# نقش جت سطوح پایین و تعیین مسیر ترابرد در گردوخاک خلیجفارس (مطالعه موردی: ۱۹-۱۷ فوریه ۲۰۱۷)

## چکیدہ

گردوخاک یک فرایند طبیعی در مناطق بیابانی و صحراها است. وزش بادهای قوی بر سطح خاک خشک سبب معلق شدن ذرات ریز خاک در هوای نزدیک سطح زمین می شود. در سال های اخیر، تأثیر عوامل طبیعی متعددی منجر به گسترش بیشتر گردوخاک به بخشهای غرب و جنوب غرب ایران بوده است. در ۱۷ تا ۱۹ فوریه ۲۰۱۷ توفان گردوخاکی بر روی استان خوزستان و شمال غرب خلیجفارس رخ داد. هدف این تحقیق تعیین منشأ گردوخاک و همچنین بررسی شرایط همدیدی، میدان باد و جت سطوح پایین در شکل گیری و انتقال أن به سمت استان خوزستان و خليج فارس بود. به اين منظور دادههاي هواشناختي از سايت ECMWF تهیه شد و توزیع افقی گردوخاک به کمک تصویر ماهواره MODIS و برون داد مدل DREAM بررسی گردید. همچنین مسیر ترابرد گردوخاک توسط برون داد مدل HYSPLIT تعیین شد. بررسی همدیدی نشان داد، بادهای شمال غربی در شرق سوریه و شمال غرب عراق (باد شمال) در حدفاصل ناوه ارتفاعی از شرق تا غرب ایران و پشته فشاری از ترکیه تا شمال عربستان شکل گرفته بود. بیشینه سرعت باد شمال در تراز ۹۲۵ هکتوپاسکال به ۱۴ تا ۱۶ متر بر ثانیه (۲۸ تا ۳۲ نات) رسید. افزایش سرعت باد ترازهای پایین جو به افزایش سرعت باد ده متری ۹ متر بر ثانیه (۱۸ نات) منجر شده که درنتیجه آن ذرات گردوخاک به جو انتشار یافتند. در طی روز ۱۸ فوریه در جنوب شرق عراق، جت سطوح پایین در سطح ۹۵۰ هکتوپاسکال توسعه یافت. نتیجه آن افزایش تلاطم و گسترش قائم گردوخاک در لایههای پایین جو بود. جهت باد شمال، مسیر پس گردی در مدل HYSPLIT و گل باد منطقه همخوانی داشتند. هر سه جهت باد را شمال غربی نشان داده و انتقال گردوخاک از عراق به سمت خلیجفارس را تائید کردند. منشأ گردوخاک خلیجفارس توسط تصویر ماهواره و مدل DREAM بیابانهای عراق و شرق سوریه تعیین شد.

**واژگان کلیدی:** توفان گردوخاک، جت سطوح پایین، خلیجفارس، مدل DREAM، مدل HYSPLIT.

#### مقدمه

توفانهای گردوخاک یکی از معضلات امروز غرب و جنوب غرب ایران است. شکل گیری گردوخاک و انتقال آن از طریق جو به سایر مناطق مجاور پیامدهای زیستمحیطی نامطلوبی برجای گذاشته و در بخشهای مختلف ازجمله حوزه سلامت، اقتصادی و اجتماعی مشکلاتی را ایجاد مینماید. انتقال گردوخاک ایجادشده در بیابان صحرا (Saharan) واقع در شمال غرب آفریقا به گرینلند رسیده و منجر به افزایش دما تا می شوند که نتیجه آن ذوب شدن یخهای منطقه می باشد (2019, Francis *et al.*). همچنین گردوخاکهای این منطقه به ترکیه نیز رسیده و غلظت PM<sub>10</sub> را به بیش از ۵۰ میکروگرم بر مترمکعب افزایش داده است (Francis *et al.*, 2018).

# الهام مبارک حسن (\*

 ۲. گروه محیطزیست، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

«مسئول مكاتبات: mobarak\_e@yahoo.com

کد مقاله: ۱۳۹۹۰۱۰۷۹۶ تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۱/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۲/۱۰ این مقاله برگرفته از سایر فعالیتهای پژوهشی است.

#### نقش جت سطوح پایین و تعیین مسیر ترابرد در گردوخاک خلیجفارس (مطالعه موردی: ۱۹–۱۷ فوریه ۲۰۱۷) / مبارک حسن

علاوه بر تأثیر گردوخاک در بر روی زمین، انتقال آن به سمت منابع آبی نیز اهمیت ویژهای دارد، زیرا از طریق آن عناصر بسیاری به دریاها و اقیانوسها وارد میشوند (Vink and Measures, 2001). گردوخاکی که وارد آبهای اقیانوسی میشود بر خواص نوری و شیمیایی و زیست دریا تأثیر میگذارد (Claustre *et al.*, 2002). گردوخاک غنی از آهن با منشأ بیابان گبی (Gobi)، باعث افزایش وسیعی در فیتوپلانگتونهای دریایی در اقیانوس آرام شمالی شده است (Claustre *et al.*, 2003). ۴۰ درصد فسفری که توسط جریانات جوی به غرب دریای مدیترانه واردشده، منشأ گردوخاک صحرایی داشته است (Gao *et al.*, 2003). انتقال گردوخاک از شمال آفریقا به کارائیب در کاهش مرجانهای این منطقه دخیل بوده است (Gao *et al.*, 2003; Shinn *et al.*, 2000). از طرفی نفوذ گردوخاک از شبه جزیره عربستان به خلیجفارس، عناصر غذایی کرمصرف ولی ضروری برای فیتوپلانگتونها را فراهم مینماید (Rao *et al.*, 2001).

گردوخاک ابتدا بر روی مناطق بیابانی شکل گرفته و سپس در حین حرکت، محیطهای آبی را تحت تأثیر قرار میدهد بنابراین شناخت ماهیت و منشأ شکل گیری گردوخاک و سازوکار انتقال آنها به سمت منابع آبی اهمیت ویژهای دارد. ایران، عراق و عربستان جز کانونهای مهم گردوخاک میباشند که این گردوخاک میتواند به سوی خلیچفارس انتقال یابد. با توجه به منشأ، مسیر حرکت و شدت گردوخاک تأثیر آن بر مشخصههای آبی خلیچفارس متفاوت خواهد بود. ساختار همدیدی عامل مهمی در ایجاد جریانهای جوی و انتقال گردوخاک با منشأ خارجی به سمت ایران است. تحلیلهای همدیدی نشان میدهد که بادهای سطحی قوی همراه با نزدیک شدن یک چرخند یا عبور جبهه سرد منجر به تولید گردوخاک میشود (2008 ...Tsai *et al.* 2008). سازوکار سامانههای همدیدی (Synoptic) (آب و هوایی) که در غرب آسیا (خاورمیانه) منجر به تولید گردوخاک میشود (شش ماه دوم) سال، سامانههای موثر در شکل گیری و انتقال گردوخاک در طی این دو بازه با همدیگر تفاوت ویژهای دارند. توفانها اول) و سرد (شش ماه دوم) سال، سامانههای موثر در شکل گیری و انتقال گردوخاک در طی این دو بازه با همدیگر تفاوت ویژهای دارند. توفانها زئوپتانسیل ۵۰۰۰ میدان باد، دیده شد که سامانههای موثر در شکل گیری و انتقال گردوخاک در طی این دو بازه با همدیگر تفاوت ویژهای دارند. توفانها در فصل سرد سال ساختار دینامیکی داشته و غالباً از نوع جبههای میباشند. در دوره سرد سال با استفاده از نقشههای فشار متوسط تراز دریا، ارتفاع زئوپتانسیل ۵۰۰۰ میدان باد، دیده شد که سامانههای مهاجر همراه با بادها غربی و جت قطبی منجر به شکل گیری گردوخاک در غرب ایران شدهاند. (خسروی و همکاران، ۱۳۸۹). ذوالفقاری و همکاران (۱۳۸۴) در بررسی همدیدی توفانهای گردوغباری برای چند موج توفانی در فرس ال در استی مولی و از میزه مول در سال (خسروی و همکاران، ۱۳۸۹). ذوالفقاری و همکاران (۱۳۸۴) در بررسی همدیدی توفانهای گردوغباری برای پند موج توفانی در فرس سال نشان دادند که فرود تراز میانی جو و سیکلونهای زمینی در انتقال گردوغبار از بیابانهای عراق سوریه و اردن، مؤثر هست. در فصل سرد سال نشان دادند که فرود تراز میانی جو و سیکلونهای دریان شکل گرفته و ناوه از آنها همراه با هوای سرد به فاورمیانه انتقال مییابد. (عطایی هسته کم ارتفاع و امواج غربی بر روی اروپا و دریای مدیرانه شکل گرفته و ناوه از آنها همراه با هوای سرد به فورمیانه انتقال

