

تحلیل اقلیمی و ردیابی توفان‌های گرد و غبار فراگیر در جنوب و مرکز ایران

عباسعلی ولی^۱، سجاد خاموشی^۲، سیدحجت موسوی^{۳*}، فاطمه پناهی^۴، احسان تمسکی^۵

۱. استادیار بیابان‌زدایی، گروه علوم مهندسی بیابان، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، کاشان
vali@kashanu.ac.ir

۲. کارشناسی ارشد بیابان‌زدایی، گروه علوم مهندسی بیابان، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، کاشان
afsaneh_mo sajad_khamooshi@yahoo.com

۳. استادیار ژئومورفولوژی، گروه جغرافیا و اکوتوریسم، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، کاشان

۴. استادیار بیابان‌زدایی، گروه علوم مهندسی بیابان، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، کاشان
alabd_fpanahi@yahoo.com

۵. کارشناسی ارشد بیابان‌زدایی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس

com.ehsantamasoki@yahoo

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۴/۲۱

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۳/۱/۱۷

چکیده

در سال‌های اخیر گستردگی و شدت توفان‌های گرد و غبار در نواحی غرب و جنوب‌غربی ایران با توجه به موقعیت جغرافیایی و شرایط اقلیمی خاص خود موجب شده است که این پدیده از عمده‌ترین مخاطرات زیست‌محیطی در این نواحی باشد. پژوهش حاضر به بررسی توفان گرد و غبار در نواحی جنوبی و مرکز ایران در بازه زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۹ پرداخته است. برای این مهم، از داده‌های هواشناسی، داده‌های سینوپتیکی جو میانه و بالا، مدل رهگیری جریان باد برای شناسایی مناطق منشأ و ردیابی توفان‌های گرد و غبار در ایستگاه‌های شیراز، فسا و بوشهر استفاده شده است. بررسی داده‌های پایگاه گردشی زمینی نشان می‌دهد که سال ۲۰۰۸ از نظر کاهش میدان دید و دوام روزهای همراه گرد و غبار، دارای شدیدترین توفان‌های گرد و غبار در بازه مطالعاتی بوده است، به طوری که ۱۰ ژوئن ۲۰۰۸ با میدان دید کمتر از ۵۰۰ متر شدیدترین روزگرد و غباری ایستگاه‌های مطالعاتی است. نتایج رهگیری جریان باد که با استفاده از مدل HYSPLIT در شدیدترین روز گرد و غباری انجام شد، نشان می‌دهد که این توده گرد و غباری از مناطق شمال‌غرب عراق و شرق سوریه سرچشمه گرفته و با جهت شمال‌غربی - جنوب‌شرقی وارد ایران شده است. نتایج پایگاه گردش جو میانه و بالا نشان می‌دهد که در ۱۰ ژوئن ۲۰۰۸ با حاکمیت مرکز کم‌فشار قوی در شرق ایران و پرفشار در شمال آفریقا، بادهای غربی ایجاد و سبب ورود گرد و غبار حداکثری به منطقه شده‌اند. در مجموع نتایج پژوهش حاضر حاکی از این است که مدل رهگیری جریان باد و بررسی‌های جوی قابلیت مناسبی برای تشخیص و پایش مسیر حرکت توفان‌های گرد و غبار دارند.

کلیدواژه

تحلیل سینوپتیک، توفان گرد و غبار، ردیابی، رهگیری جریان باد.

۱. سرآغاز

جلوگیری از سرعت باد نقش داشته باشد، بدین جهت این بادهای توفان‌های ماسه‌ای همراه‌اند (احمدی، ۱۳۸۷؛ آذرینوند و همکاران، ۱۳۸۸؛ جعفری و طویلی، ۱۳۸۹). یکی از پدیده‌های جوی مناطق خشک و نیمه‌خشک یا هم‌جوار با این گونه نواحی، پدیده ریزگردها، غبار و به

فرسایش بادی زمانی به وجود می‌آید که سطح مشترکی بین باد و خاک حفاظت‌نشده به وجود آمده باشد. از خصوصیات مناطق خشک بادهای مکرر و شدید است و پوشش گیاهی تنک در این مناطق نیز نمی‌تواند در

غبار به هوا می‌شوند که در صورت خشک‌بودن منطقه و جنوب‌غربی و غربی‌بودن جریانات سطوح بالایی این غبار و گرد و خاک به وسیله باد به سطوح میانی جو نواحی جنوب‌غربی و غرب ایران منتقل می‌شود.

Barkan و همکاران (۲۰۰۵) در بررسی چگونگی انتقال گرد و غبار صحرا به ایتالیا و مرکز اروپا، استقرار پرفشار جنب حاره‌ای روی جنوب‌شرق مدیترانه و کم‌فشار ناشی از تراف ایسلند در غرب آفریقا را به‌منزله عامل اصلی وقوع گرد و غبار و انتقال آن به ایتالیا و مرکز اروپا معرفی می‌کنند.

منشأیابی پدیده گرد و غبار و شناسایی مناطق برداشت با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و تونل باد و رسم گل‌غبار در برخی مطالعات از جمله: ایرانمنش و همکاران (۱۳۸۴)، اختصاصی و همکاران (۱۳۸۵)، خسروی (۱۳۸۷ و ۱۳۸۹)، **Schlesinger** و همکاران (۲۰۰۶) مورد توجه بوده است. **Hess** و **Draxler** در سال ۱۹۹۸ و **Draxler** و **Rolph** در سال ۲۰۰۳ برای تعیین منابع اصلی گرد و غبار برای هر یک از توفان‌های گرد و غباری از مدل لاگراژینی با امکان ردیابی ذرات در ترازهای مختلف جو موسوم به **HYSPLIT** استفاده کردند. **Al Sarraf** در سال ۲۰۱۰ از روش بالا برای تشخیص و ردیابی منشأ گرد و غبار در کویت استفاده کرد. علاوه بر این، مطالعات اقلیم‌شناسی، به طور خاص روش همدیدی، یعنی مطالعه روابط بین گردش جوی جهانی و آب و هوای منطقه‌ای و محلی، عنصر ثابت در اکثر مطالعات مربوط به شرایط جوی توفان‌های گرد و غبار است (**Barry & Perry, 1973**). **Hamish** و **Andrew** در سال ۲۰۰۸ مسیرهای حمل گرد و غبار از دریاچه ایر استرالیا را با استفاده از مدل **HYSPLIT** بررسی و بیان کردند که گرد و غبار این دریاچه تحت تأثیر جریانات جوی طی زمان کوتاه قادر است هزاران کیلومتر از قاره استرالیا را تحت تأثیر قرار دهد. **Wang** و همکاران (۲۰۱۱) با استفاده از مدل **HYSPLIT** توفان‌های شن و گرد و غبار سال ۲۰۰۸ را

شکل بارز آن توفان گرد و غبار است. توفان‌های گرد و غبار نوعی رویداد اقلیمی‌اند که اغلب در نتیجه بادهای آشفته حاصل از جریان‌های همرفتی ایجاد می‌شوند (ترابی‌میرزایی و همکاران، ۱۳۸۹). روند افزایشی توفان‌های گرد و غبار با توجه به میدان عمل وسیع و آثار گسترده در سلامت، اقتصاد، محیط‌زیست و کشاورزی، در سال‌های اخیر توجه بسیاری از محققان را به خود جلب کرده است (ذوالفقاری و هاشمی، ۱۳۸۹). این پدیده با توجه به گستردگی تأثیرات، از جنبه‌های مختلفی مورد توجه قرار گرفته است.

