

Monitoring temporal-spatial changes of meteorological drought and trend analysis of climatic variables in Khuzestan province from 2000 to 2020

Fateme Baloei¹, Mostafa Kabolizadeh^{2*} , Shahin Mohammadi³

1. PhD Student of RS and GIS, Faculty of Earth Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

2. *Corresponding Author*, Assistant Prof. Department of Remote Sensing and GIS, Faculty of Earth Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

3. PhD of RS and GIS, Faculty of Earth Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

Article Info	ABSTRACT
<p>Article type: Research Article</p> <p>Article history: Received: 11 September 2023 Revised: 17 February 2024 Accepted: 01 March 2024</p> <p>Keywords: Drought, Time series, Evapotranspiration, Natural Hazards.</p>	<p>Reducing the effects of drought and optimal management of water resources is affected by the forecast of regional planners of areas affected by the risk of drought, so the evaluation and study of this phenomenon can be very important. Therefore, this study was conducted to Monitor temporal-spatial changes of meteorological drought and trend analysis of climatic variables in Khuzestan province during the period 2000 to 2020 using the SPEI index and ArcMap, XLSTAT, and RStudio software. Two non-parametric methods including Mann-Kendall and Sen's estimator slope methods were used here to analyze the annual trends of data. After calculating the drought, the effect of this phenomenon on the water area of Horul Azim and Shadgan wetlands in 2000, 2006, 2015, and 2020 was investigated. The results showed that there is a direct relationship between the changes in the wetlands cover and the problem of drought, and with the increase of drought, the water cover of the wetlands decreases and with the increase of drought, the area of water in the wetlands increases. The results also showed that the analysis of the trend of changes resulting from Sen's slope for precipitation and temperature in the stations varied between -1.87 and 3.38 and 0.016 and 2.25, respectively. The highest slope of changes with increasing rainfall was observed in the western and central regions of the province and the slope of negative changes in rainfall has often occurred in the southern regions. Also, temperature analysis with this test showed that the temperature in all stations with a relatively slow slope in the study period had a positive and increasing trend. It is worth mentioning that the existence of increasing and decreasing trends indicates the existence of climate change, so it is necessary to study this issue and provide solutions to water resources management in times of crisis. The increasing and decreasing trend indicates the existence of climatic changes and fluctuations; Therefore, investigating this issue and providing solutions to manage water resources in times of crisis seems essential.</p>

Cite this article: Baloei, F., Kabolizadeh, M., & Mohammadi, S. (2024). Monitoring temporal-spatial changes of meteorological drought and trend analysis of climatic variables in Khuzestan province from 2000 to 2020. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 13(40), 73-94. DOI: 10.22111/jneh.2024.46574.1987



© Mostafa Kabolizadeh

Publisher: University of Sistan and Baluchestan

DOI: 10.22111/jneh.2024.46574.1987

* Corresponding Author Email: M.kabolizade@scu.ac.ir

مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره ۱۳، شماره ۴۰، تیر ۱۴۰۳

پایش تغییرات زمانی - مکانی خشکسالی هواشناسی و تحلیل روند متغیرهای

اقلیمی در استان خوزستان بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰

فاطمه بالویی^۱، مصطفی کابلی‌زاده^{۲*}، شاهین محمدی^۳

۱. دانشجوی دکتری، گروه سنجش‌ازدور و GIS، دانشگاه شهید چمران اهواز

۲. استادیار گروه سنجش‌ازدور و GIS، دانشگاه شهید چمران اهواز (نویسنده مسئول)

۳. دکترای گروه سنجش‌ازدور و GIS، دانشگاه شهید چمران اهواز

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	کاهش اثرات خشکسالی و مدیریت بهینه منابع آب، متاثر از پیش‌آگاهی برنامه‌ریزان منطقه‌ای از مناطق تحت تاثیر خطر ناشی از وقوع خشکسالی است. به همین دلیل ارزیابی و بررسی این پدیده می‌تواند بسیار حائز اهمیت باشد. این پژوهش باهدف پایش تغییرات زمانی- مکانی خشکسالی هواشناسی و تحلیل روند متغیرهای اقلیمی در استان خوزستان در طول دوره آماری ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ با استفاده از شاخص بارش- تبخیر و تعرق استاندارد (SPEI) و نرم‌افزارهای ArcMap، XLSTAT و RStudio انجام شد. همچنین برای بررسی روند تغییرات در بازه مورد مطالعه آزمون‌های من-کندال و شیب سن نیز به‌کار گرفته شد. پس از محاسبه خشکسالی، تاثیر این پدیده بر روی پهنه‌آبی دو تالاب هورالعظیم و شادگان برای سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۶، ۲۰۱۵ و ۲۰۲۰ بررسی شد. نتایج بررسی خشکسالی با شاخص SPEI نشان می‌دهد که خشکسالی و ترسالی شدید در سطح خوزستان به ترتیب در سال‌های ۲۰۱۷ و ۲۰۰۴ رخ داده است. بررسی نتایج نشان داد بین تغییرات سطح تالاب‌های بیان‌شده با مسئله خشکسالی رابطه مستقیمی وجود دارد و با افزایش شدت خشکسالی مساحت پوشش آبی تالاب‌ها کاهش می‌یابد و با افزایش ترسالی مساحت آب در تالاب‌ها افزایش می‌یابد. همچنین نتایج نشان داد که بررسی شیب روند تغییرات حاصل از آزمون سن برای بارش و دما در ایستگاه‌ها به ترتیب بین ۱/۸۷- تا ۳/۳۸ و ۰/۱۶ تا ۲/۲۵ متغیر بود. بیشترین شیب تغییرات با روند افزایشی بارش در مناطق غرب و مرکز استان مشاهده گردید و شیب تغییرات منفی بارش بیشتر در مناطق جنوبی رخ داده است. همچنین، تحلیل دما با این آزمون نشان داد دما در تمام ایستگاه‌ها با شیب نسبتاً ملایم در بازه مورد بررسی روند مثبت و رو به افزایش داشته است. شایان ذکر است وجود روند افزایشی و کاهش نشان‌دهنده‌ی وجود تغییر و نوسانات اقلیمی است. بنابراین، بررسی این موضوع و ارائه راه‌کارهایی به منظور مدیریت منابع آب در زمان بحران امری ضروری به‌نظر می‌رسد.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۶/۲۰	
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۲/۱۱/۲۸	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۱۱	
واژه‌های کلیدی:	
خشکسالی، سری زمانی، تبخیر - تعرق، مخاطرات طبیعی.	

استناد: بالویی، فاطمه؛ کابلی‌زاده، مصطفی؛ محمدی، شاهین. (۱۴۰۲). پایش تغییرات زمانی- مکانی خشکسالی هواشناسی و تحلیل روند متغیرهای اقلیمی در استان خوزستان بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰. مخاطرات محیط طبیعی، ۱۳(۴۰)، ۷۳-۹۴.

DOI: 10.22111/jneh.2024.46574.1987



© فاطمه بالویی، مصطفی کابلی‌زاده*، شاهین محمدی.

ناشر: دانشگاه سیستان و بلوچستان

مقدمه

خشک‌سالی از مخرب‌ترین بلایای طبیعی است که در سراسر جهان رخ می‌دهد. به‌طور متوسط در هر سال این پدیده طبیعی شش میلیارد دلار خسارت را در مقیاس جهانی به بخش‌های مختلف وارد می‌کند. خشک‌سالی نسبت به سایر مخاطرات طبیعی افراد بیشتری را تحت تأثیر قرار می‌دهد (محیط اصفهانی، ۱۳۹۸). این پدیده به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم اثرات زیان‌بخشی را وارد می‌کند که مهم‌ترین اثر مستقیم آن بر منابع آب بوده است. به‌دلیل طبیعت و ذات پنهانی این پدیده تعیین زمان آغازگر، گسترش و پایان آن دشوار است که این مسئله اهمیت پیش‌گسترده و یا ایجاد نظام هشدار و پیش‌آگاهی را در مناطق مستعد خشک‌سالی نشان می‌دهد (آسیایی، ۱۳۸۵). ایران با قرارگیری در کمربند بیابانی کره زمین، در برخی سال‌ها از خشک‌سالی و در برخی از سال‌ها از شدت ترسالی آسیب می‌بیند. ویژگی‌های خشک‌سالی در ایران نشان می‌دهد که به‌طور کلی هیچ منطقه‌ای از کشور از این پدیده در امان نبوده و به نسبت موقعیت خود اثرات این پدیده مخرب را تجربه می‌کنند.

یکی از مهم‌ترین و کارآمدترین ابزارهای در دسترس برای شناسایی و پایش کیفی و کمی خشک‌سالی، شاخص‌های خشک‌سالی هستند. استفاده از شاخص خشک‌سالی از سال ۱۹۶۵ با ارائه شاخص خشک‌سالی پالمر رواج یافت (پالمر^۱، ۱۹۶۵) و ساخت انواع شاخص‌های خشک‌سالی بسته به دیدگاه‌های مختلف تا به امروز همچنان ادامه دارد (محیط اصفهانی، ۱۳۹۸). شاخص‌های خشک‌سالی متعددی از جمله شاخص دهک‌ها (ID)، شاخص پالم و مولی (BMDI)، شاخص خشک‌سالی احيایی (RDI)، شاخص استاندارد بارش (SPI)، بارش-تبخیر و تعرق استاندارد (SPEI)، شاخص درصد نرمال (PN)، شاخص شدت خشک‌سالی پالمر (PDSI) و غیره وجود دارد. هر یک از شاخص‌های خشک‌سالی برای کاربردهای خاص در منطقه‌ای خاص معتبرند که علت متغیر بودن شرایط هواشناختی مؤثر بر ایجاد پدیده‌ی خشک‌سالی از نقطه‌ای به نقطه دیگر است. در چند سال اخیر به فراوانی از روش SPEI و SPEI برای شناسایی رفتار دوره‌ای متغیرهای مختلف اقلیمی استفاده شده است و پژوهشگران کارایی این شاخص‌ها را در بررسی وضعیت خشک‌سالی در مطالعات خود بیان کردند. نقد اصلی روی شاخص SPI این است که محاسبه آن تنها بر اساس داده‌های بارش است. این شاخص متغیرهای دیگری که می‌تواند خشک‌سالی را تحت تأثیر قرار دهد مانند دما، تبخیر و تعرق، سرعت باد و رطوبت خاک را در نظر نمی‌گیرد. با این وجود مطالعات متعددی نشان داده است که بارش، متغیر اصلی در تعیین شروع، مدت، شدت و پایان خشک‌سالی است (هین^۲، ۲۰۰۲؛ چنگ و کلپا^۳، ۱۹۹۱؛ اصلاحی و همکاران، ۱۳۹۳). از طرف دیگر مطالعاتی نشان داده‌اند که دو قرن اخیر دمای هوا حدود ۰/۵ تا ۲ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته و مدل‌های تغییر اقلیم این افزایش را نشان داده‌اند که بدین ترتیب منجر به افزایش شدت خشک‌سالی و در نتیجه افزایش تقاضای آب در اثر افزایش تبخیر و تعرق می‌گردد (جونز^۴ و همکاران ۲۰۱۲؛ شفیلد^۵، ۲۰۱۲؛ نصرتی، ۱۳۹۳). بنابراین، شاخص SPEI بر اساس میزان بارندگی و درجه حرارت و محاسبه تبخیر و تعرق استاندارد ارائه گردیده است که این شاخص توانایی محاسبه خشک‌سالی در مقیاس زمانی مختلف را دارد. همچنین می‌تواند اثرات تغییرات درجه حرارت را در ارزیابی خشک‌سالی لحاظ کند (نصرتی ۱۳۹۳). از جمله پژوهش‌هایی که

1 Palmer
2 Heim
3 Chang and Cleopa
4 Jones
5 Sheffield

در داخل و خارج در زمینه‌ی بررسی خشک‌سالی با روش SPI و SPEI صورت گرفته است، می‌توان به مطالعات حدادی و حیدری (۱۳۹۳)، سبحانی و همکاران (۱۳۹۴)، مصطفی‌زاده و ذبیحی (۱۳۹۵)، زینالی و زنگیر (۱۳۹۶)، نظری‌پور و همکاران (۱۳۹۹)، اکبری و همکاران (۱۴۰۰)، زینالی و فریدپور (۱۴۰۱)، اداسوا^۱ و همکاران (۲۰۱۰)، اسپینونی^۲ و همکاران (۲۰۱۵)، لی^۳ و همکاران (۲۰۱۶)، گائو^۴ و همکاران (۲۰۱۸)، واهلا و همکاران (۲۰۲۲)^۵، اسپیی و همکاران (۲۰۲۳)^۶ اشاره نمود.