شکل گیری شیو فشار افقی در منطقه گذر بین سامانه کم فشار و پرفشار باعث افزایش سرعت باد می شوند (Xu et al., 2004). در شرایطی که بیشینه سرعت باد در ارتفاع کمتر از ۳۰۰۰ متری از سطح زمین (۷۰۰ هکتوپاسکال) به بیش از ۱۲ متر بر ثانیه برسد به آن جتهای سطوح پایین در (LLJ) (LLJ) (Low level jet) گفته می شود (Hoecker, 1963 Bass et al., 2009 Blackadar, 1957). جتهای سطوح پایین در شکل گیری توفانهای گردوخاک در مناطق خشک و نیمهخشک، نقش کلیدی دارند (Fiedler et al., 2013). جتهای سطوح پایین در فکل گیری توفانهای گردوخاک در مناطق خشک و نیمهخشک، نقش کلیدی دارند (Fiedler et al., 2013) انتشار گردوخاک در خاورمیانه و Senafi and Anis, 2015 Rao et al., 2001) باد شمال یکی از مهم ترین عامل های انتشار گردوخاک در خاورمیانه و عراق است که به واسطه الگوهای همدیدی متفاوت در دو فصل زمستان و تابستان می گیرد (Membery, 1983). تأثیر باد شمال تابستانی در گردوخاک در خاورمیانه و (Membery, 1983). تأثیر باد شمال تابستانی در گردوخاک عراق و خلیجفارس در مطالعههای پیشین اشاره شده است (نوری و همکاران، ۱۹۹۶؛ ۲۰۱۰ و کاهش دید (Membery, 1983). تأثیر باد شمال تابستانی در گردوخاک عراق و خلیجفارس در مطالعه های پیشین اشاره شده است (نوری و همکاران، ۱۹۹۶) ۲۰۱۰ و کاهش دید (مطالعه ید مطالعه و مکاران (۲۰۱۷) تائید شده است.

نقش جت در توسعه توفانهای گردوخاک توسط Alharbi و همکاران (۲۰۱۱) مطالعه شده است که نتیجه نشان میدهد جت جنب حاره هوای فلات عربستان را به سمت عرضهای بالا کشیده و جت قطبی هوای عرضهای بالا را به سمت عرضهای جنوبی تر انتقال میدهد و برهم کنش آن دو یکی از عاملهای ایجادکننده جت سطوح پایین است. انتشار گردوخاک در سرتاسر سال در منطقه بودل (Bodele) در کشور چاد عمدتاً به دلیل جتهای سطوح پایین است (Washington et al., 2006). حدود ۶۵ درصد از فعالیتهای گردوخاک بر روی صحرا به دلیل شکست جتهای شبانه است (Schepanski et al., 2009).

در ایران نیز علیزاده و همکاران ۲۰۱۴ نشان دادند که جتهای سطوح پایین با جهت شمالی در امتداد مرز ایران و افغانستان واقع در ۳۰۰ تا ۵۰۰ متری سطح زمین در ماه جولای و با بیشینه سرعت باد ماهانه با مقدار ۲۰ متر بر ثانیه در میانههای شب میوزند. Nicholson (۲۰۱۵) به بررسی گردوخاک در مرز ایران و افغانستان پرداخته است. در این مطالعه به نقش جت سطوح پایین اشاره شده است. جتها از ماه می تا سپتامبر و در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال مشاهده می شوند. رنجبر و همکاران ۱۳۹۵ به بررسی گردوخاکهای غرب کشور پرداختهاند. یافتههای آنها نشان می دهد که یکی از عوامل مؤثر در گردوخاک جت سطوح پایین است. نتایج حاصل از بررسیها نشان داد که در سامانههای جوی منجر به تولید و انتقال گردوخاک در منطقه، جتی با جهت شمال غربی و شمالی در نواحی پست مرکزی و شرقی عراق تشکیل می شود

ویژگیها جت سطوح پایین ازجمله سرعت باد افقی، تلاطم عمودی و همچنین افزایش سرعت باد سطحی در شدت و انتشار افقی و عمودی گردوخاک نقش ویژهای دارند. یکی از نقش جت سطوح پایین جو انتقال افقی ذره گردوخاک در یک لایه عمیق از جو است (مفیدی ۱۳۹۰). سرعت باد افقی در محور جت نقش مؤثری در انتقال افقی گردوخاک به مناطق دورتر دارد. دیگر بادهای سطوح پایین قدرت انتقال ذرات را تا مدت و مسافت زیادی ندارند اما ذرههای کوچکتر از ۱۰۰ میکرون را به مدت چند روز یا هفته و تا چندین کیلومتر دورتر از منطقه شکل گیری جابهجا مینمایند. آستانه بیشینه سرعت باد جت سطوح پایین برای انتشار گردوخاک بیش از ۱۶ متر بر ثانیه تعیینشده است (Mashington, 2014; Fiedler *et al.*, 2013).

یکی از سازوکارهای که منجر به افزایش سرعت باد سطحی (باد ده متری) می شود، انتقال تکانه از جت سطوح پایین (Low level Jet) به سطح زمین است (Fiedler *et al.*, 2013; Schepanski *et al.*, 2009; Knippertz, 2008; Washington and Todd, 2005). وقوع بادهای است (Fiedler *et al.*, 2013; Schepanski *et al.*, 2009; Knippertz, 2008; Washington and Todd, 2005). وقوع مامل اصلی انتشار گردوخاکها می باشند. اگر سرعت باد در منطقه ای با خاک خشک و پوشش گیاهی تنک از حد آستانه ای Tegen, 2003; Lu and Shao, 1999; Chen *et al.*, 2013; Shao *et al.*, 2003; Lu and Shao, 1999; Chen *et al.*, 2013; Shao *et al.*, 2003; Lu and Shao, 1999; Chen *et al.*, 2013; Shao *et al.*, 2001; Westphal *et al.*, 1988 بیشتر شود؛ ذره های گردوخاک را با خود وارد جو می نماید ( Tegen, 2003; Lu and Shao, 1999; Chen *et al.*, 2013; Shao *et al.*, 2003; Lu and Shao, 1999; Chen *et al.*, 2013; Shao *et al.*, 2001; Westphal *et al.*, 1988 به شرایط سطحی خاک متفاو می استانه سرعت باد سطحی (نزدیک زمین) مؤثر در انتشار گردوخاک در مناطق مختلف و با توجه به شرایط سطحی خاک متفاوت است. در شرایطی که واداشتهای جوی سرعت باد را افزایش داده و سرعت باد بتواند به سرعت آستانه محلی غلبه شرایط سطحی خاک متفاوت است. در شرایطی که واداشتهای جوی سرعت باد را افزایش داده و سرعت باد در شکل گیری گردوخاک در مناطق مختلف و با توجه نماید منجر به شکل گیری گردوخاک می گردد (Marticorena and Bergametti, 1995). آستانه سرعت باد در شکل گیری گردوخاک در نواحی بیابانی شمال شرق آسیا بیش از ۶ یا ۷ متر بر ثانیه تعیین شده است (Marticorena and Bergametti, 1995).

