



Correlation analysis of drought-dust and its relationship with vegetation changes in Khuzestan province

Haniyeh Mohammadi¹ | Javad Bazrafshan² | Abdolmajid Liaghat³

1. Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agricultural and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: hmohammadi99@ut.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agricultural and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: Jbazz@ut.ac.ir
3. Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agricultural and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: aliaghat@ut.ac.ir

Article Info	ABSTRACT
<p>Article type: Research Article</p> <p>Article history:</p> <p>Received: Aug. 25, 2023</p> <p>Revised: Oct. 5, 2023</p> <p>Accepted: Oct. 16, 2023</p> <p>Published online: Dec. 23, 2023</p> <p>Keywords: SPI, Dust, NDVI, Normalized Vegetation Index, Spearman Correlation, Three-Variable Couplet.</p>	<p>Drought, one of the most complex natural phenomena, causes significant direct and indirect damage to different sectors annually. The purpose of this study was to monitor drought, dust, and vegetation at five stations in the Khuzestan Province over a statistical period of 30 years (1990-2019). In this study, from the hourly data of horizontal visibility, the codes of the Meteorological Organization as well as the data of the synoptic station in the daily time frame were used to obtain the drought indices (SPEI and SPI) and the frequency variable of dust storms (DU) in time windows of 1, 3, 6, and 12 months. After calculating the indices of drought, dust and vegetation, they were combined with the empirical copula function method. The station that had the best correlation between the three climatic indices of dust-drought-vegetation was considered a representative station, and the three-variable coupling among the desired indices was investigated at that station. The results showed according to the SPI index, severe droughts occurred in the province from 1999 to 2003 and 2008 to 2012, which had a lot of negative effects on the soil of the region, as well as the formation of dust generating centers in the mentioned time period. Also, the results showed that the highest correlation was related to Bandar Mahshahr station between NDVI and SPEI (PM12) indices with Pearson and Spearman correlation coefficients of 0.44 and 0.46, respectively, and the highest negative correlation at Masjid Suleiman station between NDVI and DU06 occurred with Pearson and Spearman correlation coefficients of -0.37 and -0.47, respectively. The results obtained in Khuzestan Province are almost realistic as the drought index increased, the NDVI index increased, and as the dust increased, the NDVI value decreased.</p>

Cite this article: Mohammadi, H., Bazrafshan, J., & Liaghat, A. M. (2023). Correlation analysis of drought-dust and its relationship with vegetation changes in Khuzestan province. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 54 (10), 1447-1465. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.364328.669560>

© The Author(s).

Publisher: The University of Tehran Press.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.364328.669560>



تحلیل همبست خشکسالی-گرد و غبار و بررسی ارتباط آن با تغییرات پوشش گیاهی در استان خوزستان

هانیه محمدی^۱ | جواد بذرافشان^۲ | عبدالمجید لیاقت^۳۱. گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: hmohammadi99@ut.ac.ir۲. نویسنده مسئول، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: Jbazr@ut.ac.ir۳. گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: aliaghat@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	خشکسالی به عنوان یکی از پیچیده‌ترین پدیده‌های طبیعی هر ساله خسارت‌های زیادی به صورت مستقیم و غیرمستقیم به بخش‌های مختلف وارد می‌کند. هدف از مطالعه حاضر، پایش یکپارچه خشکسالی، گرد و غبار و پوشش گیاهی در پنج ایستگاه استان خوزستان با طول دوره آماری ۳۰ ساله (۱۹۹۰-۲۰۱۹) می‌باشد. در این مطالعه از داده‌های ساعتی قدرت دید افقی، کدهای سازمان هواشناسی و همچنین داده‌های ایستگاه سینوپتیک در بازه زمانی روزانه برای به دست آوردن شاخص‌های خشکسالی (SPEI, SPI) و متغیر فراوانی طوفان‌های گرد و غبار (DU) در پنجره‌های زمانی ۱، ۳، ۶ و ۱۲ ماهه استفاده گردید. بعد از محاسبه شاخص‌های خشکسالی، گرد و غبار و پوشش گیاهی، به ترکیب این شاخص‌ها با روش تابع کاپولای تجربی پرداخته شد. ایستگاهی که بهترین همبستگی را بین سه شاخص اقلیمی گرد و غبار - خشکسالی - پوشش گیاهی به همراه داشت، به عنوان ایستگاه معرف در نظر گرفته شد و کوپل سه متغیره بین شاخص‌های مورد نظر در آن ایستگاه بررسی گردید. نتایج نشان داد که طبق شاخص SPI از سال ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۳ و ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۲ خشکسالی‌های شدیدی در سطح استان رخ داده است که تأثیرات منفی زیادی را بر خاک منطقه و همچنین شکل‌گیری کانون‌های مولد گرد و غبار در بازه زمانی مذکور داشته است. همچنین نتایج نشان داد که بالاترین همبستگی مربوط به ایستگاه بندر ماهشهر بین شاخص‌های NDVI و SPEI (PM12) به ترتیب با ضرایب همبستگی پیرسون و اسپیرمن ۰/۴۴ و ۰/۴۶ و بیشترین مقدار همبستگی منفی در ایستگاه مسجد سلیمان بین شاخص‌های NDVI و DU06 به ترتیب با ضرایب همبستگی پیرسون و اسپیرمن ۰/۳۷- و ۰/۴۷- رخ داده است. نتایج به دست آمده در استان خوزستان تقریباً منطقی است زیرا با افزایش شاخص خشکسالی (کاهش میزان خشکی)، شاخص NDVI افزایش و با بیشتر شدن گرد و غبار مقدار NDVI کاهش یافت.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۶/۳	
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۷/۱۳	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۷/۲۴	
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۰/۱	
واژه‌های کلیدی: SPI گرد و غبار، NDVI همبستگی اسپیرمن، کوپل سه متغیره.	

استناد: محمدی، هانیه؛ بذرافشان، جواد؛ و لیاقت، عبدالمجید. (۱۴۰۲). تحلیل همبست خشکسالی-گرد و غبار و بررسی ارتباط آن با تغییرات پوشش گیاهی در استان

خوزستان، مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۴ (۱۰)، ۱۴۶۵-۱۴۴۷. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.364328.669560>

© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.364328.669560>

مقدمه

در خاورمیانه و جنوب غربی ایران، طوفان‌های گرد و غبار در کل سال اتفاق می‌افتند ولی فراوانی وقوع گرد و غبار در بهار و تابستان بیشتر از دیگر فصل‌ها است (Salmabadi et al., 2020). بخش جنوب‌غربی ایران (همراه با حوضه سیستان) مهم‌ترین منطقه تحت‌تأثیر طوفان‌های گرد و غبار است که بالاترین تعداد روزهای همراه با گرد و غبار را در سراسر سال دارد و بزرگ‌ترین شهر در این منطقه، اهواز، در زمره پنج شهر بسیار آلوده جهان از نظر غلظت ذرات معلق زیر ۱۰ میکرون (PM_{10}) قرار دارد (شاهسونی و همکاران، ۱۳۹۱). منابع اصلی گرد و غبار مؤثر بر جنوب‌غربی ایران عبارتند از: بیابان‌های عراق - سوریه، شبه جزیره عربستان (Zoljodi et al., 2013). همچنین در ایران، افزایش طوفان‌های گرد و غبار به دو عامل بستگی دارد. اولاً، موقعیت جغرافیایی این کشور در کمربند خشک و نیمه‌خشک جهان، باعث افزایش این پدیده می‌شود. ثانیاً، نزدیکی به کشورهایمانند عربستان، عراق و سوریه که دارای بیابان‌های وسیعی هستند، نیز تأثیرگذار است. این کشورها به دلیل عوامل مختلفی از جمله کمبود پوشش گیاهی، بارش کم و دمای بالا، به شدت تحت تأثیر قرار می‌گیرند (عبدالشاه‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۹؛ محمودی مه‌پاش و سوری، ۱۳۹۹).

وقوع خشک‌سالی در یک منطقه با تأمین آب در آن منطقه رابطه تنگاتنگی دارد. هرچه اقلیم منطقه خشک‌تر باشد، احتمال وقوع خشکی و خشک‌سالی بیشتر می‌شود و به تبع آن، رخداد پدیده گرد و غبار نیز محتمل‌تر است (شاکرسوره و اسدی، ۱۳۹۸). در سال‌های اخیر وقوع طوفان‌های گرد و غبار یکی از چالش‌هایی است که استان‌های جنوبی به‌خصوص استان خوزستان به‌طور جدی با آن روبرو است. آثار و پیامدهای ناشی از این مخاطره طبیعی آن‌چنان بخش کشاورزی استان را تحت تأثیر قرار داده که بسیاری از پیامدهای آن غیرقابل جبران می‌باشد و می‌تواند بخش کشاورزی را فلج کند. از جمله این پیامدها می‌توان به کاهش جذب نور توسط برگ‌ها، عدم تولید دانه، کاهش کیفیت رنگ میوه و ... اشاره نمود (شبانلی و خسروی‌پور، ۱۳۹۱). روش‌های گوناگونی برای ترکیب شاخص‌های خشک‌سالی، گرد و غبار و پوشش گیاهی وجود دارد. یکی از روش‌ها ترکیب شاخص‌ها با استفاده از روش‌های آمار چندمتغیره است. توابع کاپولا به عنوان ابزاری قدرتمند در تحلیل روابط بین متغیرها و بررسی تأثیر آن‌ها بر یکدیگر استفاده می‌شوند. با استفاده از توابع کاپولا می‌توان در تحلیل آماری چندمتغیره به سوالات مختلفی پاسخ داد. برای مثال، می‌توان با استفاده از این توابع رابطه بین فشار هوا، سرعت باد و غلظت گرد و غبار را بررسی کرد و تأثیر هر یک از این متغیرها را بر یکدیگر تحلیل کرد. واژه کاپولا به معنی اتصال و گره است و اولین بار در علم آمار ریاضی توسط اسکالر^۱ (۱۹۵۹)، به عنوان توابع متصل‌کننده توزیع حاشیه‌ای یک بعدی به منظور تشکیل توابع توزیع چند متغیره، معرفی شد. این توابع قادرند رابطه بین متغیرها را در حالت‌های خطی، غیرخطی و تقریباً همبسته و غیرهمبسته مدل کنند. از جمله مزایای این توابع می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

قابلیت استفاده از هر نوع توزیع حاشیه‌ای: توابع کاپولا قابلیت اتصال توزیع‌ها با هر نوع توزیع حاشیه‌ای را دارند. این به معنای عدم نیاز به فرض کردن توزیع خاصی برای متغیرهای حاشیه‌ای است و امکان استفاده از توزیع‌های پیچیده‌تر و واقع‌گرایانه‌تر را فراهم می‌کند. قابلیت مدل‌سازی روابط غیرخطی و پیچیده: توابع کاپولا قابلیت مدل‌سازی روابط غیرخطی و پیچیده بین متغیرها را دارند. این به معنای این است که می‌توانند تحلیل‌های دقیق‌تر و جامع‌تری از روابط بین متغیرها ارائه دهند و الگوهای پیچیده‌تر را تشخیص دهند. قابلیت استفاده در تحلیل آماری چندمتغیره: استفاده از توابع کاپولا در تحلیل آماری چندمتغیره به ما کمک می‌کند تا به صورت دقیق‌تر و جامع‌تر روابط بین متغیرها را درک کنیم. این توابع قادرند در تحلیل آماری چندمتغیره به سوالات مختلفی پاسخ دهند و عوامل مؤثر در روابط بین متغیرها را شناسایی کنند.

پایش یکپارچه و اثرگذاری پدیده‌های خشک‌سالی، گرد و غبار و پوشش گیاهی در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور از اهمیت به‌سزایی برخوردار است و یکی از چالش‌های زمان حاضر به شمار می‌رود. در مطالعات پیشین ارتباط متقابل این سه پدیده کمتر مورد بحث و بررسی قرار گرفته است اما در خصوص تأثیر توأم آن‌ها نتایجی ارائه نشده است. بنابراین مسئله اساسی و قابل بحث در این پژوهش این است که چگونه می‌توان رابطه بین خشک‌سالی و گرد و غبار را با ارائه یک شاخص ترکیبی از نظر پایش تغییرات پوشش گیاهی سنجد و در قالب یک عدد در هر واحد زمانی بیان نمود؟ پاسخ به این سوال اهمیت زیادی در تصمیم‌گیری برای تعیین وضعیت خشکی و اقلیم در یک منطقه و تأثیر آن بر عملکرد محصولات کشاورزی دارد. هدف این مطالعه نیز مدل‌سازی توأم خشک‌سالی و گرد و غبار و ارزیابی تأثیر توأم آن‌ها بر پوشش گیاهی در استان خوزستان به عنوان گرد و غبارخیزترین استان در کشور می‌باشد.

