

Investigating the relationship between dust event and climate and surface factors in Khuzestan province (2011-2019)

Mobarak hassan, E.¹  | Karimkhani, M.² 

1. **Corresponding Author**, Department of Environment, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran. E-mail: mobarak_e@yahoo.com

2. Department of Earth Science, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. E-mail: mahnaz_karimkhany@yahoo.com

(Received: 15 Oct 2022, Revised: 23 Jan 2023, Accepted: 7 Mar 2023, Published Online: 7 Mar 2023)

Abstract

Khuzestan province is affected by dust storms. The purpose of this study is to identify the most significant climate and surface factors in the emission and transfer of dust in this province. By means of remote sensing data including MERRA-2, GLDAS as well as Aqua, the monthly average mass concentration of surface dust, air column dust and climate and surface variables from 2011 to 2019 have been prepared and analyzed. The result revealed that the region with an average vegetation cover index of 0.15 is susceptible to wind erosion and local dust. Also the result demonstrated that the dust surface concentration and the dust column density declines from the southwest to the northeast of the region due to the increased distance from the cross-border dust sources and also the mountainous structure of the northeast. Analyzing of the annual distribution, showed a negative relationship between the dust surface mass concentration and vegetation, and also positive/negative relationship between dust column density and vegetation/ precipitation. In the monthly distribution of dust surface concentration and wind speed a positive correlation of 0.84 and 0.96 obtained, respectively. while negative correlation values of -0.84, -0.81, and -0.54 were found Respectively. Therefore, dust surface concentration has the highest correlation with climate factors, which indicate the impact of cross-border dust. Based on the results obtained, the annual distribution, showed a negative relationship with the dust surface concentration and vegetation. In addition, the relationship between dust column density and vegetation and precipitation showed negative and positive values, respectively.

Keywords: Dust storm, NDVI, soil moisture, MERRA-2 data, Aqua satellite.

Cite this article: Mobarakhassan, E., Karimkhani, M. (2022). Investigating the relationship between dust event and climate and surface factors in Khuzestan province (2011-2019). *Nivar*, Vol. 46, No. 118-119. 144-162. DOI: <https://doi.org/10.30467/nivar.2023.365357.1230>



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

الهام مبارک حسن^۱ | مهناز کریم خانی^۲

۱. نویسنده مسئول، گروه محیط زیست، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران. رایانامه: mobarak_e@yahoo.com
۲. گروه علوم زمین، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. رایانامه: mahnaz_karimkhany@yahoo.com

(دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۲۳، بازنگری: ۱۴۰۱/۱۱/۰۳، پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۱۶، انتشار آنلاین: 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 MERRA-2، GLDAS 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 و ۰/۹۶ داشته و با بارش، رطوبت خاک و شاخص پوشش گیاهی به ترتیب ضریب 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. همپنین ارتباط گردوخاک ستون هوا با پوشش گیاهی منفی و بارش مثبت بود.

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

۱. مقدمه

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 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

استناد: مبارک حسن، الهام و کریم خانی، مهناز. (۱۴۰۱). بررسی رابطه رخداد گردوخاک با عوامل اقلیمی و شرایط سطحی در استان خوزستان (۲۰۱۱-۲۰۱۹). مجله نیوار،

دوره ۴۶، شماره ۱۱۸-۱۱۹، ۱۴۴-۱۶۲. DOI: <https://doi.org/10.30467/nivar.2023.365357.1230>



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، 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 (صدقت و نظری پور، ۱۳۹۹). نتایج نشان می‌دهد که کاهش رطوبت خاک و کاهش تراکم پوشش گیاهی منجر به افزایش دمای رویه زمین شده و بر فراوانی رخداد توفان‌های گردوغبار اثرگذار هستند (صدقت 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.

۲. داده و روش

۲-۱. 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

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).

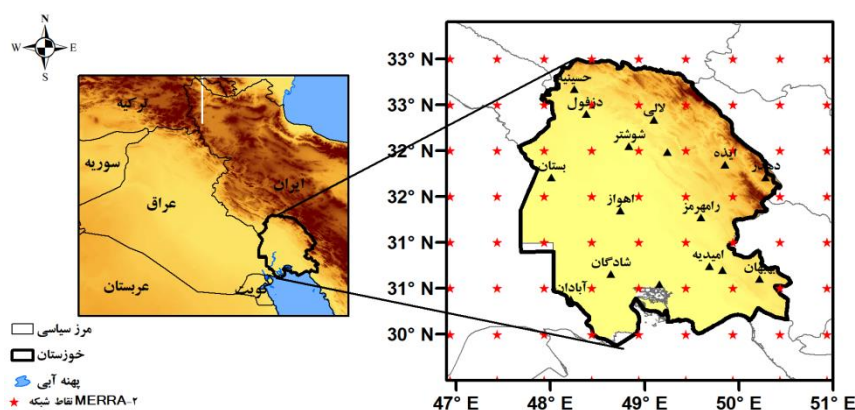
مشخصه‌های سطحی مانند رطوبت، بافت، ناهمواری، توپوگرافی و پوشش گیاهی از جمله عواملی سطحی هستند که در فرسایش‌پذیری و فرآیند فرسایش بادی نقش دارند (ژوان و همکاران، ۲۰۰۴، راوی و اودوریکا، ۲۰۰۵؛ ناتساگدورج و همکاران، ۲۰۰۳؛ وانگ و همکاران، ۲۰۰۴؛ ایشیزوکا و همکاران، ۲۰۰۵؛ کووی و همکاران، ۲۰۱۳؛ تیگن و همکاران، 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

خوزستان را نشان می‌دهد. ایستگاه‌های هواشناسی متعددی در استان خوزستان وجود دارد که برخی از آن‌ها تازه تا سپس بوده و برخی دیگر داده‌ها بلندمدت دارند. موقعیت جغرافیایی برخی ایستگاه‌ها در

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؛ درحالی‌که 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.

