

ردیابی و شبیه سازی طوفان گردوغبار در سطوح مختلف جو کرمانشاه با استفاده از

مدل WRF-chem و HYSPLIT

مطالعه موردی: طوفان گردوغبار ۲۶ تا ۲۸ اکتبر ۲۰۱۸

طوبی عزیزاده^{۱*}، مجید رضایی بنفشه^۲، رحمان شریفی^۳

*۱- دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، گروه آب و هواشناسی، دانشکده برنامه ریزی و علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

۲- استاد آب و هواشناسی، گروه آب و هواشناسی، دانشکده برنامه ریزی و علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

۳- کارشناسی ارشد آب و هواشناسی، گروه آب و هواشناسی، دانشکده برنامه ریزی و علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

*ایمیل نویسنده مسئول: alizadehtoba@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۱۷

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۱۱

چکیده

پژوهش حاضر با هدف شناسایی کانون و عوامل همدید موج طوفان گردوغبار ۲۶ تا ۲۸ اکتبر ۲۰۱۸ در شهر کرمانشاه انجام گرفت. جهت بررسی شرایط همدیدی علل وقوع این پدیده، از مجموعه داده های پیش بینی میان مدت جوی مرکز اروپایی ESMWF با قدرت تفکیک ۱۲۵ درجه قوسی شامل، ارتفاع ژئوپتانسیل در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، امگا در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال، فشار تراز دریا، مؤلفه های مداری و نصف النهاری در تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال، رطوبت ویژه در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال، رطوبت خاک تا عمق ۱۰ سانتیمتری و عمق اُپتیکی گردوغبار استفاده گردید. جهت مسیریابی منشأ ذرات گردوغبار از روش لاگرانژی مدل HYSPLIT در ۴۸ ساعت قبل از وقوع پدیده گردوغبار در کرمانشاه در سه سطح ارتفاعی ۲۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ متری استفاده گردید. همچنین با استفاده از مدل شبیه سازی عددی وضع هوا WRF-chem غلظت طوفان گردوغبار شبیه سازی شد. شبیه سازی از داده های آنالیز GFS به منظور شرایط اولیه و مرزی صورت پذیرفت. در این اجرا از طرحواره پیشرفته MADE-SORGAM به عنوان طرحواره گسیل ذرات معلق جوی استفاده شد، و در نهایت از طریق پردازش تصاویر ماهواره ای MODIS قلمرو گسترش آن مشخص شد. بررسی نقشه های ردیابی HYSPLIT برای روزهای ۲۶ تا ۲۸ اکتبر نشان داد که بیابان های مرکزی و غربی عراق، صحرای سوریه، کویت و شمال عربستان کانون های اصلی طوفان گردوغبار بودند، در شرایط همدیدی همزمان با رخداد گردوغبارهای برخاسته، سیستم های سیکلونی نقش بارزی در انتقال این پدیده داشته اند، ناپایداری های ایجاد شده توسط کم فشارهای حرارتی سطح زمین و تحرکات پرفشار عربستان، همراه با استقرار یک کم فشار در سطوح میانی جو در شرق خزر در رخداد این مخاطره مؤثر بوده است. همچنین توزیع مکانی گردوغبار تفسیر شده توسط تصاویر سنجنده MODIS با توزیع مکانی غلظت گردوغبار شبیه سازی شده توسط مدل WRF-chem انطباق دارد.

کلمات کلیدی: گرد و غبار، سامانه همدید، ردیابی، شبیه سازی، کرمانشاه.

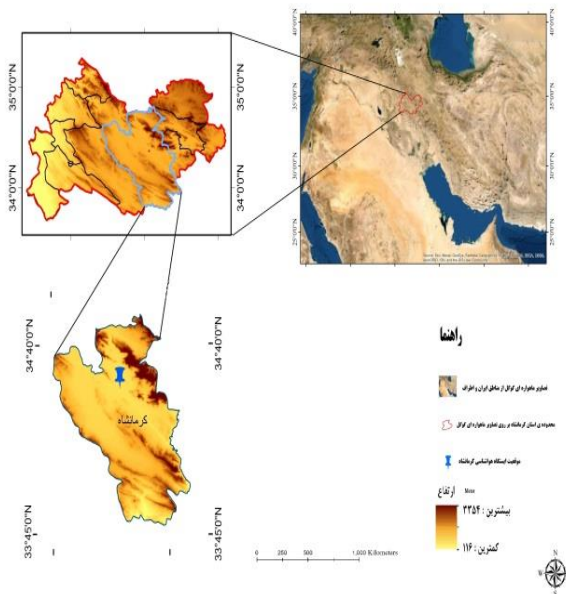
مقدمه :

این سامانه ها منتقل می شوند(خورشیددوست، ۱۳۹۲). گردوغبارها یکی از پدیده های متداول جوی و در ردیف بزرگترین مشکلات محیطی در مناطق خشک و نیمه خشک است که این امر هر ساله آثار مخربی را برای ساکنان این مناطق دارد. در سال های اخیر آلودگی ناشی از ذرات گردوغبار به یکی از معضلات زیست محیطی به خصوص در کشورهای در حال توسعه تبدیل شده است. با توجه به اینکه ایران نیز در منطقه خشک و نیمه خشک جهان واقع شده است و مساحت زیادی از کشور جزء مناطق خشک و نیمه خشک محسوب می شود مطالعه این پدیده ضرورت دارد(Draxler, 1998). پدیده ی طوفان های گردوغبار در سال های اخیر با تشدید بیابان زایی در کشورهای عراق و عربستان و سوریه جنبه های مختلفی از زندگی مردم کرمانشاه که در همسایگی کانون های گردوغباری هستند را متأثر ساخته است با توجه به اهمیت آثار منفی طوفان های گردوغبار و همچنین روند افزایشی آنها بررسی، تشخیص و تحلیل زمانی و مکانی ویژگی های این ریزگردها به منظور مدیریت این بحران و جلوگیری از اثرات زیان آور این ریزگردها بسیار مهم می باشد(Goudie, 2001). در سال های اخیر علاوه بر دانش سنجش از دور، بسیاری از روش ها به منظور شبیه سازی، مسیریابی و پراکنش ریزگردها توسعه یافته اند، در میان

پدیده گردوغبار یکی از زیان بارترین بلایای طبیعی در مناطق کم باران جهان، به ویژه در ایران می باشد که مشکلات محیطی زیادی را در این نواحی به ارمغان می آورد(خوش کیش، ۱۳۹۰)، همچنین یکی از چالش های زیست محیطی به وجود آمده در منطقه خاورمیانه و ایران در سال های اخیر است، این پدیده امروزه به یکی از مشکلات اساسی در مناطق خشک و نیمه خشک تبدیل شده است که اثرات نامطلوب اجتماعی، اقتصادی، زیست محیطی دارد(فلاح زاده، ۱۳۹۳) و می توان به طور یقین بیان کرد که یکی از مخاطرات محیطی در مناطق خشک و نیمه خشک دنیا طوفان های گردوغباری هستند، این رخداد محیطی از مخاطرات اقلیمی به شمار می رود و موجب بروز یا تشدید بیماری های قلبی- عروقی، بیماری های تنفسی و آلرژی های فراوان در بدن انسان می شود(ناصرپور، ۱۳۹۴)، مقادیر زیادی گردوغبار همه ساله از بیابان های شمال آفریقا، شبه جزیره عربستان، عراق و سوریه به مناطق مختلف ایران منتقل می شوند. این گردوغبارها بسته به میزان گرم شدن سطح زمین و سرعت بادهایی مثل هارماتان و بادهای شدید محلی دیگر تا ارتفاع ۳۰۰۰ متری و بالاتر کشیده شده و با ورود به سامانه های بادی مدیترانه و شمال آفریقا به مناطق واقع در پیش روی

HYSPLIT و تصاویر ماهواره ای مودیس در شهر اهواز پرداختند، نتایج تحقیق نشان داد که جریانات باد شمال با جهت شمال غرب-غرب و جنوب غرب باعث انتقال حجم انبوهی گردوغبار از بیابان های کویت، عراق، سوریه و عربستان به سمت جنوب غرب ایران و شهر اهواز شده است. (رضایی بنفشه و همکاران، ۱۳۹۸) به بررسی منشأ گردوغبار فراگیر وارده به قسمت های شرق، جنوب شرق، جنوب، جنوب غرب و مرکز کشور و ردیابی مسیر حرکت آن در اردیبهشت ۹۷ پرداختند. برای تعیین مناطق منشأ گردوغبار، مدل HYSPLIT به روش پسگرد، طی ۲۴ ساعت قبل از وقوع برای روز مورد نظر اجرا و نتایج نشان داده است که نواحی منشأ گردوغبار روی منطقه مورد مطالعه، در روز مورد نظر شبه جزیره عربستان می باشد. (دمی زاده و همکاران، ۱۴۰۰) در مقاله ای به بررسی مسیرهای انتشار گردوغبار در استان هرمزگان با استفاده از مدل HYSPLIT پرداختند. بر اساس نتایج، مناطق شرقی استان هرمزگان، تالاب جازموربان، شرق سیستان و بلوچستان، مناطق غربی افغانستان و پاکستان و نیز مناطق مرکزی و جنوبی عربستان از مهمترین کانون های تولید گردوغبار در منطقه شناخته شدند. (مصباح زاده و همکاران، ۲۰۲۰) به تغییرات زمانی ویژگی های عمودی گردوغبار شبیه سازی شده توسط مدل WRF-Chem با استفاده از طرحواره های انتشار گردوغبار GOCART و AFWA (مطالعه موردی: فلات مرکزی ایران) پرداختند. نتایج WRF-Chem با دید افقی اندازه گیری شده در ایستگاه های سینوپتیک در منطقه مقایسه شد. نتایج نشان داد که ضرایب تعیین نتایج GOCART با دید افقی اندازه گیری شده در ۲۱ فوریه ۲۰۱۵ و ۱۴ فوریه ۲۰۱۸ به ترتیب ۰/۷۲ و ۰/۷۶ بوده، در حالی که مقادیر شبیه سازی شده با طرحواره AFWA در ۲۱ فوریه ۲۰۱۵ و ۱۴ فوریه ۲۰۱۸ با دید افقی اندازه گیری شده به ترتیب کمتر از ۰/۴۴ و ۰/۵۰ بوده است. (Waldhauserova et al, 2016)، با استفاده از شبیه سازی عددی به بررسی مقدار گردوغبار طی دو طوفان در جنوب غربی ایسلند که که هر کدام حاوی ۱۸۰۰۰۰ تن و ۲۸۰۰۰۰ تن ذرات گردوغبار بودند، پرداخته و دریافتند که مقدار گردوغبار آتشفشانی در ایسلند بیشتر از ذرات زیر میکرون است و طوفان مناطق نسبتاً پرجمعیت ایسلند رخ داده است. (Lu et al, 2019) در مطالعه ای به مدل سازی توزیع سه بعدی آئروسول های گردوغبار در حوضه تاریخ در شمال غرب چین پرداختند. توزیع سه بعدی آئروسول های گردوغبار در لایه مرزی فوقانی در ارتفاع ۳-۵ کیلومتر با همگرایی جریانات هوای نزدیک سطح بر روی حوضه تاریخ به دلیل وجود فلات ها و کوه های اطراف حوضه تاریخ با ایجاد لایه گردوغبار شناور بر روی این حوضه، بیشتر از لایه های دیگر است. (Tiangang et al, 2019) به شبیه سازی طوفان گردوغبار در آسیای مرکزی با طرحواره های مختلف با استفاده از مدل WRF-Chem پرداختند. انتشار کل گردوغبار دوره چهار روزه در طرح Shao، ۱۱۱/۹Tg بود که ۲ تا ۳ برابر بیشتر از مواردی بود که در طرح های AFWA و GOCART به دست آمد. (Chang et al, 2021) به شبیه سازی فعل و انفعالات شیمی آئروسول های هوا با مدل MOSAIC و پیش بینی ذرات گردوغبار با مدل WRF-Chem به وسیله سیستم درون یابی آماری Gridpoint و همچنین اندازه گیری نوری آئروسول AOD، گردوغبار در منطقه کاشی، نزدیک صحرای

