

بررسی رابطه رخداد گردوخاک با پارامترهای اقلیمی و شرایط سطحی در استان خوزستان (۲۰۱۹-۲۰۱۱)

الهام مبارک حسن*، مهناز کریم خانی^۲

۱- گروه محیط زیست، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز

۲- گروه علوم زمین، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۲۳، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۱۶)

چکیده

استان خوزستان تحت تاثیر توفان‌های گردوخاک است. هدف از این مطالعه تعیین مهم‌ترین عامل‌های اقلیمی و شرایط سطحی در انتقال و انتشار گرد و خاک‌های داخلی این استان می‌باشد. با استفاده از داده‌های سنجش از دور از سه منبع مختلف داده شامل GLDAS، MERRA-2 و آکوا، میانگین ماهانه غلظت جرمی گردوخاک سطحی و گردوخاک ستون هوا و همچنین برخی متغیرهای جوی شامل دما و باد سطحی، رطوبت ویژه و آهنگ بارش باران و شرایط سطحی شامل رطوبت خاک و پوشش گیاهی از سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۹ تهیه و توزیع آن‌ها ترسیم و تحلیل شد. نتایج تحقیق نشان می‌دهد، استان خوزستان با متوسط شاخص پوشش گیاهی ۰/۱۵ مستعد فرسایش بادی و گردوخاک محلی است. همچنین غلظت جرمی گردوخاک سطحی و گردوخاک ستون هوا از جنوب غرب به شمال شرق استان کاسته می‌شود که دلیل آن را می‌توان ساختار کوهستانی و همچنین افزایش فاصله مناطق شمال شرق استان از کانون‌های بیرونی گردوخاک دانست. در توزیع ماهانه غلظت جرمی گردوخاک سطحی با دما و سرعت باد به ترتیب همبستگی ۰/۸۴-، ۰/۸۱- و ۰/۵۴- دارد. گردوخاک سطحی بیشترین همبستگی را با عوامل اقلیمی دارد که نشان دهنده تاثیر گردوخاک فرامحلی هستند. در توزیع سالانه، رابطه غلظت جرمی گردوخاک سطحی با پوشش گیاهی منفی به دست آمد. همچنین ارتباط گردوخاک ستون هوا با پوشش گیاهی منفی و بارش مثبت بود.

کلمات کلیدی: گردوخاک، NDVI، رطوبت خاک، MERRA-2 و ماهواره آکوا.

مقدمه

و همکاران، ۲۰۰۲). گردوخاک معلق در جو توسط گردش کلی جو می‌تواند به مناطق بسیار دورتر از منبع تولید خود منتقل شود (تیگن و فانگ، ۱۹۹۴؛ جینوکس و همکاران، ۲۰۰۱)؛ بنابراین، گردوخاک می‌تواند بر ویژگی‌های نوری و بودجه تابشی مناطق پایین‌دست چشمه‌های گردوخاک نیز اثرگذار باشد. شرایط آب و هوایی و شرایط سطحی در انتشار گردوخاک سطحی تأثیر به‌سزایی دارند (آن و همکاران، ۲۰۱۸). دو عامل اصلی مؤثر در توزیع و تعداد وقوع گردوخاک می‌توان به تغییرات شرایط سطحی کانون‌های گردوخاک و تغییرات باد نزدیکی سطح زمین، اشاره کرد (ژانگ و همکاران، ۲۰۰۵؛ یو و همکاران، ۲۰۰۹). مشخصه‌های سطحی مانند رطوبت، بافت، ناهمواری، توپوگرافی و پوشش گیاهی از جمله عواملی سطحی هستند که در فرسایش‌پذیری و فرآیند فرسایش بادی نقش دارند (ژوان و همکاران، ۲۰۰۴، راوی و اودوریکا، ۲۰۰۵؛ ناتساگدورج و

گردوخاک یکی از فراوان‌ترین هواویزهای معلق در جو زمین است (گریگس و همکاران، ۲۰۰۲). در مقیاس جهانی، گرد و خاک معلق در جو زمین عمدتاً ناشی از چشمه‌های طبیعی یا همان مناطق بیابانی است (تیگن و همکاران، ۲۰۰۴). اگرچه عوامل انسان‌زاد که عامل اصلی تغییرات آب‌وهوایی و تغییر در پوشش سطح زمین هستند نیز نقش بسزایی در افزایش غلظت گردوخاک معلق در جو ایفا می‌کند (پروسپرو و همکاران، ۲۰۰۲). غلظت بالای ذرات معلق در طی توفان‌های خاک باعث اثرات ناگواری بر سلامتی بشر می‌شود (چراغی و همکاران، ۱۳۸۱؛ فرهادی‌پور و همکاران، ۱۳۹۶؛ هوتاجیس و همکاران، ۲۰۰۱؛ هو و همکاران، ۲۰۰۷؛ چوئی و همکاران، ۲۰۱۱). منشأ و سرچشمه تولید گردوخاک معمولاً مناطق خشک، نیمه‌خشک و مناطق فاقد پوشش گیاهی مناسب و همچنین مناطق آبرفتی دارای رسوبات ریزدانه است (پروسپرو

کمبود بارش و پوشش گیاهی و شرایط جوی و محیطی، منجر به شکل‌گیری گردوخاک‌های بسیار در این منطقه می‌شود (میدلتون و کانگ، ۲۰۱۷).

استان خوزستان واقع در جنوب غرب ایران یکی از نواحی است که تحت تأثیر پدیده گردوخاک فرامرزی و داخلی قرار دارد. این استان با بیش از ۸۰۰ هکتار زمین بیابانی و کمبود فضای سبز هر ساله به‌ویژه در فصل تابستان با انتشار شدید گردوخاک همراه بوده و مستعد انتشار گردوخاک داخلی است. روند افزایشی روزهای همراه با گردوخاک در منطقه تالاب هورالعظیم به‌دست آمده است (صداقت و نظری پور، ۱۳۹۹). نتایج نشان می‌دهد که کاهش رطوبت خاک و کاهش تراکم پوشش گیاهی منجر به افزایش دمای روبه زمین شده و بر فراوانی رخداد توفان‌های گردوغبار اثرگذار هستند (صداقت و نظری پور، ۱۳۹۹).

هدف از مطالعه حاضر بررسی ارتباط پارامترهای جوی مانند دما، بارش و باد و همچنین پارامترهای سطحی نظیر رطوبت خاک و پوشش گیاهی با پدیده گردوخاک در استان خوزستان به کمک داده‌های سنجش‌ازدور در بازه زمانی ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۹ می‌باشد.

داده و روش

محدوده مورد مطالعه

خوزستان استانی در جنوب غرب ایران است که جنوب آن در کرانه خلیج فارس قرار دارد. مساحت استان خوزستان ۶۴'۰۵۷ کیلومتر مربع است و پنجمین استان پرجمعیت ایران محسوب می‌شود. شهر اهواز مرکز این استان است. استان خوزستان در جوار خلیج فارس و اروندرود قرار دارد و مرکز استخراج نفت ایران است. خوزستان از شمال به لرستان، از شمال شرق و شرق به استان چهارمحال و بختیاری، از شمال غرب به ایلام، از جنوب شرق و غرب به کهگیلویه و بویراحمد، از جنوب به بوشهر و خلیج فارس و از غرب به کشور عراق محدود می‌شود. استان خوزستان از شمال و شرق توسط رشته کوه‌های زاگرس احاطه شده است، با حرکت به سمت داخل استان از ارتفاع این کوه‌ها کاسته شده و جای خود را به تپه‌ماهورها می‌دهد. خوزستان

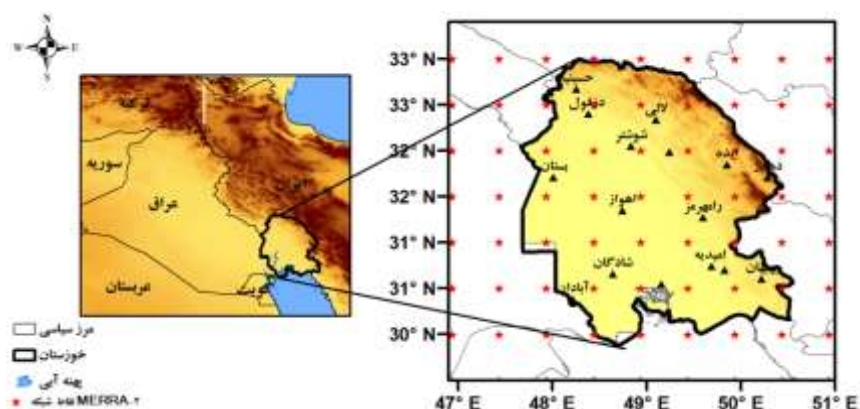
همکاران، ۲۰۰۳؛ وانگ و همکاران، ۲۰۰۴؛ ایشیزوکا و همکاران، ۲۰۰۵؛ کووی و همکاران، ۲۰۱۳؛ تیگن و همکاران، ۲۰۰۴). بررسی رابطه بین گردوخاک (شاخص عمق نوری هواویز) و پارامترهای هواشناسی (بارش، دما، فشار و باد) با استفاده از داده‌های ماهانه از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ در مناطق بیابانی عراق، سوریه و عربستان انجام شد (نامداری و همکاران، ۲۰۱۸). نتایج نشان داد که کاهش طولانی‌مدت در میزان بارندگی باعث کاهش رطوبت خاک و پوشش گیاهی گردیده که در نهایت منجر به انتشار شدیدتر گردوخاک می‌شود.

دمای سطحی هوا و خاک، بارش و محتوای رطوبت خاک از جمله عواملی هستند که در رشد گیاه و درصد پوشش گیاهی به‌ویژه در فصل بهار نقش داشته و بیشترین تأثیر پوشش گیاهی در انتشار گردوخاک در مناطق بیابان‌های داخلی (**desert interiors**) می‌باشد (آن و همکاران، ۲۰۱۸). کاهش رطوبت خاک و گذر سرعت باد از آستانه معین، باعث تشکیل توفان‌های گردوخاک می‌شود. کاهش شدید رطوبت خاک بر اثر کاهش شدید بارش در دهه گذشته به‌ویژه در شمال خاورمیانه که منطقه تغذیه رودهای بزرگ بین‌النهرین می‌باشد از عوامل مؤثر در گردوخاک است (طائی سمیرمی و همکاران، ۱۳۹۲). سرعت آستانه به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای بستگی به رطوبت نسبی دارد. در مناطق خشک تغییر در رطوبت هوا موجب تغییرات در رطوبت سطحی خاک می‌شود (راوی و اودوریکو، ۲۰۰۵). افزایش تنها سه درصد رطوبت خاک قادر به کاهش چشمگیر غلظت گردوخاک منجر می‌شود (نوروزاده حداد و بهرامی، ۱۳۹۴). گرچه در برخی مناطق مانند تالاب هورالعظیم در جنوب غرب ایران به دلیل ویژگی‌های خاک و بالا بودن سرعت باد، افزایش رطوبت خاک نمی‌تواند به کاهش گردوخاک کمک کند (ادیب و همکاران، ۲۰۱۸). بررسی رابطه بین میزان رطوبت (داده‌های GLDAS_NOAHH) و گردوخاک در استان ایلام نشان از کاهش رطوبت در منطقه دارد (شعاعی و همکاران، ۱۳۹۴).

