

## گسیل و انتقال ذرات گردوغبار در منطقه جازموریان

### (مطالعه موردی: طوفان گرد و غبار ۲۴ الی ۲۶ نوامبر ۲۰۱۶)

فرشاد سلیمانی ساردو<sup>۱\*</sup>، نسیم حسین حمزه<sup>۲</sup>، سارا کرمی<sup>۳</sup>، محمد هاشمی نژاد<sup>۴</sup>، سعیده ناطقی<sup>۵</sup>

۱- و ۴- استادیار، دانشگاه جیرفت

۲- دانش آموخته، دانشگاه فردوسی مشهد

۳- استادیار، پژوهشکده هواشناسی و علوم جو، تهران

۵- استادیار، موسسه تحقیقات جنگل و مراتع کشور، تهران

### چکیده

طوفان‌های گرد و خاک ناشی از منابع فرسایش‌پذیر سطحی مانند بیابان‌ها در سالهای اخیر از اصلی‌ترین بلایای طبیعی هستند که کشورهای منطقه خاورمیانه از جمله ایران با آن درگیر می‌باشند. بررسی و شناسایی الگوهای جوی مؤثر بر مناطق خشک و کویری می‌تواند در پیش‌بینی این طوفان‌ها مؤثر باشد. یکی از روش‌های بررسی طوفان‌های گرد و غبار استفاده از مدل‌های عددی است. هدف این تحقیق کاربرد مدل جفت شده پیش‌بینی عددی وضع هوا WRF/Chem و مدل HYSPLIT برای شبیه‌سازی رخداد طوفان گرد و غبار و دستیابی به روشی جهت پایش، پیش‌بینی و هشدار وضعیت رخداد طوفان است. در این تحقیق از طوفان ۲۴ الی ۲۶ نوامبر ۲۰۱۶ استفاده گردید نتایج نشان داد که گسیل گرد و غبار حوزه جازموریان تحت تأثیر جریانات غربی به سمت مرز پاکستان و استان‌های سیستان و بلوچستان حرکت می‌کند و تالاب جازموریان به عنوان مهم‌ترین کانون گرد و غبار در حوزه مورد مطالعه شناسایی شد و میزان غلظت گرد و غبار گسیل شده از این منطقه گاهی به ۵۰۰۰ میکروگرم در متر مکعب می‌رسد. رعایت حق آبه زیست محیطی این تالاب از سوی وزارت نیرو که با احداث سد صفارود بر روی سرشاخه‌های هلیل رود زمینه وقوع طوفان‌های گرد و غبار را شدت بخشیده است مهم‌ترین راهکار پیشنهادی این تحقیق می‌باشد.

کلید واژه‌ها: شبیه‌سازی، گرد و غبار، مدل پیش‌بینی عددی، HYSPLIT، سنجنده MODIS.

## مقدمه

توسعه سامانه‌های هشدار به منظور کاهش خسارات وارده از طوفان گرد و خاک مؤثر باشد. امروزه مطالعات عددی مختلفی در این زمینه به صورت جهانی و منطقه‌ای صورت گرفته است. Hai Bian و همکارانش (۲۰۱۱) یک مورد طوفان گرد و غبار شدید در چین را با استفاده از مدل عددی Dust\_WRF مورد بررسی قرار دادند، از مقایسه تصاویر سنجده مودیس با خروجی‌های مدل Dust\_WRF نشان داده شد که سهم عمده تولید غبار در چین ناشی از بادهای شدید سطحی در بیابان گبی و کمترین سهم مربوط به بیابان تاکلامکان می‌باشد. Azizi و همکاران (۲۰۱۲)، به تحلیل هم‌مدیدی و سنجش از دور رویدادهای گرد و غبار در جنوب غرب ایران پرداخته و برای ردیابی طوفان‌های گرد و غبار از تصاویر ماهواره ای مودیس استفاده کردند. نتایج نشان داد، بالاترین مقدار گرد و غبار ساعتی در بعد از ظهر رخ داده و پایین‌ترین مقدار در UTC00 زمان محلی (زمان محلی ۰۳:۳۰) است که در ارتباط با سطح حرارت (گرمایش) و وقوع ناپایداری خشک محلی ایجاد شده است. Ashrafi و همکاران (۲۰۱۴)، به بررسی و شبیه سازی طوفان‌های گردوغباری در ایران با استفاده از مدل HYSPLIT پرداختند و به شناسایی چشمه‌های وقوع طوفان برای چند طوفان با منشأ خارجی پرداختند (Ashrafi et al., 2014). Malakooti و همکاران (۲۰۱۳) در مطالعه هم‌مدیدی و عددی نشر، انتقال و شناسایی چشمه یک طوفان گرد و غبار سنگین در منطقه خاورمیانه نشان دادند که، نتایج مدل HYSPLIT که اغلب مسیرهای بدست آمده، از مناطق شمالی و مرکزی عراق و سوریه گذشته و منشأ طوفان گرد و غبار ذکر شده، مناطق کویری و خشک شمال - مرکز عراق و سوریه می‌باشد و مطابقت خوبی با تصاویر بدست آمده از سنجده مودیس داشته و بیانگر این بوده است که مدل‌های عددی توانایی خوبی در پیش بینی طوفان‌های گرد و غبار دارند. Alizadeh Choobari و همکاران (۲۰۱۴)، طی تحقیق بادهای ۱۲۰ روزه و طوفان گرد و غبار سیستان و بلوچستان، توسط مدل WRF-Chem دریافتند که بادهای قوی نزدیک سطح زمین در انتشار گرد و غبار در مسیر طولانی تأثیر بسزایی دارند. Mohammad asgari و همکاران (۲۰۱۶)، در مطالعه ای غلظت گرد و غبار PM<sub>10</sub> با استفاده از مدل عددی GOCART برآورد کردند و نتایج

طوفان‌های گرد و خاک ناشی از منابع فرسایش‌پذیر سطحی، مانند بیابان‌ها در سالهای اخیر از اصلی‌ترین بلایای طبیعی هستند که کشورهای منطقه خاورمیانه از جمله ایران با آن درگیر می‌باشند. منابع انتشار ذرات گرد و غبار به دو دسته، طبیعی و انسانی تقسیم می‌شوند (Alizadeh Choobari et al., 2014). منابع انسانی شامل دخالت انسان در تنوع سطح زمین، تغییرات کاربری زمین از طریق کشاورزی، جنگل زدایی، چرای بیش از حد، مدیریت ضعیف منابع آبی، مانند ایجاد سدهای متعدد مهم‌ترین منابع تأمین گرد و غبار و ... است (Rashki et al., 2012) حرکت ذرات گرد و غبار و انتشار آن‌ها به مناطق دورتر در طول سال وابسته به شرایط هواشناختی می‌باشد. ذرات گرد و غبار در طی رویدادهای شدید گرد و خاک می‌توانند بالغ بر چند هزار کیلومتر جابجا شوند و سرانجام در مسیر باد به وسیله فرآیندهای نشست خشک و تر، گاهی در مقادیر قابل توجهی به زمین بنشینند (O'Hara et al., 2009). این طوفان‌ها می‌توانند اثرات مهمی بر اقلیم و محیط زیست منطقه برجای گذارند بدین ترتیب که تابش خورشیدی و زمینی را تحت تأثیر قرار داده و همچنین باعث تغییراتی در خواص فیزیکی و طیفی ابرها می‌شوند (Lau et al., 2009) از اثرات دیگر این پدیده می‌توان به کاهش دید اشاره کرد (Song et al., 2007). از جمله عوامل عمده در شکل‌گیری طوفان‌های گرد و غبار جریان باد قوی است که در حضور سامانه‌های کم‌فشار در مناطق پتانسیل چشمه می‌تواند ایجاد شود (Novlan et al., 2007). بنابراین بررسی و شناسایی الگوهای جوی مؤثر بر مناطق خشک و کویری می‌تواند در پیش‌بینی این طوفان‌ها مؤثر باشد. یکی از روش‌های بررسی طوفان‌های گرد و غبار استفاده از مدل‌های عددی است که می‌تواند حتی برای زمان‌هایی که داده مناسب موجود نبوده و همچنین برای پیش‌بینی این نوع طوفان‌ها بکار رود. مطالعات اخیر نشان داده است که مدل‌های پیش‌بینی عددی گردوغبار برای درک بهتر تأثیرات ذرات گردوغبار بر جو در حال توسعه یافتن هستند (Mesbahzadeh et al., 2020). مدلسازی طوفان‌های گرد و خاک به منظور پیش‌بینی دقیق و به موقع این رویدادها، می‌تواند در شناخت رفتار و چشمه ریزگردها و همچنین

