

An Analysis of the Effects of the Change in Climate and Surface Soil Conditions on the Frequency of Dust Storms: The Case Study of Khorasan Razavi Province

Maryam Naeimi^{1*}, Mohammad Khosroshahi¹, Maryam Mir Akbari², Azadeh Gohardoost¹, Samira Zandifar¹, Tahereh Ensafi Moghadam¹

1. Desert Research Department, Research Institute of Forest and Rangeland, Agricultural Research, Education, and Extension Organization, Tehran, Iran

2. Postdoctoral Researcher of Geographic Science and Planning, Isfahan University, Isfahan, Iran

(Received: June 27, 2021; Accepted: September 18, 2021)

Abstract

In recent decades, dust storms have intensified due to climate changes, including drought and human interventions. In addition to removing soil particles, dust brings storms bring about severe economic, social, and health problems. Due to its strategic conditions – including its status as an industrial and agricultural hub and the province hosting more than 29 million Iranian and international pilgrims, especially during the seasons and months with specific holidays – should be prioritized in the examination of dust storm frequency. The purpose of this study was to examine and track the frequency of dust storms and analyze the effect of climatic changes on them through the investigation of drought trend as well as the trend of changes in the land surface coverage percentage during the statistical analysis period. The results of counting the dust codes showed that dust storms with local origin had the highest frequency. According to the monthly analysis, Sarakhs and Mashhad stations had the most dust phenomena, with the most dusty days in the study area during summer and spring seasons, especially June and July months. The results of regression analysis of drought index and the monthly local dusty days indicated the existence of a significant, positive relationship between dust increase and drought intensity in Mashhad and Sarakhs stations during the statistical period of 27 years at 99 percent confidence interval. Finally, in the light of the results obtained from the examination of the land surface changes, it is recommended that land use plans be used along with short-term methods of soil stabilization in order to reduce the economic damages and preserve people's health against dust during busy months and seasons so as to achieve the goals of long-term methods.

Keywords

dust, drought, roughness of land surface, linear regression, Khorasan Razavi province.

* Corresponding Author, Email: naeimi@rifr-ac.ir

تحلیل آثار تغییرات اقلیم و شرایط خاک سطحی بر فراوانی رخدادهای گرد و غبار (مطالعه موردی: استان خراسان رضوی)

مریم نعیمی^{*}، محمد خسروشاهی^۱، مریم میراکبری^۲، آزاده گوهر دوست^۱، سمیرا زندی فر^۱، طاهره
انصافی مقدم^۱

۱. بخش تحقیقات بیابان، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج
کشاورزی، تهران، ایران

۲. پژوهشگر پسادکتری، گروه علوم جغرافیا و برنامه ریزی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۰۶ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۲۷)

چکیده

در دهه‌های اخیر به دلیل تغییرات اقلیمی، از جمله خشک‌سالی و مداخلات انسانی، طوفان‌های گرد و غبار شدت یافته است. گرد و غبار، علاوه بر جابه‌جایی و از دست رفتن ذرات خاک، باعث آسیب‌های شدید اقتصادی و اجتماعی و سلامت می‌شود. استان خراسان رضوی به سبب موقعیت استراتژیک، از جمله قطب صنعتی و کشاورزی و پذیرایی سالیانه بیش از ۳۹ میلیون زائر از داخل و خارج از کشور، به‌خصوص در فصول و ماه‌های همراه با مناسبت‌ها، دارای اولویت بررسی از نظر فراوانی گرد و غبار است. هدف پژوهش حاضر بررسی و روندیابی فراوانی رخدادهای گرد و غبار و تحلیل تأثیرپذیری آن از تغییرات اقلیمی با در نظر گرفتن روند خشک‌سالی و تغییرات سطحی زمین با مطالعه روند تغییرات درصد تراکم پوشش در طول دوره آماری بود. نتایج شمارش کدهای گرد و غبار نشان داد رخدادهای گرد و غبار با منشأ محلی از فراوانی بیشتری برخوردار است. بر اساس تحلیل ماهیانه پدیده گرد و غبار، ایستگاه‌های سرخس و مشهد مناطق با بالاترین تعداد روزهای غبار آلود در محدوده مطالعاتی، در تابستان و بهار و ماه‌های ژوئن و ژوئیه هستند. نتایج رگرسیون خطی شاخص خشک‌سالی و روزهای دارای گرد و غبار محلی ماهیانه حاکی از ارتباط معنادار در جهت افزایش گرد و غبار همراه افزایش شدت خشک‌سالی در ایستگاه‌های مشهد و سرخس، طی دوره آماری ۲۷ ساله، در سطح ۹۹ درصد اطمینان است. در نهایت، با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از بررسی تغییرات سطحی زمین، لزوم پیگیری برنامه‌های آمایش سرزمین همراه استفاده از روش‌های کوتاه‌مدت تثبیت خاک، به منظور کاهش خسارات اقتصادی و حفظ سلامت ناشی از گرد و غبار در ماه‌ها و فصول پرتردد، تا دستیابی به نتایج روش‌های بلندمدت توصیه می‌شود.

کلیدواژگان

خراسان رضوی، خشک‌سالی، رگرسیون خطی، زبری سطح زمین، گرد و غبار.

* رایانامه نویسنده مسئول: naeimi@rifr-ac.ir

بیان مسئله

گرد و غبار یکی از پدیده‌های هواشناسی است که معمولاً در مناطق خشک و نیمه‌خشک با بارش سالیانه کمتر از ۲۰۰ تا ۲۵۰ میلی‌متر، هنگام وزش بادهایی با سرعت بیش از سرعت آستانه، رخ می‌دهد. روند صعودی پدیده گرد و غبار (Rajaie et al. 2020: 18) موجب شده پیامدهای آن بر محیط زیست (Broomandi et al. 2017: 21) و سلامت (Yu et al. 2020: 8) و تأسیسات زیربنایی (Achakulwisut et al. 2019: 14; Wang et al. 2019: 79) داده‌های گرد و غبار در سطح جهان نشان می‌دهد تغییر در میزان و الگوی بارش و افزایش دما (میراکبری و همکاران ۱۳۹۷: ۶۰۵؛ رضایی و قاسمی ۱۳۹۸: ۹۴) می‌تواند آغازگر تغییراتی در جو (ولی و روستایی ۱۳۹۶: ۱۹۴) و در سطح زمین باشد (Lee & Sohn 2011: 1414) که سبب وقوع مخاطرات طبیعی، از جمله افزایش طوفان‌های گرد و غبار (بروغنی و همکاران ۱۳۹۴: ۴۷)، می‌شود. بر این اساس مداخلات اقلیمی و انسانی را می‌توان از علل اصلی پدیده گرد و غبار دانست. در این میان، بررسی روند تغییرات نزدیک به سه دهه شاخص‌های اقلیمی در شهرستان‌های غرب استان خراسان رضوی نشان می‌دهد با مساعد شدن شرایط اقلیمی برای افزایش گرد و غبار روند تغییرات روزهای با دید افقی کمتر از ۲۰۰m در طول دوره مطالعاتی افزایشی بوده است (نعیمی و همکاران ۱۳۹۸: ۴۲). بنابراین، بررسی و تحلیل عوامل مؤثر بر فراوانی گرد و غبار از اهمیت بسزایی برخوردار است. ضرورت بررسی آثار عوامل اقلیمی و سطحی زمین، با فراوانی رخداد‌های گرد و غبار در استان خراسان رضوی، به دلیل قرارگیری پرتددترین جاده دسترسی منتهی به قطب‌های صنعتی و توریسم و کشاورزی استان- همچون مشهد، سرخس، نیشابور، خواف، کاشمر- اهمیت سلامت افراد در افزایش کیفیت هواست.

بر این اساس، هدف از پژوهش حاضر تحلیل تأثیرپذیری فراوانی رخداد‌های گرد و غبار از تغییرات اقلیم و مداخلات انسانی با بررسی روند خشک‌سالی و تغییرات سطحی زمین در طول دوره آماری ۲۷ ساله در استان خراسان رضوی بود. تجزیه و تحلیل تأثیر تغییرات اقلیمی و انسانی بر روند تغییرات غبارآلودگی در این مناطق به صورت جداگانه و دقیق می‌تواند گامی مؤثر در

شناسایی مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر وقوع این پدیده و شناسایی نواحی مستعد فرسایش بادی و کنترل یا مهار این پدیده مخرب زیست‌محیطی باشد.

مبانی نظری و پیشینه تحقیق

خشک‌سالی یکی از پدیده‌های محیطی است که می‌توان آن را معلول یک دوره خشک غیرعادی دانست که به اندازه کافی تداوم داشته باشد تا عدم تعادل در وضعیت هیدرولوژیکی منطقه ایجاد شود. خشک‌سالی یک ویژگی اقلیمی است که در همه مناطق اقلیمی رخ می‌دهد؛ اگرچه ویژگی‌های آن از یک منطقه به منطقه دیگر متفاوت است (Rashki et al. 2021). وقوع خشک‌سالی‌های مداوم و کاهش بارندگی و رطوبت محیط سبب تخریب سطح خاک می‌شود که این عوامل همراه مداخلات انسانی و عدم مدیریت صحیح در استفاده از منابع طبیعی شرایط را برای پیدایش و گسترش عرصه‌های بیابانی و کانون‌های فرسایش بادی و در نهایت تولید گرد و غبار فراهم می‌آورد (Aili et al. 2016: 135).

خشک‌سالی به وسیله شاخص‌های آن بر مبنای یک یا چند متغیر اقلیمی به صورت عددی محاسبه می‌شود. از شاخص‌های اقلیم تک‌متغیره (بارش) درصد از نرمال^۱ (Willeke et al. 1994)، دهک‌ها^۲ (Bhalme & Molley 1980: 1199)، SPI^۳ (Gibbs & Maher 1967: 114)، و BMDI^۴ (McKee et al. 1995: 22) و از شاخص‌های دو متغیره (بارش و تبخیر و تعرق) شدت خشک‌سالی پالمر^۵ (Palmer 1965)، شاخص شناسایی خشک‌سالی^۶، و شاخص بارش-تبخیر و تعرق استاندارد شده^۷ (SPEI) را می‌توان برشمرد. این شاخص‌ها خصوصیات خشک‌سالی را به صورت مقدار، مدت، شدت، و الگوی مکانی شناسایی می‌کنند.

در زمینه خشک‌سالی و گرد و غبار مطالعات زیادی تا کنون صورت گرفته است (Rezazadeh et al. 2013: 104; O'Loingsigh et al. 2014: 30). بررسی ارتباط میان خشک‌سالی و فراوانی روزهای

1. PNPI: percent of normal precipitation index
2. DI: deciles index
3. SPI: standardized precipitation index
4. BMDI: bahlme and mooley drought index
5. PDSI: palmer drought severity index
6. RDI: reconnaissance drought index
7. SPEI: standardized precipitation evapotranspiration index

همراه با گرد و غبار در ایستگاه‌های کرج و قزوین نشان داد همبستگی معناداری میان این دو پدیده وجود ندارد (مصباح‌زاده و علی‌پور ۱۳۹۷: ۵۱۰). از دیگر پژوهش‌ها می‌توان به تحلیل تصاویر ماهواره‌ای گرد و غبار در ایران اشاره کرد که حاکی از آثار خشک‌سالی‌های اخیر، تغییرات اقلیمی، و پدیده گرمایش جهانی در منطقه به منزله مهم‌ترین عوامل طبیعی در بروز پدیده گرد و غبار است (کرمانی و همکاران ۱۳۹۵: ۴۲). در بررسی ارتباط خشک‌سالی با طوفان گرد و غبار با استفاده از شاخص SPI و تعداد روزهای دارای گرد و غبار در استان یزد مشخص شد همبستگی معناداری با میانگین‌گیری متحرک سه‌ساله برقرار است (خلیقی سیگارودی و شاه‌بندری قوچانی ۱۳۸۹: ۲۷).