ایران کشوری است که بخش عظیمی از آن در کمربند پرفشار جنب حاره‌ای قرار دارد؛ بنابراین بسیاری از مناطق آن دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک است. وجود بیابان‌های متعدد،

شکل ۱ آمده است. با توجه به هدف تحقیق حاضر، استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور امکان بررسی توزیع مکانی و مقدار گردو خاک در استان خوزستان را فراهم می‌نماید؛ در حالی که داده‌های زمینی (همدیدی) شامل دید افقی و کد پدیده معیار دقیقی برای تعیین مقدار گردو خاک در منطقه نیستند. همچنین بررسی توزیع مکانی گردو خاک را در همه بخش‌های استان خوزستان توسط داده‌های همدیدی مسیر نیست؛ بنابراین مطالعه حاضر با کمک داده‌های سنجش‌ازدور و مدل‌های مبتنی بر آن داده‌ها انجام شده است تا بتوان توزیع مکانی گردو خاک و عوامل مؤثر بر آن را در استان خوزستان بررسی نمود.

شامل دو منطقه کوهستانی و جلگه‌ای است. دوپنجم کل مساحت این استان کوهستانی و سه‌پنجم آن جلگه‌ای می‌باشد. جلگه خوزستان شیب کمی دارد و در برخی از نقاط آن گنبد‌های نمکی موجود است که نقش عمده‌ای در شور کردن اراضی و آب‌ها دارد. Error! Reference source not found. موقعیت جغرافیایی استان خوزستان را نشان می‌دهد. ایستگاه‌های هواشناسی متعددی در استان خوزستان وجود دارد که برخی از آن‌ها تازه تا سیس بوده و برخی دیگر داده‌ها بلندمدت دارند. موقعیت جغرافیایی برخی ایستگاه‌ها در



شکل ۱: استان خوزستان و موقعیت ایستگاه‌های همدیدی

دور شامل AVHRR، MODIS، MISR و AERONEY عمل می‌نماید. داده‌ها در تفکیک مکانی (latitude) $0/625^\circ$ و طول جغرافیایی و $0/5^\circ$ (longitude) شامل ۵۷۶ نقطه طول جغرافیایی و ۳۶۱ نقطه عرض جغرافیایی از سال ۱۹۸۰ تا حال حاضر در دسترس هستند. تعداد ۲۰ نقطه شبکه بر روی استان خوزستان قرار می‌گیرد که در (

شکل ۱) با نماد ستاره مشخص شده است. این داده‌ها ابتدا به منظور بررسی‌های اقلیمی و شرایط محیطی استفاده شده (هی و سیلیمون، ۲۰۱۹؛ رندلس و همکاران، ۲۰۱۷) و سپس در نسخه 5.12.4 و در سال ۲۰۱۷، برآورد گردو خاک امکان‌پذیر شد (گلارو و همکاران، ۲۰۱۷؛ سلووسکی و همکاران، ۲۰۱۸).

داده‌ها

در این مطالعه از دو سری داده مختلف شامل MEERA-2 (گردو خاک)، ماهواره آکوا (پوشش گیاهی) و سیستم داده‌گذاری داده‌های سطحی GLDAS (شرایط جوی) در میانگین ماهانه از سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۹ استفاده شد. در ادامه شرح بیشتری در مورد آن‌ها ارائه می‌گردد.

به منظور بررسی توزیع گردو خاک از دومین نسخه ارزیابی نوین ناسا برای پژوهش و برنامه‌های کاربردی ((MERRA-2 استفاده شد که پلتفرمی برای واکاوی داده‌های جوی می‌باشد. این پلتفرم، بر اساس دفتر ارزیابی و مدل جهانی ناسا (مولود و همکاران، ۲۰۱۵) و با استفاده از داده‌های مشاهداتی سنجش از

در تفکیک پذیری ۰.۲۵ درجه و از سال ۲۰۰۰ تا حال حاضر در دست هستند.

از جمله مهم ترین شرایط سطحی که در گردوخاک نقش مهمی دارد می توان به پوشش گیاهی اشاره نمود. سافو و همکاران (۲۰۱۷) در بررسی پوشش گیاهی، از شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI) استفاده می شود (ژانگ، همکاران، ۲۰۱۷). این شاخص برای نمایش شرایط پوشش گیاهی و تغییر شرایط پوشش سطحی زمین مورد استفاده قرار می گیرد. این داده ها از سنجنده MODIS ماهواره Aqua با تفکیک پذیری ۰/۰۵ تهیه شدند. MYD13C2 نسخه ۶ محصولات تهیه شده از شاخص پوشش گیاهی (VI) حاصل از شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی است که از طریق رادیومتر با وضوح بسیار بالای (AVHRR) سازمان ملی اقیانوسی و جوی آمریکا (NOAA) برگرفته از NDVI به دست می آید.

مقادیر کمتر از صفر NDVI معرف آب یا برف است. محدوده ۰/۱۵ تا ۰/۲ مقدار آستانه است که با شرایط سطح تغییر می کند و منطقه مستعد فرسایش می باشد و مقدار بیشتر از ۰/۲، پوشش برگ سبز را نشان می دهد. هرچه مقدار این شاخص بیشتر باشد سبزیگی هم بیشتر خواهد بود (تان و لی، ۲۰۱۵؛ کیم و همکاران، ۲۰۱۳؛ میلر و همکاران، ۲۰۰۶).

روش کار

ابتدا متغیرهای تهیه شده شامل گردوخاک، متغیرهای جوی و شرایط سطحی از سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۹ در پهنه استان خوزستان میانگین گیری شده و نقشه آن ها توسط نرم افزار Grads ترسیم شد. موقعیت ایستگاه های همدیدی با مثلث مشکی در شکل ها مشخص شده اند.

با توجه به تنوع ساختاری در ویژگی های جغرافیایی استان خوزستان و تفاوت تفکیک پذیری مکانی در داده های به کار رفته در این تحقیق، امکان تفکیک محدوده های مختلف در استان وجود نداشت؛ بنابراین به منظور بررسی آماری عوامل مؤثر بر گردوخاک مقدار میانگین هر متغیر در هر ماه در کل

در این مطالعه از دو محصول MERRA-2 شامل غلظت جرمی گردوخاک سطحی (برحسب کیلوگرم بر مترمکعب) و چگالی جرمی ستون گردوخاک (برحسب کیلوگرم بر مترمربع) استفاده شده است. غلظت گردوخاک سطحی در ۱۰۹ ضرب شده و برحسب میکروگرم بر مترمکعب و گردوخاک ستون هوا در ۱۰۶ ضرب شده و برحسب میلی گرم بر مترمربع بیان می شود. در الگوریتم به کاررفته در MERRA-2 داده AOD به دست آمده از ماهواره توسط مدل GOCART به گردوخاک سطحی و گردوخاک ستون هوا تبدیل می شود. توضیح کامل آن در (بوچارد و همکاران، ۲۰۱۷) آمده است.

غلظت جرمی گردوخاک سطحی، گردوخاک انتشار یافته در نزدیکی سطح زمین را نشان می دهد. چگالی جرمی ستون گردوخاک مشابه با غلظت نوری هواویزها AOD، میزان گردوخاک موجود در ستون هوا را نشان می دهد. گردوخاک در ستون هوا می تواند در کانون انتشار افزایش یابد و یا گردوخاک انتشار یافته در کانون به کمک میدان باد به مناطق مجاور انتقال یافته و باعث افزایش مقدار آن در ستون هوا شود.

بنابراین متغیر غلظت جرمی گردوخاک سطحی به شناسایی کانون ها و مناطق مستعد گردوخاک و چگالی جرمی ستون گردوخاک به ردیابی و انتقال گردوخاک در راستای عمودی و افقی و همچنین شناسایی کانون های محلی گردوخاک کمک می کند.

در ادامه متن غلظت جرمی گردوخاک سطحی به اختصار گرد و خاک سطحی و چگالی جرمی ستون گردوخاک به اختصار گردوخاک ستون هوا گفته می شود.

به منظور بررسی رابطه گردوخاک و متغیرهای جوی شامل، دمای نزدیک سطح (برحسب کلون تبدیل شده به سانتی گراد)، باد نزدیک سطح (متر بر ثانیه)، رطوبت ویژه (برحسب کیلوگرم بر کیلوگرم و تبدیل شده به گرم بر کیلوگرم) و آهنگ بارش باران (کیلوگرم بر مترمربع ثانیه تبدیل شده به میلی گرم بر مترمربع ثانیه) و متغیر سطحی محتوای رطوبت خاک (۰ تا ۱۰ سانتی متری لایه سطحی خاک) برحسب کیلوگرم بر مترمربع، در میانگین ماهانه سیستم داده گواری سطحی GLDAS در بازه ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۹ تهیه شد. این داده ها

توزیع مکانی میانگین سالانه (۲۰۱۱-۲۰۱۹) گردوخاک سطحی و گردوخاک ستون هوا در شکل ۲ آورده شده است. گردوخاک سطحی بیشینه مقدار ۳۰۰ میکروگرم بر مترمکعب را در جنوب غرب استان و در نزدیکی آبادان نشان می‌دهد (شکل ۲). از جنوب غرب به شمال شرق استان از مقداران کاسته می‌شود. بیشینه گردوخاک ستون هوا با ۲۷۰ میلی‌گرم بر مترمربع نیز در جنوب غرب و در نزدیکی آبادان دیده می‌شود که به سمت شمال شرق کاهش می‌یابد (شکل ۲)؛ اما توزیع آن در نقاط مختلف استان مشابه گردوخاک سطحی نیست. گردوخاک ستون هوا می‌تواند نشان‌دهنده، گردوخاک منتشرشده از کانون‌های داخلی و انتقال آن به لایه‌های بالاتر جو باشد. سه ایستگاه اهواز، بستان و ماهشهر مقدار مشابهی دارند.

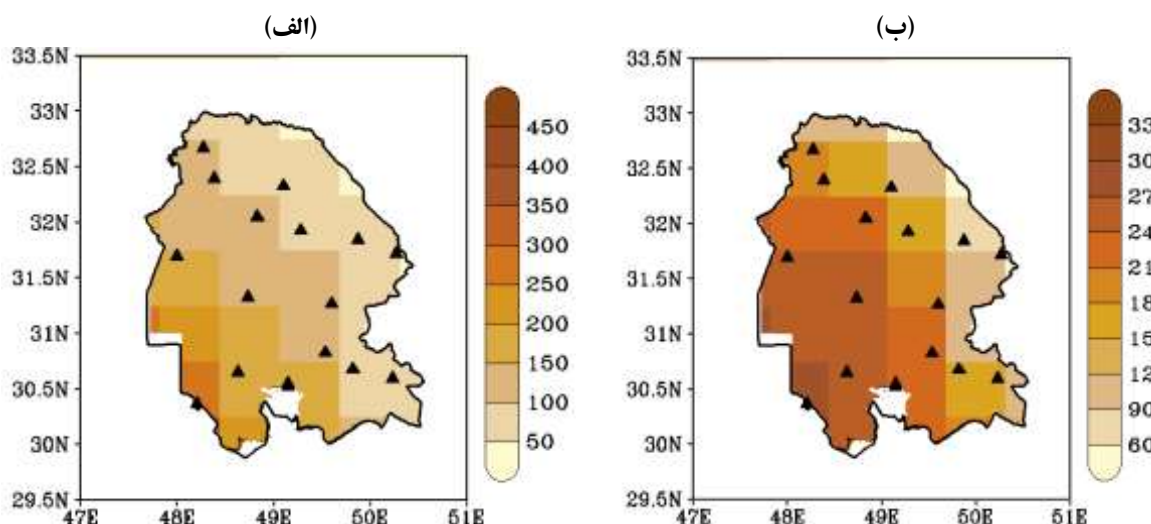
محدوده استان خوزستان استخراج شد که امری متداول در تحقیق‌های گوناگون در جهان می‌باشد.