با توجه به اهمیت استان خوزستان از لحاظ کشاورزی، منابع آب و تولید انرژی، بررسی وضعیت خشک‌سالی این استان می‌تواند به‌عنوان یک ابزار علمی مناسب برای ارزیابی وضعیت منابع و کشاورزی به‌کار گرفته شود. همان‌طور که بررسی منابع نشان می‌دهد پایش خشک‌سالی در داخل و خارج از کشور به‌وسیله شاخص‌های مختلفی انجام شده است. اما آنچه که قابل‌توجه است بیان این نکته می‌باشد که در سال‌های اخیر در مطالعات ملی و بین‌المللی برای ارزیابی خشک‌سالی بیشتر شاخص SPEI به‌کار گرفته شده است؛ چرا که این شاخص توانایی بالاتری در ارزیابی وضعیت خشک‌سالی دارد (پادهیاری^۷، ۲۰۲۰). این درحالی است که در استان خوزستان تا اکنون یک مطالعه جامع در رابطه با ارزیابی خشک‌سالی این استان با استفاده از شاخص SPEI مشاهده نشده است. از طرف دیگر، بررسی جامع و هم‌زمان تحلیل روند دو پارامتر بارش و دما برای ارزیابی خشک‌سالی در این استان نیز می‌تواند به تحلیل بهتر الگوی خشک‌سالی کمک کند؛ درحالی‌که این مهم کمتر در مطالعات داخلی مشاهده شده است. بنابراین ضرورت انجام یک پژوهش که در ابتدا یک ارزیابی مناسب از وضعیت خشک‌سالی این استان در بازه طولانی مدت به ما بدهد و سپس یک تحلیل روند از پارامترهای اقلیمی انجام داده باشد، بیش‌ازپیش احساس می‌گردد. با این اوصاف، این مطالعه با هدف پایش تغییرات زمانی - مکانی خشک‌سالی با شاخص SPEI و تحلیل روند متغیرهای اقلیمی در استان خوزستان در طول دوره آماری ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ به کمک سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) انجام گرفت.

داده‌ها

منطقه مورد مطالعه

استان خوزستان در عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۵۷ دقیقه تا ۳۳ درجه و طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۳۸ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳۳، در جنوب غربی کشور ایران واقع شده است. میزان بارندگی این استان ۲۵۵ میلی‌متر در سال و میزان تبخیر ۲۰۴۴ میلی‌متر در سال جز مناطق گرم ایران محسوب می‌شود. در سال ۱۳۸۹ شدیدترین خشک‌سالی را در یک‌صد سال گذشته تجربه کرده است که از نوع خشک‌سالی اقلیمی است و آثار آن در سال‌های اخیر بر منابع آب، مراتع و کشاورزی چشمگیر بوده است (زلقی و همکاران، ۱۳۹۲). درحالی‌که در سال ۱۳۹۸ وقوع بارش شدید سبب طغیان رودخانه‌ها و ایجاد خسارت‌های بسیار زیادی بر بخش‌های مختلف گردید (رجبی زاده و همکاران، ۱۳۹۸).

1 Edossa
2 Spinoni
3 Li
4 Gao
5 Wahla
6 Spei
7 Padhiary

استفاده شد که در بخش‌های بعدی این مراحل شرح داده می‌شود. جدول ۱ مشخصات ایستگاه‌های مورد استفاده را نشان می‌دهد.

جدول ۱: مشخصات ایستگاه‌های مورد استفاده در دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰

شماره	نام ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی
۱	آبادان	۳۰/۳۸	۴۸/۲۱
۲	اهواز	۳۱/۳۴	۴۸/۷۴
۳	بندر ماهشهر	۳۰/۵۵	۴۹/۱۶
۴	بهبهان	۳۰/۶۱	۵۰/۲۲
۵	بستان	۳۱/۷۱	۴۸/۰۱
۶	ایذه	۳۱/۸۵	۴۹/۸۵
۷	مسجدسلیمان	۳۱/۹۸	۴۹/۲۴
۸	امیدیه	۳۰/۷۴	۴۹/۶۹
۹	رامهرمز	۳۱/۳۷	۴۹/۶۰
۱۰	صفی‌آباد	۳۲/۲۵	۴۸/۴۳
۱۱	شوشتر	۳۲/۰۵	۴۸/۸۳

محاسبه شاخص SPEI

شاخص SPEI را نخستین بار ویستنه سرانو^۱ و همکاران در سال ۲۰۱۰ به کار بردند. این شاخص با استاندارد کردن تفاوت بین تبخیر و تعرق بالقوه و بارش، درجه انحراف شرایط خشک و مرطوب منطقه را از شرایط اقلیمی متوسط توصیف می‌کند و یک شاخص مناسب برای تجزیه و تحلیل روند خشک‌سالی می‌باشد که به‌طور گسترده در زمینه ارزیابی خشک‌سالی و مخاطرات طبیعی استفاده می‌شود. الگوریتم SPEI بسیار شبیه به الگوریتم SPI است (ویستنه سرانو، ۲۰۱۰) و مراحل محاسبه این شاخص به‌طور خلاصه به شرح رابطه ۱ تا ۸ توضیح داده شده است (ژاو و همکاران، ۲۰۱۵):

$$PET_i = \left(\frac{2uN}{45}\right) \left(\frac{10T_i}{I}\right) (6.75 * 10^{-7})I^3 - (7.71 * 10^{-5})I^2 + (1.79 * 10^{-2})I + 0.49 \quad (1)$$

اولین گام محاسبه تبخیر و تعرق بالقوه (PET) است که یکی از روش‌های محاسبه آن ترنت وایت است که در آن u میانگین ماهانه ساعات آفتابی روزانه ماه i، N کل روزهای ماه i، Ti میانگین دمای ماهانه و I شاخص گرما است. دلیل استفاده از روش تورنوایت برای محاسبه تبخیر تعرق نزدیکی آن با مقادیر ایستگاه‌های زمینی می‌باشد (قمر نیا و سلطانی، ۱۳۹۷).

$$D_i = P_i - PET_i \quad (2)$$

در گام دو با استفاده از رابطه ۲، تفاضل بین بارش و تبخیر و تعرق واقعی محاسبه می‌گردد. از آنجایی که ممکن است مقادیر منفی در توالی داده اصلی Di وجود داشته باشد، SPEI از توزیع احتمال لجستیکی سه پارامتری استفاده

1 Vicente-Serrano et al

می‌کند. برای توالی داده‌ها همه مقیاس‌های زمانی، تابع تجمعی توزیع احتمال لجستیک، $F(x)$ به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$F(x) = \left[1 + \left(\frac{\alpha}{x - y} \right)^\beta \right]^{-1} \quad (۳)$$

P احتمال یک مقدار معین D است:

$$P = 1 - F(x) \quad (۴)$$

For $P \leq 0.5$,

$$w = \sqrt{-2 \ln(p)} \quad (۵)$$

$$SPEI = w - \frac{c_0 + c_1 w + c_2 w^2}{1 + d_1 w + d_2 w^2 + d_3 w^3} \text{ For } P > 0.5, \quad (۶)$$

$$w = \sqrt{-2 \ln(1 - p)} \quad (۷)$$

$$SPEI = -\left(w - \frac{c_0 + c_1 w + c_2 w^2}{1 + d_1 w + d_2 w^2 + d_3 w^3} \right) \quad (۸)$$

در اینجا $C_0 = 2.51$, $C_1 = 0.80$, $C_2 = 0.01$, $d_1 = 1.43$, $d_2 = 0.18$ و $d_3 = 0.001$ است (ژاو و همکاران، ۲۰۱۵). جدول ۲ طبقات مختلف خشک‌سالی بر اساس شاخص SPEI را نشان می‌دهد.

جدول ۲: طبقات مختلف شاخص SPEI (مک کی و همکاران، ۱۹۹۳)^۱

وضعیت خشک‌سالی	نمایه SPEI
ترسالی حاد	۲ و بیشتر
ترسالی شدید	بین ۱/۵ تا ۱/۹۹
ترسالی متوسط	بین ۱ تا ۱/۴۹
ترسالی خفیف	۰/۹۹ تا -۰/۹۹
خشک‌سالی متوسط	بین -۱ تا -۱/۴۹
خشک‌سالی شدید	بین -۱/۵ تا -۱/۹۹
خشک‌سالی حاد	-۲ و کمتر

آزمون‌های تحلیل روند

روش‌های مختلفی جهت بررسی روند داده‌های سری زمانی وجود دارد. از مهم‌ترین روش‌های تحلیل روند سری زمانی آزمون ناپارامتریک، من کندال و شیب سن می‌باشد. این آزمون‌ها جهت تحلیل داده‌هایی به کار گرفته می‌شود که از توزیع خاصی پیروی نمی‌کنند. در این پژوهش به منظور تحلیل روند داده‌های هواشناسی از آزمون‌های یادشده استفاده گردید که در ادامه به توضیح آن پرداخته می‌شود:

¹ Mckee

آزمون من-کندال

آزمون من کندال برای بررسی تصادفی بودن و تعیین روند در سری‌های زمانی استفاده می‌شود. در این آزمون تصادفی بودن داده‌ها با عدم روند مشخص می‌شود. در صورت وجود روند، داده‌ها تصادفی بوده است (عزیزی و روشنی، ۱۳۸۷). آزمون من کندال معمولاً برای داده‌هایی استفاده می‌شود که توزیع نرمال ندارند؛ زیرا این آزمون بر روی رتبه‌ها عمل می‌کند و برخلاف آزمون‌های همبستگی پیرسون، به توزیع نرمالی برای داده‌ها نیاز ندارد. بنابراین، در ابتدا با استفاده از پارامترهای آماری نرمال بودن داده‌های بارش و دما برای ایستگاه اهواز به‌عنوان ایستگاه معرف در طول دوره آماری بررسی گردید. بررسی‌ها نشان داد که مقادیر چولگی و کشیدگی برای دما به ترتیب برابر با $0.67-$ و $1.44-$ بود. همچنین مقادیر این دو پارامتر برای بارش به ترتیب $2/33$ و $6/1$ بود که نشان‌دهنده این موضوع است که داده‌ها توزیع نرمالی ندارند. بنابراین می‌توان از آزمون من کندال برای بررسی روند داده‌ها استفاده کرد. در این آزمون ابتدا اختلاف بین هر یک از مشاهدات با تمام مشاهدات پس از آن محاسبه شده و پارامتر S مطابق رابطه ۹ به دست می‌آید (من ۱۹۴۵؛ کندال، ۱۹۷۰):

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (9)$$

در این رابطه N تعداد مشاهدات سری و x_j و x_k به ترتیب هر کدام بیانگر داده‌های زام و کام سری است. تابع sgn استفاده از رابطه ۱۰ تعیین می‌گردد:

$$\begin{aligned} \text{sgn}(x_j - x_k) &= +1 \quad \text{for}(x_j - x_k) > 0 \\ \text{sgn}(x_j - x_k) &= 0 \quad \text{for}(x_j - x_k) = 0 \\ \text{sgn}(x_j - x_k) &= -1 \quad \text{for}(x_j - x_k) < 0 \end{aligned} \quad (10)$$

در گام بعدی واریانس از رابطه ۱۱ محاسبه می‌گردد:

$$\begin{aligned} \text{For } n > 10 \\ \text{var}(s) &= \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{t=1}^m t(t-1)(2t+5)}{18} \end{aligned} \quad (11)$$

For $n < 10$

$$\text{var}(s) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18}$$

در این رابطه n و m معرف تعداد دنباله‌هایی است که در آن‌ها حداقل یک داده تکراری وجود دارد. t بیانگر فراوانی داده‌های با ارزش یکسان در دنباله است. در گام دیگر آماره Z با استفاده از یکی از روابط ۱۲ به دست می‌آید:

$$\begin{aligned} \text{For } s > 0 \quad z &= \frac{s-1}{\sqrt{\text{var}(s)}} \\ \text{For } s = 0 \quad z &= 0 \\ \text{For } s < 0 \quad z &= \frac{s+1}{\sqrt{\text{var}(s)}} \end{aligned} \quad (12)$$

با فرض دو دامنه آزمون روند، فرضیه صفر در صورتی قابل قبول می‌باشد که دارای شرط زیر باشد (رابطه ۱۳):

$$|Z| < Z_{\alpha/2} \quad (۱۳)$$

در اینجا α سطح معنی داری است که برای آزمون در نظر گرفته شده و Z_{α} آماره توزیع نرمال استاندارد در سطح معناداری α است که نظر به دو دامنه بودن این آزمون، $\alpha/2$ استفاده می‌گردد. در صورتی که آماره Z مثبت باشد روند داده‌ها صعودی و در صورت منفی بودن روند نزولی در نظر گرفته می‌شود (من ۱۹۴۵؛ کندال، ۱۹۶۲).