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 جنوب شرق 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 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. شکل یک موقعیت جغرافیایی استان



شکل ۱. استان خوزستان و موقعیت ایستگاه‌های همدیدی

همکاران، ۲۰۱۵) و با استفاده از داده‌های مشاهداتی سنجش از دور شامل AVHRR، MODIS، MISR و AERONEY عمل می‌نماید. داده‌ها در تفکیک مکانی $(0/625^\circ - \text{latitude})$ $(0/5^\circ \times \text{longitude})$ 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

۲-۲. 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

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

از جمله مهم‌ترین شرایط سطحی که در گردوخاک نقش مهمی دارد می‌توان به پوشش گیاهی اشاره نمود. سافو و همکاران (۲۰۱۷) در بررسی پوشش گیاهی، از شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI) استفاده می‌شود (ژانگ، همکاران، ۲۰۱۷). این شاخص برای نمایش شرایط پوشش گیاهی و تغییر شرایط پوشش سطحی زمین مورد استفاده قرار می‌گیرد. این داده‌ها 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 می‌آید.

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

۲-۳. 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 آن‌ها توسط نرم افزار Grads ترسیم شد. موقعیت ایستگاه‌های همدیدی با مثلث مشکی در شکل‌ها مشخص شده‌اند.

با توجه به تنوع ساختاری در ویژگی‌های جغرافیایی استان خوزستان و تفاوت تفکیک پذیری مکانی در داده‌های به کار

گردوخاک امکان پذیر شد (گلارو و همکاران، ۲۰۱۷؛ سلووسکی و همکاران، ۲۰۱۸). 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 می‌شود. 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 می‌شود. توضیح کامل آن در (بوچارد و همکاران، ۲۰۱۷) آمده است.

غلظت جرمی گردوخاک سطحی، گردوخاک انتشار یافته در نزدیکی سطح زمین را نشان می‌دهد. چگالی جرمی ستون گردوخاک مشابه با غلظت نوری هواویزها AOD، میزان گردوخاک موجود در ستون هوا را نشان می‌دهد. گردوخاک در ستون هوا می‌تواند در کانون انتشار افزایش یابد و یا گردوخاک انتشار یافته در کانون به کمک میدان باد به مناطق مجاور انتقال یافته و باعث افزایش مقداران در ستون هوا شود. بنابراین متغیر غلظت جرمی گردوخاک سطحی به شناسایی کانون‌ها و مناطق مستعد گردوخاک و چگالی جرمی ستون گردوخاک به ردیابی و انتقال گردوخاک در راستای عمودی و افقی و همچنین شناسایی کانون‌های محلی گردوخاک کمک می‌کند.

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

به منظور بررسی رابطه گردوخاک و متغیرهای جوی شامل، دمای نزدیک سطح (برحسب کلونین 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

۳-۱. توزیع مکانی گردوخاک، پارامترهای جوی و سطحی در استان خوزستان

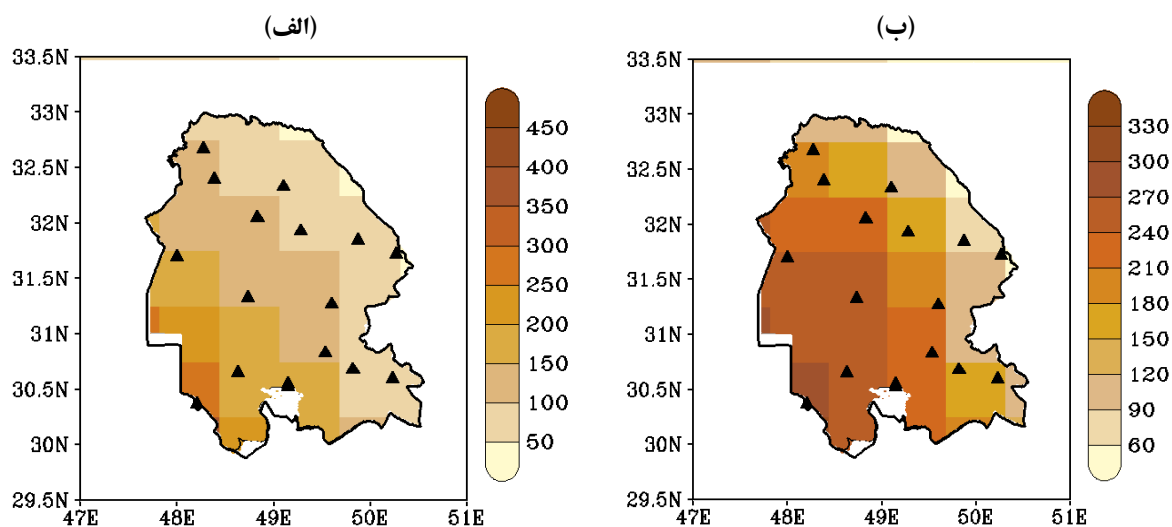
توزیع مکانی میانگین سالانه (۲۰۱۱-۲۰۱۹) گردوخاک سطحی و گردوخاک ستون هوا در شکل ۲ آورده شده است. گردوخاک سطحی بیشینه مقدار ۳۰۰ میکروگرم بر مترمکعب را در جنوب غرب استان و در نزدیکی آبادان نشان می‌دهد (شکل ۲). از جنوب غرب به شمال شرق استان از مقداران کاسته می‌شود. بیشینه گردوخاک ستون هوا با ۲۷۰ میلی گرم 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.