پیشینه پژوهش

مطالعات محدودی از دیدگاه‌های مختلف در همبست گرد و غبار و پوشش گیاهی و تأثیر توأم آن‌ها در سطح کشور انجام شده است و با توجه به جنبه‌ها و اثرات زیان‌بار پدیده‌های گرد و غبار و خشک‌سالی بر پوشش گیاهی، همواره نیاز به مطالعات متعدد در این خصوص وجود دارد. بروغنی و همکاران (۱۳۹۸)، به بررسی ارتباط بین تعداد وقوع گرد و غبار و خشک‌سالی اقلیمی در استان خراسان رضوی پرداختند. آن‌ها از شاخص SPI برای محاسبه خشک‌سالی استفاده کردند. داده‌های مربوط به بارش از سال (۲۰۲۰-۱۹۸۰) و داده‌های مربوط به گرد و غبار از سال (۲۰۱۰-۲۰۰۴) مورد تحلیل قرار گرفت. نتایج پهنه‌بندی تعداد وقوع گرد و غبار و خشک‌سالی حاکی از آن است که سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۰۵ به ترتیب بیشترین تعداد وقوع گرد و غبار و خشک‌سالی و کم‌ترین تعداد وقوع گرد و غبار و ترسالی در سطح استان حاکم بوده است. همچنین نتایج نشان می‌دهد که بین وقوع گرد و غبار و خشک‌سالی ارتباطی مستقیم وجود دارد و در سال‌هایی که شدت خشک‌سالی زیاد یا کم شده، بر تعداد وقوع گرد و غبار نیز افزوده یا از آن کاسته شده است. Namdari et al. (2018) نیز با بررسی تأثیر عوامل اقلیمی بر وقوع طوفان‌های گرد و غبار در منطقه خاورمیانه بیان نمودند که دمای هوای ماهانه در عربستان و عراق به ترتیب ۷۲ و ۶۴ درصد از تغییرات وقوع طوفان‌های گرد و غبار را کنترل می‌کند و بارش تأثیر مستقیم بر وقوع پدیده گرد و غبار نداشته است و اثرات جانبی کاهش بارش نظیر کاهش رطوبت خاک و میزان پوشش گیاهی را مؤثر می‌داند. An et al. (2018) دما و بارش را از عوامل مؤثر بر شدت و غلظت طوفان گرد و غبار بیان می‌کنند که با تأثیر بر عوامل سطح خاک نظیر پوشش گیاهی و رطوبت خاک در غرب آسیا بر طوفان‌های گرد و غبار تأثیر گذارند. انصاری قوجقار و همکاران (۱۳۹۹) به بررسی ارتباط فراوانی روزهای همراه با طوفان‌های گرد و غباری (FDSD) و شاخص بارش استاندارد شده SPI در غرب و جنوب‌غرب کشور با طول دوره آماری ۲۵ ساله در مقیاس فصلی پرداختند. نتایج نشان داد که از مجموع ۲۱ سری داده‌های فصلی؛ ۱۵ ایستگاه دارای همبستگی زیادی بین شاخص اقلیمی SPI و فراوانی روزهای همراه با طوفان گرد و غبار هستند. مصطفی‌زاده و ذبیحی (۱۳۹۵) به مقایسه الگوی وقوع خشک‌سالی در هفت ایستگاه استان کردستان پرداختند. نتایج تحلیل نشان داد که در الگوی وقوع دوره‌های ترسالی و خشک‌سالی SPI و SPEI تفاوت وجود دارد. شاخص SPEI قادر به شناسایی دوره‌های طولانی‌تر خشکی در اکثر ایستگاه‌ها است. براساس نتایج، ضریب‌های همبستگی بین ۰/۱۹ تا ۰/۵۲ در ایستگاه سنندج و معنی‌دار از نظر آماری (در سطح ۹۹ درصد)، متغیر هستند. تاج‌بخش و همکاران (۱۳۹۴) با استفاده از شاخص استاندارد شده تبخیر-تعرق، خشک‌سالی هواشناسی در ایران را در طول یک دوره یک‌ساله (چهار فصل) مورد ارزیابی قرار دادند و به نتیجه رسیدند که عامل تبخیر-تعرق نقش مؤثری در تغییر شدت خشک‌سالی (افزایش یا کاهش) دارد. ایشان استفاده از عامل تبخیر-تعرق را در کنار عامل بارش برای خشک‌سالی توصیه کردند. زارع ایبانه و همکاران (۱۳۹۴) از شاخص بارش-تبخیر و تعرق استاندارد شده (SPEI) برای تحلیل خشک‌سالی تحت شرایط تأثیر تغییر اقلیم استفاده کردند و نتیجه گرفتند که مزیت شاخص SPEI نسبت به SPI این است که این شاخص توانایی تشخیص اثر تغییر مقادیر تبخیر و تعرق و دما را در پیوند با گرمایش جهانی دارد. ناطقی و همکاران (۱۴۰۱) نیز در طی دوره مطالعه ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰، تأثیر پوشش گیاهی و ارتباط آن با وقوع عمق نوری هواویزهای (AOD) ناشی از وقایع گرد و غبار در استان هرمزگان را با استفاده از شاخص‌های پوشش گیاهی NDVI و SAVI، و متغیرهای اقلیمی، بررسی کردند. براساس نتایج تحلیل همبستگی، نشان داده شد که بین AOD و پوشش گیاهی ارتباط معناداری وجود دارد، به ویژه در سال‌هایی که میزان گرد و غبار افزایش یافته است. همچنین، نتایج نشان داد که در استان هرمزگان، شاخص NDVI با شاخص AOD همبستگی بالایی دارد، به علاوه نسبت به شاخص SAVI نیز همبستگی بالاتری دارد. همچنین، سال‌های ۲۰۰۴، ۲۰۱۵، ۲۰۱۸، ۲۰۰۹ و ۲۰۰۶، به ترتیب دارای بیشترین ضریب تعیین (R^2) بودند. در سال ۲۰۰۴، میزان ارتباط پوشش گیاهی با شاخص گرد و غبار به نسبت ۸۵ درصد، بیشترین ارتباط را داشته است. همچنین، در سال‌های ۲۰۱۵، ۲۰۱۸، ۲۰۰۹ و ۲۰۰۶ به ترتیب با میزان ارتباط برابر با ۵۷ درصد، ۵۶ درصد، ۵۳ درصد و ۵۰ درصد نیز ارتباط معنی‌داری وجود داشته است. در مطالعه‌ای برای دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰، تغییرات پوشش گیاهی در فلات مغولستان با استفاده از شاخص بلندمت NDVI بررسی شد. نتایج نشان داد که در دهه گذشته، پوشش گیاهی کاهش یافته است، که این کاهش اساساً به دلیل آب و هوای گرم‌تر و خشک‌تر و تنش خشکی در سال‌های اخیر بوده است. همچنین نتایج نشان داد که نظارت بر تنش‌های اقلیم مثل بارش و تغییرات پوشش گیاهی برای بالا بردن آگاهی مدیران از خطرات آن و انجام ارزیابی ریسک برای بلایای خشک‌سالی و سایر بلایای طبیعی مرتبط مهم خواهد بود (Bao et al., 2014).

Ziqiang & Quanxi (2007)، با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و شاخص NDVI، وقایع طوفان‌های گرد و غبار و خصوصیات سطح زمین را مورد مطالعه قرار دادند. ارتباط معناداری بین وقایع طوفان‌های گرد و غبار و پارامترهای اتمسفری دیگر مانند بارندگی و دما

مشاهده کردند و خصوصیات پوشش سطح زمین را در رخدادهای طوفان‌های گرد و غبار اثرگذار معرفی کردند. در تحقیقات دیگری مانند تغییرات پوشش گیاهی و شاخص خشکسالی (ابراهیم‌زاده و همکاران، ۱۳۹۲)، تولید شاخص خشکسالی کامپوزیت (Bijaber et al., 2018)، ارزیابی خشکسالی با استفاده از NDVI و شاخص‌های تبخیر تعرق (Li et al., 2018) و مقاومت مراتع به خشکسالی (Zhang et al., 2017) نیز از شاخص‌های اقلیمی و ماهواره‌ای استفاده شده است. Zhang et al. (2013) برای بررسی خشکسالی در منطقه شمال چین، از شاخص‌های PCI، SMCI، TCI، VCI، PSMCI، PTCI، SMTCI و MIDI که از داده‌های ماهواره‌ای MODIS، TRMM و AQUA به دست آمده، استفاده کردند. این شاخص‌ها با شاخص‌های آماری SPI مورد مقایسه قرار گرفتند. نتایج نشان داد که شاخص MIDI بهترین عملکرد را در اندازه‌گیری خشکسالی از راه دور ارائه می‌دهد. همچنین، این شاخص بیشترین همبستگی را با SPI یک‌ماهه دارد و با افزایش مقیاس زمانی، همبستگی کاهش می‌یابد.

روش‌شناسی پژوهش

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه استان خوزستان می‌باشد که با مساحت ۶۴۷۶۴ کیلومتر مربع، بین ۴۷ درجه و ۴۱ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳۹ دقیقه طول شرقی و ۲۹ درجه و ۵۸ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۴ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. این منطقه دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک می‌باشد. در انتخاب ایستگاه‌ها، دو ویژگی مهم در نظر گرفته شد. ۱- پراکندگی مناسب ایستگاه‌ها در منطقه مورد مطالعه بود و ۲- وجود سری‌های زمانی بلندمدت اطلاعات مورد نیاز بود. در این پژوهش، از پنج ایستگاه سینوپتیک برای استخراج اطلاعات هواشناسی استفاده گردید. همچنین از تصاویر ماهواره‌ای نیز برای پایش پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه استفاده شد. جدول ۱ نیز نام و موقعیت ایستگاه‌های منتخب در استان خوزستان را نشان می‌دهد.

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه

شماره ایستگاه	نام ایستگاه	ارتفاع از سطح دریا (m)	طول جغرافیایی (°E)	عرض جغرافیایی (°N)
۱	اهواز	۲۲/۵	۴۸° ۷۴'	۳۱° ۳۴'
۲	بندر ماهشهر	۶/۲	۴۹° ۱۶'	۳۰° ۵۵'
۳	بستان	۷/۸	۴۸° ۰۱'	۳۱° ۷۱'
۴	مسجد سلیمان	۳۲۰/۵	۴۹° ۲۴'	۳۱° ۹۸'
۵	صفی آباد	۸۲/۹	۴۸° ۴۳'	۳۳° ۲۵'

اطلاعات هواشناسی و ماهواره‌ای

برای انجام پژوهش حاضر، از داده‌های ساعتی قدرت دید افقی، کدهای سازمان جهانی هواشناسی، و داده‌های بارش، دمای حداقل، دمای حداکثر، ساعات آفتابی، رطوبت نسبی، و سرعت باد در بازه زمانی روزانه استفاده شد. این داده‌ها برای پنج ایستگاه هواشناسی در استان خوزستان با دوره آماری ۳۰ سال (۱۹۹۰-۲۰۱۹) مورد استفاده قرار گرفتند. مشاهدات پدیده‌های هواشناسی به فاصله سه ساعت یک‌بار در طول شبانه‌روز ثبت می‌شوند. در این مشاهدات، پدیده‌های بصری آب و هوا بر اساس دستورالعمل سازمان جهانی هواشناسی، با استفاده از ۱۰۰ کد (۹۹-۰۰) تعریف شده، در ایستگاه‌های هواشناسی گزارش می‌شوند. در این گزارش‌ها، برای ثبت و گزارش پدیده گرد و غبار، از ۱۱ کد مختلف استفاده می‌شود (O'Loingsigh., 2014). کدهای مربوط به طوفان‌های گرد و غبار در جدول ۲ آورده شده است. اگر در یکی از هشت سینوپ (گزارش‌های سه‌ساعته دیده‌بانی)، حداقل یکی از کدهای مربوط به گرد و غبار (۰۶، ۰۷، ۰۸، ۰۹، ۳۰ تا ۳۵ و ۹۸) در بخش هوای حاضر گزارش شود، طبق تعریف سازمان جهانی هواشناسی، آن روز به عنوان روزی که همراه با طوفان‌های گرد و غبار است شناخته می‌شود. اما شرط مورد نیاز برای ثبت این روز، وجود داده‌های قدرت دید افقی متناظر با کد گرد و غبار کمتر از ۱۰۰۰ متر است (Goudie & Middleton., 2006; Gao et al., 2012; Oluleye & Ojo, 2020; ذوالفقاری و عابدزاده، ۱۳۸۴).



