

بررسی پدیده گرد و غبار در غرب ایران از دیدگاه هواشناختی (مطالعه بلندمدت و کوتاهمدت)

عباس رنجبر سعادت آبادی*^۱، مجتبی مبین پرست^۲، فائزه نوری^۳

۱- استادیار پژوهشکده هواشناسی

۲- کارشناس اداره هواشناسی ایلام

۳- کارشناس پژوهشکده هواشناسی

(دریافت: ۹۵/۰۷/۰۳، پذیرش: ۹۵/۰۹/۰۹)

چکیده

گرد و غبار یکی از پدیده‌های مخرب جوی است که دارای تأثیرات زیست محیطی، سلامت عمومی، منابع طبیعی، اجتماعی و ... می‌باشد. در این مقاله شرایط تشکیل و انتقال پدیده گرد و غبار بر روی نواحی غربی کشور از دیدگاه هواشناختی (مطالعه بلندمدت و کوتاهمدت) مورد بررسی قرار گرفته است. مطالعه بلندمدت برای داشتن الگوی اقلیمی هواشناسی منجر به این پدیده و مطالعه کوتاهمدت جهت بررسی چگونگی ایجاد و انتقال ذرات معلق بر اساس مطالعه جریانات، الگوهای جوی و شرایط فیزیکی انجام شده است. برای این منظور داده‌های هواشناسی ایستگاه فرودگاه ایلام به‌عنوان ایستگاه شاهد منطقه غرب کشور استخراج و به‌صورت آماری طی دوره (۲۰۱۰-۱۹۸۵) به تفکیک ماه، فصل و شدت (میدان دید افقی) بررسی گردید، سپس الگوهای جوی مؤثر در ایجاد گرد و غبار از دیدگاه همدیدی، دینامیکی و عددی مطالعه شد. نتایج نشان داد میانگین الگوهای جوی منجر به گرد و غبار در فصول خشک و تر متفاوت می‌باشد. اما مهم‌ترین ویژگی‌های غالب این الگوها که موجب تولید گرد و خاک در منطقه و انتقال آن به غرب کشور می‌شود عبارت است از: ۱- وجود و تقویت سامانه کم‌فشار حرارتی بر روی منطقه و ادغام آن با کم‌فشار دینامیکی ۲- نفوذ سامانه پرفشار بر روی ترکیه و غرب سوریه و نواحی شمال غرب ایران، ۳- ایجاد گرادیان قوی فشاری مداری و نصف‌النهاری شده ۴- وزش باد نسبتاً شدید غرب-شمال غربی بر روی مناطق مستعد گردو خاک، ۵- استقرار ناوای حاصل از کم ارتفاع تراز ۵۰۰ hpa بر روی سوریه و عراق و امتداد آن تا شمال غرب عربستان، ۶- افزایش سرعت اصطکاکی قبل از وقوع توفان گرد و خاک و وجود سرعت‌های اصطکاکی بیش از ۰/۵ m/s بر روی کانون‌های گردو خاک. همچنین بررسی‌ها نشان داد که مناطق منبع برای گرد و غبارهای نیمه غربی کشور در کشورهای عراق (شمال غرب و غرب برای فصل خشک و مرکز و جنوب در فصل مرطوب)، شمال عربستان (بیشتر در فصل مرطوب) و شرق سوریه (عمدتاً در فصل خشک) می‌باشد.

کلمات کلیدی: گردو خاک، الگوهای جوی، سرعت اصطکاکی، نواحی غربی ایران.

مقدمه

به مراتب کمتر از میانگین کشوری که خود از میانگین جهانی کمتر است می‌باشند و بیشتر متأثر از بادهای موسمی یا همان ۱۲۰ روزه سیستان هستند. نوع توفان شن در این مناطق بیشتر است. اما نواحی غربی کشور از جمله استان ایلام و کرمانشاه هم از نظر توپوگرافی و هم از نظر بارندگی با مناطق یاد شده متفاوت است. این مناطق عموماً دارای ساختار کوهستانی و کوهپایه‌ای و با پوشش گیاهی مساعد جنگلی می‌باشد و میانگین بارندگی سالانه در این نواحی از میانگین کشوری به نحو چشمگیری بالاتر است، بنابراین گرد و غبارهای این ناحیه باید دارای منشأ خارجی بوده و از جای دیگری خارج از منطقه نشأت گرفته باشند. گرد و غبار به دلیل ورود ذرات معلق خاک و غبار به جو شکل می‌گیرد و آثار بسیار مهمی را در شکل‌گیری و رفتار پدیده‌ها و شرایط اقلیمی، زیست محیطی، بهداشتی و فعالیت‌های اقتصادی و اجتماعی دارد. تحقیقات نشان داده است که باکتری‌ها، ویروس‌ها و

سامانه‌های جوی و وضعیت ساختار سطح زمین (ساختار واقعی زمین و ساختاری که بر اثر دست کاری بشر حاصل شده است) از عوامل مؤثر در رخداد پدیده گردو غبار هستند. ایران و کشورهای همسایه واقع در غرب آن در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان که مناطق غبارخیزی محسوب می‌شوند، قرار گرفته‌اند. هر ساله بخش‌های وسیعی از کشور از جمله مناطق غربی و جنوب غربی تحت تأثیر پدیده گرد و غبار قرار می‌گیرند. هر چند مناطق مرکزی کشور مانند یزد و مخصوصاً جنوب شرق کشور مانند زابل در استان سیستان و بلوچستان نیز تحت تأثیر توفان شن و گرد و خاک هستند، اما توفان‌های این مناطق با گرد و غبارهای مناطق غربی دارای تفاوت ماهوی و ذاتی است. مناطق مرکزی و جنوب شرقی کشور عموماً دارای بافت کویری و خشک از منظر خاک‌شناسی بوده و از نظر بارندگی نیز دارای میانگین سالانه

قارچ‌ها قابلیت انتقال تا هزاران کیلومتر را به همراه گرد و غبار جوی دارند که بعضی از آن‌ها بیماری‌زا هستند، همچنین وجود ذرات معلق حاصل از گرد و غبار در جو و هوای محیط موجب بالا رفتن شاخص‌های هشدار زیست‌محیطی و کاهش کیفیت هوا می‌گردد. علاوه بر این گرد و غبار منتشره در جو و محیط اطراف می‌تواند منجر به کاهش دید افقی و حتی در مواردی دید عمودی شود که در حمل و نقل هوایی، زمینی و دریایی اثرگذار است. از طرفی وجود گرد و غبار و تبدیل آن به یک پدیده اقلیمی دائم می‌تواند بر روی روحيات مردم اثرگذار باشد. در این مطالعه پدیده گرد و غبار مه (dust haze) به عنوان یکی از پدیده‌های زیان‌بخش مورد مطالعه قرار گرفته است. منطقه مورد مطالعه شهر ایلام می‌باشد. با توجه به اینکه این پدیده عموماً میان‌مقیاس بوده و هنگام اثر بر روی شهر ایلام هم زمان یا به فاصله زمانی کمی بر روی دیگر شهرهای استان و حتی استان‌های مجاور اثر می‌گذارد، نتیجه حاصل بر روی تمام استان و حتی استان‌های هم‌جوار قابل تعمیم است. ذوالفقاری و عابدزاده (۱۳۸۴) در تحلیل همدیدی پدیده گرد و غبار در غرب ایران در بازه زمانی (۱۹۸۷-۱۹۸۳) به این نتیجه رسیدند که منابع اصلی گرد و غبارهایی که به غرب ایران وارد می‌شوند بیشتر از مناطق بیابانی نسبتاً نزدیک مانند صحرای سوریه و یا صحرای نفود در شمال شبه‌جزیره عربستان و جنوب عراق است. میهن‌پرست و همکاران (۱۳۸۸ و ۱۳۹۰) در مطالعه این پدیده در نیمه غربی کشور به این نتیجه رسیدند که چشمه‌های گرد و غبار تابستانه نیمه غربی کشور عمدتاً در شمال‌غرب و غرب عراق و شرق سوریه می‌باشند، آن‌ها همچنین نشان دادند که گرد و غبارهای تابستانه فصل گرم سال عمدتاً در طبقه‌بندی شمال تابستانه قرار می‌گیرند. فرارفت هوای سرد در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکالی و بادهای شمال‌غربی مناطق منبع از دیگر نتایج کار آن‌ها بود. مشکوتی و همکاران (۱۳۸۹) در شبیه‌سازی سرعت اصطکاکی سامانه‌های گرد و غباری نیمه غربی کشور به صورت موردی به این نتیجه رسیدند که عمدتاً مناطقی که توسط تصاویر ماهواره به عنوان منبع گرد و خاک و گرد و غبار در نظر گرفته می‌شوند با مناطقی که دارای سرعت‌های