آزمون شیب سن

این آزمون آماری توسط سن بر اساس مطالعات آماری صورت گرفته توسط تیل^۱ (۱۹۵۰) به عنوان یک روش ناپارامتریک برای بررسی تحلیل سری‌های زمانی توسعه داده شد. مقدار شیب روند با استفاده از شیوه‌ی ارائه شده توسط تیل (۱۹۵۰) و سن (۱۹۶۸) با رابطه ۱۴ برآورد می‌گردد:

$$\beta = \text{median} \frac{(x_j - x_i)}{(j - i)} \quad (۱۴)$$

در اینجا، β : برآوردگر شیب خط روند و x_i : مقدار مشاهده i ام است. مقادیر مثبت β نشان‌دهنده روند افزایشی و مقادیر منفی آن روند کاهشی را نشان می‌دهد.

محاسبه شاخص NDVI

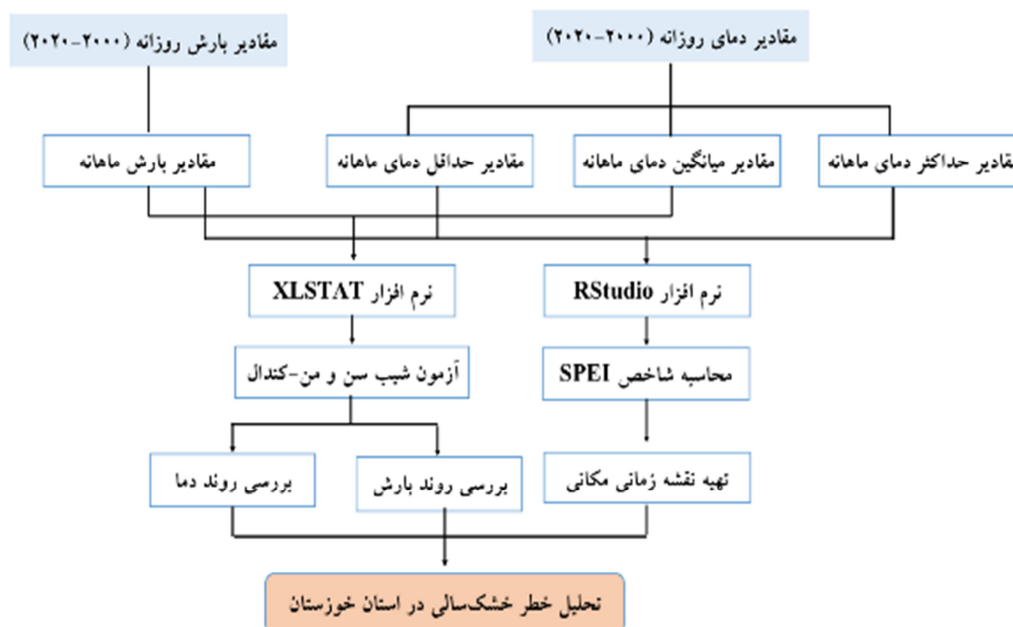
این شاخص که رایج‌ترین شاخص بررسی پوشش است در دامنه مقادیر نرمال بین $+۱$ و -۱ تعریف می‌گردد. مقادیر مختلف NDVI نمایانگر پوشش‌های مختلف است. $۰/۵ - ۰/۱$ مناطق گیاهی تنک، $۰/۵ - ۰/۱$ مناطق گیاهی معمولی، $۰/۵ - ۱$ برای مناطق گیاهی متراکم و غنی، آب، خاک مرطوب و یخ دارای NDVI منفی می‌باشند. خاک دارای مقادیر کمتر از $۰/۵$ و ابر دارای مقادیر حول صفر می‌باشد (فاطمی و رضایی، ۱۳۹۱). در این پژوهش از این شاخص به منظور بررسی تغییرات کاربری اراضی/پوشش سطح تالاب‌های هورالعظیم و شادگان استفاده شد.

پهنه‌بندی شاخص SPEI

روش‌های درون‌یابی، مجموعه‌ای از مدل‌های ریاضی و آماری می‌باشند که مقادیر مجهول را بر اساس نقاط معلوم پیش‌بینی می‌نمایند. شباهت نقاط مجهول به نزدیک‌ترین نقاط معلوم که اصل همسایگی نام دارد، اساس روش‌های درون‌یابی است. روش‌های مختلفی جهت محاسبه درون‌یابی وجود دارد. در این پژوهش از بین روش‌های مختلف به منظور پهنه‌بندی شاخص SPEI پس از ارزیابی خطای پهنه‌بندی با استفاده از روش درون‌یابی فاصله معکوس وزنی^۲ (IDW) استفاده گردید. روش IDW بر این فرض استوار است که تأثیر پدیده مورد نظر با افزایش مسافت کاهش می‌یابد. به بیانی دیگر، پدیده پیوسته در نقاط اندازه‌گیری نشده بیشترین شباهت را به نزدیک‌ترین نقاط برداشت شده دارد. بنابراین برای تخمین نقاط مجهول، نمونه‌های اطراف باید مشارکت بیشتری نسبت به آن‌هایی که در فاصله دورتر قرار دارند، داشته باشند. درون‌یابی در این شیوه به این ترتیب برآورد می‌شود که محدوده مورد نظر تبدیل به ماتریسی با سلول‌های هم‌اندازه می‌شود. مشخصات مکانی این ماتریس روشن است و دارای واحد اندازه‌گیری است (قهرودی و همکاران، ۱۳۹۴). مراحل روش انجام کار به صورت خلاصه در شکل ۲ نشان داده شده است.

1 Thiel

2 Inverse Distance Weighted



شکل ۲: فلوچارت مراحل کار

نتایج و بحث

در این پژوهش ابتدا برای ارزیابی وضعیت خشک‌سالی اقدام به محاسبه خشک‌سالی بر اساس شاخص SPEI شد. این شاخص یک ابزار در تحلیل خشک‌سالی بر مبنای داده‌های بارش و دما در سری‌های متفاوت زمانی می‌باشد. از اهداف اصلی این شاخص می‌توان بیان نمود که این شاخص به دنبال اختصاص یک ارزش عددی به رویداد بارندگی و دما است تا بتواند بر اساس این ارزش‌ها وضعیت خشک‌سالی مناطق مختلف را در طول زمان و نسبت به یکدیگر مورد ارزیابی قرار دهد. پس از حذف و اصلاح داده‌های پرت و کنترل کیفی داده‌ها، دوره آماری ۲۱ ساله به‌عنوان دوره آماری مشترک برای ۱۱ ایستگاه سینوپتیک در بین کل ایستگاه‌های استان در نظر گرفته شد. مقیاس‌های زمانی مختلفی برای SPEI (از ۱ تا ۴۸ ماه) وجود دارد. از آنجایی که هدف پایش ارزیابی خشک‌سالی هواشناسی بود، جهت نشان دادن تغییرات خشک‌سالی در یک بازه زمانی ۲۱ ساله از SPEI دوازده‌ماهه استفاده گردید. سایر پژوهشگران از جمله هایس^۱ و همکاران، ۱۹۹۹، ازم^۲ و همکاران، ۲۰۱۸ بیان می‌کنند چنانچه هدف بررسی وضعیت هیدرولوژیک و هواشناسی باشد، از شاخص SPEI (۱۲ تا ۴۸ ماهه) و چنانچه هدف بررسی روند خشک‌سالی کشاورزی باشد، از SPEI (۱ تا ۶ ماهه) استفاده می‌گردد (مک کی^۳ و همکاران ۱۹۹۳، ازم و همکاران، ۲۰۱۸).

پس از آنکه داده‌ها به‌صورت ماهانه تهیه شد، شاخص SPEI دوازده‌ماهه در محیط نرم‌افزار برنامه‌نویسی RStudio برای تمام ایستگاه‌های سینوپتیک طی دوره آماری مورد بررسی (۲۰۲۰-۲۰۰۰) محاسبه و طبقات مختلف

1 Hayes
2 Azam
3 Mckee

خشک‌سالی مشخص گردید. درنهایت بر اساس مقادیر به‌دست‌آمده از محاسبه SPEI ۱۲ ماهه و مطابق جدول شماره ۲ برای تمام ایستگاه‌ها وضعیت خشک‌سالی تعیین شد.

