Journal of Natural Environment Hazards
University of Sistan and Baluchestan
Print ISSN: 2676 - 4377 Online ISSN: 2676 - 4385
Homepage: https://jneh.usb.ac.ir

Journal of Natural Environmental Hazards, Vol.13, Issue 42, December 2024

Determining the potential of dust production in the inner centers of Khuzestan province using the WRF numerical model and the WRF-Chem coupled model

Fatemeh Dargahian[1*], Adel Jalili[2], Alireza Balalan Fard[3], Tahereh Aghazadeh[4]

1. Corresponding Author, Associate Professor, of Research institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran
2. Prof., Research Institute of Forest and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extention Organization (AREEO), Tehran, Iran.
3. Senior expert in meteorology of Alborz Province Meteorological Department, Karaj, Iran
4. Graduated with a master's degree in meteorology from the University of Science and Research, Karaj, Iran.

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: 31 January 2024
Revised: 16 May 2024
Accepted: 08 June 2024

Keywords:
dust concentration, horizontal field of view, numerical modeling, Dynamic downscaling, dust generation potential.

ABSTRACT

The purpose of this study is to determine the contribution of the maximum dust production capacity of 4 centers in the maximum dust production of Khuzestan province. According to the field information on soil texture and land use, the WRF-CHEM chemical model was used to simulate the occurrence of severe dust storms. To simulate the occurrence of a dust storm and estimate the maximum power of dust production at the peak of the activity of the dust system of four hypothetical centers in Khuzestan province, in addition to the dust concentration data of the environmental organization, in the verification of the event and the selection of the system from the data meteorological organization; Wind direction and speed and horizontal field of view were used. First, the simulation was done in real mode with full physics of the model, and in the next step, the amount of dust production and the role of each dust center in the centers were checked with the assumption of moistening of the surface layer of soil and ground. Among the 94 dust systems by defining the maximum event conditions, 39 main systems were selected. The results showed that each of the foci, on average and independently, caused an increase in dust and feeding systems that migrated to the region during the storms that occurred over two decades (2003-2018). The maximum contribution of each center was determined separately and simultaneously at the peak of the activity of the dusting systems. The results showed that at the peak of the activity of the dust collection systems, the maximum production capacity of source 1 (Horal Azim and North Khorramshahr) is 65.14% on average, source 2 (Mahshahr Center, Omidieh and Hindijan) is 59.91%, source 3 (East Ahvaz city) was 52.27% and source 4 (southeast of Ahvaz) was 55.74%. The total share of the average dust production in the four centers of the province is 62.94%, which if it is deducted from the amount of dust produced in the southern region of Khuzestan, which is 83.30% of the total dust in Khuzestan during the occurrence of different systems. , the remaining 20.36 percent, which is the share of unknown sources such as secondary sources that have the potential to produce dust or the dust created from them is the result of the discharge of major and larger sources. Knowledge of the contribution of each of the numerous dust centers in the Khuzestan Plain can help the decision-makers of operational plans to control internal fine dust centers.

Cite this article: Dargahian, F., Jalili, A., Balalan Fard, A., & Aghazadeh, T. (2024). Determining the potential of dust production in the inner centers of Khuzestan province using the WRF numerical model and the WRF-Chem coupled model. Journal of Natural Environmental Hazards, 13(42), 123-140. DOI: 10.22111/jneh.2024.47865.2026

© Fatemeh Dargahian.
Publisher: University of Sistan and Baluchestan
DOI: 10.22111/jneh.2024.47865.2026

* Corresponding Author Email: dargahian@rifr.ac.ir

مخاطرات محیط طبیعی
شاپا چاپی: ۲۶۷۶-۴۳۷۷ شاپا الکترونیکی: ۲۶۷۶-۴۳۸۵
Homepage: https://jneh.usb.ac.ir

مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره ۱۳، شماره ۴۲، دی ۱۴۰۳

تعیین پتانسیل تولید گرد و غبار در کانون‌های داخلی استان خوزستان با استفاده از مدل عددی WRF و مدل جفت شده WRF-Chem

فاطمه درگاهیان[1*]، عادل جلیلی[2]، علیرضا بالالان فرد[3]، طاهره آقازاده [4]

۱. دانشیار بخش تحقیقات بیابان، موسسه تحقیقات جنگلها و مراتع، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران (نویسنده مسئول)
۲. استاد پژوهش، موسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
۳. کارشناس ارشد هواشناسی اداره کل هواشناسی استان البرز، کرج، ایران
۴. دانش آموخته کارشناسی ارشد هواشناسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران، ایران

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۱۱

تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۰۲/۲۷

تاریخ پذیرش : ۱۴۰۳/۰۳/۱۹

واژه‌های کلیدی:
غلظت گرد و غبار، میدان دید افقی، مدلسازی عددی، ریزگردانی دینامیکی، پتانسیل تولید گرد و غبار.

چکیده

هدف از این مطالعه تعیین حداکثر توان تولید گرد و غبار ۴ کانون در تولید گرد و غبارهای بیشینه استان خوزستان است. با توجه به اطلاعات میدانی بافت خاک و کاربری اراضی، از مدل شیمیایی WRF-CHEM برای شبیه‌سازی وقوع طوفان‌های گرد و غباری شدید استفاده شد. به منظور شبیه‌سازی وقوع طوفان گرد و غبار و برآورد حداکثر توان تولید گرد و غبار در اوج فعالیت سامانه گرد و غباری چهار مرکز فرضی داخلی در استان خوزستان انتخاب شد. علاوه‌بر داده‌های غلظت گرد و غبار سازمان محیط زیست، در راستای آزمایی رویداد و انتخاب سامانه از داده‌های سازمان هواشناسی؛ سمت و سرعت باد و میدان دید افقی استفاده شد. ابتدا شبیه‌سازی در حالت واقعی و با فیزیک کامل مدل انجام شد و در مرحله بعد میزان تولید غبار و نقش هر کانون با فرض مرطوب‌سازی‌شدن لایه سطحی خاک و زمین بررسی شد. از بین ۹۴ سامانه گرد و غبار با تعریف حداکثر شرایط رویداد، ۳۹ سامانه اصلی انتخاب شد. نتایج نشان داد که هر یک از کانون‌ها به طور متوسط و مستقل در طوفان‌های رخ داده طی دو دهه (۲۰۰۳-۲۰۱۸) باعث افزایش گرد و غبار و تغذیه سامانه‌های مهاجر به منطقه شده‌اند. بیشینه سهم هرکانون به تفکیک و همزمان باهم در اوج فعالیت سامانه‌های گرد و غباری مشخص شد. نتایج نشان داد در اوج فعالیت سامانه‌های گرد و غباری بیشینه توان تولید منبع ۱ (هورالعظیم و خرمشهر شمالی) به طور میانگین ۶۵/۱۴ درصد، منبع ۲ (کانون ماهشیر، امیدیه و هندیجان) ۵۹/۹۱ درصد، منبع ۳ (شهرستان اهواز شرقی) ۵۲/۲۷ درصد و منبع ۴ (جنوب شرق اهواز) ۵۵/۷۴ درصد بوده است. سهم کل میانگین تولید گرد و غبار در چهار کانون استان ۶۲,۹۴ درصد بوده که در صورت کسر آن از میزان گرد و غبار تولیدی در منطقه جنوب خوزستان که ۸۳,۳۰ درصد کل گرد و غبار خوزستان در زمان وقوع سامانه‌های مختلف است ، ۲۰/۳۶ درصد باقی مانده که این مقدار سهم منابع ناشناخته مانند منابع ثانویه است که پتانسیل تولید گرد و غبار را دارند یا گرد و غبار ایجاد شده از آنها حاصل تخلیه منابع عمده و بزرگتر است. آگاهی از سهم هر یک از کانون‌های متعدد گرد و غبار در دشت خوزستان می‌تواند به تصمیم‌گیران برنامه‌های عملیاتی برای کنترل کانون‌های ریزگرد داخلی کمک کند.

استناد: درگاهیان, فاطمه, جلیلی, عادل, بالالان فرد, علیرضا, آقازاده, طاهره. (۱۴۰۳). تعیین پتانسیل تولید گرد و غبار در کانون‌های داخلی استان خوزستان با استفاده از مدل عددی WRF و مدل جفت‌شده WRF-Chem. مخاطرات محیط طبیعی، ۱۳(۴۲)، ۱۲۳-۱۴۰.
DOI: 10.22111/jneh.2024.47865.2026
ناشر: دانشگاه سیستان و بلوچستان
© فاطمه درگاهیان*، عادل جلیلی، علیرضا بالالان فرد، طاهره آقازاده.

*- فاطمه درگاهیان (نویسنده مسئول) Email: dargahian@rifr.ac.ir

مقدمه

عوامل متعددی در شکل‌گیری کانون‌های گردوغبار در جنوب غرب ایران از جمله مراتع تخریب‌شده، زمین‌های کشاورزی دیم رهاشده، زمین‌های بدون پوشش، تالاب‌ها و آبگیرهای خشک‌شده (حیدریان و همکاران، ۱۳۹۶)، تغییر کاربری اراضی و خشکسالی (درگاهیان و همکاران، ۱۳۹۸)، وجود بستر خشکه‌رود و یا رودخانه متروک، خشکسالی‌های پی‌درپی (ایرانمنش، ۱۴۰۰)، فرسایش، عدم وجود پوشش گیاهی و مدیریت ناصحیح منابع آبی (جویباری و همکاران، ۱۳۹۸)، تغییرات دمای سطح زمین و کاربری اراضی (انصاری و نوروزی، ۱۴۰۰) موثر بوده‌اند.

دو عنصر اساسی در رخداد طوفان گردوغبار، وجود ذرات ریزدانه در حجم وسیع و شرایط و الگوهای خاص آب و هوایی است. به منظور ریزمقیاس نمایی مدل‌های بزرگ آب و هوایی از روش‌های آماری و دینامیکی استفاده می‌شود. مدهای دینامیکی زیادی برای مطالعه گردوغبار مورد استفاده قرار می‌گیرد، از جمله مهم‌ترین آنها می‌توان به‌مدل‌های RegCM و WRF اشاره نمود (حمیدیان‌پور و شجاع، ۱۴۰۱). برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی پدیده‌های هواشناسی از مدل WRF/Chem استفاده شده است: ارزیابی انرژی باد با استفاده از مدل WRF (اسماعیل‌پور و همکاران، ۱۳۹۳)، پیش‌بینی احتمالی حداکثر و حداقل دمای روزانه با استفاده از مدل WRF در ایران (آزادی و همکاران، ۱۳۹۸)، ارزیابی مدل WRF برای پیش‌بینی دما و وقوع یخبندان در حوضه آبریز زاینده‌رود (نصر اصفهانی و همکاران، ۱۳۹۸)، شبیه‌سازی رعد و برق با استفاده از مدل WRF در استان کرمانشاه (خورشیددوست و همکاران، ۱۳۹۹)، بررسی عملکرد مدل WRF در پیش‌بینی تبخیر و تعرق در شالیزارها (اسدی اسکویی و همکاران، ۱۴۰۰)، مطالعه حساسیت شبه‌سازی‌های مه‌دود در فرودگاه اردبیل با استفاده از مدل WRF (پهلوان و همکاران، ۱۴۰۰)، پس پردازش آب قابل بارش (جلالی و تقوی، ۱۳۹۸)، شبیه‌سازی رویدادهای بارش شدید با ناهنجاری سرما در منطقه تهران (خانسالاری و همکاران، ۱۳۹۸). شبیه‌سازی رویدادهای بارش (ساسانیان و همکاران، ۱۳۹۴؛ اکبری و همکاران، ۱۳۹۸؛ فتحی و همکاران، ۱۳۹۸). به نظر می‌رسد در بین پدیده‌های آب و هوایی پس از بارش، گردوغبار بیشترین شبیه‌سازی با این مدل را تجربه کرده باشد. توزیع جهانی گردوغبار معدنی و تأثیر آن بر شارهای تشعشعی (علیزاده چوباری و همکاران، ۲۰۱۵)، ارزیابی کمی سهم ذرات معلق گردوغبار در نیروی تابشی مستقیم براساس سنجش‌ازدور و شبیه‌سازی عددی (وانگ و همکاران، ۲۰۲۲)، تجزیه‌وتحلیل یک رویداد طوفان گردوغبار شدید در چین (بیان و همکاران، ۲۰۱۱)، شبیه‌سازی طوفان گردوغبار ۲۸ فوریه ۲۰۰۹ استان فارس (مزیدی و همکاران، ۲۰۱۶)، شبیه‌سازی گردوغبار در جنوب غربی ایران (حسین حمزه و همکاران، ۲۰۱۶)، شبیه‌سازی وقوع طوفان گردوغبار در منطقه سیستان (حمیدیان‌پور و همکاران، ۱۳۹۵؛ چوباری و همکاران، ۲۰۱۴؛ کارگر و همکاران، ۲۰۱۷)، طوفان گردوغباری ۱۲ تا ۱۷ ژوئن ۲۰۱۸ در شمال غرب هند (شوکلا و همکاران، ۲۰۲۲). مدل‌سازی انتشار گردوغبار با استفاده از تابع منبع گردوغبار جدید با وضوح بالا در WRF-Chem با مفاهیمی برای کیفیت هوا، تشخیص داد که استفاده از عملکرد منبع جدید به‌طور موثر منابع اصلی گردوغبار را نشان می‌دهد و تخمین‌های معقولی از عمق و غلظت نوری گردوغبار ارائه می‌دهد (پاراجولی و همکاران، ۲۰۱۹).

