

نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی | سال هشتم | شماره بیست و نهم و سی ام | بهار و تابستان ۱۳۹۶

۰۹۱۲۲۸۸۲۷۹۵

بررسی و شبیه‌سازی گردوغبار تابستانی در غرب و جنوب‌غربی ایران

نسیم حسین حمزه^۱، ابراهیم فتاحی^۲، مجتبی ذوالجودی^۳، پروین غفاریان^۴، عباس رنجبر^۵

۱. دانشجوی دکتری، رشته هواشناسی، پژوهشکده هواشناسی تهران
۲. دانشیار گروه هواشناسی، پژوهشکده هواشناسی تهران
۳. استادیار هواشناسی، پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوی تهران
۴. استادیار هواشناسی، پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوی تهران
۵. استادیار گروه هواشناسی، پژوهشکده هواشناسی تهران

چکیده

یکی از مهم‌ترین چالش‌های زیست محیطی سال‌های اخیر در منطقه خاورمیانه و ایران، پدیده گردوغبار است که عمدتاً در فصل تابستان رخ می‌دهد. در این مطالعه، ابتدا کد سینوپتیکی ۰۶ روزهای همراه با گردوغبار در بازه ۵ ساله ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۶ در ۵ شهر غربی و جنوب‌غربی که بیشترین خسارت ناشی از پدیده گردوغبار را متحمل می‌شوند مورد بررسی قرار گرفت که ۸۰ روز مشترک همراه با گردوغبار به دست آمد. سپس با روش تحلیل عاملی PCA ۲ خوشه غالب به دست آمد که هر دو خوشه مبتنی بر الگوی همدیدی تابستانی گردوغبار بودند و در زمان وقوع اغلب توفانها در فصل تابستان بر منطقه حاکم است. پس از آن ۴ توفان شدید و فراگیر فصل تابستان در سالهای ۲۰۰۵، ۲۰۰۸، ۲۰۰۹ و ۲۰۱۲ بررسی شد که در آنها بخش وسیعی از کشور ما تحت تأثیر قرار گرفته است. ۲ مورد از این ۴ توفان در خوشه اول و ۲ مورد توفان گردوغبار دیگر در خوشه دوم قرار می‌گیرند. بررسی‌های همدیدی نشان می‌دهد که وجود گرادیان فشاری شدید بر روی کشور عراق در خوشه اول و کشور سوریه در خوشه دوم، سبب وزش باد شدید در بیابانهای واقع در این کشورها و گسیل گردوغبار می‌شود از طرف دیگر در سطوح بالا به دلیل وجود یک ناوه عمیق در منطقه در هر ۲ خوشه، گردوغبار را تا ارتفاعات بالاتر جوی منتقل می‌شود و توسط بادهای غرب و شمال غربی به داخل ایران وارد می‌شوند. مقادیر مثبت تاوایی نسبی در این دو کشور، نشان‌دهنده وجود حرکات صعودی در این منطقه است. تصاویر ماهواره نیز چشمه گسیل گردوغبار را در شرق کشور سوریه برای خوشه دوم و بیابانهای کشور عراق برای خوشه اول نشان می‌دهند. خروجی مدل WRF-Chem برای غلظت ذرات گردوغبار نیز شروع گسیل از شرق سوریه در خوشه دوم یعنی توفانهای تابستان ۲۰۰۵ و ۲۰۰۹ و به تدریج انتقال آن به سمت غرب و جنوب‌غربی و نفوذ آن به مناطق مرکزی ایران را به خوبی نشان می‌دهد. همچنین در مورد های ۲۰۰۸ و ۲۰۱۲ مرتبط با خوشه اول، مدل نشان می‌دهد گردوغبار برخاسته از کشور عراق، به غرب و جنوب‌غربی ایران وارد می‌شوند. می‌توان نتیجه گرفت که مدل WRF-Chem در هر ۴ توفان، به خوبی چشمه گسیل، روند افزایش گردوغبار را نشان می‌دهد اما روز حداکثر گردوغبار را با تفاوت یک روزه نشان می‌دهد.

واژگان کلیدی: توفان گرد و غبار، تاوایی، مدل WRF-Chem، تصاویر ماهواره، غلظت گرد و غبار

مقدمه:

امروزه وقوع توفان‌های شدید گردوغبار در بیشتر مناطق دنیا، به‌ویژه غرب و جنوب غربی آسیا سبب مختل شدن زندگی مردم و بروز خسارات شدید مالی و جانی می‌شود. توفان‌های گردوغبار به طور عمده در مناطق خشک و نیمه خشک که دارای خاک مستعد فرسایش بادی است رخ می‌دهد. بررسی منابع و عوامل تولید توفان‌های گردوغبار و نحوه پراکنش مکانی آن‌ها موضوع مهمی در مطالعات اخیر است. توفان گردوغبار از پدیده‌های مخرب اقلیمی است که همه ساله خسارت‌های جبران‌ناپذیری به سلامتی انسان و دام، مزارع، تأسیسات مسکونی و صنعتی و جاده‌ها وارد می‌کند. این پدیده متأثر از شرایط جوی است که در صورت بررسی دقیق، می‌توان آسیب‌های آن را کاهش داد (Engelstaedter et al., 2006). گرچه گردوغبار معلق در هوا جز عناصر فرعی ترکیبات جوی هستند، نقش اصلی را در دینامیک جو و اقلیم، بودجه تابشی زمین، میکروفیزیک ابرها و بارش و شیمی جو ایفا می‌کنند (Nickovic et al., 2010; Wang et al., 2010; Perez et al., 2004). لذا بررسی سینوپتیکی و دینامیکی توفانهای گردوغبار و شبیه‌سازی آنها در تعیین روش‌های پیش‌بینی آن نقش بسزایی دارد.

در کشور ایران به دلیل وجود بیابان‌های بزرگ داخل و اطراف آن، وقوع پدیده گردوغبار هر ساله منجر به تعطیلی مدارس و ادارات و خسارات فراوان خصوصا در مناطق غرب و جنوب غربی آن و بخش‌هایی از استان سیستان و بلوچستان می‌شود. در مناطق جنوب غربی ایران از جمله استان خوزستان وقوع پدیده گردوغبار در بیشتر ایام سال زندگی مردم را مختل کرده و علاوه بر ایجاد خسارات بسیار و تهدید سلامت جامعه انجام فعالیت‌های روزمره را برای ساکنان این منطقه غیرممکن می‌سازد. بنابراین پژوهش‌های زیادی برای بررسی پدیده‌های گردوغبار از دیدگاه‌های مختلف ارائه شده است، رنجبر و همکاران (۱۳۹۵) به بررسی پدیده گردوغبار در غرب ایران پرداخته و الگوهای همدیدی موثر در ایجاد این پدیده‌ها را در یک دوره آماری طبقه‌بندی کرده‌اند. آنها نتیجه‌گیری کردند که الگوهای جوی

منجر به گردوغبار در فصول خشک و تر متفاوت می‌باشد، اما مهم‌ترین ویژگی‌ها وجود و تقویت سامانه کم فشار حرارتی بر روی منطقه و ادغام آن با کم فشار دینامیکی، نفوذ سامانه پرفشار بر روی ترکیه و غرب سوریه و نواحی شمال غربی ایران، ایجاد گردابان فشاری قوی در منطقه و وزش باد نسبتا شدید غرب و شمال غربی بر روی مناطق مستعد گسیل گردوغبار هستند. همچنین تحقیقات زیادی در زمینه مطالعه موردی توفان‌های شدید گردوغبار بویژه در سال‌های اخیر ارائه شده است که به بررسی این توفان‌ها از دیدگاه‌های مختلف پرداخته‌اند (رنجبر و عزیز، ۱۳۹۰، ملکوتی و همکاران ۱۳۹۲، حسین حمزه و همکاران ۱۳۹۵، کارگر و همکاران ۱۳۹۵). تحلیل‌های آماری زیادی در رابطه با پدیده‌های گردوغبار در استان‌های مختلف کشور انجام شده است مانند استان خوزستان توسط طاووسی و همکاران (۱۳۹۰) و فرج‌زاده و علیزاده (۱۳۸۹) که در آن توفان‌های گردوغبار برحسب فراوانی زمانی و مکانی برای ۵۰ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک در سراسر کشور در طی دوره آماری ۱۹۸۷-۲۰۰۶ بررسی و تجزیه و تحلیل شده است. ذوالفقاری و همکاران به بررسی منشأ گردوغبار در غرب ایران در یک دوره ۵ ساله پرداخته‌اند و مهم‌ترین منابع تولیدکننده گردوغبار غرب ایران را صحراهای کشور سوریه، صحرای نفوذ در شمال شبه جزیره عربستان و صحرای کبیر آفریقا دانسته‌اند (ذوالفقاری و همکاران، ۱۳۸۴). فتاحی و همکاران به بررسی الگوهای همدیدی خشکسالی‌های فراگیر در استان چهارمحال و بختیاری با کمک روش PCA پرداخته‌اند و نتایج بررسی آنها، حاکی از وجود اختلاف معنی‌دار در آرایش الگوها، فراوانی تیپ‌های هوا و مسیر حرکت آنها به سوی ایران است (فتاحی و همکاران، ۱۳۹۰). هدف از این مطالعه، نخست ارائه الگوی سینوپتیکی حاکم بر منطقه در زمان وقوع توفان‌های گردوغبار تابستانی و دوم راستی‌آزمایی مدل WRF-Chem در شبیه‌سازی توفان‌های گردوغبار این منطقه در فصل تابستان است. به منظور بررسی بیشتر برای ارائه نتیجه کلی، چندین توفان گردوغبار تابستانی بررسی شده و همچنین استفاده از روش خوشه بندی برای توفان‌های گردوغبار در کل سال با استفاده از الگوهای همدیدی، منجر به آن شد که توفان‌های گردوغبار

کمیت‌های جوی ندارد و به صورت بر خط کمیت‌های جوی را نیز محاسبه می‌کند، بنابراین علاوه بر کمیت‌های مرتبط با شیمی جو، کمیت‌های جوی از قبیل باد در سطوح مختلف، فشار و ارتفاع ژئوپتانسیلی را نیز به عنوان خروجی مدل ارائه می‌دهد. اطلاعات کامل در ارتباط با مدل WRF_Chem در کارهای گرل و همکاران (Grell et al, 2005:11) و فست و همکاران (Fast et al, 2006:11) ارائه شده است. در این مطالعه طرحواره گسیل ذرات معلق GOCART^۲ تنها با در نظر گرفتن ذرات معلق گردوغبار، استفاده شده است.

مهمترین عامل عدم قطعیت در گسیل گردوغبار، سرعت آستانه است که توسط جینوکس و همکاران ارائه شده است (Ginoux et al, 2012:11). علاوه بر سرعت آستانه، میزان رطوبت سطحی نیز باید از مقدار آستانه ۰/۵ کمتر باشد، زیرا بر طبق مقاله تگن افزایش رطوبت سطحی، سبب افزایش چسبندگی ذرات خاک می‌شود (Tegen, 2003:11). در این طرحواره ۵ سایز مختلف برای ذرات خاک با شکل ایده ال کروی با سایز ۰/۱ تا ۱۰ μm در نظر گرفته شده است. شعاع‌های موثر ذرات عبارتند از: ۰/۷۳، ۱/۴، ۲/۴، ۴/۵ و ۸ که کلیه محاسبات برای هر یک از آنها انجام می‌شود.