رفته در این تحقیق، امکان تفکیک محدوده‌های مختلف در استان وجود نداشت؛ بنابراین به‌منظور بررسی آماری عوامل مؤثر بر گردوخاک مقدار میانگین هر متغیر در هرماه در کل 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 به‌منظور 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 به‌منظور 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.

۳. یافته‌ها



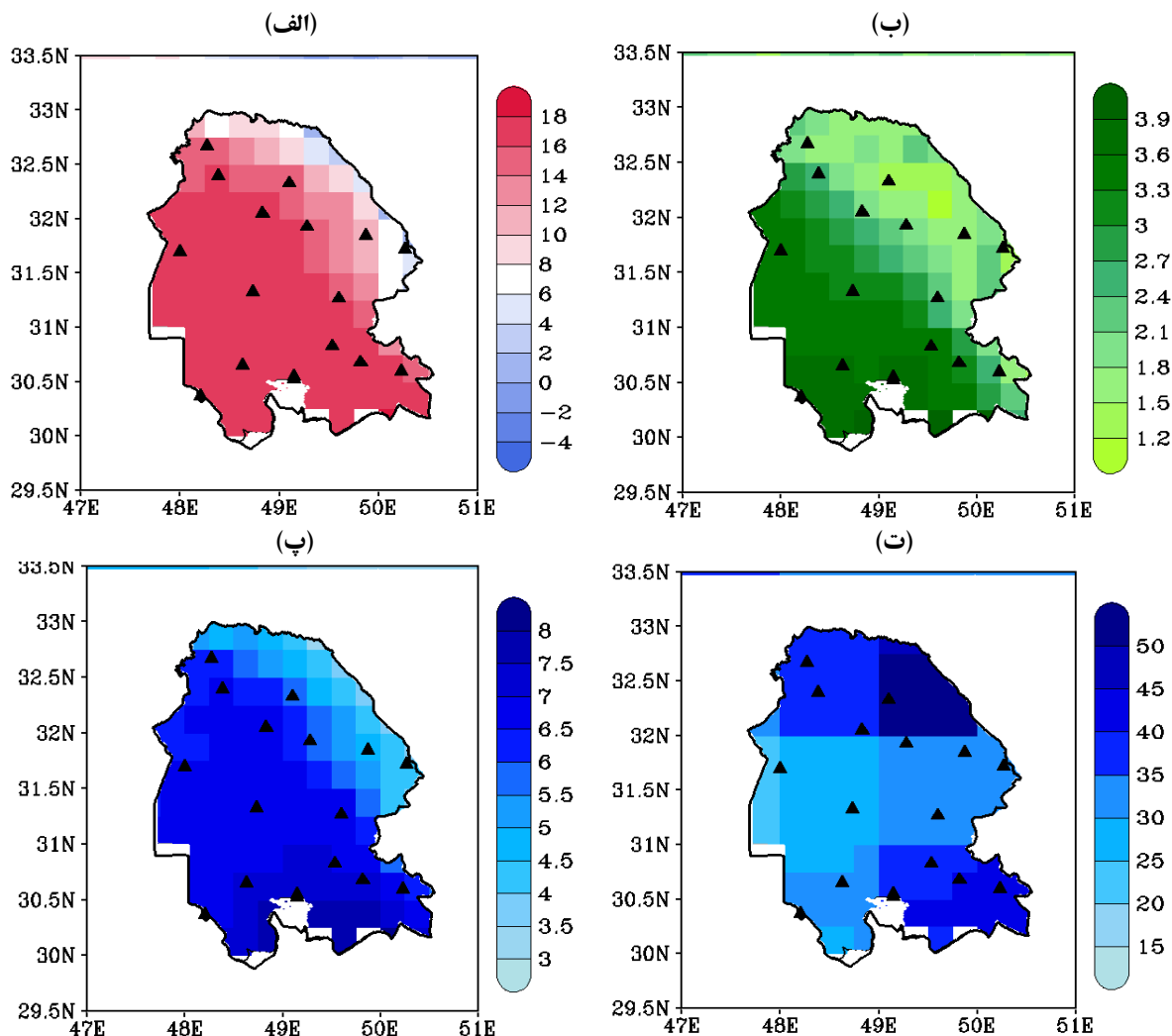
شکل ۲: میانگین (الف) گردوخاک سطحی (میکروگرم بر مترمکعب)، (ب) گردوخاک ستون هوا (میلی گرم بر مترمربع). از سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۹، استان خوزستان

متر بر ثانیه را در جنوب غرب استان نشان داده و به سمت شمال شرق سرعت باد کاهش می‌یابد (شکل ۳-ب). توزیع سرعت باد در شمال شرق در همه نقاط مشابه نیست که می‌توان علت آن را ساختار کوهساری منطقه دانست.

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

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 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).

