

Research Paper

## **Analyzing and Forecasting Drought Using the Standardized Precipitation Index (SPI) in Cities of Golestan Province**

**Abdosalaam Esmailzadeh\*<sup>1</sup>**

1 M.Sc of Urban and Regional Planning, Allameh Tabataba'i University, Tehran, Iran.

### **Keywords**

**Drought Golestan  
Province Climate  
Change Planning**

### **A B S T R A C T**

Drought is a natural and global phenomenon typically defined as a period of water scarcity relative to normal levels and is considered one of the most significant meteorological hazards. In many regions worldwide, both the frequency and intensity of droughts have dramatically increased. Drought refers to the reduction in water availability over a specific period and area. This study analyzes drought fluctuations during the period 1971 to 2019 and forecasts its status for 2019 to 2044 across various cities in Iran.

The SPI was calculated at different time scales (1, 3, 6, 12 months). The SPI is an index based on the probability of precipitation deficits over a given period. SPI values are calculated using long-term precipitation records (30 years or more) for a specific region. Positive SPI values indicate above-average precipitation, while negative SPI values indicate below-average precipitation.

The results reveal severe fluctuations in SPI in cities like Aliabad and Gorgan, which have experienced alternating periods of drought and wet conditions. In contrast, regions such as Hashemabad and Incheh-Borun showed predominantly positive SPI values, indicating consistently wet conditions and regular rainfall. However, cities like Kalaleh and Maraveh Tappeh faced severe droughts. Forecasts for 2019 to 2044 suggest increased severe fluctuations and recurrent droughts in cities like Bandar-e-Turkmen and Gonbad-e-Kavus, while Gorgan and Hashemabad are expected to maintain relative stability.

These findings underscore the urgent need for effective water resource management and climate planning to address potential droughts and climate change impacts. Overall, this study highlights the necessity of adopting preventive measures and establishing early warning systems to optimize water resource management and tackle future challenges associated with climate variability.

\*Corresponding Author.

Email Addresses: [a.esmailzadeh2000@gmail.com](mailto:a.esmailzadeh2000@gmail.com)

Esmailzadeh, A. (2023). Analyzing and Forecasting Drought Using the Standardized Precipitation Index (SPI) in Cities of Golestan Province. *Human Ecology*, 2(5), 372-383.



Doi: [10.22034/el.2023.211779](https://doi.org/10.22034/el.2023.211779)

## واکاوی و پیشبینی خشکسالی با استفاده از الگوریتم سنجش خشکسالی (SPI) شهرهای استان گلستان

عبدالسلام اسماعیل زاده\*<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup> کارشناس ارشد شهرسازی؛ گرایش برنامه‌ریزی شهری و منطقه ای دانشگاه علامه طباطبائی، تهران، ایران.

### واژگان کلیدی

خشکسالی استان  
گلستان تغییرات اقلیمی  
برنامه‌ریزی

### چکیده

خشکسالی یک پدیده طبیعی و جهانی است که معمولاً به دوره‌هایی با کمبود آب نسبت به مقدار طبیعی تعریف می‌شود و یکی از بزرگترین مخاطرات مرتبط با هواشناسی است. در بسیاری از نقاط جهان، تعداد و شدت خشکسالی‌ها به طور چشمگیری افزایش یافته است. خشکسالی به کاهش دسترسی به آب در یک دوره خاص و در یک منطقه خاص گفته می‌شود. این پژوهش به تحلیل نوسانات خشکسالی در بازه زمانی ۱۹۷۱ تا ۲۰۱۹ و پیش‌بینی وضعیت آن برای سال‌های ۲۰۱۹ تا ۲۰۴۴ در شهرهای مختلف ایران پرداخته است.

شاخص SPI در مقیاس‌های زمانی مختلف (۱، ۳، ۶، ۱۲) محاسبه شد. SPI شاخصی است که بر اساس احتمال وقوع کمبود بارش در یک دوره زمانی معین تعریف می‌شود. SPI که برای یک دوره خاص در هر منطقه محاسبه می‌شود، بر اساس سوابق بلندمدت بارندگی (۳۰ سال یا بیشتر) است. مقادیر مثبت SPI نشان‌دهنده بارش بیشتر از حد متوسط و مقادیر منفی SPI نشان‌دهنده بارش کمتر از حد متوسط است. نتایج نشان‌دهنده نوسانات شدید در شاخص خشکسالی استاندارد شده (SPI) در شهرهایی مانند علی‌آباد و گرگان است که دوره‌های متناوب خشکسالی و ترسالی را تجربه کرده‌اند. در مقابل، برخی مناطق همچون هاشم‌آباد و اینچه‌برون در بیشتر مقیاس‌های زمانی مقادیر مثبت SPI را نشان داده و از شرایط مرطوب و بارندگی مداوم برخوردار بوده‌اند. با این حال، شهرهایی نظیر کلاله و مراوه‌تپه با خشکسالی‌های شدید مواجه شده‌اند. پیش‌بینی‌ها برای سال‌های ۲۰۱۹ تا ۲۰۴۴ نیز حاکی از افزایش نوسانات شدید و خشکسالی‌های مکرر در شهرهایی همچون بندر ترکمن و گنبدکاووس است. در حالی که گرگان و هاشم‌آباد از ثبات نسبی برخوردار خواهند بود. این نتایج تأکید می‌کنند که نیاز به مدیریت مؤثر منابع آبی و برنامه‌ریزی‌های اقلیمی برای مقابله با خشکسالی‌های احتمالی و تغییرات اقلیمی ضروری است. به طور کلی، این پژوهش ضرورت اتخاذ تدابیر پیشگیرانه و ایجاد سیستم‌های هشداردهنده را برای مدیریت بهینه منابع آبی و مقابله با چالش‌های ناشی از نوسانات اقلیمی در آینده نشان می‌دهد.

