

منشأیابی توفان‌های گردوغبار در جنوب غرب ایران با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های هوا

سمیه ناصرپور* - کارشناس ارشد اقلیم‌شناسی دانشگاه خوارزمی تهران
بهلول علیجانی - استاد دانشکده علوم جغرافیایی دانشگاه خوارزمی تهران و مدیر قطب علمی تحلیل فضایی مخاطرات محیطی
پرویز ضبائیان - دانشیار دانشکده علوم جغرافیایی دانشگاه خوارزمی تهران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۰۵/۰۹ تأیید نهایی: ۱۳۹۳/۰۲/۰۷

چکیده

هدف از این پژوهش شناسایی الگوهای سینوپتیکی مؤثر در ایجاد توفان‌های گردوغبار و تشخیص مناطق خیزش این توفان‌ها در جنوب غرب ایران است. روش پژوهش، تحلیل سینوپتیکی همراه با پردازش تصاویر ماهواره‌ای است. داده‌های روزانه گردوغبار در سیزده ایستگاه سینوپتیک برای دوره ۱۹۹۰-۲۰۱۲ استخراج شد. سپس، دو موج شاخص که بالاترین شدت و وسعت را داشت، انتخاب و بررسی شد. نقشه‌های هوا از سایت NCEP/NCAR و تصاویر ماهواره‌ای NOAA/AVHRR از سایت NOAA/CLASS دانلود و به کار گرفته شد. تحلیل الگوهای فشار برای توفان اول نشان داد اختلاف ارتفاع بین بر ارتفاع شمال آفریقا و کم ارتفاع روی ایران در تراز ۸۵۰ موجب شکل‌گیری کم‌فشار قوی در سطح دریا در منطقه مورد مطالعه شد. این کم‌فشار قوی با قدرت مکش بسیار بالا هوای گردوغباری بیابان‌های اطراف را به منطقه مورد بررسی مکش کرد. در مورد دوم نیز اختلاف فشار بین دو سیستم پرفشار روی عربستان و خلیج فارس و کم ارتفاع روی مدیترانه در تراز ۸۵۰ سبب وزش باد از مناطق بیابانی اطراف به منطقه مورد بررسی شد. نقشه سطح زمین این توفان نیز نشان داد کم‌فشار سودان بادهای گرم و خشک و آلوده به ذرات گردوغبار عربستان را به منطقه ما وارد می‌کند. پردازش تصاویر ماهواره‌ای نیز این نتایج را تأیید کرد.

کلیدواژه‌ها: تحلیل آماری گردوغبار، تحلیل سینوپتیکی گردوغبار، تحلیل ماهواره‌ای گردوغبار، جنوب غرب ایران

مقدمه

یکی از مخاطرات محیطی در مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیا توفان گردوغبار است. این رخداد محیطی از مخاطرات اقلیمی به‌شمار می‌رود و وقوع آن پیامدهای نامطلوب بسیاری به‌همراه دارد؛ از جمله آنکه کیفیت هوا را به‌شدت کاهش می‌دهد و موجب بروز یا تشدید بیماری‌های قلبی-عروقی، بیماری‌های تنفسی و آلرژی‌های فراوان در بدن انسان می‌شود. نتایج مطالعات بن‌نیون و همکاران (۲۰۰۷) در مورد بروز آسم در کودکان ساکن در منطقه دریای آرال نشان داد

این مشکل به قرارگرفتن در معرض گردوغبار مربوط است. علاوه بر آن رخدادهای گردوغباری خسارت‌های زیست‌محیطی در پی دارد و تأثیر منفی در زمینه گردشگری و کشاورزی برجای می‌گذارد. همچنین، موجب بروز اختلال در حمل‌ونقل و در مواردی تعطیلی مراکز اداری و آموزشی می‌شود. این توفان‌ها در سراسر صحرای آفریقا، خاورمیانه و آسیا اتفاق می‌افتد که تخمین زده می‌شود هر سال بیش از ۲۰۰ تا ۵۰۰۰ میلیون تن گردوغبار معدنی به جو زمین وارد کند (فانگ و همکاران، ۱۹۹۴: ۲۲۸۹۷).

آلاینده‌های طبیعی هوا به محض تولید روی مناطق منشأ به خارج از لایه مرزی درون تروپوسفر آزاد حمل می‌شود و هزاران کیلومتر از اقیانوس آرام به ایالات متحده و فراتر از آن سیر می‌کند (هسو و همکاران، ۲۰۰۶: ۳۱۸۰). در نتیجه، نقاط بسیار دورتر از کانون‌های شکل‌گیری خود را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

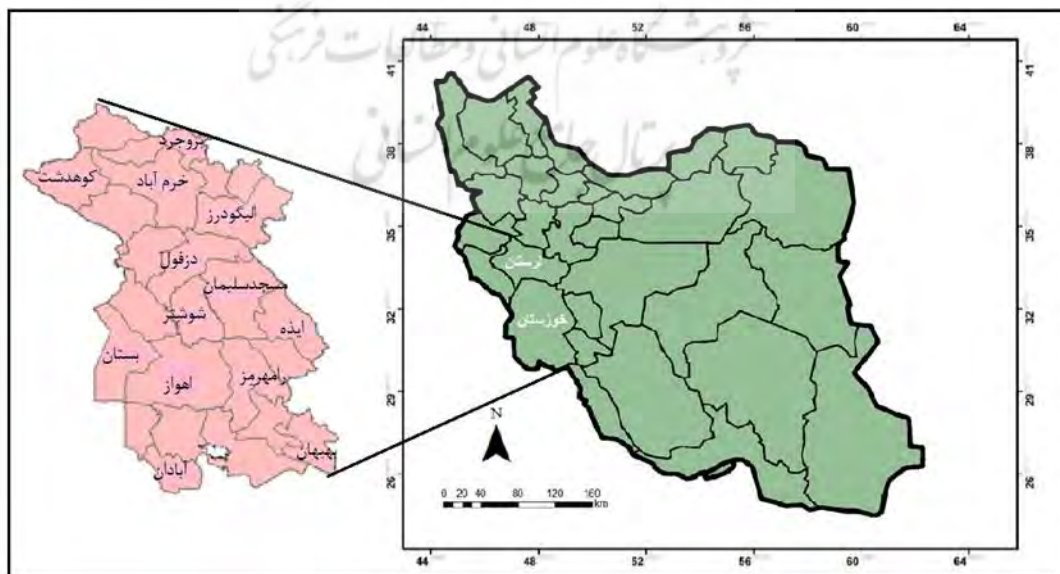
نمونه دیگر این نقل‌وانتقال گردوغبارها از کانون‌های برداشت ذرات تا نقاط بسیار دورتر در ایران مشاهده می‌شود (زراوندی و همکاران، ۲۰۱۱: ۱۳۸). در مطالعه‌ای ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و کانی‌شناسی نمونه این گردوغبارها با خاک‌های محلی بررسی شد. نتایج نشان داد که تفاوت چشمگیری بین نمونه گردوغبار با خاک‌های محلی وجود دارد. این یافته‌ها به همراه تصاویر ماهواره‌ای و الگوهای فرکانس و جهت باد به وضوح نشان داد که سهم عمده‌ای از توفان‌های گردوغباری ایران فرامرزی و منشأ آن احتمالاً از سرزمین خشک عراق است (حجتی و همکاران، ۲۰۱۱: ۲۷). این توفان‌ها گاهی در ردیف مخاطرات محیطی شدید قرار می‌گیرد. برای نمونه، توفان گردوغبار ۲۳ اکتبر ۲۰۰۲ در شرق استرالیا، ۲۴۰۰ کیلومتر طول، ۴۰ کیلومتر عرض و ۱/۵ تا ۲/۵ کیلومتر ارتفاع داشت. بررسی این پدیده با استفاده از داده‌های هواشناسی سینوپتیکی و تصاویر ماهواره‌ای نشان داد که در شش ماه منتهی به این پدیده، بارش بسیار کم، درجه حرارت حداکثر بی‌سابقه و خشکسالی گسترده بر منطقه حاکم شد و پوشش گیاهی کاهش یافت، بنابراین خاک در وضعیت فرسایش‌پذیری قرار گرفت (تنش و همکاران، ۲۰۰۵: ۱۲۲۷).

یکی از زوایای مطالعاتی، شناخت منشأ و کانون‌های شکل‌گیری این پدیده است. در سال‌های اخیر در مورد مناطق منشأ توفان‌های گردوغبار در جهان تحقیقاتی صورت گرفته است. مناطق اصلی منشأ توفان‌های گردوغبار در سطح جهان، عبارت‌اند از صحرا و مناطق خشک دیگر از جمله تکه مکان، جنوب غرب آسیا، مرکز استرالیا، جنوب آفریقا و سالار، بولیوی و حوضه بزرگ در ایالات متحده (گودی، ۲۰۰۹: ۹۰). با توجه به اهمیت شناسایی منشأ گردوغبارها بسیاری از محققان این موضوع را بررسی کرده‌اند (انگلس‌تادلر، ۲۰۰۱؛ وو و همکاران، ۲۰۰۴؛ وانگ و همکاران، ۲۰۰۴؛ اورلووسکی، ۲۰۰۵؛ زو و همکاران، ۲۰۰۶؛ هانگ و همکاران، ۲۰۰۷).