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه شامل شهرهای غربی و جنوب‌غربی ایران است. در این میان دید افقی مربوط به ۵ شهر اهواز، آبادان و دزفول از استان خوزستان، شهر بوشهر از استان بوشهر و شهر ایلام از استان ایلام مورد بررسی قرار می‌گیرد.

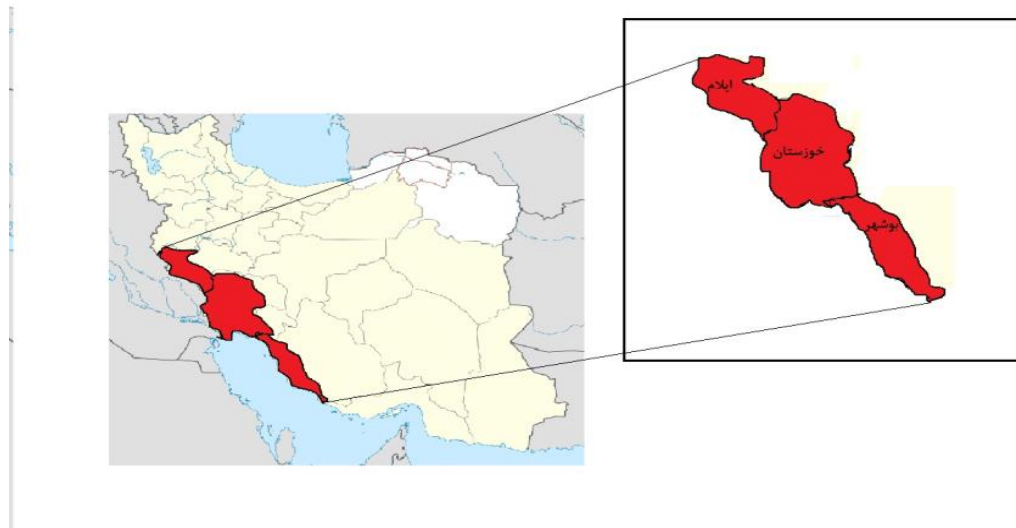
تابستانی عمدتاً در یک دسته قرار گرفته و الگوی همدیدی مشابهی را نشان دادند که این ۴ مورد تنها به عنوان نمونه ارائه شده است. الگوی همدیدی در تمامی این نمونه‌ها نیز شباهت زیادی به یکدیگر و همچنین الگوی کلی داشته که البته بسته به میزان شدت پدیده دارای شدت متفاوتی هستند. بنابراین می‌توان الگوی مشخصی را برای گردوغبار تابستانی ارائه کرد.

مواد و روش‌ها:

در این مقاله ابتدا کد ۰۶ دید افقی در یک دوره ۵ ساله (۲۰۰۶-۲۰۰۲) مورد بررسی قرار می‌گیرد و روزهای مشترک همراه با گردوغبار در ۵ شهر غربی کشور مشخص می‌شود. سپس با استفاده از داده‌های روزانه بازتحلیل جهانی مربوط به مراکز ملی پیش‌بینی محیطی - مرکز ملی پژوهش جوی NCEP/NCAR (کالی و همکاران، ۱۹۹۶) با تفکیک مکانی ۲/۵ درجه، الگوهای جوی ۲ خوشه غالب و چهار رخداد شدید توفان گردوغبار از دیدگاه همدیدی - دینامیکی بررسی می‌شود. به منظور شناسایی چشمه گردوغبار در این توفانها، تصاویر ماهواره MeteoSat7 و میانگین عمق نوری بدست آمده از داده‌های MODIS ماهواره Aqua در کانال ۵۵۰ نانومتر بررسی می‌شود.

. در ادامه، دو کمیت تاوایی نسبی و فرارفت آن که با استفاده از داده‌های NOAA^۱ به دست آمده بررسی شده و مناطق دارای حرکات صعودی و نزولی مشخص شده‌اند. برای شبیه‌سازی ۴ توفان گردوغبار، مدل WRF-Chem اجرا شده و داده‌های FNL با دقت ۱ درجه برای شرایط اولیه و مرزی آن بکار گرفته می‌شود. سرانجام برای راستی‌آزمایی نتایج مدل، غلظت گردوغبار ایستگاه‌های مختلف با استفاده از داده‌های گرفته شده از سازمان محیط زیست ایران با خروجی مدل مقایسه می‌شود.

مدل WRF_Chem برخلاف بیشتر مدل‌های مشابه، نیازی به جفت شدن با یک مدل جوی و یا وارد کردن

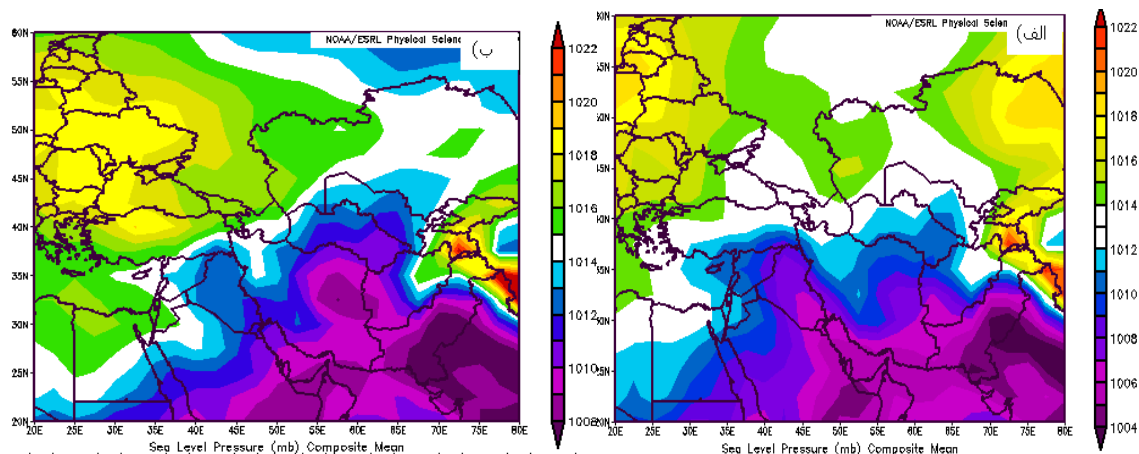


شکل ۱- منطقه مورد مطالعه شامل مناطق غربی و جنوب‌غرب کشور

در شکل ۲، نقشه میانگین ترکیبی فشار سطح زمین را بر حسب هکتوپاسکال در خوشه اول نشان می‌دهد. کمترین میزان فشار ۱۰۰۴ میلی بار است که بر روی جنوب و جنوب شرق ایران، کشور پاکستان و هند به صورت پیوسته مشاهده می‌شود. زبانه‌های این کم فشار تا جنوب شرق عراق (۱۰۰۶ میلی بار) نیز کشیده شده است. چنین به نظر می‌رسد که تقویت کم فشار گرمایی از سمت جنوب شرق (هند و پاکستان) به سوی ایران و عراق کشیده شده است. بر روی شمال اروپا نیز مرکز پرفشار ۱۰۱۸ میلی بار قرار دارد. در قسمت ب همین شکل، کمترین میزان فشار ۱۰۰۴ میلی بار است که بر روی شرق پاکستان و جنوب خلیج فارس مشاهده می‌شود و نسبت به خوشه اول، دارای گستردگی بیشتری بر روی جنوب و مرکز ایران است. بر روی شمال اروپا مرکز پرفشار ۱۰۱۸ هکتوپاسکالی مشاهده می‌شود. تفاوت بارزی که با خوشه اول مشاهده می‌گردد تقویت پرفشار بر روی اروپا و گستردگی آن تا شمال ایران و بر روی دریای خزر است.

نتایج و بحث:

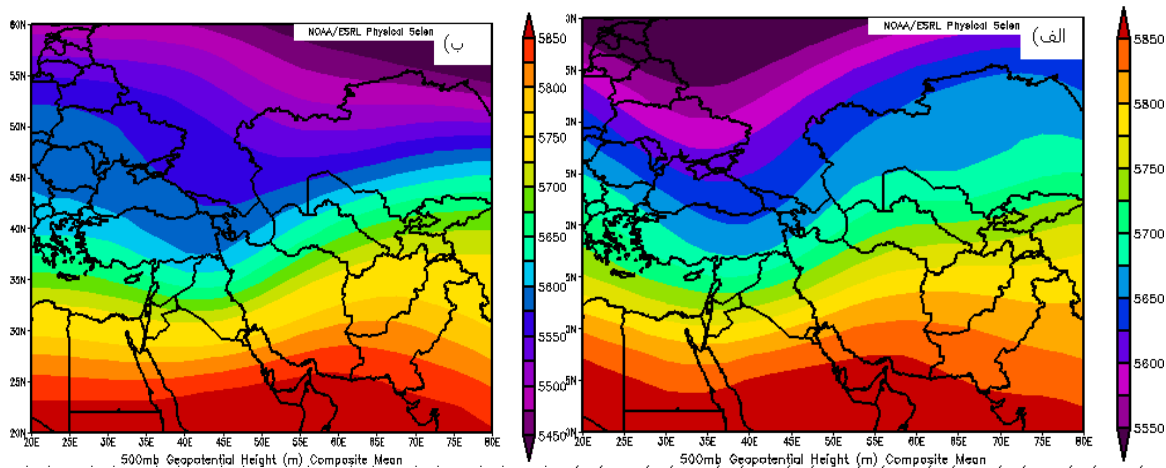
در این مقاله ابتدا اطلاعات مربوط به تراز ژئوپتانسیلی ۵۰۰ هکتوپاسکال از سایت NOAA با دقت ۲/۵ درجه استخراج شد و سپس منطقه مورد بررسی از کل داده‌ها برش زده شد. این منطقه از عرض جغرافیایی ۲۰ تا ۶۰ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۲۰ تا ۸۰ درجه شرقی است و شامل ۴۲۵ نقطه می‌شود. در بررسی روزهای مشترک گردوغبار بین سالهای ۲۰۰۲ و ۲۰۰۶ در ۵ شهر اهواز، بوشهر، ایلام، آبادان و دزفول ۸۰ روز مشترک به دست آمد. حداکثر روزهای گردوغبار، در ماههای می و جولای است. پس از استخراج داده‌ها و برش زدن آنها برحسب طول و عرض جغرافیایی در روزهای مشترک، به کمک روش PCA نرم افزار SPSS خوشه‌بندی صورت گرفت و ۸۰ روز فوق به ۴ خوشه طبقه بندی شدند. ۷۸ روز در ۲ خوشه طبقه‌بندی شدند و تنها ۲ روز در ۲ خوشه دیگر قرار گرفتند. پس ۲ خوشه را حذف کرده و فقط ۲ خوشه اصلی را مورد بررسی قرار می‌دهیم. سپس الگوهای باد، فشار سطح زمین و ارتفاع ژئوپتانسیلی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکالی هر خوشه اصلی به‌طور جداگانه مورد بررسی قرار گرفت.



شکل ۲: نقشه میانگین ترکیبی فشار سطح زمین را بر حسب هکتوپاسکال در الف) خوشه اول ب) خوشه دوم

ب همین شکل، تفاوت بارزی که نسبت به خوشه اول مشاهده می‌شود وجود ناوه بر روی ترکیه تقویت شده و پشته‌ای که بر روی ایران قرار داشت تضعیف شده است. با توجه به آن که ناوه خوشه اول غربتر از ناوه خوشه دوم قرار گرفته است، نشاندهنده آن است که در خوشه اول کشور سوریه و بیابانهای غرب عراق در تولید گردوغبار نقش دارند اما در خوشه دوم بیابانهای شرق عراق موثرترند.