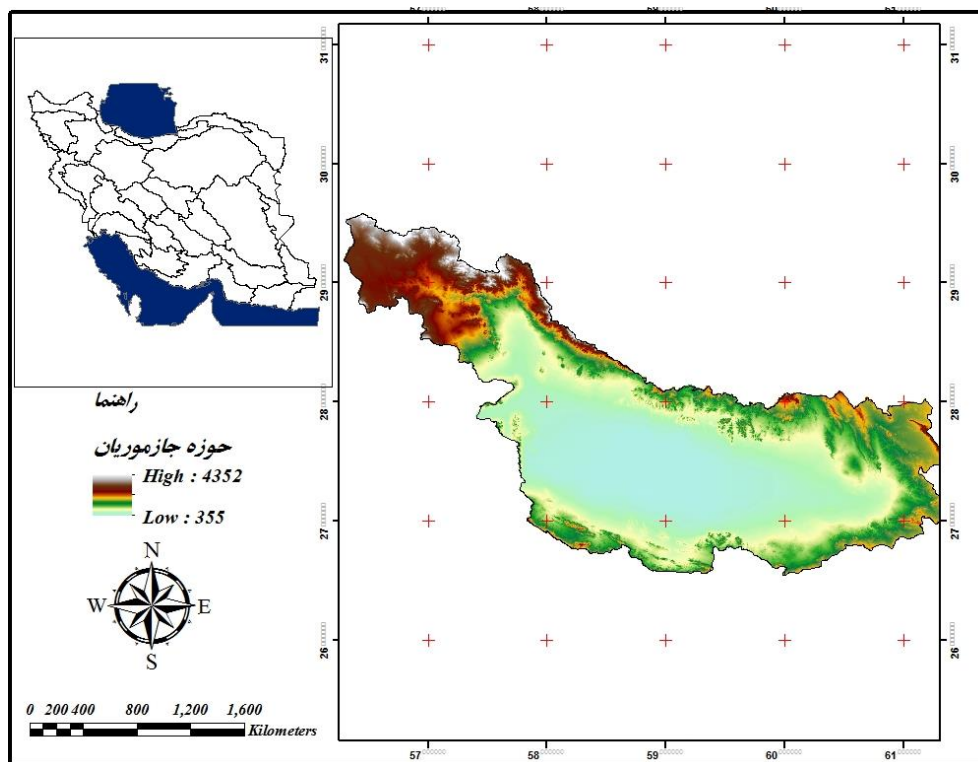
داد که مناطق بیابانی سوریه به‌عنوان منشأ گردوغبار در منطقه است. Rezazadeh و همکاران (۲۰۱۶) طی مطالعه‌ای در منطقه خاورمیانه به عملکرد مدل‌های عددی فرسایش بادی در شبیه‌سازی گردوغبار پرداختند در این تحقیق از مدل WRF-Chem و سه طرحواره غبار مارتیکرنا-برگامتی، لو، Shao و همکاران (۲۰۱۱) برای غبار ۴-۹ جولای سال ۲۰۰۹ منطقه خاورمیانه استفاده شد. با توجه به اینکه پدیده گرد و غبار یکی از مهم‌ترین مشکلات کشور به خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک است مطالعه و تحقیق در این باره امری ضروری می‌باشد. هدف از این مطالعه تحلیل عددی یک رخداد شدید گرد و غبار در حوزه جازموریان و مسیر یابی انتقال این ذرات در اتمسفر با استفاده از مدل HYSPLIT می‌باشد. همچنین با استفاده از مدل WRF-Chem نحوه گسیل این ذرات و مناطق تحت تأثیر نیز مشخص می‌گردد.

## مواد و روش‌ها

### داده‌ها و محدوده مورد مطالعه پژوهش

منطقه مورد مطالعه با مختصات عرض جغرافیایی ۳۳° تا ۳۶° شمالی و طول جغرافیایی ۱۶° تا ۵۶° شرقی و با مساحت ۶۹۳۷۴ کیلومترمربع در استان‌های کرمان و سیستان و بلوچستان واقع گردیده است. بارندگی متوسط سالیانه این حوضه حدود ۱۷۲ میلی‌متر است. ارتفاع بلندترین نقطه این محدوده ۴۳۵۹ متر و پست‌ترین نقطه آن ۳۵۴ متر از سطح آزاد دریا می‌باشد. عمده‌ترین کاربری‌های اراضی شامل مراتع ضعیف و اراضی بایر هستند. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است.

نشان داد که مدل دقت بالایی در برآورد مدل در برآورد غلظت این ذرات دارد. Karegar و همکاران (۲۰۱۷)، در مطالعه گرد و غبار شرق ایران نشان داد که مدل-WRF Chem از نظر مقیاس زمانی، تا حدودی برآورد منطقی از گرد و غبار در محدوده مطالعاتی دارد. با استفاده از مدل WRF-Chem به شبیه‌سازی طوفان ماسه و گردوغبار شدید شرق ایران پرداخته شد. در این مطالعه از تصاویر ماهواره‌ای MODIS و همچنین طرحواره‌ای GOCART استفاده شد. نتایج نشان داد که منطقه سیستان به‌ویژه بستر خشک تالاب هامون واقع در شرق ایران چشمه اصلی طوفان ماسه و ریز گرد بوده است. نتایج مطالعه Nikfal و همکاران (۲۰۱۷) در مدل‌سازی گرد و غبار در تهران نشان داد که به طور کلی عملکرد مدل عددی WRF-Chem، قابلیت کاربردی در مدل‌سازی و پیشبینی کیفیت هوا، به ویژه برای هواپیمایی که از چشمه‌های گسیل طبیعی مانند مناطق فرسایش‌پذیر و بیابان‌ها تولید می‌شوند، را دارد. نتایج مطالعه Rostami و Hosseini (۲۰۱۸)، در واکاوی پدیده گردوغبار در جنوب و جنوب شرق ایران با استفاده از مدل HYSPLIT نشان داد که ماه‌های ژوئن، جولای، اوت و می به ترتیب از نظر فراوانی و شدت با دید کمتر از ۱۰۰۰ متر بیشترین رخداد و ماه دسامبر کمترین رخداد گردوغبار را دارند و دریاچه خشک شده هامون، بیابان‌های افغانستان، حاشیه‌های جنوبی و شرقی لوت، بیابان ربع الخالی، مناطق مرکزی و شمال شرقی عربستان و جنوب عراق، منابع اصلی و مولد گردوغبار منطقه مورد مطالعه هستند. همچنین مسیر شمال - شمال غربی و شمال غربی - جنوب شرقی و در موارد محدودی غربی - شرقی مسیرهای اصلی ورود این پدیده به منطقه مورد مطالعه هستند. Irajی و همکاران (۲۰۲۱)، در مطالعه تعیین منبع طوفان‌های گرد و غبار با استفاده از مدل‌های WRF و HYSPLIT کولپینگ در استان یزد، به این نتایج رسیدند که مدل‌ها قابلیت کاربردی خیلی بالایی با داده‌های عمق نوری آئروسول MODIS و مسیرهای برگشت مسیر HYSPLIT را نشان دادند. Hossein Hamzeh و همکاران (۲۰۱۶) با استفاده از داده‌های ایستگاه سینوپتیک و همچنین تصاویر ماهواره‌ای MODIS و مدل عددی WRF-chem به بررسی همدیدی و دینامیکی پدیده گردوغبار و شبیه‌سازی آن در جنوب غرب کشور در تابستان ۱۳۸۴ پرداختند نتایج نشان



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

است که یک مدل تحقیقاتی و عملیاتی برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی غلظت هواویزهای موجود در جو ناشی از سازوکارهای طبیعی، فعالیت‌های بشری (آلاینده‌ها) و گردوغبار در اندازه‌های مختلف، نحوه انتشار و نهشت آن‌ها است. مدل WRF-Chem قابلیت عددی پیشرفته‌تری نسبت به دیگر مدل‌ها داشته و همین‌طور به دلیل دارا بودن تفکیک‌پذیری بالاتر، اثرات محلی را دقیق‌تر بررسی می‌کند. مدل WRF-Chem برخلاف بیشتر مدل‌های مشابه، نیازی به جفت شدن با یک مدل جوی و یا وارد کردن کمیت‌های جوی ندارد و به‌صورت برخط کمیت‌های جوی موردنیاز خود را محاسبه می‌کند، بنابراین علاوه بر کمیت‌های مرتبط با شیمی جو، کمیت‌های جوی از قبیل باد در سطوح مختلف، فشار و ارتفاع ژئوپتانسیلی را نیز به‌عنوان خروجی مدل ارائه می‌دهد. این مدل علاوه بر داده‌های اولیه موردنیاز مدل WRF که داده‌های سطح زمین و داده‌های شبکه‌بندی شده برای شرایط اولیه و مرزی می‌باشند، نیاز به داده‌های دیگری نیز دارد که بسته به نوع آن‌ها در مراحل مختلف اجرای مدل باید مورد استفاده قرار گیرد. به‌طور کلی برای پدیده گردوغبار سه بخش گسیل، انتقال و نهشت در نظر گرفته می‌شود،