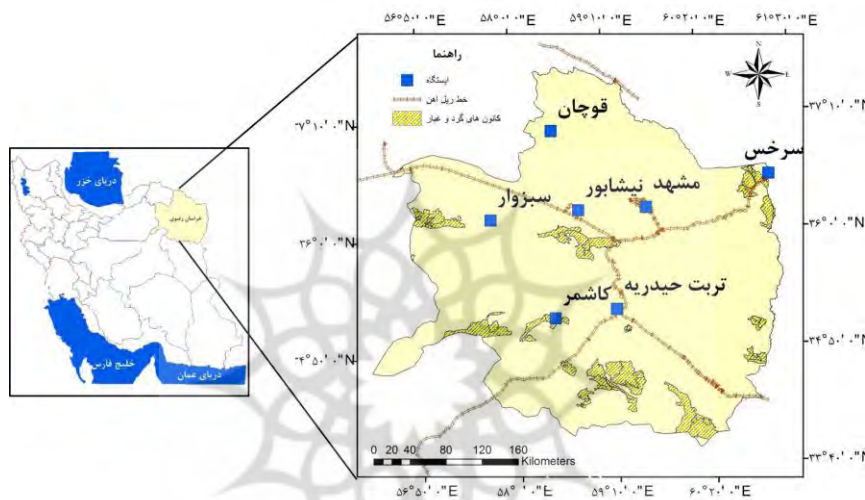
گرچه اقلیم عاملی اولیه در بروز خشک‌سالی هیدرولوژیکی و به تبع آن طوفان‌های گرد و غبار است، سایر عوامل انسانی، شامل مدیریت و برنامه‌ریزی جهت تغییرات زبری سطح زمین، نظیر تغییرات کاربری اراضی (مانند توسعه پوشش یا جنگل‌زدایی)، قرق، تخریب اراضی، ساخت سدها همگی بر شرایط محیط زیست حوزه اثرگذارند. مطالعات نشان داده سری زمانی داده‌های سنجنده‌های MODIS و LANDSAT 8 به طور موفقیت‌آمیزی برای اندازه‌گیری فعالیت‌های گیاهی و اندازه‌گیری پویایی پوشش گیاهی به کار گرفته شده است (فلاح‌کار و همکاران ۱۳۹۷: ۷۹، نیک‌پور و همکاران ۱۳۹۷: ۴۰). نتایج مطالعه‌ای تغییرات پوشش گیاهی فلات مغولستان در سالهای ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ مبتنی بر $NDVI^1$ بلندمدت تصاویر مودیس، حاکی از کاهش پوشش گیاهی در دهه گذشته است که عمدتاً به آب‌وهوای گرم‌تر و خشک‌تر و تنش خشکی سال‌های اخیر است (Bao et al. 2014: 8356). بیات و همکارانش (۱۳۹۵) نیز نشان دادند با افزایش طوفان‌های گرد و غبار، بعد از سال ۲۰۰۲، مجموع غلظت سالیانه گرد و غبار ضریب تبیین بالایی (۰/۸۵) با شاخص $NDVI$ یافته است.

محدوده و قلمرو مورد مطالعه

پژوهش حاضر در محدوده استان خراسان رضوی به مرکزیت مشهد انجام شد. مساحت این استان ۱۴۳۸۶۴/۱۱۸ کیلومتر مربع و از این نظر چهارمین استان بزرگ کشور است. منطقه مورد مطالعه دربرگیرنده شهرستان مشهد است که دومین شهر پهناور و پرجمعیت ایران پس از تهران، با ۳۵۱ کیلومتر مربع مساحت و قریب به ۴ میلیون نفر جمعیت، به شمار می‌رود. این استان دارای اقلیم

1. normalized difference vegetation index

خشک و نیمه‌خشک با وزش جریان‌های غالب چرخنده تابستانه و جریانات غربی زمستانه است که شرایط مطلوبی برای وقوع پدیده طوفان، با سرعت فراتر از آستانه فرسایش بادی، دارد. مرتفع‌ترین نقطه استان در ارتفاعات بینالود در شمال نیشابور با ارتفاع ۳۲۱۱ متر از سطح دریا و پست‌ترین نقطه استان در دشت سرخس با ارتفاع ۳۰۰ متر از سطح دریا و در حاشیه مرز ایران و ترکمنستان قرار دارد. میانگین بارش سالیانه مناطق مختلف استان خراسان رضوی بین ۷۵ تا ۳۹۰ میلی‌متر متغیر است.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی استان خراسان رضوی در کشور همراه راه‌های دسترسی، کانون‌های گرد و غبار و ایستگاه‌های مورد مطالعه در سطح استان خراسان رضوی

استان خراسان رضوی در مرز شمال شرق کشور واقع شده و جایگاه استراتژیک آن به واسطه وجود حرم هشتمین امام مذهب شیعه، که سبب حضور سالیانه بیش از ۲۹ میلیون زائر از داخل و خارج از کشور در فصول گرم و ماه‌های همراه با مناسبت‌ها می‌شود، موجب شده مهم‌ترین کانون جمعیتی و توریستی شرق کشور شناخته شود و پرتددترین خط آهن و شوسه کشور را داشته باشد. این استان ظرفیت‌های دیگری نیز دارد؛ ۳۰ درصد از گاز طبیعی کشور از منطقه خانگیران سرخس به دست می‌آید و قطب تولید سنگ آهن از خواف و فیروزه از نیشابور و قطب تولید محصولات کشاورزی زعفران و زرشک و زیره از کاشمر است.

روش و ابزار تحقیق

داده‌های مورد نیاز این مطالعه شامل داده‌های ساعتی مربوط به کد هوای حاضر ایستگاه‌های خراسان رضوی- شامل مشهد، سبزوار، نیشابور، تربت حیدریه، قوچان، کاشمر، سرخس- بود که از سازمان هواشناسی ایران اخذ شد (جدول ۱).

جدول ۱. کدهای تعریف شده توسط سازمان جهانی هواشناسی برای بیان پدیده گرد و غبار (۲۷)

کد هواشناسی	نام علمی	توضیحات
۰۷	گرد و خاک	گرد و غبار یا ماسه‌ای که در محل ایستگاه بلند شده است.
۰۸	گردباد	گردبادهای تکامل یافته در خود ایستگاه یا اطراف آن
۰۹	طوفان	گرد و خاک در ساعت دیده‌بانی در اطراف ایستگاه وجود دارد یا طی ساعت گذشته در خود ایستگاه وجود داشته است.
۳۰	طوفان گرد و غبار یا ماسه ملایم	طی ساعت گذشته از شدت طوفان کاسته شده است با دید افقی ۲۰۰ - ۱۰۰۰ متر
۳۱	طوفان گرد و غبار یا ماسه ملایم	طی ساعت گذشته شدت طوفان تغییر نکرده است با دید افقی ۲۰۰ - ۱۰۰۰ متر
۳۲	طوفان گرد و غبار یا ماسه ملایم	طی ساعت گذشته بر شدت طوفان افزوده شده است با دید افقی ۲۰۰ - ۱۰۰۰ متر
۳۳	طوفان گرد و غبار یا ماسه شدید	طی ساعت گذشته از شدت طوفان کاسته شده است با دید افقی کمتر از ۲۰۰ متر
۳۴	طوفان گرد و غبار یا ماسه شدید	طی ساعت گذشته شدت طوفان تغییری نکرده است با دید افقی کمتر از ۲۰۰ متر
۳۵	طوفان گرد و غبار یا ماسه شدید	طی ساعت گذشته بر شدت طوفان افزوده شده است با دید افقی کمتر از ۲۰۰ متر
۹۸	طوفان گرد و غبار یا ماسه خیلی شدید یا تندر	طوفان‌هایی که در محل ایستگاه یا اطراف آن بلند شده‌اند با دید افقی کمتر از ۲۰۰ متر

۱۰۰ کد هواشناسی (۰ تا ۹۹) توسط سازمان جهانی هواشناسی^۱ (WMO) تعریف شده که ۱۱ مورد آن در ارتباط با رخدادهای فرسایش بادی یا گرد و غبار است (جدول ۱). این داده‌ها از ابتدای تأسیس ایستگاه‌های هواشناسی در ایران موجودند. کد ۰۰ به کم‌اهمیت‌ترین رخداد و کد ۹۹ به پراهمیت‌ترین رخداد هواشناسی از لحاظ بحران آب‌وهوایی اختصاص داده می‌شود. گاهی در طول یک دوره گزارش بیش از یک رخداد هواشناسی اتفاق می‌افتد که در این شرایط کارشناسان رخداد مهم‌تر را، که در رتبه‌بندی صورت گرفته توسط WMO بیشترین کد را به خود اختصاص داده است، گزارش می‌کنند.

1. WMO: world metrological organization

تجزیه و تحلیل داده‌ها

محاسبه فراوانی گرد و غبار

در این مطالعه فراوانی گرد و غبار بر اساس منشأ پدیده، که به دو صورت محلی و فرامحلی است، بررسی شد؛ بدین صورت که رخدادهای با کدهای ۰۷، ۰۸، ۰۹، ۳۰ تا ۳۵، ۹۸ به عنوان گرد و غبار با منشأ محلی^۱ (INDD) و رخدادهای با کد ۰۶ به عنوان گرد و غبار با منشأ فرامحلی^۲ (ENDD) در نظر گرفته می‌شود. نتایج حاصل از شمارش کدهای گرد و غبار نشان داد رخدادهای با کد ۰۷ دارای بالاترین فراوانی در همه ایستگاه‌هاست؛ درحالی‌که رخدادهای طوفان گرد و غبار ملایم تا شدید (کدهای ۳۰ تا ۳۵) کمترین فراوانی را در سطح منطقه مطالعاتی دارند.

محاسبه شاخص خشک‌سالی هواشناسی

به منظور بررسی تغییر اقلیم در مطالعه حاضر به محاسبه شاخص بارش-تبخیر و تعرق پتانسیل استاندارد^۳ (SPEI) پرداخته شد. بدین منظور داده‌های ماهیانه مربوط به پارامترهای اقلیمی بارندگی و تبخیر و تعرق پتانسیل مربوط به ۷ ایستگاه هواشناسی استان از سازمان هواشناسی اخذ شد. شاخص بارش-تبخیر و تعرق پتانسیل استاندارد (Vicente-Serrano et al. 2010: 1699) یک شاخص اقلیمی معرفی شده است. این شاخص مبتنی بر محاسبه ترازمندی آب اقلیمی است و برای محاسبه به داده‌های ماهیانه بارندگی و دمای هوا نیاز دارد. معادله ترازمندی آب اقلیمی به صورت رابطه ۱ تعریف شده است.

$$D_i = P_i - PET_i \quad (1)$$

که در آن P ، PET ، D_i به ترتیب مقادیر بارندگی، تبخیر و تعرق پتانسیل، و اختلاف آن‌ها در ماه مورد نظر است. معادلات مختلفی برای محاسبه PET وجود دارد. در تحقیق حاضر از روش تورنت وایت جهت محاسبه PET استفاده شد. دوره خشک‌سالی هنگامی اتفاق می‌افتد که مقادیر حاصل از این شاخص‌ها به طور مستمر منفی و به مقدار ۱- یا کمتر برسد و هنگامی پایان می‌یابد که مثبت شود.

1. INDD: internal number of dusty days
2. ENDD: external number of dusty days
3. Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index

بررسی روند تغییرات شاخص خشک‌سالی هواشناسی و رخداد‌های گرد و غبار

روند تغییرات ماهیانه و فصلی شاخص‌های خشک‌سالی هواشناسی و فراوانی رخداد‌های گرد و غبار با استفاده از آزمون روند من-کندال^۱ (Mann 1945) بررسی شد. در تحقیق حاضر، ابتدا خودهمبستگی بین پارامترهای مورد بررسی با استفاده از روش پیش‌سفید کردن^۲ حذف شد. پس از حصول اطمینان از وجود نداشتن خودهمبستگی بین داده‌ها، با استفاده از آزمون فیلیپس پرون ($pvalue < 0.05$)، آزمون من-کندال که یک روش ناپارامتری و مناسب برای داده‌های حاصل از طبیعت به دلیل عدم تبعیت از توزیع نرمال است استفاده شد (Hirsch & Slack 1984: 729). در روش من-کندال یک سری زمانی به صورت x_1, x_2, \dots, x_n فرض می‌شود. برای تعیین روند از آماره آزمون من-کندال (رابطه ۲) استفاده می‌شود که در آن z و k شماره مشاهدات اند و تابع علامت $sgn(x)$ به صورت رابطه ۳ تعریف می‌شود.

