

بررسی همدیدی توفان‌های گردو خاک مؤثر بر خلیج فارس مطالعه موردی: توفان گردو خاک آوریل ۲۰۱۳

احد افتخار اردبیلی^۱، مریم رضازاده^{۲*}، و حسین ملکوتی^۳

^۱ دانشجوی دکتری فیزیک دریا، دانشگاه هرمزگان

^۲ استادیار، گروه علوم غیرزیستی جوی و اقیانوسی، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه هرمزگان

^۳ دانشیار، گروه علوم غیرزیستی جوی و اقیانوسی، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه هرمزگان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۸/۱۵ ، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۲/۱۹

چکیده

در این مطالعه شرایط هواشناسی مؤثر، قبل و بعد از توفان گردو خاک در بیابان‌های اطراف خلیج فارس و نشر و انتقال آن به سمت خلیج فارس با روش‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی با استفاده از مدل میان مقیاس WRF-CHEM و طرح‌واره GOCART بررسی شد. به طور خاص، توفان گردو خاک ماه آوریل سال ۲۰۱۳ در منطقه خلیج فارس مورد مطالعه قرار گرفت. منشأ اصلی این توفان گردو خاک که بر خلیج فارس تأثیر داشته است، عمدتاً کشورهای عراق و عربستان بوده است. منشأ ایجاد این توفان تشکیل کم فشاری روی کشور اردن و حرکت آن از شمال غرب عراق به سمت جنوب شرقی آن و نزدیک شدن آن به مرکز پرفشاری در جنوب غرب ایران است که سبب افزایش سرعت باد سطحی در ایستگاه بصره عراق تا ۲۵ متر بر ثانیه و تشکیل توده گردو خاک و حرکت بالاسوی آن بوده است. در روزهای بعد این توده گردو خاک به طرف عربستان و خلیج فارس حرکت کرده و بیشترین تأثیر این توده بر قسمت‌های غرب و مرکز خلیج فارس بوده است. بر اساس خروجی مدل در مدت ده روز از زمان فعالیت این توفان، مقدار کل گردو خاک منتشر شده در این توفان Mt ۳۷/۵۸ و مقدار کل نشست آن روی خلیج فارس Mt ۲/۲۹ برآورد شده است. براساس برآوردهای بدست آمده از مدل، ۶۲ درصد گردو خاک منتشر شده در منطقه مورد مطالعه نشست نموده و حدود ۱۰ درصد از مقدار کل نشست گردو خاک در خلیج فارس اتفاق افتاده است. در این توفان، میانگین عمق نوری ذرات گردو خاک ۶۳۷/۰ و اختلاف کمترین تا بیشترین دمای سطح آب در طول دوره ۰/۷۴ درجه بوده است.

کلمات کلیدی: خلیج فارس، توفان گردو خاک، بودجه گرمایی، عمق نوری، دمای سطح آب

توفان‌های گردوفاک از ویژگی‌های دائمی و مخاطره آمیز وضع هوای منطقه غرب آسیا و خاورمیانه هستند که در دهه گذشته به‌طور چشمگیری افزایش یافته‌اند. بر اساس توافق سازمان هواشناسی جهانی، توفان گردوفاک یکی از انواع توفان‌هایی است که در اثر بادهای شدید و آشفته با سرعتی بالای ۱۰ متر بر ثانیه در مناطق خشک و بیابانی مستعد ایجاد می‌شود (Miller et al. 2008) که در آن مقادیر زیادی گردوفاک از سطح بالا برده می‌شود و میدان دید به کمتر از ۱ Km کاهش می‌یابد. در توفان‌های گردوفاک شدید، غلظت گردوفاک تا $600 \mu\text{g m}^{-3}$ می‌رسد (Song et al. 2007). گردوفاک می‌تواند تا هزاران کیلومتر در جَو در مسیر بادهای جابه‌جا شود و در نهایت به‌وسیله فرایندهای خشک و یا تر نشست نماید. در بعضی موارد، مقادیر این نشست قابل ملاحظه است و باعث ایجاد اثرات فیزیکی در محیط می‌شود (O'Hara et al. 2006). بر اساس تحقیقات انجام شده توسط پرسپرو (Prospero 2002)، منطقه جنوب غرب آسیا و خلیج فارس روی کمربند گردوفاک واقع است. توفان‌های اصلی گردوفاک در این منطقه عمدتاً در بهار و تابستان رخ می‌دهند و ۲۰٪ مقدار انتشار کلی جهانی گردوفاک را شامل می‌شوند. انتشار سالیانه گردوفاک در این منطقه در حدود ۴۰۰ Mt می‌باشد. به عنوان مثال مقدار انتشار گردوفاک 415 Tg yr^{-1} برآورد شده است (Zender et al. 2003) و در مطالعه دیگری 496 Tg yr^{-1} برآورد شده است (Ginoux et al. 2004). بیابان‌های بین دجله و فرات (بین‌النهرین) در عراق، قسمت‌های خشک شده تالاب هورالعظیم در ایران و عراق، بیابان ربع الخالی و النفودوالدهانا در عربستان چشمه‌های اصلی توفان‌های گردوفاکی هستند که بر خلیج فارس مؤثرند. امروزه اثر گردوفاک بر تغییر میزان تابش گرمایی به خوبی شناخته شده است، اما تأثیر آن بر بودجه گرمایی و دمای سطح دریا کمتر مطالعه شده است. بر اساس مطالعات گذشته، کاهش میزان تابش موج کوتاه باعث ایجاد ناهنجاری‌های دمای سطح آب دریا می‌شود.

تأثیر مستقیم گردوفاک این است که باعث کاهش میزان تابش خورشید به سطح زمین از طریق جذب و پراکندگی می‌شود (Li et al. 2004).

گردوفاک‌های بیابان‌ها اصلی‌ترین نوع ذرات معلق بر روی دریا هستند و قویاً بر شرایط هواشناسی دریای مدیترانه مؤثرند (Barnaba and Gobbi 2004). گردوفاک بیابان‌ها در اثر جهش ناگهانی و تعلیق همراه با فرایندهای فیزیکی کمک‌کننده توسط باد از سطح بیابان‌ها کنده می‌شود (Kok et al. 2012; Shao 2008). نشر گردوفاک یک پدیده پیوسته و همگن و منظم نیست و اغلب به صورت اتفاقی و در زمان‌هایی که شدت باد در سطح زیاد است، رخ می‌دهد و می‌تواند سبب ایجاد توفان گردوفاک و سپس استقرار آن بر روی دریا شود (Moulin et al. 1997). ذرات معلق گردوفاک، بخصوص ذرات ریز، می‌توانند تا ارتفاع زیاد بین ۸/۱ تا ۹ کیلومتر بالا روند، سپس تا هزاران کیلومتر جابجا می‌شوند (Mona et al. 2006; Kalivitis 2007). این گردوفاک‌ها به علت تأثیرات نوری نظیر جذب و پراکندگی نور خورشید و تابش فروسرخ می‌توانند تأثیر مهمی بر شرایط هواشناسی بگذارند (Slingo et al. 2006). این تأثیرات سبب تغییر بودجه تابشی می‌شوند (Sokolik et al. 2001). اکنون یافته‌های علمی ثابت نموده است که مقادیر زیاد گردوفاک معدنی که از روی خشکی‌ها بلند می‌شوند، بر روی اقیانوس‌ها حمل شده و یا نشست می‌کنند. تصاویر ماهواره‌ای به‌طور شفاف پوشش بزرگ گردوفاک بر روی دریاها را نشان می‌دهند. مطالعات بر روی ذرات معلق نشان داده‌اند که ضخامت نوری ذرات معلق به گردوفاکی که از منابع دور منتقل شده‌اند، بیشتر مرتبط است تا اینکه به ذرات معلق همان منطقه مرتبط باشد (Husar et al. 1997). بنابراین برای مطالعه تأثیر فیزیکی گردوفاک بر خلیج فارس، لازم است توفان‌هایی که در مناطق خشکی اطراف آن ایجاد می‌شوند را مطالعه کرد. از جمله این تأثیرها، تغییر در میزان بودجه گرمایی و میزان تابش در اثر سپیدایی گردوفاک است که می‌تواند روی دریا باعث تغییر در دمای سطح آب شود. محققان

با بررسی و مقایسه سال به سال اطلاعات ماهواره‌ای و همدیدی تغییرات دمای سطح آب تابستان‌ها در منطقه جنب‌حاره‌ای اقیانوس اطلس شمالی در بازه زمانی ۱۹۸۴ تا ۲۰۰۰ دریافتند که ۳۵٪ از موارد ناهنجاری‌های ایجاد شده، در اثر تغییرات در تابش ناشی از توفان گردوخاک بوده است. به طوری که مشخص شد از ابتدای سال ۱۹۸۰ تا ابتدای سال ۲۰۰۰، روند افزایش دمای سطح آب احتمالاً مربوط به روند کاهشی عمق نوری گردوخاک روی منطقه مورد مطالعه بوده است (Foltz and McPhaden 2008). همچنین با استفاده از مدل گردش اقیانوسی نشان دادند که توفان گردوخاک به طور متوسط باعث اثر سرمایشی در دمای سطح آب به میزان 0/5 درجه سانتی گراد و در لایه آمیخته تا ۳ درجه سانتی گراد شده است (Evan et al. 2009).

