



پژوهش های خشکسالی و تغییر اقلیم



دوره دوم، شماره سوم، پیاپی ۷، پاییز ۱۴۰۳

- ۱ کاربرد توابع مفصل در تحلیل خشکسالی هواشناسی در شهر قائن
مهدی امیرآبادی زاده، مصطفی یعقوب زاده
- ۱۷ بررسی وضعیت تغییرات دمایی کشور نسبت به دوره استاندارد اقلیمی بلندمدت گذشته
معصومه فخری
- ۳۳ تأثیر تنش های خشکی و شوری بر میزان کلروفیل و کاروتنوئید در برگ های سنجد (*Elaeagnus angustifolia* L.)
زهرا سیف، وحید اعتماد، محسن جوانمیری پور
- ۴۹ بهره گیری از شاخص های اقلیمی و رویکرد تصمیم گیری چند معیاره در پیش بینی عملکرد محصول در راستای سیاست گذاری کشاورزی
لاله پرویز، بیتا کاظمی، میر احمد هاتف
- ۶۷ ارائه تقویم کاشت مناسب برنج طارم هاشمی در پهنه مازندران با تکنیک سنجش از دور
علیرضا یوسفی کبریا، رضا نوروز ولاشدی
- ۸۵ جداسازی باکتری های مقاوم به شوری و خشکی از ریزوسفر گیاهان و ارزیابی برخی خصوصیات محرک رشدی آنها
فرهاد آذرمی آتاجان
- ۹۷ تأثیر تغییر اقلیم بر نحوه سرمایه گذاری در سامانه های نوین آبیاری
سمانه ارونندی





Application of Copula Functions in Meteorological Drought Analysis in Qaen Area

Mahdi Amirabadizadeh¹, **Mostafa Yaghoobzadeh¹**

1- Associate Professor, Department of Water Sciences and Engineering and member of the Drought and Climate Change Research Group, University of Birjand, Birjand, Iran.

*Corresponding Author: mamirabadizadeh@birjand.ac.ir

Keywords:

Bivariate analysis, Intensity and duration, Marginal probability distribution, Precipitation, Qaen synoptic station.

Introduction

Considering that the severity and duration of drought are probabilistic phenomena, it is more appropriate to analyze those using probabilistic theories. The use of classical multivariate functions is the usual method for analyzing such problems. The use of detailed functions provides the possibility of linking the univariate marginal distribution to each other and creates the bivariate distribution function. Detailed functions have been used in various research to evaluate the effects of drought and to model the relationship between intensity and duration of drought, the most important of which have been mentioned in this research. In this research, the main characteristics of meteorological drought, including the severity and duration of drought in Qaen synoptic station, have been investigated using bivariate joint functions.

Materials and Methods

In this research, the rainfall data of the Qaen observation station during the years 1998-2018 was used on a monthly scale. In this research, SPI index and 12-month intervals were used to determine drought, which was determined using observational rainfall data. Therefore, to check the correlation between the severity and duration of meteorological drought in synoptic Qaen station, Tau-Kendall and Spearman-Roe correlation criteria were used, which were calculated in R statistical software. In this research, 21 copula functions were examined to choose the best one. In this research, in order to determine the marginal probability distribution functions, the MLE method was used in the estimation of the detailed dependence parameter.

Results and Discussion

Considering that the severity and duration of drought are the discussed variables in

Received:

14 February 2024

Revised:

11 August 2024

Accepted:

11 August 2024

How to cite this article:

Amirabadizadeh, M., & Yaghoobzadeh, M. (2024). Application of Copula Functions in Meteorological Drought Analysis in Qaen Area. *Journal of Drought and Climate change Research*, 2(3), 1-16. [10.22077/jdcr.2024.7301.1059](https://doi.org/10.22077/jdcr.2024.7301.1059)



this study, therefore, after determining the SPI meteorological drought index values, the run-test was used to determine the severity and duration of drought. The results showed that the drought intensity of 6.66 with a duration of 8 months was the most severe meteorological drought that happened in the period of 1998-2018. The results of the Tau-Kendall and Spearman correlation tests also showed the correlation values between the intensity and duration of drought, respectively, 0.74 and 0.88, which indicates the isotropic effect of these variables. The results of determining the marginal distributions of drought intensity and duration variables showed that Pareto marginal probability function and log normal are the most suitable probability distributions for drought duration and intensity characteristics in Qaen synoptic station, respectively. The values of the parameters of these distributions were $a=0.95$, $b=1.00$ and $\mu=0.39$, $\sigma=1.35$ and $\gamma=0.015$. The results of the analysis of the appropriate joint function showed that the search function showed the best results of goodness of fit based on the AIC index, and the value of this index was determined as -13.74, and the parameter value of the search function Also, 84 times was obtained. Also, the maximum accuracy value was determined as 7.87.

Conflict of Interest

The authors declare that they don't have conflict of interest.