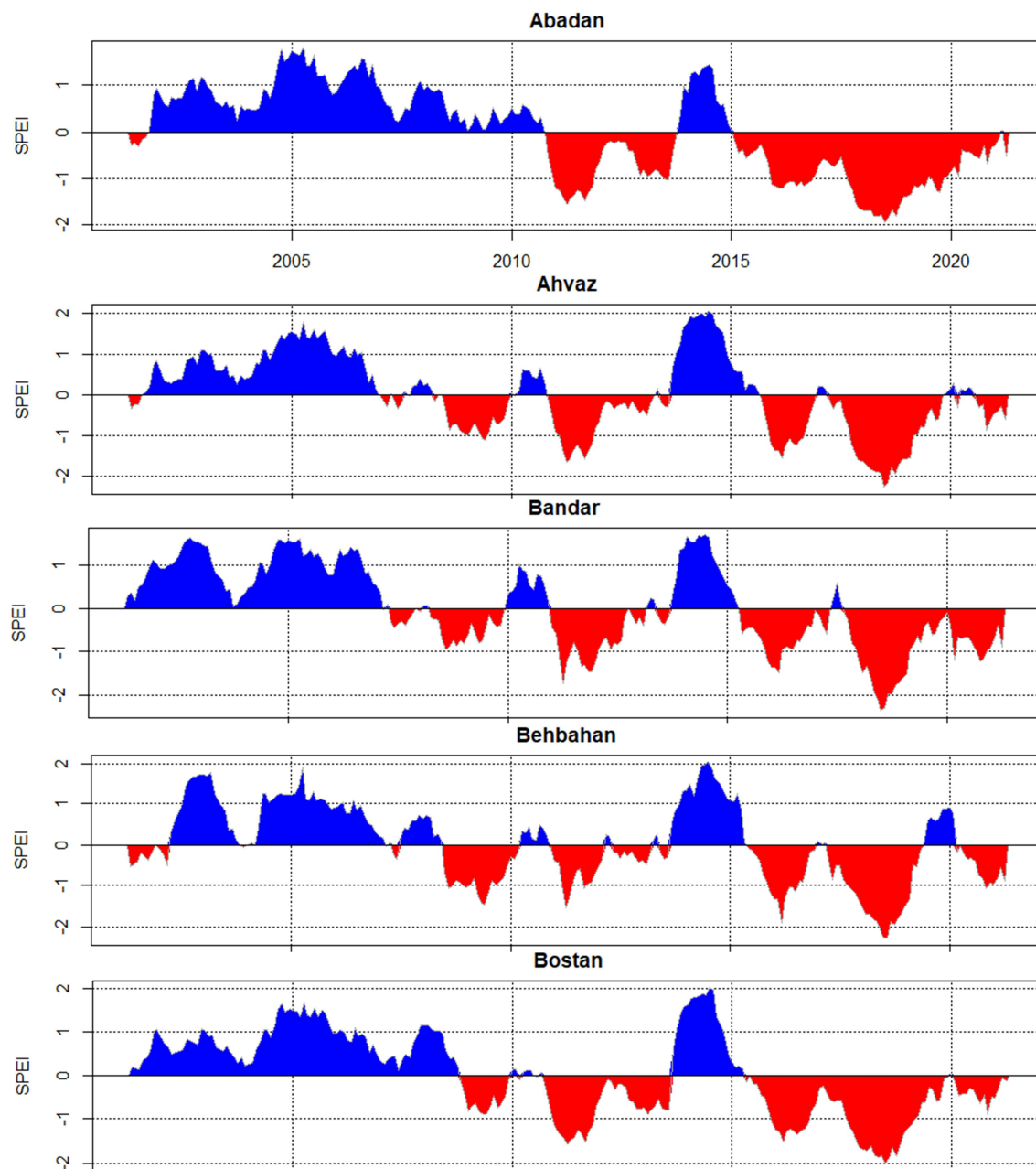
نمودارهای شاخص SPEI

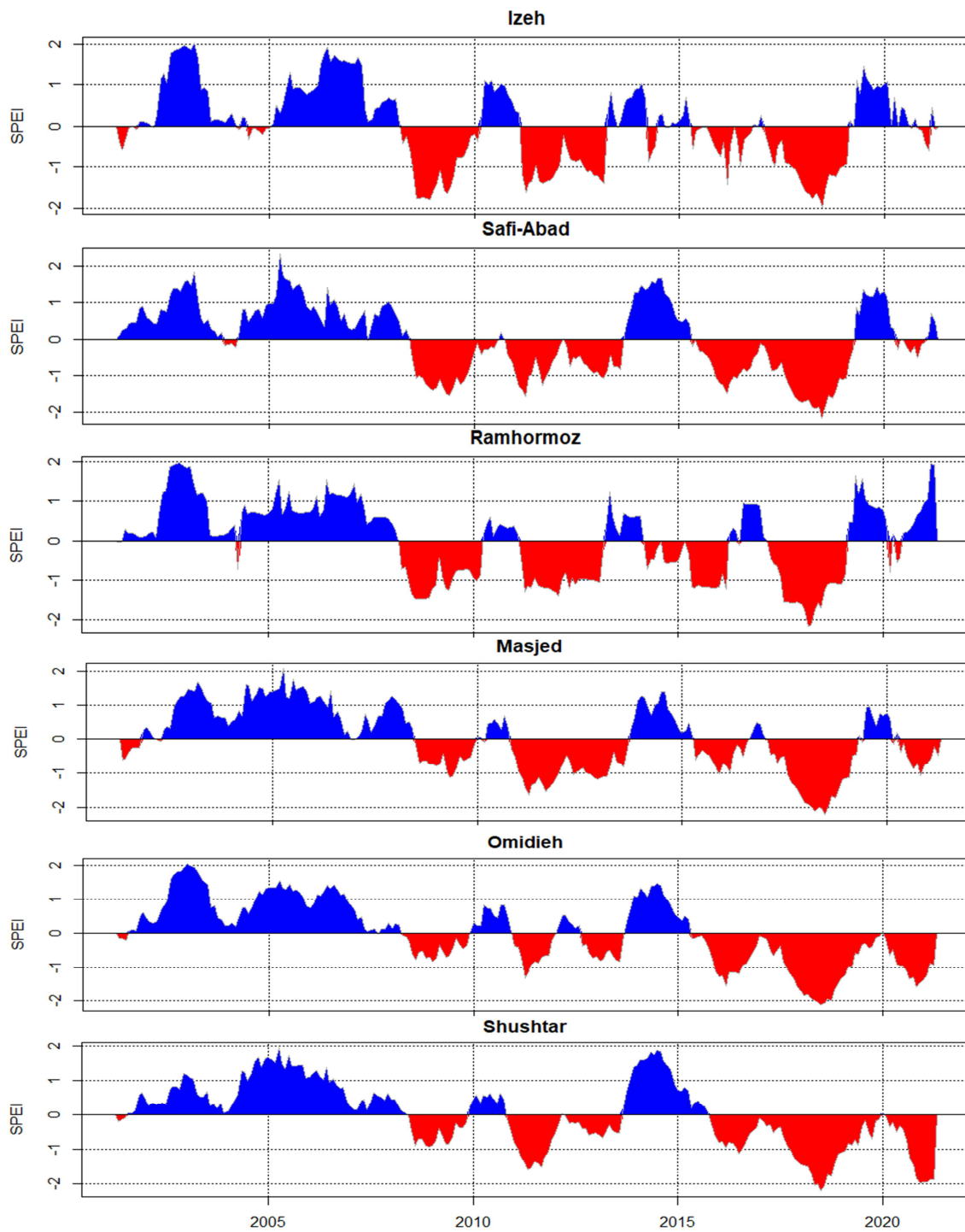
شکل ۳ نمودار وضعیت خشک‌سالی طی بازه‌ی مورد مطالعه را برای هر یک از ایستگاه‌های مورد بررسی نشان می‌دهد. بررسی ماه‌های زمستان و بهار نشان داد بیشینه خشک‌سالی (کلاس خشک‌سالی حاد با ارزش کمتر از -۲) در سال ۲۰۱۸ در ایستگاه‌های اهواز، بندر ماهشهر، بهبهان، بستان، مسجدسلیمان، امیدیه، صفی‌آباد و شوشتر بود و تنها ایستگاه‌های آبادان، ایذه و رامهرمز در این کلاس قرار نداشتند. همچنین سال‌های ۲۰۰۸، ۲۰۰۹، ۲۰۱۱، ۲۰۱۸ و ۲۰۱۷ اغلب ایستگاه‌ها دارای کلاس خشک‌سالی شدید (۱/۵ تا ۱/۹۹) بودند. نتایج تمام ایستگاه‌ها در فصل زمستان و بهار، سال ۲۰۱۸ را به‌عنوان خشک‌سالی شدید نشان دادند. از طرف دیگر سال‌های ۲۰۰۸، ۲۰۰۹، ۲۰۱۱، ۲۰۱۳، ۲۰۱۶، ۲۰۱۷ و ۲۰۲۰ اغلب ایستگاه‌ها در یک یا چند ماه از فصول در این دوره، در وضعیت خشک‌سالی متوسط قرار داشتند. همچنین بررسی روند ترسالی در ماه‌های زمستان و بهار نشان داد که سال‌های ۲۰۰۵ و ۲۰۱۴ اهواز، بهبهان و بستان وضعیت ترسالی حاد (ارزش بیش از ۲) را به خود اختصاص داده‌اند. علاوه بر این در فصل زمستان و بهار سال‌های ۲۰۰۲، ۲۰۰۴، ۲۰۰۵، ۲۰۰۶، ۲۰۱۴ و اغلب ایستگاه‌های مورد مطالعه در وضعیت ترسالی شدید قرار داشتند. بررسی تغییرات وضعیت خشک‌سالی در ایستگاه‌های مورد بررسی نشان داد کلاس ترسالی متوسط در این فصول (زمستان و بهار) مربوط به سال‌های ۲۰۰۲، ۲۰۰۳، ۲۰۰۴، ۲۰۰۵، ۲۰۰۶ و ۲۰۱۴ بود که تمام ایستگاه‌ها در کلاس ترسالی متوسط قرار داشتند.

بررسی ماه‌های فصول تابستان و پاییز نشانگر این بود که در سال‌های ۲۰۱۰، ۲۰۰۸، ۲۰۱۵، ۲۰۱۷، ۲۰۱۸ و ۲۰۲۰ ایستگاه‌های آبادان، اهواز، بندر ماهشهر، بهبهان، بستان، ایذه، مسجدسلیمان، امیدیه، رامهرمز و صفی‌آباد در کلاس خشک‌سالی شدید و سال ۲۰۱۷ ایستگاه‌های مسجدسلیمان و رامهرمز دارای وضعیت خشک‌سالی حاد بودند. همچنین برخی ماه‌های فصل تابستان و پاییز سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۵، ۲۰۰۶، ۲۰۱۰، ۲۰۱۳ و ۲۰۱۴ وضعیت ترسالی شدید و ۲۰۰۰ و ۲۰۰۴ ایستگاه‌های امیدیه، صفی‌آباد، ایذه و مسجدسلیمان ترسالی حاد را تجربه کرده‌اند. سایر ماه‌ها در کلاس ترسالی متوسط، خشک‌سالی متوسط و نزدیک به نرمال قرار دارد.

همان‌طور که در نمودار تغییرات SPEI قابل مشاهده است، در استان خوزستان دهه اول (۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰) تمام ایستگاه‌ها در وضعیت ترسالی بیشتر نسبت به دهه دوم قرار دارد. غلامی و همکاران (۱۳۹۸) نیز در بررسی‌های خود با شاخص SPEI در استان خوزستان بیان نمودند حداکثر شدت خشک‌سالی در سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۶ با متوسط ۱/۱۹- به وقوع پیوسته است. گفتنی است با توجه به اینکه آن‌ها در پژوهش خود به دنبال بررسی خشک‌سالی و ارتباط آن با پدیده گردوغبار بودند، نتایج خشک‌سالی برای هر یک از ایستگاه‌ها و بازه مورد نظر گزارش نشده بود تا بتوان مقایسه بیشتر بین نتایج ایستگاه‌ها نمود. درگاهیان و همکاران (۱۳۹۹) برآیند خشک‌سالی در چهار دهه را درحوزه کرخه، کارون، زهره و جراحی با شاخص‌های SPI و SPEI مورد ارزیابی قرار دادند که نتایج آن‌ها نشان‌دهنده افزایش خشک‌سالی در دهه‌های اخیر (۱۳۸۵ تا ۱۳۹۵) نسبت به دهه‌های قبل است. بررسی نمودار هر یک از

ایستگاه‌های موردبررسی نشان داد ایستگاه آبادان، اهواز، بندر ماهشهر، بهبهان، بستان، ایذه، مسجدسلیمان، امیدیه، رامهرمز، صفی‌آباد و شوشتر به ترتیب ۶۴، ۶۸، ۶۷، ۶۶، ۶۵، ۶۶/۳۹، ۶۳، ۶۷، ۶۲، ۶۴ و ۶۸ درصد از ماه‌های مورد مطالعه در کلاس نرمال قرار گرفتند.





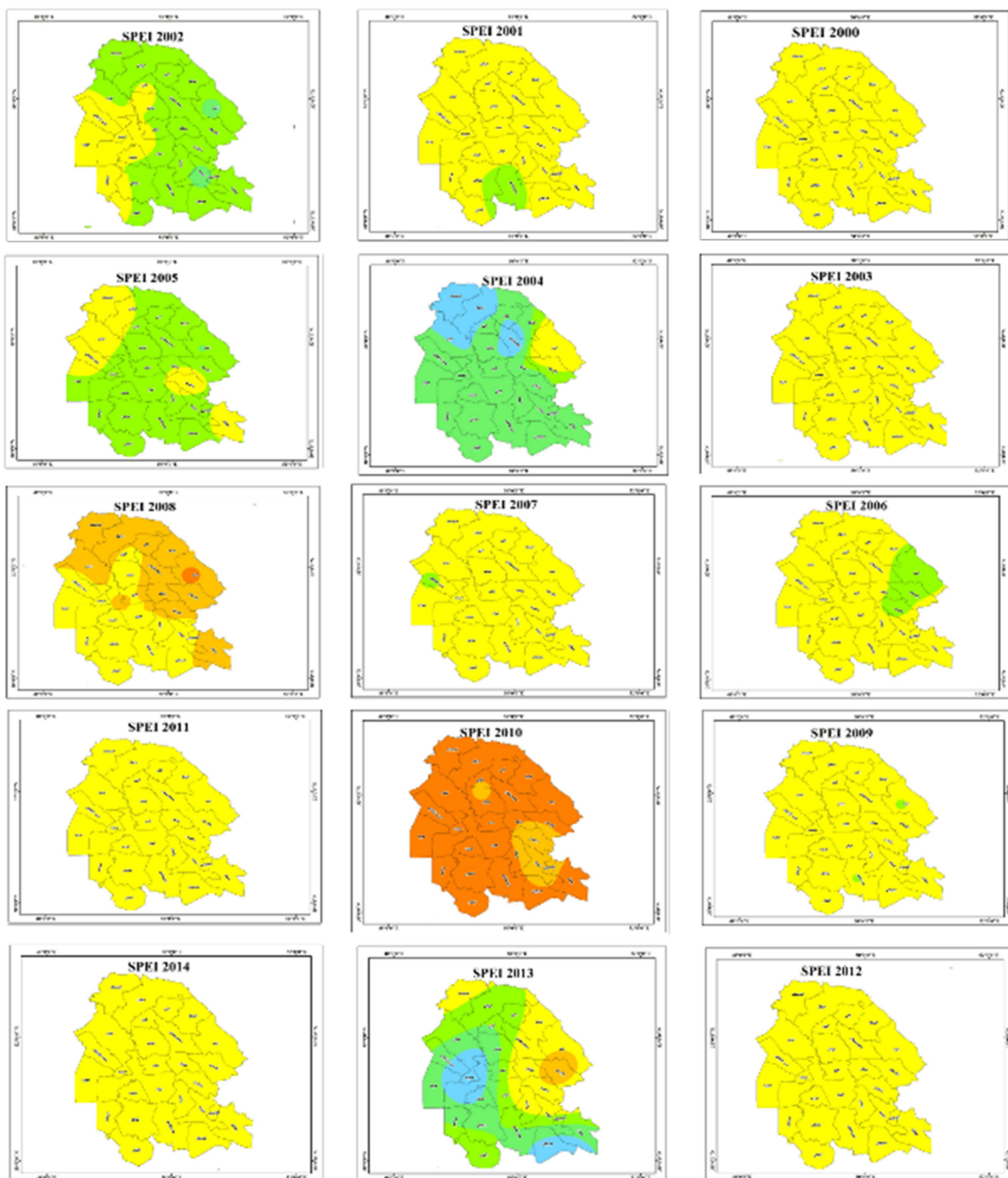
شکل ۳: تغییرات شاخص SPEI در طول دوره آماری (۲۰۲۰-۲۰۰۰) برای ۱۱ ایستگاه هواشناسی در خوزستان

