

شبیه‌سازی و تحلیل عددی شار گسیل گردوغبار با استفاده از مدل WRF-Chem و طرحواره فرسایش بادی GOCART (طوفان ۲۹ الی ۳۱ تیرماه ۱۳۹۴)

- ❖ طیبه مصباح‌زاده؛ دانشیار دانشکده منابع طبیعی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
- ❖ علی سلاجقه؛ استاد دانشکده منابع طبیعی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
- ❖ فرشاد سلیمانی ساردو*؛ دانش‌آموخته دکتری دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران و عضو هیئت علمی دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه جیرفت، کرمان، ایران.
- ❖ غلامرضا زهتابیان؛ استاد دانشکده منابع طبیعی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
- ❖ عباس رنجبر؛ دانشیار پژوهشکده هواشناسی و علوم جو، سازمان هواشناسی کشور.
- ❖ Mario Marcello Miglietta؛ استاد پژوهشکده علوم هواشناسی و اقلیم، پادوا، ایتالیا.

چکیده

امروزه پدیده گردوغبار به‌عنوان یکی از مهم‌ترین بلایای طبیعی در مناطق خشک و نیمه‌خشک شناخته می‌شود. به دلیل تأثیرات طولانی‌مدت این پدیده بر روی شاخص سلامت انسان‌ها از آن به‌عنوان یک بیماری مزمن یاد می‌کنند. به همین منظور مطالعه و شناسایی الگوها و کانون‌های پدیده گردوغبار امری ضروری در مناطق خشک و نیمه‌خشک است. در این مطالعه به‌منظور شبیه‌سازی شار گسیل گردوغبار برای تعیین کانون‌های بحرانی داخلی و خارجی در فلات مرکزی ایران از مدل WRF-Chem، طرحواره فرسایش بادی GOCART و طوفان ۲۹ الی ۳۱ تیرماه ۱۳۹۴ استفاده گردید. نتایج نشان داد بیابان‌های عربی در عربستان سعودی، بیابان‌های کشور عراق و همچنین بیابان قرقوم در ترکمنستان و حوزه هیرمند در کشور افغانستان از مهم‌ترین کانون‌های بحرانی خارجی بوده که اتمسفر فلات مرکزی ایران را تحت تأثیر قرار می‌دهند. همچنین بیابان مرکزی (دشت کویر) به‌عنوان چشمه اصلی گردوغبار و قسمت‌های جنوبی حوزه لوت مرکزی و حوزه جازموریان به‌عنوان چشمه‌های داخلی گردوغبار شناسایی شده‌اند. همچنین نتایج نشان داد در حوزه لوت مرکزی به دلیل شرایط فرسایش‌پذیری مقدار شار گسیل گردوغبار $690 \mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ افزایش می‌یابد.

کلید واژگان: شار گردوغبار، مدل WRF-Chem، طرحواره GOCART، بیابان مرکزی و دشت لوت، حوزه فلات مرکزی ایران.

۱. مقدمه

در سال‌های گذشته مدل‌های پیش‌بینی عددی برای انتشار گردوغبار طراحی شده است [۷، ۹، ۱۱، ۱۲، ۱۹]، ۲۵، ۱۸، ۲۷، ۲۶، ۱۴، ۱۳، ۲۸]. طرحواره‌های گسیل غبار متعددی با توجه به پارامترهای مختلف ورودی برای گسیل غبار طراحی شده‌اند [۷، ۱۵، ۱۶]. هرکدام از این طرحواره‌ها به شکل‌های مختلفی فرسایش بادی را پارامترسازی می‌کنند. یکی از طرحواره‌های فرسایش بادی که کاربرد زیادی برای پیش‌بینی ذرات گردوغبار به کار برده می‌شود، مدل GOCART است [۴، ۷]. این مدل از مؤلفه‌های انتشار، انتقال و رسوب‌گذاری تشکیل شده است. این مطالعه بر روی مؤلفه انتشار گردوغبار متمرکز شده است. این مدل می‌تواند انتقال ذرات را شبیه‌سازی کند و بازخوردهای آن‌ها را جو شبیه‌سازی نماید [۲۰، ۹، ۵].

[۳۳] به بررسی میزان حساسیت مدل WRF-Chem به شار گردوغبار و همچنین خصوصیات سطحی زمین در پیش‌بینی چرخه گردوغبار در فصل بهار در شرق آسیا پرداختند و نتایج نشان داد که پیش‌بینی‌های مدل WRF-Chem با برنامه S₁₁ در بازتولید توزیع‌های افقی و قائم از خصوصیات نوری ریزگردها از عملکرد بهتری برخوردار است که این نتایج از مقایسه‌های ماهواره‌ای حاصل شد.

[۲۴] به بررسی خصوصیات مکانی و زمانی رویدادهای گردوغبار و مشارکت آن‌ها در بودجه ریزگردها (هوایزها) در شرق آسیا پرداختند. در این مطالعه از مدل WRF-chem و یک برنامه پارامتریک شده برای تحلیل گردوغبار استفاده شد. نتایج نشان داد که متغیرهای روزانه و ماهانه انتشار گردوغبار از توزیع نمایی تبعیت می‌کنند.

[۳] با استفاده از مدل WRF-Chem به مدل‌سازی گردوغبار در شرق آسیا در طول تابستان ۲۰۱۰ پرداختند. نتایج نشان داد که مدل WRF-Chem به خوبی می‌تواند توزیع زمانی و مکانی از فاکتورهای هواشناسی گردوغبار را در تابستان نشان دهد. به‌طور کلی جمع‌بندی سابقه تحقیق نشان می‌دهد مدل WRF-Chem ابزاری مناسب به‌منظور

مناطق خشک و نیمه‌خشک ۳۶ درصد از خشکی‌های کره زمین را تشکیل می‌دهند. ۱۹٪ این سطوح کاملاً خشک و فاقد حیات گیاهی بوده و حدود ۶ درصد این مناطق از تپه‌های ماسه‌ای پوشیده شده است. ۷۰ درصد از کشور ایران به لحاظ ویژگی‌های خاص اقلیمی و موقعیت جغرافیایی در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک قرار گرفته و از نظر طول و عرض جغرافیایی بر روی کمربند خشکی‌های جهان قرار گرفته است [۳۱]. گردوغبار در مناطقی که بر روی کمربند خشک و نیمه‌خشک جهان و هم‌جوار با بیابان‌های وسیع قرار دارند در شرایط ناپایدار، خشک و توأم با باد رخ می‌دهد. پدیده گردوغبار در این مناطق از مهم‌ترین خطرات طبیعی محسوب می‌شود.

به‌طور تقریبی بین ۳۰ تا ۵۰ درصد کل ذرات ورودی به اتمسفر گردو خاک است [۱]. گردوغبارها تأثیر قابل توجهی بر روی بودجه تابشی، چرخه‌های بیوژئوشیمیایی جهانی، ساختمان خاک، ترکیبات شیمیایی اتمسفر، کیفیت هوا، سلامت و بهداشت عمومی می‌گذارند [۱، ۷].

چرخه گردوغبار را می‌توان از طریق شبیه‌سازی ریاضی برای معادلات فیزیکی-شیمیایی حاکم بر انتقال، توزیع و تبدیل ذرات شبیه‌سازی نمود. این مدل‌ها قابلیت محاسبه غلظت ذرات پایین‌دست جریان را با استفاده از اطلاعاتی در خصوص نرخ انتشار ذرات، خصوصیات منبع انتشار، توپوگرافی محلی، هواشناسی منطقه و غلظت ذرات محیط دارند.

مطالعات اخیر نشان داده است که مدل‌های پیش‌بینی عددی گردوغبار برای درک بهتر تأثیرات ذرات گردوغبار بر جو در حال توسعه یافتن هستند. اگرچه نتایج شبیه‌سازی مدل‌های عددی قابل قبول هستند، اما عدم قطعیت در مقادیر برآورد شده برای گسیل غبار مشاهده می‌شود [۲۱].

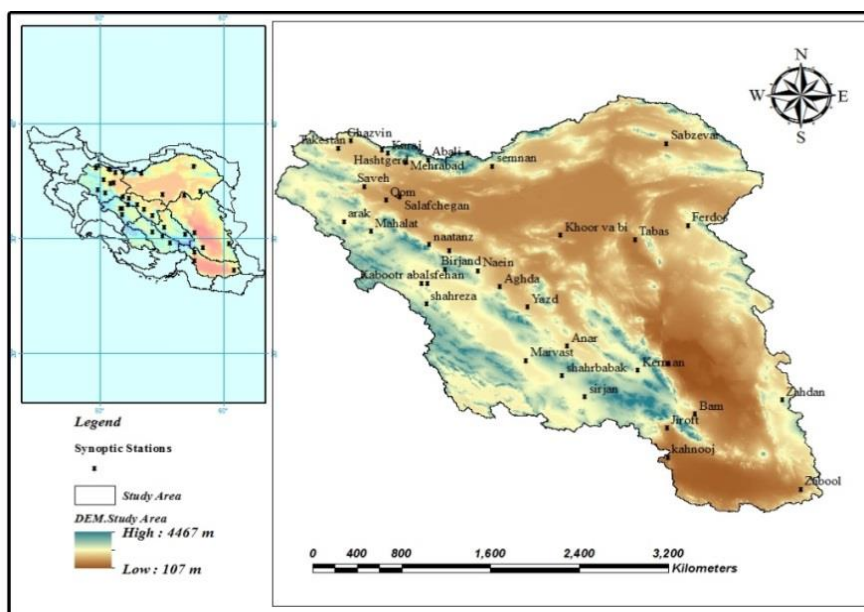
بادهای باران‌زای مدیترانه‌ای در این منطقه جلوگیری می‌کنند [۶]. از این‌رو نزولات جوی این حوزه اندک بوده و متوسط سالیانه آن کمتر از ۱۰۰ میلی‌متر و اغلب ۵۰ میلی‌متر بوده و در مواردی حتی به ۲۵ میلی‌متر در سال می‌رسد. بالعکس تبخیر سالیانه در این حوزه بالا بوده و در موارد زیادی به بیش از ۴۰۰۰ میلی‌متر در سال هم می‌رسد. به این ترتیب میزان تبخیر می‌تواند به بیش از ۴۰ تا ۸۰ برابر بارندگی سالیانه بالغ گردد. متوسط رطوبت نسبی این دشت‌ها ۳۰ تا ۴۰ درصد است، اما در دوره‌های گرم سال تا ۱۵ درصد کاهش پیدا می‌کند. میانگین دمای سالانه بین ۱۵ تا ۳۰ درجه متغیر است و همچنین حداکثر و حداقل دما به ترتیب ۵۱ و ۱۸ - درجه سانتی‌گراد گزارش شده است [۱۷]. خشکی هوا و خاک باعث بروز گردوخاک‌های شدید هنگام ناپایداری‌های جوی در این منطقه می‌شود به طوری که حتی در سرعت‌های کم باد، برداشت خاک صورت می‌گیرد. در شکل (۱) موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است.

