

پیش‌بینی مسیر حرکت ذرات گردو خاک با استفاده از مدل‌های HYSPLIT و WRF-Chem در حوزه جازموریان (مطالعه موردی گرد و غبار ۷ و ۸ اکتبر ۲۰۱۸)

فرشاد سلیمانی ساردو^{۱*}، علی اکبر متکان^۲، سارا کرمی^۳

۱- استادیار گروه مهندسی طبیعت دانشکده منابع طبیعی دانشگاه جیرفت

۲- استاد مرکز مطالعات سنجش از دور و GIS دانشگاه شهید بهشتی

۳- استادیار پژوهشی پژوهشکده هواشناسی و علوم جو سازمان هواشناسی کشور

چکیده

حوزه جازموریان به لحاظ نقش اکولوژیک و همچنین اثرگذاری آن بر استان‌های کرمان، سیستان و بلوچستان و هرمزگان اهمیت زیادی در مسائل زیست‌محیطی دارد. ذرات گردو خاک که در مواقع خشک‌سالی از سطح این منطقه بلند می‌شود می‌تواند به لحاظ ویژگی‌های آئروپینامیکی ذرات و شرایط جوی هزاران کیلومتر مسیر طی کنند و جوامع طبیعی و غیرطبیعی و همچنین انسانی را تحت تأثیر قرار دهد. در این مطالعه با استفاده از مدل‌های HYSPLIT و WRF-Chem مسیر ذرات در یک رخداد گردو خاک مربوط به ۷ و ۸ اکتبر سال ۲۰۱۸ شبیه‌سازی و بررسی شد. نتایج حاصل از مدل لاگرنژی HYSPLIT نشان داد که ذرات برخاسته تحت تأثیر جریانات شرقی و شمال‌شمالی قرار گرفته و به سمت جنوب و جنوب غربی و روی منطقه خلیج فارس رفته‌اند. همچنین نتایج شاخص AOD شبیه‌سازی شده توسط مدل WRF-Chem نشان می‌دهد که مقدار شاخص در ۷ اکتبر ۲۰۱۸ از ۵/۰ تا ۱/۲ از قسمت‌های جنوبی حوزه جازموریان تا دریایی عمان افزایش یافته و در روز ۸ اکتبر ۲۰۱۸ این مقدار تا ۰/۴ کاهش یافته است. همچنین غلظت سطحی گردو خاک در جنوب استان‌های سیستان و بلوچستان، هرمزگان و شمال دریای عمان بالاتر از ۵۰۰۰ میکروگرم بر مترمکعب است. غلظت سطحی گردو خاک در نیمه جنوبی منطقه جازموریان نیز بالاتر از ۵۰۰۰ میکروگرم بر مترمکعب است. نتایج نشان می‌دهد که مدیریت حوزه جازموریان در مواقع خشک‌سالی یا در شرایطی که رطوبت سطحی خاک کاهش یافته بسیار حائز اهمیت است و می‌تواند به‌عنوان کانون برداشت گردو غبار جنوب شرق کشور شناسایی شود.

کلید واژه‌ها: ذرات گردو غبار، مسیریابی عددی، حوزه جازموریان.

مقدمه

منابع تأمین گردوغبار بوده که در طی ناپایداری‌های جوی به همراه نبود رطوبت و وزش بادهای شدید، طوفان‌های ماسه و گردوغبار شدیدی را به وجود می‌آورند. گردوغبارها تأثیر قابل‌توجهی بر روی بودجه تابشی، چرخه‌های بیوژنو شیمیایی جهانی، ساختمان خاک، ترکیبات شیمیایی اتمسفر، کیفیت هوا و سلامت و بهداشت عمومی می‌گذارند (Chadwick et al 1999, Reynolds et al 1999, et al, Jickells 2005, Li et al 2007, Chappell et al 2012). ذرات ماسه و گردوغبار از هواپیزهای مهم جوی، عمدتاً حاصل عملکرد بادهای قوی در سطح خاک مناطق بیابانی و صحراها (Ardabili 2010) و فرسایش بادی خاک هستند (Babaeian et al 2010). ذرات ماسه و گردوغبار در اثر فرآیندهای هوازدگی سنگ‌ها (Kok et al 2012)، خرد کردن، شکستن، شن‌پاشی، حمل‌ونقل و یا به‌صورت محصول جانبی برخی از فرآیندها مانند برش چوب (فعالیت مکانیکی) پدید آمده و تحت اثر نیروی ثقل خود ته‌نشین می‌شوند (Abaspour 2011). پایین‌ترین و بالاترین محدوده اندازه ذرات معلق گردوغبار از چند نانومتر تا ۱۰۰ میکرون است (Rashki et al 2012). ذرات درشت معمولاً به‌صورت غلتیدن جابه‌جا می‌شوند، ذرات متوسط به‌صورت جهشی، ذرات ریزدانه مانند ذرات رس به علت سبک بودن تا ارتفاع زیادی از سطح زمین بلند می‌شوند و مدت زیادی در هوا معلق باقی‌مانده و پس از طی مسافتی طولانی فرومی‌نشینند. در حرکت تعلیقی ذرات بسیار ریز خاک پس از برخاستن از زمین به سبب سبکی فوق‌العاده و سطح ویژه زیاد، به‌صورت معلق مدت‌ها در هوا باقی می‌مانند و در صورت جریانات مساعد جوی، گاهی صدها یا هزاران کیلومتر مسافت را طی می‌کنند و تا ارتفاعی بیش از چند هزار متر از سطح زمین گسترش می‌یابند. آنچه امروز به نام پدیده گردوغبار در کشور ما مصطلح شده، ناشی از جابه‌جایی و حرکت ذرات ریز و بسیار ریز تشکیل‌دهنده خاک‌ها به صورت معلق تحت تأثیر طوفان‌ها و جریانات هوایی است (Azizi et al 2012). مدت ماندگاری ذرات گردوغبار در جو به‌اندازه ذرات و موقعیتشان در جو بستگی دارد، بطوریکه ذرات معلق در قسمت بالای تروپوسفر نسبت به قسمت پایین تروپوسفر مدت‌زمان بیشتری باقی می‌مانند. ذرات معلق تروپوسفر دارای طول عمر کوتاه ۱ تا ۲ هفته‌ای در جو هستند.

طوفان‌های گردوغبار همیشه به‌عنوان یکی از مخاطرات طبیعی شناخته می‌شوند که بخش‌های مختلفی شامل سلامت، کشاورزی و حمل‌ونقل را تحت تأثیر قرار می‌دهند و عواقب بسیار گسترده‌ای به‌ویژه کاهش حاصلخیزی خاک، آسیب زدن به محصولات کشاورزی، خشک شدن پوشش‌های گیاهی طبیعی، اختلال در سامانه‌های ارتباطی، اختلال در سامانه‌های مکانیکی (Jish Prakash et al 2014) و افزایش خطر بیماری‌های تنفسی (Ebrahimi, Lyles et al., 2012, et al., 2014) را به همراه دارد. به‌طور کلی به نظر می‌رسد عوامل طبیعی و انسان‌ساز طی سال‌های اخیر سبب افزایش فراوانی و شدت طوفان‌های گردوغبار در کشور شده‌اند. از دیدگاه عمومی منشأ اصلی طوفان‌های گردوغبار یا به عبارتی خاستگاه اصلی طوفان‌های گردوغبار در مناطق خشک جهان از قبیل شرق آسیا، خاورمیانه، آمریکای لاتین، استرالیا، بخش‌هایی از اروپا، شرق و جنوب آفریقا، آمریکای شمالی و صحرا واقع شده است. علاوه بر کانون‌های داخلی کشور از کانون‌های اصلی مؤثر، می‌توان به کانون‌های واقع در کشورهای عراق، سوریه، شبه‌جزیره عربستان و افغانستان اشاره کرد (shao et al 2011). در سال‌های اخیر وقایع گردوغبار در منطقه غرب آسیا با فراوانی و شدت بیشتری اتفاق افتاده است (Azizi et al 2012). به‌طور تقریبی بین ۳۰ تا ۵۰ درصد کل ذرات ورودی به اتمسفر گردو خاک است (Alfaro 2008). مناطق خشک (بیابان‌ها)، مناطق نیمه‌خشک، مناطق ساحلی دریاچه‌ها و تالاب‌های خشک‌شده، بستر آبراهه‌ها و مناطقی با ویژگی‌های بارش سالانه بسیار پایین، رطوبت بسیار کم خاک، رسوبات آبرفتی فراوان و پوشش گیاهی ضعیف، بعلاوه منابع انسانی به‌صورت دخالت انسان در تنوع سطح زمین، تغییرات کاربری زمین از طریق کشاورزی، جنگل‌زدایی، چرای بیش‌ازحد و مناطق خالی از سکنه (Kok et al. 2012: Alizadeh Choobari, Zawar-) (2014) مدیریت ضعیف اراضی خشک تغییر اقلیم و خشک‌سالی ناشی از فعالیت‌های انسانی و به دنبال آن خشک شدن زمین و بیابان‌زایی، مدیریت ضعیف منابع آبی مانند انحراف آب سطحی، ایجاد سدهای متعدد و استفاده بیش‌ازحد از منابع آب، مهم‌ترین