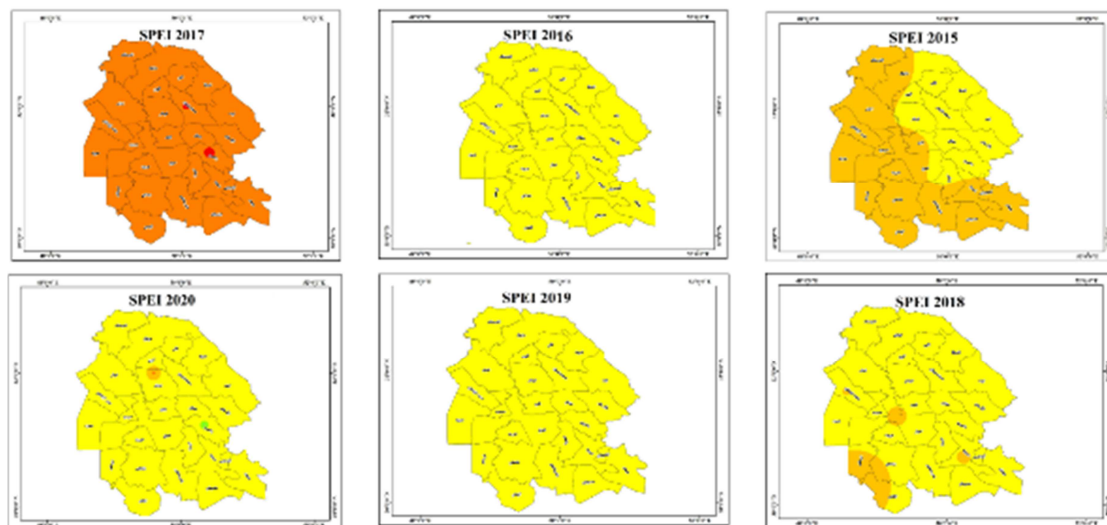
نقشه‌های زمانی - مکانی شاخص SPEI

در مطالعات انجام‌گرفته توسط سایر محققان (آن و همکاران^۱، ۲۰۲۰) به منظور نمایش و پهنه‌بندی شاخص خشک‌سالی SPEI ۱۲ ماهه منتهی به ماه دسامبر برای هر ایستگاه مد نظر قرار داده شد که این مطالعه نیز به این صورت بود. نقشه‌های پهنه‌بندی شاخص خشک‌سالی برای استان خوزستان در شکل (۴) نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که در اغلب مناطق استان وضعیت نزدیک به نرمال بیشترین درصد را به خود اختصاص داده است. سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۱، ۲۰۰۳، ۲۰۰۶، ۲۰۰۷، ۲۰۰۹، ۲۰۱۱، ۲۰۱۲، ۲۰۱۴، ۲۰۱۶، ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰ تقریباً کل استان در وضعیت نزدیک به نرمال قرار دارند که نشان‌دهنده نوسانات کمتر بارش و دمای ماهانه نسبت به میانگین دراز مدت در این سال‌ها می‌باشد. به عبارت دیگر، بررسی سالانه خشک‌سالی نشان می‌دهد ۵۷/۱۴ درصد از بازه زمانی مورد مطالعه استان خوزستان در وضعیت نزدیک به نرمال قرار داشت. نتایج پهنه‌بندی شاخص خشک‌سالی نشان می‌دهد که سال ۲۰۰۴ بیشترین سطح، مربوط به طبقات وضعیت ترسالی شدید و بسیار شدید است. با این وجود تنها محدوده شهرستان ایذه در این سال در وضعیت نزدیک به نرمال قرار دارد، درحالی‌که نقشه میانگین بارش سالانه نشان می‌دهد شهرستان ایذه دارای میانگین بارش ۴۴۶ تا ۵۹۱ میلی‌متر می‌باشد. همچنین قسمت‌های شمالی استان به‌ویژه شهرهای اندیمشک، دزفول و شوش با ارزش عددی بیش از ۲ دارای وضعیت ترسالی شدید می‌باشند. باین-حال به فاصله یک سال (۲۰۰۵) علیرغم اکثر مناطق استان که در وضعیت ترسالی متوسط قرار گرفته است. همچنین بخش شمالی شامل شهرستان‌های اندیمشک، شوش و بخش‌های از دزفول از وضعیت ترسالی شدید به نزدیک به نرمال سوق داده شده است که نشان می‌دهد وضعیت خشک‌سالی می‌تواند در هر اقلیم و هر منطقه‌ای، در هر محدوده زمانی رخ دهد که این مسئله در سایر مطالعات از جمله سبحانی و همکاران (۱۳۹۴)، حدادی و حیدری (۱۳۹۳)، اداساوا و همکاران (۲۰۱۰)، اسپیونی و همکاران (۲۰۱۵)، مصطفی‌زاده و ذبیحی (۱۳۹۵)، لی و همکاران (۲۰۱۶)، ازم و همکاران (۲۰۱۸)، آن و همکاران (۲۰۲۰) نیز مورد بررسی قرار گرفته است.

در بین سال‌های مورد بررسی وضعیت خشک‌سالی در سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۷ بیشترین سطح و شدت خشک‌سالی را به خود اختصاص داده است، به طوری‌که تقریباً کل استان خوزستان در وضعیت خشک‌سالی شدید قرار داشته است. سال ۲۰۰۸ و ۲۰۱۵ نیمی از استان در وضعیت نرمال و نیم دیگر در وضعیت خشک‌سالی شدید قرار دارد که در سال ۲۰۰۸ بخش‌های شرقی و شمالی در وضعیت خشک‌سالی شدید و سایر بخش‌ها نزدیک به نرمال و در سال ۲۰۱۵ بخش‌های شرقی در وضعیت نزدیک به نرمال و سایر بخش‌ها دارای وضعیت خشک‌سالی شدید است. نتایج این پژوهش با یافته‌های امانی و همکاران ۱۳۹۸ با استفاده از شاخص خشک‌سالی PNPI مورد مقایسه قرار گرفت که همخوانی بین این مطالعه آنها با این پژوهش وجود داشت. ظهراپ‌زاده و اسلامی (۱۳۹۶) طی سال‌های ۱۳۶۱ تا ۱۳۹۳ از شاخص SPI به منظور بررسی تغییرات زمانی - مکانی خطر خشک‌سالی در استان خوزستان استفاده نمودند. نتایج این مطالعه نشان داد برای تمام استان، شدت خشک‌سالی شدید و ملایم در سال‌های ۱۹۸۵، ۱۹۸۹، ۱۹۹۴، ۲۰۰۰، ۲۰۰۸، ۲۰۰۹ و ۲۰۱۲ به دست آمده است، درحالی‌که در این پژوهش سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۹ و ۲۰۱۲ وضعیت نزدیک به نرمال داشت و سال ۲۰۰۹ در کلاس خشک‌سالی کمتر نسبت به مطالعه

ظهرا بزاده و اسلامی بود. این تفاوت نشان می‌دهد با توجه به اینکه طول بازه مورد مطالعه در هر دو پژوهش متفاوت است، دلیل قرارگیری مناطق استان در کلاس نرمال در این سال‌ها به علت کاهش میانگین بارندگی دراز مدت در سال‌های اخیر نسبت به سال‌های گذشته است.





شکل ۴: تغییرات زمانی-مکانی شاخص SPEI ۱۲ ماهه در استان خوزستان

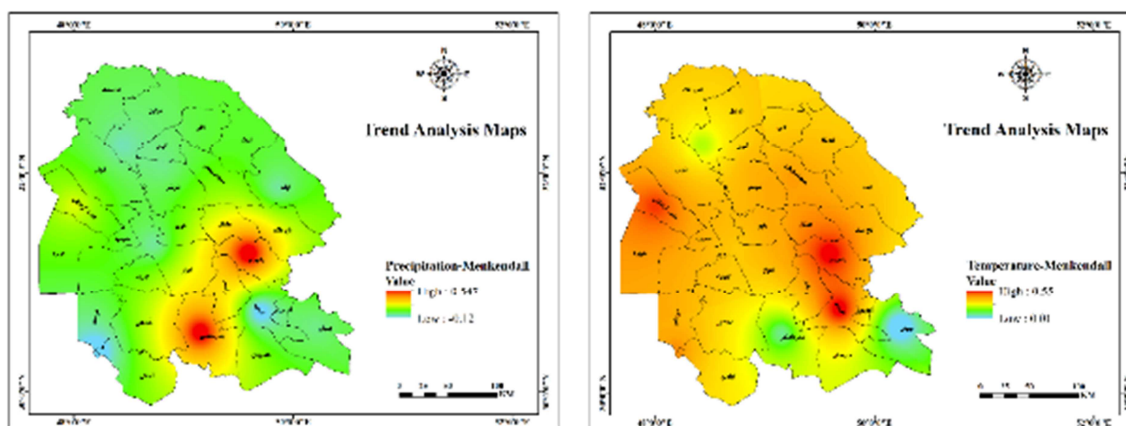
تحلیل روند خشک‌سالی

بسیاری از محققان بر این باورند آزمون‌های من کندال و شیب سن به علت سادگی محاسبات و در دسترس بودن داده‌های اقلیمی قابلیت بسیار بالایی برای محاسبه در هر مقیاس زمانی و مکانی دلخواه را دارد و نتایج آن به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص برای تحلیل خشک‌سالی به‌ویژه تحلیل‌های مکانی شناخته می‌شود (رضیئی و همکاران، ۱۳۸۶). در این پژوهش از آزمون من کندال و شیب سن طی دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ استفاده گردید. نتایج آزمون بارش و دما برای هر یک از ایستگاه‌ها در جدول ۳ و تغییرات مکانی آن در شکل ۵ ارائه شده است.

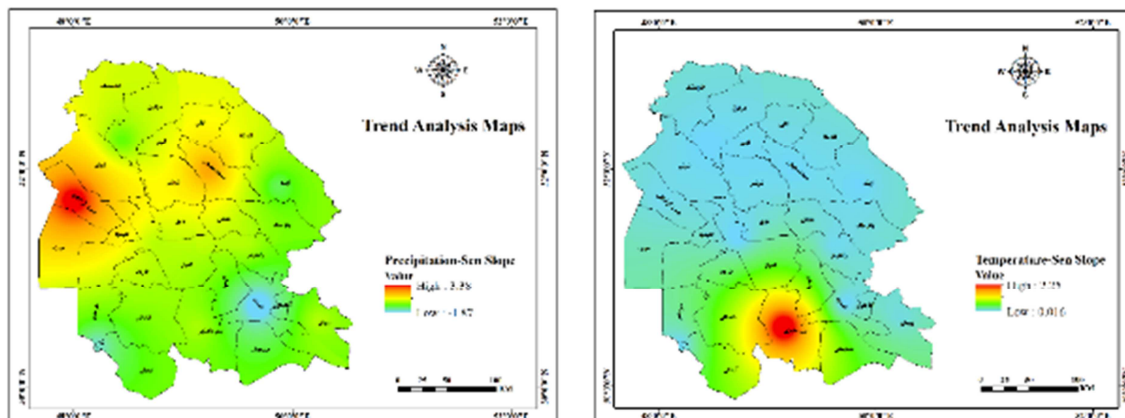
جدول ۳: تحلیل زمانی بارش و دما با استفاده از آزمون من کندال و شیب سن

شماره	نام ایستگاه	من کندال - بارش Z value	شیب سن - بارش β value	من کندال دما Z value	شیب سن - دما β value
۱	آبادان	-۰/۱۱۶	-۱/۲۶	۰/۴۳۲	۰/۰۶۳
۲	اهواز	۰	۰/۲۱۲	۰/۳۶۸	۰/۰۲۷
۳	بندر ماهشهر	۰/۵۳۷	۰/۰۴۴	۰/۱۲۶	۲/۲۵۴
۴	بهبهان	۰/۰۱۱	۰/۱۰۴	۰/۰۱۱	۰/۱۰۴
۵	بستان	۰/۱۹۷	۳/۳۷۵	۰/۵۰۵	۰/۰۷۲
۶	ایذه	۰	-۰/۶۶۸	۰/۳۸۹	۰/۰۴۲
۷	مسجدسلیمان	۰/۰۸۴	۱/۷۹۵	۰/۴۲۱	۰/۰۴۴
۸	امیدیه	-۰/۰۸۴	-۱/۸۷	۰/۵۴۷	۰/۰۷۲
۹	رامهرمز	۰/۵۴۷	۰/۰۷۴	۰/۵۴۷	۰/۰۷۴
۱۰	صفی‌آباد	-۰/۰۲۱	-۰/۳۳۱	۰/۲۴۲	۰/۰۲۹
۱۱	شوشتر	۰/۰۱۱	۰/۵۸۹	۰/۳۹	۰/۰۵۶

