Assessment of the Impact of Drought on Wheat Production and Harvest in Borujen County

Mohammad Sadegh Talebi[1,*], Zahra Ramezani[2]

1- Assistant Professor, Department of Geography, Faculty of Humanities, Meybod University, Meybod, Iran. ORCID ID: 0000-0002-0849-2850

2- Master's Student, Department of Geography, Faculty of Humanities, Meybod University, Meybod, Iran. ORCID ID: 0009-0008-3757-9403

*** Corresponding Author:** talebi@meybod.ac.ir

Extended Abstract

Introduction

Agricultural activities are one of the basic pillars of the economy, especially in rural areas, and their sustainability is strongly affected by climatic conditions. In the meantime, drought, as one of the most important climatic changes, plays a decisive role in reducing the production of crops, especially wheat. Wheat, as a strategic product, has a significant contribution to ensuring food security, and any fluctuations in its production can have widespread economic and social consequences. Due to its specific climatic location and high dependence on water resources, Borujen County has faced successive droughts in recent years. Therefore, investigating the effects of drought on wheat production and harvest in this region is of particular importance.

Materials and Methods

The present research is of an applied type and was conducted using a descriptive-analytical method. The required data were collected through climatic and agricultural statistics of Borujen County. The statistical population of the study consisted of 50 farmers in the agricultural sector in Borujen city, who were identified and selected using the chain sampling method (snowball) and through the introduction of informed individuals. The data obtained after collection were analyzed using SPSS version 27 statistical software. In order to assess the severity and status of the drought, the six-month standard precipitation index (SPI-6) was used. This index was calculated based on precipitation data and by standardizing the values relative to the long-term average.

Results and Discussion

The findings of this study showed that the SPI-6 index in the study period experienced a range from -3.47 to 1.97 with a mean of 0.014 and a standard deviation of 1.007. These values indicate that although the overall moisture status of the region has been close to normal in the long term, significant fluctuations have occurred between drought and wet periods. The SPI-6 class analysis showed that 66.45% of the months were in normal conditions; however, 33.55% of the study period was outside the normal range. Among these events, 11.73% were moderately wet, 3.91% were severely wet, 8.47% were moderately dry, 5.54% were severely dry, and 3.91% were very severe drought.

Conclusion

This study shows that although the study area had near-normal conditions in most months, it faced significant moisture stresses, especially drought, in about one-third of the period. Also, the results of the inferential analysis showed that drought has a significant effect on wheat yield, such that the correlation coefficient R=0.397 and P=0.004 were significant, and about 16 percent of the changes in wheat yield can be explained by drought. This shows that the moisture status is one of the important factors affecting wheat yield in the region and should be considered in annual crop management. Therefore, it is suggested that the water and agricultural management of the region should be based on continuous monitoring of SPI-6, determining early warning thresholds for drought, and adjusting the planting calendar based on the moisture status forecast. Also, developing rainwater storage and management systems, using more efficient irrigation methods, and employing drought-resistant varieties can reduce the impact of negative SPI periods on crop yield.

Keywords: Drought, wheat harvest, Borujen, food security.

بررسی تاثیر خشکسالی بر تولید و برداشت گندم در شهرستان بروجن

محمد طادق طالبی[1]، زهرا رمضانی[2]

۱- استادیار گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه میبد، میبد، ایران. 0000-0002-0849-2850

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه میبد، میبد، ایران. 0009-0008-3757-9403

* **نویسنده مسئول:** meybod.ac.ir@talebi

چکیده

نوسانات اقلیمی به‌ویژه خشکسالی، فعالیت های کشاورزی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. وقوع پیاپی خشکسالی در سال‌های اخیر موجب کاهش عملکرد مزارع و بی‌ثباتی تولید شده است. این پژوهش با هدف تحلیل تأثیر خشکسالی بر عملکرد گندم در بروجن انجام شد. مطالعه حاضر به روش توصیفی—تحلیلی انجام گرفت. داده های مورد نیاز از طریق پرسش‌نامه و جمع‌آوری اطلاعات از کشاورزان منطقه بروجن گردآوری شد همچنین برای بررسی شدت خشکسالی از شاخص SPI-6 استفاده گردید. برای تحلیل ارتباط بین‌شدت خشکسالی و میزان عملکرد گندم از نرم‌افزار Excel و آزمون‌های آماری استفاده شد. مقایسه داده‌ها نشان داد که رابطه‌ای معنادار بین شدت خشکسالی و عملکرد گندم وجود دارد و مقدار همبستگی پیرسون برابر با (r=0.397) و سطح معنا داری (p=0.004) شد. نتایج ضریب تعیین نیز نشان داد حدود ۱۶ درصد از تغییرات عملکرد گندم توسط خشکسالی قابل تبیین است که بیانگر سهم قابل‌توجه خشکسالی در بی ثباتی تولید محصول می باشد. نتایج شاخص SPI-6 طی دوره مورد مطالعه نشان داد که منطقه بروجن در برخی سال‌ها با خشکسالی متوسط تا شدید مواجه بوده و تداوم این شرایط می‌تواند تولید گندم را تحت تأثیر قرار دهد. بر پایه تحلیل های آماری شامل آزمون همبستگی پیرسون و رگرسیون خطی، ارتباط معناداری بین شاخص خشکسالی SPI-6 و عملکرد گندم احراز گردید. با توجه به اهمیت گندم به عنوان یکی از محصولات راهبردی در تأمین امنیت غذایی ایران، نتایج این پژوهش می‌تواند در برنامه‌ریزی مدیریت منابع آب، کاهش اثرات خشکسالی و افزایش پایداری تولیدات کشاورزی مؤثر باشد.

کلیدواژه: خشکسالی، برداشت گندم، بروجن، امنیت غذایی

مقدمه

درسال‌های اخیر، شدت‌گرفتن رخدادهای حدی اقلیمی نظیر سیلاب‌ها و خشکسالی‌ها، درکنار شواهد آشکارگرمایش جهانی، موجب شده است که موضوع ظرفیت و پتانسیل تغییراقلیم بیش ازگذشته مورد توجه پژوهشگران و سیاست گذاران قرار گیرد. این روند بیانگر آن است که تغییرات اقلیمی نه تنها یک مسئله زیست محیطی، بلکه چالش راهبردی در ابعاد اقتصادی و اجتماعی نیز محسوب می‌شود (IPCC, 2011). تغییرات اقلیمی به عنوان یکی از چالش‌های جهانی، با توجه به ویژگی‌های جغرافیایی در هر منطقه متفاوت بروز می کند. طی چند دهه اخیر، افزایش میانگین دما در بسیاری از نقاط جهان به یک روند پایدار تبدیل شده است. نرخ رشد دما در خشکی‌ها نسبت به اقیانوس‌ها در هردو نیمکره سریع‌تر گذارش شده است. همچنین گرمایش جهانی موجب افزایش فراوانی‌وشدت رخدادهای شدید آب وهوایی در مناطق مختلف زمین شده است (Ragab and Prudhomme, 2002) و در تمامی ابعاد توسعه پایدار، از جمله محیط زیست، بخش کشاورزی و امنیت غذایی، به‌عنوان مهم‌ترین تهدید شناخته می‌شود (Khosravipour & Loveymi, 2024). یکی از رخدادهای تغییراقلیم خشکسالی است، که به عنوان یکی از تهدیدهای محیطی در حال گسترش، طی سال‌های اخیر به ویژه در نواحی خشک و نیمه‌خشک جهان، به مسئله اساسی در مدیریت منابع طبیعی وبخش کشاورزی بدل شده است (Ramezani edalati and Kouhi, 2026). این رخداد با برهم زدن توازن چرخه‌های هیدرولوژیکی، پیامدهای گسترده‌ای برپایداری اکوسیستم‌ها، میزان تولیدات کشاورزی و معیشت جوامعی که وابستگی مستقیم به منابع آبی دارند برجای می‌گذارد (Talebi, 2025). تعیین زمان آغاز وپایان خشکسالی همواره با دشواری و عدم دقت همراه است (Rezvani et al, 2026). از آنجا که پیامدهای این پدیده با طولانی