جدول ۲. کدهای مرتبط با پدیده‌های گرد و غبار سازمان جهانی هواشناسی (O'Loingsigh., 2014)

توضیح	کد
رخداد طوفان گرد و غبار گسترده در خارج از ایستگاه هواشناسی	۰۶
خاک یا شن برخاسته از زمین در محدوده ایستگاه هواشناسی	۰۷
مشاهده گردباد در محدوده ایستگاه هواشناسی یا خارج از آن در زمان دیدبانی یا طی ساعت گذشته	۰۸
طوفان شن یا ریزگرد در زمان دیدبانی در خارج از ایستگاه یا طی ساعت گذشته در محدوده ایستگاه هواشناسی	۰۹
طوفان خفیف یا متوسط شن یا خاک با روند کاهشی طی ساعت گذشته و با سرعت باد ۱۵ متر بر ثانیه یا بیشتر، همراه با کاهش میدان دید به کمتر از ۱۰۰۰ اما بیشتر از ۲۰۰ متر	۳۰
طوفان خفیف یا متوسط شن یا خاک بی تغییر شدت طی ساعت گذشته و با سرعت باد ۱۵ متر بر ثانیه یا بیشتر و کاهش میدان دید به کمتر از ۱۰۰۰ ولی بیش از ۲۰۰ متر	۳۱
طوفان خفیف یا متوسط شن یا خاک با افزایش شدت طی ساعت گذشته و با سرعت باد ۱۵ متر بر ثانیه یا بیشتر همراه با کاهش میدان دید به کمتر از ۱۰۰۰ اما بیشتر از ۲۰۰ متر	۳۲
طوفان شدید شن یا خاک همراه با روند کاهشی طی ساعت گذشته و با سرعت باد ۱۵ متر بر ثانیه یا بیشتر و کاهش دید کمتر از ۲۰۰ متر	۳۳
طوفان شدید شن یا خاک بی تغییر شدت طی ساعت گذشته و با سرعت باد ۱۵ متر بر ثانیه یا بیشتر همراه با کاهش دید به کمتر از ۲۰۰ متر	۳۴
طوفان شدید شن یا خاک با افزایش شدت طی ساعت گذشته و با سرعت باد ۱۵ متر بر ثانیه یا بیشتر و کاهش دید به کمتر از ۲۰۰ متر	۳۵
رعدوبرق بدون بارش همراه با طوفان شن یا خاک (هبوب)	۹۸

همچنین به منظور بررسی تغییرات شاخص پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه، از تصاویر ماهواره‌ای Landsat مربوط به سنجنده‌های TM، ETM+ و OLI مستخرج از سایت سازمان زمین‌شناسی (USGS)، استفاده شده است. در جدول ۳ مشخصات مربوط به هر سنجنده آورده شده است. بر این اساس، ابتدا در هر ماه تصاویر مناسب طی سال‌های سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۹ اخذ شد (هر ماه دو تصویر) و میانگین ماهانه استخراج گردید.

جدول ۳. مشخصات مربوط به سنجنده‌های مورد استفاده در مطالعه

باند پوشش گیاهی	سنجنده	ماهواره	ردیف
۳ و ۴	TM	L5	۱
۳ و ۴	ETM+	L7	۲
۴ و ۵	OLI	L8	۳

بعد از بررسی و کنترل کیفیت آمار ایستگاه‌ها و رفع نواقص آماری، همگنی داده‌ها با استفاده از آزمون پتیت ارزیابی، و تصادفی بودن داده‌ها با سطح اطمینان ۹۵ درصد تأیید شد.

بررسی همبستگی

ضریب همبستگی اسپیرمن

این ضریب در اوایل دهه ۱۹۰۰ توسط چارلز اسپیرمن^۱ ابداع گردید. ضریب همبستگی اسپیرمن (نمادگذاری شده با ρ) همواره بین +۱ و -۱ در محدوده نوسان قرار دارد و از نظر سطح سنجش، ترتیبی و از نوع مقارن است (Shong Chok, 2010). رابطه ۱، نشان‌دهنده ضریب همبستگی اسپیرمن است.

$$\rho = 1 - \frac{6(\sum d_i^2)}{n(n^2 - 1)} \quad \text{رابطه ۱}$$

که در آن ρ نمایانگر ضریب همبستگی اسپیرمن، n تعداد مشاهدات و $\sum d_i^2$ مجموع مجذور تفاوت دو رتبه است. در آزمون ضریب همبستگی اسپیرمن، آماره t براساس رابطه زیر محاسبه می‌شود و سپس با مقدار t جدول با درجه آزادی $n-2$ مقایسه می‌شود تا تصمیم‌گیری صورت گیرد (Press & Teukolsky., 1992).

$$t = \frac{\rho \sqrt{n-2}}{\sqrt{1-\rho^2}} \quad \text{رابطه ۲}$$

ضریب همبستگی پیرسون

کارل پیرسون^۱ (۱۸۹۷) فردی بود که روش محاسبه همبستگی را به صورت فرمولی بیان کرد. این روش در مواردی که مقیاس اندازه‌گیری داده‌ها فاصله‌ای یا نسبی باشد، کاربرد دارد. با استفاده از فرمول زیر، می‌توان ضریب همبستگی را محاسبه کرد.

$$r_{xy} = \frac{n \sum xy - \sum x \cdot \sum y}{\sqrt{[n \sum x^2 - (\sum x)^2][n \sum y^2 - (\sum y)^2]}} = \frac{cov(x,y)}{\sigma_x \sigma_y} \quad \text{رابطه ۳}$$

در فرمول، کواریانس بین x و y نمایانگر شیب خط رگرسیون است و در مخرج آن، ضرب دو انحراف معیار x و y قرار دارد. ضریب همبستگی متغیر است و در بازه -1 تا $+1$ قرار می‌گیرد. بنابراین، علامت ضریب همبستگی جهت و مقدار آن، شدت ضریب همبستگی را مشخص می‌کند.

پایش خشکسالی

شاخص بارش استاندارد (SPI)

یکی از روش‌های تعیین خشکسالی، شاخص بارش استاندارد شده است که توسط McKee et al. (1993) و با هدف پایش خشکسالی در ایالت کلرادو ارائه شد. این شاخص به دلیل سادگی در محاسبات، استفاده از داده‌های قابل دسترس بارندگی، قابلیت محاسبه برای هر مقیاس زمانی و هر نوع شرایط آب‌وهوایی به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص شناخته می‌شود. شاخص مذکور برای محاسبه خشکسالی در مقیاس‌های کوتاه‌مدت (۱، ۳ و ۶ ماهه) و بلندمدت (۱۲، ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ماهه) و بر مبنای داده‌های بارش که همبستگی بالایی نسبت به هم دارند استوار است. به‌منظور تفسیر و بررسی نتایج حاصل از این محاسبه جدولی ارائه شده که در آن مقادیر مثبت نشان‌دهنده بارندگی بیش از بارش متوسط و مقادیر منفی عکس آن است. با استفاده از این روش، خشکسالی زمانی رخ می‌دهد که شاخص SPI به صورت مستمر منفی شود و به مقدار -1 یا کمتر برسد و زمانی که شاخص SPI مثبت شود؛ خشکسالی به پایان می‌رسد. مدت زمان خشکسالی با توجه به شروع و پایان ارقام منفی شاخص SPI تعیین می‌شود و مقادیر تجمعی این شاخص نیز بزرگی و شدت دوره خشکسالی را نشان می‌دهد. شاخص SPI با استفاده از رابطه ۴ محاسبه می‌شود.

$$SPI = \frac{P_i - \bar{P}}{S} \quad \text{رابطه ۴}$$

که در آن، P_i مقدار بارش در دوره مدنظر، \bar{P} میانگین درازمدت بارش در دوره موردنظر و S انحراف معیار مقادیر بارش در دوره موردنظر می‌باشد. البته باید توجه شود که SPI توزیع نرمال را برای بارش در نظر نمی‌گیرد. چون بارندگی اغلب از توزیع نرمال پیروی نمی‌کند، لذا باید قانون احتمالی حاکم بر آن را پس از مشخص کردن به نرمال استاندارد تبدیل کرد (McKee et al., 1993). در جدول ۴، حد آستانه‌های طبقات و شدت خشکسالی برای شاخص SPI آمده است.

جدول ۴. طبقه‌بندی شدت خشکسالی (SPI) (McKee et al., 1993)

ردیف	شدت	مقدار شاخص SPI
۱	مرطوب شدید	بزرگتر یا مساوی ۲
۲	مرطوب متوسط	۱/۵ تا ۱/۹۹
۳	کمی مرطوب	۱ تا ۱/۴۹
۴	نرمال	-۰/۹۹ تا +۰/۹۹
۵	خشکی ضعیف	-۱/۴۹ تا -۱
۶	خشکی متوسط	-۱/۹۹ تا -۱/۵
۷	خشکی شدید	کوچکتر یا مساوی -۲

شاخص بارش-تبخیر و تعرق پتانسیل استاندارد (SPEI)

در این مطالعه، به منظور تحلیل همزمان و مناسب نوسانات اقلیمی، شاخص خشکسالی اقلیمی بارش-تبخیر و تعرق پتانسیل استاندارد (SPEI) در پنجره‌های زمانی ماهانه، فصلی، شش ماهه و ۱۲ ماهه محاسبه شد.

شاخص بارش-تبخیر و تعرق پتانسیل استاندارد (SPEI)، که توسط Vicente-serrano et al. (2010) ارائه شده است؛ به عنوان



یک شاخص اقلیمی معرفی شده است. این شاخص براساس محاسبه ترازمندی آب اقلیمی^۱ تعریف شده است و برای محاسبه آن، نیازمند داده‌های ماهانه بارش و دما می‌باشد. معادله ترازمندی آب اقلیمی به صورت زیر تعریف شده است:

$$D_i = P_i - PET_i \quad \text{رابطه ۵}$$

در این معادله، به ترتیب به بارندگی (P) و تبخیر تعرق پتانسیل (PET) اشاره شده است. همچنین، D به عنوان اختلاف بین این دو پارامتر و i به عنوان شماره ماه مورد نظر است. برای محاسبه PET، معادلات مختلفی وجود دارد و استفاده از هر کدام از این معادلات محدودیتی در SPEI ایجاد نمی‌کند. در این مطالعه شاخص SPEI با سه روش تورنت‌وایت، پنمن-مانیت و هارگریوز سامانی محاسبه شده است. پس از محاسبه مقادیر D، برای محاسبه SPEI از روشی مشابه با شاخص بارش استاندارد (SPI) استفاده می‌شود. در این روش، ابتدا مجموع مقادیر متوالی سری D در پنجره‌های زمانی مختلف محاسبه می‌شود. در صورتی که X سری تجمعی D در یک پنجره زمانی مشخص باشد، در مرحله بعد یک توزیع نرمال مناسب بر روی سری X برازش داده می‌شود.

براساس بررسی‌های انجام شده توسط Vicente-Serrano et al. (2010) توزیع لوگ-لوژیستیک^۲ سه پارامتری در مدل‌سازی سری X عملکرد مناسبی دارد. با استفاده از روش تقریب، می‌توان معادله تبدیل‌کننده توزیع لوگ-لوژیستیک به توزیع نرمال استاندارد (معادله SPEI) را به صورت زیر بیان کرد:

$$SPEI = W - \frac{C_0 - C_1 W + C_2 W^2}{1 + d_1 W - d_2 W^2 + d_3 W^3} \quad \text{رابطه ۶}$$

$$W = \sqrt{-2 \ln(p)} \quad \text{for } p \leq 0.5 \quad \text{رابطه ۷}$$

اگر $p = I - F(x)$ و $P > 0.5$ باشد، $1 - P$ جایگزین P در معادله فوق می‌شود. در این شاخص، هرچه پنجره زمانی کوتاه‌تر در نظر گرفته شود، تغییرات بارندگی و دمای ماهانه سریع‌تر واکنش نشان داده و نوسانات خشک‌سالی را بهتر نمایش می‌دهند. در این مطالعه، از شاخص SPEI به دلیل تمایز بهتر دوره‌های نرمال، ترسالی و خشک‌سالی در دوره آماری (۱۹۹۰-۲۰۱۹) برای پنج ایستگاه سینوپتیک استان خوزستان، استفاده شده است. دوره خشک‌سالی هنگامی رخ می‌دهد که SPEI به‌طور پیوسته منفی و به مقدار -۱ یا کمتر برسد و هنگامی پایان می‌یابد که SPEI مثبت گردد (Bazrafshan & Khalili, 2013). کلاس‌های رطوبتی برای شاخص SPEI در جدول ۵ ارائه شده است.

جدول ۵. طبقه‌بندی خشک‌سالی براساس شاخص SPEI (McKee et al., 1993)

SPEI شاخص	طبقه‌بندی خشک‌سالی
$2SPEI \geq$	ترسالی بسیار شدید
$1/99 \leq SPEI \leq 1/5$	ترسالی شدید
$1/49 \leq SPEI \leq 1$	ترسالی متوسط
$0/99 \leq SPEI \leq 0/99-$	نزدیک به نرمال
$1/49 \leq SPEI \leq -1-$	خشک‌سالی متوسط
$1/99 \leq SPEI \leq -1/5-$	خشک‌سالی شدید
$2SPEI \leq -$	خشک‌سالی بسیار شدید

شاخص نرمال‌شده اختلاف پوشش گیاهی^۳ (NDVI)

شاخص NDVI، شاخصی پایه جهت تعیین سایر متغیرهای پوشش گیاهی می‌باشد که مزایای آن نسبت به سایر شاخص‌ها این است که شاخص تفاضل بین بیشینه جذب در ناحیه قرمز ناشی از رنگدانه‌های کلروفیل و حداکثر بازتاب در ناحیه مادون قرمز ناشی از ساختار سلولی برگ را مشخص می‌کند (علوی‌پناه، ۱۳۹۱). شاخص NDVI بیشترین حساسیت را به تغییرات پوشش گیاهی داشته و در مقابل اثرات جوی و زمینه خاک، به‌جز در مواردی که پوشش گیاهی کم باشد، حساسیت کمتری دارد (Kogan, 1993). این شاخص بر اساس رابطه ۸ محاسبه می‌شود.

$$NDVI = \frac{R_{NIR} - R_{RED}}{R_{NIR} + R_{RED}} \quad \text{رابطه ۸}$$

1. Climatic Water Balance
2. Log-Logistic
3. Normalized Difference Vegetation Index

که در این معادله R_{NIR} بازتاب در ناحیه مادون قرمز نزدیک و R_{RED} بازتاب در ناحیه قرمز است. اگرچه از دیدگاه نظری مقدار این شاخص در محدوده ۱- و ۱+ است ولی در عمل کمتر از ۱ و بیشتر از ۱- است.