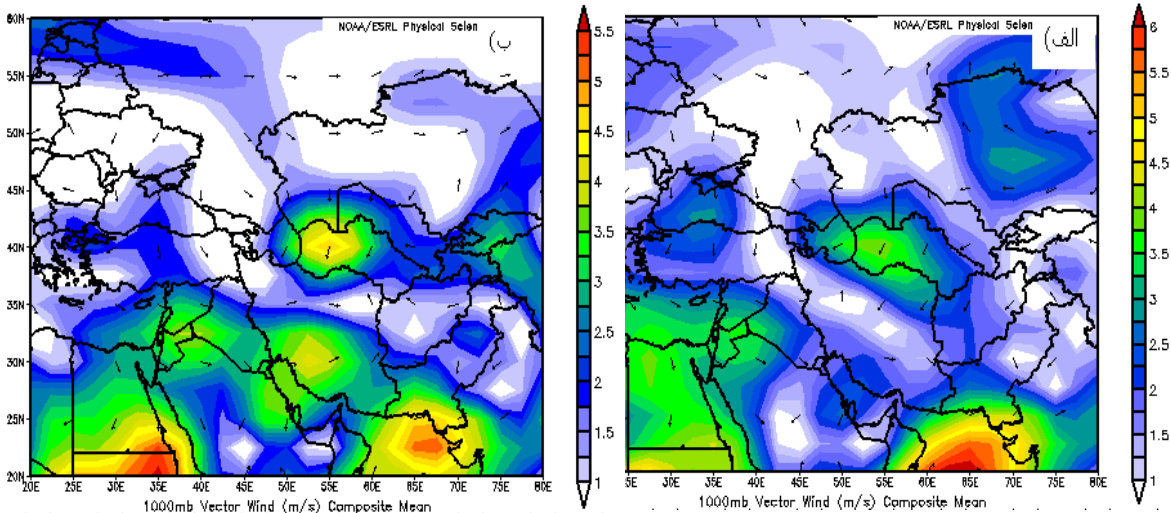
در شکل ۳، نقشه میانگین ترکیبی ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکالی را بر حسب متر نشان می‌دهد. ناوهای از شمال دریای سیاه تا جنوب کشور سودان قرار گرفته است. امواج ناشی از این ناوه، کشور عراق و شمال غرب ایران را تحت تاثیر قرار داده است. بر روی ایران، پشته‌ای قرار گرفته که از سمت جنوب غرب ایران گسترده شده است. در واقع بر روی ایران پراارتفاع قرار دارد. مرکز این پراارتفاع به میزان ۵۸۵۰ متر بر روی جنوب ایران قرار گرفته است. در قسمت



شکل ۳: نقشه میانگین ترکیبی ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکالی بر حسب متر برای الف) خوشه اول ب) خوشه دوم

سوریه که مناطق مستعد ایجاد گردوغبار هستند، بیشتر از خوشه اول است و جهت آن به سمت غرب و جنوب‌غربی ایران است.

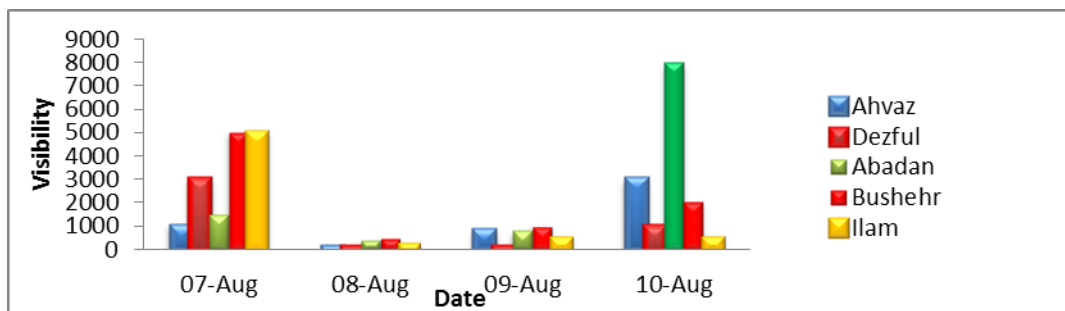
در نقشه باد سطح زمین خوشه اول، سرعت باد روی کشور عراق و سوریه از ۲/۵ تا ۳/۵ متر بر ثانیه متغیر است و جهت آن به سمت غرب و جنوب‌غربی ایران است. در خوشه دوم، سرعت باد بر روی کشور عراق و



شکل ۴: سرعت باد سطح زمین بر حسب متر بر ثانیه برای الف) خوشه اول ب) خوشه دوم

حداقل دید افقی روزانه ۵ شهر اهواز، دزفول، آبادان، بوشهر و ایلام در تاریخهای هر ۴ توفان رسم شده است. در شکل ۵ حداقل دید افقی روزانه بین تاریخهای ۷ تا ۱۰ آگوست ۲۰۰۵ رسم شده است. در روزهای ۸ و ۹ آگوست ۲۰۰۵ دید افقی هر ۵ شهر به زیر ۱۰۰۰ متر می‌رسد.

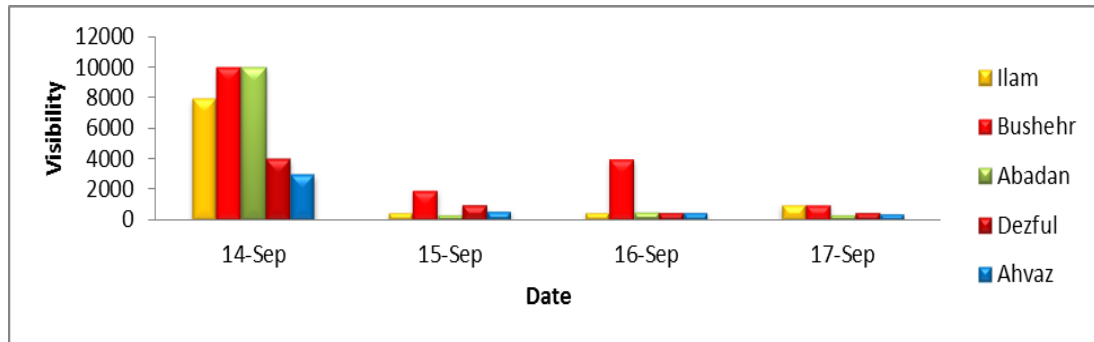
سپس داده‌های مربوط به تراز ژئوپتانسیلی ۵۰۰ هکتو پاسکال برای ۴ توفان گردوغباری از سایت NOAA با دقت ۲٫۵ درجه استخراج شد و منطقه مورد بررسی از کل داده‌های برش زده شد که شامل ۴۲۵ نقطه می‌شود. با کمک نرم‌افزار SPSS، تمام روزهای ۴ مورد با ۲ خوشه مورد دسته‌بندی مجدد قرار گرفت. مورد ۲۰۰۵ و ۲۰۰۸ در خوشه اول و مورد ۲۰۰۹ و ۲۰۱۲ در خوشه دوم قرار گرفتند.



شکل ۵: حداقل دید افقی روزانه بر حسب متر در ۵ شهر اهواز، دزفول، آبادان، بوشهر و ایلام بر حسب متر در ۷ تا ۱۰ آگوست ۲۰۰۵

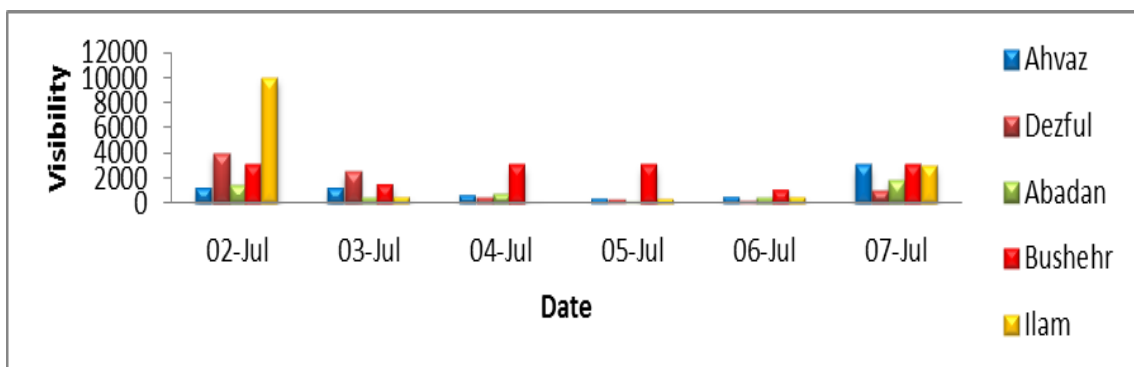
روز ۱۵ و ۱۷ دید افقی به حداقل می‌رسد که این مقدار حداقل بالای ۱۰۰۰ متر است. به نظر می‌رسد شدت توفان در این بندر جنوبی به مراتب کمتر از شهرهای غربی کشور است.

در شکل ۶ حداقل دید افقی روزانه بین تاریخهای ۱۴ تا ۱۷ سپتامبر ۲۰۰۸ رسم شده است. در تاریخهای ۱۵ تا ۱۷ سپتامبر ۲۰۰۸ دید افقی در شهرهای اهواز، آبادان و دزفول به زیر ۱۰۰۰ متر می‌رسد اما در شهر بوشهر در



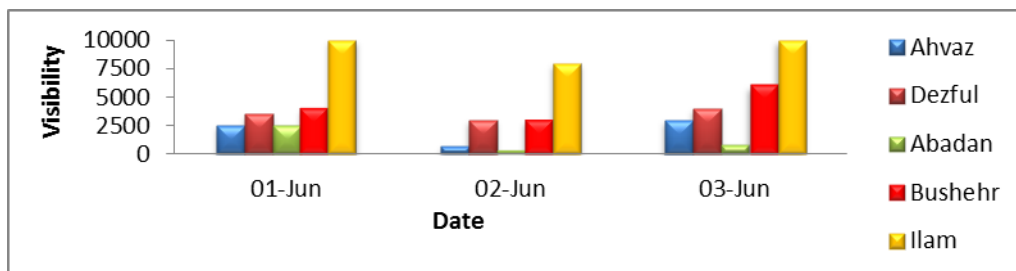
شکل ۶- حداقل دید افقی برحسب متر روزانه در ۵ شهر اهواز، دزفول، آبادان، بوشهر و ایلام بر حسب متر در ۱۴ تا ۱۷ سپتامبر ۲۰۰۸

در شکل ۷ حداقل دید افقی روزانه بین تاریخهای ۲ تا ۷ جولای ۲۰۰۹ رسم شده است. دید افقی شهرهای اهواز، آبادان و دزفول بین تاریخ ۴ تا ۶ جولای ۲۰۰۹ به زیر ۱۰۰۰ متر می‌رسد. شدت توفان در شهرهای ایلام و بوشهر کمتر است اما روند کاهشی دید افقی در این دو شهر تا روز ۶ جولای ادامه می‌یابد و حداقل دید افقی در این دو شهر در روز ۶ جولای رخ می‌دهد.