## ۱. مقدمه

خشکی از اصلی‌ترین بلاهای طبیعی است که انسان از دیرباز با آن آشنا بوده است و از مهمترین بلاهای طبیعی است که بر ابعاد مختلف زندگی بشر تأثیرگذار است (Mishra & Singh, 2010) و به یک دوره زمانی تسلط آب‌وهوای خشک غیرعادی گفته می‌شود که باعث عدم تعادل بین عرضه و تقاضای آب شده است و تأثیرات اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی را به دنبال دارد (Zhang, 2012). پیش‌بینی قابل اعتماد از وضعیت خشکی در آینده، یکی از مبانی اصلی موفقیت در برنامه‌ریزی منابع آب است که تحت‌تأثیر فرآیندهای تغییر اقلیم قرار دارد (امانی و همکاران، ۱۳۹۵). شاخص خشکی (AI) به عنوان نسبت تبخیر-تعرق به بارش برای کمی‌سازی مقدار خشکی به کار می‌رود (بختیاری و همکاران، ۱۴۰۰). گیاهان پاسخ سریعی به تغییرات آب و هوا دارند همچنین تغییرات در فنولوژی و تولید گیاه شواهدی در سری زمانی هستند که سبزی‌نگی را نشان می‌دهند. آب و هوا می‌تواند تغییراتی در تراکم و رشد پوشش گیاهی ایجاد کند که ممکن است بعد از دهها سال نمایان شود (استو و همکاران، ۲۰۰۴: ۲۸۲). خشکی حاصل کمبود بارش در طی یک دوره ممتد زمانی معمولاً یک فصل یا بیشتر می‌باشد. این کمبود منجر به نقصان آب برای برخی فعالیت‌ها، گروه‌ها و یا یک بخش زیست‌محیطی می‌شود (قربانی و همکاران، ۱۳۹۷). بروز خشکی و کاهش بارش بر منابع آب و کشاورزی در هر منطقه تأثیرگذار است (خوش‌اخلاق و همکاران، ۱۳۸۹). عامل بارش به تنهایی در خشکی موثر نیست بلکه خشکی پدیده بسیار پیچیده‌ای است که عوامل مختلفی در ایجاد آن دخالت دارند از طرفی ایران بنابه موقعیت اقلیمی و جغرافیایی که دارد بارش به عنوان ورودی و تبخیر و تعرق به عنوان خروجی در نظر گرفته می‌شود از این رو عامل تبخیر و تعرق عامل مهمی در خشکی محسوب می‌گردد (خورانی و جمالی، ۱۳۹۵). خشکی تأثیر قابل توجهی بر عملکرد محصول و در نتیجه، امنیت غذایی در متن تغییرات جهانی آب و هوا دارد. بنابراین، تلاش‌ها باید بر روی شناسایی و نظارت بر خشکی باشد (Zhao et al, 2017). فراوانی و شدت خشکی می‌تواند با گرم شدن کره زمین در حال افزایش باشد (Tian et al, 2018). خشکی حادثه‌ای طبیعی است که بر اقتصاد، کشاورزی و جنبه‌های اجتماعی جامعه اثر می‌گذارد. این پدیده تدریجی است، به‌گونه‌ای که آغاز و پایان آن معلوم نیست. تداوم آن ممکن است از چندین ماه تا چندین سال طول بکشد و مساحت تحت پوشش آن در طول زمان تغییر کند، به همین دلیل نیاز به پایش آن بیشتر احساس می‌شود (Bhuiyan, 2004). اگرچه میزان بارندگی شاخص اصلی در دسترس بودن آب است، اما دما نیز عامل مهمی است که می‌تواند بر میزان دسترسی به آب تأثیر بگذارد زیرا میزان تبخیر و تعرق را کنترل می‌کند. از پارامترهایی مانند میزان بارندگی و دما می‌توان به عنوان شاخص خشکی استفاده کرد. این شاخص‌ها به شاخص‌های خشکی تبدیل می‌شوند که ویژگی‌های مختلف خشکی را نشان می‌دهد (Tirivarombo et al, 2018). اصولاً برای تحلیل کمی خشکی، وجود یک شاخص مشخص برای تعیین دقیق دوره‌های مرطوب و خشک بسیار ضروری است (Silva, 2008). تنش‌های گیاهان وابستگی زیادی به شرایط هواشناسی غالب دارد و به طور قابل توجهی با شاخص‌های هواشناسی مرتبط است. تنش در گیاهان زمانی اتفاق می‌افتد که منبع آب (بارندگی) نمی‌تواند نیاز آب محصول را برآورده کند و به عنوان کمبود رطوبت خاک منجر به آسیب‌رسانی گیاهان می‌شود (Wilhite, 2014). شروع استفاده از فن‌آوری سنجش‌ازدور برای پایش خشکی به کاربرد آن در استخراج اطلاعات از پوشش گیاهی زمین بازمی‌گردد. یک‌مرتبه کالیبره کردن اطلاعات ماهواره‌ای با واقعیت زمینی، امکان استفاده از داده‌های ماهواره‌ای برای پایش شروع خشکی، واکنش پوشش گیاهی به خشکی و بهبود پس از استرس را فراهم می‌کند. در دهه‌های اخیر مدل‌های زیادی در رابطه با پایش خشکی ارائه شده است که عموماً بر پایه شاخص‌های گیاهی، دمای سطح زمین، محتوای آب گیاه و وضعیت گیاه است. برخی از مدل‌ها عبارت‌اند از: شاخص وضعیت پوشش گیاهی سلامت پوشش گیاهی، تفاضل نرمال شده، شاخص نسبت درجه حرارت (Bayarjargal et al, 2006)، شاخص رطوبت خاک (Gu et al, 2008). از آنجایی که امروزه سنجنده‌های متعددی در مطالعات پایش خشکی به کار می‌روند، در مطالعه حاضر از اطلاعات سنجنده مودیس استفاده شد، زیرا در مقایسه با سنجنده‌های دیگر، سنجنده مودیس با داشتن باندهای مختلف و طیف الکترومغناطیسی بالقوه برای نظارت بر خشکی مناسب‌تر است (Ceccato et al, 2001). از این‌رو، از سال ۲۰۰۰ پس از کسب اولین داده‌های ماهواره‌ای از این سنجنده، استفاده از اطلاعات آن به منظور ارزیابی و پایش خشکی مدنظر قرار گرفت. دامنه وسیعی از شاخص‌های مبتنی بر داده‌های مودیس برای نظارت بر خشکی در مناطق مختلف تاکنون ارائه شده است (Caccamo et al, 2011). در جهان دانشمندی مثل (Park et al, 2008)، (رحیم زاده و همکاران، ۲۰۰۹)، (Murad et al, 2011)، (Alwesabi, 2012) و در ایران (یگانه و خواجه‌الدین، ۱۳۹۰) با استفاده از شاخص‌های متعدد محاسبه شده حاصل از تصاویر سنجنده مودیس اقدام به ارزیابی و پایش خشکی کردند و نتایج پژوهش‌های آن‌ها نشان داده است که اطلاعات این سنجنده برای تعیین خشکی مناسب است. خشکسالی یک خطر جدی با اثرات بسیار گسترده بر روی خاک، اقتصاد و تهدید معیشت و سلامت جوامع محلی می‌باشد. برخی پژوهش‌های خارجی و داخلی درباره موضوع پژوهش حاضر عبارت‌اند از (Howitt et al, 2015) در پژوهشی به تجزیه و تحلیل اقتصادی آثار خشکی بر کشاورزی کالیفرنیا پرداختند و به این نتیجه رسیدند که آثار بیشتری در مناطق دارای محدودیت آب‌های زیرزمینی نمایان هستند به‌گونه‌ای که بر قیمت محصولات کشاورزی نیز مؤثر هستند. (FAO, 2013). در پژوهشی، خشکی در جهان را

بررسی و آثار مختلف این پدیده از جمله مرگ، بیماری، سوء تغذیه، قحطی و حتی جابه‌جایی‌های مکانی جمعیت در ۳۰ تا ۵۰ سال آینده جهان را تحلیل کرد (Edossa, 2009). خشکی در حوضه رودخانه اواش در اتیوپی را با شاخص خشکی بارش استاندارد شده بررسی کرد؛ تجزیه و تحلیل و ارتباط بین شاخص‌های خشکی هواشناسی و هیدرولوژی در حوضه یادشده نشان داد که وقوع پدیده خشکی هیدرولوژیک در ایستگاه اندازه‌گیری شده با میانگین تأخیری هفت‌ماهه از رویداد خشکی هواشناسی در اواش روی می‌دهد و تنوع ۳ تا ۱۳ ماهه دارد. (Shaban, 2008). خشکی هیدرولوژیک را در لبنان مطالعه کرد و نتایج پژوهش او نشان دادند که منابعی مانند رودخانه‌ها و آب‌های زیرزمینی که متأثر از فعالیت‌های انسان هستند، حدود ۲۳ تا ۲۹ درصد کاهش داشته‌اند و منابعی که کمتر از فعالیت‌های انسان تأثیر می‌گیرند (پوشش برف و بارش باران و برف)، حدود ۱۲ تا ۱۶ درصد کاهش داشته‌اند. (Dinar, 2000). آثار خشکی در جوامع روستایی کشورهای جنوب آفریقا را بر هفت بخش محصولات زراعی، دام، آب، اشتغال، قیمت مواد غذایی، چراگاه و سوخت طبقه‌بندی و مطالعه کردند. در بخش مطالعات داخلی نیز پژوهش‌های انجام پذیرفته است که در ذیل به آن‌ها پرداخته می‌شود:

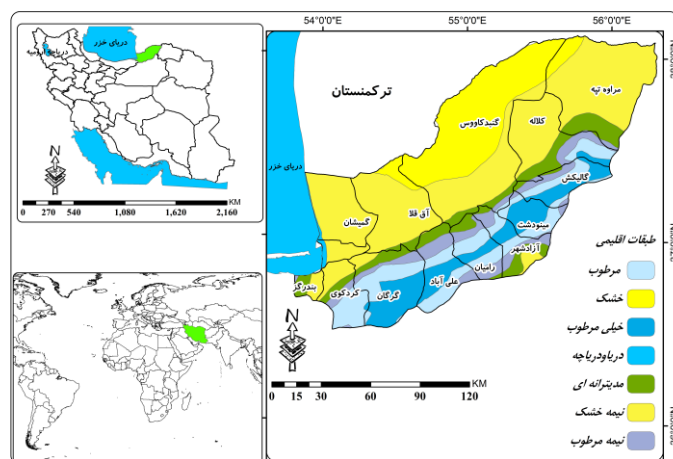
امانی و همکاران (۱۳۹۵) در تحقیقی تحت عنوان بررسی خشکی تحت شرایط افزایش دمای ناشی از تغییر اقلیم در گندم دیم استان فارس با استفاده از شاخص خشکی به این نتیجه رسیده‌اند که در دوره پایه میزان بارندگی تجمعی و تبخیر و تعرق بیشترین تأثیر را بر شاخص خشکی داشتند. با توجه به نقشه پراکنش خشکی در دوره پایه و آینده به نظر می‌رسد هرچقدر از دوره ۲۰۳۰ دورتر و به دوره ۲۰۹۰ نزدیک‌تر می‌شویم، شدت خشکی در استان افزایش بیشتری می‌یابد. پیش‌بینی می‌شود که در دو مدل اقلیمی، سه دوره زمانی و سه سناریو به دلیل افزایش میزان تبخیر و تعرق و کاهش میزان بارندگی که همبستگی بالایی (به ترتیب مثبت و منفی) با میزان دمای بیشینه داشتند (عساکره و همکاران، ۱۳۹۶) در پژوهشی به تحلیل و پیش‌بینی روزهای خشک با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی (مطالعه موردی: ایستگاه تهران) پرداخته‌اند. نتایج پژوهش نشان‌دهنده این است که بارش از جمله مهمترین متغیرهای ورودی به سیستم‌های هیدرولوژیک محسوب می‌گردد بر این اساس در ایستگاه مذکور، روزهای خشک پیش‌بینی شده توسط شبکه در مقایسه با طول دوره آماری مورد بررسی دارای روند افزایشی بوده است که با محاسبه احتمال وقوع روزهای خشک، طی سال‌های (۲۰۱۸-۲۰۰۹) با استفاده از زنجیره مارکوف، موارد فوق تأیید گردیده است. (بختیاری و همکاران، ۱۴۰۰) در پژوهشی به بررسی تحلیل حساسیت و بررسی تغییرات شاخص خشکی (AI) در چند نمونه اقلیمی ایران پرداختند، نتایج در بین متغیرهای اقلیمی، بارش بیش‌ترین سهم را در تغییرات AI داشته است. به طوری که ۱۰٪ افزایش در بارش، باعث کاهش AI در ایستگاه‌های رشت، ایلام، یاسوج، مشهد و کرمان به ترتیب ۰/۷۲٪، ۱۱/۸۱٪، ۱۲/۴۸٪، ۱۱/۱۴٪ و ۱۲/۸۲٪ می‌شود. بعد از بارش، بیشترین حساسیت AI به متغیرهای اقلیمی در ایستگاه‌های ایلام و رشت به ترتیب دمای حداکثر و حداقل، در ایستگاه‌های کرمان و مشهد، فشار بخار هوا، و در ایستگاه یاسوج مقدار تابش ورودی است. فتح نیا و همکاران (۱۳۹۶) در پژوهشی تحت عنوان پیش‌بینی احتمال تکرار دوره‌های خشکی و اثر آن بر پوشش گیاهی در استان گلستان به این نتیجه دست پیدا کرده‌اند که در میان سال‌های ۲۰۰۷-۲۰۰۱ و ۱۹۹۴-۱۹۹۰ دوره ترسالی و سال‌های ۱۹۸۶-۱۹۸۲ و ۲۰۱۰-۲۰۰۵ دوره خشکی رخ داده است. تحلیل شاخص خشکی روند بارش در این زمان را تأیید کرده و نشان داد سال‌های ۲۰۰۵-۲۰۰۱ شرایط مرطوب و از سال ۲۰۰۵ شرایط خشکی حاکم بوده است. موعلی (۱۳۹۹) در پژوهشی تحت عنوان پایش تغییرات پوشش گیاهی در اثر خشکی در حوضه آبریز درودزن با استفاده از تصاویر MODIS به این نتیجه دست یافته است که یکی از روش‌های مطالعه پایش و پهنه‌بندی خشکی با استفاده از شاخص‌های هواشناسی می‌باشد. پودینه و همکاران (۱۳۹۹) در مقاله‌ای تحت عنوان پایش شاخص‌های خشکی در شهر زاهدان در بازه‌های زمانی مختلف به این نتیجه رسیده‌اند که خشکی مؤثرترین نقش را در میان بلایای طبیعی دارد و دو گروه پیامد مستقیم و غیرمستقیم از خود برجای می‌گذارد. اساسی‌ترین پیامدهای مستقیم عبارت‌اند از: کاهش اراضی کشاورزی، کاهش تعداد دام‌ها، کاهش تولید محصولات کشاورزی، افزایش هزینه‌های تولید، کاهش منابع آب، کاهش وسعت مراتع و جنگل‌ها، افزایش آتش‌سوزی‌ها و غیره مهم‌ترین آثار غیرمستقیم نیز شامل کاهش درآمد در بخش کشاورزی و دامداری، کاهش قیمت اراضی زراعی، افزایش مهاجرت‌های روستایی، تخلیه تدریجی آبادی‌ها، گسترش ابعاد فقر، قحطی، بیکاری و غیره هستند (حجازی‌زاده و جوی‌زاده، ۱۳۸۹؛ امیدوار، ۱۳۹۲). در منابع مختلف به مجموعه متنوعی از روش‌ها برای تحلیل خشکی اشاره می‌شود که مهم‌ترین آن‌ها عبارت‌اند از: روش‌های تحلیل داده‌های بارندگی، روش‌های تحلیل همدیدی (سینوپتیک)، روش‌های سنجش از دور، روش‌های تعیین شاخص‌های خشکی و ...؛ روش سنجش از دوری که بیشتر بر روش‌ها و الگوهای ریاضی و تحلیل داده‌های کمی اقلیمی مبتنی است، کاربرد فراوانی برای تحلیل خشکی دارد (نوری و نوروزی، ۱۳۹۵).

در این راستا با توجه به اهمیت موضوع مورد مطالعه هدف کلی پژوهش حاضر واکاوی و پیش‌بینی خشکسالی با استفاده از شاخص‌های (SPI) در استان گلستان می‌باشد. نوآوری پژوهش حاضر در تحلیل و پیش‌بینی خشکسالی در استان گلستان با استفاده از الگوریتم سنجش خشکسالی استاندارد شده (SPI) نهفته است. این تحقیق با بررسی نوسانات خشکسالی در بازه زمانی ۱۹۷۱ تا ۲۰۱۹ و پیش‌بینی وضعیت آن تا سال ۲۰۴۴، به شناسایی الگوهای خشکسالی و ترسالی در شهرهای مختلف استان می‌پردازد. از دیگر ویژگی‌های نوآورانه این پژوهش می‌توان به

تحلیل جزئی و دقیق خشکسالی در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف، و تأکید بر نیاز به مدیریت مؤثر منابع آبی و برنامه‌ریزی اقلیمی برای مقابله با تغییرات آب و هوایی اشاره کرد. این رویکرد به ایجاد سیستم‌های هشداردهنده و اتخاذ تدابیر پیشگیرانه برای بهینه‌سازی مدیریت منابع آبی در منطقه کمک خواهد کرد.