رطوبت ویژه نیز از جنوب غرب به شمال شرق استان کاهش می‌یابد (شکل ۳-پ). 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 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 تأثیر گذار است. توزیع بارش با دیگر متغیرها تفاوت بارزی دارد (شکل ۳-ت). کمترین مقدار بارندگی بین ۲۰ تا ۲۵ کیلوگرم بر مترمربع در



شکل ۳: میانگین: الف) 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

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، به‌ویژه 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 فرامیزی 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

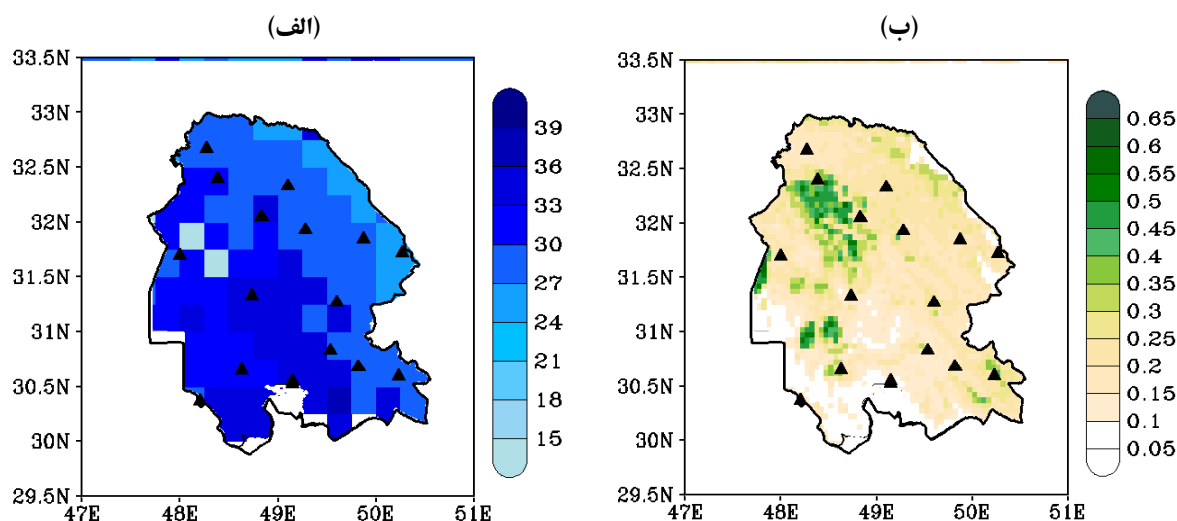
محتوای رطوبت خاک نیز در جنوب غرب استان خوزستان بیشتر بوده و به‌سوی شمال شرق کاهش می‌یابد (شکل ۴-الف)؛ اما این توزیع کاملاً یکدست نیست. به‌طوری که در اطراف بستان کمترین رطوبت خاک دیده می‌شود. در اطراف شوشتر، دزفول، اهواز به دلیل وجود رودخانه و تالاب شادگان رطوبت خاک بالا است. توزیع مکانی بارش و رطوبت خاک در استان خوزستان هماهنگی ندارد (شکل ۳-ت و شکل ۴-الف). علت آن مربوط به توزیع زمانی بارش است. علاوه بر آن 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 جنوب‌غربی 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 به‌طوری 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 به‌ویژه 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 به‌عنوان 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

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. ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۹، استان خوزستان

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 هم‌دید 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 بر 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 به عنوان 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 به طور 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 به طور 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

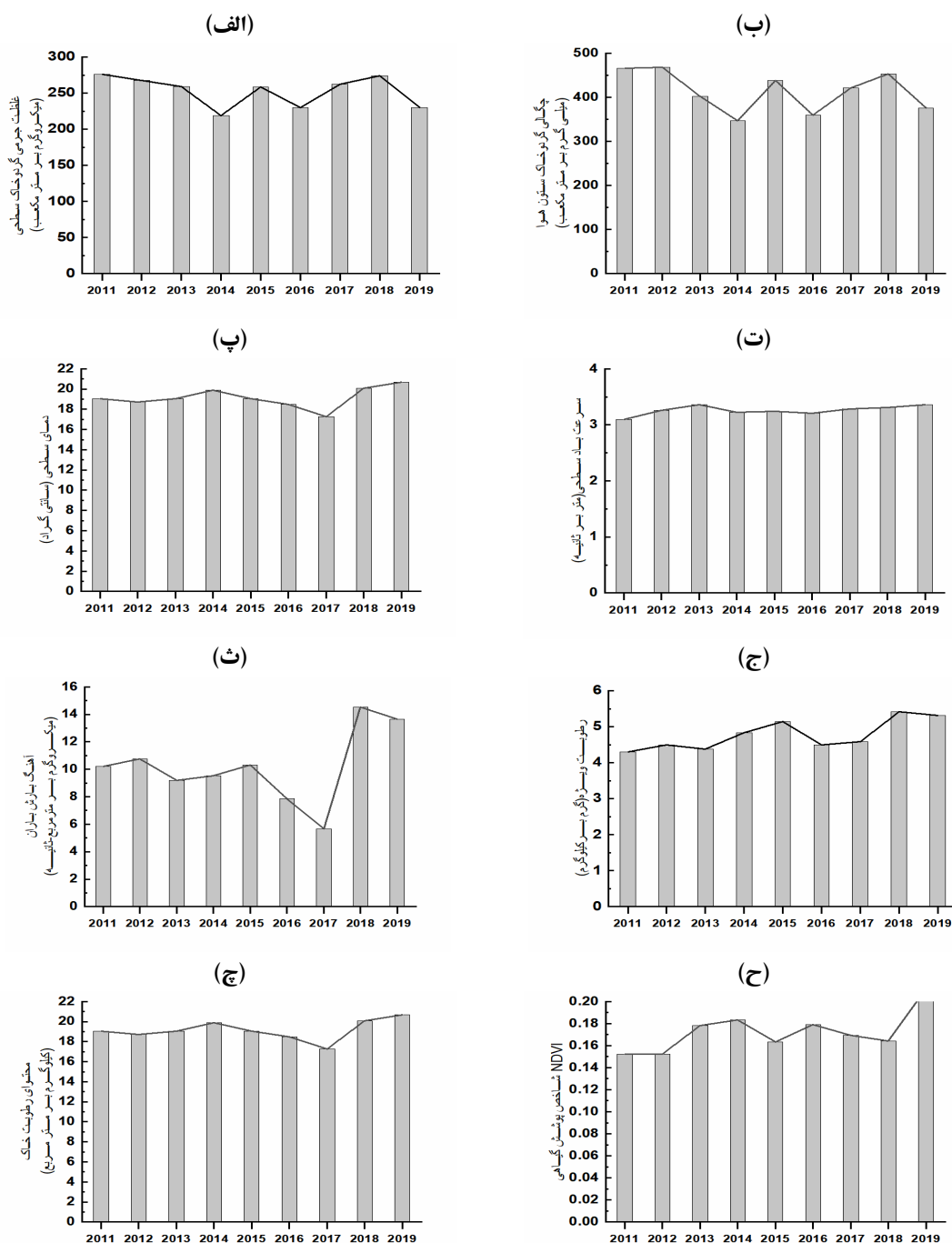
جدول ۱. شاخص‌های آماری شامل حداقل، حداکثر، میانگین، چولگی، ضریب تغییرات، شاخص گردو خاک و پارامترهای سطحی و جوی در خوزستان، ۲۰۱۱-۲۰۱۹