شکل ۷: حداقل دید افقی برحسب متر روزانه در ۵ شهر اهواز، دزفول، آبادان، بوشهر و ایلام بر حسب متر در ۲ تا ۷ جولای ۲۰۰۹

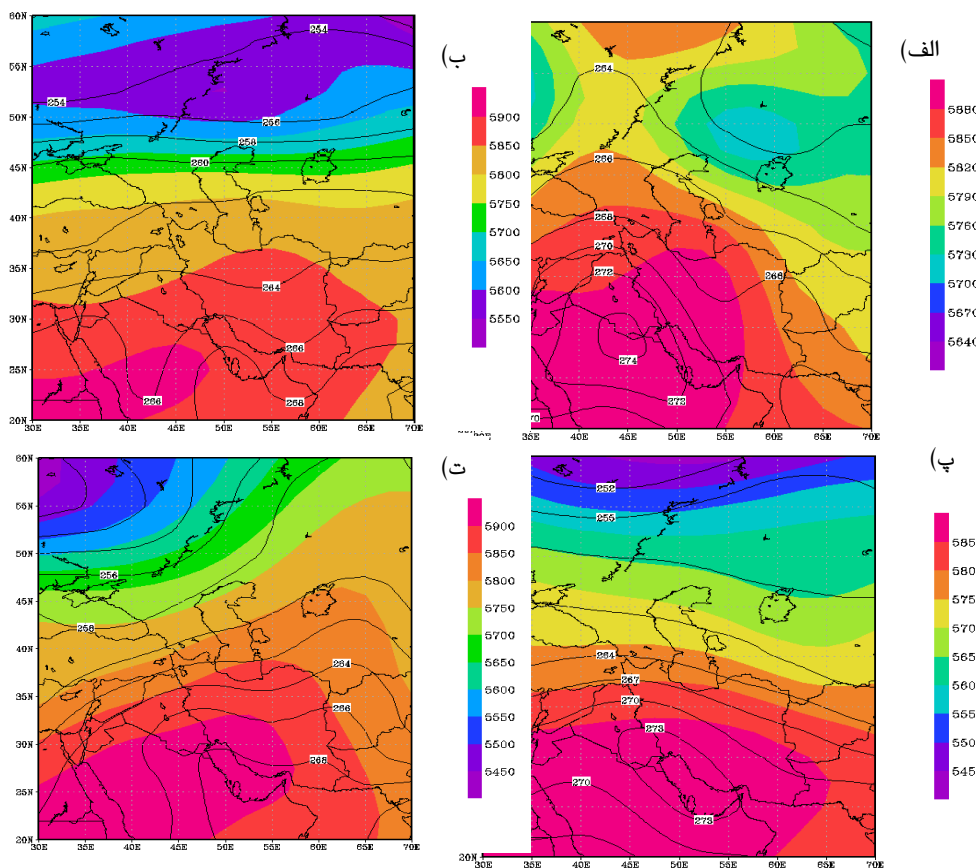
در شکل ۸ حداقل دید افقی روزانه بین تاریخهای ۱ تا ۳ جون ۲۰۱۲ رسم شده است. در تاریخ ۲ جون ۲۰۱۲ دید افقی هر ۵ شهر به حداقل می‌رسد اما مقدار این حداقل بسیار متفاوت است. مثلاً در شهر ایلام این مقدار به ۸۰۰۰ متر می‌رسد اما در همین روز در آبادان و اهواز به زیر ۱۰۰۰ متر می‌رسد.



شکل ۸: حداقل دید افقی روزانه برحسب متر در ۵ شهر اهواز، دزفول، آبادان، بوشهر و ایلام بر حسب متر در ۱ تا ۳ جون ۲۰۱۲

بیشتر می‌شود. در نقشه دمای تراز ۵۰۰ هکتوپاسکالی در هر شکل یک پشته دمایی از سمت عرضهای پایین‌تر تا کشورهای عراق و سوریه کشیده شده‌است که نشان دهنده نفوذ هوای گرم از عرض‌های پایین‌تر به این مناطق می‌باشد.

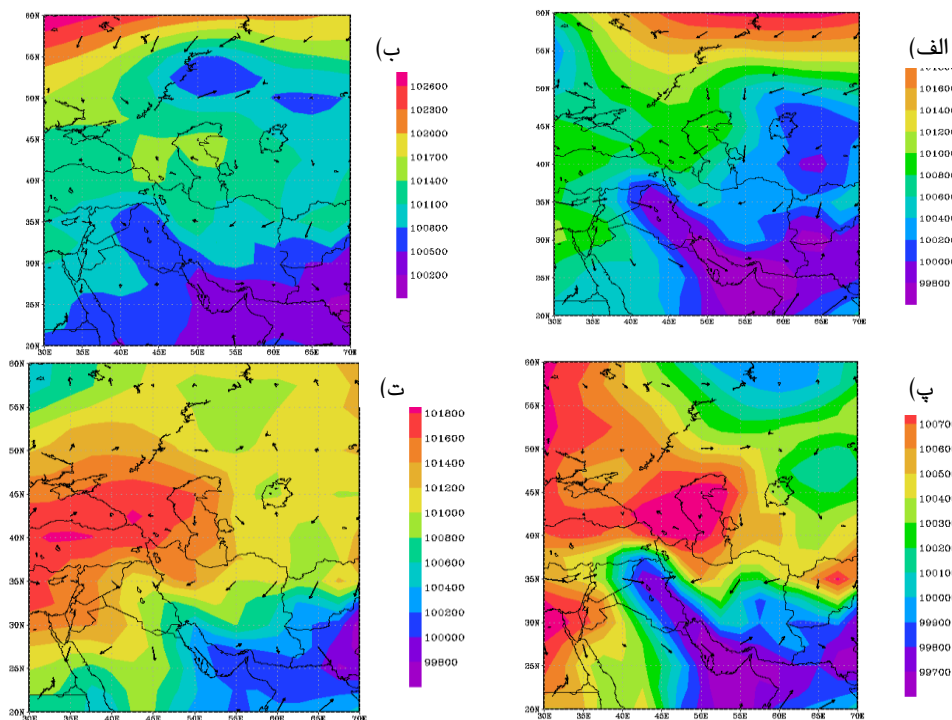
در شکل ۹ الف میانگین ارتفاع ژئوپتانسیلی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکالی در هر ۴ مورد گردوغبار رسم شده است. در هر ۴ مورد یک ناهه بر روی غرب مدیترانه واقع شده که کشورهای عراق و سوریه در جلوی محور آن قرار گرفته‌اند، در نتیجه وجود حرکات صعودی در این مناطق سبب انتشار گردوغبار تا ترازهای بالاتر جوی و انتقال آن تا مسافت



شکل ۹) میانگین ارتفاع ژئوپتانسیلی بر حسب متر و خطوط همدمای تراز ۵۰۰ هکتوپاسکالی بر حسب کلونین در الف) ۷ تا ۱۰ آگوست ۲۰۰۵ ب- ۱۳ تا ۱۷ سپتامبر ۲۰۰۸ پ- تاریخ ۲ تا ۶ جولای ۲۰۰۹ ت- تاریخ ۱ تا ۴ جون ۲۰۱۲

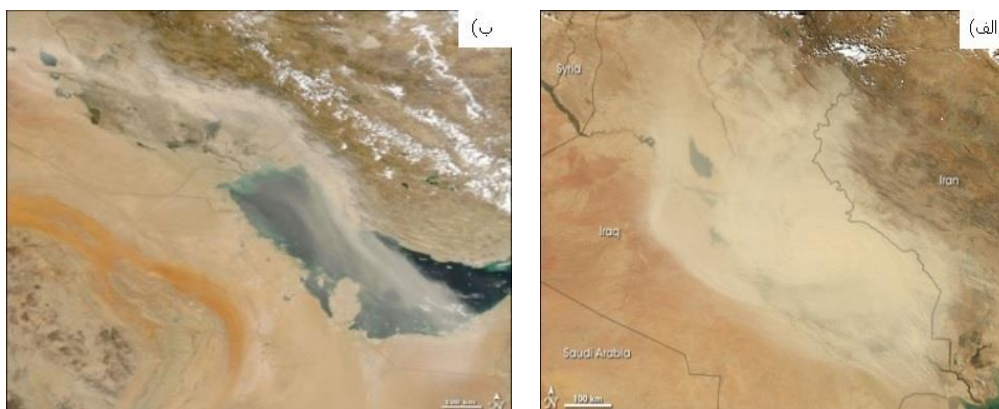
مستعد ایجاد گردوغبار است می‌گردد. همچنین این شکل میانگین باد سطح زمین در هر ۴ مورد را نشان می‌دهد بادهای غربی و شمال غربی این منطقه سبب انتقال گردوغبار به داخل مرزهای ایران می‌گردد. از طرفی بادهای شمال شرقی و شرقی از سمت روسیه و شرق ایران، سبب ماندگاری گردوغبار در منطقه جنوب و جنوبغرب ایران می‌شود.

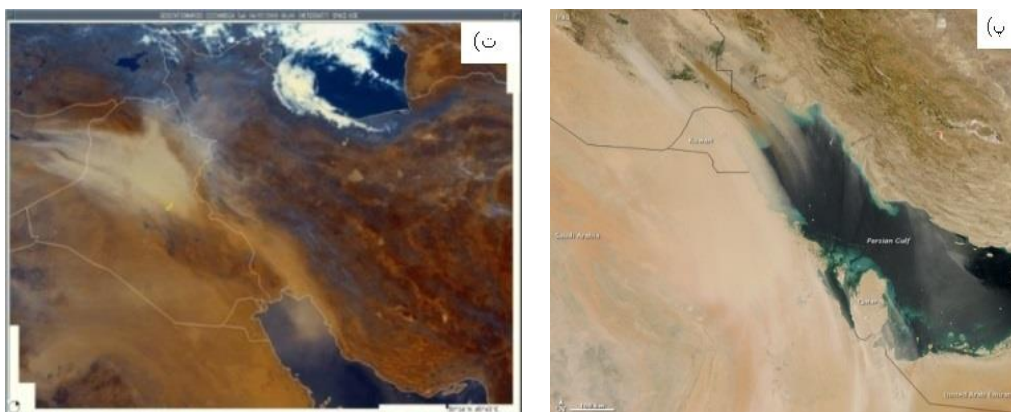
شکل ۱۰ نقشه میانگین فشار سطح زمین در روزهای نامبرده را نشان می‌دهد. در هر ۴ شکل زبانه‌های یک سامانه کم‌فشار گرمایی از جنوب شرقی ایران تا کشور عراق و شرق سوریه کشیده شده و همچنین زبانه‌های یک سامانه پرفشار واقع بر روی اروپا تا شمال کشورهای عراق و سوریه و از طرف دیگر تا شمال غربی ایران نیز رسیده است که سبب ایجاد گرادبان فشاری شدید و شکل‌گیری بادهای تند در شرق سوریه حوضه رودخانه فرات، که از مناطق



شکل ۱۰) نقشه میانگین فشار سطح زمین برحسب پاسکال و باد سطح زمین برحسب متر برثانیه در روزهای الف) ۱۳ تا ۱۷ سپتامبر ۲۰۰۸ ب- ۷ تا ۱۰ اگوست ۲۰۰۵ ج- تاریخ ۲ تا ۶ جولای ۲۰۰۹ د- تاریخ ۱ تا ۴ جون ۲۰۱۲