پس از بررسی آماری پدیده گردوغبار و عوامل مؤثر بر آن در حوضه جازموریان، یک رخداد شدید و فراگیر گردوغبار در حوضه جازموریان مورد بررسی قرار می‌گیرد. در ابتدا به منظور بررسی توده گردوغبار در منطقه، تصویر رنگ حقیقی سنجنده مادیس ماهواره‌های ترا و آکوا و مقادیر عمق نوری هواویزها مورد بررسی قرار می‌گیرد. سپس برای بررسی جریان‌ات جوی غالب در منطقه مدل HYSPLIT به صورت ماتریسی و به روش پیشرو اجرا می‌شود. در اجرای مدل HYSPLIT از داده‌های هواشناسی GDAS با تفکیک افقی ۰/۵ درجه استفاده شده است. با استفاده از خروجی این مدل می‌توان نحوه انتقال ذرات گردوغبار از این منطقه را مورد بررسی قرار داد. سرانجام هر یک از پدیده‌های گردوغبار مورد بررسی با استفاده از مدل WRF-Chem شبیه‌سازی می‌شوند تا نحوه گسیل و انتقال گردوغبار در منطقه مشخص شود.

### معرفی مدل WRF-Chem

مدل پیش‌بینی عددی و تحقیقاتی وضع هوا به همراه شیمی (WRF-Chem) در ویرایش سوم مدل WRF گنجانده شده

میکرومتر که کلیه محاسبات برای هر یک از آن‌ها انجام می‌شود.

### نتایج و بحث

در این بخش یک مورد گردوغبار شدید و فراگیر در حوضه جازموریان تعیین شده و سپس برای هر یک شرایط همدیدی حاکم بر منطقه در زمان رخداد پدیده گردوغبار مورد مطالعه قرار گرفته و در نهایت با استفاده از مدل عددی WRF-Chem شبیه‌سازی شده‌اند و دو کمیت عمق نوری هواویزها و غلظت سطحی گردوغبار از خروجی مدل، مورد بررسی قرار گرفته است. تصویر سنجنده مادیس ماهواره‌های ترا و آکوا در روزهای ۲۴ تا ۲۷ نوامبر سال ۲۰۱۶ در شکل (۲) نشان داده شده است. ماهواره آکوا در روز ۲۴ نوامبر و ماهواره ترا در روز ۲۵ نوامبر ۲۰۱۶، پوشش ابر بر روی مناطق جنوب شرقی ایران را نشان می‌دهند که با توجه به قرار گرفتن این روزها در فصل پاییز وجود ابر در این نواحی مورد انتظار است. همچنین عمق نوری ذرات در جنوب شرق ایران در این ۲ روز زیاد است. در شکل ۲.ت و ۲.د تصویر رنگ حقیقی سنجنده مادیس ماهواره آکوا وجود مقادیر زیاد AOD در منطقه جنوب شرقی ایران را نشان می‌دهد. در همین روز تصویر رنگ حقیقی سنجنده وایرس ماهواره سوامی وجود توده گردوغبار بر روی منطقه جازموریان را به خوبی نشان داده است. در این روز از پوشش ابر نسبت به روز قبل کاسته شده است. میزان AOD ماهواره ترا و تصویر رنگ حقیقی ماهواره آکوا نشان دهنده وجود گردوغبار در این منطقه هستند.

بنابراین برای پیش‌بینی پدیده گردوغبار عمدتاً چندین مدل با یکدیگر جفت می‌شوند (Shao et al., 2011). در بخش گسیل، برای محاسبه شار سطحی گردوغبار، علاوه بر داده‌های هواشناسی، داده‌هایی همچون بافت خاک، کسر پوشش گیاهی، رطوبت خاک و فرسایش‌پذیری موردنیاز است. طرحواره‌های مختلف برای محاسبه میزان شار گردوغبار گسیل شده از سطح از داده‌های مختلف و روش‌های متفاوت پارامتر سازی استفاده می‌کنند. بنابراین معمولاً در برآورد مقدار گسیل گردوغبار با یکدیگر اختلاف دارند که به‌نوبه خود سبب تفاوت قابل‌توجه در برآورد غلظت گردوغبار موجود در جو می‌شود. در این تحقیق از طرحواره گرد و غبار GOCART استفاده شد (Mesbahzadeh et al., 2021).

### طرحواره گردوغبار GOCART

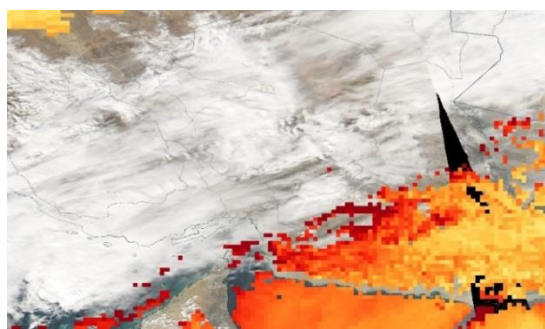
این طرحواره، چشمه‌های بالقوه گردوغبار را بر پایه کسر فرسایش پذیر در نظر می‌گیرد. شار قائم گردوغبار از سطح به‌صورت زیر محاسبه می‌شود

$$F_p = C_G S S_p U_{10}^2 (U_{10} - U_t^*) \quad U_{10} > U_t^* \quad (1)$$

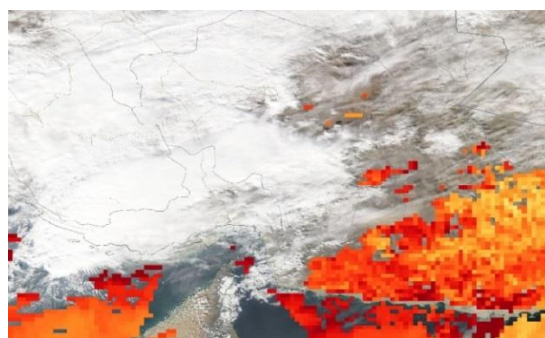
که  $C$  ثابتی تجربی است و برابر  $\frac{\mu g s^2}{m^5}$  در نظر گرفته شده،  $U_{10}$  سرعت باد تراز ۱۰ متر،  $U_t^*$  سرعت آستانه برای فرسایش بادی ذره به‌اندازه  $p$  است که در سرعت‌های پایین‌تر از آن هیچ گسیلی صورت نمی‌گیرد.  $S_p$  کسر هر دسته گردوغبار است که برای کوچک‌ترین اندازه ذرات برابر  $0/1$  و برای سایر اندازه‌ها برابر  $0/25$  در نظر گرفته شده.  $S$  تابع فرسایش‌پذیری است که با رابطه زیر به دست می‌آید (Chen et al., 2004)

$$S = \left( \frac{z_{max} - z_i}{z_{max} - z_{min}} \right)^5 \quad (2)$$

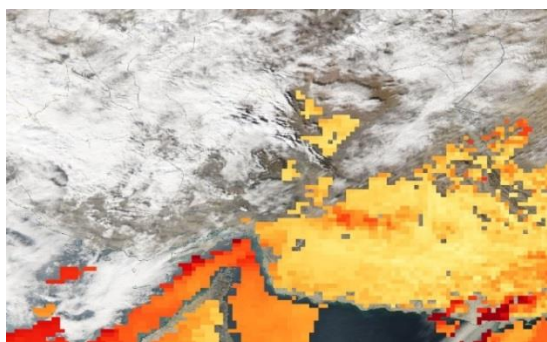
که در آن،  $S$  احتمال تجمع رسوبات در نقطه  $i$  از شبکه با ارتفاع  $z_i$  است.  $z_i$  ارتفاع سلول شبکه،  $z_{min}$  و  $z_{max}$  به ترتیب ارتفاع بیشینه و کمینه توپوگرافی در فاصله ۱۰ درجه در ۱۰ درجه از مرکز سلول شبکه است. در این طرحواره پنج اندازه مختلف برای ذرات گردوغبار به شکل آرمانی کروی با شعاع‌های  $0/1$  تا  $10$  میکرومتر در نظر گرفته شده است. شعاع‌های مؤثر ذرات عبارت‌اند از:  $0/73$ ،  $1/4$ ،  $2/4$ ،  $4/5$  و  $8$



