

مطالعه ساختارهای همدیدی موثر در گرد و خاک منطقه خلیج فارس

الهام مبارک حسن^{۱*}، سحر تاج‌بخش^۲، پروین غفاریان^۳، نفیسه پگاه‌فر^۴، مهناز کریم‌خانی^۵

۱- گروه محیط زیست، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران، پست الکترونیکی: mobarak_e@yahoo.com

۲- عضو هیات علمی پژوهشکده هواشناسی و علوم جوی سازمان هواشناسی کشور، پست الکترونیکی: sahartajbakhsh@gmail.com

۳- استادیار پژوهشکده علوم جوی، پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوی، تهران، ایران، پست الکترونیکی: p.ghafarian@inio.ac.ir

۴- استادیار پژوهشکده علوم جوی، پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوی، تهران، ایران، پست الکترونیکی: pegahfar@inio.ac.ir

۵- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، گروه هواشناسی، تهران، ایران، پست الکترونیکی: mahnaz_karimkhany@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۹۷/۶/۲۶

* نویسنده مسوول

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۱/۲۷

چکیده

در این مطالعه، شرایط جوی حاکم بر رخداد گرد و خاک در منطقه خلیج فارس و جنوب غرب ایران بررسی شد. بدین منظور سه مطالعه موردی در نظر گرفته شد که با استفاده از داده‌های دیدبانی ایستگاهی، تصاویر ماهواره‌ای، داده‌های جهانی ECMWF و خروجی مدل‌های HYSPLIT و DREAM تحلیل و بررسی شدند. نتایج نشان داد، جریان‌های شمال غربی سطح زمین در کشورهای همسایه غربی یکی از عوامل اصلی انتقال گرد و خاک به سمت جنوب غرب ایران هستند. از طرف دیگر الگوهای تراز میانی جو اعم از ناوه، پشته یا جریان‌های مداری، نقش بنیادی در انتقال گرد و خاک ندارند و در هر شرایطی با جریان‌های شمالی سطح زمین انتقال گرد و خاک رخ می‌دهد. از طرف دیگر نتایج نشان داد، سرعت قائم پایین‌سو در تراز ۹۲۵ hPa بین ۰/۲ تا ۰/۶ Pa/s برای حاکمیت گرد و خاک در نزدیکی سطح زمین مناسب است. همچنین اثر نیروی اصطکاک سطح زمین باعث عدم حرکت کامل گرد و خاک در راستای شمالی- جنوبی شده و در نتیجه موجب گسترش بیشتر در منطقه می‌شود. خروجی مدل HYSPLIT، به خوبی مسیر حرکت ذرات را در راستای بادهای شمال غربی پیش‌بینی نمود و خروجی مدل DREAM، کاهش دید افقی را به خوبی نشان داد. با مقایسه دید افقی در شهر اهواز و آبادان و همچنین بررسی خروجی مدل HYSPLIT می‌توان دریافت که در شهر اهواز، گرد و خاک محلی نیز شکل گرفته که علاوه بر منشا برون مرزی، می‌توان به منشاها درون مرزی گرد و خاک نیز توجه داشت.

کلمات کلیدی: توفان گرد و خاک، مدل DREAM، مدل HYSPLIT، خلیج فارس.

۱. مقدمه

راه جو به سایر مناطق مجاور، اثرات زیان‌باری در بخش‌های مختلف از جمله حوزه‌های سلامت، حمل‌ونقل و اقتصادی اجتماعی به دنبال دارد. وقوع توفان‌های گرد و خاک و انتقال آن به سمت منابع آبی نیز اهمیت ویژه‌ای دارد؛ زیرا از این طریق،

توفان‌های گرد و خاک یکی از معضلات امروز غرب و جنوب غرب ایران است. شکل‌گیری گرد و خاک و انتقال آن از

فعالیت فرودهای سطوح بالایی جو و جبهه‌های سرد در چرخندهای سطح‌زمین همراه هستند. مدل‌سازی توفان‌های گرد و خاک می‌تواند مسیرهای حرکت چرخندها و انتقال گرد و خاک‌های این کشور را در تمام نیم‌کره جنوبی پیش‌بینی نماید. با بررسی الگوهای همدیدی سطوح ۵۰۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال برای دوره‌های پراگرد و خاک و بدون گرد و خاک در صحرای آفریقا، مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری در متغیرهای جوی میان سال-های همراه با، و بدون گرد و خاک وجود دارد (Barkan and Alpert, 2008). این محققین نشان دادند که در سال‌هایی که رخداد گرد و خاک فصل‌های پاییز، بهار و تابستان در غرب اروپا و شمال غرب آفریقا افزایش می‌یابد، یک جریان چرخندی قوی باعث انتقال سرمای شدید و کاهش ارتفاع ژئوپتانسیلی در این منطقه می‌شود؛ اما در شرق و مرکز صحرا و مرکز مدیترانه، جریان واچرخندی غلبه داشته و گرمای نسبتا بالا همراه با افزایش ارتفاع ژئوپتانسیلی مشهود است.

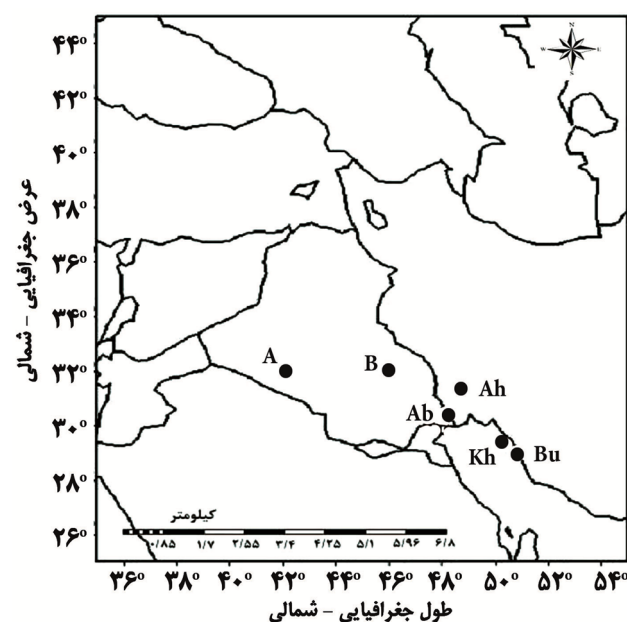
بررسی گرد و خاک‌های فصلی در منطقه خاورمیانه توسط میدلتون انجام گردید. درحالی‌که عمده فعالیت چشمه‌های گرد و خاک در خاورمیانه و منطقه جنوب‌غرب آسیا در فصل تابستان است؛ اما در زمستان نیز وقوع گرد و خاک‌ها مشاهده می‌شود (Prospero et al., 2002; Middleton, 1986a,b). Middleton (1986a) در هر سال به طور متوسط، ۳۰ توفان را در شهرهای همدان و تهران گزارش نمود که ۳ الی ۵ مورد آن در زمستان (ژانویه، فوریه و مارس) رخ داده است. عبارت shamal معادل با شمال (North)، به بادهای غالب شمال و شمال غربی همراه با گرد و خاک اطلاق می‌گردد که Middleton در سال ۱۹۸۶ به آنها اشاره نموده است. البته محققان دیگری نیز در این خصوص بیشتر مطالعه نموده‌اند (Membery, 1983).

بادهای شمال، هم در فصل زمستان و هم در فصل تابستان رخ داده و از نقطه‌نظر واداشت‌های همدیدی، تعداد، مدت و شدت متفاوت هستند. رخدادهای بادهای شمال زمستانی نسبت به تابستانی کمتر هستند؛ اما توانایی بیشتری برای ایجاد گرد و خاک و کاهش زیاد دید دارند (Walter and Wilkerson, 1991). گرد و خاک‌های همراه با باد شمال زمستانی بین ۲ تا ۳ بار در هر ماه بین دسامبر تا مارس رخ می‌دهند. اما معمولا از فوریه آغاز شده و در فصل بهار به بیشترین شدت خود می‌رسند (Nasrallah et al., 2004). این بادهای در کشورهای عراق، کویت و عربستان رخ می‌دهند. برای بادهای شمال شرایط مختلفی تعیین می‌شود، بنابراین با استفاده از معیارهای

عناصر بسیاری به دریاها و اقیانوس‌ها وارد می‌شوند (Vink and Measures, 2001) که برخی از آن‌ها در ادامه به اختصار آمده است. گرد و خاکی که وارد آب‌های اقیانوسی می‌شود بر خواص نوری و زمین / شیمی / زیست‌شناسی دریا تاثیر می‌گذارد (Claustre et al., 2002). گرد و خاک غنی از آهن با منشاء بیابان گبی، باعث افزایش فیتوپلانکتون‌های دریایی در اقیانوس آرام شمالی شده است (Bishop et al., 2002). ۴۰ درصد فسفوری که توسط جریان‌های جوی به غرب دریای مدیترانه وارد شده است، منشا گرد و خاک صحرائی داشته است (Gao et al., 2003). نفوذ گرد و خاک از شمال آفریقا به جزایر کارائیب در کاهش مرجان-های این منطقه دخیل است (Garrison et al., 2003; Shinn et al., 2000). شناخت ماهیت، منشاء و اثرات توفان‌های گرد و خاک در تعیین روش‌های کنترل آن نقش به‌سزایی دارد.

