



## واکاوی روند تغییرپذیری زمانی و مکانی دهه‌های خشکسالی در ایران

سید کرامت هاشمی عنا\*<sup>۱</sup>، سید قاسم قربان زاده زعفرانی<sup>۲</sup>

\*<sup>۱</sup>- گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران

<sup>۲</sup>- گروه پژوهشی تنوع زیستی و ایمنی زیستی، پژوهشکده محیط‌زیست و توسعه پایدار، سازمان حفاظت محیط زیست، تهران، ایران

نوع مقاله:	چکیده
پژوهشی	<p><b>مقدمه:</b> موقعیت جغرافیایی و سرزمینی ایران و دور بودن از منابع رطوبتی، این کشور را به کمربندی خشک و نیمه خشک تبدیل نموده است. وقوع خشکی و خشکسالی پدیده‌ی ذاتی سرزمین ایران بوده است. خشکسالی وضعیتی گذرا و برگشت‌پذیر از اقلیم است که بسیاری به اشتباه آن را واقعه‌ای تصادفی و نادر می‌پندارند. این پدیده در تمامی مناطق اقلیمی می‌تواند رخ دهد به همین دلیل مشخصات آن در مناطق مختلف متفاوت است. در همین راستا هدف از این مطالعه بررسی پایش خشکسالی‌های ایران و رفتار حاکم بر آن‌ها در دهه‌های مختلف است.</p>
تاریخچه مقاله:	
دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۰۳	
پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۲۵	
کلیمات کلیدی:	
شدت خشکسالی	
پایش خشکی	
بارش	
ایران	
	<p><b>مواد و روش‌ها:</b> این پژوهش با استفاده از روش‌های آماری و کمی انجام شد. برای انجام این پژوهش داده‌های بارش ۴۱۱ ایستگاه سینوپتیک، ۳۳۰۳ باران‌سنجی و ۵۴۶ ایستگاه کلیماتولوژی، طی باز بلن مدت ۵۱ ساله ۱۹۷۰ تا ۲۰۲۰ استخراج شده است. با استفاده از روش‌های معتبر ارزیابی، بهترین روش میان یابی، کریجینگ تشخیص داده شد. همچنین شبکه یا ماتریسی برای هر نقشه بارش روزانه ۱۸۶۲۸×۴۲۶۰ انتخاب شد. بدین ترتیب تعداد ۱۸۶۲۸ نقشه روزانه با ۳۰۴۵۹ یاخته شکل گرفت. ارزش یاخته‌ها برای نقشه‌های مذکور در مقیاس سالانه به صورت یک ماتریس ۳۰۴۵۹×۵۱ تشکیل شد. این ماتریس مبنای محاسبات بعدی قرار گرفت. بعد از تشکیل پایگاه داده‌ای برای محاسبه شاخص خشکسالی از معادلات آماری وابسته با الگوریتم شاخص SPEI استفاده شده است. نهایتاً برای ۵ دوره مختلف نقشه‌های مربوط با استفاده از نرم افزار GIS به پهنه‌های تر و خشک تبدیل و تحلیل گردید. برای بررسی نوسان دوره‌ها از آزمون تحلیل روند من-کندال استفاده شد.</p> <p><b>نتایج:</b> نتایج حاصل از وضعیت خشکسالی طی پنج دهه‌ی مختلف بیانگر این است که به جز در دهه سوم (۱۹۹۱ تا ۲۰۰۰) در سایر دهه‌های دیگر خشکسالی در اکثر مناطق ایران حاکم بوده است. از طرف دیگر به سمت دهه‌های اخیر منتهی به ۲۰۲۰ شدت خشکسالی‌ها به ویژه در بخش‌های زاگرس میانی که همواره بعد از ناحیه خزری جز مناطق پربارش ایران بوده است به شدت زیاد شده است. دوره‌های پنجم و چهارم به ترتیب خشک‌ترین دوره‌ها در بین دوره‌های مورد بررسی بوده‌اند. به عبارت دیگر در دهه‌های اخیر خشکسالی‌ها در وسعت و نیز شدت بیشتری ظاهر شده‌اند. بررسی‌ها نشان داد که تمامی سطح کشور روند افزایشی خشکسالی را تجربه کرده است. این روند افزایشی در برخی نواحی مانند خوزستان شدیدتر بوده است. طولانی‌ترین نوسانات (۹ ساله) در بخشی از استان‌های سیستان و بلوچستان و زنجان به وقوع</p>

می‌پیوندد و غالب‌ترین نوسانات حاکم بر خشکسالی‌های ایران از نوع کوتاه مدت ۲ تا ۴ ساله بوده است. این وضعیت می‌تواند برای ایران که قطب تولیدی کشاورزی ایران همواره در امتداد کوه‌های زاگرس است بسیار نگران‌کننده است.

**بحث:** خشکسالی و درجه رخداد آن مربوط به پهنه خاصی از کشور نیست و به تناوب تمامی بخش‌های کشور در معرض رخداد این پدیده تصادفی قرار خواهد گرفت. بنابراین در تمامی سطح کشور خشکسالی‌ها روند افزایشی داشته‌اند. کمترین روند افزایشی در قسمت‌هایی از مرکز و نواحی بیابانی، بخشی از سواحل جنوبی، بخشی از غرب، شمال غرب و نیز پهنه‌های کوچکی در شمال شرق دیده می‌شود. بالاترین روند افزایشی خشکسالی‌ها نیز در جنوب غرب کشور در استان خوزستان به چشم می‌خورد. در جنوب غرب، غرب، شمال شرق، بخشی از مرکز و قسمتی از استان‌های کرمان و سیستان و بلوچستان نیز روند افزایشی ۰/۸ - ۰/۶ داشته‌اند. ۴۳/۶۷ درصد از سطح کشور نیز روند ۰/۴ - ۰/۲ را تجربه می‌کند نتایج نهایی این مطالعه نشان‌دهنده‌ی وجود روند افزایشی خشکسالی‌ها در ۶۰ درصد از مساحت کشور است.

## مقدمه

خشکسالی وضعیتی گذرا و برگشت‌پذیر از اقلیم است که بسیاری به اشتباه آن را واقعه‌ای تصادفی و نادر می‌پندارند (Alizade, 2005). این پدیده در تمامی مناطق اقلیمی می‌تواند رخ دهد به همین دلیل مشخصات آن در مناطق مختلف متفاوت است (Karimi et al., 2010). خشکسالی یکی از مهم‌ترین بلاهای طبیعی است که به صورت دوره‌ای خسارات سنگینی را بر جامعه و همچنین منابع آب و خاک کشور تحمیل می‌کند (Raposo et al., 2023).

تاکنون تعاریف منسجم و دقیق در مقیاس جهانی از پدیده خشکسالی که مورد پذیرش همگان باشد، ارائه نشده است (Shah & Mishra, 2021). عدم وجود یک تعریف دقیق و قابل قبول جهانی از خشکسالی به پیچیدگی و سردرگمی این پدیده افزوده است (Hao et al., 2018; Oladosu et al., 2019; Khan et al., 2024).

در بسیاری از پژوهش‌ها خشکسالی را یک دوره ممتد با میانگین کاهشی بارش می‌دانند (Jin et al., 2024). می‌تواند اثرات مخربی بر موجودات زنده به ویژه گونه‌های کوچک و بزرگ بر جای بگذارد (Carrão et al., 2019).

خشکسالی می‌تواند مناطق گسترده‌ای را فراگیرد و برای ماه‌ها تا سال‌ها تداوم یابد و آثار ویرانگری بر بخش‌های اقتصادی داشته باشد (Salimi et al., 2021). اولین نشانه‌های خشکسالی در ثبت بارندگی مشاهده شده و کمبود طولانی مدت بارش سبب ورودی کمتر به سیستم

هیدرولوژی می‌شود (Folger, 2017). در مطالعات انجام شده، بارش عمده‌ترین پارامتری است که در تعریف شاخص‌های خشکسالی بکار گرفته شده است، یعنی خشکسالی و ترسالی در مقایسه با کمتر یا بیشتر بودن ریزش‌های آسمانی نسبت به میانگین بارندگی یک منطقه سنجیده می‌شود (Kebed, 2019). بعضی از تعاریف خشکسالی بارش‌های روزانه، هفتگی و یا دوره‌ای را مورد نظر قرار می‌دهند. به نظر می‌رسد که چنین تعاریفی با شرایط آب و هوایی ایران تناسب نداشته باشد، زیرا در اغلب مناطق ایران در فصول مختلف سال هیچ‌گونه بارشی حادث نمی‌شود، بنابراین تعیین خشکسالی به صورت دوره‌ای کوتاه مدت چند روزه مقدور نبوده و معنایی ندارد و در بسیاری از تحقیقات از مقیاس‌های فصلی یا دهه‌ای برای بررسی مکانیسم رفتاری خشکسالی‌ها استفاده می‌شود (Zare et al., 2012; Wen et al., 2024). برای تحلیل‌های خشکسالی در هر منطقه سه پارامتر اصلی، شدت، فراوانی رخداد و تداوم مهم است (Cortez et al., 2023). با بروز خشکسالی‌های متعدد در سال‌های اخیر، مطالعات در این زمینه افزایش یافته و محققان برای پایش خشکسالی از متدهای مختلفی استفاده کرده‌اند (Vicente et al., 2012; Hareem et al., 2024).