برخی مطالعات با بیان اهمیت و چگونگی این پدیده متغیرهایی را که در شکل‌گیری آن مؤثر بوده‌اند بررسی کرده‌اند. دسته‌ای از مطالعات به تحلیل مکانی و زمانی وقوع توفان‌ها و برخی به بررسی سیستم‌های همدیدی گرد و غبار پرداخته‌اند. نتیجه عموم این گزارش‌ها، بیانگر افزایش وقوع توفان‌های گرد و غبار ایران به ویژه در مناطق غرب کشور است. پرفشار آזור همراه سیستم‌های مهاجر بادهای غربی مهم‌ترین عامل همدیدی تأثیرگذار در سیستم‌های گرد و غبار منطقه به شمار می‌رود (لشکری و همکاران، ۱۳۸۷؛ مهرشاهی و همکاران، ۱۳۸۸؛ رسولی و همکاران، ۱۳۸۹؛ امیدوار و همکاران، ۱۳۹۰؛ فرج‌زاده اصل و همکاران، ۱۳۹۰؛ نوحه‌گر و همکاران، ۱۳۹۱).

ده‌دوازده و صلاحی (۱۳۸۹) به بررسی آماری و سینوپتیکی گرد و خاک در استان فارس طی سال‌های ۱۹۹۳-۲۰۰۲ پرداختند و بیان کردند که در تراز سطح دریا وجود مرکز کم‌فشار روی عربستان و عراق به علت همراه‌نداشتن رطوبت با خود و وزش شدید باد از روی بیابان‌های عراق و عربستان، موجب انتقال ریزگردها به جو منطقه می‌شوند.

ریوندی و همکاران (۱۳۸۹) به تحلیل همدیدی تشکیل و انتشار توفان‌های گرد و غبار با استفاده از پارامترها و نقشه‌های هواشناسی پرداختند و نتیجه گرفتند که کم‌فشارهای مستقر روی عراق و شمال عربستان سبب ایجاد شرایط مناسب برای صعود حجم عظیمی از گرد و

برای دستیابی به اهداف، پس از بررسی آمارهای سازمان هواشناسی ایران در ایستگاه سینوپتیکی شیراز، بوشهر و فسا طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۹، شدیدترین و مداوم‌ترین توفان‌های گرد و غباری این ایستگاه‌ها که از تاریخ ۸ تا ۳۰ ژوئن به وقوع پیوسته است، بررسی شد. سپس، برای روزی که بیشترین گرد و غبار را داشت، داده‌های میدان دید، سرعت و جهت باد، رطوبت نسبی و بارش استخراج شد. برای رسم گل‌باد با استفاده از سرعت و جهت بادهای توفان‌ها از نرم‌افزار WRPLOT VIEW استفاده شد. در ادامه به منظور تحلیل سینوپتیکی توفان مزبور، اطلاعات داده‌های جو میانه و بالا از قبیل داده‌های فشار تراز دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، جهت باد، سرعت قائم، دمای سطحی و پروفایل رودباد جنب حاره از ارتفاع ۱۰۰۰ تا ۱۰۰ هکتوپاسکال از پایگاه داده NCEP/NCAR دریافت و الگوهای گردشی آن با استفاده از نرم‌افزار GRADS برای طول جغرافیایی ۰ تا ۸۰ و عرض جغرافیایی ۱۰ تا ۷۰ درجه ترسیم شد. برای مشخص کردن مسیر توفان‌های گرد و غبار از مدل رهگیری بسته‌های هوا HYSPLIT بهره‌گیری شده است. در مدل رهگیری، بسته‌های هوا (به‌منزله بسته‌های حامل ذرات گرد و غبار) در منطقه درگیر با این پدیده، از زمان بیشترین شدت گرد و غبار در ایستگاه‌های مطالعاتی با حرکت زمانی عقب‌گرد و جلوگرد ترسیم و بررسی شد.

۳. یافته‌ها و بحث

پژوهش حاضر شامل سه بخش عمده است که دربردارنده تحلیل آماری رخداد پدیده گرد و غبار با استفاده از پایگاه داده زمینی سازمان هواشناسی ایران، تحلیل سینوپتیک الگوهای جوی و اقلیمی موجد و انتقال‌دهنده گرد و غبار با استفاده از رویکرد گردشی به محیطی و داده‌های آماری جو میانه و پایین، ردیابی بسته‌های باد حامل ذرات گرد و غبار با استفاده از مدل HYSPLIT با روش‌های پس‌گرد و پیش‌گرد در ایستگاه‌های شیراز، بوشهر و فسا است. نتایج بررسی‌های بالا به صورت موارد زیر است.

بررسی و چهار منطقه آفریقای شمالی، خاورمیانه، مغولستان و شمال غرب چین را با فراوانی بالای رخداد گرد و غبار بیان کردند.

در این پژوهش که با هدف بررسی جامع ویژگی‌های شدیدترین موارد وقوع توفان‌های گرد و غبار طی سال‌های اخیر در ایستگاه‌های همدید شیراز، بوشهر و فسا انجام گرفته است، شرایط اقلیمی و سیستم‌های جوی منجر به پدیده گرد و غبار همراه گل‌باد این پدیده بررسی و در نهایت منشأ اصلی توفان‌های گرد و غبار با استفاده از مدل رهگیری جریان باد پایش شد.

۲. مواد و روش‌ها

در پژوهش حاضر سه ایستگاه شیراز، فسا و بوشهر مورد مطالعه قرار گرفته است که مشخصات آن‌ها به شرح زیر است: ایستگاه شیراز در موقعیت جغرافیایی ۲۹ درجه و ۳۲ دقیقه عرض شمالی و ۵۲ درجه و ۳۶ دقیقه طول شرقی قرار گرفته و ارتفاع متوسط آن از سطح دریا ۱۴۸۴ متر است. ایستگاه فسا در مختصات جغرافیایی ۲۸ درجه و ۵۸ دقیقه عرض شمالی و ۵۳ درجه و ۴۱ دقیقه طول شرقی قرار دارد و ارتفاع متوسط این ایستگاه ۱۲۸۸ متر از سطح دریا است. ایستگاه بوشهر در موقعیت جغرافیایی ۲۸ درجه و ۵۹ دقیقه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۵۰ دقیقه طول شرقی قرار گرفته و ارتفاع متوسط آن از سطح دریا ۱۹/۶ متر است (شکل ۱).



