

شناسایی ساختار و چشمه گرد و خاک‌های استان خراسان شمالی با استفاده از مدل RegCM4-1.1 (مطالعه موردی ۱۴-۱۳ آوریل ۲۰۱۱)

آیدا فاروقی^{۱*}، منا کاظمی^۲، نادر نصرتی^۳، مجتبی جلالی^۴

- ۱- کارشناسی ارشد اداره کل هواشناسی خراسان شمالی
 - ۲- کارشناسی ارشد اداره کل هواشناسی خراسان شمالی
 - ۳- کارشناسی ارشد اداره کل هواشناسی خراسان شمالی
 - ۴- کارشناسی ارشد اداره کل هواشناسی خراسان شمالی
- (تاریخ دریافت: ۹۵/۰۲/۰۸، تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۷/۱۷)

چکیده

پدیده گرد و خاک از جمله رخدادهایی است که همواره در مناطق خشک و نیمه خشک کره زمین اتفاق می‌افتد و آثار زیانباری بر بخش‌های مختلف جامعه وارد می‌سازد. تداوم خشکسالی‌ها همراه با کاهش میزان رطوبت خاک و گاه تغییر کاربری‌ها بوسیله عامل انسانی طی سال‌های اخیر سبب گسترده‌گی این پدیده در مناطق مختلفی از کشور گردیده است. بررسی آمار ۱۷ ساله هواشناسی خراسان شمالی بیانگر رخداد پدیده گرد و خاک طی سال‌های اخیر در سطح استان می‌باشد. جهت شناسایی ساختار و تعیین چشمه گرد و خاک، دوره آماری ماه مارس تا می ۲۰۱۱ جهت اجرای مدل اقلیمی منطقه‌ای RegCM-4 پیوند خورده با طرح واره غبار با گام مکانی ۴۰ کیلومتر انتخاب شد. خروجی مدل نشان داد که بخش‌های جنوبی ترکمنستان همجوار با ایران (شمال شرق ایران) در ابتدا محل برخاستن ذرات گرد و خاک به هوا بوده، سپس همراه با افزایش شیو فشاری و به تبع آن افزایش شدت وزش باد علاوه بر افزایش عمق ذرات نوری، گرد و خاک بیابان قره قوم ترکمنستان و بخش‌های شمالی افغانستان را نیز در می‌گیرد. انتقال گرد و خاک به منطقه متأثر از افزایش فشار بر روی ترکمنستان، دریای خزر و خراسان و استقرار کم فشار بر روی بخش شرقی ایران و پاکستان بوده که در نتیجه آن جهت جریانات شمالی گشته است.

کلمات کلیدی: گرد و خاک، RegCM-4. 1. 1، خراسان شمالی، بیابان قره قوم

مقدمه

(۱۳۹۰) با رویکرد تحلیل گردش‌های جوی بوده است. تعیین چشمه گرد و خاک و نحوه انتشار ذرات آن از اهمیت بسزایی در شناسایی نحوه اثر الگوهای جوی بر ایجاد و تداوم این پدیده برخوردار است. مدل سازی عددی و مدل‌های دینامیکی منطقه محدود، به ویژه زمانی که برای پدیده‌های دور از دسترس و یا پدیده‌های واقع در مناطق فاقد داده یا فاقد مشاهدات منظم مورد استفاده قرار می‌گیرند، ارزش و اعتبار خاصی می‌یابند (مفیدی و همکاران، ۱۳۹۲: ۵۲). با پیشرفت مدل اقلیمی منطقه محدود RegCM-4، زاکی و همکاران (۲۰۰۶)، ژنگ و همکاران شبیه سازی هواویزهای گرد و خاک در شرق آسیا و سال (۲۰۱۰) کامارا و همکاران شبیه سازی گرد و خاک در غرب آفریقا، سانتسا و همکاران ریزش گرد و خاک صحرا بر روی مدیترانه را مورد بررسی قرار دادند و کاربرد این مدل را

پدیده گرد و خاک از جمله رخدادهایی است که همواره در مناطق خشک و نیمه خشک کره زمین اتفاق می‌افتد. هواویزهای گرد و خاک بر بودجه تابشی جو و ترکیبات شیمیایی آن اثر می‌گذارد، علاوه بر آن آثار زیانباری بر بخش‌های مختلف جامعه از جمله صنعت هوانوردی و سلامت وارد می‌سازد. مطالعات بسیاری با استفاده از داده‌های باز تحلیل NCEP/NCAR و داده‌های ایستگاهی هواشناسی جهت تحلیل همدیدی الگوهای جوی منجر به گرد و خاک بر روی باد سیستان و گرد و خاک غرب و جنوب غرب ایران صورت گرفته که تمامی این مطالعات از جمله ذوالفقاری و همکاران (۱۳۸۴)، مهرشاهی و همکاران (۱۳۸۸)، خوش کیش و همکاران (۱۳۹۰)، مفیدی و همکاران (۱۳۹۰)، خوشحال دستجردی و همکاران

مناسب دانستند.

از سال ۱۳۸۹ برخی مطالعات بر روی پدیده گرد و خاک و شناسایی ساختار آن در ایران سمت و سوی شبیه سازی و استفاده از نتایج اجرای مدل یافت. در اولین مطالعات خسروی با استفاده از اجرای مدل NAAPS توزیع عمودی گرد و خاک ناشی از توفان خاورمیانه را بررسی نمود. مفیدی و همکاران نیز در (۱۳۹۰) برای تعیین منابع گرد و خاک توفان‌های گرد و خاکی تابستانه جنوب غرب ایران، مدل لاگراژی HYSPLIT و شاخص ابروسل سنجنده TOMS را بکار بردند. ملکوتی و همکاران نیز (۱۳۹۲) با استفاده از این مدل (HYSPLIT) و مدل WRF/chem چگونگی نشر، انتقال و شناسایی چشمه یک توفان گرد و خاک در منطقه خاورمیانه را مورد بررسی قرار دادند.

مفیدی و همکاران (۱۳۹۲) و در تازه‌ترین مطالعه حسنی و همکاران (۱۳۹۴) توان مدل RegCM4-1 پیوند خورده با طرح واره غبار با دو تفکیک مکانی ۲۰ و ۸۰ کیلومتری را در آشکارسازی ساختار توفان‌های گرد و خاکی دشت سیستان و باد شمال مورد ارزیابی قرار داده و هر دو به این نتیجه دست یافتند که اجرای مدل با تفکیک ۶۰ کیلومتر سبب آشکارسازی واداشت ویژگی‌های جغرافیایی محلی در ترازهای زیرین جو گردیده و توان مدل‌ها در شناسایی ساختار و چشمه این پدیده مناسب ارزیابی نموده‌اند.

از مطالعات صورت گرفته بر روی خراسان می‌توان به مطالعه مرجانی (۱۳۷۲) اشاره نمود. مرجانی با بررسی همدیدی بادهای شدید بیش از ۱۵ متر بر ثانیه در خراسان عوامل مؤثر بر آن را بصورت زیر دسته بندی نموده است (لشکری، ۱۳۸۷):

- موقعیت منطقه مورد مطالعه از نظر توپوگرافی و شرایط اقلیمی آن منطقه بخصوص از نظر کوهستانی بودن و یا همجوار بودن با دریاچه یا صحرای استپی و خشک.

- وجود مرکز کم فشار گرمایی در قسمت‌های مرکزی و جنوبی ایران و شمال عربستان و پاکستان و هندوستان.

