

## بررسی و پیش بینی انتقال گردوخاک از کانون‌های مختلف کشور ترکمنستان به شمال و شرق ایران و شمال کشور افغانستان در یک مطالعه موردی (شهریور سال ۱۴۰۲)

سارا کریمی\*<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup> استادیار هواشناسی، گروه پژوهشی آلودگی هوا و گردوخاک، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۶/۲۹، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۰۱

### چکیده

در روز ۲۰ شهریورماه سال ۱۴۰۲ گردوخاک شدیدی استان‌های شمال شرقی و شرق ایران و همچنین سواحل جنوبی دریای خزر را تحت تاثیر قرار داد به گونه‌ای که دیدافتی در دو استان گیلان و مازندران به شدت کاهش یافت. وقوع پدیده گردوخاک در شمال ایران که چنین رخدادهایی به ندرت در آن اتفاق می‌افتد، امری غیرمنتظره بود. هدف این مطالعه بررسی عوامل وقوع این پدیده، شناسایی کانون‌های گردوخاک فعال در زمان وقوع آن و همچنین بررسی توانایی یک مدل عملیاتی گردوخاک در پیش‌بینی این پدیده است. به این منظور از داده‌ها و محصولات ماهواره‌ای، داده‌های بازتحلیل ERA5 و خروجی مدل DREAM8-MACC استفاده شد. نتایج نشان داد که فعالیت کانون‌های گردوخاک در سواحل شرقی دریای خزر، جنوب ترکمنستان در نزدیکی مرز این کشور با ایران، مناطق مرکزی آن در اطراف بیابان قره‌قوم، مناطق شمال و شمال شرقی آن و همچنین بخش‌هایی از بستر رودخانه‌های آمودریا و مرغاب در شرق ترکمنستان سبب ایجاد چنین رخداد گسترده‌ای شده‌اند. براساس تحلیل همدیدی، وجود یک سامانه کم‌فشار دینامیکی در قزاقستان، سامانه پرفشار بر روی دریای خزر و یک مرکز کم‌فشار حرارتی در شرق ایران در منطقه مرزی با افغانستان از عوامل جوی وقوع این پدیده گردوخاک بوده است. ارزیابی خروجی مدل نیز نشان داد که مدل در پیش‌بینی این پدیده، مقادیر AOD را بسیار کمتر برآورد کرده و انتقال گردوخاک به سواحل جنوبی خزر را پیش‌بینی نکرده است.

کلمات کلیدی: گردوخاک، ترکمنستان، مدل عددی DREAM-MACC، شمال و شرق ایران، افغانستان

وقوع پدیده گردوخاک در مناطق مختلف دنیا سبب بروز خسارات مالی و جانی زیادی می‌شود (راشکی و همکاران، ۲۰۲۱؛ میدلتون و همکاران، ۲۰۱۹). یکی از مناطقی که در سال‌های اخیر به شدت با پدیده گردوخاک مواجه شده منطقه آسیای میانه است (ایندویتو و همکاران، ۲۰۱۲؛ برومندی و همکاران، ۲۰۲۳؛ ایسانوا و همکاران، ۲۰۲۳). اثرات تغییر اقلیم، خشکسالی‌های شدید، فعالیت‌های انسانی و تغییر کاربری اراضی از جمله عواملی هستند که سبب شکل‌گیری و فعالیت کانون‌های گردوخاک جدید بویژه در آسیای میانه شده‌اند (ژو و همکاران، ۲۰۱۹؛ شن و همکاران، ۲۰۱۹). از زمان شروع پایش گردوخاک، بیابان‌های قره‌قوم و قزل‌قوم مناطق اصلی تولید کننده گردوخاک هستند که کل آسیای میانه را تحت تأثیر قرار می‌دهند (اورلاوسکی و همکاران، ۲۰۰۵). در مطالعه ایندویتو و همکاران بزرگترین منطقه کانون گردوخاک در آسیای میانه، صحرای قره‌قوم با فراوانی وقوع گردوخاک بیش از ۳۰ روز در سال تعیین شده است، پس از آن بیابان قزل‌قوم و مناطق جنوبی دریاچه بالکان از منابع اصلی گردوخاک بودند (ایندویتو و همکاران، ۲۰۱۲).

گرل و همکاران در تحقیقی، رسوب گردوخاک بین سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۰ از ۲۱ ایستگاه در ازبکستان، قزاقستان و ترکمنستان را بررسی نمودند. بیابان‌های قره‌قوم، قزل‌قوم و آرال‌قوم به عنوان منابع اصلی گردوخاک در حوضه دریاچه آرال در این تحقیق شناسایی شدند (گرل و همکاران، ۲۰۱۳). نتایج آنها تأیید کرد که انتقال گردوخاک عمدتاً در جهت جنوبی رخ می‌دهد. شن و همکاران در نتایج تحقیقاتشان تصریح کردند، در آسیای مرکزی، به جز نواحی بیابانی طبیعی موجود، بیابان‌های تازه ایجاد شده توسط انسان که در ابتدا بستر دریاچه‌ها بودند (مانند دریای آرال، دریای خزر، دریاچه بالخاش و غیره) به منابع بسیار مهمی برای

گردوخاک تبدیل شده‌اند (شن و همکاران، ۲۰۱۶). رویدادهای گردوخاک به طور مکرر در بیابان‌های قزل‌قوم و آرال‌قوم، خلیج قره‌باز گل و به طور کلی در امتداد مرزهای جنوبی و جنوب‌شرقی آسیای مرکزی در فصول بهار، تابستان و پاییز رخ داده و چنین رویدادهایی منجر به غلظت بالای ذرات معلق و نرخ رسوب گردوخاک بالا می‌شود (ژنگ و همکاران، ۲۰۲۰). بر اساس نتایج یک پژوهش دیگر، یک چشمه فعال تولید گردوخاک برای نخستین بار در بخش‌های شرقی دریای خزر، روی پهنه‌های بیابانی صحرای ترکمنستان و قره‌قوم شناسایی شد (غفاریان و همکاران، ۱۳۹۴).

کانون‌های گردوخاک کشور ترکمنستان به صورت گسترده‌ای مناطق شمال‌شرقی و شرق ایران را تحت تأثیر قرار می‌دهند (خان‌سالاری و همکاران، ۱۴۰۲). توفان‌های گردوخاک ناشی از بیابان قره‌قوم در جنوب ترکمنستان و بستر خشک دریاچه آرال، عمدتاً بخش شمال‌شرقی ایران تا مرزهای افغانستان را تحت تأثیر قرار می‌دهد (معصومی و همکاران، ۲۰۱۳؛ اورلاوسکی، ۲۰۰۴؛ راشکی و همکاران، ۲۰۱۳). کرمی و همکاران (۱۳۹۸) به بررسی همدیدی و شبیه‌سازی موردی توفان گردوخاک در مناطق شرق و شمال‌شرقی ایران با استفاده از مدل DREAM-BSC پرداخته‌اند. نتایج این پژوهش بیانگر وجود گرادبان فشاری شدید در منطقه و کانون گردوخاک در اطراف دریاچه‌های هامون و آرال و مناطق شمال کشور ترکمنستان است. یار مرادی و همکاران در مقاله‌ای ردیابی مسیر انتقال گردوخاک با استفاده از خروجی مدل HYSPLIT نشان دادند که منشأ عمده گردوخاک استان‌های واقع در شرق و شمال‌شرقی ایران از مناطق بیابانی ترکمنستان و خصوصاً بیابان‌های بالکان می‌باشد (یارمرادی و همکاران، ۱۳۹۸). در مطالعه‌ای با استفاده از تکنیک‌ها و تحلیل‌های مختلف آماری، همدیدی و سنجش از دور به بررسی نقش بیابان قره‌قوم ترکمنستان به عنوان مهمترین خاستگاه

فرمانطقه‌ای توفان‌های گردوخاک در استان خراسان رضوی پرداخته شده است (رئیس پور، ۱۳۹۷). نتایج حاصله بیانگر فراهم شدن سازوکار دینامیکی لازم بر روی بیابان قره‌قوم (مرکز کم‌فشار) و نیمه جنوبی دریای خزر (مرکز پرفشار) می‌باشد. حاکمیت چنین شرایطی منجر به ایجاد ناپایداری و صعود هوا در ناحیه بیابانی مذکور و خیزش گردوخاک به جو شده است. با توجه به غلبه باد شمال‌شرقی، گردوخاک از بیابان قره‌قوم به سمت استان خراسان رضوی انتقال می‌یابد.

مبارک حسن و همکاران (۱۳۹۹) بیان کردند که استان خراسان بزرگ واقع در شمال‌شرق ایران ساختار سطحی متنوعی بادشت‌ها و قله‌های متعدد دارد اما به دلیل مجاورت با بیابان‌های افغانستان و ترکمنستان در همه اوقات سال به ویژه تابستان تحت تأثیر گردوخاک قرار می‌گیرد. نتیجه بررسی همدیدی آنها نشان داد که در فصل تابستان وجود کم‌فشار حرارتی در جنوب خراسان و پرفشار در شمال افغانستان، منجر به توسعه بادهای شمال و شمال‌شرقی در مرز شرقی ایران و غرب افغانستان شده و گردوخاک در این مناطق انتشار می‌یابد. مناطق وسیعی از جنوب ترکمنستان، شرق ایران و غرب افغانستان تحت تأثیر جریان‌های بادی با عنوان بادهای صدویست روزه می‌باشند که عمدتاً از اواخر فصل بهار تا انتهای فصل تابستان وزش دارند (کاسکاتیس و همکاران، ۲۰۱۵؛ حسین زاده و همکاران، ۱۳۹۶). این بادهای در اثر یک مرکز کم‌فشار نسبتاً قوی در جنوب شرقی ایران و همچنین دو مرکز پرفشار یکی بر روی دریای خزر و دیگری در ارتفاعات کوه‌های هندوکش ایجاد می‌شوند که در این میان سامانه پرفشار روی دریای خزر از اهمیت بیشتری برخوردار است. این جریان‌ها باعث وقوع گردوخاک می‌شوند. در یک مطالعه، میانگین روزانه عمق نوری هواویزها و داده‌های ERA-Interim برای شناسایی الگوهای همدیدی گردوخاک در شمال شرقی ایران و صحرای قره‌قوم طی سال‌های ۲۰۰۳-۲۰۱۲ بررسی شد

(محمد پور و همکاران، ۲۰۲۲). ایشان بیشترین فراوانی گردوخاک را در دو فصل بهار و تابستان بدست آوردند. در فصل بهار وزش بادهای شمال شرقی یا شمال غربی بر روی بیابان‌های قره‌قوم و قزل‌قوم و بادهای جنوب غربی بر روی ایران سبب تجمع گردوخاک در این منطقه می‌شود. در فصل تابستان وزش بادهای شمالی در آسیای میانه بدون وجود بادهای جنوب غربی در ایران سبب انتقال گردوخاک تا عرض‌های پایین تر می‌شود.