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j + x_k) \quad (2)$$

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} +1 & x > 0 \\ 0 & x = 0 \\ -1 & x < 0 \end{cases} \quad (3)$$

بر اساس این آزمون در صورتی که مقدار S اختلاف معناداری با ۰ نداشته باشد، روند وجود ندارد و در غیر این صورت روند صعودی یا نزولی خواهد بود. برای آزمون معنادار بودن روند، از متغیر Z نرمال استاندارد، طبق رابطه ۴، استفاده می‌شود (Mann 1945; Kendall 1975). فرض ۰ (H_0) در آزمون من-کندال به معنی فقدان روند و فرض H_1 به معنی وجود روند است.

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{(\text{var}(S))^{\frac{1}{2}}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{(\text{var}(S))^{\frac{1}{2}}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (4)$$

1. Mann-Kendall
2. Whitening-Pre

بررسی ارتباط رخدادهای خشک‌سالی و فراوانی رخدادهای گرد و غبار

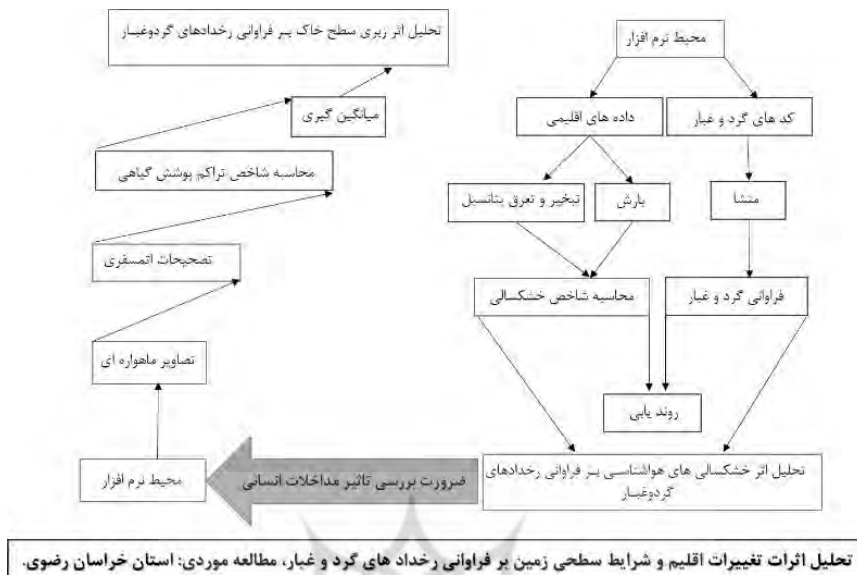
در ادامه، به منظور تحلیل اثر خشک‌سالی‌های هواشناسی بر تغییر رخدادهای گرد و غبار، از روش رگرسیون دومتغیره و به منظور تحلیل نتایج از ضریب تعیین (R^2) حاصل از برآزش متغیرهای وابسته و مستقل استفاده شد. گفتنی است ضریب تعیین نشان‌دهنده میزان درصد تغییرات متغیر وابسته به تبع از تغییرات متغیر یا متغیرهای مستقل است. در نهایت با استفاده از روش کریجینگ معمولی در سیستم اطلاعات جغرافیایی روزهای گرد و غبار و خشک‌سالی در سطح استان پهنه‌بندی شد.

بررسی تغییرات سطح زمین با استفاده از شاخص نرمال‌شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI)

مداخلات انسانی شامل تغییرات سطح خاک است که آن را می‌توان با استفاده از تغییرات پوشش گیاهی و با کمک علم سنجش از دور به وسیله شاخص تفاضل پوشش گیاهی نرمال‌شده (NDVI) اندازه گرفت. زیرا یک همبستگی قوی بین NDVI و پوشش گیاهی برقرار شده است. این شاخص با استفاده از رابطه ۵ محاسبه می‌شود و مقدار آن بین اعداد +۱ تا -۱ تغییر می‌کند. مقادیر منفی در این شاخص حاکی از عدم حضور پوشش گیاهی است. رابطه بین NDVI و پوشش گیاهی می‌تواند بر اساس پراکنش پوشش گیاهی، که ممکن است به صورت ضعیف و پراکنده یا به صورت متراکم باشد، بنا شود.

$$NDVI = \frac{\rho NIR - pred}{\rho NIR + pred} \quad (5)$$

در مطالعه حاضر، به منظور بررسی درصد تراکم تاج پوشش، تصاویر سری زمانی داده‌های سنجنده 8 LANDSAT در سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۰۰ و ۲۰۱۳ و ۲۰۱۶ با توجه به بازه زمانی مورد مطالعه برای گرد و غبار در محیط ENVI 5.3 بررسی شد. تصاویر انتخاب‌شده در مطالعه حاضر میانگین ماه‌های مه و ژوئن و ژوئیه هر سال است. علت این امر فصل رویشی (مه و ژوئن) و حداکثر گرد و غبار (ژوئن و ژوئیه) است. گفتنی است پس از تهیه تصاویر برای تهیه شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال‌شده این تصاویر ژئورفرنس شد و تصحیحات اولیه روی آن‌ها انجام گرفت. مدل مفهومی پژوهش به صورت شماتیک در شکل ۲ آمده است.



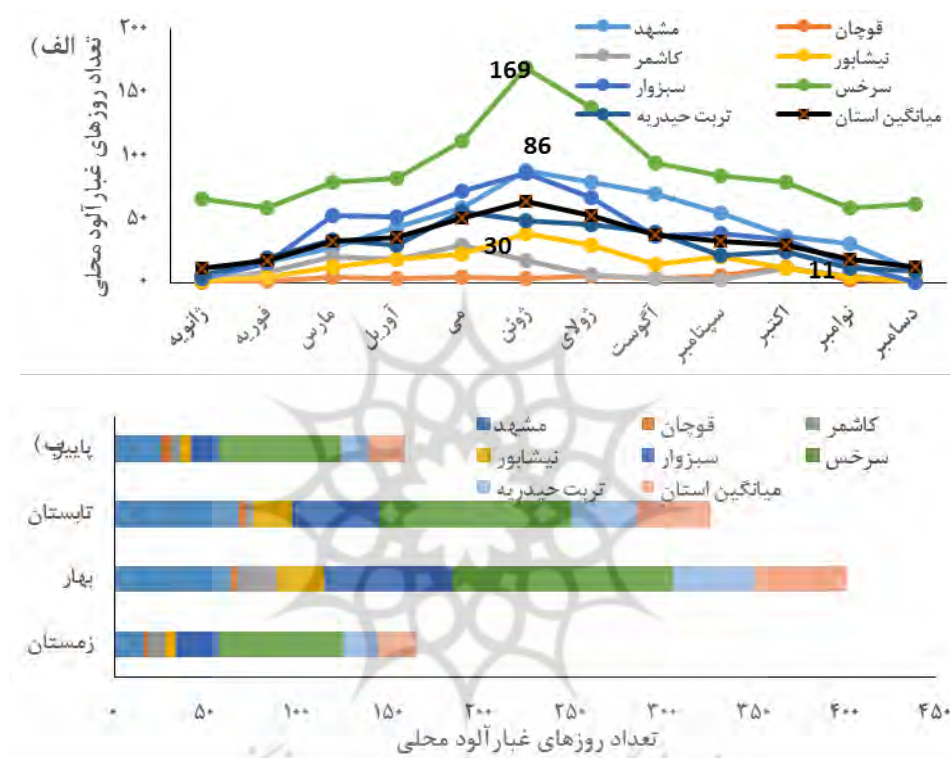
شکل ۲. نمودار فرایند انجام پژوهش

یافته‌های پژوهش

بررسی رخدادهای گرد و غبار

نتایج روند تغییرات ماهیانه رخدادهای گرد و غبار در طول ۲۷ سال دوره آماری در شکل ۳ دیده می‌شود. با توجه به شکل ۳ الف، روند تغییرات ماهیانه در اکثر ایستگاه‌های مطالعاتی تقریباً یکسان است؛ بدین صورت که روند افزایشی تعداد روزهای غبارآلود با منشأ محلی از مارس و آوریل شروع می‌شود در مه و ژوئن به حداکثر مقدار می‌رسد و سپس روند کاهشی می‌یابد، طوری که در ماه‌های نوامبر و دسامبر و ژانویه محدوده مطالعاتی با حداقل تعداد روزهای غبارآلود مواجه می‌شود. این در حالی است که در ایستگاه قوچان روند تغییرات ماهیانه تعداد روزهای غبارآلود در طول سال از الگوی خاصی پیروی نمی‌کند و تغییرات یکسانی در طول سال دارد. بر اساس تحلیل ماهیانه پدیده گرد و غبار در ایستگاه‌های سرخس و مشهد، به عنوان مناطق با بالاترین تعداد روزهای غبارآلود در محدوده مطالعاتی، در آوریل به ترتیب با ۸۸ و ۴۴ روز غبارآلود روند افزایشی شروع می‌شود و در ژوئن به ترتیب با ۱۶۹ و ۸۸ روز بیشترین فراوانی را در این ایستگاه‌ها طی دوره آماری پیدا می‌کند. از این زمان به بعد وقوع گرد و غبار روند کاهشی دارد؛

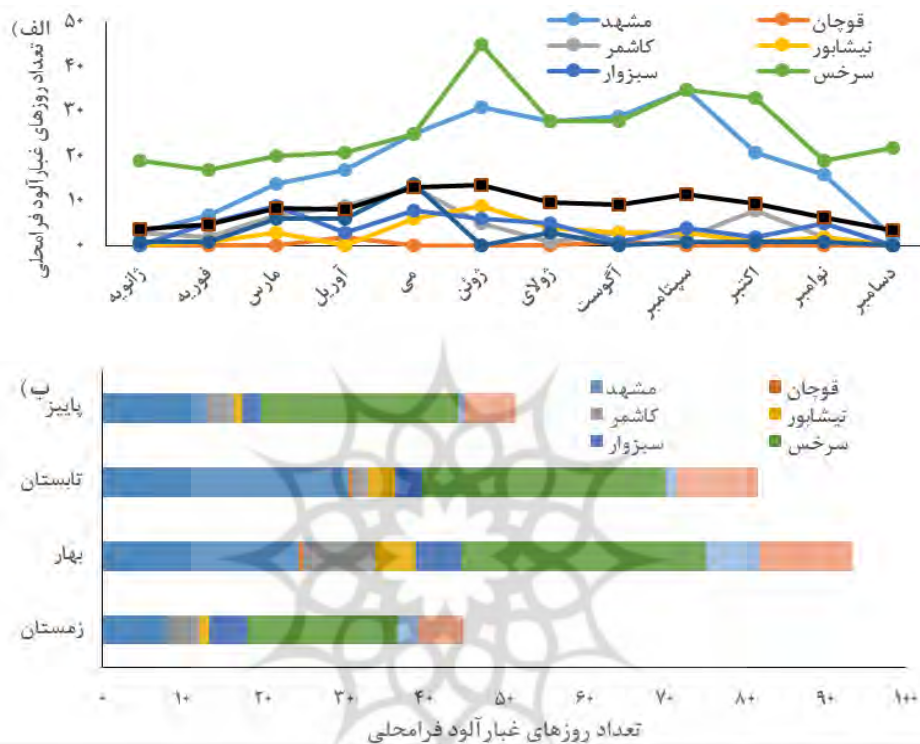
طوری که به ترتیب در ماه‌های فوریه و ژانویه به حداقل مقدار (۵۹ روز و ۵ روز) می‌رسد. بنابراین، بر اساس نتایج حاصل از تحلیل ماهیانه رخدادهای گرد و غبار منطقه مطالعاتی در ماه‌های گرم سال در فصل بهار و تابستان با روزهای غبارآلود بیشتری مواجه می‌شود (شکل ۳ ب).



شکل ۳. میانگین ماهیانه و فصلی روزهای غبارآلود محلی در ایستگاه‌های استان طی دوره آماری ۱۹۹۰ - ۲۰۱۶

در ادامه، به منظور مشخص شدن منشأ گرد و غبار در محدوده مطالعاتی، رخدادهای با کد ۰۶ به عنوان گرد و غبار با منشأ فرامحلی به صورت ماهیانه و فصلی در هر یک از ایستگاه‌ها طی دوره آماری ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۶ تعیین شدند که نتایج حاصل در شکل ۴ آمده است. بر اساس مقادیر به‌دست‌آمده در همه ایستگاه‌های مطالعاتی، رخدادهای گرد و غبار با منشأ فرامحلی نسبت به رخدادهای با منشأ محلی یا داخلی فراوانی کمتری دارند. نتایج تحلیل ماهیانه روزهای غبارآلود فرامحلی نشان داد الگوی تغییرات ماهیانه پدیده گرد و غبار فرامحلی و محلی یکسان است؛

طوری که در ماه‌های ژوئن و مه حداکثر رخدادها و در ماه‌های دسامبر و ژانویه حداقل رخدادها طی دوره مطالعاتی وقوع یافته است.