- وجود و حرکت زبانه پرفشار در قسمت‌های مرکزی و جنوبی سیبری به سمت شمال خراسان در فصل انتقالی بهار و وجود زبانه پرفشار جنب حاره‌ای که در فصل تابستان به سمت جنوب خراسان کشیده شده است.

- افزایش فشار در منطقه شمال تا جنوب خراسان (شرق کشور) در روزهای وقوع توفان به واسطه نفوذ زبانه پرفشار جنب حاره‌ای (در فصل تابستان).

- ثابت بودن تقریبی فشار در ساعات یکسان در روزهای وقوع توفان در منطقه مطالعه (در فصل تابستان).

لشکری و همکاران (۱۳۸۷) و زرین و همکاران (۱۳۹۲) نیز به نتایج مشابه دست یافته‌اند. زرین و همکاران (۱۳۹۲) با بررسی وضعیت گرد و خاکی ترین روزهای نوامبر خراسان رضوی سال ۱۹۷۱ با استفاده از مدل RegCM-4 نتیجه گرفتند پرفشار ترکمنستان و کم فشارهای دینامیکی که با جبهه سرد همراه هستند، سبب ناپایداری شدید جو و ایجاد توفان‌های شدید گرد و خاک شده‌اند.

طی سال‌های اخیر با تداوم خشکسالی، کاهش رطوبت خاک و کاهش پوشش گیاهی بر غلظت ذرات معلق، تداوم و گسترش آن در کشور افزوده شده که شمال شرق ایران نیز از این امر مستثنی نبوده است. استان خراسان شمالی از شمال با کشور ترکمنستان (با ۲۷۰ کیلومتر مرز مشترک)، شرق و جنوب با استان خراسان رضوی، جنوب غرب با استان سمنان و از غرب با استان گلستان هم مرز می‌باشد. لذا در این مطالعه تلاش بر این است تا با استفاده از مدل RegCM4-1 پیوند خورده با طرح واره غبار (Zakey et al, 2006) پدیده گرد و خاک شبیه‌سازی و با تحلیل نتایج اجرای مدل ساختار پدیده گرد و خاک در شمال شرق ایران شناسایی و چشمه آن تعیین گردد تا پاسخگوی سوالات ذیل باشد:

الگوهای جوی منجر به گرد و خاک در شمال شرق ایران کدامند؟

آیا بیابان قره قوم ترکمنستان می‌تواند چشمه گرد و خاک باشد؟

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

استان خراسان شمالی بین ۵۵ درجه و ۴۸ دقیقه تا ۵۸ درجه و ۲۴ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۲۷ دقیقه عرض شمالی قرار دارد. مساحت این استان حدود ۲۸۱۷۹ کیلومتر مربع است که از ۷ شهرستان (بجنورد، اسفراین، مانه و سملقان، جاجرم، گرمه و فاروج) تشکیل شده است. از شمال با کشور ترکمنستان (با ۲۷۰ کیلومتر مرز مشترک)، شرق و جنوب با استان خراسان رضوی و از جنوب غربی با استان سمنان و از غرب با استان گلستان هم مرز می‌باشد.



شکل ۱- موقعیت استان خراسان شمالی در کشور ایران

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک خراسان شمالی

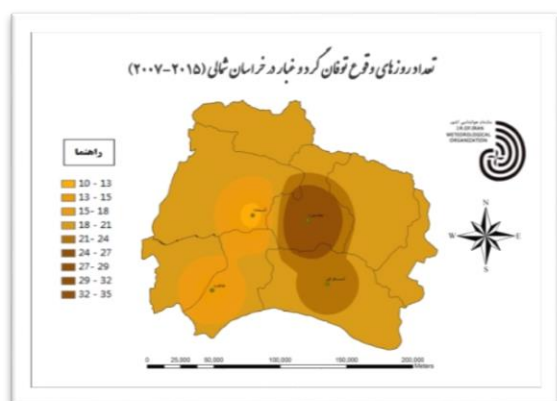
ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع
بجنورد	۵۷:۱۸:۱۲	۳۷:۲۹:۱۳	۱۰۶۸
جاجرم	۵۶:۲۰:۱۷	۳۶:۵۷:۴۳	۹۶۹
آشخانه	۵۶:۵۶:۴۳	۳۷:۳۳:۵۵	۷۶۲
اسفراین	۵۷:۲۹:۴۱	۳۷:۰۲:۵۶	۱۲۰۳

آب و هوای این استان متنوع و براساس روش‌ها و طبقه‌بندی‌های مختلف منطقه‌ای نیمه‌خشک با زمستان‌های سرد است. رشته کوه کپه داغ در قسمت شمالی و کوه‌های آلاداغ و شاهجهان در جنوب استان، دشت‌های مرکزی را احاطه نموده‌اند.

داده و روش کار

با استفاده از داده‌های مشاهداتی ایستگاه‌های هواشناسی خراسان شمالی و بدلیل شرایط محیطی روزهای همراه با گرد و خاک و میزان دید افقی زیر ۳۰۰۰ کیلومتر در طول دوره آماری ۱۵-۲۰۰۸ در نظر گرفته شد.

ایستگاه‌های سینوپتیک فاروج، شیروان و راز بدلیل نقص آماری در طول دوره آماری مورد نظر، فاقد گزارش پدیده گرد و خاک می‌باشند. در بین ایستگاه‌های دیگر نیز بجنورد دارای بیشترین میزان فراوانی رخداد این پدیده می‌باشد (شکل ۲).



شکل ۲- فراوانی رخداد پدیده گرد و خاک در ایستگاه‌های سینوپتیک شمال شرق ایران دوره ۱۵-۲۰۰۸

بیشترین فراوانی روزهای وقوع پدیده گرد و خاک در تمامی ایستگاه‌ها در فصل بهار بوده به طوری که ایستگاه بجنورد با تعداد ۱۶ روز رکورددار است. پس از فصل بهار، بیشترین تعداد روزهای همراه با گردوخاک در ایستگاه بجنورد در فصل زمستان، پاییز و در نهایت تابستان رخ داده است. اسفراین در این بین استثناء بوده و فراوانی رخداد این پدیده در دوره گرم سال بیشتر است.

در دو روز ۱۳ و ۱۴ آوریل ۲۰۱۱ در تمام ایستگاه‌ها وقوع گردوخاک گزارش شده است که کمترین میزان دید افقی به میزان ۵۰۰ متر در ایستگاه فرودگاهی بجنورد ثبت شده‌است (جدول شماره ۲).

واره شیمیایی از جمله طرح واره غبار است. برای شرایط مرزی اولیه مدل، داده‌های باز تحلیل NCEP-NCAR با تفکیک مکانی ۲٫۵ درجه و گام زمانی ۶ ساعته شامل ارتفاع ژئوپتانسیل، باد مداری، باد مداری و نصف النهاری، دمای هوا و سرعت قائم و فشار سطحی و رطوبت نسبی همچنین داده‌های توپوگرافی، پوشش گیاهی، بافت خاک و عمق آب دریا و دریاچه‌ها از سازمان زمین شناسی آمریکا، داده دمای سطح آب دریا (SST) و داده‌های هواویز استفاده گردید که تمامی داده‌های فوق از مرکز بین المللی فیزیک نظری عبدالسلام تهیه شده است.

