

تحلیل همدیدی گرد و غبار نیمه گرم سال در استان خراسان جنوبی

زهرا احمدی

دانشجوی کارشناسی ارشد اقلیم شناسی دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

رضا دوستان*

استادیار اقلیم شناسی دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

عباس مفیدی

استادیار اقلیم شناسی دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۳/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۸/۱۸

چکیده

گرد و غبار اولین مخاطره طبیعی در مناطق بیابانی و نیمه بیابانی جهان و ایران است. به منظور شناسایی روزهای گرد و غبار خراسان جنوبی، داده‌های روزانه میزان دید افقی، سرعت و جهت باد در فصل بهار و تابستان برای دوره ۱۹۹۱-۲۰۰۸ از سازمان هواشناسی دریافت شد. در ادامه بر اساس شاخص شایو و دونگ، روزهای همراه با گرد و غبار شناسایی گردید. به منظور تعیین الگوی جوی منجر به گرد و غبار، داده‌های روزانه ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال از مرکز ملی پیش بینی محیطی امریکا/ مرکز ملی پژوهش‌های جوی (NCEP/NCAR)، تهیه شد. در این مطالعه برای تعیین الگوهای فشار، روش تحلیل مؤلفه اصلی در حالت s و خوشه بندی سلسله مراتبی با حالت وارد (ward) استفاده گردید. در مرحله بعد، نقشه‌های ترکیبی (کامپوزیت) تاوایی نسبی، ارتفاع ژئوپتانسیل، الگوی جریان و فشار سطح دریا برای هر الگو تهیه و تحلیل شد. نتایج نشان داد، دو الگوی همدیدی غالب به ترتیب، الگوی تابستانه با زبانه پرارتفاع جنب حاره بر روی ایران و کم ارتفاع بر روی پاکستان در سطوح بالای جو و اختلاف فشار بین جنوب شرق ایران (کم فشار) و دریای خزر (پرفشار) در سطح زمین می‌باشد. در این الگو جریان باد از شرق دریای خزر و بیابان‌های ترکمنستان به جنوب شرق ایران با عبور از سرزمین‌های خشک و کویرهای شرقی ایران، گرد و غبار را موجب می‌شود. این شرایط جوی در ارتباط با وزش باد ۱۲۰ روزه سیستان و بلوچستان در شرق ایران می‌باشد. همچنین در الگوی بهار، وجود تراف بادهای غربی در مرکز و غرب ایران در سطوح بالای جو و کم فشار در سطح زمین بر روی منطقه مورد مطالعه، شرایط جوی ناپایدار در بابان‌های مرکزی ایران و غرب استان را موجب شده که این جریان‌ها با خود ذرات گرد و غبار را منتقل و میزان دید را کاهش می‌دهند. همچنین اختلاف فشار شدیدتر بین مراکز درالگوهای فوق، منجر به طوفان گرد و غبار در استان خراسان جنوبی می‌شود.

واژگان کلیدی: گرد و غبار، خراسان جنوبی، تحلیل مؤلفه اصلی، خوشه بندی.

* Email: doostan@um.ac.ir

مقدمه

سیاره زمین از بدو پیدایش، دستخوش مخاطرات بسیاری بوده است. در سال‌های اخیر، وقوع مخاطرات طبیعی در سطح کره زمین افزایش داشته است. در این بین مخاطرات ناشی از مداخله عوامل و عناصر جوی کرد آشکاری داشته و آسیب‌های جانی و مالی فراوانی در مناطق مختلف ایجاد کرده‌اند (کریمی احمد آباد، ۱۳۹۰: ۱۱۴). در این راستا نیاز انسان به زیستن در محیط مناسب و کاهش آسیب‌های ناشی از این مخاطرات، او را وادار می‌کند که عوامل، عناصر و نیروهای طبیعت را به طور دقیق مورد بررسی قرار دهد. بی شک انسان از ابتدا با خطرهای ناشی از عوامل طبیعی مواجه بوده و یکی از این خطرهای ناگوار و حوادث طبیعت، پدیده گرد و غبار می‌باشد که در ردیف یکی از زیان‌بارترین بلایای طبیعی قرار گرفته و مشکلات انسانی و محیطی فراوانی را بوجود می‌آورد. غبار از نظر صاحب نظران، ذره‌های ریز جامد با خاستگاه طبیعی و یا انسانی که در سراسر جو یافت می‌شود تعریف می‌گردد و در شرایط مساعد نقش هستک‌های تراکمی را برای پیدایش ابر و باران بازی می‌کند (وستول، ۱۹۹۹: ۵۷). ضرورت بررسی پدیده گرد و غبار به لحاظ پیامدهای زیان‌باری است که در جوامع انسانی ایجاد می‌کند که از بین آنها می‌توان به کاهش رشد و بازدهی محصول‌های کشاورزی، تشدید آسیب‌های ناشی از بروز آفت‌ها و بیماری‌های گیاهی، افزایش تصادف‌های جاده‌ای به علت کاهش قدرت دید، لغو پروازها و آسیب‌های مالی ناشی از آن، افزایش هزینه‌های درمان، افزایش کدورت در تأسیسات آبی، افزایش مصرف آب برای شستشو، تعطیلی واحدهای صنعتی، خدماتی، آموزشی و زبان‌های مالی وارده، مشکلات روحی و روانی انسان‌ها اشاره کرد. کشورهای واقع در کمربند خشک و نیمه خشک جهان از جمله ایران، همواره با پدیده گرد و غبار درگیر بوده‌اند. چنان‌که هر سال حدود ۵۰۰ میلیون تن گرد و غبار در جو پخش می‌شود، که صحرای بزرگ آفریقا به تنهایی ۳۰۰ میلیون تن گرد و غبار در جو زمین رها ساخته و گرد و غبارهای جوی می‌توانند تا ۴۰۰۰ کیلومتر دورتر از منشأ تشکیل نیز جابجا شود (کوئیل، ۲۰۰۳: ۴۱۹). در ایران نیز گرد و غبار و طوفان‌های گرد و غباری همه ساله خسارات مالی و جانی زیادی را بر انسان و محیط تحمیل می‌کند. در چند سال گذشته، وقوع طوفان گرد و غبار با تداوم چندین هفته‌ای و غلظت بسیار بالا که مناطق وسیعی را پوشش داده، موجب مختل شدن جدی زندگی مردم شده است. این پدیده، علاوه بر این‌که فعالیت‌های انسانی را کاهش داده، به خاطر ریز بودن اندازه ذرات معلق در طوفان، امکان بروز بیماری‌های متعدد تنفسی، ریوی، چشمی و پوستی را افزایش داده است. استان خراسان جنوبی یکی از استان‌های بیابانی کشور است که در مجموع ۸/۸۵ درصد از مساحت این استان را بیابان و عرصه‌های بیابانی تشکیل می‌دهند (اداره کل منابع طبیعی استان خراسان جنوبی، ۱۳۸۶). چنان‌که هر ساله آسیب‌های زیادی از این مخاطره را تجربه می‌کند، از آن-جمله فرسایش بادی سالانه صد و چهل هزار و نهصد و یک میلیون ریال به منابع زیستی و اقتصادی این استان خسارت می‌زند (اداره کل منابع طبیعی استان خراسان جنوبی، ۱۳۸۶). در سال‌های اخیر در ایران و جهان مطالعات زیادی در این زمینه انجام شده است، از آن‌جمله گودی و میدلتون (۲۰۰۱)، معتقدند که صحرای آفریقا بیش از هر بیابان دیگری در دنیا گرد و غبار تولید می‌کند. آنها شمال شرق موریتانی، غرب کشور مالی و جنوب الجزایر را مناطق مهم تولید گرد و غبار در

آفریقا می‌دانند. کوتیل و فورمن (۲۰۰۳) در زمینه طوفان‌های گردوغبار در آفریقا مطالعاتی را انجام داده‌اند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که هر ساله نزدیک به ۱۰۸ تن ذره‌های گرد و غبار وارد جو می‌شود که بیشترین سهم از این گرد و غبارها مربوط به قاره آفریقا است. به نظر ایشان، حرکت توده گرد و غبار در طول سال در محدوده خاورمیانه از شمال غرب به سمت جنوب شرق می‌باشد. بارکان (۲۰۰۸)، با بررسی الگوهای سینوپتیک سطح ۵۰۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال برای دوره‌های همراه با گرد و خاک و بدون گرد و خاک در صحرای آفریقا، نشان داد که تفاوت معناداری در متغیرهای جوی بین دو دوره فوق وجود دارد. در سال‌های با گرد و خاک زیاد در فصل‌های پاییز، بهار و تابستان اروپای غربی، جریان سیکلونی قوی در شمال غربی آفریقا، انتقال سرمای شدید و کاهش ارتفاع ژئوپتانسیلی در این منطقه را باعث می‌شود ولی در شرق و مرکز صحرا و مرکز مدیترانه، جریان آنتی سیکلونی غلبه داشته و گرمای نسبتاً بالا، همراه با افزایش ارتفاع ژئوپتانسیلی مشهود است. گری و همکاران (۲۰۰۲)، به بررسی و تحلیل طوفان‌های گرد و خاک از سال ۱۹۹۹-۱۹۳۷، در مغولستان پرداخته و با ترسیم نقشه فراوانی طوفان‌های گرد و غبار نشان داد، تعداد طوفان‌های کمتر از ۵ روز در کوهستان‌های آلتای، خنتی، خانگایی اتفاق می‌افتد و در صحرای گبی و نواحی نیمه بیابانی تعداد طوفان‌ها در سال بین ۳۷-۲۰ مورد است و ۶۱ درصد طوفان‌ها در فصل بهار اتفاق می‌افتد. همچنین دایان و همکاران (۲۰۰۸)، سیستم‌های سینوپتیکی منجر به پدیده گرد و غبار در جنوب شرقی مدیترانه را بررسی کرده و نتایج نشان داد که بیشتر گرد و غبارها توسط سه سیستم سینوپتیکی، کم فشار قبرس، کم فشار صحرا، ترفای دریای سرخ ایجاد می‌شوند. حسینی (۱۳۷۹)، با استفاده از نقشه‌های سینوپتیکی و شاخص‌های ناپایداری، بادهای بیش از ۲۰ نات، تهران را مطالعه کرده و نتایج نشان داد، وزش بادهای شدید ناشی از وجود دو مرکز کم فشار بسته شده ۱۰۰۴ هکتوپاسکال در حوالی منطقه مورد مطالعه، حاکمیت هوای سرد جبهه سرد و همجوار بودن با منطقه کویر بوده است. در ادامه براتی و همکاران (۱۳۸۸)، نقش همگرایی سامانه‌های فشار بر رخداد طوفان‌های غباری استان خوزستان را مورد بررسی قرار دادند. آنها در این پژوهش به بررسی میزان افق دید از صفر تا ۱۰۰۰۰ متر در مجموعه ۶ ایستگاه هوا سنجی از استان خوزستان طی سال‌های ۱۳۷۸-۱۳۷۴، پرداختند. نتایج نشان داد نزدیک شدن هم‌زمان دو سامانه کم فشار ایران-پاکستان و سامانه پر فشار آזור به ترتیب از خاور و باختر عامل اصلی وقوع این پدیده می‌باشد. همچنین نتایج نشان‌گر وقوع ۲۸۸ طوفان غباری بوده که عمدتاً در دوره گرم سال (اردیبهشت تا مهر ماه) رخ دادند. در پژوهشی دیگر پراکندگی زمانی و مکانی طوفان‌های گرد و خاک در ایران مطالعه شد. برای این کار داده‌های آماری روزانه گرد و خاک از سازمان هواشناسی کشور دریافت و فراوانی آنها به صورت سالیانه و ماهیانه محاسبه و نقشه پراکندگی مکانی طوفان‌ها تهیه و تحلیل شد. نتایج حاصل از بررسی سالیانه پدیده گرد و خاک معلق در هوانشان می‌دهد که ایستگاه زابل با میانگین فراوانی ۱۸۳ روز بیشترین تعداد روزها و بعد از آن زاهدان، بوشهر، طبس، بندرعباس، جاسک، ایرانشهر، همدان، اهواز به ترتیب بیشترین فراوانی را دارند. از نظر فراوانی ماهانه بیشترین فراوانی مربوط به ماه جولای و کمترین فراوانی مربوط به ماه دسامبر است (فرج زاده و همکاران، ۱۳۸۹). امیدوار در پژوهشی به بررسی و تحلیل سینوپتیکی طوفان‌های ماسه در دشت یزد -