| متغیر | واحد | کمینه | بیشینه | میانگین | چولگی | ضریب تغییرات |
|------------------------------|-------------------|-------|--------|---------|-------|--------------|
| غلظت جرمی گردو خاک سطحی | $\frac{mg}{m^3}$ | ۸۹ | ۵۱۳ | ۲۵۲ | ۰/۸۰ | ۰/۴۱ |
| چگالی جرمی گردو خاک 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 |

۲-۳. روند تغییرات سالانه

مورد بررسی تغییر چشم گیری نشان نمی دهد. 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 می شود. محتوای رطوبت خاک روند تغییرات مشخصی ندارد. از سال ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۷ کاهش و پس از افزایش می یابد. 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 می باشد. بر اساس (تان و لی، ۲۰۱۵؛ کیم و همکاران، ۲۰۱۳؛ میلر و همکاران، ۲۰۰۶) شاخص پوشش گیاهی ۰/۱۵ تا ۰/۲ نشان دهنده منطقه مستعد فرسایش است.

روند تغییرات سالانه متغیرهای تحقیق از سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۹ در شکل ۵ ترسیم شده است. گردو خاک سطحی در طی ۹ سال مورد بررسی روند تغییر معنی داری ندارد. به این معنا که غلظت گردو خاک روند افزایشی یا کاهشی نداشته است. از سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۴ روند کاهشی و از سال ۲۰۱۶ تا ۲۰۱۸ روند افزایشی دیده می شود. در طی سالهای ۲۰۱۴ و ۲۰۱۶ مقدار گردو خاک سطحی کمترین و در سالهای ۲۰۱۱ و ۲۰۱۸ بیشترین مقدار را داشته است. گردو خاک ستون هوا نیز تغییراتی کم و بیش مشابه با گردو خاک سطحی دارد. تنها تفاوت بین آن دو به سال ۲۰۱۲ برمی گردد. گردو خاک سطحی در سال ۲۰۱۲ نسبت به ۲۰۱۱ کاهش داشته اما گردو خاک ستون هوا تغییر بارزی ندارد. به این ترتیب به نظر می رسد اثر کانونهای فرامری گردو خاک 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 ۲۰۱۴ افزایش گردو خاک با افزایش دما هماهنگی دارد. در حالی که در سال ۲۰۱۹ دما افزایش داشته اما غلظت گردو خاک



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 (متربر 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

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

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

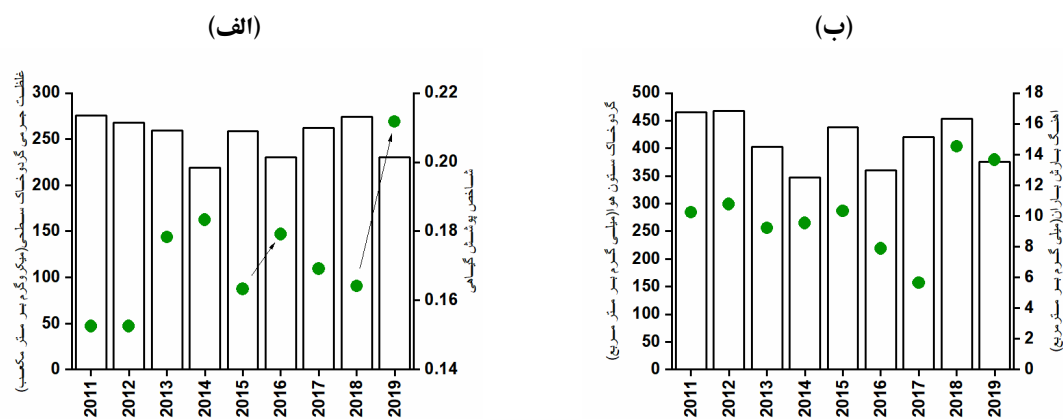
نشان داد. ضریب همبستگی گردوخاک ستون هوا با پوشش گیاهی ۰/۹۲- و با بارش ۰/۴۳ به دست آمد. به این ترتیب در روند سالانه دو عامل پوشش گیاهی و بارش در گردوخاک استان خوزستان تأثیر دارند. پوشش گیاهی بر گردوخاک محلی و بارش در گردوخاک‌های فرامرزی نقش دارند. رابطه مثبت بارش و گردوخاک ستون هوا، رابطه علت و معلولی نیست. بلکه به نوعی معرف آن است که در دوره‌های سرد سال نیز گردوخاک رخ می‌دهد. همان‌طور که در سامانه‌های متعددی دیده می‌شود، ساختار دینامیکی جو در برخی مناطق بارش و در برخی دیگر به‌ویژه خوزستان همراه با گردوخاک است.