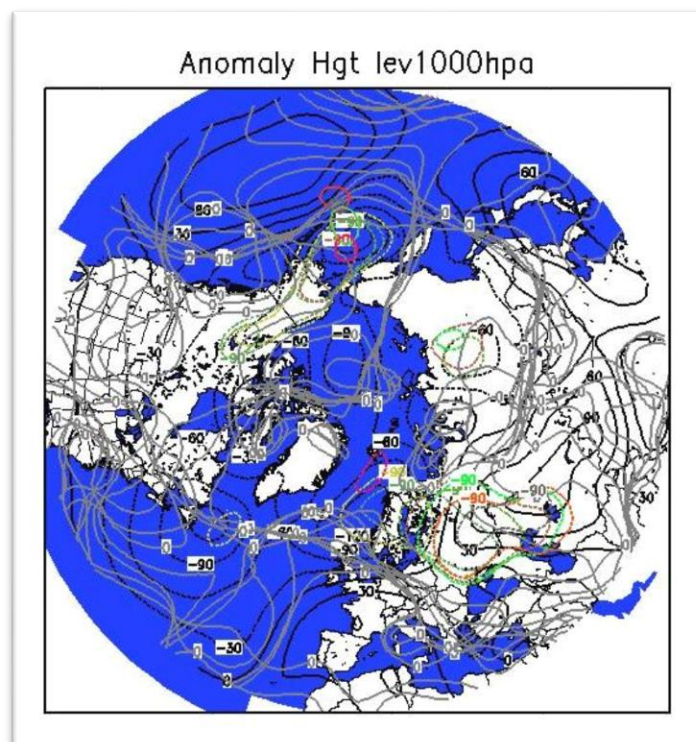
نتایج و بحث

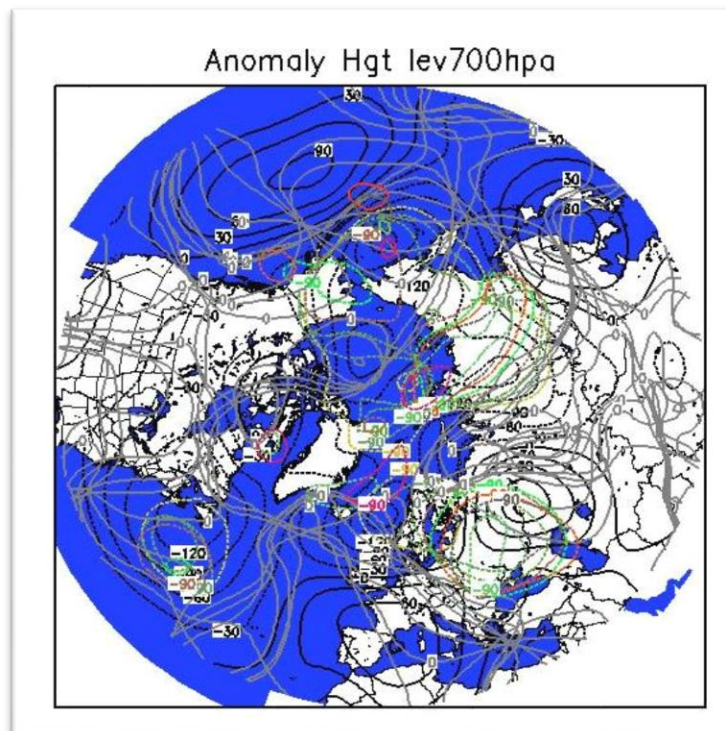
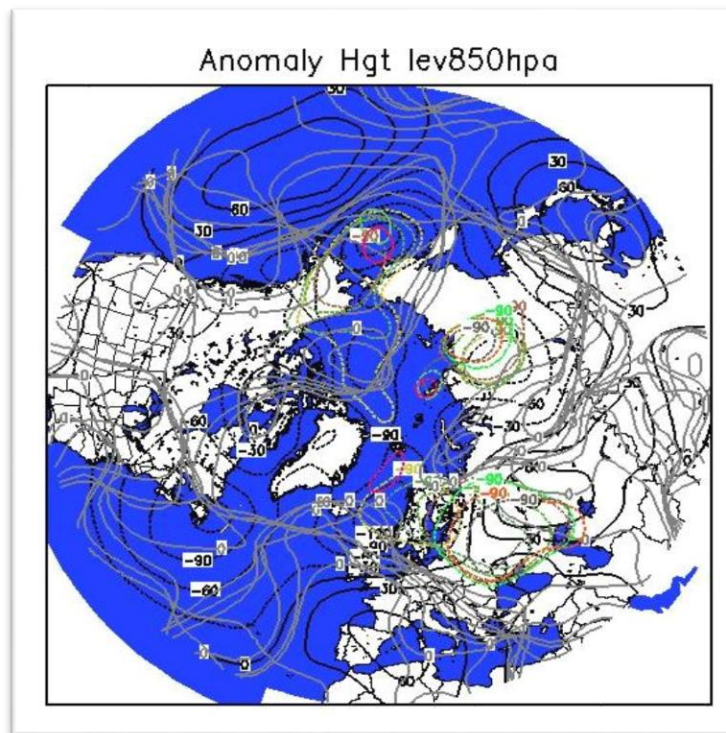
جهت تحلیل الگوی جوی مؤثر بر برخاست و انتقال گرد و خاک به منطقه، داده های باز تحلیل ارتفاع ژئوپتانسیل، مؤلفه‌های باد، فشار تراز سطح متوسط دریا و دما از مرکز NCEP/NCAR با تفکیک مکانی ۲٫۵ درجه و گام زمانی ۶ ساعته دریافت گردید. سپس نقشه‌های بی هنجاری ارتفاع ژئوپتانسیل، دما و ضخامت و همچنین الگوی جوی ترازهای مختلف بوسیله اسکریپت نویسی در GrADS ترسیم شد.

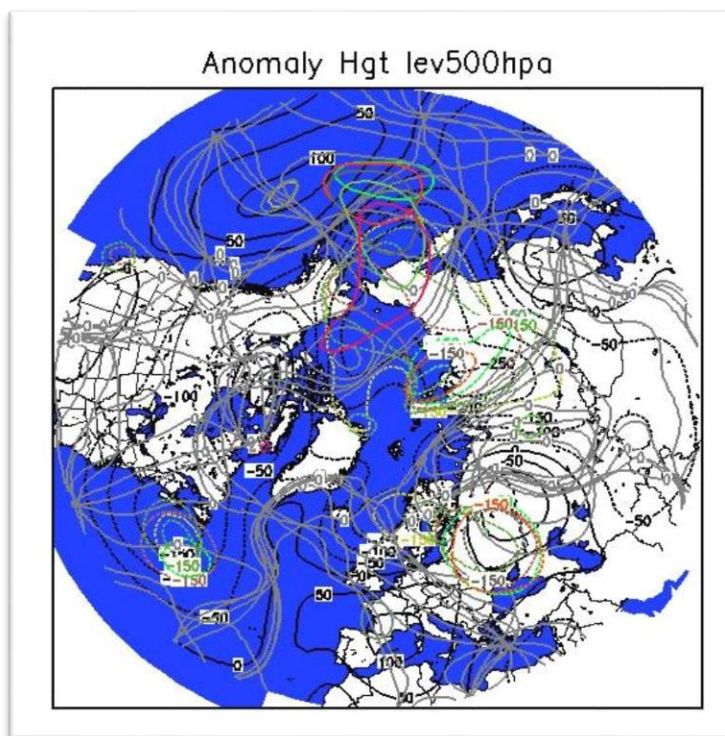
جدول ۲- میزان دید افقی ایستگاه‌های هواشناسی آوریل ۲۰۱۱