## ۲. محدوده مورد مطالعه

استان گلستان بین ۵۳ درجه و ۵۱ دقیقه تا ۵۶ درجه و ۲۲ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۸ دقیقه عرض شمالی در بخش شمالی کشور واقع گردیده است. این استان از شمال به کشور ترکمنستان، از جنوب به استان سمنان، از شرق به استان خراسان شمالی و از غرب به دریای خزر و استان مازندران محدود می‌شود. استان گلستان در محدوده منطقه معتدله شمالی قرار گرفته که این عامل نقش مؤثری را در اقلیم استان بر عهده دارد. وسعت استان گلستان ۲۰۴۳۰/۹۲ کیلومتر مربع است که از این مقدار معادل ۸۳۴۸ کیلومتر مربع شامل اراضی جلگه‌ای استان می‌شود که قریب ۳۷/۵ درصد (۳۱۲۸ کیلومتر مربع) از آن را جلگه ساحلی پست و ۶۲/۵ درصد (کیلومتر مربع) آن را جلگه مواج تشکیل می‌دهد. جلگه ساحلی پست استان حدود ۱۵/۲ درصد کل ۵۲۲۰ وسعت استان را در بر گرفته و اراضی جلگه‌ای مواج حدود ۲۵/۴ درصد کل وسعت استان را تشکیل می‌دهد. دشت کوهپایه‌ای نیز با مساحت ۳۶۹۹/۸ کیلومتر مربع ۱۸ درصد استان را شامل می‌شود. تپه‌ماهورها و کوه‌های پست و کم ارتفاع در مجموع ۴۵۲۶/۸ کیلومتر مربع از سطح استان را به خود اختصاص می‌دهند و ۴۳/۹ درصد از این مقدار به اراضی تپه‌ماهوری و ۵۶/۱ درصد آن به کوه‌های پست و کم ارتفاع (گنبدی شکل) اختصاص می‌یابد. کوه‌های مرتفع و اراضی کوهستانی با وسعتی قریب ۳۹۴۱/۵ کیلومتر مربع، حدود ۱۹/۲ درصد وسعت کل استان را فرا گرفته است. بدین ترتیب ملاحظه می‌گردد که بیشترین وسعت استان را اراضی جلگه‌ای و دشت کوهپایه‌ای تشکیل می‌دهد (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان گلستان گزارش طرح توسعه اشتغالزایی ماده ۲۷، سال ۱۳۹۶).



شکل ۱. موقعیت محدوده مورد مطالعه

## ۳. روش پژوهش

تحقیق حاضر، با توجه به ماهیت مسئله و موضوع مورد بررسی، از نوع توصیفی - تحلیلی است و از نوع مطالعات کاربردی با تأکید بر روش‌های کمی است. هدف این پژوهش سنجش و تحلیل خشکسالی با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیکی بازه زمانی ۳۰ ساله (۱۳۶۸ تا ۱۳۹۷) می‌باشد. شاخص استاندارد بارش (SPI) یکی از شاخص‌های اساسی در مطالعه خشکسالی به‌شمار می‌آید که محاسبه آن نیازمند داشتن میانگین و انحراف معیار درازمدت مقادیر بارندگی برای دوره‌های مورد مطالعه است (Bonaccorso, 2003). این شاخص اساساً برای تعریف و پایش خشکسالی و ترسالی ارائه شده است (Tsakiris et al, 2004). این شاخص از طریق معادله زیر قابل محاسبه می‌باشد. (رابطه ۲)

$$SPI = (P_i - P) / S$$

که در آن  $P_i$ : مقدار بارش در دوره مورد نظر.  $P$ : میانگین درازمدت بارش برای دوره مورد نظر و  $S$ : انحراف معیار مقدار بارش می‌باشد. برای محاسبه این نمایه، از توزیع گاما برای برازش داده‌های بارش استفاده می‌شود که پس از انجام محاسبه‌های لازم و تعیین پارامترهای مربوط

به نمایه شاخص بارش استاندارد شده انجام می‌گیرد. پس از محاسبه مقدار شاخص بارش استاندارد شده در هر بازه زمانی، وضعیت رطوبتی به کلاس‌های مختلف که در جدول ذیل ارائه شده‌اند، تقسیم می‌شود:

جدول ۱. طبقه بندی دوره خشکسالی بر اساس شاخص بارش استاندارد شده

SPI value	شدت خشکسالی
$SPI \leq +2$	بسیار مرطوب
$1.50 \leq SPI \leq 1.99$	شدیداً مرطوب
$1.00 \leq SPI \leq 1.49$	مرطوب متوسط
$0.00 \leq SPI \leq 0.99$	کمی مرطوب
$-0.99 \leq SPI \leq 0$	خشکسالی خفیف
$-1.49 \leq SPI \leq -1.00$	خشکسالی متوسط
$-1.99 \leq SPI \leq -1.50$	خشکسالی شدید
$SPI \leq -2$	خشکسالی بسیار شدید

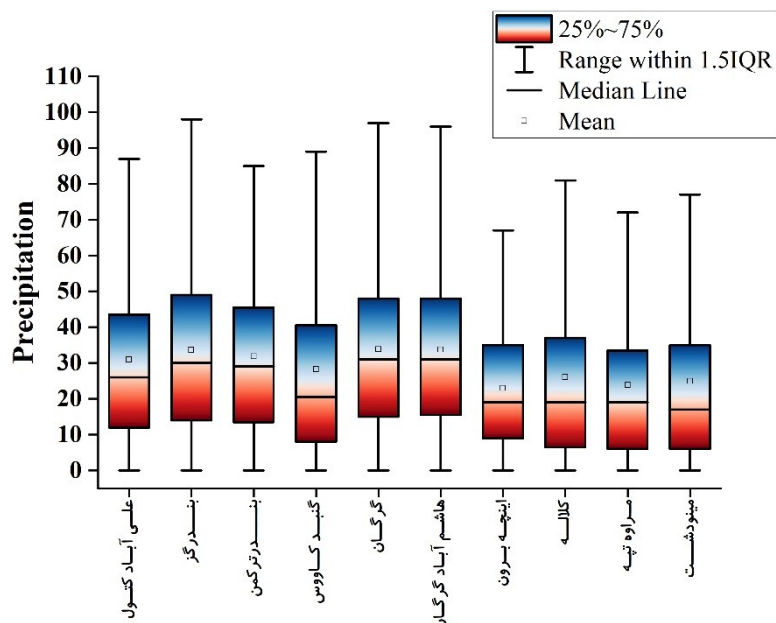
شاخص SPI یک ماهه بسیار شبیه به درصد بارش طبیعی برای یک ماه است. شاخص SPI سه ماهه مقایسه‌ای از بارش در یک دوره سه ماهه خاص با مجموع بارش‌ها از همان دوره سه ماهه برای تمام سال‌های ثبت شده قبلی ارائه می‌دهد. این شاخص شرایط رطوبتی کوتاه و میان مدت را منعکس می‌کند و تخمینی فصلی از بارش ارائه می‌دهد. شاخص SPI شش ماهه بارش را برای آن دوره با همان دوره شش ماهه در سوابق قبلی مقایسه می‌کند. شاخص SPI در مقیاس زمانی یک سال، الگوهای بارش بلندمدت را منعکس می‌کند. شاخص SPI دوازده ماهه مقایسه‌ای از بارش‌ها در ۱۲ ماه متوالی با همان دوره در سال‌های قبلی داده‌های موجود ارائه می‌دهد.

جدول ۲. مشخصات ایستگاه‌های مورد سنجش واقع شده

ردیف	نام ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع
۱	علی آباد کتول	۵۴.۸۸	۳۶.۹۰	۱۸۴
۲	بندرگز	۵۳.۹۵	۳۶.۷۷	-۱۶
۳	بندرترکمن	۵۴.۰۷	۳۶.۹۰	-۱۰
۴	گنبد کاووس	۵۵.۱۷	۳۷.۲۵	۳۷
۵	گرگان	۵۴.۴۱	۳۶.۹۱	۲
۶	هاشم آباد گرگان	۵۴.۲۷	۳۶.۸۵	۱۳
۷	اینچه برون	۵۴.۴۳	۳۷.۲۷	۷
۸	کلاله	۵۵.۴۶	۳۷.۳۹	۱۲۷
۹	مراوه تپه	۵۵.۹۵	۳۷.۹۰	۴۵۰
۱۰	مینودشت	۵۵.۶۳	۳۷.۳۷	۲۱