توفان گرد و خاک در شرایطی ایجاد می‌شود که ذرات گرد و خاک با انرژی بادهای تلاطمی شدید از روی زمین بلند شوند. این شرایط معمولا در روزهای گرم و خشک شکل گرفته و می‌تواند در همراهی با جبهه‌های سرد بدون ابر تقویت شود (UNEP, 2013). قطر ذرات خاک در این توفان‌ها به‌طور متوسط ۰/۸ میلی‌متر است. از این‌رو قادر هستند تا ارتفاعات بالا گسترش یابند (WMO, 2013). از سوی دیگر سامانه‌های جوی مستعد در رخداد و انتقال توفان‌های گرد و خاک از جمله عوامل قابل‌توجه در این حوزه هستند. به‌همین دلیل سازوکارهای موثر در شکل‌گیری این توفان‌ها در مطالعه‌های متعددی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. Liu و همکاران (۲۰۰۴) نشان دادند که علت تشکیل توفان گرد و خاک در مغولستان، فعالیت چرخندی مرکز کم‌فشار شمال چین است که ناشی از اختلاف شیو فشاری بین شمال چین و بیابان‌های گبی و ماسهزارهای جنوب و غرب مغولستان است. این نوع توفان‌ها، غالبا در بهار رخ می‌دهند که هوا و خاک خشک هستند. Wang (2005) ویژگی‌های همدیدی حاکم بر تشکیل توفان‌های گرد و خاک را در شمال شرق آسیا مورد مطالعه قرار داد. این محقق گزارش نمود که یک توفان گرد و خاک در این منطقه همواره با یک سامانه کم‌فشار همراه بوده و زمانی گرد و خاک توسعه می‌یابد که سامانه کم‌فشار به شمال شرق چین می‌رسد. همچنین این محقق اشاره نمود که میزان گرد و خاک در قطاع گرم چرخند به بیشینه مقدار خود می‌رسد. McGowan و Clark (۲۰۰۸) گرد و خاک‌های وردسپهری استرالیا را مورد مطالعه قرار دادند و دریافتند که گرد و خاک‌های این کشور با

مارس) پرداخته شد. اگرچه ماه مارس اولین ماه شروع فصل گرم است؛ اما با توجه به اینکه هنوز جریان‌های سطح زمین متأثر از الگوهای زمستانی است، یکی از مطالعات موردی به ماه مارس اختصاص داده شد. از آنجایی که تمامی مطالعات توفان‌های گرد و خاک ذکر شده در منطقه خلیج فارس و جنوب غرب ایران فعال بوده‌اند، منطقه مورد مطالعه و ایستگاه‌های آبادان و اهواز (استان خوزستان) و بوشهر و خارک (استان بوشهر) به عنوان ایستگاه‌های شاهد و نقاط A و B در عرض جغرافیایی ۳۲ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۴۱ و ۴۴ درجه شرقی در بیابان‌های نیمه جنوبی کشور عراق به عنوان نقاط معرف بیابان‌های عراق در نظر گرفته شدند (شکل ۱).



شکل ۱: منطقه مورد مطالعه. دایره‌های توپر ایستگاه‌های اهواز (Ah)، آبادان (Ab)، خارک (Kh)، بوشهر (Bu) و دو منطقه (A, B) روی عراق را نشان می‌دهند.

به منظور بررسی این توفان‌های گرد و خاک، ضمن ارایه داده‌های دیدبانی شده دید افقی در ایستگاه‌های داخل ایران و تحلیل هم‌دید ساختار توفان، برون‌داد دید افقی توسط مدل DREAM، تصاویر ماهواره MODIS و همچنین مسیر حرکت توفان، به کمک مدل HYSPLIT تحلیل شدند. داده‌های دیدبانی برای ایستگاه‌های آبادان، اهواز، بوشهر و جزیره خارک از بانک داده‌های دیدبانی سازمان هواشناسی کشور دریافت شد. ویژگی‌های جغرافیایی این ایستگاه‌ها در جدول ۱ آمده است.

مختلف در مطالعه‌های گوناگون، توزیع فصلی و اقلیمی یکسانی حاصل نمی‌شود (Vishkaee et al., 2012). Hamidi و همکاران (۲۰۱۳) دو نوع ساختار هم‌دید شامل باد شمال و جبهه‌ای را در شکل‌گیری توفان گرد و خاک زمستانی ایران موثر می‌دانند. مطالعه‌های زیادی برای تعیین نوع ساختارهای هم‌دید همراه با گرد و خاک انجام شده است. شیو فشار بین دو سیستم چرخندی و واچرخندی وجه مشترک تمام توفان‌های گرد و خاک است (Awad and Mashat, 2014; Barkan and Alpert, 2010). با استقرار کم فشار روی کشورهای افغانستان، ایران و پاکستان و پشته فشاری از مدیترانه به سوی عربستان سعودی، شیو فشار قوی بین آن دو ایجاد شده و منجر به شکل‌گیری بادهای شمال‌غربی می‌شود (Nasrallah et al., 2004; Hamidi et al., 2013).

Abedzadeh و Zolfaghari (۲۰۰۵) با بررسی الگوهای هم‌دید توفان‌های گرد و خاک برای چند توفان گرد و خاک در دوره سرد سال، نشان دادند که فرود تراز میانی جو و چرخندهای سطح زمین در انتقال گرد و خاک از بیابان‌های عراق، سوریه و اردن موثر هستند. بررسی ساختارهای هم‌دید در توفان‌های گرد و خاک در فصل سرد سال در استان خوزستان توسط Mobarak Hassan و Ghaffarian (۲۰۱۰): Mobarak Hassan و Dasht Bozorgh (۲۰۱۲) انجام شده است. نتایج این محققین نشان داد که در فصل سرد سال با نزدیک شدن ناوهای ارتفاعی تراز میانی جو به مدیترانه و شمال آفریقا، ناوهای فشاری سودان به عرض‌های شمالی گسترش یافته و همراه با آن به سمت شرق جا به جا می‌شود به گونه‌ای که شیو فشاری در شمال عربستان و جنوب غرب ایران تقویت می‌شود. در مطالعه حاضر نیز کوشش گردید ساختار هم‌دید وقوع توفان گرد و خاک در چند مطالعه موردی فصل سرد در منطقه خوزستان و خلیج فارس به کمک برون‌داد مدل‌های پیش‌بینی عددی DREAM^۱ و HYSPLIT^۲، داده‌های دیدبانی، تصاویر ماهواره‌ای و مطالعات هم‌دید تحلیل شوند.

۲. روش کار

در این مطالعه، به بررسی ساختار توفان‌های ۱۷ مارس ۲۰۱۲، ۳ سپتامبر ۲۰۱۵ و ۱۷ فوریه ۲۰۱۷ برای فصل سرد (سپتامبر تا

^۱ Dust Regional Atmospheric Model

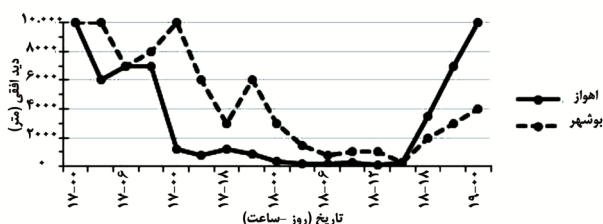
^۲ Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory Model

۳. نتایج و بحث

در این بخش به بررسی ساختار ۳ توفان زمستانی (مطالعات موردی) پرداخته می‌شود. کوشش شده است تا ضمن بررسی ساختار همدیدی، خروجی مدل HYSPLIT و تصاویر دریافتی از ماهواره‌های هواشناسی نیز تحلیل شوند.

۳-۱ مورد ۱۸ مارس ۲۰۱۲

۱۸ مارس ۲۰۱۲ (۲۷ اسفند ۱۳۹۰)، توفان گرد و خاک شدیدی بخش‌های غربی، جنوب غربی ایران و خلیج فارس را در بر گرفت. تغییر دید افقی در دو شهر اهواز و بوشهر را در شکل ۲ نشان داده شده است. در هر دو شهر چندین ساعت دید افقی کمتر از ۱۰۰۰ متر بوده و اهواز نسبت به بوشهر کاهش دید افقی بیشتری دارد.



شکل ۲: تغییر زمانی دید افقی در اهواز و بوشهر در روزهای ۱۷ و ۱۸ مارس ۲۰۱۲.