با توجه به اهمیت خشکسالی، استفاده از شاخص دهک‌های بارندگی (DPI)، شاخص شدت خشکسالی پالمر (PDSI)، شاخص درصد نرمال بارش (PNPI)، شاخص ذخیره آب سطحی (SWSI)، شاخص رطوبت خاک (SMADI)، شاخص بارش مؤثر (SPI)، شاخص رطوبت

ایجاد آمادگی و کاهش ریسک خشکسالی است (Reddy, 2021). خشکسالی را نمی‌توان متوقف کرد، اما به دلیل رشد روزافزون فناوری‌های نوین می‌توان آن را تا یک ماه قبل از وقوع پیش‌بینی و مدیریت کرد (Dimitrova, 2020). پایش خشکسالی عبارت است از سامانه‌ای که با استفاده از آن می‌توان پارامترهای اقلیمی و هیدرولوژیک و تغییرات آن‌ها را به طور پیوسته و منظم دیده‌بانی و احتمال وقوع میزان شدت و وسعت احتمالی تحت پوشش خشکسالی را برآورد کرد (Javed et al., 2021). این پایش با بکارگیری شاخص‌ها و ابزارهای آماری و نرم‌افزاری انجام می‌پذیرد. از طرفی روش بکارگیری این شاخص‌ها بایستی در مکان‌های مختلف با توجه به رفتار بارش، دقیق و توجیه پذیر باشد. هدف کلی پایش خشکسالی، تهیه و تأمین اطلاعاتی است که مردم و سازمان‌های مسؤول در جهت انجام فعالیت‌هایی که باعث افزایش ضریب اطمینان برنامه‌ریزی‌ها و کاهش خسارت‌های ناشی از خشکسالی می‌شوند را تشویق کند. این پژوهش در راستای همین هدف انجام شده است.

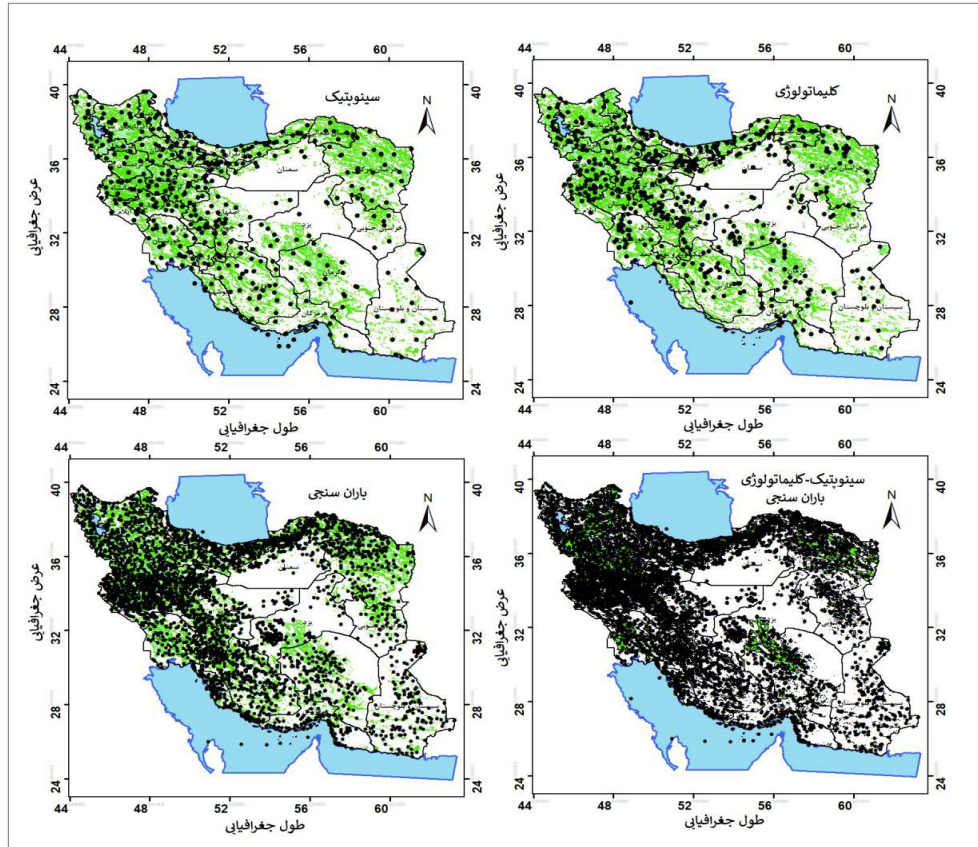
## مواد و روش‌ها

هدف از این مطالعه بررسی و تحلیل وضعیت خشکسالی‌های ایران طی نیم قرن اخیر است. ابتدا داده‌های روزانه بارش ایران برای ایستگاه سینوپتیک (۴۱۱)، باران‌سنجی (۳۳۰۳) و کلیماتولوژی (۵۴۶) طی بازه‌ی بلند مدت ۵۱ ساله یعنی از سال ۱۹۷۰ تا ۲۰۲۰ استخراج شده است که توزیع مکانی آن‌ها در (شکل ۱) نمایش داده شده است.

زراعی (CMI)، شاخص خشکسالی احیایی (RDI)، شاخص بارش- تبخیر و تعرق استاندارد شده (SPEI) و شاخص ناهنجاری‌های بارندگی (RAI) برای پایش خشکسالی در نقاط مختلف جهان استفاده شده است (Bahmanpour et al., 2017; Salvia et al., 2021; Wang, 2022; Wu et al., 2021; Verhoeven et al., 2022).

کشور ایران با وجود قرار گرفتن در کمربند خشک جهان و تغییر پذیری شدید اقلیمی مخصوصاً بارش تنها معادل یک سوم بارش متوسط جهانی را دارد (UNEP, 2024). علاوه بر کاهش بارش، توزیع زمانی و مکانی نامناسب بارندگی‌ها، افزایش گرما و تبخیر و تعرق نیز منجر به وقوع و تبعات گسترده خشکسالی شده است. در ایران مطالعات خشکسالی از حدود یک دهه قبل به طور جدی‌تری شروع شده است. بر اساس گزارش محیط‌زیست سازمان ملل، حدود ۲/۶ میلیون هکتار زراعت آبی و ۴ میلیون هکتار زراعت دیم و ۱/۱ میلیون هکتار از باغات تحت تأثیر خشکسالی قرار گرفته‌اند. اهمیت موضوع این‌جا است که خسارت ناشی از خشکسالی بر باغات بالغ بر ۵۲۰ میلیون دلار و همچنین بر اساس تحقیقات انجام گرفته در کشور، اثر مستقیم خسارت ناشی از کاهش هر ۱ میلی‌متر بارندگی برابر ۹۸ میلیارد ریال است. نزدیک به ۱.۳ میلیارد نفر (۴۰ درصد از مردم جهان) به کشاورزی به عنوان منبع اصلی درآمد متکی هستند، بنابراین خشکسالی معیشت بسیاری را در معرض خطر قرار می‌دهد (FAO, 2020).

وقوع خشکسالی شدید و گسترده موجب گردید تا نگاه متخصصان، برنامه‌ریزان و دولت‌ها به مدیریت خشکسالی از مدیریت بحران به مدیریت ریسک خشکسالی تغییر یابد (Salimi et al., 2021). در مدیریت ریسک خشکسالی تدابیر و تمهیدات، فعال و پویا بوده و تأکید بیشتر بر روی



شکل ۱- توزیع پراکنش ایستگاه‌های مورد مطالعه (سینوپتیک- باران‌سنجی و کلیماتولوژی)

از روش‌های معتبر ارزیابی، بهترین روش میان‌یابی، کریجینگ تشخیص داده شد. همچنین شبکه یا ماتریسی برای هر نقشه بارش روزانه  $18250 \times 4260$  انتخاب شد. بدین ترتیب تعداد 18628 نقشه روزانه با  $30459 \times 459$  یاخته شکل گرفت. ارزش یاخته‌ها برای نقشه‌های مذکور در مقیاس سالانه به صورت یک ماتریس  $30459 \times 51$  شکل گرفت. این ماتریس مبنای محاسبات بعدی قرار گرفت. برای محاسبه شاخص خشکسالی از SPEI استفاده شده است.

SPEI، یک شاخص خشکسالی است که ویژگی مقیاس‌پذیر بودن آن سبب می‌شود تا توسط رشته‌های علمی مختلف برای شناسایی، نظارت و تجزیه و تحلیل خشکسالی استفاده شود. با این حال، یک مزیت مهم SPEI نسبت به سایر شاخص‌های خشکسالی پرکاربرد این است که تأثیر PET را بر شدت خشکسالی در نظر می‌گیرند. ویژگی‌های چند مقیاسی آن امکان شناسایی انواع مختلف خشکسالی و اثرات آن را در زمینه گرمایش

ایستگاه‌های محدوده مورد مطالعه در بعد زمان و مکان دارای نقایصی است. به عنوان مثال در برخی روزها ایستگاه‌هایی فعال و در برخی دیگر ایستگاه‌های دیگری فعال‌اند، از طرفی برخی ارتفاعات فاقد ایستگاه اندازه‌گیری بارش‌اند. از طرف دیگر داده‌های اقلیمی عمدتاً بر روی نقطه، یعنی ایستگاه‌های دیده‌بانی اندازه‌گیری می‌شوند در حالی که غالباً به آگاهی‌های اقلیمی درباره یک پهنه نیازمند هستیم. بنابراین نتایج یک تجزیه و تحلیل اقلیمی زمانی قابل تعمیم به پهنه‌های گسترده خواهد بود که میان‌یابی به عنوان یک مؤلفه ضروری برای تبدیل داده‌های نقطه‌ای به پهنه‌ای پذیرفته شده باشد. به فرایند برآورد ارزش‌های کمی، برای نقاط فاقد داده، به کمک نقاط مجاور و معلوم که به نام پیمان‌گاه و یا نمونه موسوم‌اند میان‌یابی می‌گویند. این تبدیل به کمک نمونه‌ها وقتی امکان‌پذیر است که رابطه‌ای بین مقدار یک نمونه با مقادیر نمونه‌های موجود در اطراف آن وجود داشته باشد. در این صورت امکان میان‌یابی مهیا خواهد بود. با استفاده

رابطه (۳)

$$\beta = \frac{2W_1 - W_0}{6W_1 - W_0 - 6W_2}$$

$$\alpha = \frac{(W_0 - 2W_1)\beta}{\Gamma(1 + \frac{1}{\beta})\Gamma(1 - \frac{1}{\beta})}$$

$$\gamma = W_0 - \alpha\Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)\Gamma\left(1 - \frac{1}{\beta}\right)$$

که در آن  $\Gamma(\beta)$  تابع گامای  $\beta$  است. زمانی که پارامترهای توزیع لجستیک  $\alpha$ ،  $\beta$  و  $\gamma$  محاسبه شد، از گشتاورهای وزنی احتمال (PWMs) برای استخراج رویدادهای پرتکرار و اثرگذار استفاده گردید (Vicente-Serrano *et al.*, 2010).