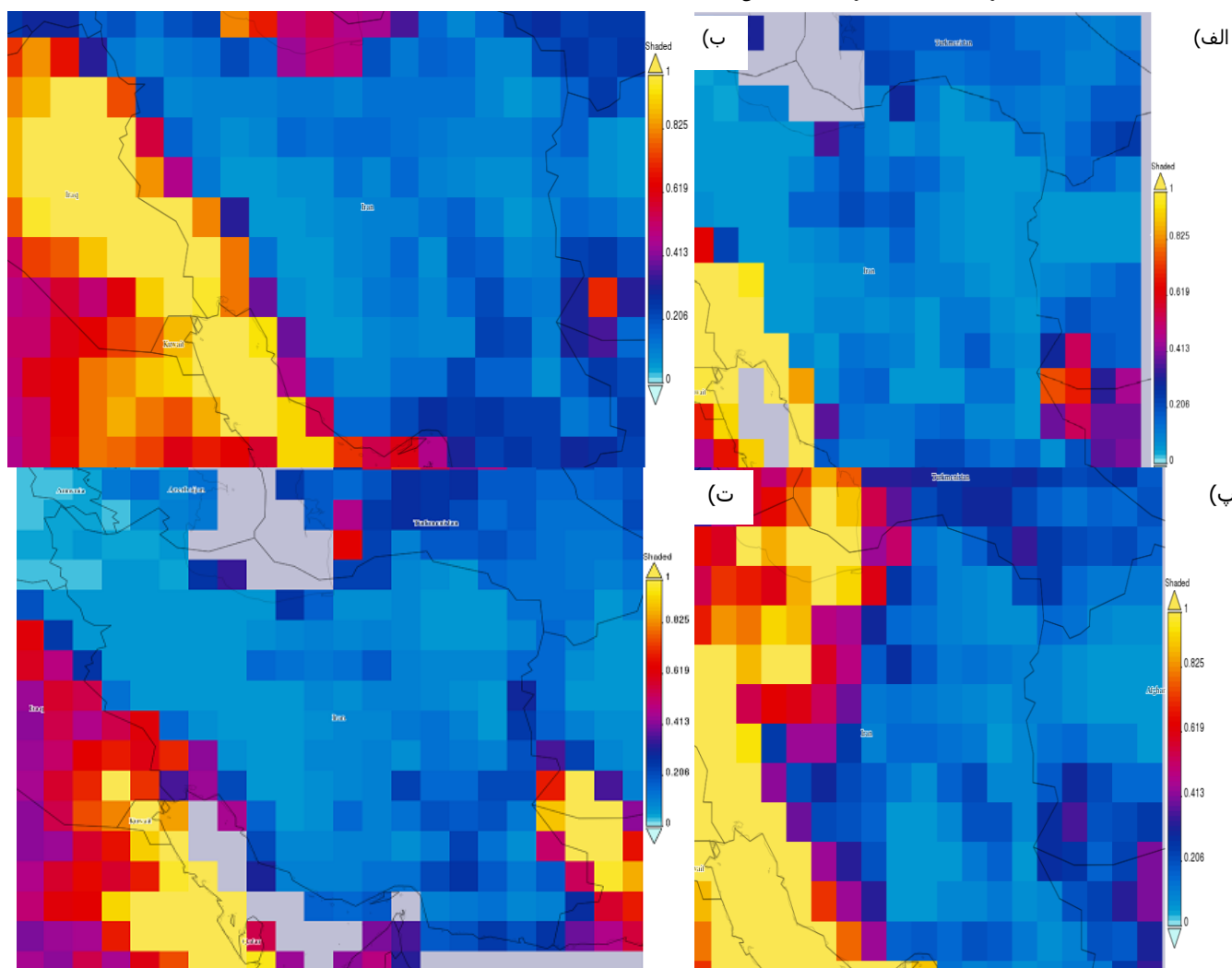
شکل ۱۱ تصویر سنجنده مودیس روی ماهواره آکوا چشمه گسیل گردوغبار در هر ۴ مورد در کشور عراق و بیابانهای شرق سوریه و گسترش گردوغبار تا مناطق غرب و مرکزی ایران و خلیج فارس را نشان می‌دهد.





شکل ۱۱) تصویر مدیس روی ماهواره آکوا برای روزهای الف) ۸ آگوست ۲۰۰۵ ب) تصویر ماهواره در روز ۱۶ سپتامبر ۲۰۰۸ پ) تصویر ماهواره در روز دوم جولای ۲۰۰۹ ت) تصویر ماهواره در روز دوم جون ۲۰۱۲

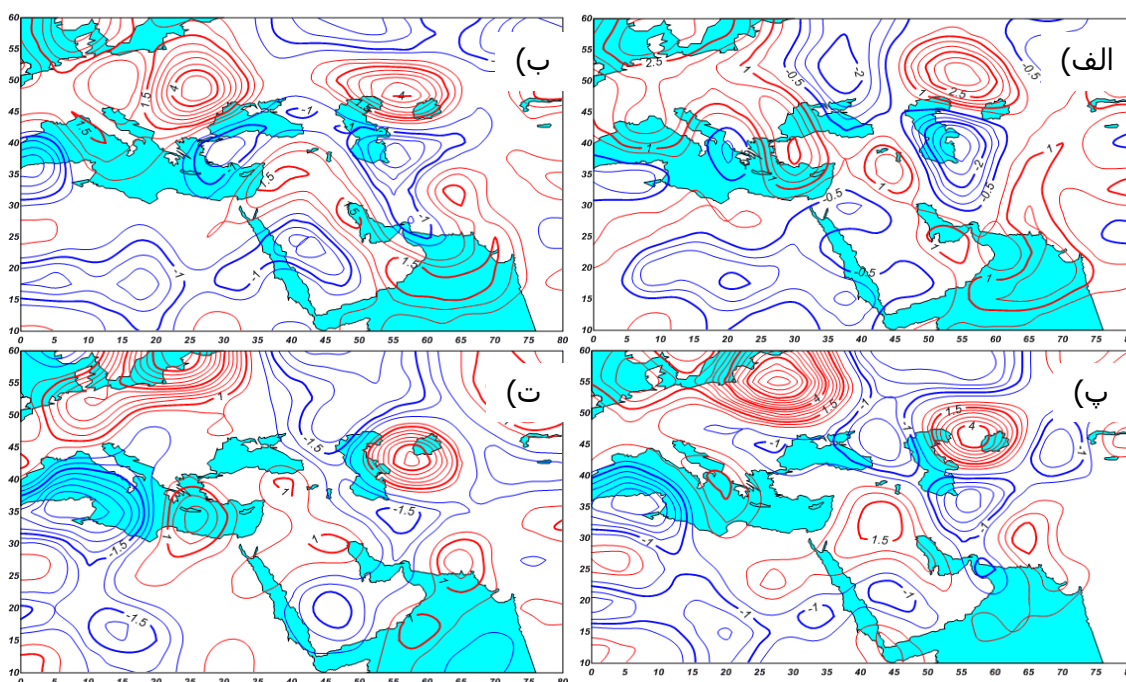
در شکل ۱۲ میانگین عمق نوری در هر ۴ مورد در شرق سوریه، کشور عراق و جنوب‌غربی ایران دارای مقادیر قابل توجهی است که نشان‌دهنده مقادیر بالای غلظت گردوغبار در این مناطق است.



شکل ۱۲: میانگین عمق نوری داده‌های MODIS ماهواره Aqua در کانال ۵۵۰ نانومتر در روزهای: الف) ۱۳ تا ۱۷ سپتامبر ۲۰۰۸ ب) - ۷ تا ۱۰ آگوست ۲۰۰۵ ج) تاریخ ۲ تا ۶ جولای ۲۰۰۹ د) تاریخ ۱ تا ۴ جون ۲۰۱۲

سبب بلند شدن گردوغبار می‌شود. در روز نهم تاوایی منفی روی ایران گسترش یافته و از شمال شرق ایران تا دریای سیاه کشیده شده است و تاوایی مثبت هم چنان بر روی عراق و عربستان وجود دارد. در روز دهم تاوایی مثبت کاهش یافته است و تاوایی منفی روی شرق و کشورهای شمال ایران وجود دارد.

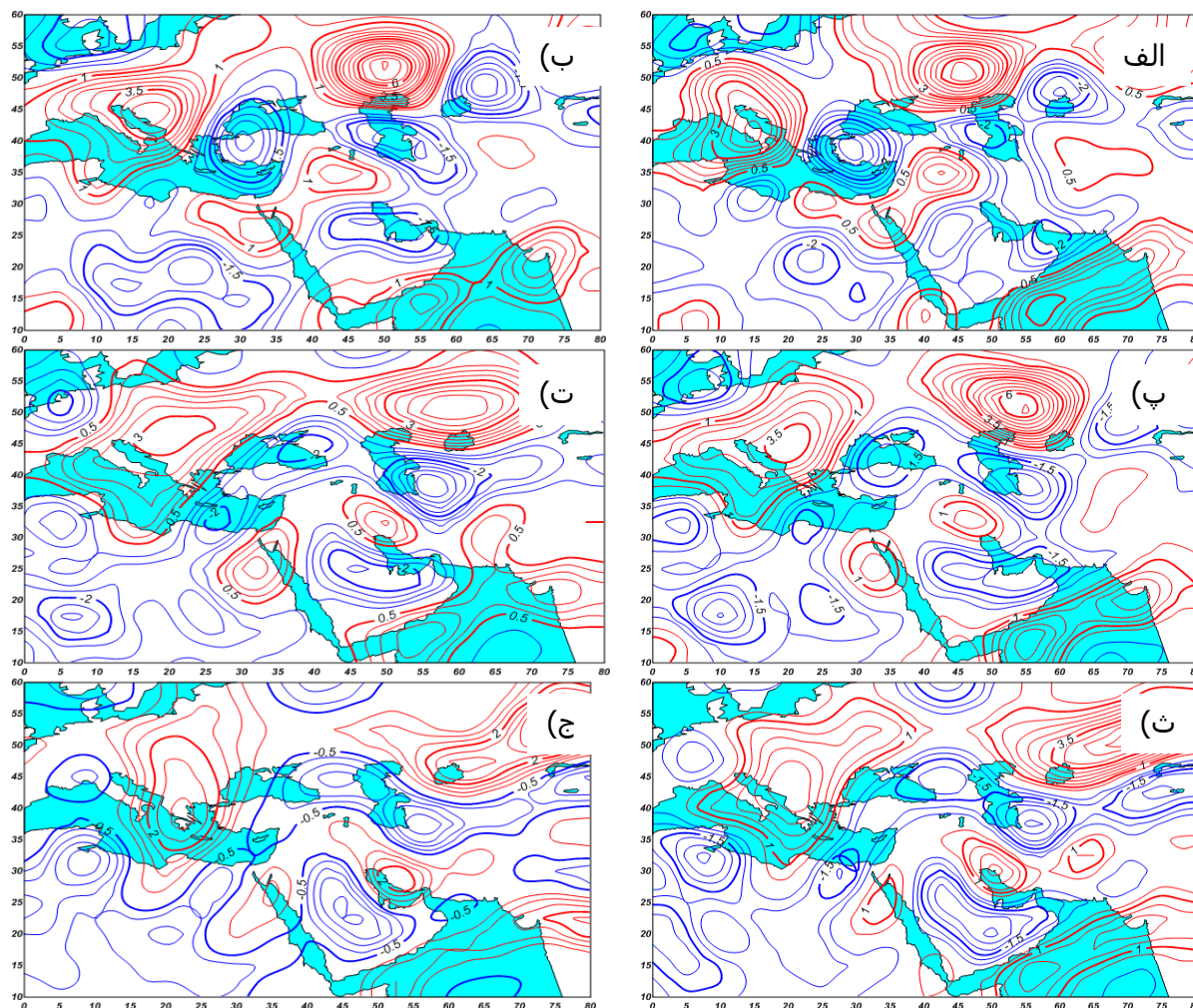
در شکل ۱۳، در روز ۷ آگوست تاوایی منفی بر روی شرق ایران و تاوایی مثبت بر روی غرب ایران و کشورهای عراق و سوریه قرار دارد. در روز هشتم تاوایی مثبت بر روی عربستان، عراق و سوریه تقویت شده و تاوایی منفی روی این ناحیه منجر به پدیده گردوغبار می‌شود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در مناطق مستعد گسیل گردوغبار در شرق سوریه و غرب عراق حرکات صعودی قرار دارد که



شکل ۱۳: تاوایی نسبی تراز ۷۰۰ هکتوپاسکالی در روزهای ۷ تا ۱۰ آگوست ۲۰۰۵ ساعت ۱۲

می‌شود. وجود تاوایی منفی سبب حرکات نزولی و نشست گردوغبار بر روی ایران می‌شود. در روز هفدهم مرکز تاوایی مثبت تقویت شده و بخشهای مرکزی ایران را در بر گرفته است و یک مرکز تاوایی منفی نسبتاً شدیدی در شمال شرق ایران وجود دارد.