در این تاریخ کم‌فشار سطحی روی ایران با مرکز ۱۰۰۰ hPa کاملا مشهود است (شکل ۳ الف). الگوی ارتفاع ژئوپتانسیلی تراز ۵۰۰ hPa نیز مرکز کم ارتفاعی را روی کشور عراق با کمینه ۵۳۰۰ متر در شکل ۳ الف نشان می‌دهد. این موضوع حکایت از رخداد شرایط دینامیک فعال در حاشیه جنوب غرب ایران دارد. روی ترکیه پرفشار ۱۰۳۰ hPa قرار داشته و نفوذ زبانه‌های آن به عراق، شیو افقی نسبتا شدید فشار را در نوار مرکزی و بخش‌های غربی ایران ایجاد کرده است. این شرایط موجب حاکم شدن بادهای شمال غربی از شرق سوریه تا جنوب غرب ایران شده است. به همین علت بردارهای باد در سطح زمین (۱۰ متری) با سرعت بیشتری در حال وزیدن هستند (شکل ۳ الف). این موضوع با توجه به شرایط سطحی منطقه، می‌تواند موجب انتقال گرد و خاک از سوریه و عربستان به سمت خلیج فارس گردد.

جدول ۱: موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های آبادن، اهواز، خارک و بوشهر

نام ایستگاه	طول جغرافیایی (درجه)	عرض جغرافیایی (درجه)	ارتفاع از سطح دریا (متر)
آبادن	۴۸/۲۱	۳۰/۳۷	۶/۶
اهواز	۴۸/۷۴	۳۱/۳۴	۲۲/۵
خارک	۵۰/۳۱	۲۹/۲۵	-۱/۲
بوشهر	۵۰/۸۱	۲۸/۹۶	۹

در تحلیل همدیدی مطالعات موردی، از داده‌های جهانی^۱ ECMWF استفاده شد. این داده‌ها با تفکیک 0.75×0.75 درجه در راستای طول و عرض جغرافیایی برای منطقه مورد مطالعه استخراج شدند و با استفاده از آنها، گره‌های میانگین فشار تراز دریا (hPa)، ارتفاع ژئوپتانسیلی تراز ۵۰۰ hPa، باد ۱۰ متری سطح زمین (m/s)، همچنین ارتفاع ژئوپتانسیلی (m) تراز ۹۲۵ hPa (معادل ۷۶۲ متری) و سرعت افقی (m/s) و قائم باد (Pa/s) در این تراز بررسی شدند. گره‌های تراز ۹۲۵ hPa با توجه به اهمیت نقش جریان جتی تراز زیرین جو در شکل‌گیری و انتقال گرد و خاک از سمت عراق به ایران، برای تحلیل مطالعه موردی در نظر گرفته شد. این تراز موقعیت و سرعت جریان جتی تراز زیرین جو را به خوبی نشان می‌دهد که می‌تواند معرف خوبی برای تحلیل تغییر سرعت باد در بخش‌های زیرین و ردسپهر باشد.

برای بررسی مسیر و چشمه توفان در این مطالعه، از مدل هواشناسی HYSPLIT استفاده گردید. مدل HYSPLIT با دو رهیافت لاگرانژی و اوپلری می‌تواند مسیر پیشین ذرات را در جو ردیابی نماید. این مدل در دو نسخه برخط و به صورت بایگانی در دسترس است. در این مطالعه از نسخه برخط آن استفاده شد (https://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT_traj.php).

جهت بررسی مسیر توفان، ارتفاعات ۷۰۰ و ۱۵۰۰ متری (که به سطح زمین تقریبا نزدیک هستند) در نظر گرفته شدند و مدت زمان مسیر پس‌گردی ۲۴ ساعت بود. همچنین، به منظور شبیه‌سازی رخداد‌های توفان گرد و خاک و تعیین دید افقی در بررسی موردی این مطالعه، برون داد مدل DREAM به کار گرفته شد ([https://sds-was.aemet.es/forecast-products/dust-\(observations/visibility\)](https://sds-was.aemet.es/forecast-products/dust-(observations/visibility))).

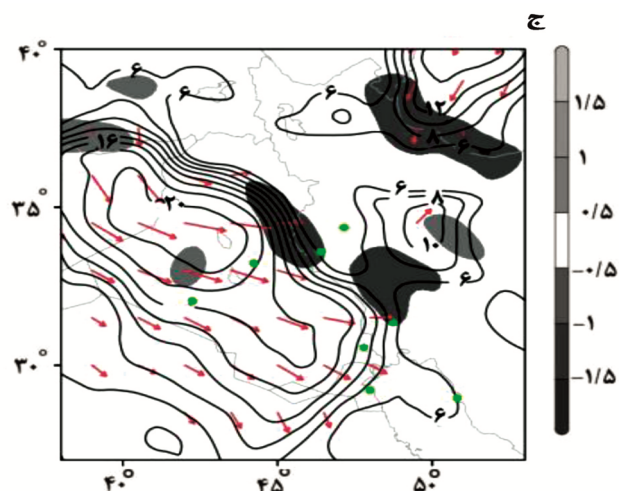
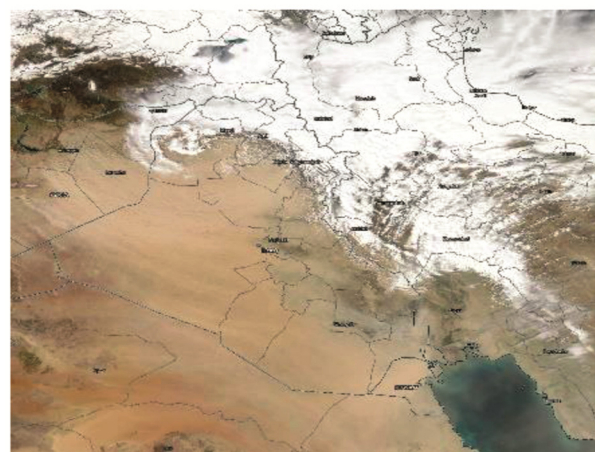
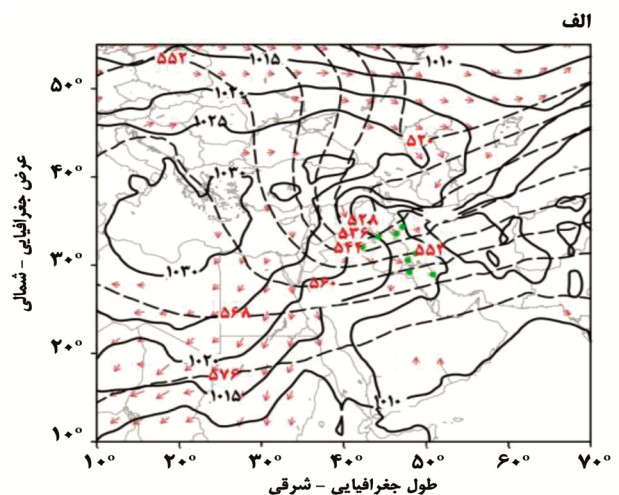
این مدل، یک مدل هواشناسی است و براساس حل معادله غیرخطی تفاضل متناهی اوپلری برای معادله پیوستگی جرم گرد و خاک اجرا می‌شود.

¹ European Centre for Medium-Range Weather Forecasts

نقش نیروی اصطکاک در این مطالعه نیز از شکل ۳ الف کاملاً مشهود است و بادهای شمال غربی در منطقه‌ی مورد مطالعه، هم‌مقدارهای فشار را قطع نموده‌اند. نفوذ گرد و خاک از سمت عراق به ایران و خلیج فارس در شکل ۳ ب که تصویر ماهواره MODIS است، به‌خوبی دیده می‌شود. این تصویر علاوه بر تایید شرایط همدیدی موجود، نمایانگر انتقال گرد و خاک از روی کشور عراق به سمت غرب و جنوب غرب ایران است. شکل‌گیری بادهای شمال غربی با بیشینه سرعت 20 m/s در غرب عراق که بیانگر جریان جتی سطوح پایین است، موید تاثیر سرعت باد در برخاستن گرد و خاک در این منطقه است (شکل ۳ ج). همچنین، حرکت قائم پایین‌سو در مرکز آن منجر به افزایش غلظت گرد و خاک در این مناطق می‌شود. از طرفی حرکت قائم بالاسو در جلوی جریان جتی سطوح پایین، گسترش گرد و خاک به لایه‌های بالاتر را به همراه داشته و از این‌رو، شرایط انتقال افقی گرد و خاک به مسیرهای دورتر فراهم می‌شود. ساختار همدیدی حاکم در شکل‌گیری این توفان ساختار باد شمال است.