برای به دست آوردن تصاویر شاخص پوشش گیاهی NDVI طی دوره آماری (۲۰۱۹-۱۹۹۰) و به صورت ماهانه، در محیط موتور گوگل ارث انجین کدنویسی شد. تمام تصاویر ماهواره‌ای، از سنجنده‌های لندست ۵، ۷ و ۸ در بازه زمانی ۳۰ ساله یاد شده استخراج گردید. برای محاسبه شاخص NDVI سنجنده TM و ETM+، از باند سه (قرمز) (۰/۶۳-۰/۶۹ میکرومتر) و باند چهار (مادون قرمز نزدیک) (۰/۷۶-۰/۹ میکرومتر) و در سنجنده OLI از باندهای چهار (۰/۶۴-۰/۶۷) و باند پنج (۰/۸۵-۰/۸۸) استفاده شد. پس از آنکه شاخص پوشش گیاهی محاسبه و نقشه‌های مربوطه تهیه شد، سری زمانی آن در استان خوزستان تشکیل گردید و سپس به بررسی همبستگی و ارتباط شاخص پوشش گیاهی و شاخص‌های خشک‌سالی و گرد و غبار با استفاده از ضرایب اسپیرمن، پیرسون و توابع کاپولا پرداخته شد.

تابع کاپولا

به طور کلی، توابع کاپولا یک روش ریاضی انعطاف‌پذیر است که مجموعه‌ای از توابع احتمال تجمعی حاشیه‌ای تک متغیره را به یکدیگر متصل و یک تابع احتمال تجمعی چند متغیره را تولید می‌کند. توابع کاپولا در واقع بر اساس ارتباط و وابستگی بین متغیرها قرار دارند. این توابع قادرند توابع توزیع چندمتغیره را به توابع توزیع حاشیه‌ای یک بعدی آن‌ها متصل کنند و در عین حال حاشیه‌های یک بعدی یکنواختی در بازه [۰،۱] داشته باشند. یکی از ویژگی‌های مهم توابع کاپولا، توانایی ترکیب هر شکلی از توابع توزیع تجمعی حاشیه‌ای است. برای ساختن یک تابع توزیع تجمعی چندمتغیره، می‌توان توابع توزیع تجمعی حاشیه‌ای را به‌طور مستقل از هم انتخاب کرد و نیازی به تبعیت از یک توزیع خاص نیست. توابع کاپولا قادرند تغییرات همبستگی متغیرها در بخش‌های مختلف توزیع احتمال چندمتغیره را توصیف کنند، که این ویژگی در سایر روش‌های مشابه دیده نمی‌شود. با استناد به قضیه اسکلار، فرض کنید X_1, X_2, \dots, X_n متغیر تصادفی باشند و $F(x_1, x_2, \dots, x_n)$ تابع توزیع n -متغیره متناظر با آن‌ها باشد. اگر $F_1(x_1), F_2(x_2), \dots, F_n(x_n)$ توابع حاشیه‌ای متناظر با X_1, X_2, \dots, X_n باشند، در این صورت یک تابع همبندی وجود دارد به گونه‌ای که $F(x_1, x_2, \dots, x_n) = C(F_1(x_1), F_2(x_2), \dots, F_n(x_n))$ که در آن C تابع کاپولا را نمایش می‌دهد. اگر توابع حاشیه‌ای پیوسته باشند، یک تابع کاپولا منحصر به فرد وجود دارد که به صورت زیر تعریف می‌شود (Sklar, 1959).

$$C(u_1, u_2, \dots, u_n) = F(F^{-1}(u_1), F^{-1}(u_2), \dots, F^{-1}(u_n)) \quad \text{رابطه ۹}$$

که در آن $F^{-1}(u_1), F^{-1}(u_2), \dots, F^{-1}(u_n)$ توابع توزیع در مقابل تابع حاشیه‌ای است.

هر تابع کاپولا باید در فضای خالی بین دو حد بالا (C_U) و پایین (C_L) تابع کاپولا فرشت-هولفدینگ^۱ قرار گیرد. این حدود به صورت تابع زیر می‌باشند.

$$C_U(u_1, u_2, \dots, u_n) = \min(u_1, u_2, \dots, u_n) \quad \text{رابطه ۱۰}$$

$$C_U(u_1, u_2, \dots, u_n) = \max(0, u_1 + u_2 + \dots + u_n - n) \quad \text{رابطه ۱۱}$$

فرم کلی تابع کاپولا تجربی n بعدی به صورت زیر است:

$$C_n(u_1, u_2, \dots, u_n) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I\left(\frac{R_{i1}}{n+1} \leq u_1, \frac{R_{i2}}{n+1} \leq u_2, \dots, \frac{R_{in}}{n+1} \leq u_n\right) \quad \text{رابطه ۱۲}$$

که در آن n ، تعداد داده‌ها؛ R_{in} ، رتبه داده مشاهده شده در سری i ام داده‌ها؛ u_i ، احتمال حاشیه‌ای بعد i ام به‌ازای

$n, 1, 2, 3, \dots$ است. محاسبه شاخص‌های ترکیبی دو متغیره بر اساس شاخص تابع کاپولا تجربی به‌صورت زیر تعریف می‌شود.

$$C_2(u_1, u_2) = \phi^{-1}(K_C(C_u)) \quad \text{رابطه ۱۳}$$

در این مطالعه ابتدا کوپل دو متغیره خشک‌سالی و گرد و غبار برآورد شده است و سپس نتایج آن با شاخص پوشش گیاهی همبست

گردیده است.

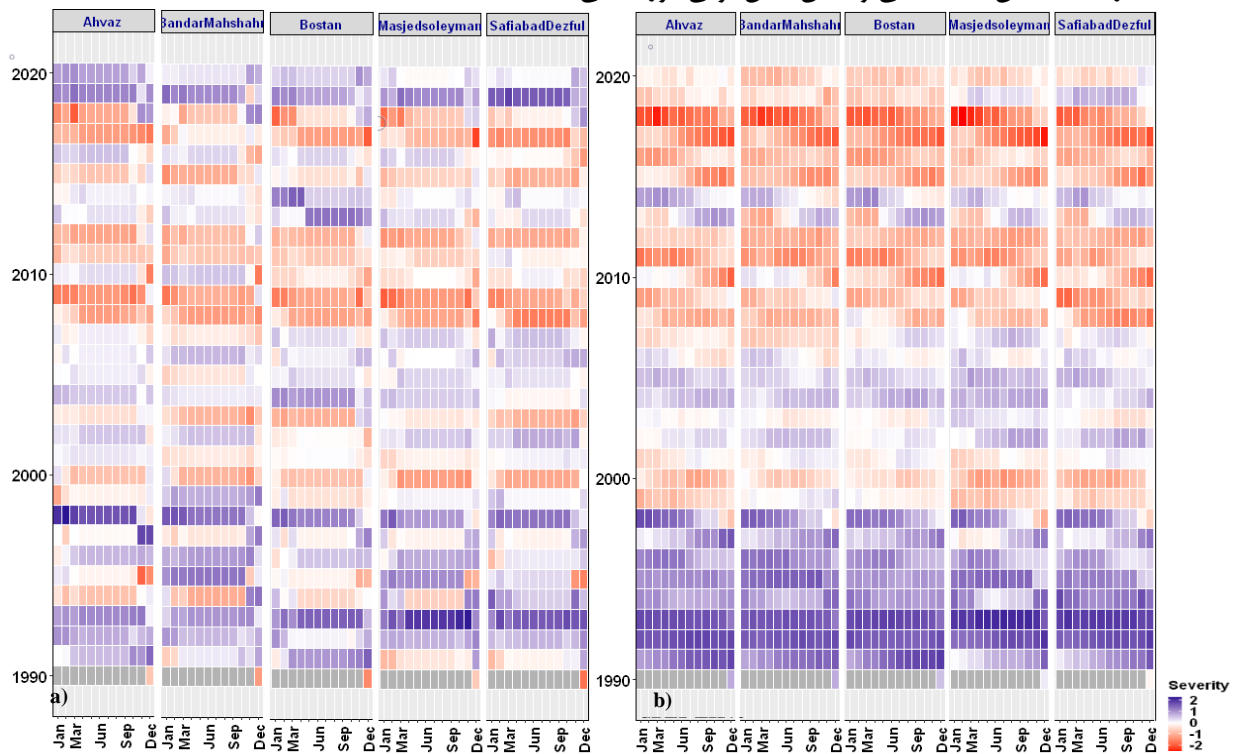
نتایج و بحث

پایش خشک‌سالی هواشناسی

شاخص خشک‌سالی هواشناسی SPI مبتنی بر داده بارش و شاخص خشک‌سالی SPEI مبتنی بر داده‌های بارش و تبخیر و تعرق در

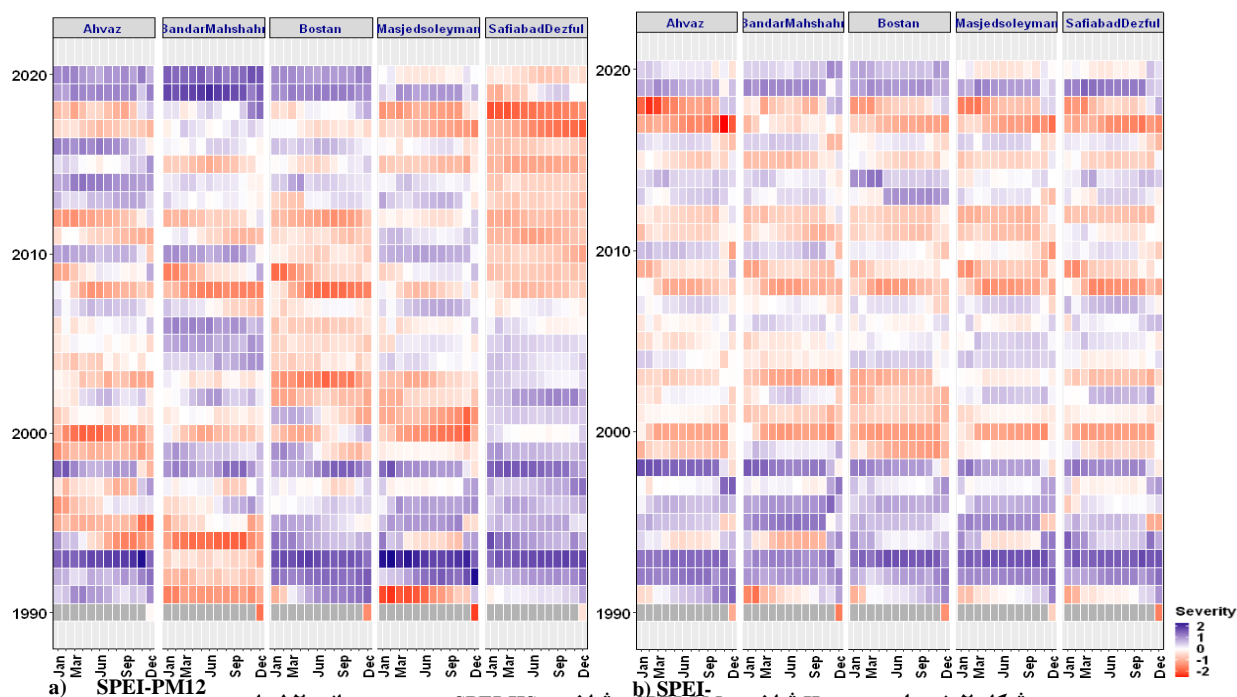
پنجره‌های زمانی ۱، ۳، ۶ و ۱۲ ماهه محاسبه شدند. مقادیر تبخیر و تعرق ماهانه برای محاسبه شاخص خشک‌سالی هواشناسی SPEI با روش تورنت وایت، هارگریوز سامانی و پنمن-مانتیت برآورد شده است. شکل ۱-الف پایش خشک‌سالی هواشناسی SPI را در هر پنج ایستگاه سینوپتیک مورد مطالعه و در پنجره زمانی ۱۲ ماهه نشان می‌دهد. طبق شاخص SPI از سال ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۳ و ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۲ خشک‌سالی‌های شدیدی در سطح استان رخ داده است. خصوصاً در سال ۲۰۰۸ خشک‌سالی شدیدی در اکثر ایستگاه‌ها مشاهده می‌شود که تأثیرات منفی زیادی را بر خاک منطقه و همچنین ایجاد کانون‌های تشکیل فرسایش بادی در منطقه و باعث تشدید گرد و غبار در همین سال‌ها شده است. شکل ۳ نیز گواه بر این صحبت است. به‌نحوی که در سال‌های ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۱ و سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۲ فراوانی روزهای همراه با طوفان‌های گرد و غبار در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه استان خوزستان افزایش یافته است و گرد و غبار شدیدی در سطح استان مشاهده می‌شود. همانگونه که در شکل ۱-الف مشاهده می‌شود، در اکثر ایستگاه‌ها در فاصله سال‌های ۱۹۹۰ تا ۱۹۹۸ و ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۰ وقوع ترسالی‌ها، بیشتر از خشک‌سالی‌ها اتفاق افتاده است. همچنین بررسی تغییرات زمانی شاخص خشک‌سالی SPI در ایستگاه‌های مورد بررسی نشان می‌دهد که اکثر ایستگاه‌ها از الگوی تقریباً یکسانی تبعیت می‌کنند. نتایج این قسمت با مطالعات مصطفی‌زاده و ذبیحی (۱۳۹۵) که به بررسی وقوع خشک‌سالی در استان کردستان با استفاده از شاخص‌های SPI و SPEI پرداختند، مطابقت دارد.