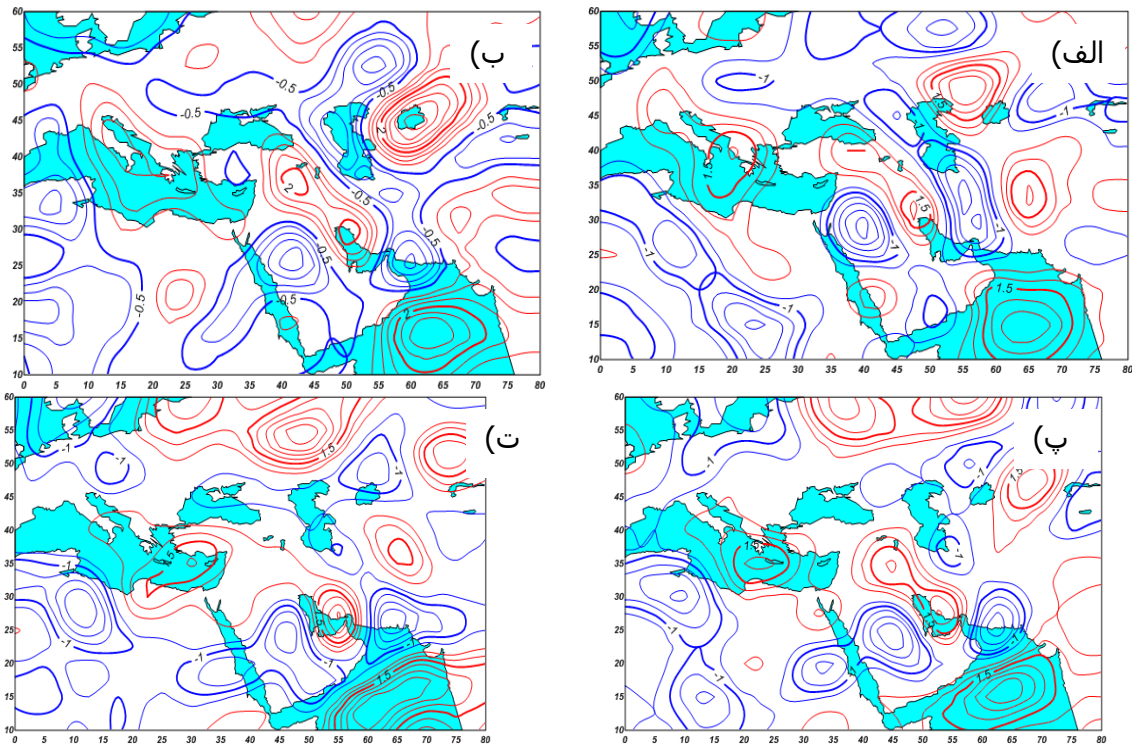
در شکل ۱۴، در روز پانزدهم تاوایی منفی بر روی ایران واقع شده و یک تاوایی مثبت بر روی عراق و سوریه قرار دارد که سبب حرکات صعودی در این منطقه و بالا رفتن گردوغبار می‌شود. با گذشت زمان در روز شانزدهم مرکز تاوایی منفی تقویت شده و تاوایی مثبت تنها در بخش کوچکی از شرق عراق و جنوب غربی ایران مشاهده



شکل ۱۴: تاوایی نسبی تراز ۷۰۰ هکتوپاسکالی در روزهای ۱۵ تا ۱۷ آگوست ۲۰۰۸ ساعت صفر و ۱۲

جنوب و غرب ایران قرار گرفته است و تاوایی منفی بر شمال شرقی دریای خزر و استان سیستان بلوچستان حاکم است. در آخرین روز تاوایی مثبت بر کل منطقه غرب و کشورهای غربی حاکم است و تاوایی منفی مانند روز قبل بر روی سیستان بلوچستان قرار دارد.

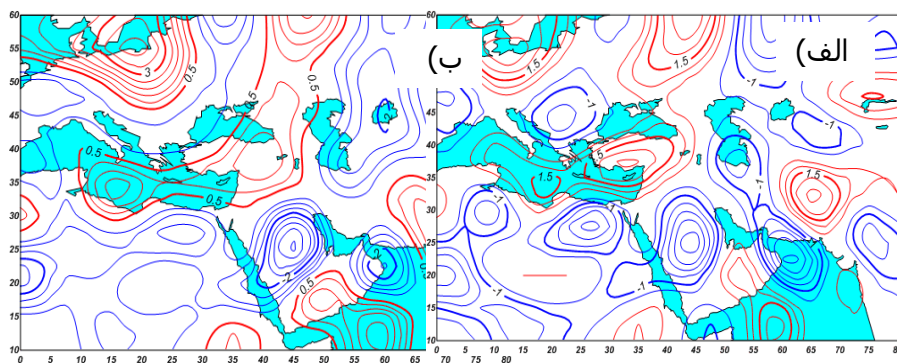
همان‌طور که شکل ۱۵ نشان می‌دهد، در روز دوم تاوایی مثبت بر غرب ایران و کشورهای همجوار قرار دارد و تاوایی منفی بر شرق ایران قرار گرفته است. در روز سوم تاوایی مثبت بر غرب ایران و کشورهای غرب ایران تشدید شده است. در روز چهارم جولای تاوایی مثبت بر روی

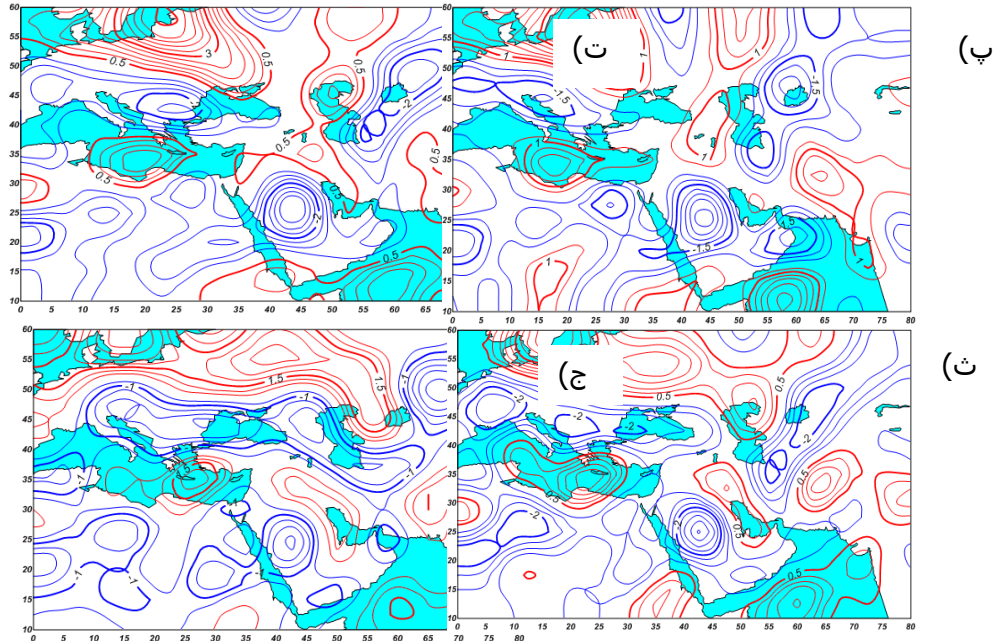


شکل ۱۵: تاوایی نسبی تراز ۷۰۰ هکتوپاسکالی در روزهای ۲ تا ۵ جولای ۲۰۰۹ ساعت ۱۲

مناطق مرکزی ایران قرار دارد که می‌تواند باعث حرکات نزولی در این منطقه شود. در روز سوم مرکز تاوایی مثبت به سمت شرق حرکت کرده و در جنوب غربی ایران قرار گرفته است. مرکز تاوایی منفی نیز تقویت شده و شمال شرق و مرکز ایران را پوشش می‌دهد.

در روز اول در مناطق شرق مدیترانه و کشور سوریه تاوایی مثبت قابل توجهی دیده می‌شود که می‌تواند سبب حرکات صعودی در این منطقه می‌شود. در روز دوم تاوایی مثبت به سمت شرق جابه‌جا شده و مرکز آن بر روی عراق واقع شده است و یک مرکز تاوایی منفی نسبتاً بزرگ در شمال شرق و

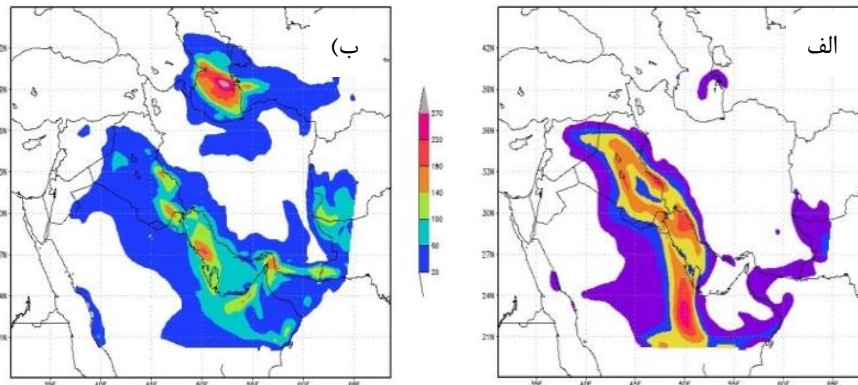


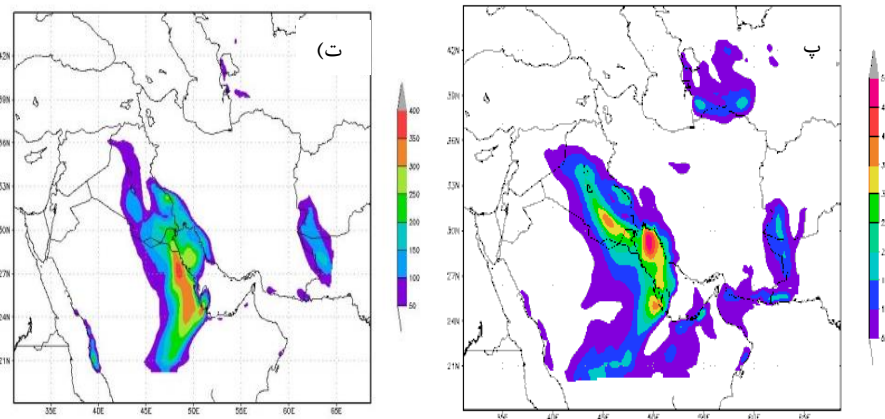


شکل ۱۶- تاوایی نسبی تراز ۷۰۰ هکتوپاسکالی در روزهای ۱ تا ۳ جولای ۲۰۱۲ ساعت صفر و ۱۲

بیشتری را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در روز ۲ جولای ۲۰۰۹ (شکل پ) گردوغبار تولید شده در کشور عراق در حال ورود به کشور است و حداکثر غلظت نشان داده شده در مدل ۵۰۰ است که از سمت جنوب‌غربی کشور در حال ورود است و در روزهای بعدی در محدوده وسیعی از کشورمان گسترش یافته است. در روز ۱ جون ۲۰۱۲ (شکل ت) گردوغبار تولید شده در کشور عراق و عربستان در حال ورود به کشور ایران است و در روزهای بعدی در منطقه وسیعتری پخش می‌شود.