رابطه (۴)

$$w_s = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (1 - F_i)^S D_i$$

که در آن  $N$  تعداد داده‌ها است،  $F_i$  یک تخمین‌گر وابسته به  $D_i$  جهت برآورد تفاوت بین بارش و تبخیر و تعرق بالقوه برای ماه  $i$  ام است.

برای اینکه وزن نهایی گشتاور PWM بر اساس انحراف معیار داده‌ها محاسبه شود از معادله زیر استفاده می‌شود. این محاسبه کمک می‌کند تا مقادیر پرتکرار وزن بیشتری در محاسبه داشته باشند. به نوعی به کاربرد شاخص SPEI برای مکان‌های مختلف ارجحیت می‌بخشد.

رابطه (۵)

$$w_s = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{\left(\frac{N-i}{s}\right) D_i}{\left(\frac{N-1}{s}\right)}$$

علاوه بر وزن‌دهی نیاز بود که SPEI تبدیل به تابع استاندارد شود که بتواند وزن‌ها مقادیر را بر اساس توزیع لجستیک برازش نماید (Allen *et al.*, 2011).

رابطه (۶)

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

جهانی فراهم می‌کند. در نسخه اصلی SPEI در این پژوهش از معادله (Thorntwaite, 1948) برای به دست آوردن SPEI v1.0 پایه استفاده شد. در پایه SPEI v2.0 Alen نیز از معادله پنمن-مانتیث FAO-56 استفاده شد (et al., 2012). مقدار  $D_i$  حاصل تفاوت بین بارندگی (P) و تبخیر و تعرق (PET) برای ماه  $i$  است.

رابطه (۱)

$$D_i = P_i - PET_i$$

$D_i$  مازاد یا کسری آب را برای ماه مورد نظر مشخص می‌نماید. مقادیر  $D_i$  در مقیاس‌های زمانی مختلف جمع‌آوری و محاسبه می‌شوند و از همان رویه SPI پیروی می‌کنند. برای مدل‌سازی سری  $D_i$ ، انتخاب مناسب‌ترین توزیع آماری با توجه به شباهت بین چهار توزیع (پیرسون نوع ۳، جایگاه نرمال، جایگاه لجستیک و مقادیر حدی تعمیم‌یافته<sup>۱</sup>) ضروری و البته دشوار است. از توزیع لجستیک برای مقادیر کم که کاهش تدریجی  $D_i$  را در مقیاس زمان نشان می‌دهند و معمولاً توزیع احتمالاتی برای مقادیر بسیار پایین، مربوط به رابطه ۱ وقوع در ۲۰۰ تا ۵۰۰ سال، به دست می‌آید استفاده شد. تابع چگالی احتمال یک متغیر توزیع لوگ لجستیک سه پارامتری به صورت زیر بیان می‌شود:

رابطه (۲)

$$f(x) = \frac{\beta}{\alpha} \left( \frac{x - \gamma}{\alpha} \right)^{\beta-1} \left( 1 + \left( \frac{x - \gamma}{\alpha} \right)^\beta \right)^{-2}$$

که در این معادله  $\alpha$ ، پارامتر مقیاس (انحراف معیار توزیع که به صورت پیش‌فرض یک است).  $\beta$ ، حد بالای آرایه در ماتریس و  $\gamma$ ، حد پایین درایه‌های ماتریس است. مقادیر  $D_i$  در دامنه  $(\gamma < D_i < \infty)$  قابل قبول است.

پارامترهای توزیع Log-logistic را می‌توان با روش‌های مختلف به دست آورد. در میان آن‌ها، روش L-moment قوی‌ترین و آسان‌ترین رویکرد است. هنگامی که مقادیر L محاسبه می‌شوند، پارامترهای توزیع لجستیک را می‌توان به صورت زیر به دست آورد (Singh *et al.*, 1993).

رابطه (۷)

$$SPEI = W - \frac{C_0 + C_1W + C_2W^2}{1 + d_1W + d_2W^2 + d_3W^3}$$

$$W = -2\ln(P)$$

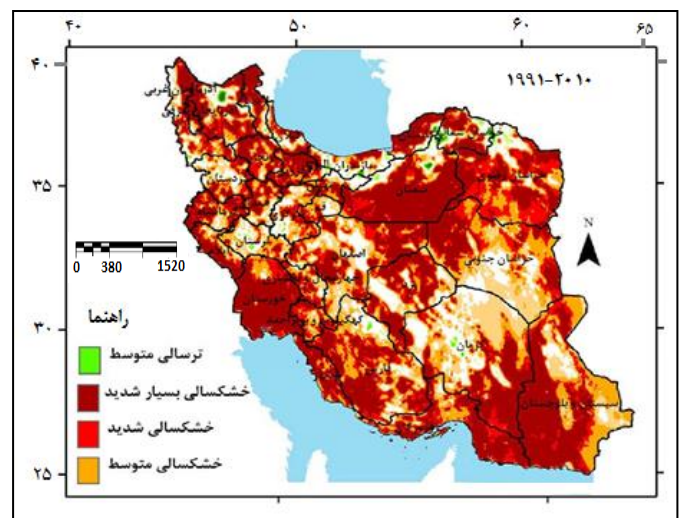
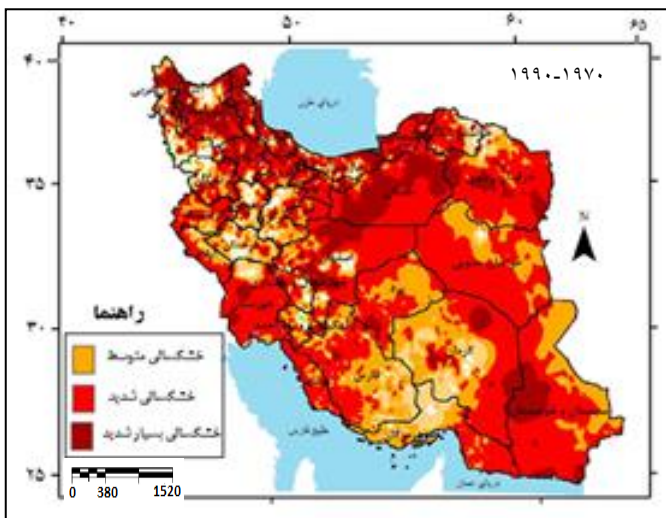
برای  $P \leq 0.5$ ، به شرطی که  $P$  از مقدار تعیین شده برای  $D$  یعنی  $P=1-F(x)$  بیشتر نشود. اگر  $P > 0.5$ ، باشد آنگاه  $P$  با  $(P-1)$  جایگزین می‌شود و علامت SPEI معکوس می‌شود (معیارهای تر و خشک عکس جلوه می‌کنند). مقادیر و ضرایب ثابت‌ها عبارت‌اند از:  $C_0=2.515$ ،  $C_1=0.8028$ ،  $C_2=0.0103$ ،  $d_1=1.4327$ ،  $d_2=0.1892$ ،  $d_3=0.0013$ . در نهایت با محاسبه شاخص SPEI ماتریسی به ابعاد  $51 \times 30 \times 459$  شکل گرفت. بعد از استخراج این شاخص برای بررسی روند شدت خشکسالی از روش من کندال و برای بررسی نوسانات حاکم بر خشکسالی، از تحلیل طیفی بهره گرفته شده است.

## نتایج

**تحلیل خشکسالی در دوره‌های مختلف:** برای تشریح وضعیت کلی خشکسالی طی دوره آماری، وضعیت خشکسالی‌ها و ترسالی‌های ایران را طی ۳ دوره مختلف دوره اول (۱۹۷۰-۱۹۹۰)، دوره دوم (۱۹۹۱-۲۰۱۰)، دوره سوم (۲۰۰۰-۲۰۲۰) به صورت پهنه و نقشه ارائه گردید و در ادامه برای نمایش دقیق‌تر جزئیات مشخصات آماری و روند تغییر پذیری، ۵ دهه مورد تحلیل قرار داده گرفت. علت انتخاب و تقسیم به ۳ دوره در مقیاس کلی

این بود که رفتار نوسان‌های خشکسالی در دهه‌ها بهتر نمود پیدا می‌کند.

بر اساس یافته‌های این تحقیق طی دوره اول، نواحی خشکسالی ایران به صورت پراکنده در قسمت‌های مختلف کشور دیده می‌شوند. این پراکندگی از شمال غرب تا جنوب شرق کشور کشیده شده‌اند. سطح این نواحی در نیمه‌ی شرقی در بخش‌های بیابانی، وسیع‌تر است. در این دوره خشکسالی متوسط و شدید در کشور وجود داشته است. ۲۰٪ درصد از سطح کشور با خشکسالی روبرو بوده است (جدول ۱). در این دوره ۳۹ درصد از سطح کشور، ترسالی متوسط و شدید را تجربه کرده‌اند (جدول ۲). ترسالی شدید اغلب در نواحی نیمه شمالی و نیز جنوب غرب کشور اتفاق افتاده است. ناحیه‌ی وسیعی در جنوب شرق کشور ترسالی متوسط داشته است. در این دوره وضعیت خشکسالی و ترسالی کشور دچار تغییر شده است. در این دوره نیز خشکسالی متوسط و شدید و ترسالی متوسط و شدید در نواحی مختلف کشور در حالتی متعادل بوده است. نواحی دارای خشکسالی در دوره قبل در شمال غرب تبدیل به نواحی با وضعیت ترسالی شده‌اند. در جنوب غرب کشور ترسالی دوره اول تبدیل به وضعیت نرمال شده و در قسمت‌هایی از جنوب شرق کشور خشکسالی حاکم شده است. سطح نواحی با وضعیت خشکسالی در این دوره حدود ۷ درصد نسبت به دوره اول افزایش یافته و سطح نواحی با وضعیت ترسالی حدود ۱۱ درصد کاسته شده است.