یکی از مهمترین فاکتورهای موردبررسی در توفانهای گردوخاک شناخت دقیق منشأ شکل گیری آنها است؛ زیرا نوع و اندازه ذره در نوع و میزان آلایندگی و تیرگی جو، تغییر ویژگی منابع آبی و همچنین سلامت انسان و آبزیان تأثیر ویژهای دارد. همچنین با آگاهی از منطقه دقیق تولید گردوخاک میتوان راهکارهای احتمالی پیش گیری را ارائه نمود. بر اساس مطالعه زراسوندی و همکاران (۲۰۱۰) منابع و منشأ اصلی گردوغبارهای وارده به استان خوزستان، دریاچههای خشکشده و نواحی آبرفتی عاری از پوشش گیاهی جنوب عراق، بیابانهای النفود و دهناء در شمال عربستان، صحرای بادیه الشام در جنوب شرق سوریه می باشند. عطایی و احمدی (۲۰۱۰) نیز بر اساس تصویر ماهواره دو کانون اصلی منطقه غرب بغداد و موصل تا بحرالملح و هور العظیم را معرفی نمودند؛ که یکی منشأ خارجی و دیگری منشأ داخلی محسوب میشود. مدل HYSPLIT مدل جوی است که توسط آن میتوان منشأ گردوخاک را تعیین نمود. در این زمینه مطالعههای متعددی انجام شده است. ریوندی و همکاران (۲۰۱۲

## نقش جت سطوح پایین و تعیین مسیر ترابرد در گردوخاک خلیجفارس (مطالعه موردی: ۱۹–۱۷ فوریه ۲۰۱۷) / مبارک حسن

به طور کلی بیشتر مطالعه های که از مدل HYSPLIT استفاده شده محدوده در حدفاصل شمال عراق، شرق سوریه تا شمال عربستان را به عنوان کانون های گردوخاک غرب ایران تعیین نموده اند.

بهمنظور جلوگیری از خسارتهای احتمالی، اعلام هشدار جهت کاهش آسیبهای توفانهای گردوخاک، شناخت منشأ (درون یا برونمرزی)، همچنین سرعت و مسیر حرکت آنها اهمیت ویژهای دارد. گرچه در مطالعههای بسیاری سازوکار شکل گیری گردوخاک موردبررسی قرارگرفته، اما تأثیر جت سطوح پایین و تعیین مشخصههای آن شامل آستانه سرعت باد، قدرت و عمق جت در انتشار و شدت گردوخاک دور ازنظر مانده است. در این تحقیق به بررسی سرعت و جهت باد در لایههای زیرین جو و بهویژه جت سطوح پایین و مشخصههای آن در انتقال گردوخاک بهسوی خلیجفارس پرداخته می شود. به این منظور یک مورد گردوخاک رخداده در فصل سرد سال (فوریه ۲۰۱۷– بهمن ۱۳۹۵) که خلیجفارس را تحت تأثیر قرارداد، انتخاب شد.

# مواد و روشها

منطقه موردمطالعه شامل غرب ایران، خلیجفارس و عراق در شکل ۱ آمده است. ایستگاههای آبادان و اهواز در جنوب غرب ایران (استان خوزستان) و بوشهر و خارک (استان بوشهر و منطقه خلیجفارس) و برخی ایستگاههای واقع در کشور عراق در شکل ۱ ارائهشده است. نقاط شاهد در شکلهای تحلیل همدیدی همانند شکل ۱ با دایره سبزرنگ نمایش دادهشدهاند.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی ایستگاههای شاهد در ایران و عراق.

بهمنظور انتخاب توفان گردوخاک دادههای دیدبانی از سازمان هواشناسی کشور تهیه شد. مبنای انتخاب توفان کاهش دید افقی گزارش شده توسط سازمان هواشناسی با کد ۰۶ و ۰۷ بود. کاهش دید افقی به معنای افزایش گردوخاک است. بر اساس این دادهها گردوخاک ۲۱ تا ۱۹ فوریه ۲۰۱۷

نشريه علمي زيستشناسي دريا / دانشگاه آزاد اسلامي واحد اهواز

بهصورت موردی انتخاب شد. وجود گردوخاک توسط برون داد مدل Dust Regional Atmospheric Model) DREAM) و تصاویر دریافتی از ماهواره MODIS مورد تائید قرار گرفت.

مدل DREAM، مدلی هواشناسی بوده و بر اساس معادله غیرخطی تفاضل متناهی اویلری برای معادله پیوستگی جرم گردوخاک حل می شود. غلظت گردوخاک یکی از معادلههای حاکم پیشیابی در مدلهای پیش بینی عددی جوی است. این مدل با استفاده از دادههای ایستگاههای هواشناسی بهویژه دید افقی در کل جهان توسط کشور اسپانیا اجرا می شود. خروجی این مدل تصویری بوده و توزیع دید افقی را در بازه زمانی ۶ ساعته نشان می دهد.

منشأ یابی گردوخاک و مسیر ترابرد آن به کمک تصاویر حاصل از مدل HYSPLIT ( Agrangian ) HYSPLIT منشأ یابی گردوخاک و Integrated Trajectory Model) تحلیل شد. مدل HYSPLIT مدلی است با دو رهیافت لاگرانژی و اویلری که توسط آن می توان مسیر پیشین ذرات را در جو ردیابی نمود. این مدل برخط (Online) بوده و با تعیین فاصله زمانی، طول و عرض جغرافیایی ایستگاه شاهد و ارتفاع از سطح زمین، مسیر پس گردی (Backward trajectory) ذره تعیین می شود. به منظور بررسی مسیر پس گردی ذره گردوخاک در این تحقیق دو ایستگاه شاهد اهواز و جزیره خارک از ساعت UTC ۱۸ روز ۱۸ فوریه تا ۳۶ ساعت قبل و در ارتفاعات ۵۰۰ و ۷۰۰ متری انتخاب شدند. همچنین به منظور تحلیل همدیدی از داده های بر خط موجود در شبکه جهانی ECMWF ) ECMWF (داده های بر خط موجود در شبکه جهانی -European Reanalysis Weather Forecasting) استفاده شده است (تارنما در منابع). این داده ها با تفکیک ۰/۷۵ \*۰/۷۵ درجه برای منطقه موردمطالعه استخراج شد و بر اساس آنها گرتههای (Countour) میانگین فشار تراز دریا برحسب هکتوپاسکال ( hPa)، از ارتفاع ژئوپتانسیل سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال برحسب متر ( *m* )، سرعت باد ده متری و همچنین سرعت افقی برحسب متر بر ثانیه (  $\frac{m}{m}$  ) و سرعت قائم باد برحسب پاسکال بر ثانیه ( <u>pas</u> ) در تراز ۹۲۵ هکتوپاسکال (معادل ۷۶۲ متری) بهصورت جداگانه ترسیم شد. ازآنجایی که شکل گیری جت سطوح پایین نقش مهمی در شکل گیری و انتقال گردوخاک از سمت عراق به ایران دارد در بررسیها تراز ۹۲۵ هکتوپاسکال انتخاب شد. این تراز موقعیت و سرعت جت سطح پایین جو را بهخوبی نشان میدهد. سرعت باد در این تراز میتواند معرف خوبی برای تغییر سرعت باد در بخشهای زیرین ترپوسفر است. علاوه بر ساختار همدیدی و بهمنظور تحلیلهای بیشتر سرعت باد ده متری جهت تعیین اُستانه سرعت باد، برش عمودی و افقی جهت نمایش جت سطوح پایین و گل باد جهت معرفی باد غالب منطقه ارائه خواهند شد. در بخش اول یافتهها، به بررسی سازوکار شکل گیری گردوخاک و استفاده از تصویر ماهواره در آشکاری سازی آن پرداخته شد. در بخش دوم فرآیندهای که منجر به ترابرد گردوخاک بهسوی استان خوزستان و خلیجفارس شدهاند، موردبررسی قرار گرفت.