شکل ۴. میانگین ماهیانه و فصلی روزهای غبارآلود فرامحلی در ایستگاه‌های استان طی دوره آماری ۱۹۹۰-۲۰۱۶

در ادامه مقادیر آماره آزمون من-کندال نشان داد روزهای غبارآلود محلی در ایستگاه‌های قوچان و سبزوار و سرخس روند افزایشی معنادار طی دوره آماری ۲۷ ساله داشته‌اند و در ایستگاه تربت حیدریه و کاشمر نیز تعداد روزهای غبارآلود با منشأ محلی روند افزایشی داشته که از لحاظ آماری معنادار نیست (جدول ۲)؛ درحالی که تعداد روزهای غبارآلود محلی در ایستگاه‌های مشهد و نیشابور طی دوره آماری روند نزولی داشته که در سطح ۱ درصد معنادار است. در رابطه با روند تغییرات روزهای غبارآلود فرامحلی در برخی ایستگاه‌ها به دلیل محدود بودن تعداد رویدادها آزمون روند انجام نشد.

جدول ۲. مقادیر آماره آزمون روند من- کندال روزهای غبارآلود محلی در ایستگاه‌های استان خراسان رضوی طی دوره آماری ۱۹۹۰-۲۰۱۶

مشهد	کاشمر	سبزوار	سرخس	ترت حیدریه	نیشابور	قوچان	
-۱/۵۳	-	-	۲/۹۶**	۲/۹۲**	-	-	ژانویه
۰/۶	-۰/۵۲	۰/۸۵	۳/۳۳**	-۰/۳۳	-	-	فوریه
-۰/۶۵	۰/۵	۱/۹۸*	۲/۹۵**	۲/۱۷	-۱/۱۹	۱/۳۳	مارس
-۲/۰۶	۱/۵	۲/۹۱**	۲/۶۸**	۱/۵۵	-۲/۱۹*	-	آوریل
-۲/۹۸**	۰/۶۶	۰/۷۳	۲/۶۱**	۱/۲۹	-۲/۹۱**	۰/۵	مه
-۳/۱۱**	-۰/۳۸	۱/۱۷۱	۰/۷۸	۰/۷۹	-۲/۲۵*	-	ژوئن
-۳/۱۵**	۰/۶۵	۰/۲۳	-۰/۰۴	۰/۴۸	-۳/۷۶**	۰/۸	ژوئیه
-۳/۸۳**	-	۰/۸۹	-۰/۰۸	-۰/۲۲	-۲/۰۷*	-	اوت
-۳/۱۲**	-	-۰/۲	۲/۱۱*	-۰/۳۳	-۱/۸۳	۰/۵۴	سپتامبر
-۱/۴۶	۰	۲/۸۹	۱/۰۶	۱/۴۶	-۱/۵۶	۰/۷۱	اکتبر
-۰/۵۵	-۱/۹	۲/۲۱*	۱/۳۸	-۰/۵۲	-	-	نوامبر
-۱/۲۴	-	-	۱/۴۳	۱/۸۳	-	-	دسامبر
-۰/۵۸	۰/۸۸	۲/۱*	۴/۲۶**	۲/۱۴	-۱/۶	۱/۳۶	زمستان
-۳/۲**	۰/۴۳	۱/۸۹	۲/۳*	۱/۶۸	-۳/۵**	۱/۷	بهار
-۴/۱۹**	۳/۲۳**	۰/۲۳	۰/۶۵	۰/۰۶	-۴/۰۲**	۱/۱۳	تابستان
-۱/۷۳	-۱/۰۷	۳/۳۲**	۱/۶۸	۱/۶۲	-۰/۵۷	۰/۵۷	پاییز

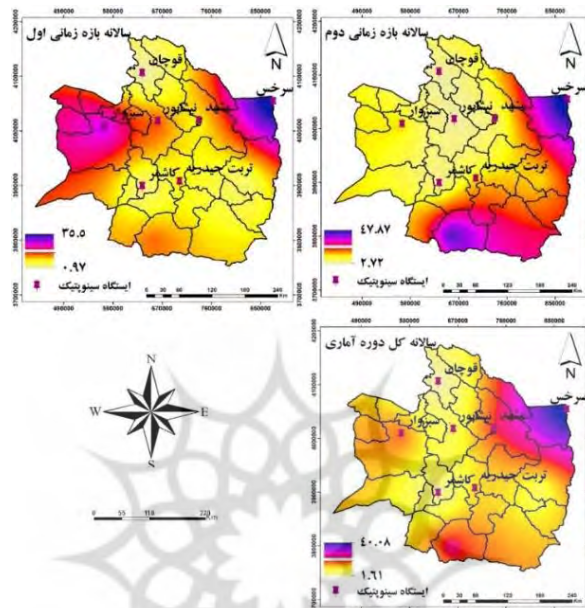
* معناداری در سطح ۵ درصد

** معناداری در سطح ۱ درصد

- فاقد داده کافی جهت آزمون روند

در ادامه نقشه‌های توزیع مکانی تعداد روزهای دارای گرد و غبار با منشأ محلی در سطح استان خراسان رضوی در دو بازه زمانی ۱۹۹۰-۲۰۰۶ و ۲۰۰۷-۲۰۱۶ و همچنین کل دوره آماری ۱۹۹۰-۲۰۱۶ ارائه شده است (شکل ۵). به دلیل محدود بودن تعداد ایستگاه‌های مطالعاتی، از داده‌های گرد و غبار سه ایستگاه گناباد و گل‌مکان و تربت‌جام به دلیل داشتن دوره آماری مشترک با ایستگاه‌های مورد بررسی استفاده شد. در بازه زمانی اول (۱۹۹۰-۲۰۰۶) بخش شمالی و شمال شرق محدود مطالعاتی بیشتر تحت تأثیر وقایع گرد و غبار بوده است. این در حالی است که در

بازه زمانی دوم (۲۰۰۷ - ۲۰۱۶) نواحی شمال شرق و جنوب استان تحت تأثیر رویدادهای گرد و غبار در طول سال بوده است.



شکل ۵. توزیع مکانی روزهای غبارآلود محلی سالیانه در دو بازه زمانی اول (۱۹۹۰ - ۲۰۰۶) و دوم (۲۰۰۷ - ۲۰۱۶) و کل دوره آماری (۱۹۹۰ - ۲۰۱۶)

تحلیل دوره‌های خشک‌سالی

محاسبه و بررسی SPEI در مقیاس ماهیانه با محاسبه تبخیر-تعرق به روش تورنت وایت و بر اساس مقادیر بازندگی ماهیانه در دوره آماری مشترک برای همه ایستگاه‌های منطقه مطالعاتی صورت گرفت. مقادیر منفی SPEI بیانگر دوره خشک‌سالی و SPEI مثبت دوره ترسالی است. بر اساس نتایج حاصل از محاسبه SPEI (جدول ۳) ماه ژوئن و ژوئیه و اوت خشک‌ترین ماه‌ها در دوره آماری ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۶ هستند. بر اساس مقادیر SPEI سالیانه ایستگاه‌های کاشمر و سرخس دارای بیشترین فراوانی رخداد‌های خشک‌سالی در دوره آماری مشترک‌اند که ۱۷ سال خشک بر اساس طبقه‌بندی شاخص SPEI در این دو ایستگاه وقوع یافته است؛ درحالی‌که در ایستگاه‌های سبزوار و نیشابور با ۱۱ و ۱۰ سال خشک کمترین فراوانی خشک‌سالی در منطقه مطالعاتی روی

داده است. همچنین مقادیر SPEI سالیانه نشان داد ایستگاه‌های تربت‌حیدریه و سپس کاشمر و سرخس در سطح استان خراسان رضوی شدیدترین خشک‌سالی را در سال ۲۰۰۸ طی دوره آماری ۱۹۹۰ - ۲۰۱۶ داشته‌اند که به ترتیب حداکثر مقدار SPEI سالیانه در این ایستگاه‌ها برابر با $-1/2$ و $-0/96$ و $-0/92$ بوده است. علاوه بر شدت خشک‌سالی (مقادیر SPEI) تداوم دوره‌های خشک نیز از مشخصه‌های مهم خشک‌سالی است که در تحلیل خشک‌سالی لازم است بررسی شود. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از تداوم خشک‌سالی، دو ایستگاه کاشمر و سرخس دارای بالاترین تداوم‌اند (۱۷ سال) که این دوره طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۶ وقوع یافته است.

بررسی سری‌های زمانی SPEI طی دوره آماری ۱۹۹۰ - ۲۰۱۶ حاکی از آن است که تعداد فراوانی دوره‌های خشک‌سالی و در برخی موارد شدت خشک‌سالی از سال ۲۰۰۰ افزایش یافته است (جدول ۳). مقادیر میانگین سالیانه SPEI نشان داد SPEI در ایستگاه مشهد بالاترین (منفی‌ترین) مقدار و در ایستگاه سبزوار کمترین مقدار (مثبت‌ترین) را دارد. در واقع منفی‌تر بودن SPEI بیانگر شدت بیشتر خشک‌سالی در ایستگاه مشهد طی دوره آماری ۱۹۹۰ - ۲۰۱۶ است. بر اساس تداوم دوره‌های خشک‌سالی، تعداد سال‌های خشک در سرخس و کاشمر نسبت به دیگر ایستگاه‌های مطالعاتی بیشتر است. در واقع در این مناطق بیش از ۵۰ درصد از دوره آماری مورد مطالعه (۱۹۹۰ - ۲۰۱۶) با خشک‌سالی مواجه بوده است.

جدول ۳. مشخصه خشک‌سالی‌ها بر اساس SPEI در ایستگاه‌های مطالعاتی (۱۹۹۰ - ۲۰۱۶)

میانگین	حداکثر	حداقل	میانگین بازه اول	میانگین بازه دوم	فراوانی سال خشک	بالاترین تداوم (سال)	
-۰/۰۷۱	-۰/۸۸	۱/۲	۰/۰۹	-۰/۳۵	۱۵	۷	مشهد
-۰/۰۳۲	-۰/۹۱	۰/۶۸	۰/۰۱۵	-۰/۱۱	۱۴	۵	قوچان
-۰/۰۲۴	-۰/۹۶	۱/۱۳	۰/۲۹	-۰/۵۶	۱۷	۱۷	کاشمر
۰/۱۰	-۰/۷۹	۱/۰۱	۰/۱۸	-۰/۰۲۳	۱۱	۴	سبزوار
-۰/۰۲۴	-۰/۹۲	۱/۱۲	۰/۲۷	-۰/۵۳	۱۷	۱۷	سرخس
-۰/۰۲۸	-۱/۲	۰/۹۳	۰/۱۵	-۰/۳۴	۱۳	۴	تربت‌حیدریه
-۰/۰۰۳	-۰/۷۳	۰/۶۱	-۰/۰۷	۰/۰۶۱	۱۰	۲	نیشابور

در ادامه، با استفاده از آزمون روند من- کندال تغییرات SPEI در مقیاس‌های سالیانه و ماهیانه و فصلی طی دوره آماری ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۶ در ایستگاه‌های مطالعاتی انجام شد که نتایج در جدول ۴ ارائه شده است. این در حالی است که روند SPEI در سطح سالیانه و فصل تابستان در ایستگاه‌های مشهد و کاشمر و سرخس کاهشی معنادار طی دوره آماری ۲۷ ساله در سطح ۹۹ درصد اطمینان داشته است. ایستگاه کاشمر بیشترین تأثیر روند کاهشی SPEI به سمت شدت خشک‌سالی را در مقیاس‌های مورد بررسی داشته که از لحاظ آماری نیز معنادار است. گفتنی است روند افزایشی SPEI و افزایش ترسالی در ایستگاه نیشابور در مقیاس سالیانه و همه فصول، با توجه به جدول ۴، قابل تفسیر است که البته معنادار نیست.