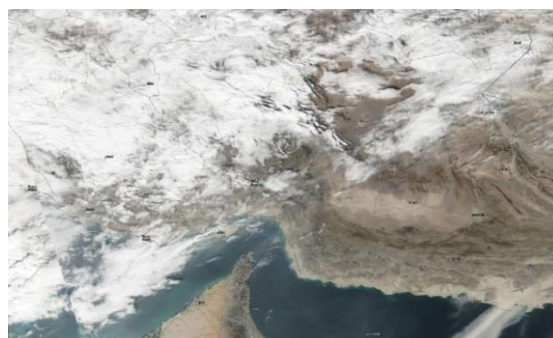
ب- AOD\_TERRA\_۲۰۱۶۱۱۲۵



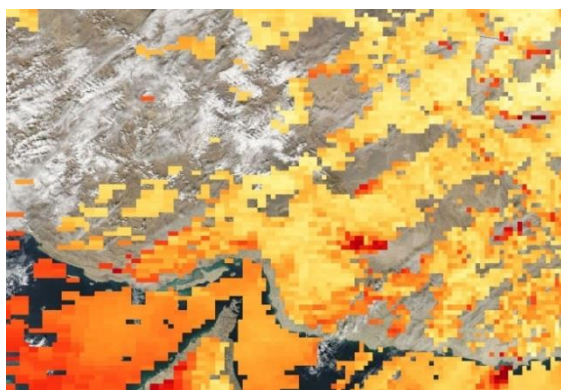
الف- AOD\_AQUA\_۲۰۱۶۱۱۲۴



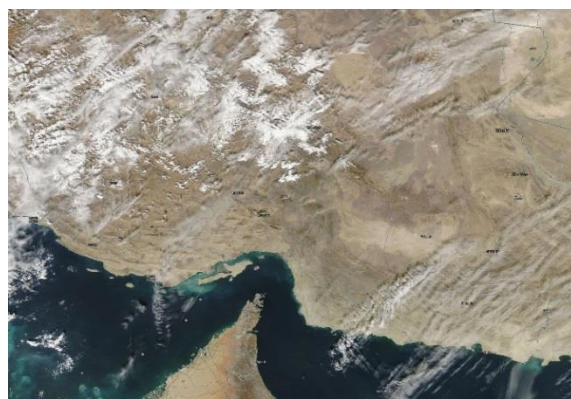
ت- AOD\_AQUA\_۲۰۱۶۱۱۲۶



پ- VIIRS\_۲۰۱۶۱۱۲۶



د- AOD\_TERRA\_۲۰۱۶۱۱۲۷

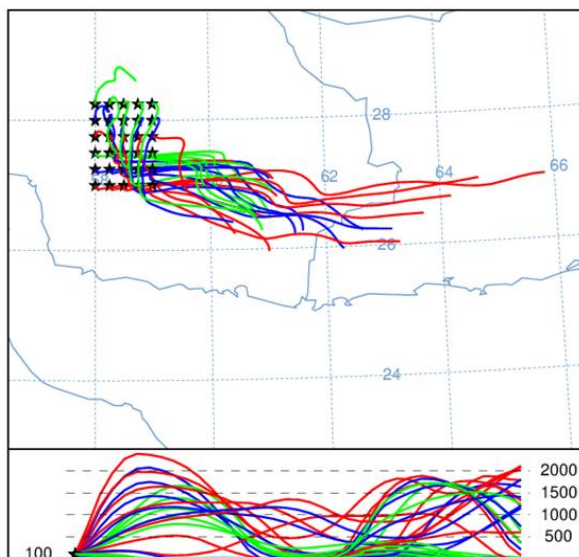


ج- AQUA\_۲۰۱۶۱۱۲۷

شکل ۲- تصویر سنجنده مادیس ماهواره‌های ترا و آکوا در روزهای ۲۴ تا ۲۷ نوامبر سال ۲۰۱۶

جریانات شمال غربی قرار گرفته و به سمت استان سیستان و بلوچستان و مرز ایران و پاکستان منتقل شده‌اند.

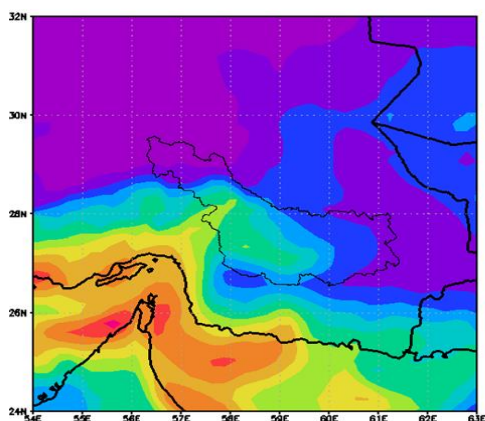
خروجی مدل HYSPLIT به روش پیشرو برای روز ۲۸ نوامبر سال ۲۰۱۶ ساعت ۱۲UTC که به صورت ماتریسی با داده‌های GDAS با تفکیک افقی ۰/۵ درجه به مدت ۳۶ ساعت در ارتفاع ۱۰۰ متری اجرا شده در شکل (۳) نشان داده شده است. ذرات برخاسته از این منطقه، تحت تأثیر



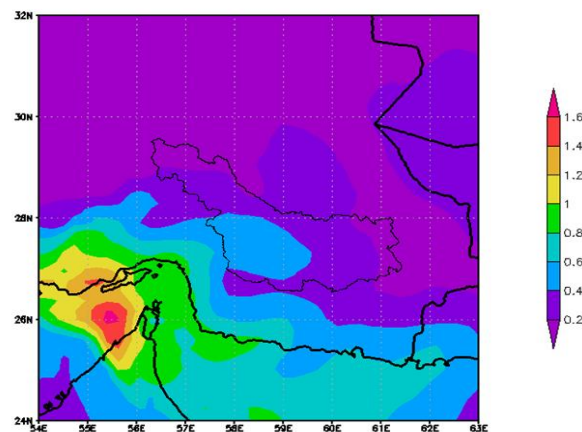
شکل ۳-۳- خروجی مدل HYSPLIT به صورت ماتریسی به روش پیشرو در ارتفاع ۱۰۰ متری در ساعت UTC ۱۲ روز ۲۸ نوامبر سال ۲۰۱۶

شکل ۴- عمق نوری ذرات خروجی مدل WRF-Chem در ساعت UTC06 روز ۲۵ نوامبر می‌باشد. بالاترین میزان AOD بر روی جنوب تنگه هرمز و کشور امارات دیده می‌شود که بالاتر از ۱/۵ است. در این ساعت هم‌چنان غلظت ذرات بر روی بخش وسیعی از منطقه جازموریان بالاست ولی نسبت به شکل قبل از میزان آن اندکی کاهش یافته است. شکل ۸- عمق نوری ذرات خروجی مدل WRF-Chem در ساعت UTC12 روز ۲۵ نوامبر نشان می‌دهد. میزان AOD بر روی جنوب تنگه هرمز و کشور امارات دیده می‌شود که بالاتر از ۱/۵ است. در این ساعت غلظت ذرات بر روی بخش وسیعی از منطقه جازموریان بین ۰/۴ تا ۰/۵ است. در منطقه کوچکی از منطقه جازموریان میزان عمق نوری ذرات بین ۰/۵ و ۰/۶ است.

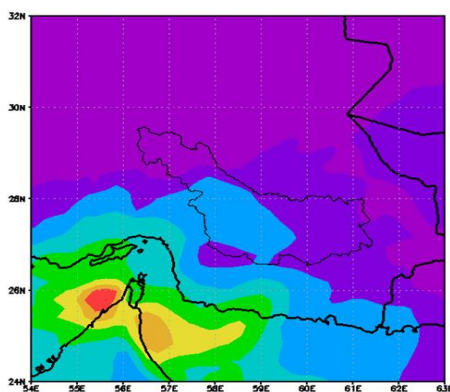
شکل ۴- عمق نوری ذرات خروجی مدل WRF-Chem در ساعت UTC12 روز ۲۴ نوامبر سال ۲۰۱۶ را نشان می‌دهد. مقادیر بالاتر از ۰/۵ نشان‌دهنده بالا بودن میزان ذرات معلق موجود در جو در منطقه مورد مطالعه است. در این ساعت بالاترین میزان عمق نوری ذرات در منطقه تنگه هرمز و جزیره قشم است، اما غلظت ذرات در بخش وسیعی از منطقه جازموریان نیز بین ۰/۴ تا ۰/۶ است که می‌تواند نشان‌دهنده وجود ذرات گردوغبار در جو باشد. شکل ۵- تصویر ۶ ساعت بعد را نشان می‌دهد. مقادیر AOD بر روی غرب دریای عمان و شرق خلیج فارس افزایش چشم‌گیری را نسبت به شکل قبل نشان می‌دهد. هم‌چنین میزان این کمیت برای منطقه جازموریان نیز افزایش یافته و در برخی مناطق به ۰/۸ نیز رسیده است. میزان عمق نوری ذرات بر روی بخش وسیعی از منطقه جازموریان بیشتر از ۰/۵ است. شکل ۶- عمق نوری ذرات خروجی مدل WRF-Chem در ساعت UTC00 روز ۲۵ نوامبر را نشان می‌دهد. مقادیر AOD بر روی غرب دریای عمان و شرق خلیج فارس افزایش چشم‌گیری را نسبت به شکل قبل نشان می‌دهد. هم‌چنین میزان این کمیت برای منطقه جازموریان نیز افزایش یافته و در برخی مناطق به ۰/۸ نیز رسیده است. میزان عمق نوری ذرات بر روی بخش وسیعی از منطقه جازموریان بیشتر از ۰/۵ است. شکل ۷- عمق نوری ذرات خروجی مدل