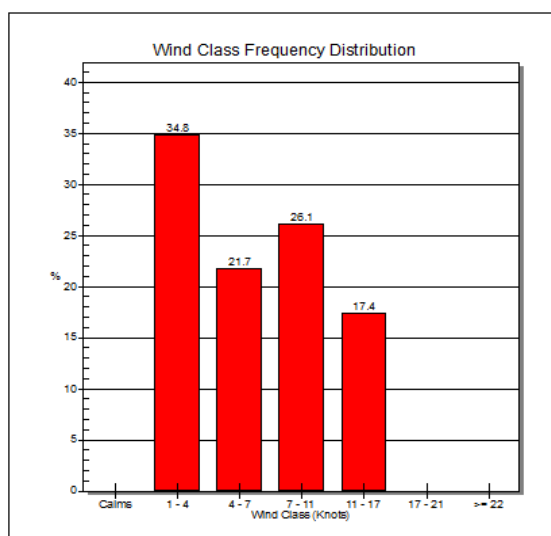
شکل ۱. موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه

۳.۱. واکاوی آماری پدیده گرد و غبار در منطقه

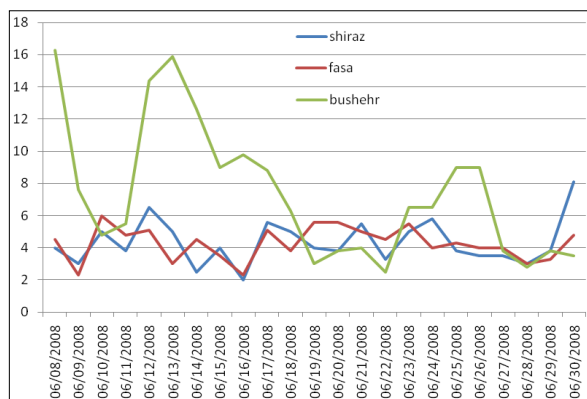
مورد مطالعه

با بررسی کدهای هوای حاضر سازمان هواشناسی ایران در محدوده جنوب کشور طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۹ شدیدترین توفان‌های گرد و غباری در ایستگاه‌های شیراز، فسا و بوشهر در ۸ تا ۳۰ ژوئن ۲۰۰۸ به وقوع پیوسته است. نمودار تغییرات سرعت باد در این دوره زمانی در ایستگاه‌های مطالعاتی نشان می‌دهد که سرعت باد در ایستگاه بوشهر دارای دامنه تغییرات زیادی است، در حالی که بررسی تغییرات میدان دید نیز دامنه تغییر بیشتری را در این ایستگاه نسبت به دو ایستگاه دیگر نشان می‌دهد (شکل‌های ۲ و ۳).

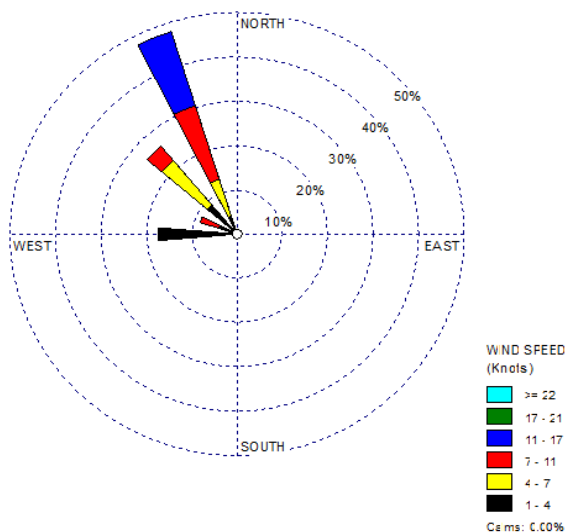
جهت غرب و جنوب‌غرب وزیده‌اند و سرعت ۵۶/۵ درصد از بادها بین ۷ تا ۱۱ نات (۳/۵ تا ۵/۵ متر بر ثانیه) بوده است. در ایستگاه بوشهر، حدود ۴۸ درصد از بادها در جهت شمال‌غرب وزیده‌اند و سرعت ۳۴/۸ درصد از بادها بین ۱ تا ۴ نات (۰/۵ تا ۲ متر بر ثانیه) بوده است. در ایستگاه فسا ۳۴ درصد بادها در جهت جنوب‌غرب وزیده‌اند و سرعت ۵۶/۵ درصد از بادها بین ۴ تا ۷ نات (۳/۵ تا ۵/۵ متر بر ثانیه) بوده است (شکل‌های ۴ تا ۹).



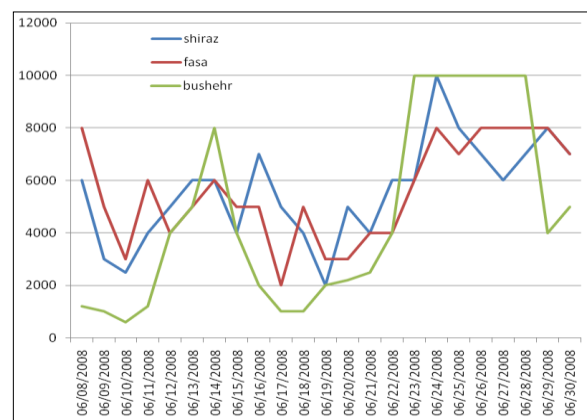
شکل ۴. طبقه‌بندی سرعت باد مربوط به توفان تحت بررسی در ایستگاه بوشهر



شکل ۲. نمودار تغییرات سرعت باد طی روزهای توفانی

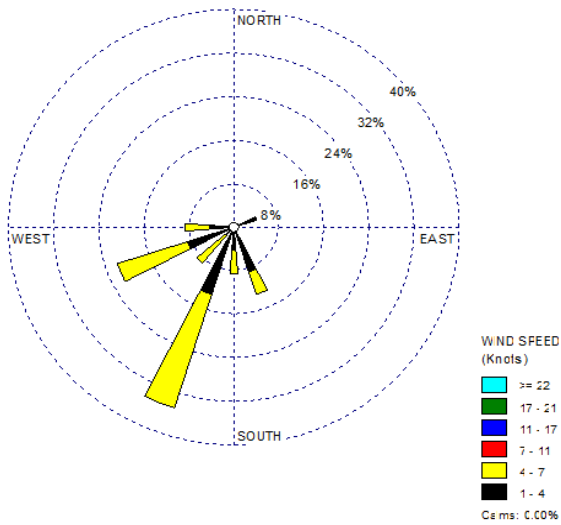


شکل ۵. گل‌باد مربوط به توفان تحت بررسی در ایستگاه بوشهر

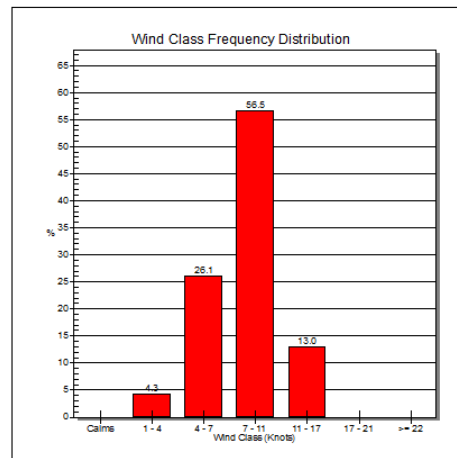


شکل ۳. نمودار تغییرات میدان دید طی روزهای توفانی

بررسی سرعت و جهت باد در زمان وقوع توفان نشان می‌دهد که در ایستگاه شیراز، حدود ۱۸ درصد از بادها در



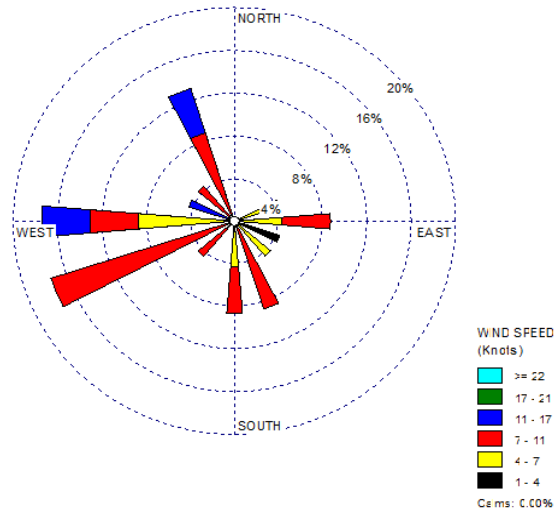
شکل ۹. گل‌باد مربوط به توفان تحت بررسی در ایستگاه فسا