مدلها و روش های شبیه سازی گردوغبار، مدل HYSPLIT به عنوان یک سیستم مبنای کامل در رابطه با شناسایی منبع و نحوه پراکنش ذرات گردوغبار شناخته می شود (اشرفی، ۲۰۱۴). مدل HYSPLIT، مدلی دوگانه برای محاسبات خط سیر حرکت گردوغبار، پراکندگی و شبیه سازی ته نشینی آن با استفاده از حداقل پارامترهای هواشناسی است که به دلیل بهبود الگوریتم های فرارفتی، به روز شدن معادله های پایداری و پراکندگی، بهبود رابطه کاربر گرافیکی نسبت به سایر مدل های ردیابی قابلیت بهتری دارد (اشرفی، ۲۰۱۴). یکی دیگر از مدل های شبیه سازی گردوغبار مدل WRF می باشد. مدل تحقیقاتی و پیش بینی وضع هوا WRF یک سامانه عددی شبیه سازی جوی است. مدل WRF¹ علاوه بر توسعه نسل بعدی مدل های میان مقیاس^۲ پیش بینی وضع هوا و سیستم های گوارد داده ها، عامل پیشرفت و افزایش کارایی در سامانه های پیش بینی میان مقیاس و همچنین درک چگونگی عملکرد این مدل ها می باشد. وجود تعداد قابل توجهی از زیر برنامه ها در WRF، بستر مناسبی را جهت تحقیقات و شبیه سازی های جوی و اقیانوسی توسط این مدل ایجاد کرده است. استفاده از این مدل، بخش وسیعی از تحقیقات علمی از شبیه سازی حالات ایده آل تا پیش بینی های کاربردی را در بر می گیرد. فواصل بین نقاط شبکه در مدل WRF قابلیت تغییر از یک تا چند ده کیلومتر دارد (Engelstadler, 2001). تصاویر MODI جهت نشان دادن وقوع یک رخداد مثل حرکت سیلاب، فوران آتشفشان، طوفان گردوغبار و غیره همواره استفاده گردیده اند. در این پژوهش، برای شناخت هر چه بیشتر وقوع گردوغبار و همچنین درک بیشتری از ابعاد و ویژگی های این طوفان ها از تصاویر سنجنده MODIS نیز استفاده شده است. در مورد هر موضوعی و در بررسی های مختلف وجود پیشینه ای از موضوع و یا اطلاع از بررسی های انجام شده می تواند تا حد زیادی به پیشرفت مطالعه و دست یابی به نتایج منطقی جدید کمک کند. در ادامه تعدادی از منابع داخلی و خارجی موجود درباره موضوع تحقیق، مورد بررسی قرار می گیرند. (انتظاری و سروستان، ۱۳۹۶) در مطالعه ای به بررسی گردوغبار و پیش بینی آن در شهرهای استان خوزستان با استفاده از مدل های سری زمانی پرداختند. نتایج گردوغبار نشان داد شهر امیدیه با بیشترین اختلاف گردوغبار به ۷۹ روز افزایش و شهر دزفول به کمترین تعداد با ۹ روز می رسد. در مطالعه ای دیگر که توسط (بهیار، ۲۰۱۵) برای مسیریابی طوفان های گردوغبار در عراق، عربستان و کویت با استفاده از مدل عددی HYSPLIT مورد بررسی قرار گرفت، به این نتیجه دست یافتند مدل در شبیه سازی مسیرها و تعداد رویدادهای گردوغبار برای کویت از صحت بالایی برخوردار است. (ساری صراف و همکاران، ۲۰۱۵) به بررسی روند فصلی روزهای همراه با گردوغبار در غرب ایران پرداختند، به این نتیجه دست یافتند که فراوانی روزهای گردوغبار از شمال به جنوب و از شرق به غرب ایران افزایش می یابد. حداکثر فراوانی روزهای گردوغبار در ماه های مه، ژوئن و ژوئیه اتفاق افتاده است و دوره های افزایش و کاهش فزاینده وجود داشته است که این تغییرات به طور منطقی با تغییرات فصلی مرتبط است، بیشترین گسترش و تشدید الگوی فراوانی روزهای گردوغبار در فصل بهار در غرب ایران مشاهده شده است. (حیدری و همکاران، ۲۰۱۸) در مطالعه ای به بررسی تشکیل و انتشار طوفان گردوغبار با استفاده از نرم افزار



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی شهر کرمانشاه در استان

فرآیند انجام تحقیق در شکل ۲ نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می گردد، هدف اصلی این بررسی، تبیین علل وقوع و مسیریابی چشمه های طوفان گردوغبار شهر کرمانشاه در بازه زمانی سه روزه ۲۶ تا ۲۸ اکتبر ۲۰۱۸ است. در مرحله اول ابتدا با استفاده از داده های هواشناسی روزهای همراه با طوفان گردوغبار مشخص گردید. در مرحله دوم جهت تحلیل سینوپتیک علل وقوع این طوفان از مجموعه داده های پیش بینی میان مدت جوی مرکز اروپایی^(۱) ECMWF با قدرت تفکیک ۰/۱۲۵ درجه قوسی شامل، ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، امگای تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال، فشار تراز دریا SLP، مؤلفه های مداری و نصف النهاری باد در تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال، رطوبت ویژه در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال به دلیل قدرت تفکیک بالاتر و داده های ماهواره ای رطوبت خاک تا عمق ۱۰ سانتیمتری در منطقه مورد مطالعه استفاده گردید. با استفاده از داده های فوق در بکارگیری نرم افزار GRADS: الگوهای بادی و سامانه های همدیدی مؤثر در حمل و انتقال ریزگردها به شهر کرمانشاه ترسیم شد. در مرحله سوم با استفاده از مدل HYSPLIT، ذرات گردوغبار در سه سطح ۲۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ متری از سطح زمین در حد فاصل زمانی ۶ تا ۴۸ ساعت قبل از رخداد گردوغبار ردیابی شدند. از مدل شبیه سازی عددی وضع هوا WRF-CHEM، در تهیه نقشه های عددی توزیع غلظت ذرات و حرکت مسیر طوفان گردوغبار به غرب ایران استفاده گردید. و در مرحله آخر از تصاویر MODIS برای تعیین چشمه های انتشار گردوغبار به غرب ایران استفاده شد، و همچنین با به کارگیری شاخص آشکارسازی عمق اپتیکی آئروسول AOD، نقشه توزیع عددی آئروسول های گرد و غبار موجود در جو بدست آمد.

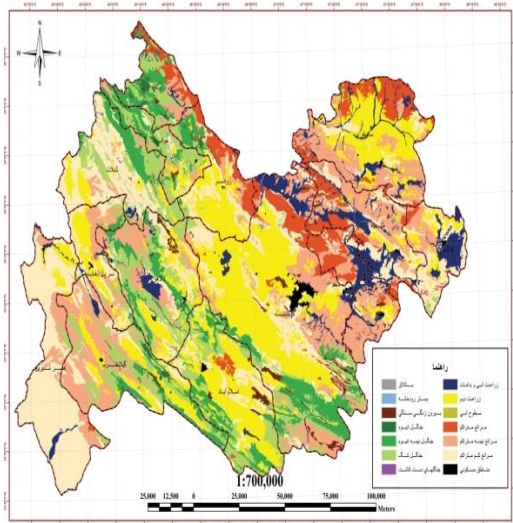
تاکلیماکان، شمال غربی چین پرداختند. بهترین نتیجه کلی از جذب چندگانه غلظت ذرات سطحی و AOD بدست آمد. جذب به طور قابل توجهی بخش های شیمیایی آئروسول را تغییر نمی دهد. بعد از شبیه سازی DA، نیروی تابشی آئروسول در منطقه کاشی ۱۰/۴ وات بر متر مربع در بالای جو بوده، که ۵۵ درصد بیشتر از ارزش نیروی تابشی قبل از شبیه سازی با DA بود. منطقه خاورمیانه به عنوان یکی از بزرگترین چشمه های انتشار گرد و غبار در جهان است (Chiba, Tanaka & 2006). با توجه به اینکه ۹۱ درصد از مساحت کشور ایران در منطقه خشک و نیمه خشک جهان واقع شده است، اثرات گردوغبار می تواند خسارت فاجعه بار زیست محیطی فراوانی به بار آورد، بنابراین مطالعه عوامل به وجود آورنده این پدیده و شناسایی کانون های آن ضروری به نظر می رسد. در این پژوهش که با هدف بررسی جامع ویژگی های شدیدترین مورد وقوع طوفان گردوغبار که طی سال های اخیر در ایستگاه همدیدی شهر کرمانشاه ثبت شده است، سعی بر آن شد شرایط اقلیمی و سیستم های جوی منجر به پدیده گردوغبار بررسی و در نهایت منشأ و مسیر طوفان گردوغبار با استفاده از مدل های HYSPLIT و WRF-chem، پایش شود.