#### نتايج

جدول ۱ دادههای دیدبانی دید افقی را در سه ایستگاه آبادان و اهواز در طی روزهای ۱۸ تا ۱۹ فوریه (۳۰ بهمن و ۱ اسفند ۱۳۹۵) نشان میدهد. در روز ۱۸ فوریه ساعت UTC ۲۰ دید افقی در شهرهای اهواز و آبادان به ۳۰۰۰ متر کاهشیافته و در ساعتهای بعد (۰۶، ۹۰ و ۱۲) دید افقی در شهر اهواز تا ۵۰۰ متر نیز کاهشیافته است. بیشترین کاهش دید در شهر اهواز و در روز ۱۸ فوریه تجربهشده است. در ساعتهای بعدی دید افقی افزایشیافته که نشاندهنده کاهش غلظت آن است اما همچنان تا ساعت ۱۵ روز ۱۹ فوریه در منطقه تداوم دارد در جزیره خارک کاهش دید از ساعت ۱۲ روز ۱۸ فوریه آغازشده و تا ساعت ۱۵ روز ۹۹ فوریه ادامه دارد. به این ترتیب دید افقی در خارک ۹ ساعت بعد از کاهش دید در اهواز و آبادان مشاهده می شود که نشاندهنده ترابرد گردوخاک به خلیجفارس است. نقش جت سطوح پایین و تعیین مسیر ترابرد در گردوخاک خلیجفارس (مطالعه موردی: ١٩-١٧ فوریه ۲۰۱۷) / مبارک حسن

	آبادان					اهواز		خارک		
روز	ساعت	جهت	سرعت باد	دید افقی	جهت	سرعت باد	دید افقی	جهت	سرعت باد	ديد افقي
	(UTC)	باد	(m/s)	(m)	باد	(m/s)	(m)	باد	(m/s)	(m)
۱۸	•	NW	۴	۱۰Km	NE	١	۱۰Km			
۱۸	٣	W	۴	۳۰۰۰	NW	٣	۲۵۰۰	NW	١٢	۱۰Km
۱۸	۶	W	۴	۵۰۰	W	٢	۵۰۰	NW	١.	۱۰Km
۱۸	٩	NW	٣	7	NW	٢	۵۰۰	NW	٨	۱۰Km
۱۸	17	W	۵	۳۰۰۰	W	٢	٧٠٠	NW	Y	۳۰۰۰
۱۸	۱۵	NW	۴	۱۲۰۰	W	٢	۱۰۰۰	NW	٨	۱۰۰۰
۱۸	۱۸	Ν	٣	۳۰۰۰	NW	١	۱۰۰۰	-	-	-
۱۸	71	Ν	١	20	NW	١	14	-	-	-
١٩	•	W	١	20	S	١	۱۵۰۰	-	-	-
١٩	٣	W	٢	7	NW	٢	۱۵۰۰	Ν	۴	17
١٩	۶	NW	٣	۵۰۰۰	SE	١	))	NW	۶	14
١٩	٩	NW	۵	۱۰Km	Ν	٢	۲۸۰۰	NW	۷	14
١٩	17	NW	٣	۱۰Km	NW	٣	0	NW	٧	7
١٩	۱۵	W	٢	۱۰Km	W	٢	٧٠٠٠	NW	۶	۴۰۰۰
١٩	۱۸	-	•	۱۰Km	W	١	۱۰Km	-	-	-

جدول ۱: دیدبانی باد و دید افقی در شهرهای اهواز، آبادان (خوزستان) و جزیره خارک (خلیجفارس) در تاریخ ۱۸ و ۱۹ فوریه ۲۰۱۷.

در طی این دو روز جهت باد در هر سه ایستگاه شمال، شمال غرب و غرب است؛ که در بخش بعدی با نتیجه مدل HYSPLIT و گل باد مقایسه خواهد شد. سرعت باد در شهر اهواز نسبت به دو شهر دیگر بسیار کمتر است. سرعت وزش باد در خارک در طی ساعتهای وقوع گردوخاک کاهشیافته است که نشاندهنده برونمرزی بودن آن است.

در ساعتUTC ۱۲ روز ۱۷ فوریه، کمفشار ۱۰۰۵ هکتوپاسکال در بخشهای شرقی ایران بهواسطه حضور ناوه ارتفاعی عرضهای بالاتر فعال شده و ناوه آن تا شمال عراق گسترشیافته است (شکل ۲ الف). مرکز پرفشار ۱۰۳۰ هکتوپاسکال، بر روی دریای سیاه قرار داشته و پشته آن به شمال عربستان گسترشیافته است (شکل ۲ الف). در حدفاصل بین آن دو شیو فشار افزایشیافته و باد از پرفشار بهسوی کمفشار توسعهیافته است. جهت باد شمال غربی بوده و از شرق سوریه، شمال غرب عراق تا شمال خلیجفارس را در برگرفته است (شکل ۲ لف). این بادها از نوع باد شمال بوده و یکی از ساختارهای شکل گیری گردوخاک در این منطقه هستند. بیشینه سرعت باد ۱۴ متر بر ثانیه (۲۸ نات) در شمال غرب عراق و شرق سوریه در تراز ۹۲۵ هکتوپاسکال مشاهده می شود (شکل ۲ ب). سال دوازدهم، شماره چهل و پنجم، بهار ۱۳۹۹

نشريه علمي زيستشناسي دريا / دانشگاه آزاد اسلامي واحد اهواز



شکل ۲: الف) خط مشکی گرته فشار میانگین تراز دریا (هکتوپاسکال) و خط قرمز ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۰۰۰ هکتوپاسکال (متر)، پیکان جهت باد (آبی)، ب) خط مشکلی سرعت باد (متربر ثانیه) و مناطق هاشور خورده سرعت قائم (پاسکال بر ثانیه) سطح ۹۲۵ هکتوپاسکال ۱۸ UTC روز ۱۷ فوریه ۲۰۱۷، عراق و ایران.

سه ایستگاه آنا، هتل وان و هدیتها در مرکز بیشینه سرعت باد قرار دارند. تغییر زمانی سرعت باد ده متری در ایستگاه هتل وان و هدیتها در طی روزهای ۱۷ و ۱۸ فوریه ترسیمشده است (شکل ۳). از ساعت ۰۰ تا ۱۲ UTC روز ۱۷ فوریه در هدیتها سرعت باد از ۲/۵ به ۵/۵ متر بر ثانیه و در هتل وان از ۳/۸ تا ۶/۶ متر بر ثانیه افزایش داشتهاند (شکل ۳). افزایش سرعت باد ده متری همراه با شکل گیری بیشینه سرعت باد تراز ۹۲۵ هکتوپاسکال است. به کمک تصویر ماهواره MODIS میتوان مشاهده نمود در شرق سوریه و شمال غرب عراق توده گردوخاکی شکل گرفته شده است (شکل ۴ الف). به این ترتیب شکل گیری باد شمال با سرعت ۱۴ متر بر ثانیه در این مناطق منجر به افزایش سرعت باد ده متری تا ۹ متر بر ثانیه شده و انتشار گردوخاک را به دنبال داشته است. در تصویر حاصل از مدل DREAM کاهش دید افقی در طی ساعتهای ۱۲ تا ۸۸ UTC در بخشهای مرکزی عراق رخداده است (شکل ۴ ب) که میتوان دریافت در این ساعتها توفان گردوخاک به سمت جنوب شرق حرکت نموده و بخشهای مرکز عراق را در برگرفته است.



شکل ۳: سرعت باد ده متری در ایستگاههای هتل وان و هدیتها در در طی روزهای ۱۷ تا ۱۹ فوریه ۲۰۱۷، غرب عراق.

نقش جت سطوح پایین و تعیین مسیر ترابرد در گردوخاک خلیجفارس (مطالعه موردی: ١٩–١٧ فوریه ۲۰۱۷) / مبارک حسن



شکل ٤: الف) تصویر ماهواره MODIS روز ۱۷ فوریه عراق و ایران، ب) برون داد دید افقی مدل DEREAM برای ساعت ۱۲ تا UTC روز ۱۷ فوریه، ۲۰۱۷.

در جدول ۱ بیشترین کاهش دید افقی در اهواز و آبادان در ساعت UTC۰۶ روز ۱۸ فوریه و در خارک در ساعت ۱۵ همان روز رخداده است که نشان میدهد بیشترین شدت گردوخاک به استان خوزستان رسیده و در طی ۹ ساعت بعد بهسوی استان بوشهر حرکت نموده است. در این بخش فرآیندهای مؤثر در انتقال گردوخاک بهسوی خلیجفارس بررسی میشود. در ساختار همدیدی، گرته ی فشار سطحی افزایش کمفشار را به ۱۰۱۰ هکتوپاسکال و حرکت به سمت شرق ایران نشان میدهد (شکل ۵ الف)، اما پرفشار به ۱۰۳۵ هکتوپاسکال تقویت و به سمت عرضهای پایین تر انتقال یافته است (شکل ۵ الف). گسترش پشته عمیقی از آن به غرب عراق و عربستان منجر به تشدید شیو فشاری و بادها شمال تا ۱۶ متر بر ثانیه در این مناطق شده است (شکل ۵ الف). گسترش پشته عمیقی از آن به غرب عراق و عربستان منجر به تشدید شیو فشاری و بادها شمال تا ۱۶ متر بر ثانیه در این مناطق شده است (شکل ۵ ب). ایستگاههای هبانیه و نجف در عراق در جلوی سلول بیشینه باد قرار دارند. افزایش ۲ متر بر ثانیهای سرعت باد، انتقال بیشینه سرعت باد به بخشهای غربی عراق و جهت شمال غربی بادها سه عامل مهم در ترابرد گردوخاک بهسوی خوزستان و خلیجفارس هستند.