هدف از این مقاله، بررسی پدیده گردوخاک شدید روز ۲۰ شهریور سال ۱۴۰۲ است که در آن بخش‌های وسیعی از کشورهای ترکمنستان و افغانستان و همچنین مناطق شمال، شمال شرقی و شرق ایران تحت تأثیر گردوخاک قرار داشتند. شدت این رخداد به گونه‌ای بود که دید افقی در استان‌های شمالی کشور که کمتر با پدیده گردوخاک مواجه هستند به شدت کاهش یافت.

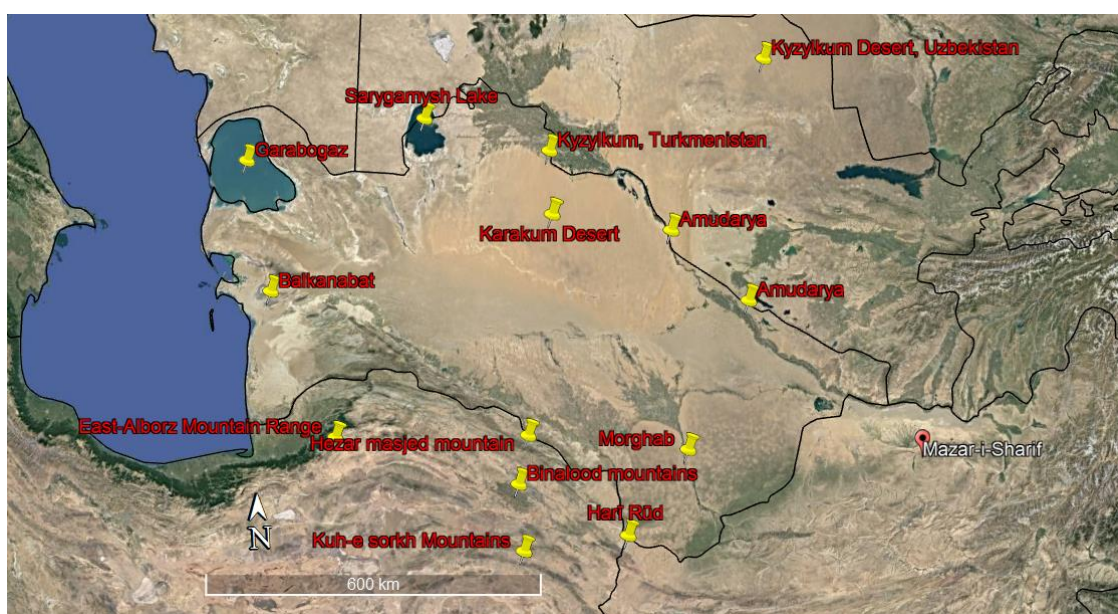
### مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه شامل کشور ترکمنستان، شمال و شرق ایران و همچنین شمال افغانستان است. وجود مناطق بیابانی از یک طرف و کوهستانی از طرف دیگر سبب شده که اختلاف ارتفاع زیادی در این منطقه وجود داشته باشد (مبارک حسن و همکاران، ۱۳۹۹). شکل‌گیری کانون‌های جدید گردوخاک ناشی از خشکسالی‌های شدید، کاهش بارندگی و عوامل انسانی در سال‌های اخیر در این منطقه سبب وقوع پدیده‌های گردوخاک شدید و فراگیر شده است (استرنبرگ و ادواردز، ۲۰۱۷؛ شی و همکاران، ۲۰۲۰). به گونه‌ای که استان‌های گیلان و مازندران که از سرسبزترین استان‌های کشور ایران به شمار می‌روند را نیز با پدیده گردوخاک درگیر کرده است.

شکل ۱ تصویر منطقه مورد مطالعه به همراه برخی ساختارهای طبیعی را نشان می‌دهد. بیابان‌های قره‌قوم و

ایران رشته کوه‌های مختلفی وجود دارند که سبب انتقال گردو خاک در مسیرهای مشخصی می‌شوند و با ممانعت از نفوذ بخش‌هایی از ذرات گردو خاک به عرض‌های جغرافیایی پایین‌تر سبب تجمع بیشتر ذرات در برخی مناطق شمال و شمال شرقی ایران می‌شوند. برخی از این کوه‌ها از جمله بینالود، هزار مسجد و کوه سرخ در شکل ۱ نشان داده شده‌اند.

قرل‌قوم بیابان‌های اصلی موجود در این منطقه هستند. مناطق پست واقع در ساحل شرقی دریای خزر از جمله دیگر کانون‌های گردو خاک در کشور ترکمنستان می‌باشند. رودخانه‌های مختلفی نیز در این منطقه جاری هستند که خشک شدن آنها در برخی مناطق سبب شده بخش‌هایی از بسترشان به عنوان کانون گردو خاک فعالیت کند که از آن جمله می‌توان به هریرود، آمودریا و مرغاب اشاره کرد. در بخش‌های شمال و شمال شرقی



شکل ۱. منطقه مورد مطالعه

محصول سنجنده مادیس ماهواره ترا ارائه می‌شود. این کمیت علاوه بر برآورد میزان ذرات معلق در جو، برای درستی سنجی خروجی مدل پیش‌بینی گردو خاک نیز بکار گرفته شده است. برای بررسی الگوهای جوی حاکم بر منطقه در زمان وقوع این پدیده گردو خاک، نقشه‌های میانگین فشار سطح دریا، ارتفاع ژئوپتانسیلی، دما و باد در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال و ارتفاع ژئوپتانسیلی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال با استفاده از داده‌های بازتحلیل ERA5 با تفکیک افقی ۲۵/۰ درجه تحلیل می‌شود. خروجی مدل HYSPLIT که به روش پسرود در ارتفاع ۵۰۰ متری به

در این مقاله پدیده گردو خاک روز ۲۰ شهریور سال ۱۴۰۲ که بخش وسیعی از کشور ترکمنستان، شمال، شمال شرقی و شرق کشور ایران و همچنین کشور افغانستان را تحت تاثیر قرار داد بررسی می‌شود. به منظور شناسایی توده گردو خاک و مناطق تحت تاثیر آن، نخست تصویر رنگ حقیقی سنجنده مادیس ماهواره ترا در این روز ارائه می‌شود. تصاویر Dust RGB مربوط به این روز که به صورت ساعتی موجود هستند مناطق کانون گردو خاک و چگونگی انتقال ذرات گردو خاک از آنها را نشان می‌دهند. در ادامه، کمیت عمق نوری هواویزها

می‌شود. موقعیت جغرافیایی این نقاط در جدول ۱ نشان داده شده است. داده‌های هواشناسی GDAS با تفکیک افقی ۰/۵ درجه برای اجرای مدل HYSPLIT استفاده شده است.

مدت ۱۶ ساعت از ساعت ۱۲ روز ۲۰ شهریور سال ۱۴۰۲ اجرا شده، مسیر انتقال ذرات گردوفاک را نشان می‌دهد. برای اجرای این مدل، سه نقطه در شمال و شرق ایران و همچنین شمال کشور افغانستان که در تصاویر ماهواره‌ای تحت تاثیر گردوفاک بودند در نظر گرفته

جدول ۱. موقعیت جغرافیایی نقاط اجرای مدل HYSPLIT

نقطه اولیه	طول جغرافیایی (درجه شرقی)	عرض جغرافیایی (درجه شمالی)
نقطه ۱	۵۴	۳۷
نقطه ۲	۶۰	۳۴
نقطه ۳	۶۷	۳۷

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (F_i - O_i)^2} \quad (1)$$

$$Bias = \frac{\sum F_i}{\sum O_i} \quad (2)$$

$$r = \frac{\sum (F_i - \bar{F})(O_i - \bar{O})}{\sqrt{\sum (F_i - \bar{F})^2} \sqrt{\sum (O_i - \bar{O})^2}} \quad (3)$$

در کلیه معادلات،  $F_i$  خروجی AOD مدل در هر نقطه شبکه،  $O_i$  مقدار AOD ماهواره‌ای در همان نقطه شبکه،  $N$  تعداد کل نقاط شبکه و علامت بار نیز نشان‌دهنده میانگین مکانی بر روی همه نقاط است. عمق نوری هواویزها اطلاعات مهمی در مورد غلظت، توزیع اندازه و تنوع ذرات معلق در هوا (گردوفاک، نمک دریا، مه و ذرات دود) ارائه می‌دهد. این کمیت بی‌بعد مربوط به مقدار ذرات معلق موجود در ستون عمودی جو بر روی منطقه مشاهداتی است. AOD یک اندازه‌گیری کمی از خاموشی تابش خورشیدی به دلیل پراکندگی و جذب توسط ذرات معلق ارائه می‌دهد.

در مدل پیش بینی گردوفاک DREAM8-MACC، شار سطحی گردوفاک ( $F_S$ ) بر اساس

در انتها به منظور بررسی توانایی یکی از مدل‌های عملیاتی پیش‌بینی گردوفاک که به صورت گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد، خروجی AOD مدل DREAM8-MACC به صورت کیفی و کمی با داده‌های ماهواره‌ای در منطقه مورد مطالعه مقایسه می‌شود. خروجی مدل DREAM8-MACC از سایت <https://sds-was.aemet.es> اخذ شده و تفکیک آن  $\frac{1}{3} \times \frac{1}{3}$  می‌باشد. داده‌های ECMWF به عنوان شرایط اولیه و مرزی در اجرای این مدل استفاده شده است. اجرای مدل از ساعت ۰۰ UTC روز ۱۸ شهریور ماه سال ۱۴۰۲ آغاز شده و گردوفاک را تا ۷۲ ساعت آینده پیش‌بینی کرده است.

برای ارزیابی کمی خروجی مدل از داده‌های مشاهداتی AOD1 سنجنده مادیس ماهواره ترا و کمیت‌های آماری ضریب همبستگی، جذر میانگین مربعات خطا و بایاس (اریبی) که با معادلات (۱) تا (۳) معرفی شده‌اند، استفاده می‌شود.

<sup>1</sup> Aerosol Optical Depth

آزمایش تونل باد با معادله (۴) محاسبه می‌شود (شائو و همکاران، ۱۹۹۳).