کاربرد توابع مفصل در تحلیل خشک‌سالی هواشناسی در شهر قائن

مهدی امیرآبادی زاده^{۱*}، مصطفی یعقوب زاده^۱

۱- دانشیار گروه علوم و مهندسی آب و عضو گروه پژوهشی خشک‌سالی و تغییر اقلیم دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

*نویسنده مسئول: mamirabadizadeh@birjand.ac.ir

واژه‌های کلیدی:

ایستگاه همدیدی قانن، بارش، تحلیل دومتغیره، توزیع حاشیه‌ای احتمال، شدت و مدت خشک‌سالی.

چکیده

خشک‌سالی یکی از خسارت‌بارترین وقایع طبیعی هست که به دلیل حکم‌فرما بودن آن در یک حیطه جغرافیایی و طولانی بودن بایستی مورد توجه برنامه‌ریزان منابع آب قرار گیرد. دو مشخصه بارز که در بررسی خشک‌سالی بایستی مورد توجه باشند، شدت و دوام آن هست. در این تحقیق از توابع مفصل دومتغیره برای ایجاد توزیع‌های دومتغیره از شدت و مدت خشک‌سالی در ایستگاه هواشناسی قانن طی سال‌های ۲۰۱۸-۱۹۸۸ استفاده شد. برای تعیین شدت و مدت خشک‌سالی از سری زمانی شاخص بارش استاندارد شده (SPI) ۱۲ ماهه استفاده گردید. ضریب همبستگی تاو-کندال و اسپیرمن برای تعیین معنی‌دار بودن همبستگی بین شدت و مدت خشک‌سالی مورد استفاده قرار گرفت که مقدار آن‌ها به ترتیب ۰/۷۴ و ۰/۸۸ تعیین گردید. نتایج بررسی توزیع احتمال‌های حاشیه‌ای با استفاده از روش حداکثر درست‌نمایی نشان داد که مدت و شدت خشک‌سالی به ترتیب از توزیع احتمال پرتو و لوگ نرمال پیروی می‌نمایند که پارامترهای این توزیع‌ها مشخص گردیدند. همچنین از میان توابع مفصل مورد بررسی، تابع مفصل جوئی با داشتن مقدار RMSE برابر ۰/۰۶۷۲ و شاخص NSE برابر ۰/۹۹ مناسب‌ترین تابع برای تحلیل دومتغیره شدت و مدت خشک‌سالی می‌باشد و مقدار حداکثر لگاریتم درست‌نمایی آن ۷/۸۷ به دست آمد. در نهایت احتمال وقوع دومتغیره توأم و احتمال دوره‌های بازگشت توأم محاسبه شدند که نتایج حاصله می‌تواند اطلاعات ارزشمندی را برای برنامه‌ریزی و مدیریت یکپارچه منابع آب منطقه مورد مطالعه، در اختیار برنامه‌ریزان و ذی‌نفعان قرار دهد.

تاریخ دریافت:

۱۴۰۲/۱۱/۲۵

تاریخ ویرایش:

۱۴۰۳/۰۵/۲۱

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۳/۰۵/۲۱

مقدمه

تجربه و شواهد نشان داده است که اثرات ناشی از خشک‌سالی بسیار زیاد است. خشک‌سالی‌ها در گذشته جمعیت زیادی را تحت تأثیر قرار داده است، به گونه‌ای که بیش از ۳۵ درصد از افراد آسیب‌دیده از بلایای طبیعی و ۵۰ درصد از مرگ‌ومیر ناشی از بلایای طبیعی را در برمی‌گیرند. همچنین، حدود ۷ درصد از خسارات اقتصادی جهان نیز ناشی از وقوع خشک‌سالی‌هاست (Chen & Guo, 2019). پایش خشک‌سالی از دو منظر زمان شروع تا انتها و میزان شدت آن در برنامه‌ریزی منابع آب اهمیت به سزایی دارد. در تقسیم‌بندی‌های خشک‌سالی از خشک‌سالی هواشناسی، هیدرولوژیکی، کشاورزی و اجتماعی-اقتصادی نام‌برده می‌شود که با عنایت به استفاده از داده‌های بارش، ارزیابی صورت گرفته در دسته خشک‌سالی هواشناسی قرار می‌گیرد. با توجه به اینکه شدت و مدت خشک‌سالی پدیده‌های پیچیده و احتمالاتی می‌باشند، لذا تحلیل آن‌ها با استفاده از نظریه‌های احتمالاتی مناسب‌تر است. استفاده از توابع چند متغیره کلاسیک روش معمول در تحلیل مسائل این‌چنینی می‌باشد. اما توزیع حاشیه‌ای متغیرها و یکسان نبودن آن‌ها مشکل جدی را در استفاده از این روش‌ها فراروی محققین قرار می‌دهد. استفاده از توابع مفصل در سال‌های اخیر توانسته است بر این مشکل فائق آید. به عبارت دیگر توابع مفصل قادر است تا توابع توزیع حاشیه‌ای تک متغیره را به یکدیگر پیوند داده و تابع توزیع دومتغیره را ایجاد نماید. علاوه بر این با استفاده از توابع مفصل می‌توان ساختار همبستگی بین متغیرها را به شکل دقیق‌تری موردبررسی قرارداد (Salvadori et al., 2007). توابع مفصل اولین بار توسط اسکالر (Sklar, 1959) در مباحث احتمالات چند متغیره مطرح شد و در زمینه‌های مختلف اقتصاد، آمار و مباحث منابع آب مورد استفاده قرار گرفته است. اولین بار شیاو (Shiau, 2006) از مفهوم توابع مفصل در تحلیل توأم شدت و مدت خشک‌سالی در تایوان استفاده نمود. از توابع مفصل در پژوهش‌های مختلفی برای ارزیابی اثرات خشک‌سالی و مدل‌سازی رابطه شدت و مدت خشکی استفاده شده که از آن جمله می‌توان به مطالعات ون و همکاران (Won et al. 2020)،