امروزه با پیشرفت روزافزون دانش و فناوری و با ورود نرم‌افزارهای مختلف به حیطه مطالعات محیطی راه برای شناخت هرچه بیشتر پدیده‌های طبیعی از جمله رخدادهای گردوغباری هموار شده است. قابلیت استفاده از داده‌های سنجنش از دور در مطالعه توفان‌های گردوغبار سبب به‌کارگیری داده‌های سنجنده‌های مختلف در این مطالعات شده است. در تصاویر MODIS با قدرت تفکیک مکانی بالاتر، می‌توان منبع توفان گردوغبار را تشخیص داد. برای نمونه پدیده گردوغبار ۷ آوریل ۲۰۰۱ در شمال چین با استفاده از سه باند حرارتی MODIS بررسی شد و نتایج نشان داد که در طول موج‌های ۸/۵، ۱۱ و ۱۲ میکرومتر می‌توان ذرات گردوغبار را تمایز داد (زانگ و همکاران، ۲۰۰۶: ۱۹۸). علاوه بر

آن، تصاویر سنجنده‌های TM، MSS و ETM+ ماهواره‌ای لندست تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک ۳۰ و ۷۹ مترند که در بررسی توفان‌های گردوخاک برای نقشه‌برداری و درک جزئیات منبع تولیدکننده گردوخاک بسیار مفیدند. همچنین، تباین بیشتر پدیده گردوخاک با آب در تصویر باند ۲ سنجنده AVHRR سبب آشکارسازی بهتر این پدیده در بالای آب می‌شود (فرج‌زاده و بهرامی، ۱۳۸۹: ۱). استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های سینوپتیکی روشی متداول در اقلیم‌شناسی گردوغبارهاست. برخی محققان نیز هم‌زمان از این داده‌ها بهره می‌گیرند (بارنام و همکاران، ۲۰۰۴؛ لی و همکاران، ۲۰۰۹؛ ایرانمنش و همکاران، ۱۳۸۴).

در برخی مطالعات نیز با بررسی نقشه‌های هوا این رخدادها براساس حرکت و تغییر الگوهای فشار در سطح زمین و سطوح بالای جو تبیین شده است. برای نمونه، مطالعه نقشه‌های تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال و تراز دریای آزاد، تأثیر وقوع جریان‌های هوای شمال غرب از شرق عراق و جریان‌های هوای غربی از شمال عربستان و در نتیجه انتقال غبار از سطح بیابان‌های برهنه و بی‌گیاه این مناطق را بر رخداد توفان‌های غباری در استان خوزستان تأیید کرد (براتی و همکاران، ۱۳۹۰: ۳۹). در تحقیقی مشابه، ذوالفقاری و عابدزاده (۱۳۸۴) نیز مهم‌ترین منبع گردوغبارهای واردشده به غرب ایران را صحرای سوریه، صحرای نفوذ در شمال عربستان و شمال صحرای کبیر آفریقا ذکر کردند. همچنین، مهم‌ترین عوامل سینوپتیک تأثیرگذار بر سیستم‌های گردوغبار منطقه را پرفشار آזור همراه با سیستم‌های مهاجر بادهای غربی می‌دانند. در همین راستا، مطالعه طاووسی و همکاران (۱۳۸۹) نشان داد که در دوره سرد سال سیستم‌های مهاجر بادهای غربی و رودباد جبهه قطبی همراه آن و در دوره گرم سال کم‌فشارهای حرارتی سطح زمین، مهم‌ترین عامل ایجاد و شکل‌گیری پدیده مذکور در استان خوزستان بودند و منابع عمده آن شامل بیابان‌های جنوبی عراق، شمال عربستان، جنوب شرق سوریه و تا اندازه‌ای شمال صحرای آفریقا است.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه در جنوب غرب ایران

با توجه به موارد مذکور، این رخداد مسئله‌ای بحران‌زاست که در برنامه‌ریزی توجه ویژه مسئولان امر را می‌طلبد، چراکه اگر برنامه‌ریزان و مدیران منطقه‌ای و فرامنطقه‌ای درصدد کنترل یا کاهش ابعاد این مخاطره برآیند، داشتن اطلاعات و آگاهی کامل در مورد آن از ضروریات است. یکی از زوایای کلیدی در مسئله گردوغبارهای غرب و جنوب‌غرب ایران کانون‌های برداشت ذرات آن است که شناسایی آن به مطالعات دقیقی نیاز دارد. در پژوهش حاضر، با استفاده از نقشه‌های هوا، به تحلیل الگوهای فشار مؤثر در شکل‌گیری گردوغبارها و به کمک علم سنجش از دور با استفاده از تصاویر NOAA /AVHRR به شناسایی مناطق خیزش آن در منطقه مورد مطالعه (شکل ۱) پرداخته‌ایم.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق منطقه جنوب‌غرب ایران (استان‌های لرستان و خوزستان) منطقه مطالعاتی از بین ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه ایستگاه‌هایی و پوشش‌دهنده کل منطقه و دارای کامل‌ترین آمار هواشناسی انتخاب شدند (ایستگاه‌های الیگودرز، آبادان، اهواز، ایذه، بروجرد، بهبهان، بستان، خرم‌آباد، دزفول، رامهرمز، شوشتر، کوهدشت و مسجدسلیمان) و دوره آماری از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۲ تعیین شد. سپس، آمار مربوط به گردوغبار این ایستگاه‌ها از سازمان هواشناسی کل کشور دریافت و تجزیه و تحلیل شد. برای استخراج روزهای همراه با گردوغبار کد ۰۶ برای تک‌تک ایستگاه‌ها به کمک نرم‌افزار اکسل در دوره آماری ۲۳ ساله استخراج شد. در ادامه برای بررسی‌های بیشتر و دستیابی به الگوهای سینوپتیکی منجر به شکل‌گیری و انتقال گردوغبارها به جنوب‌غرب ایران از بین توفان‌های استخراج‌شده دو مورد یکی در دوره گذشته (۱۹۹۰-۱۹۹۹) و دیگری در دوره جدید (۲۰۰۰-۲۰۱۲) انتخاب شد. معیار این انتخاب کاهش دید افقی و همین‌طور تداوم و گسترش آن در منطقه بود. سپس نقشه‌های هوای سطح زمین، تراز ۸۵۰ و تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال آن از پایگاه داده‌های NCEP/NCAR وابسته به سازمان ملی جو و اقیانوس‌شناسی آمریکا دریافت و برای تحلیل دقیق‌تر هم‌دید بررسی شد و الگوهای مؤثر سینوپتیکی ایجاد این توفان‌ها شناسایی شد.

در ادامه، به‌منظور بهتر نشان‌دادن الگوهای فشار مولد این توفان‌ها، موقعیت و مسیر حرکت آن‌ها نقشه‌های تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال مربوط به آن در محیط نرم‌افزار ArcMap با روش میان‌یابی (Inverse Distans Weighted) و به کمک برشی از DEM منطقه تهیه و مسیر حرکت سیستم‌های فشار مشخص شد. گام نهایی در این پژوهش شناسایی مناطق خیزش گردوغبار از روی تصاویر ماهواره‌ای بود. یکی از ماهواره‌های مورد استفاده برای مشاهدات هواشناسی، سری ماهواره‌های نواست که سازمان ملی جو و اقیانوس‌شناسی ایالات متحده آمریکا اداره آن را برعهده دارد. یکی از سنجنده‌های اصلی نوا سنجنده AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer): تابش‌سنج پیشرفته با توان تفکیک بسیار زیاد، با پوشش جهانی دو بار در شبانه‌روز است که در زمینه تغییرات محیطی، از جمله بررسی وضعیت پوشش گیاهی مناطق به‌کار گرفته می‌شود. مناطق گرم و خشک دنیا شرایط محیطی شکننده‌ای دارند و تغییری کوچک در یک یا چند جزء این محیط به‌سرعت به اختلال یا نابسامانی محیطی منجر می‌شود. این مسئله خود سبب از بین رفتن پوشش گیاهی و پیدایش شرایط بیابانی در نواحی حاشیه‌ای آن‌ها می‌شود. یکی از این تغییرات افزایش درجه حرارت است که تغییرات زیادی را به‌دنبال دارد؛ از جمله، کاهش بارندگی و به‌دنبال آن بروز پدیده خشکسالی، کاهش

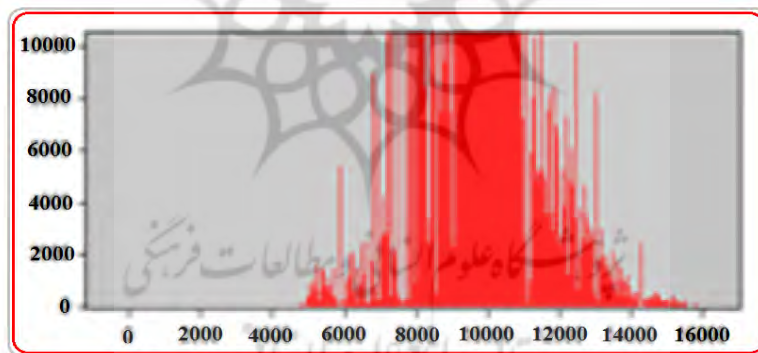
پوشش گیاهی و قرار گرفتن خاک در معرض فرسایش بادی و در نهایت فراهم شدن محیطی مستعد برای ایجاد گردوغبار.