در ساختار باد ۹۲۵ هکتوپاسکال بیشینه سرعت باد دیگری با سرعت ۱۶ متر بر ثانیه در جنوب شرق عراق و جنوب غرب ایران دیده میشود که میتواند در ترابرد گردوخاک مؤثر باشد. ایستگاههای اماره، سماوا، بصره در عراق و اهواز و آبادان در ایران در محدوده آن قرار دارند.

نشریه علمی زیستشناسی دریا / دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز

سال دوازدهم، شماره چهل و پنجم، بهار ۱۳۹۹



شکل ۵: الف) خط مشکی گرته فشار میانگین تراز دریا (هکتوپاسکال) و خط قرمز ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۰۰۰ هکتوپاسکال (متر)، پیکان جهت باد (آبی)، ب) خط مشکلی سرعت باد (متر بر ثانیه) و مناطق هاشور خورده سرعت قائم (پاسکال بر ثانیه) سطح ۹۲۵ هکتوپاسکال ۱۸ UTC ۱۸ روز ۱۸ فوریه، ۲۰۱۷، عراق و ایران.

به منظور بررسی نقش جت در ترابرد گردوخاک ایستگاه بصره منطبق بر بیشینه باد دوم، اهواز در استان خوزستان و خارک در خلیجفارس انتخاب شدند. در اهواز و خارک (شکل ۶ الف وب) سرعت باد در تراز ۹۵۰ هکتوپاسکال به بیشینه مقدار رسیده است. سرعت باد در اهواز ۵/۱۸ و در خارک شدند. در اهواز و خارک (شکل ۶ الف وب) سرعت باد در تراز ۹۵۰ هکتوپاسکال به بیشینه مقدار رسیده است. سرعت باد در اهواز ۵/۱۸ و در خارک ۱۳۹۸ متر بر ثانیه بوده و گردوخاک نیز شکل گرفته است. سرعت باد اهواز از آستانه تعریف شده در جت سطوح پایین کمتر است اما دیگر مشخصههای آن را دارد که در ادامه شرح داده می شود. در اهواز و خارک مشخصههای جت مانند کاهش سرعت باد در لایههای بالاتر (برش منفی) در تمام ساعتهای روز ۸۱ فوریه مشاهده می شود. در اهواز و خارک مشخصههای جت مانند کاهش سرعت باد در لایههای بالاتر (برش منفی) در تمام ساعتهای روز ۱۸ فوریه مشاهده می شود گرچه در ساعت ۱۲ اندکی ضعیف می شود اما مجدداً در ساعت ۸۱ تقویت شده است. منفی) در تمام ساعتهای روز ۸۸ فوریه مشاهده می شود گرچه در ساعت ۱۲ اندکی ضعیف می شود اما مجدداً در ساعت ۸۱ تقویت شده است. منفی) در تمام ساعتهای روز ۸۱ فوریه مشاهده می شود گرچه در ساعت ۱۲ اندکی ضعیف می شود اما مجدداً در ساعت ۸۱ تقویت شده است. منفی از مای عمودی باد در بصره از ساعت ۱۲ اندکی ضعیف می شود اما مجدداً در ساعت ۸۱ تقویت شده است. در هر نمایه عمودی باد در بصره در ساعت ۱۰ و ۶۰ شکل گیری بیشینه باد را در تراز هکتوپاسکال نشان می دهد (شکل ۶ پ). ساختار جت سطوح پایین نمایه عمودی باد در بصره در ساعت ۱۰ و ۲۰ با بصره تفاوت دارد. در بصره از ساعت ۱۲ به بعد جت سطوح پایین شکسته شده و از بین رفته است. در هر امواز و خارک در ساعت ۱۰ و ۱۲ با بصره تفاوت دارد. در بصره از ساعت ۱۲ به بعد جت سطوح پایین شکسته شده و از بین رفته است. در هر امواز و خارک در ساعت ۱۰ مان کاهش یافته است (شکل ۶). مشخصههای جت سطوح پایین در جدول ۲ با جزییات بیشتری الرائه می است.

در اهواز، خارک و بصره در روز ۱۸ فوریه بیشینه سرعت باد به ترتیب ۱۸/۵۸ ۱۳/۹۸ و ۱۳/۹۸ متر بر ثانیه هست، همچنین برش مثبت باد در ساعت UTC۰۰ به UTC۰۰ به UTC۰۰ و ۲/۶۲ متر بر ثانیه رسیده است که تلاطم سطحی شدیدی را ایجاد می کند. وجود تلاطم سطحی شرایط را برای اختلاط عمودی گردوخاک مهیا نموده است. در ساعت ۷۰۲ UTC بیشینه سرعت باد در هر سه ایستگاه کاهش یافته اما بیشترین برش منفی برای اختلاط عمودی گردوخاک مهیا نموده است. در ساعت ۲۰۶ UTC بیشینه سرعت باد در هر سه ایستگاه کاهش یافته اما بیشترین برش منفی باد با ۲/۵۰ و ۲/۹۸ – شکل گرفته است. در ساعت ۶۶ UTC بیشینه سرعت باد در هر سه ایستگاه کاهش یافته اما بیشترین برش منفی منوی باد با تا در با عمودی گردوخاک مهیا نموده است. در ساعت ۲۰۶ UTC بیشینه سرعت باد در هر سه ایستگاه کاهش یافته اما بیشترین برش منفی منفی منوی نود با ۲/۵۰ مو مارک و ۲/۹۰ – شکل گرفته است. برش منفی معرف قدرت جت در لایه های بالاتر از محور آن است. جتهای سطوح پایین با برش منفی قوی پسازآن که در میانه روز دچار شکست یا تضعیف شوند، تلاطم جوی را افزایش می دهند که درنتیجه آن گردوخاک به ارتفاعهای بالاتر انتقال یافته و امکان ترابرد افقی و حرکت به فاصله های دورتر فراهم می شود. به نظر می رسد شکل گیری جت سطوح پایین در جنوب شرق عراق و جنوب غرب ایران عامل مهمی در توسعه گردوخاک در این منطقه باشد. همچنین با توجه به این که سرعت باد افقی در محور جت نقش مؤثری در انتقال افقی گردوخاک به مناطق دورتر دارد. در تحقیق حاضر دیده می شود که شرایط ترابرد گردوخاک به موی خایس مواهم شده است.

نقش جت سطوح پایین و تعیین مسیر ترابرد در گردوخاک خلیجفارس (مطالعه موردی: ١٩-١٧ فوریه ۲۰۱۷) / مبارک حسن

نتیجه حاضر با نتیجه تحقیق مفیدی ۱۳۹۰ همخوانی دارد. ترابرد گردوخاک در تصویر ماهواره MODIS و مدل DREAM بهخوبی دیده میشود (شکل ۷ الف و ب).



شکل ۲: نمایه عمودی باد (متر بر ثانیه) در ساعت ۲۰،۱۲ و UTC (وز ۱۸ فوریه؛ الف) ایستگاه اهواز (خوزستان)، ب) خارک (خلیجفارس)؛ پ) بصره (عراق).