اصطکاکی چشمگیری هستند، منطبق می‌باشند که در این مناطق به علت عدم پوشش گیاهی مناسب و نیز خاک شل منطقه بیشتر انرژی و تکانه باد به سطح خاک منتقل شده و لذا سرعت باد به مقدار آستانه جهت آغازگری توفان خاک می‌رسد. مطالعه یونگ سین و همکاران (۲۰۰۴) بر روی پدیده گرد و غبار و غبار مه آسیایی در شهر ستول کره جنوبی نشان داد که اکثر گرد و خاک آسیایی در فصل بهار و ماه آوریل رخ می‌دهد. آن‌ها دریافتند که وقتی یک گرادیان فشاری قوی بر روی منطقه خشک بین چین و مغولستان شکل می‌گیرد موجب ایجاد باد قوی برای بالا بردن ذرات گرد و غبار شده و این پدیده شکل می‌گیرد. ژانگ و همکاران (۲۰۰۶) با استفاده از باند فرو سرخ تصاویر ماهواره‌ای مودیس، چگونگی شناسایی طوفان‌های گرد و خاک را بررسی کردند. رنجبر سعادت‌آبادی و عزیزی (۱۳۹۱) الگوهای هواشناسی، شناسایی چشمه‌های تولید گرد و غبار و مسیر حرکت ذرات معلق برای طوفان ژوئیه ۲۰۰۹ را مطالعه کردند. مطالعات زیادی از جمله سان و همکاران، ۲۰۰۱، ژاهو، ۲۰۰۱، چان و همکاران، ۲۰۰۱، کیوآن و همکاران، ۲۰۰۲، ناتساگدورج و همکاران، ۲۰۰۳، کیوراساکی و میکامی، ۲۰۰۵، شائو و وانگ، ۲۰۰۳، در ارتباط با اقلیم‌شناسی توفان‌های گرد و غبار در شرق آسیا بر اساس تحلیل‌های همدیدی انجام شده است. همچنین تأثیر ذرات حاصل از گرد و غبار بر سلامت جوامع انسانی، موضوعی است که با توجه به فراوانی طوفان‌های گرد و غباری، در سطح جهانی مورد توجه قابل‌ملاحظه‌ای قرار گرفته است (گریفین و همکاران ۲۰۰۱، گارسیون و همکاران ۲۰۰۳).

هدف اصلی این تحقیق شناخت هرچه دقیق‌تر پدیده گردوغبار و فراهم نمودن بستر لازم برای پیش‌بینی آن جهت کاهش و در صورت امکان جلوگیری از آثار سوء این پدیده بر فعالیت‌های اقتصادی و اجتماعی و سلامت عمومی در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. از دیگر اهداف تحقیق یافتن الگوهای هواشناسی مؤثر بر منطقه به هنگام وقوع پدیده گرد و غبار است.

داده‌ها و روش تحقیق

روش کار مورد استفاده در این تحقیق بر دو نوع مطالعه بلندمدت و کوتاه‌مدت استوار است. در مطالعه بلندمدت، هدف یافتن الگوهای بلندمدت همدیدی میانگین فشار سطح دریا و میانگین ارتفاع ژئوپتانسیلی ۵۰۰ هکتوپاسکالی است. برای این کار نخست آمار تمام روزهای گرد و غباری با کد ۰۶ (گرد و غبار معلق در هوا که بوسیله باد در ایستگاه و یا نزدیکی ایستگاه بلند نشده باشد) در ایستگاه فرودگاه شهر ایلام (به عنوان ایستگاه شاهد) همراه با میدان دید افقی طی دوره (۲۰۱۰-۱۹۸۵) استخراج شد. سپس بر مبنای دید افقی گرد و غبارها را دسته‌بندی نموده بطوریکه گرد و غبار با دید افقی کمتر از ۲۰۰۰ متری در دسته بسیار شدید تا شدید (تعطیلی ادارات و مدارس و لغو پروازها در این دسته هستند و از دید افقی ۲۰۰۰ تا ۴۰۰۰ متری را دسته شدید تا متوسط (تأخیر در برخی پروازها) قرار داده شد، سپس از مرکز ملی تحقیقات و پیش‌بینی‌های محیطی (NCEP/NCAR) داده‌های فشار میانگین سطح دریا و ارتفاع ژئوپتانسیلی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکالی مربوط به آن‌ها را در شبکه‌ای با تفکیک ۲/۵ درجه افقی (کالانی و همکاران ۱۹۹۶) از عرض جغرافیایی ۱۰ تا ۶۰ درجه شمالی و طول ۰ تا ۷۰ درجه شرقی استخراج و پس از انجام محاسبات لازم نقشه‌های بلندمدت با استفاده از نرم‌افزار GRADS ترسیم شد. با توجه به اینکه پدیده گرد و غبار نه تنها در ماه‌های خشک سال (خرداد، تیر، مرداد و شهریور) بلکه در ماه‌های مرطوب (آبان، آذر، دی و بهمن) و حتی ایام همراه با بارندگی مشاهده می‌شود به دسته‌بندی دیگری بر مبنای بارش ماهانه پرداخته شد. در این طبقه‌بندی در ماه‌هایی که بارندگی در ایستگاه‌های ایلام و حتی غرب کشور صفر یا نزدیک به صفر است به عنوان فصل خشک و ماه‌هایی که در غرب کشور و مخصوصاً ایستگاه ایلام بارندگی رخ می‌دهد به عنوان فصل مرطوب انتخاب شد و سپس گرد و غبارهای این فصول استخراج و مجدداً استخراج داده‌ها و عملیات مربوطه مانند قبل انجام شد و نتایج حاصله به صورت نقشه‌های بلندمدت برای فصول خشک و مرطوب ترسیم گردید.

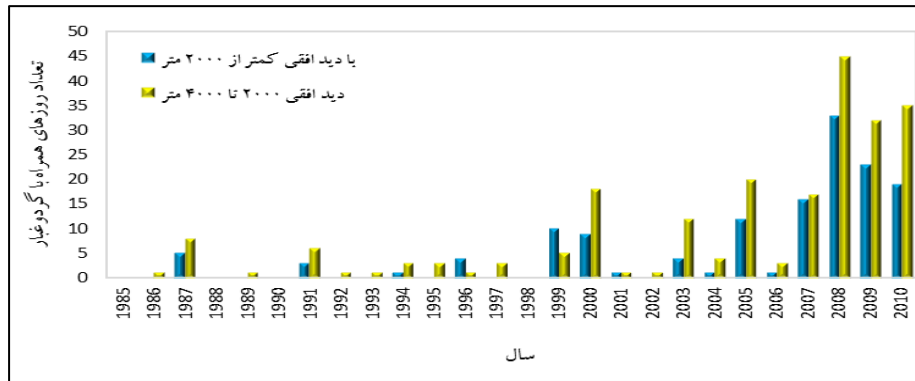
برای مطالعه کوتاه‌مدت در این تحقیق یک مورد از رخداد گرد و غبار شدید در فصل تابستان انتخاب شد که طی این پدیده دید افقی در اکثر ایستگاه‌های نیمه غربی کشور و خصوصاً استان ایلام به زیر ۵۰۰ متر رسید و پروازهای فرودگاه ایلام و برخی پروازهای فرودگاه کرمانشاه و اهواز لغو شد. سپس بر اساس داده‌های تحلیل نهایی (FNL)، برخی کمیت‌های دینامیکی-سینوپتیکی از جمله جت تراز پایین واقع در مرکز و شرق عراق، الگوی فشار سطح زمین و ارتفاع ترازهای ۸۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکالی مطالعه شده است. همچنین به کمک مدل میان‌مقیاس WRF باد ارتفاع ۱۰ متری و سرعت اصطکاکی به‌عنوان نماینده انتقال انرژی باد به سطح (انتقال تکانه) برای این سامانه شبیه‌سازی شد. جهت اطمینان نسبی از دقت عمل مدل WRF نقشه‌های فشار میانگین سطح دریا و ارتفاع ژئوپتانسیل ۵۰۰ هکتوپاسکالی حاصل از مدل با نقشه‌های واقعی مقایسه شد. همچنین برای سرعت اصطکاکی، مقدار این کمیت بر روی دریاها و آب‌های ساکن که بر اساس تئوری دارای مقادیر کم می‌باشد با مقادیر به‌دست‌آمده مندرج در کتب هواشناسی خرد مقیاس مقایسه گردید که عمدتاً نزدیک به واقعیت بودند. در برخی موارد که سرعت اصطکاکی اندکی از مقدار تجربی افزایش را نشان داد به علت وزش باد بر روی سطح دریا و ایجاد امواج بوده است که آب را از حالت ساکن و راکد خارج می‌کند. یادآوری می‌گردد به علت محدودیت حجم مقاله و رعایت اختصار فقط برخی از نقشه‌ها و صرفاً جدول سرعت اصطکاکی در این مقاله گنجانده شده است.

بررسی فراوانی پدیده گرد و غبار

در دوره آماری مورد مطالعه (۲۰۱۰-۱۹۸۵) در مجموع ۵۰۶ روز توسط ایستگاه فرودگاه ایلام گرد و غبار گزارش شده است که به طور میانگین بیش از ۲۰ روز در سال گرد و غبار در منطقه رخ داده است. لازم به گفتن است که در این تحقیق روز گرد و غباری به روزی گفته می‌شود که در گزارش‌های روزانه همدید مورد مطالعه، حداقل یک بار گرد و غبار با کد هوا شناسی (۰۶) گزارش شده باشد. در شکل (۱) تعداد روزهای همراه با گرد و غبار در ایلام، برای یک

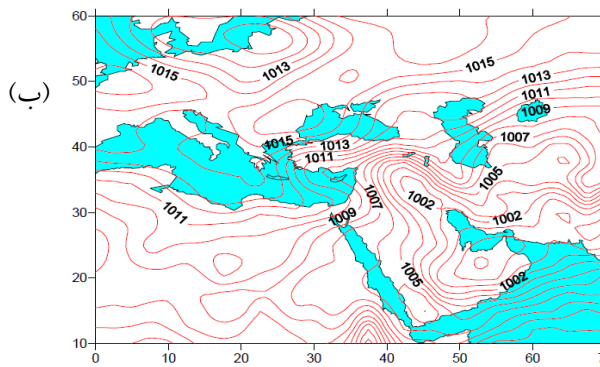
است. رخداد گرد و غبار از سال ۲۰۰۷ روند افزایشی قابل ملاحظه‌ای نسبت به سال‌های قبل از آن نشان می‌دهد بطوری‌که در سال ۲۰۰۸ با رخداد ۴۸ روز گرد و غبار متوسط تا بسیار شدید، به بیشینه مقدار خود رسیده است (شکل ۱).