۲- روش انجام تحقیق

• محدوده مورد مطالعه

منطقه کرمانشاه در غرب ایران به دلیل نزدیکی به بیابان های کشورهای مجاور در معرض رخدادهای گردوغباری متعدد است. با توجه به مسیر حرکت سامانه ها و نحوه قرارگیری ناوه ها و کم فشارها در روزهای متفاوت، مهمترین چشمه های گردوغبار وارد به این منطقه، صحرای سوریه، کویت، بیابان های مرکزی و غربی عراق و بیابان نفود در عربستان است. از نظر موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه در بین ۴۶ درجه و ۲۵ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۴ دقیقه طول شرقی و ۳۳ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۴ دقیقه عرض شمالی از نصف النهار گرینویچ قرار دارد. شهرستان کرمانشاه مساحتی بالغ بر ۲۴۶۴۰ کیلومترمربع و ایستگاه آن ۱۴۲۰ متر از سطح دریا ارتفاع دارد. دارای آب و هوای خشک و نیمه خشک با جبهه های مرطوب مدیترانه ای است. متوسط میزان بارندگی آن بین ۴۰۰ تا ۵۰۰ میلیمتر می باشد و میانگین دمای سالیانه ۱۶ درجه سانتیگراد است. جهت وزش بادهای غالب در این منطقه در طول سال غربی بوده، که همراه با نوساناتی در جهت شمال غرب و جنوب غربی است (شکل ۱).

را پوشش بیابانی و نیمه بیابانی شامل می شود، می تواند مستعد تولید غبار محلی نیز باشد.



شکل ۳- پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه (منبع نویسندگان)

• مطالعه همدیدی، تعیین منابع و مسیر گرد

و غبار با مدل HYSPLIT

با توجه به بررسی های انجام شده، روزهای ۲۶ تا ۲۸ اکتبر ۲۰۱۸ به علت تداوم وجود گردوغبار و غلظت بالای آن در غرب کشور، برای بررسی همدید و تعیین کانون این گردوغبار بر مبنای الگوریتم مدل HYSPLIT و عمق اُپتیکی ذرات گردوغبار انتخاب شدند. شکل ۴(الف) پدیده غالب روز ۲۶ اکتبر ۲۰۱۸ برای تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال را به تصویر کشیده است. در این روز حاکمیت سیستم پرفشار آزر در بالای منطقه مورد مطالعه مستولی شده است، به طوری که جو بالا در این روز پایدار است و شرایط صعود و ناپایداری وجود ندارد و حاکمیت پرفشار آزر در این بازه زمانی، از ایجاد شرایط برای شکل گیری پدیده ی گردوغباری توسط سیستم های سطوح میانی جلوگیری می نماید. شکل ۴(ب) نقشه فشار تراز دریا را در روز مذکور نشان می دهد. در این مورد با بررسی نقشه تراز دریا مشخص گردید که دقیقاً در سطوح پایین کمربند بادهای شدید در نیمه شمالی عراق، شرق سوریه و اردن، سلول کم فشاری با چرخش پادساعتگرد در زمین شکل گرفته است. با توجه به نقشه باد در تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال شکل ۴(ج)، زبانه کم ارتفاع جنب قطبی (به صورت کم فشار بریده در شرق مدیترانه) با زبانه پر ارتفاع جنب حاره ای (در موقعیت عربستان و جنوب ایران) استقرار یافته است جریانات باد با جهات شمال غربی - جنوب شرقی باعث هدایت گردوغبار به منطقه مورد مطالعه شده است و در اثر کنش متقابل بین دو سامانه متفاوت کمربند بادهای شدید در میان آنها شکل گرفته و سرعت باد در ۵۰۰ میلی بار به ۳۲ متر بر ثانیه افزایش یافته است. با دقت در شکل ۴(د) نقشه امگا و مقادیر آن و همچنین جهت پیکان ها (سمت و سرعت باد) نشان دهنده وجود جریان صعودی عمیق و قوی در محدوده باد شدید می باشد. لذا طبق این شواهد وزش باد به همراه صعود هوا توسط الگوی همدیدی مذکور کمربند بادهای شدید ترازهای فوقانی شکل گرفته و در مناطق بیابانی سوریه و شمال عراق باعث ایجاد توفان در سطح زمین شده است. با نظر گرفتن بررسی های انجام شده و خروجی مدل HYSPLIT

داده ها سبب می شود که طوفان های گرد و غبار به طور مداوم بررسی شود. در این پژوهش از تصاویر ماهواره ای دریافت شده از وبگاه سازمان ناسا، ماهواره ترا سنجنده MODIS با قدرت تفکیک ۱ کیلومتر مربوط به روزهای گرد و غباری انتخابی، استفاده شد. تصاویر روزهای ۲۶ تا ۲۸ اکتبر ۲۰۱۸ برای محدوده ی غرب ایران جهت آشکارسازی گرد و غبار استان کرمانشاه از سایت <https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov> دریافت شد.

• عمق اُپتیکی اُروسول AOD

در پژوهش حاضر همچنین جهت مشخص شدن وضعیت شفافیت جو از داده های ماهواره ای عمق اُپتیکی اُروسول AOD استفاده گردید. عمق اُپتیکی اُروسول AOD یکی از پارامترهای مهم در مطالعه گردوغبارها می باشد. عمق اُپتیکی در واقع به توزیع اُروسول های گردوغبار موجود در جو اشاره دارد. این کمیت وابسته به طول موج، به صورت کاهش نور در واحد طول بر روی مسیر مشخص تعریف می شود (Waldhauserova et al, 2016). مسیر اُپتیکی عمودی، فاصله عمودی از سطح زمین در قسمت فوقانی جو می باشد. مقدار عمق اُپتیکی می تواند با تراکم تعداد هواپیزه ها و ویژگی های آن ذرات متفاوت باشد. همچنین AOD کمیتی بی بعد بوده و عبارتند از میزان جلوگیری از گذر پرتو نور در جو به خاطر جذب و پراکنش ناشی از وجود هواپیزه ها در مسیر عبور نور می باشد. همچنین AOD به عنوان ضریب خاموشی کاهش تشعشع بر روی یک ستون قائم در واحد طول تعریف می شود. بالا بودن مقادیر AOD از این مقدار نشان دهنده بیشتر بودن هواپیزه ها در امتداد ستون عمودی هوا بوده و به عبارتی دید در امتداد ستون کم می باشد (نامداری، ۱۳۹۵). ارزش های AOD به صورت تقریبی نشان دهنده شرایط جوی منظور شد (جدول ۱):

جدول ۱: ارزش های AOD که نشان دهنده شرایط جوی است (نامداری ۱۳۹۵).

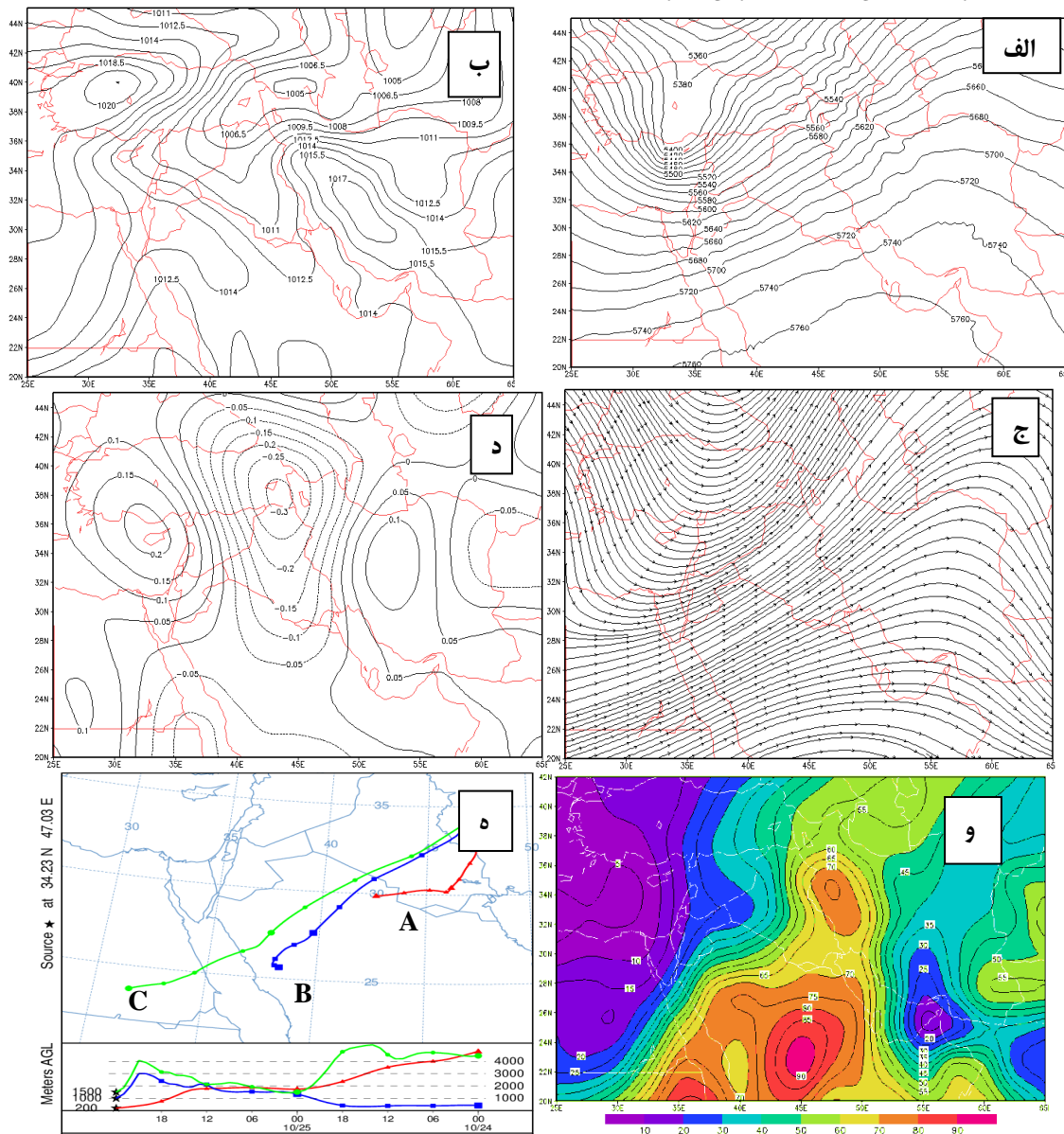
شرایط جوی	ارزش AOD
مناطق بسیار پاک	کوچکتر از ۰/۰۲
مناطق پاک	۰/۰۲ - ۰/۰۸
مناطق نسبتاً	۰/۰۸ - ۰/۲
مناطق آلوده	۰/۲ - ۰/۶
پدیده های گرد و غباری سنگین	۰/۶ - ۱/۵
شرایطی که موقعیت خورشید مشخص نیست	۱/۵ - ۳