روند تغییرات سالانه و توزیع ماهانه متغیرها ترسیم شد. در بخشی بعدی به منظور بررسی رابطه بین گردوخاک و عوامل جوی و شرایط سطحی از ضریب همبستگی اسپرمن استفاده شد. نمودارها توسط نرم‌افزار OriginPro ترسیم شده‌اند.

در آخرین بخش نیز به منظور دادن کانون‌های فرامرزی گردوخاک و میدان باد، توزیع گردوخاک سطحی، گردوخاک ستون هوا و سرعت باد در چهار ماه مارس، مه، ژوئیه و نوامبر ترسیم شد.

یافته‌ها

توزیع مکانی گردوخاک، پارامترهای جوی و سطحی در استان خوزستان



شکل ۲: میانگین (الف) گردوخاک سطحی (میکروگرم بر مترمکعب)، (ب) گردوخاک ستون هوا (میلی‌گرم بر مترمربع). از سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۹، استان خوزستان

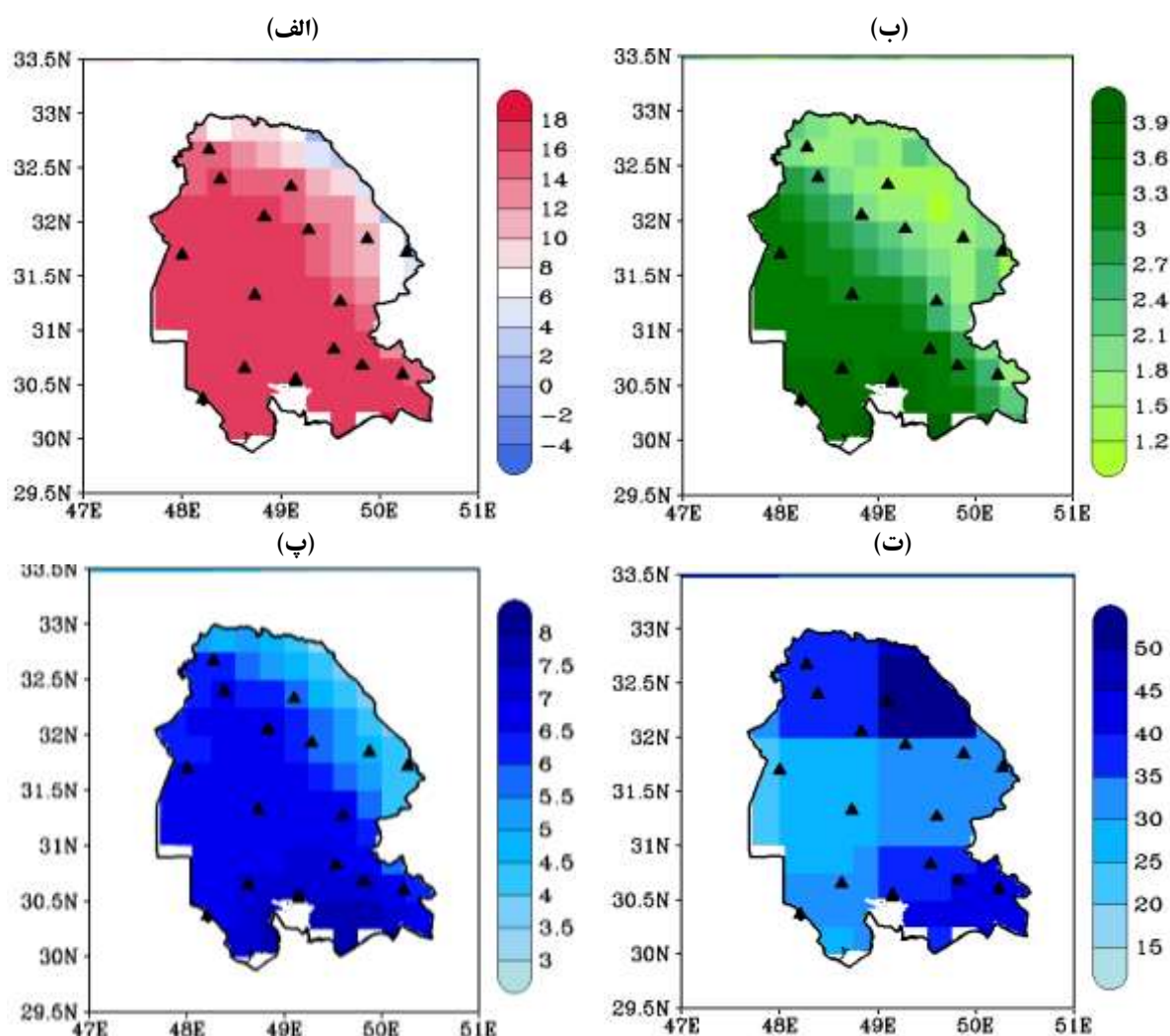
باد در شمال شرق در همه نقاط مشابه نیست که می‌توان علت آن را ساختار کوهساری منطقه دانست.

رطوبت ویژه نیز از جنوب غرب به شمال شرق استان کاهش می‌یابد (شکل ۳-ب). کمترین مقدار ۴ گرم بر کیلوگرم در شمال شرق دیده می‌شود. توزیع دما، سرعت باد و رطوبت ویژه مشابه بوده و از جنوب غرب به شمال شرق کاهش می‌یابد گرچه به‌طور مشابه، افزایش سرعت باد و رطوبت ویژه در مناطق جنوبی استان در محدوده بندر ماهشهر دیده می‌شود. با

توزیع مکانی میانگین سالانه (۲۰۱۱-۲۰۱۹) متغیرهای جوی در شکل ۳ آمده است. بیشترین دمای ۱۶ درجه سانتی‌گراد در بخش‌های غربی، مرکزی و جنوب استان خوزستان دیده می‌شود (شکل ۳-الف) که در راستای شمال شرق از مقدار دما کاسته می‌شود. توزیع سرعت باد نیز بیشترین سرعت باد ۳/۹ متر بر ثانیه را در جنوب غرب استان نشان داده و به سمت شمال شرق سرعت باد کاهش می‌یابد (شکل ۳-ب). توزیع سرعت

می‌دهد. مقدار بارش در شمال و جنوب شرق استان بیش از دیگر مناطق است که می‌تواند تأثیر ساختار کوهساری باشد. از میان متغیرهای جوی، توزیع سه متغیر دما، باد و رطوبت ویژه مشابه بوده و توزیع بارش با آن‌ها متفاوت است. کاهش مقدار سه متغیر جوی دمای سطحی، رطوبت هوا و سرعت باد از جنوب غرب به شمال شرق استان مشابه با توزیع مکانی گردوخاک است (شکل ۲).

توجه به این که این مناطق ساحلی هستند، تضاد خشکی و آب و شکل‌گیری نسیم دریا و ساحل در طی روز و شب بر سرعت باد و رطوبت منطقه تأثیرگذار است. توزیع بارش با دیگر متغیرها تفاوت بارزی دارد (شکل ۳-ت). کمترین مقدار بارندگی بین ۲۰ تا ۲۵ کیلوگرم بر مترمربع در شمال و شمال شرق استان می‌باشد. همچنین در جنوب شرق مقادیر بیشینه بارش دیده می‌شود. در مناطق مرکزی مانند اهواز و همچنین غرب استان (بستان) کمترین مقدار بارندگی رخ



شکل ۳: میانگین دمای سطحی (سانتی‌گراد)، (ب) سرعت باد سطحی (متر بر ثانیه)، (پ) رطوبت ویژه (گرم بر کیلوگرم)، (ت) بارش (میلی‌گرم بر مترمربع بر ثانیه). از سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۹، استان خوزستان

شوشتر، دزفول، اهواز به دلیل وجود رودخانه و تالاب شادگان رطوبت خاک بالا است. توزیع مکانی بارش و رطوبت خاک در استان خوزستان هماهنگی ندارد (شکل ۳-ت و شکل ۴-الف). علت آن مربوط به توزیع زمانی بارش است. علاوه بر آن

محتوای رطوبت خاک نیز در جنوب غرب استان خوزستان بیشتر بوده و به سوی شمال شرق کاهش می‌یابد (شکل ۴-الف)؛ اما این توزیع کاملاً یکدست نیست. به طوری که در اطراف بستان کمترین رطوبت خاک دیده می‌شود. در اطراف

دمای سطح زمین نیز از جمله عامل‌های مؤثر بر رطوبت خاک است (صداقت، ۱۳۹۹). همچنین وجود رودخانه‌های مختلف محتوای رطوبت خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

توزیع مکانی پوشش گیاهی کمترین مقدار ۰/۰۵ را در بخش‌های جنوبی و جنوب غربی استان نشان می‌دهد (شکل ۴-ب). در حدفاصل دزفول، شوشتر و تا شمال اهواز شاخص پوشش گیاهی به ۰/۶۵ می‌رسد که نشان‌دهنده، پوشش گیاهی بالای این منطقه است. مقدار **NDVI** بیش از ۰/۲ بیان‌گر پوشش گیاهی درختان برگ سبز در منطقه است. این شرایط در برخی مناطق حدفاصل اهواز تا شادگان نیز دیده می‌شود. در شمال شرق استان با وجود کوهستانی بودن اما پوشش گیاهی متراکمی ندارد به طوری که مقادیر ۰/۳۵ دیده می‌شوند. توزیع مکانی پوشش گیاهی با توزیع مکانی بارش و ساختار کوهساری هماهنگی ندارد. یکی از دلایل مهم در تغییر پوشش گیاهی، شرایط خاک می‌باشد. علاوه بر آن اثر انسانی نقش مهمی در پوشش گیاهی دارد. در محدوده شهر اهواز و به ویژه در جنوب شرق آن شاخص پوشش گیاهی کمتر از ۰/۱ است که بیان‌گر مناطق مستعد فرسایش بادی است. به این ترتیب در استان خوزستان مناطق جنوب غرب و اطراف اهواز پوشش گیاهی بسیار کمی داشته و می‌تواند به عنوان کانون‌های داخلی گردوخاک در نظر گرفته شوند. دو عامل سطحی رطوبت خاک و پوشش گیاهی تابعی از ساختار کوهساری نیستند.

بین شرایط سطحی (رطوبت خاک و پوشش گیاهی) و سرعت باد رابطه نزدیکی وجود دارد. شاخص پوشش گیاهی با گرد و خاک رابطه منفی دارد. تبخیر از خاک معرف از دست دادن آب خاک بوده و در کاهش پوشش گیاهی تأثیر منفی دارد.