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

پوشش گیاهی شود و افزایش پوشش گیاهی نیز می‌تواند منجر به ننگه داشت بیشتر 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 گردوخاک 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 می‌توان تفاوت بازه زمانی در این دو مطالعه دانست.

به‌منظور بررسی رابطه سالانه گردوخاک با متغیرهای جوی و سطحی، با توجه برخی از آن‌ها توزیع نرمال نداشته و برخی چولگی دارند، همچنین روند تغییرات سالانه آن‌ها مشابه نیست، از ضریب همبستگی اسپیرمن استفاده شد. گردوخاک سطحی با شاخص پوشش گیاهی ضریب همبستگی ۰/۸۱-



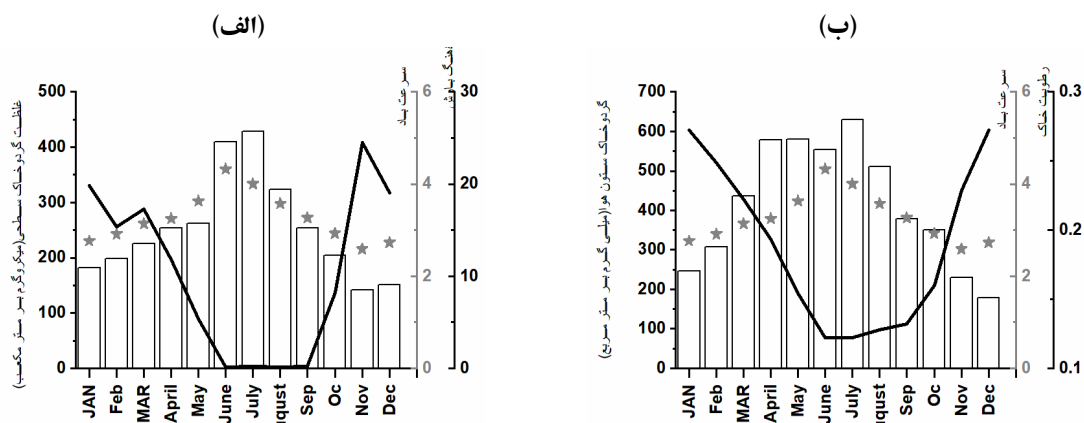
شکل ۶. الف) تغییرات سالانه غلظت جرمی گردوخاک سطحی (میکروگرم بر مترمکعب) و شاخص پوشش گیاهی، ب) تغییرات سالانه گردوخاک ستون هوا (میلی‌گرم بر مترمربع) و آهنگ بارش باران (میلی‌گرم بر مترمربع). ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۹

که می‌تواند ناشی از فعال شدن گردوخاک سطحی یا بیان‌گر انتقال گردوخاک از کانون‌های فرامرزی به سوی استان خوزستان باشد. گردوخاک سطحی در توزیع ماهانه با بارش، رطوبت خاک و شاخص پوشش گیاهی به ترتیب ضریب همبستگی منفی

در توزیع ماهانه گردوخاک سطحی، بیشترین مقدار در ماه ژوئن و ژوئیه و کمترین مقدار در ماه نوامبر به دست آمد (شکل ۷). گردوخاک سطحی در توزیع ماهانه با سرعت باد و مثبت باد و دما نشان می‌دهد که با افزایش دما (ماه‌های گرم سال) و افزایش سرعت باد، گردوخاک سطحی افزایش می‌یابد

دسامبر به دست آمد است. گردوخاک ستون هوا نیز با سرعت باد و دما رابطه همبستگی مثبت ۰/۷۸ و ۰/۸۶ داشته و بارطوبت خاک، بارش و پوشش گیاهی همبستگی منفی ۰/۹۳، ۰/۹۵- و ۰/۷۹- نشان می‌دهد. سرعت باد و دما با گردوخاک سطحی همبستگی بیشتری نسبت به گردوخاک ستون هوادارند 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.

۰/۸۴-، ۰/۸۱- و ۰/۵۴- دارد. نقش منفی رطوبت خاک، بارش و پوشش گیاهی به‌خوبی تأثیر عوامل سطحی را گردوخاک‌های این منطقه نشان می‌دهد. به‌این‌ترتیب 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 مقداران در ماه ژوئیه به‌دست‌آمده است اما از ماه آوریل افزایش یافته و تا ژوئیه ادامه دارد. پس‌از 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

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. در حالی که 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

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 نوامبر (کمترین گردوخاک سطحی) انتخاب شده‌اند. گردوخاک سطحی در ماه مارس از شرق سوریه تا شمال شرق عربستان گسترش دارد (شکل ۸). بیشینه آن را در محدوده مرکزی عراق حوالی دریاچه‌های نرثار و رزازه دیده می‌شود.

ماه ژوئیه مشابه ماه مارس 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). 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.