اردکان پرداخته و با استفاده از نقشه‌های سینوپتیکی سطح زمین و ترازهای ۸۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال داده‌های سمت و سرعت باد، دید افقی، رطوبت، دما، فشار و گرد و غبار ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه در دوازده دوره انتخابی نمونه نتیجه گرفت که در کم فشارهای دینامیک که با جبهه سرد همراه هستند، جریان‌های قائم هوا سبب ناپایداری شدید جو و ایجاد طوفان‌های شدید ماسه در منطقه می‌گردد. همچنین عبور یا نزدیک شدن ناوه به غرب منطقه مورد مطالعه موجب طوفان می‌شود. در ادامه طوفان‌های گرد و غبار در مناطق غربی ایران طی سال‌های ۱۳۸۴ تا ۱۳۸۸ تحلیل همدیدی شدند. برای این کار ۱۰ موج گرد و غباری مهم انتخاب و مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج حاکی از این است که در تمام موارد استقرار یک سامانه کم فشار بر منطقه خاورمیانه و تقویت شرایط ناپایداری در سطح بیابان‌ها و همچنین تأثیر هماهنگ یک موج کم فشار دینامیک بر فراز جو منطقه، زمینه مناسب را برای انتقال ریزگردها به جو منطقه فراهم می‌آورد. همگرایی سامانه‌های پر فشار آزر، کم فشار حرارتی و افزایش شیب فشاری در روزهای اوج فعالیت پدیده، باعث تقویت سیستم‌های بادی سطح بالا شده و باعث انتقال و انتشار مقادیر انبوهی از ریزگردها در بخش‌های وسیعی از جنوب غرب، غرب و شمال غرب ایران می‌شود (ذوالفقاری و همکاران، ۱۳۹۰). همچنین خوش کیش و همکاران (۱۳۹۰) به تحلیل سینوپتیکی سامانه‌های گرد و غبار در استان لرستان پرداختند. آنها از بین سامانه‌های گرد و غباری شدید دو سامانه را انتخاب کرده و مورد تحلیل قرار دادند. نتایج نشان داد فرود تراز میانی جو، سیستم‌های فشار سطح زمین که مهم‌ترین آن کم فشار منطقه‌ی خلیج فارس و جریانی که به خاطر اختلاف دما از غرب ترکیه و شمال غرب عراق به سمت خلیج فارس می‌وزد، عامل اصلی ایجاد گرد و غبار و انتقال آن به منطقه مورد مطالعه می‌باشد. کریمی احمد آباد و شکوهی رازی (۱۳۹۰)، به مطالعه گردش جو و پوشش سطح زمین در تشکیل و گسترش طوفان‌های گرد و غبار تابستانه‌ی خاورمیانه پرداختند. آنها برای این کار داده‌های شبکه بندی شده، شامل ارتفاع ژئوپتانسیل، سمت و سرعت باد، امگا و فشار سطح دریا از مرکز پیش بینی محیطی و داده‌های پوشش سطح زمین و خاک را با استفاده از مدل اقلیم منطقه‌ای مورد مطالعه و بررسی قرار دادند. نتایج این بررسی نشان داد که تشکیل کم فشار روی خلیج فارس و پیشروی آن تا جنوب ترکیه و مساعدت جریان‌های سطوح میانی و بالایی ورود سپهر با استقرار ناوه روی این سطح، در ساحل شرقی مدیترانه، سبب ایجاد گردش چرخندی در جنوب شرق سوریه، در سطح زمین روی زمین‌های بدون پوشش سطحی و دارای خاک سطحی ریزدانه و گچی شده است. قرارگیری شرایط ناپایدار جوی روی چنین خاک‌هایی، زمینه را برای تشکیل گرد و غبار فراهم کرده است. طاووسی و همکاران (۱۳۸۷) در تحلیل همدیدی سامانه‌های گرد و غباری استان خوزستان در فاصله زمانی ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۵ دریافتند که هنگامی که یک فرود نسبتاً عمیق در تراز میانی جو بر روی یکی از مناطق بیابانی همجوار استان خوزستان مستقر می‌شود و در سطح زمین هم مرکز کم فشاری با فشار مرکزی کمتر از (۱۰۰۴)، هکتوپاسکال در منطقه مذکور هماهنگ و همراه با محور فرود در تراز میانی واقع شود، منجر به وقوع پدیده گرد و غبار در این استان می‌شود. رئیس پور (۱۳۸۷)، به تحلیل آماری پدیده گرد و غبار استان خوزستان در یک بازه‌ی زمانی ده ساله ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۵ پرداخته و این پژوهش نشان می‌دهد که میانگین روزهای گردو غباری در دوره‌ی گرم سال

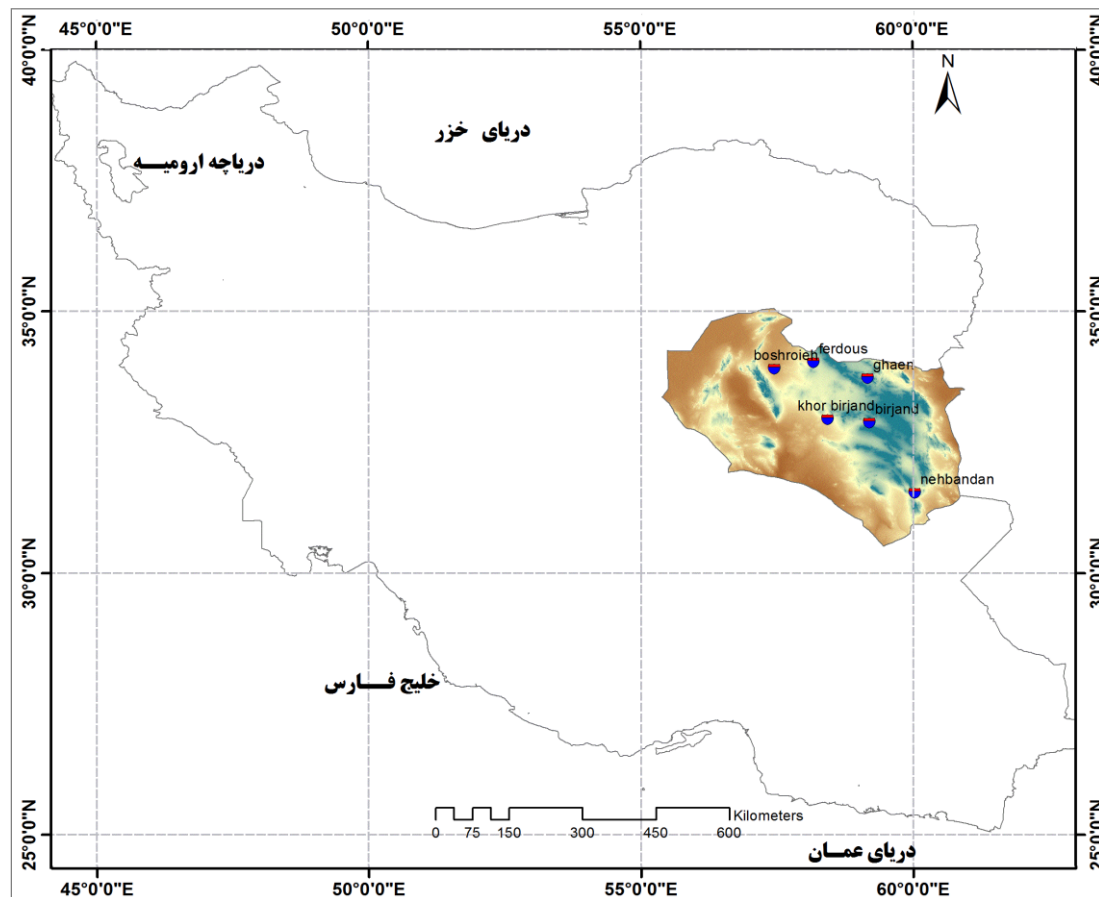
بیشتر از دوره‌ی سرد سال بوده و فصل بهار دارای بیشترین تعداد روزهای گرد و غباری، فصل پاییز دارای کمترین تعداد می‌باشند. در منطقه مذکور طوفان‌های گرد و غباری طی سال‌های ۱۳۷۴ تا ۱۳۷۸ بررسی شد. نتایج نشان می‌دهد، طی دوره گرم سال، همگرایی مدارای سامانه کم فشار ایران و پاکستان از سمت شرق و سامانه پرفشار آزور از سمت غرب و در نتیجه افزایش شیب فشار روی خوزستان طی روزهای اوج طوفان‌های گرد و غباری باعث انتقال و انتشار پدیده گرد و غبار در استان خوزستان و استان‌های اطراف می‌شود (کریمی، ۱۳۸۸). در ادامه لشکری و همکاران (۱۳۸۵)، در پژوهشی به تحلیل آماری سینوپتیکی طوفان‌های گرد و غبار استان خراسان رضوی در دوره آماری ۲۰۰۵-۱۹۹۳ پرداختند. آنها برای این کار کلیه ایستگاه‌های سینوپتیک استان خراسان رضوی را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که ایستگاه قوچان، تربت حیدریه و کاشمر کمتر از ۵ روز در سال و ایستگاه سرخس بیش از ۳۵ روز در سال طوفان گرد و غبار داشته‌اند همچنین این پژوهش نشان داد که علت گرد و غبارها این است که در روز طوفان مرکز کم فشاری در جنوب خراسان و کشور افغانستان بسته می‌شود و مرکز پرفشاری بر روی دریای خزر می‌باشد. همچنین در این منطقه طوفان‌های گرد و غباری استان خراسان رضوی بررسی و تطبیق داده‌های جو با نقشه‌های هوا به روش همدید پرداخته و نتایج نشان می‌دهد مناطق با شیو فشار و گرمای زیاد به عنوان عامل وزش بادهای شدید خراسان رضوی می‌باشند (کیخسروی و همکاران ۱۳۸۷). مرجانی (۱۳۷۲) بادهای شدید بیش از پانزده متر برثانیه را در خراسان با استفاده از نقشه‌های سینوپتیکی مورد بررسی قرار داده است و عوامل موثر بر وقوع طوفان در استان خراسان را وجود مرکز کم فشار حرارتی در قسمت‌های مرکزی و جنوبی ایران، وجود و حرکت پرفشار از قسمت‌های مرکزی و جنوبی سیبری به شمال استان در زمستان، وجود پرفشار جنب حاره‌ای در تابستان، وجود جت جنب حاره‌ای بر روی منطقه شمالی ایران و جابجایی آن تا قسمت‌های مرکزی ایران می‌باشد. لذا با توجه به قرارگرفتن خراسان جنوبی در منطقه بیابانی و وقوع روزهای توأم با پدیده گرد و غبار و پدیده بیابان‌زایی ضرورت مطالعه گرد و غبار در خراسان جنوبی را بیشتر می‌کند. بنابراین در ادامه کارهای گذشته، این مطالعه به بررسی آماری روزهای همراه با گرد و غبار و تعیین الگوهای همدیدی منجر به آن در استان خراسان جنوبی می‌پردازد.

داده‌ها و روش‌ها

استان خراسان جنوبی با طول ۵۷ تا ۶۱ درجه شرقی و عرض ۳۰ تا ۳۵ درجه شمالی در شرق ایران و هم مرز با استان‌های خراسان شمالی، یزد، کرمان، سیستان و بلوچستان و کشور افغانستان قرار دارد. این استان از جنوب و جنوب-غربی و شرق به کویر لوت و در شمال و غرب کوهستانی می‌باشد. رشته کوه‌های این استان با جهت شمال غربی - جنوب شرقی، مشابه دیگر نقاط ایران، موجب تنوع آب و هوایی شده‌اند، به طور کلی از شمال به جنوب و جنوب غرب استان بر خشکی و گرمی هوا افزوده می‌شود. ایستگاهی سینوپتیک مورد مطالعه شامل بیرجند، نهبندان، قاین، فردوس، بشرویه و خور بیرجند می‌باشند (جدول ۱).