ترشدن دوره آن شدت می‌یابد، در ادبیات علمی از خشکسالی به عنوان یک «پدیده‌ی خزنده» یاد می‌شود. پدیده‌ای که آثار آن به تدریج گسترش یافته و در سطوح مختلف محیطی و اقتصادی نمایان می‌گردد (Wilhite, 2000). این پدیده طبیعی با ماهیتی تکرار شونده شناخته می‌شود که در اثر کاهش یا نبود منابع آب قابل دسترس در یک گستره جغرافیایی رخ می‌دهد. این وضعیت نه تنها بیانگر کمبود بارش و منابع آبی است، بلکه نشان دهنده اختلال در تعادل اکولوژیکی و فشار بر فعالیت‌های انسانی و کشاورزی نیز محسوب می‌شود (Ashok et al, 2004). به طور کلی آثار ناشی از خشکسالی در مناطق شهری و روستایی یکسان نیست، در روستاها، به دلیل وابستگی مستقیم معیشت مردم به منابع طبیعی و تولیدات کشاورزی، پیامدهای منفی خشکسالی با شدت بیشتری بروز می‌کند. درمقابل در شهرها به سبب تنوع فعالیت‌های اقتصادی و کاهش اتکای مستقیم به کشاورزی، این اثرات کمترمحسوس است (Maleki et al, 2014). تدوین برنامه‌ریزی جامع و هدفمند برای مدیریت پیامدهای خشکسالی، می‌تواند به شکل چشمگیری از نگرانی‌های کشاورزان بکاهد (Batabyal and Beladi, 2001). بزرگ‌ترین مانع در مسیر برنامه ریزی برای مدیریت کمبود آب در شریط خشکسالی، ماهیت تصادفی و غیرقابل پیش بینی بودن آن است. این تغییر پذیری ذاتی، جوامع را بیشتر به واکنش‌های اضطراری و رفع بحران سوق داده تا به اقدامات پیشگیرانه و برنامه ریزی بلند مدت. از این رو ضرورت دارد که این نوسانات از پیش شناسایی و کنترل شوند. بسیاری از افراد، خشکسالی را بخشی طبیعی از چرخه‌های اقلیمی تلقی کرده و باور دارند که این پدیده سرانجام به پایان خواهد رسید. با این حال، دوعامل اصلی در خشکسالی همواره ناشناخته باقی می‌ماند: یکی میزان تکرار آن و دیگری شدت و سختی آن (Talebi Eskandari & Mardani, 2016; Khayyat et al, 2026). مطالعات متعدد در زمینه تاثیر خشکسالی بر محصولات کشاورزی، به ویژه گندم، نشان دهنده اهمیت مدیریت مطلوب در این زمینه است، مکوندی (2020) در پژوهشی تحت عنوان تغیراقلیم و پیامدهای آن، ضمن تشریح اثر تغییرات اقلیمی برمنابع آب، خاک، آفات و بیماری‌ها، بیان کرد که در خصوص علل تغییر اقلیم در جهان دو دیدگاه متفاوت وجود دارد. گروهی معتقدند تغییرات اقلیمی در طی میلیون‌ها سال گذشته همواره رخ داده و ناشی از عوامل طبیعی و نجومی مانند تغییر زاویه محور زمین، مدار بیضوی، فعالیت‌های خورشیدی، آتشفشان‌ها و جابه جایی قاره‌ها است. این دیدگاه نقش پدیده‌های گلخانه‌ای را چندان موثر نمی‌داند. دیدگاه دیگر بر اساس داده‌های یخ‌های قطبی نشان می‌دهد که افزایش گازهای گلخانه‌ای با بالا رفتن دمای زمین ارتباط مستقیم دارد. این افزایش دما می‌تواند تغییرات آب و هوایی در مقیاس جهانی ایجادکند (Makvandi, 2020). ولیقلیزاده (2019) در پژوهشی تحت عنوان تبیین اثرات اقتصادی تغییرات اقلیمی در حیات جوامع انسانی ضمن توضیح اهمیت اقلیم و ناپایداری آن به توضیح پیامدهای تغییرات اقلیمی پرداخته و بیان نموده که نخستین پیامدهای منفی تغییرات اقلیمی و سازوکار اثرگذاری آن، به طور مستقیم در افزایش گرمایش جهانی و بی نظمی الگوهای بارش قابل مشاهده است. این دگرگونی در عناصر اقلیمی با تشدید و گسترش مخاطرات طبیعی همچون، سیل، طوفان و خشکسالی همراه بوده و خسارت‌های جدی بر بخش‌های اقتصادی و ساختارهای معیشتی جوامع وارد می‌سازد (Valigholizadeh, 2019). طالبی و همکاران (2016) در پژوهشی با موضوع مدیریت خشکسالی در کشاورزی پایدار ضمن تعریف انواع خشکسالی، در مورد خشکسالی کشاورزی چنین بیان کردند؛ خشکسالی کشاورزی زمانی رخ می‌دهد که میزان رطوبت موجود در خاک کمتر از نیاز واقعی گیاه باشد و این کمبود رطوبت به کاهش عملکرد و خسارت در محصول منجر گردد. بخش کشاورزی به عنوان نخستین حوزه اقتصادی، بیشترین آسیب پذیری را در برابر خشکسالی دارد و سریع‌تر از سایر بخش‌ها تحت تاثیر پیامدهای آن قرار می‌گیرد (Talebi Eskandari & Mardani, 2016). هژبرکیانی (1999) در پژوهشی با عنوان بررسی و تعیین مقدار بهینه اقتصادی استفاده از نهاده‌ها در کشت گندم دیم، بیان می‌کند که حدود دوسوم اراضی زیر کشت گندم کشور به صورت دیم مدیریت می‌شود، اما سهم این بخش تنها نزدیک ۳۵/۲ درصد از کل تولید ملی است. به عبارت دیگر، اگرچه زمین‌های دیم بیشترین سطح زیر کشت را به خود اختصاص داده‌اند؛ عملکردآنها تقریباً برابر با یک سوم تولید کل گندم کشور بوده و در مقایسه با زمین‌های آبی، بازدهی به مراتب پایین‌تری دارند. این واقعیت نشان می‌دهد که بهره وری گندم دیم تقریباً نصف عملکرد گندم آبی است. وی تاکید می‌کند ضروری است در برنامه ریزی‌های وزارت جهاد کشاورزی، توجه ویژه‌ای به ارتقای مدیریت زراعی در کشت دیم و مصرف بهینه نهاده‌ها صورت گیرد تا بتوان سطح تولید این بخش را به شکل پایدار افزایش داد (Hojabr Kiani.1999). با توجه به ویژگی‌های خاص اقلیمی و زراعی شهرستان بروجن، نقش

مهم کشت گندم در کشاورزی منطقه و تاثیر قابل توجه تغییرات اقلیمی و وقوع دوره‌های خشکسالی بر منابع آب و تولیدات کشاورزی و همچنین گرایش بیشتر کشاورزان به کشت دیم در پی کمبود منابع آبی، انجام پژوهش‌هایی در راستای بررسی پیامدهای این وضعیت ضروری به نظر می‌رسد. به همین دلیل این مطالعه با هدف بررسی و تحلیل اثر خشکسالی بر عملکرد و میزان برداشت گندم در شهرستان بروجن انجام گردید. شایان ذکر است چنین بررسی و با این روش در سطح منطقه مورد مطالعه برای اولین بار انجام می‌شود و از این حیث دارای نوآوری می‌باشد. با توجه به نوسانات میزان نزولات جوی در منطقه و بروز خشکسالی‌های مداوم این مطالعه با هدف بررسی تاثیر خشکسالی بر تولید و برداشت گندم در شهرستان بروجن انجام شده است.