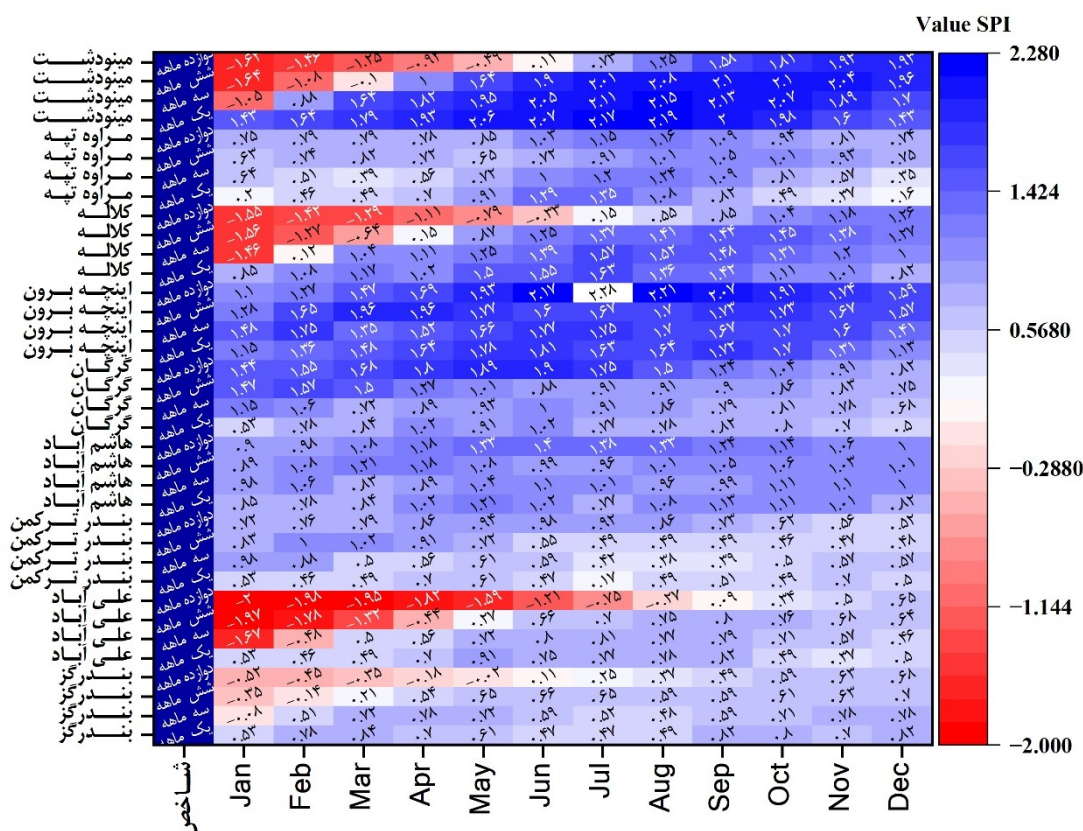
#### ۴. یافته‌ها

در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۳، میزان بارندگی در اغلب شهرها روندی نسبتاً پایدار با نوسانات کم داشته است، اگرچه در برخی ماه‌ها مانند زمستان و بهار، افزایش‌های مقطعی مشاهده می‌شود. به‌طور خاص، در سال ۲۰۰۳ شاهد افزایش چشمگیر بارندگی‌ها در ماه‌های مارس و آوریل بودیم که به ۱۰۴ میلی‌متر در برخی شهرها رسید. در سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۷، کاهش بارش‌ها به‌ویژه در ماه‌های بهار و تابستان در بسیاری از مناطق قابل مشاهده است، که ممکن است به دلیل تغییرات اقلیمی منطقه‌ای یا کاهش فعالیت جبهه‌های بارشی باشد. برای نمونه، سال ۲۰۰۵ با کاهش شدید بارندگی در ماه‌های تابستان همراه بود و بارش تقریباً به صفر رسید. در مقابل، سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۱ شاهد افزایش نسبی بارندگی بودند، به‌ویژه در سال ۲۰۱۱ که در برخی شهرها بارش‌ها به ۱۷۰ میلی‌متر در ماه اکتبر رسید، نشان‌دهنده فعال‌تر شدن الگوهای جوی باران‌زا در این دوره بود. اما سال ۲۰۱۲ با کاهش بارندگی‌ها به‌ویژه در ماه‌های ژانویه و فوریه نسبت به سال قبل همراه بود، که ممکن است تحت تأثیر پدیده‌هایی مانند ال‌نینو و لاتینا یا تغییرات جوی کلی باشد.



شکل ۲. مقادیر بارندگی ماهانه در طول بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۲

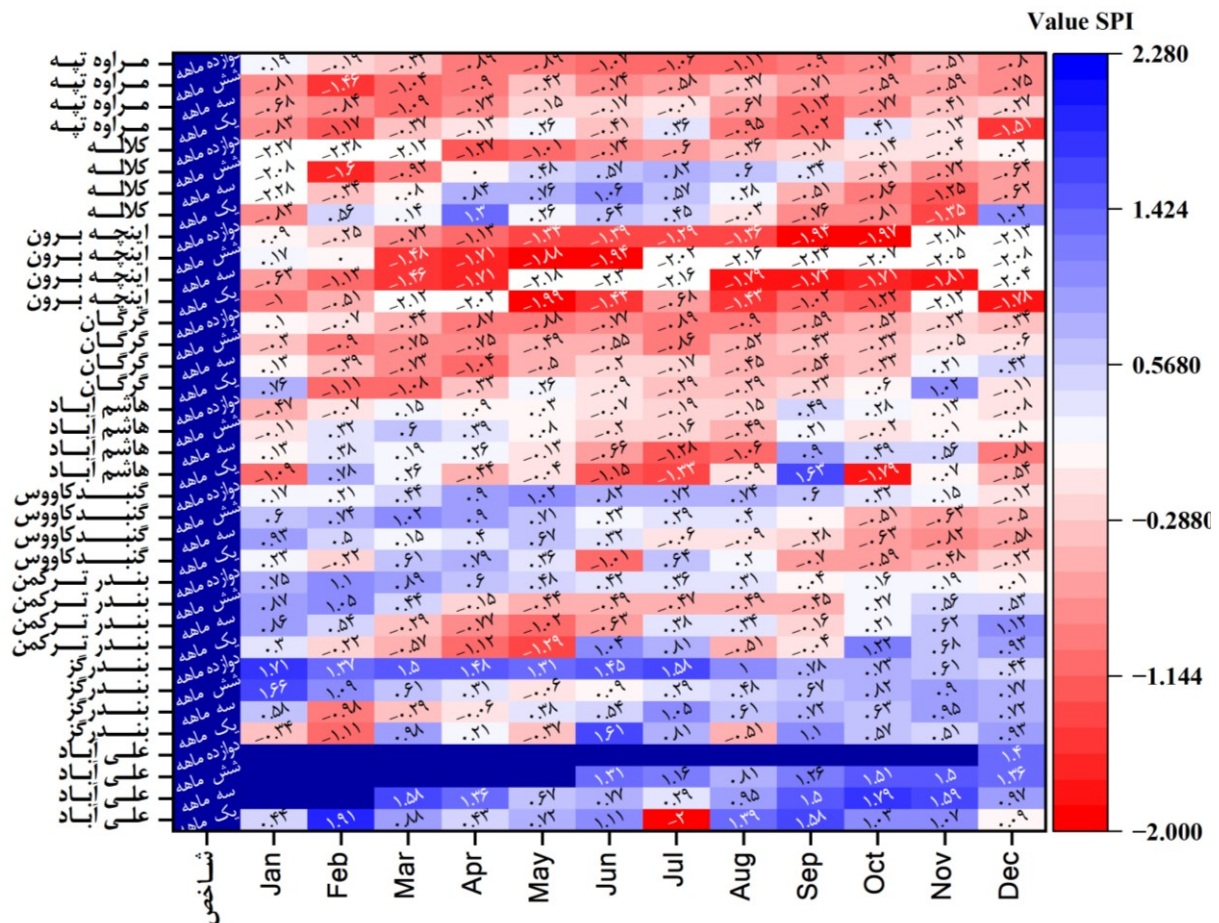
در بررسی بارندگی‌های سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۲، مشاهده می‌شود که در سال ۲۰۱۳ بارندگی‌ها نسبت به سال‌های قبل متعادل‌تر بوده و ماه‌های زمستان مانند ژانویه و فوریه میزان بارش مناسبی (حدود ۶۰ تا ۸۰ میلی‌متر) داشته‌اند، اما در تابستان بارندگی کاهش محسوسی داشته است. سال ۲۰۱۴ کمی خشک‌تر به نظر می‌رسد، به‌ویژه در بهار، جایی که در ماه می میزان بارش کمتر از میانگین بلندمدت است، ولی در پاییز به‌ویژه ماه اکتبر بارندگی افزایش ناگهانی دارد. در سال ۲۰۱۵، میزان بارش در زمستان و اوایل بهار به طور پیوسته پایین‌تر بوده و خشکسالی مقطعی را نشان می‌دهد. سال ۲۰۱۶ شاهد بهبود نسبی بارندگی در زمستان بوده، به‌طوری‌که در ژانویه و فوریه میزان بارش در برخی شهرها به ۱۰۰ میلی‌متر رسیده است. سال ۲۰۱۷ با بارندگی‌های خوب در نیمه اول سال، به‌ویژه در ماه‌های مارس و آوریل با حدود ۱۲۰ میلی‌متر، آغاز شد، ولی تابستان با بارش‌های کمی همراه بود. در سال ۲۰۱۸، بارندگی‌های بهاری به‌ویژه در آوریل به بالاترین میزان خود رسید و تابستان نیز به طور غیرمعمول بارش‌های زیادی داشت. در سال ۲۰۱۹، الگوی بارشی متعادل بود و در ماه‌های زمستان و بهار بارش‌ها معمولی و در تابستان کاهش بارش معمولی دیده شد. سال ۲۰۲۰ با بارندگی‌های زیاد در نیمه اول سال، به‌ویژه در ماه‌های مارس و آوریل با حدود ۱۳۰ میلی‌متر، همراه بود. در سال ۲۰۲۱، بارندگی‌ها در نیمه دوم سال کاهش یافت و زمستان و پاییز بارندگی کمتری داشتند، ولی در بهار، به‌ویژه ماه مارس، بارش‌ها نسبتاً بالا بود. نهایتاً سال ۲۰۲۲ یک الگوی نسبتاً خشک را نشان می‌دهد، با کاهش بارندگی در زمستان و اوایل بهار و بارش‌های بسیار کم در تابستان، که این سال را یکی از سال‌های خشک در دوره مورد بررسی معرفی می‌کند.