آشخانه	اسفراین	جاجرم	بجنورد	تاریخ
-	-	-	-	سیزدهم آوریل ساعت ۰۳ گرینویچ
-	-	۳۰۰۰	۲۰۰۰	سیزدهم آوریل ساعت ۰۶ گرینویچ
-	۱۰۰۰	۳۰۰۰	-	سیزدهم آوریل ساعت ۰۹ گرینویچ
-	۲۰۰۰	۳۰۰۰	-	سیزدهم آوریل ساعت ۱۲ گرینویچ
۱۵۰۰	-	۲۵۰۰	۵۰۰	چهاردهم آوریل ساعت ۰۳ گرینویچ
۱۰۰۰	۳۰۰۰	۲۵۰۰	۵۰۰	چهاردهم آوریل ساعت ۰۶ گرینویچ
۱۰۰۰	۲۵۰۰	۲۵۰۰	۵۰۰	چهاردهم آوریل ساعت ۰۹ گرینویچ
۱۵۰۰	۳۰۰۰	۳۰۰۰	۹۰۰	چهاردهم آوریل ساعت ۱۲ گرینویچ

از مدل RegCM4 برای مدل‌سازی دینامیکی گرد و خاک استفاده شد. هسته دینامیکی مدل RegCM4 بر اساس نسخه پنجم مدل میان مقیاس (MM5) دانشگاه پنسیلوانیا (مفیدی، ۱۳۹۲: ۵۴) و در مرکز ملی تحقیقات جوی (NCAR) توسعه یافته است. این مدل انعطاف پذیر، قابل اعمال به هر نقطه از جهان و علاوه بر آن قابل پیوند با طرح



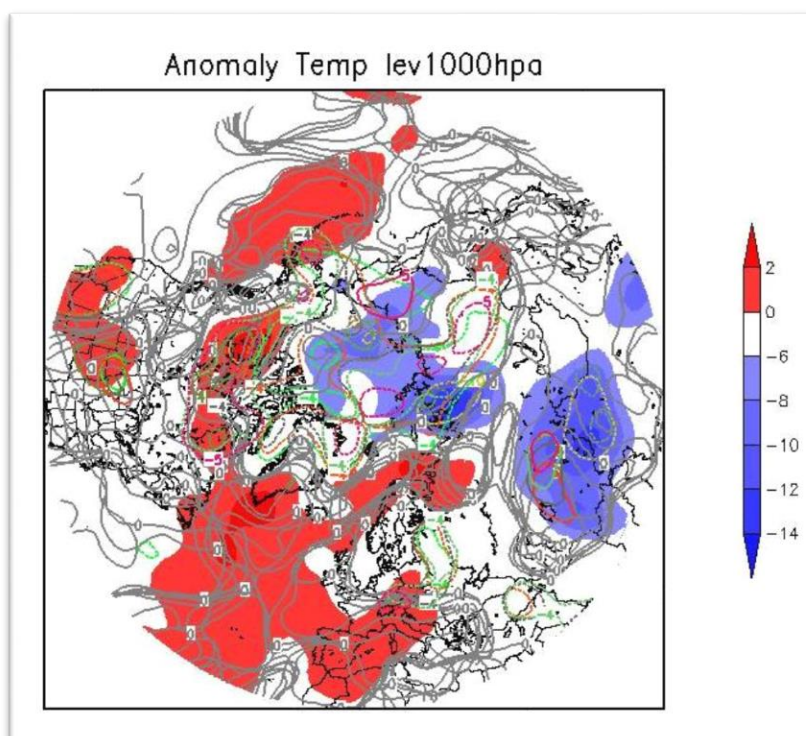


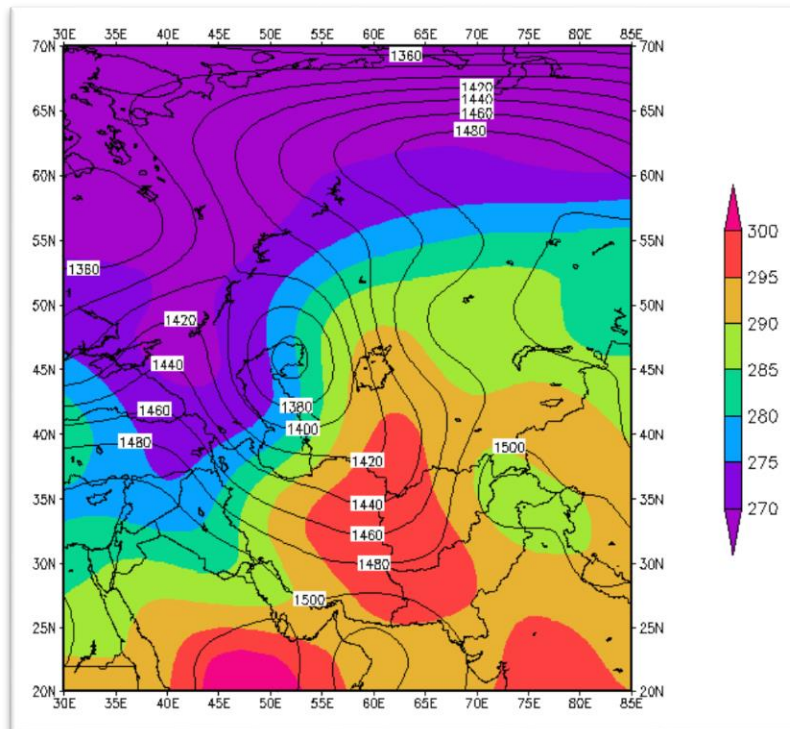
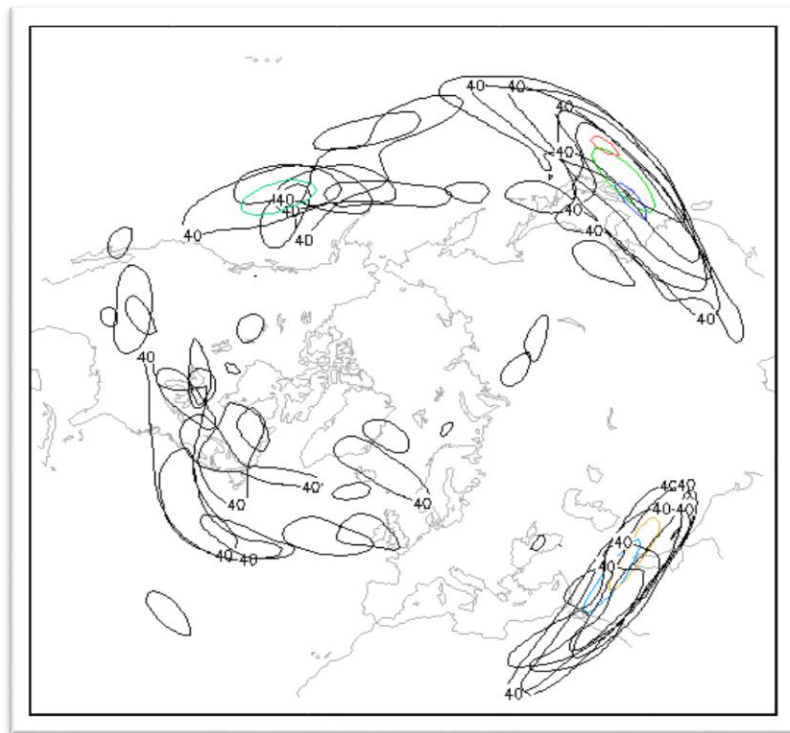