(* *	در ساعتهای	(عراق)	ا و بصره	خليجفارس	، خارک (	(خوزستان)	در اهواز (	ن سطوح پایین ه	مشخصههای جت	جدول ۲:

۲+، ۱۲ و ۱۸ روز ۱۸ فوریه.								
۱۸	١٢	+٦	* *	ساعت UTC	ایستگاه			
۵/۲۲	۴/۵۰	۶/۵۲	٨/١۵	بیشینه باد				
۲/۲۸	١/٣٨	4/81	۵/۲۱	برش مثبت	اهواز			
-7/•0	-1/71	$-\Delta/\lambda r$	-٣/۴٨	برش منفى				
۶/۴۳	۱۰/۷۴	٢/٨٩	١٣/٩٨	بیشینه باد				
۱/۰۳	۲/۷۶	۳/۸۱	4/87	برش مثبت	خارک			
-7/14	-٣/٢٩	-۵/۵۹	-۴/۴۵	برش منفى				
<i>૬</i> /૧૧	٧/۴٩	۸۲/۱۱	17/28	بیشینه باد				
۴	۲/+۹	۵/۹۸	٨/٧٧	برش مثبت	بصره			
-	-	-۲/۹۸	-7/+9	برش منفى				

گل باد ترسیمشده در ایستگاه خارک باد غالب شمال غربی را با سرعت ۱۱ متر بر ثانیه نشان میدهد که با تحلیلهای همدیدی هماهنگی داشته و نشاندهنده باد شمال غرب در منطقه است (شکل ۸ الف). همچنین برون داد مدل HYSPLIT (شکل ۸ ب) بادهای شمال غربی را در این ایستگاه تائید نموده و مسیر حرکت توفان را از عراق به سمت ایران و خلیجفارس بهخوبی نشان میدهد. بهاین ترتیب گل باد و در تعیین مسیر حرکت باد و ذره هماهنگ هستند.

نشريه علمي زيست شناسي دريا / دانشگاه آزاد اسلامي واحد اهواز

سال دوازدهم، شماره چهل و پنجم، بهار ۱۳۹۹



شکل ۷: الف) تصویر ماهواره MODIS روز ۱۷ فوریه (عراق و ایران)، ب) برون داد دید افقی مدل DEREAM، شکل ۷: الف) تصویر ماهواره MODIS روز ۱۸ فوریه ۲۰۱۷.



شکل ۸: الف) گل باد جزیره خارک (خلیجفارس)، ب) برون داد مدل HYSPLIT در اهواز (خوزستان) و خارک (خلیجفارس). منتهی به ساعت UTC ۱۸ روز ۱۸ فوریه، بازه زمانی پس گردی ۳٦ ساعت، ارتفاع ذره ۵۰۰ و ۷۰۰ متری، ۲۰۱۷.

تداوم شرایط یادشده و وجود گردوخاک در لایههای بالاتر جو منجر به انتقال افقی گردوخاک تا روز ۱۹ فوریه هست که تا میانههای خلیجفارس رسیده است (شکل ۹ الف). برون داد مدل DREAM نیز تداوم کاهش دید در استان خوزستان و انتقال گردوخاک را به سمت خلیجفارس نشان میدهد (شکل ۹ ب). بر اساس جدول ۱ در روز ۱۹ فوریه از ساعت ۰۰ تا UTC ۰۹ کاهش دید در اهواز، آبادان و بوشهر تداوم داشته است که با شکل ۹ هماهنگی دارد. نقش جت سطوح پایین و تعیین مسیر ترابرد در گردوخاک خلیجفارس (مطالعه موردی: ١٩–١٧ فوریه ٢٠١٧) / مبارک حسن



شکل ۹: الف) تصویر ماهواره MODIS روز ۱۷ فوریه، عراق و ایران، ب) برون داد دید افقی مدل DEREAM، ساعت ۱۲ UTC روز ۱۹ فوریه.

# بحث و نتیجه گیری

به دلیل تأثیر گردوخاک بر کیفیت آب، زیست آبزیان و همچنین حملونقل دریای و آبی شناخت سازوکار و ترابرد گردوخاک به این مناطق اهمیت ویژهای دارد. تحقیق حاضر، حاصل بررسی سازوکار همدیدی و جت سطوح پایین در شکل گیری گردوخاک بر روی عراق و ترابرد آن بهسوی خوزستان و خلیجفارس هست. گردوخاک ۱۷ تا ۲۰ فوریه سال ۲۰۱۷ سه روز تداوم داشت و نسبتاً شدید بود بهطوری که دید افقی در اهواز تا ۵۰۰ متر و در آبادان و بوشهر تا ۱۰۰۰ متر کاهش داشت. سازوکار همدیدی نشان داد که با استقرار کمفشار در بخشهای شرقی ایران و گسترش زبانه کمفشار به غرب ایران و بخش های از عراق و همچنین شکل گیری مرکز پرفشار بر روی ترکیه و دریای سیاه با گسترش پشته فشاری آن به سمت غرب و جنوب عراق، بین آن دو شیو فشاری شکل گرفت. شیو فشاری منجر به توسعه بادهای شمالی غربی، در بخشهای شمال غرب عراق و شرق سوریه شد، مطابق با Xu *et al.*, 2004 این نوع سازوکار همدیدی به دلیل جهت باد و منطقه شکل گیری به باد شمال شهرت دارد و یکی از سازوکارهای متداول در انتشار گردوخاک در تابستان و زمستان است که در تحقیقهای پیشین اشارهشده است ( Francis et al., Al Senafi and Anis, 2015؛ Rao et al., 2001:2017)؛ بنابراین سازوکار همدیدی منجر به شکل گیری گردوخاک در ۱۷ تا ۲۰ فوریه ۲۰۱۷ باد شمال زمستانی می باشد گرچه در بیشتر مطالعه های پیشین (نوری و همکاران، ۱۳۹۶؛ Notaro et al., 2015؛ Notaro et al., 2015) به نقش باد شمال تابستانی در گردوخاک خلیجفارس اشاره نمودهاند. در این مطالعه تأثیر باد شمال زمستانی در گردوخاک بهخوبی آشکارشده است. به نظر میرسد شکل گیری جت سطوح پایین در جنوب شرق عراق و جنوب غرب ایران عامل مهمی در توسعه گردوخاک در این منطقه باشد که در تحقيق هاي Heinold و همكاران (۲۰۱۳)؛ Marsham و همكاران (۲۰۱۳)؛ Schepanski و همكاران (۲۰۰۹) و ۲۰۰۸ (۲۰۰۸) به آن اشاره شده است. در تحقیق های پیشین Fielder و همکاران (۲۰۱۳) و Allen و Allen و ۲۰۱۴) (۲۰۱۴) آستانه سرعت باد ۱۶ متر بر ثانیه در ترازهای زیرین جو برای شکلگیری گردوخاک تعیینشده است که در تحقیق حاضر نیز بیشینه سرعت باد شمال در تراز ۹۲۵ هکتوپاسکال به ۱۴ تا ۱۶ متر بر ثانیه (۲۸ تا ۳۲ نات) رسید؛ بنابراین افزایش سرعت باد تراز ۹۲۵ به آستانه ۱۶ متر بر ثانیه عامل اولیه شکل گیری گردوخاک بر روی عراق میباشد. در یکی از رویدادها، آستانه سرعت باد تراز ۹۲۵ هکتوپاسکالی ۱۴ متر بر ثانیه بود که ۲ متر بر ثانیه نسبت به آستانههای تعیین شده در تحقیق های دیگر (Fiedler et al., 2013 :Allen and Washington, 2014) کمتر است. افزایش سرعت باد در لایههای زیر جو (سطح ۹۲۵ هکتوپاسکال) به افزایش سرعت باد ده متری در شمال غرب عراق منجر شد، بهطوری که در ایستگاه هتل وان و هدیتها، سرعت باد ده متری در طی ۱۲ ساعت از ۰۰ تا UTC ۲ از ۲ به ۹ متر بر ثانیه افزایش یافت. افزایش سرعت باد ده متری به وان و هدیتها، سرعت باد دم متری در طی ۱۲ ساعت از ۰۰ تا UTC ۲ از ۲ به ۹ متر بر ثانیه افزایش یافت. افزایش سرعت باد ده متری به وان و هدیتها، سرعت باد دم متری در طی ۱۲ ساعت از ۰۰ تا UTC ۲ از ۲ به ۹ متر بر ثانیه افزایش یافت. افزایش سرعت باد ده متری به وان و هدیتها، سرعت باد دم متری در طی ۱۲ ساعت از ۰۰ تا UTC ۲ از ۲ به ۹ متر بر ثانیه افزایش یافت. افزایش سرعت باد ده متری در معور جت سطوح پایین در مطالعههای پیشین ( Knippertz, 2008 fielder *et al.*, 2013؛ Knippertz, 2008 بمتری به واسطه افزایش سرعت باد در محور جت سطوح پایین در مطالعه های پیشین ( Schepanski *et al.*, 2009) متری به واسطه افزایش سرعت باد ده متری شده است که در مطالعه حاضر نیز مشاهده شد؛ بنابراین شکل گیری جت سطوح پایین بر روی عراق منجر به افزایش سرعت باد ده متری شده است که در مطالعه حاضر نیز مشاهده شد؛ بنابراین شکل گیری جت سطوح پایین بر روی عراق منجر به افزایش سرعت باد ده متری شده به متر بر ثانیه شده است. درنتیجه آن ذرههای گردوخاک از سطح جداشده (۱۳۹۱).