مواد و روش‌ها

مفهوم و ماهیت خشکسالی

خشکسالی یکی از مهم‌ترین مخاطرات اقلیمی بویژه در مناطق خشک و نیمه خشک جهان به شمار می‌رود و به طور کلی به دوره‌ای از کاهش قابل توجه و طولانی مدت بارش نسبت به شرایط نرمال اقلیمی اطلاق می‌شود که منجر به کمبود منابع آب و ایجاد اختلال در فعالیت طبیعی و انسانی می‌گردد (FAO, 2009). این پدیده با ایجاد اختلال در چرخه هیدرولوژیکی پیامدهای گسترده‌ای بر منابع آب، اکوسیستم‌ها و به‌ویژه بخش کشاورزی بر جای می‌گذارد. همچنین خشکسالی معمولاً به‌عنوان پدیده‌ای تدریجی شناخته می‌شود که آثار آن به مرور زمان آشکار می‌گردد و می‌تواند پیامدهای اقتصادی و اجتماعی قابل توجهی در جوامع انسانی ایجاد کند (Hazell and Wood, 2008). در ادبیات علمی خشکسالی معمولاً در۴ گروه اصلی طبقه بندی می‌شود. ۱-خشکسالی هواشناسی: زمانی رخ می‌دهد که مقدار بارش یک دوره‌ی زمانی مشخص (سالانه، فصلی یا ماهانه) به طور معناداری کمتر از مقدار نرمال بلندمدت همان دوره در آن منطقه باشد. ۲-خشکسالی هیدرولوژیک: زمانی است که کمبود بارش در یک دوره طولانی مدت به‌کاهش قابل توجه جریان رودخانه‌ها، حجم مخازن، آب دریاچه‌ها و سطح آب زیرزمینی منجر شود. این نوع بیشتر در منابع آب سطحی و زیر زمینی مشاهده و اندازه‌گیری می‌شود. ۳-خشکسالی کشاورزی: زمانی رخ می‌دهد که رطوبت خاک در ناحیه ریشه گیاه کمتر از حد مورد نیاز برای رشد و تکامل بهینه گیاه باشد و در نتیجه کاهش عملکرد محصول ایجاد شود، حتی اگر از نظر بارش یا منابع آب سطحی وضعیت هنوز بحرانی نشده باشد. ۴-خشکسالی اقتصادی –اجتماعی: خشکسالی اقتصادی اجتماعی یا اقتصادی –هیدرولوژیک مرحله‌ای است که در آن کمبود آب از حوزه فیزیکی خارج شده و به‌کاهش تولید، افزایش هزینه‌ها، کاهش درآمد کشاورزان، بیکاری، ناامنی غذایی و سایر پیامدهای اقتصادی و اجتماعی منجر می‌شود (Talebi Eskandari & Mardani, 2016).

شاخص‌ها و روش‌های سنجش خشکسالی

به‌منظور بررسی شدت و تداوم خشکسالی با مقایسه مقادیر بارش در یک دوره زمانی با میانگین بلندمدت آن امکان ارزیابی وضعیت خشکسالی یا ترسالی را فراهم می‌کنند (IPCC, 2021). بر اساس نظر کارشناسان شاخص‌ها و معیارهای متعددی برای تعیین شدت، مدت و گستردگی خشکسانی در مقیاس‌های زمانی کوتاه مدت، میان مدت و بلندمدت ارائه شده است. در این پژوهش برای سنجش شدت خشکسالی از شاخص استاندارد بارش در مقیاس شش ماهه (SPI-6) استفاده شد. شاخص SPI یکی از مهم‌ترین و معتبرترین شاخص‌های خشکسالی هواشناسی است که تنها بر اساس داده‌های بارش محاسبه می‌شود و امکان ارزیابی خشکسالی در مقیاس‌های زمانی مختلف را فراهم می‌کند. استفاده از مقیاس زمانی شش ماهه (SPI-6) به دلیل حساسیت مناسب آن به تغییرات تجمعی بارش و تأثیر مستقیم این مقیاس بر ذخیره رطوبتی خاک و رشد دوره‌ای محصول گندم، برای منطقه مورد مطالعه مناسب تشخیص داده شد. داده های مربوط به بارش و عملکرد گندم شهرستان بروجن طی دوره آماری 2000 تا 2025 جمع‌آوری شد و محاسبات شاخص SPI-6 با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام گرفت. کاهش مقادیر شاخص SPI-6 نشان‌دهنده تشدید خشکسالی بوده و این شرایط با کاهش رطوبت خاک، ایجاد تنش آبی در گیاه و محدود شدن مراحل رشد و توسعه گندم همراه است؛ در نتیجه انتظار می رود با

افزایش شدت خشکسالی، عملکرد گندم کاهش‌یابد. بر همین‌اساس، در مدل مفهومی پژوهش، خشکسالی به‌عنوان متغیر مستقل و عملکرد گندم به‌عنوان متغیر وابسته تعریف شده است و ارتباط میان این دو از طریق تحلیل همبستگی مورد ارزیابی قرارگرفت.

خشکسالی و امنیت غذایی

امنیت غذایی به معنای دسترسی همه افراد جامعه به غذای کافی، سالم و مغذی در همه زمان‌ها برای داشتن زندگی فعال و سالم است (Lobell et al, 2011). تغییرات اقلیمی و افزایش وقوع خشکسالی از مهم‌ترین عواملی هستند که می‌توانند امنیت غذایی را با تهدید مواجه کنند. کاهش بارش، افزایش دما و محدود شدن منابع آب منجر به کاهش عملکرد کشاورزی و بی ثباتی در تولید مواد غذایی می‌شوند (Mckee et al, 1993). از این رو مدیریت صحیح منابع آب، استفاده از روش‌های نوین آبیاری و توسعه شیوه‌های کشاورزی سازگار باشرایط خشکسالی از جمله راهکارهای مهم برای کاهش اثرات این پدیده بر تولیدات کشاورزی و امنیت غذایی به شمار می‌آید.

محصولات استراتژیک کشاورزی

برخی از محصولات کشاورزی به دلیل نقش اساسی در تامین غذای جامعه، به‌عنوان محصولات استراتژیک شناخته می‌شوند. کاهش تولید این محصولات می‌تواند امنیت غذایی وثبات اقتصادی کشورها را تحت‌تاثیر قرار دهد (Palmer, 1965). در بسیاری ازکشورها از جمله ایران گندم یکی ازمهم ترین محصولات استراتژیک محسوب می‌شود و بخش قابل توجهی از نیاز غذایی جامعه از طریق آن تامین می‌گردد. با توجه به اینکه بخش زیادی از کشت گندم به صورت دیم انجام می‌شود این محصول وابستگی زیادی به میزان بارندگی و شرایط اقلیمی دارد. بنابراین وقوع خشکسالی می‌تواند با کاهش عملکرد و کیفیت محصول، تولید گندم را تحت تاثیر قرار داده و در نهایت بر امنیت غذایی اثرگذار باشد (Wilhite and Glantz.1985).