شبیه‌سازی عددی طوفان‌های گردوغبار است و می‌تواند برای اهداف مختلف جوی در مقیاس‌های بزرگ کاربرد گسترده‌ای داشته باشد. هدف از این مطالعه محاسبه کمی و کیفی شار گسیل گردوغبار با استفاده از مدل WRF-Chem و طرحواره فرسایش بادی GOCART بر مبنای شبیه‌سازی طوفان گردوغبار ۲۸ الی ۳۱ تیرماه ۱۳۹۴ است. استفاده از شار قائم گردوغبار به منظور تعیین چشمه‌های گردوغبار داخلی و خارجی و نیز صحت‌سنجی نتایج آن با استفاده از داده‌های پایگاه باز تحلیل MERRA2 از جنبه‌های نوآوری این مطالعه است.

۲. روش‌شناسی

۱،۲. معرفی منطقه مورد مطالعه

فلات مرکزی ایران به طور متوسط ۱۳۰۰ متر از سطح دریا ارتفاع دارد. این در حالی است که ارتفاع در دشت کویر به ۷۰۰ و در بخش‌هایی از کویر لوت حتی به ۳۰۰ متر نیز تقلیل می‌یابد. رشته‌کوه‌های البرز و زاگرس از ورود



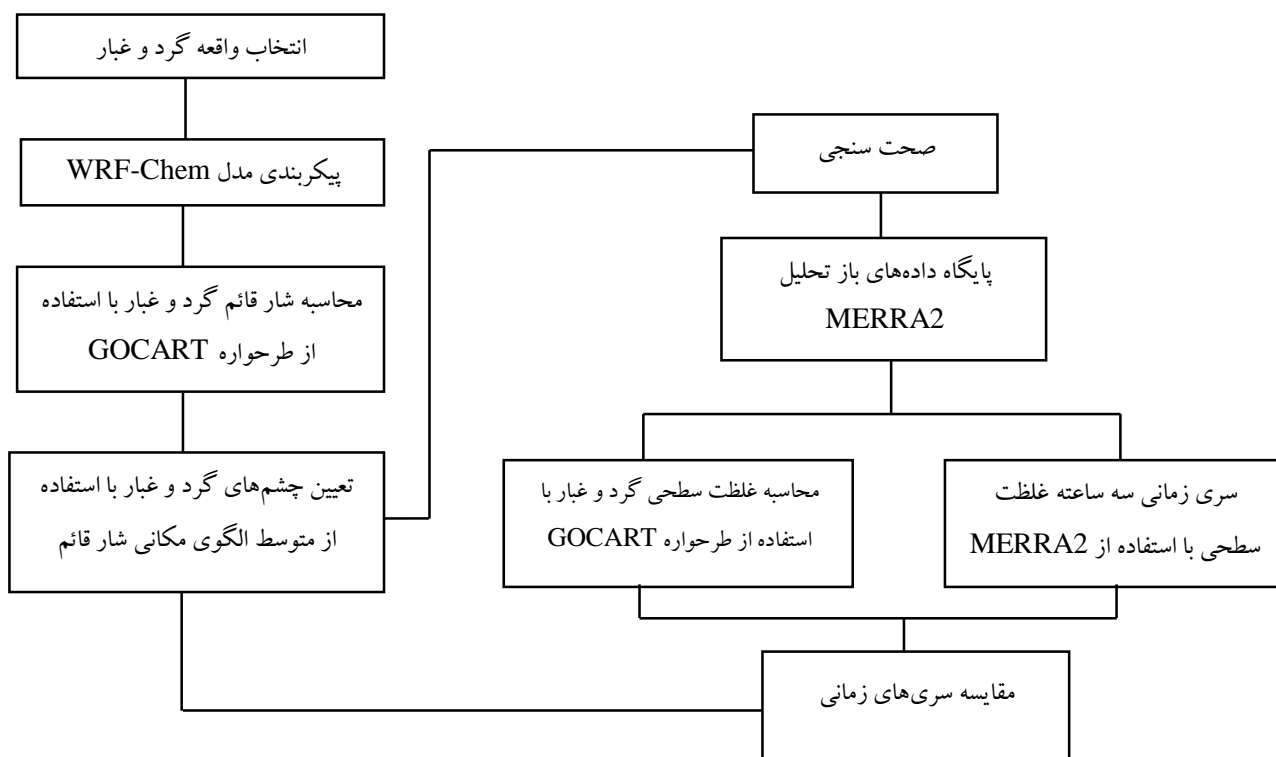
شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

این تحقیق دارای دو بخش اساسی است که شامل محاسبه شار قائم گردوغبار با استفاده از مدل WRF-Chem و طرحواره GOCART و صحت‌سنجی نتایج

۲،۲ روش کار:

به منظور ارائه چارچوب مفهومی و روند کلی تحقیق شکل (۲) ترسیم شد. روند کلی تحقیق نشان می‌دهد،

طرحواره GOCART با پایگاه داده‌های باز تحلیل است. طرحواره MERRA2 با استفاده از شاخص غلظت سطحی گردوغبار



شکل ۲. چارچوب کلی روند اجرای تحقیق

۱،۲،۲. معرفی مدل WRF-Chem

WRF-Chem یک مدل سیستم مقیاس متوسط غیر هیدرو استاتیک است که قادر به شبیه‌سازی انتقال ذرات گردوغبار و بازخوردهای آن هم‌زمان با زمینه‌های هواشناسی است [۹، ۲۰]. بسیاری از مطالعات روی عملکرد مدل WRF-Chem، هنگامی که با الگوریتم‌های انتشار غبار GOCART پیکربندی شدند، از این به بعد منتشر شده‌اند [۲، ۱۰، ۲۹، ۳۰]. مدل پیش‌بینی عددی و تحقیقاتی وضع هوا به همراه شیمی (WRF-Chem) در ویرایش سوم مدل WRF گنجانده شده است که یک مدل تحقیقاتی و عملیاتی برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی غلظت هواویزهای موجود در جو ناشی از سازوکارهای طبیعی، فعالیت‌های بشری (آلاینده‌ها) و گردوخاک در اندازه‌های

مختلف، نحوه انتشار و نهشت آن‌ها است.

۲،۲،۲ طرحواره گردوخاک GOCART

در طرحواره GOCART، تابعی به نام تابع چشمه ذرات (S) وجود دارد که با نسبت خاک فرسایش پذیری که در معرض فرآیند فرسایش بادی قرار دارد، به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$S = \left(\frac{Z_{\max} - Z_i}{Z_{\max} - Z_{\min}} \right)^5 \quad \text{معادله ۱}$$

که S احتمال تجمع رسوبات در نقطه i از شبکه با ارتفاع Z_i است. Z_{\max} و Z_{\min} به ترتیب بیشینه و کمینه ارتفاعات در محدوده‌ای به مقدار 10×10 درجه در مقیاس

AFWA استفاده شد.

به منظور تعیین چشمه‌های گردوغبار داخلی با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS میانگین مکانی نقشه‌های شار قائم گردوغبار با گام زمانی ۳ ساعته، محاسبه گردید و نقشه چشمه‌های داخلی گردوغبار فلات مرکزی ایران بر اساس طوفان ۲۹ الی ۳۱ تیرماه ۱۳۹۴ با طرحواره GOCART استخراج گردید.

۳. نتایج

۱.۳. پیکربندی مدل WRF-Chem

در این تحقیق از نسخه ۳.۹.۱ مدل WRF-Chem برای شبیه‌سازی طوفان‌های گردوغبار استفاده شد. مقابل شکل (۲) دو دامنه تودرتو برای مدل تعریف شد. حوزه اول محدوده ۴۸/۴۰-۶۰/۲۴ E و ۳۶/۲۹-۲۷/۸۷ N که تعداد نقاط شبکه در آن ۱۰۰*۹۰ و فاصله نقاط شبکه ۱۱/۲ کیلومتر تعریف شد. حوزه دوم نیز محدوده ۵۲/۳۵-۵۸/۳۱ E و ۲۹/۹۶-۳۵/۱۶ N تعریف شد. شرایط مرزی و جانبی از GFS NOAA^۱ با تفکیک افقی ۱ درجه * ۱ درجه به دست آمده است (شکل ۳). داده‌های جغرافیایی ایستا مانند ارتفاع ناهمواری‌ها، ویژگی‌های خاک، کسر پوشش گیاهی و کاربری اراضی از داده‌های USGS اخذ شده‌اند و توسط سامانه پیش‌پردازش مدل WRF (WPS) به عنوان ورودی به مدل معرفی شده‌اند. در جدول (۱) طرحواره‌های مورد استفاده در اجرای مدل WRF-Chem اشاره شده است.

جغرافیایی در اطراف نقطه شبکه است. شار انتشار ذرات گردوغبار در طرحواره GOCART با رابطه تجربی زیر تعریف می‌شود:

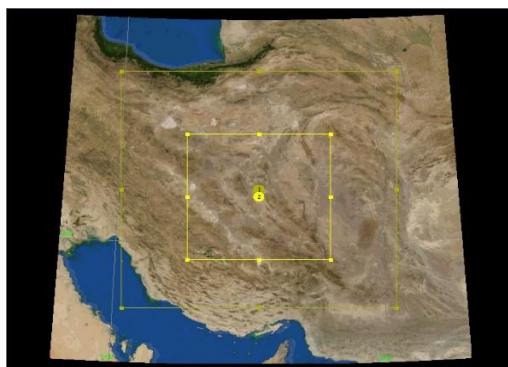
$$F_p = C_G S_p U_{10}^2 (U_{10} - U_{10}^*), U_{10} > U_{10}^* \quad \text{معادله ۲}$$

که C ضریب تنظیم ابعادی، S_p نسبت دسته‌بندی هر یک از قطرها و U_{10}^* سرعت بحرانی است. مقادیر S_p برابر با ۰/۱ برای دسته‌بندی قطر ذرات ۰/۱-۱ میکرومتر و ۱/۳ برای دسته‌بندی‌های ۱-۱/۸، ۱/۸-۳ و ۳-۶ میکرومتر است. در پژوهشی در سال ۲۰۰۴ توسط ژینو، مقادیر S_p برابر با ۰/۱، ۰/۲۵، ۰/۲۵، ۰/۲۵ و ۰/۲۵ در نظر گرفته شده است. سرعت بحرانی (U_{10}^*) در واقع سرعت اصطکاکی بحرانی را محاسبه می‌کند، اما دقیقاً دارای همان مفهوم فیزیکی و حتی همان واحد نیست. سرعت بحرانی در اصل توسط بگنولد در ۱۹۴۱ محاسبه شد و سپس توسط مارتیکورنا و برگامتی (۱۹۹۵) در مدل WRF/Chem پیاده‌سازی شد.