داس و همکاران (Das et al. 2020)، بذرافشان و همکاران (Bazrafshan et al. 2020)، مصباح زاده و همکاران (Mes-Sajeev et al. 2020) (و ساجو و همکاران (bahzadeh et al. 2021) اشاره نمود. میر عباسی و همکاران (Mirabasi et al. 2012) تحلیل توأم شدت-مدت خشک‌سالی را با استفاده از هفت تابع مفصل را برای ایستگاه شرفخانه موردبررسی قراردادند. نتایج بررسی نشان داد که تابع مفصل گالامبوس بهترین تابع در تحلیل شدت-مدت خشک‌سالی می‌باشد. توسونوگلو و کیسی (Tosunoglu and Kisi, 2016) شدت و مدت خشک‌سالی را در هفت ایستگاه هواشناسی در حوضه چورو در ترکیه را با استفاده از توابع مفصل ارشمیدسی مورد تحلیل قراردادند. نتایج این تحقیق نشان داد که توابع مفصل گامبل-هوگارد مناسب‌ترین تابع مفصل برای تحلیل توأم مدت و بزرگی خشک‌سالی در این حوضه می‌باشد. در تحقیق دیگری توسط متولی باشی نائینی (MotevaliBashi naeini, 2017) مشخصه‌های خشک‌سالی تحت اثر تغییر اقلیم در حوضه آبریز زاینده‌رود موردبررسی قرار گرفت. در این تحقیق از شاخص خشک‌سالی SPI و توابع مفصل استفاده گردید و مشخصه‌های شدت-مدت و بیشترین مقدار خشک‌سالی از دیدگاه احتمالات توأم تعیین گردید.

مددگر و همکاران (Madadgar and Moradkhani, 2013) برای تجزیه و تحلیل متغیرهای اصلی خشک‌سالی، از جمله مدت، سختی و شدت، در حوضه رودخانه کلامات بالایی اورگان از کاپولای سه متغیره استفاده کردند. نتایج بررسی همبستگی نشان داد که سختی با مدت زمان خشکی همبستگی قوی‌تری را نسبت به شدت-طول مدت خشکی نشان می‌دهد. در مقایسه با رویدادهای تاریخی، کاهش کلی در مدت و شدت خشک‌سالی برای این منطقه مورد مطالعه در دوره زمانی ۲۰۹۰-۲۰۲۰ با حداکثر مدت خشک‌سالی از ۸ به ۵ ماه برآورد شده است. نتایج نشان داد که مدل‌های بزرگ‌مقیاس GFDL-CM2.1 و CSIRO-MK3.0 به ترتیب مرطوب‌ترین و خشک‌ترین پیش‌بینی‌ها را در بین پنج مدل ارائه می‌نمایند. موسوی ندوشنی و همکاران (Mousavi Nadoushani et al., 2017) در تحقیقی از توابع مفصل برای تحلیل

ضرایب همبستگی اسپیرمن و تاو-کندال بررسی گردید. نتایج همبستگی نشان داد که به‌جز در مقیاس یک‌ماهه، در سایر مقیاس‌های زمانی همبستگی معناداری بین مشخصه‌های خشک‌سالی وجود دارد. نتایج انتخاب توابع مفصل نشان داد که در ایستگاه اراک برای هر دو دوره آماری ۱۰۰ و ۳۷ ساله به ترتیب مفصل کلایتون و گامبل-هوگارد به دلیل دارا بودن بیشترین مقدار NS و کمترین مقدار NRMSE بهترین عملکرد را داشته و برای ایجاد توزیع‌های دومتغیره شدت و مدت خشک‌سالی انتخاب شدند. همچنین نتایج حاکی از آن بود که دوره آماری ۳۷ ساله برای بررسی خشک‌سالی‌ها با شرط "یا" مناسب بوده اما در حالت "و" و تشدید خشک‌سالی‌ها، دوره بازگشت توأم نزدیک به ۴۵ سال می‌رسد.