۳-۲ مورد ۰۲ سپتامبر ۲۰۱۵

توفان گرد و خاک شدیدی مورخ ۲ سپتامبر ۲۰۱۵ (۱۱ شهریور ۱۳۹۴)، در منطقه جنوب غرب ایران گزارش شد. شکل ۴ ب توده گرد و خاک در جنوب شرق عراق، کویت و خلیج فارس را نشان می‌دهد. الگوی همدیدی این مطالعه در شکل ۴ الف آمده است. همان‌گونه که در این شکل مشاهده می‌شود، کم فشاری با مرکز 1000 hPa روی خلیج فارس مشاهده شده که زبانه آن به سمت عرض‌های شمالی‌تر در غرب ایران و بخش‌های مرکزی عراق گسترش یافته است. با حضور پرفشاری به مرکز 1020 hPa روی کشور ترکیه و گسترش زبانه آن به مناطق مرکزی ایران، شیو شدید فشاری در امتداد رشته کوه زاگرس دیده می‌شود (شکل ۴ الف). این شرایط در لایه میانی جو، با استقرار مرکز پراارتفاع جنب حاره‌ای در شمال آفریقا همراهی می‌شود، به‌گونه‌ای که مرکز پراارتفاع با مقدار 5800 متر در جنوب عراق و شمال عربستان حکایت از پایداری هوا در لایه میانی جو دارد. بخش‌های جنوب غرب و محدوده‌ی خلیج فارس نیز در دامنه‌ی این پشته‌ی فعال واقع شده‌اند (شکل ۴ ب).

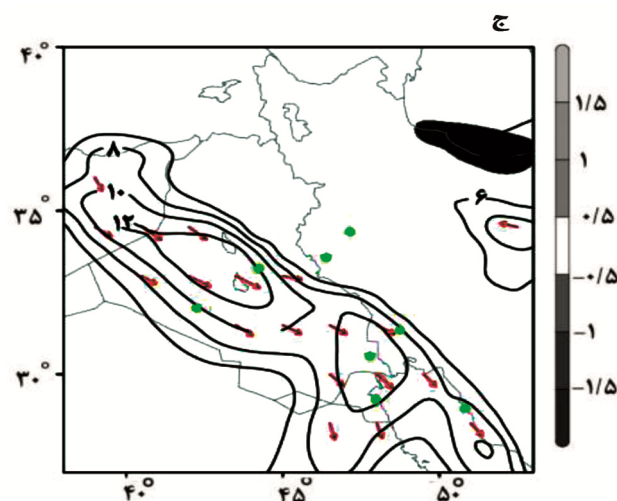
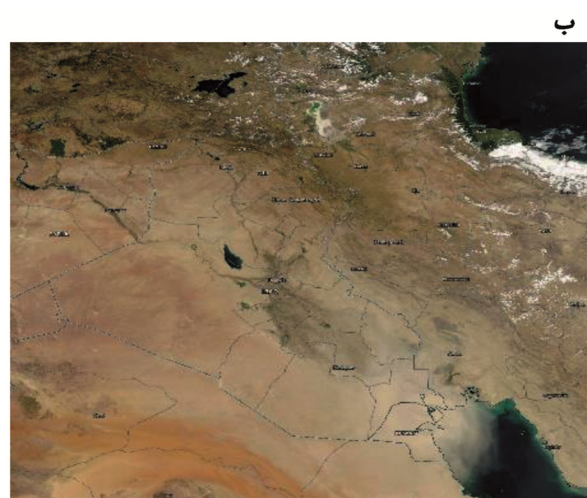
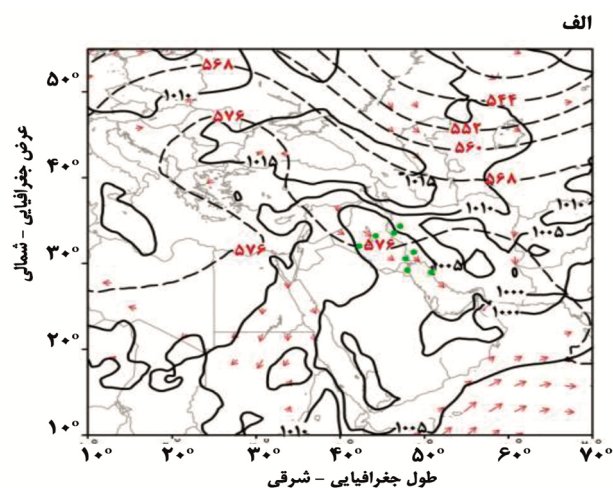


شکل ۳: گره‌های الف) فشار میانگین تراز دریا بر حسب hPa (خطوط توپر)، ارتفاع ژئوپتانسیلی تراز 500 hPa بر حسب متر (خطوط به‌صورت خط چین) و پیکان‌های باد ده متری؛ ب) تصویر ماهواره MODIS؛ ج) سرعت باد بر حسب m/s (خطوط توپر) و مولفه قائم سرعت باد بر حسب pa/s (مناطق سایه زده) برای روز ۱۸ مارس ۲۰۱۲.

به این ترتیب ساختار همدیدی شکل گرفته دینامیک نبوده و مشابه ساختارهای فصل گرم است. جریان‌های شمال غربی روی کشورهای عراق و کویت و منطقه خلیج فارس به وضوح دیده می‌شود. بردارهای باد در سطح زمین (ارتفاع ۱۰ متری) نیز معرف وزش بادهای شمال غربی هستند (شکل ۴ الف). بادهای شمال غربی با سرعت ۱۶ تا ۲۰ متر بر ثانیه در تراز ۹۲۵ hPa در مرکز تا جنوب شرق عراق شرایط انتقال افقی گرد و خاک را فراهم می‌نمایند (شکل ۴ ج). از آنجایی که ساختار همدیدی این مطالعه معرف فعالیت یک کم‌فشار گرمایی است، سرعت قائم قابل توجهی در تراز ۹۲۵ hPa در این سامانه مشاهده نشده و گسترش قائم گرد و خاک محدود است. در تصویر ماهواره، ساز و کار همدیدی موثر در شکل‌گیری گرد و خاک تایید می‌شود (شکل ۴ ب). در هر دو سامانه مربوط به مطالعات مارس ۲۰۱۲ و سپتامبر ۲۰۱۵ بادهای شمال غربی عامل انتقال گرد و خاک به خلیج فارس هستند. اما مورد مطالعاتی مارس ۲۰۱۲ با سرعت افقی و قائم قابل توجهی همراه است در حالی که در مورد مطالعاتی سپتامبر ۲۰۱۵ سرعت قائم محدود است. بنابراین ساختار مورد مارس ۲۰۱۵ باد شمال زمستانی و مورد مارس ۲۰۱۲ باد شمال تابستانی را نشان می‌دهد.

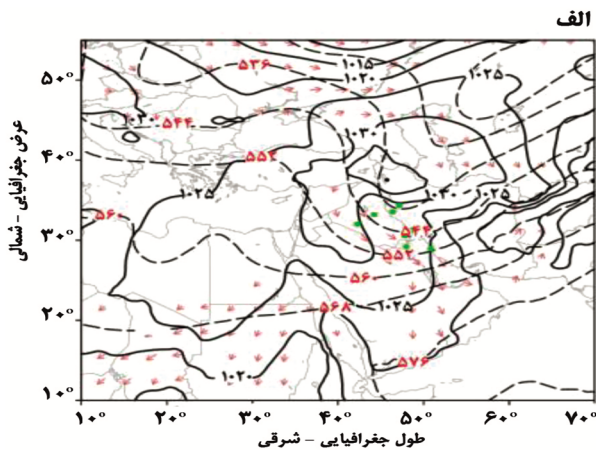
۳-۳ مورد ۱۸-۱۹ فوریه ۲۰۱۷

آخرین مطالعه‌ی موردی مربوط به توفان گرد و خاک ۱۸ و ۱۹ فوریه ۲۰۱۷ (۳۰ بهمن و اول اسفند ۱۳۹۵) است. با توجه به اینکه در این تاریخ رخداد گرد و خاک نسبتاً شدیدی در منطقه خلیج فارس و جنوب غرب ایران رخ داده است، بررسی همدیدی آن با جزئیات بیشتری بررسی می‌شود. از این رو علاوه بر الگوی همدیدی سطح زمین (باد و فشار تراز دریا) و تراز میانی جو (ارتفاع ژئوپتانسیلی ۵۰۰ hPa)، الگوی سرعت و جهت باد و سرعت قائم باد در تراز ۹۲۵ hPa تعیین می‌شود و مدل HYSPLIT برای این دو روز اجرا می‌شود. ضمن اینکه این نتایج با خروجی مدل DREAM نیز مقایسه می‌شوند. به منظور بررسی این توفان ابتدا دیدبانی‌های دید افقی و گرد و خاک برای روزهای ۱۸ و ۱۹ فوریه ۲۰۱۷ ارائه شد. جدول ۲ داده‌های دیدبانی دید افقی را در ۳ ایستگاه آبادان، اهواز و جزیره خارک در طی روزهای ۱۸ تا ۱۹ فوریه (۳۰ بهمن و ۱ اسفند ۱۳۹۵) نشان می‌دهد. در روز ۱۸ فوریه ساعت ۰۳ UTC دید افقی در شهرهای اهواز و آبادان به ۳۰۰۰ متر رسیده و در ساعت‌های بعد (۰۶، ۰۹ و ۱۲ UTC) دید افقی در