۳.۲.۲. شناسایی چشمه‌های گردوغبار داخلی با

استفاده از متوسط الگوی مکانی شار قائم گردوغبار

برای شبیه‌سازی طوفان‌های مورد بررسی مدل از ۲۴ ساعت قبل از شروع طوفان اجرا شده است و ۳ ساعت اول هر اجرا به عنوان زمان up-spin در نظر گرفته شده است. مدل WRF دارای طرحواره‌های مختلف پارامتر سازی‌های است که در این مطالعه از طرحواره GOCART و



شکل ۳. حوزه‌های تودرتوی مدل WRF-Chem با استفاده از Domain Wizard

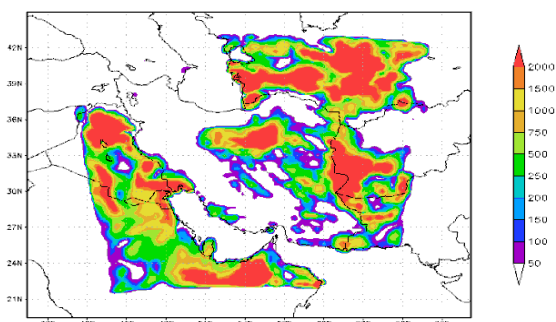
جدول ۱. طرحواره‌های مورد استفاده در اجرای مدل WRF-Chem

WRF Single-Moment 5-class	فیزیک خردمقیاس
RRTM (Mlawer, 1997)	تابش موج بلند
Goddard shortwave(Chou, 998)	تابش موج کوتاه
Noah Land Surface Model Chen,1996	فیزیک سطحی
YSU(Noh et al. 2002)	لایه مرزی
Grell 3D (Grell,1993)	همرفت کومه‌ای

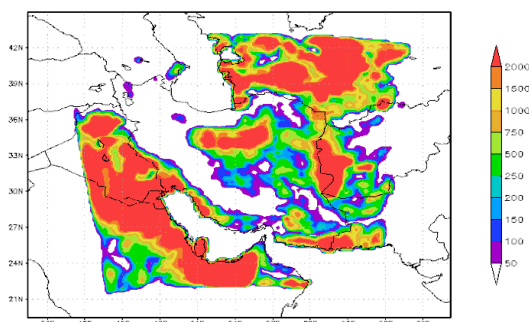
شبیه‌سازی شد و الگوی مکانی و زمانی شار گردوغبار با فاصله زمانی سه‌ساعته ترسیم شد. شکل (۴) الگوی مکانی و زمانی شار قائم گردوغبار با گام زمانی ۳ ساعته را نشان می‌دهد.

۳،۲ شبیه‌سازی الگوی مکانی شار قائم گردوغبار طوفان شدید ۲۹ الی ۳۱ تیرماه ۱۳۹۴ با استفاده از طرحواره GOCART

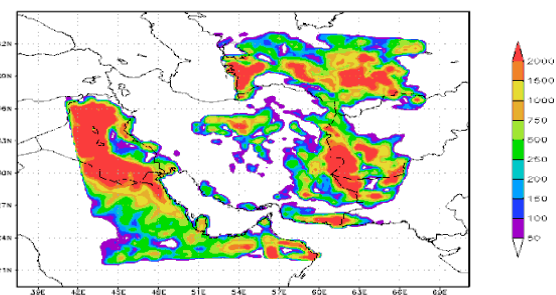
طوفان شدید گردوغبار ۲۹ الی ۳۱ تیرماه که مرکز ایران را در بر گرفته بود با استفاده از طرحواره GOCART