شبیه‌سازی و تحلیل عددی طوفان‌های گردوغبار شدید یکی از روش‌های مناسب جهت مطالعه این پدیده است. مدل منطقه‌ای WRF/Chem برای شبیه‌سازی شکل‌گیری و تکامل طوفان‌های گردوغبار استفاده شده است. شبیه‌سازی تشکیل طوفان گردوغبار طی روزهای ۲۶ خرداد تا ۸ تیر ۱۳۸۸ و در مقایسه با تصاویر ماهواره‌ای مرئی حسگر

مودیس و گزارش‌های ساعتی دید افقی در شبکه ایستگاه‌های سینوپتیک ایران، نشان داد که مدل WRF/Chem فن تقریبا کافی برای شبیه‌سازی طوفان گردوغبار است (ملکوتی و باباحسینی، ۱۳۹۴). مطالعه قابلیت‌های عددی مدل WRF-Chem در برآورد غلظت گردوخاک نشان داد به‌طورکلی عملکرد این مدل عددی قابلیت کاربردی آن را در مدل‌سازی و پیش‌بینی کیفیت هوا، به‌ویژه برای هواویزهایی که از چشمه‌های گسیل طبیعی مانند مناطق فرسایش-پذیر و بیابان‌ها تولید می‌شوند، تایید می‌کند. شرایط کاربری اراضی و فرسایش خاک به دلیل تغییراتی که در سال-های اخیر از نظر اقلیم، پوشش گیاهی و سایر فراسنج‌های زمین‌شناختی در منطقه خاورمیانه رخ داده است، در برخی از مناطق دچار دگرگونی قابل‌توجهی شده است؛ ولی داده‌های زمین‌شناسی که در مدل WRF استفاده می‌شود، همچنان مربوط به سال‌های گذشته است که در پژوهش‌های کیفیت هوا عامل ایجاد خطا در خروجی مدل است. بنابراین هنگام مدل‌سازی حداقل در مقیاس منطقه‌ای، داده‌های زمین‌شناختی موثر در گسیل ذرات گردوخاک تصحیح شده و در اختیار مدل قرار بگیرد (نیک فال و همکاران، ۱۳۹۵). تأثیر رشته کوه زاگرس بر انتقال گردوغبار عراق به غرب ایران با استفاده از مدل WRF/Chem نشان داد که گردوغبار شبیه‌سازی‌شده با داده‌های دید افقی مطابقت دارد (صحرایی و همکاران، ۱۳۹۸). شناسایی منابع انتشار گردوغبار با توجه به خروجی مدل عددی WRF-Chem در جنوب غربی ایران، مناطق شمال غربی عراق و مرکز آن به‌عنوان منابع اصلی انتشار گردوغبار شناسایی شدند (میری و همکاران، ۱۴۰۰). شناسایی چشمه‌های گردوغبار با استفاده از مدل WRF-Chem و طرح‌واره‌های فرسایش بادی نشان داد که مدل WRF-Chem توانایی خوبی برای شباهت شار گردوغبار در منطقه مورد مطالعه دارد. (سلیمانی ساردو و همکاران، ۱۴۰۰). ویژگی‌های تغییرات مکانی-زمانی شار عمودی غبار شبیه‌سازی‌شده توسط مدل WRF-Chem (مطالعه موردی: فلات مرکزی ایران) نشان داد که بیابان‌های عربستان سعودی و جنوب غربی ایران را می‌توان به‌عنوان منابع اصلی گردوغبار در فلات مرکزی ایران شناسایی کرد. (مصباح زاده آل، ۲۰۲۰). تحلیل عددی گردوغبار طوفان ۱۹ تیر ۱۳۹۳ نشان داد که کویر مرکزی ایران از استان‌های سمنان و شرق اصفهان تا کویر لوت مرکزی در شرق استان کرمان، بزرگ‌ترین منبع گردوغبار در ایران مرکزی است (سلیمانی ساردو و همکاران، ۱۴۰۰). مقایسه بین شبیه‌سازی‌های مبتنی بر پنج طرح انتشار گردوغبار در WRF-Chem و مشاهدات در شمال غربی چین نشان داد که این مدل به‌طورکلی عملکرد خوبی در شبیه‌سازی شار انتشار، الگوی فضایی منطقه منبع و همچنین تغییرات مکانی و زمانی توده غبار دارد (ژائو، ۲۰۲۰). شبیه‌سازی یک قسمت گردوغبار شدید با استفاده از WRF- Chem براساس رویکرد مجموعه بهینه نشان داد که WRF- Chem قادر است هر دو اثر مستقیم و نیمه مستقیم ذرات معلق گردوغبار را به خوبی شبیه‌سازی کند (Singh et al., 2021).

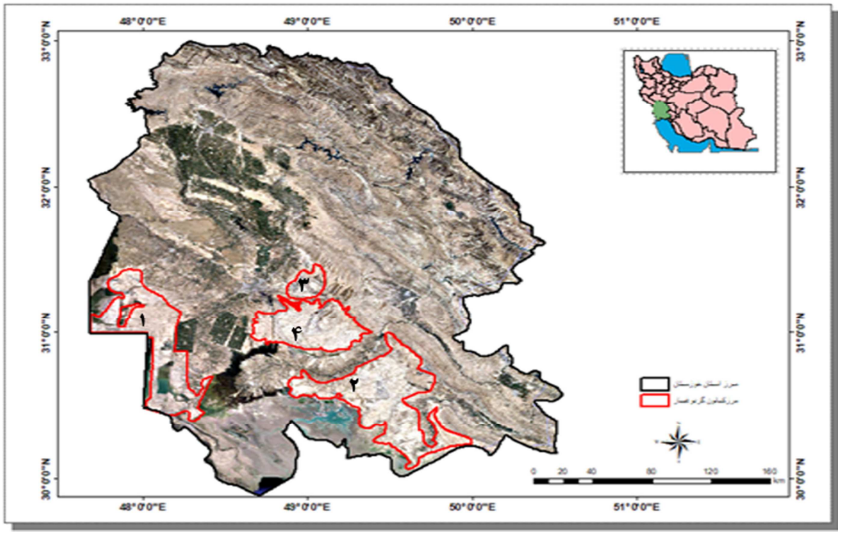
مقایسه نتایج شبیه‌سازی با اندازه‌گیری‌های زمینی و ماهواره‌ای نشان داد که WRF-Chem می‌تواند طوفان‌های شن قوی و برخی از طوفان‌های شن متوسط را ثبت کند؛ اما توانایی شبیه‌سازی طوفان‌های شن ضعیف نیاز به بهبود زیادی دارد (Han et al., 2021). بنابراین، در این پژوهش طوفان‌های شدید گردوغبار با میدان دید افقی ۱۰۰ متر درنظر گرفته شده است. خوزستان در جنوب غربی ایران بر روی یک دالان غبارآلود قرار دارد که از بیابان صحرا در افریقا تا چین امتداد دارد. این منطقه از دیرباز در مسیر عبور طوفان‌های گردوغباری بوده است؛ اما در دو دهه اخیر تحت تأثیر گردوغبار کانون‌های داخلی قرار گرفته است، چرا که به‌علت تغییر کاربری اراضی، وقوع و تداوم

خشکسالی، خشکیدن تالاب‌ها، رها شدن زمین‌های کشاورزی دیم، احداث سدهای خاکی و جلوگیری از ورود سیلاب‌های فصلی به دشت-های رسوبی، بخش‌هایی از این استان به کانون ریزگردها تبدیل شده است. گردوغبار تولیدشده در این کانون‌ها با گردوغبار همراه با سیستم‌های گردوغباری مهاجر همراه بوده و منجر به افزایش غلظت و شدت گردوغبار برای کلانشهرهایی مانند اهواز می‌شود که از اهمیت اجتماعی و اقتصادی بالایی برخوردار است. مساحت این کانون‌ها حدود ۷۴۲۷,۴ کیلومتر مربع است (درگاهیان و همکارن، ۱۴۰۰). هدف از این مطالعه، تعیین سهم حداکثر توان تولید گردوغبار هر کانون در تولید گردوغبارهای بیشینه استان خوزستان است. با توجه به وسعت کانون‌های گردوغبار داخلی و نیاز به هزینه‌های گزاف برای کنترل آنها، شناسایی مناطق با اولویت مقابله از اهمیت شایانی برخوردار است. در این پژوهش حداکثر پتانسیل توان تولید هر کانون مشخص و در دسترس مدیران و برنامه‌ریزان برای مقابله و کنترل گردوغبار داخلی قرار دارد.

داده‌ها

محدوده مورد مطالعه

استان خوزستان در جنوب غربی ایران قرار دارد و مرکز تولید نفت و گاز ایران به شمار می‌رود. مساحت استان خوزستان ۶۴,۰۵۷ کیلومتر مربع است و با ۴۷۱۰۵۰۶ نفر جمعیت، پنجمین استان پرجمعیت ایران است. این استان در موقعیت جغرافیایی ۲۹درجه و ۵۸ دقیقه تا ۳۳درجه و ۴ دقیقه عرض شمالی و ۴۷درجه ۴۱ دقیقه تا۵۰ درجه و ۳۹ دقیقه طول شرقی قرار دارد. متوسط بارندگی درازمدت سالانه این استان ۲۸۴ میلی‌متر و متوسط دمای سالانه آن ۲۵,۳ درجه سانتی‌گراد است. میانگین حداکثر دمای بلندمدت ۳۲,۴ درجه سانتی‌گراد و حداقل دمای بلندمدت ۱۸,۲ درجه سانتی‌گراد است. ۴۰ درصد مساحت آن کوهستانی و ۶۰ درصد از مساحت آن دشت‌های رسوبی است که به مرور زمان کانون‌های گردوغبار در آنها ایجاد شده است.