در آزمون سن بارش و دما به‌عنوان متغیرهای وابسته و زمان به‌عنوان یک متغیر مستقل در نظر گرفته می‌شود. نتایج پهنه‌بندی نشان می‌دهد که شیب تغییرات حاصل از آزمون سن بارش و دما به ترتیب $1/87$ تا $3/38$ و $0/16$ تا $2/25$ متغیر بود. بیشترین شیب تغییرات با روند افزایشی بارش در مناطق غرب و مرکز استان در محدوده شهرستان‌های دشت آزادگان، هویزه، شوش، حمیدیه، مسجدسلیمان و شوشتر واقع گردیده و شیب تغییرات منفی در مناطق جنوبی در شهرستان‌های آبادان، خرمشهر و امیدیه رخ داده است. آروین و اسکندریان (۱۳۹۶) نیز طی بررسی روند خشک‌سالی با آزمون کالموگروف اسمیرنوف بیان نمودند به‌دلیل کاهش بارش‌ها روند افزایشی خشک‌سالی در مناطق جنوبی خوزستان شدیدتر بوده است. بیشتر ایستگاه‌های سینوپتیک دارای روند مثبت و تنها ایستگاه‌های آبادان، امیدیه و صفی‌آباد دارای روند منفی در بارندگی بودند. کمترین شیب خط مربوط به بندر ماهشهر ($0/44$) و بیشترین شیب در ایستگاه‌های بستان ($3/375$)، مسجدسلیمان ($1/795$)، امیدیه ($1/87$) و آبادان ($1/26$) است که مشخص می‌کند وضعیت بارندگی در ایستگاه بستان و مسجدسلیمان به ترتیب $3/375$ و $1/795$ میلی‌متر در هر سال افزایش بارندگی و در ایستگاه‌های امیدیه و آبادان به ترتیب $1/26$ و $1/87$ میلی‌متر در سال کاهش بارندگی وجود دارد. پس از آن آماره Z آزمون من‌کنندال محاسبه گردیده و در سطح اطمینان ۵ درصد برای بررسی معنی‌داری استفاده شد. اگر قدر مطلق آماره Z محاسبه‌شده از مقدار Z استاندارد نرمال‌شده در سطح ۵ درصد که $1/96$ می‌باشد، بیشتر از این مقدار باشد فرض صفر رد می‌شود و فرض یک پذیرفته می‌گردد به این معنی که روند قابل‌توجهی وجود دارد. در غیر این صورت، فرض صفر پذیرفته می‌شود و فرض یک رد می‌شود، یعنی روند از نظر آماری معنی‌دار نیست (یاکوب^۱، ۲۰۲۰). با توجه به نتایج آزمون کنندال برای بارش در جدول ۳ بیشتر ایستگاه‌ها دارای روند مثبت و تنها ایستگاه‌های آبادان، امیدیه، ایذه و صفی‌آباد و محدوده شهرستان‌های ایذه، امیدیه، آقاجاری، آبادان، خرمشهر، بخش‌هایی از شهرستان‌های اهواز و دزفول دارای روند منفی در بارندگی، ایستگاه اهواز و ایذه با مقدار صفر دارای مقدار بارندگی ثابت در طول دوره موردبررسی است. هر چند اغلب ایستگاه‌ها دارای روند مثبت و منفی است، اما هیچ یک در بازه‌ی موردبررسی در سطح اطمینان ۵ درصد معنی‌دار نبود.



¹ yacoub



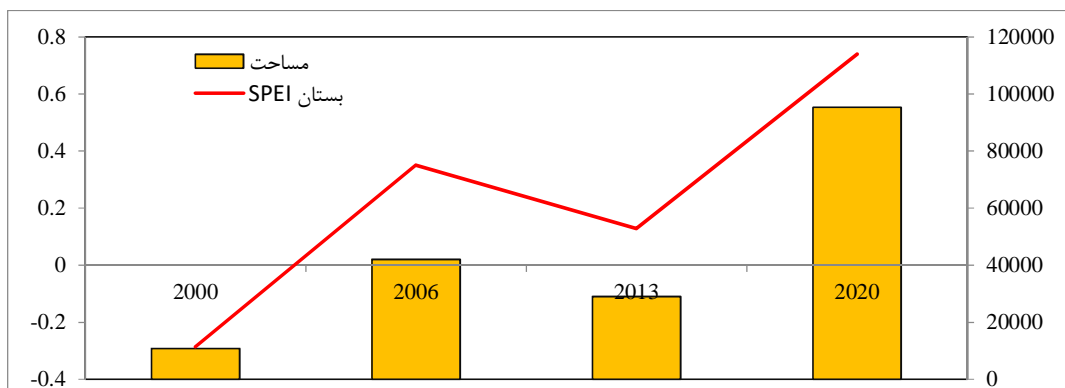
شکل ۵: نقشه توزیع مکانی آزمون من کندال و شیب سن برای بارش و دما در دوره آماری ۲۱ ساله (۲۰۰۰-۲۰۲۰)

تحلیل دما با دو آزمون یادشده نشان داد دما در تمام ایستگاه‌ها با شیب نسبتاً ملایم در بازه موردبررسی روند مثبت و رو به افزایش داشته است. تنها شیب تغییرات ایستگاه بندر ماهشهر با ۲/۲۵۴ حاصل از آزمون سن نشان‌دهنده تغییرات شدید بود. پهنه‌بندی شیب تغییرات دما با آزمون سن نشان می‌دهد مناطق جنوبی استان دارای حداکثر تغییرات افزایشی است. نتایج روند دما برای هر دو آزمون نتایج مشابهی داشته و برای تمامی ایستگاه‌ها روند افزایشی را نشان داد، با این تفاوت که در تحلیل شیب سن ایستگاه ماهشهر و بهبهان واقع در جنوب بیشترین شیب تغییرات را به خود اختصاص دادند. درحالی‌که آزمون کندال برای این دو ایستگاه کمترین ارزش را نشان داد و حداکثر تغییرات را در مناطق دشت آزادگان در غرب استان و رامهرمز و امیدیه در شرق استان خوزستان بود. قابل‌یادآوری است نتایج تغییرات دما با آزمون من کندال در سطح اطمینان ۵ درصد معنادار نبود. گرمایش جهانی و تغییرات اقلیم در اکثر مناطق دنیا در حال وقوع است و این امر به نوبه خود سبب کاهش بارش و افزایش دما خواهد شد. در این راستا پژوهش‌های زیادی از جمله ونکاتارمنان^۱، ۲۰۱۱، آن و همکاران، ۲۰۱۸، آلفونسو^۲ و همکاران، ۲۰۲۱، مدینا-آلبودا^۳، ۲۰۲۲، این موضوع مهم را تایید نمودند. اثرات خشک‌سالی ممکن است به‌صورت مستقیم خود را آشکار سازد (مانند کاهش تولیدات محصولات کشاورزی و کاهش تولیدات محصولات دامی) و یا اینکه اثرگذاری آن به‌صورت غیر مستقیم (مانند کاهش درآمد کشاورزان، مهاجرت آنان و کاهش سطح آموزش) باشد (افروزه و همکاران، ۱۳۸۸). خشک‌سالی در طول زمان و به‌صورت آهسته اثرات خود را نمایان می‌سازد که این امر ممکن است سبب نادیده گرفتن اثر آن شود. در هر حال این مخاطره طبیعی تاثیر طولانی و شدیدی روی طبیعتی که حیات انسان به آن بستگی دارد می‌گذارد. این پدیده که در ابتدا به‌صورت خشک‌سالی اقلیمی اتفاق می‌افتد و سپس به‌دنبال تشدید آن خشک‌سالی‌های کشاورزی و هیدرولوژیکی رخ خواهد داد. بنابراین بررسی انواع خشک‌سالی‌ها و آگاهی از وضعیت انواع خشک‌سالی و اثر آن بر محیط‌زیست و انسان می‌تواند مدیران را در جهت اخذ برنامه‌های صحیح و درست در زمینه مدیریت منابع آب و کشاورزی زمان بحران یاری نماید.

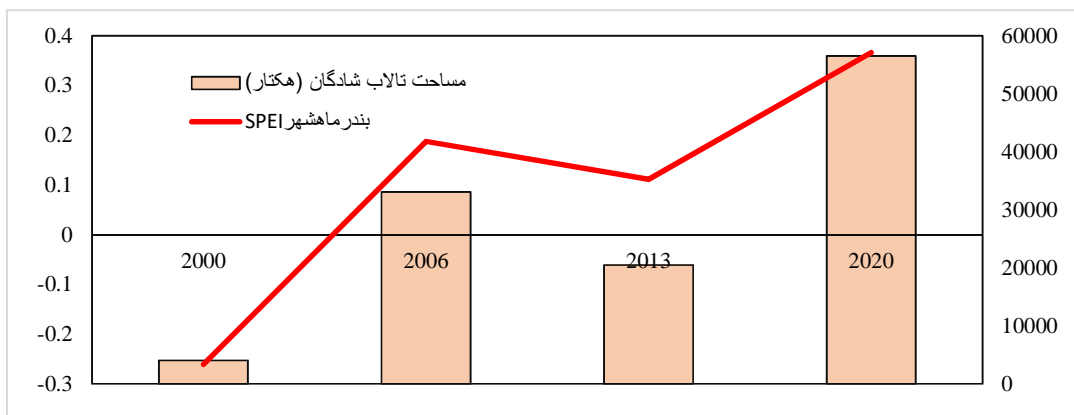
1 Venkataramanan
2 Alfonso
3 Medina-Arboleda

ارتباط خشک‌سالی با تغییرات سطح آب تالاب هورالعظیم و شادگان

در این پژوهش به دنبال بررسی اثر خشک‌سالی بر تالاب هورالعظیم و شادگان، نقشه پوشش محدوده تالاب‌ها با استفاده از شاخص پوشش گیاهی تفاضل نرمال‌شده (NDVI) به‌عنوان یک شاخص رایج استفاده شد. بر اساس نقشه‌های تولیدشده، محدوده تالاب‌ها به پوشش آب، خاک و پوشش گیاهی تقسیم شد و با اعمال یک آستانه، پوشش آب از سایر کاربری‌ها استخراج شد. برای انجام این پایش میانگین NDVI سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۶، ۲۰۱۳ و ۲۰۲۰ به‌صورت سالانه با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۷ و ۸ به‌دست آمد. به منظور بررسی ارتباط این تغییرات با شاخص خشک‌سالی، SPEI نزدیک‌ترین ایستگاه‌ها در نظر گرفته شد. بنابراین به منظور ارتباط تغییرات تالاب هورالعظیم، SPEI ایستگاه بستان و برای تالاب شادگان ایستگاه بندر ماهشهر به‌علت مجاورت و نزدیکی انتخاب گردید و ارزش شاخص خشک‌سالی نیز برای هر ایستگاه در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۶، ۲۰۱۳ و ۲۰۲۰ به‌دست آمد. بر اساس نمودارهای شکل ۶ و ۷ می‌توان ارتباط مستقیمی بین سطح آب تالاب‌ها با پدیده خشک‌سالی یافت. طبق نمودار ۶ در سال ۲۰۰۰ به‌علت خشک‌سالی مساحت سطح آبی تالاب پایین بوده و با افزایش SPEI و بهبود روند خشک‌سالی در سال ۲۰۰۶ و ۲۰۲۰ افزایش یافته و در سال ۲۰۱۳ نیز به‌علت خشک‌سالی مساحت سطح تالاب کاهش یافته است. در شکل ۷ نیز بین نوسانات سطح تالاب شادگان با ایستگاه بندر ماهشهر همبستگی ۰/۹۲ درصد وجود داشت.