دوره بیست و پنج ساله و به تفکیک دید افقی نشان داده شده است. طی این دوره آماری ۲۵ ساله، تعداد روزهای گرد و غباری با دید افقی کمتر از ۲۰۰۰ متر (گرد و غبار شدید تا بسیار شدید)، ۱۴۲ روز و برای دید افقی بین ۲۰۰۰ تا ۴۰۰۰ متر (گرد و غبار متوسط تا شدید)، ۲۲۱ روز مشاهده شده



شکل ۱- تعداد روزهای گرد و غباری با دید افقی کمتر از ۲۰۰۰ متر و بین ۲۰۰۰ تا ۴۰۰۰ متر در ایستگاه فرودگاه ایلام طی دوره آماری ۱۹۸۵-۲۰۱۰

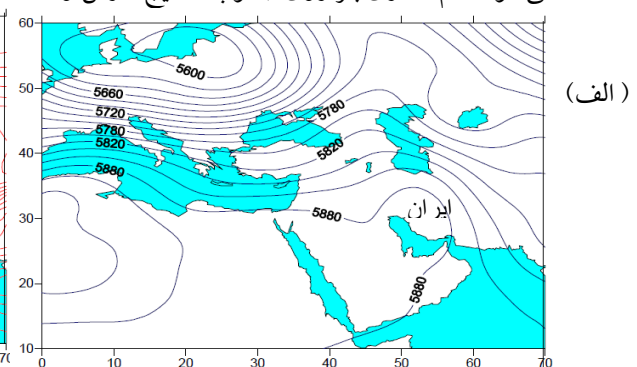
عراق با عمق زیاد بسته شده است. محور زبانه این کم فشار از خلیج فارس تا کشورهای ترکیه و سوریه امتداد یافته است. با توجه به امتداد این زبانه و استقرار پرفشار نسبی در شمال این زبانه (شمال فلات ایران و شمال غرب ترکیه)، گرادیان فشاری بسیار شدید از شمال غرب عراق و شرق سوریه تا غرب عراق و اردن شکل می‌گیرد. این شیب فشاری منجر به وزش بادهای شمال غربی- شمالی در منطقه می‌گردد و در مرکز عراق همگرایی را به وجود می‌آورد. در نقشه ۲-ب نیز ناوه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکالی بر روی ترکیه، سوریه و عراق که تا شمال عربستان امتداد یافته است را می‌توان مشاهده کرد. در قسمت‌های جنوبی ناوه، پربندهای ژئوپتانسیل مساعد انحنایافته‌اند.



نتایج و بحث
در این بخش از مقاله میانگین الگوهای بلندمدت منجر به رخداد گرد و غبار در دوره‌های خشک و تر، مطالعه موردی از رخداد گرد و غبار شدید، نیم‌رخ قائم جت ترازهای پایین و رورسپهر واقع در مرکز و غرب عراق (بین‌النهرین) و همچنین آستانه سرعت باد اصطکاکی بر روی کانون‌های گرد و خاک بررسی شده است.

میانگین بلندمدت الگوهای جوی

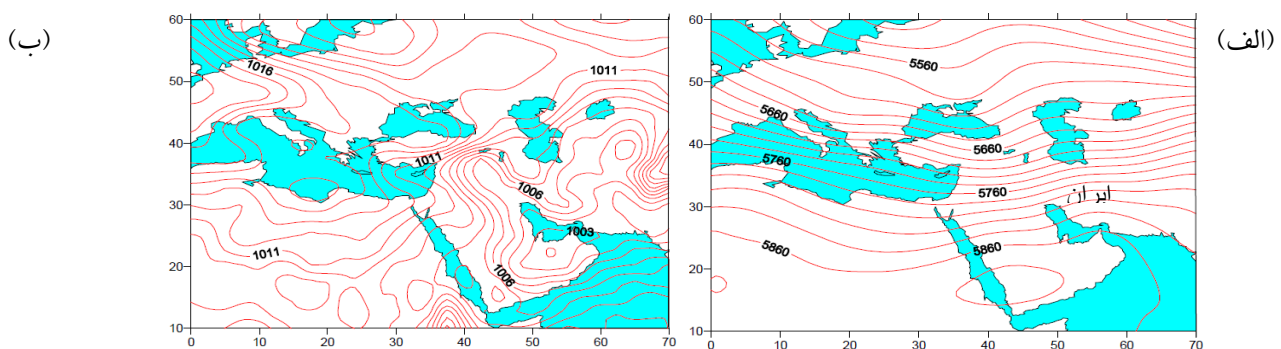
در شکل ۲ الگوی بلندمدت نقشه‌های همدیدی هواشناختی مربوط به روزهای گرد و غباری بسیار شدید تا شدید نشان داده شده است. همان‌طور که در نقشه ۲-الف مشاهده می‌شود، کم فشاری بر روی جنوب خلیج فارس و



شکل ۲- میانگین بلندمدت الگوهای همدیدی برای روزهای گرد و غباری بسیار شدید تا شدید الف- میانگین فشار سطح دریا (بر حسب هکتوپاسکال) و ب- ارتفاع ژئوپتانسیلی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (بر حسب ژئوپتانسیل متر)

با طول موج بسیار بلند در جنوب دریای سیاه تا روی عراق مشاهده می‌گردد (شکل ۳-ب). در این الگو نیز انحنای خطوط و امتداد ناوه نسبت به الگوی قبلی کمتر شده است. همان طور که قبلاً گفته شد در این تحقیق برای نخستین بار به دسته بندی سامانه های گرد و غباری بر مبنای فصول بارشی و خشک در ایران پرداخته شده است که مقایسه شکل های ۲ و ۳ بیانگر تفاوت الگوهای فشاری است که منجر به رخداد گرد و غبارهای شدید (شکل ۲) و متوسط (شکل ۳) می‌باشد.

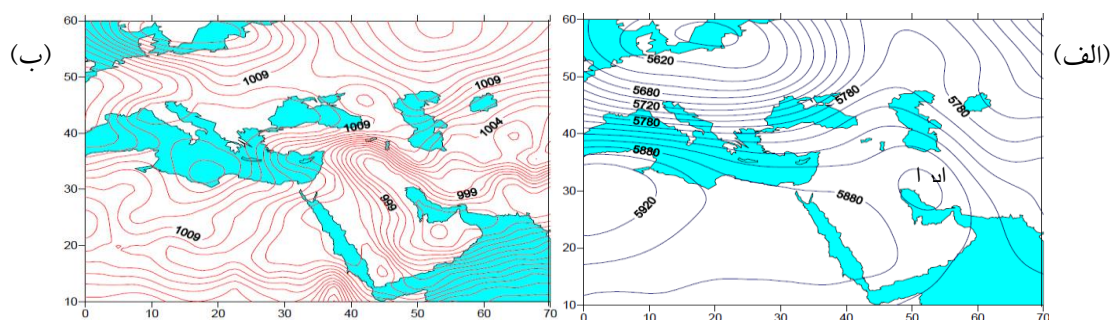
در شکل ۳ میانگین بلندمدت الگوهای همدیدی برای روزهای گرد و غباری دسته شدید تا متوسط نشان داده شده است. در شکل (۳-الف) نحوه استقرار سامانه کم فشار و زبانه آن مشابه با شکل ۲-الف می‌باشد. البته مطابق انتظار و شدت گرد و غبار رخ داده، کم فشار مربوطه کم عمق تر و زبانه آن کوتاه تر می‌باشد و گرادیان فشاری حاصل از آن نسبت به حالت قبل (شکل ۲-الف) ضعیف تر است، بنابراین سرعت باد حاصل از این الگوی فشاری در مناطق عراق و سوریه از الگوی قبلی کمتر می‌باشد. در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکالی ناوه ای



شکل ۳- مانند شکل ۲ است اما برای روزهای گرد و غباری شدید تا متوسط

این الگو موقعیت ناوه و زبانه حاصل از سامانه کم فشار مستقر بر روی جنوب خلیج فارس و عراق شبیه به الگوی شکل ۳-الف است و امتداد این زبانه منجر به تشکیل گرادیان فشاری مساعد در مناطق عراق و سوریه و شرق اردن شده است.

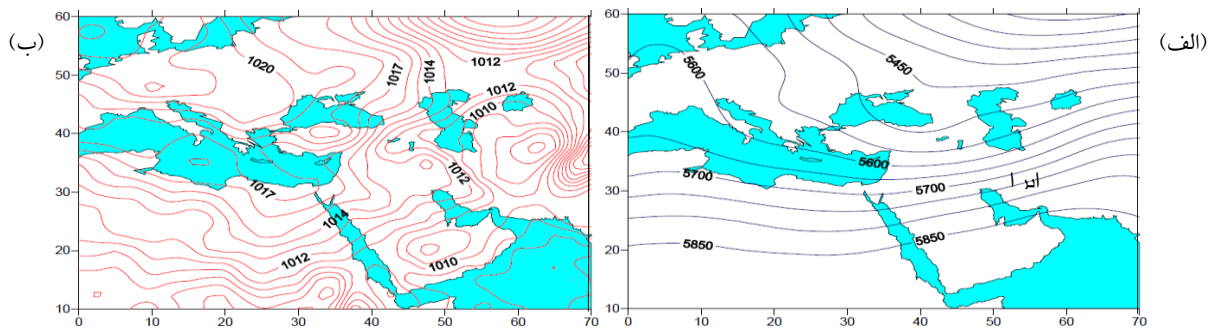
در شکل ۴ میانگین بلندمدت الگوهای همدیدی برای روزهای گرد و غباری فصول خشک نشان داده شده است. شکل ۴-الف مربوط به الگوی میانگین فشار سطح دریا برای رویدادهای منجر به گرد و غبار فصول خشک می‌باشد، در



شکل ۴- میانگین بلندمدت الگوهای همدیدی برای روزهای گرد و غباری در فصول خشک الف- میانگین فشار سطح دریا (بر حسب هکتوپاسکال) و ب- ارتفاع ژئوپتانسیلی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (بر حسب ژئوپتانسیل متر)

در منطقه توسعه یافته است، یک سامانه ترکیبی دینامیکی - حرارتی را تشکیل می‌دهد. در شکل ۵ میانگین بلندمدت الگوهای همدیدی برای روزهای گرد و غباری فصول مرطوب (گرد و غبار در ماه‌های همراه با بارندگی مانند پاییز و بهار و...) نشان داده شده است.