به عقیده ثنایی نژاد و همکاران (۱۳۸۷) یکی از روش‌های مطالعاتی سنجش از دور در پوشش گیاهی، استفاده از نسبت‌های طیفی مختلف و شاخص‌های گیاهی (VI)^۱ است. شاخص‌های پوشش گیاهی بیان ساده ریاضی است که باندهای طیفی را ترکیب می‌کند و برای مشخص کردن وجود یا نبود پوشش گیاهی، شناسایی نوع و وضعیت آن به کار می‌رود. یکی از شاخص‌های پرکاربرد در این زمینه، شاخص (NDVI)^۲ است که با استفاده از رابطه ۱ محاسبه می‌شود:

$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{RED}}{\text{NIR} + \text{RED}} \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن، NDVI شاخص پوشش گیاهی، NIR باند مادون قرمز و RED باند قرمز است.

NDVI برای مناطق با پوشش گیاهی متراکم و فشرده مقدار بالایی دارد، درحالی‌که مقدار آن در نواحی فاقد پوشش گیاهی بسیار کم است. محدوده آن از ۱ NDVI -۱ است. این محدوده براساس تغییر مقیاس در نرم‌افزار PCI Geomatica بین 16000 NDVI 4500 شده است (شکل ۲). علاوه بر آن، سنجش از دور ماهواره‌ای اطلاعات مربوط به گرما، از جمله گرمای مربوط به سطح آب دریا را از یک منطقه وسیع در زمان کوتاهی به دست می‌دهد. دمای سطح آب دریا (SST)^۳ که از داده‌های ماهواره‌ای استخراج می‌شود، کمتر از دمای واقعی محیط اطراف است، اما این اختلاف چندان زیاد نیست و به دمای سطح زمین (LST)^۴ نزدیک است.

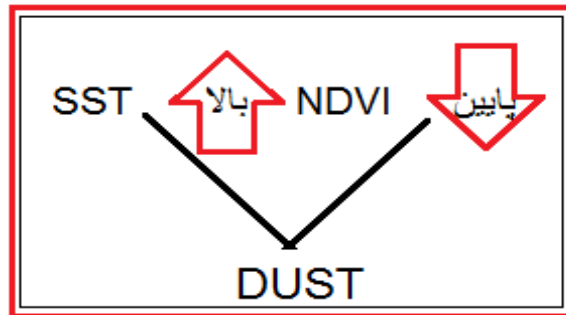


شکل ۲. محدوده NDVI در نرم‌افزار PCI

از این رو، در این تحقیق مقدار SST، به دلیل نزدیک بودن به LST، همچنین مقدار NDVI، محاسبه می‌شود. هدف از محاسبه مقدار SST و NDVI آگاهی از وضعیت دما و پوشش گیاهی در مناطق منشأ گردوغبار (بیابان‌های کشورهای همسایه) با استفاده از تصاویر ماهواره NOAA / AVHRR است. به این منظور ابتدا تصویر ماهواره‌ای مربوط به روز شروع توفان گردوغباری شاخص از سایت NOAA تهیه و به کمک نرم‌افزار PCI-Geomatica V9.1 بررسی شد. مطالعه براساس مدل ابداعی (شکل ۳ و رابطه ۲) صورت گرفت تا مناطق مستعد برداشت ذرات گردوغبار شناسایی شود.

1. Vegetation Indices
2. Normalized Difference Vegetation Index
3. SEA-Surface Temperature
4. Land Surface Temperature

بر این اساس مناطقی که SST بالا و NDVI پایین دارند، مستعد برداشت ذرات گردوغبارند (این مدل غیرعمومی است و بر اساس بررسی و تحلیل‌های صورت گرفته روی این تصاویر برای شناسایی منشأ خیزش این توفان گردوغبار طراحی و استفاده شده است).



شکل ۳. مدل ایجاد گردوغبار

رابطه (۲) $1 = 1 \text{ if } (\%1 \geq 19 \text{ and } \%1 \leq 30) \text{ and } (\%2 > 9000 \text{ and } \%2 \leq 11000)$

برای محاسبه مقدار NDVI از کانال‌های ۱ و ۲ سنجنده AVHRR و برای محاسبات حرارتی (SST) از کانال‌های ۳، ۴ و ۵ این سنجنده استفاده شد. در نهایت، مناطق منشأ توفان گردوغبار (با NDVI پایین و SST بالا) شناسایی شد.

یافته‌های پژوهش

تحلیل سینوپتیکی

به منظور تشخیص الگوهای سینوپتیکی از نظر نوع سیستم فشار و جهت ورود آن به منطقه مورد مطالعه از بین موج‌های گردوغباری استخراج شده دو سیستم گردوغباری شاخص (۲۰ تا ۲۶ سپتامبر ۱۹۹۶ و ۱۲ تا ۱۵ مارس ۲۰۱۲) و دارای شدت و وسعت بالا در ایستگاه‌های منطقه انتخاب و بررسی شد. همان‌طور که در روش کار نیز ذکر شد، شدت توفان براساس میدان دید افقی و وسعت آن براساس تعداد ایستگاه‌هایی که گزارش گردوغبار داشت، مشخص و نقشه‌های ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ و ۸۵۰ هکتوپاسکال و تراز دریا براساس شرایط جوی روزانه در روز قبل از شروع گردوغبار و روزهای اوج آن تهیه و تحلیل شد.

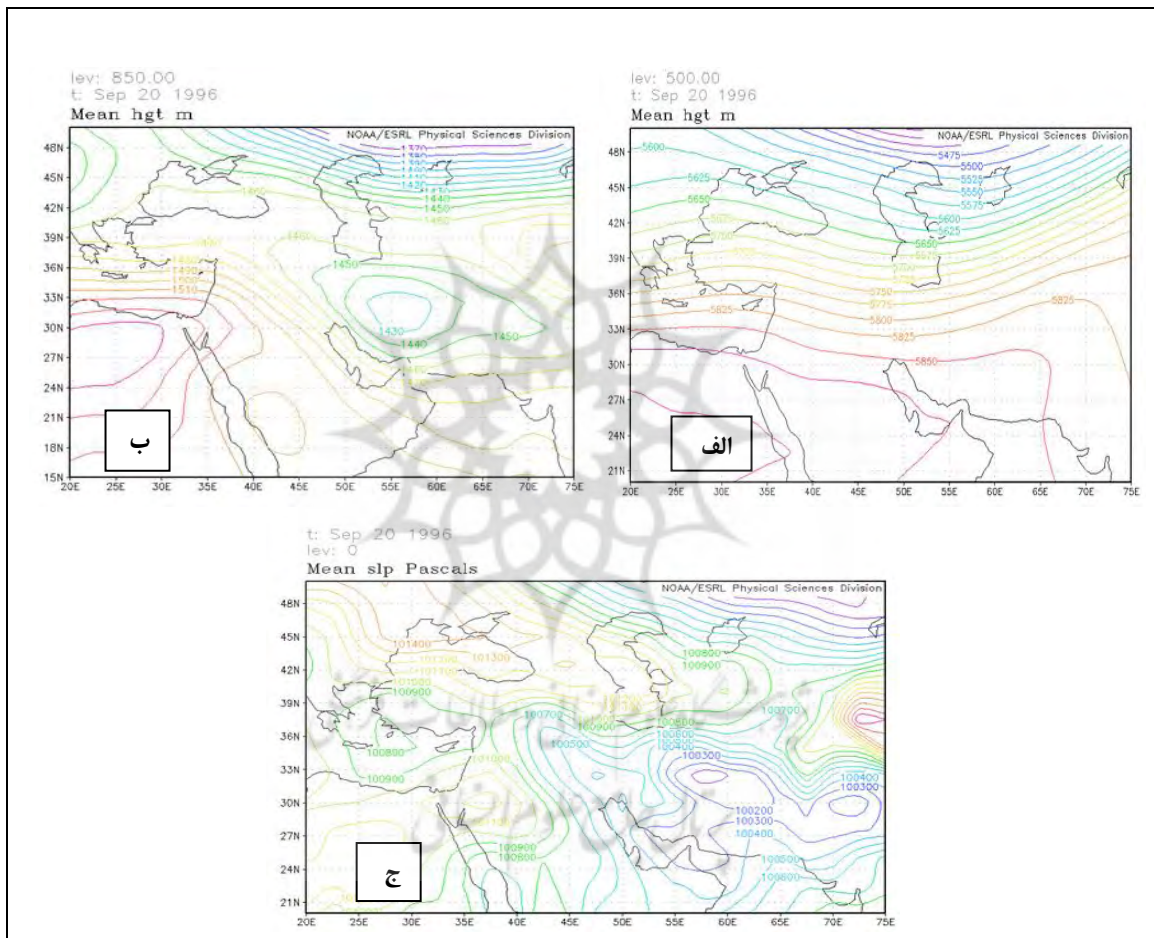
سیستم گردوغباری ۲۰ تا ۲۶ سپتامبر ۱۹۹۶

۱. نقشه‌های فشار تراز ۵۰۰ و ۸۵۰ هکتوپاسکال و تراز دریا

۱.۱. روز قبل از توفان گردوغبار

شکل ۴ الف الگوی ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال را برای روز ۲۰ سپتامبر ۱۹۹۶ نشان می‌دهد. در این روز سامانه پراتفاهی در عرض‌های بالایی مستقر شد که زبانه‌هایی از آن روی ایران گسترده شده است. حرکت این سامانه از

شمال به جنوب بود، ولی هنوز عمیق نشده بود. نقشه تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال مربوط به این روز نیز در شکل ۴ب نشان داده شده است. براساس این نقشه، مرکز کم‌ارتفاعی روی ایران شکل گرفته که به صورت کاتاف خود را نشان می‌دهد. اختلاف ارتفاع شدید است، ولی آرایش کم‌عمقی دارد. همچنین، مرکز پراتفافی روی شمال آفریقا مستقر شده است. جهت وزش جریانات از غرب به منطقه مورد مطالعه است. پراکندگی فشار سطح زمین در این روز در شکل ۴ج نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در منطقه مطالعه زبانه‌ای از کم‌فشار مستقر در مرکز ایران، گسترده شده که زبانه‌های آن منطقه مورد مطالعه را نیز دربر گرفته است.