جدول ۱: نقشه ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه

نام ایستگاه	بیرجند	قاین	فردوس	نهبندان	بشرویه	خور بیرجند
طول جغرافیایی	۵۹	۵۹	۵۸	۶۰	۵۷	۵۸
عرض جغرافیایی	۳۲	۳۳	۳۴	۳۱	۳۳	۳۲
ارتفاع از سطح دریا	۱۴۹۱	۱۴۳۲	۱۲۹۳	۱۲۱۱	۸۸۵	۱۱۱۷



شکل ۱: نقشه موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های سینوپتیک در خراسان جنوبی

هدف از مطالعات همدمیدی، تبیین پدیده‌های سطح زمین در ارتباط با اندرکنش‌های کلیدی میان جو و محیط سطحی می‌باشد (یارنال، ۱۹۹۳: ۷) روش مورد استفاده در پژوهش در تمام مطالعات اقلیم‌شناسی سینوپتیک از یکی از دو روش بنیادی زیر جهت انجام مطالعات استفاده می‌کنند، "گردش به محیط" و "محیط به گردش". در روش اول داده‌های محیطی نسبت به الگوهای سینوپتیکی ارزیابی می‌شوند در حالی که در روش دوم، الگوهای گردشی و تحلیل‌های سینوپتیکی بر اساس متغیرهای محیطی معنا پیدا می‌کنند (علی‌جانی، ۱۳۸۱). در مطالعه حاضر، روش دوم یعنی روش "محیط به گردش" مد نظر قرار گرفته است. از این رو برای انجام تمامی مطالعات همدمیدی دو دسته داده مورد نیاز است، یکی داده‌های سطحی و دیگری داده‌های جو بالا می‌باشد. لذا در این پژوهش به منظور تعیین الگوهای جوی مؤثر

در وقوع گرد و غبارها در استان خراسان جنوبی مراحل به ترتیب زیر انجام شد: ۱- ابتدا داده‌های روزانه میزان دید و سرعت - جهت باد برای ایستگاه‌های سینوپتیک استان خراسان رضوی (جدول ۱)، از سازمان هواشناسی برای دوره آماری ۱۹۹۱ تا ۲۰۰۸ تهیه شد. در ادامه روزهای همراه با گرد و غبار، طوفان و طوفان شدید با توجه به طبقه بندی شایو و دونگ (۲۰۰۶) از داده‌های اولیه استخراج گردید. در این پژوهش روز گرد و غباری به روزی اطلاق شد که در ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه، طی هشت بار دیده بانی در شبانه روز حداقل یک بار دید افقی بین ۱۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ متر کاهش یافته و کد هواشناسی آن بین ۵ تا ۹ بوده است. همچنین روزهایی که طی ۸ بار، دیده بانی در شبانه روز حداقل یک بار دید افقی بین ۲۰۰ تا ۱۰۰۰ متر بود به عنوان روز طوفانی و روزهای همراه با دید کمتر از ۲۰۰ متر و کدهای ۳۰ تا ۳۵ به عنوان روز طوفانی شدید می‌باشند (کدهای ۳۰ تا ۳۵)، (شایو و دونگ ۲۰۰۶). به منظور تعیین الگوها در طی سال، ماه‌های مارس، آوریل، می، جون، جولای، آگوست به عنوان ماه‌های دوره گرم سال و ماه‌های سپتامبر، اکتبر، نوامبر، دسامبر، ژانویه، فوریه به عنوان ماه‌های دوره سرد سال می‌باشند. در ادامه پراکندگی زمانی وقوع روزهای گرد و غبار، طوفان و طوفان شدید در هر ایستگاه تعیین شد (جدول ۲). ۲- به منظور مطالعه سینوپتیک گرد و غبارهای استان، روزهای گرد و غبار مشترک در سطح استان استخراج گردید، روزی به عنوان روز گرد و غبار مشترک نامیده شد که تمام ایستگاه‌های استان گرد و غبار تجربه کرده بودند. ۳- به منظور تعیین الگوهای جوی، محدوده جغرافیایی ۵ تا ۶۵ درجه ی شمالی و ۲۰ تا ۷۵ درجه شرقی برای دریافت داده‌های رقومی تعیین شد. بنابراین داده‌ها روزانه رقومی در ابعاد ۲۵×۲۳ شامل ۵۷۵ سلول می‌باشند در ادامه داده‌های روزانه رقومی ارتفاع ژئو پتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال برای روزهای مشترک، طوفانی و طوفان شدید از مرکز ملی پیش بینی محیطی آمریکا/ مرکز ملی پژوهش‌های جوی (NCEP/NCAR) دریافت گردید. ۴- در این مطالعه روش تحلیل مؤلفه اصلی (PCA) و خوشه بندی (CL) برای تعیین الگوی جوی گرد و غبار استفاده شد. این روش یکی از روش‌های مهم در مطالعات اقلیمی شناسی به منظور کاهش ابعاد داده‌ها در ضمن حفظ واریانس در داده‌ها اولیه می‌باشد. بنابراین داده‌های رقومی سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال در ماتریس اولیه حالت S از تحلیل مؤلفه اصلی با استفاده از الگوریتم مناسب آماده شد. در این ماتریس سطرها، معرف روزهای گرد و غبار (مشاهده‌ها) و ستون‌ها معرف تلاقی‌ها (گرید پونت‌ها) می‌باشند. سپس با استفاده از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی، داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیل به تعداد محدودی عامل‌های اولیه کاهش می‌یابند، در ادامه با استفاده از آزمون غربالی، عامل‌های که بیش از نود درصد واریانس تجمعی را در داده‌ها (عامل‌هایی که دارای ارزش ویژه بالا) را توجیه می‌کنند. پس از استخراج عامل‌های اصلی، نمره‌های عاملی در فرایند خوشه بندی روزها مورد استفاده قرار گرفتند. برای طبقه بندی روزهای گرد و غبار با استفاده از نتیجه نهایی تحلیل مؤلفه اصلی، نمره‌های عاملی (PC_S)^۳ از روش خوشه بندی با حالت ward استفاده شد. بنابراین الگوهای جوی مؤثر در وقوع گرد و غبارها در استان خراسان رضوی مشخص گردید.

¹ - principle component analysis

² - clustering

³ - principle component score

۵- در مرحله بعد، داده‌های مربوط به مؤلفه ارتفاع ژئو پتانسیل سطح ۵۰۰، فشار سطح دریا، باد مداری و نصف النهاری به صورت روزانه از سایت NCEP/NCAR گرفته شد و نقشه‌های ترکیبی برای هر کدام از الگوهای جوی تهیه شده و مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. همچنین در ادامه یک روز طوفانی و یک روز طوفانی شدید که در اکثر ایستگاه‌های مورد مطالعه گرد و غبار گزارش شده بود انتخاب شده و نقشه‌های سطح بالا و سطح زمین آن روزها ترسیم شده و مورد بررسی قرار می‌گیرد.

یافته‌های پژوهش

نتایج بررسی آماری پدیده گرد و غبار در استان خراسان جنوبی نشان می‌دهد (جدول ۲)، بیشترین روزهای گرد و غبار در استان در فصل بهار در ماه‌های آوریل، می و ژوئن اتفاق افتاده و کمترین گرد و غبارها در فصل پاییز می‌باشد. چنان‌که ایستگاه بشرویه در ماه می با ۱۱۳ روز بیشترین روزهای گرد و غباری را در استان خراسان جنوبی تجربه کرده است و کمترین روزهای گرد و غباری در بیرجند اتفاق افتاده است. در مجموع کل استان، بیشترین روزهای گرد و غباری مربوط به ماه می و کمترین روزهای گرد و غباری مربوط به ماه اکتبر می‌باشد. همچنین نتایج بررسی گرد و غبارها نشان داد که در طول دوره آماری مورد مطالعه ۲۵ مورد طوفان اتفاق افتاده و دو مورد طوفان شدید رخ داده است (جدول ۲). بیشترین آمار طوفان مربوط به ماه مارس و جولای (۴ روز) و ایستگاه نهبندان (۱۱ روز) بوده و طوفان شدید دو مورد در ماه ژوئن و آوریل در ایستگاه خور بیرجند می‌باشد.

جدول ۲: فراوانی زمانی روزهای گرد و غباری در استان خراسان جنوبی طی دوره مورد مطالعه

ایستگاه	ماه	بیرجند			قاین			فردوس			نهبندان			خور بیرجند			بشرویه			جمع		
		گرد و غبار	طوفان	طوفان شدید	گرد و غبار	طوفان	طوفان شدید	گرد و غبار	طوفان	طوفان شدید	گرد و غبار	طوفان	طوفان شدید	گرد و غبار	طوفان	طوفان شدید	گرد و غبار	طوفان	طوفان شدید	گرد و غبار	طوفان	طوفان شدید
ژانویه	۱۴	۰	۰	۰	۲۱	۰	۱	۲۲	۰	۰	۲۵	۰	۰	۳۶	۰	۰	۲۷	۰	۰	۱۴۵	۱	۰
فوریه	۲۷	۰	۰	۰	۲۸	۰	۰	۳۵	۰	۰	۵۸	۰	۰	۶۲	۰	۱	۴۶	۱	۰	۲۵۶	۲	۰
مارس	۲۹	۰	۰	۰	۴۰	۰	۲	۵۱	۰	۰	۳۷	۰	۲	۷۱	۰	۰	۷۴	۰	۰	۳۱۴	۴	۰
آوریل	۳۱	۰	۰	۰	۶۱	۰	۰	۴۳	۰	۰	۴۳	۰	۲	۷۸	۱	۱	۸۷	۱	۰	۳۴۵	۳	۱
می	۴۷	۰	۰	۰	۴۳	۰	۱	۶۱	۰	۰	۳۹	۰	۱	۶۰	۰	۰	۱۱۲	۱	۰	۳۶۵	۳	۰
جون	۱۸	۰	۰	۰	۲۸	۰	۰	۶۶	۰	۰	۳۵	۰	۰	۵۵	۱	۰	۹۶	۰	۰	۲۹۹	۰	۱
جولای	۲۲	۰	۰	۰	۳۹	۰	۰	۴۰	۰	۰	۶۳	۰	۴	۵۹	۰	۰	۷۲	۰	۰	۲۹۹	۴	۰
آگوست	۱۳	۰	۱	۰	۲۸	۰	۰	۳۳	۰	۰	۴۹	۰	۰	۳۹	۰	۰	۵۲	۰	۱	۲۲۵	۲	۰
سپتامبر	۶	۰	۰	۰	۲۲	۰	۰	۲۷	۰	۰	۲۱	۰	۱	۱۴	۰	۱	۴۸	۰	۰	۱۳۸	۲	۰
اکتبر	۶	۰	۰	۰	۲۲	۰	۰	۱۶	۰	۰	۱۳	۰	۰	۹	۰	۰	۴۰	۰	۰	۱۰۶	۰	۰
نوامبر	۶	۰	۰	۰	۲۸	۰	۱	۱۹	۰	۰	۱۵	۰	۰	۱۹	۰	۱	۲۸	۰	۱	۱۱۵	۳	۰
دسامبر	۱۲	۰	۰	۰	۲۷	۰	۰	۱۷	۰	۰	۱۴	۰	۱	۴۱	۰	۰	۲۱	۰	۰	۱۲۳	۱	۰
جمع	۲۳۱	۰	۱	۰	۳۹۷	۰	۵	۴۳۰	۰	۰	۴۲۲	۰	۱۱	۵۴۲	۲	۴	۷۰۸	۴	۰	۲۷۳۰	۲۵	۲

در مرحله بعد، الگوهای جوی مؤثر بر گرد و غبار در استان خراسان جنوبی بررسی شد که در نقشه‌های زیر به شرح آن‌ها می‌پردازیم، ضمناً نقشه‌های ترکیبی (ارتفاع، تاوایی نسبی و باد) در چهار سطح مهم (۵۰۰، ۷۰۰، ۸۵۰ و سطح زمین) تهیه شده که مشخصه‌های هر کدام در بالای نقشه اشاره گردید. در ادامه همچنین سه روز طوفانی و یک روز طوفانی شدید در استان بررسی و تحلیل شد.