شکل ۷: تغییرات مساحت سطح آبی تالاب هورالعظیم با SPEI ایستگاه بستان



شکل ۸: تغییرات مساحت سطح آبی تالاب شادگان با SPEI ایستگاه بندر ماهشهر

نتیجه‌گیری

از آنجایی که در دهه‌های اخیر تغییر اقلیم و گرمایش جهانی به‌عنوان یکی از بحران‌های زمین مطرح بوده است و خشک‌سالی از میان مخاطرات طبیعی نسبت به سایر بلایا به‌طور گسترده‌تری در تمام اقلیم‌ها در سراسر جهان رخ می‌دهد، بنابراین افراد بیشتری تحت تأثیر حوادث ناشی از خشک‌سالی قرار می‌گیرند. خشک‌سالی می‌تواند بر کمیت و کیفیت منابع آب، وقوع فرسایش آبی و بادی، سیل و غیره تأثیر گذارد. با توجه به تأثیرگذاری این پدیده بر سایر مخاطرات طبیعی پایش مکانی - زمانی و همچنین بررسی روند خشک‌سالی امری ضروری جهت مدیریت بحران به‌نظر می‌رسد. تحلیل خشک‌سالی طی دوره ۲۱ سال (۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰) در استان خوزستان نشان داد دوره غالب موجود در سری زمانی مورد بررسی وضعیت نزدیک به نرمال را به خود اختصاص دادند. به‌عبارت‌دیگر، حدود نیمی از داده‌های ماهانه و پهنه‌بندی سالانه نشان می‌دهد که وضعیت خشک‌سالی در این کلاس قرار دارد. نمودار ۱۲ ماهه هر یک از ایستگاه‌ها و نقشه‌های پهنه‌بندی سالانه نشان داد که به‌طور کلی سال‌های ابتدایی دوره مورد مطالعه (۲۰۰۰ تا ۲۰۰۹) در وضعیت ترسالی بیشتر نسبت به دهه دوم داشت و از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ وضعیت خشک‌سالی به سمت کلاس‌های خشک‌تر سوق پیدا می‌کند و از میان سال‌ها مورد بررسی، سال ۲۰۱۷ و ۲۰۱۰ و همچنین برخی ماه‌های ۲۰۱۸ بیشینه خشک‌سالی (کلاس خشک‌سالی حاد) رخ می‌دهد. بیشینه ترسالی مربوط به سال‌ها و بسیاری از ماه‌های ۲۰۰۲، ۲۰۰۴، ۲۰۱۳ و ۲۰۱۴ (کلاس ترسالی حاد) بود. نتایج پهنه‌بندی خشک‌سالی با استفاده از شاخص برآورد خشک‌سالی SPEI نشان داد این شاخص به‌عنوان یک ابزار توانا در آشکارسازی تغییرات مکانی و زمانی خشک‌سالی در استان خوزستان می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. همچنین به منظور بررسی تأثیر خشک‌سالی بر منابع طبیعی، تغییرات پوشش آب در تالاب هورالعظیم و شادگان مربوط به سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۶، ۲۰۱۳ و ۲۰۲۰ با پدیده خشک‌سالی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به‌خوبی نشان داد برای سال‌های ترسالی پهنه‌های آبی محدوده تالاب‌ها افزایش یافته و همزمان با افزایش خشک‌سالی سطح پهنه‌های آبی به‌شدت کاهش یافته است. شیب تغییرات حاصل از آزمون سن برای بارش و دما به ترتیب $1/87-$ تا $3/38$ و $0/16$ تا $2/25$ متغیر بود. بیشترین شیب تغییرات با روند افزایشی بارش در مناطق غرب و مرکز استان و شیب تغییرات منفی در مناطق جنوبی در شهرستان‌های جنوبی رخ داده است. تحلیل دما با دو آزمون من کندال و شیب سن نشان داد دما در تمام ایستگاه‌ها با شیب نسبتاً ملایم در بازه مورد بررسی روند مثبت و رو به افزایش داشته است. وجود روند افزایشی و کاهشی نشان‌دهنده وجود تغییر و نوسانات اقلیمی است که نقش عوامل اقلیمی در پدیده خشک‌سالی را نشان می‌دهد. بنابراین بررسی این موضوع و راه‌کارهایی به منظور مدیریت آب در زمان بحران بسیار حائز اهمیت است.

تقدیر و تشکر

این مقاله با حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز با شماره (SCU.EG1402.26151) انجام شده است. همچنین نویسندگان این اثر از سازمان هواشناسی کشور جهت مساعدت در امر گردآوری داده‌های هواشناسی کمال تشکر و قدردانی را دارند.

منابع

- آروین، عباسعلی؛ اسکندریان، غلامرضا. (۱۳۹۶). بررسی روند خشکسالی استان خوزستان. پژوهش‌های مکانی زمانی-فضایی، ۲(۴)، ۱-۱۶.
- آسیایی، مهدی. (۱۳۸۵). پایش خشکسالی در مشهد با استفاده از شاخص خشکسالی پالم. مجله جغرافیا و توسعه‌ی ناحیه‌ای، ۴(۷)، ۱۶۸-۱۸۶.
- اصلاحی، مهدی؛ سبحانی، بهروز؛ پوراصغر، فرناز. (۱۳۹۳). بررسی و کاربرد شاخص خشکسالی تبخیر و تعرق بارش استاندارد شده (SPETI) (مطالعه موردی: ایستگاه هواشناسی تبریز)، نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، ۵(۱۹)، ۲۴-۳۸.
- افروزه، فاطمه؛ چابکرو، غلامرضا؛ اکبری، سید محمدرضا. (۱۳۸۸). اثرات منفی خشکسالی و راهکارهای مقابله با آن (مطالعه موردی: سیستان). همایش ملی مدیریت بحران آب، دانشگاه آزاد اسلامی مرودشت، اسفند ۱۳۸۸، ۱-۱۹.
- اکبری، مهدی؛ نجفی علمدارلو، حامد؛ موسوی، سید حبیب‌الله. (۱۴۰۰). تحلیل اثرات مدیریت ریسک خشکسالی با استفاده از شاخص‌های بهره‌وری آب. مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، ۱۰(۲۷)، ۱-۱۶.
- امانی، ماندانا؛ برنا، رضا؛ ظهوریان، منیژه. (۱۳۹۸). تحلیل فضایی روند خشکسالی و محاسبه میزان بارش قابل‌اعتماد در استان خوزستان. فصلنامه علمی - پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی منطقه‌ای، ۱۰(۱)، ۱-۱۳.
- حدادی، حسین؛ حیدری، حسن. (۱۳۹۴). آشکارسازی اثر نوسانات بارش بر رواناب سطحی حوضه آبریز دریاچه ارومیه. مجله علمی پژوهشی جغرافیای و برنامه‌ریزی محیطی، ۲(۲)، ۲۴۷-۲۶۲.
- دانشمند، حجت‌اله؛ محمودی، پیمان. (۱۳۹۵). تحلیل طیفی خشکسالی‌های ایران. مجله ژئوفیزیک ایران، ۱۰(۴)، ۲۸-۴۷.
- درگاهیان، فاطمه؛ ابراهیمی خوسفی، زهره؛ فضل کاظمی، امین. (۱۳۹۹). بررسی تغییرات شدت خشکسالی درحوزه‌های آبخیز منتهی به کانون‌های گردوغبار استان خوزستان. مجله علمی پژوهشی مهندسی اکوسیستم بیابان، ۹(۲۷)، ۱۳-۲۴.
- ذوالفقاری، حسن؛ میرزایی، مجتبی. (۱۳۹۶). تحلیل فضایی و پهنه‌بندی دوره‌های خشک اقلیمی در ایران بر اساس شاخص DDSLR. مجله مخاطرات محیط طبیعی، ۶(۱۲)، ۱-۱۹.
- رجبی‌زاده، یوسف؛ سید ایوب‌زاده، علی؛ قمشی، مهدی. (۱۳۹۸). بررسی سیل استان خوزستان طی سال آبی ۱۳۹۷-۱۳۹۸ و ارائه‌ی راه-کارهای کنترل و مدیریت آن در آینده، اکوهیدرولوژی، ۶(۴)، ۱۰۶۹-۱۰۸۴.
- رضیعی، طیب؛ دانش کار آراسته، پیمان؛ ثقفیان، بهرام. (۱۳۸۶). بررسی الگوی زمانی و مکانی خشکسالی‌های هواشناسی در استان سیستان و بلوچستان. مجله علمی کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز، ۳۰(۱)، ۱-۹.
- زلفی‌الله؛ زلفی، ابراهیم؛ کایدخورد، عباس. (۱۳۹۲). بررسی عوامل ایجاد بحران خشکسالی و ارائه راهکار در این زمینه. پنجمین کنفرانس منابع آب ایران، ۲۹ بهمن تا ۳۰ بهمن ۱۳۹۲، دانشگاه شهید بهشتی، انجمن علوم و مهندسی منابع آب، ۱-۱۲.
- زینالی، بتول؛ صفریان زنگیر، وحید. (۱۳۹۶). پایش خشکسالی در حوضه دریاچه ارومیه با استفاده از شاخص فازی، مجله مخاطرات طبیعی، ۶(۱۲)، ۱-۲۶.
- زینالی، بتول؛ فریدپور، مجتبی. (۱۴۰۱). ارزیابی خشکسالی در حوضه قره‌سو با استفاده از شاخص‌های هواشناسی هواشناسی، هیدرولوژیکی و سنجش‌ازدور. مجله مخاطرات محیط طبیعی، ۱۱(۳۱)، ۸۵-۱۰۶.
- سبحانی، بهروز؛ غفاری گیلانده، عطا؛ گل دوست، اکبر. (۱۳۹۴). پایش خشکسالی در استان اردبیل با استفاده از شاخص فازی SPEI توسعه‌یافته بر اساس منطق فازی. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۵(۳۶)، ۵۲-۷۳.
- ظهرباب‌زاده، فاطمه؛ اسلامی، حسین. (۱۳۹۶). بررسی تغییرات زمانی و مکانی خطر خشکسالی استان خوزستان با استفاده از شاخص استاندارد شده بارش (SPI). فصلنامه علمی و تخصصی مهندسی آب، ۵(۲)، ۱۰۱-۱۱۲.
- عزیزی، قاسم؛ روشنی، محمود. (۱۳۸۷). مطالعه تغییر اقلیم در سواحل جنوبی دریای خزر به روش من کندال، مجله پژوهش‌های جغرافیایی، ۴۰(۶۴)، ۱۳-۲۸.
- غلامی، فاطمه؛ مصباح زاده، طیب؛ زهتابیان، غلامرضا. (۱۳۹۸). بررسی خشکسالی با استفاده از شاخص SPEI و ارتباط آن با وقوع گردوغبار (مطالعه موردی: استان خوزستان). نشریه علمی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۲۸(۱)، ۱۱-۲۰.

- قمرنیا، هوشنگ؛ لرستانی، مهناز. (۱۳۹۷). بررسی کارایی روش‌های تجربی برآورد تبخیر- تعرق مرجع (بر پایه تشت تبخیر) در اقلیم‌های مختلف (مطالعه موردی ایران)، ۱۴(۴)، ۱۷۴-۱۹۳.
- قهرودی تالی، منیژه؛ بابایی فیینی، ام‌السلمه. (۱۳۹۴). درآمدی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی. تهران، انتشارات دانشگاه پیام نور. ۱۹۴ صفحه.
- محیط اصفهانی، پوریا؛ سلطانی کوپایی، سعید؛ مدرس، رضا؛ پورمنافی، سعید. (۱۳۹۸). ارزیابی شاخص خشک‌سالی چندمتغیره MSDI و پایش خشک‌سالی هواشناسی - کشاورزی در استان چهارمحال و بختیاری، علوم آب و خاک، ۳(۳)، ۳۴-۴۶.
- مصطفی‌زاده، رئوف؛ ذبیحی، محسن. (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، ۳(۳)، ۶۳۳-۶۳۴.
- نصرتی، کاظم؛ محسنی ساروی، محسن؛ شهبازی، رضا. (۱۳۹۳). مقایسه و کاربرد دو شاخص بارش استاندارد شده و بارش - تبخیر و تعرق استاندارد شده برای ارزیابی وضعیت خشک‌سالی هواشناسی در استان تهران، مجله مدیریت بیان، ۲(۳)، ۷۷-۹۰.
- نظری‌پور، حمید؛ صداقت، مهدی؛ پودینه، محمدرضا؛ حلبیان، امیرحسین. (۱۳۹۹). ارزیابی خشک‌سالی جریان رودخانه مبتنی بر رویکرد سطح آستانه با استفاده از جریان دائمی در زیرحوضه آبریز بیابان لوت. مجله علمی - پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، ۹(۲۵)، ۱-۱۹.
- Alfonso, S., Gesto, M., & Sadoul, B. (2021). Temperature increase and its effects on fish stress physiology in the context of global warming. *Journal of Fish Biology*, 98(6), 1496-1508.
- An, Q., He, H., Nie, Q., Cui, Y., Gao, J., Wei, C., Xie, X., & You, J. (2020). Spatial and temporal variations of drought in Inner Mongolia, China. *Water*, 12(6), 1715.
- An, R., Ji, M., & Zhang, S. (2018). Global warming and obesity: a systematic review. *Obesity Reviews*, 19(2), 150-163.
- Azam, M., Maeng, S. J., Kim, H. S., Lee, S. W., & Lee, J. E. (2018). Spatial and temporal trend analysis of precipitation and drought in South Korea. *Water*, 10(6), 765.
- Chang, T. J., & Kleopa, X. A. (1991). A proposed method for drought monitoring 1. *Jawra Journal of the American Water Resources Association*, 27(2), 275-281. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1752-1688.1991.tb03132.x>
- Edossa, D. C., Babel, M. S., & Das Gupta, A. (2010). Drought analysis in the Awash River basin, Ethiopia. *Water resources management*, 24, 1441-1460.
- Gao, F., Zhang, Y., Ren, X., Yao, Y., Hao, Z., & Cai, W. (2018). Evaluation of CHIRPS and its application for drought monitoring over the Haihe River Basin, China. *Natural Hazards*, 92, 155-172.
- Hayes, M. J., Svoboda, M. D., Wilhite, D. A., & Vanyarkho, O. V. (1999). Monitoring the 1996 drought using the standardized precipitation index. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 80(3), 429-438.
- Heim Jr, R. R. (2002). A review of twentieth-century drought indices used in the United States. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83(8), 1149-1166.
- Jones, P. D., Lister, D. H., Osborn, T. J., Harpham, C., Salmon, M., & Morice, C. P. (2012). Hemispheric and large-scale land-surface air temperature variations: An extensive revision and an update to 2010. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 117(D5).
- Kendall, M. G. (1962). *Rank Correlation Methods*, 2nd Ed., New York: Hafner. <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=1997111>
- Li, J., Zhou, S., & Hu, R. (2016). Hydrological drought class transition using SPI and SRI time series by log-linear regression. *Water resources management*, 30, 669-684.
- Mann, H. B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 245-259. <https://www.scirp.org/reference/ReferencesPapers?ReferenceID=1161744>
- McKee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. (1993, January). The relationship of drought frequency and duration to time scales. In *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology* (Vol. 17, No. 22, pp. 179-183).
- Medina-Arboleda, I. F. (2022). Reviews on the climate crisis in Latin American psychology. *Acta Colombiana de Psicología*, 25(1), 5-6.
- Padihyar, J., Patra, K. C., & Dash, S. S. (2022). A Novel Approach to Identify the Drivers of Drought under Future Climate Change Scenario. <https://europepmc.org/article/ppr/ppr479792>
- Palmer, W. C. (1965). Meteorological drought. *The US. Weather Bureau Res. Paper*, 45, 1-58. https://www.droughtmanagement.info/literature/USWB_Meteorological_Drought_1965.pdf
- Sheffield, J., Wood, E. F., & Roderick, M. L. (2012). Little change in global drought over the past 60 years. *Nature*, 491(7424), 435-438.
- Spinoni, J., Naumann, G., Vogt, J. V., & Barbosa, P. (2015). The biggest drought events in Europe from 1950 to 2012. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 3, 509-524.
- Theil, H. (1950). A Rank-Invariant Method of Linear and Polynomial Regression Analysis. *Proceedings of Koninklijke Nederlandse Academic van Wetenschappen* 23, 345-381.