در کشور عراق، ۲/۵ میلیون هکتار تالاب وجود داشت که تا سال ۲۰۰۰، مقدار ۱/۵ تا ۲ میلیون هکتار آن خشک شده و یا کاربری تالابی خود را از دست داده است. از جمله این تالاب‌های خشک شده، هورالهیوزه، هورالعظیم و الحمار و تالاب‌ها و دریاچه‌های اطراف کربلا و همچنین تالاب‌های بین نوار مرزی عراق و سوریه و شمال غربی عراق و شمال شرق سوریه را می‌توان نام برد. کانون‌های اصلی گردوخاک، در همین تالاب‌های خشک شده کشور عراق است که به عنوان کانون‌های بحرانی و اصلی گردوخاک در منطقه محسوب می‌شوند. سازمان ملل متحد در همان سال، ۲ موضوع را به عنوان بزرگ‌ترین فاجعه زیست‌محیطی جهان معرفی کرد که یکی از آن‌ها، خشکی تالاب‌های بین‌النهرین بود. هورالعظیم در غرب استان خوزستان در انتهای رود کرخه در منطقه مرزی دشت آزادگان بین دو کشور ایران و عراق واقع شده است و دارای طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۵۸ دقیقه تا ۴۷ درجه ۱۶ دقیقه و ۳۰ ثانیه طول شرقی و عرض جغرافیایی ۳۱ درجه ۵۳ دقیقه تا ۴۱ درجه عرض شمالی است. این تالاب مشترکاً در شهرستان‌های دشت آزادگان و هویزه استان خوزستان واقع گردیده است. هورالعظیم در جنوب غرب شهرستان هویزه واقع بوده و شهر رفیع (کاوه) مرکز

بخش نisan در ۳ کیلومتری آن قرار دارد. ریوندی و همکاران (۱۳۸۹) تعداد روزهای گردوغبار رادراستان خوزستان از سال ۸۱ تا ۸۷ بررسی کردند و دریافتند که در سال ۸۱ تعداد ۵۰ مورد توفان گردوخاک رخ داده است، در حالی که در سال ۸۷ به ۵۵ مورد رسیده است. در سال ۸۴ حدود ۶۰ توفان گرد و خاک رخ داده است. مبارک حسن و همکاران (۱۳۹۳) توفان گردوخاک ماه مارس ۲۰۱۰ در منطقه عراق و غرب ایران را با مدل پیش بینی WRF/ Chem بررسی کردند و نتیجه آن را با داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی زمینی مقایسه کردند.

توفان‌های گردوخاک در این منطقه در دو دسته اصلی قرار می‌گیرند: توفان شمال و توفان‌های جبهه‌ای. توفان شمال به واچرخند شمال آفریقا و شرق اروپا و موسمی روی عراق و جنوب ایران، پاکستان و هند مربوط است. توفان‌های جبهه‌ای، معمولاً گردوخاک را از بیابان‌های دجله و فرات و عربستان بلند کرده و به غرب و جنوب ایران و خلیج فارس جابه‌جا می‌کنند. تصاویر ماهواره مودیس بین سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۱ تعداد ۶۰ توفان بزرگ گردوخاک را در این منطقه نشان می‌دهند. آب و هوای منطقه تحت تأثیر چهار سامانه است: واچرخند سیریری در زمستان، واچرخند قطبی در تابستان بر روی شرق اروپا و دریای مدیترانه، چرخند موسمی در تابستان بر روی شبه جزیره هندوستان، جنوب شرقی ایران، نزول هوا که از شمال آفریقا و جنوب شرق دریای مدیترانه در بهار و زمستان می‌آید (Hamidi 2012). بررسی‌هایی که توسط عطایی (۱۳۸۹) برای دوره ۲۰۰۱-۲۰۰۵ در این منطقه انجام شده است، مشخص کرد که در فصل سرد سال با شکل‌گیری هسته کم ارتفاع و امواج غربی بر روی اروپا و نفوذ آن به عرض‌های پایین، ناوه آن‌ها روی بیابان‌های خاورمیانه قرار می‌گیرد. قسمت جلوی ناوه که به سمت شرق گرایش دارد، به صورت پشته درآمده که با توجه به شرایط خشکی و گرمایی بیابان‌های خاورمیانه، با وجود وزش باد، گردوخاکی ایجاد می‌کند که به سمت غرب و جنوب غرب ایران و منطقه خلیج فارس نفوذ

مؤلفه‌های فیزیکی مانند تابش، لایه مرزی، همرفت، پخش پیچکی زیرشبکه‌ای و خردفیزیک است (Skamarock et al. 2008). داده‌های مورد استفاده در این تحقیق برای اجرای مدل، از نوع FNL است که دارای تفکیک 1 درجه در راستای طول و عرض جغرافیایی بوده و برای هر 6 ساعت در دسترس است. این داده‌ها به عنوان شرایط اولیه و مرزی هواشناسی در اجرای مدل استفاده شده است. شرایط اولیه و مرزی غلظت گردوفاک در زمان شروع شبیه‌سازی (ساعت صفر UTC روز دوم آوریل 2013) در نظر گرفته شده است تا تأثیرات شکل‌گیری و انتقال گردوفاک بهتر رؤیت شوند. در طرح‌واره GOCART شار گسیل گردوفاک توسط سرعت باد سطحی و ویژگی‌های سطح از قبیل ترکیبات خاک، پوشش گیاهی و همچنین مقدار رطوبت خاک کنترل می‌شود (Giri et al. 2005). در این مطالعه، ذرات معلق گردوفاک در 5 دسته از اندازه‌های مختلف با متوسط شعاع به ترتیب 0/5، 1/2، 2/4، 4/5 و 8 میکرومتر تقسیم بندی شده‌اند. شار گسیل گردوفاک در هر دسته اندازه (F_p) ثابت است که با توجه به میزان کسر ذرات خاک، عوامل فرسایش، سرعت باد سطحی و سرعت آستانه فرسایش بادی محاسبه می‌شود. معادله (۱):

$$F_p = C S S_p U^2 (U_{10m} - U_t) \text{ if } U_{10m} > U_t \quad (1)$$

که C ضریب تناسب ($C=0.8\mu\text{GS}^2\text{m}^{-5}$) و S ضریب فرسایش‌پذیری خاک است که از مقاله گینو و همکاران (2001) با دقت $0/25^\circ \times 0/25^\circ$ درجه به دست آمده است و S_p ضریب مخصوص جرمی مربوط به اندازه ذره است. U_{10m} باد ۱۰ متری و U_t سرعت آستانه فرسایش ذرات خاک است. سرعت آستانه به عنوان تابعی از اندازه و چگالی ذرات و رطوبت خاک مشخص می‌شود. پس از آن که ذرات تحت شرایط مساعد هواشناسی (روزهای خشک همراه با وزش باد) از سطح جدا شوند، انتقال یافته و در نهایت تحت تأثیر جاذبه روی سطح نشست می‌کنند (Ginix et al. 2001).

داده‌های استفاده شده در اعتبارسنجی خروجی مدل برای مقایسه و اعتبارسنجی مقادیر هواشناسی مدل

می‌کند. اما در فصل گرم با هجوم کم‌فشارهای گرمایی از عرض‌های پایین به عرض‌های بالاتر و برخورد کم‌فشار و پرفشارهای مستقر در این عرض‌های پایین به عرض‌های بالاتر و برخورد کم‌فشار و پرفشارهای مستقر در این عرض‌ها، گردوفاک‌های منطقه شدت می‌یابند که دلیل آن اختلاف فشار حاصل شده بین این مناطق است. در روز اوج، محور بیشتر فرودها دارای عمق نسبتاً زیادی است. مختصات جغرافیایی محدوده استقرار محور فرودها در این روز، بین ۲۰ تا ۴۵ درجه طول شرقی و ۲۰ تا ۵۵ درجه عرض شمالی می‌باشد و در جهت شمال-شمال شرقی به جنوب-جنوب غربی کشیده شده‌اند. با توجه به آمار ایستگاه‌های همدیدی استان خوزستان، در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۳ ماه‌های دسامبر و ژانویه کمترین و ماه ژوئیه بیشترین روزهای گردوفاک را در این دوره داشته‌اند (سازمان هواشناسی).