مدل مفهومی

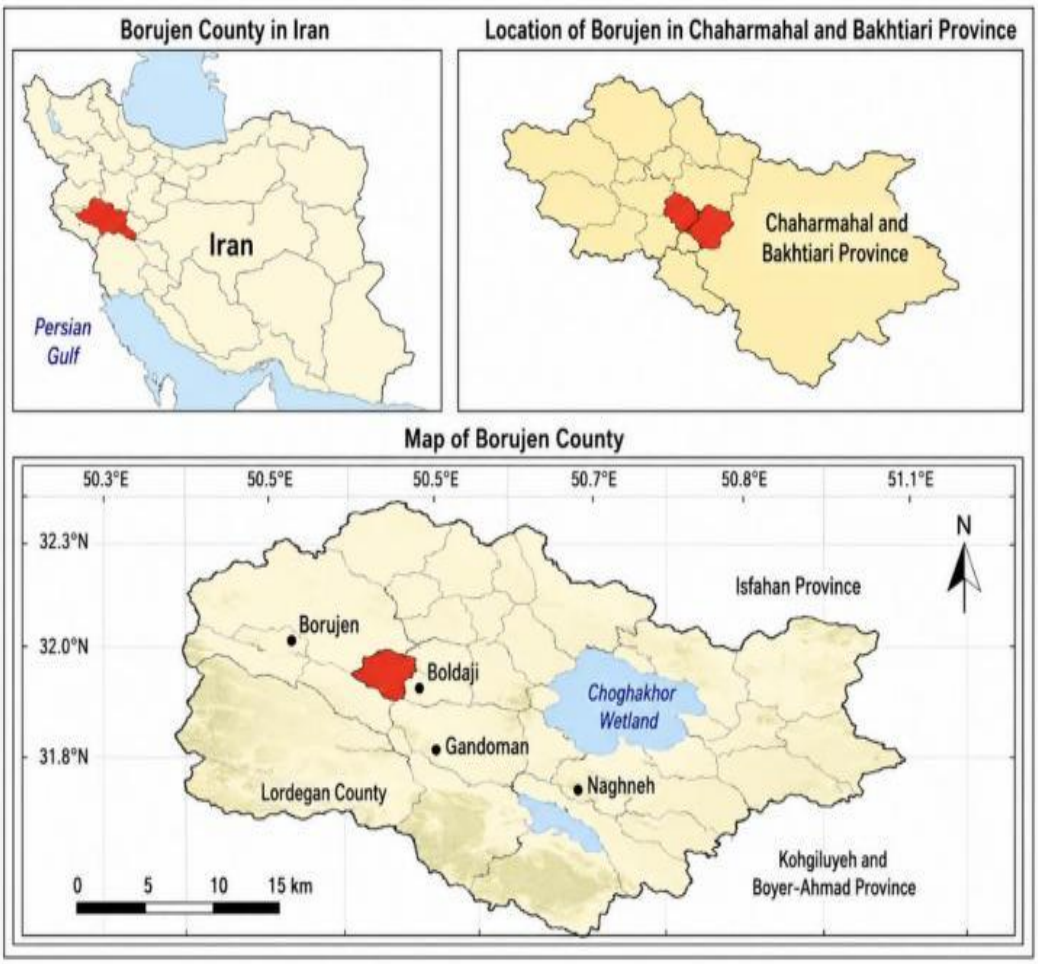
مدل مفهومی پژوهش بر پایه رابطه علی میان شدت خشکسالی و عملکرد گندم شکل گرفته‌است. در این مدل خشکسالی به عنوان متغیر مستقل و عملکرد گندم به‌عنوان متغیر وابسته تعریف شده است. شدت خشکسالی بر اساس شاخص استاندارد بارش شش ماهه (SPI_6) اندازه گیری می‌شود که کاهش مقادیر آن بیانگر تشدید خشکسالی است (Mckee et al ,1993). کاهش بارش و افت شاخص SPI_6 موجب کاهش رطوبت خاک و افزایش تنش آبی در گیاه می‌شود (FAO, 2009). تنش آبی باعث کاهش فتوسنتز، کاهش سطح برگ، اختلال در گل‌دهی و محدود شدن انتقال مواد فتوسنتزی به دانه می‌گردد (Hazell and Wood, 2008). این فرایندها در نهایت به کاهش عملکرد گندم موجب می‌شود (Wilhite and Glantz, 1985). بنابراین این مدل نشان‌دهنده یک رابطه مستقیم و معنادار میان شدت خشکسالی و کاهش عملکرد گندم است.

خشکسالی ⟸ کاهش بارش و رطوبت خاک ⟸ افزایش تنش آبی در گیاه ⟸ اختلال در مراحل رشد گندم ⟸ کاهش عملکرد گندم

منطقه مورد مطالعه

شهرستان بروجن به‌عنوان دومین شهر پر جمعیت چهارمحال و بختیاری در بخش شمال شرقی استان قرارگرفته است و حدود ۸/۵ درصد از وسعت این استان را در بر می‌گیرد. این شهرستان از نظر شرایط اقلیمی در گروه مناطق نیمه مرطوب با ویژگی‌های معتدل وسرد کوچک‌ترین واحد اقلیمی استان چهارمحال و بختیاری را به‌خود اختصاص‌داده‌است. این شهرستان در مختصات ۳۲درجه و۳۵دقیقه عرض شمالی و ۵۱ درجه و۵۹دقیقه طول شرقی واقع‌شده و ارتفاع آن از سطح دریا ۲۱۹۷ متر است. دراین ناحیه متوسط دمای هوا ۱۲/۰۱درجه سانتی گراد و بارش سالانه بطور متوسط ۳۶۰ میلی مترگزارش شده‌است. شهرستان بروجن دارای اقلیم نیمه سرد و خشک می‌باشد (Heydari et al, 2018).

نسخه پیش از انتشار



شکل ۱. موقعیت بروجن در استان و کشور (منبع: نگارنده)

Fig 1. Location of Borujen in the province and country (Source:Author)

روش تحقیق

این پژوهش‌از نظر هدف‌کاربردی و از نظر ماهیت، توصیفی ـ تحلیلی است. داده‌های مورد نیاز پژوهش از طریق مطالعات کتابخانه‌ای، منابع اسنادی، مشاهدات میدانی و پرسشنامه محقق ساخته گردآوری شد. ابزار اصلی جمع‌آوری داده ها، پرسشنامه‌ای مبتنی بر طیف پنج درجه‌ای لیکرت بود که با هدف بررسی اثرات خشکسالی بر فعالیت‌های کشاورزی درشهرستان بروجن طراحی گردید. ازآنجا که شهرستان بروجن دارای دهستان‌ها و روستاهای متعددی با شرایط توپوگرافی متفاوت (دامنه ای، دشتی) است و نگارنده شناخت کافی از کشاورزان مطلع در اختیار نداشت جامعه آماری پژوهش شامل ۵۰ نفر از کشاورزان منطقه، که به روش نمونه‌گیری زنجیره‌ای (گلوله‌برفی) انتخاب شدند. به‌منظور سنجش پایایی پرسشنامه از ضریب آلفای کرونباخ استفاده شد. همچنین پیش از انجام آزمون‌های آماری، نرمال بودن داده ها با استفاده از آزمون های شاپیرو–ویلک و کولموگروف–اسمیرنوف در نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۷ بررسی شد. نتایج این آزمون‌ها نشان داد که مقدار معناداری (P-value) برای تمامی متغیرهای پژوهش بزرگ تر از ۰/۰۵ است بنابراین فرض نرمال بودن داده‌ها تایید شد. بر این اساس برای بررسی روابط بین متغیرها از ضریب همبستگی پیرسون و به‌منظور تحلیل میزان تاثیر متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته از رگرسیون خطی چندگانه به روش ورود همزمان استفاده شد. تمامی آزمون‌ها در سطح معناداری ۰/۰۵ انجام گرفتند. در بخش اقلیمی پژوهش، داده های بارش ایستگاه هواشناسی شهرستان بروجن طی دوره ۲۶ ساله (۲۰۰۰ تا ۲۰۲۵) جمع‌آوری و تحلیل شد. به منظور ارزیابی شدت و وضعیت خشکسالی، از شاخص استاندارد بارش شش ماهه (SPI-6) استفاده گردید. این شاخص بر اساس داده های بارش و با استاندارد سازی مقادیر نسبت به میانگین بلندمدت محاسبه شد.