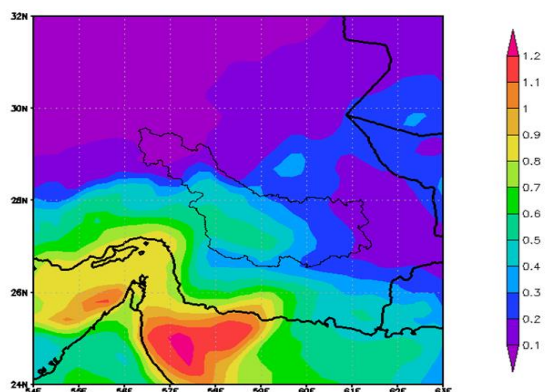
شکل ۵- عمق نوری ذرات خروجی مدل WRF-Chem در ساعت UTC18 روز ۲۴ نوامبر سال ۲۰۱۶



شکل ۶- عمق نوری ذرات خروجی مدل WRF-Chem در ساعت UTC12 روز ۲۴ نوامبر سال ۲۰۱۶



شکل ۷- عمق نوری ذرات خروجی مدل WRF-Chem در ساعت UTC06 روز ۲۵ نوامبر سال ۲۰۱۶

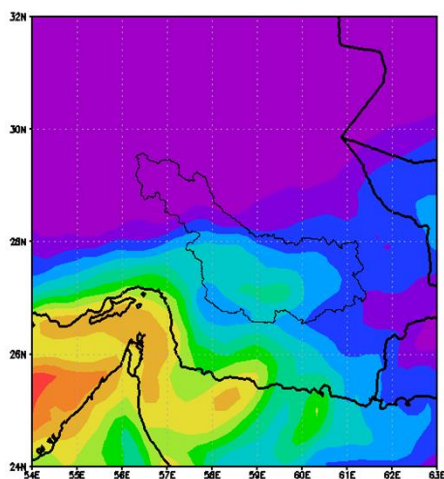


شکل ۸- عمق نوری ذرات خروجی مدل WRF-Chem در ساعت UTC00 روز ۲۵ نوامبر سال ۲۰۱۶

این کمیت در بخش بزرگی از منطقه جازموریان نسبت به شکل قبل کاهش یافته است. کاهش شدید مقادیر AOD حاکی از کاهش شدید غلظت ذرات معلق در جو در این منطقه است. شکل ۱۲- بالاترین میزان AOD در این ساعت بر روی شرق خلیج فارس دیده می‌شود که بالاتر از ۱/۴ است. در این ساعت غلظت ذرات بر روی منطقه جازموریان کمتر از ۰/۴ است. شکل ۱۳- مقادیر عمق نوری ذرات در ساعت UTC 18 روز ۲۶ نوامبر ۲۰۱۶ را نشان می‌دهد. مانند دو شکل قبل، بالاترین میزان AOD بر روی شرق خلیج فارس دیده می‌شود که بالاتر از ۱/۱ است. در این ساعت غلظت ذرات بر روی منطقه جازموریان پایین‌تر از ۰/۳ است که حاکی از پایان توفان خاک و کاهش شدید غلظت ذرات معلق در جو در این منطقه است.

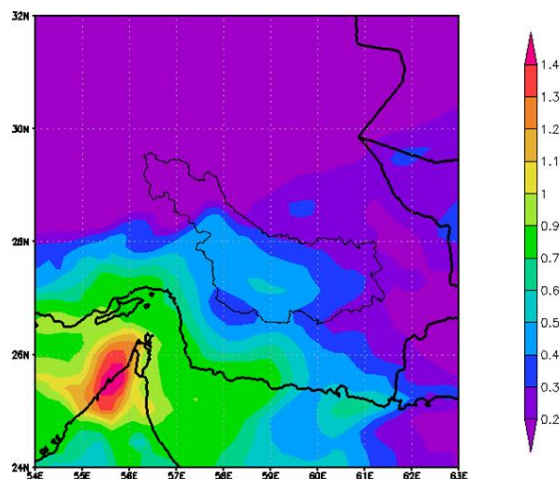
شکل ۹- بالاترین میزان AOD بر روی خلیج فارس، تنگه هرمز و غرب دریای عمان دیده می‌شود که بالاتر از ۰/۹ است. در این ساعت غلظت ذرات بر روی بخش وسیعی از منطقه جازموریان بالاتر از ۰/۴ است. در منطقه بزرگتری از منطقه جازموریان نسبت به شکل قبل، از میزان عمق نوری ذرات بیشتر از ۰/۵ است. شکل ۱۰- عمق نوری ذرات خروجی مدل WRF-Chem در ساعت UTC00 روز ۲۶ نوامبر، بالاترین میزان AOD بر روی غرب دریای عمان دیده می‌شود که بالاتر از ۱/۱ است. در این ساعت غلظت ذرات بر روی بخش وسیعی از منطقه جازموریان بالاتر از ۰/۴ است. میزان این کمیت در بخش بزرگی از منطقه جازموریان نسبت به شکل قبل کاهش یافته است. شکل ۱۱- بالاترین میزان AOD بر روی شرق خلیج فارس دیده می‌شود که بالاتر از ۱/۲ است. در این ساعت غلظت ذرات بر روی بخش کوچکی از منطقه جازموریان بالاتر از ۰/۳ است. میزان





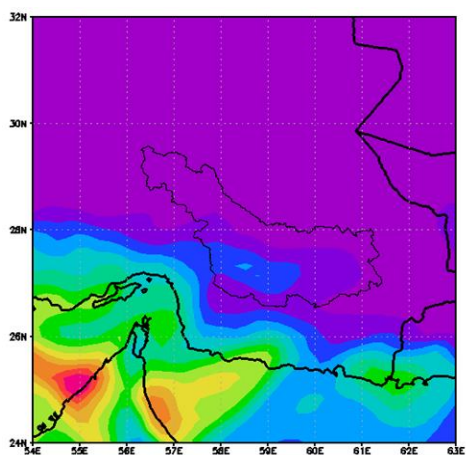
شکل ۹- عمق نوری ذرات خروجی مدل WRF-Chem در

ساعت UTC18 روز ۲۵ نوامبر سال ۲۰۱۶



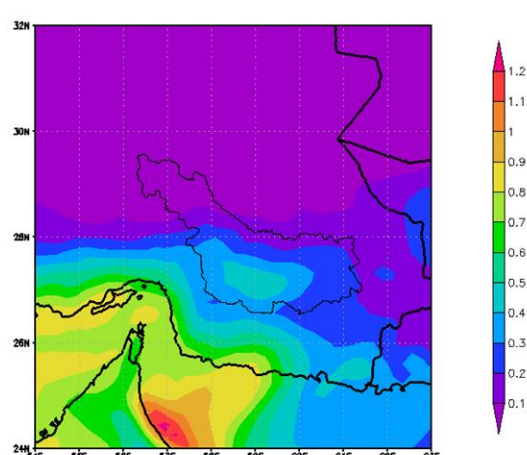
شکل ۸- عمق نوری ذرات خروجی مدل WRF-Chem در

ساعت UTC12 روز ۲۵ نوامبر سال ۲۰۱۶



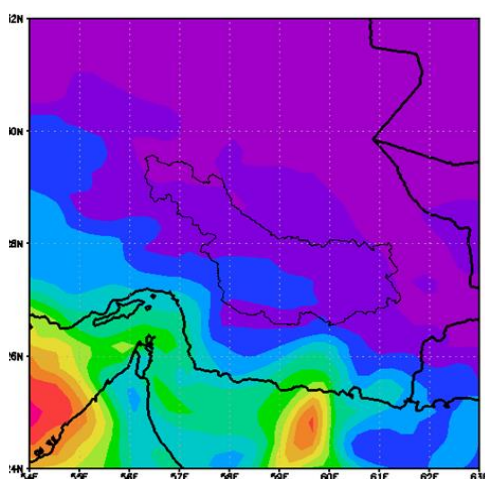
شکل ۱۱- عمق نوری ذرات خروجی مدل WRF-Chem در

ساعت UTC06 روز ۲۶ نوامبر سال ۲۰۱۶.