مراد زاده رحمت‌آبادی و همکاران (Moradzadeh Rah-*et al.*, 2022) به تحلیل فراوانی دومتغیره مشخصه‌های بارندگی در حوضه خانمیرزا با استفاده از توابع مفصل پرداختند. بدین‌منظور خصوصیات از بارندگی نظیر شدت، مدت و عمق که منجر به سیل می‌شوند از داده‌های بارندگی موجود استخراج گردید و پس از آن توابع توزیع حاشیه‌ای رایج در هیدرولوژی بر این مشخصه‌ها برآزش داده شد. نتایج حاصل از تحلیل نشان داد که تابع توزیع مقادیر حدی (GEV) بر مشخصه‌های بارندگی (شدت، مدت، عمق) به عنوان تابع توزیع برتر شناخته شد و نتایج حاصل از آزمون نکویی برآزش نشان داد که تابع مفصل جوئی به عنوان تابع مفصل برتر بر مشخصه‌های (شدت و مدت) و (شدت و عمق) مناسب می‌باشد. نتایج احتمال توأم و شرطی نیز نشان داد که در زمانی که بارندگی‌های سیل ۸ ساعت باشد برای سطح احتمال ۰/۲ میزان بارندگی ۴۵ میلی‌متر خواهد بود.

تحلیل احتمالاتی خصوصیات خشک‌سالی در ایستگاه مهرآباد تهران، بر مبنای شاخص‌های SPI و خشک‌سالی مؤثر (EDI) توسط فرخ‌نیا و مرید (Farrokhnia and Morid, 2008) صورت گرفت. در این تحقیق توزیع حاشیه‌ای مدت و شدت خشک‌سالی را و توزیع حاشیه‌ای شدت به‌ترتیب نمایی و گاما در نظر گرفته شدند. مناسب‌ترین تابع کاپولا بر اساس بیشترین مقدار

فراوانی دومتغیره خشک‌سالی در حوضه آبریز قره‌سو - گرگان رود استفاده نمودند. در این تحقیق دو متغیر شدت و تداوم خشک‌سالی بر اساس شاخص‌های خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیک در ۲۳ زیرحوضه مورد مطالعه و تحلیل فراوانی قرار گرفتند. آن‌ها کارآمدی توابع مفصل مختلف در هر یک از زیرحوضه‌های مورد مطالعه را بررسی کردند و دوره‌های بازگشت متناظر با مقادیر شدت و تداوم متوسط خشک‌سالی را در هر زیرحوضه محاسبه نمودند. بررسی همبستگی نشان داد که همبستگی بالایی بین آماره‌های میانگین دو متغیر شدت خشک‌سالی و تداوم خشک‌سالی هواشناسی مشاهده می‌شود. اما در مورد همبستگی میان متغیرهای شدت و تداوم خشک‌سالی هیدرولوژیک، ضریب همبستگی بسیار پایین‌تر از مقدار متناظر بین متغیرهای شدت و تداوم خشک‌سالی هواشناسی مشاهده شد. همچنین نتایج نشان داد که بالاترین میزان کارایی برای اجرای تحلیل فراوانی رویدادهای خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیک در ناحیه مورد مطالعه مربوط به تابع مفصل گامبل - هوگارد می‌باشد.

خشک‌سالی‌های منطقه‌ی شمال غرب ایران توسط میر عباسی و همکاران (Mirabbasi *et al.*, 2013) با استفاده از توابع مفصل و شاخص JDI بررسی شدند و یک روش جدید برای پیش‌بینی شرایط رطوبتی در ماه‌های آینده بر اساس سطح آستانه‌ی احتمالی بهینه توسعه دادند. نتایج این پژوهش حاکی از این است که روش پیشنهادی می‌تواند شرایط رطوبتی ۱ و ۳ ماه آینده را با دقت زیادی پیش‌بینی کند.

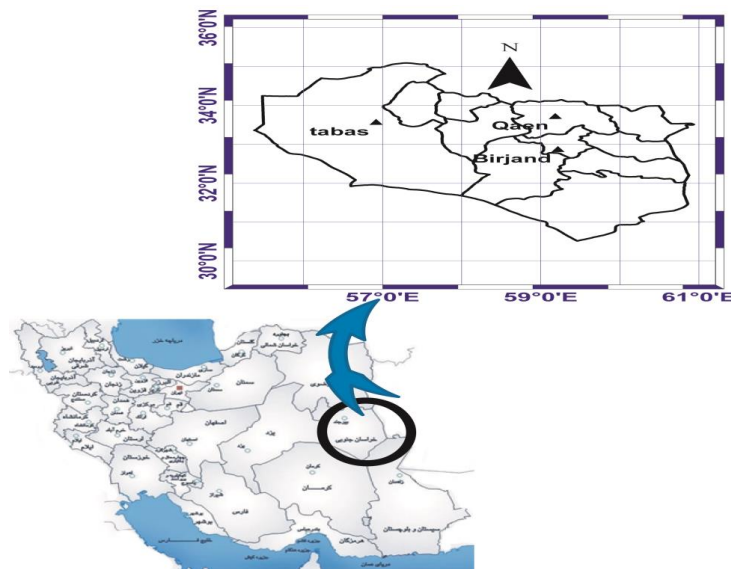
در تحقیقی دیگر، نادری و همکاران (Naderi *et al.*, 2021) به تحلیل چند متغیره خشک‌سالی در ایستگاه سینوپتیک اراک با استفاده از شاخص SPEI و توابع مفصل و اثر طول دوره آماری بر احتمال وقوع خشک‌سالی پرداختند. در این تحقیق از داده‌های بارش و دمای مشاهداتی و شبکه‌ای پایگاه اقلیمی جهانی در دو دوره آماری ۱۰۰ و ۳۷ ساله استفاده شد. سپس خصوصیات مدت و شدت خشک‌سالی در مقیاس‌های زمانی مختلف (۱، ۳، ۶، ۹ و ۱۲-ماهه) استخراج و ساختار وابستگی موجود بین مشخصه‌ها با استفاده از