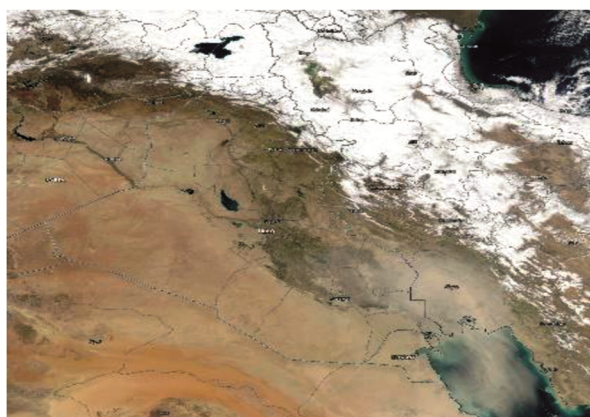


شکل ۴: گرته‌های الف) فشار میانگین تراز دریا بر حسب hPa (خطوط توپر)، ارتفاع ژئوپتانسیلی تراز ۵۰۰ hPa بر حسب متر (خطوط به صورت خط چین) و پیکان‌های باد ده متری؛ ب) تصویر ماهواره MODIS؛ ج) سرعت باد بر حسب m/s (خطوط توپر) و مولفه قائم سرعت باد بر حسب pa/s (مناطق سایه زده) برای روز ۲ سپتامبر ۲۰۱۵

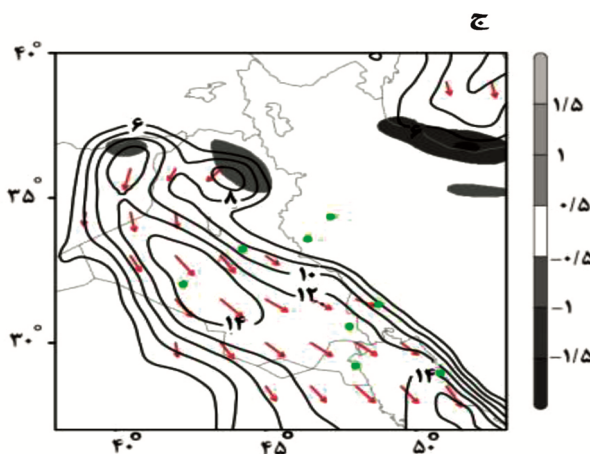
کاهش یافته است. در روز ۱۸ فوریه مرکز پرفشار ۱۰۳۵ hpa روی ترکیه قرار داشته و پشته آن از سمت روسیه به شمال عربستان گسترش یافته است (شکل ۵ الف).



الف



ب



ج

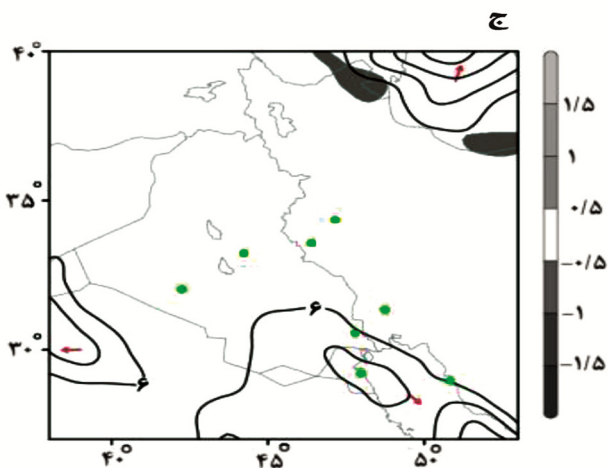
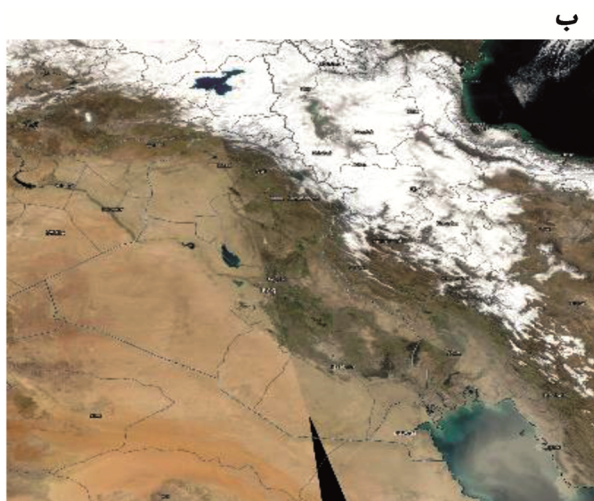
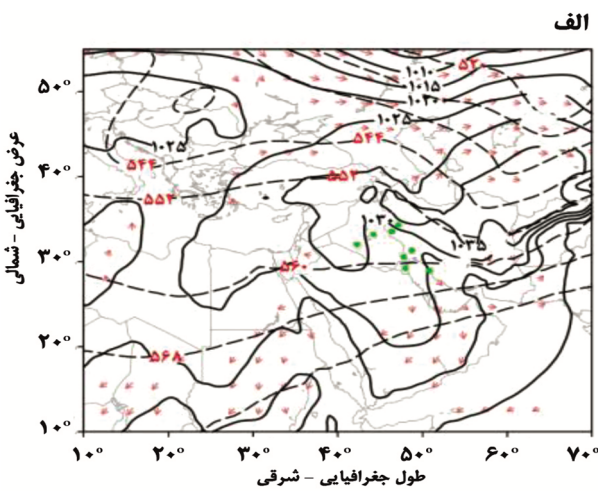
شکل ۵: گره‌های الف) فشار میانگین تراز دریا بر حسب hPa (خطوط توپر)، ارتفاع ژئوپتانسیلی تراز ۵۰۰ hPa بر حسب متر (خطوط به صورت خط چین) و پیکان‌های باد ده متری؛ ب) تصویر ماهواره MODIS؛ ج) سرعت باد بر حسب m/s (خطوط توپر) و مولفه قائم سرعت باد بر حسب pa/s (مناطق سایه زده) برای روز ۱۸ فوریه ۲۰۱۷

شهر اهواز تا ۵۰۰ متر کاهش یافته است. کاهش دید افقی در ایستگاه آبادان تا ساعت ۰۶ UTC روز ۱۹ فوریه و در اهواز تا ساعت ۱۵ UTC روز ۱۹ فوریه ادامه دارد. نکته قابل توجه این است که در ساعت ۱۲ UTC روز ۱۹ فوریه، دید افقی در شهر اهواز به صفر رسیده است و سپس در هر دو شهر افزایش یافته است. از این رو، به نظر می‌رسد توده هوای گرد و خاکی از منطقه عبور کرده باشد. در جزیره خارک کاهش دید از ساعت ۱۲ UTC روز ۱۸ فوریه آغاز شده و تا ساعت ۱۵ UTC روز ۱۹ فوریه ادامه دارد. بدین ترتیب دید افقی در خارک، ۹ ساعت بعد از کاهش دید در اهواز و آبادان مشاهده می‌شود که می‌تواند نشان‌دهنده گسترش گرد و خاک به سمت شرق و جنوب شرق باشد. بیشترین کاهش دید را شهر اهواز در روز ۱۸ فوریه تجربه نموده است. در طی این دو روز جهت باد در هر سه ایستگاه شمالی، شمال غربی و غربی است که در ادامه با نتیجه مدل HYSPLIT مقایسه خواهد شد.