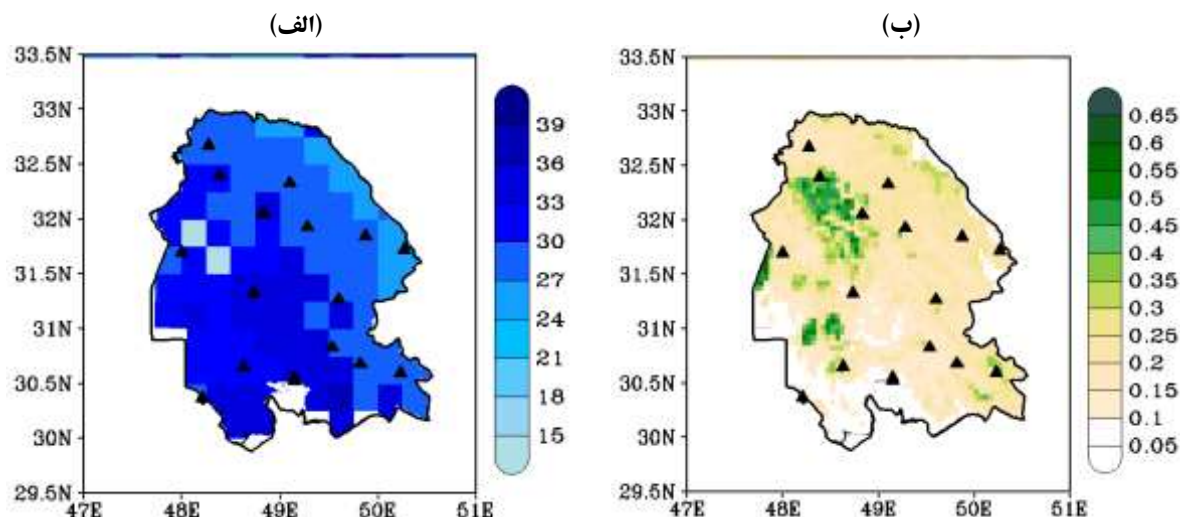
در مباحث نظری، افزایش بارش منجر به افزایش رطوبت خاک و در نتیجه افزایش پوشش گیاهی می‌شود اما هریک از این متغیرها، تحت تأثیر عوامل مختلفی هستند. در تغییر پوشش گیاهی علاوه بر بارش، مدیریت مرتع و چرای دام (آلزرکا و

همکاران، ۱۹۹۸)، تبخیر (عطارد و همکاران، ۱۳۹۴)، افزایش دمای هوا (هاشمی و همکاران، ۱۴۰۰) و دمای خاک (صداقت، ۱۳۹۹) نیز نقش دارد. وجود رودخانه و منابع آبی، جنس و ویژگی‌های خاک، توزیع زمانی بارش، تغییر نوع پوشش گیاهی و عوامل متعدد دیگر از جمله مواردی هستند می‌توانند باعث تفاوت توزیع مکانی این سه متغیر شود. در تحقیق حاضر نیز توزیع مکانی بارش، رطوبت خاک و پوشش گیاهی در استان خوزستان مشابه نیستند (شکل ۳ و شکل ۴).

رطوبت خاک از جمله ویژگی‌های خاک است که نقش قابل توجهی در گردوخاک داشته و آستانه سرعت اصطکاکی برای وقوع گردوخاک را تعیین می‌کند. هرچه سرعت باد بیشتر شود، احتمال وقوع گردوخاک ناشی از کمبود رطوبت خاک بیشتر می‌شود. اگر رطوبت خاک افزایش یابد، آستانه سرعت باد برای انتشار گردوخاک، به ویژه در دوره مرطوب سال نیز افزایش می‌یابد (کیم و همکاران، ۲۰۱۷).

توزیع رطوبت خاک و گردوخاک (شکل ۲ و شکل ۴) در استان خوزستان متفاوت است. در اطراف اهواز مقدار میانگین رطوبت خاک از سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۹ مقدار بیشتری نسبت به مناطق اطراف نشان می‌دهد؛ اما منطقه پوشش گیاهی بسیار ضعیفی داشته و کاملاً مستعد فرسایش است. علاوه بر آن توزیع گردوخاک متأثر از کانون‌های فرامرزی گردوخاک می‌باشد.

در ادامه شاخص‌های آماری مربوط به متغیرهای جوی و شاخص‌های گردوخاک بررسی می‌شوند. هردو شاخص گردوخاک سطحی و گردوخاک ستون هوا چولگی مثبت دارند. بیشترین چولگی مثبت مربوط به گردوخاک سطحی با مقدار ۰/۸۰ است که نشان می‌دهد بیشتر مقادیر به کمتر از میانگین گرایش دارند، به این معنا که مقدار گردوخاک‌های سطحی رخ داده طی دوره کاهش یافته و کانون‌های داخلی نقش کمتری در انتشار گردوخاک داشته‌اند. این نتیجه با کمترین ضریب تغییرات سرعت باد نیز همخوانی دارد.



شکل ۴: میانگین (الف) رطوبت خاک (کیلوگرم بر مترمربع)، (ب) شاخص پوشش گیاهی NDVI. استان خوزستان ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۹.

سمت مقادیر کمتر از میانگین است. بیشترین چولگی مثبت ۱/۵۷ و ۱/۲۲ مربوط به بارش و شاخص پوشش گیاهی است که بیانگر تمایل این دو به سمت مقادیر کمتر از میانگین است؛ یعنی مقادیر کمینه بارش و شاخص پوشش گیاهی در طی دوره ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۹ بیشتر تکرار شده‌اند.

بیشترین ضریب تغییرات ۱۱۸ درصد مربوط به بارندگی است. علت آن است که بارش منطقه ناشی از سامانه‌های همدیدی و سامانه‌های همرفتی است؛ بنابراین ضریب تغییرات بالای بارش نشان نوسان‌های بسیار زیاد این متغیر دارد. کمترین مقدار بارندگی ۰ و بیشترین مقدار آن ۶۵/۷۴ میلی‌گرم مترمربع بر ثانیه است. ضریب تغییرات کمتر از ۲۰ درصد نیز مربوط به باد و رطوبت ویژه می‌باشد که نشان می‌دهد این دو متغیر، تغییرات زیادی ندارد.

در منطقه مورد مطالعه شاخص پوشش گیاهی بین ۰/۱۳ تا ۰/۳۱ می‌باشد که بیانگر مناطق بدون پوشش گیاهی و مناطقی با پوشش گیاهی بیشتر است. میانگین شاخص پوشش گیاهی در استان خوزستان ۰/۱۷ است که نشان می‌دهد درصد بیشتری از منطقه مستعد فرسایش می‌باشد؛ زیرا شاخص پوشش گیاهی بین ۰/۱۵ تا ۰/۲ به‌عنوان مناطقی بدون پوشش گیاهی و مستعد فرسایش شناخته می‌شود (تان و لی، ۲۰۱۵؛ کیم و همکاران، ۲۰۱۳؛ میلر و همکاران، ۲۰۰۶).

اگر سرعت باد تغییرات بیشتری داشته باشد، در انتشار و انتقال گردوخاک‌های سطحی نقش مؤثرتری خواهد داشت؛ اما مقدار چولگی گردوخاک ستون هوا نسبت به گردوخاک سطحی مقدار کمتری دارد. به این ترتیب می‌توان نتیجه گرفت که تأثیرپذیری استان خوزستان از گردوخاک‌های فرامرزی بیشتر از گردوخاک‌های محلی است. به عبارتی نقش کانون‌های گردوخاک داخلی در انتشار گردوخاک نسبت به کانون‌های خارجی کاهش یافته است. ضریب تغییرات آن‌ها نیز کمتر از ۵۰ درصد است که بیانگر عدم پراکندگی داده‌ها است. گردوخاک سطحی در استان خوزستان بین ۰/۰۹ تا ۰/۵۱ میکروگرم بر مترمکعب می‌باشد. این استان به‌طور متوسط از سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۹، ۰/۲۵ میکروگرم بر مترمکعب گردوخاک سطحی داشته است. همچنین گردوخاک ستون هوا بین ۰/۱۴ تا ۰/۸۱ میلی‌گرم بر مترمربع بوده و به‌طور میانگین ۰/۴۱ میلی‌گرم بر مترمربع گردوخاک در استان خوزستان وجود داشته است.

دما با چولگی ۰/۰۴- تنها متغیری است که چولگی منفی دارد. چولگی منفی دما نشان‌دهنده گرایش داده‌ها به سمت مقادیر بیشتر از میانگین است. به این معنا که در دوره مورد مطالعه بیشترین تکرار دما در مقادیر بیش از میانگین بوده است. سایر داده‌ها چولگی مثبت دارند که نشان‌دهنده گرایش داده‌ها به

جدول ۱: شاخص‌های آماری شامل حداقل، حداکثر، میانگین، چولگی، ضریب تغییرات، شاخص گردوخاک و پارامترهای سطحی و جوی در خوزستان،

۲۰۱۱-۲۰۱۹

متغیر	واحد	کمینه	بیشینه	میانگین	چولگی	ضریب تغییرات
غلظت جرمی گردوخاک سطحی	$\frac{mg}{m^3}$	۸۹	۵۱۳	۲۵۲	۰/۸۰	۰/۴۱
چگالی جرمی گردوخاک ستون هوا	$\frac{gr}{m^2}$	۱۳۷	۸۱۳	۴۰۲	۰/۲۸	۰/۴۱
دمای هوای سطحی	C	۱۱/۹۱	۴۰/۲۴	۲۶/۲۶	-۰/۰۴	۰/۳۷
سرعت باد سطحی	$\frac{m}{s}$	۲/۱۴	۴/۹۵	۳/۲۶	۰/۶۳	۰/۱۸
رطوبت ویژه	$\frac{gr}{kg}$	۲/۶۸	۷/۲۳	۴/۷۷	۰/۴۸	۰/۱۹
آهنگ بارش باران	$\frac{mg}{m^2s}$	۰/۰۰	۶۵/۷۴	۱۰/۱۹	۱/۵۷	۱/۱۸
شاخص پوشش گیاهی (NDVI)	-	۰/۱۳	۰/۳۱	۰/۱۷	۱/۲۲	۰/۲۳
محتوای رطوبت خاک	$\frac{kg}{m^2}$	۱۰/۶۵	۳۱/۱۶	۱۹/۱۴	۰/۱۴	۰/۳۶

روند تغییرات سالانه

روند تغییرات سالانه متغیرهای تحقیق از سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۹ در شکل ۵ ترسیم شده است. گردوخاک سطحی در طی ۹ سال مورد بررسی روند تغییر معنی داری ندارد. به این معنا که غلظت گردوخاک روند افزایشی یا کاهش می‌نماید. از سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۴ روند کاهش و از سال ۲۰۱۶ تا ۲۰۱۸ روند افزایشی دیده می‌شود. در طی سال‌های ۲۰۱۴ و ۲۰۱۶ مقدار گردوخاک سطحی کمترین و در سال‌های ۲۰۱۱ و ۲۰۱۸ بیشترین مقدار را داشته است. گردوخاک ستون هوا نیز تغییراتی کم و بیش مشابه با گردوخاک سطحی دارد. تنها تفاوت بین آن دو به سال ۲۰۱۲ برمی‌گردد. گردوخاک سطحی در سال ۲۰۱۲ نسبت به ۲۰۱۱ کاهش داشته اما گردوخاک ستون هوا تغییر بارزی ندارد. به این ترتیب به نظر می‌رسد اثر کانون‌های فرامرزی گردوخاک در سال ۲۰۱۲ نسبت به دیگر سال‌ها بیشتر بوده است.