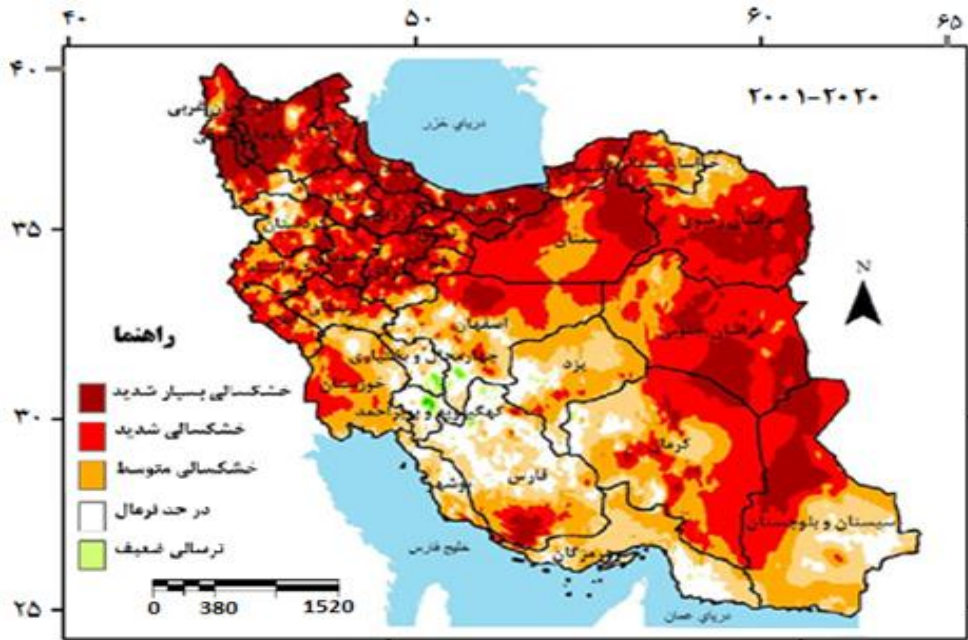
شکل ۲- توزیع فضایی گستره خشکسالی و ترسالی در ایران

بوی احمد، چهارمحال و بختیاری، بوشهر و فارس شدیدتر بوده است. خشکسالی قسمت‌های جنوب غربی کشور می‌تواند متأثر از جابجایی مسیر ورود چرخندهای مؤثر در بارش این نواحی به عرض‌های شمالی‌تر باشد. زیرا مطالعه‌ی (Jahanbakhsh *et al.*, 2021) حاکی از جابجایی محل ورود چرخندهای مدیترانه و سرخ به عرض‌های شمالی‌تر در مرزهای غربی کشور طی سال‌های این دهه است. خشکسالی‌های جنوب شرق کشور را می‌توان به کاهش بارش‌های موسمی در این نواحی نسبت داد. بارش‌های موسمی هند اشاره داشته‌اند. در مجموع می‌توان گفت که دوره دوم (۱۹۹۱-۲۰۱۰) مرطوب‌ترین دوره و دوره‌های اول و سوم، به ترتیب خشک‌ترین دوره‌ها طی بازه‌ی زمانی مورد مطالعه بوده‌اند. با این وصف می‌توان گفت که خشکسالی طی دهه‌های اخیر پدیده غالب اقلیم ایران بوده است. به طوری که در دهه سوم تنها یک چهارم مساحت کشور وضعیت نرمال و ترسالی حاکم بوده است. این مسئله را می‌توان نتیجه‌ای از گرمایش جهانی طی دهه‌های اخیر دانست. چراکه مطالعات نشان داده است که در بعضی مناطق گرمایش ناشی از گازهای گلخانه‌ای، منجر به افزایش دمای سطحی، تبخیر- تعرق بیشتر، رطوبت کمتر خاک و افزایش فراوانی خشکسالی‌ها می‌شود (Hardi, 2012). یافته‌های تحقیقات مختلف نیز نشان می‌دهد که ایران در چند دهه اخیر دوره‌های خشکسالی را با شدت‌های مختلف تجربه کرده است (Dostan, 2018). برخلاف تصور، در کل دوره در مرکز کشور حالت نرمال حاکم بوده و در سطح کوچکی از آن به صورت پراکنده ترسالی متوسط دیده می‌شود. در بخش وسیعی از کشور خشکسالی متوسط رخ داده است. به گونه‌ای که حتی در استان‌های مرطوب سواحل شمالی نیز خشکسالی متوسط دیده می‌شود. در شمال غرب به صورت محدود وضعیت نرمال و نیز به صورت سطوح کوچک و پراکنده ترسالی متوسط اتفاق افتاده است. نتایج تحقیق (Alijani & Babaei, 2007) نیز نشان می‌دهد که قسمت‌های شمال غرب، شمال و شمال شرق کشور خشکسالی‌های بسیار شدید حاکم است. در صورتی که در مناطق مرکزی، جنوب و جنوب شرق، خشکسالی‌ها متوسط و ملایم می‌باشند. از این رو کاهش اندکی در بارش یا افزایش

در دوره سوم بخش وسیعی از کشور، ترسالی را تجربه کرده و نواحی خشکسالی به صورت پراکنده در شمال غرب، شمال شرق، نواحی مرکزی و غربی دیده می‌شود. تمامی سواحل جنوبی و نیز قسمت‌های شرقی ترسالی داشته‌اند. در این دوره تنها ۹/۱ درصد از سطح کشور دچار خشکسالی بوده است (جدول ۱). بر اساس نتایج مطالعه‌ای که توسط (Tajbakhsh *et al.*, 2015) انجام شد مشخص گردید که عامل تبخیر - تعرق، نقش مؤثری در تغییر شدت خشکسالی در ایران دارد. به گونه‌ای که صرف نظر از افزایش یا کاهش بارش در مقایسه با میانگین بلند مدت به ویژه در بخش‌های جنوبی کشور، به علت افزایش یا کاهش تبخیر - تعرق، شدت خشکسالی افزایش یا کاهش می‌یابد. در پژوهشی دیگر که توسط (Mosaedi & Qabaei, 2013) انجام شد، نیز نشان داد که شدیدترین خشکسالی و ترسالی مقارن با وقوع کمینه و بیشینه‌ی بارش در ایران نبوده است. مطالعه (Fathizadeh *et al.*, 2016) نیز نشان می‌دهد که عمده‌ی خشکسالی‌های ایران در ماه‌های گرم و منطبق بر بیشینه‌ی ساعات آفتابی است که نقش دما و به تبع آن تبخیر - تعرق در وقوع خشکسالی‌های کشور را نشان می‌دهد. در دوره چهارم برخلاف دوره سوم، خشکسالی به قسمت‌های وسیعی از کشور پیشروی داشته است. قسمت‌های مرکزی کشور در اصفهان، یزد و سمنان، ترسالی دارند. در پهنه‌های کوچک و پراکنده‌ای در شمال و شمال غرب نیز وضعیت ترسالی حاکم است. البته لازم به ذکر است که در سطوح بسیار کوچک و پراکنده خشکسالی شدید حاکم است و اغلب نواحی کشور خشکسالی متوسط را تجربه کرده‌اند. مطالعه (Daryabari, 2018) نیز سال ۲۰۰۱ را یکی از خشک‌ترین سال‌های ایران دانسته است. پژوهش (Azadi *et al.*, 2017) نیز نتیجه مشابهی داشته است. در دوره ۲۰۲۰-۲۰۱۰ نیز بخش وسیعی از کشور دچار خشکسالی است. برخلاف دوره قبلی، در این دوره خشکسالی شدید نیز در قسمت‌های زیادی از کشور دیده می‌شود. حتی نواحی ترسالی مرکز کشور (در دوره پیش) نیز خشکسالی متوسط تا شدید را تجربه می‌کنند. در شمال غرب، بخش کوچکی از مرکز و نیز قسمتی از استان کرمان، ترسالی متوسط تا شدید حاکم بوده است. خشکسالی در قسمت جنوب غربی کشور در استان‌های خوزستان، کهگیلویه و

بخش جنوب شرقی بر اساس شاخص SPEI روند رو به خشکی دارند (شکل ۳).

نسبی دما در این نواحی می‌تواند موجب وقوع خشکسالی در این نواحی شود. مطالعه (Ghorbani *et al.*, 2018) نیز نشان می‌دهد که بسیاری از قسمت‌های کشور به ویژه



شکل ۳- توزیع فضایی گستره خشکسالی و ترسالی در ایران (۲۰۰۱-۲۰۲۰)

جدول ۱- درصد تحت پوشش گستره خشکسالی طی دوره‌های مختلف در ایران

دوره	خشکسالی نرمال	خشکسالی متوسط	خشکسالی شدید	خشکسالی بسیار شدید	درصد کل خشکسالی
۱۹۷۰-۱۹۸۰	۱۹/۱	۱۷/۷	۲/۵	۰	۲۰/۲
۱۹۸۱-۱۹۹۰	۲۴/۶	۲۳/۶	۳/۵	۰	۲۷/۱
۱۹۹۱-۲۰۰۰	۹	۷/۸	.۸	۰	۹/۱
۲۰۰۱-۲۰۱۰	۲۳/۱	۴۴/۳	۱/۷	۰	۴۶
۲۰۱۱-۲۰۲۰	۹/۶	۵۶/۹	۱۹/۱	۰	۷۶/۱
۱۹۷۰-۲۰۲۰	۲۸/۹	۵۳/۴	۰	۰	۵۳/۴

جدول ۲- درصد تحت پوشش گستره ترسالی طی دوره‌های مختلف در ایران

دوره	ترسالی نرمال	ترسالی متوسط	ترسالی بسیار	ترسالی بسیار شدید	درصد کل ترسالی
۱۹۷۰-۱۹۸۰	۲۱/۷	۳۱/۵	۷/۵	۰	۳۹
۱۹۸۱-۱۹۹۰	۲۱/۳۶	۲۲/۶	۴/۵	۰	۲۷/۱
۱۹۹۱-۲۰۰۰	۱۲/۲	۴۳/۳	۲۶/۲	۰	۶۹/۵
۲۰۰۱-۲۰۱۰	۱۲/۹	۱۴/۶	۳/۴	۰	۱۸/۱
۲۰۱۱-۲۰۲۰	۴/۴	۵/۷	۴/۲	۰	۹/۹
۱۹۷۰-۲۰۲۰	۱۵/۱	۲/۶	۰	۰	۲/۶



کشور خشکسالی‌ها روند افزایشی داشته‌اند. کمترین روند افزایشی در قسمت‌هایی از مرکز و نواحی بیابانی، بخشی از سواحل جنوبی، بخشی از غرب، شمال غرب و نیز پهنه‌های کوچکی در شمال شرق دیده می‌شود. بالاترین روند افزایشی خشکسالی‌ها نیز در جنوب غرب کشور در استان خوزستان به چشم می‌خورد. در جنوب غرب، غرب، شمال شرق، بخشی از مرکز و قسمتی از استان‌های کرمان و سیستان و بلوچستان نیز روند افزایشی  $0/8 - 0/6$  داشته‌اند.  $43/67$  درصد از سطح کشور نیز روند  $0/4 - 0/2$  را تجربه می‌کند (جدول ۴). مطالعه (Keshavarz et al., 2011) نیز نشان دهنده‌ی وجود روند افزایشی خشکسالی‌ها در  $60$  درصد از مساحت کشور است. (Zare, 2013) نیز روند افزایشی در مناطق مورد مطالعه را نتیجه گرفته است.