الگوهای جوی

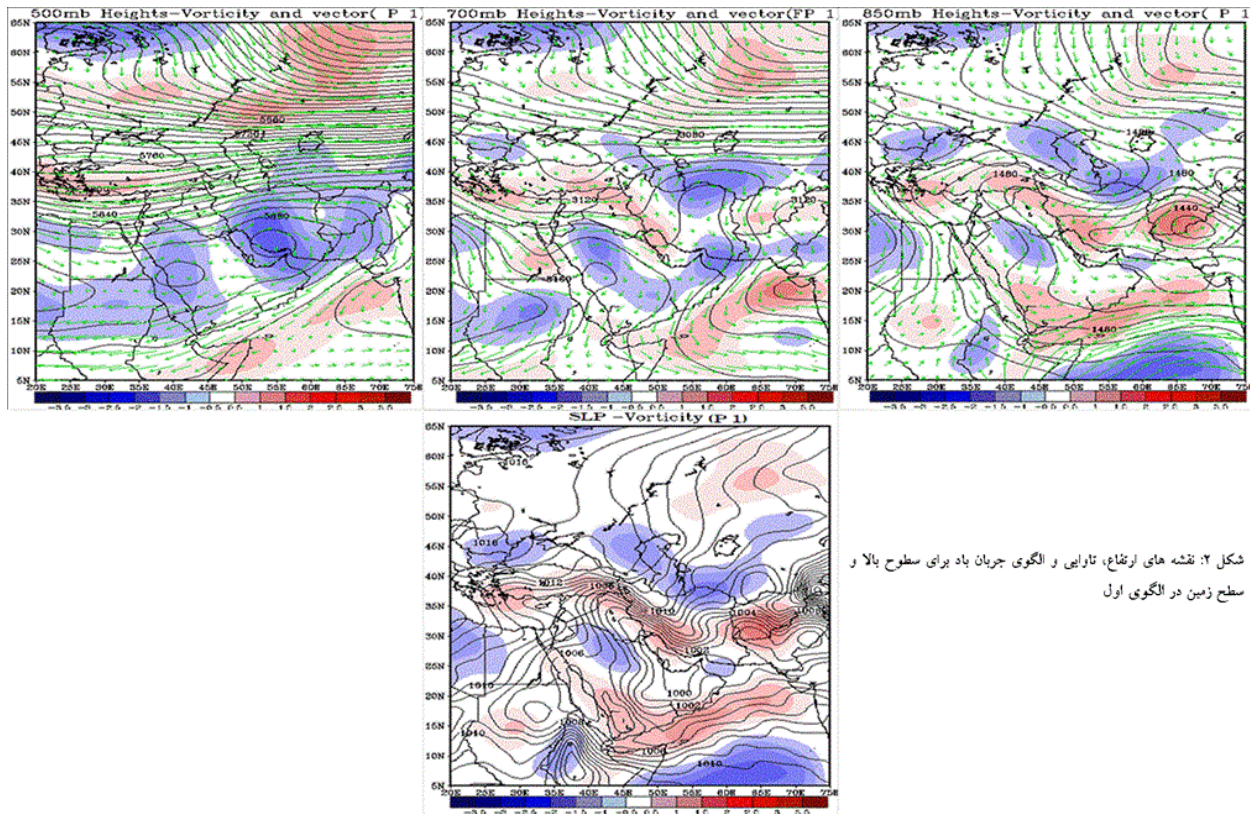
الگوی اول: ۲۱ روز از ۵۸ روز گرد و غبار در استان خراسان جنوبی را در بر می‌گیرد و بیشتر در ماه‌های جولای و آگوست مشاهده می‌شود. (جدول ۳).

جدول ۳: روزهای مربوط به الگوی اول

ردیف	روز	ماه	سال	ردیف	روز	ماه	سال	ردیف	روز	ماه	سال
۱	۲۶	آوریل	۲۰۰۶	۸	۱۰	ژوئیه	۱۹۹۱	۱۵	۱۵	اوت	۱۹۹۵
۲	۶	مه	۱۹۹۴	۹	۱۱	ژوئیه	۱۹۹۱	۱۶	۱۴	اوت	۱۹۹۵
۳	۱۴	مه	۱۹۹۸	۱۰	۱۲	ژوئیه	۱۹۹۱	۱۷	۲۹	اوت	۱۹۹۶
۴	۱۲	مه	۲۰۰۲	۱۱	۱۰	ژوئیه	۱۹۹۴	۱۸	۲۱	اوت	۱۹۹۷
۵	۲۳	ژوئن	۱۹۹۵	۱۲	۱۸	ژوئیه	۱۹۹۵	۱۹	۲۲	اوت	۱۹۹۷
۶	۲۴	ژوئن	۱۹۹۵	۱۳	۳۱	ژوئیه	۲۰۰۰	۲۰	۱۴	اوت	۲۰۰۶
۷	۱۹	ژوئیه	۱۹۹۷	۱۴	۲۲	اوت	۱۹۹۴	۲۱	۲۸	اوت	۲۰۰۱

در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال این الگو زبانه پر فشار آزور بر روی ایران قرار دارد، طوری که سلول هم ارتفاع بسته ۵۸۹۰ در جنوب ایران مشاهده می‌شود. همزمان منطقه تاوایی منفی کل ایران و کشورهای شرقی ایران را در بر گرفته، در حالی که دریای عرب تا شمال غرب هند با تاوایی منفی و جریان‌های شرقی مشاهده شد. در سطح ۷۰۰ هکتوپاسکال فراز پر ارتفاع آزور در مرکز و شرق ایران تا ترکمنستان کشیده و هم ارتفاع ۳۱۴۰ از خراسان جنوبی می‌گذرد. در این سطح دو مرکز با تاوایی منفی در ترکمنستان، شمال شرق و جنوب شرق ایران قرار دارد، در حالی که منطقه با تاوایی منفی در جنوب افغانستان و غرب ایران مشاهده شده و هم زمان جریان‌های جوی با جهت شمال شرقی - جنوب غربی از روی بیابان‌های ترکمنستان و شمال افغانستان به منطقه مورد مطالعه می‌وزند. در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال، مرکز کم ارتفاع بسته شده بر روی پاکستان، افغانستان و ایران قرار دارد و همزمان دو مرکز با تاوایی مثبت (افغانستان و غرب ایران) و منفی (شمال شرقی و ترکمنستان) تقویت شده، طوری که منطقه مورد مطالعه در مرز بین این دو (شیب فشار) و جریان‌های جوی شمال شرقی از منطقه عبور می‌کنند. در الگوی سطح زمین مشاهده می‌شود، کم فشار حرارتی پاکستان بخش عمده از جنوب ایران را پوشش می‌دهد و سلول هم فشار بسته ۹۹۶ هکتوپاسکال در غرب پاکستان وجود دارد. در حالی که شمال شرق ایران، دریای خزر و بیابان‌های ترکمنستان با تاوایی منفی حاکی از وجود پرفشار در این محدوده می‌باشند. به طور کلی در این الگو، نحوه قرار گیری خطوط هم ارتفاع، تاوایی منفی و مثبت در همه سطوح جوی حاکی از آن است که جریان‌های جوی با جهت شمال شرقی - جنوب شرقی به منطقه مورد مطالعه می‌وزد و خراسان جنوبی در منطقه شیب

فشار بین تاوایی منفی و مثبت و جریان‌های شدید قرار دارد که حتی با عبور از مناطق خشک و بیابانی ترکمنستان و خود استان خراسان جنوبی، ذرات گرد و خاک را با خود منتقل می‌کند.



شکل ۲: نقشه‌های ارتفاع، تارایی و الگوی جریان باد برای سطوح بالا و سطح زمین در الگوی اول

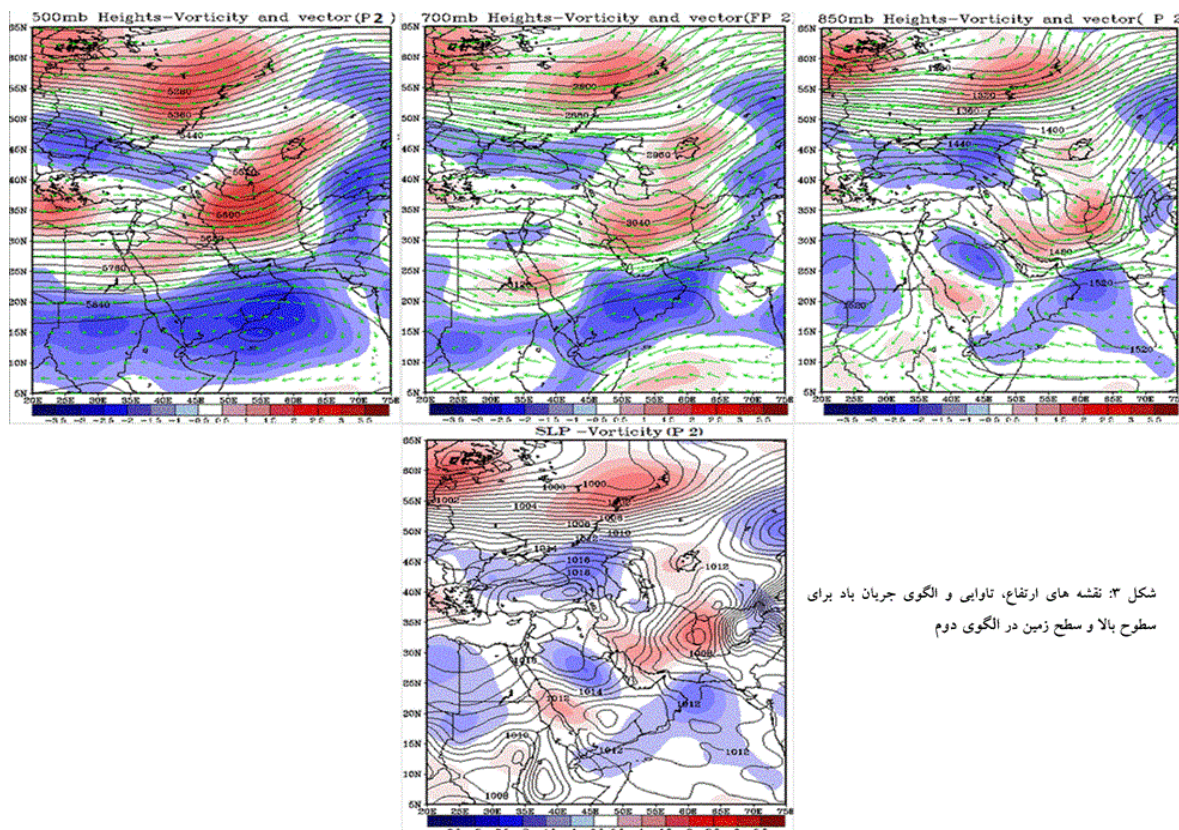
الگوی دوم: این الگو ۷ روز از ۵۸ روز گرد و غبار در استان خراسان جنوبی در طول دوره مورد مطالعه را در بر می‌گیرد (جدول ۴). این الگو بیشتر در ماه‌های مارس و آوریل مشاهده شده است.

جدول ۴: ویژگی‌های روزهای مربوط به الگوی دوم

ردیف	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
روز	۱۹	۲۷	۳۰	۱۱	۲۵	۶	۱۶
ماه	آوریل	مارس	مارس	آوریل	مارس	مارس	مارس
سال	۱۹۹۲	۱۹۹۵	۱۹۹۷	۱۹۹۷	۲۰۰۰	۲۰۰۲	۲۰۰۷

نقشه سطح ۵۰۰ این الگو که یک الگوی بهاره است، نشان می‌دهد بادهای غربی با حرکت مداری جریان دارند، طوری که در شرق دریای مدیترانه فراز کم ارتفاعی و همزمان ناوهای کم عمق در ایران، که محور آن از مرکز ایران می‌گذرد و جریان‌های از غرب به شرق می‌وزند. همچنین در این سطح نیمه شمالی ایران با تاوایی مثبت که از شمال عربستان تا دریاچه آرال را در بر گرفته است. در این الگو بر عکس الگوی اول پرفشار جنب حاره به ایران وارد نشده و منحنی هم ارتفاع ۵۸۴۰ در جنوب عربستان قرار دارد. ترف مرکزی ایران در سطح ۷۰۰ هکتوپاسکال نیز مشاهده

می‌شود و خط هم ارتفاع ۳۰۴۰ متر از خراسان جنوبی می‌گذرد. منطقه تاوایی مثبت از غرب تا شرق ایران تا دریاچه آرال قرار دارد و منطقه تاوایی منفی در دریای عمان و دریای سیاه، که جریان‌های جوی در امتداد خطوط هم ارتفاع از غرب به شرق جریان دارند. در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال وجو مانع در غرب پاکستان و افغانستان موجب تشکیل ناوه عمیقی در شرق ایران شده، که با محوری خمیده تا جنوب غرب ایران ادامه دارد و منطقه حداکثر تاوایی مثبت در شمال غربی افغانستان و خراسان جنوبی قرار دارد. این شرایط موجب شده تا جریان باد از منطقه با تاوایی منفی در غرب دریای خزر و در امتداد خطوط هم ارتفاع بعد از عبور از بیابان‌های خشک و کویرها به منطقه با تاوایی منفی در استان وارد شوند. چنان‌که این جریان‌های با نزدیک شدن به این منطقه بر سرعت آن افزوده شده و گرد و غبارها را با خود به همراه دارند. همچنین در سطح زمین این الگو، مرکز کم فشار قوی با هم فشار بسته ۱۰۰۷ هکتوپاسکال در منطقه مورد مطالعه قرار دارد و هم‌زمان پرفشار قوی با هم فشار ۱۰۲۱ هکتوپاسکال در ترکیه مستقر می‌باشد. به ترتیب در این دو منطقه، تاوایی منفی و مثبت مشاهده می‌شود. فشردگی خطوط هم فشار بر روی بیابان‌های نیمه شمالی ایران، حاکی از وزش شدید باد و انتقال ذرات گرد و غبار به استان خراسان جنوبی می‌باشد. این الگو نشان می‌دهد گرد و غبارهای استان خراسان جنوبی در فصل بهار و اواخر زمستان در ارتباط با تراف مرکزی ایران و وجود منطقه مطالعه در جلوی ناوه در سطوح بالای جوی و کم فشار در سطح زمین می‌باشد و با توجه به وجود ناپایداری، خشکی و نبود رطوبت در بیابان‌های مرکزی ایران، جریان‌های جوی از شمال غرب به مرکز ایران ذرات گرد و غبار را با خود به منطقه مورد مطالعه به همراه دارند.