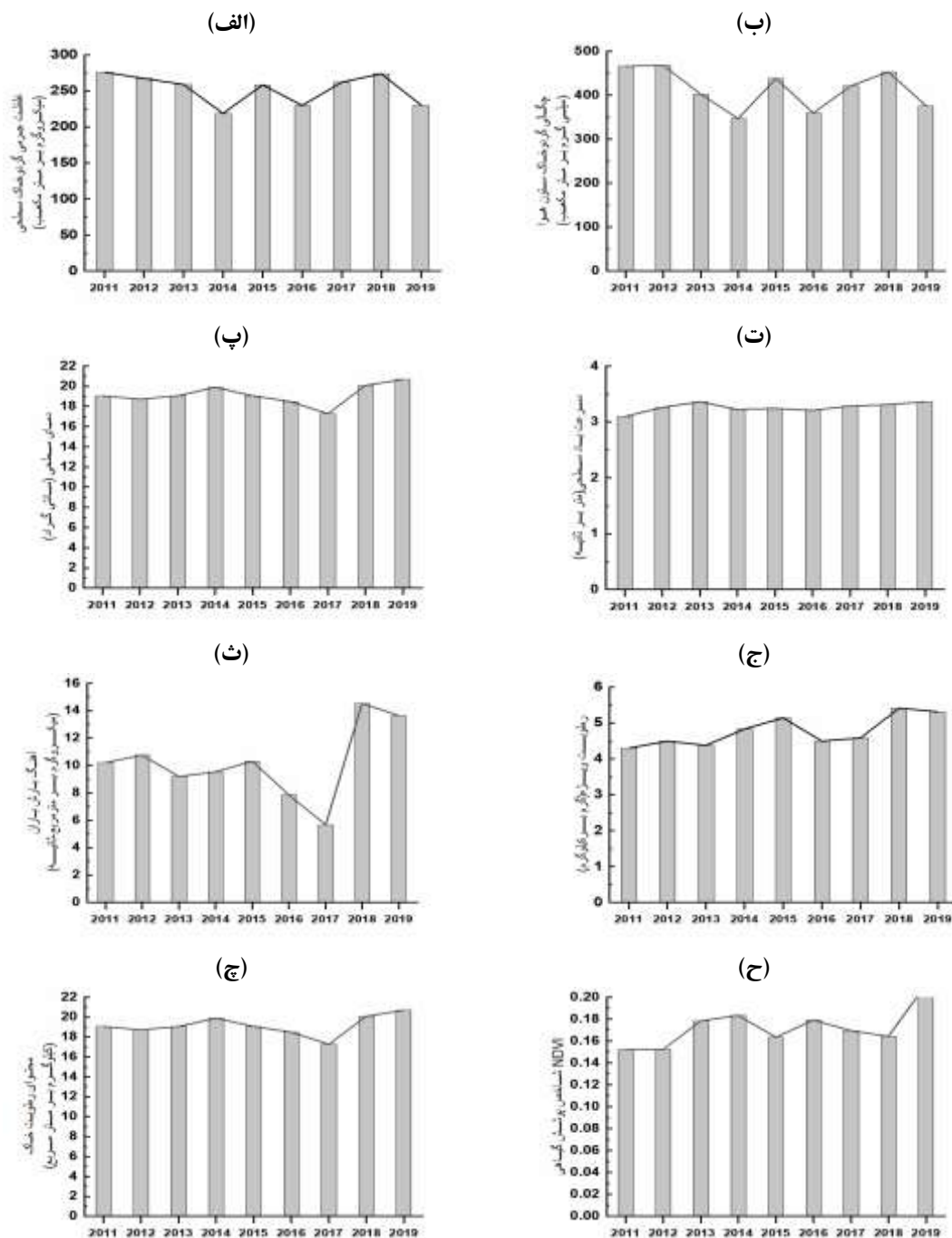
دمای سطحی نیز تغییرات بارزی ندارد. کمترین دما در سال ۲۰۱۷ و بیشترین دما در سال ۲۰۱۹ به دست آمد. از سال ۲۰۱۷ تا ۲۰۱۹ و همچنین از ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۴ روند افزایشی دما و از سال ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۶ کاهش دما رخ داده است. در سال ۲۰۱۸ و ۲۰۱۴ افزایش گردوخاک با افزایش دما هماهنگی دارد. در حالی که در سال ۲۰۱۹ دما افزایش داشته اما غلظت گردوخاک

کاهش یافته است. نمودار سرعت باد در طی ۹ سال مورد بررسی تغییر چشم‌گیری نشان نمی‌دهد. تغییرات بارش نیز روند مشخصی نداشته ولی نوسان آن نسبت به دیگر متغیرها بیشتر است. به طوری که از سال ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۵ و از ۲۰۱۷ تا ۲۰۱۹ مقدار بارش افزایش یافته و از سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۷ مقداران کاهش یافته است. کمترین بارش در سال ۲۰۱۷ و بیشترین بارش در سال ۲۰۱۸ رخ داده است.

تغییرات رطوبت ویژه نیز نوسانی است اما به طور کلی از سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۹ روند افزایش رطوبت در استان خوزستان دیده می‌شود.

محتوای رطوبت خاک روند تغییرات مشخصی ندارد. از سال ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۷ کاهش و پس از افزایش می‌یابد. کمترین رطوبت خاک در سال ۲۰۱۷ و بیشترین در سال ۲۰۱۹ به دست آمده است.

شاخص پوشش گیاهی نیز گرچه نوسان‌های متعددی دارد اما از سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۹ افزایش یافته است. به طوری که بیشترین پوشش گیاهی در سال ۲۰۱۹ بوده است. مقدار متوسط بین ۰/۱۵ تا ۰/۲۰ می‌باشد. بر اساس (تان و لی، ۲۰۱۵؛ کیم و همکاران، ۲۰۱۳؛ میلر و همکاران، ۲۰۰۶) شاخص پوشش گیاهی ۰/۱۵ تا ۰/۲ نشان‌دهنده منطقه مستعد فرسایش است.



شکل ۵: روند تغییرات سالانه، (الف) گردوخاک سطحی (میکروگرم بر مترمکعب)، (ب) گردوخاک ستون هوا (میلی گرم بر مترمربع)، (پ) دمای هوا (سانتی گراد)، (ت) سرعت باد (متر بر ثانیه)، (ث) آهنگ بارش باران (میکروگرم بر مترمربع)، (ج) رطوبت ویژه (گرم بر کیلوگرم)، (چ) محتوای رطوبت خاک (کیلوگرم بر مترمربع)، (ح) شاخص پوشش گیاهی، ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۹

از سال ۲۰۱۵ بر اساس طرح‌های اجرایی عملیات کاشت نهال و تثبیت خاک در استان خوزستان آغاز شده اما نمودار پوشش گیاهی از سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۹ روند افزایشی نشان نمی‌دهد. گرچه کاشت نهال در منطقه انجام شده اما عدم آبیاری منظم منجر به از دست رفتن آن‌ها شده است. به نظر می‌رسد افزایش

شاخص پوشش گیاهی به ۰/۲ در سال ۲۰۱۹ به دلیل افزایش بارش باشد. پوشش گیاهی و رطوبت خاک رابطه دوسویه دارند. افزایش رطوبت خاک می‌تواند منجر به افزایش پوشش گیاهی شود و افزایش پوشش گیاهی نیز می‌تواند منجر به نگه داشتن بیشتر

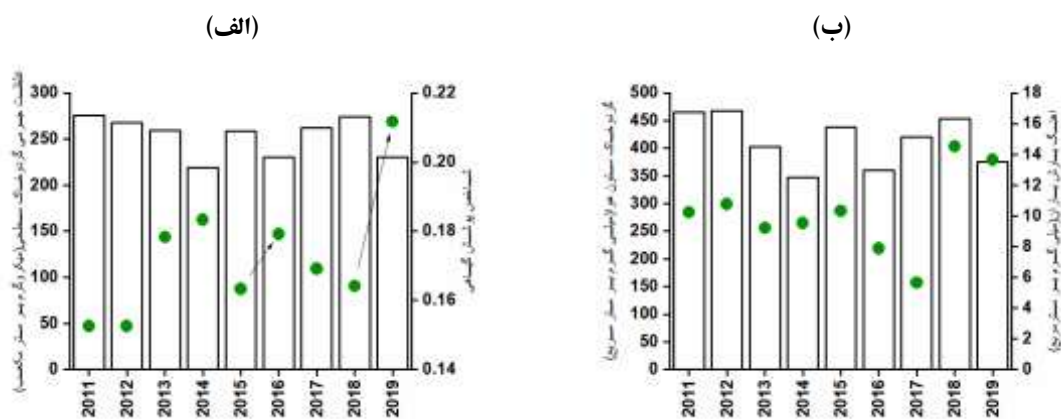
گیاهی ۰/۹۲- و با بارش ۰/۴۳ به دست آمد. به این ترتیب در روند سالانه دو عامل پوشش گیاهی و بارش در گردو خاک استان خوزستان تأثیر دارند. پوشش گیاهی بر گردو خاک محلی و بارش در گردو خاک های فرامرزی نقش دارند. رابطه مثبت بارش و گردو خاک ستون هوا، رابطه علت و معلولی نیست. بلکه به نوعی معرف آن است که در دوره های سرد سال نیز گردو خاک رخ می دهد. همان طور که در سامانه های متعددی دیده می شود، ساختار دینامیکی جو در برخی مناطق بارش و در برخی دیگر به ویژه خوزستان همراه با گردو خاک است.

در بررسی روند سالانه گردو خاک سطحی در استان خوزستان، نقش و تأثیر پوشش گیاهی بسیار بارز است. به طوری که در سال هایی که شاخص پوشش گیاهی افزایش یافته است، از مقدار گردو خاک کاسته شده است. به طور مثال کاهش گردو خاک در سال ۲۰۱۹ متأثر از افزایش پوشش گیاهی در منطقه است.

آب در خاک شود. در مورد پوشش گیاهی بایستی به نکته حائز اهمیت دیگری توجه نمود که علاوه بر عوامل طبیعی، انسان نقش بسیار مهمی در تغییر آن دارد.

در تحقیق حاضر در دوره ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۹، رطوبت خاک و پوشش گیاهی روند تغییرات کاهش یا افزایشی بارزی ندارند. در حالی که در تحقیق (صداقت و نظری پور، ۱۳۹۹) تغییرات رطوبت خاک در تالاب هورالعظیم و رابطه آن با گردو خاک در دوره ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۷ بررسی شده و نتیجه کاهش رطوبت خاک و کاهش تراکم پوشش گیاهی را نشان داده است. علت تفاوت بین روند تغییرات را می توان تفاوت بازه زمانی در این دو مطالعه دانست.

به منظور بررسی رابطه سالانه گردو خاک با متغیرهای جوی و سطحی، با توجه برخی از آن ها توزیع نرمال نداشته و برخی چولگی دارند، همچنین روند تغییرات سالانه آن ها مشابه نیست، از ضریب همبستگی اسپیرمن استفاده شد. گردو خاک سطحی با شاخص پوشش گیاهی ضریب همبستگی ۰/۸۱- نشان داد. ضریب همبستگی گردو خاک ستون هوا با پوشش



شکل ۶: الف) تغییرات سالانه غلظت جرمی گردو خاک سطحی (میکروگرم بر مترمربع) و شاخص پوشش گیاهی، ب) تغییرات سالانه گردو خاک ستون هوا (میلی گرم بر مترمربع) و آهنگ بارش باران (میلی گرم بر مترمربع). ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۹

می یابد که می تواند ناشی از فعال شدن گردو خاک سطحی یا بیان گر انتقال گردو خاک از کانون های فرامرزی به سوی استان خوزستان باشد.