Jebal et al (2019) در پژوهشی، در استان یزد با عنوان ارزیابی عملکرد الگوریتم‌های آشکارساز طوفانهای گرد و غبار در مناطق خشک نسبت به مقایسه عملکرد شش الگوریتم اکرم، میلر، روسکونسکی و لیو، TDI، TIIDI و NDDI بر روی تصاویر مودیس اقدام کردند. بر اساس نتایج، هیچ یک از الگوریتم‌های مورد استفاده قادر به آشکارسازی تمامی رخدادهای گرد و غبار نبوده است. Ganbat & Jugder (2019) رخداد طوفان در بهار ۲۰۱۶ را با استفاده از اندازه‌گیری لیدار، تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های مشاهده‌ای در سایت‌های مستقر در کشورهای مغولستان، چین، کره و ژاپن مورد بررسی قرار دادند. نتایج این تحقیق با استفاده از مدل HYSPLIT نشان می‌دهد، در تاریخ سوم تا چهارم مارس ۲۰۱۶ طوفانی که از مغولستان شکل گرفته بود، با گذشت چهار روز و پس از عبور از کشورهای چین و کره به ژاپن رسیده است.

مواد و روش‌ها

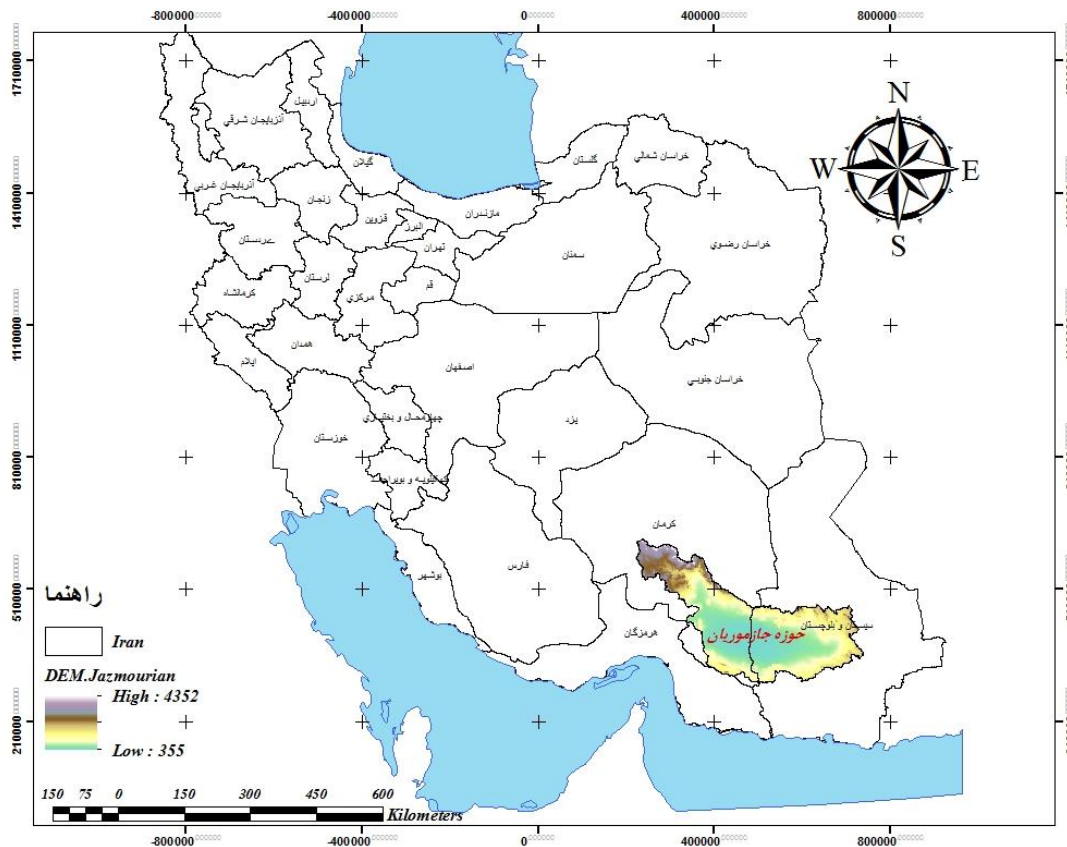
منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، مهم‌ترین حوزه جنوب شرق ایران است که با مختصات عرض جغرافیایی 33° تا 36° تا 29° شمالی و طول جغرافیایی 16° تا 26° شرقی و با مساحت 69374 کیلومتر مربع در استان‌های کرمان و سیستان و بلوچستان واقع گردیده است (شکل ۱). وجود تالاب جازموریان و اثرات زیست‌محیطی آن بر استان‌های هم‌جوار اهمیت این منطقه را بیش‌ازپیش تأکید می‌کند. فیزیوگرافی توپوگرافی این محدوده شامل بخش‌های کوهستانی و دشتی هست. بخش شمالی و جنوبی آن عمدتاً کوهستان‌ها و تپه‌ها و بخش‌های دشتی آن در مرکز واقع گردیده است. بارندگی متوسط سالیانه این حوضه حدود 172 میلی‌متر است (Ahmadi et al 2019). حوزه جازموریان از جمله مناطقی است که شدت و فراوانی رخداد‌های گردوغبار در آن در سال‌های اخیر به‌شدت افزایش یافته و سبب بروز خسارات فراوانی شده است. گردوغبار برخاسته از این منطقه بخش وسیعی از مناطق جنوب و جنوب شرقی کشور را تحت تأثیر قرار می‌دهد. وجود مناطق بدون پوشش گیاهی در این منطقه و خشکسالی‌های اخیر سبب ایجاد کانون‌های داخلی گرد

همچنین ذرات با اندازه بزرگ با توجه به نیروی گرانش در نزدیکی منبع انتشارشان سقوط کرده (رسوب خشک) و ذرات کوچک به‌صورت معلق در هوا، مدت‌زمان بیشتری در جو مانده و عمدتاً با رسوب مرطوب ته‌نشین می‌شوند (Kok et al 2012).