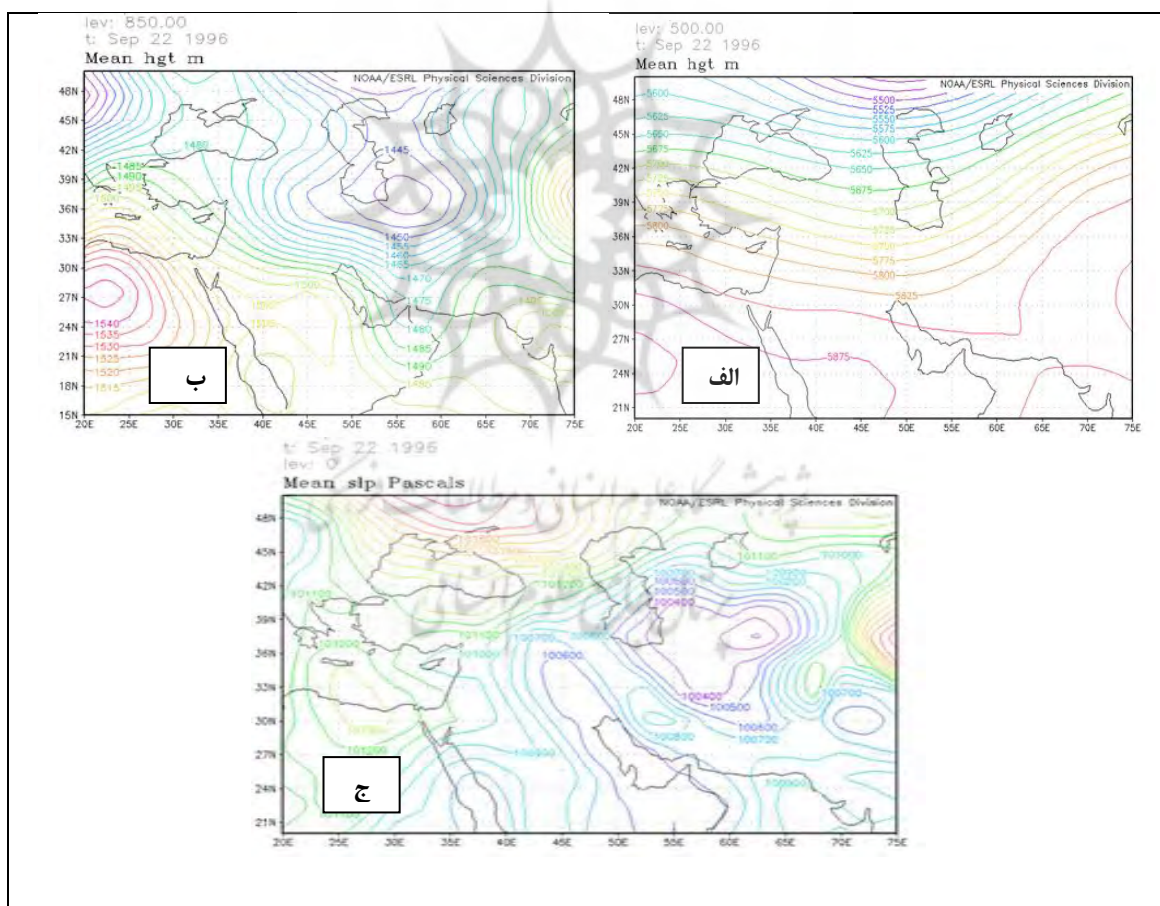
شکل ۴. شرایط سینوپتیکی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (الف)، تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال (ب) و سطح دریا (ج) در روز ۱۹۹۶/۹/۲۰

۲.۱. روزهای اوج گردوغبار

اوج این توفان در روزهای ۲۲ و ۲۳ سپتامبر بوده است. شرایط سینوپتیکی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال روز ۱۹۹۶/۹/۲۲ در شکل ۵الف نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، پراتفافی که در شمال مستقر شده است، جابه‌جایی اندکی به سمت جنوب داشته، ولی نسبت به روز قبل از توفان عمیق‌تر شده است. به دلیل کوهستانی بودن بخش اعظم منطقه نقشه‌های تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال بهتر از سایر ترازها شرایط این توفان‌ها را توجیه می‌کند. همان‌طور که در شکل ۵ب مشاهده می‌شود، در این روز در سطح ۸۵۰ پراتفافی مستقر در شمال عمیق‌تر شده و به طرف جنوب گسترش زیادی

داشته و روی ایران ترفاً نسبتاً عمیقی ایجاد شده است. پراترفاع مستقر در شمال آفریقا نیز گسترش بیشتری داشته است. اختلاف ارتفاع بین کم‌ارتفاع روی ایران و پراترفاع روی شمال آفریقا شدید شده است و این اختلاف ارتفاع شدید به استقرار کم‌فشار شدید روی زمین در منطقه مورد مطالعه انجامیده است (شکل ۵ج). این کم‌فشار قوی که در نقشه سطح دریا دیده می‌شود، سبب مکش هوای روی بیابان‌های اطراف به منطقه مورد مطالعه شده است. قدرت مکش بالای این کم‌فشار هوا را از بیابان‌های اطراف به داخل ایران می‌مکد.

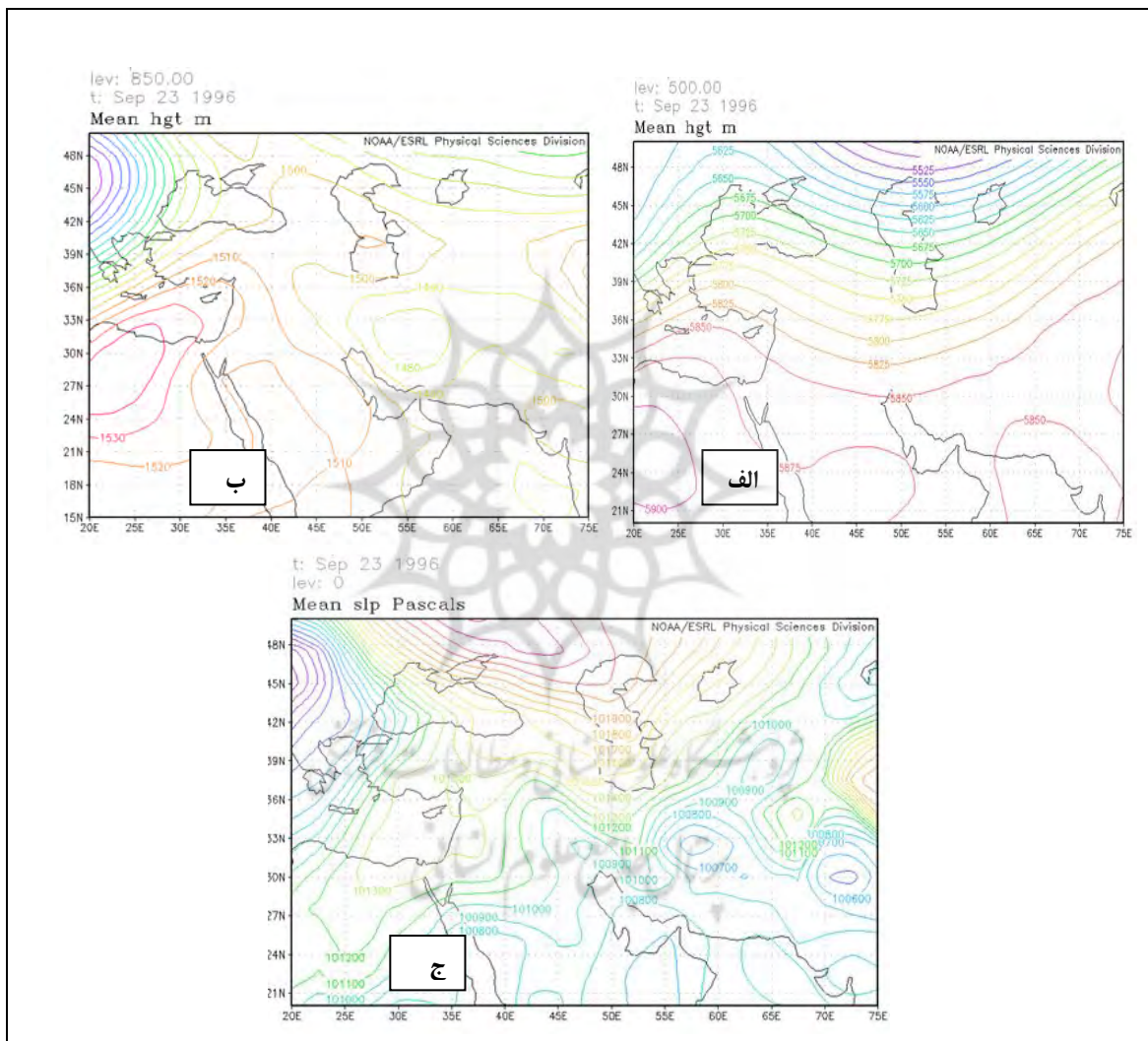
در این میان سهم بیابان‌های عربستان از سایر نواحی بیشتر است. این وضعیت در تصاویر ماهواره‌ای مشهودتر است. چنانکه خواهیم گفت (بحث پردازش تصاویر)، این سیستم از شمال عراق و سوریه روی صحرای عربستان فرود می‌آید و با قدرت مکش زیادی که دارد، ذرات گردوغبار را از بیابان‌های مستعد شرق عربستان برداشت و با صعود به سمت بالا هوای آلوده به ذرات گردوغبار را به غرب و جنوب‌غرب ایران وارد می‌کند. در این روز از ایستگاه‌های استان خوزستان گردوغبار شدیدی گزارش شده است.