شکل ۱: موقعیت کانون‌های گردوغبار در استان خوزستان منبع (طرح جامع مطالعات کنترل کانون‌های گردوغبار داخلی)

انتخاب سامانه غباری

جهت مدل‌سازی و برآورد میزان توان تولید هرکدام از کانون‌های گردوغباری در مقادیر گردوغبار خوزستان، از آمار ایستگاه‌های آلودگی‌سنجی محیط زیست استفاده شد. این داده‌ها با گزارش‌های پدیده هوای حاضر و نیز مقادیر دید افقی برداشت‌شده از گزارش‌های سینوپتیک ایستگاه‌های اداره کل هواشناسی استان خوزستان مورد راست‌آزمایی و کنترل نهایی قرار گرفت و شرایط زیر درنظر گرفته شد؛ به‌طوری‌که جهت انتخاب سامانه، داشتن توامان همه شروط الزامی شد:

۱-شرط اول: انتخاب سامانه‌هایی که همگی در سال‌های خشک با شرط SPI < -0.5 رخ داده‌اند؛

۲- شرط دوم: گردوغبار سامانه AQI>400 باشد (ایستگاه خودکار محیط زیست)؛

۳- شرط سوم: دوام و ماندگاری پدیده در شرط بالا کمتر از ۱۲ ساعت نباشد (ایستگاه خودکار محیط زیست)؛

۴-شرط چهارم: همزمان دید افق را به زیر ۱۰۰ متر تقلیل داده باشد (داده‌های ایستگاه سینوپتیک سازمان هواشناسی کشور)؛

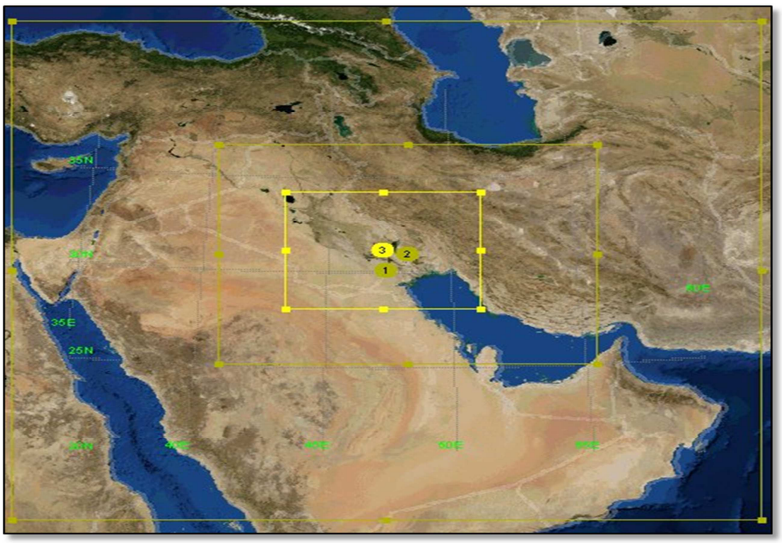
۵-شرط پنجم: پدیده گزارش‌شده در ایستگاه هواشناسی یکی از ۱۳ کد مربوط به پدیده‌های همراه با گردوغبار یا گردوخاک در استاندارد سازمان هواشناسی جهانی باشد.

پیکره‌بندی مدل

پیاده‌سازی مدل عددی در ۳ قلمرو انجام شد؛ اما در این پژوهش از یک قلمرو با فاصله مکانی ۹ کیلومتر استفاده شده است:

جدول ۱: پیکره‌بندی مدل

ردیف	داده‌های مورد استفاده	توضیح
۱	قلمروهای مدل	D3 = 3km ،D2 = 9km ،D1 = 27km
۲	قلمرو مورد استفاده در این پژوهش	D2 = 9km
۳	تعداد نقاط افقی	غرب به شرق ۱۶۶
۴	تعداد نقاط عمودی	جنوب به شمال ۱۴۵ نقطه
۵	داده‌های توپوپرافی	با حداکثر وضوح ۳۰ ثانیه (حدود ۹۱۷ متر عمودی و افقی)
۶	گام زمانی محاسبه :	۱ ساعته
۷	تفکیک سطوح قائم	۲۸ سطح



شکل ۲: محدوده انتخابی برای مدل‌سازی و محدوده اثر سیستم های گردوغبار شدید

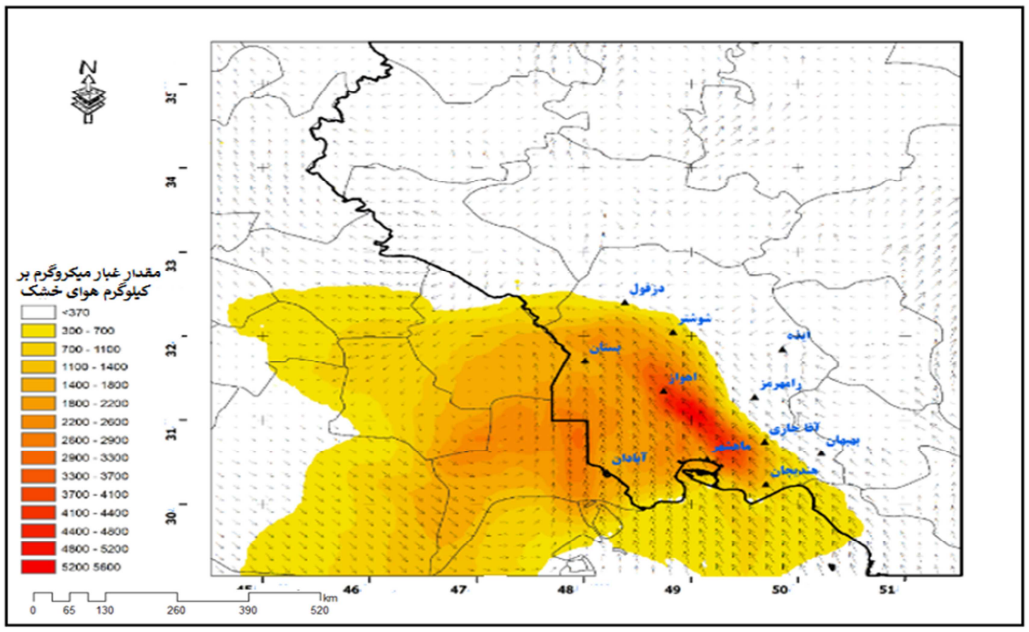
با توجه به شرایط بالا، ابتدا سه محدوده برای منطقه مورد مطالعه تعریف شد (شکل۲). جهت مشخص نمودن پتانسیل تحداکثر تولید گردوغبار هر یک از مناطق چهارگانه، فرض بر این شد که با توجه به تداوم خشکسالی و نوع دانه‌بندی خاک آن مناطق، می‌تواند کاندیدی برای کانون و تولید گردوغبار در استان باشند. در سال‌های دور، منطقه خوزستان محل اتصال رودهای بزرگ و پرآب بوده و همواره پروفیل خاک منطقه رطوبت بسیار زیادی را داشته و محل تجمع آبرفت و رسوب‌گذاری بستر رودخانه‌ها در محل اتصال به خلیج فارس بوده است. رسوباتی که همراه جریان‌های شدید آب رودخانه از کوه‌های بالادست حوضه آبریز بر اثر فرسایش شدید به پایین‌دست و دشت‌های جنوبی خوزستان منتقل شده‌اند. اما با توجه به احداث تعداد زیادی از سدهای بالادستی و نیز نوسانات خشکسالی رخداده، حق‌آبه دشت‌های وسیع پایین‌دستی که همیشه مرطوب بوده، قطع شده و در نتیجه لایه آبرفتی سطحی خاک که نتیجه جریانات دائمی، حاصل آب‌شویی خاک و رسوب‌گذاری می‌باشد، هم اکنون تبدیل به بیابان و شوره‌زار شده که نقش کانون گردوغبار محلی را بازی می‌کند. بنابراین، جهت اثبات این موضوع که کاهش سطح ایستایی آب و خشک شدن سطحی خاک موجب پدید آمدن این کانون‌های چهارگانه و احیانا خرد کانون‌های مجاور شده است، با توجه به حقیقتی که در بالا آمد و جهت اثبات نقش و اثر میزان رطوبت سطحی خاک در تولید گردوغبار منطقه‌ای و نیز میزان سهم هرکدام از این کانون‌ها، الگوریتم ذیل جهت مدل‌سازی عددی شرایط آب و هوایی و رفتار گردوغبار طراحی و اجرا شد:

ابتدا در دامنه مورد مطالعه، اجرای مدل در حالت واقعی و با فیزیک کامل جهت شبیه‌سازی رفتار غبار انجام شد تا برآورد مجموع کل گردوغبار منطقه (داخلی + خارجی) انجام شود. در مرحله دوم با توجه به اینکه در مرحله قبل تمام غبار مدل‌سازی‌شده حاصل تولید کانون‌های خارجی و داخلی می‌باشد، در این مرحله با آبدار کردن لایه خاک سطحی و تغییر کاربری زمین در هر کدام از کانون‌های ۴گانه مرحله به مرحله و توامان، میزان تولید غبار مورد بررسی قرار گرفت؛ با این توضیح که در صورت آبدار شدن هر یک از نواحی، دیگر امکان تولید غبار در کانون آن غیرفعال شد، چراکه با بالارفتن رطوبت خاک و آبدار شدن لایه سطحی دیگر غباری باقی نمی‌ماند که توسط باد به

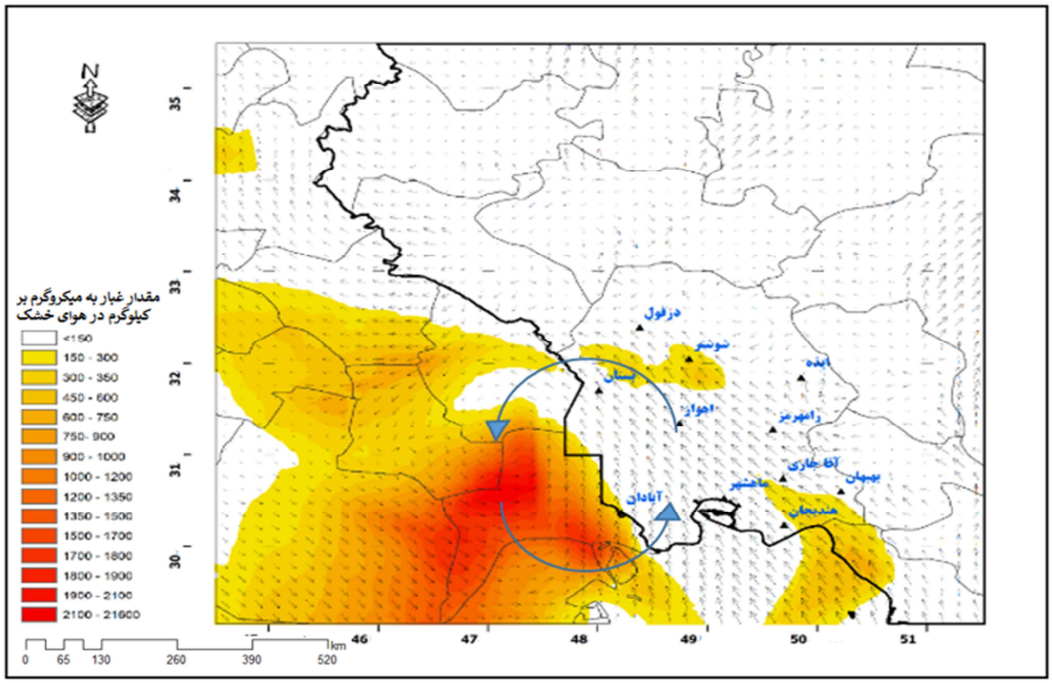
هوا پراکنده شود. با تغییر نوع کاربری زمین یعنی آبدار کردن محدوده کانون شماره ۱، این منبع از چرخه تولید غبار خارج شد و داده‌های تغییر داده‌شده را دوباره به ورودی مدل داده و کار مدل‌سازی برای دامنه مورد مطالعه مجدد انجام شد. این بدان معناست که مدل در حافظه خود منطقه کانون گردوغبار را به‌صورت منطقه آبگیری می‌بیند که هیچ سطح خشکی و خاکی ندارد و هیچ‌گونه پتانسیل گردوغباری را شامل نمی‌شود. در این حالت مجموع داده‌های غبار تولیدشده از مجموع غبار مدل‌سازی‌شده مرحله ۱ (کل غبار داخلی و خارجی) کم شد و در نهایت آنچه به‌دست آمد توان تولید غبار در کانون شماره ۱ محسوب شد. این مرحله از کار به ترتیب برای کانون‌های ۲، ۳ و ۴ انجام شد. در مرحله نهایی جهت بررسی امکان وجود کانون‌های ثانویه و غیر از کانون‌های ۴گانه معرفی‌شده در منطقه خوزستان، کل ناحیه مورد مطالعه را که از حدود عرض ۳۱٫۵ درجه به پایین می‌باشد، تغییر کاربری زمین داده و با این کار همانند مراحل قبل لایه سطحی خاک آبدار شد، به‌طوری‌که توان تولید غبار برای کل ناحیه از بین رفت. سپس داده‌های تغییر داده‌شده کاربری مجددا با شرایط جدید مدلسازی شد. سپس مقادیر غبار تجمعی برون‌داد مدل را از مقادیر غبار تجمعی مرحله اول کم شد و به این ترتیب نقش منطقه مورد مطالعه در ارتباط با تولید گردوغبار نسبت به کانون‌های خارجی مشخص شد. پس از مدلسازی ۹۴ سیستم گردوغبار معادل ۲۳۲۸ ساعت، ۳۹ سیستم اصلی انتخاب و میانگین تولید گردوغبار برای کل استان خوزستان و همچنین برای هر منبع به‌طور مستقل و در نهایت به‌صورت درصد بیان شد.