شکل ۳- نقشه بی‌هنجاری ارتفاع ژئوپتانسیل در ترازهای ۱۰۰۰، ۸۵۰، ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال (مقادیر مثبت خطوط پیوسته و مقادیر منفی بصورت خط چین و خط صفر خاکستری رنگ)

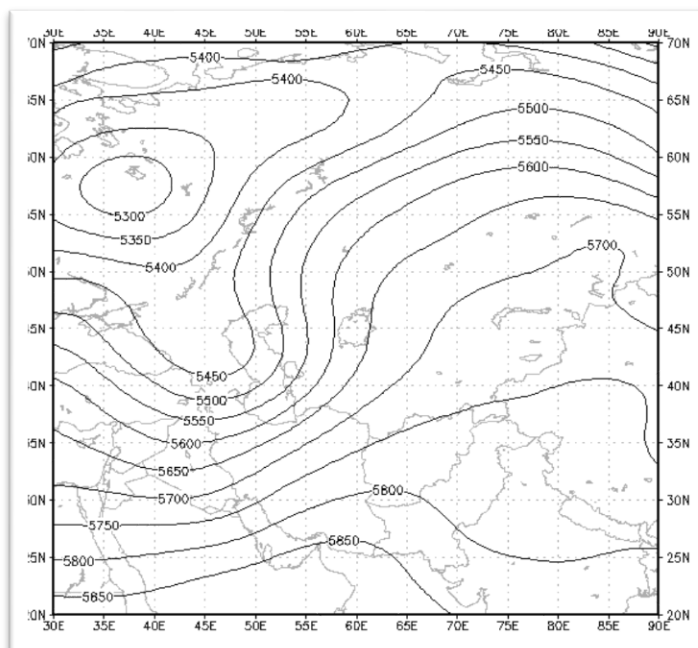
نقشه‌های بی‌هنجاری متوسط دمای پنج روزه نیز مبین افزایش دمای هوا می‌باشد (شکل ۴).

در تمامی ترازها نسبت به میانگین ماه آوریل ۲۰۱۱، میزان متوسط ارتفاع پنج روزه کمتر از نرمال بوده که نشان دهنده کاهش ارتفاع ژئوپتانسیل می‌باشد (شکل ۳). بررسی





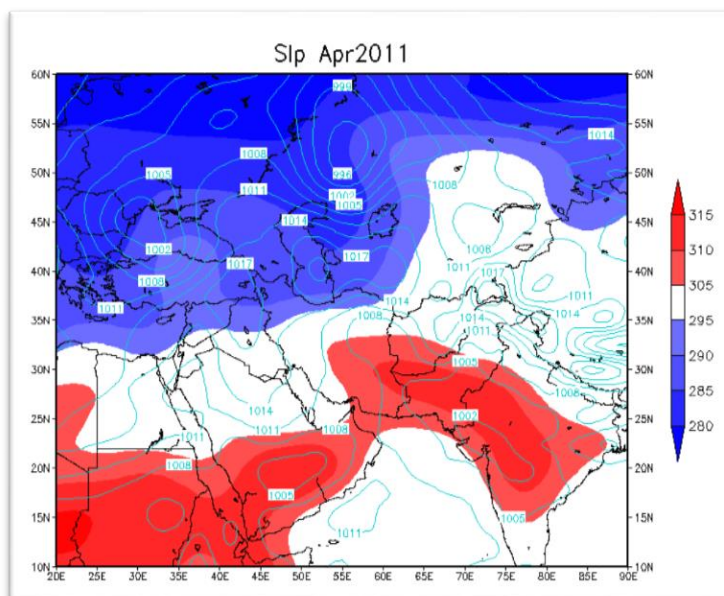
شکل ۴- نقشه بی‌هنجاری دما در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال

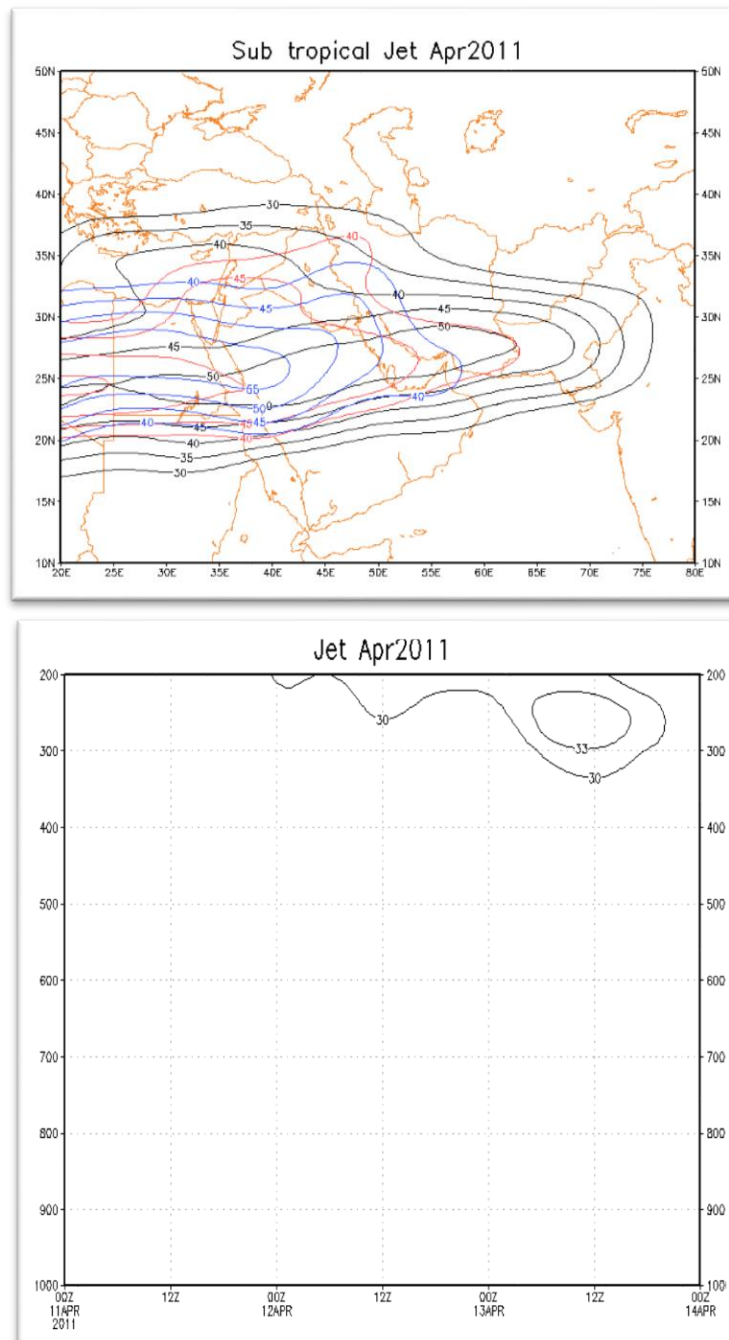


شکل ۵- الف - نقشه میانگین روزانه برای جت تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال ب- نقشه خطوط هم ارتفاع و دمای هوا تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال ج- نقشه خطوط هم ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال

استقرار مرکز کم ارتفاع بر روی غرب روسیه بوده که به دلیل حرکت نصف النهاری بسیار زیاد، محور تراف آن از شمال اروپا تا دریای سرخ کشیده شده است (شکل ۵-ب و ج).