مواد و روش‌ها

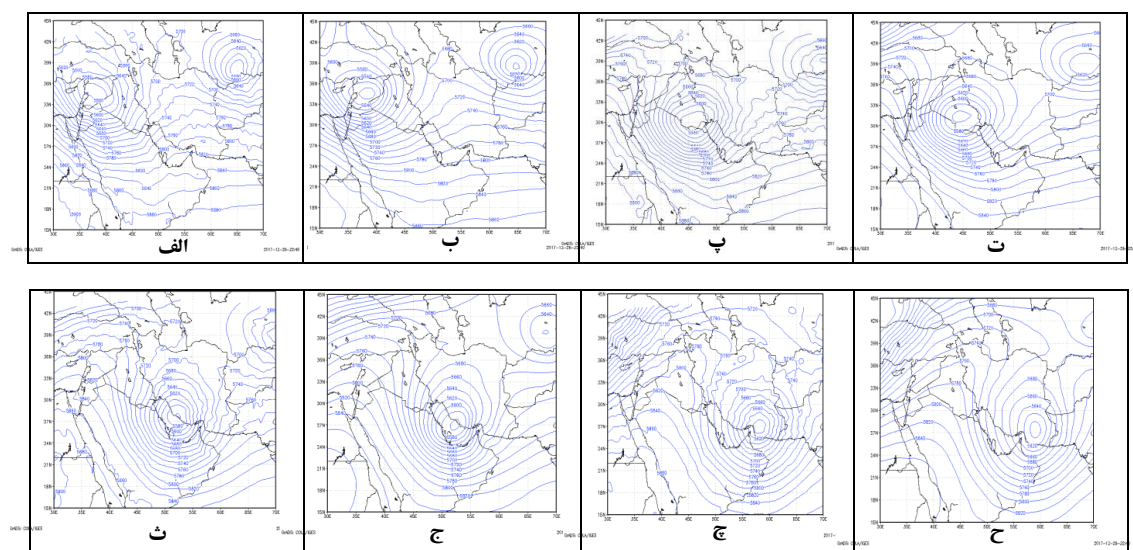
برای انتخاب و مقایسه شدت این توفان، با توفان‌های دیگر سال ۲۰۱۳ ابتدا با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های سازمان هواشناسی شرایط هواشناسی شهرهای غربی و جنوب غربی ایران مقایسه شد. این داده‌ها شامل گزارش پدیده، میدان دید، سرعت باد، میزان رطوبت و جهت باد بود. سپس شرایط هواشناسی شهرهای مرکزی و جنوبی کشور عراق با استفاده از داده‌های پایگاه Weather Underground مطالعه شد، آنگاه با استفاده از عکس‌های ماهواره‌ای سایت MODIS وقوع توفان گردوفاک در منطقه محرز شد. وضعیت جوی و میزان انتشار گردوفاک در منطقه با استفاده از نسخه شیمی مدل WRF بررسی شده است. WRF-Chem (نسخه شیمی مدل WRF) برای شبیه‌سازی آلودگی توسعه داده شده است. در این مدل، مدل‌های پخش (Stockwell et al. 1990)، مدل‌های برهم‌کنش هواویز-جو (Zaveri 2008)، et al., اعمال شده است. همچنین این مدل شامل مجموعه‌ای از برنامه‌ها و زیربرنامه‌ها برای پارامترسازی

محیط EXCEL و مقادیر SST با قالب NETCDF در نرم‌افزار GRADS استفاده شده است. ضخامت نوری ذرات معلق مقیاسی است که میزان پراکندگی نور در جو توسط ذرات معلق را بیان می‌کند. اگر ضخامت نوری ذرات معلق کمتر از ۰/۱ باشد بیانگر این است که آسمان کاملاً شفاف با حداکثر دید می‌باشد و اگر ضخامت نوری ذرات معلق حدود ۱ باشد، یعنی میزان ذرات معلق بسیار زیاد است به طوری که خورشید حتی در میانه روز به سختی دیده می‌شود. در روزهای توفان گردو خاکی که انتخاب شده است، مدل WRF-Chem با طرح‌واره GOCART اجرا شد و خروجی‌های مدل با نتایج حاصل از اندازه‌گیری ایستگاه‌های همدیدی و اندازه‌گیری‌های ماهواره‌ای مقایسه شده است.

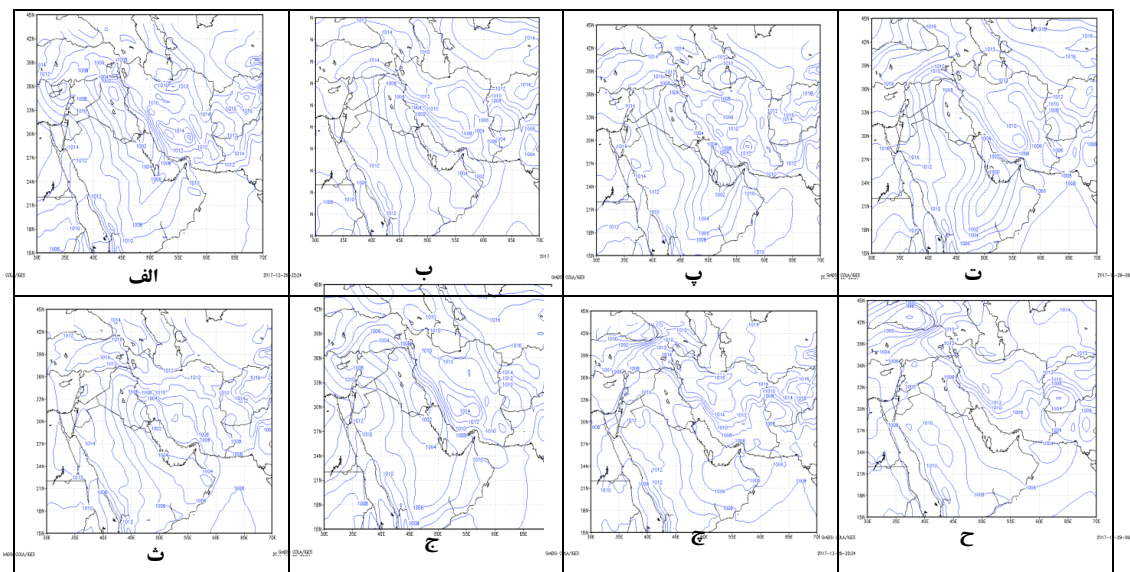
نتایج و بحث

بررسی همدیدی توفان گردو خاکی ماه آوریل سال ۲۰۱۳ شکل ۱ با استفاده از خروجی‌های مدل WRF-Chem و شبیه ساز ERA-Interim reanalysis، ارتفاع ژئوپتانسیلی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال را در ساعت UTC 00:00 روزهای ۵ تا ۸ آوریل ۲۰۱۳ نشان می‌دهد. در روز ۵ آوریل مرکز کم‌فشاری روی مرکز و جنوب کشور عراق

WRF، از خروجی مدل پیش‌بینی مرکز اروپا (ECMWF) ERA-Interim استفاده شده است (dee et al. 2011). این مدل اطلاعات را در بازه ۶ ساعته در اختیار کاربران می‌گذارد. ۳۷ تراز فشاری از سطح زمین تا فشار یک هکتوپاسکال با توان تفکیک $0.7^{\circ} \times 0.7^{\circ}$ در وبگاه http://apps.ecmwf.int/datasets/data/interim_full_daily در دسترس است. در این تحقیق، به توفان گردو خاکی در روزهای ۵ تا ۱۰ آوریل سال ۲۰۱۳ پرداخته شده است. روزهای توفان گردو خاکی بر اساس گزارش پدیده ۰۶ که از اطلاعات ایستگاه‌های همدیدی سازمان هواشناسی در جنوب کشور ایران شامل ایستگاه‌های اهواز و بوشهر و آبادان به دست آمده انتخاب شده است. کد ۰۶ به معنای این است که گردو خاکی معلق و گسترده ای به وسیله باد ایجاد شده اما منبع آن ایستگاه و مناطق اطراف آن نباشد. در بین این موارد روزهایی انتخاب شد که دید افقی کمتر از ۶۰۰ متر باشد و این شرایط در روزهای بعدی دوام داشته باشد. اطلاعات مربوط به ضخامت نوری لایه گردو خاکی و میزان تابش و دمای سطح آب خلیج فارس از وبگاه NOAA استخراج شده است. مقادیر تابش و ضخامت نوری ذرات گردو خاکی (DAOD) با قالب CSV در