نتایج محاسبه شاخص SPEI نیز در شکل‌های ۱-ب، ۲-الف و ۲-ب با نمودار Heatmap و برآورد شده با سه روش تورنت وایت، پنمن-مانتیت و هارگریوز سامانی ارائه شده است که شکل‌های ۱-الف و ۲-ب خشک‌سالی‌های شدیدتری را در برخی از سال‌ها نشان می‌دهند. در ایستگاه‌های اهواز و بندرماهشهر تغییرات دوره‌ای خشک‌سالی قابل تشخیص است؛ به‌نحوی که به‌صورت متناوب سال‌های خشک و مرطوب تکرار شده است. شاخص SPEI-TH^۱ نسبت به شاخص‌های دیگر شدت خشک‌سالی را در سال‌های مورد مطالعه بیشتر در معرض نمایش قرار می‌دهد؛ به طوری که در ایستگاه‌های مورد مطالعه با استفاده از این شاخص، نمودار Heatmap مربوطه خشک‌تر می‌باشد. با در نظر گرفتن تأثیر عامل دما در تعیین خشک‌سالی و استفاده از شاخص SPEI به‌علاوه تأثیرات متقابل بین بارش و دما، می‌توان نتیجه گرفت که شدت خشک‌سالی در حال افزایش است. به عبارت دیگر، علاوه بر کاهش بارش در منطقه مورد مطالعه، افزایش دما نیز به وقوع پدیده خشک‌سالی کمک بیشتری کرده است. نتایج این بخش همسو با نتایج مطالعات تاج‌بخش و همکاران (۱۳۹۴) و زارع ایبانه و همکاران (۱۳۹۴) است که در آن از سایر عوامل اقلیمی علاوه بر بارش در تعیین خشک‌سالی استفاده شده است. بنابراین، نتایج شاخص SPEI-TH قادر به تشخیص خشک‌سالی و تعیین دقیق توالی دوره‌ها می‌باشد.



شکل ۱. نمودار Heatmap شاخص SPI و شاخص SPEI-TH در پنجره زمانی ۱۲ ماهه

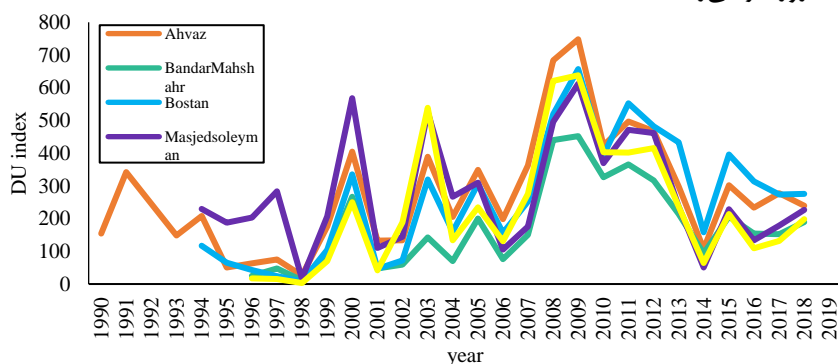
نتایج این بخش با نتایج مطالعه Vicente-Serrano et al. (2010) درباره توانایی شاخص SPEI در تعیین دقیق توالی و نوسانات خشکسالی نسبت به شاخص SPI همخوانی دارد. همچنین، نتایج نشان می‌دهد که تغییرپذیری شدت خشکسالی و ترسالی بر اساس شاخص‌های SPEI-PM¹ و SPEI-TH در منطقه مورد مطالعه نسبت به شاخص‌های SPI و SPEI-HS² بیشتر است. همچنین بیشترین تعداد واقعه‌های خشکسالی، به‌ویژه خشکسالی شدید/خیلی شدید با شاخص SPEI-TH مشخص شده است که این بیانگر مشارکت مؤثر تبخیر و تعرق در پایش خشکسالی‌ها است.



شکل ۲. نمودار Heatmap شاخص SPEI-PM و شاخص SPEI-HS در پنجره زمانی ۱۲ ماهه

پایش طوفان‌های گرد و غبار

بعد از انتخاب ایستگاه‌های هواشناسی و بررسی داده‌ها در یک بازه زمانی ۳۰ ساله (۱۹۹۰ تا ۲۰۱۹)، تعداد روزهایی که همراه با طوفان گرد و غبار بودند (با استفاده از متغیر DU^3) برای پنج ایستگاه هواشناسی با استفاده از داده‌های دید افقی و کدهای سازمان هواشناسی محاسبه شد. شکل ۳ نمایش فراوانی روزهای همراه با طوفان‌های گرد و غبار را در هر ایستگاه طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۹ نشان می‌دهد. فراوانی روزهای همراه با طوفان‌های گرد و غبار (متغیر DU) در استان خوزستان در تمامی ایستگاه‌ها دارای روند افزایشی است. به‌نحوی که در تمامی ایستگاه‌ها از سال ۲۰۰۰ به بعد شاهد افزایش چشم‌گیر فراوانی روزهای همراه با طوفان‌های گرد و غبار هستیم و در برخی از ایستگاه‌ها مقدار شاخص به ۸۰۰ روز نیز می‌رسد.

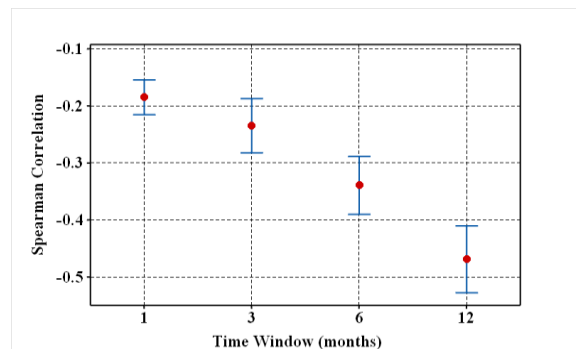


شکل ۳. فراوانی روزهای همراه با طوفان‌های گرد و غبار در ایستگاه‌های واقع در استان خوزستان (۱۹۹۰-۲۰۱۹)

1. SPEI index using the Penman-Monteith method.
 2. SPEI index using the Hargreaves-Samani method.
 3. frequency variables of dust storms

همبستگی بین شاخص گرد و غبار و شاخص‌های خشک‌سالی

با توجه به شکل ۴ می‌توان استنباط کرد که با افزایش پنجره زمانی شاخص‌های خشک‌سالی، میزان همبستگی بین شاخص‌های گرد و غبار و خشک‌سالی به طور قابل توجهی افزایش پیدا می‌کند که علت این موضوع را می‌توان در تأثیر طوفان‌های گرد و غبار فصل‌ها و سال‌های گذشته در شکل‌گیری طوفان‌های گرد و غبار آبی که دلیلی بر بلندمدت بودن بررسی و تحلیل پدیده طوفان‌های گرد و غبار است، جستجو کرد. به عبارت دیگر همبست دو پدیده بلند مدت با همبستگی بالایی مواجه است که این موضوع با مطالعات عراقی نژاد و همکاران (۱۳۹۷) و انصاری قوجقار و همکاران (۱۳۹۹) مطابقت دارد. با توجه به اینکه هدف از این بخش همبست خروجی حاصل از بررسی همبستگی شاخص‌های گرد و غبار-خشک‌سالی و همچنین شاخص پوشش گیاهی می‌باشد؛ لذا ابتدا نتیجه ارزیابی شاخص‌های DU و خشک‌سالی را در پنجره زمانی ۱۲ ماهه محاسبه و سپس خروجی حاصل از آن را با شاخص NDVI همبست گردید.



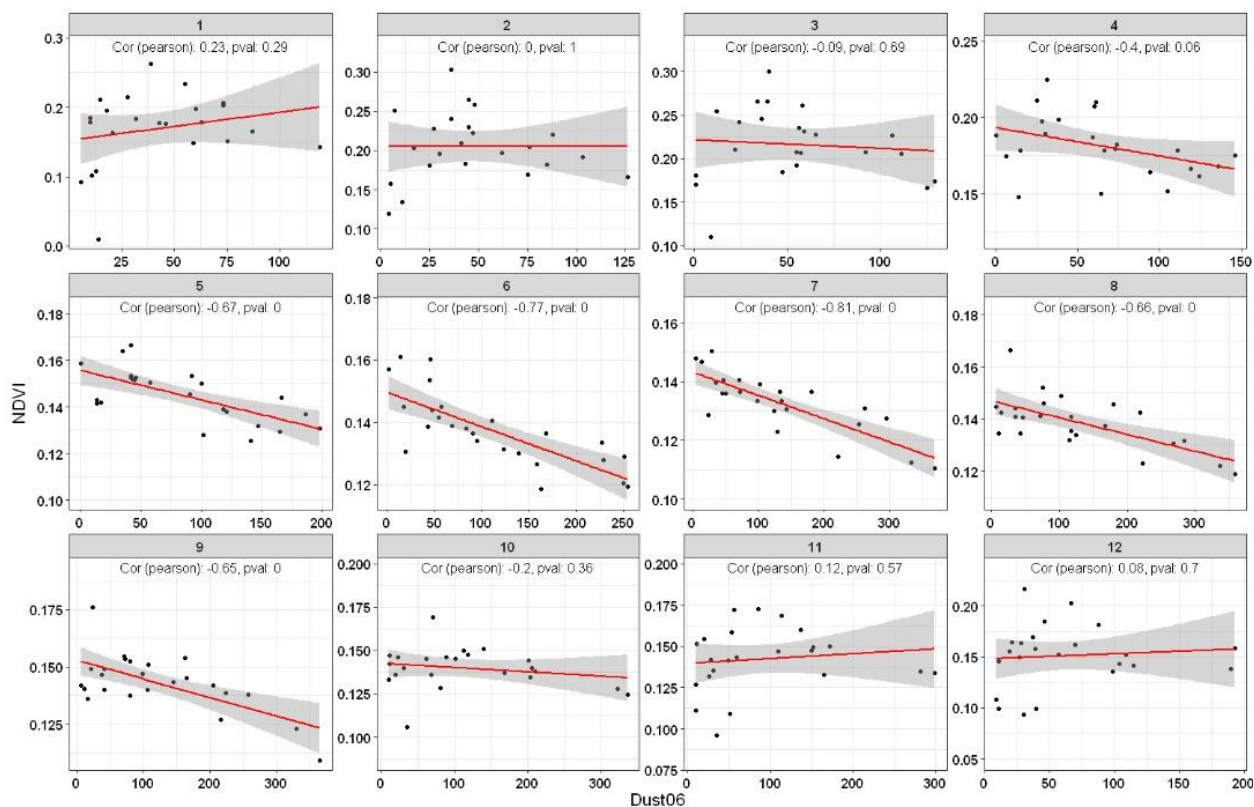
شکل ۴. همبستگی اسپیرمن بین شاخص گرد و غبار و شاخص‌های خشک‌سالی