نتایج و بحث

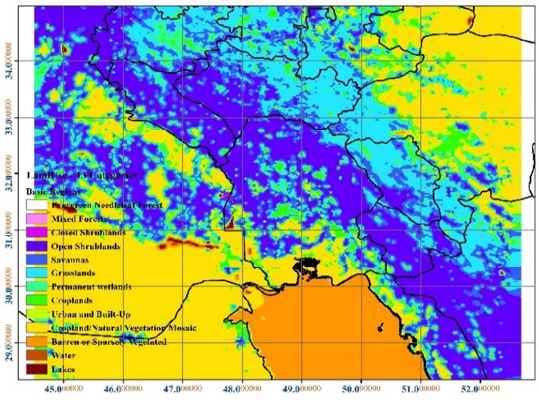
در ۳۹ سامانه گردوغباری، مدل‌سازی به‌صورت فیزیک کامل یعنی در حالت واقعی و در حالت تغییر کاربری زمین انجام شد. با توجه به حجم زیاد خروجی، یکی از شدیدترین طوفان‌های گردوغبار منطقه که در مجموع حدود ۳۲ ساعت در استان به طول انجامید، در تاریخ ۲۷ ژانویه ۲۰۱۷ انتخاب شد. این سامانه گردوغباری در اوج فعالیت خود توسط جریان‌های جنوب شرقی به سمت شمال غرب و در فاصله ماهشهر تا اهواز را آلوده و میدان دید را به شدت کاهش داد. در این سامانه همان‌طورکه از الگوی بادهای سطحی مشخص است، یک گردباد کوچک در منطقه نزدیک مرز ایران و عراق و در مجاورت استان خوزستان درحال فعالیت است که باعث بالا آمدن گردوغبار و حرکت منحنی از جنوب به شمال استان خوزستان می‌شود، به‌طوری‌که با کشیده شدن از جنوب به شمال، گردوغبار را در مسیر حرکت خود به حرکت در می‌آورد (شکل۳). با تغییر در کاربری زمین و آبدار نمودن کل نیمه جنوبی خوزستان بدان معنا که لایه خاک در تمام این مناطق مرطوب شده و دیگر پتانسیلی برای تولید گردوغبار نخواهد داشت. در این حالت با اجرای مجدد مدل در محدوده مورد مطالعه همان‌طورکه از شکل ۴ بر می‌آید، غبار روی استان خوزستان از بین رفته و به حداقل مقدار خود رسیده است. بنابراین، در اینجا اثبات می‌شود که کانون‌های داخلی خوزستان در این سامانه بسیار فعال بوده و سهم عمده‌ای در تولید غبار این منطقه در بیشینه فعالیت خود دارند. در این پژوهش به منظور اجرای الگوریتم مدلسازی طراحی‌شده و برآورد پتانسیل حداکثر توان تولید گردوغبار هر یک از مراکز، مقادیر کاربری اراضی در هر یک از منابع به کاربری آب تغییر یافت (شکل ۵- تا ۱۰).



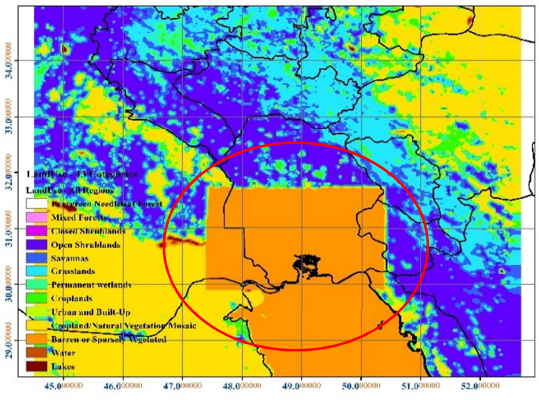
شکل۳: طوفان گردوغبار تاریخ ۲۷/۰۱/۲۰۱۷ UTC۰۸ – مدل‌سازی در حالت فیزیک کامل



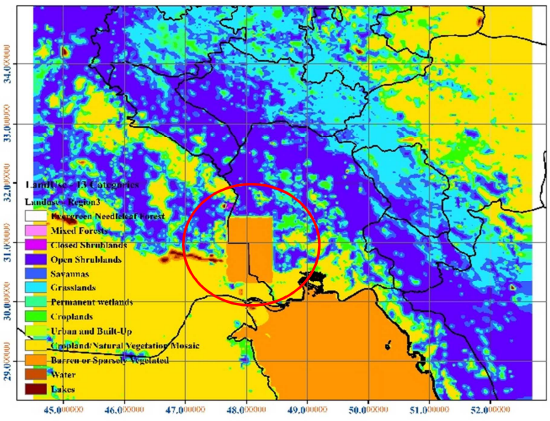
شکل۴: طوفان گردوغبار تاریخ ۲۷/۰۱/۲۰۱۷ UTC۰۸ – مدل‌سازی در حالت تغییر کاربری زمین برای تمام کانون‌ها



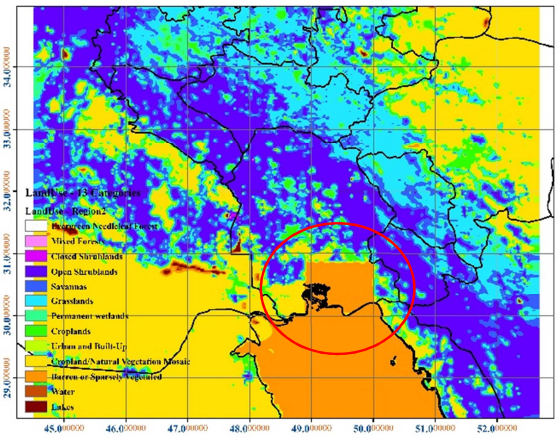
شکل۵: کاربری طبیعی زمین در منطقه مورد مطالعه



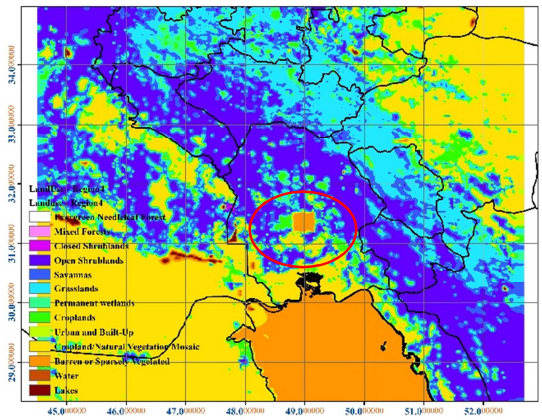
شکل۶: تغییر الگوی کاربری زمین برای کل کانون



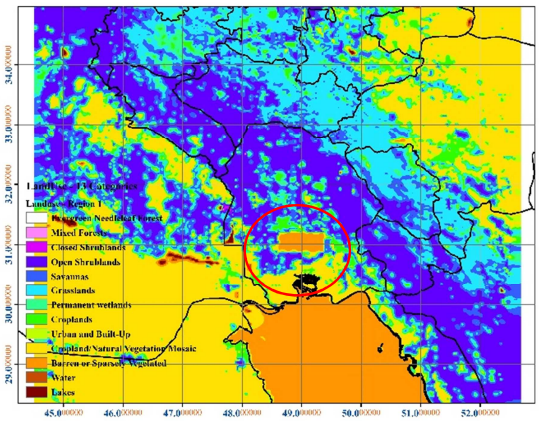
شکل ۷: تغییر الگوی کاربری زمین برای کانون شماره ۱



شکل ۸: تغییر الگوی کاربری زمین برای کانون شماره ۲



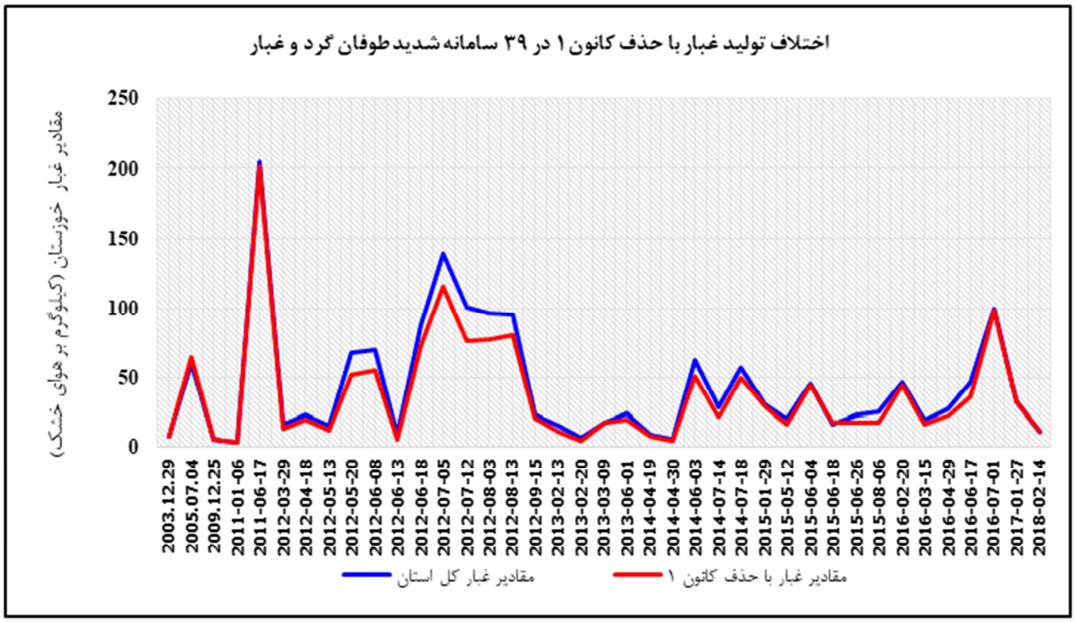
شکل۹: تغییر الگوی کاربری زمین برای کانون شماره ۳



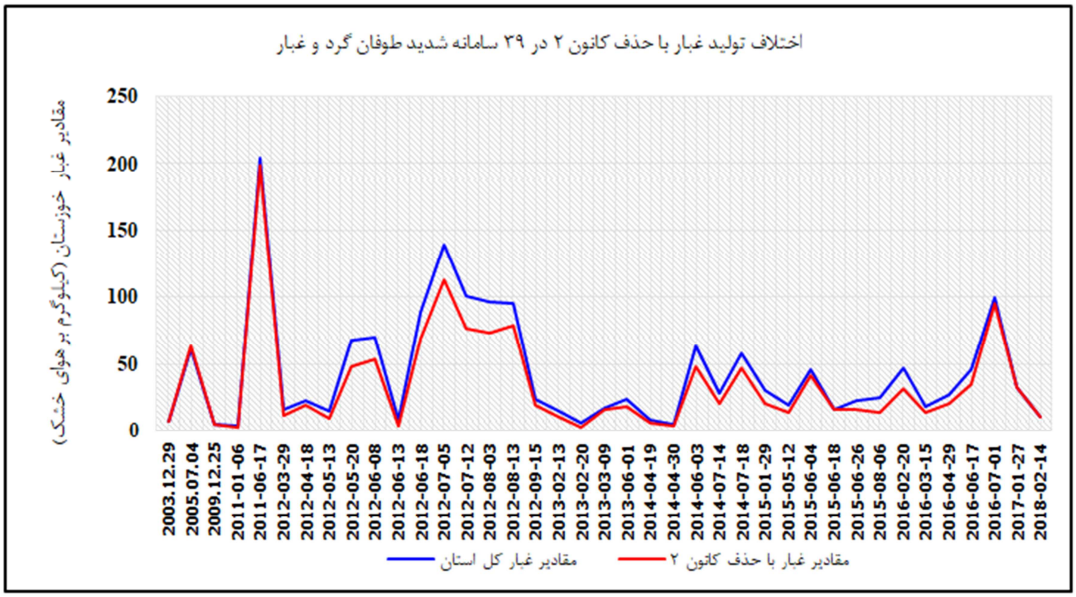
شکل۱۰: تغییر الگوی کاربری زمین برای کانون شماره ۴

مقادیر گردوغبار مدل‌شده برای کل استان خوزستان بر اساس میکروگرم بر کیلوگرم هوای خشک محاسبه شد. مقایسه تفاوت تولید گردوغبار در شرایط عادی و حذف گردوغبار در چهار مرکز جنوب خوزستان به تفکیک و در مجموع محاسبه شد (شکل ۱۲ تا ۱۵). در مواقعی که منحنی فراز و فرود تولید غبار در دو حالت مدل‌سازی‌شده طبیعی (رنگ آبی) و حالت تغییر کاربر داده‌شده (رنگ قرمز) روی هم منطبق هستند، نشان می‌دهد که مقادیر غبار حالت واقعی با مقادیر غبار استان خوزستان با حذف تک تک کانون‌ها برابر بوده و این بدان مفهوم است که کل غبار دیدبانی‌شده در خوزستان در زمان فعالیت سامانه کاملا مبداء خارجی داشته و کانون‌های داخلی هیچ‌گونه نقشی و یا نقش موثری در تغذیه مقادیر غبار این طوفان‌ها نداشته‌اند؛ چرا که مقادیر غبار خوزستان قبل از حذف کانون‌ها و بعد از حذف کانون‌ها تغییر نداشته است. در مواقعی که مقادیر غبار استان روند صعودی یا روند نزولی داشته (منحنی رنگ آبی) به مقادیر غباری که با حذف کانون‌های داخلی به‌دست‌آمده، اگر منحنی رنگ قرمز با اندکی فاصله نسبت به محور طول منحنی رنگ آبی را دنبال کند به معنای آن است که کانون‌های داخلی فعال بوده و در حال تولید غبار و تغذیه سامانه گردوغباری می‌باشند که از خارج استان وارد شده است.