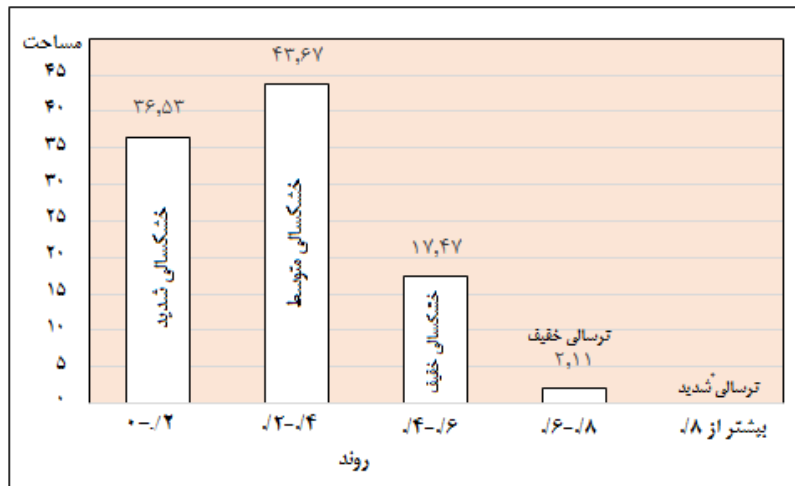
به منظور بررسی نوسانات حاکم بر خشکسالی‌های کشور از روش تحلیل طیفی بهره گرفته شد. نتایج حاصل از این روش در شکل ۷ دیده می‌شود. در  $93$  درصد از سطح کشور نوسانات  $5 - 0$  ساله حاکم است.  $6/5$  درصد از مساحت کشور نوسانات  $7 - 5$  ساله دارند و  $0/5$  درصد نیز نوسانات  $9 - 7$  ساله را تجربه می‌کنند (جدول ۵). نوسانات بلند مدت در استان‌های سیستان و بلوچستان و زنجان دیده می‌شود. با این اوصاف می‌توان گفت که خشکسالی‌های کشور در سطح وسیعی نوسانات کوتاه مدت دارد. دانشمندان اغلب این نوع چرخه‌های کوتاه مدت را به تغییرات دوسالانه تروپوسفر (Lana et al., 2005)، انسو (Azadi et al., 2017) و پدیده‌هایی از این قبیل نسبت داده‌اند. چرخه‌های  $9$  ساله نیز به نوسانات اطلس شمالی (NAO) نسبت داده شده است (Daneshmand & Mahmoudi, 2018). نیز چرخه‌های متنوعی از  $2$  ساله تا  $30$  ساله برای خشکسالی‌های کشور تشخیص داده‌اند.

جدول ۳ درصد مساحت استان‌های مختلف و سهم هر استان از مساحت خشکسالی‌های کل کشور طی دوره‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود طی دهه‌های مختلف درصدی از سطح هر کدام از استان‌ها درگیر خشکسالی بوده و هر استان به نسبت مساحتی که دارد، درصدی از مساحت خشکسالی‌های کشور را به خود اختصاص داده می‌دهد. بیشترین درصد سطح هر استان و سهم هر استان از سطح خشکسالی‌های کشور در جدول با رنگ قرمز و کمترین درصد سطح هر استان و سهم هر استان از سطح خشکسالی‌های کشور در جدول با رنگ آبی مشخص شده است. طی دوره‌های اول تا پنجم به ترتیب بیشترین مساحت از استان‌های گیلان، یزد، خراسان شمالی، ایلام و بوشهر درگیر خشکسالی بوده است. استان گیلان با وجود مرطوب بودن، در دوره اول بالاترین درصد مساحت خشکسالی را در میان استان‌های کشور دارد. مطالعه (Ramezani, 2014) نشان داده است که اغلب خشکسالی‌های این استان در ساحل و جلگه‌ی گیلان و ترسالی در کوهپایه و کوهستان رخ می‌دهد. همچنین طی دوره‌های مذکور به ترتیب استان‌های یزد، کرمان، آذربایجان شرقی، سیستان و بلوچستان بیشترین سهم را از سطح خشکسالی‌های کشور داشته‌اند. در کل دوره نیز بیشترین سطح از استان ایلام درگیر خشکسالی بوده و استان سیستان و بلوچستان بیشترین سهم را از سطح خشکسالی‌های کشور به خود اختصاص داده است. در دوره سوم استان‌های هرمزگان، خراسان جنوبی، سیستان و بلوچستان، بوشهر و یزد فاقد خشکسالی بوده‌اند. این دوره را می‌توان مرطوب‌ترین دوره در میان دوره‌های مورد مطالعه دانست.

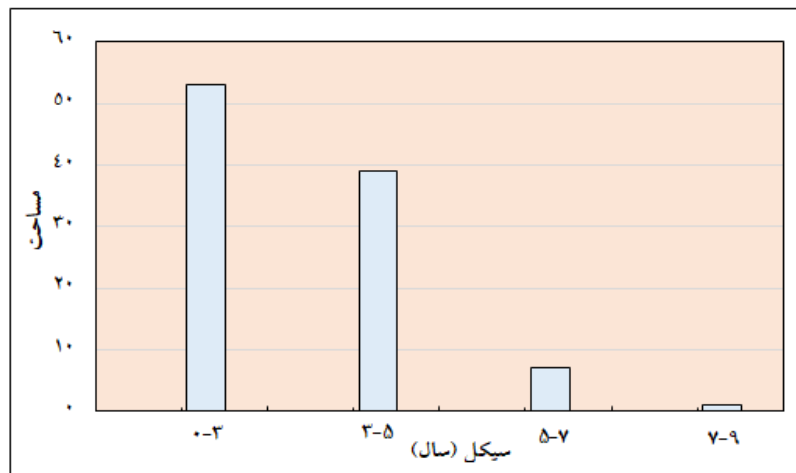
**تحلیل روند و نوسانات خشکسالی‌ها:** روند خشکسالی‌های کشور با استفاده از روش من - کندال محاسبه شده است. شکل ۶ نتایج حاصل از بررسی روند را نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود در تمامی سطح

جدول ۳- درصد مجموع خشکسالی‌های طی دوره‌های مختلف به تفکیک استانی (نسبت به مساحت استان)