شکل ۳. مقادیر SPI در طول بازه زمانی ۱۹۷۱ تا ۲۰۱۹

### مقادیر SPI در بازه زمانی ۱۹۷۱ تا ۲۰۱۹

این بخش از داده‌ها شاخص SPI را برای شهرهای بندرگز، علی‌آباد، بندر ترکمن، هاشم‌آباد، گرگان، اینچه‌برون، کلاله و مراوه‌تپه نشان می‌دهد. نوسانات مثبت و منفی SPI، مقادیر مثبت SPI نشان‌دهنده دوره‌های مرطوب و مقادیر منفی نشان‌دهنده دوره‌های خشکسالی است. در شهر علی‌آباد، تغییرات شدید و نوسانات زیادی در مقیاس‌های کوتاه‌مدت (یک‌ماهه و سه‌ماهه) مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده نوسانات شدید بارندگی است. مقادیر منفی شاخص در بازه‌های زمانی طولانی‌تر مانند شش‌ماهه و دوازده‌ماهه (به ترتیب ۱.۹۷- و ۲-) نشان‌دهنده دوره‌های خشکسالی طولانی است. در شهر گرگان، مقادیر بالای SPI در بازه‌های زمانی مختلف (مانند ۱.۴۷ در شش‌ماهه ژانویه) نشان‌دهنده دوره‌های مرطوب و ترسالی شدید است. ثبات نسبی برخی شهرها در ترسالی: شهرهایی مانند هاشم‌آباد و اینچه‌برون در بسیاری از بازه‌های زمانی مقادیر مثبت بالایی دارند که نشان‌دهنده شرایط مرطوب پایدار در این مناطق است. هاشم‌آباد در تمام مقیاس‌های زمانی از یک‌ماهه تا دوازده‌ماهه، مقادیر مثبت داشته و ترسالی‌های طولانی را نشان می‌دهد. در اینچه‌برون نیز در تمام ماه‌های سال شاخص‌های مثبت دیده می‌شود که نمایانگر بارندگی مستمر و شرایط مرطوب است. وجود خشکسالی‌های شدید در برخی مناطق: برخی شهرها مانند کلاله و مراوه‌تپه در بازه‌های زمانی خاص با مقادیر SPI منفی مواجه هستند که نشان‌دهنده خشکسالی‌های شدید است. در کلاله، مقدار SPI در ژانویه شش‌ماهه ۱.۵۶- است که نشان‌دهنده خشکسالی قابل توجهی است.



شکل ۴. مقادیر SPI پیشبینی شده برای بازه زمانی ۲۰۱۹ تا ۲۰۴۴

**پیش‌بینی مقادیر SPI در بازه زمانی ۲۰۱۹ تا ۲۰۴۴**

افزایش نوسانات در پیش‌بینی‌ها: پیش‌بینی‌های برخی شهرها مانند علی‌آباد و بندرگز نشان‌دهنده نوسانات شدیدتر در SPI است. در علی‌آباد، پیش‌بینی‌ها حاکی از خشکسالی شدید در ماه ژوئن با SPI -۲ است، در حالی که در ماه‌های دیگر مقادیر SPI مثبت بالایی مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده نوسانات قابل توجه است. بندرگز در ماه ژوئن با SPI 1.61 شرایط مرطوب و ترسالی شدیدی را تجربه می‌کند، اما در ماه‌های دیگر، مقادیر SPI به صورت متناوب تغییر می‌کند. پیش‌بینی خشکسالی‌های شدیدتر در برخی مناطق: در برخی شهرها مانند بندر ترکمن و گنبدکاووس، پیش‌بینی‌های مربوط به SPI نشان‌دهنده خشکسالی‌های مکرر در آینده است. بندر ترکمن در نیمه اول سال ۲۰۱۹-۲۰۴۴ با مقادیر منفی SPI مواجه است که خشکسالی‌های مکرر را نشان می‌دهد. در گنبدکاووس، مقادیر SPI در ماه‌های سپتامبر و نوامبر منفی است که نشان‌دهنده خشکی قابل توجه در این دوره‌هاست. ثبات نسبی در برخی مناطق: شهرهایی مانند گرگان و هاشم‌آباد در بیشتر ماه‌ها شاخص‌های نزدیک به صفر یا مقادیر مثبت دارند که نشان‌دهنده ثبات نسبی در بارندگی و شرایط اقلیمی است.

**بحث**

مقدار و توزیع بارندگی در استان گلستان، با نوسانات زیاد و غیرقابل پیش‌بینی مواجه است که مسئول وقوع مکرر خشکسالی‌ها در طول سال است. بنابراین، پایش خشکسالی هواشناسی برای این منطقه ضروری است. شاخص استاندارد شده بارش (SPI) در مقیاس‌های زمانی مختلف می‌تواند برای پایش خشکسالی در این منطقه مورد پذیرش و عمل قرار گیرد. بر این اساس، می‌توان SPI را برای مقدار بارندگی معین در جمع متوالی برای یک مقیاس زمانی به منظور ارزیابی شرایط مرطوب یا خشکسالی در استان گلستان مطابق اشکال ۲ و ۳ تخمین زد. از آنجا که SPI برای جمع‌های متوالی مقادیر بارش در مقیاس‌های زمانی چندگانه (۱ تا ۲۴ ماه) استفاده می‌شود و متغیرهای بیشتری بر اساس توزیع‌های آماری به کار گرفته شده‌اند، این شاخص ارزیابی بهتری از خشکسالی هواشناسی در مقیاس‌های زمانی چندگانه ارائه می‌دهد. شاخص SPI سه ماهه می‌تواند برای پایش خشکسالی کوتاه‌مدت و برنامه‌ریزی محصولات کشاورزی و SPI دوازده‌ماهه برای پایش خشکسالی بلندمدت و برنامه‌ریزی منابع آب مورد استفاده قرار گیرد. بر اساس اطلاعات مربوط به تحلیل خشکسالی با استفاده از معیار SPI، برنامه‌ریزی محصولات و طراحی سازه‌های برداشت و ذخیره آب باران در مناطق تحت تأثیر خشکسالی می‌تواند پیشنهاد شود.