در ادامه، داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای Excel و SPSS تحلیل و تفسیر شدند تا روند تغییرات خشکسالی و اثرات آن بر فعالیت‌های کشاورزی منطقه بررسی شود. در این شاخص مقادیر مثبت بیانگر شرایط ترسالی و مقادیرمنفی نشان‌دهنده شرایط خشکسالی هستند. مقادیر SPI-6 بر اساس طبقه‌بندی استاندارد Mckee و همکاران (1993) در گروه های مختلف خشکسالی و ترسالی طبقه‌بندی شدند. جدول ۱ طبقه بندی استاندارد شاخص SPI-6 را نشان می‌دهد. در این طبقه‌بندی دامنه‌های مختلف شاخص SPI-6 به گروه های ترسالی و خشکسالی با شدت‌های متفاوت تقسیم می‌شوند. مقادیر مثبت بیانگر شرایط ترسالی و مقادیر منفی نشان‌دهنده شرایط خشکسالی هستند. این طبقه‌بندی مبنای اصلی تفسیر شدت و نوع نوسانات رطوبتی در منطقه مورد مطالعه است و امکان ارزیابی دقیق فراوانی رخداد دوره‌های خشک یا مرطوب را فراهم می‌سازد. استفاده از این طبقه‌بندی در مطالعات اقلیمی و کشاورزی متداول است و به مقایسه نتایج میان مناطق مختلف کمک می‌کند.

جدول ۱. طبقه بندی شرایط خشکسالی و ترسالی بر اساس شاخص SPI

Table 1. Classification of drought and wet conditions based on SPI-6

SPI-6 Class طبقه بندی شاخص SPI-6	Range دامنه شاخص
Extremely wet ترسالی بسیار شدید	SPI>2.0
Severely wet ترسالی شدید	1.5to 1.99
Moderately wet ترسالی متوسط	1.0to 1.49
Near normal وضعیت نرمال	-0.99to 0.99
Moderate drought خشکسالی متوسط	-1.0to -1.49
Severe drought خشکسالی شدید	-1.5to -1.99
Extreme drought خشکسالی بسیار شدید	SPI<-2.0

نتایج و بحث

تحلیل داده‌های پژوهش با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه۲۷ در دو سطح آمار توصیفی و آمار استنباطی انجام گرفت. در بخش توصیفی، شاخص‌های جمعیت شناختی و آماری شامل میانگین، انحراف معیار، کمینه و بیشینه برای توصیف ویژگی‌های نمونه آماری مورد استفاده قرار گرفت. برای متغیرهای کیفی از جداول فراوانی و برای متغیرهای کمی از شاخص‌های مرکزی و پراکندگی بهره گرفته‌شد.

در توصیف جمعیت‌شناختی شرکت‌کنندگان از لحاظ جنسیت نشان داد، ۸۰درصد از شرکت کنندگان مرد (۴۰ نفر) و ۲۰درصد زن (۱۰ نفر) بودند از نظرسن مشخص‌شد ۱۰درصد زیر ۳۰سال، ۴۰ درصد بین ۳۰ تا ۴۰سال، ۲۰درصد۴۰ تا ۵۰سال و۳۰درصد بالای ۵۰سال سن داشتند. همچنین از لحاظ تحصیلات معلوم شد ۷۰درصد دارای تحصیلات زیر دیپلم و دیپلم، ۱۰درصد فوق دیپلم و ۲۰درصد لیسانس بودند.

در مرحله تحلیل استنباطی داده‌ها، جهت بررسی فرضیه‌های تحقیق از رویکرد رگرسیون چندگانه به شیوه ورود همزمان و نیز محاسبه ضریب همبستگی پیرسون بهره‌گرفته شد. فرضیات آماری در قالب دوگزاره، یعنی فرضیه صفر (H_0) و فرضیه پژوهش (H_1)

نسخه پیش از انتشار

صورت بندی شدند. کلیه آزمون‌های آماری با در نظر گرفتن سطح خطای نوع اول معادل a=0.05 اجرا گردید. در صورتی که میزان سطح معناداری محاسبه شده (P-value) از این مقدار آستانه پایین‌تر بود، نتیجه بر رد فرضیه صفر و پذیرش فرضیه پژوهش قرار می‌گرفت. شایان ذکر است که در این گزارش، اصطلاحات «سطح معنا داری» و «P-value» به یک معنا و به صورت جایگزین پذیر مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

شاخص SPI

شاخص بارش استاندارد شده (SPI) به‌منظور ارزیابی شرایط خشکسالی و ترسالی منطقه مورد مطالعه محاسبه شد. برای این منظور از داده های بارش ماهانه دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۵ استفاده گردید. شاخص SPI در مقیاس زمانی ۶ ماهه (SPI-6) محاسبه شد که یکی از متداول‌ترین مقیاس‌ها برای بررسی شرایط رطوبتی میان مدت و اثرات آن بر فعالیت‌های کشاورزی، به ویژه عملکرد گندم محسوب می‌شود. نتایج آمار توصیفی شاخص SPI-6 ارائه شده در جدول ۲ نشان می‌دهد که مقدار کمینه این شاخص در دوره مورد مطالعه برابر با ۳/۴۷− بوده است که بیانگر وقوع یک خشکسالی بسیار شدید در منطقه است. بیشترین مقدار شاخص نیز ۱/۹۷ گزارش شد که حاکی از وقوع یک دوره ترسالی نسبتاً شدید است. مقدار میانگین سری زمانی تقریباً صفر (۰/۰۱۴) به دست‌آمد که مطابق با ماهیت استاندارد سازی شاخص SPI است و نشان می‌دهد نوسانات مثبت و منفی در طول دوره تقریباً متعادل بوده‌اند. همچنین مقدار انحراف معیار (۱.۰۰۷) بیانگر پراکندگی نسبتاً قابل توجه مقادیر شاخص دردوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۵ است، به‌گونه‌ای که وقوع دوره های خشکسالی و ترسالی شدید در برخی بازه‌های زمانی تایید می شود. این نتایج نشان می‌دهد که منطقه مورد مطالعه در طول دو دهه گذشته با نوسانات رطوبتی قابل توجهی مواجه بوده است.

جدول ۲. آمار توصیفی شاخص SPI-6در دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۵

Table 2. Descriptive statistics of the SPI-6 index during 2000-2025

Statistic مقدار آماری	Value مقدار
Minimum کمینه	-3.471
Maximum بیشینه	1.975
Mean میانگین	0.014
Standard deviation انحراف معیار	1.007

مطابق با نتایج ارائه شده در جدول ۳، نتایج طبقه‌بندی شاخص SPI-6 نشان داد که بخش عمده دوره مورد مطالعه در شرایط رطوبتی نرمال قرار داشته است، به طوری که ۶۶.۴۵ درصد از کل مشاهدات (۲۰۴ ماه) در طبقه نزدیک به نرمال قرار می‌گیرند. شرایط ترسالی متوسط ۱۱/۷۳ درصد و ترسالی شدید ۳/۹۱ درصد از دوره مورد مطالعه را شامل می‌شود. از سوی دیگر، خشکسالی متوسط، خشکسالی شدید و خشکسالی بسیار شدید به‌ترتیب در ۸/۴۷، ۵/۵۴ و ۳/۹۱ درصد از دوره زمانی مشاهده شدند. این نتایج نشان می‌دهد که اگرچه شرایط اقلیمی نرمال در طول دوره مطالعه غالب بوده است، اما چندین دوره خشکسالی با شدت های مختلف نیز رخ داده که می تواند بر عملکرد گندم و فعالیت های کشاورزی در منطقه تاثیر منفی گذاشته باشد.