دوره‌ها	۱۹۷۰-۱۹۸۰		۱۹۸۱-۱۹۹۰		۱۹۹۱-۲۰۰۰		۲۰۰۱-۲۰۱۰		۲۰۱۱-۲۰۲۰		۱۹۷۰-۲۰۲۰	
	نسبت به استان	نسبت به کشور	نسبت به استان	نسبت به کشور	نسبت به استان	نسبت به کشور	نسبت به استان	نسبت به کشور	نسبت به استان	نسبت به کشور	نسبت به استان	نسبت به کشور
تهران	۲۳/۵۲	۰/۲۰	۱۵/۲۲	۰/۱۳	۳۳/۰۰	۰/۲۷	۱۸/۳۸	۰/۱۵	۹۵/۲۶	۰/۷۹	۴۱/۱۱	۰/۳۴
آذربایجان شرقی	۴۴/۰۸	۱/۰۰	۲۹/۵۶	۰/۶۷	۵۹/۳۳	۱/۳۴	۴۶/۲۶	۱/۰۵	۱۶/۷۰	۰/۳۸	۳۲/۳۲	۰/۷۳
یزد	۴۵/۷۷	۳/۶۳	۴۷/۳۰	۳/۷۵	۰/۰۲	۰/۰۰	۱۸/۱۲	۱/۴۴	۸۱/۴۷	۶/۴۶	۱۵/۷۷	۱/۲۵
کهگیلویه و بویراحمد	۲/۷۲	۰/۰۳	۱۷/۸۶	۰/۱۷	۴/۲۵	۰/۰۴	۲۷/۳۸	۰/۲۷	۹۵/۴۱	۰/۹۲	۷۵/۸۵	۰/۷۳
کردستان	۵۴/۰۷	۰/۹۶	۲۵/۰۹	۰/۴۵	۱۷/۵۹	۰/۳۱	۳۷/۳۱	۰/۶۶	۴۸/۸۹	۰/۸۷	۵۰/۴۶	۰/۹۰
لرستان	۱۲/۵۲	۰/۲۲	۴۱/۳۷	۰/۷۲	۱۴/۷۱	۰/۲۶	۵۲/۲۸	۰/۹۱	۵۷/۴۰	۱/۰۰	۵۹/۶۸	۱/۰۴
مرکزی	۴۱/۱۵	۰/۷۴	۲۶/۱۲	۰/۴۷	۱۶/۸۷	۰/۳۰	۲۶/۴۰	۰/۴۷	۷۵/۹۹	۱/۳۶	۴۷/۹۴	۰/۸۶
زنجان	۳۸/۹۴	۰/۵۲	۱/۲۳	۰/۰۲	۱۸/۳۰	۰/۲۵	۵۴/۰۵	۰/۷۲	۶۹/۶۶	۰/۹۳	۷۲/۳۶	۰/۹۷
مازندران	۹/۵۷	۰/۱۴	۱۹/۸۲	۰/۲۹	۲۵/۷۹	۰/۳۸	۴۲/۷۹	۰/۶۳	۷۷/۸۲	۱/۱۴	۶۷/۶۸	۰/۹۹
قزوین	۱۹/۰۱	۰/۱۸	۰/۱۷	۰/۰۰	۱۶/۴۴	۰/۱۶	۵۱/۸۸	۰/۵۰	۹۰/۴۱	۰/۸۷	۸۴/۲۵	۰/۸۱
قم	۱۹/۷۷	۰/۱۴	۳۳/۰۲	۰/۲۳	۲۵/۳۵	۰/۱۸	۳۲/۰۹	۰/۲۳	۷۳/۰۲	۰/۵۲	۳۷/۶۷	۰/۲۷
سمنان	۳۳/۵۰	۲/۰۰	۴۳/۶۴	۲/۶۱	۱۵/۴۴	۰/۹۲	۱۸/۳۱	۱/۰۹	۶۶/۳۱	۳/۹۶	۲۳/۴۶	۱/۴۰
هرمزگان	۹/۱۱	۰/۳۹	۳۸/۰۲	۱/۶۳	۰/۰۰	۰/۰۰	۷۲/۵۵	۳/۱۲	۹۴/۹۱	۴/۰۸	۸۹/۲۰	۳/۸۴
ایلام	۲/۱۴	۰/۰۳	۱۰/۱۹	۰/۱۳	۵/۷۶	۰/۰۷	۹۴/۲۴	۱/۶۱	۹۴/۲۴	۱/۱۶	۹۷/۳۲	۱/۲۰
اصفهان	۲۷/۸۵	۱/۸۳	۴۵/۰۱	۲/۹۶	۸/۷۶	۰/۵۸	۱۹/۸۳	۰/۶۵	۷۳/۹۱	۴/۸۶	۲۸/۰۷	۱/۸۵
کرمان	۲۶/۲۷	۲/۹۲	۴۲/۵۲	۴/۷۳	۱/۷۹	۰/۲۰	۶۵/۵۸	۷/۲۹	۶۷/۸۲	۷/۵۴	۵۹/۷۷	۶/۶۴
کرمانشاه	۲۴/۰۰	۰/۳۷	۳/۵۷	۰/۰۵	۲۳/۶۸	۰/۳۶	۶۸/۹۷	۱/۰۵	۷۸/۱۶	۱/۱۹	۸۶/۳۸	۱/۳۲
خراسان شمالی	۴/۰۱	۰/۰۷	۱۸/۷۲	۰/۳۲	۶۰/۱۷	۱/۰۴	۴۸/۵۲	۰/۸۴	۶۵/۸۱	۱/۱۳	۵۷/۳۱	۰/۹۹
خراسان رضوی	۱۳/۰۹	۰/۹۳	۲۶/۲۴	۱/۸۷	۱۲/۵۸	۰/۹۰	۶۹/۵۴	۴/۹۶	۷۸/۷۰	۵/۶۱	۷۱/۹۸	۵/۱۳
خراسان جنوبی	۱۲/۷۶	۰/۷۳	۱۵/۸۲	۰/۹۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۶۷/۷۱	۳/۹۰	۹۰/۹۶	۵/۲۳	۶۶/۳۶	۳/۸۲
خوزستان	۷/۰۸	۰/۲۸	۱۶/۱۲	۰/۶۳	۰/۵۹	۰/۰۲	۴۵/۳۹	۱/۷۸	۹۵/۳۱	۳/۷۵	۷۷/۸۱	۳/۰۶
سیستان و بلوچستان	۶/۷۶	۰/۷۴	۲۱/۸۷	۲/۴۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۸۱/۵۹	۸/۹۶	۹۴/۹۲	۱۰/۴۲	۹۷/۰۳	۱۰/۶۶
البرز	۳۴/۸۷	۰/۱۱	۱۹/۴۹	۰/۰۶	۱۶/۹۲	۰/۰۵	۲۶/۶۷	۰/۰۹	۸۸/۲۱	۰/۲۸	۶۲/۵۶	۰/۲۰
اردبیل	۲۳/۹۶	۰/۲۶	۳۳/۷۹	۰/۳۶	۳۱/۱۸	۰/۳۳	۳۰/۲۶	۰/۳۲	۶۱/۱۴	۰/۶۶	۳۳/۷۹	۰/۳۶
بوشهر	۷/۹۰	۰/۱۱	۳۴/۲۰	۰/۴۸	۰/۰۰	۰/۰۰	۸/۹۶	۰/۱۳	۹۸/۲۳	۱/۳۷	۶۳/۶۸	۰/۸۹
چهارمحال و بختیاری	۴۸/۸۶	۰/۴۹	۲/۹۴	۰/۰۳	۹/۶۴	۰/۱۰	۱۲/۰۹	۰/۱۲	۸۹/۸۷	۰/۹۱	۵۱/۴۷	۰/۵۲
آذربایجان غربی	۳۵/۹۷	۱/۰۰	۳۲/۰۸	۰/۹۰	۴۷/۵۲	۱/۳۳	۴۷/۶۴	۱/۳۳	۲۷/۸۹	۰/۷۸	۳۵/۶۷	۱/۰۰
فارس	۱۱/۸۰	۰/۹۰	۲۳/۹۰	۱/۸۲	۱/۶۹	۰/۱۳	۴۲/۶۰	۳/۲۴	۹۱/۴۰	۶/۹۶	۷۲/۸۱	۵/۵۵
گیلان	۵۶/۳۱	۰/۴۸	۱۵/۳۴	۰/۱۳	۲/۵۲	۰/۰۲	۲۶/۹۹	۰/۲۳	۷۶/۳۱	۰/۶۵	۴۹/۱۳	۰/۴۲
گلستان	۱۶/۸۸	۰/۲۱	۲۰/۴۲	۰/۲۶	۸/۹۰	۰/۱۱	۵۸/۹۰	۰/۷۴	۸۴/۹۵	۱/۰۷	۷۲/۳۸	۰/۹۱
همدان	۲۹/۵۳	۰/۳۵	۲۰/۴۷	۰/۲۴	۵۰/۰۰	۰/۵۹	۴۶/۸۰	۰/۵۵	۴۱/۲۳	۰/۴۹	۳۹/۹۷	۰/۴۷



شکل ۶- نمودار روند درصد تغییرپذیری طبقات خشکسالی‌های ایران (۱۹۷۰-۲۰۲۰)



شکل ۷- نمودار سیکل نوسانات سالانه خشکسالی‌ها و درصد مساحت تحت پوشش آن

جدول ۴- مساحت روند طبقات (به درصد)

طبقات (روند)	مساحت (درصد)
۰ تا ۲. (خشکسالی شدید)	۳۶/۵۲
۲ تا ۴. (خشکسالی متوسط)	۴۳/۶۷
۴ تا ۶. (خشکسالی خفیف)	۱۷/۴۷
۶ تا ۸. (ترسالی خفیف)	۲/۱۱
بیشتر از ۸. (ترسالی شدید)	۲/۲۲

جدول ۵- مساحت نوسان طبقات (به درصد)

طبقات (سیکل - سال)	مساحت (درصد)
۰ تا ۳	۵۳/۶
۳ تا ۵	۳۹/۴
۵ تا ۷	۶/۵
۷ تا ۹	۱/۵

## بحث

گذشته تاکنون با یک درصد ملایم به سمت جبهه شمالی روند افزایشی خشکسالی را تجربه کرده است. به عبارت دقیق تر مرز مناطق خشک به سمت جبهه شمالی جابه جا می شود. این روند افزایشی در برخی نواحی مانند خوزستان شدیدتر بوده است. همچنین بررسی ها نشان دهنده وجود نوسانات ۹ - ۰ ساله در خشکسالی های کشور بوده است. طولانی ترین نوسانات (۹ ساله) در بخشی از استان های سیستان و بلوچستان و زنجان به وقوع می پیوندد. با این وجود غالب ترین نوسانات حاکم بر خشکسالی های ایران از نوع کوتاه مدت ۲ تا ۴ ساله بوده است. (Daneshmand & Mahmoudi, 2018) نیز چرخه های متنوعی از ۲ ساله تا ۳۰ ساله برای خشکسالی های کشور تشخیص داده اند. غالب بودن نوسانات کوتاه مدت بر خشکسالی های ایران استراتژی مدیریت این نوع خشکسالی ها در گستره وسیع ایران را با سختی های زیادی رو به رو می کند. به عبارتی در بحث مدیریت منابع آب و سازگاری بخش های مختلف مانند کشاورزی، صنعت و محیط زیست با این نوع نوسانات در مناطق هدف، از اهمیت و اولویت خاصی برخوردار است.