منطقه مورد مطالعه

در این تحقیق داده‌های بارش ایستگاه همدیدی قائن طی سال‌های ۱۹۹۸-۲۰۱۸ در مقیاس ماهانه مورد استفاده قرار گرفت. این ایستگاه در طول جغرافیایی $33^{\circ} 43'$ شمالی و $59^{\circ} 10'$ شرقی و عرض جغرافیایی 1432 متر بالاتر از سطح دریای آزاد قرار دارد. داده‌های مورد استفاده از نظر وجود داده گمشده و پرت مورد بررسی و تکمیل قرار گرفتند. همچنین آمار اولیه در مقیاس روزانه بودند که داده‌های ماهانه با لحاظ مجموع بارش و میانگین دما از آن استخراج گردید. نمودار تغییرات بارش روزانه در مقیاس ماهانه طی سال‌های ۱۹۹۸-۲۰۱۸ در ایستگاه سینوپتیک قائن در شکل (۲) نشان داده شده است.

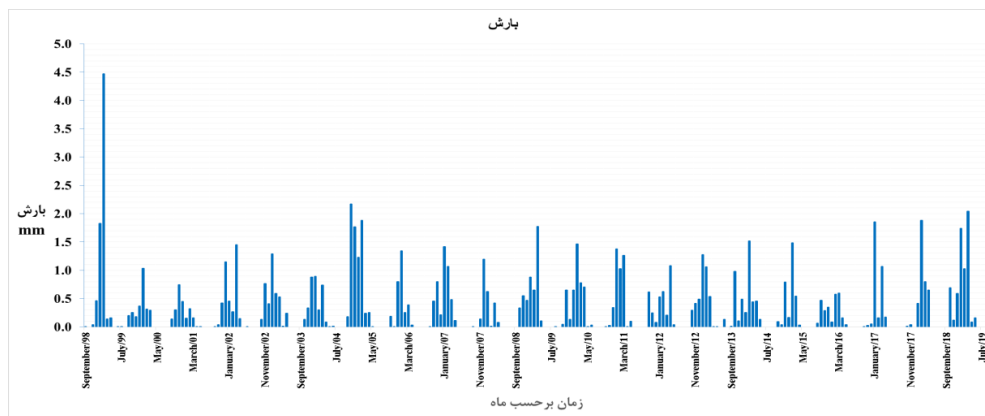
تابع حداکثر درست‌نمایی را انتخاب گردید. بر این اساس مناسب‌ترین تابع کاپولا برای شاخص‌های EDI و SPI به ترتیب جوئی و فرانک انتخاب شدند. در این تحقیق به بررسی ویژگی‌های اصلی خشک‌سالی هواشناسی شامل شدت و مدت خشک‌سالی در ایستگاه همدیدی قائن با استفاده از توابع مفصل دومتغیره پرداخته شده است. در این تحقیق از ۲۱ تابع مفصل برای انتخاب تابع مفصل مناسب استفاده شده است که روابط و جزئیات آنها در جدول ۲ آورده شده است. با انتخاب تابع مفصل مناسب می‌توان احتمال وقوع خشک‌سالی‌های با شدت و تداوم مشخص را تعیین نمود که در مدیریت منابع آب گامی اساسی و مهم می‌باشد.

مواد و روش‌ها



شکل ۱. موقعیت ایستگاه هواشناسی قائن در استان خراسان جنوبی

Fig. 1. The Location of Qaen's meteorological station in South Khorasan Province



شکل ۲. تغییرات میانگین بارش روزانه طی ماه‌های مورد مطالعه در ایستگاه قائن طی سال‌های ۱۹۹۸-۲۰۱۸

Fig. 2. Mean daily rainfall changes during the studied months in Qaen's station during 1998-2018

است. در مقیاس‌های زمانی کوتاه‌تر، مقادیر SPI با فرکانس بالا (دوره‌های کوتاه‌تر) می‌توانند دوره‌های خشک‌سالی مهم‌تر را پنهان کنند (Vicente-Serrano & Lopez-Moreno, 2005).