به‌منظور مدیریت طوفان‌های گردوغبار پیش‌بینی و مسیریابی این پدیده از اهمیت بالایی قرار دارد مطالعات مختلفی در این‌باره انجام شده است به همین منظور Wang et al 2011 با استفاده از مدل HYSPLIT طوفان‌های شن و گردوغبار سال ۲۰۰۸ را بررسی و چهار منطقه آفریقای شمالی، خاورمیانه، مغولستان را با فراوانی بالای رخداد گردوغبار مشخص کردند. Etemadi et al 2019 در مطالعه به مسیریابی ذرات گردوغبار در استان بوشهر با استفاده از HYSPLIT پرداختند که نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که در طی دوره آماری مورد بررسی در مجموع واقعه گردوغبار با منشأ غیر محلی رخ داده است. در زمان رخداد پدیده گردوغبار به‌صورت فراگیر در سطح استان، به‌طوری‌که تمامی ایستگاه‌های سینوپتیک آن را ثبت نمایند، منشأ و یا به عبارتی بهتر کانون منطقه‌ای این ذرات در ارتفاعات 500 ، 1000 و 1500 متری معمولاً بیابان‌های واقع در کشور عراق و سوریه هست. این ذرات در اثر اندرکنش بین سامانه‌های جوی اعم از دینامیک و حرارتی واقع بر روی منطقه مورد مطالعه و بیابان‌های مولد گردوغبار در کشورهای عراق و سوریه، توانسته است با جهت شمال غربی جنوب شرقی بعد از عبور از روی کانون‌های ثانویه (تشدیدکننده) گردوغبار کل استان بوشهر را متأثر سازد Khalidi et al 2018. با استفاده از نرم‌افزار HYSPLIT به مسیریابی طوفان گردوغبار در شهر اهواز پرداختند که نتایج مدل‌سازی نشان داد مهم‌ترین منشأها، بخش‌های وسیعی از منابع حوضه بین‌النهرین در مرکز و شمال غرب عراق و شرق سوریه هستند که در سه توده‌هوای این شهر را تحت تأثیر قرار می‌دهند. صحراهای ربع الخالی و دهن در عربستان و منشأ جنوب خوزستان دیگر منابع تولید گردوغبار در شهر اهواز هستند. هدف از این مطالعه تحلیل عددی طوفان گردوغبار ۷ و ۸ اکتبر ۲۰۱۸ با استفاده از مدل WRF-Chem و مسیریابی آن با استفاده از نرم‌افزار HYSPLIT در حوزه جازموریان هست.

و غبار و تشدید فعالیت آن‌ها شده است. شناسایی دقیق کانون‌های داخلی این منطقه و پیش‌بینی مسیر حرکت و همچنین شرایط جوی مؤثر بر رخداد گردوغبار لازمه انجام اقدامات کنترلی آتی به‌منظور کاهش خسارات ناشی از آن است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

استفاده شده است. با استفاده از خروجی این مدل می‌توان نحوه انتقال ذرات گردوغبار از این منطقه را مورد بررسی قرارداد. سرانجام هر یک از پدیده‌های گردوغبار مورد بررسی با استفاده از مدل WRF-Chem³ شبیه‌سازی می‌شوند تا نحوه گسیل و انتقال گردوغبار در منطقه مشخص شود (شکل ۲).

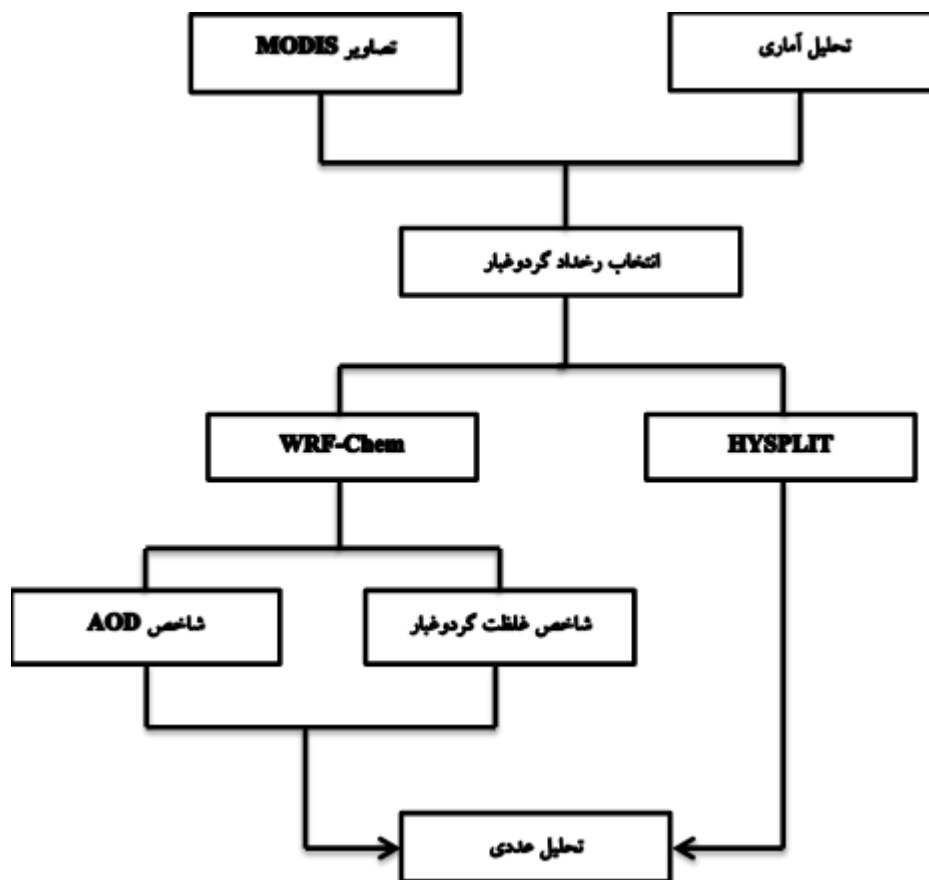
روش کار

پس از بررسی آماری پدیده گردوغبار و عوامل مؤثر بر آن در حوزه جازموریان، رخداد شدید و فراگیر گردوغبار در حوزه جازموریان مورد بررسی قرار می‌گیرد. در ابتدا به‌منظور بررسی توده گردوغبار در منطقه، تصویر رنگ حقیقی سنجد مادیس ماهواره‌های ترا و آکوا و مقادیر عمق نوری هواویزها مورد بررسی قرار می‌گیرد. سپس برای بررسی جریانات جوی غالب در منطقه مدل HYSPLIT¹ به‌صورت ماتریسی و به روش پیشرو اجرا می‌شود. در اجرای مدل HYSPLIT از داده‌های هواشناسی GDAS² با تفکیک افقی ۰/۵ درجه