جدول ۲: دیدبانی باد و دید افقی در شهرهای اهواز، آبادان و جزیره خارک در تاریخ ۱۸-۱۹ فوریه ۲۰۱۷ (دید افقی کمتر از ۱۰ کیلومتر به صورت سایه روشن نشان داده شده‌اند)

روز	ساعت (UTC)	آبادان			اهواز			خارک		
		جهت باد	سرعت باد (m/s)	دید افقی (m)	جهت باد	سرعت باد (m/s)	دید افقی (m)	جهت باد	سرعت باد (m/s)	دید افقی (m)
۱۸	۰	NW	۴	۱۰-Km	NE	۱	۱۰-Km	-	-	-
۱۸	۳	W	۴	۳۰۰	NW	۳	۲۵۰۰	NW	۱۲	۱۰-Km
۱۸	۶	W	۴	۵۰۰	W	۲	۵۰۰	NW	۱۰	۱۰-Km
۱۸	۹	NW	۳	۲۰۰	NW	۲	۵۰۰	NW	۸	۱۰-Km
۱۸	۱۲	W	۵	۳۰۰	W	۲	۷۰۰	NW	۷	۳۰۰
۱۸	۱۵	NW	۴	۱۸۰۰	W	۲	۱۰۰۰	NW	۸	۱۰۰۰
۱۸	۱۸	N	۳	۳۰۰	NW	۱	۱۰۰۰	-	-	-
۱۸	۲۱	N	۱	۲۵۰	NW	۱	۱۴۰۰	-	-	-
۱۹	۰	W	۱	۲۵۰	S	۱	۱۵۰۰	-	-	-
۱۹	۳	W	۲	۲۰۰	NW	۲	۱۵۰۰	N	۴	۱۲۰۰
۱۹	۶	NW	۳	۵۰۰	SE	۱	۱۱۰۰	NW	۶	۱۴۰۰
۱۹	۹	NW	۵	۱۰-Km	N	۲	۲۸۰۰	NW	۷	۱۴۰۰
۱۹	۱۲	NW	۳	۱۰-Km	NW	۳	-	NW	۷	۲۰۰۰
۱۹	۱۵	W	۲	۱۰-Km	W	۲	۷۰۰	NW	۶	۴۰۰
۱۹	۱۸	-	۰	۱۰-Km	W	۱	۱۰-Km	-	-	-

در شهر اهواز و در تاریخ ۱۹ فوریه، ساعت‌های ۰۰ و ۰۶ UTC جهت باد جنوبی و جنوب شرقی است و دید افقی به شدت کاهش یافته است. به نظر می‌رسد تغییر جهت باد محلی در کاهش ناگهانی این پارامتر موثر باشد. ضمن اینکه سرعت باد در شهر اهواز نسبت به دو شهر دیگر بسیار کمتر است. سرعت وزش باد در جزیره خارک نیز طی ساعت‌های وقوع گرد و خاک



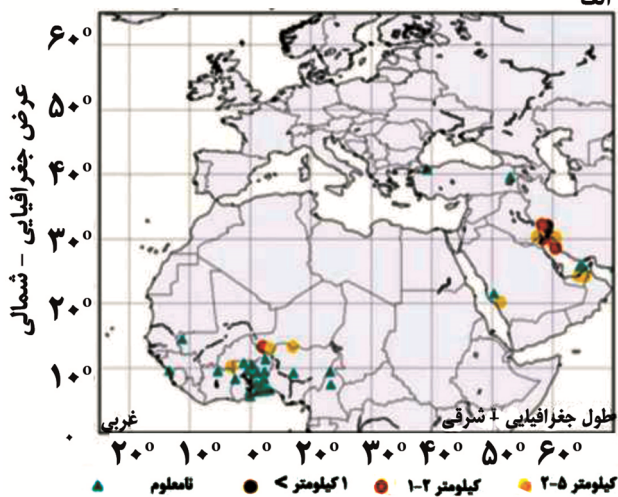
شکل ۶: گره‌های الف) فشار میانگین تراز بر حسب hPa (خطوط توپر)، ارتفاع ژئوپتانسیلی تراز ۵۰۰ hPa بر حسب متر (خطوط به‌صورت خط چین) و پیکان‌های باد ده متری؛ ب) تصویر ماهواره MODIS؛ ج) سرعت باد بر حسب m/s (خطوط توپر) و مولفه قائم سرعت باد بر حسب pa/s (مناطق سایه زده) برای روز ۱۹ فوریه ۲۰۱۷

حضور ناوه کم فشار در شرق ایران که به غرب و به سوی عراق گسترش یافته است و با ناوه‌ی تراز ۵۰۰ hPa همراه است، شیو فشاری بین دو سامانه کم‌فشار و پرفشار شکل گرفته و بادهای شمال‌غربی روی عراق در سطح زمین دیده می‌شوند که از سمت پرفشار به کم فشار جریان دارند (شکل ۵ الف). در سطح ۹۲۵ hPa نیز بیشینه باد شمال غربی با بیشینه ۲۸ نات (۱۴ متر بر ثانیه) در مرکز عراق مشاهده می‌شود. سرعت باد افقی در مرکز جریان جتی سطوح پایین قابل توجه بوده و از این‌رو عامل مهمی در انتقال گرد و خاک به سمت خلیج فارس است. در مرکز جریان جتی سرعت قائم پایین‌سو اجازه گسترش قائم گرد و خاک را نمی‌دهد (شکل ۵ ج). همچنین در جنوب غرب ایران و کویت حرکت‌های پایین‌سویی وجود دارد که با توده گرد و خاک موجود در تصویر ماهواره هماهنگی دارد (شکل ۵ ب). در این سامانه نیز بادهای شمال غربی که به باد شمال مشهور هستند در شکل‌گیری گرد و خاک روی خلیج فارس نقش داشته‌اند.

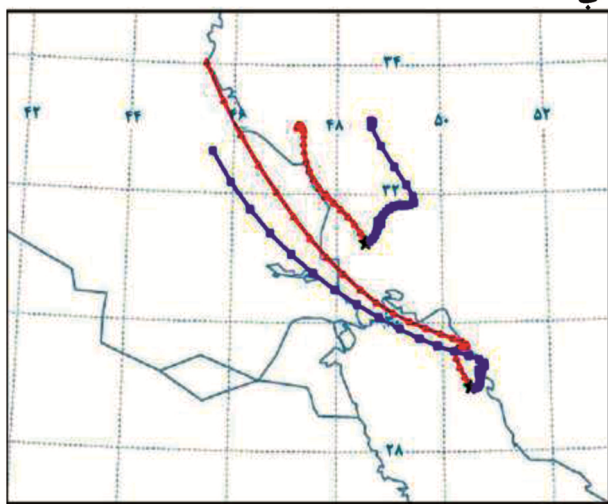
با شکل‌گیری پشته ارتفاعی در تاریخ ۱۹ فوریه، کم‌فشار سطح زمین نیز تضعیف می‌شود که با کاهش سرعت باد ده متری همراه می‌شود (شکل ۶ الف). همان‌طور که از تصویر ماهواره MODIS نیز پیدا می‌باشد، در روز ۱۹ فوریه، گرد و خاک به سمت خلیج فارس انتقال یافته است (شکل ۶ ب). سرعت باد شمال غربی در سطح ۹۲۵ hPa در جنوب شرق عراق به ۱۲ نات (۶ متر بر ثانیه) کاهش یافته است. همچنین سرعت قائم پایین‌سو روی خلیج فارس تقریباً از بین رفته و به جای آن سرعت قائم بالاسو شکل گرفته است که می‌تواند ناپایداری جو را به دنبال داشته باشد (شکل ۶ ج). با مقایسه سه سامانه همدیدی می‌توان دریافت که شکل‌گیری بادهای شمال غربی منجر به گسترش گرد و خاک از عراق به ایران می‌شود که در مورد سپتامبر باد شمال تابستانی و در دو مورد مارس و فوریه باد شمالی زمستانی می‌باشند که نتایج Middleton (1986) را تایید می‌کند. علاوه بر آن ساختاری همدیدی که منجر به توسعه بادهای شمال غربی می‌شود در هر سه مورد متفاوت هستند. در سپتامبر ساختار همدیدی گرمایی و در دو مورد دیگر دینامیک است. به همین دلیل مقدار سرعت باد افقی و قائم متفاوت بوده و در نتیجه شدت و تداوم گرد و خاک در هر سه مطالعه موردی متفاوت است. با این وجود، مشاهده شد که در تمامی مطالعات شیو فشاری عامل مهمی در سطح زمین برای ایجاد بادهای قوی و انتقال گرد و خاک است. این نتیجه نیز توسط Mashat و Awad (۲۰۱۴) تایید شده است.

شود. برون داد مدل DREAM نیز تداوم کاهش دید در استان خوزستان را نشان می دهد که از شدت آن نیز کاسته شده است. از سوی دیگر، کاهش دید افقی روی خلیج فارس نشان دهنده کاهش غلظت گرد و خاک در اثر گسترش آن به سایر مناطق است (شکل ۸ الف). ضمن این که، مسیر ذره بر اساس مدل HYSPLIT هم چنان جهت انتقال را از سمت عراق به ایران نشان می دهد (شکل ۸ ب).