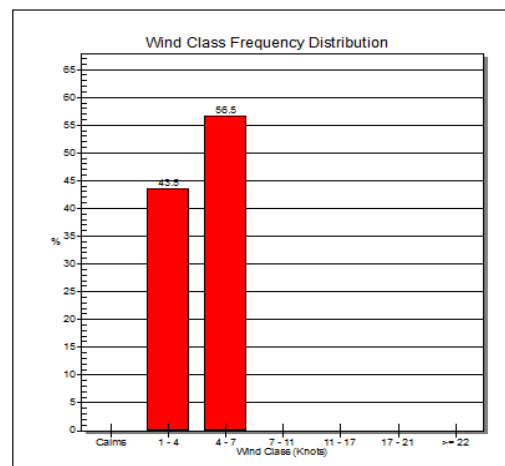
شکل ۶. طبقه‌بندی سرعت باد مربوط به توفان تحت بررسی در ایستگاه شیراز

۲.۳. الگوهای سینوپتیکی موجد و حامل گرد و غبار

نتایج تحلیل همدید شدیدترین پدیده گرد و غبار رخ داده در ایستگاه‌های مطالعاتی به صورت موارد زیر است. نقشه هم‌ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال حضور پرفشار آزر روی عربستان و شرق آفریقا با تراز مرکزی ۵۹۵۰ ژئوپتانسیل متر و یک کم‌فشار قوی در ترکیه با تراز مرکزی ۵۷۰۰ ژئوپتانسیل متر و کم‌فشار دیگری را روی غرب هند و جنوب دریای عمان با تراز مرکزی ۵۸۰۰ ژئوپتانسیل متر را نشان می‌دهد. نقشه فشار تراز سطح دریا نشان می‌دهد که پرفشار قوی روی اروپا و شمال دریای سیاه حضور دارد که زبانه آن تا شمال شرق آفریقا کشیده شده است. سامانه پرفشار دیگری روی دریاچه آرال و شمال دریای خزر با کنتور مرکزی ۱۰۲۰ هکتوپاسکال حاکمیت دارد. در مقابل یک سامانه کم‌فشار با سه هسته متفاوت در شرق ایران، روی شمال پاکستان و جنوب دریای عمان با کنتورهای مرکزی ۹۹۶ هکتوپاسکال حضور دارد که در منطقه با هم ادغام می‌شوند (شکل‌های ۱۰، ۱۱ و ۱۲).

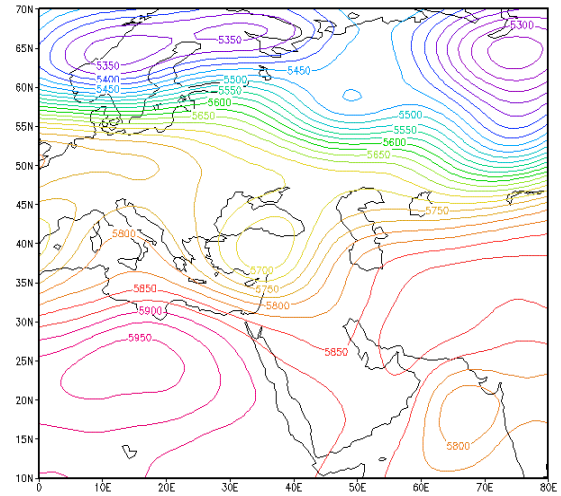


شکل ۷. گل‌باد مربوط به توفان تحت بررسی در ایستگاه شیراز

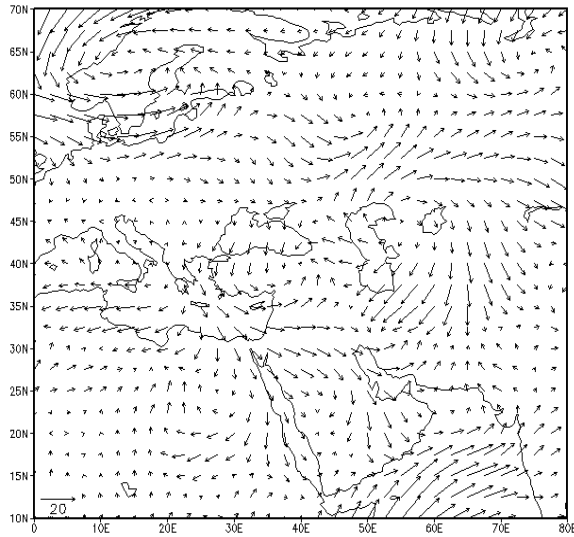


شکل ۸. طبقه‌بندی سرعت باد مربوط به توفان تحت بررسی در ایستگاه فسا

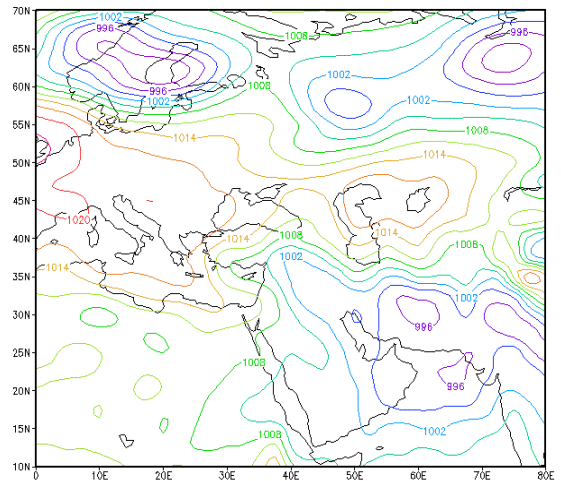
نقشه باد تراز سطح دریا نشان از حاکمیت بادهای غرب و شمال‌غرب در منطقه دارد که مسیر آن‌ها از شمال عربستان، ترکیه و عراق می‌گذرد (شکل ۱۳). نیمرخ رودباد جنب حاره حاکی از تشکیل هسته آن در تراز بالای ۴۰۰ هکتوپاسکال و حداکثر آن در تراز بین ۱۰۰ تا ۳۰۰ هکتوپاسکال است که زبانه‌هایی از آن در عرض‌های ۲۵ تا ۴۵ درجه و طول‌های ۴۵ تا ۶۵ درجه به زمین رسیده است (شکل‌های ۱۴ و ۱۵).