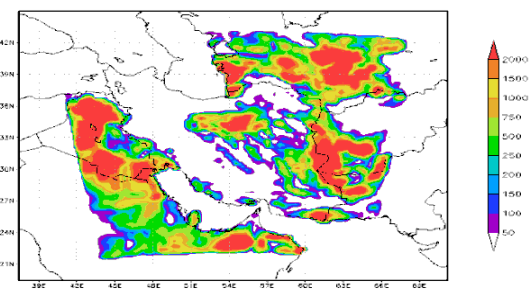
۲۸ تیرماه ۱۳۹۴ ساعت ۱۸:۰۰



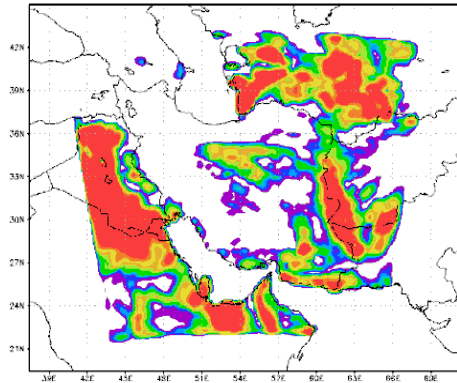
۲۸ تیرماه ۱۳۹۴ ساعت ۱۵:۰۰



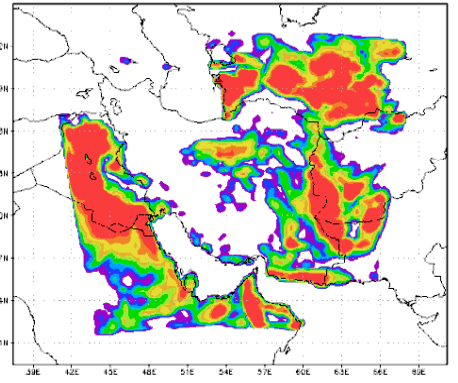
۲۹ تیرماه ۱۳۹۴ ساعت ۰۰:۰۰



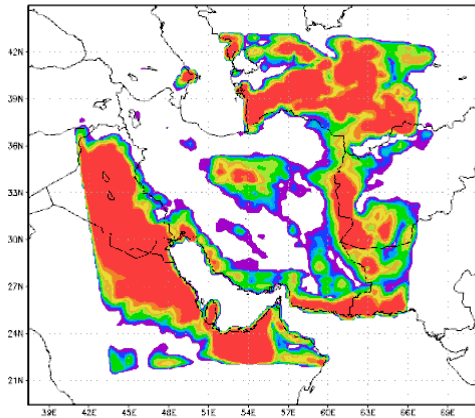
۲۸ تیرماه ۱۳۹۴ ساعت ۲۱:۰۰



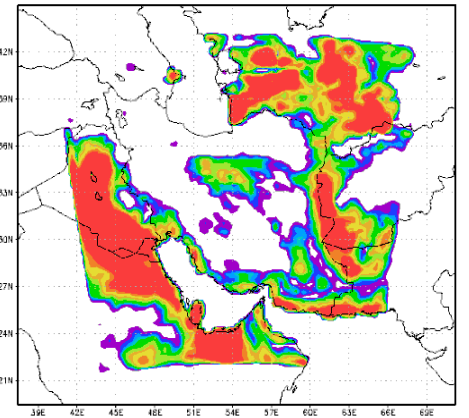
۲۹ تیرماه ۱۳۹۴ ساعت ۰۶:۰۰



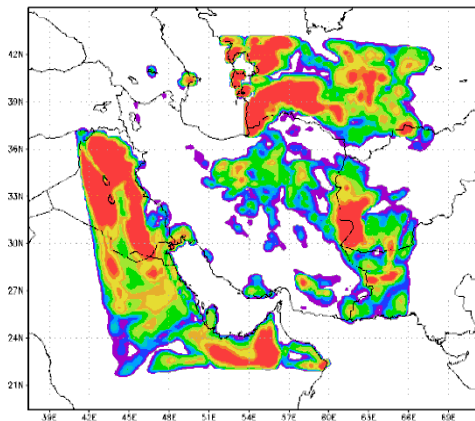
۲۹ تیرماه ۱۳۹۴ ساعت ۰۳:۰۰



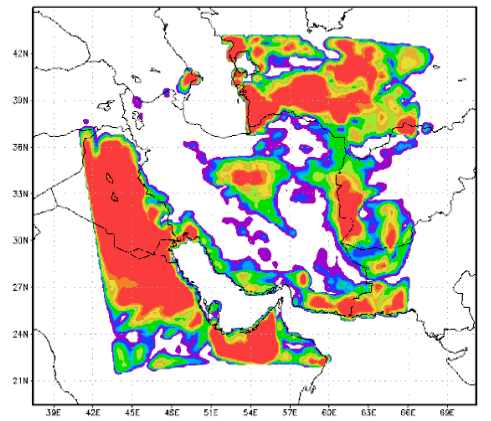
۲۹ تیرماه ۱۳۹۴ ساعت ۱۲:۰۰



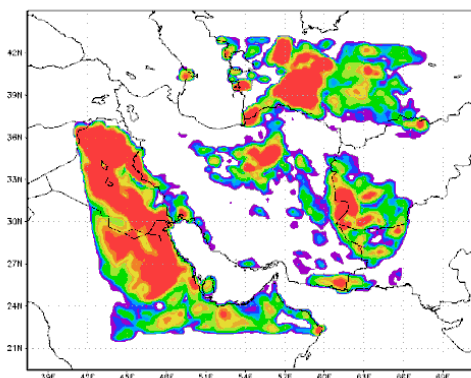
۲۹ تیرماه ۱۳۹۴ ساعت ۰۹:۰۰



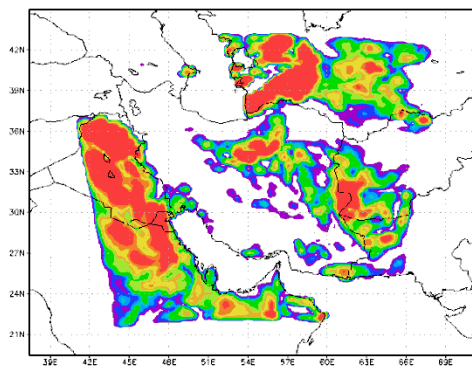
۲۹ تیرماه ۱۳۹۴ ساعت ۱۸:۰۰



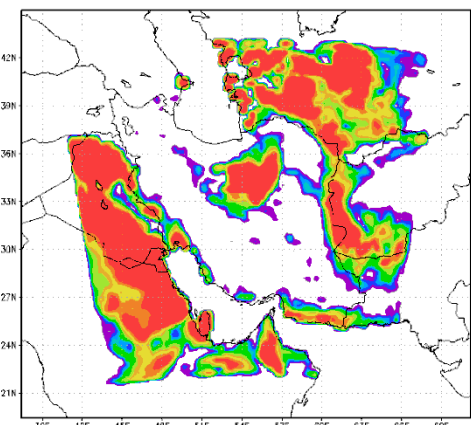
۲۹ تیرماه ۱۳۹۴ ساعت ۱۵:۰۰



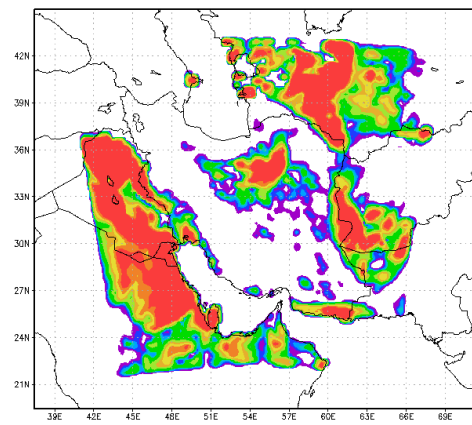
۰۰:۰۰ ساعت ۳۰ تیرماه ۱۳۹۴



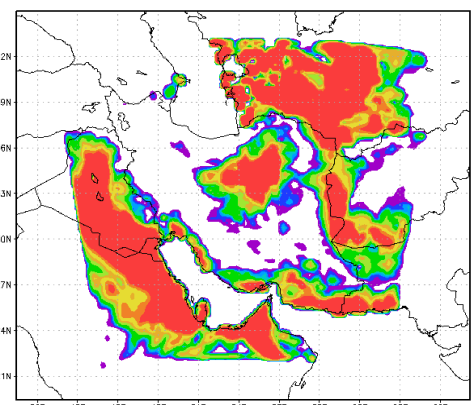
۲۱:۰۰ ساعت ۲۹ تیرماه ۱۳۹۴



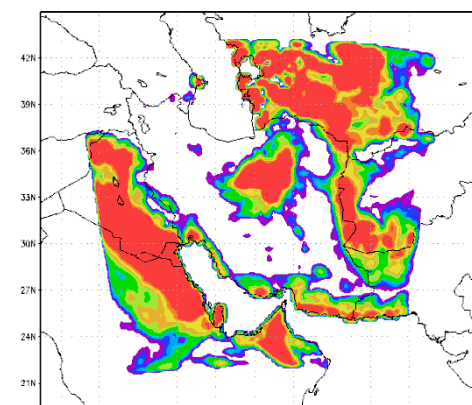
۰۶:۰۰ ساعت ۳۰ تیرماه ۱۳۹۴



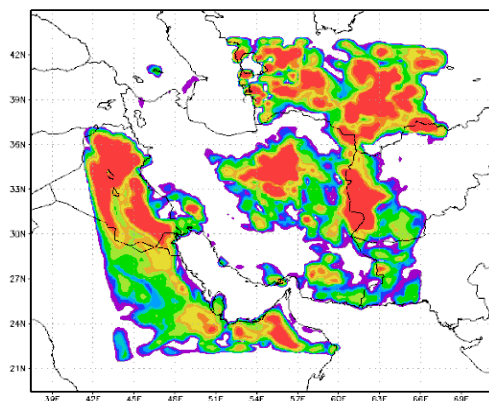
۰۳:۰۰ ساعت ۳۰ تیرماه ۱۳۹۴



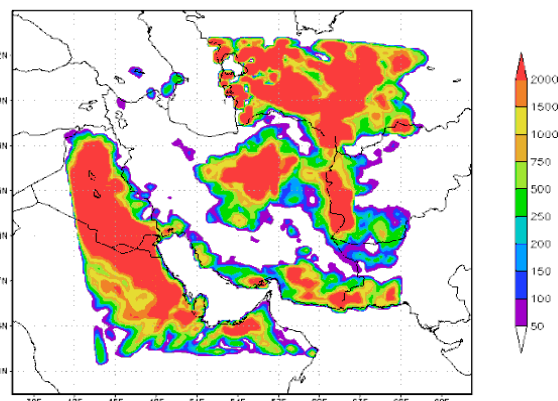
۱۲:۰۰ ساعت ۳۰ تیرماه ۱۳۹۴



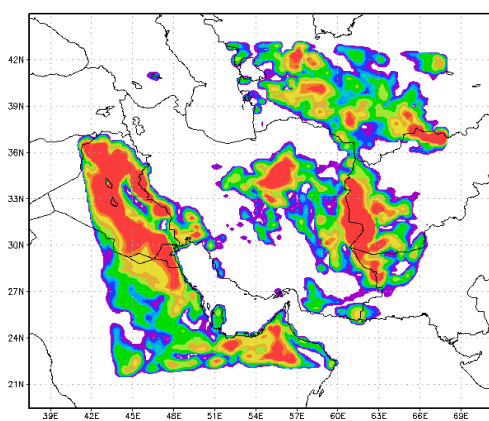
۰۹:۰۰ ساعت ۳۰ تیرماه ۱۳۹۴



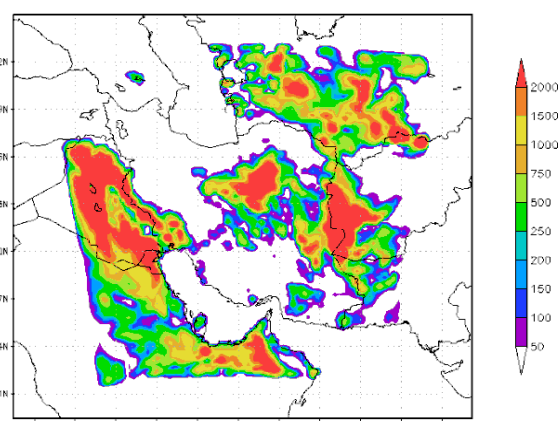
۳۰ تیرماه ۱۳۹۴ ساعت ۱۸:۰۰



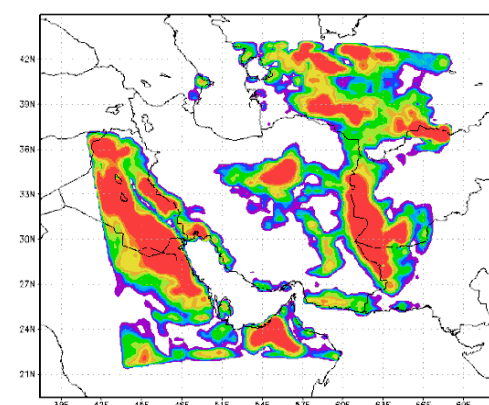
۳۰ تیرماه ۱۳۹۴ ساعت ۱۵:۰۰



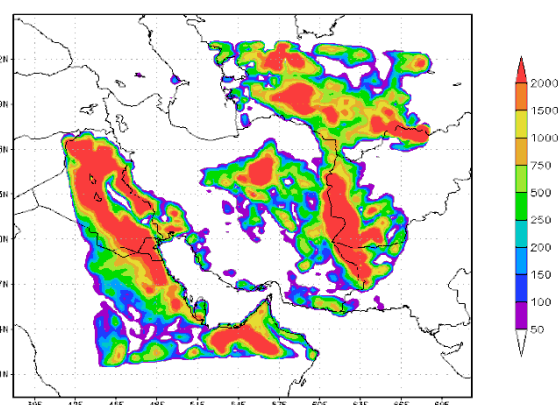
۳۱ تیرماه ۱۳۹۴ ساعت ۰۰:۰۰



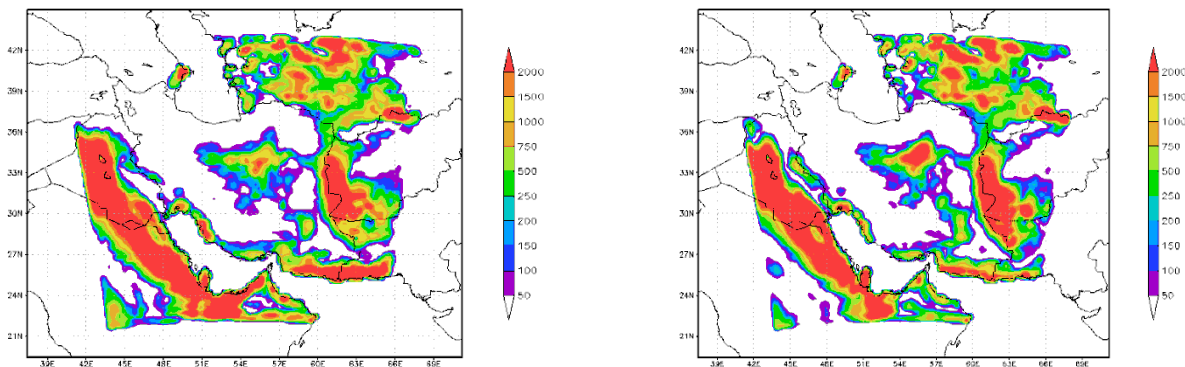
۳۰ تیرماه ۱۳۹۴ ساعت ۲۱:۰۰



۳۱ تیرماه ۱۳۹۴ ساعت ۰۶:۰۰



۳۱ تیرماه ۱۳۹۴ ساعت ۰۳:۰۰



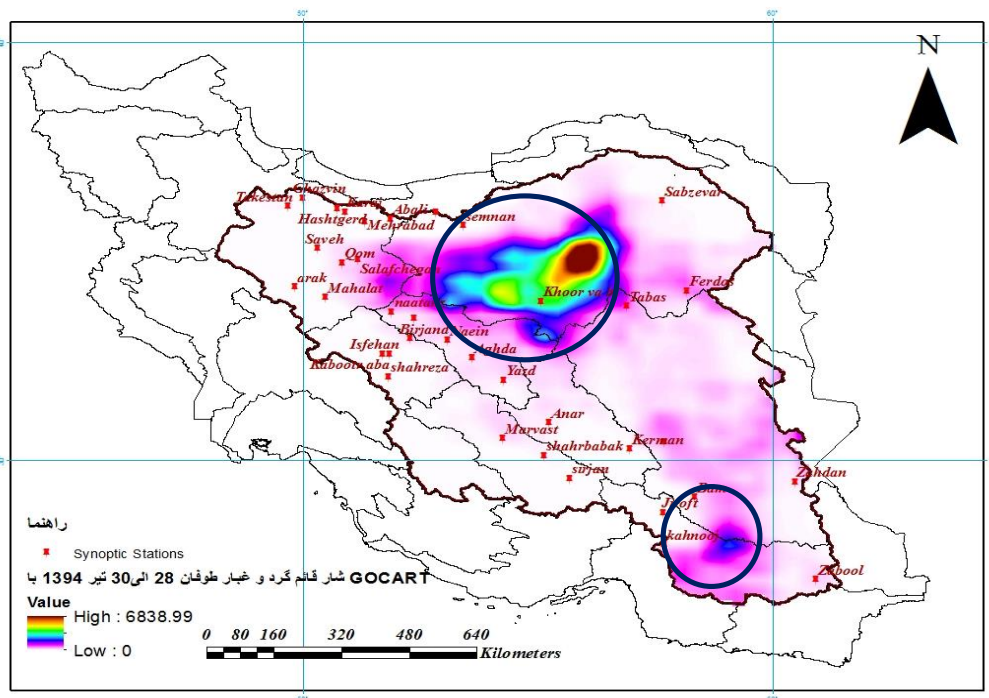
۳۱ تیرماه ۱۳۹۴ ساعت ۱۲:۰۰

۳۱ تیرماه ۱۳۹۴ ساعت ۰۹:۰۰

شکل ۴. الگوی مکانی شار قائم گردوغبار (µg/m².s) طوفان ۲۸ الی ۳۱ تیرماه ۱۳۹۴ به وسیله طرحواره GOCART با فاصله زمانی ۳ ساعته

