدل تهیه نقشه خروجی پدیده گردوغبار در محیط GIS



نگاره ۱۱: نمایش حرکت ریزگردها مربوط به طوفان ۱۸ June ۲۰۱۲

که رخ داده؛ مشاهد می شود که ریزگردها در روز ۱۷۰ بر روی عراق و سوریه قرار دارد و در روز ۱۷۱ با توجه به سرعت و جهت باد و همچنین فشار تراز دریایی مستقر در منطقه به سمت استان های خوزستان، ایلام و بخشی از جنوب غربی استان چهارمحال بختیاری در حال حرکت می باشند و در روز ۱۷۲ وارد استان های جنوبی کشور از جمله بوشهر، هرمزگان و قسمت های جنوبی استان های کرمان و فارس شده و در روز ۱۷۳ به سمت استان های سیستان و بلوچستان رسیده و در نهایت بخشی از گرد و غبار نیز از کشور خارج شده است.

بحث و نتیجه‌گیری

حرکت غالب صعودی بوده، سبب شده است تا بر روی کشور عراق گردوغبار را در جهت بالاسو حرکت دهد. همچنین جهت باد در سطح فشار ۱۰۰۰ هکتوپاسکالی در نواحی شمالی کشور عراق شمالی و در جنوب عراق غربی شده و سبب انتقال گردوغبار به سمت غرب کشور شده است. در مقابل در فشار تراز ۵۰۰ میلی باری بادهای غربی با عبور از غرب و مرکز عراق (منحنی ۵۸۲۰ ژئوپتانسیل متر)، گردوغبار را به سمت نیمه غربی کشور هدایت می‌کنند. همچنین نقشه جریان باد هم مؤید مطلب فوق است؛ به طوری که گردوغبار از روی کشور عراق در جهت غرب و جنوب غرب کشور هدایت شده است. نتایج حاصل از بررسی همزمان تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های سینوپتیکی، نحوه‌ی چگونگی شکل‌گیری و حرکت گرد و غبار را فراهم کرده و با بهره‌گیری از دمای درخشایی می‌تواند در بارسازی گرد و غبار کمک زیادی نموده و تلفیق نتایج حاصله از بارسازی گرد و غبار با تصاویر سنجنده‌ی مادیس و نقشه‌های سینوپتیکی، یافتن منشأ و نحوه انتقال گرد و غبار را بهینه کرده و تصمیم‌گیری و تصمیم‌سازی بهتری را برای پیش‌بینی مسیر حرکت گرد و غبار برای مدیران بخش‌های مختلف و محققین فراهم می‌سازد. ضمناً به کمک سیستم اطلاعات مکانی و ابزارهای موجود در آن می‌توان براحتی به مدل‌سازی و نمایش حرکت پدیده‌های گرد و غبار پرداخت.

منابع و مآخذ

- ۱- امیدوار، کمال؛ (۱۳۸۵)؛ بررسی و تحلیل سینوپتیکی طوفان در دشت یزد و اردکان. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی. شماره ۸۱: ص ۴۳.
- ۲- امیدوار، نکونام؛ کمال، زری؛ (۱۳۸۸)؛ کاربرد گلباد و گل غبار در تحلیل پدیده گرد و خاک و تعیین رژیم فصلی بادهای همراه با این پدیده: مطالعه موردی (شهرستان سبزوار)، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۶: صص ۸۵-۱۰۴.
- ۳- درویش صفت، پیر باوقار، رجب پور رحمتی، استواری؛ علی اصغر، مهتاب، منیژه، علیرضا؛ (۱۳۹۱)؛ سنجش از دور برای مدیران GIS. آرونوف ا. انتشارات دانشگاه تهران.
- ۴- شمسی پور، صفرراد؛ علی اکبر، طاهر؛ (۱۳۹۱)؛ تحلیل ماهواره‌ای - همدیدی پدیده گرد و غبار تیرماه ۱۳۸۸. پژوهش‌های جغرافیایی. شماره ۷۹: صص ۱۱۱-۱۲۶.
- ۵- صمدی، مهدی؛ (۱۳۹۰)؛ آشکار سازی و منشأ یابی طوفان‌های