بنابراین شرایط لازم برای افزایش سرعت باد در این مناطق و رسیدن به نقطه آستانه جهت رخ داد پدیده توفان خاک فراهم می‌باشد. زبانه کم فشار عمیق بر روی کشور عراق نیز در این شکل نمایان است که از سامانه کم فشار حرارتی منطقه جنوب خلیج فارس و عراق در اصل نشأت یافته که با کم فشار شرقی فصلی ترکیب شده است و با توجه به ناوه ۵۰۰ هکتوپاسکالی (شکل ۴-ب) که با انحنای مناسب



شکل ۵- مانند شکل ۴ اما برای روزهای گرد و غباری در فصول مرطوب

ترازهای ۸۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکالی، برای چرخه کاملی از فرآیند تولید گرد و غبار در روی عراق و شرق سوریه، انتقال به مناطق غرب، جنوب غرب ایران و عبور از روی منطقه نشان داده شده است.

بر این اساس، دو شکل بالایی در شکل ۶ میدان‌های فشار سطح دریا و باد تراز ۹۰۰ هکتوپاسکالی برای روز ۲۸ ژوئن (۲ روز قبل از گزارش پدیده گرد و غبار در ایلام) را نشان می‌دهد. الگوی فشاری این روز بیانگر امتداد و گسترده‌گی زبانه کم فشار از عرض‌های جنوبی به سمت عرض‌های شمالی بر روی عراق است. این زبانه هم به علت تابش خورشید در مناطق جنوبی ایران، عراق و مناطق خشک واقع در جنوب خلیج فارس در فصل گرم سال (موسوم به کم فشار حرارتی) و هم به علت فعالیت سامانه کم فشار دینامیکی که به سمت شرق حرکت می‌کند می‌تواند تشکیل و تقویت گردد. دو روز قبل از رسیدن گرد و غبار به غرب کشور سامانه کم فشار با پرند بسته ۹۹۶ هکتوپاسکالی در شمال غرب خلیج فارس مشاهده می‌شود که زبانه آن تا بخش شرقی سوریه گسترده شده و بادهای قوی ترازهای پایین و رده‌سپهر در نیمه غربی عراق ایجاد شده است که با توجه به مقدار سرعت باد در این

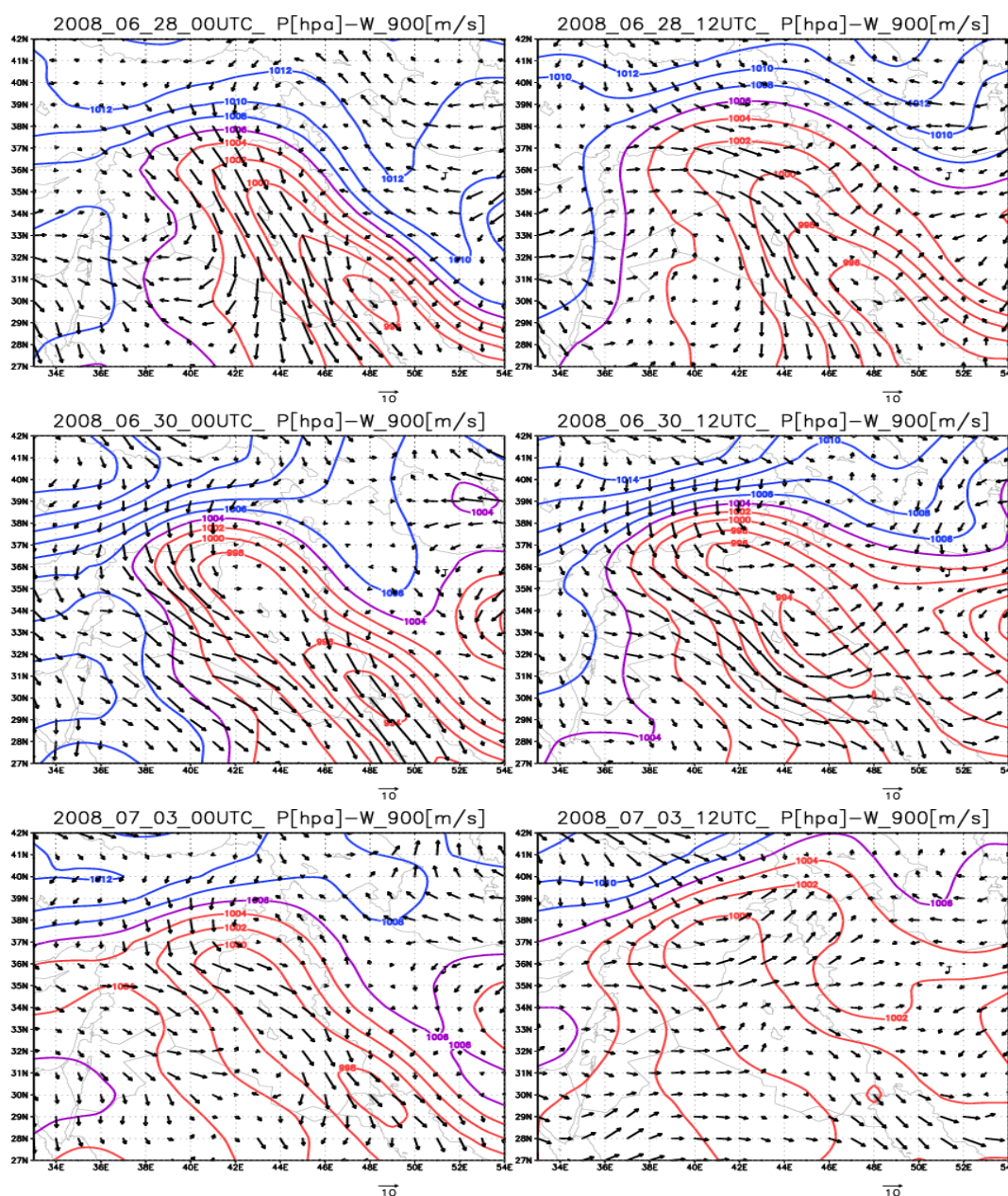
شکل ۵- الف مربوط به الگوی میانگین فشار سطح دریا برای رویدادهای منجر به گرد و غبار در فصول مرطوب می‌باشد. همان‌طور که در شکل ۵- الف مشخص شده است نحوه استقرار سامانه کم فشار با الگوهای مورد بررسی قبل کاملاً متفاوت است و زبانه‌ای از سامانه پرفشار از روی ترکیه تا غرب ایران به صورت یک قیف ریزش کرده است. گرادان فشاری در جنوب عراق شکل گرفته است که با الگوهای مورد مطالعه قبل تفاوت دارد. همچنین شکل ۵- ب بیانگر تضعیف پشته ارتفاعی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال واقع در روی ایران و ناوه این تراز در منطقه می‌باشد.

الگوهای جوی حاکم در روزهای گرد و غباری شدید

مطالعه کوتاه مدت (مطالعه موردی) با استفاده از داده‌های تحلیل نهایی (FNL) و برونداد مدل پیش‌بینی عددی وضع هوا (WRF) برای یکی از رویدادهای گرد و غبار شدید رخ داده، انجام شده است. برای این منظور الگوهای فشاری از دو روز قبل از رخداد گرد و غبار تا یک روز بعد از آن بررسی شده است. در شکل ۶ میدان‌های فشار سطح دریا و باد تراز پایین جو و در شکل ۷ میدان‌های ارتفاع ژئوپتانسیلی

بسته شده است، گرادیان فشاری بر روی عراق و کشورهای همسایه غربی آن در این روز به طور محسوسی افزایش یافته و بر روی شمال عراق و ترکیه نیز گرادیان فشاری مساعد شده است (شکل ۶). در روز سوم ژوئیه (زمانی که پدیده گرد و غبار از روی منطقه مورد مطالعه عبور کرده است) به طور واضح تضعیف کم فشار و کاهش گرادیان فشار مشاهده می شود. به عبارتی هم سامانه کم فشار منطقه عراق و جنوب خلیج فارس تضعیف شده و هم زبانه کم فشار فصلی شرقی عقب نشسته است.