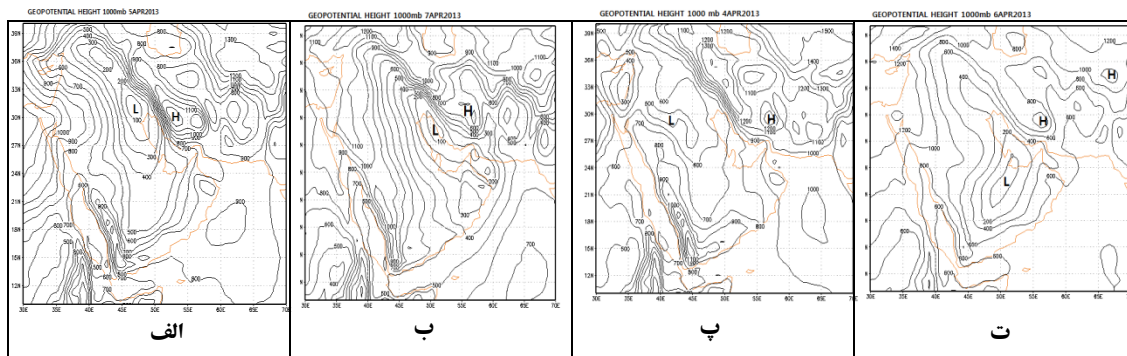
شکل ۱: ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ میلی بار از خروجی مدل WRF در روزهای (الف) ۵ آوریل و (پ) ۶ آوریل و (ت) ۷ آوریل و (ج) ۸ آوریل از خروجی مدل ECMWF در روزهای (ب) ۵ آوریل و (ت) ۶ آوریل و (ج) ۷ آوریل و (ح) ۸ آوریل



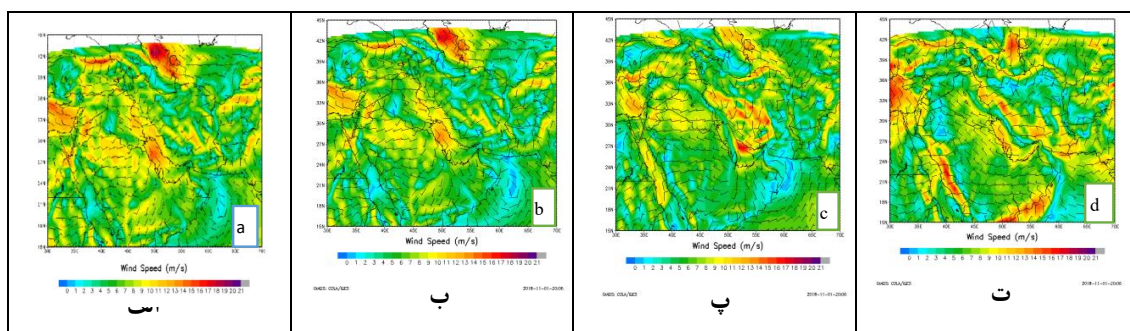
شکل ۲: فشار سطح دریا (SLP) خروجی مدل WRF در روزهای (الف) ۵ آوریل و (پ) ۶ آوریل و (ت) ۷ آوریل و (ج) ۸ آوریل از خروجی مدل ECMWF در روزهای (ب) ۵ آوریل و (ت) ۶ آوریل و (ج) ۷ آوریل و (ح) ۸ آوریل

مربوط به آوریل ۲۰۱۳، تمایل محور این ناوه شمال غربی – جنوب شرقی است و تأثیر آن بیشتر بر کشور عراق، عربستان و سوریه است و در مقایسه با دوره آماری مشابه، عمق بیشتری پیدا کرده است و زبانه‌های آن، جنوب عراق و شمال عربستان را تحت تأثیر قرار داده است. مقایسه نقشه میانگین ارتفاع ژئوپتانسیلی ۵۰۰ هکتوپاسکال مربوط به آوریل ۲۰۱۳ با نقشه میانگین ۳۰ ساله نشان می‌دهد که در روز ۵ آوریل، ناوه‌ای در تراز ۵۰۰ میلی بار روی شمال عراق، سوریه، اردن ایجاد شده است که در روزهای بعدی به داخل عراق، شمال عربستان و در نهایت خلیج فارس نفوذ می‌کند. این ناوه در روز ۶ آوریل، تبدیل به یک مرکز کم‌فشار می‌شود که مرکز آن جنوب عراق، شمال عربستان و شمال غربی خلیج فارس می‌باشد. این کاهش فشار در لایه‌های بالایی جو سبب افت شدید فشار در سطح زمین شده، و یک مرکز کم‌فشار ۱۰۰۲ میلی بار در شمال غربی خلیج فارس و هم‌زمان در روز ۴ آوریل، دو مرکز پرفشار در تراز سطح دریا یکی در شرق و دیگری در غرب مرکز کم‌فشار تشکیل شده، مرکز ۱۰۱۶ میلی بار بر روی اردن و مرکز ۱۰۱۴ میلی بار در شرق کم‌فشار و مرز غربی ایران ایجاد شده است که در روز بعد با حرکت به

ایجاد شده است که تا روز ۸ آوریل این مرکز کم‌فشار به سمت خلیج فارس حرکت می‌کند. در روز ۷ آوریل ناوه کم‌فشار تراز میانی تقویت شده و در روز ۸ آوریل به تنگه هرمز و دریای عمان رسیده است. نتیجه این کم‌فشار لایه‌های میانی، کاهش فشار در سطح می‌باشد. شکل ۲ فشار تراز سطح دریا را در ساعت 00:00 UTC روزهای ۵ تا ۸ آوریل ۲۰۱۳ نشان می‌دهد. همان طور که مشخص است، تطابق خوبی بین نتایج خروجی‌های مدل WRF و شبیه ساز ERA-Interim reanalysis به دست آمده است. با توجه به نقشه هم فشار سطح دریا در روز ۵ آوریل، یک مرکز کم‌فشار ۱۰۰۲ هکتوپاسکال در مرکز عراق و یک مرکز پرفشار ۱۰۱۴ هکتوپاسکال در جنوب غرب ایران ایجاد شده است و نزدیکی این دو مرکز باعث ایجاد گرادیان فشار زیاد در سطح و افزایش سرعت باد در جنوب عراق در این روز شده است که خود باعث ایجاد توفان گردوغاز می‌شود. نقشه ارتفاع ژئوپتانسیلی ۵۰۰ هکتوپاسکال این فصل در دوره آماری ۳۰ ساله (۱۹۸۰-۲۰۱۰)، وجود ناوه ضعیفی را روی دریای سیاه نشان می‌دهد که محور آن شمال شرقی-جنوب غربی است. در نقشه میانگین ارتفاع ژئوپتانسیلی ۵۰۰ هکتوپاسکال



شکل ۳: نقشه ارتفاع پتانسیلی ۱۰۰۰ میلیبار در روزهای ۴ آوریل (الف)، ۵ آوریل (ب)، ۶ آوریل (پ) و ۷ آوریل (ت)

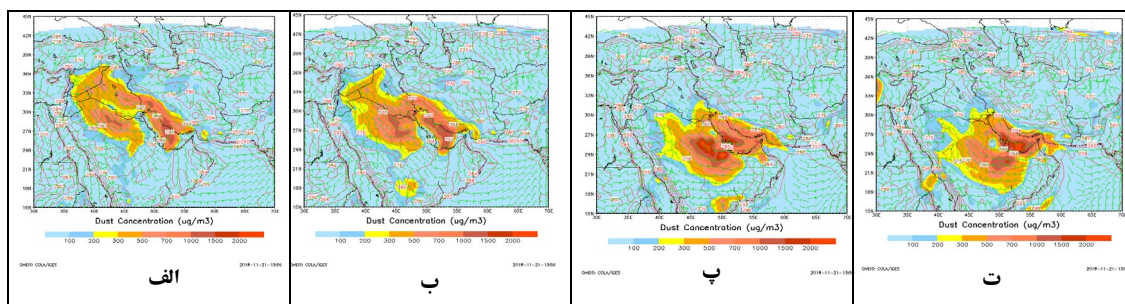


شکل ۴: سرعت و میدان باد روزهای (الف) ۴ آوریل و (ب) ۵ آوریل و (پ) ۶ آوریل و (ت) ۷ آوریل

منطقه می‌شود. در روزهای بعد این دو مرکز در شمال خلیج فارس به هم نزدیک میشوند. بر اساس گزارش ایستگاه‌های هواشناسی در روز ۴ آوریل، سرعت باد در ایستگاه فرودگاه بصره به 25 m/s رسیده است. در روز ۵ آوریل، میانگین دما در این ایستگاه 6°C و فشار هوا 10 هکتوپاسکال کاهش یافته و جهت باد که در ساعت های اولیه به طرف شرق بود در بعدازظهر به سمت غرب تغییر جهت می دهد. کاهش دما و فشار و تغییر جهت باد نشانگر تشکیل جبهه سرد در این منطقه است. ژئوپتانسیل متر در شکل ۴، میانگین روزانه سرعت و میدان باد نشان داده شده است. با توجه به شکل ۴(الف)، مشخص است که در روز ۴ آوریل در منطقه جنوب غرب ایران و جنوب شرق عراق افزایش نسبی سرعت باد وجود دارد. مقایسه این شکل با شکل ۳ در روزهای ۴ تا ۷ آوریل نشان می دهد که دلیل این باد، استقرار مرکز کم فشار با ارتفاع 100 ژئوپتانسیل متر و مجاورت این مرکز

سمت غرب ایران و نزدیک شدن به کم فشار مستقر روی عراق باعث افزایش شدید گرادیان فشار در منطقه شرق عراق و غرب ایران شده است و این سبب افزایش سرعت باد می شود.