پس از تعیین مقدار این شاخص، بر اساس جدول (۱) وضعیت منطقه موردبررسی، از نظر وضعیت خشک‌سالی مشخص می‌گردد. همان‌گونه که در جدول ۱ مشخص است و بر اساس تعریف، پدیده خشک‌سالی در یک منطقه زمانی به وقوع می‌پیوندد که مقدار شاخص SPI از صفر کوچک‌تر باشد (Loukas & Vasiliades, 2004).

جدول ۱. تقسیم‌بندی وضعیت خشک‌سالی بر اساس شاخص SPI

Table 1. Classification of drought condition based on SPI index

SPI	وضعیت خشک‌سالی
بین صفر و ۰/۹۹-	ملایم
بین ۱- و ۱/۴۹-	متوسط
بین ۱/۵- و ۱/۹۹-	شدید
کمتر از ۲-	خیلی شدید

استفاده از یک متغیر، توصیف کامل‌تری را از وضعیت خشک‌سالی در منطقه ارائه می‌دهد.

بررسی همبستگی متغیرها

از نقاط قوت تحلیل با استفاده از توابع مفصل این است که این توابع نیاز به استقلال متغیرها ندارند و همبستگی بین متغیرهای موردبررسی، امکان تحلیل با استفاده از توابع مفصل را فراهم می‌سازد. از طرفی معیارهایی مانند ضریب همبستگی پیرسون تنها همبستگی خطی را لحاظ می‌نماید و نمی‌تواند به‌عنوان معیار مناسب برای توزیع‌های دومتغیره حدی مورداستفاده قرار گیرد (جوئی، ۱۹۹۷). برای غلبه بر عیوب روش همبستگی پیرسون، برخی روش‌های ناپارامتریک مانند τ کندال و همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن توسط محققین مورداستفاده قرار گرفته است (جوئی، ۱۹۹۷). بنابراین برای بررسی همبستگی بین شدت و مدت خشک‌سالی هواشناسی در ایستگاه همدیدی قائن از معیار همبستگی تاو-کندال و اسپیرمن-رو استفاده گردید که در نرم‌افزار آماری R محاسبه گردیدند. محدوده ضریب τ کندال و

شاخص‌های مختلفی برای شناسایی و پیش‌خشک‌سالی معرفی شده‌اند که دو شاخص شدت خشک‌سالی پالمر (PDSI) و شاخص بارش استاندارد شده (SPI) شاخص‌هایی هستند که بیشتر برای توصیف خشک‌سالی مورداستفاده قرار می‌گیرند (Mishra and Singh, 2009). در این تحقیق برای تعیین خشک‌سالی از شاخص SPI و بازه‌های زمانی ۱۲ ماهه استفاده گردید که با استفاده از داده‌های بارش مشاهده‌ای تعیین گردید. به‌طور کلی، تحلیل مقیاس‌های زمانی شاخص بارش استاندارد (SPI) بیشتر از ۶ ماه، برای تفکیک خشک‌سالی‌های اصلی دارای اهمیت

یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های این شاخص تعیین زمان شروع و خاتمه خشک‌سالی و در نتیجه مدت حاکم بودن پدیده در منطقه می‌باشد. همچنین شدت خشک‌سالی نیز با جمع مقادیر SPI در بازه مورد نظر تعیین می‌گردد و از طرفی کوچک‌ترین مقدار SPI حداکثر شدت در زمان مشخص را نشان می‌دهد.

مدت خشک‌سالی بیانگر مدت زمانی است که شاخص خشکی مورداستفاده به‌صورت پیوسته کمتر از صفر بوده است. از طرف دیگر با استفاده از رابطه زیر می‌توان شدت خشکی را در یک محل تعیین نمود:

$$S = - \sum_{i=1}^D SPI_i \quad (1)$$

که در آن D بیانگر مدت خشک‌سالی و S شدت خشک‌سالی در بازه حکم‌فرما بودن خشکی را نشان می‌دهد. با توجه به وجود همبستگی بین مشخصه‌های خشک‌سالی، از تحلیل دومتغیره برای لحاظ نمودن اثر هر دو مشخصه خشک‌سالی استفاده شد که در مقایسه با بررسی خشک‌سالی تنها با

توزیع‌های توأم متغیر X به صورت زیر بیان می‌شود:

$$[H(x_1, \dots, x_n)] = P[X_1 \leq x_1, X_2 \leq x_2, \dots, X_n \leq x_n] \quad (2)$$

و تابع مفصل دومتغیره با استفاده از معادله زیر تعریف می‌شود:

$$(F_{xy}(x, y) = C(F_X(x), F_Y(y)) \quad (3)$$

که در این رابطه، x و y متغیرهای تصادفی پیوسته، F_{xy} تابع توزیع دومتغیره و F_X و F_Y توابع حاشیه‌ای هستند. بنابراین تابع مفصل دومتغیره برای شدت و مدت خشک‌سالی به‌قرار زیر خواهد بود:

$$((C(u, v) = F_{DS}(d, s) = C(F_D(d), F_S(s)) \quad (4)$$

که در این معادله s و d به ترتیب شدت و مدت خشک‌سالی و F_D و F_S توابع توزیع حاشیه‌ای مدت و شدت خشک‌سالی می‌باشند. مشخصات توابع مفصلی که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته‌اند در جدول (۲) نشان داده شده است.