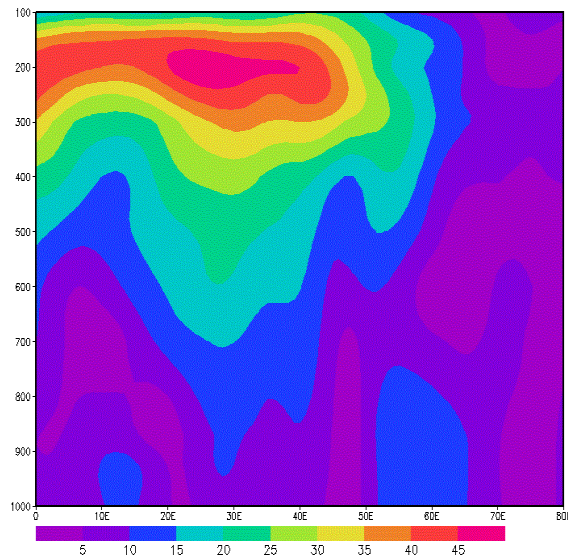
شکل ۱۰. نقشه فشار تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در ۲۰۰۸/۶/۱۰



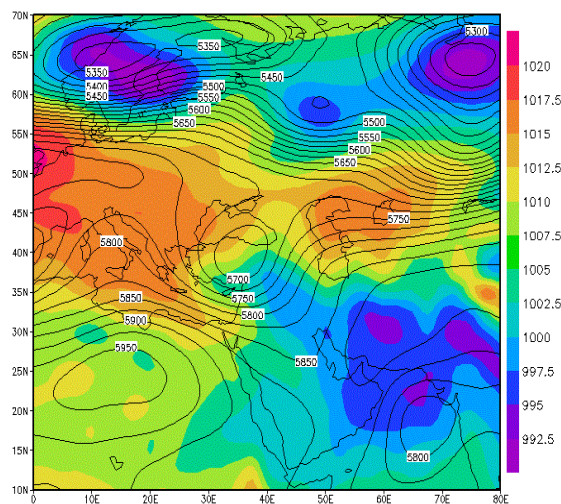
شکل ۱۳. نقشه بردار باد تراز دریا در ۲۰۰۸/۶/۱۰



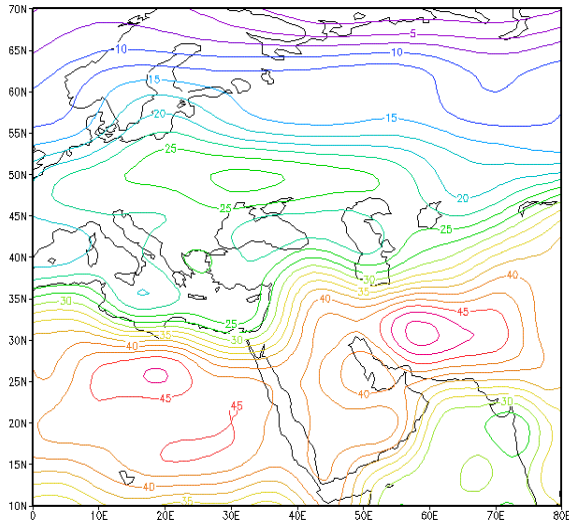
شکل ۱۱. نقشه فشار تراز دریا در ۲۰۰۸/۶/۱۰



شکل ۱۴. نیمرخ رودباد جنب حاره در طول ۵۰ درجه در ۲۰۰۸/۶/۱۰

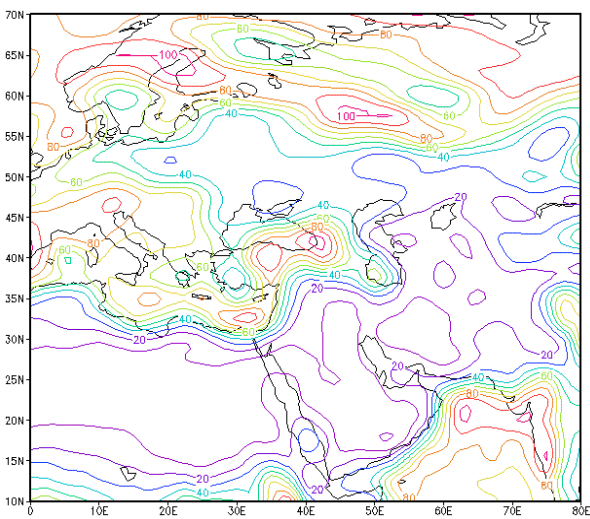


شکل ۱۲. نقشه تلفیقی فشار تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (منحنی) میزان و فشار تراز دریا (دامنه رنگ) در ۲۰۰۸/۶/۱۰

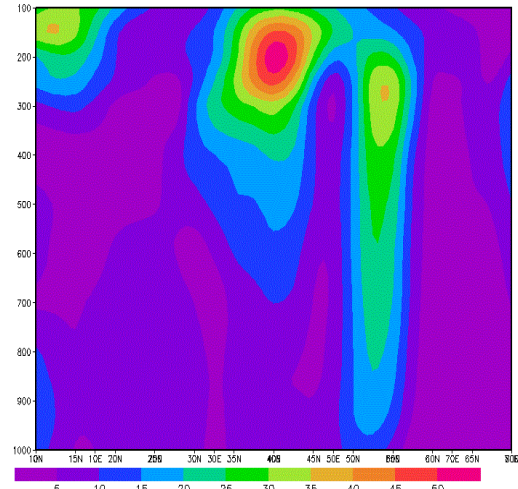


شکل ۱۷. نقشه همدمای تراز دریا در ۲۰۰۸/۶/۱۰

الگوهای مربوط به مقدار رطوبت در منطقه نشان از رطوبت نسبی ۱۰ درصد در ایران، عربستان، عراق و سوریه دارند (شکل ۱۸). همچنین، مقدار نم ویژه در منطقه بسیار کم و برابر حاکمیت کنتور ۰/۰۰۴ روی ایران، عربستان، عراق و سوریه است (شکل ۱۹). این موارد نیز بیانگر رطوبت حداقلی و خشکی بسیار بالاست که می‌تواند موجد یا تشدیدکننده گرد و غبارهای روز مورد مطالعه باشد.

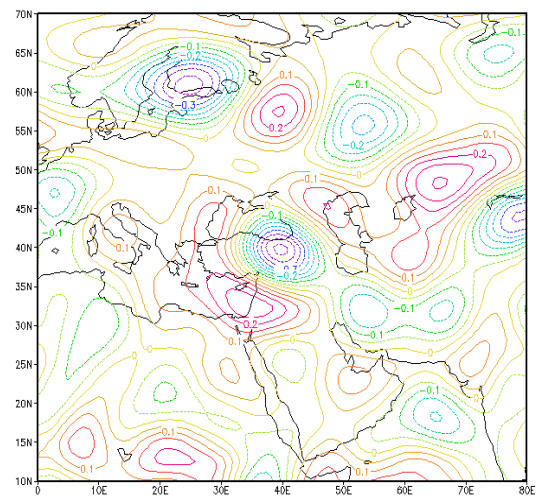


شکل ۱۸. نقشه نم نسبی تراز دریا در ۲۰۰۸/۶/۱۰



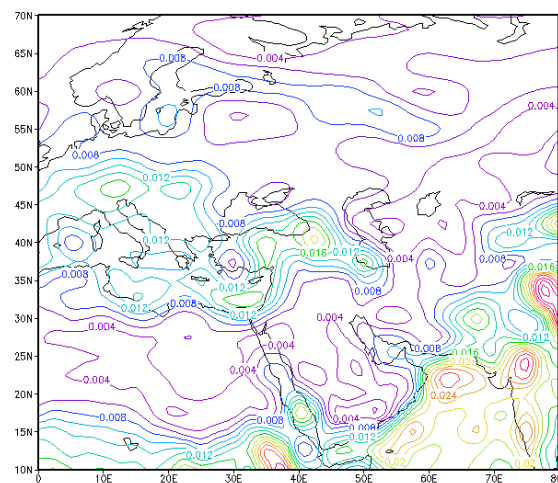
شکل ۱۵. نیم‌رخ رودباد جنب حاره در عرض ۳۵ درجه در ۲۰۰۸/۶/۱۰