نقشه میانگین روزانه برای جریان جتی (شکل ۵-الف) نشان دهنده عقب نشینی جریان جتی جنب حاره‌ای در سیزدهم آوریل بوده که به سمت عرض‌های پایین تر جابجا شده است. بررسی وضعیت متوسط خطوط هم ارتفاع ترازهای میانی و ۸۵۰ هکتوپاسکال جو نیز نشان دهنده





شکل ۶- الف - خطوط هم فشار و دمای هوا تراز سطح دریا روزهای ۱۲ تا ۱۴ آوریل ب- وضعیت جریان جتی تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال ساعت ۱۲ گرینویچ روزهای ۱۲ تا ۱۴ آوریل ج- نمودار هاومولر جریان جتی در عرض جغرافیایی ۳۷ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۵۷ درجه شرقی

محور جریان جتی به صورت مداری و مرکز آن با مقدار ۵۰ متر بر ثانیه بر روی شرق آفریقا، عربستان و جنوب ایران مستقر است که با گذشت زمان علاوه بر تقویت به سمت عرض های بالاتر نیز کشیده شده است (شکل ۶-ب). نمودار

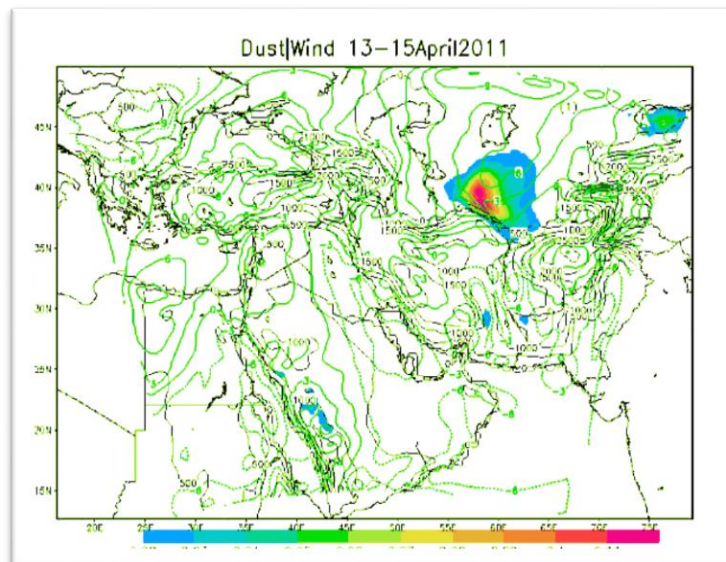
در نقشه سطح زمین کم فشاری روی عربستان و شرق آفریقا مشاهده می شود و زبانه های کم فشار پاکستان نیز تا شرق ایران نفوذ کرده است. روی دریای خزر نیز پرفشاری با مرکز ۱۰۲۰ هکتوپاسکال مستقر است (شکل ۶-الف).

نظر گرفته شده که بطور پیش فرض بالاترین تراز آن دارای فشار ۵ میلی بار می‌باشد.

داده‌های خروجی مدل RegCM4 شامل داده‌های سطحی (SRF)، تابش (RAD)، اتمسفری (ATM) و شیمی (CHE) می‌باشند که از میان داده‌های اتمسفری و بخش شیمی خروجی مدل، مولفه‌های باد و عمق نوری ذرات معلق (AOD) جهت بررسی ساختار توفان گرد و خاک ماه آوریل مورد استفاده قرار گرفت. متغیر عمق ذرات نوری معلق (AOD) به نوعی بیانگر میزان تراکم و یا غلظت ذرات معلق (در اینجا گردو خاک) در ستون جو می‌باشد (مفیدی و همکاران، ۱۳۹۲: ۵).

هاومولر جریان جتی (شکل ۶-ج) نیز از دوازدهم آوریل نشان دهنده نفوذ تدریجی و تقویت جریان جتی به سمت ترازهای پایین تر بوده به طوری که ساعت ۱۲ گرینویچ روز سیزدهم از تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال نیز عبور کرده و یک مرکز بسته با مقدار ۳۳ متر بر ثانیه بین ترازهای ۲۰۰ تا ۳۰۰ هکتوپاسکال بسته شده است.

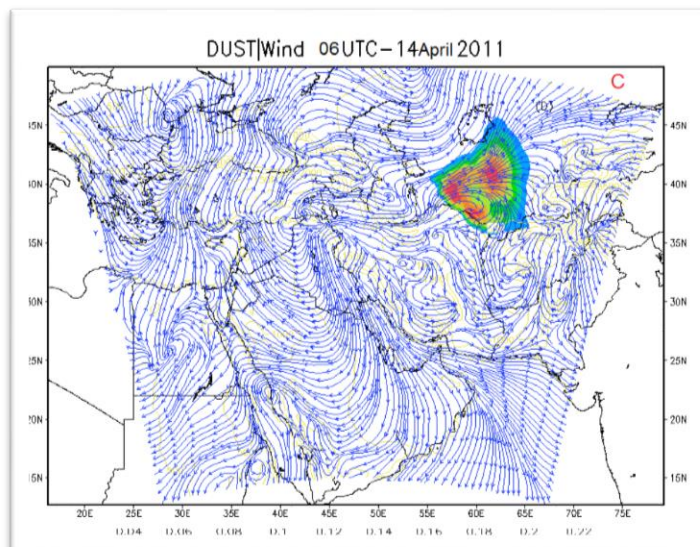
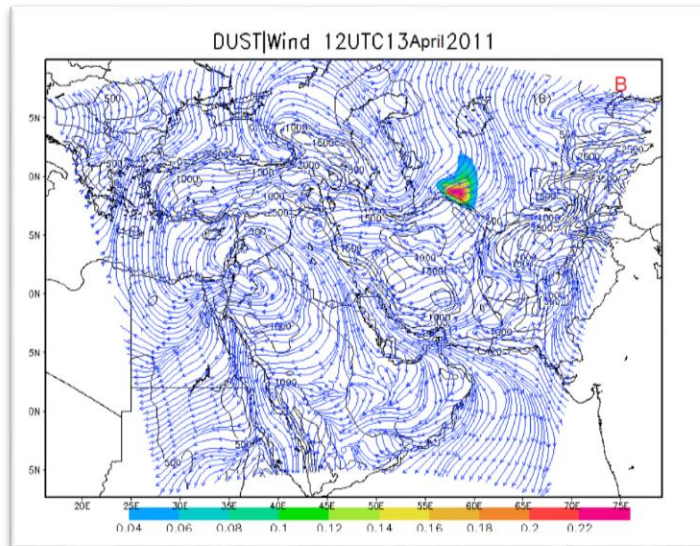
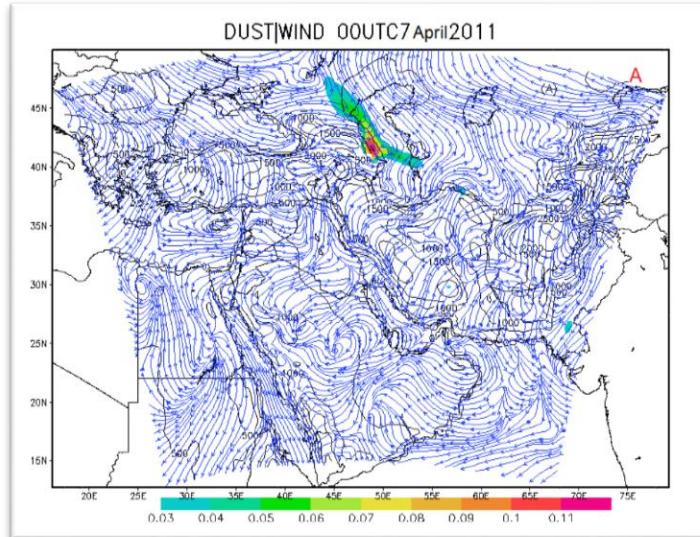
مدل RegCM-4.1 از ماه مارس تا می ۲۰۱۱ جهت آشکارسازی اثر توپوگرافی با تفکیک مکانی ۴۰ کیلومتر پیوند خورده با طرحواره غبار با زمان spin-up یک ماهه اجرا شد. در این مطالعه دامنه انتخاب شده ۱۲۰ گام شبکه در راستای طول جغرافیایی و ۱۰۲ گام شبکه در راستای عرض جغرافیایی و ۱۸ تراز در راستای قائم در حالت سیگمایی در