³ Weather Research and Forecasting model coupled to Chemistry

¹ The Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory model

² Global Data Assimilation System



شکل ۲ شماتیک روند کلی تحقیق

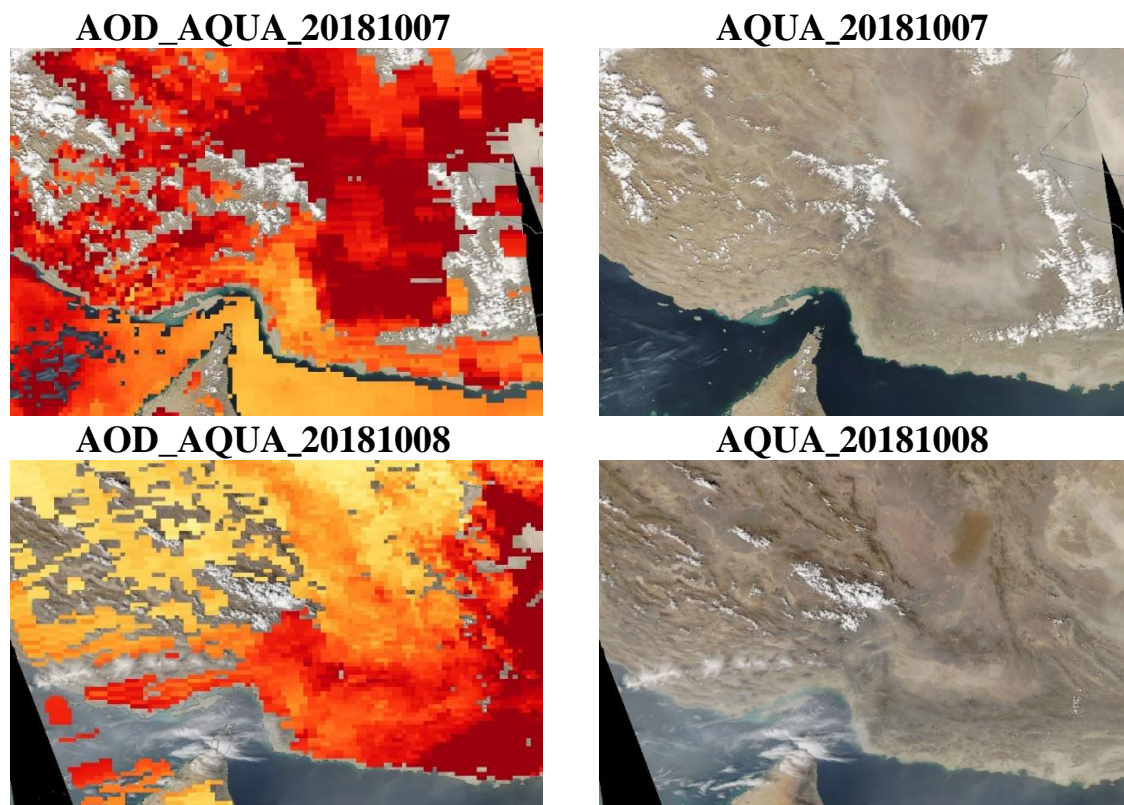
نتایج و بحث

انتخاب رخداد گردوغبار با استفاده از سنجنده
MODIS¹

تصویر رنگ حقیقی و میزان عمق نوری سنجنده مادی ماهواره آکوا در روزهای ۷ و ۸ اکتبر سال ۲۰۱۸ در شکل ۳ نشان داده شده است. در هر ۲ روز مقادیر^۲ AOD در کل منطقه بالا است. همچنین تصویر رنگ حقیقی سنجنده مادی ماهواره آکوا مقادیر بالای غلظت گردوغبار در منطقه جازموریان را نشان می‌دهد. با توجه به موارد گفته شده این رخداد به عنوان مورد انتخابی جهت پیش‌بینی عددی مسیر گردوغبار انتخاب گردید.

¹ Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

² Aerosol Optical Depth



شکل ۳- تصویر رنگ حقیقی و میزان عمق نوری سنجنده مادی ماهواره آکوا در روزهای ۷ و ۸ اکتبر سال ۲۰۱۸

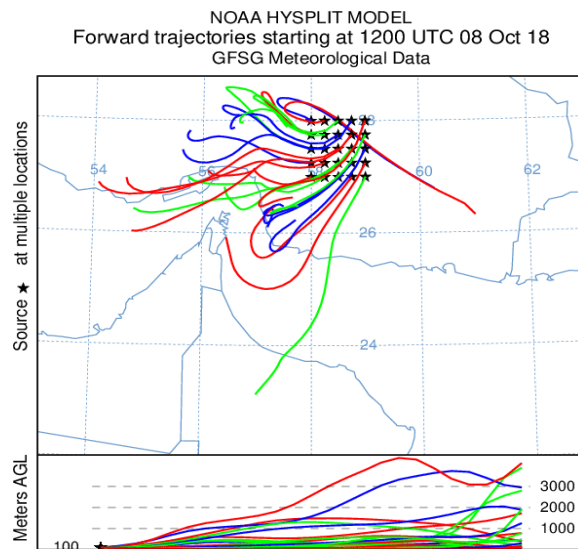
نتایج مدل WRF-Chem

شاخص AOD

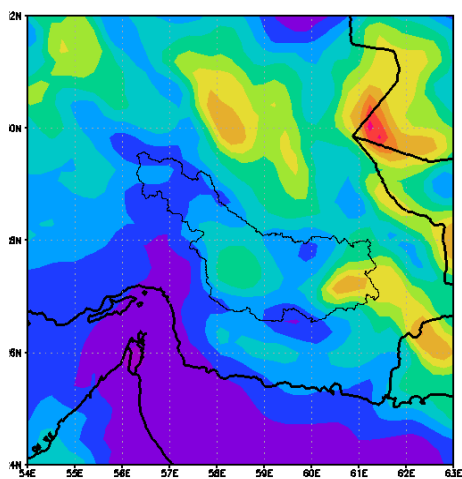
خروجی مدل WRF-Chem برای شاخص AOD از ساعت ۱۲ UTC ۷ اکتبر ۲۰۱۸ الی ۰۶ UTC ۹ اکتبر ۲۰۱۸ با گام زمانی ۶ ساعته برای منطقه جازموریان استخراج گردید که در شکل‌های ۵ الی ۱۲ نشان داده شده است.

نتایج اجرای مدل HYSPLIT

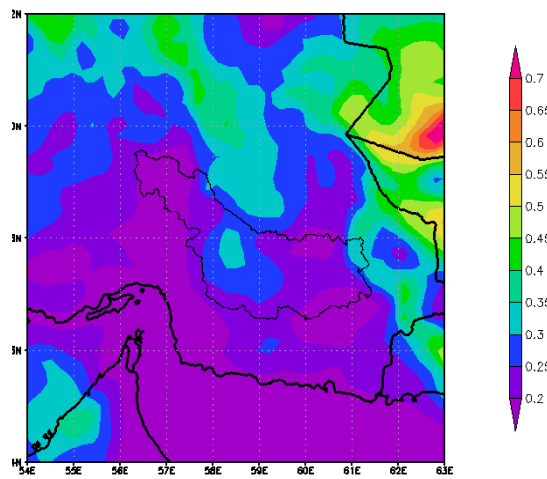
خروجی مدل HYSPLIT به روش پیشرو برای روز ۸ اکتبر سال ۲۰۱۸ ساعت ۱۲ UTC که به صورت ماتریسی با داده‌های GDAS با تفکیک افقی ۰/۵ درجه با روش Forward به مدت ۲۴ ساعت در ارتفاع ۱۰۰ متر اجرا شده در شکل ۴ نشان داده شده است. ذرات برخاسته از این بخش، تحت تأثیر جریانات شرقی و شمال‌شمالی قرار گرفته و به سمت جنوب و جنوب غربی حرکت کرده‌اند و به روی منطقه خلیج فارس رفته‌اند.



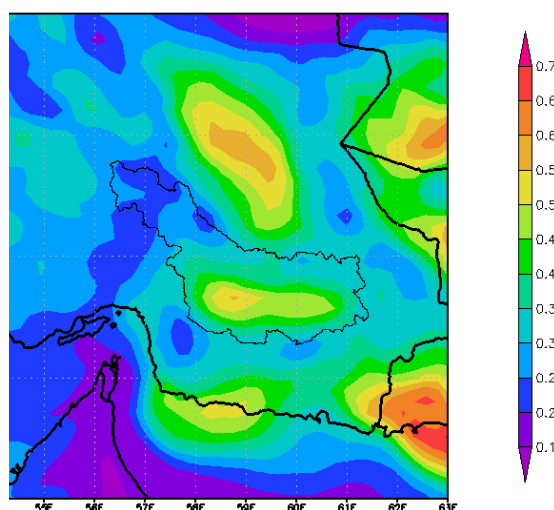
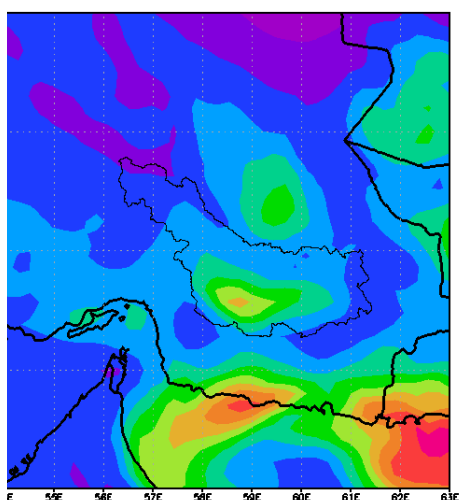
شکل ۴: خروجی مدل HYSPLIT به صورت ماتریسی به روش پیشرو برای روز ۸ اکتبر سال ۲۰۱۸ ساعت ۱۲ UTC



شکل ۶- مقادیر عمق نوری ذرات در ساعت ۱۸ UTC روز ۷ اکتبر ۲۰۱۸ را نشان می‌دهد. مقادیر AOD بر روی دریای عمان و شرق خلیج فارس همچنان کوچک است. هم‌چنین میزان این کمیت برای منطقه جازموریان نیز افزایش یافته و در مناطق شرقی به ۰/۵۵ نیز رسیده است.