(۴)

$$F_S = const \times u_*^3 \left[ 1 - \left( \frac{u_{*t}}{u_*} \right)^2 \right], \text{ for } u_* > u_{*t}$$

این معادله به عنوان اساس طرحواره گسیل گردوخاک در مدل DREAM مورد استفاده قرار می‌گیرد. کمیت  $u_*$  سرعت اصطکاکی و  $u_{*t}$  سرعت اصطکاکی آستانه برای شروع گسیل گردوخاک است. ضریب گسیل گردوخاک ( $const$ ) با معادله (۵) بدست می‌آید.

$$\delta_k = \alpha \gamma_k \beta_k \quad (۵)$$

اندیس  $k$  نشان‌دهنده دسته‌بندی اندازه ذرات است. تأثیر بافت خاک در شار قائم سطحی گردوخاک با پارامترهای  $\alpha$ ،  $\beta$  و  $\gamma$  در نظر گرفته می‌شود. برای اطلاعات بیشتر در مورد این ضرایب به جدول ۱ تا ۳ و

معادله ۴ در مقاله نیکوویچ و همکاران (۲۰۰۱) مراجعه شود.

در نهایت، شار قائم گردوخاک با معادله (۶) محاسبه

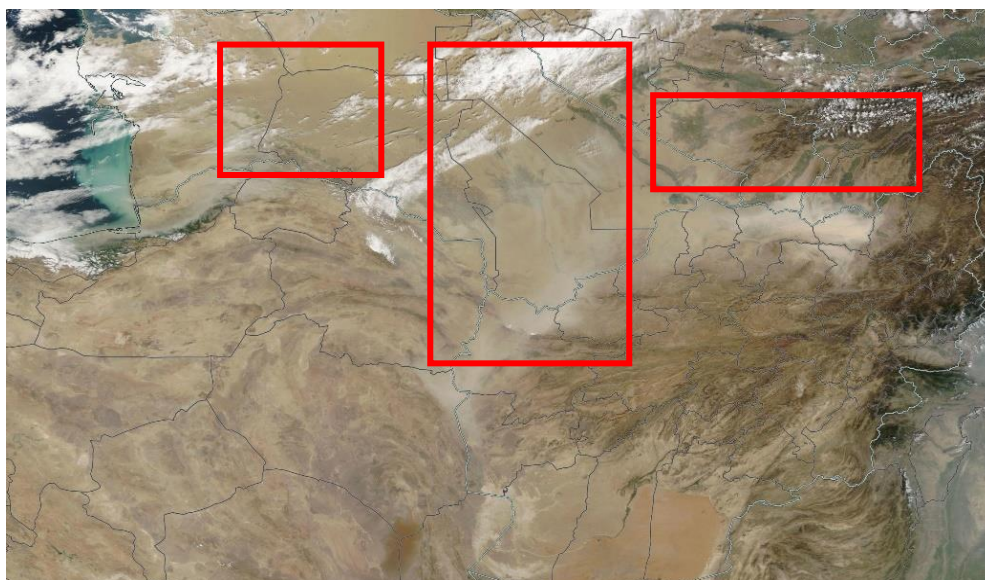
می‌شود.

$$F_{Sk}^{EFF} = \delta_k F_S \quad (۶)$$

### بحث و نتایج

#### محصولات ماهواره‌ای

تصویر رنگ حقیقی سنجنده مادیس ماهواره ترا در روز ۲۰ شهریور ماه سال ۱۴۰۲ حدود ساعت ۶ محلی یا ۹ UTC در شکل ۲ نشان داده شده است. در این روز توده‌های گردوخاک غلیظی در شرق دریای خزر و سواحل جنوبی آن، مناطق مرزی ایران و ترکمنستان و همچنین ایران و افغانستان، شرق ایران و شمال افغانستان مشاهده می‌شود. این توده‌های گردوخاک در شکل با مستطیل‌های قرمز رنگ مشخص شده‌اند.



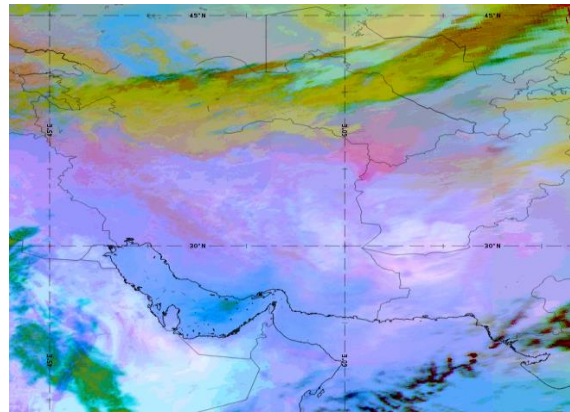
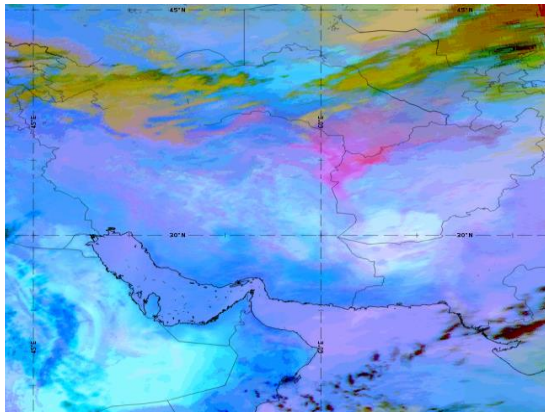
شکل ۲. تصویر رنگ حقیقی سنجنده مادیس ماهواره ترا در روز ۲۰ شهریور ماه سال ۱۴۰۲. مستطیل‌های قرمز رنگ نشان‌دهنده توده‌های گردوخاک هستند.

شکل ۳ تصاویر Dust RGB ماهواره MSG در ساعت‌های ۰۳، ۰۶، ۰۹ و ۱۲ UTC روز ۲۰ شهریور سال ۱۴۰۲ را نشان می‌دهد. در این تصاویر، رنگ صورتی نشان‌دهنده گردوغبار است که هر چه پررنگ‌تر باشد، مقدار بیشتر آن در منطقه را نشان می‌دهد. رنگ سفید مناطق بیابانی و رنگ‌های قهوه‌ای معرف انواع مختلف ابر هستند. در ساعت ۰۳ UTC بیشترین میزان گردوغبار در منطقه مرزی سه کشور ایران، افغانستان و ترکمنستان مشاهده می‌شود. در این ساعت بخش وسیعی از نیمه غربی کشور ترکمنستان و سواحل جنوبی دریای خزر تحت پوشش ابر قرار دارد. در ساعت ۰۶ UTC گردوغبار در مناطق مرزی ایران و ترکمنستان واقع در شمال شرقی ایران و بخشی از سواحل جنوبی دریای خزر مشاهده می‌شود. در این ساعت گردوغبار به مناطقی از شرق و شمال شرقی ایران نیز نفوذ کرده است. در ساعت

۰۹ UTC گردوغبار به بخش‌های وسیع‌تری از سواحل جنوبی خزر رسیده است. مقدار گردوغبار در مناطق شمال شرقی و شرق ایران نیز افزایش یافته است. نفوذ گردوغبار به این مناطق به دلیل وجود توپوگرافی، به صورت کانالیزه بوده و در تصویر ماهواره‌ای اثر توپوگرافی به خوبی قابل مشاهده است. در این ساعت گردوغبار مناطق وسیع‌تری از شمال افغانستان را تحت پوشش قرار داده است. در ساعت ۱۲ UTC بخش وسیعی از منطقه مورد مطالعه شامل شمال، شمال شرقی و شرق ایران، شمال و غرب افغانستان و همچنین بخش وسیعی از ترکمنستان بویژه نیمه شرقی این کشور متأثر از گردوغبار است. در این ساعت علاوه بر نفوذ گردوغبار از کشور ترکمنستان به افغانستان، به نظر می‌رسد گردوغبار از مناطقی واقع در شمال و شمال غربی افغانستان نیز گسیل شده است.

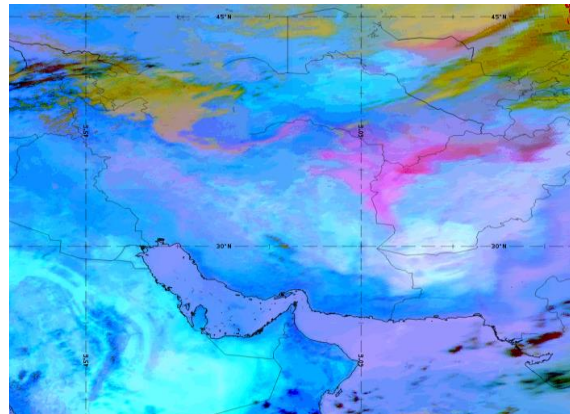
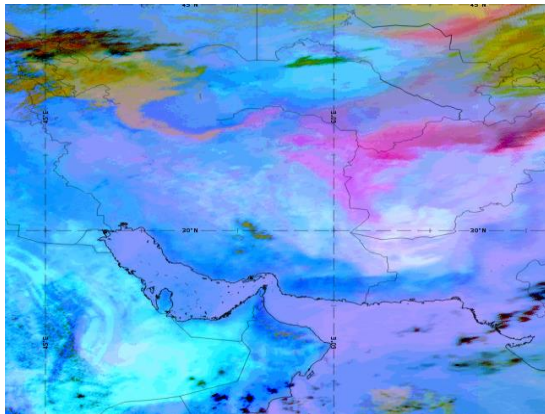
(ب)

(الف)



(د)

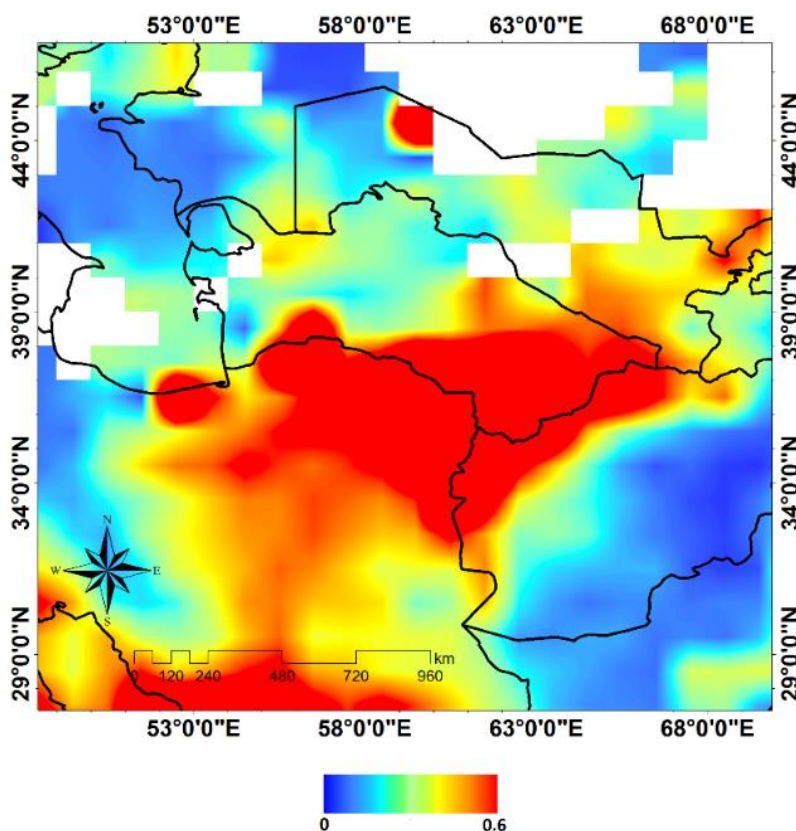
(ج)



شکل ۳. تصاویر Dust RGB ماهواره MSG در ساعت‌های الف) ۰۳، ب) ۰۶، ج) ۰۹، د) ۱۲ UTC روز ۲۰ شهریور سال ۱۴۰۲.