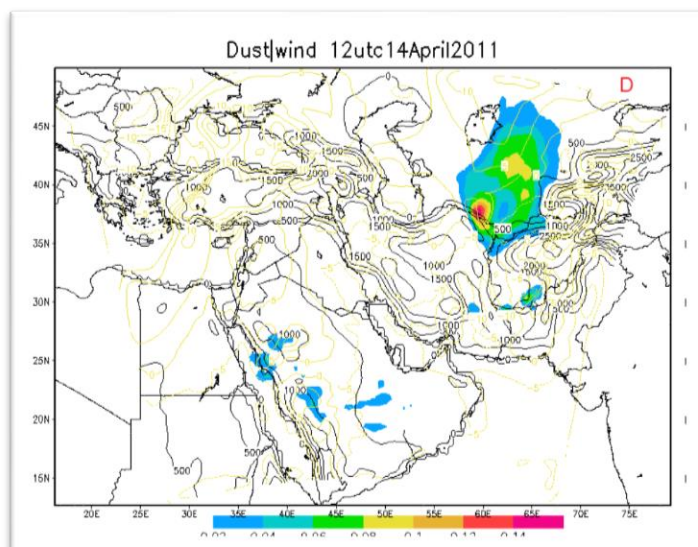


شکل ۷- وضعیت متوسط عمق نوری ذرات و باد برداری طی ۱۳ تا ۱۵ آوریل ۲۰۱۱

است. همچنین جهت غالب باد بر روی ترکمنستان جنوبی می‌باشد.

شکل ۷ نشان دهنده افزایش عمق ذرات نوری بر روی جنوب ترکمنستان (بیش از ۰,۱۱ واحد) بوده که به سمت بیابان قره قوم ترکمنستان و شمال افغانستان گسترش یافته

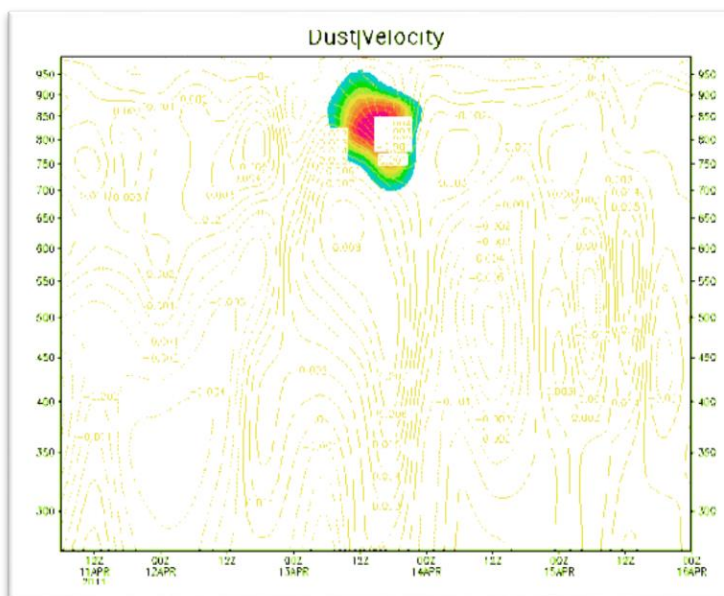




شکل ۸- نقشه A- نقشه عمق نوری ذرات و باد مداری ۰۷ آوریل ساعت ۰۰ گرینویچ B- ۱۳ آوریل ساعت ۱۲ گرینویچ C- ۱۴ آوریل ساعت ۰۶ گرینویچ D- ۱۴ آوریل ساعت ۱۲ گرینویچ

شده است. در روز چهاردهم آوریل غبار گستره وسیعی از جنوب و شرق ترکمنستان، شمال افغانستان و بخش هایی از شمال شرق ایران را فرا گرفته که تغییر جهت باد به شمال تا شمال شرقی سبب انتقال ذرات به منطقه گردید (شکل ۸-C و D).

نقشه (A) (شکل ۸) مربوط به روز هفت آوریل بیانگر تشکیل مرکز کوچکی از ذرات هواویز در جنوب ترکمنستان (حد فاصل مرز ایران-ترکمنستان) بوده که با گذشت زمان در روز سیزدهم آوریل (شکل ۸-B) همراه با افزایش شدت وزش باد جنوبی ضمن برداشت غبار از مناطق بیابانی ترکمنستان (بیابان قره قوم) بر عمق ذرات نیز افزوده



شکل ۹- نقشه برش عمودی عمق نوری ذرات و Velocity Wind طی ۱۱ تا ۱۶ آوریل ۲۰۱۱ طول جغرافیایی ۵۷/۲ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۷/۲ درجه شمالی

نزولی می‌باشد. بتدریج ساعت ۰۰ گرینویچ چهاردهم آوریل تا تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال جریانات صعودی گشته و ضمن افزایش عمق ذرات نوری سبب گسترده‌گی آن تا تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال نیز گشت.

عمق ذرات نوری و Velocity Wind (شکل ۹) در ستون جو نیز از ساعت ۱۲ گرینویچ سیزدهم آوریل نشان دهنده استقرار جریانات صعودی در ترازهای پایین تر بوده و از تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال تا ترازهای فوقانی جو جریانات

نتیجه گیری

تشکر و قدردانی

طی روزهای ۱۴-۱۳ آوریل ۲۰۱۱ علاوه بر تقویت هسته و جابجایی جریان جتی به سمت عرض‌های بالاتر، همراه با استقرار کم‌ارتفاع تراز میانی جو بر روی ایران و نفوذ زبانه‌های پر فشار از جانب شمال غرب ایران بتدریج از هفتم آوریل میزان و گستردگی هواویزها افزایش می‌یابد. سیزدهم آوریل به همراه استقرار پرفشار بر روی دریای خزر، ترکمنستان و شمال شرق ایران و کم فشار بر روی شرق و مرکز ایران و پاکستان در تراز دریا، شیو فشاری افزایش یافته و شمالی شدن جریانات در روز چهاردهم آوریل و در نهایت انتقال هواویزها به سمت شمال شرق ایران را به همراه داشته است. بنابراین بطور کلی علاوه بر اثر کم ارتفاع در تراز میانی جو، افزایش شیو فشاری (بدلیل حضور کم فشار بر روی سیستان تا جنوب خراسان رضوی و استقرار پرفشار بر روی دریای خزر و خراسان شمالی) موجب افزایش شدت باد و برخاست ذرات گرد و خاک شده است که با نتایج مطالعات مرجانی (۱۳۷۲)، لشکری (۱۳۸۷) و زرین (۱۳۹۲) که افزایش فشار بر روی ترکمنستان، دریای خزر و خراسان و استقرار کم فشار بر روی بخش‌های مرکزی و جنوبی ایران، پاکستان و عربستان را از جمله عوامل اصلی در ایجاد پدیده گرد و خاک در خراسان دانسته‌اند، یکسان می‌باشد.