همبستگی بین شاخص گرد و غبار و پوشش گیاهی

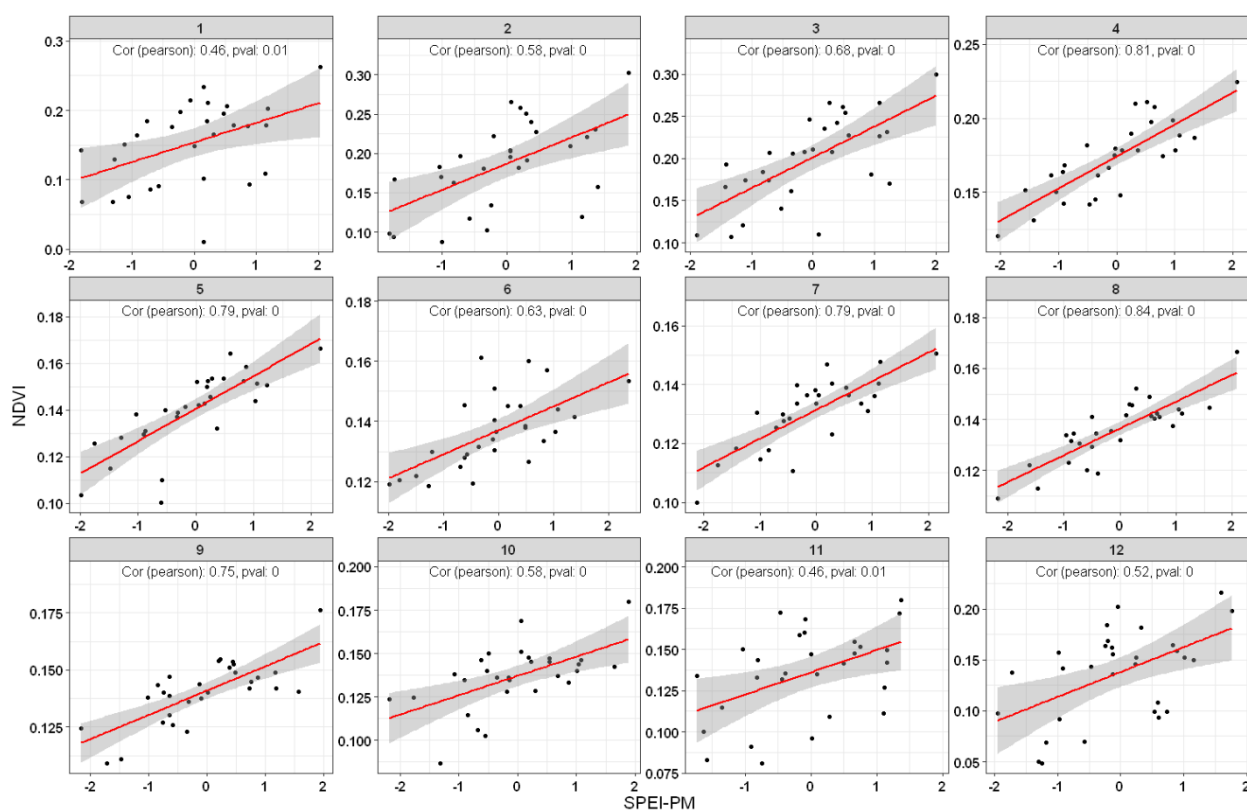
ایستگاهی که بهترین همبستگی را بین سه شاخص اقلیمی گرد و غبار- خشک‌سالی-پوشش گیاهی به همراه داشت، به عنوان ایستگاه معرف در استان خوزستان در نظر گرفته شد. از طرفی در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه رابطه بین شاخص‌های گرد و غبار و پوشش گیاهی رابطه منطقی و قوی به شمار می‌رود که این موضوع حاکی از ارتباط بسیار قوی بین پدیده گرد و غبار و عدم پوشش گیاهی در بحرانی‌ترین استان کشور از منظر وقوع طوفان‌های گرد و غبار می‌باشد. شایان ذکر است در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه واقع در استان خوزستان، ایستگاه بندر ماهشهر بیشترین همبستگی را بین شاخص NDVI و شاخص DU شش ماهه به خود اختصاص داده است. همانطور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، ارتباط بین شاخص‌های گرد و غبار و پوشش گیاهی در ماه‌های می تا سپتامبر در ایستگاه بندر ماهشهر حکایت از همبستگی منفی بین این دو شاخص فوق‌الذکر در پنج ماه از سال به غیر از ماه‌های ژانویه تا آوریل و اکتبر تا دسامبر دارد؛ بطوریکه با افزایش پوشش گیاهی در بحرانی‌ترین استان کشور از منظر طوفان‌های گرد و غبار، میزان وقوع این طوفان‌ها کاهش می‌یابد. از طرفی علت همبستگی مثبت بین شاخص‌های NDVI و DU در ماه‌های نوامبر و دسامبر (اواخر آبان تا اواخر دی ماه) را می‌توان در تأثیر بیشتر متغیرهای اقلیمی همچون سرعت بیشینه باد، مجموع بارش و ... نسبت به پوشش گیاهی در این منطقه جستجو کرد که این موضوع با مطالعات عراقی نژاد و همکاران (۱۳۹۷) و Bao et al. (2014) مطابقت دارد.

همبستگی بین شاخص خشک‌سالی و شاخص پوشش گیاهی

همانطور که در شکل ۶ مشخص است، همبستگی بین شاخص NDVI و شاخص SPEI-PM در ایستگاه بندرماهشهر در مقیاس ۱۲ ماهانه در بازه زمانی مورد مطالعه به تصویر کشیده شده است. مهمترین و بدیهی‌ترین نکته‌ای که می‌توان از شکل فوق‌الذکر استنباط نمود؛ همبستگی مثبت و شدید شاخص پوشش گیاهی NDVI و شاخص خشک‌سالی SPEI-PM است. بطوریکه با کاهش پوشش گیاهی منطقه مورد نظر، شاخص خشک‌سالی به سمت منفی‌تر شدن یا به عبارت دیگر خشک‌تر شدن حرکت می‌کند که این موضوع بر تأثیر پوشش گیاهی یک منطقه بر شکل‌گیری خشک‌سالی‌های کوتاه‌مدت و یا بلندمدت اشاره دارد. با توجه به شکل ۶، بالاترین شدت همبستگی در ایستگاه بندر ماهشهر در ماه آگوست با ضریب همبستگی پیرسون ۰/۸۴ قابل تبیین است. همچنین کمترین همبستگی بین شاخص پوشش گیاهی NDVI و شاخص خشک‌سالی SPEI-PM در ماه‌های ژانویه و نوامبر با ضریب همبستگی ۰/۴۶ رخ داده است.



شکل ۵. همبستگی پیرسون بین شاخص‌های پوشش گیاهی و گرد و غبار در ایستگاه بندر ماهشهر

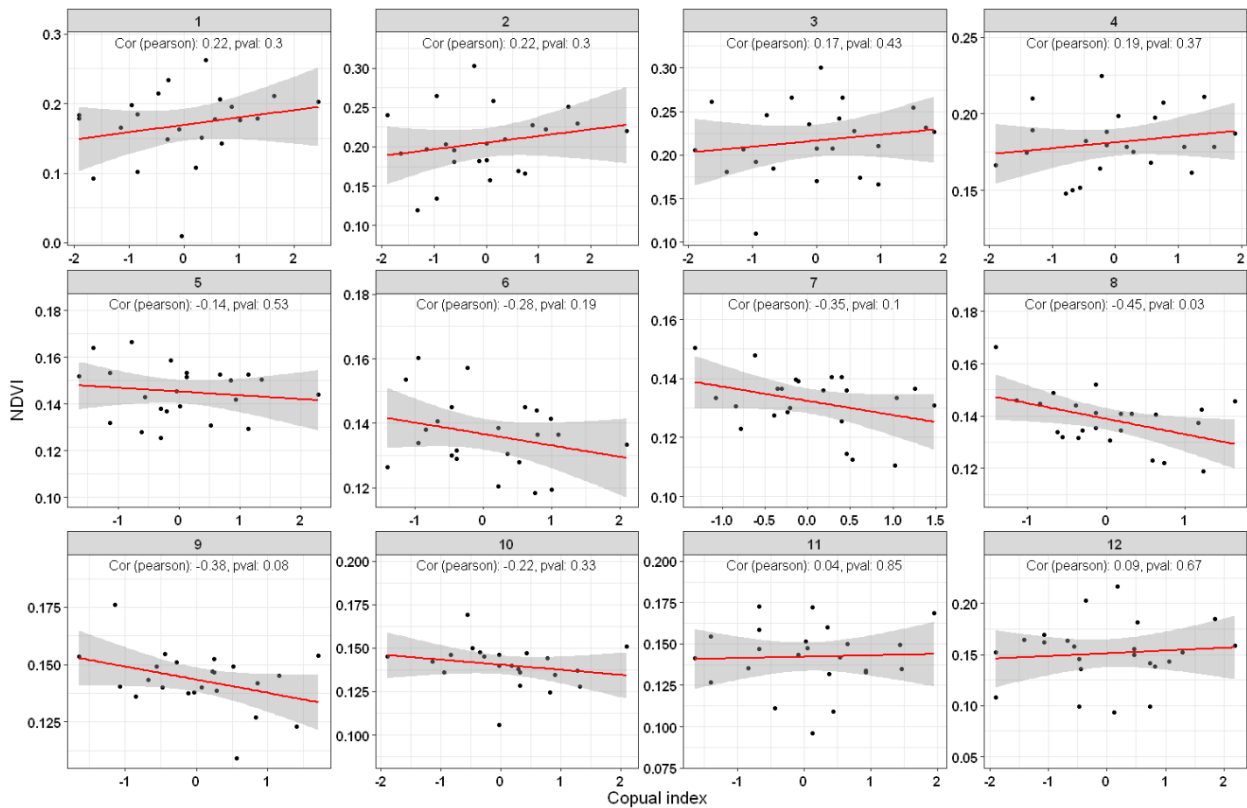


شکل ۶. همبستگی پیرسون بین شاخص خشکسالی SPEI-PM و پوشش گیاهی در ایستگاه بندر ماهشهر

کوپل سه متغیره بین شاخص‌های گرد و غبار-خشکسالی و پوشش گیاهی

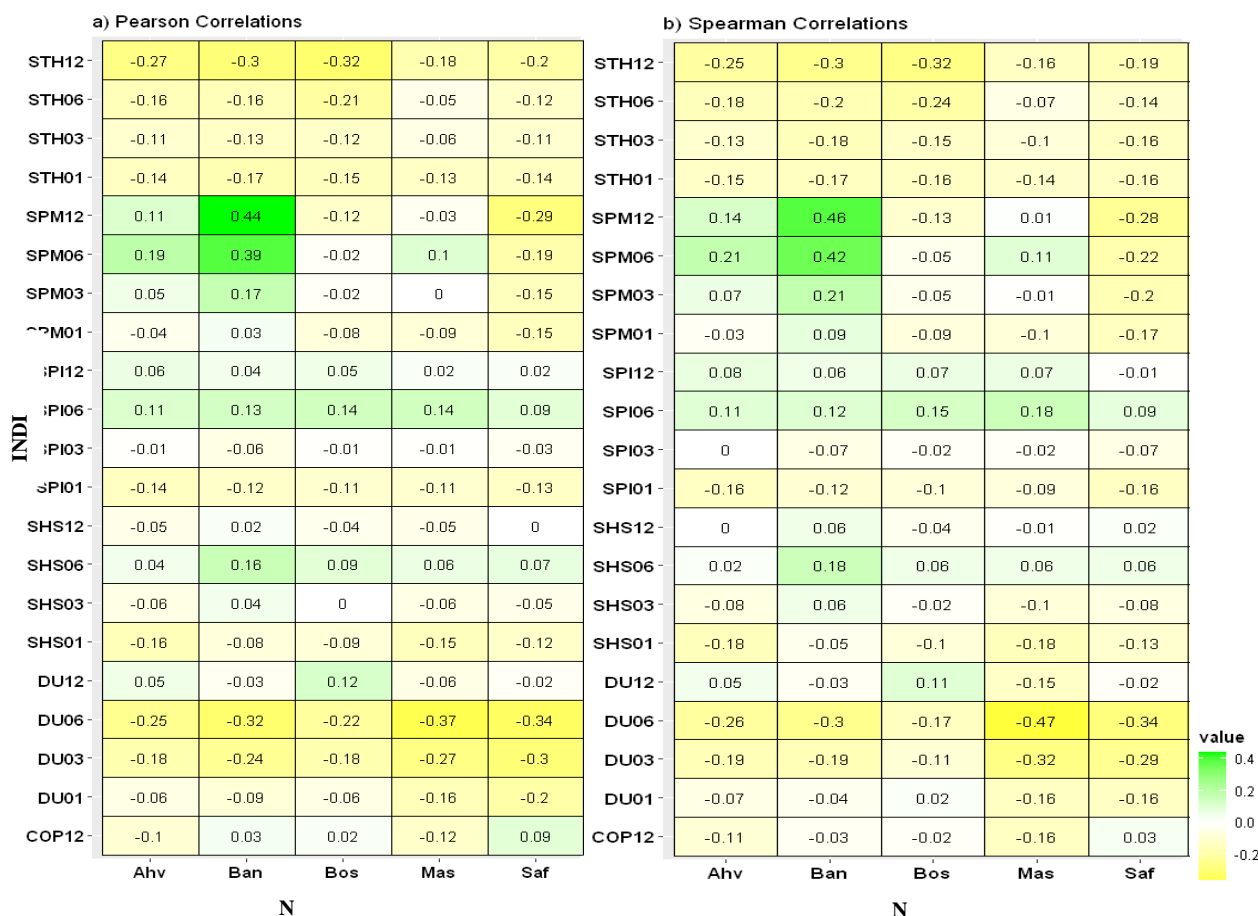
شکل ۷، هیستوگرام همبست شاخص‌های گرد و غبار-خشکسالی و پوشش گیاهی را مشخص کرده است. همانطور که در شکل مشخص

است همبست سه متغیره $SPEI(PM_{12})-DU_{06}$ و $NDVI$ در ایستگاه بندرماهشهر صرفاً در ماه ۸ میلادی به لحاظ آماری معنی دار است، با اینحال این رابطه منفی و تفسیر آن کمی مشکل و پیچیده است چون با افزایش شدت همبست خشک‌سالی-گرد و غبار، مقدار $NDVI$ کاهش یافته که این موضوع به لحاظ فیزیکی منطقی نیست کمااینکه در همین ماه ۸ میلادی در شکل‌های قبل ملاحظه شد که با افزایش گرد و غبار مقدار $NDVI$ کاهش می‌یابد و با افزایش $SPEI(PM_{12})$ ، مقدار $NDVI$ افزایش می‌یابد بنابراین تابع همبند در ترکیب نقش مثبت افزایش $SPEI(PM_{12})$ در شاخص $NDVI$ و نقش منفی افزایش DU_{06} در شاخص $NDVI$ ناتوان عمل کرده است.