جدول ۳. فراوانی و درصد طبقات شاخص SPI-6در دوره ۲۰۰۰تا۲۰۲۵

Table 3. Frequency and percentage of SPI-6 categories during 2000–2025

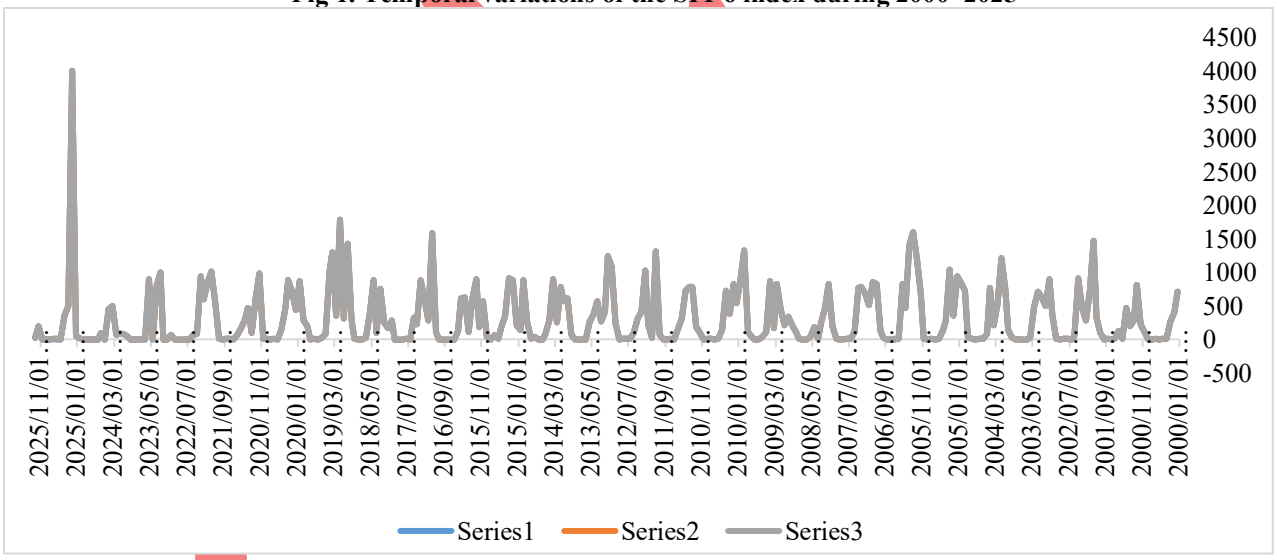
SPI-6 Class طبقه بندی SPI-6	Frequency فراوانی	Percentage (%) درصد فراوانی

Near normal نزدیک به شرایط نرمال	204	66.45
Moderately wet ترسالی متوسط	36	11.73
Moderate drought خشکسالی متوسط	26	8.47
Severe drought خشکسالی شدید	17	5.54
Extreme drought خشکسالی بسیار شدید	12	3.91
Severely wet ترسالی شدید	12	3.91
Total جمع کل	307	100.00

نمودار ۱ تغییرات زمانی شاخص SPI-6 را در دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۵ نشان می‌دهد. بر اساس این نمودار نوسانات قابل توجهی در وضعیت رطوبتی منطقه مشاهده می شود، به‌گونه‌ای که دوره هایی از خشکسالی متوسط تا شدید همراه با مقادیر منفی شاخص و همچنین دوره‌هایی از ترسالی متوسط تا شدید با مقادیر مثبت شاخص قابل تشخیص است. مقادیر نزدیک به صفر نشان‌دهنده شرایط نرمال هستند که بخش قابل‌توجهی از سری زمانی را تشکیل می‌دهند. این الگوی تغییرات بیانگر این است که منطقه مورد مطالعه طی دو دهه گذشته با چرخه‌های متناوب خشکی و ترسالی مواجه بوده و از نظر رطوبتی پایداری بلند مدت نداشته است.

نمودار ۱. تغییرات شاخص SPI-6 در دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۵

Fig 1. Temporal variations of the SPI-6 index during 2000–2025



بررسی نرمال بودن داده‌ها

برای تحلیل‌های آماری پارامتریک نظیر مقایسه میانگین‌ها یا بررسی همبستگی، لازم است پیش فرض نرمال بودن توزیع داده‌ها به ویژه برای متغیرهای وابسته مورد تایید قرارگیرد. درمطالعاتی باحجم نمونه متوسط یا بزرگ می‌توان با استناد به قضیه حد مرکزی، انحراف از نرمال بودن را از طریق کشیدگی یا کجی ارزیابی کرد. در مقابل، در پژوهش‌هایی با حجم نمونه کوچک‌تر، استفاده از آزمون‌های شاپیرو-ویلک و کولموگروف-اسمیرنوف مناسب‌تر است (Razali & Wah, 2011). باتوجه به اینکه حجم نمونه در این

تحقیق ۵۰نفر بوده است که در مرز بین نمونه‌های کوچک و بزرگ قرار می‌گیرد استفاده از هردو آزمون شاپیرو-ویلک و کولموگروف-اسمیرنوف مناسب و از نظر آماری قابل قبول است. بنابراین هردو آزمون به منظور اطمینان بیشتر به کارگرفته شده‌اند. براساس نتایج هردو آزمون مذکور، میزان معناداری (P-value) برای کلیه متغیرهای پژوهش بزرگ‌تر از ۰/۰۵ به دست آمد، لذا می‌توان‌ادعا کرد که توزیع داده‌های مربوط به تمامی متغیرهای مورد مطالعه از نظر آماری نرمال است (Ghasemi & zahediasl, 2012). خلاصه نتایج آزمون نرمال بودن در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۴. آزمون نرمال بودن

Table 4. Normality test

Test آزمون	Characteristic متغیر مورد بررسی	Drought effects تاثیرات خشکسالی	Yield of wheat عملکرد گندم
Kolmogorov-Smirnov test آزمون کولموگروف-اسمیرنوف	Statistics آماره آزمون	0.116	0.109
	Degree of freedom درجه آزادی	50	50
	Significance level سطح معنی داری	0.183	0.250
Shapiro-Wilk test آزمون شاپیرو-ویلک	Statistics آماره آزمون	0.962	0.973
	Degree of freedom درجه آزادی	50	50
	Significance level سطح معنی داری	0.124	0.365

بررسی پایایی متغیرها

در مطالعات کمی، بررسی قابلیت اعتماد ابزارهای سنجش یکی از گام‌های بنیادین در فرایند تحلیل داده‌ها به شمار می‌رود. قابلیت اعتماد به معنای ثبات و یکنواختی نتایج حاصل از تکرار اندازه گیری با یک ابزار مشخص است. به عبارت دیگر، یک ابزار زمانی از پایایی قابل قبولی برخوردار است که در موقعیت‌های گوناگون یا در زمان‌های مختلف، خروجی‌های مشابهی را برای یک آزمودنی یا گروه ارائه دهد. از جمله شاخص‌های پرکاربرد در ارزیابی پایایی، همخوانی درونی است که عمدتاً از طریق محاسبه ضریب آلفای کرونباخ سنجیده می‌شود. این ضریب بیانگر آن است که آیتم‌های یک مقیاس تا چه اندازه به صورت همسو و منسجم، یک مفهوم واحد را اندازه‌گیری می‌کند. بر اساس دیدگاه‌های متداول، اگر مقدار آلفای کرونباخ دربازه ۰/۷۵تا ۱ قرار گیرد، نشان‌دهنده پایایی مناسب و هماهنگی درونی مطلوب بین گویه‌ها تلقی می‌شود (Cronbach,1951.Cortina ,1993).

جدول ۵. آزمون آلفای کرونباخ

Table 5. Cronbach s alpha test

Variable name نام متغیر	Number of Items تعداد گویه‌ها	Cronbach`s Alpha آلفای کرونباخ	Reliability Status وضعیت پایایی
Questionnaire on the Effects of Drought on the yield Harvest in Borujen County پرسشنامه بررسی اثرات خشکسالی بر عملکرد محصول در شهرستان بروجن	20	0.865	Good خوب

یافته‌های حاصل از آزمون همبستگی پیرسون، که در جدول ۶ نتایج مربوطه درج شده است، دلالت بر رابطه آماری معنادار بین متغیرهای خشکسالی و برداشت گندم در منطقه مورد مطالعه دارد. مقدار سطح معناداری محاسبه شده sig=0.004 (که پایین‌تر از