شکل ۳: نقشه های ارتفاع، تاوایی و الگوی جریان باد برای سطوح بالا و سطح زمین در الگوی دوم

الگوی سوم: این الگو ۳۰ روز از ۵۸ روز گرد و غبار در ماه‌های مارس، آوریل، می، ژوئن را شامل شد (جدول ۷).

جدول ۵: ویژگی‌های روزهای مربوط به الگوی سه

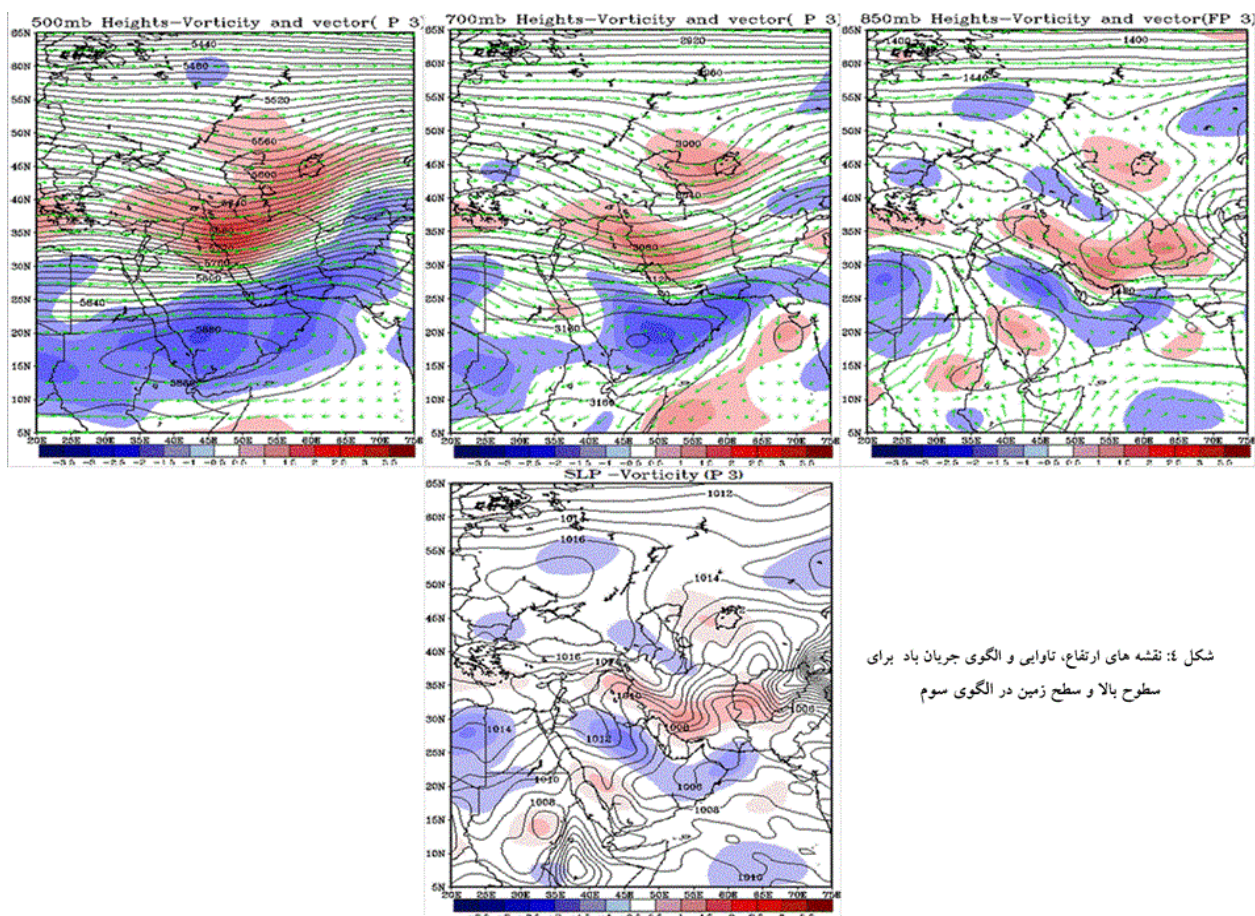
ردیف	روز	ماه	سال	ردیف	روز	ماه	سال	ردیف	روز	ماه	سال
۱	۲۴	مارس	۱۹۹۲	۱۱	۴	آوریل	۱۹۹۶	۲۱	۲۷	می	۲۰۰۱
۲	۷	مارس	۱۹۹۷	۱۲	۱۳	آوریل	۲۰۰۰	۲۲	۱۳	می	۲۰۰۴
۳	۳۰	مارس	۱۹۹۸	۱۳	۲۶	آوریل	۲۰۰۲	۲۳	۱۴	می	۲۰۰۴
۴	۳۱	مارس	۱۹۹۸	۱۴	۱۷	آوریل	۲۰۰۴	۲۴	۳۰	می	۲۰۰۴
۵	۸	مارس	۲۰۰۳	۱۵	۲۳	آوریل	۲۰۰۴	۲۵	۲۲	جون	۱۹۹۳
۶	۱۳	مارس	۲۰۰۳	۱۶	۱۱	می	۱۹۹۱	۲۶	۱۳	جون	۲۰۰۰
۷	۲۶	مارس	۲۰۰۳	۱۷	۲۲	می	۱۹۹۱	۲۷	۱۱	جون	۲۰۰۱
۸	۲۷	مارس	۲۰۰۳	۱۸	۲۳	می	۱۹۹۱	۲۸	۱۲	جون	۲۰۰۱
۹	۳	آوریل	۱۹۹۴	۱۹	۶	می	۲۰۰۱	۲۹	۱۳	جون	۲۰۰۴
۱۰	۴	آوریل	۱۹۹۴	۲۰	۲۶	می	۲۰۰۱	۳۰	۳۱	جولای	۱۹۹۶

در نقشه سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال الگوی سوم مشاهده می‌شود، تراف کم عمق بادهای غربی در غرب ایران قرار داشته و هم‌زمان فرازی کم ارتفاع در جنوب شرق ایران وجود دارد. در این الگو به ترتیب منطقه غرب و شمال ایران با تاوایی مثبت و جنوب و جنوب شرق ایران تا عربستان با تاوایی منفی می‌باشند. هم‌زمان خط هم ارتفاع ۵۸۴۰ متر از جنوب ایران عبور و هم ارتفاع بسته شده با هم ارتفاع ۵۸۸۰ متر بر روی شبه جزیره عربستان وجود دارد. این شرایط نشان از وجود پرفشار جنب حاره به ایران داشته و جریان‌های جوی در مسیر خطوط هم ارتفاع جریان دارند. در الگوی سطح ۷۰۰ هکتوپاسکال، تراف غرب ایران و ترافی در دریاچه آرال وجود دارد و بیشینه تاوایی مثبت در غرب ایران و شمال عراق تا منطقه مطالعه کشیده شده که حاکی از وجود ناپایداری در این مناطق می‌باشد و منطقه بیشینه تاوایی منفی بر روی عربستان تا دریای عمان حاکی از وجود پایداری و پرفشار با جریانات ساعت‌گرد در این منطقه است. در الگوی سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال مشابه الگوی دوم وجود مانع در غرب پاکستان و افغانستان موجب تشکیل کم ارتفاع عمیقی در شرق ایران تا مرکز ایران شده است. در این سطح منطقه تاوایی مثبت از شمال عراق، جنوب غرب ایران تا منطقه مورد مطالعه و افغانستان کشیده شده، طوری که یک منطقه بیشینه در مرز ایران و افغانستان قرار دارد. این شرایط موجب شده تا جریان‌های از شمال عراق به جنوب غربی ایران و هم‌زمان جریان‌های از بیابان‌های شمالی ایران که در منطقه مورد مطالعه (کم فشار) به همدیگر می‌رسند و چرخش پاد ساعت‌گرد در منطقه مورد مطالعه دارند. با توجه به مسیر گذر این جریان‌های و وجود ناپایداری، ذرات گرد و غبار را با خود به همراه دارند. در سطح زمین نیز وجود مرکز کم فشار در منطقه مورد مطالعه با هم فشار ۱۰۰۵ هکتوپاسکال و هم‌زمان پرفشار با هم فشار ۱۰۱۷ هکتوپاسکال در شمال دریای سیاه قرار دارد و در غرب منطقه مورد مطالعه که بیابان‌ها و کویرها قرار دارند خطوط هم فشار فشرده، نشان از سرعت زیاد باد و حرکت ذرات گرد و غبار دارد. در این الگو نیز ناپایداری بادهای غربی بر روی بیابان‌های شمال عراق و ایران و عمدتاً بیابان‌های شمال غرب و غرب منطقه مورد مطالعه و با نزدیک شدن جریان‌های به مرکز کم فشار در شرق

استان بر شدت و سرعت بادهای افزوده شده و ذرات خاک را از بیابانها و زمینهای خشک به منطقه مورد مطالعه به ارمغان می آورند.