الف



ب

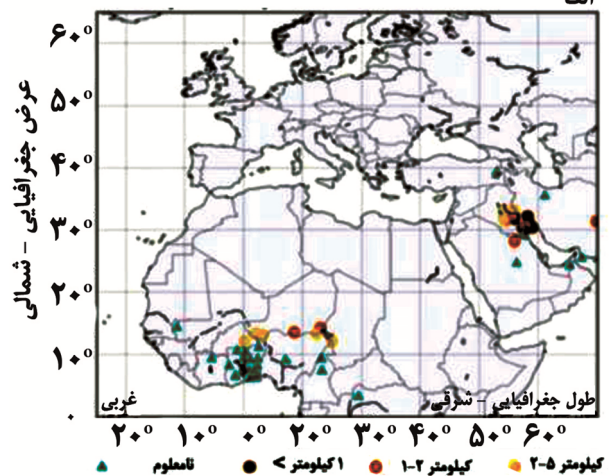


شکل ۸: برون دادهای الف) دید افقی مدل DREAM؛ ب) مسیر حرکت گرد و خاک مدل HYSPLIT (خط کم رنگ ارتفاع ۷۰۰ و خط پررنگ ارتفاع ۱۵۰۰ متری)، ۱۹ فوریه ۲۰۱۷

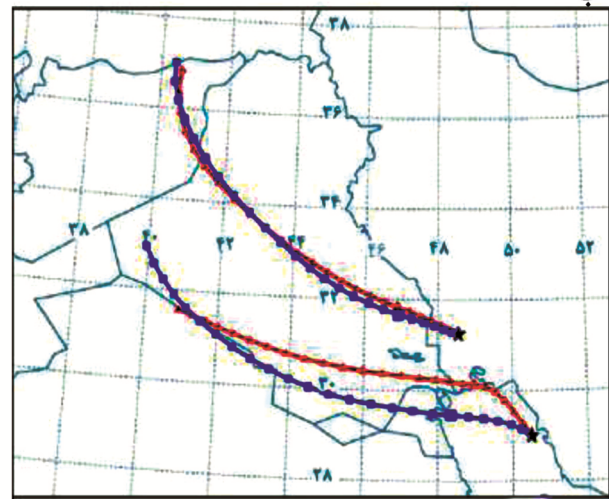
همان گونه که پیش تر نیز بیان شد، شکل گیری جریان جتی سطوح پایین جو، عامل مهمی در انتقال گرد و خاک است (Washington et al., 2006). با توجه به تصاویر ماهواره ای، منبع

در ادامه به منظور مطالعه برخی از مدل های منطقه ای، برون دادهای مدل DREAM و HYSPLIT برای توفان فوریه ۲۰۱۷ نیز بررسی شدند. در شکل ۷ الف برون داد دید افقی مدل DREAM برای روز ۱۸ فوریه مشاهده می شود. در این شکل کاهش دید افقی در جنوب غرب ایران به کمتر از یک کیلومتر به خوبی دیده می شود که با گزارش های دیدبانی دید افقی هماهنگی دارد. برون داد مدل HYSPLIT (شکل ۷ ب) نیز سمت بادهای شمال غربی را در مسیر حرکت گرد و خاک به سمت ایران تایید می نماید.

الف



ب



شکل ۷: برون دادهای الف) دید افقی مدل DREAM؛ ب) مسیر حرکت گرد و خاک مدل HYSPLIT (خط کم رنگ ارتفاع ۷۰۰ و خط پررنگ ارتفاع ۱۵۰۰ متری)، ۱۸ فوریه ۲۰۱۷

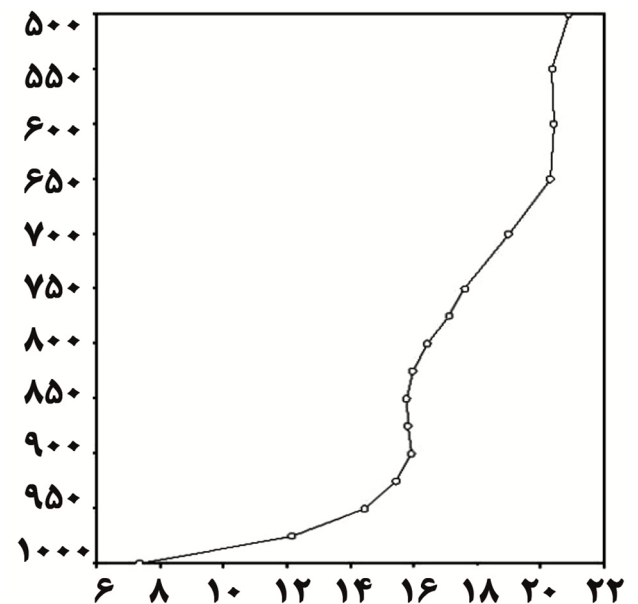
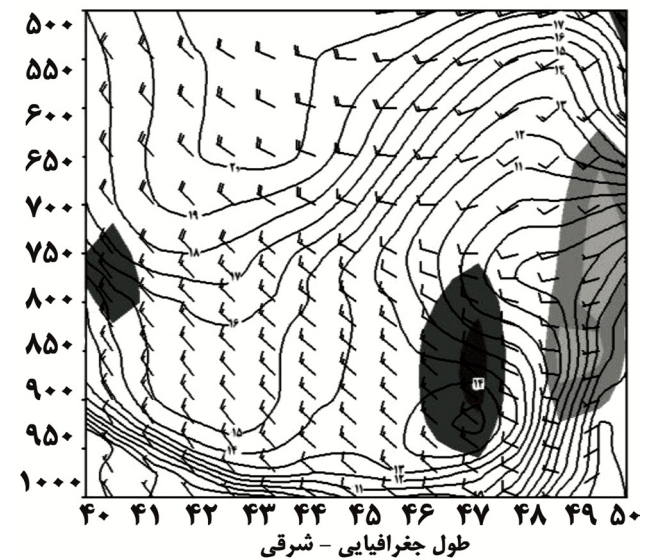
بدین ترتیب با تضعیف شرایط انتقال گرد و خاک (سرعت باد)، انتظار می رود از شدت گرد و خاک در این مناطق کاسته

در این شکل بیشینه سرعت باد ۱۵ متر بر ثانیه در تراز ۹۰۰ hPa در حدود طول جغرافیایی ۴۱ تا ۴۳ شرقی شکل دیده می‌شود که تغییر میدان باد و افزایش سرعت باد را در بخش‌های زیرین جو به خوبی نشان می‌دهد. همچنین در طول جغرافیایی ۴۷ درجه بیشینه سرعت باد دیگری در سطح ۹۲۵ hPa شکل گرفته است. چینش قائم سرعت باد در عرض ۳۲ درجه شمالی و طول ۴۳ درجه شرقی، در شکل ۹ ب دیده می‌شود. وجود چینش باد یکی از مولفه‌های مهم در تعیین وجود جریان جت ترازهای زیرین جو است. بدین ترتیب با شکل‌گیری این جریان جتی روی عراق، گرد و خاک به سمت ایران انتقال می‌یابد.

۴. نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد، الگوهای همدیدی در بررسی‌های موردی حکایت از آن دارد که با استقرار کم فشار در بخش‌های شرقی ایران و گسترش زبانه کم فشار به غرب ایران و بخش‌هایی از عراق جریان‌های شمالی در محدوده‌ی مورد مطالعه شکل می‌گیرند که می‌توانند گرد و خاک را به سمت عرض‌های جنوبی‌تر منتقل کنند. در مطالعات موردی انجام شده، شرایط یاد شده در تراز دریا، با الگوهای متفاوت لایه‌ی میانی جو (تراز ۵۰۰ hPa) از جمله حضور ناوه‌ی ارتفاعی فعال و عمیق در منطقه (مطالعه فوریه ۲۰۱۷)، حاکمیت پشته‌ی قوی ارتفاعی در غرب ایران (مطالعه موردی سپتامبر ۲۰۱۵) و همچنین جریان‌های مداری (مطالعه موردی مارس ۲۰۱۲) همراهی می‌شود. بدین ترتیب، با وجود شرایط متفاوت لایه میانی جو، شیو فشاری در الگوهای سطح زمین می‌تواند به شکل‌گیری گرد و خاک در منطقه غرب و جنوب غرب ایران منجر شود. در واقع، استقرار مرکز کم‌فشار در شرق و جنوب ایران و مرکز پرفشار روی ترکیه و شمال عربستان منجر به تقویت شیو فشاری در امتداد رشته کوه‌های زاگرس شده و با افزایش شیو فشار در منطقه، سرعت باد در سطح زمین در راستای شمال به جنوب نیز افزایش می‌یابد. از این‌رو، در کشور عراق و منطقه خلیج فارس بادهای شمال غربی که به باد شمال معروف هستند شکل گرفته و گرد و خاک را از این مناطق به ایران انتقال می‌دهند. بنابراین، بادهای سطح زمین نقش موثری در انتقال گرد و خاک دارند. چنانچه در اثر نیروی اصطکاک سطحی، هم‌مقدارهای فشار تراز دریا توسط بردارهای باد قطع شوند، نفوذ متمرکز گرد و خاک در راستای شمالی- جنوبی محدود شده و بادهای سطح زمین به گسترش افقی گرد و خاک کمک می‌کنند که

گرد و خاک مورد مطالعه، کشور عراق است که در ساعت‌های بعد از وقوع، به سمت ایران منتقل می‌شود. برای بررسی بیشتر این موضوع، سطح مقطع و نیم‌رخ قائم باد افقی برای ساعت ۱۸ UTC روز هفدهم فوریه ترسیم شد تا نقش جریان جتی در انتقال گرد و خاک بهتر دیده شود. سطح مقطع باد افقی در عرض جغرافیایی ۳۲ درجه شمالی (محدوده مورد مطالعه) در شکل ۹ الف نمایش داده شده است.