یک کانون بحرانی گردوغبار نشان داده شده است. به منظور تعیین چشمه‌های گردوغبار داخلی با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS میانگین مکانی نقشه‌های بالا محاسبه گردید و نقشه چشمه‌های داخلی گردوغبار فلات مرکزی ایران بر اساس طوفان ۲۹ الی ۳۱ تیرماه ۱۳۹۴ با طرحواره GOCART استخراج گردید (شکل ۵).

نتایج حاصل از الگوی مکانی شار قائم گردوغبار شبیه‌سازی شده توسط طرحواره GOCART طوفان ۲۹ الی ۳۱ تیرماه ۱۳۹۴ نشان می‌دهد، فلات مرکزی ایران تحت تأثیر کانون‌های خارجی در سمت جنوب غربی، شمال شرقی و شرق ایران قرار دارد و در همه تصاویر بیابان کویر (بیابان مرکزی) در استان‌های سمنان و یزد به‌عنوان



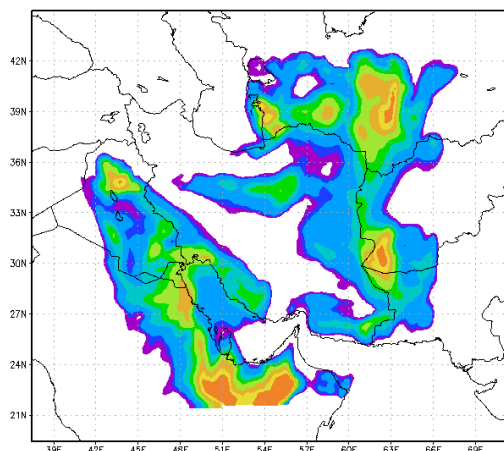
شکل ۵. میانگین شار قائم گردوغبار با طرحواره GOCART در طوفان ۲۸ الی ۳۰ تیرماه ۱۳۹۴

به منظور صحت‌سنجی نتایج طرحواره GOCART با داده‌های پایگاه باز تحلیل MERRA2 از مقادیر غلظت سطحی گردوغبار استفاده شد. الگوی مکانی غلظت سطحی گردوغبار خروجی طرحواره GOCART در شکل (۶) نشان داده شده است. همچنین سری زمانی غلظت سطحی گردوغبار با گام زمانی سه‌ساعته نیز در شکل (۷) رسم شده است. در همین راستا به منظور صحت‌سنجی سری زمانی گردوغبار سه‌ساعته ۲۹ الی ۳۱ تیرماه ۱۳۹۴ از داده‌های باز تحلیل MERRA2 ترسیم و در شکل (۸) نشان داده شده است.

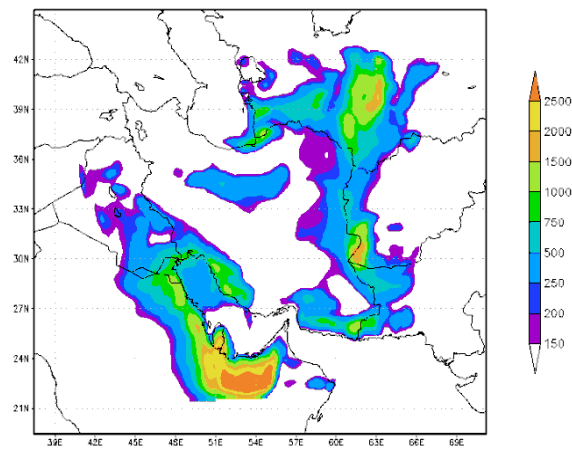
نتایج شار قائم گردوغبار شبیه‌سازی شده با استفاده از طرحواره GOCART در طوفان ۲۸ الی ۳۰ تیرماه ۱۳۹۴ نشان می‌دهد که چشمه اصلی گردوغبار بیابان مرکزی (دشت لوت) در شمال منطقه مورد مطالعه در حد و فاصله شرق ایستگاه‌های خور و بیابانک استان اصفهان، طبس و استان سمنان قرار دارد به طوری که در ثانیه ۶۸۳۸ میلی‌گرم گردوغبار از مترمربع این منطقه وارد اتمسفر می‌شود. همچنین نقطه‌ای دیگر در حوزه جازموریان قرار دارد که به عنوان چشمه گردوغبار داخلی می‌تواند منشأ گردوغبار در جنوب و جنوب شرق ایران باشد.