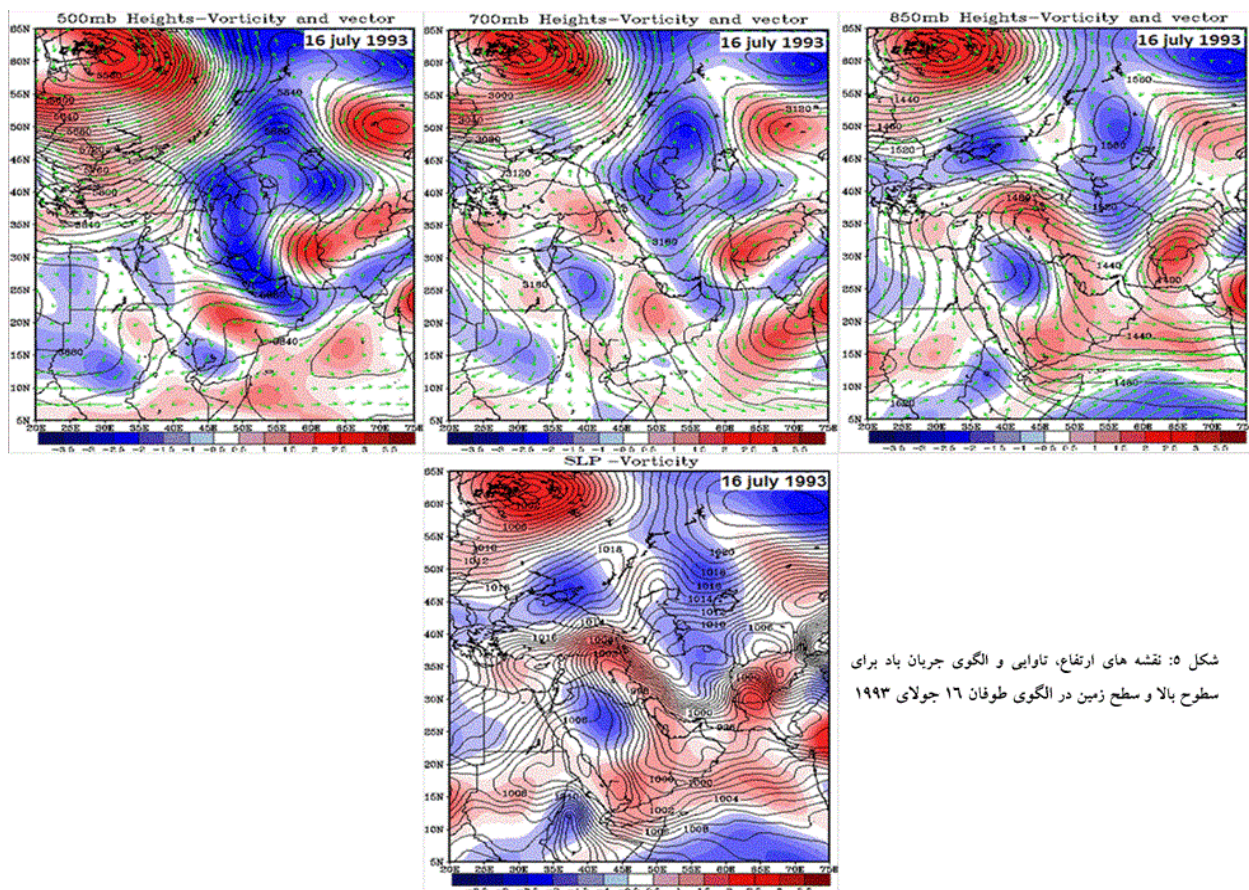
الگوی روز طوفان گرد و غبار

۱۶ جولای ۱۹۹۳: الگوی سطح ۵۰۰ این روز طوفانی در استان خراسان جنوبی نشان می دهد پراارتفاع جنب حاره از غرب ایران تا شمال سیبری و قطب کشیده شده و هم ارتفاع قوی بسته شده ای (مانع) با هم ارتفاع مرکزی ۵۹۲۰ متر در جنوب غرب دریای خزر مشاهده می شود و زبانه های آن تا عرض های جغرافیایی بالا پیشروی کرده است طوری که هم ارتفاع ۵۸۴۰ در عرض ۵۵ درجه شمالی وجود دارد. این شرایط موجب حرکت نصف النهاری و ایجاد سرد چال بر روی شمال اروپا و دریاچه بایکال شده است، طوری که زبانه تراف آن تا شرق ایران پیشروی کرده است. بنابراین منطقه با تراف منفی از خلیج فارس تا دریای خزر، دریاچه آرال تا سیبری شمالی قرار دارد و همزمان منطقه با تاوایی مثبت در اروپای شمالی، دریاچه بایکال و شرق ایران مشاهده می شود این شرایط موجب وقوع جریان های شمالی به منطقه مورد مطالعه شده است.



شکل ۴: نقشه های ارتفاع، تاوایی و الگوی جریان باد برای سطوح بالا و سطح زمین در الگوی سوم

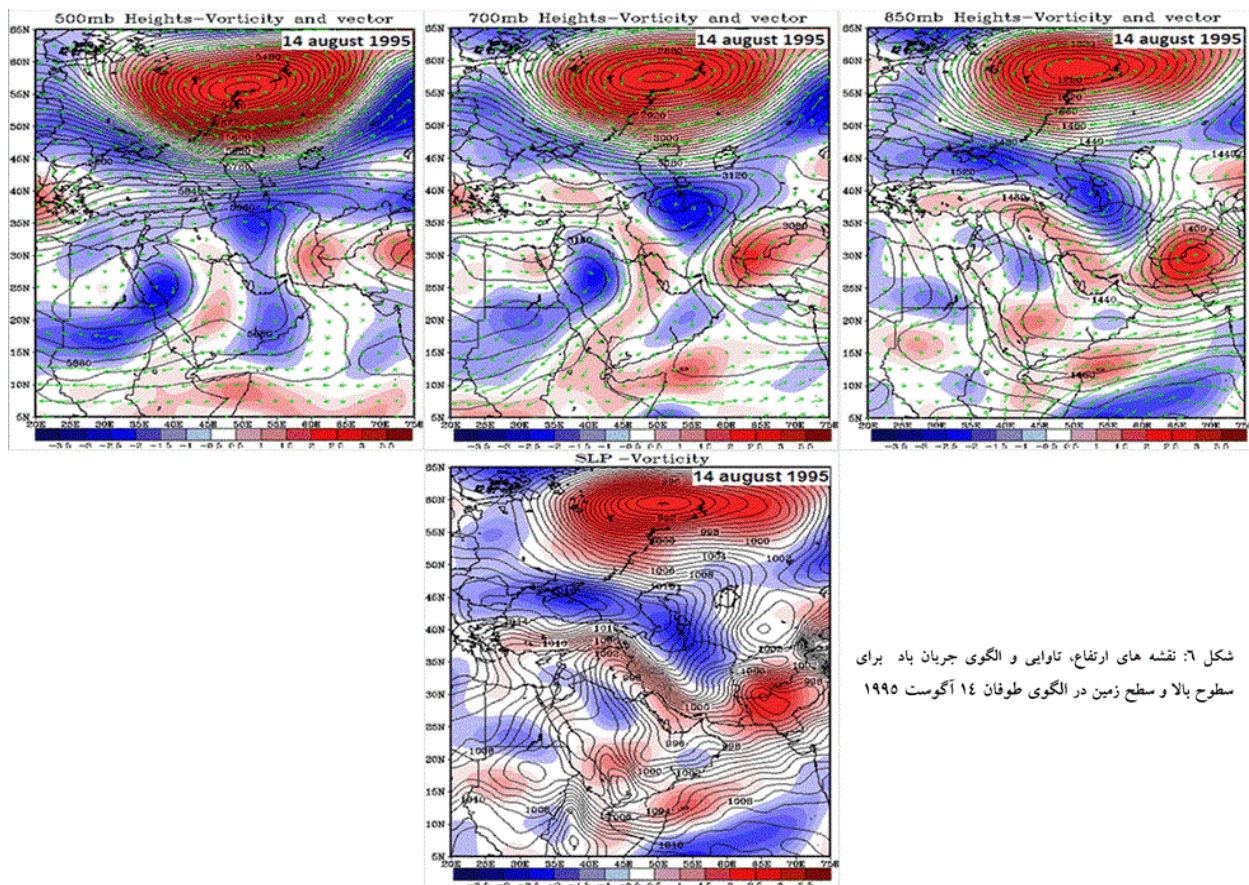
در الگوی سطح ۷۰۰ هکتوپاسکال نیز شرایط فوق مشاهده می‌شود و هم ارتفاع ۳۱۹۰ در شمال دریای خزر با تاوایی منفی و منطقه مورد مطالعه با کم ارتفاع و تاوایی مثبت مشهود می‌باشد و جریان‌های از شمال افغانستان و جنوب ترکمنستان به منطقه می‌وزند. همچنین در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال، هم ارتفاع بسته شده‌ای با ارتفاع ۱۴۰۰ متر بر روی پاکستان قرار دارد و همزمان در شمال دریای خزر مرکز پر ارتفاعی با ارتفاع ۱۵۰۰ متر مشاهده می‌شود و به ترتیب شمال شرق ایران، ترکمنستان، دریاچه آرال و شرق خزر با تاوایی منفی و پاکستان، افغانستان و مرز شرقی ایران با تاوایی مثبت می‌باشند که منطقه مورد مطالعه در منطقه شیب فشار این دو محدوده قرار دارد و جریان‌های از روی افغانستان و جنوب ترکمنستان به منطقه با خود ذرات گرد و غبار را به همراهِ دارند. در سطح زمین مرکز کم فشار قوی بر روی پاکستان و افغانستان با هم فشار ۹۹۴ هکتوپاسکال قرار دارد که تا شرق دریای مدیترانه پیشروی کرده است. همزمان مرکز پرفشاری با هم فشار ۱۰۲۰ هکتوپاسکال در دریای سیاه قرار دارد که زبانه‌های آن تا شمال شرق و مرکز ایران را پوشش می‌دهند. در این الگو منطقه مورد مطالعه در محدوده شیب فشار زیاد بین این دو مرکز قرار دارد و فشردگی خطوط هم فشار حاکی از وجود طوفان و بادهای شدیدی که از بیابان‌های مرکزی و جنوب ترکمنستان و افغانستان به مرکز کم فشار می‌وزند و با عبور از بیابان‌های خشک، ذرات گرد و غبار را با خود به همراه دارند.



شکل ۵: نقشه‌های ارتفاع، تاوایی و الگوی جریان باد برای سطوح بالا و سطح زمین در الگوی طوفان ۱۶ جولای ۱۹۹۳

۱۴ آگوست ۱۹۹۵: در سطح ۵۰۰ الگو پر ارتفاع جنب حاره با چند سلول ارتفاعی بسته شده قوی بر روی شمال دریای عرب با سلول مرکزی با هم ارتفاع ۵۹۱۰ متر قرار دارد و تا دریای خزر و شمال شرق ایران مشاهده می‌شود، در

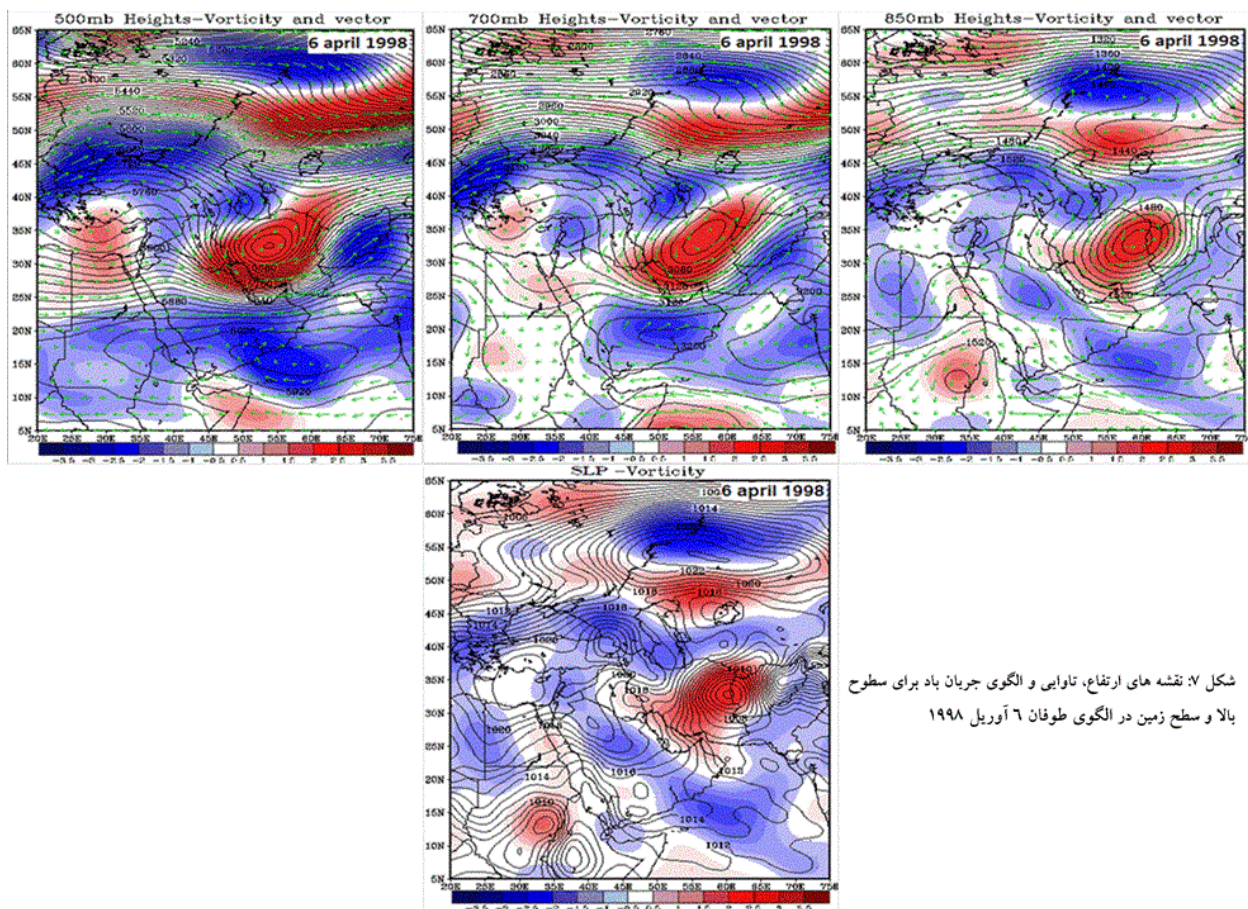
حالی که مرکز کم ارتفاع قوی با چند سلول بسته در غرب پاکستان تا شرق و جنوب شرق را پوشش می دهد. همچنین در این الگو سردچال قوی در شمال دریای خزر قرار دارد و اختلاف شیب ارتفاعی زیادی در شمال ایران و دریای خزر با پرارتفاع جنب حاره در جنوب و ایران را موجب شده است. عمده ایران با تاوایی منفی مشاهده می شود و بخش شرقی و جنوب شرقی ایران و شمال دریای خزر با تاوایی مثبت مشهود می باشد. تقابل پرارتفاع جنب حاره و کم ارتفاع پاکستان در شرق ایران موجب فشردگی خطوط هم ارتفاع و جریان های شمال و شمال شرقی در منطقه مورد مطالعه شده است. الگوی ۵۰۰ هکتوپاسکال در سطح ۷۰۰ هکتوپاسکال نیز نمایان تر می باشد در این سطح مرکز پرارتفاع بسته ای با هم ارتفاع ۳۱۵۰ متر در شمال و شمال شرق ایران و جنوب دریای خزر را پوشش می دهد و همزمان زبانه کم ارتفاع پاکستان در شرق و جنوب شرق ایران آشکار می باشد که منطقه مورد مطالعه در محل شیب فشار بین این دو الگوی جوی، پرارتفاع جنب حاره با تاوایی منفی قوی در شمال ایران و کم ارتفاع پاکستان با تاوایی مثبت زیاد در جنوب شرقی ایران، قرار دارد. این شرایط موجب شده تا جریان های جوی با سرعت زیاد در شرق پرارتفاع و شمال و غرب کم ارتفاع از شمال افغانستان و جنوب ترکمنستان به منطقه مطالعه بوزند. همچنین در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال کم ارتفاع پاکستان کرد آشکارتری دارد و با چند سلول ارتفاعی بسته بر روی پاکستان، افغانستان و جنوب شرق ایران دیده می شود طوری که هم ارتفاع ۱۳۷۰ متر سلول مرکزی آن می باشد و بخش عمده خاورمیانه تا دریای مدیترانه را پوشش می دهد. همزمان زبانه پرارتفاعی با چند زبانه و مرکز بسته شده از جنوب اروپا و دریای سیاه به شمال ایران و دریای خزر پیشروی کرده است. در همین زمان مرکز تاوایی منفی قوی بر روی دریای خزر و غرب پاکستان قرار دارد. این شرایط اختلاف فشار شدیدی را در مرکز و شرق ایران موجب شده طوری که جریانات سریع و طوفانی باد از آسیای میانه، شمال شرق ایران و شمال افغانستان به مرکز ایران و منطقه مطالعه می وزند. در سطح زمین این الگو نیز کم فشار قوی پاکستان با هم فشار مرکزی ۹۹۴ هکتوپاسکال در غرب پاکستان، جنوب و غرب ایران تا دریای مدیترانه را پوشش می دهد و همزمان مرکز پرفشاری شمال شرق و شمال ایران و دریای سیاه تا جنوب اروپا دیده می شود، فشردگی خطوط هم فشار در منطقه مورد مطالعه، مرکز و غرب ایران حکایت از وزش شدید و طوفانی بادها از شمال شرق ایران و آسیای میانه به داخل ایران دارد. این الگو نشان می دهد اختلاف شدید ارتفاع در سطوح بالای جوی و اختلاف شدید فشار در سطح زمین بین مرکزی در شمال شرق و دریای خزر (پرارتفاع و پرفشار) و پاکستان، جنوب شرق و جنوب ایران (کم ارتفاع و کم فشار پاکستان) موجب ورود جریان های شدید و طوفانی از آسیای میانه، شمال شرق ایران و شمال افغانستان به منطقه مطالعه بوزند و با سرعت زیاد باد ذرات خاک از بیابان های خشک را با خود به همراه دارند. البته قابل ذکر این شرایط همچنین مرتبط با بادهای ۱۲۰ روزه سیستان و بلوچستان در شرق و جنوب شرق ایران است.