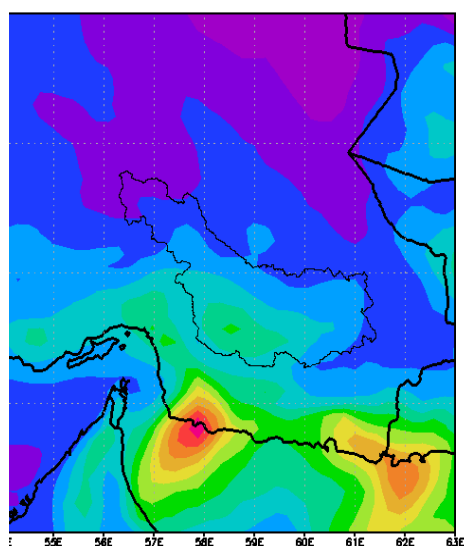
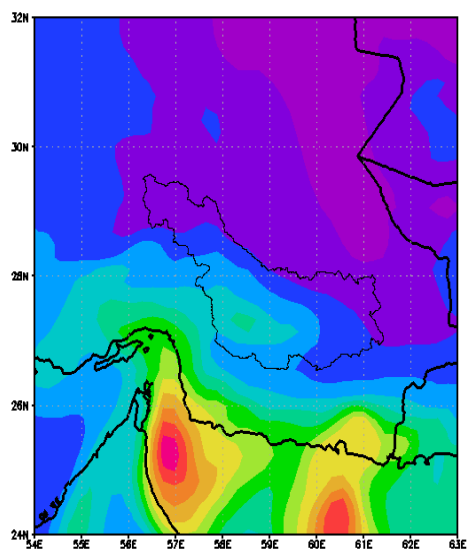


شکل ۵- مقادیر عمق نوری ذرات خروجی مدل WRF-Chem در ساعت ۱۲ UTC روز ۷ اکتبر ۲۰۱۸ را نشان می‌دهد. مقادیر AOD بر روی کل منطقه کوچک است. هم‌چنین میزان این کمیت بر روی منطقه جازموریان نیز کوچک است و از ۰/۵ کمتر است.



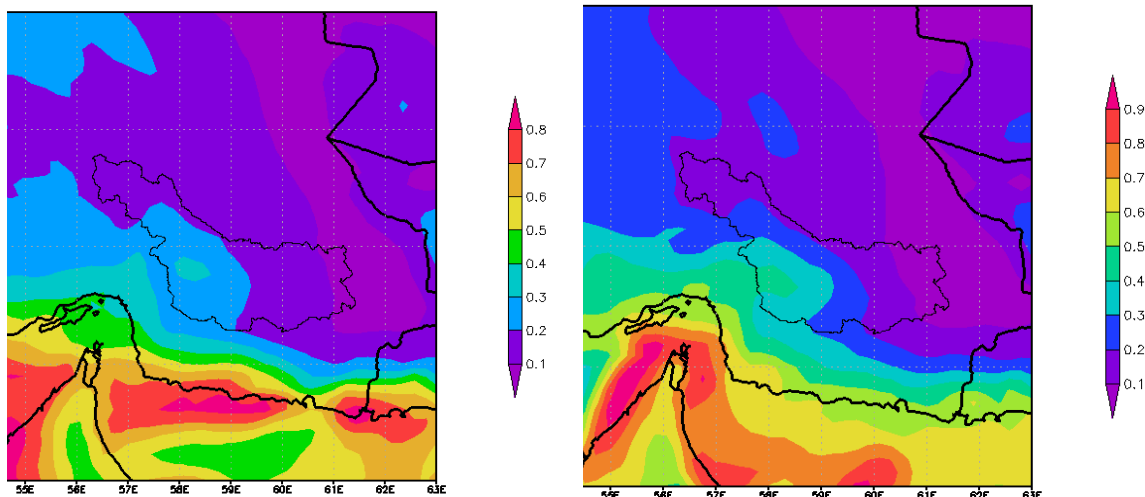
شکل ۷- مقادیر عمق نوری ذرات در ساعت ۰۰ UTC روز ۸ اکتبر ۲۰۱۸ را نشان می‌دهد. مقادیر AOD بر روی شمال دریای عمان افزایش یافته است. هم‌چنین میزان این کمیت در بخش وسیعی از منطقه جازموریان نیز افزایش یافته و در نیمه جنوبی منطقه جازموریان به ۰/۵۵ نیز رسیده است. اما در بخش وسیعی ۰/۷ رسیده است.

شکل ۸- مقادیر عمق نوری ذرات در ساعت ۰۶ UTC روز ۸ اکتبر ۲۰۱۸ را نشان می‌دهد. مقادیر AOD بر روی شمال دریای عمان افزایش بسیاری داشته است و تا ۱ رسیده است. هم‌چنین میزان این کمیت در نیمه جنوبی منطقه جازموریان به ۱ نیز رسیده است.



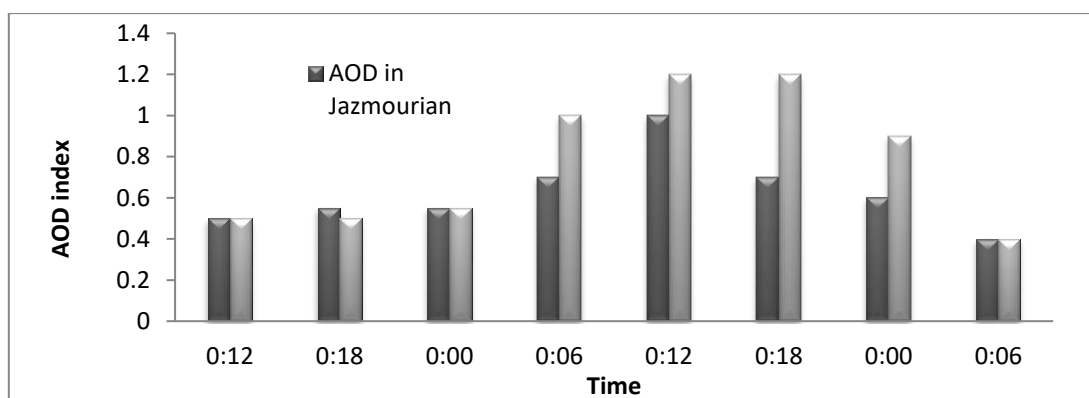
شکل ۹- مقادیر عمق نوری ذرات در ساعت ۱۲ UTC روز ۸ اکتبر ۲۰۱۸ را نشان می‌دهد. مقادیر AOD بر روی بخش بزرگی از دریای عمان ۱/۲ مانده است. اما میزان این کمیت در نیمه جنوبی منطقه جازموریان کاهش یافته است و فقط در بخش کوچکی از منطقه جازموریان به ۰/۷ رسیده است.