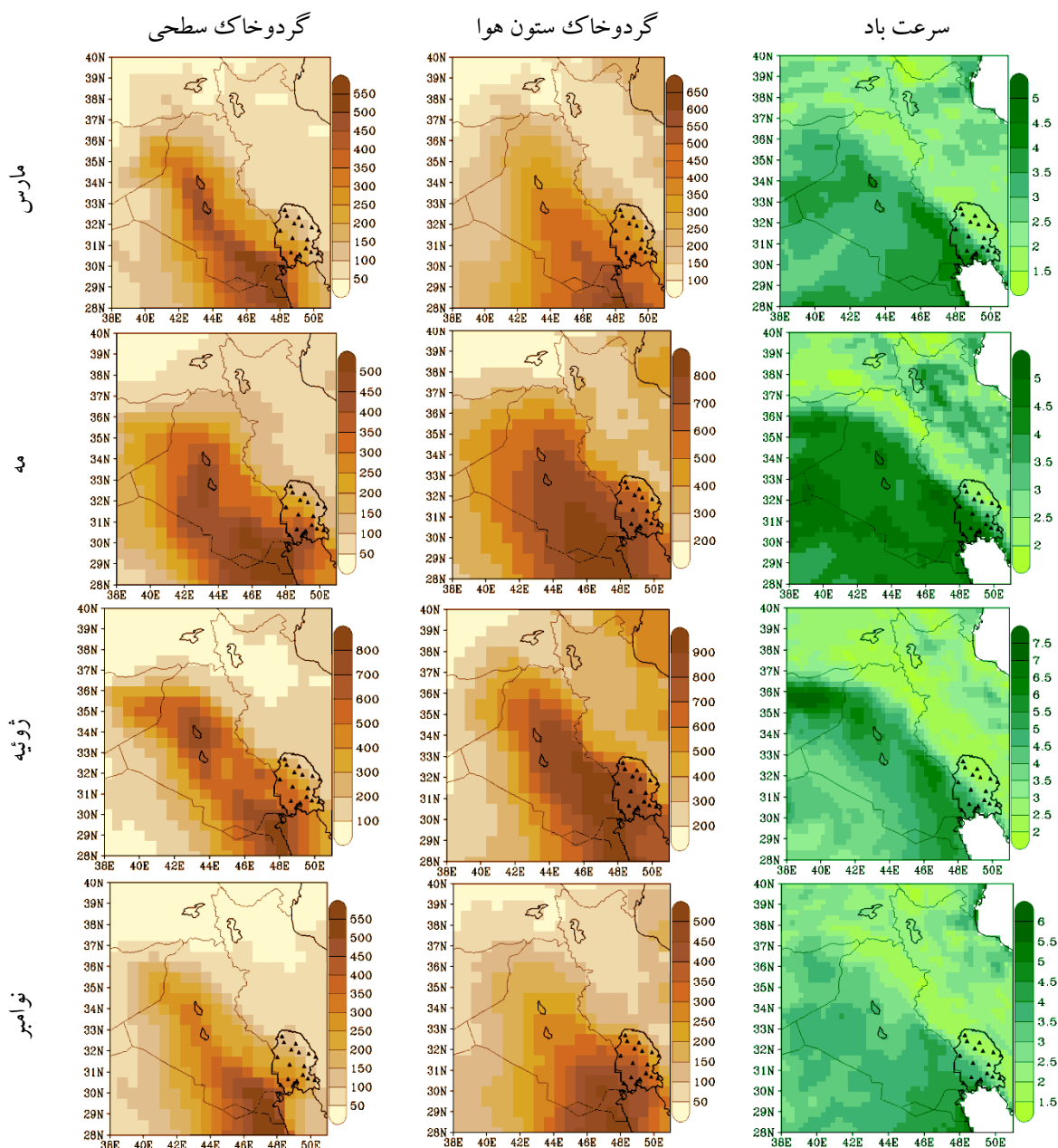
مقدار گردوخاک را از جنوب غرب به شمال شرق استان خوزستان نشان می‌دهد. در توزیع سرعت باد سطحی در ماه مارس نیز دو بیشینه را در شمال غرب و جنوب شرق عراق با مقدار ۴ و ۴.۵ متر بر ثانیه مشاهده می‌شود. افزایش سرعت باد در این دو منطقه منجر به انتشار گردوخاک سطحی در این مناطق می‌شود. در بخش‌های جنوب غرب استان خوزستان 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 (شکل ۸). 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. در حالی 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 (شکل ۸). گردوخاک سطحی در



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)

گردوخاک انتشار یافته به جو کاهش می یابد (شکل ۷).
 با بررسی شکل ۸، دو کانون اصلی گردوخاک یکی در مناطق مرکزی عراق و در اطراف دریاچه ثرثار تا راززه و دیگری در جنوب شرق عراق تا شمال عربستان مشاهده شد که به عنوان کانون های فرامری گردوخاک استان خوزستان شناسایی می شوند. در مطالعه های پیشین نیز منطقه دجله و فرات با شدت بیشتر (به ویژه از آوریل تا اوت) نسبت به دیگر مناطق به عنوان

بیشینه دیگری در شرق عراق تا شمال عربستان با سرعت ۴ متر بر ثانیه دیده می شود که با بیشینه گردوخاک سطحی و گردوخاک ستون هوا در این مناطق همخوانی دارد. توزیع گردوخاک سطحی، ستون هوا و میدان باد در ماه نوامبر در استان خوزستان مشابه به دیگر ماه ها از جنوب غرب به شمال شرق کاهش می یابد. در ماه نوامبر به دلیل کاهش سرعت باد و افزایش بارش، کانون های گردوخاک عراق تثبیت شده و مقدار

گردوخاک ستون هوا ۰/۴۱ میلی گرم 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 فرامیزی 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. به این 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. به این 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.

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

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

۴. نتیجه گیری

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 فرامیزی 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

۷. طائی سمیرمی، س.، مرادی، ح. ر.، خداقلی، م.؛ و احمدی آخوومه، 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.
۸. 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 تبخیرتعرق بر زوال جنگل‌های زاگرس مرکزی در استان لرستان. تحقیقات حمایت و حفاظت جنگلها و مراتع ایران، ۱۳(۲)، ۹۷-۱۱۲.
۹. عزیزاده چوبری، ا. (۱۳۹۶). مطالعه عددی اثر غیرمستقیم هواویزها بر تابش طول موج کوتاه و بلند: مطالعه موردی. فیزیک زمین و فضا، ۴۳(۲)، ۴۵۰-۴۴۱.
۱۰. فرهادی پور، س.، آزادی، م.، علی اکبری بیدختی، ع.، عزیزاده 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.