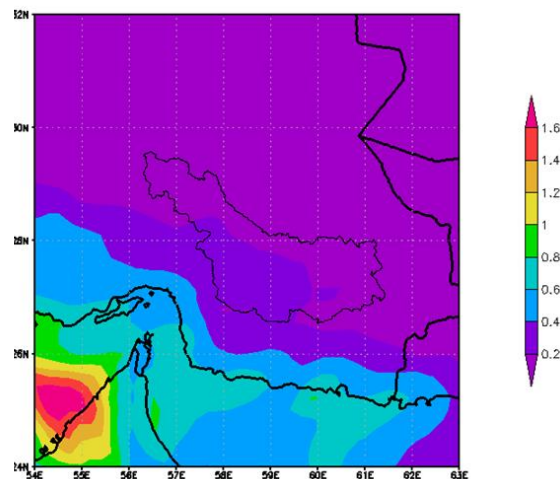
شکل ۱۰- عمق نوری ذرات خروجی مدل WRF-Chem در

ساعت UTC00 روز ۲۶ نوامبر سال ۲۰۱۶.



شکل ۱۳- عمق نوری ذرات خروجی مدل WRF-Chem در

ساعت UTC18 روز ۲۶ نوامبر سال ۲۰۱۶.

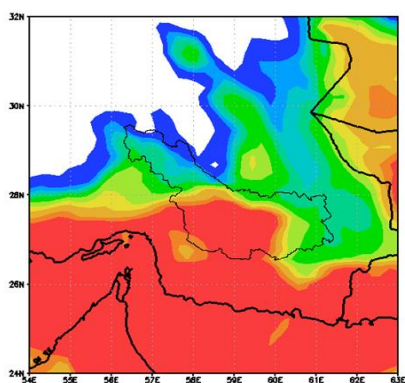


شکل ۱۲- عمق نوری ذرات خروجی مدل WRF-Chem در

ساعت UTC12 روز ۲۶ نوامبر سال ۲۰۱۶.

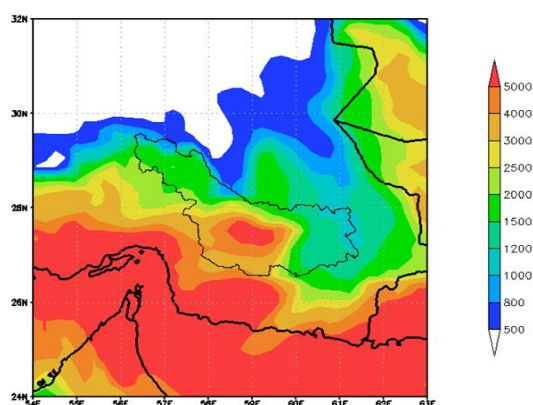
شکل ۲۰- مقادیر غلظت سطحی ذرات مترمکعب است. خروجی مدل WRF\_Chem در ساعت ۰۰UTC روز ۲۶ نوامبر ۲۰۱۶ را نشان می‌دهد. شبیه‌سازی غلظت سطحی در این ساعت، بسیار شبیه شکل قبل است و با آن تفاوت‌های جزئی دارد. شکل ۲۱- مقادیر غلظت سطحی ذرات خروجی مدل WRF\_Chem در ساعت ۰۶UTC روز ۲۶ نوامبر ۲۰۱۶ را نشان می‌دهد. از غلظت گردوغبار در منطقه جازموریان و شرق خلیج فارس نسبت به ۶ ساعت قبل بسیار کاسته شده است. شکل ۲۲- مقادیر غلظت سطحی ذرات خروجی مدل WRF\_Chem در ساعت ۱۲UTC روز ۲۶ نوامبر ۲۰۱۶ را نشان می‌دهد. از غلظت سطحی گردوغبار بر روی تنگه هرمز و در ناحیه وسیعی از منطقه جازموریان به شدت کاسته شده است و تنها در نواحی مرکزی جازموریان، غلظت گردوغبار بالاتر از ۳۰۰۰ میکروگرم بر مترمکعب شبیه‌سازی شده است. شکل ۲۳- مقادیر غلظت سطحی ذرات خروجی مدل WRF\_Chem در ساعت ۱۸UTC روز ۲۶ نوامبر ۲۰۱۶ را نشان می‌دهد. مانند ۶ ساعت قبل، غلظت سطحی گردوغبار بر روی تنگه هرمز و در ناحیه وسیعی از منطقه جازموریان به شدت کاهش یافته است.

شکل ۱۴- مقادیر غلظت سطحی ذرات خروجی مدل WRF\_Chem در ساعت ۱۲UTC روز ۲۴ نوامبر ۲۰۱۶ را نشان می‌دهد. غلظت گردوغبار بر روی دریای عمان و خلیج فارس بالاتر از ۵۰۰۰ میکروگرم بر مترمکعب است. همچنین غلظت گردوغبار در منطقه جازموریان بالا است و از ۱۵۰۰ میکروگرم بر مترمکعب بالاتر است. همچنین در ناحیه‌ای از آن غلظت گردوغبار از ۵۰۰۰ میکروگرم بر مترمکعب بیشتر است. شکل ۱۵- مقادیر غلظت سطحی ذرات خروجی مدل WRF\_Chem در ساعت ۱۸UTC روز ۲۴ نوامبر ۲۰۱۶ را نشان می‌دهد. غلظت گردوغبار مانند شکل قبل بر روی دریای عمان و خلیج فارس بالاتر از ۵۰۰۰ میکروگرم بر مترمکعب است و در ناحیه وسیعی از منطقه جازموریان از آن غلظت گردوغبار از ۵۰۰۰ میکروگرم بر مترمکعب بیشتر است. شکل ۱۶- مقادیر غلظت سطحی ذرات خروجی مدل WRF\_Chem در ساعت ۰۰UTC روز ۲۵ نوامبر ۲۰۱۶ را نشان می‌دهد. غلظت سطحی گردوغبار در ناحیه وسیعی تری نسبت به شکل قبل از منطقه جازموریان از ۵۰۰۰ میکروگرم بر مترمکعب بیشتر شبیه‌سازی شده است. شکل ۱۷- مقادیر غلظت سطحی ذرات خروجی مدل WRF\_Chem در ساعت ۰۶UTC روز ۲۵ نوامبر ۲۰۱۶ را نشان می‌دهد. غلظت گردوغبار مانند شکل‌های قبل بر روی دریای عمان و خلیج فارس و در ناحیه وسیعی از منطقه جازموریان بالاتر از ۵۰۰۰ میکروگرم بر مترمکعب است غلظت گردوغبار از ۵۰۰۰ میکروگرم بر مترمکعب بیشتر است. غیر از نواحی شمال‌غربی جازموریان، غلظت گردوغبار در بقیه نواحی آن بالاتر از ۵۰۰ میکروگرم بر مترمکعب شبیه‌سازی شده است. شکل ۱۸- مقادیر غلظت سطحی ذرات خروجی مدل WRF\_Chem در ساعت ۱۲UTC روز ۲۵ نوامبر ۲۰۱۶ را نشان می‌دهد. غلظت گردوغبار مانند شکل‌های قبل بر روی دریای عمان و خلیج فارس و در ناحیه کوچکی از منطقه جازموریان بالاتر از ۵۰۰۰ میکروگرم بر مترمکعب است. غلظت گردوغبار نسبت به شکل قبل بسیار در منطقه جازموریان کاهش یافته است. شکل ۱۹- مقادیر غلظت سطحی ذرات خروجی مدل WRF\_Chem در ساعت ۱۸UTC روز ۲۵ نوامبر ۲۰۱۶ را نشان می‌دهد. غلظت گردوغبار بر روی دریای عمان و خلیج فارس و در بخش وسیعی از منطقه جازموریان بالاتر از ۵۰۰۰ میکروگرم بر



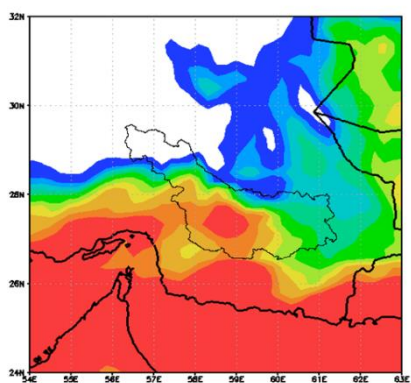
شکل ۱۵- مقادیر غلظت سطحی گردوغبار خروجی مدل