سطح خطای قابل قبول ۰/۰۵ قرار می‌گیرد) حاکی از آن است که این ارتباط از پشتوانه آماری قوی برخوردار بوده و احتمال تصادفی بودن آن بسیار ناچیز است. علاوه بر این ضریب همبستگی پیرسون به دست آمده r=0.397 حاکی از وجود یک همبستگی مثبت و درحد متوسط میان دو متغیر پژوهش است. به عبارت دیگر تغییرات در شاخص‌های خشکسالی با تغییرات هم جهت در برداشت گندم همراهی دارد. گیاه گندم برای دستیابی به حداکثر پتانسیل عملکرد خود به تأمین مناسب آب و ثبات نسبی شرایط آب و هوایی وابسته است؛ در نتیجه، هرگونه نوسان نامتعارف در پارامترهای اقلیمی می‌تواند موجب تنزل عملکرد این محصول شود. این افت در ادامه ممکن است به کاهش رغبت خریداران در بازارهای محلی و ملی و در پی آن، کاهش سودآوری کشاورزان بیانجامد. از این رو، دستاوردهای این مطالعه می‌تواند برای کشاورزان، سیاست گذاران و مدیران بخش کشاورزی حاوی نکات کاربردی و راهبردی ارزشمندی باشد. نتایج به دست آمده بر ضرورت طراحی و اجرای راهکارهای مدیریت بهینه آب و تدوین برنامه‌های جامع بلند مدت برای تضمین پایداری تولید تأکید دارد. افزون بر این، شناخت دقیق پیامدهای منفی خشکسالی می‌تواند بسترساز اقدامات پیشگیرانه و برنامه ریزی‌های آینده نگر برای حفظ پایداری تولیدات زراعی به ویژه گندم گردد.

جدول ۶. آزمون همبستگی داده‌ها

Table 6. Data correlation test

	***Drought effects** **اثرات خشکسالی**	***Wheat yield** **عملکرد گندم**
*Drought effects اثرات خشکسالی		
Pearson coefficient ضریب پیرسون	1	0.397
Significance level سطح معنی داری	-	0.004
Number تعداد	50	50
*Wheat yield عملکرد گندم		
Pearson coefficient ضریب پیرسون	0.397	1
Significance level سطح معنی داری	0.004	-
Number تعداد	50	50

بر اساس داده‌های ارائه شده در جدول ۷ مقدار ضریب همبستگی پیرسون بین شاخص SPI-6 و عملکرد گندم برابر با ۰/۳۹۷ و در سطح خطای ۰/۰۰۴ معنا دار است لازم به توضیح است که شاخص SPI بر مبنای انحراف بارش از وضعیت نرمال تعریف می‌شود به گونه‌ای که مقادیر بیانگر ترسالی و بهبود وضعیت بارندگی و مقادیر منفی نشان‌دهنده وقوع خشکسالی هستند بنابراین ضریب همبستگی مثبت به دست آمده بدین معناست که با افزیش مقدار شاخص SPI-6 (کاهش شدت خشکسالی و بهبود شرایط رطوبتی) عملکرد گندم نیز افزایش می‌یابد. این نتیجه نشان می‌دهد که بخش قابل توجهی از تغییرات عملکرد (برداشت) محصول متاثر از وضعیت بارش و شرایط رطوبتی منطقه است. همچنین مقدار ضریب تعیین تعدیل شده۰/۱۵۸ بیانگر آن است که حدود ۱۵/۸درصد از نوسانات عملکرد گندم قابل تبیین است.

نسخه پیش از انتشار

جدول ۷. ضریب همبستگی چندگانه

Table 7. Multipge correlation coefficient

Correlation Coefficient ضریب همبستگی	Coefficient Determination تعیین ضریب	Standardized Coefficient of determination ضریب تعیین استاندارد شده	Standard error of estimate خطای استاندارد
0.397	0.317	0.158	3.983

بر اساس یافته‌های ارائه شده در جدول ۸ تحلیل واریانس رگرسیون بیانگر معنادار بودن مدل است (F=9.14 P=0.004) با توجه به اینکه سطح معنا داری کمتر از ۰/۰۵ است مدل از اعتبار آماری لازم برخوردار بوده و نشان می‌دهد که شاخص خشکسالی توانسته است بخشی از تغییرات متغیر وابسته را تبیین کند. ضریب همبستگی برابر با ۰/۳۹۷ ضریب تعیین برابر با ۰/۳۱۷ و ضریب تعیین استاندارد شده برابر با ۰/۱۵۸ به دست‌آمد که نشان دهنده وجود رابطه‌ای مثبت و متوسط میان متغیرها است. از نظر آماری این نتیجه بدین معناست که با بهبود شرایط رطوبتی و افزایش مقدار شاخص SPI مقدار متغیر وابسته نیز افزایش می‌یابد. بنابراین خشکسالی به عنوان یکی از عوامل موثر بر عملکرد گندم نقش قابل توجهی در تغییرات آن دارد.

جدول ۸. مقادیر ضریب رگرسیون

Table 8. Regresion coefficient values

Model **مدل**	**Sum of squares** **مجموع مربعات**	**Degree of freedom** **درجه آزادی**	**Total average** **میانگین کل**	**F** **آماره**	**Significance level** **سطح معنی داری**
Regression رگرسیون	250.64	1	250.64	9.14	0.004
Residual باقیمانده/خطا	1318.41	48	27.47		
Total کل	1569.05	49			

با توجه به ضریب استاندارد به دست‌آمده (B) خشکسالی تأثیر معناداری بر متغیر وابسته پژوهش اعمال می‌کند. ضریب همبستگی به دست آمده برابر با ۰/۳۹۷ نشان می دهد که شدت خشکسالی حدود۳۹/۷ درصد از تغییرات عملکرد گندم را تبیین می‌کند به این معنا که بر اساس شدت کمبود بارش و شرایط رطوبتی، تغییرات محسوسی در میزان برداشت ایجاد می‌شود. بنابراین، مدل طراحی شده از قابلیت پیش‌بینی مناسبی در تبیین اثرات خشکسالی بر عملکرد محصول برخوردار است. شایان ذکر است نتایج مطالعه حاضر با دستاوردهای مطالعه طالبی و همکاران (۱۳۹۴) در پژوهشی با موضوع مدیریت خشکسالی در کشاورزی پایدار و مطالعه هژبرکیانی (۱۳۷۸) در پژوهشی با عنوان بررسی و تعیین مقدار بهینه اقتصادی استفاده از نهاده‌ها در کشت گندم دیم هم راستا می‌باشد (Talebi Eskandari & Mardani, 2016; Hojabr Kiani, 1999).

جدول ۹. ارزیابی ضرایب رگرسیون

Table 9: Evaluation of regression coefficients

Characteristics **متغیرها**	**Variable Constant value/independent** **متغیر مقدار ثابت**	
	Constant value **مقدار ثابت**	**Drought effects** **اثرات خشکسالی**
Unstandardized coefficient ضریب غیراستاندارد	22.147	0.490
Standardized beta coefficient ضریب بتای استاندارد شده	--	0.397

Beta standard deviation انحراف معیار بتا	4.783	0.162
T آماره	4.630	3.023
Significance level سطح معنی داری	0.001	0.004