اسپیرمن-رو در بازه $[-1, 1]$ است که ۱ همگامی کامل، ۰ ناهمگامی کامل و صفر بدون همگامی را بیان می‌نماید.

تابع مفصل

تابع مفصل تابعی است که برای برقراری ارتباط بین دو یا چند متغیر با توزیع‌های حاشیه‌ای متفاوت و یک بعدی مورد استفاده قرار می‌گیرد. توابع مفصل عموماً قادر به ترکیب انواع توابع توزیع احتمال حاشیه‌ای متفاوت می‌باشند چراکه برای ساخت توزیع احتمال چند متغیره، توزیع‌های حاشیه‌ای می‌توانند به صورت مجزا انتخاب گردند. پایه‌گذاری این توابع بر اساس تئوری اسکالر می‌باشد که در ادامه توصیف می‌گردد (Omid et al., 2007):

هرگاه X_1, X_2, \dots, X_n متغیرهای تصادفی پیوسته n بعدی با توزیع‌های حاشیه‌ای $(F(x_i) = P_x(X_i \leq x_i))$ باشد،

جدول ۲. مشخصات توابع مفصل مورد بررسی در این تحقیق (Sadeh et al., 2017)

Table 2. Specifications of copula functions studied in this research (Sadeh et al., 2017)

RMSE	رابطه ریاضی	تابع مفصل
0.155	$\int_{-\infty}^{\theta^{-1}(u)} \int_{-\infty}^{\theta^{-1}(v)} \frac{1}{2\pi\sqrt{1-\theta^2}} e^{\left(\frac{2\theta xy - x^2 - y^2}{2(1-\theta^2)}\right)} dx dy$	گوسین
0.144	$\int_{-\infty}^{t_{\theta_2}^{-1}(u)} \int_{-\infty}^{t_{\theta_2}^{-1}(v)} \frac{\Gamma\left(\frac{\theta_2+2}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{\theta_2}{2}\right)\pi\theta_2\sqrt{1-\theta_1^2}} \left(1 + \frac{x^2 - 2\theta_1 xy + y^2}{\theta_2}\right)^{\frac{\theta_2+2}{2}} dx dy$	تی-استیودنت
0.3	$(u^{-\theta} + v^{-\theta} - 1)^{\frac{-1}{\theta}}$	کلایتون
0.13	$\frac{-1}{\theta} \ln \left[1 + \frac{(e^{-\theta u} - 1)(e^{-\theta v} - 1)}{e^{-\theta} - 1} \right]$	فرانک
0.121	$e^{-[(-\ln(u))^\theta + (-\ln(v))^\theta]^{\frac{-1}{\theta}}}$	گامبل-هوگارد
0.443	$\frac{uv}{1 - \theta(1-u)(1-v)}$	علی-میخائیل-حق
0.0902	$1 - [(1-u)^\theta + (1-v)^\theta - (1-u)^\theta(1-v)^\theta]^\theta$	جوئی
0.521	$uv[1 + \theta(1-u)(1-v)]$	FGM ¹
0.121	$uve^{-\theta \ln uv}$	گامبل-بارنت
0.139	$\frac{[1 + (\theta - 1)(u + v)] - \sqrt{[1 + (\theta - 1)(u + v)]^2 - 4uv\theta(\theta - 1)}}{2(\theta - 1)}$	پلاکت