## منابع

1. Abramowitz, M. and Stegun, I.A., 1965. Handbook of Mathematical Functions. Dover Publications, New York.
2. Akinremi, O.O., McGinn, S.M., and Barr, A.G., 1996. Evaluation of the Palmer drought index on the Canadian prairies. Journal of Climate, 9(5), 897-905.
3. Ali, M., Gul, A., Hasan, H., Gul, S., Fareed, A., Nadeem, M., Jamil, M. 2020. Cellular mechanisms of drought tolerance in wheat. Climate change and food security with emphasis on wheat, 155-167.
4. Alijani, B., and Babaei, S., 2007. Spatial analysis of short-term droughts in Iran, geography and regional planning. 4(5), pp.25-48.
5. Alizade, Z. 2005. Selenium in lemon balm plants: Productivity, phytotoxicity and drought alleviation. Journal of Plant Nutrition, 40(11), 1557-1568.
6. Allen, K.J., Ogen, J., Buckley, B.M., Cook, E.R. and Baker, P.J., 2011. The potential to reconstruct broadscale climate indices associated with southeast Australian droughts from Athrotaxis species, Tasmania. Climate Dynamics 37: 1799-1821.
7. Asakere, H. and Razmi, R., 2018. Analysis of annual rainfall changes in northwest Iran,

در دهه های اخیر همزمان با رخداد تغییرات اقلیمی در سراسر جهان، چرخه های خشکی و خشکسالی به عنوان یکی از مخاطرات اقلیمی نمود پیدا کرده است. اثرات زیانباری بر کشاورزی، محیط زیست، اقتصاد و جوامع انسانی بر جای می گذارد. این پدیده در اغلب نقاط دنیا به تناوب و با دوره های بازگشت مختلف رخ می دهد. مطالعه ای این پدیده می تواند گامی در جهت شناخت رفتار آن و مدیریت و کاهش اثرات مخرب آن باشد. در این مطالعه خشکسالی های ایران طی یک دوره ۵۰ ساله از ۱۹۷۰ تا ۲۰۲۰ به صورت دهه ای مورد بررسی قرار گرفته است. نوآوری و تفاوت این پژوهش در مقایسه با دیگر تحقیقات مرتبط با این موضوع این است که در مقیاس دهه ای رفتار و سازوکار خشکسالی بهتر نمایش داده می شود. از طرفی چرخه های کوتاه مدت خشکسالی که کمتر از ۱۰ سال و بعضاً ۵ سال و کمتر در مقیاس استان بود به خوبی بررسی شد. نکته مهم تر این که با روش میان یابی یا پیمانگاه سلول هایی که فاقد ارزش داده بودند رقومی و بر اساس داده های معلوم بازسازی شدند. در بسیاری از پژوهش های انجام شده پایش خشکسالی ها به صورت نقطه ای انجام شده است که معرف خوبی برای رفتارشناسی خشکسالی ها نیست. اما این نقیصه در این پژوهش برطرف و داده های بارش در تمامی گستره ی ایران به گره های عددی تبدیل شد. نتایج حاصل از بررسی های انجام شده نشان می دهد که در مناطق مرطوب شمالی خشکسالی ها در سواحل و ترسالی ها بیشتر در کوهپایه ها رخ می دهد. مطالعه (Ramezani, 2014) با نتایج این پژوهش انطباق دارد. تنها تفاوت میان دوره های مختلف مورد بررسی تغییر محل وقوع خشکسالی و نیز افزایش یا کاهش مساحت تحت حاکمیت آن بوده است. وقوع ترسالی در نواحی گسترده ای از ایران قابل توجه است که خشکسالی را به نواحی شمال غربی و شمالی کشور محدود کرده است. در دوره (۲۰۲۰-۲۰۱۰) و دوره (۲۰۱۰-۲۰۰۰) به ترتیب خشک ترین دوره ها در میان دوره های مورد بررسی بوده اند. به عبارت دیگر در دهه های اخیر خشکسالی ها در وسعت و نیز شدت بیشتری ظاهر شده اند. پژوهش (Azadi et al., 2017) نیز نتیجه مشابهی داشته است. بررسی ها نشان داد که تمامی سطح کشور در

2018. Changes in the severity of compound drought and hot extremes over global land areas. *Environmental Research Letters*, 13(12), p.109 - 124.
21. **Hardy, J., 2012.** Climate change causes, effects and solutions, translated by Lili Khazandari, Mansoura Kohi, Shahzad Kandahari and Mehdi Asiai, Papli Publications, second edition. (In Persian With English Abstract).
  22. **Hareem, M., Danish, S., Obaid, S.A., Ansari, M.J. and Datta, R., 2024.** Mitigation of drought stress in chili plants (*Capsicum annuum* L.) using mango fruit waste biochar, fulvic acid and cobalt. *Scientific Reports*, 14(1), 14-27.
  23. **Hosking, J.R.M., 1986.** The theory of probability weighted moments. Res. Rep. RC 12210 IBM Research Division, Yorktown Heights NY **10598**.
  24. **Hosking, J.R.M., 1990.** L-Moments: Analysis and estimation of distributions using linear combinations of order statistics. *Journal of Royal Statistical Society B*, 52: 105-124.
  25. **Jahanbakhsh, S., Ashrafi, S. and Asakere, H., 2021.** Investigating the decadal changes of rainfall systems affecting the Yellow River catchment, *Geography and Planning*, 75, 1-12. (In Persian With English Abstract).
  26. **Javed, T., Li, Y., Rashid, S., Li, F., Hu, Q., Feng, H. and Pulatov, B., 2021.** Performance and relationship of four different agricultural drought indices for drought monitoring in China's mainland using remote sensing data. *Science of the total environment*, 759, 143530.
  27. **Jiang, R., Xie, J., He, H., Luo, J. and Zhu, J., 2015.** Use of four drought indices for evaluating drought characteristics under climate change in Shaanxi, China: 1951–2012. *Natural Hazards*, 75(3), 2885-2903.
  28. **Jin., Xu, T., Xiao, J., Liu, S., Mao, K., Song, L., ... & Feng, H. 2024.** Responses of water use efficiency to drought in southwest China. *Remote Sensing*, 12(1), 199.
  29. **Karimi Nazar, M.; Moghadamnia, A., and Masaedi, A., 2005,** "Investigation of climatic factors affecting the occurrence of drought (case study: Zabul region)", *Water and Soil Conservation Research (Agricultural Sciences and Natural Resources)*, 17(1), p.145-
  30. **Kazemzadeh, M., Nouri, Z., Moghadamnia, A. and Malekian, A., 2014.** Classification and analysis of intensity and duration of surface water flow droughts (case study: Ilam), *Watershed Management Research Journal*, 12, 14-25. (In Persian With English Abstract).
  31. **Kebede, A., Kang, M.S. and Bekele, E., 2019.** Advances in mechanisms of drought tolerance in crops, with emphasis on barley. *Journal of Geography and Environmental Planning*, 47, 5-12. [in persian].
  8. **Azadi, S., Soltani, S., Faramarzi, M. and Pourmanafi, S., 2017.** Recalibration of Palmer drought index in Iran, *Iranian water research journal*, volume 12, 21-36. [in persian].
  9. **Bahmanpour, H., Awhadi, S., Enjili, J., Eslamian, S. and Ostad-Ali-Askari, K., 2017.** Optimizing Absorbent Bentonite and Evaluation of Contaminants Removal from Petrochemical Industries Wastewater. *International Journal of Constructive Research in Civil Engineering (IJCRCE)*, 3(2): 34-42.
  10. **Carrão, H., Naumann, G. and Barbosa, P., 2016.** Mapping global patterns of drought risk: An empirical framework based on sub-national estimates of hazard, exposure and vulnerability. *Global Environmental Change*, 39, 108-124.
  11. **Cortez, F., Monicelli, F., Cavalcante, H. and Becker, V., 2023.** Effects of prolonged drought on water quality after drying of a semiarid tropical reservoir, Brazil. *Limnologia*, 93, 125959.
  12. **Daneshmand, H. and Mahmoudi, P., 2015.** Spectral analysis of droughts in Iran, *Iran Geophysics Journal*, 4, 23-34. (In Persian With English Abstract).
  13. **Daryabari, S., 2018.** Zoning of Iran's droughts in the past fifty years, *Daneshnameh (Geography)*, 82, 10-22. (In Persian With English Abstract).
  14. **Dimitrova, A. 2021.** Seasonal droughts and the risk of childhood undernutrition in Ethiopia. *World Development*, 141(3), pp. 105417.
  15. **Dostan, R., 2018.** an analysis of drought research in Iran, spatial analysis of environmental hazards, 6th year, number, 4, 12-18. (In Persian With English Abstract).
  16. **FAO. 2022.** Food and Agriculture Organization of the United Nations: The State of Food Insecurity in the World report3.
  17. **Fathizadeh, H., Gholaminia, A., Mobin, M.H. and Sodaizadeh, H., 2016.** Investigating the relationship between meteorological drought and solar variables in some observational stations of Iran, *Natural Environment Hazards*, 12, 15-25. (In Persian With English Abstract).
  18. **Folger, P. F., & Cody, B. A. 2017.** Drought in the United States: Causes and current understanding. *Congressional Research*.
  19. **Ghorbani, K., Valizadeh, E., and Bararkhanpour, S., 2018,** investigation of spatio-temporal change trend of bivariate SPEI meteorological drought index in Iran, *Desert Management Journal*, 11, pp. 25-38.
  20. **Hao, Z., Hao, F., Singh, V. P., & Zhang, X.**