شکل ۵. شرایط سینوپتیکی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (الف)، تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال (ب) و سطح دریا (ج) در روز ۱۹۹۶/۹/۲۲

شکل ۶الف، شرایط سینوپتیکی ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال روز ۱۹۹۶/۹/۲۳ را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، حرکت عمودی پرفشار شمالی شدیدتر شده است. شرایط سینوپتیکی ارتفاع تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در شکل ۶ب نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، پراترفاع روی آفریقا و کم‌ارتفاع روی ایران همچنان

مستقرند و اختلاف دما و در نتیجه اختلاف فشار و وزش باد به سمت منطقه مورد مطالعه در این روز نیز ادامه دارد. با اینکه وزش بادها ضعیف می‌شود، به دلیل خشکی منطقه ذرات گردوغبار به راحتی به وسیله باد برداشت می‌شود. پراکندگی فشار در سطح زمین در این روز در شکل عج نشان داده شده است. این نقشه نشان می‌دهد که جهت جریانات غربی و جنوب غربی است. بنابر مطالب گفته شده می‌توان نتیجه گرفت که شکل گیری ناپایداری شدید در منطقه مورد مطالعه سبب مکش هوای گردوغباری عربستان به طرف ایران شده است.

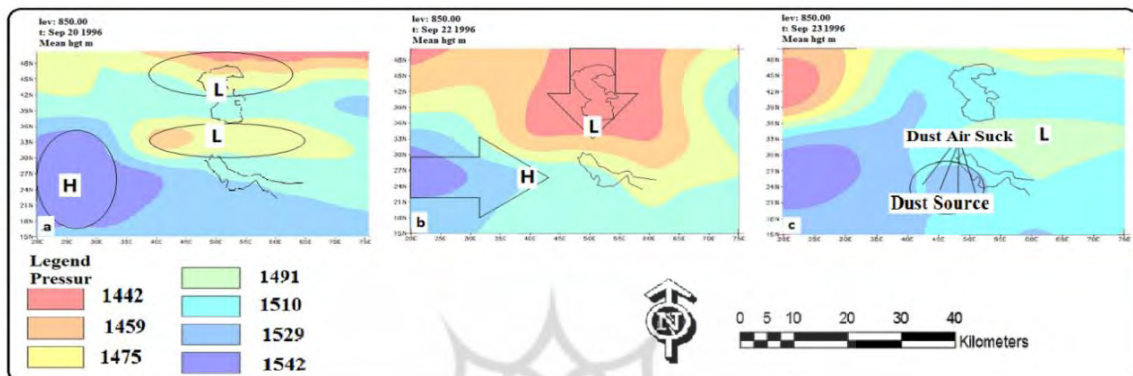


شکل ۶. شرایط سینوپتیکی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (الف)، تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال (ب) و سطح دریا (ج) در روز ۱۹۹۶/۹/۲۳

به دلیل شرایط جغرافیایی منطقه مورد مطالعه نقشه‌های تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال بهتر از سایر ترازها شرایط این توفان‌ها را توجیه می‌کند. بنابراین، برای بهتر نشان دادن شرایط سینوپتیکی منجر به گردوغبارها نقشه‌های این تراز در محیط نرم‌افزار ArcMap با روش میان‌یابی (Inverse Distans Weighted) و به کمک برشی از DEM منطقه تهیه شد. شکل ۷ موقعیت سیستم‌های فشار را در روز قبل و روزهای اوج این توفان نشان می‌دهد.

علاوه بر شناسایی سیستم‌های سینوپتیکی منجر به شکل‌گیری این پدیده، به دنبال شناسایی مناطق خیزش ذرات

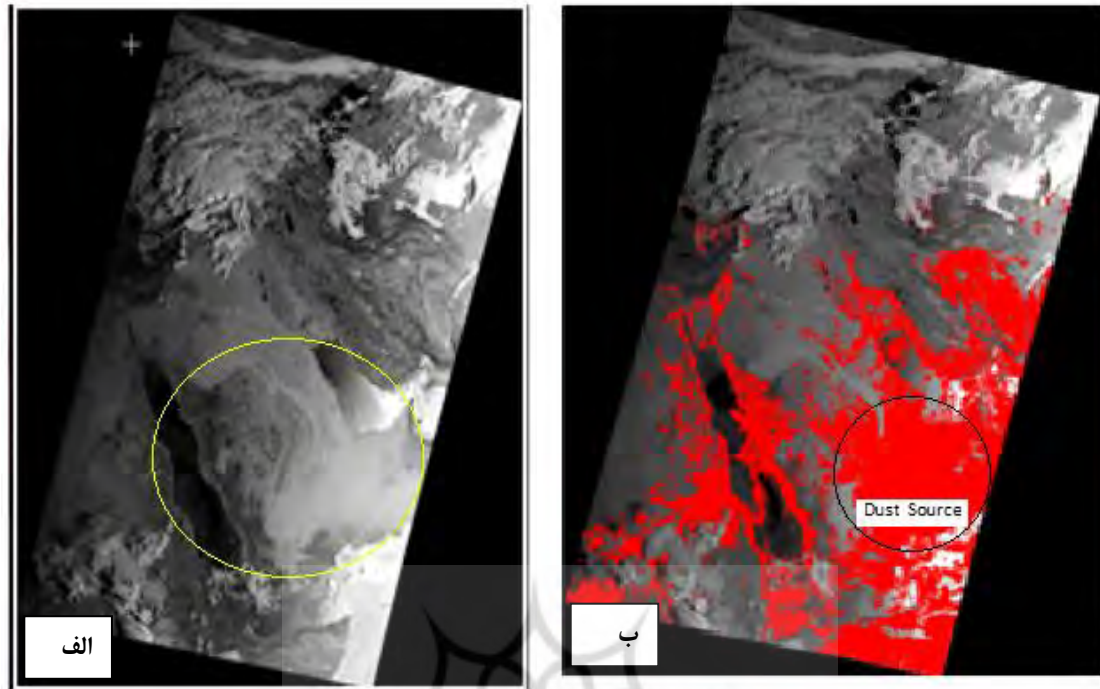
این توفان گردوغباری نیز بوده‌ایم. بدین منظور تصویر ماهواره‌ای مربوط به روز شروع این توفان در روز ۱۹۹۶/۹/۲۱ از ماهواره NOAA سنجنده AVHRR تهیه و پردازش شد. نتیجه این تحلیل ماهواره‌ای ارائه مدل ابتکاری برای خیزش ذرات گردوغبار بود که نتایج تحلیل سینوپتیکی در مورد مناطق منشأ گردوغبارها در منطقه مورد مطالعه را تأیید کرد که در ادامه بیشتر توضیح می‌دهیم.



شکل ۷. نقشه‌های درون‌یابی شده تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال مربوط به توفان اول

پردازش تصویر ماهواره‌ای

پردازش تصویر ماهواره‌ای از سنجنده AVHRR برای تشخیص منشأ خیزش ذرات گردوغبار در توفان روز ۲۱ سپتامبر ۱۹۹۶ با توجه به شرایط محیطی حاکم بر بیابان‌های کشور همسایه با اعمال رابطه ۲ صورت گرفت. تعیین مقدار SST و NDVI در این رابطه با توجه به شرایط محیطی در این روز است. از این رو، با در نظر گرفتن دمای ۱۹ تا ۳۰ درجه و شاخص پوشش گیاهی ۹ تا ۱۱ هزار مناطق مستعد برای فراهم کردن ذرات گردوغبار روی تصویر ماهواره‌ای مربوط بارسازی و با رنگ قرمز نشان داده شد. چنانکه ملاحظه می‌شود (شکل ۸)، شبه‌جزیره عربستان (شرق و جنوب‌شرق آن و بیابان ربع‌الخالی) و مناطقی از عمان منشأ این توفان شناسایی شد. با توجه به خشکی منطقه و دمای بالای آن در این موقع از سال به همراه ضعف پوشش گیاهی و ناپایداری جوی در سطح بیابان‌ها، محیطی بسیار مساعد برای شکل‌گیری رخداد های گردوغباری فراهم شده است. پیش از این گودی و میدلتون (۲۰۰۶)، این منطقه را سومین منشأ قوی گردوغبار در دنیا می‌شناسند و معتقدند تنها منابع صحرای غربی و مرکزی از آن بزرگ‌ترند.