شکل ۱۰- مقادیر عمق نوری ذرات در ساعت ۱۸ UTC روز ۸ اکتبر ۲۰۱۸ را نشان می‌دهد. مقادیر AOD بر روی شمال دریای عمان باز هم نسبت به شکل قبل افزایش یافته است و تا ۱/۲ رسیده است. هم‌چنین میزان این کمیت در نیمه جنوبی منطقه جازموریان به ۱ نیز رسیده است، اما در بخش وسیعی از منطقه جازموریان به ۰/۷ رسیده است.



شکل ۱۱- مقادیر عمق نوری ذرات در ساعت ۰۰ UTC روز ۹ اکتبر ۲۰۱۸ را نشان می‌دهد. مقادیر AOD بر روی کل دریای عمان و شرق خلیج فارس ۰/۹ است. میزان این کمیت در نیمه جنوبی منطقه جازموریان به ۰/۶ رسیده است.

شکل ۱۲- مقادیر عمق نوری ذرات در ساعت ۰۶ UTC روز ۹ اکتبر ۲۰۱۸ را نشان می‌دهد. مقادیر AOD بر روی کل منطقه به شدت کاهش یافته و در منطقه جازموریان به زیر ۰/۴ رسیده است.

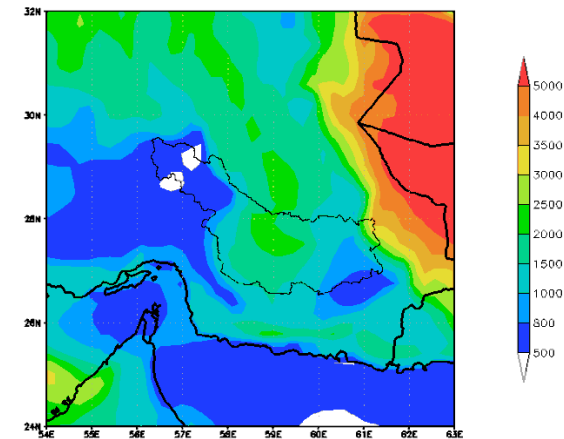
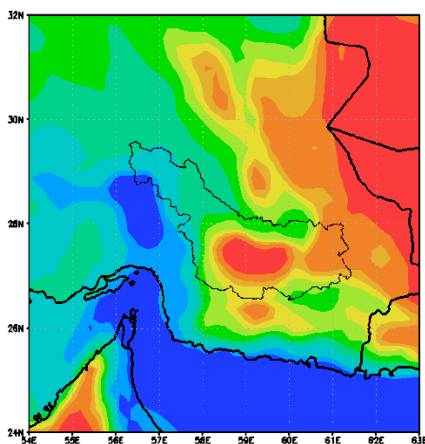


شکل ۱۳- تغییرات شاخص AOD در جازموریان و دریای عمان در ۷ و ۸ اکتبر ۲۰۱۸

شاخص غلظت سطحی گردوغبار

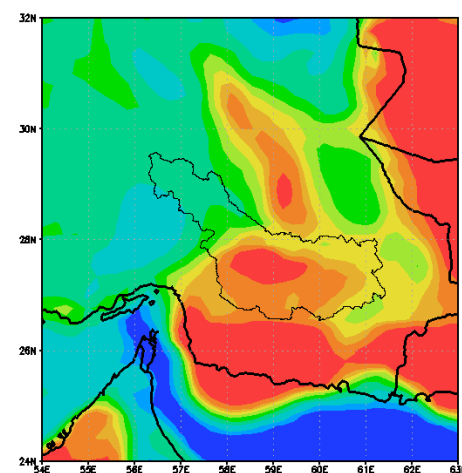
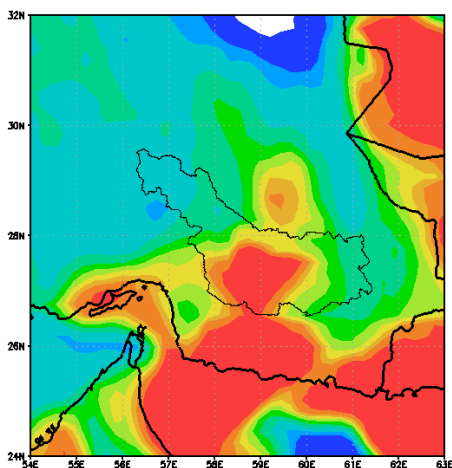
خروجی مدل WRF-Chem برای شاخص غلظت سطحی گرد و غبار از ساعت ۱۲ UTC ۱۷ اکتبر ۲۰۱۸ الی ۰۶ UTC

۹ اکتبر ۲۰۱۸ با گام زمانی ۶ ساعته برای منطقه جازموریان استخراج گردید که در شکل‌های ۱۴ الی ۲۱ نشان داده شده است.



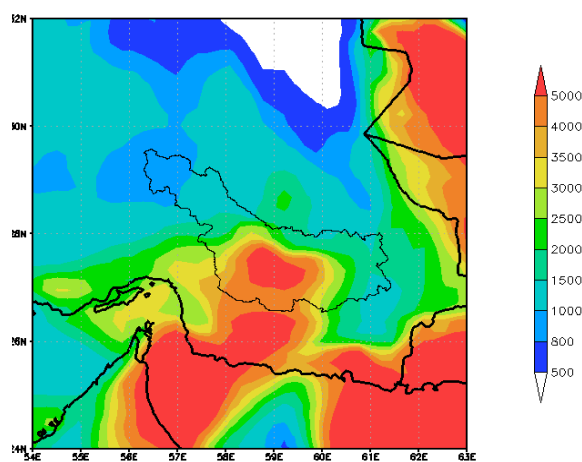
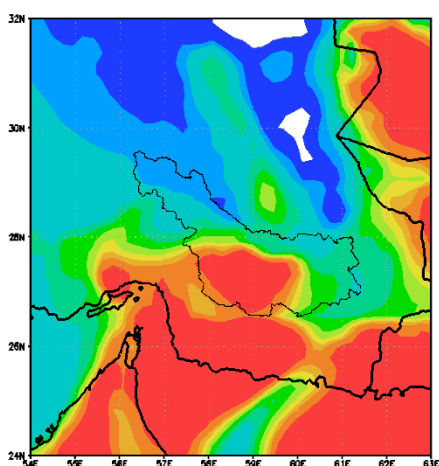
شکل ۱۴. مقادیر غلظت سطحی ذرات خروجی مدل WRF_Chem در ساعت ۱۲ UTC روز ۷ اکتبر سال ۲۰۱۸ را نشان می‌دهد. غلظت سطحی گردوغبار بر روی دریای عمان کمتر از ۵۰۰ میکروگرم بر مترمکعب است. غلظت سطحی گردوغبار در منطقه جازموریان بسیار بالا است و تا ۲۵۰۰ میکروگرم بر مترمکعب نیز رسیده است.

شکل ۱۵. مقادیر غلظت سطحی ذرات خروجی مدل WRF_Chem در ساعت ۰۶ UTC روز ۸ اکتبر ۲۰۱۸ را نشان می‌دهد. غلظت سطحی گردوغبار بالاتر در جنوب استان سیستان و بلوچستان، استان هرمزگان و شمال دریای عمان مانند شکل قبل بالاتر از ۵۰۰۰ میکروگرم بر مترمکعب است. غلظت سطحی گردوغبار در نیمه جنوبی منطقه جازموریان همچنان بالا بوده و بالاتر از ۵۰۰۰ میکروگرم بر مترمکعب است. الگوی این شکل بسیار شبیه شکل قبل است با این تفاوت که منطقه با غلظت سطحی بالای گردوغبار در کل منطقه، گسترده‌تر از شکل قبل است.