جدول ۴. مقادیر آماره آزمون روند من- کندال شاخص خشک‌سالی در ایستگاه‌های استان خراسان رضوی طی دوره آماری ۱۹۹۰-۲۰۱۶

مشهد	کاشمر	سبزوار	سرخس	ترت حیدریه	نیشابور	قوچان	
*۲/۲۵	-۱/۱۳	-۱/۳۳	-۱/۵۰	-۱/۵۸	-۱/۳۳	-۱/۵۸	ژانویه
-۱/۰۰	-۰/۷۱	-۰/۷۵	-۰/۵۰	-۰/۵۸	۰/۴۹	-۰/۷۱	فوریه
-۰/۸۸	*۲/۵۴	*۲/۰۰	-۱/۹۲	*۲/۰۰	۰/۷۰	-۰/۵۴	مارس
-۱/۲۱	*۲/۴۶	-۱/۲۹	*۲/۱۳	-۱/۰۸	۱/۱۹	-۰/۹۲	آوریل
-۱/۱۷	**۲/۸	-۱/۶۷	**۴/۰۴	-۰/۸۸	-۰/۰۷	-۰/۶۳	مه
*۲/۲۵	*۳/۷	-۱/۱۳	**۵/۲۱	*۲/۲۵	-۰/۶۳	-۱/۶۷	ژوئن
*۲/۷۱	*۴/۲۹	-۱/۶۳	*۵/۰۴	*۲/۸۸	-۰/۱۴	*۳/۱۳	ژوئیه
-۱/۲۱	*۳/۲۵	-۰/۳۳	*۴/۲۱	-۰/۰۴	۰/۲۸	۰/۴۲	اوت
-۱/۴۲	*۳/۲۹	-۰/۱۷	*۴/۰۰	-۱/۱۳	۱/۸۹	-۱/۱۷	سپتامبر
-۰/۵۰	*۳/۲۵	-۱/۳۸	*۲/۵۹	-۱/۱۷	۰/۲۵	-۱/۰۰	اکتبر
۰/۸۳	۰/۲۹	۱/۶۳	۱/۳۸	۱/۵۸	۰/۲۸	۱/۰۴	نوامبر
-۱/۰۴	-۱/۶۷	-۱/۱۳	-۱/۲۵	-۱/۵۰	۰/۲۱	۰/۰۰	دسامبر
*۲/۸۸	*۳/۸۸	-۱/۷۵	*۴/۰۰	*۳/۰۰	۰/۹۸	*۲/۱۷	سالیانه
*۲/۵۹	*۲/۸۴	*۲/۲۹	*۲/۴۲	-۱/۹۲	۰/۰۰	-۱/۰۴	زمستان
*۲/۱۷	*۳/۳۴	-۱/۷۱	*۳/۸۸	*۲/۰۰	۰/۰۷	-۱/۴۲	بهار
*۳/۳۸	*۴/۳۴	-۰/۷۵	*۴/۸۸	*۲/۶۷	۱/۴۰	-۱/۶۳	تابستان
-۰/۰۴	-۳/۰۰	-۰/۰۴	-۰/۷۱	-۰/۷۱	۰/۶۳	۰/۳۳	پاییز

* معناداری در سطح ۵ درصد

** معناداری در سطح ۱ درصد

خشک‌سالی به منزله یک پدیده اقلیمی می‌تواند بر فراوانی وقوع رخداد‌های گرد و غبار در یک منطقه تأثیرگذار باشد. به همین منظور بعد از محاسبه شاخص خشک‌سالی اقدام به بررسی ارتباط رخداد‌های گرد و غبار و خشک‌سالی در منطقه مطالعاتی شد. نتایج تحلیل همبستگی داده‌های ماهیانه طی بازه زمانی مورد بررسی نشان داد در ایستگاه سرخس در ماه‌های ژانویه، مارس، آوریل، مه ارتباط معناداری بین گرد و غبار و خشک‌سالی وجود دارد. به عبارت دیگر خشک‌سالی در این ماه‌ها تأثیر مستقیم بر ایجاد گرد و غبار در ایستگاه سرخس گذاشته است. در ایستگاه‌های سبزوار و مشهد و تربت‌حیدریه نیز به ترتیب در سه ماه و دو ماه و یک ماه از سال همبستگی معناداری بین گرد و غبار و خشک‌سالی وجود دارد. نتایج به‌دست‌آمده از داده‌های ماهیانه حاکی از آن است که در ماه‌های گرم سال ارتباط ضعیفی بین گرد و غبار و خشک‌سالی وجود دارد. در سطح استان نیز طی بازه زمانی ۱۹۹۰ - ۲۰۱۶ در ماه‌های ژانویه و مارس و خشک‌سالی و تعداد روزهای دارای گرد و غبار همبستگی قابل قبولی دارند.

جدول ۵. مقادیر ضریب همبستگی روزهای غبار‌آلود محلی و SPEI ماهیانه و فصلی و سالیانه در کل دوره آماری ۱۹۹۰ - ۲۰۱۶

بازه زمانی	مشهد	توجان	کاشمر	نیشابور	سبزوار	سرخس	تربت‌حیدریه	استان
ژانویه	-۰/۰۵۹	-	-	-	-	-۰/۵۲**	-	-۰/۵۸*
فوریه	-۰/۱۶	-	-	-	-۰/۴۵*	-۰/۲۰	۰/۲۳	-۰/۱۷
مارس	-۰/۳۶*	-	۰/۳۱	-	-۰/۵۳**	-۰/۴۸*	-۰/۱۹	-۰/۵۲**
آوریل	-۰/۲۵	-	-۰/۱۷	-۰/۲۱	-۰/۱۲	-۰/۵۰**	-۰/۵۴*	-۰/۴۸*
مه	-۰/۳۴*	-	-۰/۱۱	-۰/۲۱	-۰/۴۵*	-۰/۵۷**	-۰/۲۶	-۰/۵۷**
ژوئن	-۰/۰۱۶	-	۰/۰۰۱	-۰/۰۰۳	۰/۲۹	-۰/۲۲	-۰/۳۷	-۰/۱۹
ژوئیه	۰/۱۶	-	-	-۰/۱۰	-۰/۱۸	۰/۳۶	-۰/۰۵	-۰/۲۴
اوت	۰/۰۴	-	-	-۰/۱۵	-۰/۰۴	۰/۰۷	-۰/۳۰	-۰/۰۳
سپتامبر	۰/۰۵	-	-	-۰/۲۴	-۰/۰۸	-۰/۲۲	-۰/۲۱	-۰/۰۳
اکتبر	-۰/۲۲	-	-۰/۲۵	-۰/۱۷	-۰/۱۲	-۰/۱۷	-۰/۰۷	-۰/۲۴
نوامبر	-۰/۳۶*	-	-	-	-	-۰/۱۵	-۰/۱۵	-۰/۳۹*
دسامبر	-۰/۲۱	-	-	-	-	-۰/۳۵	-۰/۲۱	-۰/۲۹
زمستان	۰/۰۶	-	۰/۱۴	-	-	-۰/۵۱**	۰/۱۲	-۰/۳۶
بهار	-۰/۲۰	-۰/۰۵	-۰/۲	-۰/۱۹	-۰/۴۱*	-۰/۵۶**	-۰/۴۴*	-۰/۶۱**
تابستان	۰/۲۲	-	-	-۰/۱۹	-۰/۲۵	۰/۰۲	-۰/۱۴	۰/۲۶
پاییز	۰/۱۳	-۰/۰۴	-۰/۱۵	-۰/۲۷	-۰/۰۱	-۰/۲۲	-۰/۲۲	-۰/۲۰
سالیانه	۰/۱۱	-۰/۰۸	-۰/۳۲	-۰/۲۳	-۰/۳۸*	-۰/۴۲**	-۰/۳۳	-۰/۵۱**

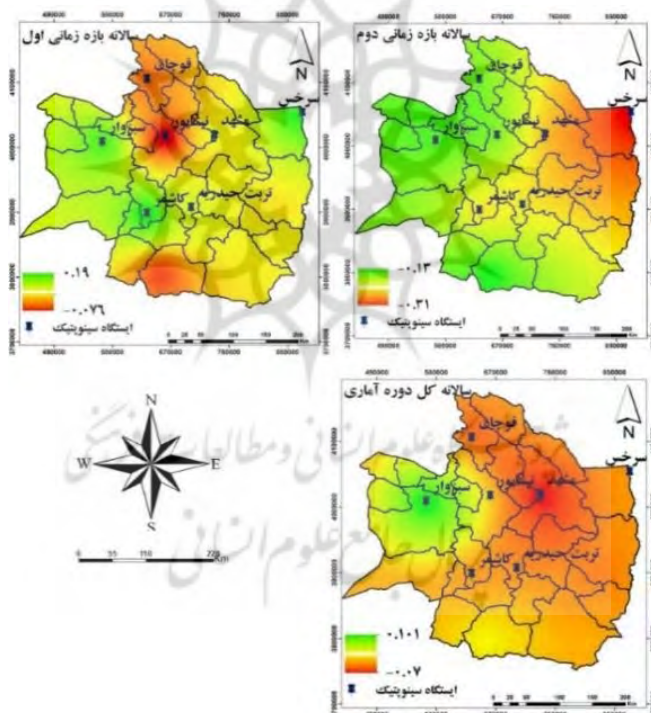
* معناداری در سطح ۵ درصد

** معناداری در سطح ۱ درصد

- فاقد داده کافی جهت آزمون روند

بررسی داده‌های فصلی در بازه زمانی ۱۹۹۰ - ۲۰۱۶ حاکی از آن است که در فصل بهار و زمستان تأثیر خشک‌سالی بر گرد و غبار در ایستگاه‌های سبزوار، سرخس، تربت‌حیدریه و همچنین در سطح استان معنادار است؛ در حالی که در تابستان و پاییز ارتباط معناداری بین این دو پارامتر وجود ندارد (جدول ۵). این در حالی است که در بازه زمانی دوم (۲۰۰۷ - ۲۰۱۶) تأثیر خشک‌سالی بر گرد و غبار تنها در فصل تابستان در ایستگاه سرخس معنادار شده است. ضریب همبستگی داده‌های سالیانه طی دوره آماری ۱۹۹۰ - ۲۰۱۶ نشان داد ارتباط گرد و غبار و خشک‌سالی تنها در ایستگاه‌های سبزوار و سرخس قابل قبول است.

همان‌طور که از مقادیر پهنه‌بندی شده SPEI در شکل ۶ قابل تشخیص است در بازه زمانی دوم شدت خشک‌سالی بیشتر از بازه زمانی اول در مقیاس سالیانه و ماهیانه است.

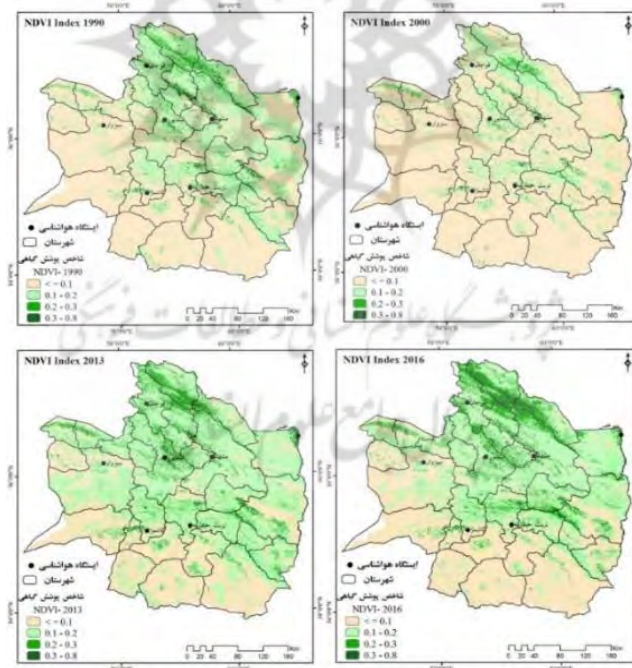


شکل ۶. توزیع مکانی مقادیر سالیانه شاخص SPEI در دو بازه زمانی ۱۹۹۰ - ۲۰۰۶ و ۲۰۰۷ - ۲۰۱۶ در استان خراسان رضوی

مقایسه میانگین سالیانه SPEI در بازه‌های زمانی مورد مطالعه نیز حاکی از آن است که در همه ایستگاه‌ها، به استثنای نیشابور، منطقه مطالعاتی از شدت خشک‌سالی بالاتری در بازه زمانی دوم (۲۰۰۷ - ۲۰۱۶) برخوردار است.