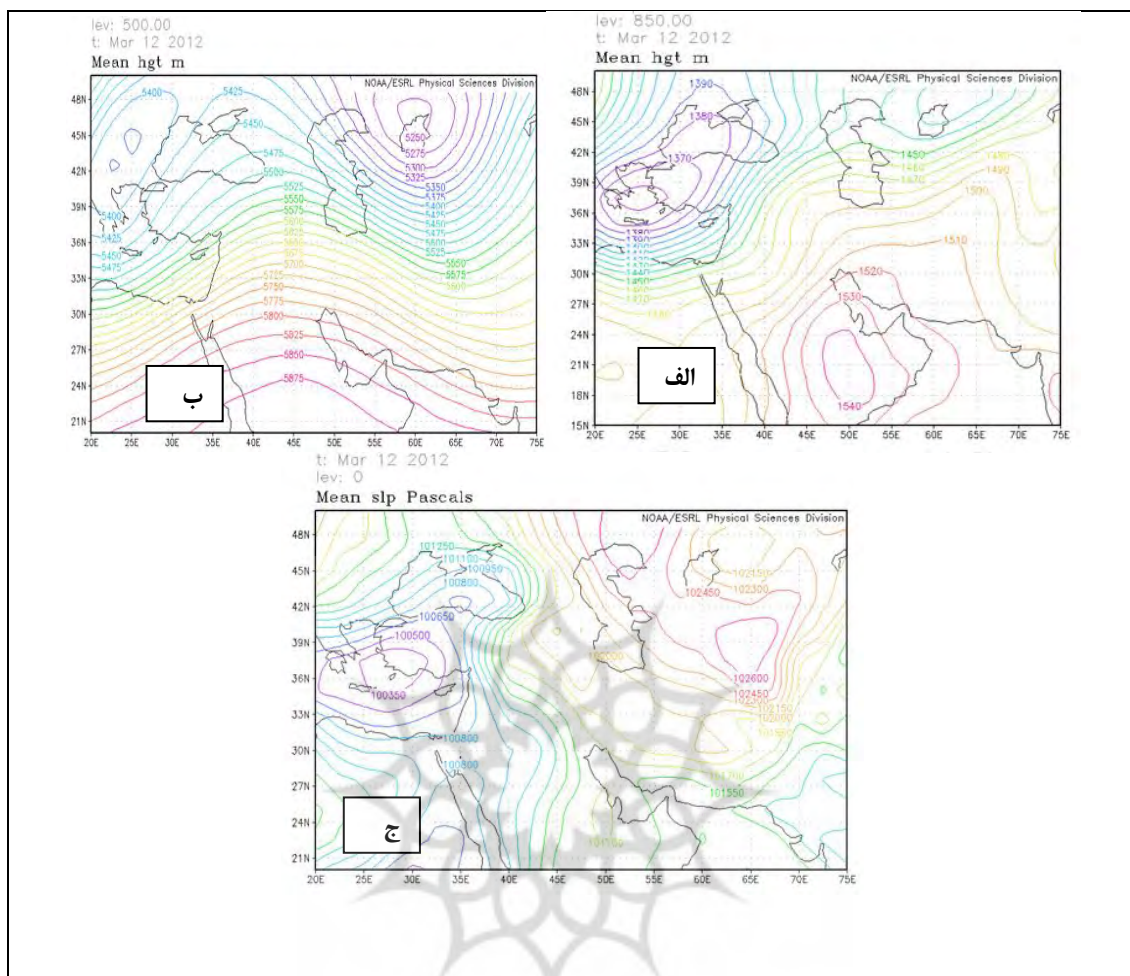
شکل (۸). الف) تصویر ماهواره‌ای از توفان گردوغبار تاریخ ۱۹۹۶/۹/۲۱؛ ب) مناطق قرمز مکان‌های خیزش گردوغبار براساس SST و NDVI محاسبه‌شده تاریخ ۱۹۹۶/۹/۲۱

سیستم گردوغباری ۱۲ تا ۱۵ مارس ۲۰۱۲

۱. نقشه‌های فشار تراز ۵۰۰ و ۸۵۰ هکتوپاسکال و تراز دریا

۱.۱. روز قبل از توفان گردوغبار

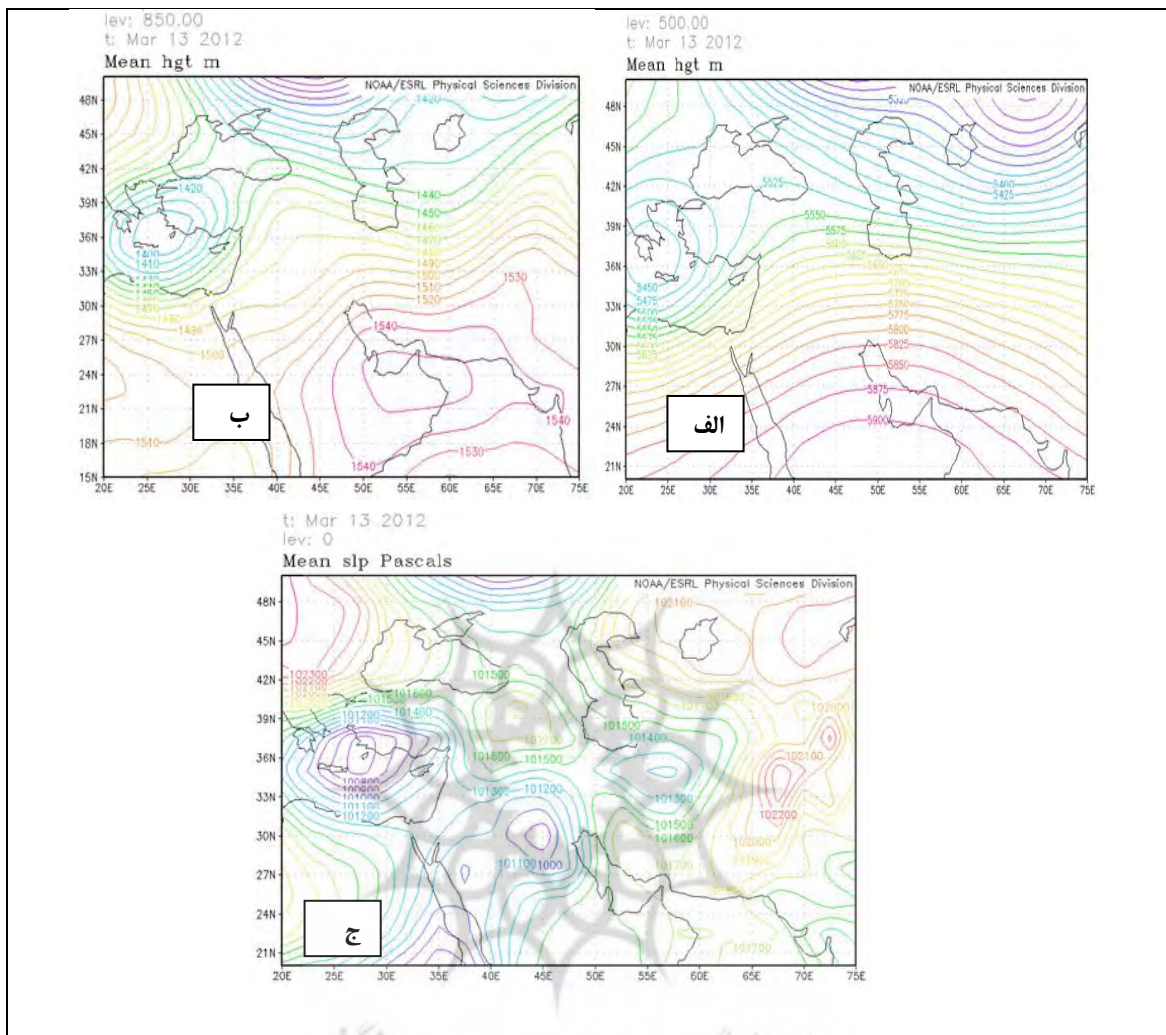
شرایط سینوپتیکی ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال روز ۲۰۱۲/۳/۱۲ در شکل ۹ الف مشاهده می‌شود. در این روز دو سامانه کم‌ارتفاع بسته یکی روی شرق دریای خزر و دیگری در شمال مدیترانه با فشار مرکزی ۵۴۰۰ ژئوپتانسیل و اختلاف ارتفاع ۴۷۵ ژئوپتانسیل مستقر شده است. پرارتفاهی نیز روی بیابان‌های آفریقا و عربستان دیده می‌شود. اما منطقه مورد مطالعه پایدار است. در نتیجه، صعود و خیزش گردوغبار صورت نگرفته است. شرایط این سیستم‌ها در نقشه‌های تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال بهتر نشان داده شده است (شکل ۹ ب). طبق این نقشه سیستم پرارتفاح روی عربستان بسته شده و سیستمی کم‌ارتفاع نیز روی مدیترانه شکل گرفته است. خاک خشک است، ولی صعودی وجود ندارد. نقشه روی زمین نیز پایداری هوا را نشان می‌دهد (شکل ۹ ج).