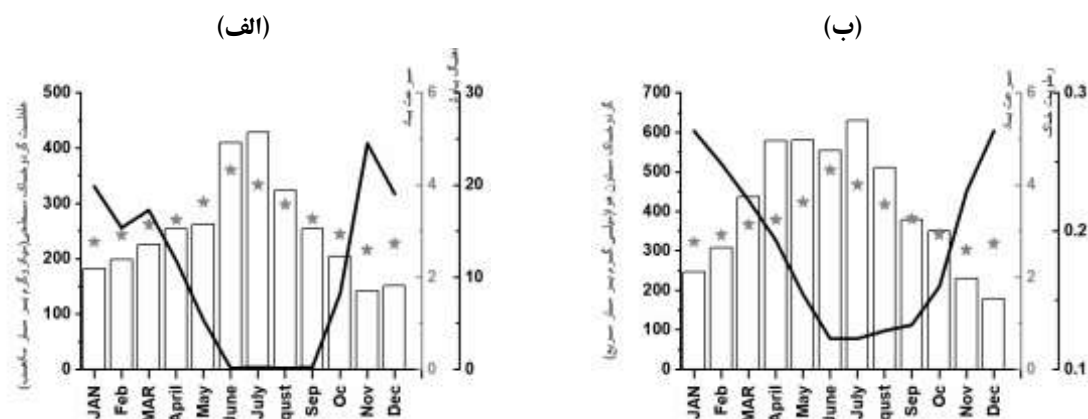
گردو خاک سطحی در توزیع ماهانه با بارش، رطوبت خاک و شاخص پوشش گیاهی به ترتیب ضریب همبستگی منفی ۰/۸۴-، ۰/۸۱- و ۰/۵۴- دارد. نقش منفی رطوبت خاک،

در توزیع ماهانه گردو خاک سطحی، بیشترین مقدار در ماه ژوئن و ژوئیه و کمترین مقدار در ماه نوامبر به دست آمد (شکل ۷). گردو خاک سطحی در توزیع ماهانه با سرعت باد و دما به ترتیب همبستگی مثبت ۰/۹۶ و ۰/۸۴ دارد. همبستگی مثبت باد و دما نشان می دهد که با افزایش دما (ماه های گرم سال) و افزایش سرعت باد، گردو خاک سطحی افزایش

دسامبر به دست آمد است. گردوخاک ستون هوا نیز با سرعت باد و دما رابطه همبستگی مثبت $0/86$ و $0/78$ داشته و با رطوبت خاک، بارش و پوشش گیاهی همبستگی منفی $-0/95$ ، $-0/93$ و $0/79$ - نشان می‌دهد. سرعت باد و دما با گردوخاک سطحی همبستگی بیشتری نسبت به گردوخاک ستون هوا دارند که بیانگر تأثیر این دو متغیر بر انتشار گردوخاک سطحی هستند. عوامل سطحی (رطوبت خاک و پوشش گیاهی) با گردوخاک ستون هوا همبستگی بیشتری نسبت به گردوخاک سطحی دارند؛ بنابراین به نظر می‌رسد شرایط سطحی و کانون‌های داخلی گردوخاک منجر به تغییر گردوخاک در ستون هوا در استان خوزستان می‌شوند. تنها عاملی که با گردوخاک رابطه‌ای نشان نمی‌دهد، رطوبت ویژه است.

بارش و پوشش گیاهی به‌خوبی تأثیر عوامل سطحی را گردوخاک‌های این منطقه نشان می‌دهد. به‌این ترتیب در توزیع ماهانه عوامل جوی و سطحی در انتشار گردوخاک استان خوزستان نقش داشته و در تغییر گردوخاک محلی مؤثر هستند. از آن جایی که سازوکارهای همدیدی متفاوتی در ماه‌های مختلف سال در انتشار، انتقال و گردوخاک استان خوزستان نقش دارند، گردوخاک با عوامل جوی و سطحی مختلفی مرتبط است.

توزیع ماهانه گردوخاک ستون هوا مشابه گردوخاک سطحی نیست، گرچه بیشترین مقدار آن در ماه ژوئیه به‌دست آمده است اما از ماه آوریل افزایش یافته و تا ژوئیه ادامه دارد. پس از آن روند کاهش دارد. کمترین گردوخاک ستون هوا در ماه



شکل ۷: تغییرات ماهانه (الف) غلظت جرمی گردوخاک سطحی (میکروگرم بر مترمکعب)، آهنگ بارش باران و سرعت باد (متر بر ثانیه)، (ب) گردوخاک ستون هوا (میلی گرم بر مترمربع) و رطوبت خاک. ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۹

دریاچه‌های ثرثار و رزازه دیده می‌شود. بیشینه دیگری نیز در جنوب شرق عراق، کویت و شمال شرق عربستان واقع شده است. در این ماه گردوخاک ستون هوا نیز توزیع کلی مشابه با گردوخاک سطحی را نشان می‌دهد اما بیشینه‌ای در مناطق مرکزی عراق دیده نمی‌شود. تفاوت ساختاری گردوخاک سطحی و گردوخاک ستون هوا در مناطق مرکزی عراق بیانگر آن است که این مناطق کانون‌های گردوخاک سطحی هستند. درحالی‌که در جنوب شرق عراق و شمال عربستان علاوه بر آن که کانون شکل‌گیری گردوخاک هستند، تحت تأثیر گردوخاک از مناطق مجاور نیز می‌باشند. توزیع گردوخاک سطحی و گردوخاک ستون هوا کاهش مقدار

بیشترین ضریب همبستگی گردوخاک در استان خوزستان با سرعت باد به دست آمد. در ادامه توزیع متوسط ماهانه سرعت باد، گردوخاک سطحی و گردوخاک ستون هوا ترسیم و تحلیل شده است. لازم به یادآوری است که به‌منظور کاهش حجم مطلب و عدم تکرار مباحث چهار ماه مارس (افزایش گردوخاک ستون هوا)، مه (مشابهت گردوخاک ستون هوا با ماه آوریل)، ژوئیه (بیشترین گردوخاک سطحی و ستون هوا) و نوامبر (کمترین گردوخاک سطحی) انتخاب شده‌اند.

گردوخاک سطحی در ماه مارس از شرق سوریه تا شمال شرق عربستان گسترش دارد (Error! Reference source not found). بیشینه آن را در محدوده مرکزی عراق حوالی

است اما گردوخاک سطحی در سوریه افزایش و در عربستان کاهش دارد. مقدار گردوخاک سطحی در ژوئیه نسبت به دو ماه مارس و مه بیشتر است. گردوخاک ستون هوا نیز از شرق سوریه تا شمال عربستان گسترش دارد. بیشینه آن از محدوده شرقی تا جنوب شرق عراق است. گردوخاک ستون هوا در ماه ژوئیه نسبت به دو ماه مارس و مه بیشتر است.

بیشینه سرعت بادبر روی سوریه، شمال غرب و شرق عراق شکل می‌گیرد. سرعت باد در ماه ژوئیه نسبت به مارس و مه بیشتر شده است. به همین دلیل با افزایش سرعت باد، گردوخاک سطحی در سوریه شکل گرفته و علاوه بر آن گردوخاک بیشتری از کانون‌های گردوخاک به مناطق مجاور انتقال می‌یابد.

توزیع گردوخاک ستون هوا در ماه ژوئیه بر روی استان خوزستان نسبت به دو ماه دیگر متفاوت است. به طوری که مناطق بسیار زیادی در استان خوزستان گردوخاک را تجربه می‌نمایند؛ بنابراین استان خوزستان در ماه ژوئیه بیشترین تأثیر را گردوخاک‌های فرامرزی دارد. افزایش گردوخاک در ماه ژوئیه نسبت به دیگر ماه‌ها (شکل ۷) به دلیل فعالیت بیشتر کانون‌های گردوخاک فرامرزی واقع در عراق و عربستان است.

در ماه نوامبر بیشترین مقدار گردوخاک در جنوب شرق عراق تا شمال عربستان دیده می‌شود (شکل ۸ Reference Error! source not found). گرچه در محدوده دریاچه ثرثار تا رزازه نیز گردوخاک نسبت به مناطق مجاور بیشتر است اما مقدار آن نسبت به کانون دیگر کمتر است. در این ماه گردوخاک ستون هوا ساختاری مشابه به ماه‌های پیشین داشته اما مقدار آن کمتر است. در شکل میدان باد نیز دو بیشینه در شرق سوریه و غرب عراق دیده می‌شود که به دلیل کاهش سرعت باد نسبت به ماه‌های دیگر و شرایط جوی و سطحی، منجر به انتشار گردوخاک سطحی نمی‌شود.

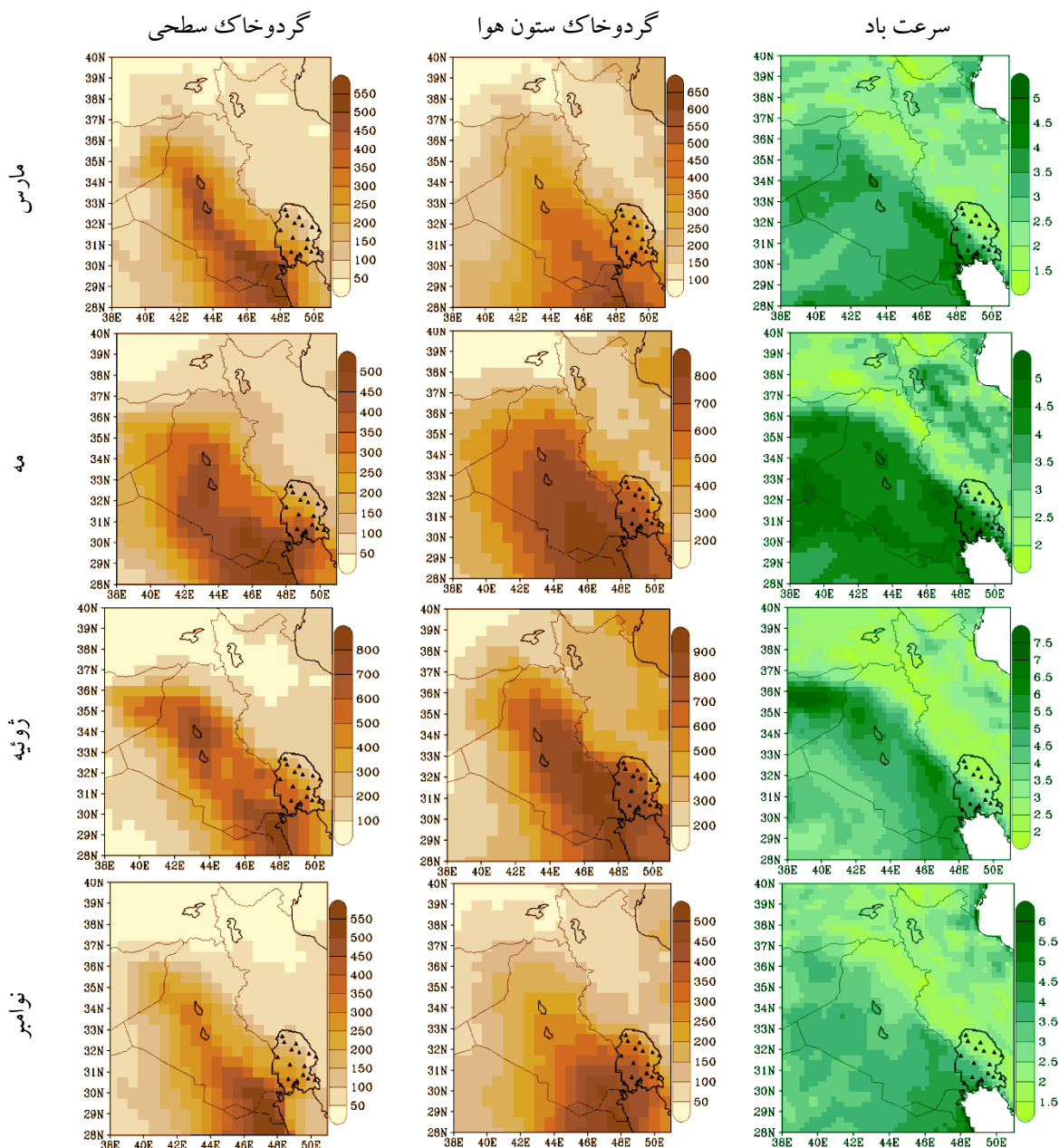
گردوخاک را از جنوب غرب به شمال شرق استان خوزستان نشان می‌دهد. در توزیع سرعت باد سطحی در ماه مارس نیز دو بیشینه را در شمال غرب و جنوب شرق عراق با مقدار ۴ و ۴.۵ متر بر ثانیه مشاهده می‌شود. افزایش سرعت باد در این دو منطقه منجر به انتشار گردوخاک سطحی در این مناطق می‌شود. در بخش‌های جنوب غرب استان خوزستان نیز سرعت باد بیشتر است که بیان‌گر تأثیر حرکت باد و انتقال گردوخاک به استان خوزستان است.