مدیریت آب باران در دوره‌های بارش اضافی و استفاده چندگانه آن از طریق تنوع‌بخشی کشاورزی باید برای افزایش بهره‌وری محصولات و پایداری در مناطق متأثر از خشکسالی تشویق شود. یک برنامه مناسب مدیریت آب باران گزینه مناسبی برای سال‌هایی با خشکسالی شدید خواهد بود. در مقابل، سال‌های مرطوب با بارش سنگین در ماه‌های موسمی که به دنبال آن شرایط خشکی شدید رخ می‌دهد، نشان‌دهنده نیاز به برداشت آب باران در طول فصل و استفاده از آن در دوره‌های خشکی بعدی است. گونه‌های زراعی با مدت زمان کوتاه‌تر و/یا مقاومت به خشکسالی می‌توانند در مناطق آسیب‌دیده ترویج شوند.

مدیریت آب برای برنامه‌ریزی خشکسالی بر تقویت توانایی ما برای پایش خشکسالی، درک آسیب‌پذیری‌های خشکسالی و کاهش آن متمرکز است. با برنامه‌ریزی فعالانه برای خشکسالی، جامعه بهتر می‌تواند با تأثیرات مخرب خشکسالی به شیوه‌ای کارآمد مقابله کند. اگرچه پیش‌بینی شروع و پایان خشکسالی دشوار است، می‌توان نشانگرهای مختلف خشکسالی را شناسایی کرد و با پیگیری آن‌ها می‌توان ابزارهای کلیدی برای پایش خشکسالی فراهم کرد. برای جبران کمبود بارش و مقابله با خشکسالی‌های منطقه، برنامه‌ریزی احتمالی محصولات ضروری است تا تولید پایدار حفظ شود و راهبردهای مناسبی برای حل مشکلات خشکسالی در مناطق مورد مطالعه اتخاذ شود.

## ۵. نتیجه‌گیری

بر اساس تحلیل‌های صورت‌گرفته از شاخص خشکسالی استاندارد شده (SPI) در بازه زمانی ۱۹۷۱ تا ۲۰۱۹ و پیش‌بینی‌های مربوط به سال‌های ۲۰۱۹ تا ۲۰۴۴، ایران با نوسانات اقلیمی و دوره‌های متناوب خشکسالی و ترسالی در مناطق مختلف مواجه است. در برخی شهرها مانند علی‌آباد و گرگان، این نوسانات به‌ویژه در مقیاس‌های زمانی مختلف قابل توجه بوده‌اند. مناطق دیگری همچون هاشم‌آباد و اینچه‌برون بیشتر دوره‌های مرطوب و بارندگی مداوم را تجربه کرده‌اند، در حالی که شهرهایی مانند کلاله و مراوه‌تپه خشکسالی‌های شدیدتری را پشت سر گذاشته‌اند. پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهند که در سال‌های آتی، خشکسالی‌های مکرر و تغییرات شدیدتر اقلیمی در برخی از شهرها از جمله بندر ترکمن و گنبدکاووس افزایش خواهد یافت. این یافته‌ها بر اهمیت مدیریت منابع آب، برنامه‌ریزی‌های اقلیمی و اتخاذ سیاست‌های پیشگیرانه برای مقابله با خشکسالی‌های آینده تأکید می‌کند. مناطق مستعد خشکسالی‌های شدید، نیازمند تدوین راهبردهای مدیریتی قوی‌تر و سیستم‌های هشداردهنده هستند تا بتوان با تغییرات اقلیمی و پیامدهای ناشی از آن به‌درستی مقابله کرد.

با این حال، محدودیت‌هایی در این تحقیق وجود دارد که باید در نظر گرفته شود. نتایج به‌دست‌آمده تنها به داده‌های مربوط به مناطق خاصی از استان گلستان محدود می‌شود و بنابراین نمی‌تواند به‌طور کامل شرایط سایر مناطق کشور را پوشش دهد. همچنین، متغیرهای مختلف دیگری که ممکن است بر خشکسالی و نوسانات اقلیمی تأثیر بگذارند، در این تحقیق به‌طور کامل بررسی نشده‌اند. نتایج این تحقیق می‌تواند پیامدهای قابل توجهی برای سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان منابع آبی داشته باشد. به‌ویژه، شناسایی و پیش‌بینی الگوهای خشکسالی می‌تواند به بهبود مدیریت منابع آب، ارتقاء روش‌های کشاورزی و کاهش آسیب‌های اقتصادی و اجتماعی ناشی از خشکسالی کمک کند. این یافته‌ها می‌توانند مبنای برنامه‌ریزی‌های استراتژیک برای آینده و ارتقاء تاب‌آوری در برابر تغییرات اقلیمی باشند. برای تحقیقات آینده، توصیه می‌شود که مطالعات بیشتری در زمینه تغییرات اقلیمی و تأثیرات آن بر منابع طبیعی و اجتماعی در مناطق مختلف ایران انجام شود. همچنین، استفاده از مدل‌های پیشرفته‌تری برای پیش‌بینی نوسانات اقلیمی و خشکسالی می‌تواند به بهبود دقت نتایج کمک کند. در نهایت، تحقیقات می‌توانند به‌طور خاص به ارزیابی تأثیرات اجتماعی و اقتصادی خشکسالی و راه‌های کاهش این تأثیرات پرداخته و پیشنهادات عملی برای بهبود مدیریت منابع آب ارائه دهند.