۳,۳ صحت‌سنجی نتایج طرحواره GOCART با

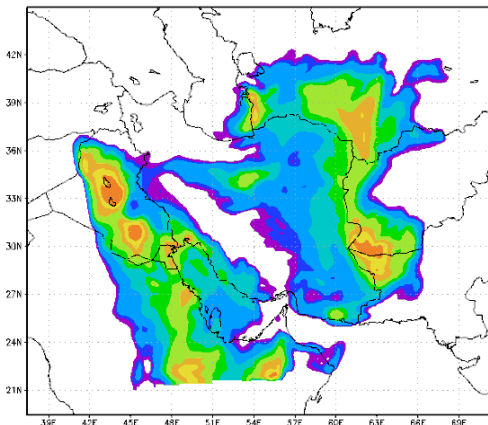
استفاده از داده‌های MERRA2



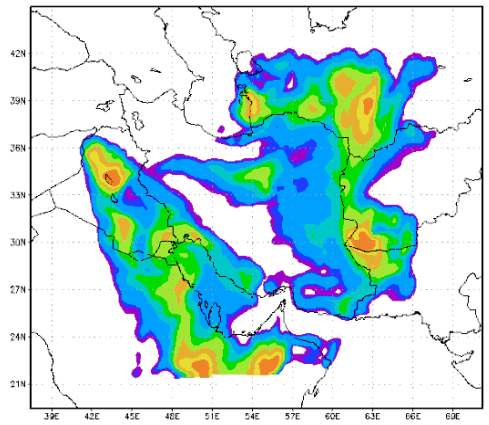
۲۸ تیرماه ۱۳۹۴ ساعت ۱۸:۰۰



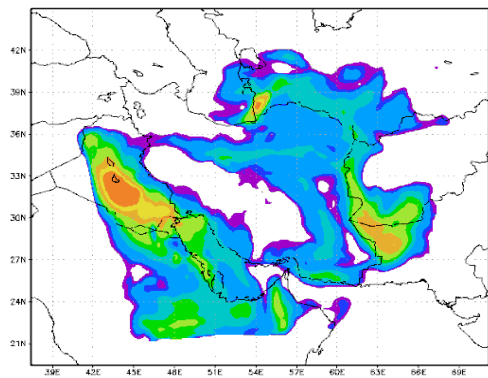
۲۸ تیرماه ۱۳۹۴ ساعت ۱۵:۰۰



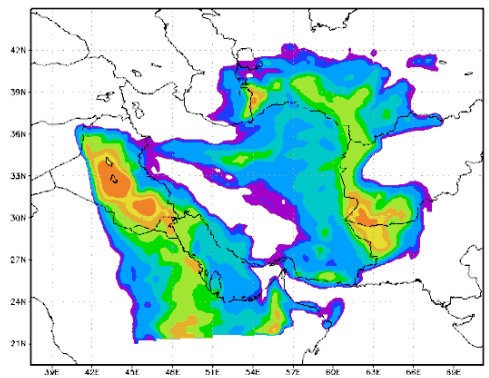
۲۹ تیرماه ۱۳۹۴ ساعت ۰۰:۰۰



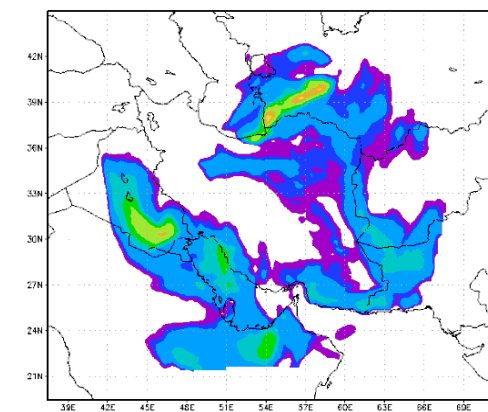
۲۸ تیرماه ۱۳۹۴ ساعت ۲۱:۰۰



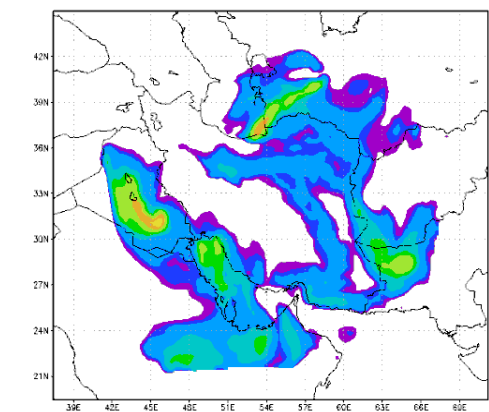
۲۹ تیرماه ۱۳۹۴ ساعت ۰۶:۰۰



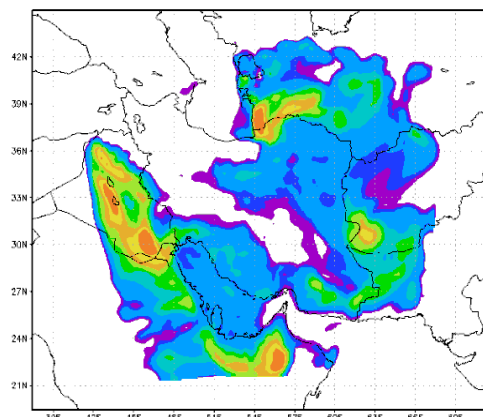
۲۹ تیرماه ۱۳۹۴ ساعت ۰۳:۰۰



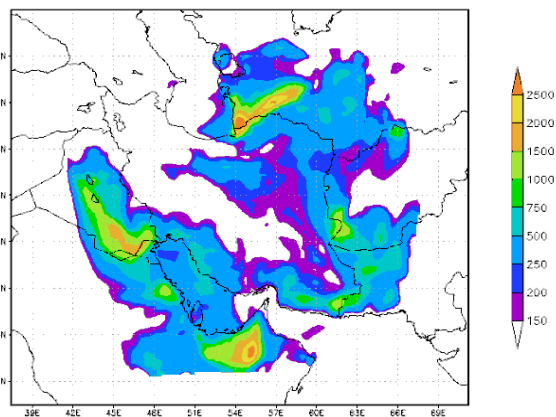
۲۹ تیرماه ۱۳۹۴ ساعت ۱۲:۰۰



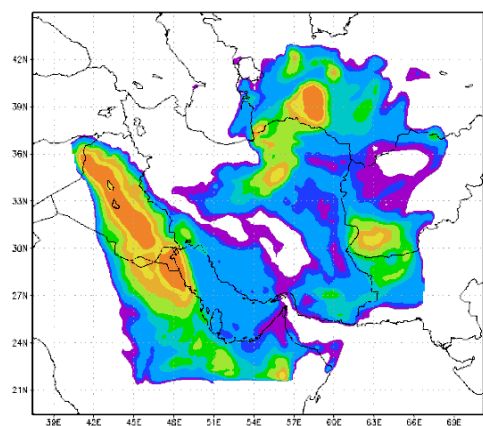
۲۹ تیرماه ۱۳۹۴ ساعت ۰۹:۰۰



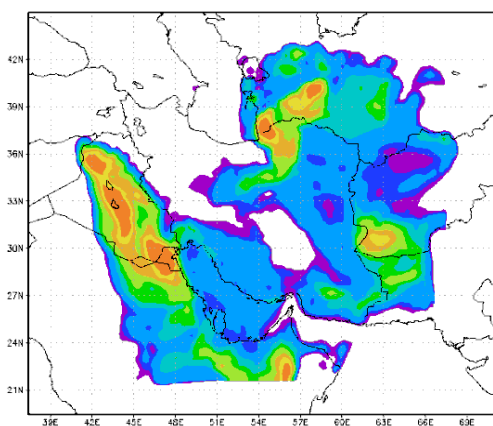
۲۹ تیرماه ۱۳۹۴ ساعت ۱۸:۰۰



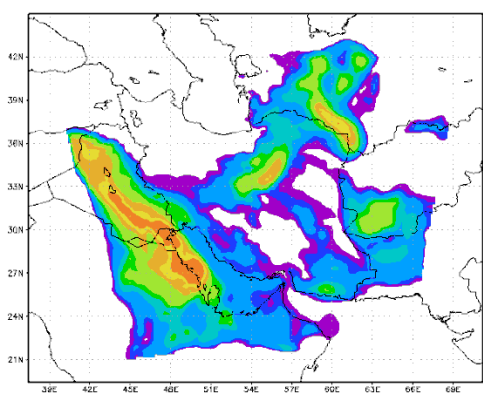
۲۹ تیرماه ۱۳۹۴ ساعت ۱۵:۰۰



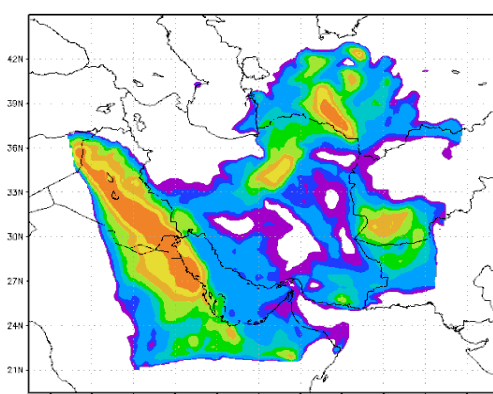
۳۰ تیرماه ۱۳۹۴ ساعت ۰۰:۰۰



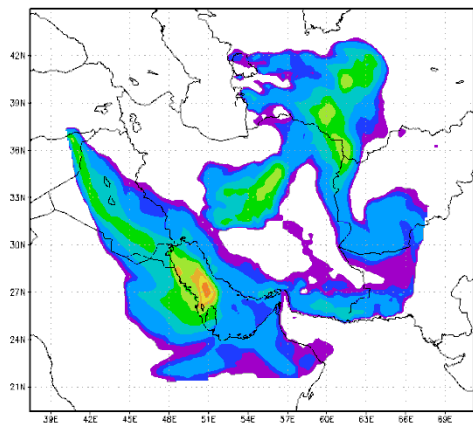
۲۹ تیرماه ۱۳۹۴ ساعت ۲۱:۰۰



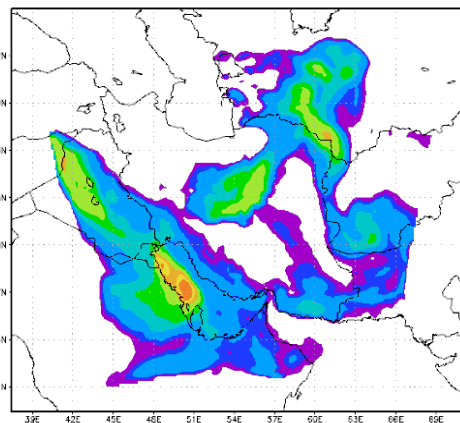
۳۰ تیرماه ۱۳۹۴ ساعت ۰۶:۰۰



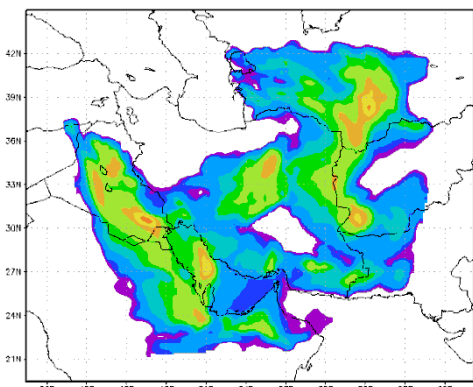
۳۰ تیرماه ۱۳۹۴ ساعت ۰۳:۰۰



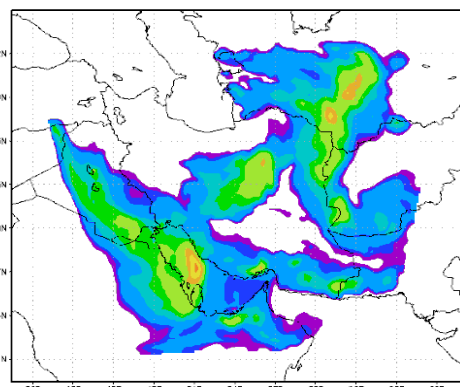
۳۰ تیرماه ۱۳۹۴ ساعت ۱۲:۰۰



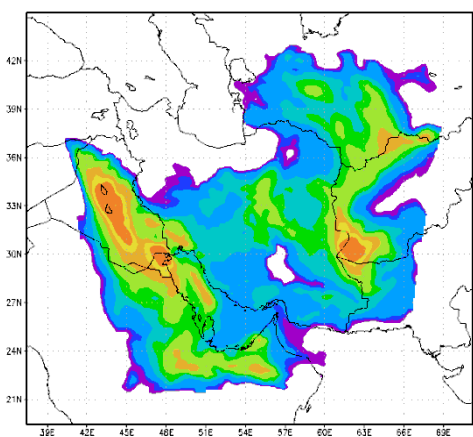
۳۰ تیرماه ۱۳۹۴ ساعت ۰۹:۰۰



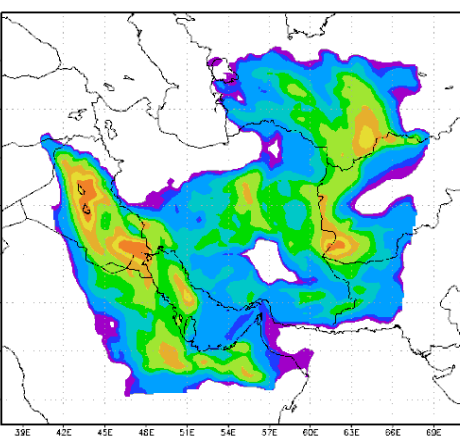
۳۰ تیرماه ۱۳۹۴ ساعت ۱۸:۰۰



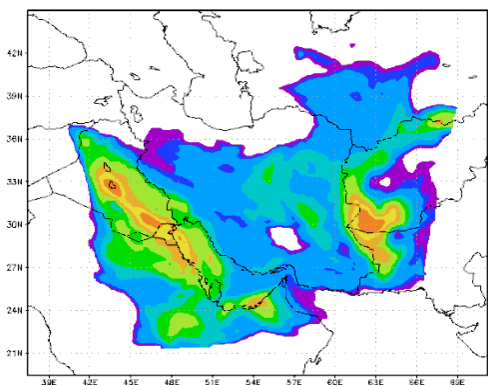
۳۰ تیرماه ۱۳۹۴ ساعت ۱۵:۰۰



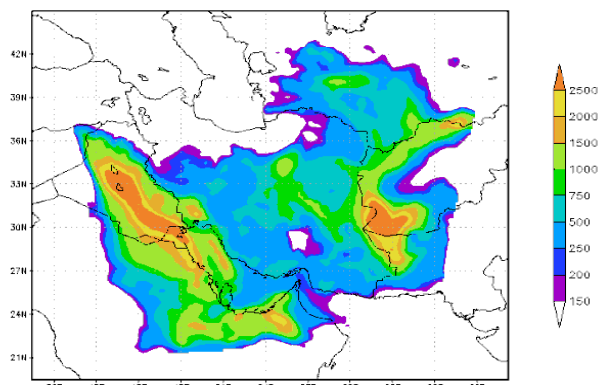
۳۱ تیرماه ۱۳۹۴ ساعت ۰۰:۰۰



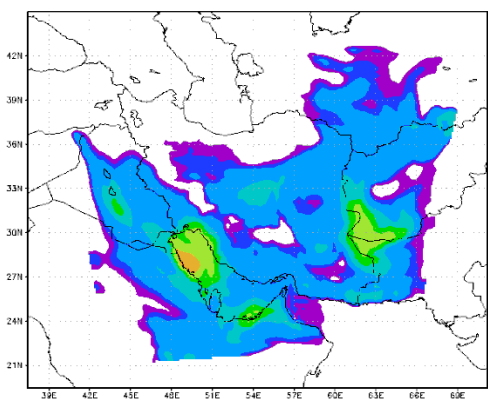
۳۰ تیرماه ۱۳۹۴ ساعت ۲۱:۰۰



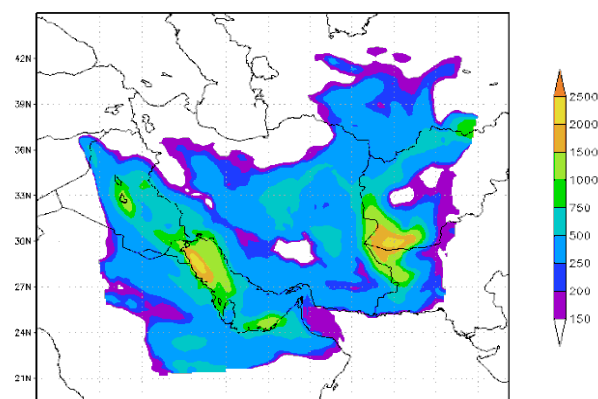
۳۱ تیرماه ۱۳۹۴ ساعت ۰۶:۰۰



۳۱ تیرماه ۱۳۹۴ ساعت ۰۳:۰۰

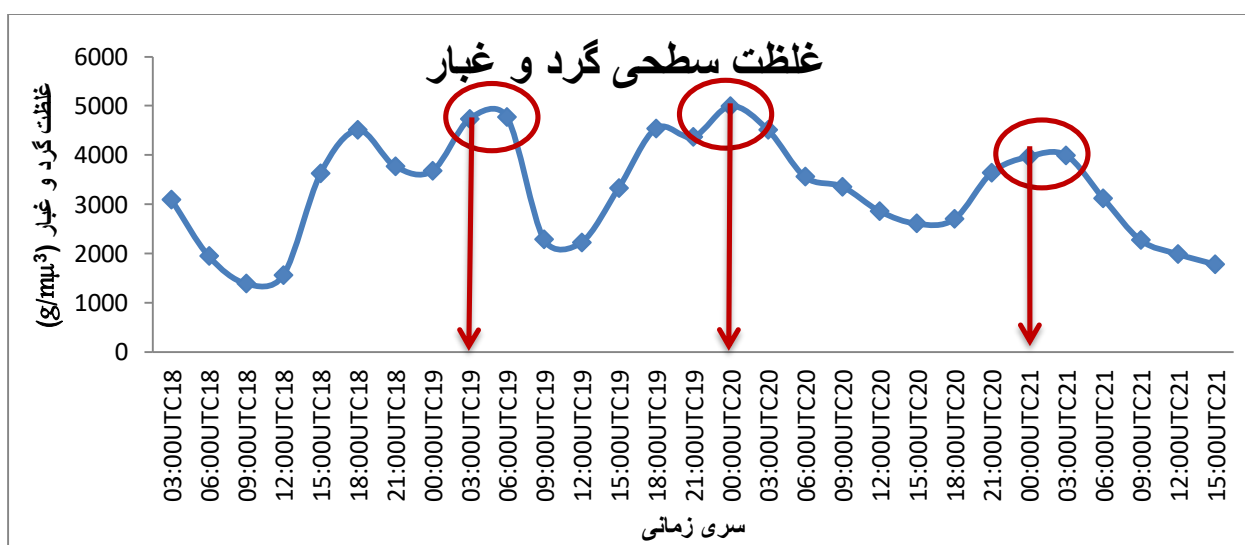


۳۱ تیرماه ۱۳۹۴ ساعت ۱۲:۰۰



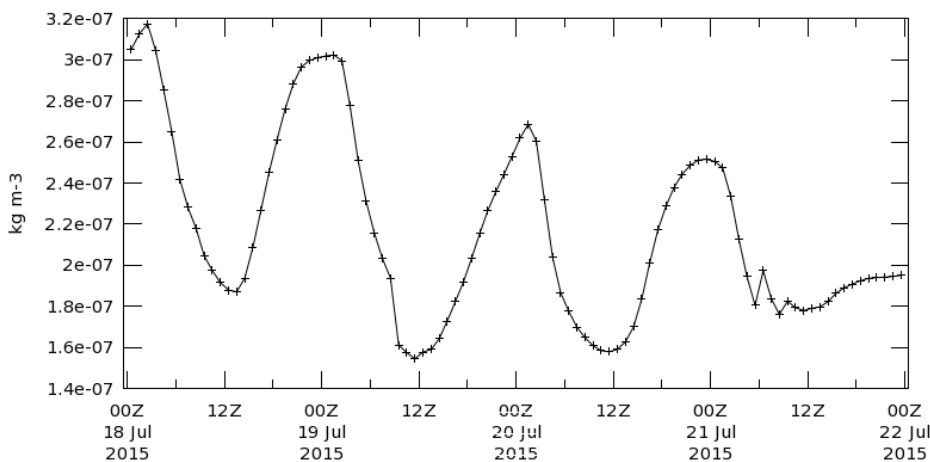
۳۱ تیرماه ۱۳۹۴ ساعت ۰۹:۰۰

شکل ۶. الگوی مکانی سری زمانی سه ساعته غلظت سطحی گردوغبار $\mu\text{g}/\text{m}^3$ خروجی طرحواره GOCART



شکل ۷. نمودار سری زمانی سه ساعته غلظت سطحی گردوغبار خروجی طرحواره GOCART

Time Series, Area-Averaged of Dust Surface Mass Concentration, time average hourly 0.5 x 0.625 deg. [MERRA-2 Model M2T1NXAER v5.12.4] kg m⁻³ over 2015-07-18 00Z - 2015-07-21 23Z, Region 50.1466E, 28.1335N, 59.463E, 36.2194N



- The user-selected region was defined by 50.1466E, 28.1335N, 59.463E, 36.2194N. The data grid also limits the analyzable region to the following bounding points: 50.625E, 28.5N, 59.375E, 36N. This analyzable region indicates the spatial limits of the subsetted granules that went into making this visualization result.

شکل ۸. نمودار سری زمانی سه‌ساعته غلظت سطحی گردوغبار با داده‌های باز تحلیل MERRA2