در ماه مه گردوخاک سطحی از مناطق مرکزی و جنوب شرق عراق تا بخش‌های شمالی عربستان توزیع شده است (Error! Reference source not found). افزایش گردوخاک سطحی در حدفاصل اهواز و شادگان در ماه مه بیان‌گر فعال شدن کانون گردوخاک داخلی است.

در تحقیق‌های پیشین (حیدریان، ۱۳۹۶ و نوروزی ۱۳۹۷) به کانون‌های داخلی گردوخاک خوزستان اشاره شده است. توزیع گردوخاک ستون هوا در ماه مه مشابه با ماه مارس است اما مقدار آن بیشتر است. مقدار گردوخاک سطحی در ماه مه نسبت به ماه مارس کمتر بوده و توزیع مکانی متفاوتی دارد. در ماه مه سرعت باد در حوالی دریاچه ثرثار عراق، شمال عربستان و جنوب شرق عراق بیش از دیگر مناطق است. در ماه مه سرعت باد و توزیع مکانی آن نسبت به ماه مارس متفاوت است. بخش‌های عمده‌ای از عراق سرعت بادی بیش از ۳.۵ متر بر ثانیه دارند. توزیع مکانی سرعت باد با کانون‌های انتشار گردوخاک سطحی در ماه مه هماهنگی داشته و نسبت به ماه مارس تفاوت دارند. درحالی که توزیع مکانی گردوخاک ستون هوا مشابه است.

گردوخاک ستون هوا در ماه مه بیش از ماه مارس است که بیان‌گر انتقال و حضور گردوخاک بیشتر در ارتفاع‌های بالاتر جو است. افزایش سرعت باد در ماه مه نسبت به ماه مارس نیز تأیید بر انتقال گردوخاک در ستون هوا می‌باشد.

گردوخاک سطحی در ماه ژوئیه از شرق سوریه تا شمال شرق عربستان گسترش یافته است (Error! Reference source not found). گردوخاک سطحی در ماه ژوئیه مشابه ماه مارس



شکل ۸: میانگین ماه مارس، مه، ژوئیه و نوامبر (۲۰۱۱-۲۰۱۹)، پنل سمت چپ گردوخاک سطحی (میکروگرم بر مترمکعب)، پنل وسط گردوخاک ستون هوا (میلی گرم بر مترمربع) و پنل سمت راست سرعت باد (متر بر ثانیه)

افزایش بارش، کانون‌های گردوخاک عراق تثبیت شده و مقدار گردوخاک انتشار یافته به جو کاهش می‌یابد (شکل ۷). با بررسی شکل ۸، دو کانون اصلی گردوخاک یکی در مناطق مرکزی عراق و در اطراف دریاچه ثرثار تا رزازه و دیگری در جنوب شرق عراق تا شمال عربستان مشاهده شد که به‌عنوان

بیشینه دیگری در شرق عراق تا شمال عربستان با سرعت ۴ متر بر ثانیه دیده می‌شود که با بیشینه گردوخاک سطحی و گردوخاک ستون هوا در این مناطق هماهنگی دارد. توزیع گردوخاک سطحی، ستون هوا و میدان باد در ماه نوامبر در استان خوزستان مشابه به دیگر ماه‌ها از جنوب غرب به شمال شرق کاهش می‌یابد. در ماه نوامبر به دلیل کاهش سرعت باد و

کانون‌های فرامرزی گردوخاک استان خوزستان شناسایی می‌شوند.

در مطالعه‌های پیشین نیز منطقه دجله و فرات با شدت بیشتر (به‌ویژه از آوریل تا اوت) نسبت به دیگر مناطق به‌عنوان اصلی‌ترین کانون گردوخاک خاورمیانه معرفی شده است (میدلتون و کانگ، ۲۰۱۷).

در ماه ژوئیه شرق سوریه نیز به کانون گردوخاک تبدیل می‌شود به همین دلیل مقدار گردوخاک در این ماه نسبت به ماه‌های دیگر افزایش می‌یابد... علاوه بر آن افزایش سرعت باد و گسترش آن از سوریه تا شمال شرق عربستان که باد شمال تابستانی نامیده می‌شود (میدلتون، ۱۹۸۶) در فعال شدن گردوخاک سطحی و انتقال آن به مناطق مجاور نقش اساسی دارد.

توزیع گردوخاک ستون هوا از شمال غرب عراق تا جنوب شرق عراق در همه ماه‌ها مشابه می‌باشد. این مناطق هم خود کانون گردوخاک بوده و هم تحت تأثیر گردوخاک‌های انتقالی از بخش‌های مرکزی عراق قرار می‌گیرند

نتیجه‌گیری

توزیع مکانی غلظت جرمی گردوخاک سطحی و گردوخاک ستون هوا تقریباً مشابه بوده از جنوب غرب به شمال شرق استان از مقدار آن‌ها کاسته می‌شود. از جمله علت‌های آن می‌توان به تنوع ساختار جغرافیایی استان، به‌ویژه وجود مناطق کوهستانی در شمال و شمال شرق استان و همچنین افزایش فاصله از کانون‌ها فرامرزی گردوخاک اشاره نمود. توزیع مکانی سه متغیر جوی دمای سطحی، سرعت باد و رطوبت هوا متأثر از ساختار کوهساری منطقه می‌باشد. توزیع مکانی متفاوت آهنگ بارش باران نسبت به دیگر متغیرهای جوی نشان از تأثیر عوامل مختلف در بارش است.

بیشترین پوشش گیاهی در محدوده دزفول - شوشتر و اهواز - شادگان به دست آمد. شاخص پوشش گیاهی کمتر از ۰/۱ در مناطق جنوب غرب استان خوزستان و جنوب شرق اهواز را مستعد فرسایش بادی و کانون داخلی گردوخاک نشان می‌دهد. توزیع مکانی بارش، رطوبت خاک و پوشش گیاهی

مشابه نبوده و تأثیر عوامل دیگر در تفاوت این توزیع دیده می‌شود.

در میانگین سالانه از ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۹ در استان خوزستان مقدار متوسط گردوخاک سطحی ۰/۲۵ میکروگرم بر مترمکعب و گردوخاک ستون هوا ۰/۴۱ میلی‌گرم بر مترمربع بوده و متوسط شاخص پوشش گیاهی نیز با مقدار ۰/۱۷ بیان‌گر نقش کمبود پوشش گیاهی در انتشار گردوخاک محلی است. از سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۹، تغییرات سالانه غلظت گردوخاک سطحی، گردوخاک ستون هوا، دمای سطحی، سرعت باد سطحی و بارش روند معنی‌داری ندارند. در میان تمامی متغیرهای موردبررسی رطوبت و پوشش گیاهی از سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۹ روند افزایشی دارند.

در سال ۲۰۱۲ اثر کانون‌های فرامرزی بیش از دیگر سال‌ها است. افزایش دما، افزایش گردوخاک و افزایش بارش در سال ۲۰۱۸ دیده می‌شود که نشان می‌دهد گردوخاک در دوره گرم و سرد سال رخ داده است. همچنین کاهش دما، کاهش بارش، افزایش گردوخاک و کاهش رطوبت در سال ۲۰۱۷ بیان‌گر تأثیر دو متغیر جوی بارش و دما در گردوخاک‌های منطقه است. در سال ۲۰۱۹ بیشینه رطوبت خاک و بیشینه پوشش گیاهی همراه با کاهش گردوخاک اثر شرایط سطحی بر گردوخاک است.

نتیجه بررسی رابطه همبستگی بین گردوخاک و متغیرهای جوی و شرایط سطحی در استان خوزستان نشان داد که در توزیع سالانه غلظت جرمی گردوخاک سطحی و گردوخاک ستون هوا با پوشش گیاهی رابطه منفی دارند. به‌این ترتیب نقش پوشش گیاهی در گردوخاک محلی استان خوزستان تأیید می‌گردد. گردوخاک‌های انتشاریافته محلی با انتقال به لایه‌های بالاتر جو منجر به افزایش مقدار گردوخاک در ستون هوا می‌شوند.

گردوخاک ستون هوا با عوامل سطحی شامل رطوبت خاک، پوشش گیاهی همبستگی منفی بالاتری نسبت به گردوخاک سطحی دارد. به‌این ترتیب که با کاهش بارش، رطوبت خاک نیز کاهش یافته و منجر به کاهش پوشش گیاهی می‌شود، نتیجه آن افزایش خاک بایر با رطوبت کم است.

۴. صداقت، م؛ و نظری پور، ح. (۱۳۹۹). پایش تغییرات رطوبت خاک در تالاب هورالعظیم و ارتباط آن با طوفان‌های گردوغبار در جنوب غرب ایران. فصلنامه علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی « سپهر»، ۲۹(۱۱۴)، ۱۳۳-۱۴۵.
۵. طائی سمیرمی، س.، مرادی، ح. ر.، خداقلی، م؛ و احمدی آخورمه، م. (۱۳۹۲). شناخت و بررسی عوامل مؤثر بر پدیده گردوغبار در غرب ایران. انسان و محیط زیست، ۱۱(شماره ۴(۲۷-پیاپی ۳۸))، ۱-۱۰.
۶. عطارد، پ.، صادقی، س. م. م.، طاهری سرتشیزی، ف.، ساروئی، س.، عباسیان، پ.، مسیح پور، م.، کردرستمی، ف؛ و دریکوندی، آ. (۲۰۱۶). اثرگذاری عوامل اقلیمی و تبخیر تعرق بر زوال جنگل‌های زاگرس مرکزی در استان لرستان. تحقیقات حمایت و حفاظت جنگلها و مراتع ایران، ۱۳(۲)، ۹۷-۱۱۲.
۷. علیزاده چوبری، ا. (۱۳۹۶). مطالعه عددی اثر غیرمستقیم هواویزها بر تابش طول موج کوتاه و بلند: مطالعه موردی. فیزیک زمین و فضا، ۴۳(۲)، ۴۴۱-۴۵۰.
۸. فرهادی پور، س.، آزادی، م.، علی اکبری بیدختی، ع.، علیزاده چوبری، ا؛ و سیاری، ح. ا. (۱۳۹۶). توفان‌های خاک در منطقه غرب و جنوب غرب ایران و تأثیر آن‌ها بر شارهای تابشی: مطالعه موردی. مجله ژئوفیزیک ایران، ۱۱(۳)، ۷۵-۸۹.
۹. نورزاده حداد، م؛ و بهرامی، ح. (۱۳۹۴). بررسی ارتباط غلظت ریزگرد با رطوبت سطحی و توزیع اندازه ذرات خاک با استفاده از شبیه‌ساز متحرک فرسایش بادی در نواحی بیابانی غرب استان خوزستان. کاوش های جغرافیایی مناطق بیابانی، ۳(۱)، ۱۸۳-۱۶۷.
۱۰. نوروزی، ع. ا؛ و شعاعی، ض. ا. (۱۳۹۷). شناسایی مناطق دارای پتانسیل تولید گردوغبار در جنوب غرب ایران، مطالعه موردی: استان خوزستان. مهندسی و مدیریت آبخیز، سال دهم، ۳۹۸-۴۰۹.
۱۱. هاشمی، ز.، سودائی زاده، ح؛ و مختاری، م. (۲۰۲۲). بررسی رابطه دمای سطح زمین با پوشش گیاهی و در توزیع ماهانه بیشترین مقدار گردوخاک سطحی در ماه ژوئن و ژوئیه و کمترین در ماه نوامبر می‌باشد. در توزیع ماهانه، گردوخاک سطحی و ستون هوا بیشترین رابطه همبستگی را با باد و دما داشتند که نشان می‌دهد استان خوزستان در دوره گرم سال با وزش باد، خاک خشک مستعد فرسایش بادی بوده و گردوخاک‌های محلی شکل می‌گیرد. این گردوخاک‌ها به لایه‌های بالاتر جو انتقال یافته و منجر به افزایش گردوخاک ستون هوا می‌شوند. علاوه بر آن افزایش دما و افزایش سرعت باد، نشان‌دهنده انتقال سامانه‌های همدیدی در دوره گرم سال همراه با ذرات گردوخاک از کشورهای همسایه به استان خوزستان هستند.
- توزیع مکانی گردوخاک و سرعت باد نشان می‌دهد که کانون‌های گردوخاک داخلی در استان خوزستان (حدافاصل اهواز تا شادگان) در ماه مه (فصل بهار) فعال می‌شود. استان خوزستان بیشترین تأثیر را از گردوخاک‌های فرامرزی در ماه ژوئیه (تابستان) می‌گیرد.
- تنها عاملی جوی که با گردوخاک در توزیع سالانه و ماهانه رابطه‌ای نشان نمی‌دهد، رطوبت ویژه است.