۳- نتایج

• بررسی توپوگرافی و پوشش گیاهی

به اعتقاد (Engelstadler, 2001) تراکم و ساختار گیاهان دو عامل کنترل کننده اساسی در وقوع و فراوانی طوفان های گردوغبار می باشند. در واقع ایجاد گردوغبار می تواند نوعی واکنش به تغییر پوشش گیاهی زمین باشد؛ بنابراین تأثیر پوشش گیاهی در تأمین منابع گردوغبار و افزایش یا کاهش غلظت اُروسول ها در منطقه کرمانشاه بررسی گردید شکل ۳. بررسی نشان می دهد که بیشتر وسعت منطقه

گرفته می شود. با توجه به شکل ۴(و) منشأ گردوغبار در ارتفاع ۲۰۰ متری منطبق بر جریان باد(جنب حاره ای) عراق و عربستان می باشد، و اما منشأ گردوغبار در مسیرهای B و C ارتفاع های ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ متری منطبق بر جریان باد(جنب قطبی) می باشد رطوبت شکل ۴(و) روز ۲۶ اکتبر ۲۰۱۸ نشان می دهد که از بیابان های سوریه و اردن آغاز و سپس با عبور از بیابان های مرکزی و غربی عراق و با انتشار عمودی ناچیزی به سمت شرق ادامه داده اند. همچنین بررسی نقشه که میزان رطوبت موجود در سطح زمین، در منطقه مورد مطالعه بسیار کم و زیر ۲۵ درصد می باشد که باعث خشک شدن خاک های سطحی شده که با وجود کم فشارها ی حرارتی سطح زمین و ناپایداری ایجاد شده، شرایط تشکیل گردوغبار را به دنبال داشته است.



شکل (۴): (الف) ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰؛ (ب) فشار سطح دریا؛ (ج) امگای تراز ۷۰۰؛ (د) جریان باد در تراز ۳۰۰؛ (و) رطوبت ویژه ۷۰۰؛ (ه) نقشه ردیابی ذرات گردوغبار HYSPLIT روز ۲۶ اکتبر ۲۰۱۸

شده است. لذا در این مورد گردوغبارها از چشمه های متفاوت و به طور همزمان و از طریق دو سامانه جوی به غرب ایران و کرمانشاه منتقل شده اند. شکل ۵(ب) نقشه فشار تراز دریا را در روز طوفان گردوغبار نشان می دهد. همان طور که در این نقشه پیداست، در این روز سیستم کم فشار حرارتی با فشار ۱۰۱۸/۵ هکتوپاسکال همچنان در سطح

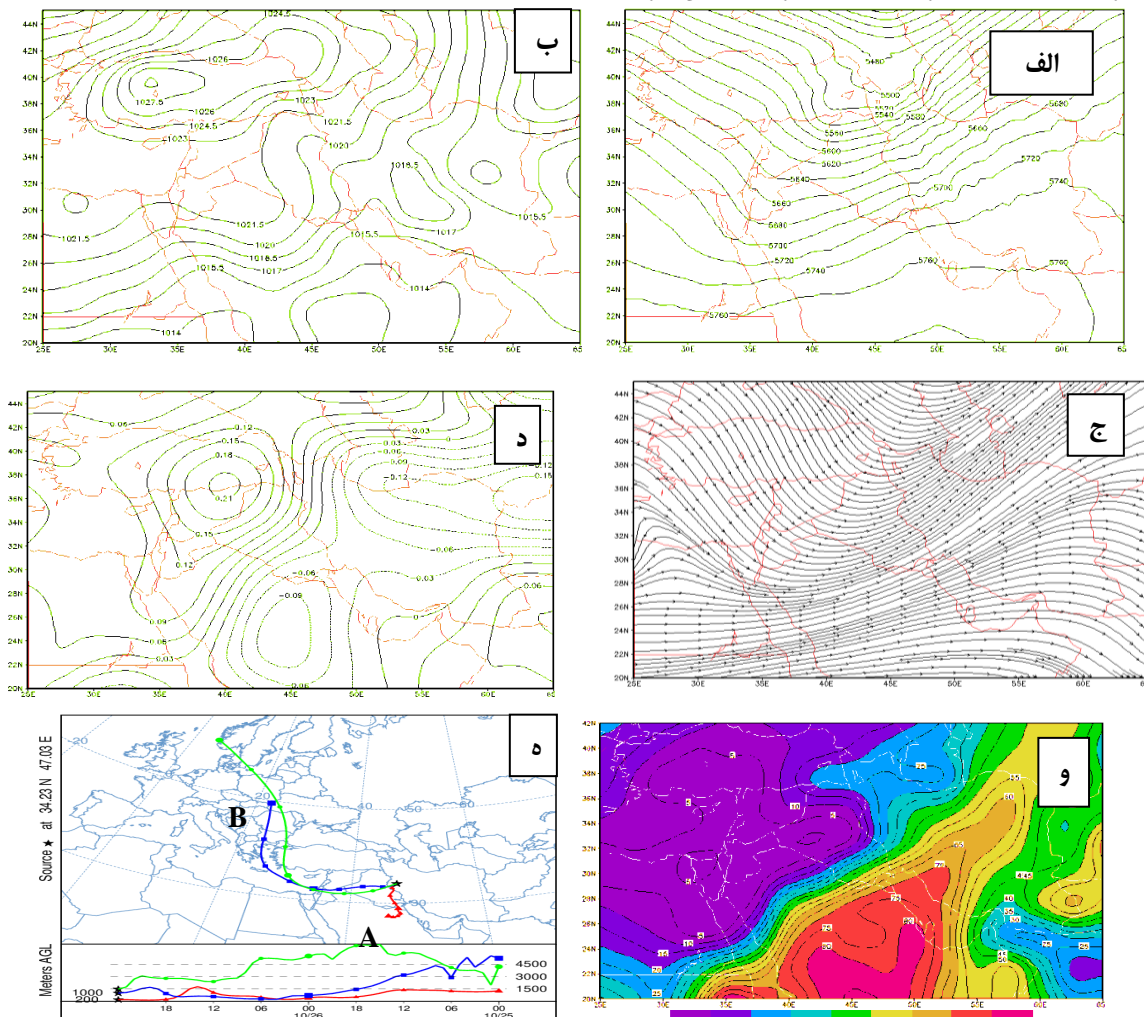
شکل ۴(ه) سازوکار اصلی انتقال ذرات غبار در محدوده ای در حد فاصل شرق سوریه و عراق به منطقه مورد مطالعه بوده است. در الگوی فشاری مستقر بر روی منطقه در زمان وقوع گردوغبار، مسیرهای انتقال ذرات در سطح ۱۰۰۰، ۲۰۰۰، ۱۵۰۰ متری تابعی از مسیر و جهت حرکت باد غربی می باشد. در مسیر A ارتفاع ۲۰۰ متری نزدیک ترین ارتفاع به زمین است لذا تأثیر بیشتری بر شهر کرمانشاه خواهد داشت و همچنین این ارتفاع به عنوان شاخص اصلی جهت تشخیص منشأ گردوغبارهای شدید مورد بررسی قرار گرفته است به طوری که از زمان شروع روند عقب گرد به ساعات ماقبل در ارتفاع ۲۰۰ متری در هر زمانی که مسیر A با توجه به پروفیل عمودی خروجی از مدل HYSPLIT، از ارتفاع ۱۰۰۰ متری عبور کرد آخرین نقطه منشأ طوفان گردوغبار در نظر

در روز ۲۷ اکتبر امتداد جریانات گردوغبار بر روی منطقه به سبب کم فشار بریده ای در عرض های بین (۳۴ تا ۴۰ درجه شمالی) می باشد شکل ۵(الف) حرکات شرق سوی این بریده کم فشار بر روی عراق و سوریه سبب انتقال گردوغبار به غرب کشور شده است. در ۲۷ اکتبر روز گردوغبار از شبه جزیره عربستان به جنوب غرب و غرب کشور وارد

در مسیر A مبدأ ذرات شمال عربستان و کویت و جنوب عراق بوده است و مبدأ ذرات مسیر B داخل خاک سوریه و در بیابان های غرب و مرکزی عراق قرار دارد. اما مبدأ گردوغبار مسیر C منطبق بر جریانات باد می باشد که از بیابان های سوریه آغاز و با عبور از بیابان های غربی و مرکزی عراق، در ارتفاع ۱۰۰۰ متر به غرب ایران رسیده است. منشأ هر سه سطح ارتفاعی گردوغبار شهر کرمانشاه، کشورهای همسایه بوده اند که حاکی از آشفته گی جریان هوا را در منطقه دارد. به همین دلیل است که پیک اصلی یا بیشترین غلظت PM₁₀، ۲۴۱۹ میکروگرم بر مترمکعب در این توفان به ثبت رسیده است و تعداد ساعات دوام این طوفان به ۲۲ ساعت در این روز رسیده است. عامل اصلی نزول ذرات بر روی ایران کمتر شدن اثر جریانات سیکلونی و حاکمیت پرفشار بوده است شکل ۵(ه)، همچنین بررسی نقشه رطوبت روز ۲۷ اکتبر نشان می دهد که میزان رطوبت موجود در سطح زمین همچنان اندک و زیر ۲۰ درصد می باشد که باعث خشک شدن خاک های سطحی و ایجاد شرایط گرد و غبار گردیده است شکل ۵(و).