۶. منابع

۱. امیدوار، کمال (۱۳۹۲)، **مخاطرات طبیعی**، انتشارات دانشگاه یزد، یزد.
۲. امانی، زینب، دیهیم فرد، رضا، مختصی بیدگلی، علی (۱۳۹۵). **بررسی خشکی تحت شرایط افزایش دمای ناشی از تغییر اقلیم در گندم دیم استان فارس با استفاده از شاخص خشکی**، مجله تولید گیاهان زراعی، ۹(۲)، ۱۵۱-۱۷۴.
۳. بختیاری، بهرام، مهدوی، نکیسا، سیاری، نسرين (۱۴۰۰). **تحلیل حساسیت و بررسی تغییرات شاخص خشکی (AI) در چند نمونه اقلیمی ایران**، تحقیقات منابع آب ایران، ۱۷(۱)، ۱-۱۵.
۴. پودینه، محمدرضا، حیدری نیا، محمد، موسوی، سید روح ا...، دوستی مقدم، حسین (۱۳۹۹). **پایش شاخص‌های خشکی در شهر زاهدان در بازه‌های زمانی مختلف**. جغرافیای طبیعی، ۱۱۳(۴۷)، ۱۳۳-۱۴۳.
۵. حجازی‌زاده، زهرا، جوی‌زاده، سعید (۱۳۸۹)، **مقدمه‌ای بر خشکی و شاخص‌های آن**، سمت، تهران.
۶. خوش‌اخلاق، فرامرز، رنجبر، فیروز، طولابی، سوسن، مقبل، معصومه، معصوم‌پور سماکوش، جعفر (۱۳۸۹). **بررسی خشکی در سال آبی ۱۳۸۶-۸۷ و اثرات آن بر منابع آب کشاورزی (نمونه موردی: شهرستان مرودشت)**. مجله جغرافیا، ۲۴: ۱۳۶-۱۱۹.
۷. کاظمی، روح ا...، یگانه، حسن، خواجه دین، سید جمال الدین (۱۳۹۰). **آشکارسازی تغییرات پوشش گیاهی در طول فصل چرا با استفاده از داده‌های چندزمانه سنجنده IRS-WiFS در منطقه سمیرم**. تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۱۸(۱): ۱۲۴-۱۳۸.
۸. رضایی مقدم، محمد حسین، ولی زاده کامران، خلیل، رستم زاده، هاشم، رضایی، علی (۱۳۹۰). **ارزیابی کارایی داده‌های سنجنده‌ی MODIS در برآورد خشکی (مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی آبریز دریاچه ارومیه)**. جغرافیا و پایداری محیط، ۳۷(۴): ۳۷-۵۲.
۹. خورانی، اسداله، جمالی، زهرا (۱۳۹۵). **اثر تغییر اقلیم بر شدت و مدت خشکی در ایستگاه‌های خشک و نیمه‌خشک (بندرعباس و شهرکرد) تحت مدل HADCM3**. نشریه علمی جغرافیا و برنامه ریزی، ۲۰(۵۷)، ۱۱۵-۱۳۱.
۱۰. فتح نیا، امان اله، رجایی، سعید، برزو، فرزانه (۱۳۹۶). **پیش‌بینی احتمال تکرار دوره‌های خشکی و اثر آن بر پوشش گیاهی در استان گلستان**. نشریه علمی جغرافیا و برنامه ریزی، ۲۱(۶۰)، ۱۷۹-۱۹۶.
۱۱. قربانی، خلیل، ولیزاده، اسماعیل، برارخان‌پور، صدیقه (۱۳۹۷). **بررسی روند تغییرات مکانی-زمانی شاخص دومتغیره خشکی هواشناسی SPEI در ایران**. مدیریت بیابان، ۶(۱۱): ۲۵-۳۸.
۱۲. عساکره، حسین، صیادی، فریبا (۱۳۹۶). **تحلیل و پیش‌بینی روزهای خشک با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی (مطالعه موردی: ایستگاه تهران)**. نشریه علمی جغرافیا و برنامه ریزی، ۲۱(۶۰)، ۱۶۱-۱۶۷.
۱۳. علیجانی، بهلول، محمودی، پیمان، چوگان، عبدالجبار. ۱۳۹۱. **بررسی روند تغییرات بارش‌های سالانه و فصلی ایران با استفاده از روش ناپارامتریک (برآورد کننده شیب سنس)**، نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، ۳(۹)، ۲۳-۴۲.
۱۴. طاوسی، تقی، منصور، دانشور، محمدرضا، موقری، علیرضا (۱۳۹۱). **پهنه‌بندی شدت خشکی در ایران با استفاده از مدل تبخیر و تعرق هارگریوز-سامانی بر مبنای توپوگرافی رقومی DEM**. جغرافیا و پایداری محیط، ۳(۳)، ۹۵-۱۱۰.
۱۵. نوری، هدایت‌الله، نوروزی، اصغر (۱۳۹۵). **مبانی برنامه‌ریزی محیطی برای توسعه پایدار روستایی**، دانشگاه اصفهان.
۱۶. موعلی، مرضیه (۱۳۹۹). **پایش تغییرات پوشش گیاهی در اثر خشکی در حوضه آبریز درودزن با استفاده از تصاویر MODIS**. جغرافیای طبیعی، ۱۳(۴۹)، ۸۵-۱۰۷.

17. Alwesabi, M (2012). **MODIS NDVI satellite data for assessing drought in Somalia during the period 2000-2011**. Student thesis series INES.
18. Bayarjargal, Y., Karnieli, A., Bayasgalan, M., Khudulmur, S., Gandush, C., & Tucker, C. J (2006). **A comparative study of NOAA-AVHRR derived drought indices using change vector analysis**. Remote Sensing of Environment, 105(1): 9-22.
19. Bhuiyan, C (2004). **various droughts for monitoring drought condition in Aravalli terrain of India**. In Proceedings of the XXth ISPRS Conference. Int. Soc. Photogramm. Remote Sensing, Istanbul.
20. Bonaccorso, B., Bordi, I., Cancelliere, A., Rossi, G., & Sutera, A (2003). **Spatial variability of drought: an analysis of the SPI in Sicily**. Water resources management, 17(4): 273-296.
21. Ceccato, P., Flasse, S., Tarantola, S., Jacquemoud, S., & Gregoire, J. M (2001). **Detecting vegetation leaf water content using reflectance in the optical domain**. Remote Sensing of Environment, 77: Pp. 22-33.
22. Edossa D. C., Babel. M. S., Gupta, A. D (2009). **Drought Analysis in the Awash River Basin, Ethiopia**, Springer science + Business Media B. V, Water Resour Manage, 1441-1460.

23. FAO (2013). **Drought Facts-Food and Agriculture**, www.fao.org.
24. Gu, L., Hanson, P. J., Post, W. M., Kaiser, D. P., Yang, B., Nemani, R., ... & Meyers, T (2008). **The 2007 eastern US spring freeze: increased cold damage in a warming world?**. *BioScience*, **58**(3): 253-262.
25. Howitt, R., MacEwan, D., Medellín-Azuara, J., Lund, J., Sumner, D (2015). **Economic Analysis of the 2015 Drought for California Agriculture**, University of California Davis, P. 31
26. Keck, A., Dinar. A (2000). **Water supply variability and drought impact and mitigation in subsahara Africa**, Drought a Global Assessment, London.
27. Kendall, M.G., 1970, Rank Correlation Methods, 2nd Ed., New York: Hafner.
28. Mann, H.B., 1945, Nonparametric tests against trend, *Econometrica*, 13: 245-259
29. Mishra, A. K., Singh, V. P (2010). **A review of drought concepts**, *Journal of Hydrology*, Vol. 391: No. 1, pp. 202-216.
30. Murad, M. H., Elamin, K. B., Abu Elnour, N. O., Elamin, M. B., Alkatib, A. A., Fatourech, M. M., ... & Erwin, P. J (2011). **The effect of vitamin D on falls: a systematic review and meta-analysis**. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, **96**(10): 2997-3006.
31. McKee, T. B.; Doesken, N. J.; and Kleist, J (1993). **The relationship of drought frequency and duration11 to time scales**. Preprints, 8th Conference on Applied Climatology, Anaheim.
32. Park, E. J., Yi, J., Chung, K. H., Ryu, D. Y., Choi, J., & Park, K (2008). **Oxidative stress and apoptosis induced by titanium dioxide nanoparticles in cultured BEAS-2B cells**. *Toxicology letters*, **180**(3): 222-229.
33. Rahimzadeh, F., Asgari, A., & Fattahi, E (2009). **Variability of extreme temperature and precipitation in Iran during recent decades**. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, **29**(3): 329-343.
34. Shaban, A (2008). **Indicator and Aspects of Hydrological Drought in Lebanon**. Springer science + Business Media B. V. *Water Resour Manage*, 1875-1891.
35. Silva-Valio, A (2008). **Estimating stellar rotation from starspot detection during planetary transits**. *The Astrophysical Journal Letters*, **683**(2): L179.
36. Sheffield, J., Goteti, G., Wen, F.H., Wood, E.F., 2004. A simulated soil moisture based drought analysis for the United States. *J. Geophys. Res.* 109, D24108.
37. Stow, D.A. & 23 others (2004), "**Remote sensing of vegetation and land-cover change in arctic tundra ecosystems**", *Remote Sensing of Environment*, **89**: 281-308.
38. Tsakiris, G., & Vangelis, H (2004). **Towards a drought watch system based on spatial SPI**. *Water resources management*, **18**(1): 1-12.
39. Tian, W., Liu, X., Liu, C., & Bai, P. (2018). **Investigation and simulations of changes in the relationship of precipitation-runoff in drought years**. *Journal of Hydrology*, **565**, 95–105.
40. Tirivarombo, S., Osupile, D., & Eliasson, P. (2018). **Drought monitoring and analysis: Standardised Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) and Standardised Precipitation Index (SPI)**. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*. V 106, P 1-10.
41. Wilhite, D.A., Sivakumar, M.V.K., Pulwarty, R., (2014). **Managing drought risk in a changing climate: the role of national drought policy**. *Weather Clim. Extremes* **3**, 4–13.
42. Zhang, Q., Li, J., Singh, V. P., Bai, Y (2012). **SPI-based evaluation of drought events in Xinjiang, China**, *Natural hazards*, Vol. 64: No. 1, pp. 481-492.
43. Zhao, H., Xu, Z., Zhao, J., & Huang, W. (2017). **A drought rarity and evapotranspiration-based index as a suitable agricultural drought indicator**. *Ecological Indicators*, **82**, 530–538.