دینامیکی می‌توانند هزاران کیلومتر مسافت طی کنند بنابراین گردوغبار یک پدیده بین‌المللی است. در این مطالعه با استفاده از مدل WRF-Chem و طرحواره GOCART طوفان ۲۹ الی ۳۱ تیر ماه ۱۳۹۴ شبیه‌سازی شد. مقادیر شار گردوغبار با گام زمانی سه‌ساعته توسط مدل شبیه‌سازی گردید.

نتایج الگوی مکانی شار نشان می‌دهد بیابان‌های عربی در جنوب غربی ایران که در کشور عربستان سعودی واقع شده است به‌عنوان یکی از کانون‌های گردوغبار خارجی مطرح است. کانون‌های بحرانی واقع شده در کشور عراق به‌عنوان منبع گردوغبار غرب کشور ایران شناسایی شدند. همچنین بیابان قرقوم در کشور ترکمنستان به‌عنوان چشمه گردوغبار خارجی در شمال شرقی ایران مطرح است. یکی دیگر از چشمه‌های مهم گردوغبار که قسمت جنوب شرقی ایران و استان سیستان بلوچستان را تحت تأثیر قرار می‌دهد حوزه هیرمند واقع در کشور افغانستان است. بادهای ۱۲۰ روزه سیستان و همچنین شرایط اکولوژیکی و اقلیمی منطقه مورد مطالعه باعث وقوع طوفان‌های شن و ماسه در جنوب شرقی منطقه مورد مطالعه می‌شود.

نتایج نشان می‌دهد مقادیر غلظت سطحی گردوغبار حاصل از داده‌های MERRA2 از ساعت ۱۲:۰۰ تا ساعت ۰۰:۰۰ افزایشی است و در ساعت ۰۰:۰۰ بیشترین مقدار غلظت گردوغبار در منطقه نشان داده می‌شود. همچنین غلظت سطحی گردوغبار از ساعت ۰۰:۰۰ تا ساعت ۱۲:۰۰ به‌صورت کاهشی است به‌طوری‌که در ساعت ۱۲:۰۰ کمترین مقدار غلظت گردوغبار در منطقه نشان داده می‌شود. نتایج غلظت سطحی گردوغبار از طرحواره GOCART نیز با این روند افزایشی و کاهشی مطابقت دارد که نشان از صحت عملکرد مدل WRF-Chem و طرحواره GOCART در شبیه‌سازی عددی مقادیر شار گردوغبار دارد.

۴. بحث و نتیجه‌گیری

ذرات گردوغبار و بازخورد‌های آن‌ها در اتمسفر می‌تواند بر روی پدیده‌های جوی از جمله میزان تابش، البیدو، دمای بیشینه و کمینه و غیره تأثیر به‌سزایی بگذارد. پدیده گردوغبار می‌تواند بر روی شاخص‌های هرمی جمعیت نیز تأثیرگذار باشد و از توسعه پایدار در مناطق جلوگیری کند. ذرات گردوغبار با سیالییت و

استفاده شد، نتایج نشان داد که هر سه طرحواره چشمه‌های گسیل یکسانی را برای این رویداد غبار برآورد کردند. درحالی که در زمان آغاز طوفان طرحواره مارتیکرنا-برگامتی مناطق چشمه گسیل غبار را با گستردگی و شدت بیشتری نسبت به دو طرحواره دیگر آشکار می‌سازد. [۲۵] با استفاده از مدل عددی WRF-Chem و طرحواره GOCART به شبیه‌سازی واداشت‌های تابشی گردوغبار در غرب ایران پرداختند. مدل تحت دو شرایط فعال و غیرفعال بودن اثرات تابشی هواویز و برای رخداد ۱۲ تا ۱۵ آوریل ۲۰۱۱ اجرا شده است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که این طرحواره در شبیه‌سازی طوفان‌های گردوغبار در منطقه خاورمیانه دارای عملکرد قابل قبولی است. همه مطالعات ذکر شده نتایج این تحقیق مبنی بر صحت عملکرد طرحواره GOCART را تأیید می‌کند. همچنین پیشنهاد می‌گردد از طرحواره‌های بیشتری (شائو، AFWA) به منظور شناسایی چشمه‌های گردوغبار استفاده شود و نتایج آن‌ها با مقادیر AREONET به‌منظور انتخاب مناسب‌ترین طرحواره استفاده شود.