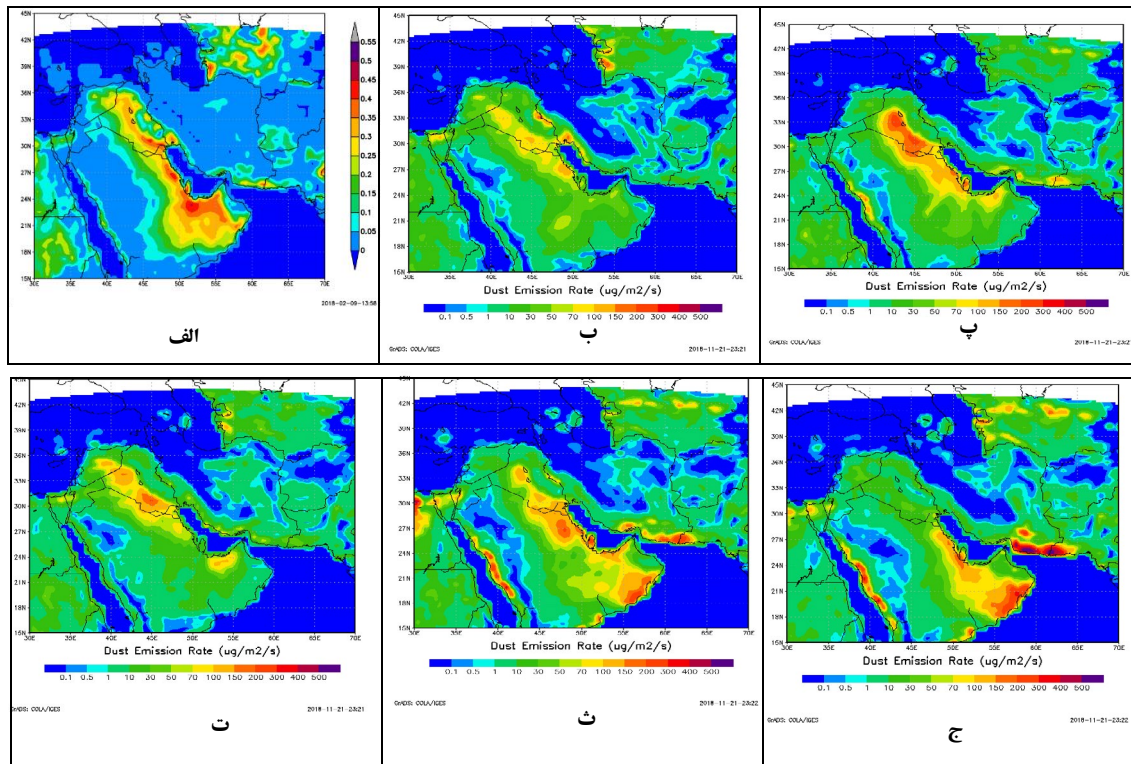
با توجه به نقشه ارتفاع ژئوپتانسیلی 1000 mb (شکل ۳ الف)، در روز ۴ آوریل، یک مرکز کم فشار 100 ژئوپتانسیل متر در شمال غرب خلیج فارس و هم زمان یک مرکز کم فشار ژئوپتانسیل 200 متر در شمال عراق و یک مرکز پرفشار 1100 ژئوپتانسیل متر در شرق این دو مرکز و روی غرب ایران شکل گرفته است. در نزدیکی این مراکز کم فشار و پرفشار در سطح، گرادیان شدید فشار و شیب تندی برای ارتفاع پتانسیلی 1000 میلی بار ایجاد نموده که علاوه بر افزایش سرعت باد، سبب ایجاد فرارفت قائم و خیزش گردوخاک می شود. در همین زمان ناوهای که در شرق اروپا ایجاد شده، با فراهم کردن شرایط تلاوایی مثبت باعث حرکت همرفت افقی و نفوذ هوای سرد به



شکل ۵: میدان باد ارتفاع ۱۰ متر، دمای ارتفاع ۲ متر و غلظت غبار در تراز ۹۰۰ هکتوپاسکال در روزهای ۶ آوریل ساعت ۹ و ۱۲ (ب) و ۷ آوریل ساعت ۹ و ۱۲ (ت)

می‌کند و باعث افزایش سرعت باد می‌شود. از آنجایی که بیابان‌های این منطقه یعنی دره بین رودخانه‌های دجله و فرات، مستعد فرسایش گردوغبار است، کانون توفان گردوغبار تشکیل می‌شود که در شکل ۶ (پ) برای روز ۵ آوریل این کانون در مرکز و شرق عراق کاملاً مشهود است. شکل ۴ میانگین اندازه سرعت باد و میدان باد را در روزهای توفانی نشان می‌دهد. برای اطمینان از صحت برآوردهای مدل از فرسایش و انتشار گردوغبار، میدان باد در خروجی‌های مدل WRF با میدان باد در خروجی‌های مدل ECMWF مقایسه شد، که تطابق خوبی را نشان داد. با توجه به این شکل، در روز ۵ آوریل، سرعت باد در مرکز و غرب عراق و اردن و در روز ۶ آوریل، در جنوب غربی ایران زیاد است که این موضوع قبل از این با گزارش ایستگاه‌های زمینی هواشناسی توضیح داده شد. سرعت باد در این دو روز در کانون‌های تشکیل گردوغبار بیشتر از ۱۵ متر بر ثانیه است هرچند این مقدار از گزارش ایستگاه‌های هواشناسی زمینی اندکی کمتر است اما این مقدار فراتر از سرعت آستانه فرسایش باد است. در شکل ۴(الف) که مربوط به میدان باد روز ۵ آوریل است، در سمت غرب عراق تغییر واضحی در جهت باد دیده می‌شود که همراهی این اتفاق با افت چند درجه ای دما نشانه نفوذ جبهه سرد است. بنابراین می‌توان گفت که ایجاد توفان و انتقال آن به سمت جنوب و جنوب شرق منطقه، ناشی از نفوذ این جبهه سرد از سمت غرب می‌باشد. همان‌طور که از خطوط هم‌دما در شکل ۵ مشخص است، نفوذ یک

با یک مرکز پرفشار ۱۱۰۰ ژئوپتانسیل متر در شرق آن است. در ساعت‌های بعدازظهر روز ۵ آوریل، سرعت باد در ایستگاه‌های هواشناسی در جنوب عراق به بیش از ۲۰ متر بر ثانیه رسیده است. سرعت باد در شهر اهواز در هنگام بعدازظهر به ۲۱ متر بر ثانیه رسیده است. با توجه به اینکه برای ذرات ریز خاک، سرعت آستانه فرسایش باد ۱۰ متر بر ثانیه است (Hamidi et al. 2012)، سرعت بالای باد باعث انتشار گردوغبار شده و با توجه به نقشه میدان باد در شکل ۴، باد گردوغبار ایجاد شده را به سمت جنوب شرق انتقال می‌دهد. شکل‌های ۴(ب) و ۴(پ) نشان می‌دهند که در منطقه تولید گردوغبار یعنی نیمه جنوبی عراق جهت باد که در روز ۵ آوریل به سمت غرب بوده در روز بعد کاملاً به سمت شرق چرخیده است. تغییر جهت و اندازه سرعت باد یکی از نشانه‌های پیشانی جبهه سرد است. همین امر سبب می‌شود تا در روزهای بعد، توده گردوغبار ایجاد شده در جهت شرق و جنوب شرقی حرکت نماید (شکل ۶). پدیده بااهمیت در دوره شبیه‌سازی توفان، حرکت مرکز کم‌فشار به سمت خلیج فارس است که با توجه به شکل ۵ ناشی از نفوذ جبهه سرد از سمت غرب عراق با دمای ۳ درجه سانتی‌گراد است. در شکل ۵(الف) مشخص است که این جبهه سرد ابتدا روی کشور اردن ایجاد شده و حرکت رو به جنوب دارد و با توجه به حرکت مرکز کم‌فشار تراز ۵۰۰ میلی‌بار در روزهای بعد به سمت جنوب شرق، جبهه سرد به سمت شرق گردش کرده و به مرکز عراق نفوذ



شکل ۶: (الف) نقشه میزان فرسایش پذیری خاک منطقه و میزان نشر غبار در روزهای (ب) ۴ آوریل و (پ) ۵ آوریل و (ت) ۶ آوریل و (ث) ۷ آوریل و (ج) ۸ آوریل