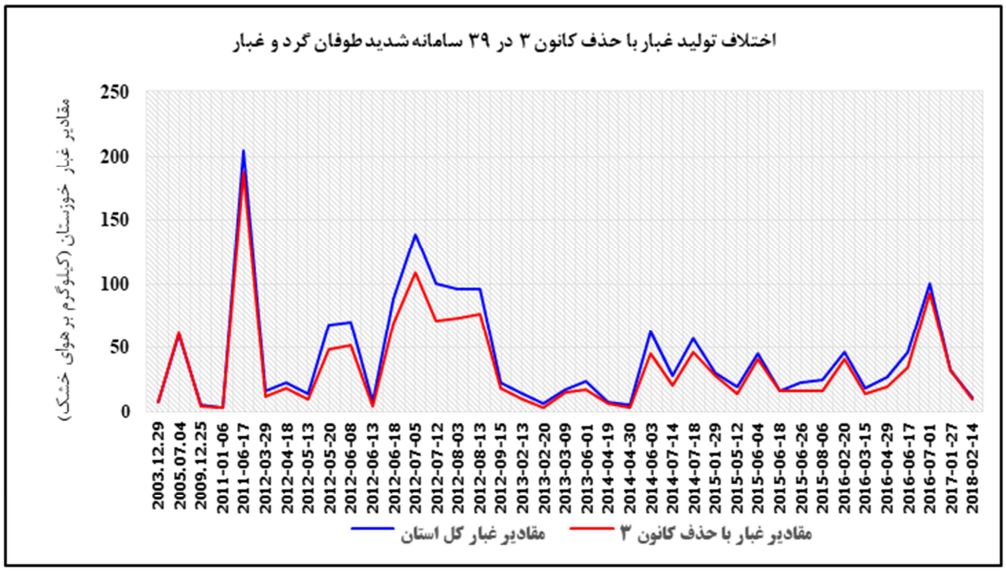
همان‌طورکه در شکل ۱۴ نشان داده شده است، در کانون شماره ۴ تنها در بعضی از ۳۹ سامانه گردوغبار رخ‌داده در خوزستان فعالیت موثر داشته است و آن در تاریخ هایی که با حذف کانون شماره ۴ مقادیر غبار خوزستان کاهش یافته است و به معنای فعالیت محلی سامانه بوده که موجب تولید غبار از کانون جنوب شرق اهواز شده است. در شکل ۱۲ و ۱۱ مقدار فعالیت کانون ماهشهر، امیدیه و هندیجان و کانون ۱ هورالعظیم شمال خرمشهر کمی بیشتر از کانون جنوب‌شرق اهواز می‌باشد. زمان فعالیت کانون‌های ۲ و ۱ نیز همانند کانون جنوب شرق اهواز ۴ در زمان‌های خاصی بوده که الگوی سینوپتیک حاکم در خرد مقیاس عملکرد محلی و نقطه‌ای جهت فعال‌سازی این کانون‌های محلی داشته است. شکل ۱۳ در کانون شماره ۳ در بعضی از سامانه فعالیت موثر داشته است و آن در تاریخ هایی که با حذف کانون شماره ۳ مقادیر غبار خوزستان کاهش یافته است و به معنای فعالیت محلی سامانه بوده که موجب تولید غبار از کانون شرق اهواز شده است. با تغییر کاربری و آبدار نمودن نیمه جنوبی استان خوزستان که دربرگیرنده تمام کانون‌های چهارگانه و نیز مناطق بینابینی آن می‌باشد، مشاهده می‌شود که مقادیر غبار در بیشتر سامانه‌ها کاهش یافته و این بدان مفهوم است که نیمه جنوبی خوزستان نقش بسزایی در تولید غبار محلی استان دارد (شکل ۱۵).



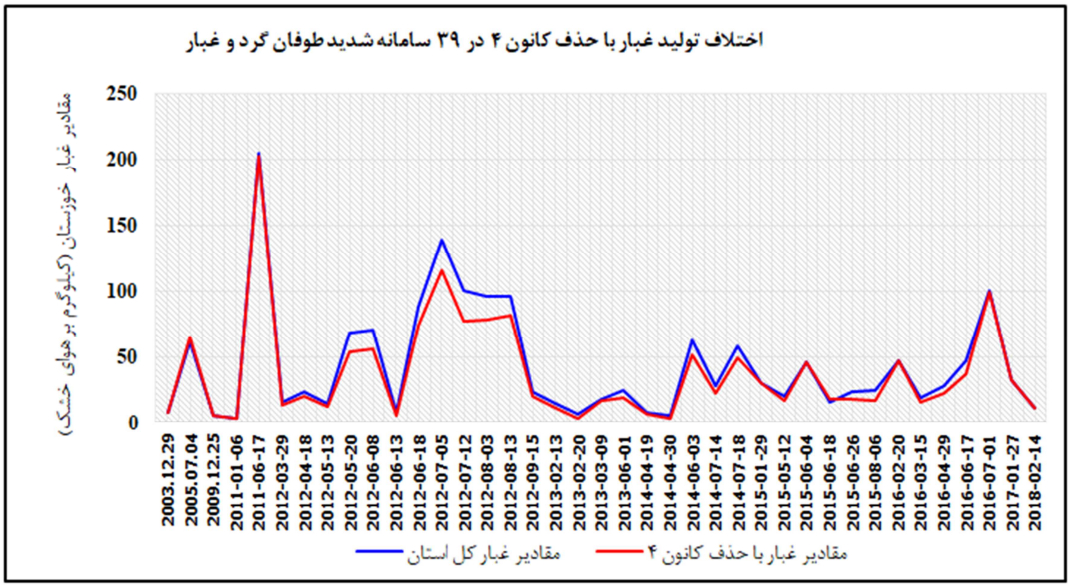
شکل۱۱: مقدار کل غبار در استان خوزستان در مقایسه با مقدار کل غبار خوزستان در غیاب کانون شماره ۱



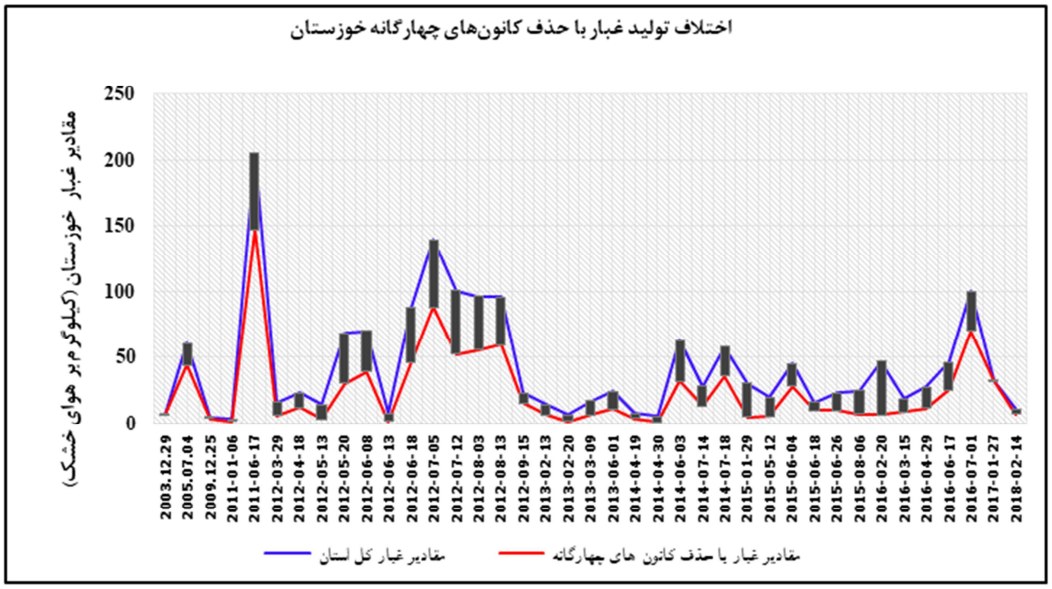
شکل۱۲: مقدار کل غبار در استان خوزستان در مقایسه با مقدار کل غبار خوزستان در غیاب کانون شماره ۲



شکل۱۳: مقدار کل غبار در استان خوزستان در مقایسه با مقدار کل غبار خوزستان در غیاب کانون شماره۳



شکل۱۴: مقدار کل غبار در استان خوزستان در مقایسه با مقدار کل غبار خوزستان در غیاب کانون شماره ۴



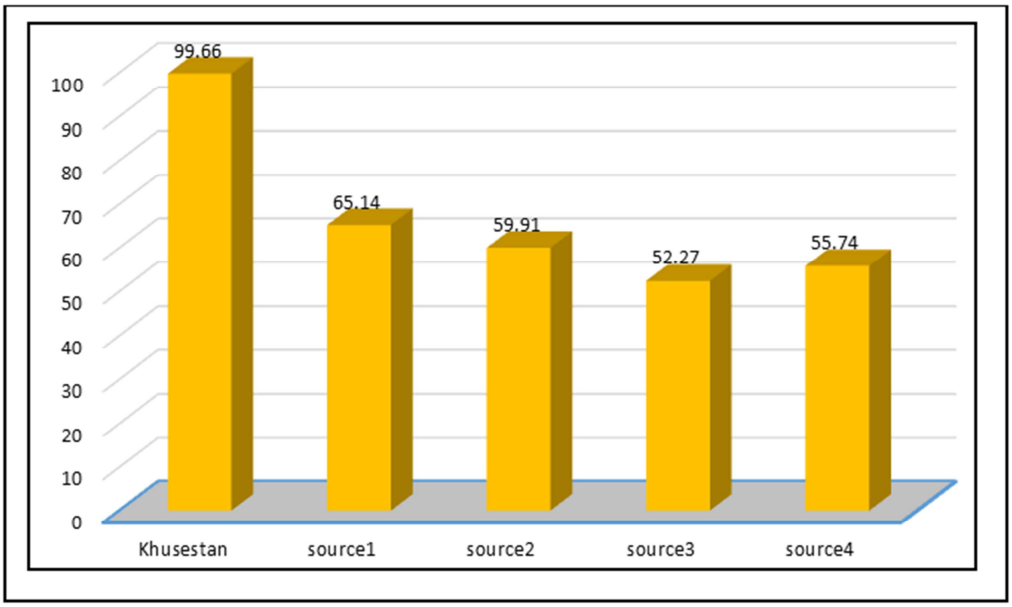
شکل ۱۵: مقایسه تفاوت تولید گردوغبار در شرایط عادی با شرایط حذف گردوغبار در چهار کانون جنوب خوزستان.