روز ۲۴ نوامبر سال ۲۰۱۶ UTC18 در ساعت WRF\_Chem



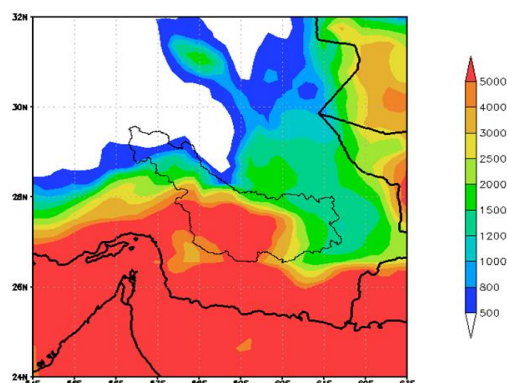
شکل ۱۶- مقادیر غلظت سطحی گردوغبار خروجی مدل

روز ۲۴ نوامبر سال ۲۰۱۶ UTC12 در ساعت WRF\_Chem



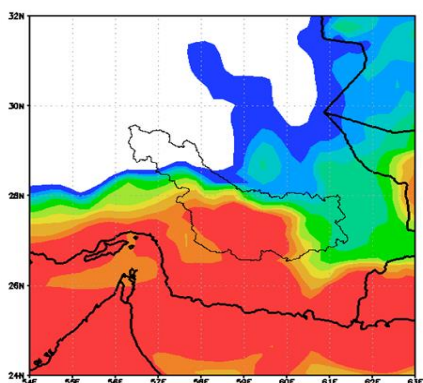
شکل ۱۷- مقادیر غلظت سطحی گردوغبار خروجی مدل

روز ۲۵ نوامبر سال ۲۰۱۶ UTC06 در ساعت WRF\_Chem



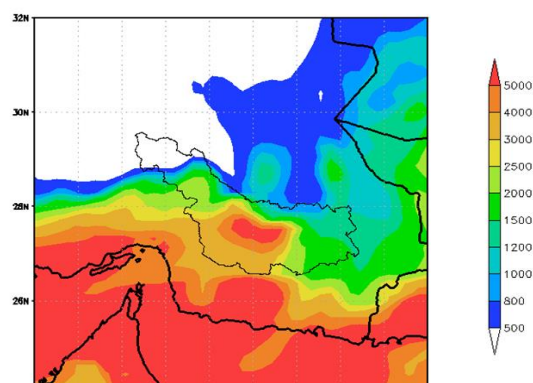
شکل ۱۸- مقادیر غلظت سطحی گردوغبار خروجی مدل

روز ۲۵ نوامبر سال ۲۰۱۶ UTC00 در ساعت WRF\_Chem



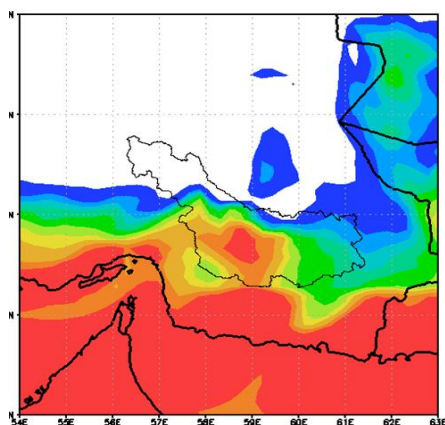
شکل ۱۹- مقادیر غلظت سطحی گردوغبار خروجی مدل

روز ۲۵ نوامبر سال ۲۰۱۶ UTC18 در ساعت WRF\_Chem



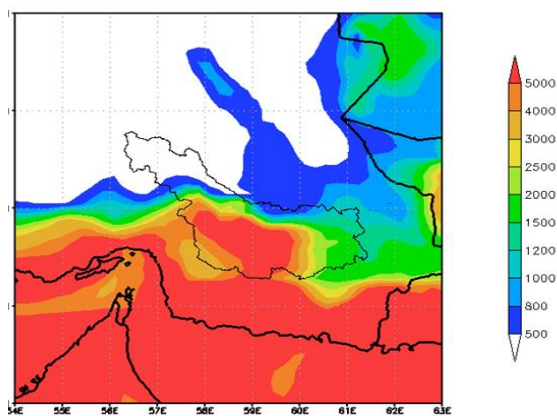
شکل ۱۸- مقادیر غلظت سطحی گردوغبار خروجی مدل

روز ۲۵ نوامبر سال ۲۰۱۶ UTC12 در ساعت WRF\_Chem



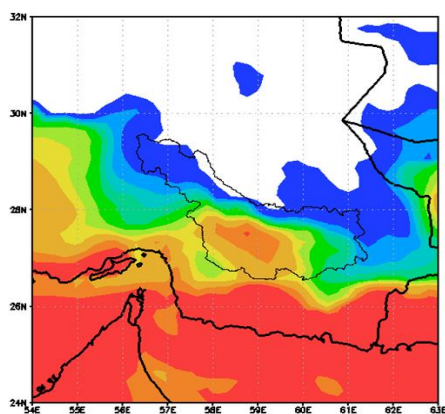
شکل ۲۱- مقادیر غلظت سطحی گردوغبار خروجی مدل

روز ۲۶ نوامبر سال ۲۰۱۶ UTC06 در ساعت WRF\_Chem



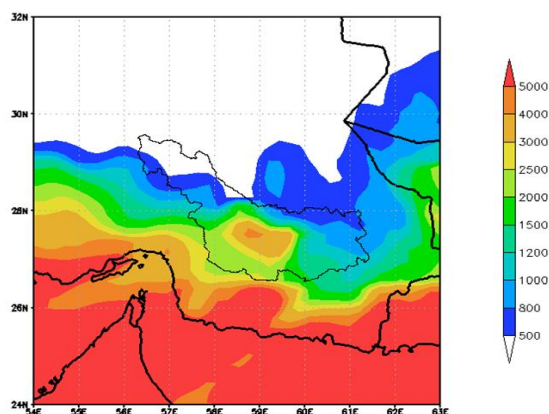
شکل ۲۰- مقادیر غلظت سطحی گردوغبار خروجی مدل

روز ۲۶ نوامبر سال ۲۰۱۶ UTC00 در ساعت WRF\_Chem



شکل ۲۳- مقادیر غلظت سطحی گردوغبار خروجی مدل

روز ۲۶ نوامبر سال ۲۰۱۶ UTC18 در ساعت WRF\_Chem



شکل ۲۲- مقادیر غلظت سطحی گردوغبار خروجی مدل

روز ۲۶ نوامبر سال ۲۰۱۶ UTC12 در ساعت WRF\_Chem

بیابان‌ها تولید می‌شوند، تأیید می‌کند که با نتایج Nikfal و همکاران (۲۰۱۷)، Karegar و همکاران (۲۰۱۷) و Irajی و همکاران (۲۰۲۱) مطابقت داشته است. پیشنهاد می‌شود انواع مدل‌های پیش‌بینی رخدادهای گرد و غبار و سامانه‌های هشدار سریع، برای مناطق طوفان‌خیز استفاده گردد. نتایج مطالعه کارآمدی روش آنالیز مسیر بازگشت بسته هوا توسط مدل HYSPLIT مناسب ارزیابی گردید که با توجه به نیاز کمتر به زمان پردازش می‌تواند بمنظور مکانیابی و ارزیابی چشمه‌های غبار به‌مراه روش‌های متداول سنجش از دوری مفید و کاربردی باشد. نتایج تحقیق نشان داد که پدیده گردوغبار مورد مطالعه (روزهای ۲۴ تا ۲۶ نوامبر سال ۲۰۱۶) ذرات گردوغبار برخاسته از حوضه جازموریان، تحت تأثیر جریانات شمال غربی قرار گرفته و به سمت

## نتیجه گیری

در تحقیق حاضر با استفاده از خروجی‌های مدل WRF\_Chem به شناسایی پدیده گرد و غبار و خصوصیات آن در منطقه جنوب شرق ایران پرداخته شده است. با توجه به نتایج، مدل WRF\_Chem از نظر مقیاس و تغییرات زمانی برآوردی منطقی از هواویزها در محدوده مطالعاتی بدست می‌دهد. با تولید نقشه‌های توزیع غلظت ذرات گرد و غبار، مناطقی از حوضه شبیه‌سازی که دارای حداکثر غلظت ذرات هستند بعنوان چشمه‌های اصلی گسیل ذرات شناسایی شدند. به طور کلی عملکرد مدل عددی-WRF\_Chem در این پژوهش، قابلیت کاربردی این مدل را در مدلسازی و پیش‌بینی کیفیت هوا، به ویژه برای هواویزهایی که از چشمه‌های گسیل طبیعی مانند مناطق فرسایش‌پذیر