- Journal Resources, Natural, 21, 752-739. (In Persian With English Abstract).
43. **Oladosu, Y., Raffi, M. Y., Samuel, C., Fatai, A., Magaji, U., Kareem, I., ... & Kolapo, K. 2019.** Drought resistance in rice from conventional to molecular breeding: a review. *International journal of molecular sciences*, 20(14), 35-49.
  44. **Panu, U.S. and Sharma, T.C., 2002.** Challenges in drought research: some perspectives and future directions. *Hydrological Sciences Journal*, 47(S1), S19-S30.
  45. **Ramezani Gourabi, B., 2014.** investigation of the drought phenomenon using the normal percentage of rainfall index in the central areas of Gilan, Biyaban, period 10, number 2.
  46. **Raposo, V.D.M.B., Costa, V.A.F. and Rodrigues, A.F., 2023.** A review of recent developments on drought characterization, propagation, and influential factors. *Science of the Total Environment*, 165550.
  47. **Reddy, G.S., Prabhu, C.N., Kamepalli, L.B. and Jagadeesh, S., 2021.** Effect of Drought on Development of Children: Field Observations from the Drought-Prone District of Deccan Plateau of Southern India. In *Economic Effects of Natural Disasters* (pp. 359-372). Academic Press.
  48. **Salehvand, A., Montazeri, M. and Momeni, M., 2014.** Drought zoning with SPI, PNI, DI, CZI indicators of the cities of Khuzestan province in the GIS environment", *Zagros Geographical Quarterly*, 17, 35-52. (In Persian With English Abstract). (In Persian With English Abstract).
  49. **Salimi, H., Asadi, E. and Darbandi, S., 2021.** Meteorological and hydrological drought monitoring using several drought indices. *Applied Water Science*, 11, 1-10. (In Persian With English Abstract).
  50. **Salimi, H., Asadi, E. and Darbandi, S., 2021.** Meteorological and hydrological drought monitoring using several drought indices. *Applied Water Science*, 11, 1-10. [in persian].
  51. **Salvia, M., Sanchez, N., Piles, M., Ruscica, R., Gonzalez-Zamora, A., Roitberg, E. and Martinez-Fernandez, J., 2021** The added-value of remotely-sensed soil moisture data for agricultural drought detection in Argentina. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*.
  52. **Shah, D. and Mishra, V., 2020.** Integrated Drought Index (IDI) for drought monitoring and assessment in India. *Water Resources Research*, 56(2), e2019WR026284.
  53. **Shashikanth, K., Madhusoodhanan C.G., Subimal, T., Eldho, K., Rajendran, Raghun., 2014.** Comparing statistically downscaled simulations of indian monsoon at different spatial resolution *journal of hydrology* 51(2). *Advances in Agronomy*, 156, 265-314.
  32. **Keshavarz, M., Karmi, E., & Zamani, G., 2011.** Vulnerability of farmer households to drought: a case study, *Journal of Agricultural Education and Extension Sciences of Iran*, 6 (2), pp.15-33.
  33. **Khan, H.M., Aslam, M.F., Waseem, M., Abbasi, H.K.J., Iftikhar, A. and Haq, F.U., 2024.** Evaluating satellite-based precipitation products for spatiotemporal drought analysis. *Journal of Arid Environments*, 224, 105225.
  34. **Lana, X., Marti 'nez, M.D., Serra, C. and Burguen'o, A., 2005.** Periodicities and irregularities of indices describing the daily pluviometric regime of the Fabra Observatory (NE Spain) for the years 1917–1999, *Theor. Appl. Climatol.* 82: 183–198.
  35. **Maffakheri, A., Khalidi, S., Shamsipour, A., Fallahi, M. and Kermani, A., 2015.** Drought analysis using NDVI index in Qorveh and Dehgolan Plains, *Applied Research in Geographical Sciences*, 41, 94 - 77. (In Persian With English Abstract).
  36. **Mahmoudi, P., Rigi, A. and Kamak, M.M., 2019.** A comparative study of precipitation-based drought indices with the aim of selecting the best index for drought monitoring in Iran. *Theoretical and Applied Climatology*;137(3):3123-38(In Persian With English Abstract).
  37. **Miryaghoubzadeh, M., Khosravi, S.A. and Zabihi, M., 2019.** A Review of Drought Indices and their Performance. *Journal of Water and Sustainable Development*, 6(1), 103-112.
  38. **Moeenzadeh, R., Arshad, S., Hero, B. and Davari, K., 2018.** Dry spraying in non-aqueous tuber culture using remote sensing technology, *Water and Irrigation Management Journal*, 2, 39-52. [in persian].
  39. **Montazeri, M., 2016.** Identifying and analyzing the trend of climatic droughts under Zayandeh Rood basin in the last half century, *Geographical Research*, 22, 12-24. (In Persian With English Abstract).
  40. **Mosaedi, A. and Qabaei, S., 2013.** Determining drought and drought events based on the multivariable scalogram model and examining the relationship between the most extreme events and the threshold values of precipitation, *Iran Hydrological Research*, 43, 4-18. (In Persian With English Abstract).
  41. **Nasaji Zavareh, M. and Heydari, H., 2000.** The six-step process of reducing the effects of drought, *Drought and Drought Quarterly of Agriculture*, 3, 12-25. (In Persian With English Abstract).
  42. **Nasaji Zavareh, M., Khurshid Dost, A., Rasouli, A. and Selajgeh, A., 2015.** Analysis of temperature and precipitation trends using homogeneous time series (case study of the Caspian region), *Pasture and Watershed*

- 1961 to 2018[J]. *Scientific Data*, 9(1): 610-124.
62. **Wen, Q., Hu, Y., Song, J., Liu, Y., Cao, Z. and Liang, Z., 2024.** Drought Risk in Water Source and Receiving Regions of the Middle Route Project of South-to-North Water Diversion In China from Drought Duration at Different Drought Levels. Available at SSRN 4851168.
  63. **West, H., Quinn, N. and Horswell, M., 2019.** Remote sensing for drought monitoring & impact assessment: Progress, past challenges and future opportunities. *Remote Sensing of Environment*, 232, 111291.
  64. **Wilhite, D.A. and Glantz, M.H., 1985.** Understanding: the drought phenomenon: the role of definitions. *Water international*, 10(3), 111-120.
  65. **Wu, Y., Li, L. and Liu, Z., 2021.** Real-time control of the middle route of south-to-north 619 water diversion project[J]. *Water*, 2021, 13(1): 97.
  66. **Zare Abianeh, H., 2013.** Investigating the role of climate and drought factors on the yield variability of four rainfed crops in Mashhad and Birjand, water and soil science, 23, 32-41. (In Persian With English Abstract).
  67. **Zare Abyaneh, H., 2013.** Evaluating roles of drought and climatic factors on variability of four dry farming yields in Mashhad and Birjand. *Water and Soil Science*, 23(1), 39-56.
  54. **Singh, V.P. and Guo., F.X.Y., 1993.** Parameter estimation for 3-parameter log-logistic distribution (LLD3) by Pome. *Stochastic Hydrology and Hydraulics* 7, 163-177.
  55. **Smakhtin, V.U. and Hughes, D.A., 2004.** Review, automated estimation and analyses of drought indices in South Asia.
  56. **TajBakhsh, S., Khani, I., Kazemi, A., 2015.** Evaluation of meteorological drought in Iran using standardized precipitation and evapotranspiration index (SPEI), *Earth and Space Physics*, 41(2), 21.
  57. **Thorntwaite, C.W., 1948.** An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review* 38, 55-94.
  58. **UNEP at the climate COP28. 2024.** The COP28 UN Climate Change Conference in Dubai, section 3, pp.42-65.
  59. **Verhoeven, E., Wardle, G.M., Roth, G.W. and Greenville, A.C., 2022.** Characterising the spatiotemporal dynamics of drought and wet events in Australia. *Science of The Total Environment* Volume 846.
  60. **Vicente-Serrano, S.M., Begueria, S., Gimeno, L., Eklundh, L. and Giuliani, G., 2012.** Challenges for drought mitigation in Africa: The potential use of geospatial data and drought information systems. *Applied Geography*, 34(3). 471-486.
  61. **Wang, Q., Zhang, R. and Qi, J., 2022.** An improved daily standardized precipitation index 609 dataset for mainland China from Pp. 3163–3177.





## Analyzing the Temporal and Spatial Variability of Decade Droughts in Iran

Seyed Keramat Hashemi Ana<sup>\*1</sup>, Seyed Ghasem Ghorbanzadeh Zaferani<sup>2</sup>

1\*- Department of Geography, Faculty of Literature and Humanities University of Yasouj, Yasouj, Iran.

2- Research Group of Biodiversity and Biosafety, Research Center for Environment and Sustainable Development (RCESD), Department of Environment, Tehran, Iran

### Original Article

**Received:**  
2024.07.24

**Accepted:**  
2024.09.15

**Keywords:**

Drought Intensity  
Monitoring  
Dryness  
Precipitation  
Iran

### Abstract

**Introduction:** Drought can occur in all climatic regions, that's why its characteristics are different in different regions. The concept of drought is a temporary disturbance and is different from with dry, because dry spells is limited to areas with little precepitation and is a permanent state of the climate of a region. Drought also occurs in dry and wet areas and is a natural state of climate. So far, not presentation exact and universal definition of the phenomenon of drought that is accepted by everyone. This phenomenon can occur in all climate and diffrent regions, that's why its characteristics are different in different regions. Researchers consider drought to be the result of a lack of rainfall over an extended period of time. In most definitions, a drought refers to a continuous and sustained period when the amount of water available in an area decreases significantly.

**Materials and Methods:** To conduct this research, several methods were used in several stages. in First step, daily precipitation data for the synoptic station (411-precipitation), rain gauge (3303-precipitation) and climatology (546-precipitation) have been extracted during a long-term period of 51 years, from 1970 to 2020. for interpolation we used Kriging method in time period of data. Also, 4260×18628 grid or matrix was selected for each daily precipitation map. In this way, 18,628 daily maps were formed with 30,459 cells. After forming a database, SPEI has been used to calculate the drought index. Finally, by calculating the SPEI index, a matrix with dimensions of 51\*30459 was formed. After extracting this index, Mann-Kendall's method was used to investigate the trend of drought severity, and spectrum analysis was used to investigate fluctuations of drought. for analysis trend period we use Mann-Kendall model.

**Results:** According to the findings of this research during the first period, the drought areas of Iran are scattered in different parts of the country. During this period (1970-1990), there has been moderate and severe drought in the country. In the often of area in country has faced drought. During this period, 39% of the country experienced moderate and severe drought. In this period (1991-2010), moderate and severe drought and moderate and severe drought

have prevailed in different regions of the country. The level of areas with drought in this period has increased by about 7% compared to the first period. In this period a large part of the country experienced drought and drought areas are seen scattered in the northwest, northeast, central and western regions. In the fourth period (2000-2010), against the third period, the drought has advanced to large parts of the country. The central parts of the country such as Isfahan, Yazd and Semnan occur wet condition. In Third period (2001-2020), a large part of the country is suffering from drought. against the previous period, in this period severe drought is also seen in many parts of the country.

**Discussion:** Drought and its degree of occurrence are not related to a specific area of the country and every part of the country will be exposed to this random phenomenon. Therefore, droughts have been increasing all over the country. The lowest increasing trend can be seen in part of center and desert areas, part of the southern coast, west, northwest and also small areas in the northeast. The highest increasing trend of droughts is also seen in the southwest of the country in Khuzestan province.