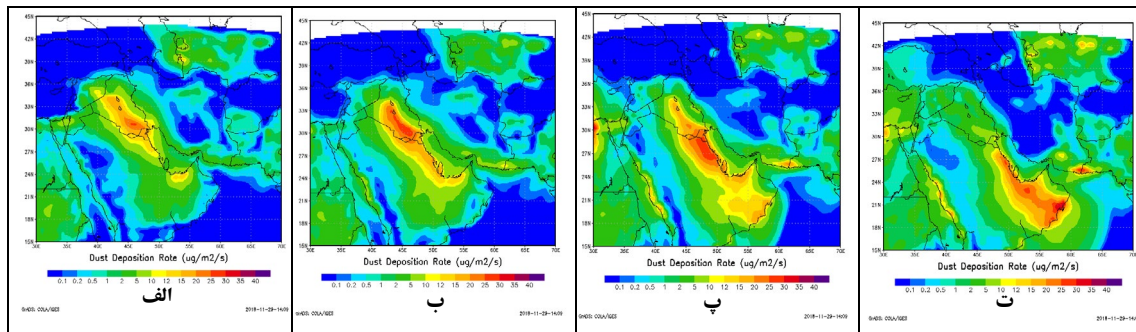
بررسی انتشار و نشست غبار

نفوذ هوای سرد به منطقه از سمت شمال غربی در روزهای مورد مطالعه باعث تشدید سرعت باد در پیشانی جبهه و تولید و انتشار گردوخاک معلق در هوا شده است. به طوری که در روزهای ۴ تا ۷ آوریل، حداکثر غلظت گردوخاک از ۱۰۰۰ میکروگرم بر مترمکعب به بیش از ۲۴۰۰ میکروگرم بر متر مکعب رسیده است. با توجه به شکل‌های ۵ که در آن خطوط همدمای ارتفاع ۲ متر همراه با میدان باد ارتفاع ۱۰ متر نشان داده شده است، مشخص است که سرعت باد و در نتیجه غلظت گردوخاک در پیش روی خط همدمای ۲۸۰ درجه کلون، شدیدتر است و این جبهه در روزهای مورد مطالعه در حال حرکت به سمت خلیج فارس و جنوب شرقی شبه جزیره است. تصاویر ماهواره مودیس (MODIS) وقوع و انتشار توفان را در روزهای ۴ تا ۸ آوریل از سمت شمال غربی

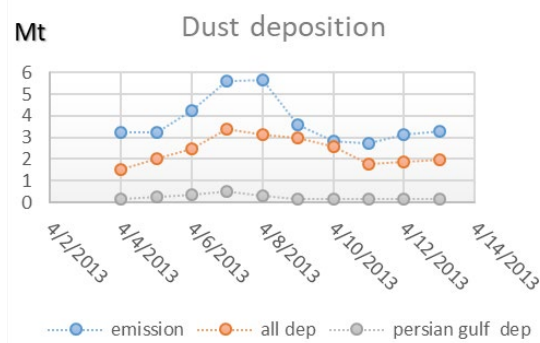
جبهه سرد از سمت غرب کشور عراق باعث ایجاد بادهایی با سرعت زیاد شده است. در روزهای ۵، ۶ و ۷ آوریل، گردوخاک ایجادشده در جلوی جبهه سرد به سمت جنوب شرقی حرکت می‌کند و از روی خلیج فارس عبور کرده و به طرف جنوب ایران می‌رود. کم‌فشار تراز ۱۰۰۰ میلی بار با حرکت به طرف جنوب از روی خلیج فارس عبور کرده و به سمت جنوب غربی عربستان حرکت می‌کند. قسمت جلوی ناوه که به سمت شرق گرایش دارد، به صورت پشته درآمده که با توجه به شرایط خشکی و دمایی بیابان‌های خاورمیانه، با وجود وزش باد، گردوخاکی ایجاد می‌کند که بر اساس داده‌های مدل اطلاعات هواشناسی، کانون تشکیل گردوخاک، جنوب عراق است که همراه مرکز کم‌فشار به سمت خلیج فارس و شمال شبه جزیره عربی نفوذ می‌کند. این مرکز کم‌فشار در روز ۷ آوریل بر روی خلیج فارس مستقر می‌شود.

و دومی در مرکز عراق در (46° شرقی و 31° شمالی) ایجاد شده است، این دو منطقه به دلیل خشکی خاک و ریز بودن ذرات سطح، معمولاً در توفان‌های گردوفاک منطقه فعال هستند. میزان غلظت گردوفاک موجود در هوا در روز ۶ و ۷ آوریل، به بیش از 2000 میکروگرم بر متر مکعب رسیده است و در این دو روز، گردوفاک به‌طور کامل خلیج‌فارس را پوشانده است که در روز ۷ آوریل به لحاظ شدت و وسعت به بیشترین مقدار می‌رسد. چشمه گردوفاک دیگری در شرق خلیج‌فارس در نزدیکی مرز ایران و پاکستان در موقعیت (59° شرقی و $27/5^{\circ}$ شمالی) نیز فعال شده است. در این ناحیه که به مساحت 1087 کیلومتر مربع است، دریاچه خشک شده هامون جازموریان واقع شده است که کانون اصلی تولید گردوفاک در شرق خلیج‌فارس می‌باشد و مقدار نشر گردوفاک در این منطقه در روز ۸ آوریل به بیش از $500 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{s}$ رسیده است. توزیع فضایی میانگین روزانه شبیه‌سازی نشست گردوفاک در شکل ۷ نشان داده شده است. در طول مدت مطالعه، هیچ بارشی وجود نداشته است، بنابراین نشست گردوفاک از نوع نشست خشک می‌باشد. سرعت نشست ذرات بزرگ‌تر بیشتر است، بنابراین ذرات درشت نزدیک چشمه‌های گردوفاک نشست می‌کنند. شکل ۷ نشان می‌دهد که ماکزیمم نشست گردوفاک، 40 میکروگرم بر متر مربع است که یک پنجم ماکزیمم انتشار گردوفاک است. در روزهای ۵، ۶ و ۷ آوریل نشست گردوفاک از شمال و شرق خلیج‌فارس شروع شده و در این روزها سواحل شرقی خلیج‌فارس نشست گردوفاک داشته‌اند و در روز ۶ و ۷ آوریل بر روی عمده سطح خلیج‌فارس نشست گردوفاک رخ داده است، اما شدیدترین میزان آن در روز ۷ آوریل می‌باشد. اکنون می‌توان گفت که ذرات گردوفاک از چشمه‌های تولید گردوفاک تا خلیج‌فارس مسافت‌هایی بین 500 تا 900 کیلومتر را طی کرده‌اند. نشست گردوفاک در منطقه‌ای بسیار وسیع‌تر از چشمه‌های تولید آن انجام می‌شود. مجموع گردوفاک منتشر شده و نشست کرده به‌وسیله جمع مقادیر انتشار و یا نشست بر روی منطقه مورد

و غرب خلیج‌فارس نشان می‌دهد. خروجی مدل WRF، کانون نشر گردوفاک را ابتدا در نیمه جنوبی و مرکز عراق و سپس مناطق شمالی و مرکز شبه جزیره عربی و حرکت این کانون را به سمت خلیج‌فارس و جنوب شبه جزیره عربستان نشان داد. میدان باد در روز ۵ آوریل نشان می‌دهد که چگونه توده گردوفاک در منطقه به سمت جنوب شرقی به حرکت درآمده است. در روز ۷ آوریل، مرکز این توده گردوفاک به‌طور کامل بر روی خلیج‌فارس مستقر شده است و احتمالاً بیشترین آثار فیزیکی گردوفاک بر روی دریا باید از روز ۷ آوریل شروع شود. انتشار گردوفاک توسط مدل با رابطه (۱) محاسبه می‌شود. خروجی‌های مدل در شکل ۶، تشکیل و انتشار گردوفاک را نشان می‌دهند. برای اطمینان از این که مدل توانسته است با استفاده از این رابطه، میزان انتشار گردوفاک را به درستی برآورد نماید، میدان باد 10 متر را که عامل تشکیل توفان گردوفاک است، از خروجی‌های مدل با خروجی‌های ECMWF مقایسه شد که همبستگی خوبی با ضریب 75% داشت. شکل ۶(الف) نقشه مناطق فرسایش پذیر را نشان می‌دهد که چشمه‌های اصلی گردوفاک در عراق و شبه جزیره عربی هستند. توپوگرافی منحصر به فرد و مداخله انسان بخصوص در رابطه با انحراف مسیر آب ورودی به رود دجله و خشک کردن تالاب‌های بین النهرین نیز به فراوانی و شدت گردوفاک و توفان‌های شن در این منطقه کمک می‌کند. رشته‌کوه‌های بلند در ترکیه و ایران همراه با فلات مرتفع در شبه جزیره عربی باعث ایجاد مسیری قیف مانند شده است که توده‌های بزرگ هوا را از مدیترانه تا خلیج‌فارس هدایت می‌کند. علاوه بر این، بسیاری از تالاب‌ها مانند هورالعظیم در سال‌های اخیر خشک شده‌اند. همان‌طور که در شکل ۶(پ) نشان داده شده است، انتشار گردوفاک در منطقه از روز ۵ آوریل شدت زیادی پیدا کرده و شدیدترین میزان آهنگ انتشار گردوفاک در روز ۶ آوریل به میزان $350 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{s}$ در دو چشمه گردوفاک در سمت شمال غربی خلیج‌فارس یکی در جنوب عراق در (42° شرقی و $33/5^{\circ}$ شمالی)