- and dust storm activity over the Sistan Basin. *Journal of Atmospheric Research*, 513: 913-922.
4. Ashrafi, K., Shafiepour-Motlagh, M., Aslemand, A. and Ghader, S., 2014. "Dust storm simulation over Iran using HYSPLIT". *Journal of Environmental Health Science and Engineering*.
  5. Azizi, G., Shamsipour, A., Miri, M. and Safarrad, T., 2012. Synoptic and remote sensing analysis of dust events in southwestern Iran. *Natural Hazards*, 61: 2214-2293.
  6. Chen, Y. S., Sheen, P. C., Chen, E. R., Liu, Y. K., Wu, T. N., and Yang, C. Y., 2004, Effects of Asian dust storm events on daily mortality in Taipei, Taiwan, *Environ. Res.*, 95, 151-155.
  7. Hossein Hamzeh. N., Fattahi, A., Zoljavadi, M., Ghaffarian, P., Ranjbar, A. 2016. Synoptic and dynamic analysis of dust phenomenon and its simulation in southwestern Iran in summer 2005. *Journal of Spatial Analysis of Environmental Hazards*. Third Year, 1: 102-91.
  8. Iraj, F., Memarian, M.H., Joghataei, M. and Ghafarian Malamiri, H.R., 2021. Determining the source of dust storms with use of coupling WRF and HYSPLIT models: A case study of Yazd province in central desert of Iran. *Journal of Dynamics of Atmospheres and Oceans*, 93: 101197. <https://doi.org/10.1016/j.dynatmoce.2020.101197>.
  9. Karegar, M E., Bodagh Jamali, J., Ranjbar Saadat Abad, A., Moenoddini, M., Goshtasb H. 2017. Simulation and Numerical Analysis of severe dust storms Iran East. *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*, 3 (4):101-119.
  10. Kargar, A., Badaq Jamali, J., Ranjbar, A., Moinaldini M. 2015. Numerical simulation of sandstorm and severe dust in eastern Iran using WRF-Chem model (Case study: 14 and 15 June 2012). *Journal of Environmental Science and Engineering*, Second Year, 3: 44-35
  11. Lau, K. M., Kim, M. K., Sud, Y. C. and Walker, G. K. 2009. A GCM study of the response of the atmospheric water cycle of West Africa and the Atlantic to Saharan dust radiative forcing. *Annals of Geophysics*, 27:4023-4037.
  12. Malakooti, H., Babahosseini, S , Nohegar, A., Azadi, M. and Mohammadpour, M.R., 2013. Numerical and Synoptical Study of Emission, Transport and Identify Potential
- استان سیستان و بلوچستان و مرز ایران و پاکستان منتقل شده‌اند. این مطلب موید تأثیرپذیری حوزه جازموریان و حوزه هیرمند که یکی از بزرگ‌ترین و مهم‌ترین کانون‌های گرد و غبار شرق کشور محسوب می‌شود، از یکدیگر هستند (Mesbahzadeh et al., 2020). وجود مواد فرسایش پذیر و شرایط اقلیمی مناسب میزان غلظت گرد و غبار گاه‌ها" به ۵۰۰۰ میکرو گرم بر متر مکعب نیز می‌رسد. همچنین تالاب جازمورن که در جنوب و جنوب شرقی حوزه قرار دارد به عنوان کانون اصلی گرد و غبار در مواقع خشکسالی شناخته می‌شود. این تالاب با توجه به وسعت آن که در استان‌های کرمان و سیستان و بلوچستان قرار دارد می‌تواند جو این مناطق را به شدت تحت تأثیر قرار دهد (Ahmadi et al., 2019). یکی از مهم‌ترین راهکارهای مدیریت گرد و غبار در جنوب شرقی ایران که قسمت اعظم آن برگرفته از تالاب جازموریان است، به رسمیت شناختن حق آبه تالاب جازموریان می‌باشد. که این حق آبه بایستی از رودخانه هلیل رود که بزرگ‌ترین رود این حوزه است تأمین شود. اما در سالهای اخیر به دلیل ساختن سدهای بزرگ از قبیل سد صفارود بر روی سرشاخه‌های رودخانه هلیل میزان آب ورودی به طور چشمگیری کاهش پیدا کرده و هیچ حق آب‌های به این تالاب رها سازی نشده است و تالاب جازموریان اگر با رودخانه‌های فصلی و یارش‌های فصلی اطراف آبیگری نشود در زمان وقوع بادهای فرساینده به بزرگ‌ترین کانون گرد و غبار جنوب شرق تبدیل خواهد شد (Soleimani Sardoo et al., 2020).
- منابع
1. Ahmadi, H., Esmailpour, Y., Moradi, A. and Gholami, H., 2019. Assessment of land Sensitivity to Desertification Hazard Using System Dynamics Approach in the Jazmourian basin. *Journal of Water and Soil Conservation*, 26(2): 211-224.
  2. Alizadeh Choobari, O., Zawar-Reza, P. and Sturman, A. 1122. The wind of 211 days and dust storm activity over the Sistan Basin. *Journal of Atmospheric Research*, 513: 913-922.
  3. Alizadeh Choobari, O., Zawar-Reza, P. and Sturman, A., 2014. The wind of 120 days

- South and Southeast of Iran by using HYSPLIT Model and the Principles of Remote Sensing. *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*, 5(3): 103-119.
22. Shao, Y., Wyrwoll, K.H., Chappell, A., Huang, J., Lin, Z., McTAAInsh, G.H. and Yoon, S., 2011. An emerging core theme in Earth system science. *Aeolian Research*, 2(4):181-204.
  23. Shaw, P. 2008. Application of aerosol speciation data as an insitu dust proxy for validation of the Dust Regional Atmospheric Model (DREAM). *Journal of Atmospheric Environment*, 12: 7912-7913.
  24. Soleimani Sardoo, F., Mesbahzadeh, T. and Nateghi, S., 2020. Frequency analysis of spatial variations of dust storms in the central plateau of Iran. *Quarterly journal of Environmental Erosion Research*, 10:3(39): 56-73.
  25. Song, Z., Wang, J. and Wang, S. 2007. Quantitative classification of northeast Asian dust events. *Journal of Geophysical Research*, 112(4): DOI: 10.1029/2006JD007048.
- Sources of a Severe Dust Storm Over Middle East. *Quarterly Journal of Environmental Erosion Researches*, 12:69-80.
13. Mesbahzadeh, T., Salajeghe, A., Soleimani Sardoo, F., Zehtabian, G.H. and Ranjbar, A., 2021. Simulation and numerical analysis of dust emission flux using WRF-Chem model and GOCART wind erosion schema (dust storm: 20 to 22 July 2015). *Journal of Range and Watershed Management*, 73(4): 876-882.
  14. Mesbahzadeh, T., Salajeghe, A., Soleimani Sardoo, F., Zehtabian, G.H., Ranjbar, A., Krakauer, N.Y., Miglietta, M.M., and Mirakbari, M., 2020. Climatology of dust days in the Central Plateau of Iran. *Journal of Natural Hazards*, 104:1801–1817. DOI 10.1007/s11069-020-04248-6.
  15. Mohammad asgari, H., khalighi sigarodi, S.H., Irannejad, P., Ahmadi, H. and Malekian, A., 2016. Evaluation of GOCART Scheme for Simulating PM10. *Journal of Range and Watershed Management*, 69(2): 261-528.
  16. Nikfal, A., Karami, S., Ranjbar Saadatabadi, A. and Sehatkashani, S., 2017. Capabilities of the WRF-Chem model in estimating the concentration of dust – A case study of a dust storm in Tehran. *Journal of Environmental Sciences*, 15(1): 115-126.
  17. Novlan, D. J., Hardiman, M. and Gill, T. E., 2007. A synoptic climatology of blowing dust events in El Paso, Texas from 1932–2005. Preprints of the 16th Conference on Applied Climatology, American Meteorological Society, January 2007, San Antonio, TX, 13 pp.
  18. O'Hara, S. L., Clarke, M. L. and Elatrash, M. S., 2009. Field measurements of desert dust deposition in Libya. *Atmospheric Environment*, 40(21):3881–3897.
  19. Rashki, A., Kaskaoutis, D., Rautenbach, C.J.D., Eriksson, P., 2012. Changes of Permanent Lake Surface, and Their Consequences for Dust Aerosol and Air Quality: The Hamoun Lakes of the Sistan Area, Iran. *Journal of Atmospheric Aerosol-Regional Characteristics-Chemistry and Physics*, 6, 229-111.
  20. Rezazadeh, M., Irannejad, P., Shao, Y. 2016. Performance of wind erosion models in Middle East dust simulations. *Environmental Erosion Research*, 3 (23): 32-14.
  21. Rostami, D. and Hosseini, S.A., 2018. Analysis and Tracking Dust Phenomenon in