پس از مدلسازی ۹۴ سیستم گردوغبار معادل ۲۳۲۸ ساعت، ۳۹ سیستم اصلی انتخاب و میانگین تولید گردوغبار برای کل استان خوزستان و همچنین برای هر منبع به‌طور مستقل و در نهایت به‌صورت درصد بیان شد (جدول ۲). میانگین تولید گردوغبار خوزستان ۸۳ درصد بوده که بیشترین سهم آن مربوط به سرچشمه شماره ۱ یعنی هورالعظیم و شمال خرمشهر است که دارای کاربری تالاب بوده و در دوره‌های متناوب خشک می‌شود و دارای رسوبات تالابی ریزدانه است.

جدول ۱: میانگین درصد تولید گردوغبار توسط هر مرکز به‌طور مستقل و در کل استان خوزستان

کانونها	کل گردوغبار منطقه	کانون ۱	کانون ۲	کانون ۳	کانون ۴	گردوغبار جنوب خوزستان
مقدار گردوغبار بر حسب $\mu g/kg - DryAir$	۴۳۲۶۳۷۵۲,۴۹	۳۵۱۵۹۵۸۴,۱۳	۳۵۴۸۷۴۸۹,۲۶	۳۷۸۱۳۲۵۹,۵۷	۳۷۳۶۲۱۸۷,۵۴	۲۴۳۵۵۵۹۳,۸۸
درصد غبار تولیدشده	٪۱۰۰	٪۱۸,۷۳	٪۱۷,۹۷	٪۱۲,۶۰	٪۱۳,۶۷	٪۸۳,۳۰

بااین‌حال، چهار منبع فرضی به تنهایی و در سیستم‌های گردوغبار چندگانه دارای حداکثر مطلق هستند و این نشان می‌دهد که این مراکز به تنهایی و در صورت شرایط مناسب می‌توانند مقادیر زیادی گردوغبار تولید کنند. میانگین حداکثر مطلق گردوغبار تولیدشده در هر منبع در سیستم‌های مختلف در شکل ۱۲ نشان داده شده است. این به معنای میانگین میزان گردوغبار تولیدشده توسط هر یک از مراکز در اوج فعالیت خود است.



شکل ۱۶: میانگین حداکثر مطلق منبع فعالیت در بلند مدت به‌طور مستقل و در طوفان‌های گردوغبار مختلف

نتیجه‌گیری

بیشتر طوفان‌ها و منابع گردوغبار در خاورمیانه در عراق، سوریه، کویت، شرق اردن و بخش‌هایی از شمال شبه‌جزیره عربستان رخ داده است. بخش قابل‌توجهی از این گردوغبار به ایران سرازیر می‌شود و مناطق وسیعی از ایران به‌ویژه استان‌های جنوب غربی را تحت تاثیر قرار می‌دهد. علاوه‌بر منابع گردوغبار با منشاء خارجی، طی دو دهه اخیر به دلایل مختلفی ازجمله خشکسالی با چرخه طولانی و بی‌سابقه، تغییر کاربری اراضی و عدم تامین حقابه تالاب‌ها و دشت‌های رسوبی، ساخت سدهای متعدد، تخریب مراتع و اراضی کشاورزی رهاشده در دشت خوزستان منابع گردوغبار داخلی ایجاد شده است. مساحت کل این کانون‌ها ۷۴۲۷۳۷٫۵۳ هکتار است که در این مطالعه به‌عنوان ۴ کانون آمده است. طی سال‌های اخیر گردوغبار ناشی از این مراکز به‌دلیل مجاورت با مراکز جمعیتی ازجمله کلانشهر اهواز خسارت‌های جانی و مالی زیادی به بار آورده است.

به منظور تعیین پتانسیل تولید گردوغبار در کانون‌های داخلی استان خوزستان، از مدل عددی WRF و مدل جفت-شده WRF-Chem استفاده شد. شبیه‌سازی گردوغبار در استان خوزستان با استفاده از مدل WRF/Chem نشان داد در گردوغبارهای شدید این مدل پیش‌بینی خوبی از گردوغبار ارائه داده و در گردوغبارهای ضعیف توزیع افقی گردوغبار با دقت خوبی پیش‌بینی نمی‌شود (مبارک حسن و همکاران، ۱۳۹۳). در این پژوهش هم برای بررسی حداکثر توان تولید گردوغبار توسط هر کانون، از رخدادهای شدید با میدان دید افقی کمتر از ۱۰۰ متر استفاده شد. ارزیابی برون‌داد مدل WRF-Chem نشان داد، پیکربندی‌های مختلف بیشترین تأثیر را در تندی باد داشته و در جهت باد نقش کمتری دارند. بیشینه سرعت باد برآوردشده توسط این مدل بیش از داده مشاهداتی بوده است. با افزایش تفکیک‌پذیری مدل از دامنه ۲۷ به ۹ کیلومتر، عملکرد آن در شبیه‌سازی باد ده متری بهبود یافته است (مبارک

حسن و همکاران، ۲۰۲۲) که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد؛ به‌طوری‌که در این پژوهش هم برای شبیه‌سازی از قلمرو ۹ کیلومتری که عملکرد بسیار خوبی در شبیه‌سازی گردوغبار در استان خوزستان داشت، استفاده شد. هدف از این مطالعه، برآورد توان تولید بیشینه مقادیر گردوغبار در چهار کانون در نیمه جنوبی دشت خوزستان با استفاده از مدل WRF- Chem بود. مطالعه با روش‌های مرسوم مستلزم صرف هزینه‌های هنگفت، ابزار و نیروی انسانی و ساعت‌ها کار میدانی بر روی کانون‌های گردوغبار و تجزیه‌وتحلیل تصاویر ماهواره‌ای است که اغلب دارای خطاهای همپوشانی زیادی است. ازآنجایی‌که مدل‌سازی تنها یک سیستم به هیچ وجه نمی‌تواند بیانگر شرایط طبیعی و میانگین رفتار جو و مراکز تولید گردوغبار منطقه در حالت واقعی باشد، بنابراین سامانه‌های جوی که گردوغبار بیش از ۴۰۰ میکرون و میدان دید افقی ۱۰۰ متر داشتند، مورد مطالعه قرار گرفتند. از ۹۴ سامانه گردوغباری، ۳۹ سامانه که تنها در خوزستان بیشترین آلودگی را داشتند، انتخاب و برای همه آنها کار مدل‌سازی انجام شد. مطابق با الگوریتم برآورد گردوغبار پیشنهادی، کار مدلسازی با تغییر کاربری اراضی برای هر مرکز انجام شد. با تغییر کاربری و آبیاری نیمه جنوبی استان خوزستان که هر چهار کانون و نواحی میانی آن را شامل می‌شود، مشاهده شد که میزان گردوغبار در اکثر سامانه‌ها کاهش یافته و این بدان معناست که نیمه جنوبی خوزستان نقش بسزایی در تولید گردوغبار داشته است.

میانگین تولید گردوغبار در کل خوزستان ۸۳ درصد بوده که بیشترین سهم آن مربوط به سرچشمه هورالعظیم و شمال خرمشهر (شماره ۱) است. این کانون کاربری تالاب دارد و در دوره‌های متناوب به دلایل مختلف خشک شده است. سهم کل میانگین تولید گردوغبار در چهار کانون ۶۲,۹۴ درصد بوده که در صورت کاهش نسبت به میزان گردوغبار تولیدی در منطقه جنوب خوزستان که ۸۳,۳۰ درصد کل گردوغبار خوزستان در زمان وقوع سامانه‌های مختلف است. ۳۶،۲۰ درصد باقیمانده باقی می‌ماند که این مقدار سهم منابع دیگر ناشناخته مانند منابع ثانویه است که یا خود پتانسیل تولید گردوغبار را دارند و یا گردوغبار ایجادشده از آنها حاصل تخلیه منابع عمده و بزرگ‌تر در آنهاست. به عبارت دیگر، این کانون‌های ریز و ثانویه ممکن است اساساً مناطق بیابانی نباشند؛ اما گردوغباری که تولید می‌کنند، نتیجه سال‌ها تخلیه منابع دیگر در این مناطق فرعی باشد. هر یک از چهار منبع به تنهایی در هنگام وقوع سیستم‌های مختلف ازجمله گردوغبار بسیار سنگین و بالای ۴۰۰ میکروگرم بر کیلوگرم هوای خشک، در اوج فعالیت خود به‌طور متوسط (متوسط حداکثر) پتانسیل تولید بیش از ۵۰ درصد از کل گردوغبار را دارند. نکته مهم و قابل‌توجه آنکه هنگام ورود گردوغبار از منابع خارجی به منطقه خوزستان، کانون‌های داخلی فعال شده و با عبور سامانه بزرگ مقیاس از روی هرکدام از کانون‌های محلی و داخلی، مقادیر غبار سامانه تقویت شده و بر مقدار کل غبار افزوده شده است. در سال‌های اخیر پس از شناسایی و تعیین حدود گردوغبار در دشت خوزستان توسط پژوهشکده جنگل ها و مراتع، عملیات کنترل ریزگردها با روش‌های بیولوژیکی در سطح وسیع انجام شده است. پیشنهاد می‌شود که اثرگذاری عملکرد اقدامات انجام‌شده بر رخداد گردوغبار با منشاء کانون‌های داخلی با استفاده از مدل WRF-Chem اندازه‌گیری شود.

تقدیر و تشکر

این مقاله مستخرج از طرح پژوهشی تعیین سهم کانون‌های گردوغبار داخلی در استان خوزستان می‌باشد که بدین-وسیله از معاونت پژوهشی موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور قدردانی به‌عمل می‌آید.

منابع

آزادی، مجید؛ محمدی، سیده عاطفه. (۱۳۹۸). پیش‌بینی احتمالاتی دمای کمینه و بیشینه روزانه روی ایران با استفاده از سامانه همادی دو عضوی. نیوار، ۴۳(۱۰۶-۱۰۷)، ۵۴-۶۲.

اسعدی اسکوئی، ابراهیم؛ محمدپورپنچاه، محمدرضا؛ گودرزی، لیلا؛ شکوهی، مجتبی. (۱۴۰۰). ارزیابی عملکرد مدل WRF در پیش‌بینی تبخیر و تعرق گیاه برنج براساس داده‌های لایسیمتری در جلگه مرکزی گیلان .حفاظت منابع آب و خاک، ۱۱(۲)، ۱-۱۱.

اسماعیل‌پور، رضا؛ ملکوتی، حسین؛ عراقی‌زاده، محسن. (۱۳۹۳). ارزیابی انرژی باد به‌وسیله مدلWRF، (مطالعه موردی برای استان کرمان). نیوار، ۳۸(۸۵-۸۴)، ۶۹-۸۱.

اصغری، محمد؛ مشکوتی، امیرحسین؛ رنجبر، عباس؛ مرادی، محمد. (۱۳۹۹). مطالعه و ارزیابی طرح‌واره‌های گسیل گردوخاک در مدل WRF-Chemتوفان شرق و جنوب‌شرق کشور (مطالعه موردی ۱۱ تا ۱۳ آگوست ۲۰۱۸) .پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، (۴۳)، ۸۷-۹۸.

اکبری، زینب؛ مسعودی، حسین؛ مرادپور، بهروز؛ داودی، روح‌اله. (۱۴۰۰). ارزیابی پس پردازش بارش در مدل پیش‌بینی عددی WRF در محدوده استان لرستان طی ماه‌های مارس و آوریل ۲۰۱۹. نیوار، ۴۵(۱۱۲-۱۱۳)، ۱۵۱-۱۶۲.

انصاری، محمدرضا؛ نوروزی، آذین. (۱۴۰۰). بررسی تغییرات دمای سطح زمین با کاربری اراضی در کانون گردوغبار جنوب شرق اهواز با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸. تحقیقات آب‌وخاک ایران، ۵۲(۷)، ۱۸۲۵-۱۸۴۰.

ایران‌منش، فاضل. (۱۴۰۰). نقش انسان بر مورفولوژی رودخانه‌ای هولوسن بالایی و شکل‌گیری کانون‌های گردوغبار در جنوب‌غرب استان خوزستان. مجله آمایش جغرافیایی فضا، ۱۱(۴۰)، ۷۱-۸۲.