شکل ۶: نقشه های ارتفاع، تاوایی و الگوی جریان باد برای سطوح بالا و سطح زمین در الگوی طوفان ۱۴ آگوست ۱۹۹۵

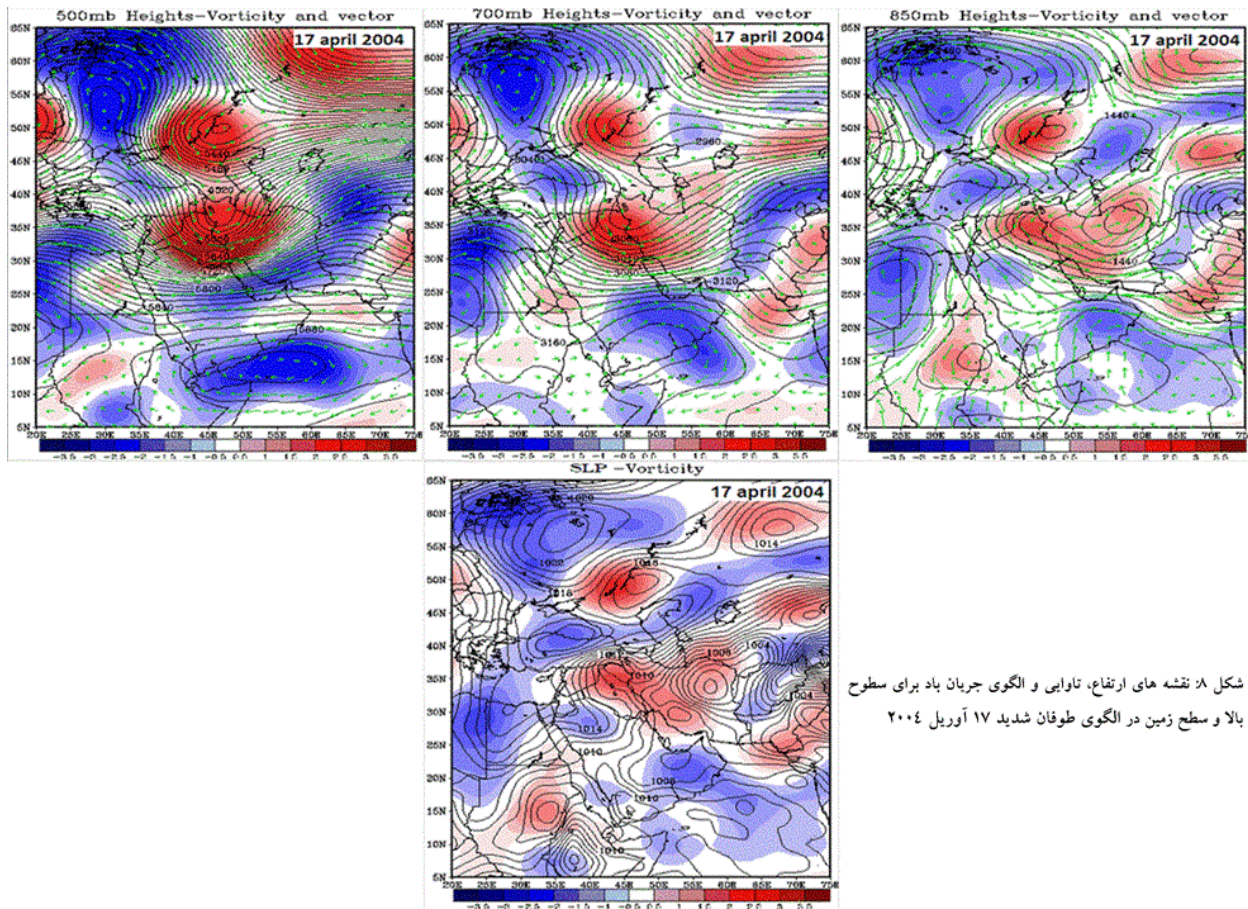
۶ آوریل ۱۹۹۸: در الگوی سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال، بادهای غربی با سرد چالی قوی با چند سلول بسته شده و سلول مرکزی ۵۵۵۰ متر در مرکز ایران مشاهده می‌شود که این شرایط موجب حرکت نصف انهاری و ترفی عمیق تا شمال غربی عربستان شده است و منطقه مورد مطالعه در جلوی ترف عمیق و ناحیه ناپایداری شدید قرار دارد. همزمان هم ارتفاع ۵۸۸۰ متر پراارتفاع جنب حاره در جنوب خلیج فارس قرار دارد و فرازی نسبتا پر ارتفاع در غرب اروپا و دریای سیاه و شرق مدیترانه آشکار می‌باشد. در این الگو بخش غالب سرزمین ایران و جنوب عراق با تاوایی مثبت بالا و شمال غرب ایران، دریای خزر و دریای سیاه با تاوایی منفی بالا مشاهده می‌شود، این شرایط موجب ورود جریان‌های از غرب اروپا و شمال غرب ایران به بیابان‌های داخلی ایران می‌شود. در الگوی سطح ۷۰۰ نیز کم ارتفاع مرکزی ایران به شکل خمیده‌ای از شمال شرق تا جنوب غرب ایران کشیده شده و فرازی پراارتفاع در شرق دریای مدیترانه تا دریای سیاه و روی خزر ادامه دارد. همزمان در جنوب شرق ایران و افغانستان و پاکستان فراز بادهای غربی مشاهده می‌شود. در این سطح نیز بخش عمده ایران با تاوایی مثبت (ناپایداری شدید) و دریای خزر و افغانستان و پاکستان با تاوایی منفی آشکار می‌باشند. این شرایط موجب ورود جریان‌های باد شدید از اروپای غربی، شمال و شمال غرب به مرکز ایران و با حرکت پاد ساعت‌گرد به منطقه مطالعه بوزند. همچنین در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال، مرکز کم ارتفاع قوی با چند سلول بسته در مرکز ایران و پراارتفاع در غرب و روی دریای خزر آشکار می‌باشد. در این الگو مرکز کم ارتفاع روی استان خراسان جنوبی قرار دارد که سلول هم ارتفاع ۱۴۵۰ متر روی استان مشاهده می‌شود. در این الگو نیز منطقه تاوایی مثبت روی مرکز و

شرق ایران و همزمان دریای خزر با تاوایی منفی بالا آشکار می‌باشد. این شرایط موجب حرکت سریع بادهای چرخش باد ساعت‌گرد در روی منطقه مورد مطالعه شده که با توجه به مسیر حرکت این جریان‌ها از روی بیابان‌های مرکزی و غرب منطقه مورد مطالعه، ذرات گرد و غبار را به همراه دارد و میزان دید را به کمتر از ۱۰۰۰ متر کاهش می‌دهد. در الگوی سطح زمین نیز مرکز کم فشار قوی با هم فشار مرکزی ۹۹۵ هکتوپاسکال روی منطقه مورد مطالعه قرار دارد که شرایط ناپایداری سطحی شدیدی را موجب می‌شود و هم‌زمان پرفشار قوی روی ترکیه و دریای خزر با هم فشار ۱۰۲۴ هکتوپاسکال مشاهده می‌شود و شیب فشار زیاد بین این دو منطقه روی بیابان‌های مرکزی موجب طوفان و سرعت باد شدید و حرکت به سمت مرکز کم فشار بر روی منطقه مورد مطالعه شده است. در این الگو با توجه به ایجاد سردچال در سطوح بالای جوی در مرکز و شرق ایران که سیستم‌های سینوپتیکی با دوام بالا هستند و کم فشار قوی بر روی منطقه مورد مطالعه و حرکت چرخشی و مکنده کم فشارها و هم‌زمان پرفشار در ترکیه و خزر موجب حرکت سریع جریان‌ها باد از شمال و شمال غرب به بیابان‌های مرکزی ایران و منطقه مورد مطالعه می‌شود که میزان دید را به کمتر از ۱ کیلومتر کاهش می‌دهند.