با توجه به مطالعات صورت گرفته و یافته‌های تحقیق در بخش سنجش از دور نتایج آن بدین گونه می‌باشد که در منشأ یابی ریزگردها در طوفان مورد مطالعه، منشأ پدیده‌های گردوغبار ورودی به غرب، جنوب و جنوب غرب ایران در سوریه و عراق و بخشی از عربستان سعودی می‌باشد که عمده‌ترین منشأ گرد و غبار شمال عراق، مرکز عراق و بخش شرقی سوریه می‌باشد. مشخص است نقطه اولیه بلند شدن گرد و غبار بین‌النهرین (محل پیوستن دجله و فرات) است که دارای رسوبات ریزدانه رودخانه‌ای می‌باشد. این مناطق قبلاً به صورت باتلاقی بوده و به دلیل استفاده غیر معمول آب در بالا دست رودخانه‌ها در کشورهای ترکیه و سوریه به صورت حوضه خشکی درآمده و با فعالیت‌های انسانی در این مناطق حوضه فعالیت گردوغبار گسترده شده است. در مورد پایش گردوغبار باید گفت تصاویر سنجنده مادیس به دلیل تکرار شدن در بازه زمانی ۲۴ ساعته و همچنین دو ماهواره آکوار و ترا که سنجنده‌های مادیس بر روی آن نصب هستند، تصاویر مناسبی برای پایش گرد و غبار می‌باشند که تکرارپذیری آن در ۲ بازه زمانی در ۲۴ ساعت از مزایای آن برای پایش گرد و غبار به شمار می‌رود. یافته‌های تحقیق در بخش سینوپتیکی، ما را به این نتایج می‌رساند که با توجه به تحلیل مشترک داده‌های سنجش از دور و نقشه‌های جوئی می‌توان به این نتیجه رسید برای مدل‌سازی و مطالعه و پیش‌بینی حرکت پدیده گرد و غبار نیاز به بررسی نقشه‌های جوئی ارتفاع ژئوپتانسیل فشار تراز ۵۰۰ میلی باری (HGT) و نقشه فشار تراز دریا (SLP) و نقشه جهت جریان باد در تراز ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی باری می‌باشد. یعنی باید نقشه سطح زمین و نقشه ارتفاع بالای جو همزمان بررسی شود و نمی‌توان با بررسی یکی از نقشه‌های جوئی به نتیجه مناسبی رسید. طبق نقشه‌های جوئی طوفان ۱۸ June ۲۰۱۲، در این روز زبانه سامانه کم فشار موسمی با منحنی‌های هم‌فشار ۱۰۰۰ و ۱۰۰۴ هکتوپاسکالی از روی عراق عبور کرده‌اند. توجه به اینکه این سامانه دارای