منطقه فعال می باشد و زبانه های آن به منطقه مورد مطالعه نفوذ کرده است. اما در شمال غرب این کم فشار، پرفشاری با ۱۰۲۷/۵ هکتوپاسکال بر روی ترکیه مستقر است، کنش و واکنش این سامانه منجر به ایجاد شیب فشاری متأثر از جریانات پرفشاری عرض های بالا تر شده است این اختلاف فشار باعث افزایش سرعت باد و شکل دهی جریاناتی از شمال غرب به سمت جنوب شرق ایران شده است. با توجه به نقشه جریانات تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال می توان مشاهده کرد که وجود پرفشار عربستان در جنوب غرب و یک کم فشار حرارتی در شمال غرب منطقه مورد مطالعه با حرکات خود باعث همگرایی جریانات و افزایش سرعت باد شده اند شکل ۵(ج). نقشه امگا در تراز ۷۰۰ نیز نشان از ناپایداری های شدیدی بر روی منطقه مورد مطالعه دارد که در شکل گیری پدیده گرد و غباری مؤثر بوده است شکل ۵(د). مشاهده نقشه های ردیابی نشان می دهد که طی این روز (۲۷ اکتبر) مبدأ ذرات غباری در دو مسیر A و B در ارتفاع های ۲۰۰ متری و ۱۰۰۰ متری از لحاظ ارتفاعی به نسبت روزهای

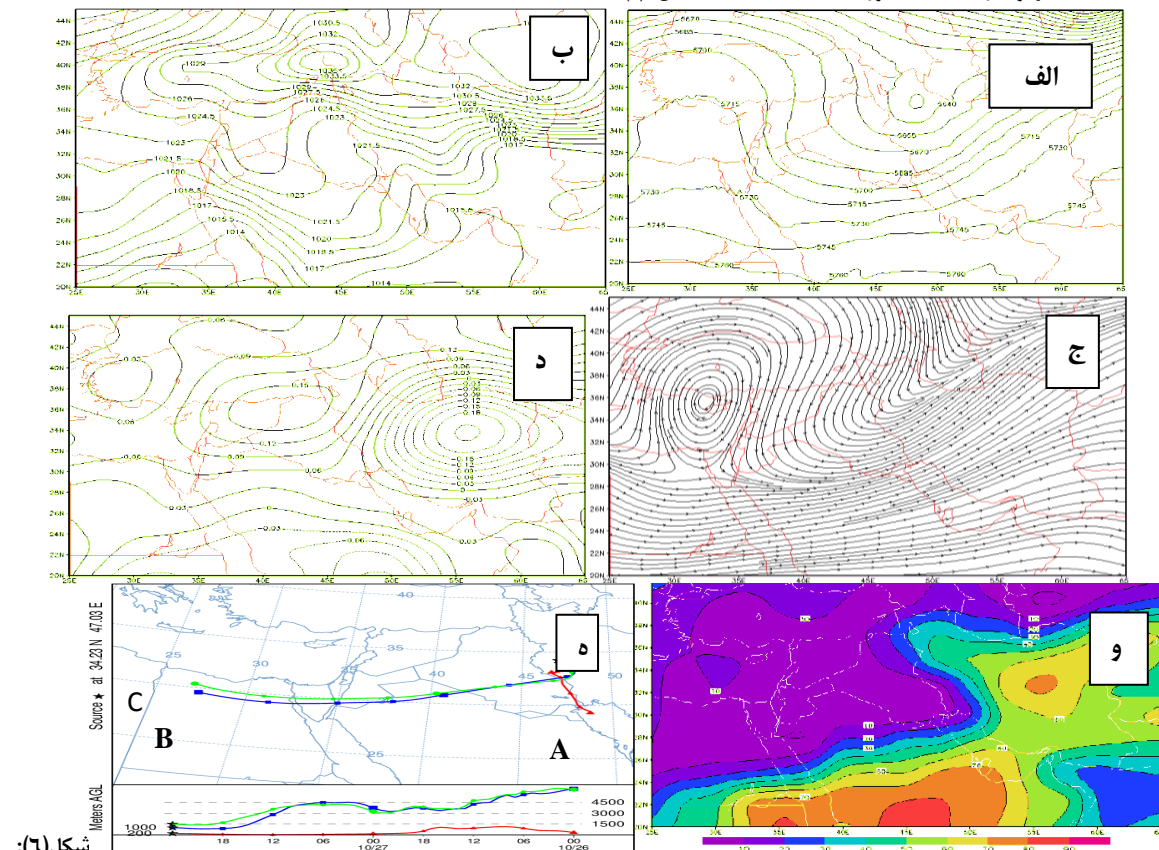
دیگر در سطوح پایین تری (کمتر از ۵۰۰ متر) حرکت خود را از چشمه گردوغبار به سمت منطقه مورد مطالعه آغاز نموده اند. با این تفاوت که



شکل ۵: (الف) ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰؛ (ب) فشار سطح دریا؛ (ج) امگای تراز ۷۰۰؛ (د) جریان باد تراز ۳۰۰؛ (ه) رطوبت ویژه تراز ۷۰۰؛ (و) نقشه ردیابی ذرات گرد و غبار HYSPLIT روز ۲۷ اکتبر ۲۰۱۸

نقشه امگا همانند روز قبل در تراز ۷۰۰ شکل (ج) نیز از ناپایداری بر روی منطقه مورد مطالعه حکایت دارد که در شکل گیری پدیده گردوغباری مؤثر بوده است. مشاهده نقشه های ردیابی نشان می دهد که طی این روز (۲۸ اکتبر) مبدأ ذرات گردوغباری در مسیر A در ارتفاع ۲۰۰ متری و در ۲۴ ساعت عقب گرد، ذرات غباری در سطح زیر ۲۰۰ متری بوده است و از آنجایی که روی خلیج فارس قرار گرفته با افزایش زمان عقب گرد کویت، عربستان و بخشی از عراق به مشاهای گردوغبار شهر کرمانشاه می پیوندد. منشأ گردوغبار برای ارتفاع های ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ متری در مسیر B و C مناطق بر جریان باد می باشد که از بیابان های شمال شرقی مصر آغاز و با عبور از بیابان های اردن، شمال عربستان و عراق بوده است. که در ۶ ساعت قبل از روز مورد نظر به ارتفاع کمتر از ۱۰۰۰ متر به مرزهای غربی کشور نفوذ کرده و به منطقه منتقل شده اند شکل (ه). در این روز میزان رطوبت موجود در سطح زمین همچنان زیر ۳۰ درصد است که خشک شدن خاک های سطحی و ایجاد شرایط گرد و غبار را در پی داشته است شکل (و).

در روز ۲۸ اکتبر همچنان بریده کم فشار بر روی عراق و ترکیه در حال سکون می باشد شکل (الف). حرکات شرق سوی این بریده کم فشار که دارای ارتفاع ۵۶۴۰ متر است، سبب ناپایداری در تراز میانی جو شده است. در این روز سیستم کم فشار حرارتی با فشار ۱۰۲۱ هکتوپاسکال همچنان در سطح منطقه فعال می باشد که زیانه های آن به غرب کشور نفوذ کرده است؛ اما دو سامانه پرفشار در شمال و شمال غرب این کم فشار، با ۱۰۳۵ و ۱۰۲۹ هکتوپاسکال در شمال ترکیه و شرق دریای سیاه مستقرند که منجر به شیب فشار به سمت غرب ایران شده است. همچنین کم فشار ترمیک وسیعی با فشار مرکزی ۱۰۲۰ هکتوپاسکال بر روی خلیج فارس دیده می شود، گردش چرخندی هوا درون این سامانه باعث مکش هوای بیابان های عراق، کویت و شمال عربستان به سمت خلیج فارس و غرب ایران گردیده و شرایط را برای ایجاد پدیده گردوغبار در منطقه مورد مطالعه فراهم کرده است شکل (ب). به علت وجود پرفشار عربستان و کم فشار موجود در شمال منطقه مورد مطالعه، جریان باد با جهات شمال غربی-جنوب شرقی باعث هدایت گردوغبار به منطقه مورد مطالعه شده است شکل (د).