شکل ۹. شرایط سینوپتیکی در تراز 500 هکتوپاسکال (الف)، تراز 850 هکتوپاسکال (ب) و سطح دریا (ج) در روز ۲۰۱۲/۳/۱۲

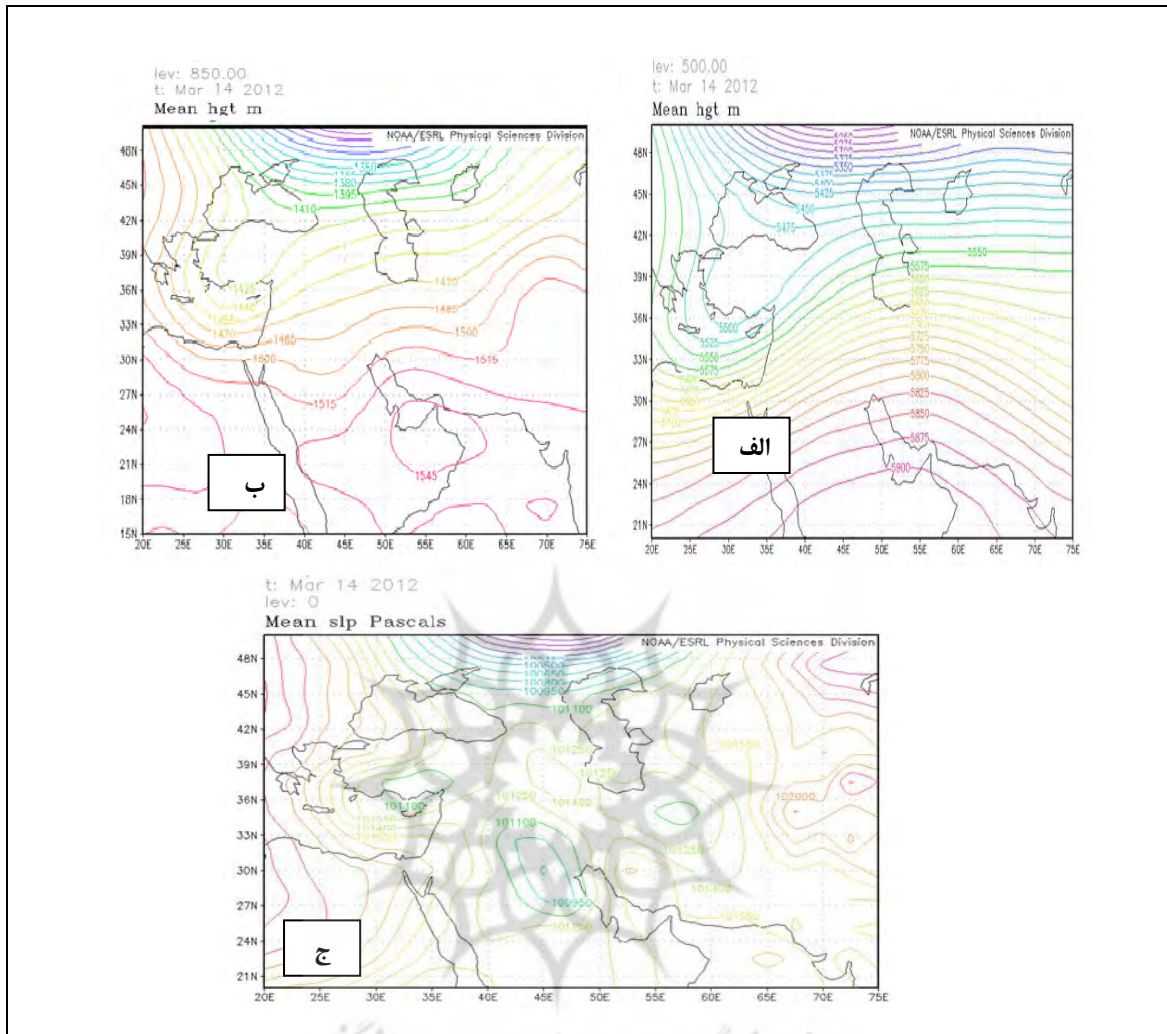
۲.۱. روزهای اوج گردوغبار

شدت این توفان در روزهای ۱۳ و ۱۴ مارس ۲۰۱۲ بوده است. چنانکه در شکل ۱۰ الف، مربوط به شرایط سینوپتیکی ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال روز ۲۰۱۲/۳/۱۳، دیده می‌شود، تراز نسبت به روز قبل عمیق شده است. نقشه تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال مربوط به این روز نیز نشان می‌دهد که اختلاف فشار بین دو سیستم پراترفاع روی عربستان و خلیج فارس با کم‌ارتفاع روی مدیترانه موجب وزش باد از مناطق بیابانی همجوار به سمت منطقه مورد مطالعه شده است. با توجه به وزش باد در امتداد منحنی‌ها مسیر جریان‌ات از روی بیابان‌های عربستان است، چراکه منحنی‌های مستقر روی عربستان بهتر هوای غباری را جذب و به منطقه وارد می‌کند (شکل ۱۰ ب). در نقشه روی زمین نیز کم‌فشار سودان با فشار مرکزی ۱۰۰۰ هکتوپاسکال مستقر روی عربستان دیده می‌شود که بادهای گرم و خشک عربستان (بادهای جنوبی و جنوب غربی) در جلوی این کم‌فشار به سمت منطقه جنوب غرب ایران وارد می‌شود (شکل ۱۰ ج).

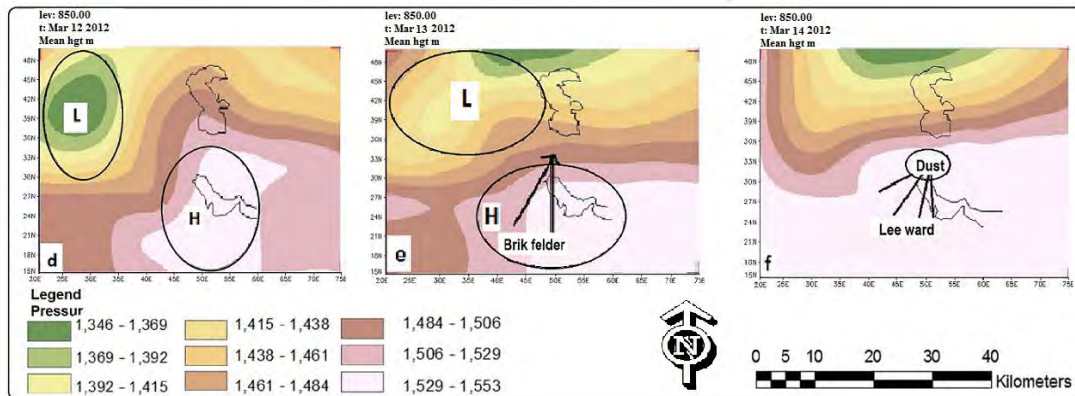


شکل ۱۰. شرایط سینوپتیکی در تراز 500 هکتوپاسکال (الف)، تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال (ب) و سطح دریا (ج) در روز ۲۰۱۲/۳/۱۳

شکل ۱۱ الف شرایط سینوپتیکی ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال روز ۲۰۱۲/۳/۱۴ را نشان می‌دهد. در این روز تراف عمیق‌تر و در نتیجه ناپایداری‌ها شدیدتر شده‌اند. خطوط روی جنوب غرب ایران همان منحنی‌هایی‌اند که از عربستان و کشورهای حاشیه خلیج فارس می‌گذرند. نقشه تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال نیز نشان می‌دهد که پرارتفاع روی عربستان منطقه ما را نیز دربرگرفته است. شکل ۱۱ ب شرایط سینوپتیکی تراز دریا را در این روز نشان می‌دهد. سامانه کم‌فشار سودانی به منطقه ما نزدیک‌تر شده است و بادهای گرم و خشک عربستان را راحت‌تر به طرف ما می‌آورد. به نظر می‌رسد این سیستم با حرکت چرخندی خود هنگام نشست روی عربستان ذرات غبار را برداشت و در صعود مجدد این هوای غباری را به منطقه مورد مطالعه وارد می‌کند (شکل ۱۱ ج). نقشه درون‌یابی‌شده تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال مربوط به این توفان در شکل ۱۲ نشان داده شده است.