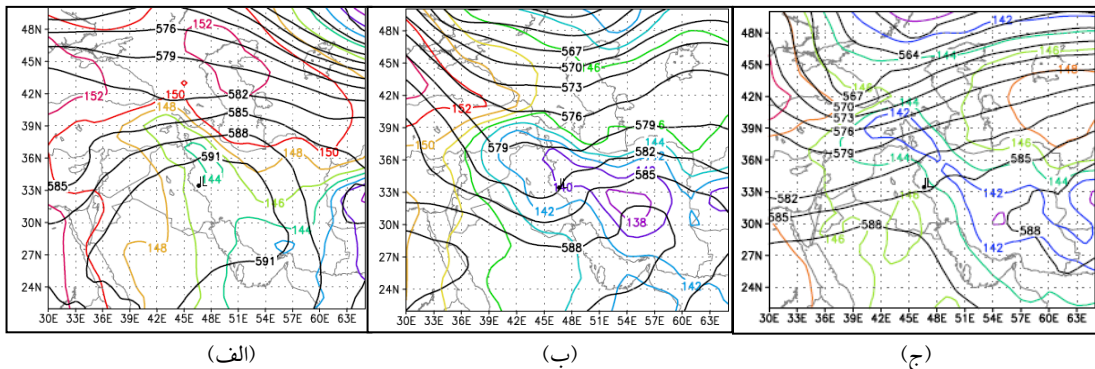
روز گرد و غبار می تواند در نیمه غربی عراق و شرق سوریه تشکیل شود اما جهت بردارهای باد ترازهای پایین جو به گونه ای است که به نظر نمی رسد در این روز گرد و غبار به سمت غرب کشور انتقال یابد. داده های دیدبانی نیز تأیید کننده همین مسئله می باشد. در روز ۳۰ ژوئن (روز وقوع گرد و غبار در غرب کشور) تقویت و گسترش زبانه کم فشار در غرب ایران و کشورهای همسایه غربی کاملاً واضح است به طوری که یک سلول کم فشار به مرکز ۹۹۴ هکتوپاسکال در مرکز این زبانه بر روی کشور عراق در راستای نصف النهاری



شکل ۶- پربندهای میدان فشار سطح زمین (برحسب هکتوپاسکال) و میدان باد تراز ۹۰۰ هکتوپاسکال (برحسب متر بر ثانیه) برای ساعت های ۰۰ و ۱۲ UTC روزهای ۲۸ ژوئن (۴۸ ساعت قبل از وقوع)، ۳۰ ژوئن (روز وقوع) و ۳ ژوئیه (اتمام پدیده).

استان‌های غربی و جنوب‌غربی کشور را نشان می‌دهد. الگوی همدیدی برای نقشه‌های سطح ۵۰۰ هکتوپاسکالی نیز نشان دهنده این است که در روزهای قبل از رخداد پدیده گرد و خاک در غرب کشور، سامانه پر ارتفاع جنب‌حاره‌ای از روی شبه جزیره عربستان به روی عراق و غرب کشور مستقر است. اما در زمان رخدادی گرد و غبار این پشته ارتفاعی ضمن حرکت شرق سوی (در روی نواحی مرکزی و شرقی ایران واقع می‌شود) به عرض‌های جنوبی‌تر عقب می‌کشد و متعاقب آن یک ناوه کم‌ارتفاع (یکی از عوامل صعود ذرات گرد و غبار) بر روی عراق مستقر می‌شود که محور آن تا شمال عربستان امتداد می‌یابد (شکل ۷-ب). در روز آخر (شکل ۷-ج) این ناوه از روی منطقه عبور کرده و مجدداً پشته ارتفاعی در جنوب عراق حاکم شده که مانند سدی مسیر ناوه را بسته و موجب می‌شود جریانات ناوه در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکالی در عرض‌های جنوبی تقریباً مداری شده و ناوه به صورت یک موج کم‌عمق از شمال‌غرب کشور عبور نماید.

در شکل ۷ الگوهای میدان ارتفاع ژئوپتانسیلی ترازهای ۸۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکالی برای روزهای ذکر شده در شکل ۶ آورده شده است. الگوی ارتفاعی تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال با نقشه‌های فشار سطح زمین مطابقت و ارتباط معنی‌داری را نشان می‌دهد به این صورت که مطابق با روند پیشروی زبانه کم‌فشار در غرب ایران و کشورهای همسایه غربی و متعاقب آن ایجاد سامانه کم‌فشار بر روی منطقه عراق و افزایش گرادیان فشار از مرکز عراق تا سوریه و اردن، زبانه کم‌ارتفاع سطح ۸۵۰ هکتوپاسکالی نیز توسعه یافته و گرادیان ارتفاعی از مرکز عراق تا سوریه و اردن مساعد می‌شود (شکل ۷-ب) مجدداً با تضعیف سامانه کم‌فشار سطح زمین در منطقه و عقب‌نشینی زبانه کم‌فشار شرقی و کاهش گرادیان فشاری در گستره عراق تا سوریه ناوه کم‌ارتفاع نیز تضعیف گشته و عقب می‌نشیند (شکل ۷-ج) که این، اهمیت و نقش ناوه ۸۵۰ هکتوپاسکالی را در ایجاد سامانه‌های گرد و غباری در فصل تابستان در کشورهای همسایه غربی و انتقال آن به



شکل ۷- نقشه روی هم انداخته شده ارتفاع ژئوپتانسیل (بر حسب ژئوپتانسیل متر) ترازهای ۸۵۰ (پر بندهای رنگی) و ۵۰۰ (پر بندهای سیاه) هکتوپاسکالی برای ساعت ۱۲ UTC روزهای: الف- ۲۸ ژوئن (۴۸ ساعت قبل از وقوع)، ب- ۳۰ ژوئن (روز وقوع) و ج- ۳ ژوئیه (اتمام پدیده).

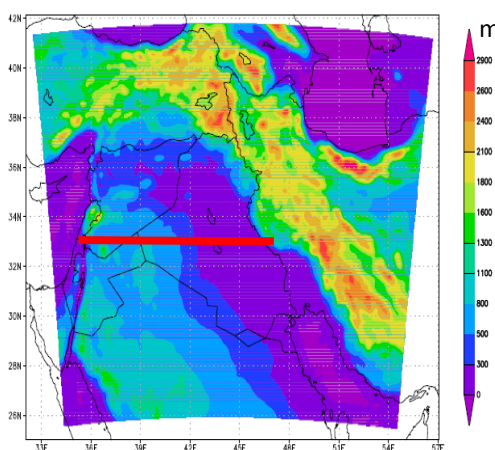
ساختار جت تراز پایین وردسپهر در روی عراق

می‌تواند عامل تشکیل جت تراز پایین جو باشد همچنین به سبب تشکیل لایه وارونه دمایی شبانه که سبب جدایی سطوح زیرین جو از لایه سطحی می‌شود و عدم انتقال انرژی از سطوح زیرین، می‌تواند موجب نوسان‌های لختی و تقویت جت شبانه در ترازهای پایین وردسپهر گردد (بلک‌ادر، ۱۹۵۷)، اما در طول روز به علت نرمال‌های همرفتی یا شار گرمای محسوس و گرمای نهان می‌تواند منجر به انتقال بالا سوی تکانه و ایجاد تلاطم گردد که نتیجه آن، تضعیف جت

جت‌های تراز پایین وردسپهر یکی از فرآیندهای بسیار مهم در لایه مرزی سیاره‌ای است که به لحاظ نقش آن در تبادل جرم تلاطمی در این لایه همیشه مورد توجه هواشناسان بوده است. ساز و کارهای فیزیکی متعددی وجود دارد که جنبه‌های مختلف توسعه و تکامل جت‌های تراز پایین جو در مناطق مختلف جهان را بیان می‌کند. برای مثال نوسان‌های لختی ناشی از سرمایش ایجاد شده در روی شیب کوهستان

مرتفع به مناطق پست و شتاب گرفتن هوا در حین حرکت در این مناطق است، بر این اساس با توجه به وجود نواحی پست محصور شده بین مناطق مرتفع می‌تواند شرایط اولیه برای تشکیل و توسعه جت‌های تراز پایین در این مناطق فراهم شود و بسته به مساعد بودن شرایط جوی، این جت‌ها می‌توانند ایجاد گردند. بنابراین با توجه به موقعیت رشته کوه زاگرس و نواحی نسبتاً مرتفع غربی عراق (شکل ۸) و از طرف دیگر نواحی پست (مناطق پست در امتداد خلیج فارس تا شمال غربی عراق و شرق سوریه که ارتفاعی کمتر از ۳۰۰ متر دارند) در اغلب رخدادهای گرد و غبار (به ویژه در فصل گرم و اواخر بهار) جت تراز پایینی در این منطقه تشکیل می‌شود که در ادامه مورد بررسی قرار گرفته است.