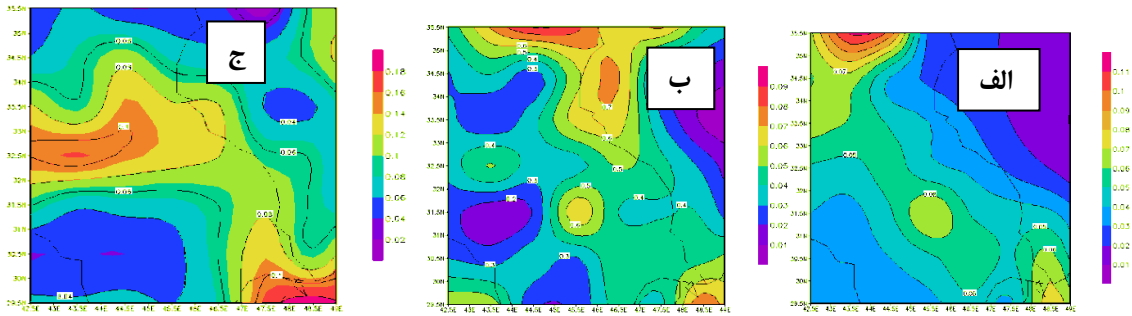


شکل (۶):

الف) ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰؛ ب) فشار سطح دریا؛ ج) امگای تراز ۷۰۰؛ د) جریان باد تراز ۲۵۰؛ و) رطوبت ویژه تراز ۷۰۰؛ ه) نقشه ردیابی ذرات گرد و غبار HYSPLIT روز ۲۷ اکتبر ۲۰۱۸

۲۰۰ متری جو، عمق اُپتیکتی به حدود ۰/۰۸ و تراکم به حد بالایی می رسد شکل (ب). همچنین در روز ۲۸ اکتبر با غلبه بادهای غربی و شمال غربی، میزان عمق اُپتیکتی کاهش یافته و در حد ۰/۶ مشاهده گردد شکل (ج). که غلبه کامل جریانات شمال غربی در سطوح جوی مشهود بود و قابلیت دید را کاهش داد.

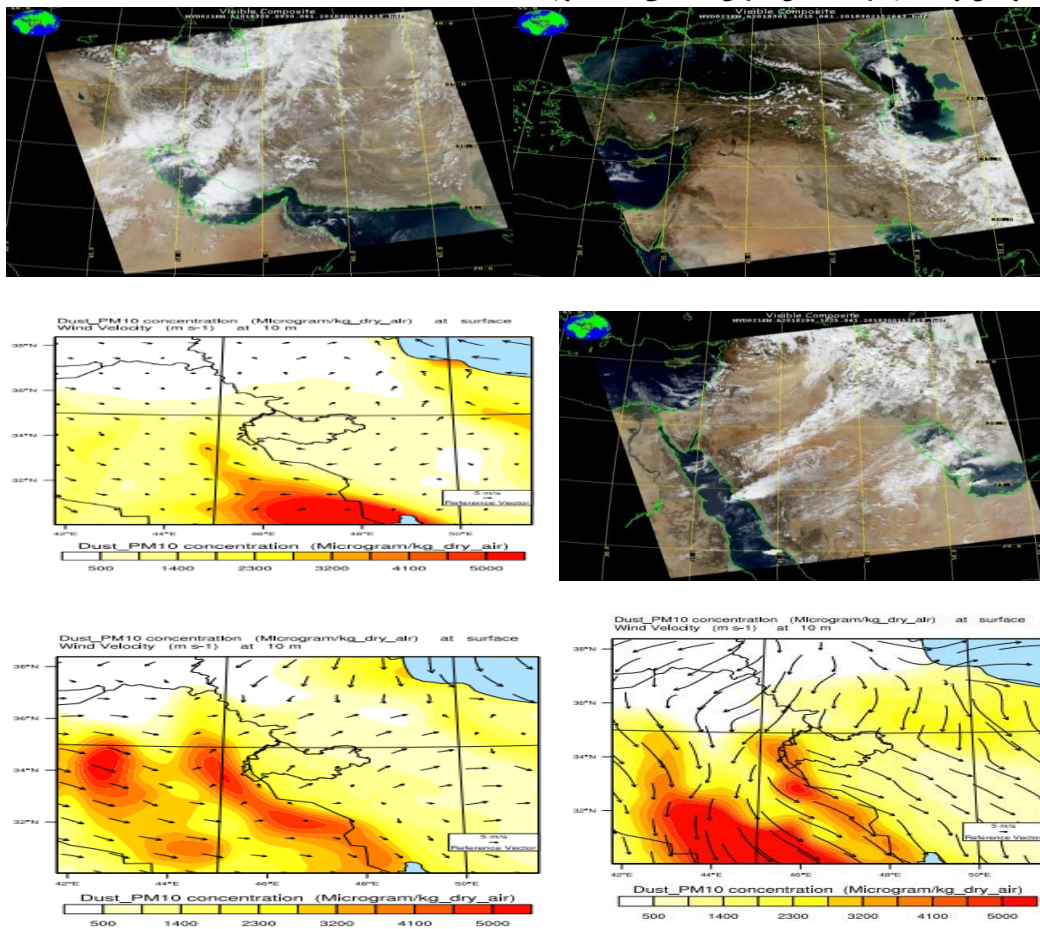
نتایج بررسی های عمق اُپتیکتی آئروسول نشان داد که در روز ۲۶ اکتبر ۲۰۱۸ میزان عمق اُپتیکتی بالاتر از ۰/۳ قرار گرفت که گسترش گردوغبار تا سطوح بالاتر از ۱۰۰۰ هکتوپاسکال از علل آن محسوب شد شکل (الف). اما در روز ۲۷ اکتبر با شکل گیری جریان گرد و غباری شدید در این روز به دلیل گسترش گرد و غبار به سطح



شکل (۷): عمق آبتیکی آئروسول (AOD) طی روزهای (الف) ۲۶ اکتبر (ب) ۲۷ اکتبر (ج) ۲۸ اکتبر

گردید منشأ اصلی آن محل رودخانه های دجله و فرات بوده که در محدوده شمال و شمال شرق عراق و غرب سوریه می باشد. شبیه سازی توزیع غلظت گردوغبار توسط مدل WRF-chem نشان می دهد که در شکل (د) ۲۶ اکتبر ۲۰۱۸ غلظت بالایی از گردوغبار به بیش از ۳۲۰۰ میکروگرم بر مترمکعب رسیده است که می تواند به دلیل جریان بادهای غربی باشد. اما در تاریخ ۲۸ اکتبر شکل (و) غلظت گردوغبار به کمتر از ۳۲۰۰ میکروگرم بر مترمکعب رسیده و به تدریج از منطقه کرمانشاه خارج می شود. توزیع مکانی گردوغبار تفسیر شده توسط تصاویر سنجنده ی MODIS با توزیع مکانی غلظت گردوغبار شبیه سازی شده توسط مدل WRF-chem انطباق دارد، تفسیر چشمی.

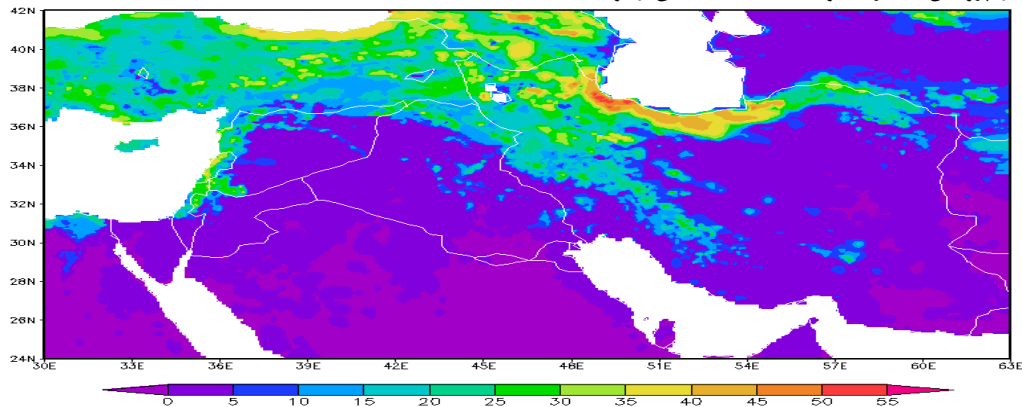
در تصاویر رنگی MODIS مربوط به روزهای گردوغباری مشاهده می شود که در روز ۲۶ اکتبر ۲۰۱۸ شکل (الف) توده ی گردوغباری در سوریه، عراق و عربستان شکل گرفته و به طرف غرب ایران در جریان است. اما در روز ۲۷ اکتبر شکل (ب) و ۲۸ اکتبر شکل (ج) گردوغبار به طور کامل وارد ایران شده است، توده ی گردوغباری که در جنوب و مرکز عراق و شمال عربستان شکل گرفته است؛ همان گونه که در تصاویر مشاهده می گردد، در حال وارد شدن به خلیج فارس می باشد. به طور مثال در پژوهشی که توسط (فلاح و همکاران، ۲۰۱۴) صورت گرفت، منشأ رخداد پدیده گردوغبار مربوط به ۱۸ ژوئن ۲۰۱۲ که در نواحی غرب و جنوب غرب ایران رخ داده بود، به کمک تصاویر ماهواره ای و با استفاده از باندهای مرئی و باندهای حرارتی سنجنده مودیس و با بکارگیری شاخص آکرمن شناسایی شد، معلوم



شکل ۸. الف. تصویر ماهواره ای MODIS ۲۶ اکتبر ۲۰۱۸. ب. تصویر مودیس ۲۷ اکتبر ۲۰۱۸. ج. تصویر مودیس ۲۸ اکتبر ۲۰۱۸: شبیه سازی توزیع غلظت گردوغبار توسط مدل WRF-chem. د. نقشه ۲۶ اکتبر ۲۰۱۸. و. نقشه ۲۷ اکتبر ۲۰۱۸. ه. نقشه ۲۸ اکتبر ۲۰۱۸.

شکل ۹ از سطح زمین تا عمق ۱۰ سانتیمتری می توان گفت در روزهای همراه با گرد و غبار، رطوبت موجود در خاک کانون ذرات گرد و غبار کم تر از ۵ درصد بوده است. به همین دلیل با عبور جریانات از روی این میادین فاقد رطوبت کافی، ذرات زیر خاک به راحتی از سطح زمین جدا شده و به سمت منطقه مورد مطالعه حمل شده اند.