شکل ۷: مقدار نشست غبار در روزهای (الف) ۵ آوریل و (ب) ۶ آوریل و (پ) ۷ آوریل (ت) ۸ آوریل از خروجی مدل WRF



شکل ۸: نمودار سری زمانی تغییرات مقدار انتشار غبار، مقدار کل نشست غبار و مقدار نشست غبار بر روی خلیج فارس

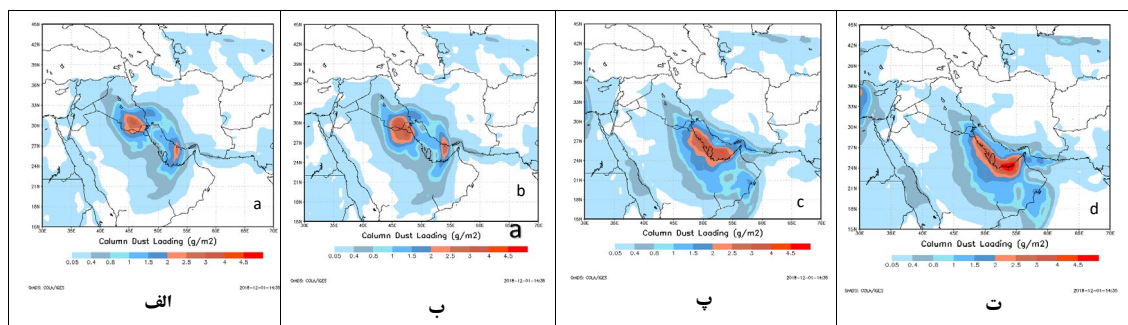
دول ۱: مقادیر کل نشر یا نشست غبار در روزهای ۴ تا ۱۳ آوریل ۲۰۱۳ بر روی منطقه مورد مطالعه

جرم (Mt)	نشر و یا نشست غبار
۳۷/۵۸	مجموع کل نشر غبار
۲۳/۷۶	مجموع کل نشست غبار
۲/۲۹	غبار نشست شده در خلیج فارس

مطالعه در بازه زمانی ۱۰ روزه از ۴ تا ۱۳ آوریل برای دوره شبیه‌سازی شده به دست آمده است، که در جدول ۱ نشان داده شده است. مقدار کل گردوخاک منتشر شده طبق برآورد مدل ۳۷/۵۶ Mt، مقدار کل فرونشست گردوخاک ۲۳/۷۶ Mt و مقدار کل گردوخاکی که در خلیج فارس نشست کرده است، ۲/۲۹ Mt بوده است که این مقدار حدود ۶ درصد از مقدار انتشار کل و ۹ درصد از مقدار نشست کل گردوخاک می باشد. در مطالعه مشابهی که توسط پاراکاش و همکاران (۲۰۰۸) بر روی توفان گردوخاک ماه مارس سال ۲۰۱۲ بین عرض های ۵ تا ۳۵ درجه و طول های ۱۰ تا ۴۰ درجه انجام دادند، میزان کل نشر گردوخاک در مدت ۱۳ روز ۹۳/۷ MT و مقدار کل نشست گردوخاک ۷۳/۰۴ Mt برآورد شده است (Parakash et al. 2014). همچنین در آن مطالعه میزان کل نشست دریایی روی دو دریای سرخ و عربی ۶/۵۶ مگاتن برآورد شده است که ۷ درصد از کل مقدار انتشار و ۸ درصد از کل مقدار نشست گردوخاک بوده است. در شکل ۸، نمودار سری زمانی تغییرات مجموع کل انتشار و نشست گردوخاک در روزهای مورد مطالعه نشان داده شده است. بیشترین مقدار نشر گردوخاک در

روزهای ۷ و ۸ آوریل به مقدار ۵/۵۹ Mt و ۵/۶۸ Mt بوده است. البته عمده انتشار و نشست گردوخاک در روز ۸ آوریل در جنوب شبه جزیره عربی بوده است. بیشترین مقدار نشست گردوخاک، روزهای ۷ و ۸ آوریل به مقدار ۳/۳۷ Mt و ۳/۱۵ Mt بوده است. همچنین بیشترین مقدار نشست گردوخاک در خلیج فارس در روز ۷ آوریل به میزان ۰/۴۹۲ Mt بوده است.

شکل ۹ نقشه شبیه‌سازی شده توسط مدل، از مجموع فضایی کل ستون قائم گردوخاک می باشد که نشان می دهد تجمع گردوخاک در جو در روزهای ۶ و ۷ آوریل ابتدا در جنوب عراق است و سپس به داخل خلیج فارس و نواحی سواحل شرقی عربستان در حاشیه خلیج فارس نفوذ کرده است. بیشترین مقدار بار گردوخاک، در روز ۷ آوریل در سواحل جنوبی خلیج فارس و کشور امارات به حدود ۵ g/m² رسیده است. حرکت مرکز تجمع و فزونی این ستون گردوخاک کاملاً از مسیر حرکت مرکز کم فشار



شکل ۹: مجموع ستونی مقدار غبار در روزهای (الف) ۶ آوریل ساعت ۱۵، (ب) ۶ آوریل ساعت ۲۱، (پ) ۷ آوریل ساعت ۱۵ و (ت) ۷ آوریل ساعت ۲۱

از ۱۰۰۰ میکروگرم بر متر مکعب به بیش از ۲۴۰۰ میکروگرم بر متر مکعب رسیده است. طبق برآورد مدل، مقدار کل گردوغبار منتشر شده $37/56 \text{ Mt}$ ، مقدار کل فرونشست گردوغبار $23/76 \text{ Mt}$ و مقدار کل گردوغباری که در خلیج فارس نشست کرده است، $2/29 \text{ Mt}$ بوده است که این مقدار حدود ۶ درصد از مقدار انتشار کل و ۹ درصد از مقدار نشست کل گردوغبار می باشد. حرکت توده هوای سرد به سمت جنوب و جنوب غربی شبه جزیره عربی سبب نفوذ کامل توده گردوغبار در حین عبور به خلیج فارس شده است. افزایش میزان عمق نوری ذرات گردوغبار باعث کاهش تابش گرمایی و دمای سطح آب خلیج فارس، هم نسبت به زمان و هم نسبت به مکان شده است. توفان گردوغبار در تمام مدت مطالعه در نیمه غربی تأثیر بیشتری داشته است و در نتیجه اثر پراکندگی نوری که گردوغبار ایجاد نموده است، دمای سطح آب خلیج فارس در نیمه غربی کمتر از مقدار آن در نیمه شرقی بوده است. این به دلیل نفوذ توده های حامل گردوغبار از سمت غرب و شمال غرب به خلیج فارس می باشد.

مراجع

- Barnaba, F. and Gobbi, G. P.: Modeling the aerosol extinction ver-sus backscatter relationship for lidar applications: maritime and continental conditions, *J. Atmos. Oc.*, 21, 428–442, 2004.
- Dee, D. P., and Coauthors, 2011a: The ERA-Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system. *Quart. J. Roy.*

در نقشه ارتفاع ژئو پتانسیلی ۱۰۰۰ میلی بار که در شکل ۳ نشان داده شده تبعیت می کند. نفوذ گسترده ستون گردوغبار بر روی خلیج فارس در روز ۷ آوریل در شکل های ۹(پ) و ۹(ت) مشخص است.