نقشه سرعت قائم باد با کنتور مرکزی به مقدار ۰/۱- روی مناطق مرکزی ایران قرار دارد که نشان از جریان هوای پایین سو در منطقه دارد. همچنین، در شمال عربستان، عراق و سوریه هسته‌ای از جریان رو به بالا با کنتور مرکزی ۰/۲ حاکمیت دارد که بیانگر حرکات صعودی هوا در این مناطق است (شکل ۱۶). نقشه همدمای سطح دریا بیانگر استیلای منحنی ۵۰ درجه روی مرکز ایران و همدمای ۴۲/۵ درجه روی شرق عربستان است، علاوه بر این، منحنی‌های ۴۰ درجه روی عراق و سوریه تسلط دارند که مسبب افزایش دما و خشکی هوا در منطقه‌اند (شکل ۱۷).



شکل ۱۶. نقشه سرعت قائم تراز دریا در ۲۰۰۸/۶/۱۰

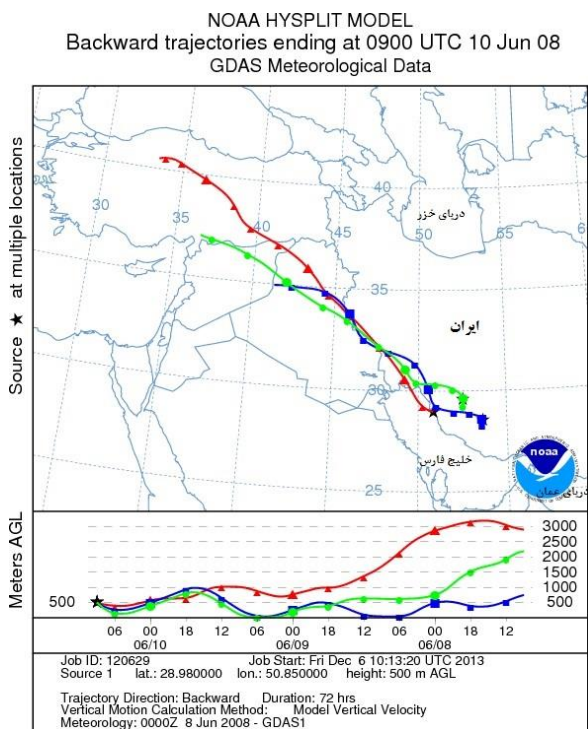
آغاز بازه زمانی ۶ ساعت و نقطه بعدی نشان‌دهنده خاتمه آن است. علامت ستاره روی خروجی‌های مدل نشان‌دهنده ایستگاه‌های گرد و غبار است که طول و عرض آن‌ها به مدل داده شده است. همچنین، مسیر باد رسیده به ایستگاه با رنگ‌های سبز، آبی و قرمز نشان داده شده است. ارتفاع نمایش داده شده در پایین هر نقشه که مسیرهای باد رسیده به ایستگاه‌ها از آن منشأ می‌گیرند نشان‌دهنده ارتفاع مسیر طی شده از سطح زمین است. اگر بسته‌های هوای رسیده به منطقه از مناطق مولد توده‌های گرد و غبار عبور کرده باشند، می‌توان آن را به منزله محل عبور توده‌های گرد و غبار شناسایی کرد. در این مطالعه سعی شده است فقط توده‌های گرد و غبار و کانون‌هایی بررسی شوند که مسیر رهگیری باد ختم شده و عبوری از آن به توفان گرد و غبار منجر شده است. با بررسی و تحلیل شکل ۲۰ مشاهده می‌شود که گرد و غبار در منطقه از شمال غرب عراق و شرق سوریه سرچشمه گرفته است و شکل ۲۱ نیز نشان می‌دهد که این بسته باد در حرکت رو به جلو به سمت مرکز و شمال ایران پیش‌روی می‌کند.



شکل ۱۹. نقشه نم و ویژه تراز دریا در ۲۰۰۸/۶/۱۰

۳.۳. ردیابی جریان باد حامل ذرات گرد و غبار

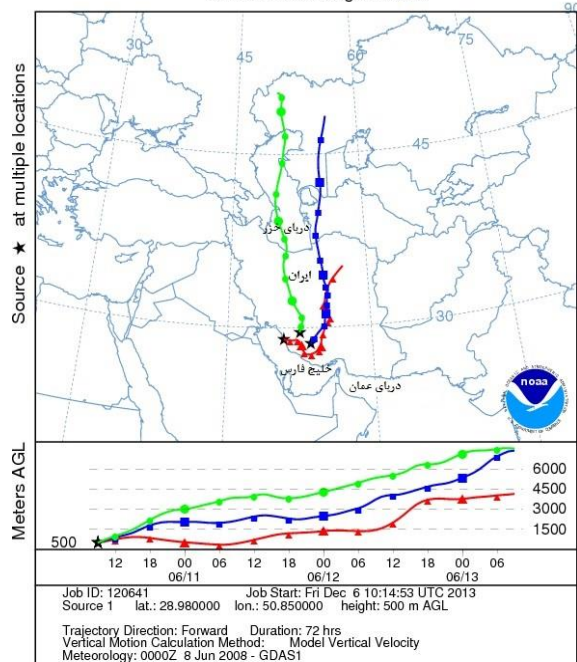
فاکتور میدان دید نشان‌دهنده کاهش شدید میدان دید در ۱۰ ژوئن ۲۰۰۸ بوده است. در این روز با استفاده از مدل رهگیری جریان باد و روش‌های خط سیر عقب‌گرد و جلوگرد، رهگیری بسته‌های باد انجام شد. رهگیری جریان باد با روش عقب‌گرد از شهرهای شیراز، فسا و بوشهر در غرب ایران و در ساعت ۹ صبح ۱۰ ژوئن ۲۰۰۸ شروع و با عقب‌رفتن در زمان به مدت ۷۲ ساعت ادامه یافت. در این روز بخش اعظم مناطق جنوب و جنوب غربی ایران تحت تأثیر بسته‌های هوایی قرار گرفتند که از شمال غرب عراق و شرق سوریه سرچشمه گرفته بودند (شکل ۲۰). از این رو می‌توان گفت توده‌های گرد و غبار از غرب عراق و شرق سوریه سرچشمه گرفته‌اند که با جهتی نسبتاً شمال غربی - جنوب شرقی در کل منطقه در حرکت بودند. رهگیری جریان باد با روش جلوگرد نیز از شهرهای شیراز، فسا و بوشهر در ۹ صبح ۱۰ ژوئن ۲۰۰۸ شروع شد و با جلو رفتن در زمان به مدت ۷۲ ساعت ادامه یافت. این جریان نشان می‌دهد که بسته‌های هوا و توده‌های گرد و غبار همراه آن‌ها پس از گذر از مناطق جنوب غربی ایران به مناطق مرکزی و شمال ایران خواهند رسید (شکل ۲۱). در نقشه‌های حاصل از این مدل هر نقطه روی مسیرهای ختم شده به ایستگاه که ممکن است بر اساس خروجی و انتخاب نوع مدل - مربع، مثلث یا دایره - باشد، نشان‌دهنده