منابع

- چراغی، م.، ... خراسانی، ن.، نعمت، ندافی و کرمی. (۲۰۰۲). بررسی و مقایسه کیفیت هوا در شهرهای تهران و اصفهان در سال ۱۳۷۸ و ارائه راهکارهایی برای بهبود آن. مجله منابع طبیعی ایران (منتشر نمی‌شود)، ۵۵(۴).
- حیدریان، پ.، اژدری، ع.، جودکی، م.، درویشی خاتونی، ج؛ و شهبازی، ر. (۲۰۱۷). شناسایی منشأهای داخلی توفان‌های گردوغبار با استفاده از سنجش‌ازدور، GIS و زمین‌شناسی (مطالعه موردی: استان خوزستان). فصلنامه علمی علوم زمین، ۲۷(۱۰۵)، ۳۳-۴۶.
- شعاعی، ض.، مددی، غ.، اکبر، ع. ن؛ و چی، ع. ک. (۱۳۹۴). بررسی رطوبت خاک در مناطق تولید گردوغبار (مطالعه موردی استان ایلام) اولین کنفرانس بین‌المللی گردوغبار.

21. He, Q., and Silliman, B. R. (2019). Climate change, human impacts, and coastal ecosystems in the Anthropocene. *Current Biology*, 29(19), R1021-R1035.
22. Houthuijs, D., Breugelmans, O., Hoek, G., Vaskövi, E., Miháliková, E., Pastuszka, J. S., Jirik, V., Sachelarescu, S., Lolova, D., and Meliefste, K. (2001). PM10 and PM2.5 concentrations in Central and Eastern Europe: Results from the Cesar study. *Atmospheric environment*, 35(15), 2757-2771.
23. Hua, N.-P., Kobayashi, F., Iwasaka, Y., Shi, G.-Y., and Naganuma, T. (2007). Detailed identification of desert-originated bacteria carried by Asian dust storms to Japan. *Aerobiologia*, 23(4), 291-298.
24. Ishizuka, M., Mikami, M., Yamada, Y., Zeng, F., and Gao, W. (2005). An observational study of soil moisture effects on wind erosion at a gobi site in the Taklimakan Desert. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 110(D18).
25. Kim, D., Chin, M., Bian, H., Tan, Q., Brown, M. E., Zheng, T., You, R., Diehl, T., Ginoux, P., and Kucsera, T. (2013). The effect of the dynamic surface bareness on dust source function, emission, and distribution. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118(2), 871-886.
26. Kim, H., Zohaib, M., Cho, E., Kerr, Y. H., and Choi, M. (2017). Development and assessment of the sand dust prediction model by utilizing microwave-based satellite soil moisture and reanalysis datasets in East Asian desert areas. *Advances in Meteorology*, 2017.
27. Middleton, N. (1986). A geography of dust storms in South-west Asia. *Journal of Climatology*, 6(2), 183-196.
28. Middleton, N., and Kang, U. (2017). Sand and dust storms: Impact mitigation. *Sustainability*, 9(6), 1053.
29. Miller, J., Barlage, M., Zeng, X., Wei, H., Mitchell, K., and Tarpley, D. (2006). Sensitivity of the NCEP/Noah land surface model to the MODIS green vegetation fraction data set. *Geophysical research letters*, 33(13).
30. Molod, A., Takacs, L., Suarez, M., and Bacmeister, J. (2015). Development of the GEOS-5 atmospheric general circulation model: Evolution from MERRA to MERRA2. *Geoscientific Model Development*, 8(5), 1339-1356.
31. Namdari, S., Karimi, N., Sorooshian, A., Mohammadi, G., and Sehatkashani, S. (2018). Impacts of climate and synoptic fluctuations on dust storm activity over the Middle East. *Atmospheric environment*, 173, 265-276.
32. Natsagdorj, L., Jugder, D., and Chung, Y. (2003). Analysis of dust storms observed in Mongolia during 1937-1999. *Atmospheric environment*, 37(9-10), 1401-1411.
- رطوبت سطحی در کاربری‌های اراضی منطقه زهک دشت سیستان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست. نشریه سنجش‌ازدور و GIS ایران، ۱۴(۱)، ۲۱-۴۲.
12. Adib, A., Oulapour, M., and Chatroze, A. (2018). Effects of wind velocity and soil characteristics on dust storm generation in Hawr-al-Azim Wetland, Southwest Iran. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 16(4), 333-347
13. An, L., Che, H., Xue, M., Zhang, T., Wang, H., Wang, Y., Zhou, C., Zhao, H., Gui, K., and Zheng, Y. (2018). Temporal and spatial variations in sand and dust storm events in East Asia from 2007 to 2016: Relationships with surface conditions and climate change. *Science of The Total Environment*, 633, 452-462.
14. Buchard, V., Randles, C., Da Silva, A., Darmenov, A., Colarco, P., Govindaraju, R., Ferrare, R., Hair, J., Beyersdorf, A., and Ziemba, L. (2017). The MERRA-2 aerosol reanalysis, 1980 onward. Part II: Evaluation and case studies. *Journal of climate*, 30(17), 6851-6872.
15. Choi, H., Shin, D. W., Kim, W., Doh, S.-J., Lee, S. H., and Noh, M. (2011). Asian dust storm particles induce a broad toxicological transcriptional program in human epidermal keratinocytes. *Toxicology letters*, 200(1-2), 92-99.
16. Cowie, S. M., Knippertz, P., and Marsham, J. H. (2013). Are vegetation-related roughness changes the cause of the recent decrease in dust emission from the Sahel? *Geophysical research letters*, 40(9), 1868-1872.
17. Gao, Z., Xu, X., Wang, J., Yang, H., Huang, W., and Feng, H. (2013). A method of estimating soil moisture based on the linear decomposition of mixture pixels. *Mathematical and Computer Modelling*, 58(3-4), 606-613.
18. Ginoux, P., Chin, M., Tegen, I., Prospero, J. M., Holben, B., Dubovik, O., and Lin, S. J. (2001). Sources and distributions of dust aerosols simulated with the GOCART model. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 106(D17), 20255-20273.
19. Griggs, D. J., and Noguer, M. (2002). Climate change 2001: The scientific basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *Weather*, 57(8), 267-269.
20. Gelaro, R., McCarty, W., Suárez, M. J., Todling, R., Molod, A., Takacs, L., Randles, C. A., Darmenov, A., Bosilovich, M. G., and Reichle, R. (2017). The modern-era retrospective analysis for research and applications, version 2 (MERRA-2). *Journal of climate*, 30(14), 5419-5454.

- and future global soil dust emission. *Geophysical research letters*, 31(5).
40. Veselovskii, I., Goloub, P., Podvin, T., Tanre, D., Da Silva, A., Colarco, P., Castellanos, P., Korenskiy, M., Hu, Q., andWhiteman, D. N. (2018). Characterization of smoke and dust episode over West Africa: comparison of MERRA-2 modeling with multiwavelength Mie-Raman lidar observations. *Atmospheric measurement techniques*, 11(2), 949-969.
 41. Sofue, Y., Hoshino, B., Demura, Y., Nduati, E., andKondoh, A. (2017). The interactions between precipitation, vegetation and dust emission over semi-arid Mongolia. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*, 1-10.
 42. Wang, J. X. (2015). Mapping the global dust storm records: Review of dust data sources in supporting modeling/climate study. *Current Pollution Reports*, 1(2), 82-94.
 43. Wang, X., Dong, Z., Zhang, J., andLiu, L. (2004). Modern dust storms in China: an overview. *Journal of Arid Environments*, 58(4), 559-574.
 44. Xuan, J., Sokolik, I. N., Hao, J., Guo, F., Mao, H., andYang, G. (2004). Identification and characterization of sources of atmospheric mineral dust in East Asia. *Atmospheric environment*, 38(36), 6239-6252.
 45. Yu, R., Li, J., andChen, H. (2009). Diurnal variation of surface wind over central eastern China. *Climate dynamics*, 33(7), 1089-1097.
 46. Zhang, J., Dong, W., andFu, C. (2005). Impact of land surface degradation in northern China and southern Mongolia on regional climate. *Chinese Science Bulletin*, 50(1), 75-81.
 47. Zhang, X., Wu, S., Yan, X., andChen, Z. (2017). A global classification of vegetation based on NDVI, rainfall and temperature. *International Journal of Climatology*, 37(5), 2318-2324.
 33. Prospero, J. M., Ginoux, P., Torres, O., Nicholson, S. E., andGill, T. E. (2002). Environmental characterization of global sources of atmospheric soil dust identified with the Nimbus 7 Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) absorbing aerosol product. *Reviews of geophysics*, 40(1), 2-1-2-31.
 34. Randles, C., Da Silva, A., Buchard, V., Colarco, P., Darmenov, A., Govindaraju, R., Smirnov, A., Holben, B., Ferrare, R., andHair, J. (2017). The MERRA-2 aerosol reanalysis, 1980 onward. Part I: System description and data assimilation evaluation. *Journal of climate*, 30(17), 6823-6850.
 35. Ravi, S., andD'Odorico, P. (2005). A field-scale analysis of the dependence of wind erosion threshold velocity on air humidity. *Geophysical research letters*, 32(21).
 36. Rienecker, M. M., Suarez, M. J., Gelaro, R., Todling, R., Bacmeister, J., Liu, E., Bosilovich, M. G., Schubert, S. D., Takacs, L., andKim, G.-K. (2011). MERRA: NASA's modern-era retrospective analysis for research and applications. *Journal of climate*, 24(14), 3624-3648.
 37. Tan, M., andLi, X. (2015). Does the Green Great Wall effectively decrease dust storm intensity in China? A study based on NOAA NDVI and weather station data. *Land Use Policy*, 43, 42-47.
 38. Tegen, I., andFung, I. (1994). Modeling of mineral dust in the atmosphere: Sources, transport, and optical thickness. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 99(D11), 22897-22914.
 39. Tegen, I., Werner, M., Harrison, S. P., andKohfeld, K. E. (2004). Relative importance of climate and land use in determining present