شکل ۷. همبستگی بین کوپل گرد و غبار-خشک‌سالی و پوشش گیاهی در ایستگاه بندرماهشهر

شکل ۸-الف و ۸-ب به ترتیب هیستوگرام آماره‌های مربوط به آزمون همبستگی پیرسون و اسپیرمن را در کوپل سه متغیره گرد و غبار-خشک‌سالی و پوشش گیاهی نشان می‌دهد. همانطور که در شکل‌های فوق مشخص است؛ محور X مربوط به شاخص پوشش گیاهی $NDVI$ و محور Y مربوط به شاخص‌های گرد و غبار و خشک‌سالی و همچنین کوپل دومتغیره مربوط به آن‌ها می‌باشد. در شکل‌های فوق روی محور X ها پنج ایستگاه مربوط به استان خوزستان نشان داده شده است به عبارت دیگر همبستگی‌ها با شاخص پوشش گیاهی $NDVI$ در استان خوزستان سنجیده شده است. بالاترین همبستگی مربوط به ایستگاه بندر ماهشهر بین شاخص‌های $NDVI$ و $SPEI(PM_{12})$ به ترتیب با ضرایب همبستگی پیرسون و اسپیرمن $0/44$ و $0/46$ همچنین بیشترین مقدار همبستگی منفی در ایستگاه مسجد سلیمان بین شاخص‌های $NDVI$ و DU_{06} به ترتیب با ضرایب همبستگی پیرسون و اسپیرمن $-0/37$ و $-0/47$ رخ داده است. نتایج به دست آمده در استان خوزستان تقریباً منطقی است زیرا با افزایش شاخص خشک‌سالی (وقوع ترسالی یا مثبت شدن شاخص)، شاخص $NDVI$ نیز افزایش و با بیشتر شدن گرد و غبار مقدار $NDVI$ کاهش می‌یابد. در شکل ۸، هرچه از رنگ زرد به سمت رنگ سبز حرکت کنیم، بر میزان شدت همبستگی مثبت افزوده می‌شود. به عنوان مثال در ایستگاه بندرماهشهر همبستگی پیرسون بین شاخص $NDVI$ و DU_{06} به بالاترین مقدار منفی ($-0/32$) می‌رسد و یا اگر همبستگی بین شاخص $NDVI$ و همبست خشک‌سالی-گرد و غبار ($COP12$) را در همین ایستگاه در نظر بگیریم به آماره $0/03$ خواهیم رسید که در سطح ۹۵ درصد بی‌معنا است.



شکل ۸. همبستگی پیرسون و اسپیرمن بین شاخص NDVI و شاخص‌های خشکسالی، گرد و غبار و شاخص ترکیبی

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

هدف از این پژوهش پایش یکپارچه خشکسالی، گرد و غبار و پوشش گیاهی در استان خوزستان با طول دوره آماری ۳۰ ساله (۲۰۱۹-۱۹۹۰) بود. بدین منظور از داده‌های ساعتی قدرت دید افقی، کدهای سازمان جهانی هواشناسی و همچنین داده‌های بارش، دمای حداقل، دمای حداکثر، ساعات آفتابی، رطوبت نسبی، سرعت باد در بازه زمانی روزانه برای پنج ایستگاه هواشناسی استان خوزستان برای به‌دست آوردن شاخص‌های خشکسالی (SPEI, SPI) و متغیر فراوانی طوفان‌های گرد و غبار (DU) در پنجره‌های زمانی ۱، ۳، ۶ و ۱۲ ماهه استفاده گردید. همچنین برای به‌دست آوردن شاخص پوشش گیاهی NDVI تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵، ۷ و ۸ طی دوره آماری مذکور به‌صورت ماهانه استخراج گردید.

طبق شاخص‌های خشکسالی از سال ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۳ و ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۲ خشکسالی‌های بسیار شدیدی در سطح استان خوزستان مشاهده می‌شود که تأثیرات منفی زیادی را بر خاک منطقه و همچنین ایجاد کانون‌های تشکیل فرسایش بادی در منطقه و باعث تشدید گرد و غبار در همین سال‌ها شده است. فراوانی روزهای همراه با طوفان‌های گرد و غبار (شاخص DU) نیز در همین سال‌ها دارای روند افزایشی در تمامی ایستگاه‌ها می‌باشد. به‌نحوی که در همه ایستگاه‌های مورد مطالعه از سال ۲۰۰۰ به بعد افزایش چشمگیر فراوانی روزهای همراه با طوفان‌های گرد و غبار مشاهده می‌شود. همچنین با افزایش پنجره زمانی شاخص‌های خشکسالی، میزان همبستگی بین شاخص‌های گرد و غبار و خشکسالی به‌طور قابل توجهی افزایش پیدا می‌کند که علت این موضوع را می‌توان در تأثیر طوفان‌های گرد و غبار فصل‌ها و سال‌های گذشته در شکل‌گیری طوفان‌های گرد و غبار آبی که دلیلی بر بلندمدت بودن بررسی و تحلیل پدیده طوفان‌های گرد و غبار است، جستجو کرد. ایستگاه بندرماهشهر که بهترین همبستگی را بین سه شاخص اقلیمی گرد و غبار- خشکسالی- پوشش گیاهی به همراه داشت، به عنوان ایستگاه معرف در نظر گرفته شد و کوپل سه متغیره بین شاخص‌های فوق‌الذکر در آن ایستگاه بررسی شد و نتایج نشان داد که همبند سه پارامتره مورد نظر تنها در ماه ۸ میلادی معنی‌دار است.



در بین شاخص‌های خشک‌سالی واقع در کوپل سه متغیره گرد و غبار-خشک‌سالی-پوشش گیاهی، به‌ترتیب شاخص‌های SPEI-PM₁₂ و SPEI-TH₁₂ بیشترین فراوانی و همبستگی را با دیگر پارامترهای شرکت‌کننده در کوپل چند متغیره، به خود اختصاص دادند. به عبارت دیگر شاخص خشک‌سالی SPEI نسبت به شاخص SPI از همبستگی بیشتری با سایر متغیرهای اقلیمی در کوپل چند متغیره برخوردار بود که می‌توان علت این موضوع را در دخالت دو عنصر اقلیمی دما و بارش در ترکیب شاخص SPEI دانست. این در حالی است که رابطهٔ مربوط به شاخص خشک‌سالی هواشناسی SPI صرفاً از پارامتر بارش بهره می‌گیرد. به‌طور کلی می‌توان گفت در بررسی همبستگی‌های چند متغیره اقلیمی که هدف بهره‌گیری از شاخص‌های خشک‌سالی در کوپل‌های چند متغیره است، ترجیحاً شاخص‌هایی انتخاب شوند که از پارامترهای اقلیمی بیشتری در رابطه خود، استفاده کرده‌اند.

باتوجه به اینکه در بررسی کوپل‌های سه متغیره گرد و غبار-خشک‌سالی و پوشش گیاهی NDVI اغلب همبستگی‌های منطقی و معقول در ماه‌های ۵ تا ۱۰ میلادی رخ داد لذا پیشنهاد می‌گردد در مطالعات و پژوهش‌های پیش رو، بررسی کوپل‌های چندمتغیرهٔ اقلیمی که یکی از ارکان آن‌ها شاخص پوشش گیاهی NDVI می‌باشد، از بررسی همبندهای چندمتغیره در ماه‌های ۱ تا ۵، ۱۱ و ۱۲ میلادی پرهیز شود. به عبارت دیگر می‌توان گفت به‌دلیل عدم حضور رکن مهم اقلیمی پوشش گیاهی در اواخر فصل پاییز تا اوایل فصل بهار بررسی کوپل‌های چندمتغیره با حضور شاخص پوشش گیاهی، کمکی به بهبود نتایج و نشان دادن واقعیت فیزیکی مسئله به ما نمی‌کند. با توجه به نتایج همبستگی‌های دومتغیرهٔ گرد و غبار-خشک‌سالی، گرد و غبار-پوشش گیاهی و خشک‌سالی-پوشش گیاهی و انتخاب زوج مرتب گرد و غبار-خشک‌سالی و کوپل این زوج مرتب با شاخص پوشش گیاهی NDVI، توصیه می‌گردد در پژوهش‌ها و مطالعات پیش رو از زوج مرتب‌هایی که همبستگی مستقیم دارند نیز استفاده گردد تا تجزیه و تحلیل جداول و اشکال مربوطه به شکل ساده‌تر دیگری، میسر گردد. به عنوان نمونه در این پژوهش به‌منظور بررسی کوپل سه متغیره، هسته و محور مرکزی کوپل مربوطه زوج مرتب گرد و غبار-خشک‌سالی انتخاب شد و یا به عبارت دیگر با کاهش و منفی‌تر شدن (خشک شدن) شاخص‌های خشک‌سالی، شاهد افزایش تعداد روزهای همراه با طوفان گرد و غبار (DU) هستیم و یا به بیان دیگر شاخص‌های گرد و غبار DU و همچنین شاخص‌های خشک‌سالی SPI و SPEI رابطهٔ منفی و معکوس با یکدیگر دارند بنابراین پیشنهاد می‌گردد در بررسی کوپل‌های چندمتغیرهٔ اقلیمی، زوج مرتب‌هایی به‌منظور هسته و محور اصلی کوپل انتخاب شوند که رابطهٔ مستقیم و مثبتی را با یکدیگر تجربه کرده‌اند.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

منابع

- ابراهیم‌زاده، سجاد، بذرافشان، جواد، و قربانی، خلیل. (۱۳۹۲). امکان‌سنجی تشخیص تغییرات پوشش گیاهی مبتنی بر شاخص‌های زمینی و ماهواره‌ای خشک‌سالی (مطالعه موردی: استان کرمانشاه). *دومین کنفرانس بین‌المللی مدلسازی گیاه، آب، خاک و هوا*، کرمان.
- انصاری قوجقار، محمد، پورغلام آمیجی، مسعود، و عراقی نژاد، شهاب. (۱۳۹۹). بررسی رابطه بین خشک‌سالی و روند فراوانی طوفان‌های گرد و غبار در غرب و جنوب غرب کشور. *تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۱(۱۱)، ۲۸۵۲-۲۸۳۹.
- بروغنی، مهدی، مرادی، حمیدرضا، زنگنه اسدی، محمدعلی، و پورهایمی، سیما. (۱۳۹۸). ارزیابی نقش خشک‌سالی بر فراوانی وقوع گرد و غبار در استان خراسان رضوی. *علوم و تکنولوژی محیط زیست*، ۲۱(۵)، ۱۰۹-۱۲۱.
- تاج‌بخش، سحر، عیسی‌خانی، نسرین، و فضل کاظمی، امین. (۱۳۹۴). ارزیابی خشک‌سالی هواشناسی در ایران با استفاده از شاخص استاندارد شدهٔ بارش و تبخیر و تعرق (SPEI). *مجله فیزیک زمین و فضا*، ۴۱(۲)، ۳۲۱-۳۱۳.
- ذوالفقاری، حسن، و عابدزاده، حیدر. (۱۳۸۴). تحلیل سینوپتیک سیستم‌های گرد و غبار در ایران. *مجله جغرافیا و توسعه*، ۴۵-۳۶.
- زارع ابیانه، حمید، قبائی سوق، محمد، و مساعدی، ابوالفضل. (۱۳۹۴). پایش خشک‌سالی بر مبنای شاخص بارش-تبخیر و تعرق استاندارد شده (SPEI) تحت تأثیر تغییر اقلیم. *مجله آب و خاک*، ۲۹(۲)، ۳۹۲-۳۷۴.
- شاکر سوره، فاطمه، و اسدی، اسماعیل. (۱۳۹۸). ارتباط بین خشک‌سالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی در دشت سلماس. *مهندسی اکوسیستم بیابان*، ۸(۲۲)، ۱۰۰-۸۹.
- شاهسونی، عباس، ندافی، کاظم، یاراحمدی، مریم، کرمانی، مجید، و یاراحمدی، الهام. (۱۳۹۱). بررسی الگو، ساز و کار تشکیل و اثرات گرد و غبار. *نیوار*، ۳۷(۸۱-۸۰)، ۸۲-۶۵.
- شبنانی، کبری، و خسروی‌پور، بهمن. (۱۳۹۱). پیامدهای ناشی از گرد و غبار در بخش کشاورزی استان خوزستان، *اولین کنفرانس ملی راهکارهای*

دستیابی به توسعه پایدار. تهران، وزارت کشور.