خروجی‌های مدل نیز با تفکیک افقی ۴۰ کیلومتری مبین آن است که محل برخاست ذرات گرد و خاک مرز بین ایران و ترکمنستان و سپس افزایش عمق ذرات در بیابان قره قوم ترکمنستان می‌باشد. بنابراین چشمه اولیه گرد و خاک بصورت مشترک مرز بین ایران و ترکمنستان در شمال شرق ایران بوده که با افزایش شدت وزش باد و گسترش گرد و خاک بر روی ترکمنستان افزایش عمق ذرات نوری را به همراه داشته است، به طوری که به تدریج بر روی ترکمنستان گسترده شده و بر عمق ذرات نوری بر روی بیابان قره قوم افزوده شده است. چهاردهم آوریل ۲۰۱۱ با تغییر جهت وزش باد گرد و خاک وارد ایران شده است. بنابراین چشمه مهم گرد و خاک برای شمال شرق ایران بیابان قره قوم در ترکمنستان می‌باشد.

در پایان از جناب آقای دکتر قائمی به جهت راهنمایی استفاده از بی‌هنجاری در تحلیل وضعیت جوی بسیار سپاسگزاریم.

منابع

- ۱- مرجانی، سید صدرالدین، بررسی سینوپتیکی بادهای شدید بیش از ۱۵ متر بر ثانیه (طوفان) در خراسان، پایان نامه کارشناسی ارشد، استاد راهنما خیراندیش، محمد، دانشگاه تهران، دانشکده ژئوفیزیک، ۱۳۷۲.
- ۲- ایران‌منش، فاضل، عرب خدري، محمود، محبی، اکرم، بررسی مناطق برداشت ذرات گرد و خاک و ویژگی‌های انتشار آن‌ها در طوفان‌های منطقه سیستان با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای. پژوهش و سازندگی، شماره ۶۷، تابستان ۱۳۸۴.
- ۳- ذوالفقاری، حسن، عبادزاده، حیدر، تحلیل سینوپتیک سیستم‌های گرد و خاک در غرب ایران. مجله جغرافیا و توسعه، پاییز و زمستان ۱۳۸۴.
- ۴- لشکری، حسن، کیخسروی، قاسم، تحلیل آماری سینوپتیکی توفان‌های گرد و غبار استان خراسان رضوی در فاصله زمانی (۲۰۰۵-۱۹۹۳)، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۶۵، پاییز ۱۳۸۷، صص ۳۳-۱۷.
- ۵- مهرشاهی، داریوش، بررسی آماری پدیده گرد و خاک و تحلیل الگوی وزش بادهای گرد و خاک زا در شهرستان سبزوار. جغرافیا، دوره جدید، سال هفتم، شماره ۲۲، پاییز ۱۳۸۸.
- ۶- خسروی، محمود، بررسی توزیع عمودی گرد و خاک ناشی از طوفان خاورمیانه با استفاده از مدل NAAPS مطالعه موردی: سیستان ایران. مجموعه مقالات چهارمین کنگره بین المللی جغرافیدانان جهان اسلام - ایران، زاهدان، ۲۷ - ۲۵ فروردین ۱۳۸۹.
- ۷- خوش کیش، اسداله، علیجانی، بهلول، حجازی زاده، زهرا، تحلیل سینوپتیکی سامانه‌های گرد و خاک در استان لرستان. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، جلد ۱۸، شماره ۲۱، تابستان ۱۳۹۰.

- ۸- ذوالفقاری، حسن، معصوم پور سماکرش، جعفر، شایگان مهر، شاپور، احمدی، محمد، بررسی همدیدی توفان‌های گرد و خاک در مناطق غربی ایران طی سال‌های ۱۳۸۴ تا ۱۳۸۸ (مطالعه موردی موج فراگیر تیر ماه ۱۳۸۸). مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲، شماره پیاپی ۴۳، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۰.
- ۹- مفیدی، عباس، جعفری، سجاده، بررسی نقش گردش منطقه‌ای جو بر روی خاورمیانه در وقوع توفان‌های گرد و غباری تابستانه در جنوب غرب ایران. مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، سال دوم، شماره پنجم، پاییز ۱۳۹۰.
- ۱۰- شاهسونی، عباس، احمدی، دیم یار، مصداقی نیا، علیرضا، یونسین، مسعود، جعفرزاده، نعمت اله، نعیم آبادی، ابوالفضل، ثالثی، محمود، ندافی، کاظم، تحلیل روند گرد و غبار ورودی به ایران با تأکید بر استان خوزستان. مجله پژوهشی حکیم، ۱۳۹۱.
- ۱۱- خوشحال دستجردی، جواد، موسوی، سید حجت، کاشکی، عبدالرضا، تحلیل همدید طوفان‌های گرد و خاک ایلام (۲۰۰۵-۱۹۸۷). جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۳، پیاپی ۴۶، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۱.
- ۱۲- ملکوتی، حسین، بابا حسینی، سمیرا، نوحه‌گر، احمد، آزادی، مجید، محمدپور، محمدرضا، مطالعه همدیدی و عددی نشر، انتقال و شناسایی چشمه یک توفان گرد و خاک سنگین در منطقه خاورمیانه. فصلنامه علمی-پژوهشی پژوهش‌های فرسایش محیطی، سال سوم، شماره ۱۲، زمستان ۱۳۹۲، صص ۸۰-۶۹.
- ۱۳- مفیدی، عباس، کمالی، سمیع، زرین، آذر، ارزیابی توان RegCM4 پیوند خورده با طرح واره غبار در آشکارسازی ساختار توفان‌های گرد و غباری تابستان در دشت سیستان. فصلنامه علمی-پژوهشی جغرافیا (برنامه‌ریزی منطقه‌ای)، سال سوم، شماره ۳، تابستان ۱۳۹۴، صص ۶۹-۵۱.
- 14- Zakey, A. s, Solmon, F. 2006, Implementation and testing of a desert dust module in a regional climate model, Atmospheric chemistry and physics, 6, 4687-4704
- 15- Zhang, D. F, Zakey, A. s. Gao, X. J, Giorgi, F, Solmon, F, 2009, Simulation of dust aerosol and its regional feedback over East Asia using a regional climate model, Atmospheric chemistry and physics, 9, 1095-1110
- 16- Camara, M., Jenkins, G., Konare, A. 2010, Impacts of dust on west African Climate during 2005 and 2006, Atmospheric Chemistry and Physics Discussion, 10, 3053-3086
- 17- Santese, M., Perrone, M. R., Zakey, A. S., Tomasi, F. D, Giorgi, F. 2010, Modeling of Saharan dust outbreaks over the Mediterranean by Regcm 3, case studies, Atmospheric Chemistry and Physics, 10, 133-156.