به‌منظور شناسایی چشمه‌های گردوغبار داخلی متوسط الگوی مکانی شار گردوغبار ترسیم شد. نتایج نشان داد بیابان مرکزی ایران (دشت کویر) و قسمت‌های جنوبی بیابان لوت به‌عنوان چشمه‌های گردوغبار داخلی مطرح هستند.

به‌منظور صحت‌سنجی نتایج طرحواره GOCART مقادیر غلظت سطحی خروجی مدل با مقادیر غلظت سطحی گردوغبار مستخرج شده از پایگاه داده‌های باز تحلیل MERRA2 مقایسه گردید. نتایج نشان داد که مقادیر غلظت سطحی از نظر مراحل زمانی مقادیر افزایشی و کاهش‌ی باهم همخوانی داشته‌اند. به‌طوری که از ساعت ۱۲:۰۰ تا ساعت ۰۰:۰۰ افزایشی بوده و از ساعت ۰۰:۰۰ تا ساعت ۱۲:۰۰ کاهش‌ی است.

[۲۱] طی مطالعه‌ای در منطقه خاورمیانه به عملکرد مدل‌های عددی فرسایش بادی در شبیه‌سازی گردوغبار پرداختند. در این تحقیق از مدل WRF-chem و سه طرحواره غبار مارتیکرنا-برگامتی، لو-شائو و شائو (۲۰۰۴) برای غبار ۴-۹ جولای سال ۲۰۰۹ منطقه خاورمیانه

References

- [1] Alfaro, S.C. (2008) Influence of soil texture on the binding energies of fine mineral dust particles potentially released by wind erosion. *Geomorphology* 93(3-4):157-167. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2007.02.012>
- [2] Bian, H. Tie, X. Cao, J. Ying, Z. Han, S. and Xue, Y.(2011). Analysis of a severe dust storm event over China: Application of the WRF-Dust model, *Aerosol Air Qual. Res.* 11, 419-428, <https://doi.org/10.4209/aaqr.2011.04.0053>, 2011.
- [3] Chen, S. Yuan, T. Zhang, X. Zhang, G. Feng, T. Zhao, D. Zang, Z. Liao, X. Ma, X. Jiang, N. Zhang, J. Yang, F. Lu, H.(2018). Dust modeling over East Asia during the summer of 2010 using the WRF-Chem model. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer.* 213: 1-12
- [4] Chin, M. Savoie, D. L. Huebert, B. J. Bandy, A. R. Thornton, D. C. Bates, T. S. Quinn, P. K. Saltzman, E. S. and De Bruyn, W. J.(2000). Atmospheric sulfur cycle simulated in the global model GOCART: Comparison with field observations and regional budgets, *J. Geophys. Res. Atmos.* 105, 24689-24712, <https://doi.org/10.1029/2000JD900385>, 2000.
- [5] Fast, J. D. Gustafson Jr. W. I. Easter, R. C. Zaveri, R. A. Barnard, J. C. Chapman, E. G. Grell, G. A. and Peckham, S. E.(2006). Evolution of ozone, particulates, and aerosol direct forcing in an urban area using a new fully-coupled meteorology, chemistry, and aerosol model, *J. Geophys. Res.* 111, D21305, <https://doi.org/10.1029/2005JD006721>, 2006
- [6] Ghorbani, M.(2013). *The economic geology of Iran: mineral deposits and natural resources.* Springer Science &

Business Media. Springer press.

- [7] Ginoux, P. Chin, M. Tegen, I. Prospero, J. M. Holben B. Dubovik, O. and Lin, S. J.(2001). Sources and distributions of dust aerosols simulated with the GOCART model. *J. Geophys. Res.Atmos.* 106, 20255–20273, <https://doi.org/10.1029/2000JD000053>.
- [8] Gong, S. L.(2003). A parameterization of sea-salt aerosol source function for sub-and super-micron particles, *Global Biogeochem. Cy.* 17, 1097–1104, <https://doi.org/10.1029/2003GB002079>, 2003.
- [9] Grell, G. A. Peckham, S. E. Schmitz, R. McKeen, S. A. Frost, G. Skamarock, W. C. and Eder, B.(2013). Fully coupled “online” chemistry within the WRF model, *Atmos. Environ.* 39, 6957–6975, <https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2012.10.010>.
- [10] Jish Prakash, P. Stenchikov, G. Kalenderski, S. Osipov, S. Bangalath, H.(2014). The impact of dust storms on the Arabian Peninsula and the Red Sea. *Atmospheric Chemistry & Physics Discussions* 14, 19181–19245.
- [11] Klose, M. and Shao, Y.(2015). Large-eddy simulation of turbulent dust emission, *Aeolian Res.* 8, 49–58
- [12] Klose, M. and Shao, Y.(2012). Stochastic parameterization of dust emission and application to convective atmospheric conditions, *Atmos. Chem. Phys.* 12, 7309–7320, <https://doi.org/10.5194/acp-12-7309-2012>.
- [13] Liu, M. Westphal, D. L. Walker, A. L. Holt, T. R. Richardson, K. A. and Miller, S. D.(2007). COAMPS real-time dust storm forecasting during Operation Iraqi Freedom, *Weather Forecast.* 22, 192–206, <https://doi.org/10.1175/WAF971.1>.
- [14] Liu, M. Westphal, D. L. Wang, S. Shimizu, A. Sugimoto, N. Zhou, J. and Chen, Y.(2003). A high-resolution numerical study of the Asian dust storms of April 2001, *J. Geophys. Res.Atmos.* 108, 8653, <https://doi.org/10.1029/2002JD003178>.
- [15] Marticorena, B. and Bergametti, G.(1995). Modeling the atmospheric dust cycle: 1. Design of a soil-derived dust emission scheme, *J. Geophys. Res.Atmos.* 100, 16415–16430, <https://doi.org/10.1029/95JD00690>.
- [16] Marticorena, B. Bergametti, G. Aumont, B. Callot, Y. N’doumé, C. and Legrand, M.(1997). Modeling the atmospheric dust cycle: 2. Simulation of Saharan dust sources, *J. Geophys. Res.Atmos.* 102, 4387–4404, <https://doi.org/10.1029/96JD02964>.
- [17] Naderi, M. and E. Raeisi. (2015). Climate change in a region with altitude differences and with precipitation from various sources, South-Central Iran. *Theor. Appl. Climatol. J.* 3:529-540
- [18] Nickovic, S. Kallos, G. Papadopoulos, A. and Kakaliagou, O.(2001). A model for prediction of desert dust cycle in the atmosphere, *J. Geophys. Res.Atmos.* 106, 18113–18129, <https://doi.org/10.1029/2000JD900794>
- [19] Park, S. H. Gong, S. L. Zhao, T. L. Vet, R. J. Bouchet, V. S. Gong, W. Makar, P. A. Moran, M. D. Stroud, C. and Zhang, J.(2007). Simulation of entrainment and transport of dust particles within North America in April 2001 (“Red Dust Episode”), *J. Geophys. Res.* 112, D20209, <https://doi.org/10.1029/2007JD008443>.
- [20] Peckham, S. E. Fast, J. Schmitz, R. Grell, G. A. Gustafson, W. I. McKeen, S. A. Ghan, S. J. Zaveri, R. Easter, R. C. Barnard, J. and Chapman, E.(2011). WRF/Chem Version 3.3 User’s Guide, NOAA Technical Memo, 2011.
- [21] Rezaazadeh, M. Irannejad, P. and Shao, Y.(2013). Dust emission simulation with the WRF-Chem model using new surface data in the Middle East region *Journal of Earth and Space Physics*, Volume 39, Issue 1, pp 191-212.
- [22] Shao, Y.(2001). A model for mineral dust emission, *J. Geophys. Res.Atmos.* 106, 20239–20254, <https://doi.org/10.1029/2001JD900171>.
- [23] Su, L. and Fung, J. C. H.(2015). Sensitivities of WRF-Chem to dust emission schemes and land surface properties in simulating dust cycles during springtime over East Asia, *J. Geophys. Res.Atmos.* ۱۲۰, ۱۱۲۱۰–۱۱۲۲۰, <https://doi.org/10.1002/2015JD023446>.
- [24] Tang, Y. Han, Y. Liu, Z. (2018). Temporal and spatial characteristics of dust devils and their contribution to the aerosol budget in East Asia—An analysis using a new parameterization scheme for dust devils. *Atmospheric Environment* 182: 225-233
- [25] Tegen, I. and Fung, I.(1994). Modeling of mineral dust in the atmosphere: Sources, transport, and optical thickness, *J. Geophys. Res. Atmos.* 99, 22897–22914, <https://doi.org/10.1029/94JD01928>, 1994.
- [26] Wang, Z. Ueda, H. and Huang, M. Y.(2000). A deflation module for use in modeling long-range transport of yellow

- sand over East Asia, *J. Geophys. Res.* 105, 26947–26959, <https://doi.org/10.1029/2000JD900370>
- [27] Woodward, S.(2001). Modeling the atmospheric. life cycle and radiative impact of mineral dust in the Hadley Centre climate model, *J. Geophys. Res.* 106, 18155–18166, <https://doi.org/10.1029/2000JD900795>.
- [28] Zender, C. S.(2003). Mineral Dust Entrainment and Deposition (DEAD) Model: Description and 1990s dust climatology, *J. Geophys. Res.* 108, 4416, <https://doi.org/10.1029/2002JD002775>, 2003.
- [29] Zhang, Y. Liu, Y. Kucera, P. A. Alharbi, B. H. Pan, L. and Ghulam, A.(2015). Dust modeling over Saudi Arabia using WRF-Chem: March 2009 severe dust case, *Atmos. Environ.* 119, 118–130, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.08.032>, 2015.
- [30] Zhao, C. Chen, S. Leung, L. R. Qian, Y. Kok, J. F. Zaveri, R. A. and Huang, J.(2013). Uncertainty in modeling dust mass balance and radiative forcing from size parameterization, *Atmos. Chem. Phys.* 13, 10733–10753, <https://doi.org/10.5194/acp-13-10733-2013>, 2013.
- [31] Kok, Jasper F. Parteli, Eric J.R. Michaels, Timothy I. and Bou Karam, Diana. (2012). “The physics of wind-blown sand and dust”, *Journal of Rep. Prog. Phys.* No. 75, pp. 1-119.