بررسی تغییرات سطح خاک با استفاده از NDVI

روند تغییرات سطح خاک با استفاده از شاخص NDVI در بازه زمانی مورد مطالعه (۱۹۹۰ - ۲۰۱۶) بررسی و در شکل ۷ ارائه شده است. گفتنی است تصاویر ماهواره‌ای با توجه به میانگین ماه‌های مه و ژوئن و ژوئیه و با توجه به فصل رویشی (مه و ژوئن) و حداکثر گرد و غبار (ژوئن و ژوئیه) انتخاب شده است. با توجه به شکل، افزایش درصد تراکم پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه، به‌ویژه قوچان و نیشابور و مشهد، از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۶ چشمگیر است. این در حالی است که جنوب سبزوار و اطراف سرخس نیز روند مثبتی از افزایش شاخص NDVI در سال ۲۰۱۳ و ۲۰۱۶ نشان می‌دهند.



شکل ۷. تراکم پوشش گیاهی با استفاده از سنجنده لندست ۸ در سال‌های ۱۹۹۰، ۲۰۰۰، ۲۰۱۳، ۲۰۱۶

در ادامه بررسی آماری داده‌های ۲۷ ساله نشان می‌دهد همبستگی بین داده‌های تراکم پوشش گیاهی و گرد و غبار محلی در همه ایستگاه‌ها و به‌خصوص ایستگاه نیشابور قابل مشاهده است. مقادیر همبستگی از بیشترین میزان به کمترین برای ایستگاه‌های نیشابور، کاشمر، سبزوار، مشهد، سرخس، تربت‌حیدریه، قوچان معادل به ترتیب $-۰/۳۸$ ، $-۰/۱۷$ ، $-۰/۱۶$ ، $-۰/۱۵$ ، $-۰/۱۲$ ، $-۰/۱۲$ ، $-۰/۰۲$ به دست آمد.

بحث

نتایج شمارش کدهای گرد و غبار در پژوهش حاضر نشان داد رخدادهای گرد و غبار ثبت‌شده در ایستگاه‌های مطالعاتی منشأ محلی دارند و رخدادهای با منشأ فرامحلی نسبت به رخدادهای محلی از فراوانی کمتری برخوردارند. نتایج این بخش تحقیق با نتایج سایر تحقیقات (امیدوار و نکونام ۱۳۹۰: ۱۰۰) در زمینه تحلیل پدیده گرد و غبار در شهر سبزوار مطابقت دارد. بر اساس نتایج حاصل از تحلیل ماهیانه رخدادهای گرد و غبار در منطقه مطالعاتی، ماه‌های گرم سال در فصل بهار و تابستان نسبت به ماه‌های سرد سال با روزهای غبارآلود بیشتری مواجه شده است. دیگر محققان نیز بالاتر بودن فراوانی رخدادهای گرد و غبار در ماه‌های گرم سال (مه، ژوئن، ژوئیه، اوت) را گزارش کرده‌اند (قوی‌دل و همکاران ۱۳۹۷: ۹۸؛ بروغنی و همکاران ۱۳۹۴: ۵۰). بررسی تعداد روزهای غبارآلود ماهیانه و فصلی طی دوره آماری ۱۹۹۰ - ۲۰۱۶ نشان داد رخدادهای گرد و غبار محلی در ایستگاه‌های قوچان و سبزوار و سرخس دارای روند افزایشی معنادار و در ایستگاه‌های نیشابور و مشهد دارای روند کاهشی معنادار طی دوره آماری ۲۷ ساله بوده است. همچنان که سایر محققان (بروغنی و همکاران ۱۳۹۴: ۵۱) در مطالعه خود گزارش کردند ایستگاه‌های سرخس و قوچان به ترتیب دارای بالاترین و پایین‌ترین تعداد رخدادهای گرد و غبار طی سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۰ بوده‌اند. روند افزایشی تعداد رخدادهای گرد و غبار توسط دیگر محققان در مناطق سبزوار و ایلام و در غرب ایران در خوزستان و خرم‌آباد به ترتیب در دوره آماری ۱۹۸۸ - ۲۰۰۸ و ۱۹۶۱ - ۲۰۰۸ و ۱۹۵۱ - ۲۰۱۵ گزارش شده است (قوی‌دل و همکاران ۱۳۹۷: ۹۱). همچنین مطالعه‌ای روند تعداد رخدادهای گرد و غبار در ۴۱ ایستگاه سینوپتیک طی دوره آماری طولانی مدت ۱۹۶۵ - ۲۰۰۵ نشان داده تغییرات تعداد روزهای غبارآلود در ایستگاه‌های شهرکرد، زاهدان، بم، چابهار،

فسا، ایران شهر طی دوره آماری مورد بررسی افزایشی بوده؛ درحالی که تعداد رخدادهای گرد و غبار در یزد، سمنان، کاشان، رامسر، و چندین ایستگاه دیگر در حال کاهش بوده است (رفیعی و همکاران ۱۳۹۷: ۱۹).

بررسی وضعیت و روند خشک‌سالی دومین هدف پژوهش حاضر در استان خراسان رضوی بود که با استفاده از SPEI تحلیل شد. نتایج حاصل از محاسبه خشک‌سالی نشان داد تقریباً در همه ایستگاه‌ها سال ۲۰۰۸ شدیدترین خشک‌سالی بر منطقه مطالعاتی حاکم بوده است. سایر محققان نیز نتایج مشابهی را در این زمینه گزارش کرده‌اند (بروغنی و همکاران ۱۳۹۲: ۷۴۰؛ علی‌پور و همکاران ۱۳۹۷: ۶۳؛ Golian et al. 2015: 682). در واقع کاهش شدید بارندگی در سال ۲۰۰۸ می‌تواند عامل اصلی تشدید خشک‌سالی در این زمان در منطقه مطالعاتی باشد. همچنین بررسی مقادیر خشک‌سالی در دهه آخر دوره مطالعاتی (۲۰۰۷ - ۲۰۱۶) حاکی از تشدید خشک‌سالی‌ها در این بازه زمانی است؛ طوری که بر اساس میانگین سالیانه SPEI در ایستگاه‌های سرخس و کاشمر در این زمان شدت خشک‌سالی نسبت به دیگر مناطق بیشتر بوده است.

بررسی همبستگی میان خشک‌سالی و تعداد روزهای دارای گرد و غبار حاکی از وجود رابطه مستقیم معنادار میان این دو پارامتر در ایستگاه‌های مشهد، سبزوار، سرخس، تربت‌حیدریه در ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، آوریل، و مه است. در فصل بهار نیز خشک‌سالی بر گرد و غبار در ایستگاه‌های سبزوار، سرخس، تربت‌حیدریه تأثیر مستقیم گذاشته است. در سطح استان نیز خشک‌سالی در ماه‌های ژانویه، مارس، آوریل، مه و همچنین در فصل بهار دارای تأثیر معنادار بر تعداد روزهای دارای گرد و غبار است. این بدان معناست که وقوع دوره‌های خشک‌سالی باعث تشدید فراوانی گرد و غبار می‌شود. علت را می‌توان در این موضوع دانست که وقوع دوره‌های خشک‌سالی و کمبود نزولات جوی باعث خشک شدن خاک سطحی می‌شود و شرایط را برای ایجاد گرد و غبار فراهم می‌کند (بروغنی و همکاران ۱۳۹۸: ۱۱۹). نتایج این تحقیق با گزارش سایر محققان مطابقت دارد (Hahnenberger & Kathleen 2014: 669؛ Lee & Sohen 2011: 4614؛ Javadian et al. 2019: 14). که نشان دادند با افزایش شدت خشک‌سالی تعداد وقوع گرد و غبار افزایش می‌یابد. از طرفی نتایج بررسی تأثیر نوسانات آب‌وهوایی بر رخداد گرد و غبار در شرق

کشور نیز نشان داد رخداد های گرد و غبار در ارتباط مستقیم با پارامترهای دما و سرعت باد و دارای رابطه عکس با بارندگی است (Yarmoradi et al. 2020: 10). بر این اساس، با در نظر گرفتن پارامتر دما در محاسبه خشک سالی، می توان اذعان کرد بین خشک سالی و فراوانی وقوع گرد و غبار می تواند رابطه وجود داشته باشد.

نظر به نتایج متفاوت در مشهد و نیشابور، بررسی توأم سری های زمانی SPEI و تصاویر ماهواره ای تغییرات سطح خاک با بررسی درصد تراکم پوشش گیاهی طی دوره آماری ۱۹۹۰ - ۲۰۱۶ حاکی از آن است که تعداد فراوانی دوره های خشک سالی و در برخی موارد شدت خشک سالی از سال ۲۰۰۰ افزایش یافته است (جدول ۴). این برداشت با نتایج به دست آمده از تصاویر ماهواره ای همخوانی دارد که آثار آن بر درصد تراکم پوشش گیاهی در شکل ۵، در سال ۲۰۰۰، مشاهده می شود. همچنین، با در نظر گرفتن مقادیر میانگین سالیانه SPEI، که در ایستگاه مشهد بالاترین (منفی ترین) مقدار و در ایستگاه سبزوار کمترین (مثبت ترین) را دارد، می توان نتیجه گرفت هرچند روند خشک سالی در سبزوار منفی است، آثار حفاظت خاک بر آن اولویت دارد و موجبات روند صعودی گرد و غبار در منطقه را ایجاد کرده است؛ طوری که روندیابی آزمون من- کندال نشان داد روزهای غبار آلود محلی در ایستگاه های قوچان و سبزوار و سرخس دارای روند افزایشی معنادار طی دوره آماری ۲۷ ساله است (جدول ۲) در حالی که با توجه به افزایش تراکم پوشش گیاهی در بازه زمانی ۱۹۹۰ - ۲۰۱۶، در اطراف مشهد و نیشابور، تعداد روزهای غبار آلود محلی در ایستگاه های یاد شده طی دوره آماری روند نزولی دارد و در سطح ۱ درصد نیز معنادار است. سایر محققان نیز پیش تر به آثار پوشش گیاهی در کاهش گرد و غبار اشاره کرده اند (پورهاشمی و همکاران ۱۳۹۴: ۴۱؛ سهرابی و همکاران ۱۳۹۷: ۹۸۱). پوشش گیاهی و الگوی فصلی آن موجب پایداری سطح، افزایش زبری سطح، و کاهش سرعت باد می شود و در نتیجه کاهش فرسایش بادی و گرد و غبار در منطقه را در پی دارد. ریشه گیاهان ذرات خاک را به هم چسبیده نگه می دارند و با ایجاد سله رطوبت خاک را به طور موقت افزایش می دهند و بدین ترتیب قشر سطحی خاک را تثبیت می کنند و از حرکت بازمی دارند.

به لحاظ مفهومی، آمایش سرزمین برقراری تعادل بین عناصر سه‌گانه انسان و فضا و فعالیت است و سه مقوله مطرح در بحث آمایش سرزمین در ارتباط با این عناصر سه‌گانه هستند؛ بدین صورت که در رابطه با عنصر انسان مقوله «مدیریت»، در رابطه با عنصر فضا مقوله «اقلیم»، و در رابطه با عنصر فعالیت مقوله «برنامه و برنامه‌ریزی» مطرح است. بر اساس عناصر سه‌گانه یادشده و مقوله‌های مرتبط با آن‌ها، آمایش سرزمین ترکیبی است از سه علم اقتصاد و جغرافیا و جامعه‌شناسی (وحیدی ۱۳۷۳: ۷۶).

مطالعات پیشین نشان می‌دهد عامل شکل‌گیری گرد و غبار تغییرات اقلیمی، از جمله خشک‌سالی، است که به واسطه افزایش دما و کمبود بارندگی به حداکثر خود می‌رسد. در این میان، مقوله مدیریت و برنامه‌ریزی مرتبط با عنصر انسان و فعالیت‌های بشر بوده که شامل مداخلات مثبت انسانی از جمله کنترل جمعیت، کاهش گازهای گلخانه‌ای و به تبع آن عدم افزایش دمای زمین و تلاش برای جلوگیری از فرسایش خاک می‌باشد. بر این اساس، استفاده از انواع روش‌های تثبیت مانند جنگل‌کاری در مناطق خشک و روش‌های شیمیایی و فیزیکی از جمله راهکارهای مفید برای کاهش آثار زیان‌بار و مخرب پدیده گرد و غبار است. این موضوع ضرورت استفاده هدفمند و کنترل‌شده از اراضی را روشن‌تر می‌کند و اینجاست که آمایش سرزمین به مثابه یک علم بین‌رشته‌ای با دیدی هم‌سونگر و سیستمی قادر است با پیش‌بینی نیازها (مادی و معنوی) و اهداف به‌ویژه در زمینه کاربری زمین به ارائه کامل‌ترین برنامه‌ها با در نظر گرفتن همه ابعاد و در همه سطوح، اعم از ملی تا محلی (شهری و روستایی)، بپردازد.