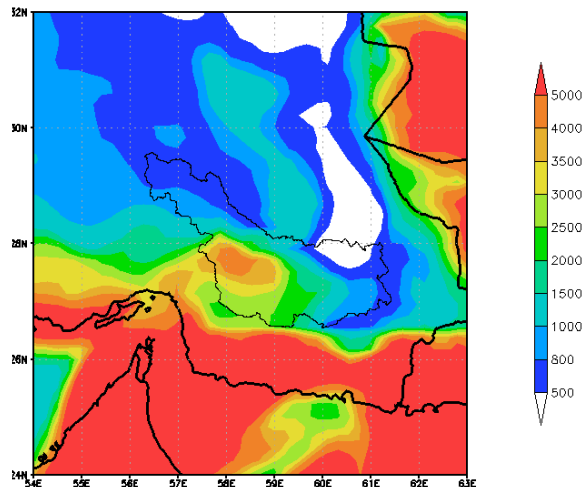
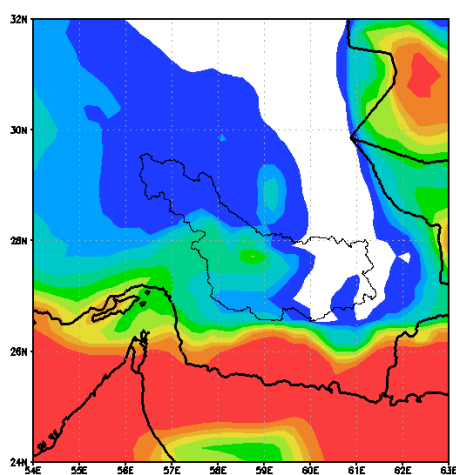
شکل ۱۶. مقادیر غلظت سطحی ذرات خروجی مدل WRF_Chem در ساعت ۰۰ UTC روز ۱۸ اکتبر ۲۰۱۸ را نشان می‌دهد. غلظت سطحی گردوغبار بالاتر در جنوب استان سیستان و بلوچستان، استان هرمزگان و شمال دریای عمان بالاتر از ۵۰۰۰ میکروگرم بر مترمکعب است. غلظت سطحی گردوغبار در نیمه جنوبی منطقه جازموریان همچنان بالا بوده و بالاتر از ۵۰۰۰ میکروگرم بر مترمکعب است. الگوی این شکل بسیار شبیه شکل قبل است با این تفاوت که منطقه با غلظت سطحی بالای گردوغبار در کل منطقه، گسترده‌تر از شکل قبل است.

شکل ۱۷. مقادیر غلظت سطحی ذرات خروجی مدل WRF_Chem در ساعت ۰۶ UTC روز ۸ اکتبر ۲۰۱۸ را نشان می‌دهد. غلظت سطحی گردوغبار بالاتر در جنوب استان سیستان و بلوچستان، استان هرمزگان و شمال دریای عمان بالاتر از ۵۰۰۰ میکروگرم بر مترمکعب است. غلظت سطحی گردوغبار در نیمه جنوبی منطقه جازموریان همچنان بالا بوده و بالاتر از ۵۰۰۰ میکروگرم بر مترمکعب است.



شکل ۱۸. مقادیر غلظت سطحی ذرات خروجی مدل WRF_Chem در ساعت ۱۲ UTC روز ۸ اکتبر ۲۰۱۸ را نشان می‌دهد. غلظت سطحی گردوغبار بالاتر در جنوب استان سیستان و بلوچستان، استان هرمزگان و شمال دریای عمان و نیمه جنوبی منطقه جازموریان بالاتر از ۵۰۰۰ میکروگرم بر مترمکعب است.

شکل ۱۹. مقادیر غلظت سطحی ذرات خروجی مدل WRF_Chem در ساعت ۱۸ UTC روز ۸ اکتبر ۲۰۱۸ را نشان می‌دهد. غلظت سطحی گردوغبار بالاتر در جنوب استان سیستان و بلوچستان، استان هرمزگان و شمال دریای عمان بالاتر از ۵۰۰۰ میکروگرم بر مترمکعب است. غلظت سطحی گردوغبار در نیمه جنوبی منطقه جازموریان همچنان بالا بوده و بالاتر از ۵۰۰۰ میکروگرم بر مترمکعب است.



شکل ۲۰. مقادیر غلظت سطحی ذرات خروجی مدل WRF_Chem در ساعت ۰۶ UTC روز ۹ اکتبر ۲۰۱۸ را نشان می‌دهد. غلظت سطحی گردوغبار بالاتر در جنوب استان سیستان و بلوچستان، استان هرمزگان و کل دریای عمان و شرق خلیج فارس بالاتر از ۵۰۰۰ میکروگرم بر مترمکعب است. غلظت سطحی گردوغبار در بخش اعظم منطقه جازموریان زیر ۲۰۰۰ میکروگرم بر مترمکعب بوده است و در برخی نقاط حداکثر به ۲۵۰۰ میکروگرم بر مترمکعب رسیده است.

شکل ۲۱. مقادیر غلظت سطحی ذرات خروجی مدل WRF_Chem در ساعت ۰۰ UTC روز ۹ اکتبر ۲۰۱۸ را نشان می‌دهد. غلظت سطحی گردوغبار بالاتر در جنوب استان سیستان و بلوچستان، استان هرمزگان و دریای عمان و شرق خلیج فارس بالاتر از ۵۰۰۰ میکروگرم بر مترمکعب است. غلظت سطحی گردوغبار در منطقه جازموریان به شدت کاهش یافته و در برخی نقاط حداکثر به ۴۰۰۰ میکروگرم بر مترمکعب است.

نتیجه‌گیری

پدیده گردوغبار یکی از مهم‌ترین بلایایی طبیعی در جنوب شرق کشور است که تحت عوامل طبیعی و انسانی ایجاد می‌شود و می‌تواند اثرات بسیار زیانباری بر زندگی جوامع انسانی بگذارد. حوزه جازموریان به‌عنوان مهم‌ترین و بزرگ‌ترین حوزه جنوب شرق کشور در دو استان کرمان و سیستان و بلوچستان قرار دارد. زندگی بسیاری از افراد ساکن در این حوزه به‌طور مستقیم به آن وابسته است. وجود تالاب جازموریان در این منطقه، در شرایط خشک‌سالی و کم‌آبی به دلیل عدم رطوبت برداشت ذرات ریزدانه خاک و بروز پدیده گردوغبار اثرات بسیار بدی بر روی زندگی جازموریان نشینان می‌گذارد. این تالاب از دو رودخانه هلیل رود (بزرگ‌ترین رودخانه حوزه جازموریان) و بمپور تغذیه می‌شود. احداث سد‌های گوناگون در مسیر این رودخانه‌ها از جمله سد صفا رود در شمال حوزه در شهر رابر و همچنین سد جیرفت میزان ورودی آب به تالاب را به‌شدت کاهش داده به طوری که گاه‌ها "هیچ آبی یا حق آبه ای به تالاب سرازیر نمی‌شود علاوه بر این شرایط، عوامل طبیعی از قبیل خشک‌سالی‌ها، درجه حرارت بالا و همچنین طوفان‌های سهمگین از قبیل بادهای ۱۲۰ روزه سیستان شرایط را برای وقوع پدیده گردوغبار و طوفان‌های شن تسهیل نموده است (Alizadeh-Choobari et al 2014). گردوغبار بر خواسته از این مناطق می‌تواند به‌طور مستقیم استان‌های کرمان، سیستان و بلوچستان و همچنین هرمزگان را تحت تأثیر قرار دهد. بنابراین مطالعه درباره مسیر حرکت ذرات و همچنین کانون‌های برداشت گردوغبار امری بسیار ضروری است. در این تحقیق ابتدا طوفان گردوغبار ۷ الی ۸ اکتبر ۲۰۱۸ به‌منظور شبیه‌سازی و مسیریابی انتخاب گردید که نتایج نشان دادند که قسمت‌های جنوبی حوزه جازموریان (منطقه تالاب و اطراف آن) می‌تواند به‌عنوان کانون بحرانی گردوغبار این مناطق در نظر گرفته شود و همچنین ذرات بر خواسته از این مناطق به سمت دریای عمان حرکت می‌کند که بیشتر استان هرمزگان و جنوب سیستان را تحت تأثیر قرار می‌دهد و همچنین برای سامانه‌های ناوبری و دریانوردی مهم است. Mesbahzadeh et al 2020 در مطالعه‌ای با استفاده از مدل