شکل ۲۰. رهگیری جریان باد رو به عقب در ۱۰ ژوئن ۲۰۰۸

ایستگاه‌های مورد مطالعه دارد که با توجه به اینکه نقشه‌های هم‌دما بیانگر منحنی ۵۰ درجه روی مرکز ایران و منحنی‌های ۴۰ درجه روی عراق و سوریه است سبب افزایش دما و خشکی هوا در منطقه شده است. مقدار نم ویژه در منطقه بسیار کم و برابر حاکمیت کنتور ۰/۰۰۴ روی ایران، عراق و سوریه است. این موارد بیانگر رطوبت حداقلی و خشکی بسیار بالاست که می‌تواند موجب یا تشدیدکننده گرد و غبارهای منطقه مورد مطالعه باشد. نتایج سایر مطالعات نظیر ذوالفقاری و عابدزاده (۱۳۸۴)، حیدری (۱۳۸۶)، رئیس‌پور (۱۳۸۷)، طاووسی و همکاران (۱۳۸۹) و خوشحال و همکاران (۱۳۹۱)، نیز مبین این مطلب است که همراهی شرایط بالا در قالب سامانه‌های گردشی اتمسفری در صورت فقدان رطوبت سبب افزایش خشکی، ایجاد و تقویت توفان‌های گرد و غبار در کشور می‌شود. منابع گرد و غبار ایران از صحرای سوریه (نزدیک مرزهای غربی عراق) و عراق (منطقه موصل تا بحرالمح است) است (ذوالفقاری و عابدزاده، ۱۳۸۴؛ میهن‌پرست و همکاران، ۱۳۸۸؛ عطایی و همکاران، ۱۳۸۹). با توجه به نتایج ردیابی مسیر بادهای حامل گرد و غبار که با استفاده از مدل HYSPLIT انجام گرفته است مشخص شد که منشأ اصلی گرد و غبار منطقه از شمال‌غرب عراق و شرق سوریه است که ضمن طی مسیر مشخص وارد ایران شده و منطقه را تحت تأثیر قرار داده است. با بررسی و تحلیل موارد مشابه گرد و غباری در منطقه می‌توان شرایط منجر به وقوع چنین توفان‌هایی را شناخت و برای پیشگیری و مقابله با آن استفاده کرد. با بررسی موارد بیشتری از توفان‌های گرد و غبار با چنین مقیاسی می‌توان با قطعیت بیشتری نسبت به منشأیابی آن اقدام کرد. با توجه به نتایج این پژوهش که به بررسی ارتباط بین الگوهای سینوپتیکی بزرگ‌مقیاس و تنوع مکانی-زمانی فعالیت‌های گرد و غبار در ایران با استفاده از نقشه‌های سینوپتیکی الگوهای گردشی فشار تراز دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل ۵۰۰ هکتوپاسکال، داده‌های جهت باد، سرعت قائم، دمای

NOAA HYSPLIT MODEL
Forward trajectories starting at 0900 UTC 10 Jun 08
GDAS Meteorological Data



شکل ۲۱. رهگیری جریان باد رو به جلو در ۱۰ ژوئن ۲۰۰۸

۴. نتیجه‌گیری

توفان‌های گرد و غبار با توجه به ماهیت بزرگ‌مقیاس خود به بررسی جامعی نیاز دارند که ضمن شناخت عوامل تأثیرگذار در افزایش این پدیده، مناطق مولد آن نیز باید شناخته شوند تا در نهایت به اقدامات عملی برای کاهش آن منجر شود. بررسی توفان گرد و غبار ۱۰ ژوئن ۲۰۰۸ که از شدیدترین موارد گرد و غبار طی سال‌های اخیر است می‌تواند موجب شناخت مناسبی از الگوهای جوی منجر به این پدیده شود و ردیابی بادهای حامل ذرات گرد و غبار را فراهم کند. با بررسی الگوهای جوی طی روزهای این توفان می‌توان نتیجه گرفت که حضور پرفشار آزر روی عربستان و شرق آفریقا و یک کم‌فشار قوی در سوریه و از طرفی حاکمیت بادهای غرب و شمال‌غرب در منطقه که مسیر آن‌ها از شمال عربستان و عراق می‌گذرد سبب شده است که سامانه گرد و غباری در منطقه شکل گیرد. در شمال عربستان، عراق و سوریه هسته‌ای از جریان رو به بالا حاکمیت دارد که نشان‌دهنده حرکات صعودی است. نقشه سرعت قائم باد نشان از جریان هوای پایین سو در

مخرب زیست‌محیطی طراحی و ارائه کرد. همچنین، استفاده از قابلیت تصاویر ماهواره‌ای و بررسی گرد و غبار از روی این تصاویر نیز می‌تواند زمینه‌ساز پژوهش‌های آینده قرار گیرد.

سطحی با داده‌های زمینی گرد و غبار ایستگاه‌های مورد مطالعه و مدل رهگیری جریان باد پرداخته است، می‌توان نتیجه گرفت که با اجماع متخصصان در رشته‌های مختلف می‌توان مدل‌های دینامیکی را برای پیش‌بینی این پدیده

منابع

- احمدی، ح. ۱۳۸۷. ژئومورفولوژی کاربردی، بیابان- فرسایش بادی، جلد ۲، چاپ سوم، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.
- اختصاصی، م. ر.، احمدی، ح.، خلیلی، ع.، صارمی‌نائینی، م. ع.، رجبی، م. ر. ۱۳۸۵. کاربرد گل‌غبار، گل‌طوفان و گل‌ماسه در تحلیل فرسایش بادی و تعیین جهت حرکت ماسه‌های روان (مطالعه موردی، حوزه دشت یزد- اردکان)، نشریه دانشکده منابع طبیعی، جلد ۵۹، شماره ۳، صص ۵۳۳-۵۴۱.
- آذر نیوند، ح.، ملکیان، آ. ۱۳۸۸. بوم‌شناسی مناطق بیابانی، چاپ اول، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.
- امیدوار، ک.، نکونام، ز. ۱۳۹۰. کاربرد گل‌باد و گل‌غبار در تحلیل پدیده گرد و خاک و تعیین رژیم فصلی بادهای همراه با این پدیده (مطالعه موردی: شهر سبزوار)، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۶، صص ۸۵-۱۰۴.
- ایرانمنش، ف.، عرب‌خدری، م.، اکرم، م. ۱۳۸۴. بررسی مناطق برداشت ذرات گرد و غبار و ویژگی‌های انتشار آن‌ها در طوفان‌های منطقه سیستان با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای، مجله پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، شماره ۶۷، صص ۲۵-۳۳.
- ترابی‌میرزایی، ف.، حیدری، م.، تجملیان، م. ۱۳۸۹. طوفان‌های گرد و غبار به عنوان یکی از عوامل کشنده قرمز در محیط‌زیست دریا، دومین همایش فرسایش بادی و طوفان‌های گرد و غبار، ۲۷ و ۲۸ بهمن‌ماه، دانشگاه یزد.
- جعفری، م.، طویلی، ع. ۱۳۸۹. احیای مناطق خشک و بیابانی، چاپ سوم، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.
- حیدری، م. ط. ۱۳۸۶. غبار و الگوی جوی مولد آن در غرب کشور، نشریه هواشناسی کرمانشاه، تابستان ۱۳۸۶، ص ۱۲.
- خسروی، م. ۱۳۸۹. بررسی توزیع عمودی گرد و غبار ناشی از طوفان در خاورمیانه با استفاده از مدل NAAPS (مورد: سیستان ایران)، مجموعه مقالات چهارمین کنگره بین‌المللی جغرافیدانان جهان اسلام (ICIWG2010).
- خسروی، م. ۱۳۸۷. تحلیل فضایی آلاینده‌های گرد و غبار ناشی از بادهای ۱۲۰ روزه سیستان با استفاده از داده‌های سنجنش از دور (دوره ۲۰۰۱-۲۰۰۸). مجموعه مقالات همایش ملی بهداشت محیط، آبان ۱۳۸۷.
- خوشحال‌دستجردی، ج.، موسوی، س. ح.، کاشکی، ع. ۱۳۹۱. تحلیل هم‌دید طوفان‌های گرد و غبار ایلام (۱۹۸۷-۲۰۰۵)، فصلنامه جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۳، شماره ۴۶، صص ۱۵-۳۴.
- دهدازاده، م.، صلاحی، ب. ۱۳۸۹. بررسی آماری و تحلیلی بر الگوهای هم‌دید مولد گرد و خاک در استان فارس در سال‌های ۱۹۹۳-۲۰۰۲، مجموعه مقالات دومین همایش ملی فرسایش بادی و طوفان‌های گرد و غبار، ۲۷ و ۲۸ بهمن‌ماه، دانشگاه یزد.
- ذوالفقاری، ح.، عابدزاده، ح. ۱۳۸۴. تحلیل سینوپتیک سیستم‌های گرد و غبار در غرب ایران، مجله جغرافیا و توسعه، شماره ۶، صص ۱۷۳ تا ۱۸۷.