است. البته در اطراف دریای خزر به دلیل وجود نمک دریا همیشه مقدار AOD تا حدودی بیشتر است ولی در این مورد مقدار این کمیت در برخی از مناطق به بیش از ۰/۶ رسیده که نشان دهنده وجود ذرات گرد و خاک است. تصاویر ماهواره‌ای نیز وجود گرد و خاک قابل توجه در سواحل جنوبی خزر را تایید می‌کنند.

کمیت AOD سنجنده مادیس ماهواره ترا در حدود ساعت ۹ UTC روز ۲۰ شهریور ماه سال ۱۴۰۲ در شکل ۴ نشان داده شده است. در این روز بخش وسیعی از شرق و جنوب کشور ترکمنستان، شمال شرق و شرق ایران، شمال و غرب افغانستان و همچنین سواحل جنوبی دریای خزر دارای مقادیر قابل توجه AOD هستند که نشان دهنده وجود مقادیر زیادی از ذرات معلق در آسمان این مناطق



شکل ۴. کمیت AOD سنجنده مادیس ماهواره ترا در حدود ساعت ۹ UTC روز ۲۰ شهریور ماه سال ۱۴۰۲.

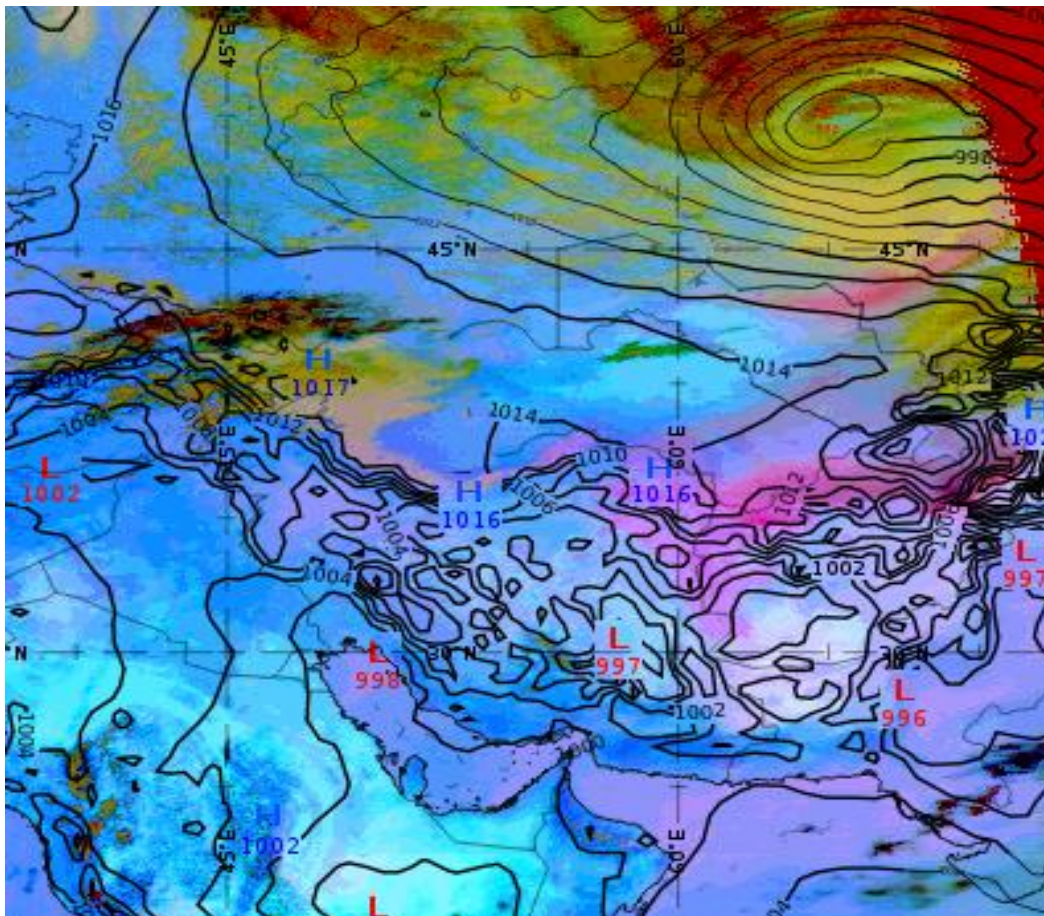
آن تا شمال ترکمنستان نفوذ کرده است. از طرف دیگر یک مرکز پرفشار روی دریای خزر وجود دارد که زبانه‌های آن کشور ترکمنستان و شمال ایران را دربر گرفته است. یک مرکز کم‌فشار حرارتی در مرز کشورهای ایران، افغانستان و پاکستان در منطقه‌ای که گرد و خاک شدیدی وجود دارد و یک کم‌فشار دیگر در شرق و جنوب شرقی ایران شکل گرفته است. این مساله با

تحلیل همدیدی

شکل‌های ۵ تا ۸ نقشه‌های میانگین فشار سطح دریا، ارتفاع ژئوپتانسیلی، دما و بردار باد تراز ۸۵۰ hPa و ارتفاع ژئوپتانسیلی تراز ۵۰۰ hPa در ساعت ۱۲ UTC روز ۲۰ شهریور بر روی تصویر Dust RGB ماهواره MSG را نشان می‌دهند. در نقشه سطح زمین (شکل ۵) یک مرکز کم‌فشار دینامیکی در قزاقستان شکل گرفته که زبانه‌های

نتایج مطالعات مرجانی (۱۳۷۲) و لشکری (۱۳۸۷) که افزایش فشار بر روی ترکمنستان، دریای خزر و خراسان و استقرار کم‌فشار بر روی بخش‌های مرکزی و جنوبی ایران، پاکستان و عربستان را از جمله عوامل اصلی در ایجاد پدیده گردوغبار در خراسان دانسته‌اند، یکسان می‌باشد.

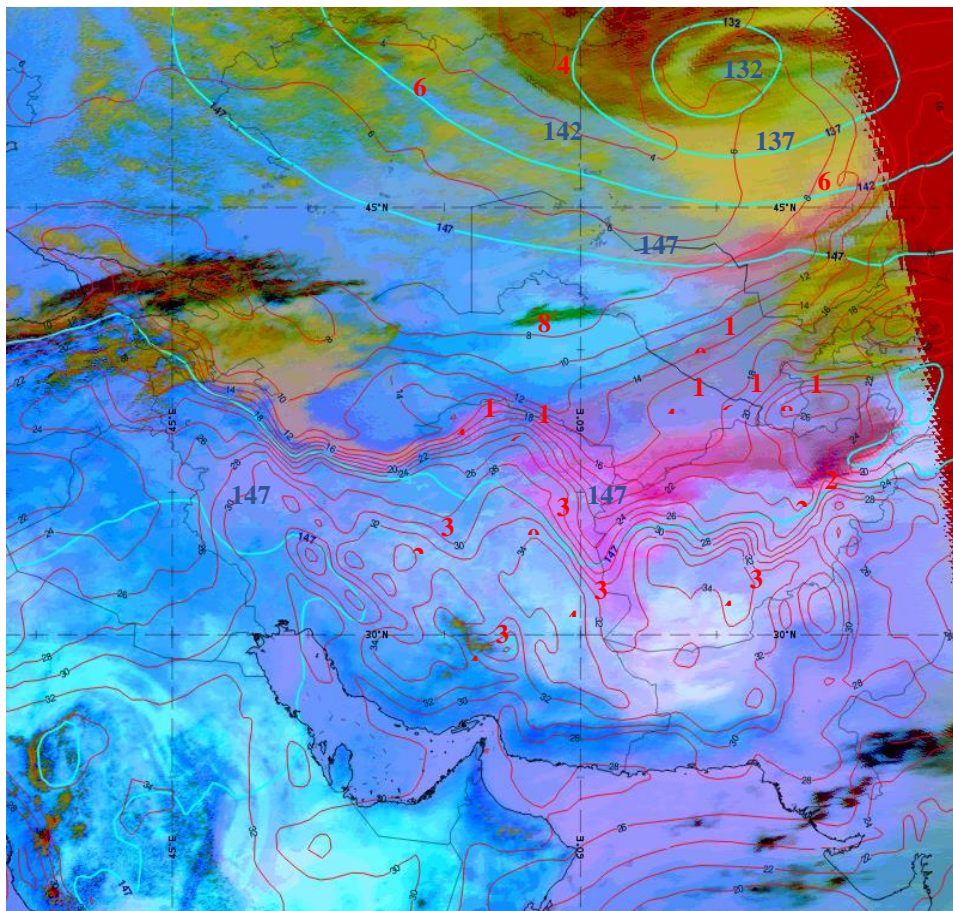
به طور مشابه زرین و همکاران (۱۳۹۲) با بررسی وضعیت گردوغباری‌ترین روزهای نوامبر خراسان رضوی سال ۱۹۷۱ با استفاده از مدل RegCM-4 نتیجه گرفتند پرفشار ترکمنستان و کم‌فشارهای دینامیکی که با جبهه سرد همراه هستند، سبب ناپایداری شدید جو و ایجاد توفان‌های شدید گردوغبار شده‌اند.



شکل ۵. نقشه میانگین فشار سطح دریا بر روی تصویر Dust RGB ماهواره MSG در ساعت ۱۲ UTC روز ۲۰ شهریور ماه سال ۱۴۰۲.