شکل ۹: الف) سطح مقطع قائم باد افقی و مولفه قائم باد (نواحی سایه زده شده) در عرض جغرافیایی ۳۲° شمالی و ب) نیم‌رخ قائم مولفه قائم باد در عرض جغرافیایی ۳۲° و طول جغرافیایی ۴۳°، ساعت ۱۸ UTC روز ۱۷ فوریه ۲۰۱۷

2451-2467.

Barkan, J.; Alpert, P., 2008. Synoptic patterns associated with dusty and non-dusty seasons in the Sahara. *Theoretical and Applied Climatology*, 94(3-4): 153-162.

Barkan, J.; Alpert, P., 2010. Synoptic analysis of a rare event of Saharan dust reaching the Arctic region. *Weather*, 65(8): 208-211.

Bishop, J.K.; Davis, R.E.; Sherman, J.T., 2002. Robotic observations of dust storm enhancement of carbon biomass in the North Pacific. *Science*, 298(5594): 817-821.

Claustre, H.; Morel, A.; Hooker, S.B.; Babin, M.; Antoine, D.; Oubelkheir, K.; Bricaud, A.; Leblanc, K.; Queguiner, B.; Maritorena, S., 2002. Is desert dust making oligotrophic waters greener? *Geophysical Research Letters*, 29(10): 107-1.

Gao, Y.; Fan, S.M.; Sarmiento, J.L., 2003. Aeolian iron input to the ocean through precipitation scavenging: A modeling perspective and its implication for natural iron fertilization in the ocean. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 108(D7).

Garrison, V.H.; Shinn, E.A.; Foreman, W.T.; Griffin, D.W.; Holmes, C.W.; Kellogg, C.A.; Majewski, M.S.; Richardson, L.L.; Ritchie, K.B.; Smith, G.W., 2003. African and Asian dust: from desert soils to coral reefs. *AIBS Bulletin*, 53(5): 469-480.

Hamidi, M.; Kavianpour, M.R.; Shao, Y., 2013. Synoptic analysis of dust storms in the Middle East. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*, 49(3): 279-286.

Liu, J.T.; Jiang, X.G.; Zheng, X.J.; Kang, L.; Qi, F.Y., 2004. An intensive Mongolian cyclone genesis induced severe dust storm. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, 15(5): 1019-1033.

McGowan, H.; Clark, A., 2008. Identification of dust transport pathways from Lake Eyre, Australia using Hysplit. *Atmospheric Environment*, 42(29): 6915-6925.

در مطالعات موردی ۱۷ سپتامبر ۲۰۱۵ مشهود است. اما اگر جریان‌های باد تقریباً موازی با هم‌فشارها بوزند، گرد و خاک به‌طور متمرکز به سمت خلیج فارس حرکت می‌کند که مطالعه‌ی موردی ۱۸-۱۹ فوریه ۲۰۱۷ در این دسته قرار دارد.

جریان‌های جتی در تراز زیرین جو، عامل مهمی در انتقال گرد و خاک هستند. این جریان‌ها غالباً با رخداد توفان‌های گرد و خاک پشت جبهه‌ی سرد همراهی می‌شوند. در مطالعه موردی ۱۸-۱۹ فوریه ۲۰۱۷، تقریباً ۱۲ ساعت پیش از شکل‌گیری گرد و خاک در بیابان‌های عراق، با افزایش سرعت باد ده متری به ۱۴ متر بر ثانیه (۲۸ نات) در راستای شمال غربی، شرایط برای ورود ذره‌های گرد و خاک به جو فراهم شد.

خروجی مدل DREAM شکل‌گیری گرد و خاک روی عراق و انتقال آن را به سمت ایران به خوبی نشان داد و میزان کاهش دید برآورد شده با داده‌های دید افقی سازمان هواشناسی هماهنگی داشت و به نظر رسید، خروجی دید افقی این مدل، در رخداد توفان‌های گرد و خاک مناسب است. هرچند که باید موارد متعدد بیشتری برای این مقوله انجام شود. از این‌رو، دیده شده که در توفان‌های شدید برآورد دید افقی این مدل در منطقه مناسب است هرچند که استفاده از آن در فرآیندهای عملیاتی مطالعات بیشتری را می‌طلبد. مدل HYSPLIT نیز مسیر حرکت ذره را در سطوح ۷۰۰ و ۱۵۰۰ متری منطبق با بادهای شمال غربی در راستای انتقال گرد و خاک به سمت ایران به خوبی تایید می‌نماید. ضمن اینکه در روز ۱۹ فوریه، مسیر حرکت ذره در ارتفاع ۷۰۰ متری منشاء محلی را برای شهر اهواز نشان می‌دهد. از سوی دیگر، مقایسه دید افقی در شهرهای اهواز و آبادان و همچنین بررسی میدان باد ۹۲۵ hPa، احتمال منشاء محلی گرد و خاک در شهر اهواز را رد نمی‌کند که این منشا می‌تواند شدت گرد و خاک را افزایش دهد که البته بررسی و مطالعه‌ی دقیق و جامع‌تری را می‌طلبد. البته گرد و خاک در فصل گرم سال نیز منطقه جنوب شرق ایران را به وفور تحت تاثیر قرار می‌دهد که در مطالعه دیگری توسط نگارندگان مقاله در این زمینه، در دست بررسی است.

منابع

Awad, A.M.; Mashat, A.W.S., 2014. Synoptic features associated with dust transition processes from North Africa to Asia. *Arabian Journal of Geosciences*, 7(6):

- storms. Article reproduced from United Nations Environment Programme (UNEP) Global Environmental Alert Service (GEAS), Environmental Development, 6: 117-129.
- Vink, S.; Measures, C.I., 2001. The role of dust deposition in determining surface water distributions of Al and Fe in the South West Atlantic. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 48(13): 2787-2809.
- Vishkaee, A.; Flamant, F.; Cuesta, C.; Oolman, J.; Flamant, L.; Khalesifard, H.R., 2012. Dust transport over Iraq and northwest Iran associated with winter Shamal: A case study. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 117(D3).
- Walter, M.; Wilkerson, D., 1991. Dust and sand forecasting in Iraq and adjoining countries. *Air Weather Service, TN*, 91(001).
- Wang, W., 2005. Synoptic model on East Asian dust emission and transport. In *Atmospheric science and air quality conference*, Beijing, China.
- Washington, R.; Todd, M.C.; Lizcano, G.; Tegen, I.; Flamant, C.; Koren, I.; Ginoux, P.; Engelstaedter, S.; Bristow, C.S.; Zender, C.S.; Goudie, A.S., 2006. Links between topography, wind, deflation, lakes and dust: The case of the Bodélé Depression, Chad. *Geophysical Research Letters*, 33(9) L09401.
- WMO, U., 2013. Establishing a WMO sand and dust storm warning advisory and assessment system regional node for West Asia: current capabilities and needs. *WMO Technical Report*, 1121P.
- Zolfaghari, H.; Abedzadeh, H., 2005. Synoptic analysis of dust storm in west Iran. *Journal of Geophysics and Development*, 6: 175-171.
- Membery, D.A., 1983. Low level wind profiles during the Gulf Shamal. *Weather*, 38(1): 18-24.
- Middleton, N.J., 1986a. Dust storms in the Middle East. *Journal of Arid Environments*, 10(2): 83-96.
- Middleton, N.J., 1986b. A geography of dust storms in South-west Asia. *Journal of Climatology*, 6(2):183-196.
- Mobarak Hassan, E.; Dasht Bozorgh, H., 2012. Wind erosion and 10 meter wind effect on the occurrence of dusty storms in Khuzestan province: February and March 2010. The first national desert conference, Tehran, Center for the Study of Desert.
- Mobarak Hassan, E.; Ghaffarian, P., 2010. Investigation of dust formation mechanism in Khuzestan province in the cold season: Case study January 2005. Second national conference on wind erosion, Yazd. Scientific Association for Management and Control of Desert Regions of Iran.
- Nasrallah, H.A.; Nieplova, E.; Ramadan, E., 2004. Warm season extreme temperature events in Kuwait. *Journal of Arid Environments*, 56(2): 357-371.
- Prospero, J.M.; Ginoux, P.; Torres, O.; Nicholson, S.E.; Gill, T.E., 2002. Environmental characterization of global sources of atmospheric soil dust identified with the Nimbus 7 Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) absorbing aerosol product. *Reviews of Geophysics*, 40(1): 2-1.
- Shinn, E.A.; Smith, G.W.; Prospero, J.M.; Betzer, P.; Hayes, M.L.; Garrison, V.; Barber, R.T., 2000. African dust and the demise of Caribbean coral reefs. *Geophysical Research Letters*, 27(19): 3029-3032.
- UNEP, 2013. Forecasting and early warning of dust