۵. منابع

۱. چراغی، م.، ا. ... 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)، ۴(۵۵).
۲. حیدریان، پ.، اژدری، ع.، جودکی، م.، درویشی خاتونی، ج.؛ و شهبازی، ر. (۲۰۱۷). شناسایی منشأهای داخلی توفان‌های گردوغبار با استفاده از سنجش‌ازدور، GIS و
۳. زمین‌شناسی (مطالعه موردی: استان خوزستان). فصلنامه علمی علوم زمین، ۲۷(۱۰۵)، ۳۳-۴۶.
۴. شعاعی، ض.، مددی، غ.، اکبر، ع. ن.؛ و چی، ع. ک. (۱۳۹۴). بررسی رطوبت خاک در مناطق تولید گردوغبار
۵. (مطالعه موردی استان ایلام) اولین کنفرانس بین‌المللی گردوغبار.
۶. 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.
۱۱. 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. کاوش‌های جغرافیایی مناطق بیابانی، ۳(۱)، ۱۶۷-۱۸۳.
۱۲. 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.
۱۳. هاشمی، ز.، سودائی زاده، ح.؛ و مختاری، م. (۲۰۲۲). بررسی رابطه دمای سطح زمین با پوشش گیاهی و رطوبت سطحی در کاربری‌های اراضی منطقه زهک دشت سیستان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست. نشریه سنجش‌ازدور و GIS ایران، ۱۴(۱)، ۲۱-۴۲.
14. 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.

- ecosystems in the Anthropocene. *Current Biology*, 29(19), R1021-R1035.
24. 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.
 25. 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.
 26. 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).
 27. 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.
 28. 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.
 29. Middleton, N. (1986). A geography of dust storms in South-west Asia. *Journal of Climatology*, 6(2), 183-196.
 30. Middleton, N., and Kang, U. (2017). Sand and dust storms: Impact mitigation. *Sustainability*, 9(6), 1053.
 31. 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).
 32. 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.
 33. Namdari, S., Karimi, N., Sorooshian, A., Mohammadi, G., and Sehatkashani, S. (2018). Impacts of climate and synoptic fluctuations Caspian Journal of Environmental Sciences, 16(4), 333-347
 15. 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.
 16. 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.
 17. 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.
 18. 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.
 19. 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.
 20. 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.
 21. Griggs, D. J., and Noguera, 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.
 22. 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.
 23. He, Q., and Silliman, B. R. (2019). Climate change, human impacts, and coastal

- determining present and future global soil dust emission. *Geophysical research letters*, 31(5).
42. Veselovskii, I., Goloub, P., Podvin, T., Tanre, D., Da Silva, A., Colarco, P., Castellanos, P., Korenskiy, M., Hu, Q., and Whiteman, 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.
 43. Sofue, Y., Hoshino, B., Demura, Y., Nduati, E., and Kondoh, A. (2017). The interactions between precipitation, vegetation and dust emission over semi-arid Mongolia. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*, 1-10.
 44. 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.
 45. Wang, X., Dong, Z., Zhang, J., and Liu, L. (2004). Modern dust storms in China: an overview. *Journal of Arid Environments*, 58(4), 559-574.
 46. Xuan, J., Sokolik, I. N., Hao, J., Guo, F., Mao, H., and Yang, G. (2004). Identification and characterization of sources of atmospheric mineral dust in East Asia. *Atmospheric environment*, 38(36), 6239-6252.
 47. Yu, R., Li, J., and Chen, H. (2009). Diurnal variation of surface wind over central eastern China. *Climate dynamics*, 33(7), 1089-1097.
 48. Zhang, J., Dong, W., and Fu, C. (2005). Impact of land surface degradation in northern China and southern Mongolia on regional climate. *Chinese Science Bulletin*, 50(1), 75-81.
 49. Zhang, X., Wu, S., Yan, X., and Chen, Z. (2017). A global classification of vegetation based on NDVI, rainfall and temperature. *International Journal of Climatology*, 37(5), 2318-2324.
 - on dust storm activity over the Middle East. *Atmospheric environment*, 173, 265-276.
 34. 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.
 35. Prospero, J. M., Ginoux, P., Torres, O., Nicholson, S. E., and Gill, 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.
 36. Randles, C., Da Silva, A., Buchard, V., Colarco, P., Darmenov, A., Govindaraju, R., Smirnov, A., Holben, B., Ferrare, R., and Hair, J. (2017). The MERRA-2 aerosol reanalysis, 1980 onward. Part I: System description and data assimilation evaluation. *Journal of climate*, 30(17), 6823-6850.
 37. Ravi, S., and D'Odorico, P. (2005). A field-scale analysis of the dependence of wind erosion threshold velocity on air humidity. *Geophysical research letters*, 32(21).
 38. Rienercker, M. M., Suarez, M. J., Gelaro, R., Todling, R., Bacmeister, J., Liu, E., Bosilovich, M. G., Schubert, S. D., Takacs, L., and Kim, G.-K. (2011). MERRA: NASA's modern-era retrospective analysis for research and applications. *Journal of climate*, 24(14), 3624-3648.
 39. Tan, M., and Li, 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.
 40. Tegen, I., and Fung, I. (1994). Modeling of mineral dust in the atmosphere: Sources, transport, and optical thickness. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 99(D11), 22897-22914.
 41. Tegen, I., Werner, M., Harrison, S. P., and Kohfeld, K. E. (2004). Relative importance of climate and land use in