در شکل ۱۷ غلظت گردوغبار کلی خروجی مدل در ساعت 12 UTC روزهای منتخب ۴ مورد نشان داده شده است. در روز ۷ آگوست ۲۰۰۵ (شکل الف) ذرات گردوغبار گسیل شده از شرق کشور سوریه وارد عراق شده و غرب و جنوب‌غرب ایران را تحت تأثیر قرار می‌دهد. حداکثر غلظت برآورد شده توسط مدل ۶۰۰ است که بخش غربی و جنوب‌غربی ایران را تحت تأثیر قرار داده است. در روز ۱۸ سپتامبر ۲۰۰۸ (شکل ب) گردوغبار تولید شده در کشور عراق و سوریه از قسمتهای غربی یعنی استانهای ایلام و خوزستان وارد ایران شده و در روزهای بعدی شهرهای

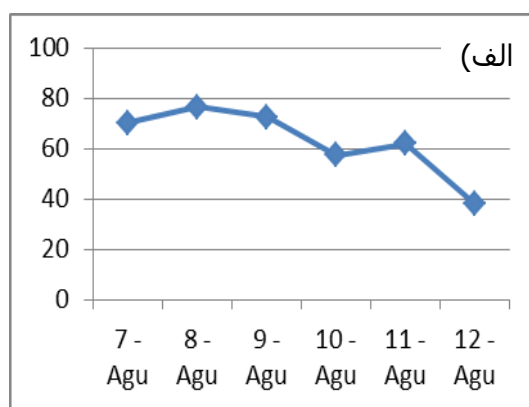
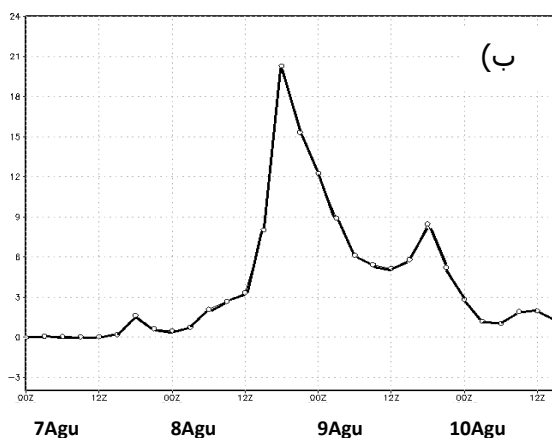




شکل ۱۷) نقشه غلظت pm_{10} گردوغبار خروجی WRF/CHEM ساعت ۱۲ در روزهای الف- ۷ آگوست ۲۰۰۵ ب- ۱۸ سپتامبر ۲۰۰۸ پ- ۲ جولای ۲۰۰۹ ت- ۱ جون ۲۰۱۲

خشک است و مدل در تشخیص غلظت به میزان قابل توجهی مقادیر را کمتر برآورد می‌کند. روز رخداد اوج غلظت گردوغبار را مدل ۹ آگوست برآورد کرده است. داده‌های سازمان محیط زیست حداکثر غلظت را در روز ۸ آگوست برآورد کرده که همخوانی خوبی با داده‌های دید افقی سازمان هواشناسی کشور دارد.

در شکل ۱۸ غلظت گردوغبار کل در روزهای ۷ تا ۱۰ آگوست در شهر تبریز برگرفته از میانگیری داده‌های ساعتی سازمان محیط زیست و خروجی مدل WRF-Chem رسم شده است. حداکثر غلظت داده‌های سازمان محیط زیست ۷۷ میکروگرم بر کیلوگرم هوای خشک است، در حالی که این عدد برای خروجی مدل ۲۱ میکروگرم بر کیلوگرم هوای

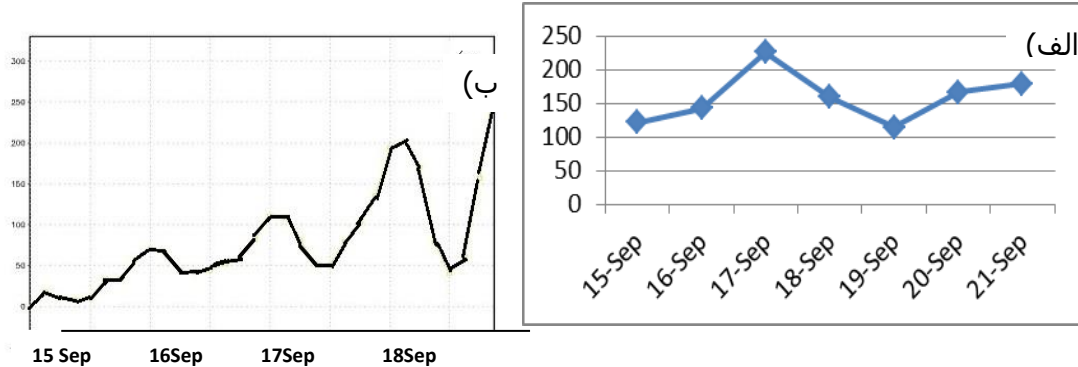


شکل ۱۸) غلظت گردوغبار کل در روزهای ۷ تا ۱۰ آگوست ۲۰۰۵ در شهر تبریز الف) میانگیری شده از داده‌های ساعتی سازمان محیط زیست کشور ب) اجرای مدل WRF-Chem

هوای خشک برآورد می‌کند که با مقدار حداکثر غلظت گردوغبار در داده‌های سازمان محیط زیست کشور همخوانی خوبی دارد. روند تغییرات غلظت مدل تا ۱۸ سپتامبر

در شکل ۱۹ مدل، حداکثر گردوغبار را در روز ۱۸ سپتامبر نشان می‌دهد در حالیکه داده‌های غلظت PM_{10} سازمان محیط زیست این روز ۱۷ سپتامبر است. همچنین این مدل حداکثر غلظت گردوغبار را ۲۵۰ میکروگرم بر کیلوگرم

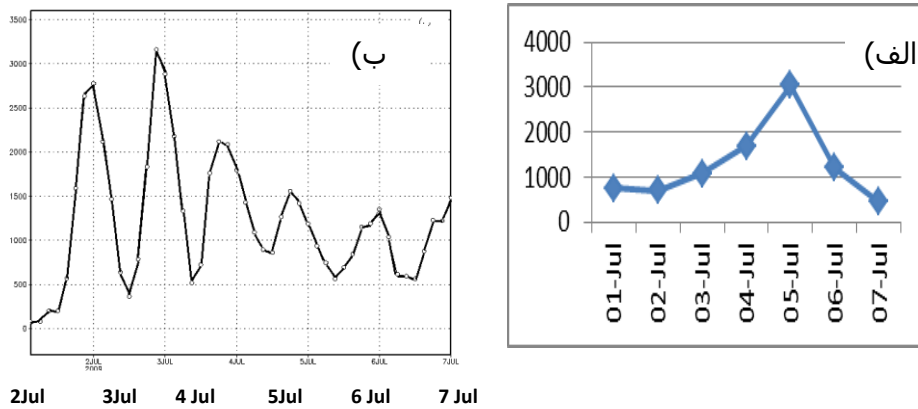
افزایشی است در حالیکه غلظت داده‌های محیط زیست تا تاریخ ۱۷ روند افزایشی و سپس کاهشی را نشان می‌دهند.



شکل ۱۹) الف) غلظت گردوغبار کل داده‌های سازمان محیط زیست کشور بر حسب میکروگرم بر کیلوگرم هوای خشک ب) نمودار حداقل دید افقی بر حسب متر داده‌های سازمان هواشناسی کشور در روزهای ۱۵ تا ۱۸ سپتامبر ۲۰۰۸ در شهراواز

داده‌های غلظت سازمان محیط زیست ۵ جولای روز حداکثر غلظت گردوغبار نشان داده است. روند صعودی گردوغبار در خروجی مدل و داده‌های سازمان محیط زیست همخوانی خوبی دارد.

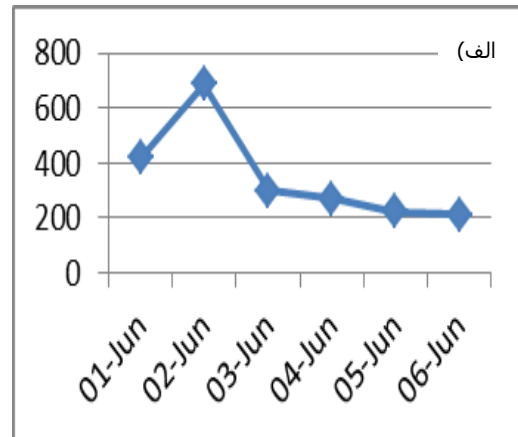
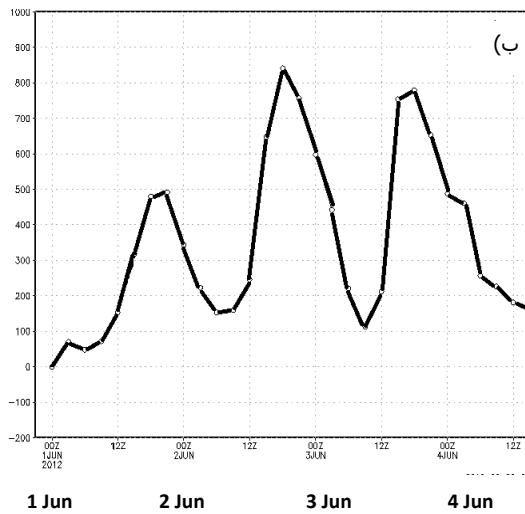
در شکل ۲۰ حداکثر غلظت گردوغبار خروجی مدل در شهراواز بالای ۳۰۰۰ میکروگرم بر کیلوگرم هوای خشک نشان می‌دهد که با داده‌های غلظت سازمان محیط زیست همخوانی خوبی دارد. خروجی مدل روز حداکثر گردوغبار را ۳ جولای نشان می‌دهد در حالیکه



شکل ۲۰) سری زمانی غلظت گردوغبار شهراواز بدست آمده از داده‌های محیط زیست و خروجی مدل در روزهای ۱ تا ۷ جولای ۲۰۰۹

از کاهش شدید دید افقی در روز ۲ جون است که با داده‌های غلظت سازمان محیط زیست کشور همخوانی بیشتری دارد. در کل پیش بینی مدل دارای افت و خیز بیشتری نسبت به داده‌های محیط زیست است و در داده‌های محیط زیست از روز سوم به بعد داده‌ها روند یکنواخت پیدا می‌کنند.