تراز پایین جو می‌باشد. جت‌های تراز پایین جو در بسیاری از مناطق جهان روی می‌دهند و طی سال‌های اخیر به دلیل نقش آن‌ها در تولید و انتقال گرد و خاک، فرآیندهای همرفت عمیق، چرخندزایی، تولید انرژی بادی و هوانوردی همواره مورد توجه دانشمندان بسیار زیادی از جمله دوایل ۱۹۹۷، استنسرود ۱۹۹۶، لیو و همکاران ۲۰۰۰، گلاسر و همکاران ۲۰۱۲ بوده‌اند. در این مطالعه جریان‌های جتی تراز پایینی جو که به هنگام رخداد گرد و غبار در نواحی مرکزی و شرقی عراق (منطقه بین‌النهرین) تشکیل می‌شود برای بعضی از رخدادهای شدید گرد و خاک بررسی شده است. با توجه به اینکه مهم‌ترین سازوکار ایجاد جت‌های تراز پایینی، کانالیزه شدن جریان و ریزش هوای سرد و چگال از روی نواحی



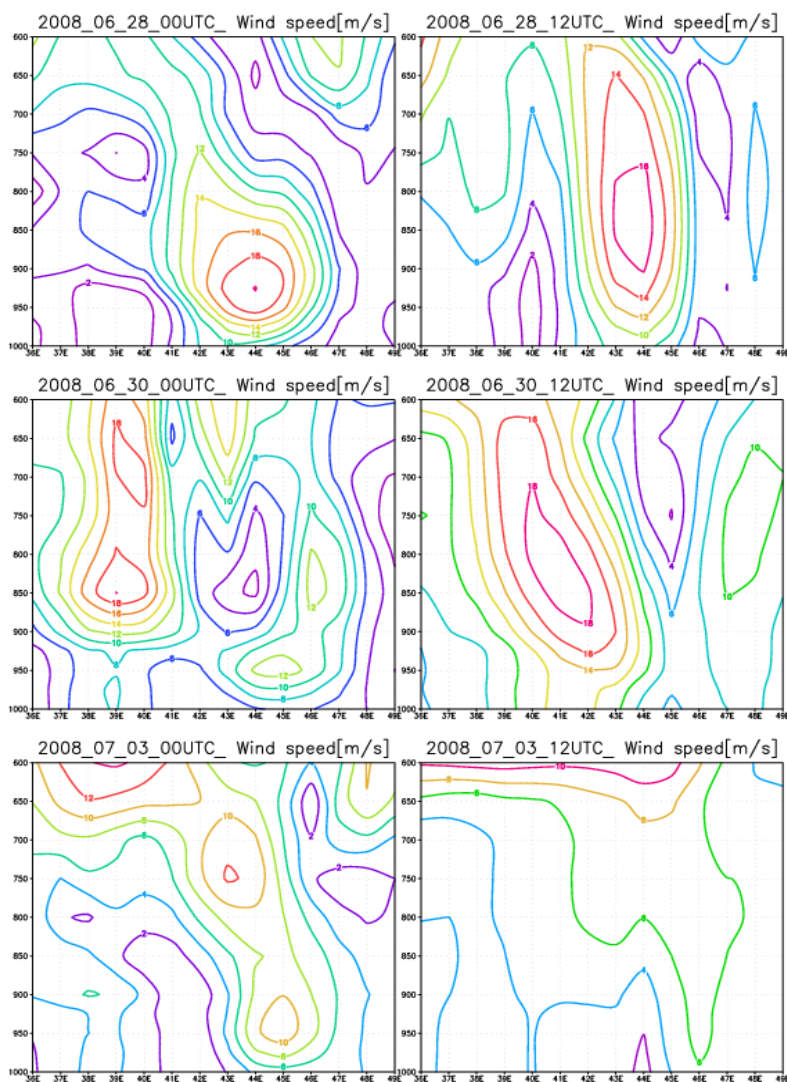
شکل ۸- ارتفاع توپوگرافی و عوارض زمینی (برحسب متر) از شبکه ۹ کیلومتری مدل WRF و خط پر قرمز رنگ منطقه‌ای را نشان می‌دهد که نیم‌رخ سرعت باد در شکل‌های ۹ و ۱۰ بر روی آن بررسی شده است.

نواحی شمالی‌تر بین‌النهرین و ارتفاعات زاگرس شمالی به سمت جنوب شرق (جنوب غرب ایران و بخشی از خلیج فارس) می‌شود. نتایج نشان داد که جت پس از استقرار سامانه پرفشار و پشته فشاری بر روی دریای سیاه، بخشی از ترکیه، شمال غرب ایران، دریای مدیترانه و سوریه و همچنین توسعه زبانه کم فشار از روی خلیج فارس تا شمال عراق و بخشی از شمال شرق سوریه ایجاد می‌شود. البته این شرایط با استقرار و عبور ناوه تراز میانی وردسپهر از روی منطقه همراه است. بنابراین وجود هوای سرد واقع در نواحی مرتفع و هوای نسبتاً گرم محصور در نواحی پست و همچنین ریزش هوای

برای بررسی جت تراز پایین در منطقه، نیم‌رخ سرعت باد برای سه مورد بر روی خط پر قرمز شکل ۸ (طول جغرافیایی ۳۶ تا ۴۹ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۳ درجه شمالی) از تراز ۱۰۰۰ تا ۶۰۰ هکتوپاسکالی مطالعه و بررسی شده است و نیم‌رخ قائم پربندهای هم‌سرعت باد در شکل‌های ۹ و ۱۰ نشان داده شده است. نتایج حاصل از بررسی‌ها نشان داد که در سامانه‌های جوی منجر به تولید و انتقال گرد و خاک در منطقه، جتی با جهت شمال غربی و شمالی در نواحی پست مرکزی و شرقی عراق (نواحی بنفش رنگ شکل ۸) تشکیل می‌شود. این جت اغلب سبب انتقال هوای خشک و خنک از

سامانه کم فشار در روی عراق و وجود گردانهای فشاری در سطح زمین در اطراف آن همراه با عبور ناوه از روی منطقه) منجر به ایجاد جتی با جهت شمال غربی به جنوب شرقی در ترازهای پایین جو می شود.

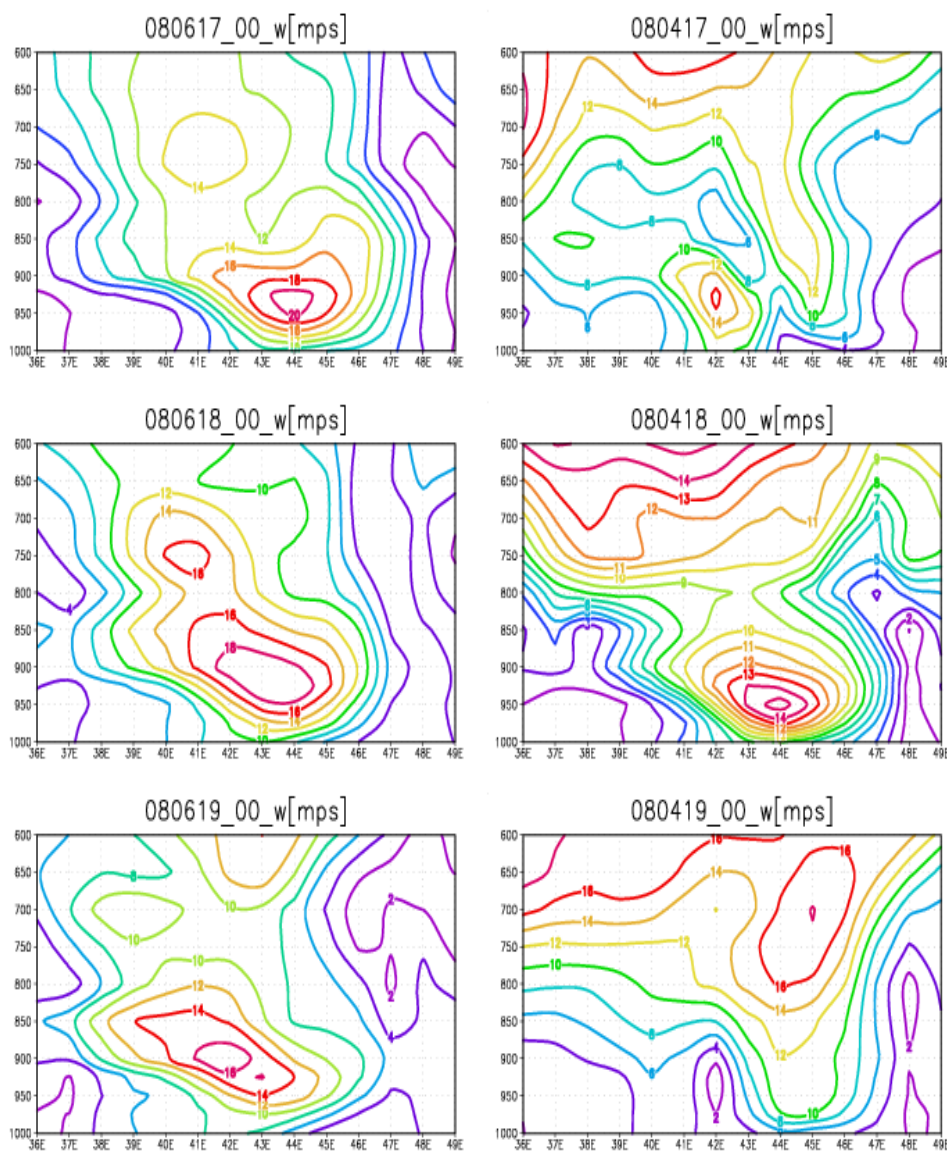
سرد سطوح فوقانی و ناوه عبوری ترازهای میانی وردسپهر همراه با اثرات کوهساری منطقه از مهم ترین سازوکارهای تشکیل این جت می باشد. در نتیجه ترکیب اثرات کوهساری (از قبیل کانالیزه شدن جریان و همچنین شتاب گرفتن هوای خنک از روی شیبها) با شرایط مناسب جوی (استقرار



شکل ۹- نیم رخ قائم سرعت باد (بر حسب متر بر ثانیه) در زمانهای مشخص شده برای یک رویداد گرد و غبار شدید محور قائم ترازهای فشاری (هکتوپاسکال) و محور افقی طول جغرافیایی (درجه)

محدوده حدود طولهای جغرافیایی ۴۳ تا ۴۵ درجه شرقی مشاهده می شود. در ساعت ۱۲UTC ضمن تضعیف شدت (محور آن حدود 16m/s) به ارتفاعات بالاتر (محور آن در حدود ۸۰۰ تا ۸۵۰ هکتوپاسکالی) منتقل و گسترده شده است (شکل ۹).