شکل ۷: نقشه های ارتفاع، تاوایی و الگوی جریان باد برای سطوح بالا و سطح زمین در الگوی طوفان ۶ آوریل ۱۹۹۸

الگوی روز طوفانی شدید (۱۷ آوریل ۲۰۰۴): با توجه به جدول ۲ (ویژگی‌های روزهای گرد و غباری در هریک از ایستگاه‌های استان خراسان جنوبی در طول دوره آماری مورد مطالعه) ۲ مورد طوفان شدید (میزان دید پایین‌تر از ۲۰۰)، در استان در طول دوره آماری مورد مطالعه داشته ایم که در این قسمت ما به بررسی طوفان ۱۷ آوریل ۲۰۰۴ که یک روز گرد و غباری فراگیر در استان بوده است می‌پردازیم. از ابتدای روز ۱۷ آوریل ۲۰۰۴ گرد غبار در استان شروع شده است و در ساعت ۱۲ ظهر تبدیل به طوفان شده است. در نقشه سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال ترفای عمیق بادهای غربی با دو محور یکی در غرب ایران و دیگری با محوری خمیده در شمال دریای خزر تا دریای سیاه که در روی اروپا به مانع تبدیل شده است، و هم زمان فرازی پراارتفاع از شمال شرق آفریقا تا شمال اروپا ادامه دارد. همچنین فرازی کم ارتفاع در پاکستان وجود دارد که جنوب شرق ایران در عقب فراز قرار گرفته است. در این الگو مرکز و شرق ایران که غالباً بیابان می‌باشند، در جلوی تراف و در منطقه ناپایداری شدید قرار دارند و همزمان محور تراف بر روی غرب ایران و عراق قرار دارد. در این الگو منطقه تاوایی مثبت در غرب ایران و عراق و تاوایی منفی در جنوب شرق ایران آشکار می‌باشد. بنابراین جریان‌های از اروپای غربی، ترکیه، اردن و عراق به بیابان‌های داخلی ایران و منطقه مورد مطالعه می‌وزند. در الگوی سطح ۷۰۰ هکتوپاسکال مشابه سطح ۵۰۰، محور تراف خمیده از غرب ایران تا جنوب مصر کشیده شده که شرق عراق در جلوی تراف قرار دارد و همزمان مانع (بلوکینگ) بادهای غربی در اروپا وجود دارد. جریان‌های جوی مشابه سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال از اروپا، بیابان‌های عراق و ایران به سمت منطقه مورد مطالعه با سرعت زیاد می‌وزند. همچنین در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال این الگو، کم ارتفاع بسته‌ای در استان خراسان با هم ارتفاع ۱۴۱۰ متر مشاهده می‌شود و منطقه تاوایی مثبت بخش عمده ایران را پوشش می‌دهد و همزمان مرکز پر اتفافی با چند سلول بسته روی دریاچه آرال، دریای سیاه، شمال اروپا و شمال آفریقا با تاوایی منفی آشکار می‌باشد در این الگو جریان‌های جوی از مراکز فوق به بیابان‌های شمال عراق (بیشینه تاوایی مثبت) و بیابان‌های ایران به منطقه مورد مطالعه می‌وزند و با خود ذرات گرد و غبار را از بیابان‌های فوق منتقل می‌کنند. در سطح زمین مرکز کم فشاری با چند هم فشار بسته و سلول مرکزی ۱۰۰۱ هکتوپاسکال در منطقه مورد مطالعه و خراسان بزرگ مشاهده می‌شود که شرایط حاکی از وجود ناپایداری شدید و حرکت سریع باد در منطقه مطالعه دارد. در این الگو با توجه به منطقه قرار گیری تاوایی مثبت در شمال عراق و بیابان‌های داخلی ایران و کم فشار در منطقه مورد مطالعه، جریان باد شدید، ذرات گرد و غبار از بیابان‌های فوق به منطقه مورد مطالعه منتقل می‌شوند. با توجه به بیابانی بودن استان و عبور این جریان‌ها از روی زمین‌های خشک موجب شده تا میزان دید در ایستگاه خور بیرجند در ساعت ۱۵ به ۱۰۰ متر کاهش یابد.



شکل ۸: نقشه های ارتفاع، تاوایی و الگوی جریان باد برای سطح بالا و سطح زمین در الگوی طوفان شدید ۱۷ آوریل ۲۰۰۴

نتیجه گیری

شناخت ساختار بزرگ مقیاس گردش جو و تبیین نحوه برهم کنش آن با خصوصیات و ویژگی های مقیاس منطقه ای و محلی، درک نظام اقلیمی حاکم بر هر منطقه را ممکن می سازد. یافته های پژوهش ویژگی های زیر را در خصوص پدیده گرد و غبار در استان خراسان جنوبی نشان می دهد: بیشترین روزهای گرد و غبار در استان خراسان جنوبی، در فصل بهار (آوریل، می و ژوئن) اتفاق افتاده و کمترین وقوع گرد و غبار در فصل پاییز می باشد. چنان که ایستگاه بشرویه در ماه می با ۱۱۳ روز، بیشترین روز گرد و غبار را در استان خراسان جنوبی تجربه کرده و کمترین روز گرد و غبار در بیرجند حادث شد. بنابراین در کل استان، بیشترین روزهای گرد و غباری مربوط به ماه می و کمترین روزهای گرد و غباری مربوط به ماه اکتبر می باشد. روزهای گرد و غبار استان در طول دوره آماری، ۲۵ مورد همراه با طوفان و دو مورد طوفان شدید می باشد (جدول ۲). بیشترین طوفان در ماه مارس و جولای (۴ روز) و ایستگاه نهبندان (۱۱ روز) بوده و طوفان شدید دو مورد در ماه جون و آوریل در ایستگاه خور بیرجند اتفاق افتاده است. گرد و غبارها در استان خراسان جنوبی در دو فصل بهار و تابستان از الگوهای جوی متفاوتی تأثیر می پذیرند. در فصل تابستان با پیشروی پراارتفاع جنب حاره به ایران در سطوح بالای جو و وجود کم ارتفاع در غرب پاکستان در سطوح پایین جوی، موجب کجی محور پر ارتفاع آזור در شرق ایران می شود. در این الگو منطقه مورد مطالعه با تاوایی مثبت و شمال ایران و دریای خزر با تاوایی منفی مشهود است. در

سطح زمین کم فشار پاکستان نیمه جنوبی ایران و پر فشار در غرب دریای خزر قرار دارد. در این الگو استان خراسان جنوبی در منطقه شیب فشار قرار داشته و جریان‌های جوی از روی بیابان‌های ترکمنستان و شمال شرقی استان گرد و غبارها را به همراه دارند. این شرایط جوی و وقوع گرد و غبارها مرتبط با بادهای ۱۲۰ روزه سیستان و بلوچستان می‌باشد. اما در فصل بهار شرایط دینامیکی و جوی متفاوت است. در این فصل تراف کم عمق بادهای غربی در سطوح بالای جو بر روی ایران قرار دارد و منطقه مورد مطالعه در جلوی تراف و منطقه بیشینه تلاویی مثبت و ناپایداری شدید ناشی از کم فشار است. در این الگو جریان‌های جوی از روی بیابان‌های مرکزی ایران و غرب استان با خود ذرات گرد و غبار را به ارمغان می‌آورند. در روزهای طوفانی تابستان، پراارتفاع جنب حاره قوی شده (هم ارتفاع ۵۹۰۰ متر) و از غرب ایران تا عرض‌های بالای جغرافیایی پیشروی کرده و همزمان در شرق ایران با وجود کم ارتفاع بر روی افغانستان و پاکستان و شرق ایران (منطقه مورد مطالعه) سبب کجی محور پراارتفاع جنب حاره شده و در سطح زمین اختلاف فشار جنوب شرقی ایران و پاکستان (کم فشار) و دریای خزر (پرفشار) جریان‌های شدید هوا از روی بیابان‌های آسیای میانه، ترکمنستان و شمال استان به منطقه مورد مطالعه شد. در طوفان‌های بهار نیز با عمیق شدن تراف مرکزی ایران و وجود سرد چال، منطقه مورد مطالعه در جلوی تراف و در سطح زمین کم فشار قوی، ناپایداری شدید و حمل و انتقال ذرات معلق از بیابان‌های مرکزی ایران و جنوب و غرب استان، به منطقه را به همراه دارند.

منابع

- ۱- امیدوار، کمال (۱۳۸۵): بررسی و تحلیل سینوپتیکی طوفان‌های ماسه در دشت یزد - اردکان، فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی، دوره ۲۱، شماره ۲ (پیاپی ۸۱)، صص ۴۳-۵۸.
- ۲- براتی، غلامرضا. لشکری، حسن. کرمی، فریبا (۱۳۸۸): نقش همگرایی سامانه‌های فشار بر رخداد طوفان‌های غباری استان خوزستان، جغرافیا و توسعه، شماره ۲۲، اردیبهشت ۱۳۸۸، صص ۳۹-۵۶.
- ۳- حسینی، سید باقر (۱۳۷۹): مطالعه سینوپتیکی طوفان‌های شدید در تهران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد هواشناسی، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده منابع طبیعی.
- ۴- خوش کیش، اسد علیجانی، بهلول. حجازی زاده، زهرا (۱۳۹۰): تحلیل سینوپتیکی سامانه‌های گرد و غبار در استان لرستان، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، شماره ۲۱، تابستان ۱۳۹۰، صص ۹۱-۱۰۱.
- ۵- ذوالفقاری، حسن. معصوم پور سماگوش، جعفر. شایگان مهر، شاپور. احمدی، محمد (۱۳۹۰): بررسی همدید طوفان‌های گرد و غبار در مناطق غربی ایران طی سال‌های ۱۳۸۴ تا ۱۳۸۸ (مطالعه موردی: موج فراگیر تیرماه ۱۳۸۸)، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۰، صص ۱۷-۳۴.
- ۶- رئیس پور، کوهزاد (۱۳۸۷): تحلیل آماری و سینوپتیکی پدیده گرد و غبار در خوزستان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، رشته اقلیم‌شناسی در برنامه ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، صفحه ۱۵۷.
- ۷- طاووسی، تقی. خسروی، محمود. رئیس پور، کوهزاد (۱۳۸۷): تحلیل سینوپتیکی پدیده گرد و غبار در استان خوزستان، مجموعه مقالات سومین کنفرانس ملی مقابله با سوانح طبیعی، دانشکده فنی دانشگاه تهران، صفحه ۹.

- ۸- علیجانی، بهلول (۱۳۸۱): اقلیم شناسی سینوپتیک، انتشارات سمت، صص ۵-۲۰.
- ۹- فرج زاده اصل، منوچهر. عزیزاده، خاطره (۱۳۸۹): تحلیل زمانی و مکانی طوفان‌های گرد و خاک در ایران، مدرس علوم انسانی، شماره ۱، بهار ۱۳۸۹، صص ۶۶-۸۴.
- ۱۰- کرمی، فریبا (۱۳۸۸): همگرایی سیستم‌های فشار و طوفان‌های گرد و غبار در استان خوزستان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد گروه جغرافیای دانشگاه رازی.
- ۱۱- کریمی احمد آباد، مصطفی. شکوهی رازی، کامیار (۱۳۹۰): اندرکنش گردش جو و پوشش سطح زمین در ساز و کار تشکیل و گسترش طوفان‌های گرد و غبار تابستانه‌ی خاورمیانه (طوفان گرد و غبار تیرماه ۱۳۸۸)، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۸، زمستان ۱۳۹۰، صص ۱۱۳-۱۳۰.
- ۱۲- کیخسروی، قاسم. قویدل رحیمی، یوسف (۱۳۸۷): بررسی طوفان‌های گرد و غباری استان خراسان رضوی، جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، شماره ۱۰، صص ۴-۲۲.
- ۱۳- لشکری، حسن. کیخسروی، قاسم (۱۳۸۷): تحلیل آماری سینوپتیکی طوفان‌های گرد و غبار استان خراسان رضوی: در فاصله زمانی ۲۰۰۵-۱۹۹۳، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۶۵، پاییز ۱۳۸۷، صص ۱۷-۳۳.
- ۱۴- مرجانی، سید صدرالدین (۱۳۷۲): بررسی سینوپتیکی بادهای شدید بیش از ۱۵ متر بر ثانیه در خراسان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد هواشناسی، دانشگاه تهران، ۱۸۱-۱۸۲.

- 15- Barkan, J., (2008): Sinopsis Patterns Associated With Dust and Non- Dusty Seasons in The Sahara. *Theor.Appl.Climatolo*, vol 10, pp: 354- 364.
- 16- Dayan, U., Baruch, Z., Shoob, T., Enzel, Y., (2008): Suspende Dust Over Southeastern Mediterranean and Its Relation to Atmospheric Circulations, *International Journal of Cllmatology*, Vol. 28, 915-924.
- 17- Goudie, A. and Midelton, N.J. (2001): Sanaran Dsat Storms: Natare and Consequences: *Earth Science Review*. Vol 56, 179- 190.
- 18 - Kutiel H, and Furman H. (2003): Dust Storms in the Middle East: Sources of Origin and Their Temporal Characteristics *Indoor Built Environ*. Vol 12:419 – 426.
- 19- Natsagdorj, L.D.Jugder, Y.Schung. (2002): Analysis of Dust Storms Observed. *Mongolia During 1937 – 1999*, p12.
- 20- Prospero, J. M., Ginoux, P., Torres, O., Nicholson, S. E. & Gill, T. E., (2002): Environmenta Characterization of Global Sources of Atmospheric Soil Dust Identified with the Nimbus 7 Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) Absorbing Aerosol Product, *Reviews of Geophysics*, Vol. 40, No. 1, 1002.
- 21- Shao, Y., Dong, C. H., (2006): a Review on East Asian Dust Storm Climate.
- 22- Westwell, I., (1999): *Factfinder Guide Weather*, Grange book Press.
- 23- Yarnal, B., (1993): *Sunoptic Climatology in Environmental Analysis*, Belhaven Press, pp 1- 18.