در تراز ۸۵۰ hPa (شکل ۶) در بالای مرکز کم‌فشار واقع بر قزاقستان، یک مرکز کم‌ارتفاع (پربند ۱۳۲ دکامتر) مشاهده می‌شود. همچنین یک ناوه کوچک در شرق ایران و در بالای کم‌فشار حرارتی قرار دارد

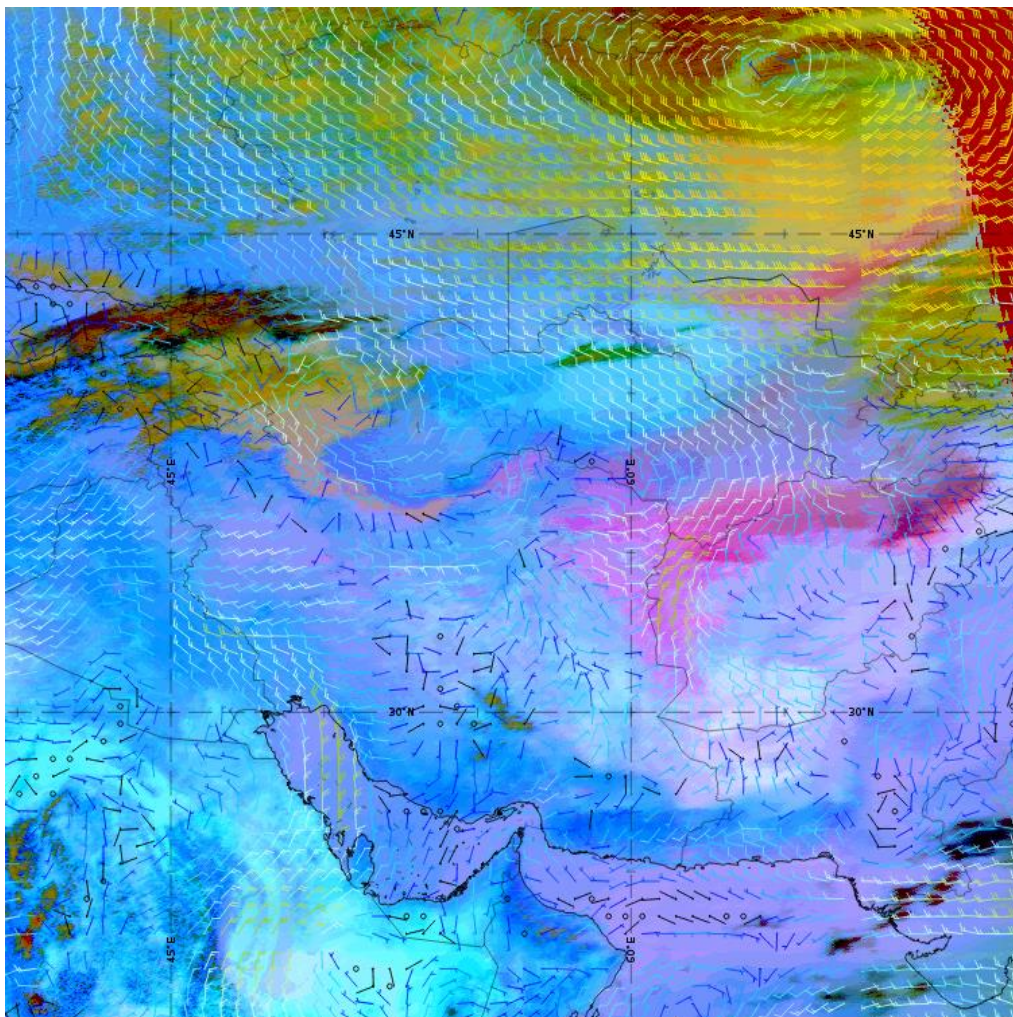
(پربند ۱۴۷ دکامتر) که نشان‌دهنده نفوذ این سامانه تا تراز ۸۵۰ hPa است. زبانه‌های پرارتفاع جنب حاره‌ای تا مناطق جنوب‌غربی ایران وارد شده است.



شکل ۶. نقشه ارتفاع ژئوپتانسیلی و دما در تراز ۸۵۰hPa بر روی تصویر Dust RGB ماهواره MSG در ساعت ۱۲UTC روز ۲۰ شهریور ماه سال ۱۴۰۲. خطوط آبی، پریندهای ارتفاع ژئوپتانسیلی و خطوط قرمز پریندهای همدم هستند.

شمال شرقی و شرق ایران، ذرات گردو خاک را به داخل کشور منتقل کرده‌اند. در غرب کشور افغانستان بادهای شمالی با سرعت‌های ۱۵، ۲۰ و ۲۵ نات سبب ورود گردو خاک به مناطق جنوبی‌تر شده‌اند. در شمال و شمال غربی افغانستان، بادهای شدید شمال و شمال غربی با سرعت‌های ۱۰ تا ۲۰ نات موجب انتقال گردو خاک از ترکمنستان به داخل افغانستان و همچنین گسیل گردو خاک از کانون‌های داخلی افغانستان واقع در شمال این کشور شده‌اند.

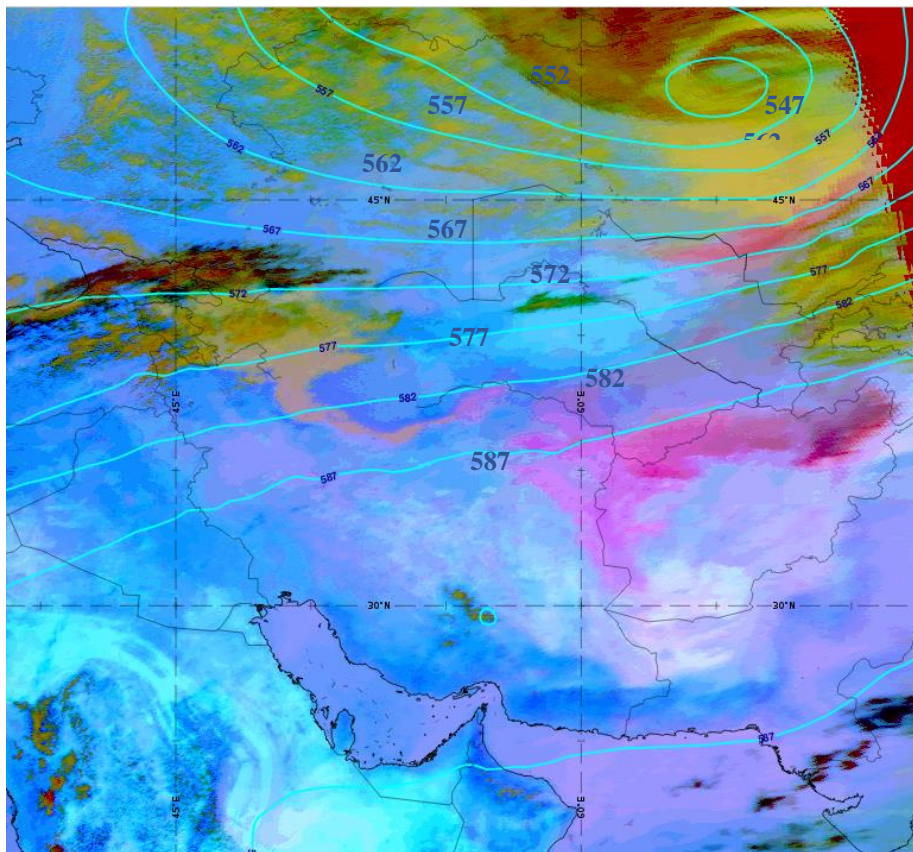
میدان باد تراز ۸۵۰hPa (شکل ۷) وزش بادهای شدید شمالی (حدود ۱۰ نات) در شرق دریای خزر را نشان می‌دهد که سبب گسیل گردو خاک از این مناطق و انتقال آن به مناطق شمال شرقی ایران شده‌اند. در سواحل جنوبی دریای خزر (جنوب مرکز پرفشار سطحی) بادهای شرقی با سرعت ۱۰ نات ذرات گردو خاک را به سایر بخش‌های استان مازندران و گیلان منتقل کرده‌اند. در نیمه شرقی کشور ترکمنستان بادهای شمال غربی و شمالی با سرعت ۱۵ نات وزیده و گردو خاک را به عرض‌های جغرافیایی پایین‌تر انتقال داده‌اند. بادهای شرقی در



شکل ۷. نقشه بردار باد در تراز ۸۵۰ hPa بر روی تصویر Dust RGB ماهواره MSG در ساعت ۱۲ UTC روز ۲۰ شهریور ماه سال ۱۴۰۲.

طرف دیگر زبانه‌های پرارتفاع جنب حاره‌ای تا شرق کشور پاکستان نفوذ کرده‌اند.

در تراز ۵۰۰ hPa (شکل ۸) یک سامانه کم‌ارتفاع با مرکز ۵۴۷ دکامتر بر روی قزاقستان مشاهده می‌شود. از

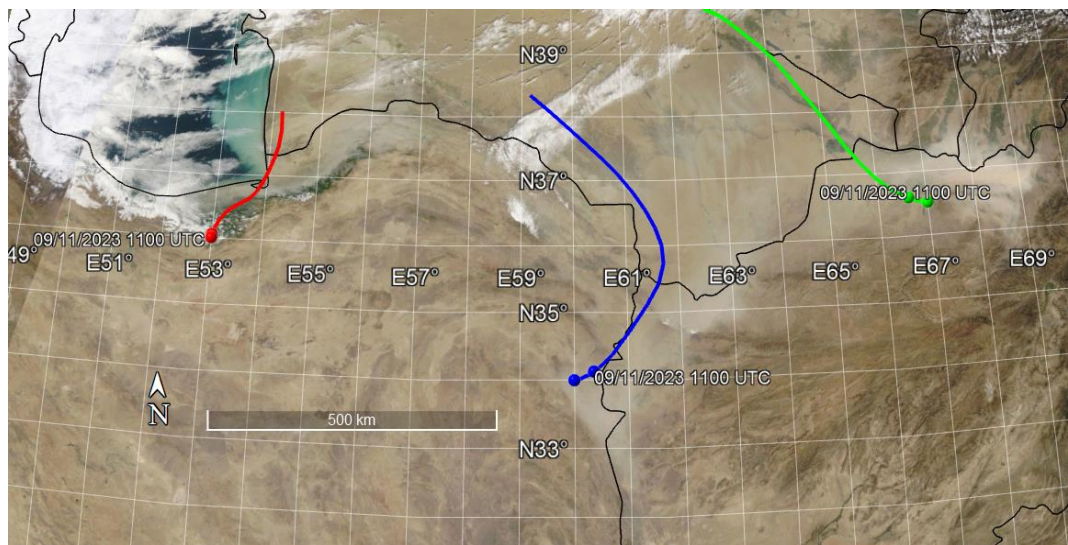


شکل ۸. نقشه ارتفاع ژئوپتانسیلی تراز ۵۰۰hPa بر روی تصویر Dust RGB ماهواره MSG در ساعت ۱۲UTC روز ۲۰ شهریور ماه سال ۱۴۰۲.