- ذوالفقاری، م.، هاشمی، م. ن. ۱۳۸۹. بررسی سینوپتیکی و دینامیکی پدیده گرد و غبار مورخه چهاردهم تا هفدهم تیرماه ۱۳۸۸ کشور، مجموعه مقالات دومین همایش ملی فرسایش بادی و طوفان‌های گرد و غبار، ۲۷ و ۲۸ بهمن‌ماه، دانشگاه یزد، ص ۲۴.
- رئیس‌پور، ک. ۱۳۸۷. تحلیل آماری و همدید پدیده گرد و غبار در استان خوزستان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، استاد راهنما: تقی طاوسی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، گروه اقلیم‌شناسی.
- رسولی، ع. ا.، ساری‌صراف، ب.، محمدی، غ. ج. ۱۳۸۹. تحلیل روند اقلیمی گرد و غبار در غرب کشور در ۵۵ سال اخیر با استفاده از روش‌های آماری ناپارامتری، فصل‌نامه جغرافیایی طبیعی، سال سوم، شماره ۹، صص ۱۵-۲۸.
- ریوندی، ا.، میررکنی، م.، پورپنجاه، م.، معاریان، م.، محمدی‌ها، ا. ۱۳۸۹. بررسی و تحلیل سینوپتیکی تشکیل و انتشار طوفان‌های گرد و خاک ورودی از غرب ایران با استفاده از پارامترها و نقشه‌های هواشناسی، مجموعه مقالات دومین همایش ملی فرسایش بادی و طوفان‌های گرد و غبار، ۲۷ و ۲۸ بهمن‌ماه، دانشگاه یزد.
- طاوسی، ت.، خسروی، م.، رئیس‌پور، ک. ۱۳۸۹. تحلیل همدیدی سامانه‌های گرد و غباری در استان خوزستان، فصلنامه جغرافیا و توسعه، شماره ۲۰، صص ۹۷-۱۱۸.
- عطایی، ه.، احمدی، ف. ۱۳۸۹. بررسی گرد و غبار به عنوان یکی از معضلات زیست‌محیطی جهان اسلام (مطالعه موردی: استان خوزستان)، چهارمین کنگره بین‌المللی جغرافیدانان جهان اسلام.
- فرج‌زاده اصل، م.، عزیززاده، خ. ۱۳۹۰. تحلیل زمانی و مکانی طوفان‌های گرد و خاک در ایران، مجله مدرس علوم انسانی- برنامه‌ریزی و آمایش فضا، دوره ۱۵، شماره ۱، صص ۶۵-۸۴.
- لشکری، ح.، کیخسروی، ق. ۱۳۸۷. تحلیل آماری سینوپتیکی طوفان‌های گرد و غبار استان خراسان رضوی در فاصله زمانی (۱۹۹۳-۲۰۰۵)، پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی، شماره ۶۵، صص ۱۷-۳۳.
- مهرشاهی، د.، نکونام، ز. ۱۳۸۸. بررسی آماری پدیده گرد و غبار و تحلیل الگوی وزش بادهای غبارزا در شهرستان سبزوار، مجله جغرافیا، سال هفتم، شماره ۲۲، صص ۸۳-۱۰۴.
- میهن‌پرست، م.، رنجبر سادت‌آبادی، ع.، مشکوتی، ا. ح. ۱۳۸۸. مطالعه نقش گرادیان فشار و ناوه ۸۵۹ هکتوپاسکالی در ایجاد و انتقال پدیده گرد و غبار تابستانی نیمه غربی کشور، دوازدهمین کنفرانس دینامیک شاره‌ها.
- نوحه‌گر، ا.، خورانی، ا.، تمسکی، ا. ۱۳۹۱. تحلیل آماری وقوع طوفان‌های گرد و غبار در ایستگاه هواشناسی سر پل ذهاب، مجموعه مقالات اولین همایش ملی بیابان (علوم، فنون و توسعه پایدار).

Al Sarraf, H. 2010. Relationship between the land/sea breeze circulations and the air pollution dispersion over the coastal area of Kuwait. The Thesis Submitted to the Faculty of the Graduate School of the Creighton University, For the Degree of Master of Science in the Department of Atmospheric Sciences.

Barkan, J., Alpert, P., Kutiel, H., Kishcha, P. 2005. Synoptic of dust transportation days from Africa toward Italy and central Europe, Journal of Geophysical Research, Vol. 110, Pp. 1-14.

Barry, R.G., Perry, A.H. 1973. Synoptic Climatology Methods and Applications. Methuen & Co Ltd: London.

Draxler, R.R., Hess, G.D. 1998. An overview of the HYSPLIT_4 modelling system for trajectories, dispersion, and deposition. Australian Meteorological Magazine: 47, Pp. 295-308.

Draxler, R.R., Rolph, G.D. 2003. HYSPLIT (HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) Model Access via the NOAA ARLREADY Website. NOAA Air Resour. Lab., Silver Spring, Md. Available at: <http://www.arl.noaa.gov/ready/hysplit4.html>.

Hamish, M., Andrew, C. 2008. Identification of dust transport pathways from Lake Eyre, Australia using Hysplit, Atmospheric Environment, Volume 42, Issue 29, Pp. 6915-6925.

Schlesinger, P., Mamane, Y., Grishkan, I. 2006. Transport of microorganisms to Israel during Saharan dust events, Aerobiologia: 22(4), Pp. 259-273.

Wang, Y., Stein, A., Draxler, R., Rosa, D., and Zhang, X. 2011. Global sand and dust storms in: Observation and HYSPLIT model verification, Atmospheric Environment: 45, Pp. 6368-6381.