در شکل ۹ نیم رخ قائم جت روی خط پر قرمز شکل ۸ برای رویداد گرد و خاک مورد مطالعه (۲۸ ژوئن تا ۳ ژوئیه ۲۰۰۸) نشان داده شده است. در ساعت ۰۰UTC روز ۲۸ ژوئن جریان جتی قوی با سرعتی بیش از 18m/s که محور آن در ترازهای حدود ۹۲۵ هکتوپاسکالی قرار دارد در



شکل ۱۰- مانند شکل ۹ اما برای ساعت ۰۰ UTC زمان‌های مشخص شده برای رویدادهای گرد و غبار شدید

(محور آن در حدود ۸۰۰ تا ۸۵۰ هکتوپاسکالی) منتقل و گسترده شده است. در ساعت ۱۲ UTC روز ۳ ژوئیه جریان جتی در منطقه مشاهده نمی‌شود.

سرعت باد اصطکاکی مؤثر در تولید گرد و غبار

هنگامی که باد افقی بر روی سطوح زبر، جریان می‌یابد در اثر نیروی درگ، مقدار سرعت باد در نزدیکی سطح کاهش یافته و بین سرعت باد در نزدیکی سطح زمین و باد در لایه‌های بالاتر اختلاف به وجود می‌آید که منجر به ایجاد چینش قائم باد می‌شود. چینش قائم باد پیچک‌هایی تولید می‌کند که باعث تبادل قائم تکانه، انرژی، گازها و ذرات

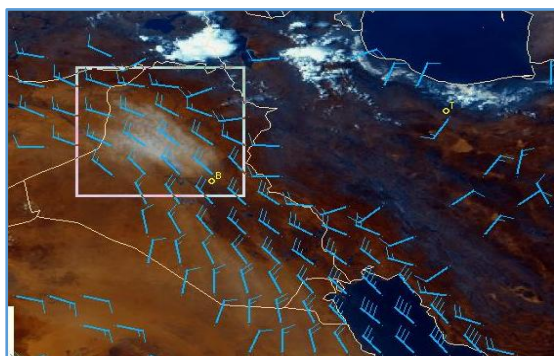
در ساعت ۰۰ UTC روز ۳ ژوئن جریان‌های جتی در دو بخش مشاهده می‌شوند که در بین آن‌ها در محدوده طول‌های جغرافیایی حدود ۴۱ تا ۴۳ درجه شرقی بادها ضعیف بوده و در غرب این محدوده جت نسبتاً قوی که یکی از محورهای آن در تراز حدود ۸۵۰ هکتوپاسکالی است و در شرق محدوده باد ضعیف، جت ضعیف‌تری در محدوده طول‌های جغرافیایی حدود ۴۴ تا ۴۶ درجه شرقی که یکی از محورهای آن در تراز حدود ۹۵۰ هکتوپاسکالی است مشاهده می‌شود (شکل ۹). در ساعت ۱۲ UTC این روز، شدت جت (محور آن حدود ۱۸ m/s) تغییر چندانی نداشته اما به ارتفاعات بالاتر

شده است. جدول (۱) مقدار عددی سرعت اصطکاکی پیش‌بینی شده توسط مدل WRF را طی توفان گرد و غبار در ساعات ۱۲ و ۰۰ گریونویچ و برای محدوده جغرافیایی ۳۳ تا ۳۵ درجه شمالی و ۴۱ تا ۴۳ درجه شرقی نشان می‌دهد. با توجه به جدول مذکور، روند کاهش سرعت اصطکاکی در شب به علت لایه پایدار شبانه و نیز روند کاهش آن به سمت روزهای بعد از وقوع مشهود است. همچنین بررسی‌ها نشان می‌دهد هرگاه میانگین سرعت اصطکاکی در مناطق کانونی گرد و غبار از ۰/۵ متر بر ثانیه تجاوز کند، گرد و غبار تولید می‌شود. در مطالعه موردی رویداد گرد و غبار شدید ۳۰ ژوئیه ۲۰۰۸، میانگین سرعت اصطکاکی در ساعت UTC ۱۲ به ماکزیمم مقدار خود (۰/۷ متر بر ثانیه) رسیده است.

جدول ۱- سرعت اصطکاکی (بر حسب متر بر ثانیه)

پیش‌بینی شده توسط مدل WRF طی طوفان گرد و غبار در ساعت UTC ۱۲ و ۰۰ UTC محدوده جغرافیایی ۳۳ تا ۳۵ درجه شمالی و ۴۱ تا ۴۳ درجه شرقی

تاریخ و زمان وقوع	میانگین سرعت اصطکاکی (بر حسب متر بر ثانیه)
۲۹ ژوئن ۲۰۰۸ - ۱۲:۰۰ UTC	۰/۵۵
۳۰ ژوئن ۲۰۰۸ - ۰۰:۰۰ UTC	۰/۴۶
۳۰ ژوئن ۲۰۰۸ - ۱۲:۰۰ UTC	۰/۷۰
۰۱ جولای ۲۰۰۸ - ۰۰:۰۰ UTC	۰/۴۵
۰۱ جولای ۲۰۰۸ - ۱۲:۰۰ UTC	۰/۵۸
۰۲ جولای ۲۰۰۸ - ۰۰:۰۰ UTC	۰/۲۵



شکل ۱۱- باد تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال (هر خط بزرگ ۱۰kt) انداخته شده بر روی تصویر آشکارساز گرد و غبار. مربع نشان داده شده معرف محدوده تقریبی است که سرعت اصطکاکی در آن محاسبه شده است.

معلق در جو می‌شود. وزش باد بر روی مناطقی با پستی و بلندی‌های بزرگ‌تر از زبری سطح زمین می‌تواند چینش باد بیشتر و شار قائم تکانه افقی را در پی داشته باشد. پارامتری که اندازه‌ای از شار قائم تکانه افقی در لایه سطحی را تعیین می‌کند سرعت باد اصطکاکی نام دارد. سرعت اصطکاکی نقش بسیار تعیین‌کننده‌ای در فرسایش خاک و تولید گرد و غبار دارد. هرچند که عوامل متعددی از جمله رطوبت، نوع و بافت خاک و پوشش گیاهی در تولید گرد و غبار مؤثر می‌باشند اما سرعت‌های اصطکاکی زیاد، تلاطم‌های مکانیکی قوی‌تری را در پی دارد که سبب انتقال تکانه و انرژی بیشتر به سطح زمین (و برعکس آن) می‌شود در نتیجه نقش آغازگری و توسعه توفان‌های گرد و خاک را ایفا می‌کنند. بنابراین یکی از پارامترهایی که در تخمین فرسایش بادی مورد مطالعه قرار می‌گیرد سرعت اصطکاکی است. چنانچه سرعت اصطکاکی در منطقه‌ای از مقدار آستانه آن بالاتر رود فرسایش خاک رخ می‌دهد و حرکت ذرات گرد و غبار شروع می‌گردد. در مدل‌های عددی انتشار گرد و غبار، سرعت اصطکاکی یا مقدار آستانه آن به‌عنوان یک پارامتر مهم در انتشار گرد و غبار کاربرد داشته و قابل پیش‌بینی است. در بعضی دیگر از مدل‌های عددی انتشار گرد و غبار از خود سرعت اصطکاکی و نه مقدار آستانه آن، در معادلات شار گرد و غبار استفاده می‌شود (ژانگ و همکاران ۲۰۰۵). طبق تعریفی که در کتب هواشناسی خرد مقیاس وجود دارد سرعت اصطکاکی نماینده‌ای از تنش رینولدز یا شار تلاطمی تکانه است که خود این تنش در واقع نماینده‌ای از انتقال تکانه و انرژی باد به سطح خاک می‌باشد (آریا، ۲۰۰۱).

$$\tau = \rho u_*^2 = \rho C_D U_{10}^2 \quad (1)$$

که در این رابطه τ تنش سطحی، ρ چگالی هوا، u_* سرعت اصطکاکی، C_D ضریب درگ یا ضریب تبدیل، U_{10} سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری سطح زمین است.

بر این اساس در این مطالعه، به‌منظور برآورد آستانه‌ی سرعت باد اصطکاکی منجر به طوفان گرد و غبار شدید در مناطق کانونی گرد و غبار، سرعت باد اصطکاکی با تصاویر ماهواره‌ی ویژه آشکارسازی گرد و غبار (شکل ۱۱) مقایسه