نتیجه‌گیری

یافته‌های این مطالعه نشان داد که شاخص SPI-6 در دوره مورد مطالعه دامنه‌ای از ۳/۴۷- تا ۱/۹۷ را تجربه کرده است با میانگین ۰/۰۱۴ و انحراف معیار ۰/۰۰۷این مقادیر بیانگر آن است که اگرچه وضعیت کلی رطوبتی منطقه در بلند مدت نزدیک به حالت نرمال بوده اما نوسانات قابل توجهی میان دوره های خشکسالی و ترسالی رخ داده است. بررسی طبقات SPI-6 نشان داد که ۶۶/۴۵درصد از ماه ها در وضعیت نرمال قرار داشته‌اند با این حال ۳۳/۵۵ درصد از دوره زمانی مورد مطالعه خارج از محدوده نرمال بوده است. در میان این رخدادها ۱۱/۷۳درصد به ترسالی متوسط، ۳/۹۱ درصد به ترسالی شدید، ۸/۴۷ درصد به خشکسالی متوسط، ۵/۵۴ درصد به خشکسالی شدید و ۳/۹۱ درصد به خشکسالی بسیار شدید اختصاص داشته است. این نتایج نشان می‌دهد که منطقه مورد مطالعه هرچند در بیشتر ماه ها شرایط نزدیک به نرمال داشته، اما در حدود یک سوم از دوره با تنش های رطوبتی قابل توجه به ویژه خشکسالی مواجه بوده است. همچنین نتایج تحلیل استنباطی نیز نشان داد که خشکسالی اثر معنی داری بر عملکرد گندم دارد به طوری که ضریب همبستگی R=0.397 و P=0.004 معنادار بوده و حدود ۱۶ درصد از تغییرات عملکرد (برداشت) گندم توسط خشکسالی قابل تبیین است این امر نشان می‌دهد که وضعیت رطوبتی یکی از عوامل مهم بر عملکرد گندم در منطقه است و باید در مدیریت زراعی سالانه مورد توجه قرار گیرد. از نظر کاربردی تکرار خشکسالی های متوسط تا بسیار شدید بیانگر آن است که اتکای صرف به بارش طبیعی برای تأمین نیاز آبی بخش کشاورزی به‌ویژه در تولید گندم کافی نیست. همچنین مقایسه این مقدار با نتایج مطالعات انجام شده در سایر مناطق دیم کار کشور نشان می‌دهد که این مقدار با دامنه گزارش شده در مناطق دارای اقلیم نیمه خشک و سرد ایران همخوانی دارد. برای مثال در پژوهش های انجام شده در استان های کردستان، همدان و زنجان ضرایب همبستگی بین شاخص های خشکسالی و عملکرد گندم دیم معمولاً در بازه ۰/۳ تا ۰/۵گزارش شده است بنابراین مقدار ۰/۳۹۷ در بروجن نه تنها در محدوده طبیعی این مناطق قرار می‌گیرد بلکه بیانگر آسیب پذیری قابل توجه اما نه شدید نسبت به خشکسالی است. این مقایسه نشان می‌دهد که منطقه بروجن از نظر حساسیت عملکرد گندم به نوسانات بارندگی در سطحی مشابه با سایر مناطق دیم‌کار کشور قرار دارد با این حال استمرار خشکسالی های چند ساله می‌تواند این آسیب پذیری را تشدید کند و ضرورت برنامه‌ریزی برای مدیریت ریسک خشکسالی را برجسته تر می سازد. بنابراین پیشنهاد می‌شود مدیریت آب و کشاورزی منطقه بر پایه پایش مستمر SPI-6 تعیین آستانه های هشدار زودهنگام خشکسالی و تنظیم تقویم کشت بر اساس پیش‌بینی وضعیت رطوبتی انجام شود. همچنین توسعه سامانه های ذخیره و مدیریت آب باران، استفاده از روش‌های آبیاری کارآمدتر و به‌کارگیری رقم های مقاوم به خشکی می‌تواند اثر دوره های منفی SPI را بر عملکرد محصول کاهش دهد.

References

Ashok, K., Guan, Z., Saji, N. H., & Yamagata, T. (2004). Individual and combined influences of ENSO and the Indian Ocean Dipole on the Indian summer monsoon. *Journal of Climate*, *17*(16), 3141–3155. https://doi.org/10.1175/1520-0442(2004)0172.0.CO

Batabyal, A. A., & Beladi, H. (2001). On the environment–development relationship. *Journal of Economic Development*, *26*(1), 1–12.

Cortina, J. M. (1993). What is coefficient alpha? An examination of theory and applications. *Journal of Applied Psychology*, *78*(1), 98–104. https://doi.org/10.1037/0021-9010.78.1.98

Cronbach, L. J. (1951). Coefficient alpha and the internal structure of tests. *Psychometrika*, *16*(3), 297–334. https://doi.org/10.1007/BF02310555

FAO. (2009). *Food Security and Agricultural Mitigation in Developing Countries: Options for Capturing Synergies*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

Ghasemi, A., & Zahediasl, S. (2012). Normality tests for statistical analysis: A guide for non-statisticians. *International Journal of Endocrinology and Metabolism*, *10*(2), 486–489. https://doi.org/10.5812/ijem.3505
Hazell, P., & Wood, S. (2008). Drivers of change in global agriculture. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *363*(1491), 495–515. https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2166
Heydari, M., Yazdanpanah, H., & Mohammadi, A. (2018). Assessment of climate change impact on yield and phenological stages of wheat (Case study: Chaharmahal and Bakhtiari province). *Geographical Research*, *50*(2), 373–389. [In Persian]
Hojabr Kiani, A. (1999). *Drought and Water Crisis Management in Iran*. SAMT. [In Persian]
IPCC. (2011). *Intergovernmental Panel on Climate Change Special Report on Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation (SREX)*. Cambridge University Press.
Khayyat, A., Amirabadizadeh, M., & Akhundi, Z. (2026). Investigating the intensity and duration of meteorological drought in South Khorasan Province in the medium future. *Journal of Drought and Climate Change Research*, *4*(1), 181–202. https://doi.org/10.22077/jdcr.2025.10060.1169
Khosravipour, B., & Loveymi, K. (2024). The role of modern irrigation systems in optimal water management during drought. *Journal of Geography and Human Relations*, *7*(3), 217–235. https://doi.org/10.22034/gahr.2024.455334.2114 [In Persian]
Lobell, D. B., Schlenker, W., & Costa-Roberts, J. (2011). Climate trends and global crop production since 1980. *Science*, 333(6042), 616–620. https://doi.org/10.1126/science.1204531
Makvandi, M. (2020). Evaluating drought severity using SPI and SPEI… *Journal of Natural Geography*, *13*(2), 33–48. [In Persian]
Maleki, T., Keshavarz, M., & Zarafshani, K. (2014). Assessment of farmer households' adaptive capacity to drought (Case: Dar-e Faraman Dehestan, Kermanshah County). *Quarterly Journal of Space Economics and Rural Development*, *3*(1), 123–138. [In Persian]
McKee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. R. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. *In Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology* (pp. 179–184). American Meteorological Society.
Palmer, W. C. (1965). *Meteorological drought* (Research Paper No. 45). U.S. Weather Bureau. https://www.ncdc.noaa.gov/temp-and-precip/drought/docs/palmer.pdf
Ragab, R., & Prudhomme, C. (2002). Climate change and water resources management in arid and semi-arid regions: Prospects and challenges for the 21st century. *Biosystems Engineering*, *81*(1), 3–34. https://doi.org/10.1006/bioe.2001.0013
Ramezani Edalati, H., & Kouhi, S. (2026). Assessing the impact of climate change on heat stress on strategic crops in Qazvin province. *Journal of Drought and Climate Change Research*, *4*(1), 81–104. https://doi.org/10.22077/jdcr.2025.9739.1157
Razali, N. M., & Wah, Y. B. (2011). Power comparisons of the Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors, and Anderson-Darling tests. *Journal of Statistical Modeling and Analytics*, *2*(1), 21–33.
Rezvani, A., Khorashadizadeh, M., & Rezaei, M. (2026). Temporal and severity analysis of meteorological drought (case study: Qain city in South Khorasan province). *Journal of Drought and Climate Change Research*, *4*(1), 105–130. https://doi.org/10.22077/jdcr.2025.9807.1159
Talebi, M. S. (2025). Effects of drought on the quantity and quality of pistachio production in Sirjan. *Water Resources and Climate Change*, *1*(4), 1–12. https://doi.org/10.22091/wrcc.2025.14330.1023
Talebi Eskandari, M., & Mardani, H. (2016). Sustainable agricultural drought management. *Geography Education Development Journal*, *114*, 30–36. [In Persian]
Valigholizadeh, A. (2019). Explaining the economic effects of climate change on the life of human societies. *Geographical Space Journal*, *19*(67), 161–198. [In Persian]
Wilhite, D. A. (2000). Drought as a natural hazard: Concepts and definitions. *In Drought: A Global Assessment* (Vol. 1, pp. 3–18). Routledge.
Wilhite, D. A., & Glantz, M. H. (1985). Understanding the drought phenomenon: The role of definitions. *Water International*, *10*(3), 111–120. https://doi.org/10.1080/02508068508686328