#### خروجی مدل HYSPLIT

ترکمستان و اطراف بیابان قره‌قوم عبور کرده است. البته مناطق جنوب شرقی ترکمنستان و بخش‌هایی از مرز ایران و افغانستان (بستر خشک شده هریرود) نیز می‌توانند منشأ گردو خاک مناطق شرقی ایران باشند. گردو خاک موجود در شمال افغانستان نیز در مسیری که از شمال ترکمنستان و اطراف بیابان قزل‌قوم و همچنین مناطقی از بستر خشک شده آمودریا واقع در شمال شرقی ترکمنستان آغاز شده، عبور کرده‌اند.

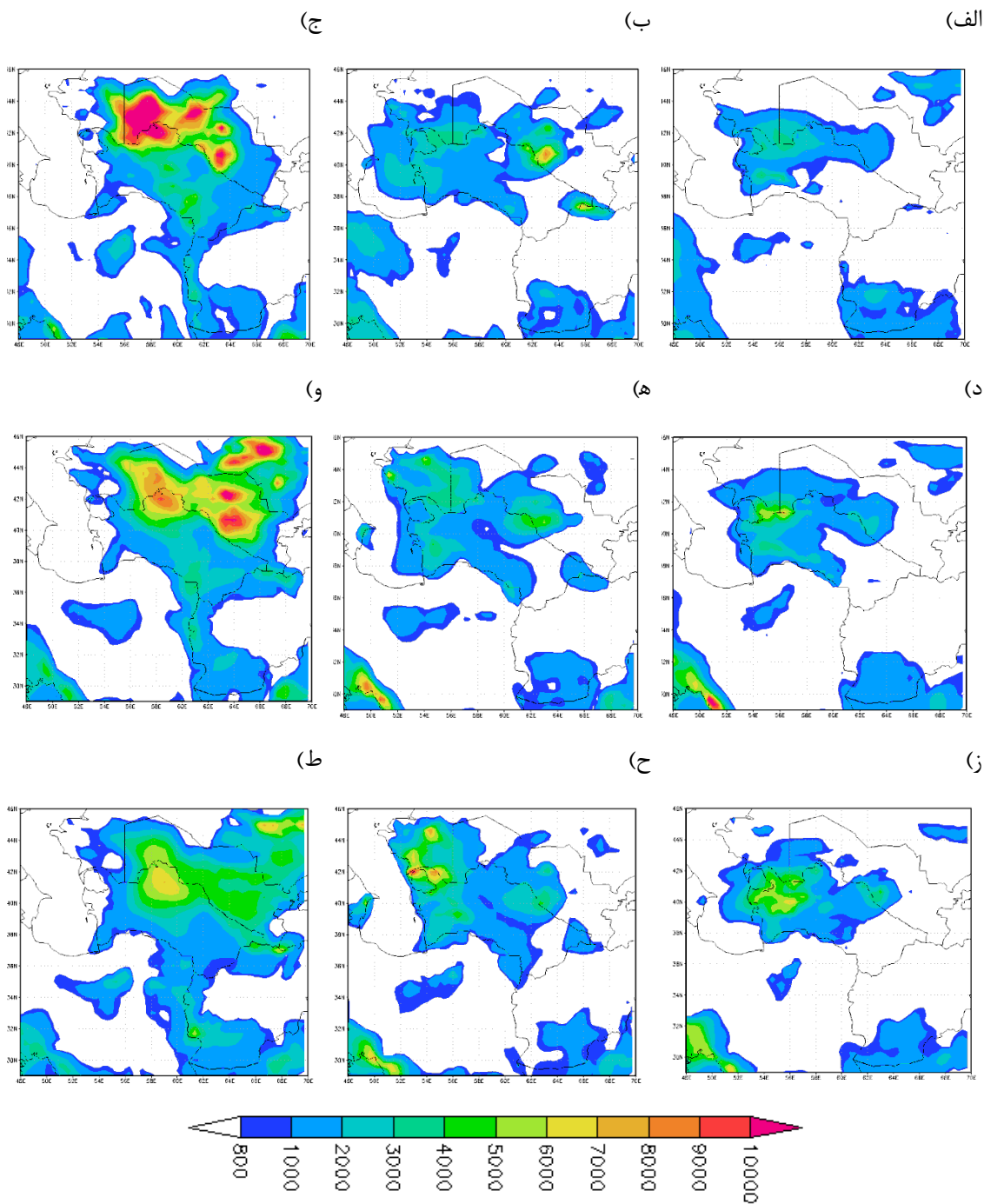
خروجی مدل HYSPLIT که به صورت پسرود در ارتفاع ۵۰۰ متری از ساعت ۱۲UTC روز ۲۰ شهریور به مدت ۱۶ ساعت برای سه نقطه در شمال و شرق ایران و شمال افغانستان اجرا شده (شکل ۹) مسیر انتقال ذرات موجود در جو براساس جریان‌های جوی را نشان می‌دهد. بنابراین گردو خاک موجود در سواحل جنوبی خزر در مسیری که از مناطق شرقی این دریا در کشور ترکمنستان می‌گذرد، منتقل شده است. مسیر انتقال گردو خاک موجود در شرق ایران، از مناطق مرکزی کشور



شکل ۹. خروجی مدل HYSPLIT به صورت پسر و در ارتفاع ۵۰۰ متری از ساعت ۱۲ UTC روز ۲۰ شهریور به مدت ۱۶ ساعت.

کشور ترکمنستان را تحت پوشش قرار داده است. همچنین در شمال شرقی ایران و در مناطق مرزی ایران و افغانستان و شمال و جنوب افغانستان گردوفاک مشاهده می‌شود. در روز ۱۹ شهریور الگوی گردوفاک در ساعات مختلف مشابه روز قبل است. در ساعت ۰۶ UTC روز ۲۰ شهریور در نیمه غربی ترکمنستان غلظت گردوفاک زیاد است. در ساعت ۱۲ UTC علاوه بر مناطق قبلی، گردوفاک در مرکز ایران نیز مشاهده می‌شود. البته مدل، کانون گردوفاک این منطقه را داخلی شناسایی کرده و وجود مناطق کوهستانی در شمال شرقی ایران را مانع نفوذ توده گردوفاک این مناطق به بخش‌های مرکزی کشور تشخیص داده است. در ساعت ۱۸ UTC روز ۲۰ شهریور بخش وسیعی از کشورهای قزاقستان، ازبکستان و ترکمنستان، شرق ایران و همچنین غرب و جنوب افغانستان تحت پوشش گردوفاک قرار دارد.

خروجی مدل DREAM8-MACC  
شکل ۱۰ خروجی غلظت سطحی گردوفاک مدل DREAM8-MACC را در ساعت‌های ۰۶، ۱۲ و ۱۸ UTC روزهای ۱۸ تا ۲۰ شهریور ماه سال ۱۴۰۲ نشان می‌دهد. در ساعت ۰۶ UTC روز ۱۸ شهریور توده گردوفاک در بخش وسیعی از جنوب ازبکستان، شمال ترکمنستان و سواحل شرقی دریای خزر مشاهده می‌شود. در ساعت ۱۲ UTC غلظت گردوفاک در جنوب ازبکستان افزایش نشان داده است. همچنین گردوفاک وارد دریای خزر شده و بخش وسیعی از آن را تحت پوشش قرار داده است. در این ساعت، مدل در منطقه کوچکی واقع در شمال افغانستان و مرز این کشور با ازبکستان و ترکمنستان افزایش غلظت گردوفاک را نشان داده است. در ساعت ۱۸ UTC غلظت گردوفاک در بخش‌های مختلف کشور ازبکستان افزایش قابل توجهی یافته است. در این ساعت گردوفاک سراسر



شکل ۱۰. خروجی غلظت سطحی گردوخاک مدل DREAM8-MACC در ساعت‌های ۰۶، ۱۲ و ۱۸ UTC روزهای ۱۸ تا ۲۰ شهریور ماه سال ۱۴۰۲.

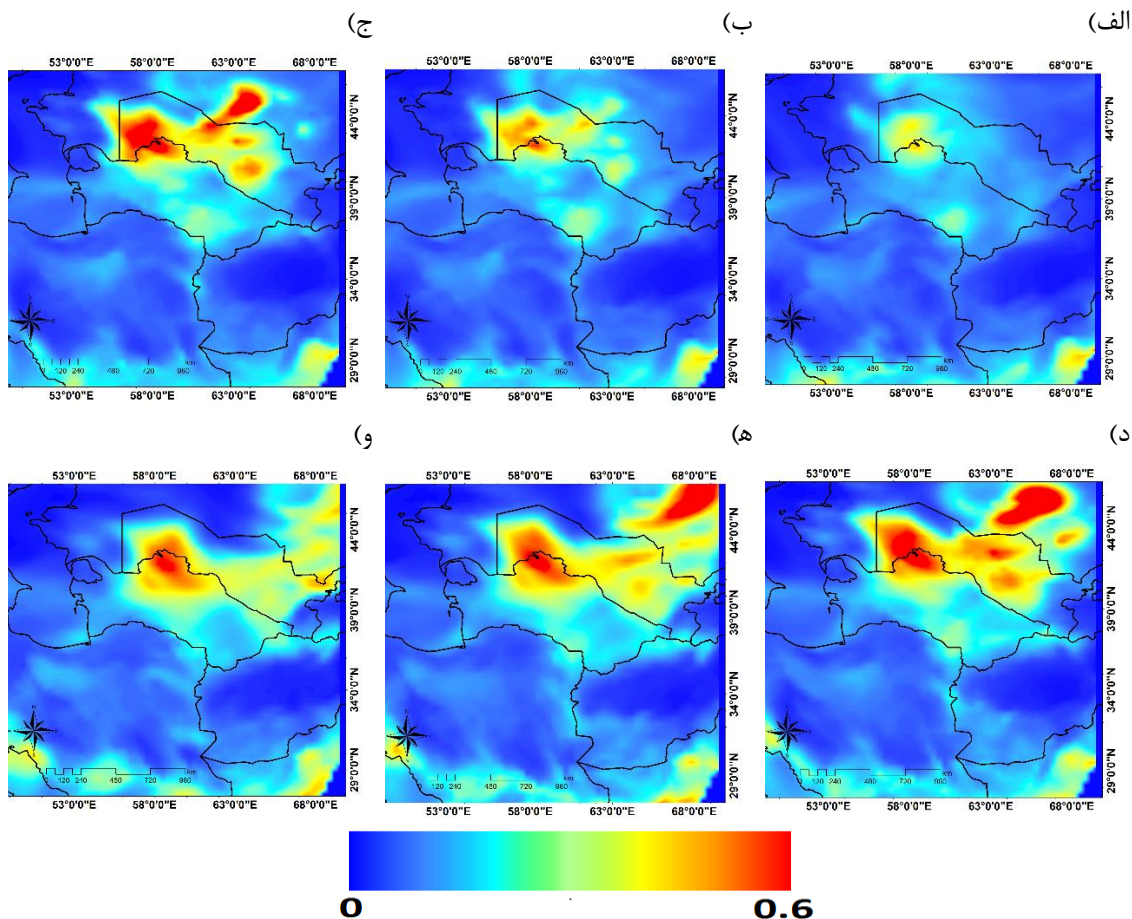
در منطقه مورد مطالعه در شمال ترکمنستان و غرب ازبکستان (اطراف قزل‌قوم) مشاهده می‌شود. همچنین در منطقه ای واقع در جنوب شرقی ترکمنستان، در نزدیکی مرز ایران، مقادیر AOD بیشتر از مناطق اطراف برآورد