فرسایش بادی یکی از جنبه های تخریب اراضی در مناطق خشک و نیمه خشک جهان محسوب می شود. رطوبت خاک از طریق کنترل سرعت آستانه و نیز فرسایش پذیری خاک، بر شدت فرسایش تأثیر گذار است. در مطالعه ای نشان داده شد که رطوبت خاک، مهم ترین و بارزترین پارامتر مؤثر بر سرعت آستانه فرسایش بادی در کانون های گردوغباری در استان البرز است. هر چه رطوبت خاک بیشتر شود، ذرات چسبندگی بیش تر و مقاومت بیش تر می شود (ظهرداری و همکاران، ۱۳۹۸). در پژوهش حاضر با توجه به نقشه میانگین رطوبت خاک



شکل (۹): میانگین رطوبت خاک تا عمق ۱۰ سانتی متری (۲۶ تا ۲۸ اکتبر ۲۰۱۸)

زمین کشیده شده اند. نقشه رطوبت خاک نیز حاکی از کمبود شدید رطوبت تا عمق ۱۰ سانتی متری خاک دارد که همزمان با عبور سامانه های ناپایدار و جریانات غربی از روی مناطق، ذرات زیر خاک به راحتی از زمین جدا شده و به منطقه مورد مطالعه منتقل گردد. در پژوهش حاضر به روشنی مشخص شد که استفاده از مدل WRF-chem فن مناسبی برای شبیه سازی طوفان گردوغبار بوده و از نظر مقیاس و تغییرات زمانی، برآوردی منطقی از گردوغبار در محدوده مطالعاتی به دست می دهد. با شبیه سازی طوفان های گردوغبار حاصل از دادهای غربی توسط مدل WRF-chem نشان داد که منبع اصلی گردوغبار نواحی واقع در بیابان های غربی و مرکزی عراق، سوریه و شمال عربستان قرار دارد. طی تحقیقی (نیکفال، ۱۳۹۶) با استفاده از مدل WRF-chem به برآورد غلظت ذرات PM₁₀ در منطقه ایران پرداخت، که نتایج حاصل از شبیه سازی ذرات PM₁₀، منطقه بین النهرین در نزدیکی جنوب غرب ایران را به عنوان چشمه اصلی معرفی کرد. در مطالعه ای (محمدی، ۱۳۹۵) به ردیابی منابع گردوغبار در سطوح مختلف جو تهران با استفاده از مدل HYSPLIT پرداخت، نتایج کار نشان داد که یکی از سیستم های فشار مؤثر در وقوع گردوغبار و تعیین مسیر آنها پرفشار مستقر بر روی عربستان است که در تمام روزها گردوغبار مورد مطالعه این سامانه حرکت و جابه جایی اندکی داشته و تقریباً به صورت یک سیستم دائمی در منطقه بوده است. (طولایی نژاد و همکاران، ۱۳۹۷) در مقاله ای به بررسی تشکیل و منشأ طوفان گردوغبار در منطقه جنوب غرب ایران با استفاده از مدل HYSPLIT پرداختند که نتایج نشان داد هسته های گردوغبار در محدوده های غرب عراق، شرق سوریه و عربستان در ژوئن ۲۰۱۵ بوده است. نتایج حاصل از پژوهش حاضر با نتایج پژوهش های انجام شده همخوانی بسیار خوبی دارد. هر چند این مطلب بارها در تحقیقات گوناگونی به اثبات رسیده، اما چنین وضعیتی نیازمند تلاش برای حل

بحث و نتیجه گیری:

قرارگیری ایران در منطقه گرم و خشک کره زمین و مجاورت با بیابان های جنب حاره مانند عراق، سوریه و عربستان باعث به وجود آمدن مداوم مخاطره گردوغبار در نیمه غربی ایران می شود. بر اساس نتایج حاصل از تحلیل نقشه های سینوپتیک در واقع عامل اصلی ایجاد کننده پدیده موج گردوغبار طی روزهای ۲۶ تا ۲۸ اکتبر ۲۰۱۸ در شهر کرمانشاه، علاوه بر ناپایداری ایجاد شده توسط کم فشارهای حرارتی سطح زمین، تحركات پرفشار عربستان که باعث همگرایی جریانات به سمت غرب شده اند. استقرار یک بریده کم فشار در سطوح میانی جو در این رخداد به خوبی نمایان است به طوری که با وجود ناپایداری در تراز میانی جو، عدم وجود رطوبت کافی در سامانه های منتقل شده به غرب کشور، عبور جریانات از بیابان های عراق و سوریه عدم رطوبت کافی چه در سطح و چه در عمق خاک در داخل کشور و در کشورهای همسایه موجب شکل گیری چشمه گردوغبار و انتقال آن به منطقه مورد مطالعه گردیده است. همچنین بررسی نقشه های ردیابی حاصل از HYSPLIT نشان می دهد که دو مسیر کلی برای انتقال گردوغبار به منطقه مورد مطالعه قابل تشخیص است. ۱- مسیر شمال غرب- جنوب شرقی که با عبور از روی هسته های گردوغبار شکل گرفته در بیابان های عراق و سوریه عمل انتقال گردوغبار به نیمه غربی ایران را انجام می دهد؛ این مسیر را می توان ورود گردوغبار به منطقه در ارتفاع ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ متری دانست. ۲- مسیر جنوب غرب به غرب ایران و شهر کرمانشاه که در ارتفاع ۲۰۰ تا ۱۰۰۰ متری، که سرچشمه اصلی گردوغبار در روز ۲۷ و ۲۸ اکتبر می باشد، منبع ذرات این مسیر کویت، شمال عربستان و بخشی از عراق می باشد. بررسی مسیر ذرات نشان می دهد که این ذرات ابتدا توسط سامانه های کم فشار مستقر در منطقه به سطوح بالاتر منتقل شده و سپس در دو مسیر به سمت

این مشکل به صورت فرامنطقه ای است، نه اینکه لزوماً تنها در سطح ایران و شهر کرمانشاه بر آن تأکید شود. گستردگی بیابان های وسیع خاستگاه گردوغبار، بیابان زایی رو به رشد، خشکسالی های مداوم و نقش عوامل انسانی در مدیریت نابخردانه سرزمین، رویدادهای گردوغباری در غرب ایران را به چالش زیست محیطی کنترل ناپذیر تبدیل کرده است.

منابع

- انتظاری، ع.، سروستان، ر.، ۱۳۹۶، بررسی گردوغبار و پیش بینی آن در شهرهای استان خوزستان با استفاده از مدل های سری زمانی. مطالعات علوم محیط زیست، دوره دوم، شماره چهارم، ۵۲۶-۵۹۸.
- خورشید دوست، ع.، م.، محمدی، غ.، حسینی صدر، ع.، جوان، خ.، جمالی، الف.، ۱۳۹۲، تحلیل همید عوامل مؤثر در فراوانی روزهای گردوغباری در غرب کشور، جغرافیا و برنامه ریزی، شماره ۴۶، ۴۷-۶۶.
- خوش کیش، الف.، علیجانی، ب.، حجازی زاده، ز.، ۱۳۹۰، تحلیل سینوپتیکی سامانه های گردوغبار در استان لرستان، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، جلد ۱۸، شماره ۲۱، صفحات ۱۱۰-۹۱.
- دمی زاده، م.، مهدوی، ر.، نوروزی، ع.، غلامی، ح.، حلی ساز، الف.، ۱۴۰۰، به بررسی مسیرهای انتشار گردوغبار در استان هرمزگان با استفاده از مدل HYSPLIT، فصلنامه مهندسی و مدیریت آبخیز، دوره ۱۳، شماره ۲.
- رضایی بنفشه، م.، رستم زاده، ه.، کامل حسینی، م.، ۱۳۹۸، واکاوی و ردیابی توفان گردوغبار فراگیر اردیبهشت ۹۷ در نیمه جنوبی ایران، کنفرانس بین المللی گردوغبار در جنوب غرب آسیا، اردیبهشت ۹۸.
- طولابی نژاد، م.، حجازی زاده، ز.، زارعی چقالبکی، ز.، امرایی، ب.، ۱۳۹۷، پایش طوفان گردوغبار در نیمه غربی ایران: مطالعه موردی طوفان گردوغبار ۱۶ تا ۱۹ ژوئن ۲۰۱۵. نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال پنجم، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۷، صفحات ۱۰۷ تا ۱۲۴.
- فلاح زاده، و.، محمد، ع.، وفایی نژاد، م.، خیرخواه ز.، احمدی دهکاء، ف.، ۱۳۹۳، پایش و تحلیل سینوپتیکی پدیده گردوغبار با استفاده از سنسجس از دور و GIS (مطالعه موردی: گردوغبار ۱۸ ژوئن ۲۰۱۲)، فصلنامه علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر) دوره ۲۳، شماره ۹۱، صص. ۶۹-۸۰.
- محمدپور پنجاه، م.، ملکوتی، ح.، بابا حسینی، س.، ۱۳۹۵، دست یابی به چشمه توفان های گردوغبار به کمک مدل های عددی: معرفی رویکردی برای پیش بینی طوفان های گردوغبار، مجله جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، سال ۲۷، شماره ۱، بهار ۱۳۹۵.
- ظهرابی، س.، مصباح زاده، ت.، جعفری، م.، دستورانی، م.، ۱۳۹۸، بررسی آستانه فرسایش بادی و تأثیر آن بر خواص خاک در مراکز تولید گردوغبار استان البرز. مجله مطالعات مناطق خشک. (۳۸) ۱۰، ۱-۱۳.
- نامداری، س.، ۱۳۹۵، تحلیل روند زمانی و مکانی طوفان های گردوغبار در غرب و جنوب غرب ایران با پردازش تصاویر ماهواره ای، رساله دکتری اقلیم شناسی، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی، دانشگاه تبریز.
- ناصرپور، س.، علیجانی، ب.، ضیاییان، پ.، ۱۳۹۴، منشأیابی طوفان های گردوغبار در جنوب غرب ایران با استفاده از تصاویر ماهواره ای و نقشه های هوا، پژوهش های جغرافیای طبیعی، دوره ۴۷، شماره ۱، صفحات: ۳۶-۲۱.
- نیکفال، الف. ح.، کرمی، س.، رنجبرسعادت آبادی، ع.، صحت کاشانی، س.، قابلیت های مدل عددی WRF- CHEM در برآورد غلظت گردوخاک، فصلنامه علوم محیطی، دوره پانزدهم، شماره ۱، بهار ۱۳۹۶، ۱۲۶-۱۱۵.
- Ackermann, I.J., Hass, H., Memmesheimer, M., Ebel, A., Binkowski, F.S., and Shankar, U., (1998). Modal Aerosol Dynamics Model for Europe Development and first Applications. *Atmospheric Environment*, 32(17), 2981-2999.
- Ashrafi, K., Shafiepour-Motlagh, M., Aslemann, A., Ghader, S., 2014, Dust storm simulation over Iran using HYSPLIT, *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, Vol. 12(1), pp.29-38.
- Behyar, M.B., (2015). Zoning the Degree of Risk of Fog and Dust Storms in the Country's road Network using Satellite data. *Geographical Research Quarterly*, 30(2), 105-125.
- Binkowski, F.S., Shankar, U., (1995). The Regional particulate Matter Model. Model Description and Preliminary Results. *Journal of Geophysical Research*, 100(12), 26191-26209.
- Chang, W., Zhang, Y., Li, Z., Chen, J., Li, K., (2021), Improving the sectional Model for Simulating Aerosol Interactions and Chemistry (MOSAIC) aerosols of the Weather Research and Forecasting-Chemistry (WRF-Chem) model with the revised Gridpoint Statistical Interpolation system and multi-wavelength aerosol optical measurements: the dust aerosol observation campaign at Kashi, near the Taklimakan Desert, northwestern China. *Atmos. Chem. PhysICS.*, 21, 4403-4430, 2021.
- Draxler, R., Hess, G. D., 1998, An overview of the HYSPLIT modelling system for trajectories, *Journal of Australian Meteorological Magazine*, Vol. 47(4), pp. 246-270.