WRF-Chem به شناسایی کانون‌های بحرانی فلات مرکزی ایران پرداختند که نتایج آن‌ها مبنی بر معرفی جنوب حوزه جازموریان به‌عنوان یکی از کانون‌های بحرانی این منطقه، نتایج این مطالعه را تأیید می‌کند. همچنین Baghban et al 2019 در تحقیقی به‌منظور تعیین کانون‌های مهم گردوغبار ایران، این موضوع را تأیید کرده است. Soleimani Sardoo et al 2021 در مطالعه‌ای با شبیه‌سازی عددی طوفان گردوغبار ۲ خرداد ۱۳۹۷ نشان دادند که منطقه جنوب حوزه جازموریان یکی از مهم‌ترین کانون‌های برداشت گردوغبار در جنوب شرق کشور است که تأیید کننده نتایج این تحقیق است.

منابع

1. Abbaspour, Majid. 2011. "Air Pollution Modeling", 1st Edition, Tehran, Sharif University of Technology Scientific Publishing Institute.
2. Ahmadi H, Esmailpour Y, Moradi A, Gholami H. 2019. Assessment of land Sensitivity to Desertification Hazard Using System Dynamics Approach in the Jazmourian basin. J. of Water and Soil Conservation, Vol. 26(2), 2019. DOI: 10.22069/jwsc.2019.15565.3076
3. Alfaro, S.C., 2008. Influence of soil texture on the binding energies of fine mineral dust particles potentially released by wind erosion. *Geomorphology* 93, 157e167.
4. Alizadeh Choobari, Omid, Zawar-Reza, Peyman and Sturman, Andrew. 2014. "The wind of 120 days and dust storm activity over the Sistan Basin", *Journal of Atmospheric Research*, No. 143, pp. 328-341.
5. Azizi, G., Shamsipour, A., Miri, M., Safarrad, T., 2012. Synoptic and remote sensing analysis of dust events in southwestern Iran. *Nat. Hazards* 64, 1625–1638.
6. Babaian, Ebrahim., Bahrami, Hosseinali and Babaian, Fariba. 2010. "Dust Storm and Recent Evolution and Developments", *Proceedings of the National Conference on Wind Erosion and Dust Storms, Yazd-Iran, February 27-28, Volume 2, p. 73-80.*
7. Baghbanan, P.; Ghavidel, Y.; Farajzadeh, M. Spatial analysis of spring dust storms hazard in Iran. *Theor. Appl. Clim.* 2019, 139, 1447–1457
8. Chadwick, O.A., Derry, L.A., Vitousek, P.M., Huebert, B.J., Hedin, L.O., 1999.

- “The physics of wind-blown sand and dust”, *Journal of Rep. Prog. Phys.* No. 75, pp. 1-119.
18. Li, J., Okin, G.S., Alvarez, L., Epstein, H., 2007. Quantitative effects of vegetation cover on wind erosion and soil nutrient loss in a desert grassland of southern New Mexico, USA. *Biogeochemistry* 85, 317e332.
 19. Lyles, M., Fredrickson, H., Bednar, A., Fannin, H., Griffin, D., Sobocki, T., 2012. Medical geology in the Middle East: potential health risks from mineralized dust exposure. *EGU Gen. Assembly Conf. Abstr.*, 1668.
 20. Mesbahzadeh, Tayyebah, Ali Salajeghe, Farshad S. Sardoo, Gholamreza Zehtabian, Abbas Ranjbar, Mario Marcello Miglietta, Sara Karami, and Nir Y. Krakauer 2020. "Spatial-Temporal Variation Characteristics of Vertical Dust Flux Simulated by WRF-Chem Model with GOCART and AFWA Dust Emission Schemes (Case Study: Central Plateau of Iran)" *Applied Sciences* 10, no. 13: 4536. <https://doi.org/10.3390/app10134536>
 21. Rashki, Alireza, Kaskaoutis, Dimitris G., Rautenbach, C. J. Dew., Eriksson, Patrick G., Qiang, M. and Gupta, P. 2012. "Dust storms and their horizontal dust loading in the Sistan", *Journal of Aeolian Research*, 5: 51-62.
 22. Reynolds, R., Belnap, J., Reheis, M., Lamothe, P., Luiszer, F., 2001. Aeolian dust in Colorado Plateau soils: nutrient inputs and recent change in source. *P. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 98, 7123e7127.
 23. Shao, Y., Wyrwoll, K.-H., Chappell, A., Huang, J., Lin, Z., McTainsh, G.H., Mikami, M., Tanaka, T.Y., Wang, X., Yoon, S., 2011. Dust cycle: An emerging core theme in Earth system science. *Aeolian Research* 2, 181–204.
 24. Soleimani Sardoo., F., Mesbahzadeh, T., Salajeghe, A., Zehtabian, G., Ranjbar, A., miglietta M.M. and Karami, S., 2021. Identifying dust springs using WRF-Chem model and GOCART and AFWA wind erosion schemas (simulated dust storm on 05/22/2018). *Environmental Sciences*. 19(2): 91-110.
 25. Wang. Y, A, Stein., R, Draxler, D, Rosa and Zhang. X. 2011. Global sand and Dust storms in observation and HYSPLIT model verification. *Atmospheric Environment*. 45. 259-273.
 9. Chappell, A., Sanderman, J., Thomas, M., Read, A., Leslie, C., 2012. The dynamics of soil redistribution and the implications for soil organic carbon accounting in agricultural south-eastern Australia. *Glob. Chang. Biol.* 18, 2081e2088.
 10. Ebrahimi, S.J., Ebrahimzadeh, L., Eslami, A., Bidarpoor, F., 2014. Effects of dust storm events on emergency admissions for cardiovascular and respiratory diseases in Sanandaj, Iran. *J. Environ. Health Sci. Eng.* 12, 110.
 11. Etemadi, H., Khazaei, M and Abbasi, Ismail, 2019, Routing of dust particles using HYSPLIT model, the first international conference on civil engineering, architecture and urban regeneration, Tehran, <https://civilica.com/doc/975963>
 12. Ganbat, G. and Jugder, D., 2019, Observations and transport modeling of dust storm event over Northeast Asia using HYSPLIT.E3S Web of Conferences; Les Ulis Vol. 99, doi.org/10.1051/e3sconf/20199902002.
 13. Jebali, A., Z. Zare, M. Ekhtesasi and R. Jafari. 2019. Performance evaluation of detector algorithms of dust storms in arid lands, case study: Yazd Province. *Desert Ecosystem Engineering Journal*, 8(23): 85-105 (in Persian).
 14. Jickells, T. D., An, Z. S., Andersen, K.K., Baker, A.R., Bergametti, G., Brooks, N., Cao, J.J., Boyd, P.W., Duce, R.A., Hunter, K.A., Kawahata, H., Kubilay, N., laRoche, J., Liss, P.S., Mahowald, N., Prospero, J.M., Ridgwell, A.J., Tegen, I., Torres, R., 2005. Global iron connections between desert dust, ocean biogeochemistry, and climate. *Science* 308, 67e71.
 15. 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.
 16. Khalidi, R and Saeedi, M, 2018, Routing Dust Storms Using HYSPLIT Software (Case Study: Ahvaz, 2nd International Conference on Strategic Ideas in Architecture, Urban Planning, Geography and Sustainable Environment, Mashhad, <https://civilica.com/doc/787634>
 17. Kok, Jasper F., Parteli, Eric J.R., Michaels, Timothy I. and Bou Karam, Diana. 2012.