شکل ۱۱. شرایط سینوپتیکی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (الف)، تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال (ب) و سطح دریا (ج) در روز ۲۰۱۲/۳/۱۴



شکل ۱۲. نقشه‌های درونی‌یابی شده تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال مربوط به توفان دوم

بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق به منظور شناسایی الگوهای مؤثر در شکل‌گیری و انتقال گردوغبارها به منطقه مورد مطالعه، دو موج شاخص گردوغباری انتخاب و بررسی شد. نتایج بررسی الگوهای گردشی سطح ۵۰۰ و ۸۵۰ هکتوپاسکال و تراز دریا برای موج گردوغباری ۱۹۹۶ نشان داد که اختلاف ارتفاع بین پراارتفاع مستقر روی شمال آفریقا و کم‌ارتفاع روی ایران در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال موجب شکل‌گیری کم‌فشار قوی در سطح دریا در منطقه مورد مطالعه شده است. این کم‌فشار قوی با قدرت مکش بسیار بالا توانسته هوای گردوغباری بیابان‌های اطراف، به ویژه بیابان‌های عربستان را، به منطقه مورد مطالعه بکشد. بررسی نقشه‌های فشار موج غباری سال ۲۰۱۲ نشان داد که اختلاف فشار بین دو سیستم پراارتفاع روی عربستان و خلیج فارس و کم‌ارتفاع روی مدیترانه در سطح ۸۵۰ سبب وزش باد از مناطق بیابانی اطراف به منطقه شده است. تراف عمیق در سطوح میانی جو نیز به ناپایداری‌های شدید در سطح زمین منجر شده است، چنانکه شکل‌گیری سیستم کم‌فشار سودانی بادهای گرم و خشک عربستان را به همراه ذرات غباری آن به منطقه مورد مطالعه وارد کرده است.

در نهایت برای شناسایی کانون‌های برداشت ذرات گردوغبار پردازش تصاویر ماهواره‌ای مورد توجه قرار گرفت و نتایج محاسبه میزان SST و NDVI و مدلسازی آن در منطقه مورد مطالعه (مناطق با SST بالا و NDVI پایین) مناطق خیزش گردوغبار را مشخص کرد. بر این اساس، شرق و جنوب‌شرق عربستان (ربع‌الخالی) و عمان مهم‌ترین مناطق خیزش ذرات گردوغبار و جابه‌جایی به منطقه مورد مطالعه‌اند. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، نتایج حاصل از تحلیل ماهواره‌ای در پژوهش حاضر نتایج تحلیل نقشه‌های هوا را تأیید می‌کند که از این نظر با نتایج تحقیق تنش و همکاران (۲۰۰۵) همسوست، چراکه هر دو این تحقیقات به نقش بارز دما در کاهش بارندگی و پوشش گیاهی و قرارگرفتن خاک در معرض باد تأکید دارند و با تحلیل نقشه‌های هوا و تحلیل ماهواره‌ای آن را نشان می‌دهند. از طرفی، مقایسه نتایج تحلیل نقشه‌ها در این پژوهش با کارهای ذوالفقاری و عابدزاده (۱۳۸۴)، طاووسی و همکاران (۱۳۸۹) و براتی (۱۳۹۰)، نشان می‌دهد که منشأ گردوغبارهای ایران ثابت نیست و بهتر است تمامی نوار غربی ایران با استفاده از روش‌های دقیق (تحلیل نقشه‌های هوا در کنار تحلیل ماهواره‌ای با بهره‌گیری از تصاویر با قدرت تفکیک بالا) بررسی شود.

منابع

- ایرانمنش، ف.، خدری، م. و اکرم، م. (۱۳۸۴). بررسی مناطق برداشت ذرات گردوغبار و ویژگی انتشار آنها در طوفان‌های منطقه سیستان با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای، مجله پژوهش و سازندگی، شماره ۶۷، ص. ۲۵-۳۳.
- براتی، غ.، لشگری، ح. و کرمی، ف. (۱۳۹۰). نقش همگرایی سامانه‌های فشار بر رخداد توفان‌های غباری استان خوزستان، جغرافیا و توسعه، شماره ۲۲، ۳۹-۵۶.
- ثنائی‌نژاد، ح. و شاه‌طهماسبی، ا. (۱۳۸۷). مطالعه تغییرات طیف بازتابی مزارع گندم در مشهد با استفاده از تصاویر MODIS، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال ۱۲، شماره ۴۵، ۱۱-۱۹.
- ذوالفقاری، ح. و عابدزاده، ح. (۱۳۸۴). تحلیل سینوپتیکی توفان‌های گردوغباری در غرب ایران، مجله جغرافیا و توسعه، شماره ۸۴، ۱۷۳-۱۸۷.
- طاووسی، ت.، خسروی، م.، رئیس‌پور و کوهزاد (۱۳۸۹). تحلیل همدیدی سامانه‌های گردوغباری در استان خوزستان، جغرافیا و توسعه، شماره ۲۰، ۹۷-۱۱۸.
- فرج‌زاده، م. و بهرامی، ب. (۱۳۸۹). قابلیت استفاده از داده‌های سنجش از دور در مطالعه توفان‌های گردوخاک، سیلاب‌ها و بارش‌های شدید، فصلنامه جغرافیای طبیعی، شماره ۸، ۱-۱۵.

گائودی، ا. اس.، میدلتون، ان جی. (۱۳۹۰). **گردوغبار بیابان در ساماندهی جهانی**. ترجمه داریوش یاراحمدی، خرم آباد. انتشارات دانشگاه لرستان.

- Barati, G., Lashgary, H., Karami, F. (2011). **The convergence of the pressure systems occurring dust storms in Khuzestan province**. Geography and Development, No. 22, pp. 56-39.
- Barnum. B.H., Winstead. N.S., Wesely. J., Hakola. A., Colarco, P., Forecasting, R. (2004). **Dust storms using the CARMA-dust model and MM5 weather data**. Environmental Modelling & Software, No. 19, pp. 129° 140.
- Bennion, P. et al. (2007). **The impact of airborne dust on respiratory health in Children Living in The Aral Sea region**. Int. J. Epidemiol, No. 36, pp .1103-1110.
- Chritinu Hsu, N., Tsay, si-chee, King, Michael D., Herman, R. (2006). **Deep blue retrievals of Asian aerosol properties during ACE-Asia**. IEEE, pp. 3180-3198.
- Engestadler, S. (2001). **Dust storm freiquencies and their relationships to land surface conditions**, Freidrich ° Schiller university press, Jena, Germany, pp.56.
- Farajzadeh, M., Bahrami, B. (2010). **Ability to use remote sensing data to study dust storms, floods and heavy rains**, Geography Quarterly, Vol. 8, pp. 1-15.
- Huang, J., Jinming, Ge. (2007). **Detection of Asia dust Storms using multisensory satellite measurements**. Remote sensing of Environment, No. 110, pp.186-191.
- Hojati, S., Khademi, H., Cano, A.F., Landi, A. (2011). **Characteristics of dust deposited along a transect between central Iran and the Zagros Mountains**. Catena, No. 88, pp. 27-36.
- Iranmanesh, F., Arab Khedri, M., Ekram, M. (2003). **Investigation of dust origins and characteristics of their spreading in Sistan`s Storms, Iran Region, Using in processing**, Pajouhesh and Sazandegi, No. 67, pp. 25-33.
- Goudie, A.S., Middleton, N.g., 2006 ,**Desert Dust in the Global Sestem**.Tranlated by: Dariush Yarahmadi.KHORAMABAD, Lorestan University Publications.
- Goudie, A.S. (2009). **Dust storms;recent developments**. Jornal of Environmental Manegment, No. 90, pp. 89-94.
- Lee, Jeffrey, A., Gill, Thomas, E., Mullingan, Kevin ,R. ,Acosta, Miguel Dominguez, P., Adriana, E. (2009). **Landuse/Landcover and point sources of the 15 December 2003 dust storm in South Western North America**.Geomorphology, No. 105, pp. 18-27.
- MCTainsh, G., Chan, Y.Ch., McGowan, H. (2005). **The 23 October 2002 dust storm in Eastern Australian**, Charac teristic sand meteorological condition Atmospheric environment, No. 39, pp. 1227-1236.
- Orlovsky, L. (2005). **Dust strom in Turkmenistan**, Journal of Arid Environments, No. 60, pp. 83-97.
- Tavousi, T., Khosravi, M. (2010). **Synoptic analysis of dust storm in Khozestan Province**, Geography and Development, No. 20, pp. 97-118.
- Tegen, I., Fung, I. (1994). **Modeling of mineral dust in the atmosphere source, transport and optical thickness**. J. Gography. Res., No. 99, pp. 22897-22914.
- Wang, X., Dong, Z., Zhang, J., Liu, L. (2004). **Modern dust storms in china; an over view**. Gornal of Arid Environments, NO. 58, pp. 559-574.
- Wu, X.J., Zheng, X.D., Li, X.L, Liu, J.T., Kang, L., Jiang, X.G. (2004). **Analyses on the characteristics and patern classification of East-Asia spring dust storms by using the meteorological satellite images clim**. Environ. Res, No. 1, pp. 1-13.
- XU, X., Levy, Y., Zhaohui, L., Hong, C. (2006). **Aninvestigation of sand –dust storm events and land surface characteristics in china using NOAANDVI data**. Global and planetary change, No. 52, pp. 182-196.
- Zaravandi, A., Carranza, E.J.M., Moore, F., Rastmanesh, F. (2011). **Spatio-temporal occurrences and mineralogical-geochemical characteristics of airborne dusts in Khuzestan province (South Western Iran)**. Journal of Geochemical Exploration, No. 111, pp. 138-151.
- Zhang, P., LU, N., Hu, X. (2006). **Identification and physical retrieval of dust storm using three MODIS thermal IR channels**. Global and planetary change, No. 52, pp. 197-206.
- Zolfaghari, H., Abedzadeh, H. (2005). **A synoptic analysis of dust storm in west of Iran**, Geography and Development, No. 6, pp. 173-187.