پهلوان، راضیه؛ مرادی، محمد؛ تاج‌بخش، سحر؛ آزادی، مجید؛ رهنما، مهدی. (۱۴۰۰). حساسیت‌سنجی شبیه‌سازی عددی دو رخداد مه در فرودگاه اردبیل به طرح‌واره لایه مرزی سیاره‌ای با استفاده از مدلWRF . نیوار، ۴۵(۱۱۴-۱۱۵)، ۷۰-۸۳.

جلالی، مجتبی؛ تقوی، فرحناز. (۱۳۹۸). به‌کارگیری الگوریتم ژنتیک جهت پس پردازش پارامتر آب قابل بارش پیش‌بینی مدل عددی WRFبا استفاده از داده‌های ماهواره زمین ایستای METEOSAT8 در نواحی فاقد ایستگاه جو بالای ایران. نیوار، ۴۳(۱۰۴-۱۰۵)، ۴۱-۴۴.

جویباری، سیده اکرم؛ رضائی، پیمان؛ سلیمانی، فریدون؛ داوودی، حمید. (۱۳۹۸). ریزگرد و کانون‌های آن: مبانی و روش‌های شناسایی و تثبیت این کانون‌ها با نگرش ویژه به دشت خوزستان. دو فصلنامه رسوب‌شناسی کاربردی، ۷(۱۴)، ۱۲۹-۱۴۲.

حیدریان، پیمان؛ اژدری، علی؛ جودکی، محمد؛ درویشی خاتونی، جواد؛ شهبازی، رضا. (۱۳۹۶). شناسایی منشأهای داخلی توفان‌های گردوغبار با استفاده از سنجش‌ازدور، GIS و زمین‌شناسی (مطالعه موردی: استان خوزستان) .فصلنامه علمی علوم زمین، ۲۷(۱۰۵)، ۳۳-۴۶.

خان‌سالاری، سکینه؛ آزادی، مجید. (۱۴۰۰). بررسی تاثیر تفکیک افقی و قائم مدل WRF بر پیش‌بینی بارش: چند مطالعه موردی. نیوار، ۴۵(۱۱۴-۱۱۵)، ۲۷-۴۰.

خورشیددوست، علی محمد؛ اسدی، مهدی؛ حاجی محمدی، حسن. (۱۳۹۹). شبیه‌سازی توفان تندری با استفاده از مدل WRF در استان کرمانشاه مطالعه موردی: ۳۱ مارس ۲۰۱۴ .پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، (۴۳)، ۷۳-۸۶.

حمیدیان‌پور، محسن؛ مفیدی، عباس؛ سلیقه، محمد. (۱۳۹۵). تحلیل ماهیت و ساختار باد سیستان. مجله ژئوفیزیک ایران. ۱۰(۲)، ۸۳-۱۰۹.

حمیدیان‌پور، محسن؛ شجاع کلاته میرعلی، فائزه. (۱۴۰۱). مقدمه‌ای بر روش‌ها و شگردهای مدل‌سازی اقلیم و تغییر اقلیم. انتشارات دانشگاه سیستان و بلوچستان، چاپ اول، ۳۸۸ صفحه.

درگاهیان، فاطمه؛ تیموری، سارا؛ لطفی‌نسب اصل، سکینه؛ رضوی زاده، سمانه. (۱۳۹۸). بررسی تغییر کاربری زمین در هور منصوریه و ارتباط آن با رخدادهای خشک‌سالی و گردوغبار در کلانشهر اهواز. پژوهش‌های آبخیزداری، ۳۲(۴)، ۹۴-۱۰۴.

درگاهیان، فاطمه؛ خسروشاهی، محمد؛ لطفی‌نسب اصل، سکینه. (۱۴۰۰). خطرات احتمالی خشکیدگی تالاب شادگان و شناسایی مناطق تحت تاثیر ناشی از گردوغبار آن. تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۸ (۲) :۱-۱۴.

دانیالی، محمد؛ محمدنژاد، بایرامعلی؛ کریمی، نعمت‌الله. (۱۳۹۷). تحلیل مکانی گردوغبار استان خوزستان به کمک تصاویر ماهواره‌ای. سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی. ۹(۱) ۵۸-۷۳.

ذاکری، زینب؛ آزادی، مجید؛ صحرائیان، فاطمه. (۱۳۹۳). راستی آزمایی برون‌داد مدل WRF برای بارندگی بر روی کشور ایران در دوره فوریه تا انتهای می سال ۲۰۰۹. نیوار.10-3 ,(86-87)38 ,

ساسانیان، سوزان؛ آزادی، مجید؛ عسگری شیرازی، حسن؛ میرزائی، ابراهیم. (۱۳۹۴). ارزیابی عملکرد مدلWRFبا نُه پیکربندی فیزیکی مختلف برای پیش‌بینی بارش زمستانه جنوب‌غرب ایران. نیوار.۳۹(۹۰-۹۱)، ۱۵-۲۶.

سلیمانی ساردو، فرشاد؛ مصباح زاده، طیبه؛ سلاجقه، علی؛ زهتابیان، غلامرضا؛ رنجبر، عباس؛ مارسلو میگیلتا، ماریو؛ کرمی، سارا. (۱۳۷۹). شناسایی کانون‌های گردوغبار با استفاده از مدل WRF - Chem و طرح‌واره‌های فرسایش بادی GOCART و) AFWA طوفان شبیه‌سازی-شده ۲ خرداد ۱۳۹۷. فصلنامه علوم محیطی، ۱۹(۲)، ۹۱-۱۱۰.

سلیمانی ساردو، فرشاد؛ کرمی، سارا؛ وکیلی تجره، فرزانه. (۱۴۰۰). شبیه‌سازی و تحلیل عددی طوفان گردوغبار ۱۰ جولای ۲۰۱۴ با مدل-های جهانی در ایران مرکزی. پژوهش‌های آبخیزداری، ۳۴(۴)، ۲-۱۵.

عزیزی، قاسم؛ میری، مرتضی؛ نبوی، سید امید. (۱۳۹۱). ردیابی پدیده گردوغبار در نیمه غربی ایران. مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، ۳(۷)، ۶۳-۸۱.

فتحی، مائده؛ آزادی، مجید؛ کمالی، غلامعلی؛ مشکاتی، امیرحسن. (۱۳۹۸). استفاده از سامانه همادی با چند مدل برای پیش‌بینی بارش روی ایران. نیوار، ۴۳(۱۰۶-۱۰۷)، ۶۳-۶۸.

مبارک حسن، الهام؛ غفاریان، پروین؛ ورشوساز، کتایون؛ آزادی، مجید. (۱۳۹۳). شبیه‌سازی گردوغبار در استان خوزستان با استفاده از مدل WRF/Chem (مطالعه موردی: ۲۶ تا ۲۸ مارس ۲۰۱۰). نیوار. ۳۸(۸۴-۸۵)، ۴۵-۵۶.

مزیدی، احمد؛ جعفری زوج، سیده فاطمه؛ حیدری، سمیه. (۲۰۱۵). شبیه‌سازی طوفان گردوغبار ۷ بهمن ۱۳۸۷ در مدل WRF استان فارس. مجله اقلیم‌شناسی کاربردی، ۲(۲)، ۴۹-۶۸.

ملکوتی، حسین؛ علی محمدی، مهریار. (۱۳۹۳). مطالعه حساسیت شدت و مسیر طوفان حاره‌ای گونو به پارامترسازی‌های شارهای سطحی مدلAdvanced Hurricane WRF . جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۳(۱)، ۹۷-۱۱۲.

میری، مرتضی؛ پیله وران، راضیه؛ لشنی زند، مهران؛ نوروزی، علی اکبر. (۱۴۰۰). آشکارسازی ماهیت هواویزهای جوی با استفاده از مدل WRF-Chem و داده‌های سنجش‌ازدور (مطالعه موردی: غرب و جنوب غرب ایران). حفاظت منابع آب و خاک. ۱۰(۴)، ۸۱-۹۴.

نصراصفهانی، مهرداد؛ یزدان پناه، حجت الله؛ نصراصفهانی، محمدعلی. (۱۳۹۸). ارزیابی مدل WRF برای پیش‌بینی دما و رخداد سرمازدگی در حوضه آبریز زاینده‌رود. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی.۵۱(۱)، ۱۶۳-۱۸۲.

نیک فال، امیرحسین؛ کرمی، سارا؛ رنجبر سعادت آبادی، عباس؛ صحت کاشانی، ساویز. (۱۳۹۶). قابلیت‌های مدل عددی Chem-WRF در برآورد غلظت گردوخاک (مطالعه موردی طوفان گردوخاک تهران). فصلنامه علوم محیطی، ۱۵(۱)، ۱۱۵-۱۲۶.

نوروزی، آذین؛ انصاری محمدرضا. (۱۴۰۰). ارزیابی کارایی مدل سلول‌های خودکار- مارکوف در پیش‌بینی تغییرات مکانی-زمانی کاربری اراضی در کانون ریزگرد جنوب و جنوب شرق اهواز. علوم آب و خاک. ۲۵ (۳)، ۷۹-۹۴.

Alizadeh Choobari, O., Zawar-Reza, P., and Sturman, A., 2014, Mesoscale modeling of the “wind of 120 days” and associated mineral dust distribution over eastern Iran using WRF/Chem: Atmos. Res., 143, 328–341.

Alizadeh-Choobari, O., Sturman, A., &Zawar-Reza, P. (2015). Global distribution of mineral dust and its impact on radiative fluxes as simulated by WRF-Chem. Meteorology and Atmospheric Physics, 127(6), 635–648.

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, Aerosol Air Quality Research, Vol. 11, 419–428.

Han, T., Pan, X., & Wang, X. (2021). Evaluating and improving the sand storm numerical simulation performance in Northwestern China using WRF-Chem and remote sensing soil moisture data. Atmospheric Research, 251, 105411.

Hamzeh, N. H., Karami, S., Kaskaoutis, D. G., Tegen, I., Moradi, M., & Opp, C. (2021). Atmospheric dynamics and numerical simulations of six frontal dust storms in the Middle East region. Atmosphere, 12(1), 125.

Hossein Hamzeh N, Fattahi E, Zoljodi M, Ghaforian P, Ranjbar A. Synoptic-dynamic analysis of dust storm and its simulation in the southwest of Iran in summer 2005. jsaeh. 2016; 3 (1):91-102.

Karegar M E, Bodagh Jamali J, Ranjbar Saadat Abadi A, Moeenoddini M, Goshtasb H. Simulation and Numerical Analysis of severe dust storms Iran East. jsaeh. 2017; 3 (4):101-119.

Ledari, D. G., Hamidi, M., & Shao, Y. (2022). Numerical simulation of the 18 February 2017 frontal dust storm over southwest Iran using WRF-Chem, satellite imagery, and PM10 concentrations. Journal of Arid Environments, 196, 104637.

Mesbahzadeh, T., Salajeghe, A., Sardoo, F. S., Zehtabian, G., Ranjbar, A., Marcello Miglietta, M., & Krakauer, N. Y. (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(13), 4536.

Parajuli, S. P., Stenchikov, G. L., Ukhov, A., & Kim, H. (2019). Dust emission modeling using a new high-resolution dust source function in WRF-Chem with implications for air quality. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 124(17-18), 10109-10133.

Saroei, J., Mobarak Hassan, E., Mohammadi, N. (2020). The Effect of the Zagros Mountain Range on Transporting Iraqi Dust to Western Iran using the WRF/Chem Model (Case Study). Journal of Geography and Environmental Hazards, 8(4), 119-134.

Shukla, K. K., Attada, R., Khan, A. W., & Kumar, P. (2022). Evaluation of extreme dust storm over the northwest Indo-Gangetic plain using WRF-Chem model. Natural Hazards, 110(3), 1887-1910.

Singh, C., Singh, S. K., Chauhan, P., & Budakoti, S. (2021). Simulation of an extreme dust episode using WRF-CHEM based on optimal ensemble approach. Atmospheric Research, 249, 105296.

Wang, J., Su, S., Yin, Z., Sun, C., Xie, X., Wang, T., & Yang, Y. (2022). Quantitatively Assessing the Contributions of Dust Aerosols to Direct Radiative Forcing Based on Remote Sensing and Numerical Simulation. Remote Sensing, 14(3), 660.