- Engelstadler, S. (2001). Dust storm frequencies and their relationships to land surface conditions. Freidrich-Schiller university press, jena. Germany. 26.
- Falah, M., Vafai nezhad, A.L., Kherkhah, M.M., Ahmadi, F., (2014). Synoptic Monitoring and Analysis of Iranian Dust Hazard. Knowledge of Risks, 2(1), 5-20.
- Goudie, A. S., Middleton, N. J., 2001, Saharan dust storms: nature and consequences, Earth-Science Reviews, 56, 179 – 204.
- Goudarzi, G., Heidari Farsani , M., Shirmardi, H., Maleki, H., Sorooshian, A., Babaei, A., (2018),” Evaluation of the relationship between PM10 concentrations and heavy metals during normal and dusty days in Ahvaz, Iran”, journal home pa ge: Aeolian Research 33 (2018) 12–22.
- Grell, G.A., Peckham, S.E., Schmitz, R., McKeen, S.A., Frost, G., Skamarock, W.C., Eder, B., (2005). Fully Coupled Online Chemistry Within the WRF Model. Atmospheric Environment. 39(37), 6957–6975.
- Heidari, M., Shirmardi, M., Alavi, N., Malehi, H., Sorooshian, A., Babaei, A., Asgharnia, H., Marzouni, M., Goudarzi, Gh., (2018). Evaluation of the Relationship between PM₁₀ Concentrations and Heavy Metals During Normal and Dusty Days in Ahvaz, Journal Homepage: Aeolin Research (33), 12-22.
- Lu, M.; Xinghua, Y.; Tianliang, Z.; Qing, H.; Lua, H.; Ali, M.; Wen, H.; Fan, Y. and Chong, L. (2019). Modeling study on three dimensional distribution of dust aerosols during a dust storm over the Tarim Basin, Northwest China, Atmospheric Research, 2(218): 285-295.
- Mesbahzadeh, T, Salajeghe, A, Soleimani, F., Zehtabian, G., Ranjbar, A., Karami, S., Krakauer, Y., 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), Department of Reclamation of Arid and M, Mario Marcello Miglietta, 2020, Appl. Sci. 2020, 10(13), 4536.
- Sari Sarraf B., Rasouli A.A., Mohammadi Gh. H., (2015), Long-Term Annual Variation and Trend of Dusty Days in the West of Iran, Int. J. Rev. Life. Sci., 5(9), 1230-1237.
- Tanaka, T.Y. and M. A. Chiba.2006. a Numerical Study of the Contribution of Dust Source Regions to the Global Dust Budget. Glob Planetary Change, 52(1-4): 88-104.
- Tiangang, Y.; Siyu, C.; Jianping, H.; Xiaorui, Z.; Yuan, L.; Xiaojun, M. and Guolon, Z. (2019). Sensitivity of simulating a dust storm over Central Asia to different dust schemes using the WRF-Chem model, Atmospheric Environment. 15(207): 16-29.
- Waldhauserova, P.D., Agnes, H., Olafsson, O., (2016). The Spatial Variation of Dust Particulate Matter Concentrations During two Icelandic Dust Storms in 2015. Atmosphere, 7(6): 77.

Detection and simulation of dust storm in different levels of Kermanshah atmosphere using HYSPLIT and WRF-chem models

Case Study: Dust Storm October 26-28, 2018

Toba Alizadeh*¹, Majid Rezaei Banafsheh, Rahman Sharifi

*1- PhD Student in Meteorology, Department of Meteorology, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

2- Professor of Meteorology, Department of Meteorology, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

3- Masters of Meteorology, Department of Meteorology, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

*Email Address: alizadehtoba@yahoo.com

Abstract

Introduction

Dust phenomenon is one of the most harmful natural disasters in low rainfall regions of the world, especially in Iran, which brings many environmental problems in these areas. It is also one of the environmental challenges in the Middle East and Iran in recent years. This phenomenon has become one of the main problems in arid and semi-arid regions today, which has adverse social, economic and environmental effects and it can be said with certainty that one of the environmental hazards in arid and semi-arid regions of the world are dust storms, This environmental event is considered as a climatic hazard and causes or exacerbates cardiovascular diseases, respiratory diseases and many allergies in the human body, Large amounts of dust are transported every year from the deserts of North Africa, the Arabian Peninsula, Iraq and Syria to different parts of Iran. Depending on global warming and wind speeds such as Harmatan and other strong local winds, these dusts are drawn to an altitude of 3,000 meters and above and are transferred to the areas in front of these systems by entering the wind systems of the Mediterranean and North Africa. Dust is one of the most common atmospheric phenomena and one of the biggest environmental problems in arid and semi-arid regions, which has devastating effects on the inhabitants of these areas every year. In recent years, pollution caused by dust particles has become one of the environmental problems, especially in developing countries. Considering that Iran is also located in the arid and semi-arid region of the world and a large area of the country is considered as an arid and semi-arid region, it is necessary to study this phenomenon.

research method

The main purpose of this study is to explain the causes of occurrence and routing of dust storm springs in Kermanshah in the three-day period from October 26 to 28, 2018. In the first stage, using meteorological data, the days associated with the dust storm were determined. In the second stage, for synoptic analysis of the causes of the storm, from the ECMWF European Center for Medium-Term Forecasting Database with a resolution of 0.125 degrees, including geopotential height of 500 hPa, omega of 700 hp, sea level pressure SLP, components Orbital and meridional wind at the level of 300 hPa, special humidity at the level of 700 hPa due to higher resolution and satellite data of soil moisture to a depth of 10 cm were used in the study area. Using the above data in using GRADS software; Wind patterns and synoptic systems effective in transporting fine dust to Kermanshah were drawn. In the third stage, using the HYSPLIT model, dust particles were detected at three levels of 200, 1000 and 1500 meters above the ground at a time interval of 6 to 48 hours before the occurrence of dust. WRF-CHEM numerical weather simulation model was used to prepare numerical maps of particle concentration distribution and dust storm path to western Iran. In the present study, using version 3,6,1 of the WRF-CHEM paired model, simulations were performed for 3 days from 26 to 28 October 2018 using GFS analysis data for initial and boundary conditions. In this implementation, the advanced MADE-SORGAM schema was used as the emission pattern of airborne particles, which in turn is based on the regional model of airborne particles. In MADE design, airborne particles in three models with a diameter of less than 0.1 μm , cumulative with a diameter between 0.1 to 2 μm and large with a diameter greater than 2 μm with a log-normal

distribution were included in the air quality simulation process. In the last step, MODIS images were used to determine the sources of dust diffusion to the west of Iran, and also by using the optical depth detection index of AOD aerosol, the numerical distribution map of dust aerosols in the atmosphere was obtained.

Conclusion

According to the results of the analysis of synoptic maps, in fact, the main cause of the dust wave phenomenon from 26 to 28 October 2018 in Kermanshah, in addition to the instability caused by low surface heat pressures, Saudi high-pressure movements that cause currents to converge towards Have become western. Deployment of a low pressure section in the middle levels of the atmosphere is well visible in this event, so that despite the instability in the middle level of the atmosphere, lack of sufficient moisture in the systems transferred to the west of the country, currents flowing through the deserts of Iraq and Syria. Sufficient both in the surface and in the depth of the soil inside the country and in neighboring countries has led to the formation of a dust spring and its transfer to the study area. Also, the examination of the tracking maps obtained from HYSPLIT shows that two general paths for the transfer of dust to the study area can be identified: 1- The northwest-southeast route, which passes through dust cores formed in the deserts of Iraq and Syria, transports dust to the western half of Iran; This route can be considered as the entry of dust into the area at an altitude of 1000 to 1500 meters. 2- The southwest-west route of Iran and the city of Kermanshah, which at an altitude of 200 to 1000 meters, which is the main source of dust on October 27 and 28, is the source of particles in this route Kuwait, northern Saudi Arabia and part of Iraq. Examination of the particle path shows that these particles were first transported to higher levels by low pressure systems located in the area and then pulled to the ground in two paths. The soil moisture map also shows a severe lack of moisture up to a depth of 10 cm in the soil that at the same time with the passage of unstable systems and western currents over the areas, subsoil particles are easily separated from the ground and transferred to the study area. By simulating dust storms from the west wind by the WRF-chem model, it showed that the main source of dust is located in the western and central deserts of Iraq, Syria and northern Saudi Arabia.

Keywords: Dust, Synoptic system, Tracking, Simulation, Kermanshah.