شکل ۲۱ خروجی غلظت PM10 مدل WRF-Chem و داده‌های میانگیری‌شده شهراواز را در روزهای ۱ تا ۵ جون ۲۰۱۲ نشان می‌دهد. مدل حداکثر غلظت را ۸۵۰ میکروگرم بر کیلوگرم هوای خشک در روز ۳ جون نشان می‌دهد در حالیکه داده‌های محیط زیست آن را حدود ۷۰۰ میکروگرم بر کیلوگرم هوای خشک و در روز ۲ جون نشان می‌دهد. داده‌های دید افقی سازمان هواشناسی کشور حاکی



شکل ۲۱) غلظت گردوغبار کل برحسب میکروگرم بر کیلوگرم هوای خشک در روزهای ۱ تا ۵ جون ۲۰۱۲ در شهر اهواز (الف) میانگین گیری شده از داده‌های ساعتی سازمان محیط زیست کشور (ب) اجرای مدل WRF-Chem

نتیجه‌گیری:

عراق و همچنین شمال غربی ایران نفوذ کرده است که موجب وزش باد شدید در شرق عراق می‌شود. این سیستم در خوشه دوم، تقویت بیشتری بر روی اروپا دارد و گستردگی آن تا شمال ایران و بر روی دریای خزر است، بنابراین گرادیان فشاری شدیدی بر روی کشورهای عراق و سوریه برقرار شده که منجر به وزش بادهای شدید در بیابان‌های مستعد گسیل گردوغبار واقع در شرق سوریه و غرب عراق در خوشه دوم می‌شود. در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکالی، یک ناوه نسبتاً قوی بر روی اروپا مشاهده می‌شود به گونه‌ای که در خوشه اول، کشور عراق در جلوی محور تراف است اما در خوشه دوم، شرق سوریه و کشور عراق در جلوی محور آن قرار گرفته و تحت تاثیر حرکات صعودی است. همچنین در هر دو خوشه، زبانه‌های یک مرکز پراارتفاع بسیار قوی از سمت جنوب غربی وارد ایران شده و تمام مناطق کشور را پوشش می‌دهد که مانع انتقال گردوغبار تا ترازهای بالایی جو شده و سبب معلق ماندن گردوغبار در ترازهای میانی جو می‌گردد.

مولفه قائم تاوایی نسبی در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکالی در ۴ توفان گردوغبار، بر روی کشور عراق و سوریه مثبت است که نشان‌دهنده حرکات صعودی است و بر روی ایران این مقادیر منفی است که بیانگر حرکات نزولی و نشست

در این مطالعه، ابتدا کد ۰۶ مربوط به گردوغبار در ۵ شهر غرب و جنوب‌غربی، در بازه زمانی ۵ ساله از داده‌های سازمان هواشناسی استخراج شد که ۸۰ روز مشترک همراه با گردوغبار به دست آمد. سپس با کمک روش PCA این روزها خوشه‌بندی شد که ۲ خوشه کلی به دست آمد. الگوهای همدیدی هر ۲ خوشه الگوی تابستانی است زیرا عمده روزهای همراه با گردوغبار در فصل تابستان رخ داده‌اند. سپس به‌عنوان نمونه ۴ پدیده توفان گردوغبار در فصل تابستان کشور ایران مورد بررسی قرار گرفت که بسیاری از مناطق کشور را تحت تاثیر قرار داده‌اند. ۲ مورد از این ۴ توفان در خوشه اول و ۲ مورد دیگر در خوشه دوم قرار گرفتند.

تحلیل همدیدی نشان می‌دهد که الگوهای غالب در زمان وقوع این توفانها عبارتند از: در نقشه فشار سطح دریا یک سامانه کم‌فشار بر روی دریای عمان قرار گرفته که زبانه‌های آن تا شمال غرب ایران کشیده شده است تفاوت بین دو خوشه آن است که در خوشه دوم، این سامانه دارای گستردگی بیشتری بر روی مرکز و جنوب ایران است. ازطرف دیگر یک مرکز پرفشار بر روی اروپا واقع شده که تا شرق مدیترانه را دربرگرفته است و زبانه‌های آن تا شمال

- main gaseous pollutants. *Atmospheric Environment*, 53: 212-224
4. Balkanski, Y. J.; Jacob, D. J.; Gardner, G. M.; Graustain, W. C. and Turekian, K. K. 1993. Transport and residence times of tropospheric aerosols inferred from a global three-dimensional simulation of 210Pb, *J. Geophys. Res.* 98(D11), 20573-20586.
 5. Cavazos Guerra, C. D. C.; 2011, Modelling the atmospheric controls and climate impact of mineral dust in The Sahara Desert. PhD Thesis. University College London.
 6. Chin, M.; Ginoux, P.; Lucchesi, R.; Huebert, B.; Weber, R.; Anderson, T. and Thornton, D. 2003, A global aerosol model forecast for the ACE-Asia field experiment. *J. Geophys. Res.: Atmospheres*, 108(D23).
 7. Colarco, P.; da Silva, A.; Chin, M. and Diehl, T. 2009, Online simulations of global aerosol distributions in the NASA GEOS-4 model and comparisons to satellite and ground-based aerosol optical depth. *J. Geophys. Res.*, 115, D14207, doi:10.1029/2009JD012820.
 8. Fast, J. D.; Gustafson, W. I.; Easter, R. C.; Zaveri, R. A.; Barnard, J. C.; Chapman, E. G. and Peckham, S. E. 2006. Evolution of ozone, particulates, and aerosol direct radiative forcing in the vicinity of Houston using a fully coupled meteorology-chemistry-aerosol model. *J. Geophys. Res.: Atmospheres*, 111(D21).
 9. Ginoux, P.; Chin, M.; Tegen, I.; Prospero, J. M.; Holben, B.; Dubovik, O. and Lin, S. J. 2001. Sources and distributions of dust aerosols simulated with the GOCART model. *J. Geophys. Res.: Atmospheres*, 106(D17), 20255-20273.
 10. Ginoux, P.; Prospero, J. M.; Torres, O. and Chin, M. 2004, Long-term simulation of global dust distribution with the GOCART model correlation with North Atlantic Oscillation. *Environmental Modelling & Software*, 19(2), 113-128.
 11. Ginoux, P.; Prospero, J. M.; Gill, T. E.; Hsu, N. C. and Zhao, M. 2012. Global-scale attribution of anthropogenic and natural dust sources and their emission rates based on MODIS Deep Blue aerosol products. *Reviews of Geophysics*, 50(3).
 12. Grell, G. A.; Peckham, S. E.; Schmitz, R.; Mc Keen, S. A.; Frost, G.; Skamarock, W. C. and Eder, B. 2005. Fully coupled "online" chemistry within the WRF model. *Atmospheric Environment*, 39(37), 6957-6975.
 13. Nickovic, S.; Kallos, G.; Papadopoulos, A. and Kakaliagou, O. 2001. A model for

گردوغبار در این مناطق است. بررسی تصاویر ماهواره و خروجی مدل نشان می‌دهد که چشمه گسیل گردوغبار مناطق خشک و مستعد گسیل در کشور عراق و شرق سوریه است. همچنین در تصویر ماهواره مشاهده می‌شود که مناطق غرب و جنوب‌غربی ایران تحت پوشش گردوغبار قرار دارد. بیشینه مقادیر عمق نوری بدست آمده از داده‌های ماهواره در مناطق شرق سوریه، عراق، غرب و جنوب‌غرب ایران مشاهده می‌شود، که نمایانگر مقادیر بیشینه ذرات معلق در جو در این مناطق است.

مقایسه خروجی مدل WRF-Chem با تصاویر ماهواره نشان می‌دهد که مدل چشمه گسیل، نحوه انتشار و گستردگی مناطق تحت پوشش گردوغبار را به خوبی شبیه‌سازی کرده است. از طرف دیگر به منظور راستی‌آزمایی کمی خروجی مدل، سری زمانی غلظت گردوغبار ایستگاه‌های مختلف بدست آمده از داده‌های میانگین روزانه گردوغبار سازمان محیط زیست با خروجی مدل مقایسه می‌شود که نشان می‌دهد، مدل روند تغییرات غلظت را پیش‌بینی می‌کند، اما میزان حداکثر غلظت آن در هر ۴ توفان، کمتر از مقدار غلظت داده‌های دیدبانی است. به طور کلی می‌توان گفت که در این رخدادها توفان گردوغبار مقادیر غلظت گردوغبار بویژه بیشینه‌ها، توسط مدل کمتر محاسبه شده است.

سپاسگزاری:

از همکاری‌های بی دریغ خانم سارا کرمی و تمامی عزیزانی که در تدوین و اجرای این تحقیق مرا راهنمایی نموده‌اند سپاسگزارم.

منابع:

1. Zolfaghari, Hassan; Abedzadeh, Heydar. 1384. Synoptic analysis dust storms systems in West of Iran. *GEOGRAPHY & DEVELOPMENT*, 188-6: 17.
2. Lashkari, Hassan; Keikhosravi, Qasim. 0.1387. Statistic and synoptic analysis of dust storms in Khorasan Razavi province in period 1993-2005. *Journal of Physical Geography Researches*, 33-17: 65
3. Ferreira, J.; Rodriguez, A.; Monteiro, A.; Miranda, A.; Dios, M.; Souto, J.A.; Yarwood, G.; Nopmongcol, U. and Borrego, C. 2012. Air quality simulations for North America - MM5-CAMx modelling performance for

- module in a regional climate model, *Atmos. Chem. Phys.*, 6, 4687-4704.
20. Choobari, O.A.; Zawar-Reza, P. and Sturman, A. 2012. Feedback between windblown dust and planetary boundary-layer characteristics: sensitivity to boundary and surface layer parameterizations. *Atmospheric Environment*, 61, pp.294-304.
 21. Choobari, O.A. ; Zawar-Reza, P. and Sturman, A., 2014. The global distribution of mineral dust and its impacts on the climate system: A review. *Atmospheric Research*, 138, pp.152-165.
 22. Choobari, O.A.; Zawar-Reza, P. and Sturman, A., 2013. Simulation of the spatial distribution of mineral dust and its direct radiative forcing over Australia. *Tellus B*, 65.
 23. Alizadeh Choobari, O.; Zawar-Reza, P. and Sturman, A. 2012. Atmospheric forcing of the three-dimensional distribution of dust particles over Australia: A case study. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* (1984–2012), 117(D11).
 24. Shao, Y. 2001. A model for mineral dust emission. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* (1984–2012), 106(D17), pp.20239-20254.
 - prediction of desert dust cycle in the atmosphere. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 106(D16), 18113-18129.
 14. Rezazadeh, M.; Irannejad, P. and Shao, Y., 2013, *Climatology of the Middle East dust events*. *Aeolian Research*, 10, 103-109.
 15. Shao, Y.; Yang, Y.; Wang, J.; Song, Z.; Leslie, L. M.; Dong, C. and Chun, Y. 2003. Northeast Asian dust storms: Real-time numerical prediction and validation. *J. Geophys. Res.: Atmospheres* ,108(D22).
 16. Tegen, I. 2003. Modeling the mineral dust aerosol cycle in the climate system. *Quaternary Science Reviews*, 22(18), 1821-1834
 17. Wesely, M. L. 1989. Parameterization of surface resistances to gaseous dry deposition in regional-scale numerical models. *Atmospheric Environment* , 23(6), 1293-1304.
 18. Woodward, S. 2001. Modeling the atmospheric life cycle and radiative impact of mineral dust in the Hadley Centre climate model, *J. Geophys. Res.*, 106, D16.
 19. Zakey, S.; Solmon, F. and Giorgi, F. 2006. Implementation and testing of a desert dust