با توجه به نتایج ارائه‌شده در پژوهش حاضر مبنی بر اثر مثبت توسعه تراکم پوشش گیاهی در کاهش فراوانی رخداد‌های گرد و غبار در منطقه استراتژیک استان خراسان رضوی و نظر به گزارش‌های افزایش میزان فرونشست در سال‌های اخیر در مناطق یادشده، لزوم توجه به ظرفیت‌ها و توانمندی‌های ذاتی و اکتسابی هر یک از ایستگاه‌های مورد بررسی در مقاله حاضر در جهت توسعه منطقی آن مکان بیانگر مفهوم واقعی آمایش است. بر این اساس، توسعه پوشش گیاهی نه‌تنها توصیه مقاله حاضر نیست، بلکه لزوم آمایش سرزمین در مرحله اول و توجه به ظرفیت‌های نواحی مختلف جهت توسعه ادامه‌دار و منطقی و استفاده از سایر روش‌های تثبیت خاک توصیه می‌شود.

نتیجه و پیشنهاد

رخدادهای گرد و غبار از مهم‌ترین مخاطرات اقلیمی کشور محسوب می‌شوند. در این میان، وقوع خشک‌سالی، که از مشخصات بارز تغییر اقلیم است، نقش مهمی در تشدید یا تضعیف این رخدادها دارد. در این میان، استان خراسان رضوی به سبب موقعیت استراتژیک، از جمله قطب صنعتی و کشاورزی و پذیرایی سالیانه بیش از ۲۹ میلیون زائر از داخل و خارج از کشور، به‌خصوص در فصول و ماه‌های همراه با مناسبت‌ها و تعطیلات، دارای اولویت بررسی از نظر فراوانی گرد و غبار است. بررسی تعداد روزهای غبارآلود ماهیانه و فصلی طی دوره آماری ۱۹۹۰ - ۲۰۱۶ نشان داد رخدادهای گرد و غبار محلی در ایستگاه‌های قوچان و سبزوار و سرخس دارای روند افزایشی معنادار و در ایستگاه‌های نیشابور و مشهد دارای روند کاهشی معنادار طی دوره آماری ۲۷ ساله بوده است. نتایج حاصل از تحلیل ماهیانه رخدادهای گرد و غبار در منطقه مطالعاتی نشان داد ماه‌های گرم سال در فصل بهار و تابستان نسبت به ماه‌های سرد سال روزهای غبارآلود بیشتری داشته است. نتایج بررسی همبستگی میان خشک‌سالی و تعداد روزهای دارای گرد و غبار حاکی از وجود رابطه مستقیم معنادار میان این دو پارامتر در ایستگاه‌های مشهد، سبزوار، سرخس، تربت‌حیدریه در ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، آوریل، و مه است. در فصل بهار نیز خشک‌سالی دارای تأثیر مستقیم بر گرد و غبار در ایستگاه‌های سبزوار و سرخس و تربت‌حیدریه است. در سطح استان نیز خشک‌سالی در ماه‌های ژانویه، مارس، آوریل، و مه و همچنین در فصل بهار دارای تأثیر معنادار بر تعداد روزهای دارای گرد و غبار است. در ادامه، بررسی تغییرات سطح خاک با استفاده از شاخص NDVI نشان داد در نیشابور و مشهد دلایل کاهش روند گرد و غبار به دلیل مداخلات انسانی و افزایش درصد تراکم پوشش گیاهی و حفاظت بیشتر از خاک است.

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، توجه به آمایش سرزمین و عدم تخریب در مناطق دارای پوشش گیاهی طبیعی همراه استفاده از روش‌های کوتاه‌مدت تثبیت خاک به منظور کاهش خسارات اقتصادی و حفظ سلامت در برابر گرد و غبار در ماه‌های مارس و آوریل و مه و فصل بهار و اطراف خطوط حمل‌ونقل، به دلیل تعدد سفر، تا دستیابی به نتایج روش‌های بلندمدت توصیه می‌شود.

سپاسگزاری

پژوهش حاضر بخشی از طرح ملی «پایش عوامل اقلیمی مؤثر بر تشدید پدیده گرد و غبار و ماسه‌های روان (فرسایش بادی)» زیر پروژه «استان خراسان رضوی» با کد مصوب -۰۹-۰۹-۰-۱۲۷-۹۶۱۰۴۷ است. محققان لازم می‌دانند از همکاری و مساعدت ریاست محترم مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، جناب آقای دکتر جلیلی، و راهنمایی‌های ارزنده مدیران و کارشناسان اداره هواشناسی استان خراسان رضوی در جهت اعتلای بیشتر پژوهش سپاسگزاری کنند.



منابع

- امیدوار، کمال؛ زری نکونام (۱۳۹۰). «کاربرد گل‌باد و گل‌غبار در تحلیل پدیده گرد و خاک و تعیین رژیم فصلی بادهای همراه با این پدیده (مطالعه موردی: سبزوار)»، پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی، ۷۶، صص ۸۵ - ۱۰۴.
- بروغنی، مهدی؛ مجید طایی؛ سید خلاق میرنیا (۱۳۹۲). «تحلیل ارتباط خشک‌سالی‌های هیدروژئولوژیکی و اقلیمی دشت سبزوار با استفاده از شاخص‌های SWI و SPI»، تحقیقات مرتع و بیابان، ۲۰ (۴)، صص ۷۳۳ - ۷۴۴.
- بروغنی، مهدی؛ حمیدرضا مرادی؛ محمدعلی زنگنه اسدی (۱۳۹۴). «تحلیل وقوع گرد و غبار و پهنه‌بندی آن در استان خراسان رضوی»، پژوهش‌های فرسایش محیطی، ۴ (۲۰)، صص ۴۵ - ۵۷.
- بروغنی، مهدی؛ حمیدرضا مرادی؛ محمدعلی زنگنه اسدی؛ سیما پورهاشمی (۱۳۹۸). «ارزیابی نقش خشک‌سالی در فراوانی وقوع گرد و غبار در استان خراسان رضوی»، علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۲۱ (۵)، صص ۱۰۹ - ۱۲۲.
- پورهاشمی، سیما؛ مهدی بروغنی؛ محمدعلی زنگنه اسدی؛ ابوالقاسم امیراحمدی (۱۳۹۴). «تحلیل ارتباط پوشش گیاهی بر وقوع تعداد گرد و غبار استان خراسان رضوی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور»، سمانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۶ (۴)، صص ۳۳ - ۴۵.
- خلیقی سیگارودی، شهرام؛ راضیه شاه‌بندری قوچانی؛ صدیقه دادفر؛ فروغ کامرانی‌نوق (۱۳۸۹). «بررسی رابطه خشک‌سالی با طوفان‌های گرد و خاک (مطالعه موردی: استان یزد)»، دومین همایش ملی فرسایش بادی و طوفان‌های گرد و غبار، یزد.
- رضایی، مریم؛ هدی قاسمیه (۱۳۹۸). «ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر تغییرپذیری دما و بارش (مطالعه موردی: ایستگاه‌های کاشان و خور و بیابانک)»، خشک‌بوم، ۹ (۱)، صص ۸۱ - ۹۹.
- رفیعی، زهره؛ محمدرضا یزدانی؛ محمد رحیمی (۱۳۹۷). «تحلیل روند تعداد روزهای گرد و غبار در ایران»، خشک‌بوم، ۶ (۲)، صص ۱۱ - ۲۲.
- سهرابی، طیب‌سادات؛ عباس‌علی ولی؛ ابوالفضل رنجبر فردویی؛ سید حجت موسوی (۱۳۹۷). «تحلیل کمی بازخورد پوشش گیاهی بر وقوع گرد و غبار در اکوسیستم‌های مناطق خشک (مطالعه موردی:

- استان اصفهان»، مرتع و آبخیزداری، ۷۱(۴)، صص ۹۷۳ - ۹۸۵.
- علیپور، ناهید؛ طیبه مصباح‌زاده؛ حسن احمدی؛ آرش ملکیان؛ محمد جعفری (۱۳۹۷). «تحلیل سینوپتیکی رخداد‌های گرد و غبار و ارتباط آن با خشک‌سالی در استان‌های قزوین و البرز»، *جغرافیا (برنامه‌ریزی منطقه‌ای)*، ۸ (۲)، صص ۵۹ - ۶۸.
- فلاح‌کار، سامره؛ رحیمه صابرفر؛ سید حسین کیا (۱۳۹۷). «تحلیل تغییرات شاخص‌های پوشش گیاهی در سنجنده‌های ماهواره‌اندست (مطالعه موردی: ارس‌زارهای شرق پارک ملی گلستان و منطقه حفاظت‌شده قرخود)»، *اکوسیستم‌های طبیعی ایران*، ۹ (۱)، صص ۷۱ - ۹۰.
- قوی‌دل رحیمی، یوسف؛ منوچهر فرج‌زاده؛ اسماعیل لشنی‌زند (۱۳۹۷). «تحلیل تغییرات زمانی طوفان‌های گرد و غباری خرم‌آباد»، *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۱۸ (۵۱)، صص ۸۷ - ۱۰۲.
- کرمانی، مجید؛ الهام طاهریان؛ مریم ایزانلو (۱۳۹۵). «تحلیل تصاویر ماهواره‌ای ریزگردها و طوفان‌های گرد و غباری در ایران به منظور بررسی منشأهای داخلی و خارجی و روش‌های کنترل آن‌ها»، *ره‌آورد سلامت*، ۲ (۱)، صص ۳۹ - ۵۱.
- مصباح‌زاده، ط. ن. علی‌پور (۱۳۹۷). «ارزیابی تأثیر خشک‌سالی بر فراوانی وقوع پدیده گرد و غبار با استفاده از شاخص‌های SPI، PNI و ZS»، *مرتع و آبخیزداری، منابع طبیعی ایران*، ۷۱ (۲)، صص ۵۰۵ - ۵۱۵.
- مصباح‌زاده، طیبه؛ مریم میراکبری؛ محسن محسنی‌ساروی؛ حسن خسروی؛ قاسم مرتضایی فریزه‌ندی (۱۳۹۸). «بررسی وضعیت خشک‌سالی هواشناسی در حال و آینده با استفاده از مدل سری CMIP5 تحت سناریوهای RCP»، *علوم و مهندسی آبخیزداری*، ۱۳ (۴۶)، صص ۱۱ - ۲۱.
- مصطفی‌زاده، رئوف؛ محسن ذبیحی (۱۳۹۵). «تحلیل و مقایسه شاخص‌های SPI و SPEI در ارزیابی خشک‌سالی هواشناسی با استفاده از نرم‌افزار R (بررسی موردی: استان کردستان)»، *فیزیک زمین و فضا*، ۴۲ (۳)، صص ۶۳۳ - ۶۴۳.
- میراکبری، مریم؛ طیبه مصباح‌زاده؛ محسن محسنی‌ساروی؛ حسن خسروی؛ قاسم مرتضایی (۱۳۹۷). «ارزیابی کارایی مدل سری CMIP5 در شبیه‌سازی و پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی بارندگی، دما، سرعت باد (مطالعه موردی: استان یزد)»، *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۵ (۳)، صص ۵۹۳ - ۶۰۹.

نصرتی، کاظم (۱۳۹۳). «ارزیابی شاخص بارش- تبخیر و تعرق استاندارد شده (SPEI) جهت شناسایی خشک‌سالی در اقلیم‌های مختلف ایران»، *علوم محیطی*، ۱۲ (۴)، صص ۶۳ - ۷۴.

نعیمی، مریم؛ محمدجواد یوسفی؛ محمد خسروشاهی؛ سمیرا زندی‌فر؛ زهره ابراهیمی خوسفی (۱۳۹۸). «بررسی اثرات عوامل اقلیمی بر گرد و غبار (مطالعه موردی: غرب استان خراسان رضوی)»، *کاوش‌های جغرافیایی مناطق بیابانی*، ۷ (۲)، صص ۲۴ - ۴۵.