عبدالشاه‌نژاد، مهسا، خسروی، حسن، نظری‌سامانی، علی اکبر، زهتابیان، غلام‌رضا. و علم‌بیگی، امیر. (۱۳۹۹). تعیین چارچوب مفهومی ریسک گرد و غبار بر مبنای سنجش تاب‌آوری (بررسی موردی: جنوب غرب کشور). *مجله پژوهش‌های راهبردی در علوم کشاورزی و منابع طبیعی*، ۵(۱)، ۴۳-۳۳.

عراقی نژاد، شهاب، انصاری قوجقار، محمد، پور غلام آمیجی، مسعود، لیاقت، عبدالمجید، و بذرافشان، جواد. (۱۳۹۷). تأثیر نوسانات اقلیمی بر فراوانی طوفان‌های گرد و غبار در ایران. *نشریه مهندسی اکوسیستم بیابان*. ۷ (۲۱)، ۱۳-۳۳.

علوی‌پناه، سید کاظم. (۱۳۹۱). *اصول سنجش از دور نوین و تفسیر تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی*. انتشارات دانشگاه تهران، چاپ سوم، ۷۸۳ صفحه.

محمودی مه پاش، ناهید، و سوری، بابک. (۱۳۹۹). منشاء یابی گرد و غبار با استفاده از نسبت یون‌ها و مرفولوژی ذرات در نیمه غربی ایران. *محیط زیست طبیعی (منابع طبیعی ایران)*، ۷۳ (۲)، ۳۶۷-۳۵۵.

مصطفی‌زاده، رئوف، شهابی، معصومه، و ذبیحی، محسن. (۱۳۹۴). تحلیل خشک‌سالی هواشناسی در استان کردستان با استفاده از مدل نمودار سه‌متغیره. *مجله آمایش جغرافیایی فضا*، ۵ (۱۷)، ۱۴۰-۱۲۹.

ناطق، سعیده، گوهر دوست، آزاده، سلیمانی ساردو، فرشاد. (۱۴۰۱). واکوی اثر پوشش گیاهی بر وقوع پدیده گرد و غبار (مطالعه موردی: استان هرمزگان). *پژوهش‌های فرسایش محیطی*. ۱۲ (۲)، ۶۰-۴۳.

REFERENCES

- Abdolshahnejad, M., Khosravi, H., Nazari Samani, A., Zehtabian, G., & Alambaigi, A. (2020). Determining the Conceptual Framework of Dust Risk Based on Evaluating Resilience (Case Study: Southwest of Iran). *Strategic Research Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 5(1), 33-44. (In Persian).
- Alavi Panah, S. K. (2011). Principles of modern remote sensing and interpretation of satellite images and aerial photographs. Tehran University Press, third edition, 783 pages. (In Persian).
- An, L., Che, H., Xue, M., Zhang, T., Wang, H., Wang, Y., Zhou, C., Zhao, H., Ke Gui, Yu., Zheng, Tianze Sun, Yuanxin, Liang, Enwei., Sun, Hengde, Zhang., & Zhang, X. (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), 452-46.
- Ansari ghoghghar, M., Pourgholam-Amiji, M., & Araghinejad, S. (2021). Investigating the Relationship between Drought and Trend of the Frequency of Dust Storms in the West and Southwest of Iran. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 51(11), 2839-2852. doi: 10.22059/ijswr.2020.304439.668648. (In Persian).
- Araghinejad, S., Ansari Ghoghghar, M., PourGholam Amigi, M., Liaghat, A., & Bazrafshan, J. (2022). The Effect of Climate Fluctuation on Frequency of Dust Storms in Iran. *Desert Ecosystem Engineering*, 7(21), 13-32. doi: 10.22052/deej.2018.7.21.11. (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), 8337-8358.
- Bazrafshan, J., & Khalili, A. (2013). Spatial analysis of drought over Iran during 1963-2003. *Desert*, 18, 63-71.
- Bijaber, N., El Hadani, D., Saidi, M., Svoboda, M., Wardlow, B., Hain, C., & Rochdi, A. (2018). Developing a remotely sensed drought monitoring indicator for Morocco. *Geosciences*, 8(2), 55.
- Boroghani, M., Moradi, H.R., Zangane Asadi, M.A., & Pourhashemi, S. (2016). Evaluation of the role of drought in frequency of dust in Khorasan Razavi province. *Journal of Environmental Science and Technology*, 21(5), 111-122. (In Persian).
- Ebrahimzadeh, S., Bazrafshan, J., & Ghorbani, K. (2013). Study of plant vegetation variations using remote sensing and ground-based drought indices (Case study: Kermanshah province). *Journal of Agricultural Meteorology*, 1(1), 37-48. (In Persian).
- Gao, T., Han, J., Wang, Y., Pei, H., & Lu, S. (2012). Impacts of climate abnormality on remarkable dust storm increase of the Hunshdak Sandy Lands in northern China during 2001-2008. *Meteorological Applications*, 19(3), 265-278.
- Goudie, A. S., & Middleton, N. J. (2006). *Desert dust in the global system*. Springer Science & Business Media.
- Kogan, F. (1993). United states droughts of late 1980's as seen by NOAA polar orbiting satellites. Paper presented at the Geoscience and Remote Sensing Symposium, 1993. IGARSS'93. *Better Understanding of Earth Environment*, International.



- Li, C., Leal Filho, W., Yin, J., Hu, R., Wang, J., Yang, C., & Ayal, D.Y. (2018). Assessing vegetation response to multi-time-scale drought across inner Mongolia plateau. *Journal of cleaner production*, 179, 210-216.
- Mahmoodimahpash, N., & Souri, B. (2020). Detecting origin of dust-fall using ions ratio and morphology of the particles in western Iran. *Journal of Natural Environment*, 73(2), 355-367. doi: 10.22059/jne.2020.294726.1874. (In Persian).
- 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: *American Meteorological Society*, 17(22), 179-183.
- Mostafazadeh, R., Shahabi, M., & Zabihi, M. (2015). Analysis of meteorological drought using Triple Diagram Model in the Kurdistan Province, Iran. *Geographical Planning of Space*, 5(17), 129-140. (In Persian).
- Namdari, S., Karimi, N., Sorooshian, A., Mohammadi, GH., & Sehatkashani, S. (2018). Impacts of climate and synoptic fluctuations on dust storm activity over the Middle East. *Atmospheric environment*, 173, 265-276.
- Nateghi S, Ghohardoust A, & Soleimani Sardoo F. (2022). Investigating the Effect of Vegetation on the Occurrence of Dust Phenomenon (Case Study: Hormozgan Province). *E.E.R*, 12 (2), 43-60. URL: <http://magazine.hormozgan.ac.ir/article-1-656-fa.html>. (In Persian).
- O'Loingsigh, T., McTainsh, G., Tews, E., Strong, C., Leys, J., Shinkfield, P., & Tapper, N. (2014). The Dust Storm Index (DSI): a method for monitoring broadscale wind erosion using meteorological records. *Aeolian Res*, 12, 29-40.
- Oluleye, A., & Ojo, J. S. (2020). Detection of dust pollution using a Ka-band Doppler radar in a tropical location of West Africa. *J. Pollut. Eff. Control*, 8, 241.
- Pearson, K. (1897). Mathematical contributions to the theory of evolution. on a form of spurious correlation which may arise when indices are used in the measurement of organs. *Proceedings of the royal society of London*, 60 (359-367), 489-498.
- Press, V., & Teukolsky, F. (1992). Numerical Recipes in C: The Art of Scientific Computing (2nd Ed.). *Journal of Simulation*, 31(1), 640.
- Salmabadi, H., Khalidy, R., & Saeedi, M. (2020). Transport routes and potential source regions of the Middle Eastern dust over Ahvaz during 2005-2017. *Atmospheric Research*, 241, 104947.
- Shabani, K., & Khosravipour, B. (2011). Consequences of dust in the agricultural sector of Khuzestan province. *the first national conference on sustainable development strategies*. Tehran, Ministry of Interior. (In Persian).
- shahsavani, A., nadafi, K., yarahmadi, M., kermani, M., & yarahmadi, E. (2012). Investigation patterns, formation mechanisms and impacts of dust haze. *Nivar*, 37(80-81), 65-82. (In Persian).
- Shaker Sureh, F., & Asadi, E. (2022). Meteorological and hydro-logical drought communication in Salmas Plain. *Desert Ecosystem Engineering*, 8(22), 89-100. doi: 10.22052/deej.2018.7.22.59. (In Persian).
- Shong Chok, N. (2010). Pearson's Versus Spearman's and Kendal's Correlation Coefficients for Continuous Data. *M.Sc. thesis*, University of Pittsburgh, 43pp.
- Sklar, A. (1959). Distribution functions of n Dimensions and Margins. *Publications of the Institute of Statistics of the University of Paris*, 8, 229-231.
- Tajbakhsh, S., Eisakhani, N., & Fazl Kazemi, A. (2015). Assessment of meteorological drought in Iran using standardized precipitation and evapotranspiration index (SPEI). *Journal of the Earth and Space Physics*, 41(2), 313-321. doi: 10.22059/jesphys.2015.52888. (In Persian).
- Vicente-Serrano, S.M., Begueria, S., & Lpez-Moreno, J. (2010). A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of Climatology*, 23(7), 1696-718.
- Zarebyaneh, H., GHobaeisoogh, M., & Mosaedi, A. (2015). Drought Monitoring Based on Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) Under the Effect of Climate Change. *Water and Soil*, 29(2), 374-392. (In Persian).
- Zhang, A., & Jia, G. (2013). Monitoring meteorological drought in semiarid regions using multi-sensor microwave remote sensing data. *Remote Sensing of Environment*, 134, 1223
- Zhang, Q., Kong, D.D., Singh, V. P., & P. J. Shi. (2017). Response of vegetation to different time-scales drought across China: spatiotemporal patterns, causes and implications. *Global Planet. Change*, 152, 1e11.
- Ziqiang, M., & Z. Quanxi. (2007). Damage effects of dust storm PM2.5 on DNA in Alveolar Macrophages and Lung cells of rats. *Food and Chemical Toxicology*, PP 1363-1374.
- Zoljoodi, M., Didevarasl, A., & Saadatabadi, A. R. (2013). Dust events in the western parts of Iran and the relationship with drought expansion over the dust-source areas in Iraq and Syria.
- Zou Alfaghari, H., & Abedzadeh, M. (2006). A synoptic analysis of dust systems at the west part of Iran. *geography and development*, 3(6), 173-188. SID. <https://sid.ir/paper/76993/en>. (In Persian).

Correlation analysis of drought-dust and its relationship with vegetation changes in Khuzestan province

EXTENDED ABSTRACT

Background

Changes in vegetation can have a significant effect on drought and dust in the western and southwestern regions of the country. Vegetation acts as an important factor in the balance of water and soil, the amount of transpiration evaporation, water absorption, reducing soil erosion, and stabilizing soil and dust particles. If vegetation cover decreases, transpiration evaporation decreases, which may lead to an increase in drought. On the other hand, drought can also have a significant effect on vegetation. Dust particles may also be deposited on the leaves and surfaces of plants, disturbing the performance of photosynthesis and transpiration evaporation of plants. Therefore, considering the importance and mutual influence of the three phenomena of drought, dust, and vegetation in the western regions of Iran, it is necessary to monitor and integrate the indicators of these three phenomena to determine the effects and mutual relations of the phenomena, which can be compared and discussed.

purpose

In this study, the integrated monitoring of drought, dust and vegetation in five stations of Khuzestan province (Ahvaz, Bandar Mahshahr, Bostan, Masjid Suleiman and Safi Abad) with a statistical period of 30 years (1990-2019) was done. For this purpose, from the hourly data of horizontal visibility, the codes of the Meteorological Organization, as well as the data of precipitation, minimum temperature, maximum temperature, sunny hours, relative humidity, and wind speed in the daily time window were used to obtain drought indices (SPEI and SPI). The frequency variables of dust storms (DU) were used in time windows of 1, 3, 6, and 12 months. In addition, to obtain the NDVI, Landsat satellite images were extracted monthly during the statistical period.

Methods

After calculating the indices of drought, dust, and vegetation, they were combined using the empirical copula function method. The station that had the best correlation between the three climatic indices of dust-drought-vegetation was considered the representative station, and the three-variable coupling between the desired indices was investigated at that station.

Results and Discussion

The results showed that according to the SPI index, severe droughts occurred in the province from 1999 to 2003 and 2008 to 2012, which had many negative effects on the soil of the region, as well as the formation of dust-generating centers in the mentioned time period. On the other hand, the SPEI-TH index, compared to other indices, can detect drought and accurately determine the sequence of periods. Also, the results showed that the highest correlation related to Bandar Mahshahr station between NDVI and SPEI (PM_{12}) indices with Pearson and Spearman correlation coefficients of 0.44 and 0.46, respectively, and the highest negative correlation at Masjid Suleiman station between NDVI and DU_{06} occurred with Pearson and Spearman correlation coefficients of -0.37 and -0.47, respectively. The results obtained in Khuzestan Province are almost logical because with an increase in the drought index (incidence of drought or positive index), the NDVI index also increases, and as the dust increases, the NDVI value decreases.

Keywords: SPI, Dust, NDVI, Normalized Vegetation Index, Spearman Correlation, Three-Variable Couplet.