جمع بندی

در این مطالعه شرایط هواشناسی توفان گردوغبار و تأثیر آن بر خلیج فارس برای توفان شدید گردوغباری که در منطقه جنوب جنوب غرب آسیا و بین عرض های ۱۵ تا ۴۵ و طول ۳۰ تا ۷۰ از تاریخ ۴ تا ۱۳ آوریل ۲۰۱۳ رخ داد، بررسی شد. هدف از این مطالعه، بررسی منشأ تولید و شدت توفان گردوغبار و تأثیرات فیزیکی آن بر دریای خلیج فارس است. با توجه به نقشه سطح دریا در روز ۵ آوریل مرکز کم فشار ۱۰۰۲ هکتوپاسکال در مرکز عراق و مرکز پرفشار ۱۰۱۴ هکتوپاسکال در جنوب غرب ایران ایجاد شده است و نزدیکی این دو مرکز باعث ایجاد گرادیان فشار زیاد در سطح و افزایش سرعت باد در جنوب عراق در این روز شده است که خود باعث ایجاد توفان گردوغبار می شود. منشأ این توفان، عبور جبهه سرد همراه با نفوذ سامانه کم فشار و وقوع بادهایی با سرعت بیش از ۲۰ متر بر ثانیه بوده است که باعث وقوع توفان گردوغبار در چشمه های تولید گردوغبار در مرکز و جنوب عراق و شمال شبه جزیره عربی در بیابان های بین رودخانه های دجله و فرات و بیابان های ربع الخالی و النفود والداهنا شده است. حداکثر غلظت گردوغبار

- the GOCART model: correlation with North Atlantic Oscillation, *Environmental Modelling & Software*
- Prakash, P. Jish; Stenchikov, G.; Kalenderski, S.; Osipov, S.; Bangalath, H. The impact of dust storms on the Arabian Peninsula and the Red Sea. *Atmospheric Chemistry & Physics*. 2014, Vol. 14 Issue 13, p19181-19245. 65p.
- Skamarock WC, Klemp JB, Dudhia J, Gill DO, Barker DM, Duda MG, Huang XY, Wang W, Powers JG. A Description of the Advanced Research WRF Version 3. NCAR Technical Note, NCAR/TN-475+STR. 2008:113.
- Sokolik D. M. Winker G. Bergametti D. A. Gillette G. Carmichael Y. J. Kaufman L. Gomes L. Schuetz J. E. Penner Introduction to special section: Outstanding problems in quantifying the radiative impacts of mineral dust
- Slingo, A., Ackerman, T. P., Allan, R. P., et al.: Observations of the impact of a major Saharan dust storm on the atmospheric radiation balance, *Geophys. Res. Lett.*, 33, L24817, doi: 10.1029/2006GL027869, 2006.
- Journal of Geophysical Research Atmospheres 106(D16):18015-18028 · August 2001 with 66 Reads
- Song, Z., Wang, J. & Wang, S., 2007. Quantitative classification of northeast Asian dust events. *J. Geophys. Res.*, 112, 8. Journal of geophysical research
- Steven D. Miller Arunas P. Kuciauskas Ming Liu Qiang Ji Jeffrey S. Reid, 2008
- Haboob dust storms of the southern Arabian Peninsula, *Journal of Geophysical Research Atmospheres*
- Stockwell, W. R., Middleton, P., Chang, J. S., and Tang, X.: The second generation regional acid deposition model chemical mechanism for regional air quality modeling, *J. Geophys. Res.*, 95, 16343–16367, doi:10.1029/JD095iD10p16343, 1990
- Y. Shao, C.H. Dong, A review on East Asian dust storm climate, modelling and monitoring 2006 Global and Planetary Change
- Zaveri et al., R. A. "Model for Simulating Aerosol Interactions and Chemistry (MOSAIC)," *J. Geophys. Res. Atmos.*, No. D13, 113 (2008)
- Zender, C., H. Bian, and D. Newman (2003), The mineral dust entrainment and deposition model DEAD: Description and 1990s dust climatology, *J. Geophys.*
- شبیه سازی گردوغبار در استان خوزستان با استفاده از مدل WRF/ Chem (مطالعه موردی: ۲۶ تا ۲۸ مارس ۲۰۱۰)، مجله علمی و ترویجی نیوار شماره ۸۵-۸۴ بهار و تابستان ۱۳۹۳
- بررسی تشکیل و انتشار توفان های گردوغبار ورودی به غرب و جنوب غرب ایران با استفاده از مدل پخش لگرنزی ذرات HYSPLIT، نشریه پژوهش های اقلیم شناسی سال چهارم شماره ۱۳ و ۱۴ بهار و تابستان ۱۳۹۲
- Meteor. Soc., 137, 553–597, doi:10.1002/qj.828
- Evan, A. T., D. J. Vimont, A. K. Heidinger, J. P. Kossin, and R. Bennartz, 2009: The role of aerosols in the evolution of tropical North Atlantic ocean temperature anomalies. *Science*, 324, 778–781.
- Foltz, G. R., and M. J. McPhaden, 2008: Trends in Saharan dust and tropical Atlantic climate during 1980–2006. *Geophys. Res. Lett.*, 35, L20706, doi:10.1029/2008GL035042.
- Giri D, Murthy VK, Adhikary PR, Khanal SN. Ambient air quality of Kathmandu valley as reflected by atmospheric particulate matter concentrations (PM10). *International Journal of Environmental Science and Technology* 2006; 3(4):403-410.
- Ginoux, P., M. Chin, I. Tegen, J. M. Prospero, B. Holben, O. Dubovik, and S.-J. Lin (2001), Sources and distributions of dust aerosols simulated with the GOCART model, *J. Geophys. Res.*, 106(D17), 20,255–20,273, doi:10.1029/2000JD000053.
- Hamidi, M., Kavianpour, M.R. and Yaping, Sh. (2012), Synoptic Analysis of Dust Storms in the Middle East, *Asia-Pacific J. Atmos. Sci.*, 49(3), 279-286
- Husar et al., 1997 R.B. Husar, J.M. Prospero, L.L. Stowe Characterization of tropospheric aerosols over the oceans with NOAA Advanced Very High Resolution Radiometer optical thickness operational product *J. Geophys. Res.*, 102 (1997), pp. 16889-16909
- Jasper F Kok¹, Eric J R Parteli^{2,3}, Timothy I Michaels⁴ and Diana Bou Karam⁵
- The physics of wind-blown sand and dust Published 14 September 2012 • 2012 IOP Publishing Ltd
- Joseph M. Prospero Science. 2003 African Droughts and Dust Transport to the Caribbean: Climate Change Implications
- Kalivitis, N., Gerasopoulos, E., Vrekoussis, M., Kouvarakis, G., Kubilay, N., Hatzianastassiou, N., Vardavas, I., and Mihalopoulos, N.: Dust transport over the eastern Mediterranean derived from Total Ozone Mapping Spectrometer, Aerosol Robotic Network, and surface measurements, *J. Geophys. Res.*, 112, D03202, doi: 10.1029/2006JD007510, 2007.
- O'Hara, Sarah & L. Clarke, Michèle & S. Elatrash, Mokhtar. (2006). Field measurements of desert dust deposition in Libya. *Atmospheric Environment*.
- Lucia, Mona & Amodeo, Aldo & Pandolfi, Marco & Pappalardo, Gelsomina. (2006). Saharan dust intrusions in the Mediterranean area: Three years of Raman lidar measurements. *Journal of Geophysical Research*. 111. 10.1029/2005JD006569.
- P. Ginoux & J.M. Prospero, 2004, Long-term simulation of global dust distribution with

Synoptic Studying Of the Effective Dust Storms on Persian Gulf (Case Study: Dust Storms in 2013)

Ahad Eftekhari Ardabili¹, Maryam Rezazadeh^{2*}, Hossein Malakooti³

¹Ph.D. student, Physical oceanography, University of Hormozgan

² Assistant professor, University of Hormozgan

³ Associate professor, University of Hormozgan

*Corresponding Author Email: rezazadeh@hormozgan.ac.ir

Received: 6 November 2018 , accepted: 10 March 2019

ABSTRACT

The dust production in the deserts in the periphery of Persian Gulf and the transferring and dispersion of it towards Persian Gulf is investigated based on observatory methods and simulation using the mesoscale WRF-CHEM Model and GOCART scheme; The dust storm that influenced the Persian Gulf were most predominantly originated from Iraq and Saudi Arabia. The origin of this storm is the formation of a low-pressure on the Jordanian land and its movement from the northwest of Iraq to the southeast and turn it into a high-pressure hub in the southwest of Iran, which increases the surface wind speed at the station Basra Iraq up to 25 meters per second and lead to the formation of a dust mass and its upward movement. In the following days, this dust mass has moved towards Saudi Arabia and the Persian Gulf. The dust has had its highest effects on the western and central sections of Persian Gulf. As calculated from the model, the total amount of the dispersed dust was 37.58Mt, and the total amount of the laid dust on the Persian Gulf water was estimated to be 2.29Mt during the first ten days of this sand storm activity. Based on the model estimation, 62 percent of the released dust, was mostly deposited in the study area, and about 10% of the total dust concentration was deposited in the Persian Gulf. Increasing the optical depth of dust particles has reduced the heat radiation and water temperature of the Persian Gulf, both in relation to time and place. The sea surface temperature in the Persian Gulf in the western half was lower than in the eastern half. This is due to the infiltration of dust-carrying masses from the west and northwest into the Persian Gulf. In this storm, the mean optical depth of the dust particles was 0.637 and the difference between the lowest and the highest water surface temperatures was 0.74 degrees during the aforesaid period.

Keywords: Persian Gulf, dust storm, thermal budget, optical depth, water surface temperature

HOW TO CITE THIS ARTICLE

Eftekhari Ardabili A. , Rezazadeh M. , Malakooti H. (2019). Synoptic Studying Of the Effective Dust Storms on Persian Gulf (Case Study: Dust Storms in 2013)
. J. Meteorol. Atmos. Sci., 2(1): 42-54.

COPYRIGHTS

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to the JMAS Journal. This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