در طی روز ۱۸ فوریه در جنوب شرق عراق (بصره) و جنوب غرب ایران (اهواز) و خلیجفارس (خارک) مشخصههای جت سطوح پایین مشاهده شد. سطح شکل گیری جت تراز ۹۵۰ هکتوپاسکال، بیشینه سرعت باد بین ۱۸/۵ تا ۱۳/۹۸، برش مثبت بین ۴/۶۲ تا ۸/۷۷ و برش منفی بین ۲/۹۸– تا ۸۵/۵۸– متر بر ثانیه تعیین شدند که بر اساس همگی معرف مشخصههای جت سطوح پایین هستند. گرچه در اهواز بیشینه سرعت باد از آستانه تعیینشده در تحقیقهای پیشین کمتر است. در اهواز و خارک در تمام ساعتهای روز و در بصره فقط در ساعتهای ۰۰ و ۶۰ UTC مشخصههای جت وجود داشت. شکل گیری جت سطوح پایین، منجر به افزایش تلاطم شده و شرایط برای انتقال قائم و افقی گردوخاک را شد. بهاین ترتیب گردوخاک شکل گرفته بر روی عراق تا دو روز بعد تداوم داشته و میانههای خلیجفارس انتقال یافت. بهطور کلی شکل گیری جت سطوح پایین (باد شمال) در تراز ۹۵۰ هکتوپاسکال درنتیجه ساختار همدیدی منجر به افزایش سرعت باد ده متری شده و گردوخاک را در مناطق بیابانی عراق ایجاد می نمال) در تراز ۹۵۰ هکتوپاسکال درنتیجه ساختار همدیدی منجر به افزایش سرعت باد ده متری شده و گردوخاک را در مناطق

مدل HYSPLIT مسیر حرکت ذره را در ارتفاع ۵۰۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال منطبق با بادهای شمال غربی در راستای انتقال گردوخاک به سمت ایران بهخوبی تائید نمود. جهت شمال غربی باد شمال در میدان باد تراز ۹۲۵ هکتوپاسکال، مسیر پس گردی در مدل HYSPLIT و گل باد منطقه همخوانی داشتند. هر سه جهت باد را شمال غربی نشان داده و انتقال گردوخاک از عراق به سمت خلیجفارس را تائید کردند. در مطالعه حاضر منشأ گردوخاک ۱۷–۱۹ فوریه ۲۰۱۷ خلیجفارس توسط مدل HYSPLIT شمال غرب عراق و شرق سوریه تعیین شد که بامطالعه ریوندی و همکاران (۱۳۹۲) و نوری و همکاران (۱۳۹۶) هماهنگی دارد؛ بنابراین مدل HYSPLIT مدل مناسبی بهمنظور منشأ یابی گردوخاک و همچنین مسیر ترابرد آن میباشد. گرچه انتخاب بازه زمانی و ارتفاع اهمیت بسیاری در تعیین صحیح مسیر ذره دارد و باید موردتوجه قرار گیرد. در گردوخاکهای که به ارتفاعهای بالاتر جو میرسند، برای مسیر ذره باید ارتفاعهای بالاتر تا ۲۰۰۰ متری در نظر گرفت.

علاوه بر مدل HYSPLIT، تصویر ماهواره مودیس و مدل DREAM نیز بیابانهای عراق و شرق سوریه را عنوان کانون گردوخاک خلیجفارس تائید نمودند. به دلیل هماهنگی مناسب برون داد مدل DREAM با تصویر ماهواره و با کاهش دید افقی گزارش شده در ایستگاه، مدل قابل اعتمادی در تعیین منطقه گردوخاک هست.

تحقیق حاضر مطالعه موردی بوده و بهمنظور شناخت دقیقتر سازوکار متفاوت که منجر به انتقال گردوخاک به خلیجفارس میشوند بهتر است مطالعههای بیشتری انجام گیرد.

سپاسگزاری

لازم به ذکر است مقاله حاضر حاصل تحقیق مستقل و شخصی است. از هیچگونه طرح یا پایان نامه دانشجویی استخراج نشده است. از ریاست محترم و معاونت پژوهشی، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جوی سپاس گزارم که شرایط و محیط مناسبی در راستای تهیه مقاله برای این جانب فراهم نمودند. نقش جت سطوح پایین و تعیین مسیر ترابرد در گردوخاک خلیجفارس (مطالعه موردی: ١٩-١٧ فوریه ۲۰۱۷) / مبارک حسن

منابع

**خسروی، م.، طاووسی، ت. و رئیس پور، ک.، ۱۳۸۹.** تحلیل همدیدی سامانههای گردوغباری در استان خوزستان. جغرافیا و توسعه، شماره بیستم، صفحات ۱۱۸– ۹۷.

**ذوالفقاری، ح. و عابد زاده، حیدر.، ۱۳۸٤.** تحلیل سینوپتیکی طوفانهای گردوغباری در غرب ایران، مجله جغرافیا و توسعه، شماره ۶۰ صفحات ۱۷۵ – ۱۷۱.

**رنجبر سعادتآبادی، ع.، میهن پرست، م. و نوری، ف.، ۱۳۹۵.** بررسی پدیده گردوغبار در غرب ایران از دیدگاه هواشناختی مطالعه بلندمدت و کوتاهمدت مجله علمی و ترویجی نیوار، بهار و تابستان، شماره ۹۲- مفحات ۶۶–۵۳.

**ریوندی، ا.، میر رکنی، م. و محمدیها، ا.، ۱۳۹۲.** بررسی تشکیل و انتشار توفانهای گردوخاک ورودی به غرب و جنوب غرب ایران با استفاده از مدل پخش لاگرانژی ذرات HYSPLIT نشریه پژوهشهای اقلیمی، ۱۴(۳–۱۴): صفحات ۲۸–۱۵.

عطایی، ه. و احمدی، ف.، ۲۰۱۰. بررسی گردوغبار بهعنوان یکی از معضلات زیستمحیطی جهان اسلام مطالعه موردی :استان خوزستان، مجموعه مقالات چهارمین کنگره بینالمللی جنرافیدانان جهان اسلام (ICIWG, 2010).

**مفیدی، عباس. و جعفری، س.، ۱۳۹۰.** بررسی نقش گردش منطقهای جو بر روی خاورمیانه در وقوع توفانهای گردوغباری تابستانه در جنوب غرب ایران. مجله مطالعات جغرافیایی مناطق خشک. سال دوم. صفحات ۴۵–۱۷.

**نوری، ف.، رنجبر، ع.، کرمی، س.، صحت، س. و نیکفال، ا. ح.، ١٣٩٦.** مطالعه توفانهای گردوخاک مؤثر بر شمال خلیجفارس در یک دوره آماری دهساله (۲۰۰۷–۲۰۱۷)، چهارمین کنفرانس بین المللی اقیانوسشناسی خلیجفارس، کتابخانه ملی، بهمن ۱۳۹۶، تهران.

Alharbi, B. H., Maghrabi, A. and Tapper, N., 2013. The March 2009 dust event in Saudi Arabia: Precursor and supportive environment. *Bulletin of the American Meteorological Society*, *94*(4), pp.515-528.

Alizadeh-Choobari, O., Zawar-Reza, P. and Sturman, A., 2014. The "wind of 120 days" and dust storm activity over the Sistan Basin. *Atmospheric research*, *143*: 328-341.

Allen, C. J. and Washington, R., 2014. The low-level jet dust emission mechanism in the central Sahara: Observations from Bordj-Badji Mokhtar during the June 2011 Fennec Intensive Observation Period. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 119(6): 2990-3015.