خروجی AOD مدل DREAM8-MACC در روز ۲۰ شهریور سال ۱۴۰۲ که در روز ۱۸ شهریور ساعت ۰۰ UTC اجرا شده با بازه زمانی ۳ ساعته در شکل ۱۱ نشان داده شده است. در ساعت ۰۳ UTC بیشترین مقدار AOD

بخش وسیع تری از شرق و شمال شرقی ایران مشاهده می‌شود. همچنین مدل اثر توپوگرافی در این مناطق را تا حدودی نشان داده است. در این ساعت مقدار AOD در منطقه کوچکی از جنوب شرقی خزر اندکی بیشتر از مناطق اطراف آن است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که مدل انتقال گردوغبار به سواحل جنوبی خزر را تا حدودی نشان داده است.

مقایسه خروجی AOD مدل با محصول مادیس نشان می‌دهد که مدل مقادیر AOD در منطقه بویژه در شمال، شمال شرقی و شرق ایران و همچنین شرق ترکمنستان و شمال افغانستان را بسیار کمتر پیش‌بینی کرده و نتوانسته انتقال گردوغبار از کانون‌های مختلف کشور ترکمنستان به سمت این مناطق را به خوبی نشان دهد.

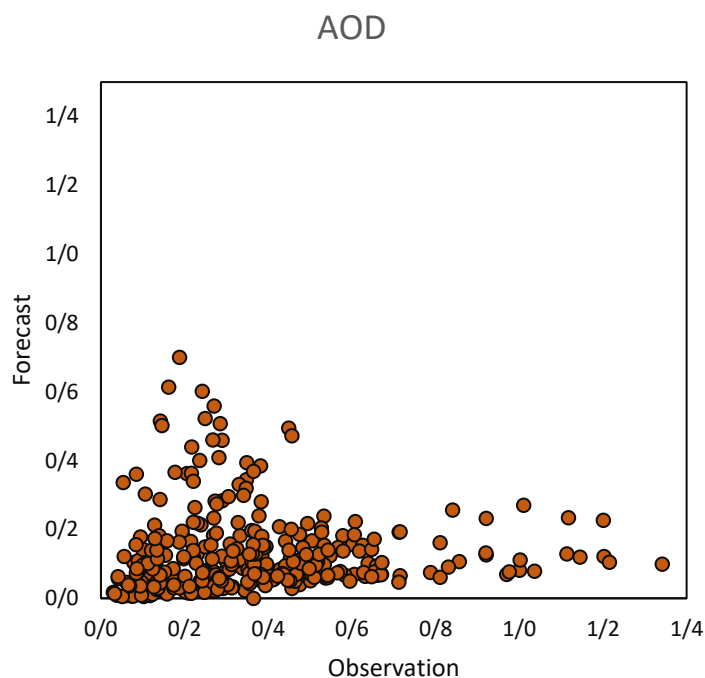
شده است. در ساعت ۰۶ UTC مقدار AOD در شمال کشور ترکمنستان و غرب ازبکستان افزایش یافته است. در ساعت ۰۹ UTC در بخش وسیعی از ازبکستان مقادیر AOD به بیش از ۰/۶ رسیده است. در این ساعت مدل افزایش نسبی AOD در سراسر ترکمنستان را نیز نشان داده است. همچنین در منطقه کوچکی در مرز ایران و افغانستان و شمال افغانستان، مدل مقادیر AOD را اندکی بیشتر نشان داده است. در ساعت ۱۲ UTC مقدار AOD در شرق دریای خزر، شمال شرقی ایران و غرب افغانستان تا حدودی افزایش نشان داده است. در ساعت ۱۵ UTC عمق نوری هواویزها نسبت به ساعت قبل در ازبکستان اندکی کاهش یافته ولی در سایر مناطق تغییر چندانی نکرده است. در ساعت ۱۸ UTC مقادیر بیشتر AOD در



شکل ۱۱. خروجی AOD مدل DREAM8-MACC در ساعت (الف) ۰۳، (ب) ۰۶، (ج) ۰۹، (د) ۱۲، (ه) ۱۵، (و) ۱۸ UTC روز ۲۰ شهریور ماه سال

عملکرد خوبی نداشته و مقادیر را بسیار کمتر برآورد کرده است. البته مدل در مقادیر AOD حدود ۰/۲ اندکی بیش برآورد داشته است که به نظر می‌رسد مربوط به غرب ازبکستان است.

نمودار پراکندگی خروجی مدل AOD-DREAM8 و محصول مادیس ماهواره ترا در شکل ۱۲ مشاهده می‌شود. همان‌طور که در شکل ۸ نیز مشخص است، مدل در پیش بینی مقادیر AOD بیشتر از ۰/۴



شکل ۱۲. نمودار پراکندگی خروجی مدل AOD-DREAM8-MACC و محصول مادیس ماهواره ترا.

مقدار AOD را کمتر پیش‌بینی کرده است. مقدار ضریب همبستگی بسیار اندک است که نشان می‌دهد خروجی مدل در پیش‌بینی ۴۸ ساعته قابل قبول نیست.

جدول ۲ نتایج مقایسه کمی خروجی مدل با داده‌های AOD سنجنده مادیس ماهواره ترا را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. مقدار میانگین خطای مدل برابر ۰/۲۵- بدست آمد که نشان می‌دهد مدل در بیشتر نقاط

جدول ۲. مقایسه کمی خروجی مدل با داده‌های AOD سنجنده مادیس ماهواره ترا در منطقه مورد مطالعه.

میانگین خطا	-۰/۲۵
اریبی	۰/۳۴
ضریب همبستگی	۰/۰۴
جذر میانگین مربعات خطا	۰/۰۲

## جمع‌بندی

در این مطالعه رخدادهای گردوخاک روز ۲۰ شهریور ماه سال ۱۴۰۲ مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. در این پدیده، ذرات گردوخاک از مناطق پست واقع در غرب ترکمنستان (سواحل شرقی دریای خزر) گسیل شده و به سواحل جنوبی آن منتقل شدند؛ سپس با جریان‌های شرقی موجود در این منطقه به مناطق غربی استان مازندران و گیلان نفوذ کردند. از طرف دیگر گردوخاک از مناطق مرکزی ترکمنستان (اطراف بیابان قره‌قوم) و همچنین منطقه مرزی ایران و ترکمنستان واقع در شمال شرقی ایران با جریان‌های شمال و شمال غربی به مناطق شمال شرقی و شرقی ایران وارد شده و با بادهای شرقی به سایر مناطق کشور انتقال یافتند. گردوخاک مناطق شرق و شمال شرقی ترکمنستان در برخی مناطق به دلیل وزش بادهای شمال شرقی وارد مناطق شمال و شمال غربی افغانستان شدند.

بررسی همدیدی وجود یک سامانه کم‌فشار دینامیکی بر روی قزاقستان، یک سامانه پرفشار بر روی دریای خزر، شمال ایران و ترکمنستان و همچنین یک سامانه کم‌فشار حرارتی در شرق ایران و منطقه مرزی با افغانستان را نشان داد. وجود بادهای شمالی در شرق سامانه پرفشار در قسمت شرقی دریای خزر و جریان‌های شرقی در جنوب آن سبب گسیل گردوخاک از غرب ترکمنستان و انتقال آن به سواحل جنوبی دریای خزر شده است. از طرف دیگر وجود سامانه کم‌فشار روی قزاقستان و پرفشار بر روی دریای خزر سبب ایجاد گرادبان فشاری شدیدی بر روی ترکمنستان و شمال افغانستان و وزش بادهای شدید در این مناطق شده است. در یک مطالعه، خروجی مدل اقلیمی منطقه‌ای RegCM-4 پیوند خورده با طرح‌واره غبار با گام مکانی ۴۰ کیلومتر نشان داد که انتقال گردوخاک از ترکمنستان به شمال شرقی ایران متأثر از افزایش فشار بر روی ترکمنستان، دریای خزر و استان خراسان و استقرار کم‌فشار بر روی بخش شرقی ایران و

پاکستان بوده که در نتیجه آن جهت جریان‌های شمالی گشته است (فاروقی و همکاران، ۱۳۹۶). نتایج این مطالعه تشابه زیادی با نتایج ارائه شده در این پژوهش دارد.

بررسی خروجی مدل DREAM8-MACC نشان داد که اگرچه مدل در این مورد مطالعاتی وجود گردوخاک در بخش وسیعی از منطقه را به درستی نشان داده است؛ ولی نفوذ گردوخاک به سواحل جنوبی دریای خزر را که منجر به کاهش دید شدید در استان‌های گیلان و مازندران شده پیش‌بینی نکرده است. همچنین مقادیر غلظت گردوخاک در منطقه را کمتر برآورد کرده است. به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که به دلیل توسعه کانون‌های گردوخاک نسبتاً جدید در کشور ترکمنستان در سال‌های اخیر، مدل‌های پیش‌بینی عددی قادر به شناسایی این کانون‌های گردوخاک و شدت فعالیت آنها نیستند. همچنین وجود توپوگرافی پیچیده در منطقه و مناطق کوهستانی در شمال و شمال شرق ایران سبب می‌شود که پیش‌بینی انتقال گردوخاک به این مناطق توسط مدل‌ها دشوار باشد. بنابراین به منظور استفاده از مدل‌های عددی پیش‌بینی گردوخاک در منطقه آسیای میانه، لازم است ضمن انجام مطالعات بیشتر، اصلاحاتی بر روی آنها انجام شود تا پیش‌بینی حاصل از دقت بیشتری برخوردار باشد.