- 18- Baddock, M. C., Bullard J. E., and Bryant, R. G., 2009. Dust source identification using MODIS: A comparison of techniques applied to the Lake Eyre Basin Australia. *Remote Sensing of Environment*, 113, pp. 1511-1528.
- 19- Li X, Ge L, Dong Y and Chang H C 2010 Estimating the greatest dust storm in eastern Australia with MODIS satellite images. Published by IEEE.
- 20- Gao, Tao and et al (2011), Impacts of climate abnormality on remarkable dust storm increase of the Hunshdak Sandy Lands in northern China during 2001-2008, meteorological applications meteorol.
- 21- Shamsipour, A., Miri, M., Safarrad, T., 2011, Analysis of spatial and temporal variations of dust events in the South West of Iran, National Seminar on Modern and Palaeo Sediments: Implication to Climate, Water resources and Environmental Changes & xxviii Convention of Indian Association of Sedimentologists.
- 22- Lashkari, H., Keykhosravi, GH., 2008, Statistical Analysis of Dust Storms Synoptic Khorasan Razavi Province in 2005-1993 Period, *Geographical Research*, No. 65, PP.17-33.
- 23- Zhang, P., Lu, N., Hu, X., Dong, C., 2006, Identification and physical retrieval of dust storm using three MODIS thermal IR channels, *Global and Planetary Change*, 52: 197-206.
- 24- Huang, J., Ge, J., Weng, F., 2007, Detection of Asia dust storms using multisensory satellite measurements. *Remote Sensing of Environment* 2007, 110: 186-191.
- 25- Mobasheri, M. R. and Ghafouri, A., 2007, Detection and Study of Atmospheric Dusts in Satellite Images Using Brightness Temperatures, *Monthly of Surveying*, No. 84, PP.19- 25.
- 26- Hao, X., Qu, JJ., 2007, Saharan dust storm detection using moderate resolution imaging spectroradiometer thermal infrared bands, *Journal of Applied Remote Sensing*, Vol. 1, 013510.
- 27- Christopher, SA., Jones, TA., 2010, Satellite and surface-based remote sensing of Saharan dust aerosols, *Remote Sensing of Environment*, 114: 1002-1007.
- 28- James, TK., Chuang, CC., Anthony, SW., 2007, Influence of dust composition on cloud droplet formation, *Atmospheric Environment*, vol. 41, No. 14: 2904-2916.
- 29- Shao, Y., Dong, CH., 2006, A review on East Asian dust storm climate, modelling and monitoring. *Global and Planetary Change*, 52: 1-22.
- 30- Mather, P. M., 2004, *Computer Processing of Remotely Sensed Images, An Introduction*, John Wiley and Sons, London.
- گرد و غبار با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه کارتوگرافی، دانشگاه تهران.
- ۶- علمی محمود، م؛ (۱۳۹۱)؛ بررسی تأثیر بارورسازی ابرها بر روی تغییرات پوشش گیاهی با استفاده از سنجش از دور (مطالعه موردی: استان فارس)، پایان نامه کارشناسی ارشد مدیریت مناطق بیابانی، دانشگاه یزد.
- ۷- علیزاده، کمالیان، خورانی، نوحه‌گر؛ مطهره، صادق، اسدالله، احمد؛ (۱۳۹۱)؛ تأثیر اقلیم در میزان تعداد روزهای دارای گرد و غبار، کرج، اولین همایش ملی بیابان.
- ۸- مهرشاهی، نکونام؛ داریوش، زری؛ (۱۳۸۸)؛ بررسی آماری پدیده گرد و غبار و تحلیل الگوی وزش بادهای گرد و غبارزاد در شهرستان سبزوار، جغرافیا، شماره ۲۲: صص ۸۳-۱۰۴.
- ۹- میری، مرتضی؛ (۱۳۹۰)؛ واکاوی آماری-همدید پدیده گرد و غبار در نیمه غربی ایران، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.
- 10- Zarasvandi, A., Carranza, E. J. M., Moore, F., Rastmanesh, F. 2011. Spatio-temporal occurrences and mineralogical-geochemical characteristics of airborne dusts in Khuzestan Province (southwestern Iran), *Journal of Geochemical Exploration*, 111, 138-151.
- 11- Indoitu, R., Orlovsky, L., Orlovsky, N. 2012. Dust storms in Central Asia: Spatial and temporal variations, *Journal of Arid Environments*, 85, 62-70.
- 12- Ackerman S.A., 1989. Using the radiative temperature difference at 3.7 μ m and 11 μ m to trace dust outbreaks. *Remote Sensing Environment* 27, 129-133.
- 13- Ackerman S.A. 1997. Remote Sensing Aerosols Using Satellite Infrared Observations, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 102, No. D14, PP. 17069-17080.
- 14- Miller, S. D., 2003, A Consolidated Technique for Enhancing Desert Dust Storms With MODIS, *Geophysical Research Letters*, Vol. 30, No. 20, PP. 2071-4.
- 15- 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
- 16- Taghavi, F., Asadi, A., (2007), The Persian Gulf 12th April 2007 dust storm : Observation and model Analysis. space physics Department, Institute of Geophysics, University of Tehran, Tehran, IRAN.
- 17- Mei, D., Xiushan, L., Lin, S., Ping, and 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, pp. 965-969.