Al Senafi, F. and Anis, A., 2015. Shamals and climate variability in the Northern Arabian/Persian Gulf from 1973 to 2012. *International Journal of Climatology*, *35*(15): 4509-4528.

Baas, P., Bosveld, F.C., Klein Baltink, H. and Holtslag, A. A. M., 2009. A climatology of nocturnal low-level jets at Cabauw. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 48(8): 1627-1642.

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

**Blackadar, A. K., 1957.** Boundary layer wind maxima and their significance for the growth of nocturnal inversions. *Bulletin of the American Meteorological Society*, *38*(5): 283-290.

Chen, S., Huang, J., Zhao, C., Qian, Y., Leung, L. R. and Yang, B., 2013. Modeling the transport and radiative forcing of Taklimakan dust over the Tibetan Plateau: A case study in the summer of 2006. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, *118*(2): 797-812.

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

Francis, D. B. K., Flamant, C., Chaboureau, J. P., Banks, J., Cuesta, J., Brindley, H. and Oolman, L., 2017. Dust emission and transport over Iraq associated with the summer Shamal winds. *Aeolian Research*, 24, 15-31.

Francis, D., Eayrs, C., Chaboureau, J. P., Mote, T., and Holland, D. M., 2019. A meandering polar jet caused the development of a Saharan cyclone and the transport of dust toward Greenland, Adv. Sci. Res., 16: 49–56.

Fiedler, S., Schepanski, K., Heinold, B., Knippertz, P. and Tegen, I., 2013. Climatology of nocturnal low-level jets over North Africa and implications for modeling mineral dust emission. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, *118*(12): 6100-6121.

سال دوازدهم، شماره چهل و پنجم، بهار ۱۳۹۹

Gao, Y., Fan, S. M. and 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. and Smith, G. W., 2003. African and Asian dust: from desert soils to coral reefs. *BioScience*, *53*(5): 469-480.

Heinold, B., Knippertz, P., Marsham, J. H., Fiedler, S., Dixon, N. S., Schepanski, K., Laurent, B. and Tegen, I., 2013. The role of deep convection and nocturnal low-level jets for dust emission in summertime West Africa: Estimates from convection-permitting simulations. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, *118*(10): 4385-4400.

Hoecker, W. H., 1963. Three southerly low-level jet systems delineated by the Weather Bureau special pibal network of 1961. *Mon. Wea. Rev*, *91*: 573-582.

Kabatas, B., Pierce, R. B., Unal, A., Rogal, M. J. and Lenzen, A., 2018. April 2008 Saharan dust event: Its contribution to PM10 concentrations over the Anatolian Peninsula and relation with synoptic conditions. *Science of the Total Environment*, 633: 317-328.

**Knippertz, P., 2008.** Dust emissions in the West African heat trough–the role of the diurnal cycle and of extratropical disturbances. *Meteorologische Zeitschrift*, *17*(5): 553-563.

Lu, H. and Shao, Y., 1999. A new model for dust emission by saltation bombardment. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, *104*(D14): 16827-16842.

Marsham, J. H., Hobby, M., Allen, C. J. T., Banks, J. R., Bart, M., Brooks, B. J., Cavazos-Guerra, C., Engelstaedter, S., Gascoyne, M., Lima, A. R. and Martins, J. V., 2013. Meteorology and dust in the central Sahara: Observations from Fennec supersite-1 during the June 2011 Intensive Observation Period. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, *118*(10): 4069-4089.

Marticorena, B. and Bergametti, G., 1995. Modeling the atmospheric dust cycle: 1. Design of a soil-derived dust emission scheme. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, *100*(D8): 16415-16430.

Membery, D. A., 1983. Low level wind profiles during the Gulf Shamal. Weather, 38(1): 18-24.

Milton, S. F., Greed, G., Brooks, M. E., Haywood, J., Johnson, B., Allan, R. P., Slingo, A. and Grey, W. M. F., 2008. Modeled and observed atmospheric radiation balance during the West African dry season: Role of mineral dust, biomass burning aerosol, and surface albedo. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, *113*(D23).

Nicholson, S., 2015. A low-level jet in eastern Iran: a possible factor in dust events in the region. *Desert*, 20(2): 91-99.

Notaro, M., Yu, Y. and Kalashnikova, O. V., 2015. Regime shift in Arabian dust activity, triggered by persistent Fertile Crescent drought. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, *120*(19), pp.10-229.

**Pokharel, A. and Kaplan, M., 2017.** Dust Climatology of the NASA Dryden Flight Research Center (DFRC) in Lancaster, California, USA. *Climate*, *5*(1):15.

Rao, D. S., Al-Yamani, F. and Rao, C. N., 1999. Eolian dust affects phytoplankton in the waters off Kuwait, the Arabian Gulf. *Naturwissenschaften*, 86(11): 525-529.

Rao, P. G., Al-Sulaiti, M. and Al-Mulla, A. H., 2001. Winter Shamals in Qatar, Arabian Gulf. *Weather*, 56(12): 444-451.

Rao, P. G., Hatwar, H. R., Al-Sulaiti, M. H. and Al-Mulla, A. H., 2003. Summer shamals over the Arabian Gulf. *Weather*, *58*(12): 471-478.

Schepanski, K., Tegen, I., Todd, M. C., Heinold, B., Bönisch, G., Laurent, B. and Macke, A., 2009. Meteorological processes forcing Saharan dust emission inferred from MSG-SEVIRI observations of subdaily dust source activation and numerical models. *Journal of geophysical research: atmospheres*, *114*(D10)

Shao, Y., Ishizuka, M., Mikami, M. and Leys, J. F., 2011. Parameterization of size-resolved dust emission and validation with measurements. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 116(D8).

نقش جت سطوح پایین و تعیین مسیر ترابرد در گردوخاک خلیجفارس (مطالعه موردی: ۱۹–۱۷ فوریه ۲۰۱۷) / مبارک حسن

Shinn, E. A., Smith, G. W., Prospero, J. M., Betzer, P., Hayes, M. L., Garrison, V. and Barber, R. T., 2000. African dust and the demise of Caribbean coral reefs. *Geophysical Research Letters*, 27(19); 3029-3032.

**Tegen, I., 2003.** Modeling the mineral dust aerosol cycle in the climate system. *Quaternary Science Reviews*, 22(18-19):1821-1834.

Tsai, F., Chen, G. T. J., Liu, T. H., Lin, W. D. and Tu, J. Y., 2008. Characterizing the transport pathways of Asian dust. *Journal of geophysical research: atmospheres*, *113*(D17).

Vink, S. and 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.

Wang, W. and Fang, Z., 2006. Numerical simulation and synoptic analysis of dust emission and transport in East Asia. *Global and planetary change*, 52(1-4): 57-70.

Washington, R. and Todd, M. C., 2005. Atmospheric controls on mineral dust emission from the Bodélé Depression, Chad: The role of the low level jet. *Geophysical Research Letters*, *32*(17).

Washington, R., Todd, M. C., Lizcano, G., Tegen, I., Flamant, C., Koren, I. and Goudie, A. S., 2006. Links between topography, wind, deflation, lakes and dust: The case of the Bodélé Depression, Chad. *Geophysical research letters*, *33*(9).

Wilderson, W. D., 1991. Dust and sand forecasting in Iraq and adjoining countries (No. AWS/TN--91/001). Air weather service scott AFB IL.

Westphal, D. L., Toon, O. B. and Carlson, T. N., 1988. A case study of mobilization and transport of Saharan dust. *Journal of the Atmospheric Sciences*, *45*(15): 2145-2175.

Xu, M.L., Duan, X. and Sun, J. H., 2004. Diagnostic study on the torrential rains coupling with the lower southwest jets in Yunnan. *Journal-Yunnan university natural sciences*, 26(4), pp.320-324.

Yu, Y., Notaro, M., Kalashnikova, O. V. and Garay, M. J., 2016. Climatology of summer Shamal wind in the Middle East. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, *121*(1): 289-305.

Zarasvandy, A. and Mokhtari, B., 2008. Scientific view to 50 dusty days in Khorasan. <u>http://www.Tariana.ir</u> https://apps.ecmwf.int/datasets/data/interim-full-daily/levtype=sfc/