## منابع

۱. حسین‌زاده، سید رضا، ۱۳۷۶. بادهای ۱۲۰ روزه سیستان. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی. شماره پیاپی ۴۶. صص ۱۰۳-۱۲۷.
۲. خان‌سالاری، سکینه، مجیدی داشلی برون، عثمان، نیکزادفر، مریم، ملاعرازی، عبدالجبار، ۱۴۰۲. تغییرات زمانی و مکانی گردوخاک در استان گلستان با استفاده از عمق نوری هواویزها و تأثیرپذیری این استان از بیابان‌های ترکمنستان، فیزیک زمین و فضا، ۴۹(۲)، صص ۵۱۷-۵۴۰.
۳. رییس پور، کوهزاد، ۱۳۹۷. بررسی نقش بیابان قره‌قوم ترکمنستان به عنوان مهمترین خاستگاه فرامنطقه‌ای توفان‌های گردوغبار در استان خراسان رضوی، دومین کنفرانس ملی

14. Kaskaoutis, D.G., Rashki, A., Francois, P., Dumka, U.C., Houssos, E.E. and Legrand, M., 2015. Meteorological regimes modulating dust outbreaks in southwest Asia: The role of pressure anomaly and Inter-Tropical Convergence Zone on the 1–3 July 2014 case. *Aeolian Research*, 18, pp.83-97.
15. Masoumi, A., Khaledifard, H.R., Bayat, A. and Moradhaseli, R., 2013. Retrieval of aerosol optical and physical properties from ground-based measurements for Zanjan, a city in Northwest Iran. *Atmospheric research*, 120, pp.343-355.
16. Middleton, N., Tozer, P. and Tozer, B., 2019. Sand and dust storms: underrated natural hazards. *Disasters*, 43(2), pp.390-409.
17. Mohammadpour, K., Sciortino, M., Kaskaoutis, D.G. and Rashki, A., 2022. Classification of synoptic weather clusters associated with dust accumulation over southeastern areas of the Caspian Sea (Northeast Iran and Karakum desert). *Aeolian Research*, 54, p.100771.
18. Nickovic, S., Kallos, G., Papadopoulos, A. and Kakaliagou, O., 2001. A model for prediction of desert dust cycle in the atmosphere. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 106(D16), pp.18113-18129.
19. Orlovsky, L., Orlovsky, N. and Durdyev, A., 2005. Dust storms in Turkmenistan. *Journal of Arid Environments*, 60(1), pp.83-97.
20. Orlovsky, L., Tolkacheva, G., Orlovsky, N. and Mamedov, B., 2004. Dust storms as a factor of atmospheric air pollution in the Aral Sea basin. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 74.
21. Rashki, A., Eriksson, P.G., Rautenbach, C.D.W., Kaskaoutis, D.G., Grote, W. and Dykstra, J., 2013. Assessment of chemical and mineralogical characteristics of airborne dust in the Sistan region, Iran. *Chemosphere*, 90(2), pp.227-236.
22. Rashki, A., Middleton, N.J. and Goudie, A.S., 2021. Dust storms in Iran—Distribution, causes, frequencies and impacts. *Aeolian Research*, 48, p.100655.
23. Shao, Y., Raupach, M.R. and Findlater, P.A., 1993. Effect of saltation bombardment on the entrainment of dust by wind. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 98(D7), pp.12719-12726.
24. Shen, H., Abuduwaili, J., Ma, L. and Samat, A., 2019. Remote sensing-based land surface change identification and prediction in the Aral Sea bed, Central Asia. *International journal of environmental science and technology*, 16, pp.2031-2046.
25. Shen, H., Abuduwaili, J., Samat, A. and Ma, L., 2016. A review on the research of modern aeolian dust in Central Asia. *Arabian Journal of Geosciences*, 9, pp.1-16.
26. Shi, L., Zhang, J., Yao, F., Zhang, D. and Guo, H., 2020. Temporal variation of dust emissions in dust sources over Central Asia in recent decades and the climate linkages. *Atmospheric Environment*, 222, p.117176.
- آب و هواشناسی ایران، مشهد،  
<https://civilica.com/doc/781051>
۴. فاروقی، آید، منا کاظمی، مجتبی جلالی، سعیده هاشمیان، نادر نصرتی، ۱۳۹۶. شناسایی ساختار و چشمه گردوخاک‌های استان خراسان شمالی با استفاده از مدل RegCM4-1.1 (مطالعه موردی ۱۴-۱۳ آوریل ۲۰۱۱)، نشریه نیوار، ۹۸(41)، 22-36
۵. کریمی، سارا و حسین حمزه، نسیم و نوری، فائزه و رنجبر، عباس، ۱۳۹۸. بررسی همدیدی و شبیه سازی دو توفان همزمان گردوخاک در مناطق شرق و شمال شرقی ایران، کنفرانس بین‌المللی گردوغبار در جنوب غرب آسیا، زابل،  
<https://civilica.com/doc/894638>
۶. لشکری، حسن، کیخسروی، قاسم، ۱۳۸۷. 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.
۷. مبارک حسن الهام، فتاحی ابراهیم، رنجبر سعادت آبادی عباس، حسین حمزه نسیم، ۱۴۰۲. بررسی توانایی مدل RegCM در شبیه‌سازی گردوخاک تابستانی خراسان بزرگ. تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۲۳(۷۱)، ۳۹-۵۹
۸. مرجانی، سید صدرالدین، بررسی سینوپتیکی بادهای شدید بیش از ۱۵ متر بر ثانیه (توفان) در خراسان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، استاد راهنما خیراندیش، محمد، دانشگاه تهران، دانشکده ژئوفیزیک، ۱۳۷۲
۹. یارمرادی زهرا، نصیری بهروز، محمدی غلام حسن، کریمپور مصطفی، ۱۳۹۸. تحلیل و ردیابی مسیرهای ورود توفان‌های گردوغبار به شرق ایران با استفاده از مدل پخش لاگرائزی ذرات HYSPLIT، پژوهش‌های فرسایش محیطی، ۹(۱)، ۲۷-۴۴.
10. Broomandi, P., Mohammadpour, K., Kaskaoutis, D.G., Fathian, A., Abdullaev, S.F., Maslov, V.A., Nikfal, A., Jahanbakhshi, A., Aubakirova, B., Kim, J.R. and Satyanaga, A., 2023. A Synoptic and Remote Sensing-based Analysis of a Severe Dust Storm Event over Central Asia. *Aerosol Air Qual. Res.*, 23, pp.220309-220333.
11. Groll, M., Opp, C. and Aslanov, I., 2013. Spatial and temporal distribution of the dust deposition in Central Asia—results from a long-term monitoring program. *Aeolian Research*, 9, pp.49-62.
12. Indoitu, R., Orlovsky, L. and Orlovsky, N., 2012. Dust storms in Central Asia: Spatial and temporal variations. *Journal of Arid Environments*, 85, pp.62-70.
13. Issanova, G., Kaldybayev, A., Ge, Y., Abuduwaili, J. and Ma, L., 2023. Spatial and Temporal Characteristics of Dust Storms and Aeolian Processes in the Southern Balkash Deserts in Kazakhstan, Central Asia. *Land*, 12(3), p.668.

- temporal variability. *Atmospheric Environment*, 238, p.117734.
29. Zhou, C., Gui, H., Hu, J., Ke, H., Wang, Y. and Zhang, X., 2019. Detection of new dust sources in central/east asia and their impact on simulations of a severe sand and dust storm. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 124(17-18), pp.10232-10247.
27. Sternberg, T. and Edwards, M., 2017. Desert dust and health: A central Asian review and steppe case study. *International journal of environmental research and public health*, 14(11), p.1342.
28. Zhang, X.X., Claiborn, C., Lei, J.Q., Vaughan, J., Wu, S.X., Li, S.Y., Liu, L.Y., Wang, Z.F., Wang, Y.D., Huang, S.Y. and Zhou, J., 2020. Aeolian dust in Central Asia: Spatial distribution and

# Investigating and forecasting the transfer of dust from different sources in Turkmenistan to the north and east of Iran and the north of Afghanistan in a case study (September 2023)

Sara Karami <sup>\*1</sup>

<sup>1</sup> Assistant Professor of Meteorology, Air pollution and dust Research group, Research Institute of Meteorology and Atmospheric Science (RIMAS), Tehran, Iran

\*Corresponding Author Email: [karamis.62@gmail.com](mailto:karamis.62@gmail.com)

Received: 20 September 2023, Accepted: 23 October 2023

## ABSTRACT

On the September 11, 2023, a severe dust storm affected the northeastern and eastern provinces of Iran, as well as the southern shores of the Caspian Sea, so that the visibility in the two provinces of Gilan and Mazandaran was greatly reduced. The occurrence of such a dust phenomenon in the north of Iran, where events like this rarely happen, is unexpected. The purpose of this study is to investigate the causes of this phenomenon, identify active dust sources at the time of its occurrence, and investigate the ability of an operational dust model to forecast it. For this purpose, satellite data and products, ERA5 reanalysis data and DREAM8-MACC model output were used. The results showed that the activity of dust sources on the eastern shores of the Caspian Sea, southern Turkmenistan near the border of Iran, its central areas around the Kara-Kum desert, its northern and northeastern regions, as well as parts of the Amu Darya and Morghab rivers in eastern Turkmenistan caused such widespread dust storm. Based on synoptic analysis, the presence of a dynamic low-pressure system in Kazakhstan, a high-pressure system over the Caspian Sea and a thermal low-pressure center in the east of Iran in the border region with Afghanistan are among the atmospheric factors for the occurrence of this dust phenomenon. The evaluation of the model output also showed that the model underestimated the AOD values in forecasting this phenomenon and did not predict the dust transfer to the southern shores of the Caspian Sea.

**Keywords:** dust, Turkmenistan, DREAM-MACC numerical model, North and East of Iran, Afghanistan.

## HOW TO CITE THIS ARTICLE

Karami, S. (2023). Investigating and forecasting the transfer of dust from different sources in Turkmenistan to the north and east of Iran and the north of Afghanistan in a case study (September 2023). *J. Meteorol. Atmos. Sci.*, 6(1): 15-34

## COPYRIGHTS

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