Zhao, J., Ma, X., Wu, S., & Sha, T. (2020). Dust emission and transport in Northwest China: WRF-Chem simulation and comparisons with multi-sensor observations. Atmospheric Research, 241, 104978.

University of Sistan and Baluchestan
Journal of Natural Environment Hazards
Print ISSN: 2676 - 4377 Online ISSN: 2676 - 4385
Homepage: https://jneh.usb.ac.ir

References

References (in Persian)

Akbari, Z., Masoudi, H., Moradpour, B., Davoodi, R. (2021). Post-processing results of WRF numerical forecasting model in Lorestan Meteorology and Meteorological and Atmospheric Sciences Research Institute during March and April 2019. Nivar, 45(112-113), 151-162. [In Persian]

Ansari, M., Norouzi, A. (2021). Investigation of Land Surface Temperature Trends Relative to Land Use Changes in Dust Sources of South East Ahwaz Using Landsat 8 Satellite Data. Iranian Journal of Soil and Water Research, 52(7), 1825-1840. [In Persian]

Asadi Oskouei, E., Mohammadpour Penchah, M., Goodarzi, L., Shokouhi, M. (2021). Assessing the Performance of WRF Model in Prediction of Evapotranspiration in Paddy Fields. Journal of Water and Soil Resources Conservation, 11(2), 1-11. [In Persian]

Asghari, M., Meshkatee, A., Ranjbar, A., Moradi, M. (2020). Study and evaluation of dust emission scheme in WRF-Chem model of duststorm in the east and southeast of Iran (Case study 11 to 13 August 2018). Journal of Climate Research, 1399(43), 87-98. [In Persian]

Azadi, M., Mohamadi, S. (2019). Probabilistic forecasting of diurnal maximum and minimum temperature using a 2-member ensemble system over Iran. Nivar, 43(106-107), 54-62. doi: 10.30467/nivar.2019.186623.1129.

Azizi, Qasim., Miri, M., Nabavi, S. O.2012. Detection of dust in the western half of Iran. Geographical studies of arid regions, 2 (7): 81-63. [In Persian]

Dargahian, F., Teimori, S., Lotfinasbasl, S., Razavizadeh, S. (2019). Land Use Changes in the Mansouriyeh Wetland and its Relation with the Occurrence of Drought and Dust Formation in the Ahwaz Metropolis. Watershed Management Research Journal, 32(4), 94-104. [In Persian]

Dargahian F, Khosroshahi M, Lotfinasabasl S. (2021) Potential dangers of drought in Shadegan wetland and Identify areas affected by dust from it. Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards, 8 (2),1-14. [In Persian]

Daniali, M., Mohamadnezhad, B., Karimi, N. (2018). Evaluation of vegetation health based on the resilience in arid lands. Journal of RS and GIS for Natural Resources, 9(1), 58-73. [In Persian]

Esmaeilpour, R., malekoute, H., eraghizadeh, M. (2014). Wind energy assessment using WRF model: A case study for the Kerman province. Nivar, 38(85-84), 69-81. [In Persian]

Fathi, M., Azadi, M., Kamali, G., meshkati, A. (2019). Improving precipitation forecasts over Iran using a weighted average ensemble technique. Nivar, 43(106-107), 63-68. [In Persian]

Hamidian Pour, M., Mofidi, A., & Salighe, M. (2016). Analysis of the nature and structure of Sistan wind. Iranian Journal of Geophysics, 10(2), 83-109. [In Persian]

Hamidianpour, Mohsen; Shoja Kalate Mir Ali, Faeze. (2022). An introduction to the methods and techniques of climate modeling and climate change. Press of Sistan and Baluchistan University, first edition, 388 pages.

Heidarian, P., Azhdari, A., Jodaki, M., Darvishi Khatooni, J., Shahbazi, R. (2017). Identifying interior sources of dust storms using remote sensing, GIS, and geology (case study: Khuzestan province). Scientific Quarterly Journal of Geosciences, 27(105), 33-46. [In Persian].

Iranmanesh, F. (2021). Human Role on Upper Holocene River Morphology and Formation of Dust Hotspots in Southwest Khuzestan Province. Geographical Planning of Space, 11(40), 71-82. [In Persian]

Jalali, M., Taghavi, F. (2019). Post-processing of Precipitable Water from WRF Prediction Model with the use of Genetic Algorithm and Met-8(IODC) Data over non-radiosound station points. Nivar, 43(104-105), 41-44. [In Persian]

Jooybari, S., Rezaee, P., Soleimani, F., Davoodi, H. (2019). Dust and its centers: basics and methods of identifying and stabilizing, with a special attitude to the Khuzestan Plain. Applied Sedimentology, 7(14), 129-142. [In Persian]

Khansalari, S., Mohebalhojeh, A., Ahmadi-Givi, F. (2019). Simulation of extreme precipitation events with a cold anomaly in the Tehran area. Nivar, 43(104-105), 13-16[In Persian] .

Khorshiddoust, A., Asadi, M., Hajmohammadi, H. (2020). Thunderstorm simulation using WRF model in Kermanshah Case Study: March 31, 2014. Journal of Climate Research, 1399(43), 73-86. [In Persian]

Mazidi, Ahmad, Jafari Zouj, Seyedeh Fatemeh, Heidari, Somayeh. (2015). Simulation dust storm February 28, 2009, in Fars province WRF model. Journal of Applied Climatology, 2(2), 49-68. [In Persian]

Malakooti, H., Babahoseini, S. (2015). Formation and Evolution of a heavy dust storm over the Middle East: A Numerical Case Study. Journal of Geography and Environmental Hazards, 3(4), 53-65[In Persian]

Mesbahzadeh, T., Salajeghe, A., Sardoo, F. S., Zehtabian, G., Ranjbar, A., Marcello Miglietta, M., & Krakauer, N. Y. (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(13), 4536.

Miri, M., Pilehvaran, R., Zand, M., Noroozi, A. (2021). Atmospheric dust detection using WRF-Chem model and remote sensing data (Case study: West and southwest of Iran). Journal of Water and Soil Resources Conservation, 10(4), 81-94. [In Persian]

Mobarakhasan, E., ghafariyan, P., varshosaz, K., azadi, M. (2014). Dust simulation in Khuzestan province using WRF/Chem. model (Case study: 26-28 March 2010). Nivar, 38(85-84), 45-56. [In Persian]

Nasr Esfahani, M., Yazdanpanah, H., Nasr Esfahani, M. (2019). Evaluation of WRF Model for Temperature Forecasting and Frosting Occurrence in Zayandeh Rud Basin. Physical Geography Research Quarterly, 51(1), 163-182. [In Persian]
Nikfal, A., Ranjbar Saadatabadi, A., Karami, S., Sehatkashani, S. (2017). Capabilities of the WRF-Chem model in estimating the concentration of dust – A case study of a dust storm in Tehran. Environmental Sciences, 15(1), 115-126.
Norouzi A, Ansari M. Evaluation of the Efficiency of the CA-Markov Model in Predicting Spat-Temporal Changes of Land Use in Dust Source of South and Southeast Ahwaz. JWSS. 2021; 25 (3):79-94. [In Persian]
Pahlavan, R., Moradi, M., Tajbakhsh, S., Azadi, M., Rahnama, M. (2021). Sensitivity Study of Simulations of Two Fog Events at Ardebil Airport to the PBL Scheme, Using WRF model. Nivar, 45(114-115), 71-85[In Persian]
Sasanian, S., Azadi, M., Asgharishirazee, H., Mirzaee, E. (2015). Evaluating the Performance of a WRF Physics Ensemble with 9 Schemes for Precipitation over Southwest of Iran in Winter. Nivar, 39(90-91), 15-26. [In Persian]
Sahraei, J., Mobarak Hassan, E., & Mohammadi, N. (2020). The Effect of the Zagros Mountain Range on Transporting Iraqi Dust to Western Iran using the WRF/Chem Model (Case Study). Journal of Geography and Environmental Hazards, 8(4), 119-134. [In Persian]
Soleimani Sardoo, F., Mesbahzadeh, T., Salajeghe, A., Zehtabian, G., Ranjbar, A., Marcello miglietta, M., Karami, S. (2021). Identifying dust springs using the WRF-Chem model and GOCART and AFWA wind erosion schemas (simulated dust storm on 05/22/2018). Environmental Sciences, 19(2). [In Persian]
Soleimani Sardo, F., Karami, S., Vakili Tajareh, F. (2021). Simulation and Numerical Analysis of the Dust Storm of July 10, 2014, Using the MACC-ECMWF Model in Central Iran. Watershed Management Research Journal, 34(4), 2-15. [In Persian]
Zakeri, Z., azadi, M., sahraeiyan, F. (2014). Verification of WRF forecasts for precipitation over Iran in the period Feb-May 2009. Nivar, 38(87-86), 3-10. [In Persian]

References (in English)

Alizadeh Choobari, O., Zawar-Reza, P., and Sturman, A., 2014, Mesoscale modeling of the “wind of 120 days” and associated mineral dust distribution over eastern Iran using WRF/Chem: Atmos. Res., 143, 328–341.
Alizadeh-Choobari, O., Sturman, A., &Zawar-Reza, P. (2015). Global distribution of mineral dust and its impact on radiative fluxes as simulated by WRF-Chem. Meteorology and Atmospheric Physics, 127(6), 635–648.
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, Aerosol Air Quality Research, Vol. 11, 419–428.
Han, T., Pan, X., & Wang, X. (2021). Evaluating and improving the sand storm numerical simulation performance in Northwestern China using WRF-Chem and remote sensing soil moisture data. Atmospheric Research, 251, 105411.
Hamzeh, N. H., Karami, S., Kaskaoutis, D. G., Tegen, I., Moradi, M., & Opp, C. (2021). Atmospheric dynamics and numerical simulations of six frontal dust storms in the Middle East region. Atmosphere, 12(1), 125.
Hossein Hamzeh N, Fattahi E, Zoljodi M, Ghaforian P, Ranjbar A. Synoptic-dynamic analysis of dust storm and its simulation in the southwest of Iran in summer 2005. jsaeh. 2016; 3 (1):91-102.
Karegar M E, Bodagh Jamali J, Ranjbar Saadat Abadi A, Moeenoddini M, Goshtasb H. Simulation and Numerical Analysis of severe dust storms Iran East. jsaeh. 2017; 3 (4):101-119.
Ledari, D. G., Hamidi, M., & Shao, Y. (2022). Numerical simulation of the 18 February 2017 frontal dust storm over southwest Iran using WRF-Chem, satellite imagery, and PM10 concentrations. Journal of Arid Environments, 196, 104637.
Mesbahzadeh, T., Salajeghe, A., Sardoo, F. S., Zehtabian, G., Ranjbar, A., Marcello Miglietta, M., & Krakauer, N. Y. (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(13), 4536.
Parajuli, S. P., Stenchikov, G. L., Ukhov, A., & Kim, H. (2019). Dust emission modeling using a new high-resolution dust source function in WRF-Chem with implications for air quality. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 124(17-18), 10109-10133.
Saroei, J., Mobarak Hassan, E., Mohammadi, N. (2020). The Effect of the Zagros Mountain Range on Transporting Iraqi Dust to Western Iran using the WRF/Chem Model (Case Study). Journal of Geography and Environmental Hazards, 8(4), 119-134.
Shukla, K. K., Attada, R., Khan, A. W., & Kumar, P. (2022). Evaluation of extreme dust storm over the northwest Indo-Gangetic plain using WRF-Chem model. Natural Hazards, 110(3), 1887-1910.
Singh, C., Singh, S. K., Chauhan, P., & Budakoti, S. (2021). Simulation of an extreme dust episode using WRF-CHEM based on optimal ensemble approach. Atmospheric Research, 249, 105296.
Wang, J., Su, S., Yin, Z., Sun, C., Xie, X., Wang, T., & Yang, Y. (2022). Quantitatively Assessing the Contributions of Dust Aerosols to Direct Radiative Forcing Based on Remote Sensing and Numerical Simulation. Remote Sensing, 14(3), 660.
Zhao, J., Ma, X., Wu, S., & Sha, T. (2020). Dust emission and transport in Northwest China: WRF-Chem simulation and comparisons with multi-sensor observations. Atmospheric Research, 241, 104978.