نیک‌پور، نورالله؛ حسین نگارش؛ صمد فتوحی؛ سید زین‌العابدین حسینی؛ شهرام بهرامی (۱۳۹۷). «پایش روند تغییرات شاخص پوشش گیاهی (NDVI)، یکی از مهم‌ترین شاخص‌های تخریب سرزمین (در استان ایلام)»، *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، ۵ (۴)، صص ۲۱ - ۴۸.

وحیدی، پری‌دخت (۱۳۷۳). «آمایش سرزمین: راهنمایی برای برنامه‌ریزی آموزش عالی»، *پژوهش و برنامه‌ریزی در آموزش عالی*، ۲ (۷ و ۸)، صص ۷۵ - ۱۰۴.

ولی، عباسعلی؛ فاطمه. روستایی (۱۳۹۶). «بررسی روند فرسایش بادی در ایران مرکزی با استفاده از شاخص طوفان گرد و غبار در پنجاه سال اخیر»، *علوم آب و خاک*، ۲۱ (۴)، صص ۱۸۹ - ۲۰۰.

References

- Achakulwisut, P., Anenberg, S. C., Neumann, J. E., Penn, S. L., Weiss, N., Crimmins, A., Fann, N., Martinich, J., Roman, H., & Mickley, L. J. (2019). "Effects of increasing aridity on ambient dust and public health in the US Southwest under climate change", *GeoHealth*, 3(5), pp. 127-144.
- Aili, A., Oanh, N. T. K., & Abuduwaili, J. (2016). "Variation trends of dust storms in relation to meteorological conditions and anthropogenic impacts in the northeast edge of the Taklimakan Desert, China", *Open Journal of Air Pollution*, 5(4), pp. 127-143.
- Alipour, N., Mesbahzadeh, T., Ahmadi, H., Malekian, A., & Jafari, M. (2018). "Synoptic analysis of dust events and its relationship with drought in Qazvin and Alborz provinces", *Journal of Geography (Regional Planning)*, 8 (2), pp. 59-68. (in Persian)
- Bao, G., Qin, Z., Bao, Y., Zhou, Y., Li, W., & Sanjjav, A. (2014). "NDVI-based long-term vegetation dynamics and its response to climatic change in the Mongolian Plateau", *Remote Sensing*, 6 (9), pp. 8337-8358.
- Bhalme, H. N. & Mooley, D. A. (1980). "Large-scale droughts/ floods and monsoon circulation", *Monthly Weather Review*, 108(8), pp. 1197-1211.
- Boroughni, M., Moradi, H., & Zanganeh Asadi, M. (2015). "Analysis of dust occurrence and its zoning in Khorasan Razavi province", *Environmental Erosion Research*, 4 (20), pp. 45-57. (in Persian)
- Boroughni, M., Moradi, H., Zanganeh Asad, M., & Pourhashemi, S. (2019). "Assessing the role of drought in the frequency of dust in Khorasan Razavi province", *Journal of*

- Environmental Science and Technology*, 21 (5), pp. 109-122. (in Persian)
- Boroughni, M., Tai, M., & Mirnia, S. (2013). "Analysis of the relationship between hydrogeological and climatic droughts in Sabzevar plain using SWI and SPI indices", *Journal of Range and Desert Research*, 20 (4), pp. 733-744. (in Persian)
- Broomandi, P., Dabir, B., Bonakdarpour, B., & Rashidi, Y. (2017). "Identification of dust storm origin in South-West of Iran", *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 15(1), pp. 1-14.
- Falahat Kar, S., Saberfar, R., & Kia, S. (2018). "Analysis of changes in vegetation indices in Landsat satellite sensors (Case study: East Observatories of Golestan National Park and Qarkhod Protected Area)", *Natural Ecosystems of Iran*, 9 (1), pp. 71-90. (in Persian)
- Ghavidel Rahimi, Y., Farajzadeh, M., & Lashni Zand, I. (2018). "Analysis of temporal variations of Khorramabad dust storms", *Journal of Applied Research in Geographical Sciences*, 18 (51), pp. 102-87. (in Persian)
- Gibbs, W. J. & Maher, J. V. (1967). "Rainfall deciles as drought indicators, bureau of meteorology bulletin no. 48", *Commonwealth of Australia*, Melbourne, 29.
- Golian, S., Mazdiyasi, O., & AghaKouchak, A. (2015). "Trends in meteorological and agricultural droughts in Iran", *Theoretical and applied climatology*, 119 (3), pp. 679-688.
- Hahnenberger, M. & Nicoll, K. (2014). "Geomorphic and land cover identification of dust sources in the eastern Great Basin of Utah, USA", *Geomorphology*, 204, pp. 657-672.
- Hirsch, R. M. & Slack, J. R. (1984). "A nonparametric trend test for seasonal data with serial dependence", *Water Resources Research*, 20 (6), pp. 727-732.
- Javadian, M., Behrangi, A., & Sorooshian, A. (2019). "Impact of drought on dust storms: case study over Southwest Iran", *Environmental Research Letters*, 14 (12), 124029.
- Kendall, M. G. (1975). *Kendall rank correlation methods*, Griffin, London.
- Kermani, M., Taherain, E., & Izanloo, M. (2016). "Analysis of dust and dust storms in Iran, Investigation Internal and external origin of dust storms in Iran using satellite images and Control methods", *Rahavard Salamat Journal*, 2 (1), pp. 39-51.
- Kermani, M., Taherian, E., & Izanloo, M. (2016). "Analysis of satellite images of fine dust and dust storms in Iran in order to investigate internal and external sources and their control methods", *Rahavard Salamat Magazine*, 2 (1), pp. 39-51. (in Persian)
- Khaliqi Sigaroodi, Sh., Shah Bandari Quchani, R., Dadfar, S., & Kamrani Nogh, F. (2010). "Investigating the Relationship between Drought and Dust Storms (Case Study: Yazd Province)", The Second National Conference on Wind Erosion and Dust Storms, Yazd. (in Persian)
- Mann, H. B. (1945). "Nonparametric tests against trend", *Econometrica: Journal of the econometric society*, pp. 245-259.
- McKee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. (1993). "The relationship of drought frequency and duration to time scales", *In Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*, 17 (22), pp. 179-183.
- Mesbahzadeh, T. & Alipour, N. (2018). "Evaluation of the effect of drought on the occurrence of dust phenomenon using SPI, PNI and ZS indices, rangeland and watershed management", *Iranian Journal of Natural Resources*, 71 (2), pp. 505-515. (in Persian)

- Persian)
- Mesbahzadeh, T., Mirakbari, M., Mohseni Saravi, M., Khosravi, H., & Mortezaei Frizhandi, Q. (2019). "Investigation of current and future meteorological drought status using CMIP5 series model under RCP scenarios", *Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 13 (46), pp. 11-21. (in Persian)
- Mirakbari, M., Mesbahzadeh, T., Mohseni Saravi, M., Khosravi, H., & Mortezaei, Q. (2018). "Evaluating the efficiency of CMIP5 series model in simulating and predicting climatic parameters of rainfall, temperature, wind speed (Case study: Yazd province)", *Natural Geography Research*, 5 (3), pp. 609-593. (in Persian)
- Mostafa-Zadeh, R. & Zabihi, M. (2016). "Analysis and comparison of SPI and SPEI indices in the assessment of meteorological drought using R software Software Case study: Kurdistan Province", *Earth and Space Physics*, 42 (3), pp. 633-643. (in Persian)
- Naeimi, M., Yousefi, M., Khosroshahi, M., Zandifar, S., & Ebrahimi Khosfi, Z. (2019). "Investigation of the effects of climatic factors on dust, a case study: West of Khorasan Razavi province", *Geographical explorations of desert areas*, 7 (2), pp. 24-45. (in Persian)
- Nikpour, N., Negaresh, H., Fotohi, S., Hosseini, S., & Bahrami, S. (2018). "Monitoring the trend of vegetation index (NDVI), one of the most important indicators of land degradation (in Ilam province)", *Spatial analysis of environmental hazards*, 5 (4), pp. 21-48. (in Persian)
- Nosrati, K. (2014). "Evaluation of standardized precipitation-evapotranspiration index (SPEI) to identify drought in different climates of Iran", *Journal of Environmental Sciences*, 12 (4), pp. 63-74. (in Persian)
- O'Loingsigh, T., McTainsh, G. H., Tews, E. K., Strong, C. L., Leys, J. F., Shinkfield, P., & Tapper, N. J. (2014). "The Dust Storm Index (DSI): a method for monitoring broadscale wind erosion using meteorological records", *Aeolian Research*, 12, pp. 29-40.
- Omidvar, K. & Nekounam, Z. (2011). "Application of rose and dust in analyzing the dust phenomenon and determining the seasonal regime of winds associated with this phenomenon (Case study: Sabzevar)", *Natural Geographical Research*, 76, pp. 104-85. (in Persian)
- Palmer, W. C. (1965). *Meteorological drought*, US Department of Commerce, Weather Bureau, Vol. 30.
- Phillips, P. C. & Perron, P. (1988). "Testing for a unit root in time series regression", *Biometrika*, 75 (2), pp. 335-346.
- Pourhashemi, S., Boroughni, M., Zanganeh Asadi, M., & Amirahamdi, A. (2015). "Analysis of the relationship between vegetation on the occurrence of dust in Khorasan Razavi province using GIS and remote sensing", *Remote Sensing And GIS In Natural Resources*, 6 (4), pp. 33-45. (in Persian)
- Rafiei, Z., Yazdani, M., & Rahimi, M. (2018). "Trend analysis of the number of dust days in Iran", *Khoshkboom*, 6 (2), pp. 22-11. (in Persian)
- Rajaei, T., Rohani, N., Jabbari, E., & Mojaradi, B. (2020). "Tracing and assessment of simultaneous dust storms in the cities of Ahvaz and Kermanshah in western Iran based on the new approach", *Arabian Journal of Geosciences*, 13 (12), pp. 1-20.
- Rashki, A., Middleton, N. J., & Goudie, A. S. (2021). "Dust storms in Iran—Distribution,

- causes, frequencies and impacts”, *Aeolian Research*, 48, 100655.
- Rezaei, M. & Qasemieh, H. (2019). “Evaluation of the effect of climate change on temperature and precipitation variability (Case study: Kashan, Khor and Biabank stations)”, *Dry Boom*, 9 (1), pp. 99-81. (in Persian)
- Rezazadeh, M., Irannejad, P., & Shao, Y. (2013). “Climatology of the Middle East dust events”, *Aeolian Research*, 10, pp. 103-109.
- Sohrabi, T., Wali, A., Ranjbar Fardavi, A., & Mousavi, S. (2018). “Quantitative analysis of vegetation feedback on the occurrence of dust in arid ecosystems (Case study: Isfahan province)”, *Rangeland and Watershed Management*, 71 (4), pp. 973-985. (in Persian)
- Vahidi, P. (1373). “Landscaping: Tips for Higher Education Planning”, *Quarterly Journal of Research and Planning in Higher Education*, 2 (7 and 8), pp. 75-104. (in Persian)
- Vali, A. & Rustaei, F. (2017). “Investigating the trend of wind erosion in Central Iran using the dust storm index in the last fifty years”, *Journal of Soil and Water Sciences*, 21 (4), pp. 189-200. (in Persian)
- Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S., & López-Moreno, J. I. (2010). “A multiscale drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index”, *Journal of climate*, 23 (7), pp. 1696-1718.
- Wang, X. C., Klemeš, J. J., Dong, X., Fan, W., Xu, Z., Wang, Y., & Varbanov, P. S. (2019). “Air pollution terrain nexus: A review considering energy generation and consumption”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 105, pp. 71-85.
- Willeke, G., Hosking, J. R. M., Wallis, J. R., & Guttman, N. B. (1994). “The national drought atlas”, *Institute for water resources report*, 94.
- Yarmoradi, Z., Nasiri, B., Mohammadi, G. H., & Karampour, M. (2020). “Long-term characteristics of the observed dusty days and its relationship with climatic parameters in East Iran”, *Arabian Journal of Geosciences*, 13 (6), pp. 1-11.
- Yu, P., Xu, R., Abramson, M. J., Li, S., & Guo, Y. (2020). “Bushfires in Australia: a serious health emergency under climate change”, *The Lancet Planetary Health*, 4 (1), pp. e7-e8.