- Venkataramanan, M. (2011). Causes and effects of global warming. *Indian Journal of Science and Technology*, 226-229. <https://indjst.org/articles/causes-and-effects-of-global-warming>
- 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), 1696-1718.
- Wahla, S. S., Kazmi, J. H., Sharifi, A., Shirazi, S. A., Tariq, A., & Joyell Smith, H. (2022). Assessing spatio-temporal mapping and monitoring of climatic variability using SPEI and RF machine learning models. *Geocarto International*, 37(27), 14963-14982. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10106049.2022.2093411>
- Yacoub, E., & Tayfur, G. (2020). Spatial and temporal variation of meteorological drought and precipitation trend analysis over the whole of Mauritania. *Journal of African Earth Sciences*, 163, 103761.



References

References (in Persian)

- Afrozeh, F; Chabakro, Gh., Seyed Akbari, M. R. (2010). Negative effects of drought and coping strategies (Case study: Sistan). National Conference on Water Crisis Management, Islamic Azad University of Marvdasht, March 2010, 1-19. [In Persian]
- Akbari, M., Najafi Alamdarlo, H., Mosavi, S. (2021). Analysis of the effects of drought risk management using water productivity indicators. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 10(27), pp 197-209. [In Persian]
- Amani, M., borna, R., Zouhorian, M. (2021). Spatial analysis of drought trend and calculation of reliable rainfall in Khuzestan province. *Geography (Regional Planning)*, 12(1), pp 97-109. [In Persian].
- Arvin, A Ali., Eskandarian, Gh. (2019). Investigation of Drought Trend of Khuzestan Province. *Spatial - Locational Researches*, 2(4), pp 1-16. [In Persian]
- Asiya'e, M. (2006). Monitoring of drought in the city of Mashad using the Palmer drought index. *Journal of Geography and Regional Development*, 4(7), pp 168-186 [In Persian].
- Azizi, Q., Roshani, M. (2008). Using Mann-Kendall Test to Recognize Climate Change in Caspian Sea Southern Coasts. *Physical Geography Research Quarterly*, 40(64), pp 13-28. [In Persian].
- Daneshmand, H., Mahmoudi, P. (1395). A spectral analysis of Iran's droughts. *Iranian Journal of Geophysics*, 10(4), pp 28-47. [In Persian].
- Dargahian F, Ebrahimikhusfi Z, Kazemi A. Investigation of drought intensity changes in watersheds leading to dust centers in Khuzestan province. *DEEJ*. 2020; 9 (27), pp 13-24. [In Persian].
- Eslahi, M., Sobhani, B., Pourasghar, F. (2014). Studying and applying the Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (Case study: Tabriz Meteorological Station). *Journal of Climate Research*, 1393(19), pp 23-38. [In Persian]
- Ghamarnia, H., Lorestani, M. (2018). Evaluating the efficiency of temperature empirical-based methods for estimating evapotranspiration in different climate conditions (case study of Iran). *Water and Irrigation Management*, 8(2), pp303-319. [In Persian].
- Gholami, F., Mesbahzadeh, T., Zehtabian, G. (2021). Drought investigation using the SPEI Index and its relationship with dust (Case Study of Khuzestan Province). , 28(1), pp 11-20. [In Persian].
- heidari, H., haddadi, H. (2015). Detection of Precipitation fluctuation on surface runoff in Urmia Lake. *Geography and Environmental Planning*, 26(2), pp 247-262. [In Persian].
- Mohit Esfahani P, Soltani S, Modarres R, Pourmanafi S. Assessment of Multivariate Standardized Drought Index (MSDI) and Meteorological-Agricultural Drought Monitoring in Chaharmahal and Bakhtiari Province. *JWSS*. 2020; 24 (3), pp 33-47 [In Persian].
- Mostafazadeh, R., Zabihi, M. (2016). Comparison of SPI and SPEI indices to meteorological drought assessment using R programming (Case study: Kurdistan Province). *Journal of the Earth and Space Physics*, 42(3), pp 633-643. [In Persian].
- Nazaripour, H., Sedaghat, M., Poodineh, M., Halabian, A. (2020). Assessment of Streamflow Drought Based on Truncation Level (TL) Using Permanent Streamflow Data in one of the Sub-Basin of Lut Desert, Iran. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 9(25), pp 1-16. [In Persian].
- Nosrati, K., Mohseni Saravi, M., Shahbazi, R. (2014). Application and Comparison of Standardized Precipitation and Standardized Precipitation Evapotranspiration Indices for Evaluating Meteorological Drought Condition of Tehran Province. *Desert Management*, 2(3), pp 77-90. [In Persian].
- Qahrودي Tali, M., Babaei Fini, U. (2015). An introduction to the GIS. Tehran, Payame Noor University Press. 194 pages. [In Persian].
- Rajabizadeh, Y., Ayyoubzadeh, S., Zahiri, A. (2019). Flood Survey of Golestan Province in 2018-2019 and Providing Solutions for Its Control and Management in the Future. *Iranian Journal of Ecohydrology*, 6(4), pp 921-942. [In Persian].
- Rezaei, T., Danesh kar arasteh, P., Saghafian, B. (2007). Investigation of temporal and spatial pattern of meteorological droughts in Sistan and Baluchestan province. *Scientific Journal of Agriculture*, 30(1), pp 85-99. [In Persian].
- Sobhani, B., Ghaffari Gilande, A., Gol Doost, A. (2015). Drought monitoring in Ardabil province using SEPI fuzzy index developed based on the fuzzy logic. *Journal of Applied Research in Geographical Sciences*, 15(36), pp 52-73. [In Persian].
- Zalaghi, E., Zalaghi, E., Kayd Khordeh, A. (2013). Investigating the causes of drought crisis and providing solutions in this field. Fifth Iranian Water Resources Conference, February 20 to February 20, 2013, Shahid Beheshti University, Water Resources Science and Engineering Association, pp 1-12. [In Persian].
- Zeynali, B., Faridpour, M. (2022). Evaluation of drought in the Gharasou basin using meteorological, hydrological, and remote sensing indices. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 11(31), pp 85-106. [In Persian].
- zeynali, B., safarian zengir, V. (2017). Drought monitoring in Urmia Lake by fuzzy index. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 6(12), pp 37-62. [In Persian].
- zohrabzadeh, F., eslami, H. (2017). Temporal and Spatial Variability Analysis of Drought Hazard in Khuzestan Province Using Standardized Precipitation Index (SPI). *Water Engineering*, 5(2), pp 101-112. [In Persian].
- Zolfaghari, H., Mirzaei, M., (2017). Spatial Analysis and Regionalization of Climatic Dry Periods in Iran Based on DDSLR Indice. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 6(12), pp1-18. [In Persian].

References (in English)

- Alfonso, S., Gesto, M., & Sadoul, B. (2021). Temperature increase and its effects on fish stress physiology in the context of global warming. *Journal of Fish Biology*, 98(6), 1496-1508.
- An, Q., He, H., Nie, Q., Cui, Y., Gao, J., Wei, C., Xie, X., & You, J. (2020). Spatial and temporal variations of drought in Inner Mongolia, China. *Water*, 12(6), 1715.
- An, R., Ji, M., & Zhang, S. (2018). Global warming and obesity: a systematic review. *Obesity Reviews*, 19(2), 150-163.
- Azam, M., Maeng, S. J., Kim, H. S., Lee, S. W., & Lee, J. E. (2018). Spatial and temporal trend analysis of precipitation and drought in South Korea. *Water*, 10(6), 765.
- Chang, T. J., & Kleopa, X. A. (1991). A proposed method for drought monitoring 1. *Jawra Journal of the American Water Resources Association*, 27(2), 275-281. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1752-1688.1991.tb03132.x>
- Edossa, D. C., Babel, M. S., & Das Gupta, A. (2010). Drought analysis in the Awash River basin, Ethiopia. *Water resources management*, 24, 1441-1460.
- Gao, F., Zhang, Y., Ren, X., Yao, Y., Hao, Z., & Cai, W. (2018). Evaluation of CHIRPS and its application for drought monitoring over the Haihe River Basin, China. *Natural Hazards*, 92, 155-172.
- Hayes, M. J., Svoboda, M. D., Wilhite, D. A., & Vanyarkho, O. V. (1999). Monitoring the 1996 drought using the standardized precipitation index. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 80(3), 429-438.
- Heim Jr, R. R. (2002). A review of twentieth-century drought indices used in the United States. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83(8), 1149-1166.
- Jones, P. D., Lister, D. H., Osborn, T. J., Harpham, C., Salmon, M., & Morice, C. P. (2012). Hemispheric and large-scale land-surface air temperature variations: An extensive revision and an update to 2010. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 117(D5).
- Kendall, M. G. (1962). *Rank Correlation Methods*, 2nd Ed., New York: Hafner. <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=1997111>
- Li, J., Zhou, S., & Hu, R. (2016). Hydrological drought class transition using SPI and SRI time series by log-linear regression. *Water resources management*, 30, 669-684.
- Mann, H. B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 245-259. <https://www.scirp.org/reference/ReferencesPapers?ReferenceID=1161744>
- McKee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. (1993, January). The relationship of drought frequency and duration to time scales. In *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology* (Vol. 17, No. 22, pp. 179-183).
- Medina-Arboleda, I. F. (2022). Reviews on the climate crisis in Latin American psychology. *Acta Colombiana de Psicología*, 25(1), 5-6.
- Padhiary, J., Patra, K. C., & Dash, S. S. (2022). A Novel Approach to Identify the Drivers of Drought under Future Climate Change Scenario. <https://europepmc.org/article/ppr/ppr479792>
- Palmer, W. C. (1965). Meteorological drought. The US. *Weather Bureau Res. Paper*, 45, 1-58. https://www.droughtmanagement.info/literature/USWB_Meteorological_Drought_1965.pdf
- Sheffield, J., Wood, E. F., & Roderick, M. L. (2012). Little change in global drought over the past 60 years. *Nature*, 491(7424), 435-438.
- Spinoni, J., Naumann, G., Vogt, J. V., & Barbosa, P. (2015). The biggest drought events in Europe from 1950 to 2012. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 3, 509-524.
- Theil, H. (1950). A Rank-Invariant Method of Linear and Polynomial Regression Analysis. *Proceedings of Koninklijke Nederlandse Academic van Wetenschappen* 23, 345-381.
- Venkataramanan, M. (2011). Causes and effects of global warming. *Indian Journal of Science and Technology*, 226-229. <https://indjst.org/articles/causes-and-effects-of-global-warming>
- Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S., & López-Moreno, J. I. (2010). A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of Climate*, 23(7), 1696-1718.
- Wahla, S. S., Kazmi, J. H., Sharifi, A., Shirazi, S. A., Tariq, A., & Joyell Smith, H. (2022). Assessing spatio-temporal mapping and monitoring of climatic variability using SPEI and RF machine learning models. *Geocarto International*, 37(27), 14963-14982. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10106049.2022.2093411>
- Yacoub, E., & Tayfur, G. (2020). Spatial and temporal variation of meteorological drought and precipitation trend analysis over the whole of Mauritania. *Journal of African Earth Sciences*, 163, 103761.