نتیجه گیری

در این مطالعه پدیده گرد و غبار در غرب کشور از دیدگاه هواشناسی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از بررسی الگوهای همدیدی بلندمدت و نیز نتایج حاصل از مطالعه کوتاه مدت، شبیه سازی عددی و تصاویر ماهواره بیانگر آن است که الگوهای جوی منجر به رخداد گرد و غبار (تولید گرد و غبار بر روی کشورهای همسایه غربی و انتقال آن به غرب ایران) در فصول تر و خشک متفاوت است. بر این اساس منابع عمده اصلی گرد و غبارهایی که به غرب کشور در فصل تابستان وارد می شوند منطقه بیابان شرق سوریه (نزدیک مرزهای غربی عراق)، شمال غرب و غرب عراق است. هنگام وقوع گرد و غبار غلیظ در شهر ایلام و نیمه غربی کشور، در سطح زمین سامانه کم فشار حرارتی بر روی شبه جزیره عربستان شکل گرفته که به تدریج تقویت می شود به طوری که کشور عراق کاملاً، تحت تأثیر آن قرار می گیرد، در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال ناوه کم ارتفاع هماهنگ با کم فشار گسترش می یابد. این شرایط با استقرار ناوه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال بر روی سوریه و غرب عراق همراه شده و گاهی این ناوه تا شمال عربستان عمیق می شود. بر این اساس گرادیان افقی فشاری مناسب از مرکز عراق تا مرکز سوریه موجب وزش باد شدید در سطح زمین می گردد که در اثر فعالیت ناوه ترازهای میانی وردسپهر، ذرات معلق به ترازهای بالاتر از سطح زمین منتقل شده و سپس به سمت نواحی غربی ایران انتقال می یابد. به نظر می رسد گرادیان فشاری منطقه زاگرس به طور مستقیم نقشی در ایجاد توفان گرد و خاک ندارد اما به عنوان عامل نگه دارنده گرد و غبار در منطقه غرب کشور و نیز عامل جریانات صعودی جوی از غرب زاگرس به نواحی شرقی آن و همچنین به عنوان یکی از عوامل مؤثر در ایجاد جت تراز پایین می تواند نقش مهمی داشته باشد. بادهای شمال غربی قوی تراز ۸۵۰ هکتوپاسکالی در مناطق شرقی سوریه و غربی کشور عراق علت دیگر وقوع و انتقال گرد و غبار به مناطق غربی ایران است. انتقال گرد و غبار بر روی نیمه غربی کشور و همچنین خلیج فارس بر طبق الگوی همگرایی باد سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال (منظور تضعیف

سرعت باد از روی کانونها تا جنوب غرب ایران است) رخ می دهد. در مدت وقوع پدیده، جهت باد در مناطق منبع (از نیمه شرقی سوریه تا نیمه غربی عراق) شمال غربی و در مناطق شرقی عراق و غرب ایران اغلب این بادهای غربی می شوند. قبل از رخداد توفان گرد و خاک به تدریج با شمالی و شمالی غربی شدن جریانات در کشور عراق و سوریه هوای خنک شمالی بر روی مناطق شمال غرب عراق فرارفت می یابد. همچنین این هوای خنک از مناطق کوهستانی زاگرس و نواحی شمالی عراق نیز به سمت نواحی پست منطقه بین النهرین (به علت اینکه این هوا دارای دمای کمتر می باشد بنابراین چگال تر بوده) ریزش می کند که شرایط کوهساری منطقه از جمله کانالیزه شدن هوای خنک تر در نواحی پست ارتفاعی، سبب شتاب گرفتن جریان در این منطقه شده که پیامد آن ایجاد جت تراز پایین جو در این مناطق می باشد. این جت اغلب در ترازهای پایین تر از ۸۰۰ هکتوپاسکالی تشکیل شده و محور آن با سرعتی بین ۱۰ تا ۲۰ متر بر ثانیه، معمولاً بین ترازهای ۹۸۰ تا ۹۰۰ هکتوپاسکالی قرار دارد و طی ساعات شب نسبت به روز قوی تر می باشد. این جت می تواند ذرات خاک و غبار منطقه را به جنبش واداشته و سبب تولید و انتقال گرد و خاک شود. نتایج حاصل از شبیه سازی سرعت اصطکاکی در محدوده مورد مطالعه (شکل ۱۱) نشان داد که سرعت اصطکاکی در ابتدای توفان گرد و غبار افزایش یافته و طی آن همواره از مقدار ۰/۵۰ متر بر ثانیه بالاتر می باشد. به تدریج که توفان گرد و غبار ضعیف می شود سرعت اصطکاکی نیز روند کاهشی پیدا می کند.

منابع

- ۱- ذوالفقاری، حسن و عابدزاده، حیدر، (۱۳۸۴)، تحلیل سینوپتیکی سیستم های گرد و غبار در غرب ایران، مجله جغرافیا و توسعه، پاییز و زمستان ۱۳۸۴ صفحه ۲۴ الی ۳۰.
- ۲- رنجبر سعادت آبادی، عباس و عزیزی قاسم، (۱۳۹۱)، پژوهش های جغرافیای طبیعی، سال ۴۴، شماره ۳ (پیاپی ۸۱)، صفحه ۷۳ الی ۹۲.
- ۳- مشکوتی، امیرحسین، مین پرست، مجتبی و رنجبر

- White, G., Woollen, J., Zhu, Y., Leetmaa, A., Reynolds, R., Chelliah, M., Ebisuzaki, W., Higgins, W., Janowiak, J., Mo, K.C., Ropelewski, C., Wang, J., Jenne, R. & Joseph, D., 1996. The NCEP-NCAR 40-year reanalysis project. Bull., of the Amer. Meteor. Soci., Vol.77, pp. 437-472.
- 14- Kurosaki, Y., Mikami, M., 2005, Regional Difference in the Characteristics of Dust Event in East Asia: Relationship among Dust Outbreak, Surface Wind, and Land Surface Condition, Journal of the Meteorological Society of Japan, Ser. II, 83A. PP.1-18.
- 15- Liu, M., D. L. Westphal, T. R. Holt, and Q. Xu, 2000, Numerical simulation of a low-level jet over complex terrain in southern Iran. Mon. Wea. Rev., Vol.128, pp.1309-1327.
- 16- Natsagdorj, L., Jugder, D., Chung, Y.S., 2003, Analysis of Dust Storms Observed in Mongolia during 1937-1999, Atmos. Environ, Vol. 37, PP. 1401-1411.
- 17- Qian, W., Quan, L., Shi, S., 2002, Variations of the Dust Storm in China and its Climatic Control, Journal of Climate, Vol. 15, PP. 1216-1229.
- 18- Shao, Y., Wang, J.J., 2003, A Climatology of Northeast Asian Dust Events, Meteorologische Zeitschrift, Vol. 12, PP. 175-183.
- 19- Stensrud, D. J., 1996: Importance of low-level jets to climate: A review. J. Climate, Vol.9, pp.1698-1711.
- 20- Sun, J., Zhang, M., Liu, T., 2001, Spatial and Temporal Characteristics of Dust Storms in China and Its Surrounding Regions, 1901-1999: Relations to Source Area and Climate, Journal of Geophysical Research, Vol. 106, No. 10, PP. 325-333.
- 21- Zhou, Z.J., 2001, Blowing Sand and Sand Storm in China in Recent 45 Years, Quaternary Sciences, Vol. 21, PP. 9-17.
- 22- Xang, s., zhang, W., 2005, Simulation and validation dust storm over north of china with model, Chinese science bulletin, vol.54, number. 30, pp.2133-2140, china.
- 23- Youngsin, Ch., Lim, J.Y., 2004, The recent characteristics of Asian Dust and Haze events in Seoul, Korea. Meteorol Atmos Phys. Vol.87, pp.143-152. Austria.
- 24- Zhang, P., Lu, N.M., Hu, X.Q., Dong, C.H., 2006, Identification and Physical Retrieval of Dust Storm Using Three MODIS Thermal IR Channels, Global and Planetary Change Vol. 52, PP. 197-206.
- سعادت آبادی، عباس، (۱۳۸۹)، شبیه‌سازی موردی سرعت اصطکاک‌کی سامانه‌های گرد و غباری نیمه غربی کشور با استفاده از مدل MM5، چکیده مقالات دومین همایش ملی فرسایش بادی و توفان‌های گرد و غبار، دانشگاه یزد.
- ۴- میهن‌پرست، مجتبی، مشکوتی، امیرحسین و رنجبر سعادت آبادی، عباس، (۱۳۹۰)، بررسی برخی شرایط جوی در هنگام وقوع پدیده گرد و غبار در نیمه غربی کشور. همایش ملی علمی هواشناسی و آلودگی هوا، سازمان هواشناسی کشور، تهران.
- ۵- میهن‌پرست، مجتبی، مشکوتی، امیرحسین و رنجبر سعادت آبادی، عباس، (۱۳۸۸)، مطالعه نقش گرادیان فشاری و ناوه ۸۵۰ هکتوپاسکالی در گرد و غبارهای تابستانه نیمه غربی کشور. چکیده مقالات دوازدهمین کنفرانس کشوری دینامیک شماره‌ها. دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل.
- 6- Arya, S. P., 2001, Introduction to Micrometeorology, 2nd Edition. Academic Press. pp. 420.
- 7- Blackadar, A. K., 1957, Boundary layer wind maxima and their significance for the growth of nocturnal inversions. Bull. Amer. Meteor. Soc., Vol.38, pp.283-290.
- 8- Chun, Y.S., Boo, K.O., Kim, J., Park, S., Lee, M., 2001, Synopsis, Transport and Physical Characteristics of Asian Dust in Korea, Journal of Geophysical Research, Vol. 106, PP.18461-18469.
- 9- Doyle, J. D., 1997: The influence of mesoscale orography on a coastal jet and rainband. Mon. Wea. Rev., Vol.125, pp.1465-1488.
- 10- Gläser, G., Knippertz, P., Heinold, B., 2012, Orographic Effects and Evaporative Cooling along a Subtropical Cold Front: The Case of the Spectacular Saharan Dust Outbreak of March 2004. Monthly Weather Review 140:8, pp.2520-2533.
- 11- Griffin, D.W., Kellogg, Ch.A., Shinn, E.A., 2001, Dust in the Wind: Long Rang Transport of Dust in the Atmosphere and its Implication for Global Public and Ecosystem Health. Journal of Global Change and Human Health. Vol. 2, pp.20 -33.
- 12- Garrison VH, et al. 2003, African and Asian dust: from desert soils to coral reefs. Bioscience Vol.53. Pp.469-480.
- 13- Kalnay, E., Kanamitsu, M., Kistler, R., Collins, W., Deaven, D., Gandin, L., Iredell, M., Saha, S.,