1. Farlie-Gumbel-Morgenstern

0.117	$[\min(u, v)]^\theta (uv)^{(1-\theta)}$	کوادرانس- اگی ^۱
0.149	$\begin{cases} u - \frac{1-\theta}{1+\theta} u^{\frac{1}{1-\theta}} \left(v^{\frac{-\theta}{1-\theta}} - v^{\frac{1}{1-\theta}} \right), & \text{if } u \leq v \\ v - \frac{1-\theta}{1+\theta} v^{\frac{1}{1-\theta}} \left(u^{\frac{-\theta}{1-\theta}} - u^{\frac{1}{1-\theta}} \right), & \text{if } v \leq u \end{cases}$	رافتری
0.123	$\begin{cases} (1-\theta)uv + \theta \min(u, v), & \text{if } \theta \in (0, \infty) \\ (1+\theta)uv + \theta(u+v-1)\Psi(u+v-1) \end{cases}$	شیه- لوئیس
0.704	$uv[1 + \theta(u-1)(v-1)(2u-1)(2v-1)]$	مکعبی
0.0928	$u + v - 1 + [(1-u)^{\frac{-1}{\theta}} + (1-v)^{\frac{-1}{\theta}} - 1]^{-\theta}$	بور
0.107	$uv e^{[-\ln u]^{-\theta} + [-\ln v]^{-\theta}]^{\frac{-1}{\theta}}}$	گلامبوس
0.194	$\min [u^{(1-\theta_1)} v, uv^{(1-\theta_2)}]$	مارشال- الکین
0.521	$\{\theta_1 [\min(u, v)]^{\theta_2} + (1-\theta_1) [uv]^{\theta_2}\}^{\frac{1}{\theta_2}}$	فیشر- هینزمن
0.1	$e^{1 - [((1-\ln(u))^{\theta_1-1})^{\theta_2} + ((1-\ln(v))^{\theta_2})^{\frac{1}{\theta_2}+1}]^{\frac{1}{\theta_1}}}$	روچ-الگر
0.521	$uv [1 + \theta_2 \left(1 - u^{\frac{1}{\theta_1}}\right) \left(1 - v^{\frac{1}{\theta_1}}\right)]^{\theta_1}$	فیشر- کوک
0.107	$\{1 + [(u^{-\theta_1} - 1)^{\theta_2} + (v^{-\theta_1} - 1)^{\theta_2}]^{\frac{1}{\theta_2}}\}^{\frac{-1}{\theta_1}}$	BB1
0.107	$e^{-[(-\ln(u))^{\theta_1} + (-\ln(v))^{\theta_1} - ((-\ln(u))^{-\theta_1})^{\theta_2} + ((-\ln(v))^{-\theta_1})^{\theta_2}]^{\frac{-1}{\theta_1}}}$	BB5
0.107	$e^{\ln(u^{1-\theta_1}) + \ln(v^{1-\theta_2}) - [(-\theta_1 \ln(u))^{\theta_3} + (-\theta_2 \ln(v))^{\theta_3}]^{\frac{1}{\theta_3}}}$	تان

تحقیق برای ارزیابی نکویی برآزش توابع مفصل اشاره شده، از شاخص معیار آکائیک (AIC) استفاده گردید که در ادامه آمده است (ژانگ و سینگ، ۲۰۰۶):
که در آن k تعداد پارامتر و Ln ML تابع لگاریتم حداکثر درست نمایی می‌باشد.

$$AIC = -2\ln ML + 2k \quad (۶)$$

نتایج و بحث

در این بخش نتایج تحلیل شدت و مدت خشک‌سالی در ایستگاه سینوپتیک قائن با استفاده از توابع مفصل ارائه می‌شود. در اولین گام پس از کنترل کیفی داده‌ها، لازم است تا شاخص SPI با استفاده از داده‌های بارش مشاهداتی ماهانه ایستگاه تعیین گردد که نمودار آن در شکل (۳) نشان داده شده است. با توجه به اینکه شدت و مدت خشک‌سالی، متغیرهای مورد بحث در این مطالعه می‌باشند، لذا این دو پارامتر با استفاده از روابط و خروجی SPI مرحله قبل تعیین گردید.

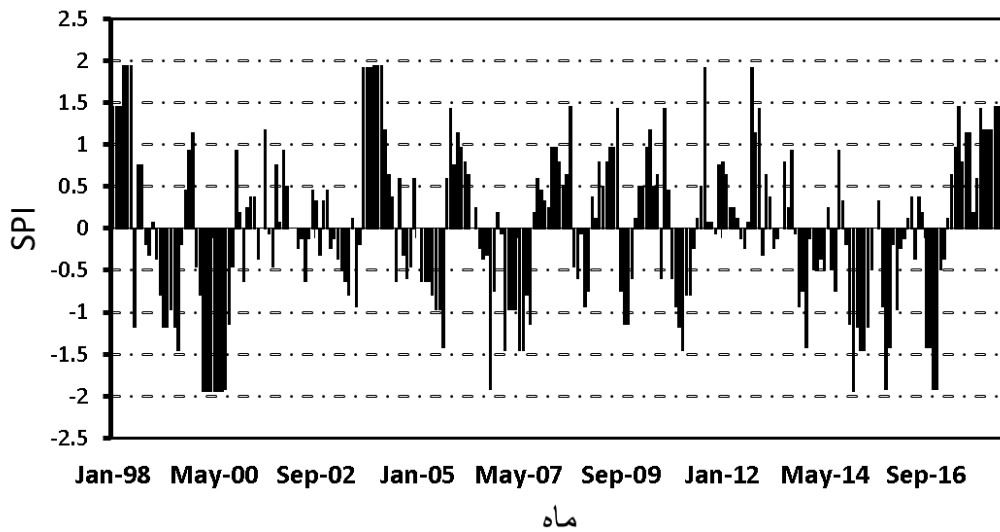
برآورد پارامترها و آزمون نکویی برآزش توابع مفصل

در این تحقیق به منظور تعیین توابع توزیع احتمال حاشیه‌ای، از روش تابع استنتاجی برای حاشیه‌ها در تخمین پارامتر وابستگی مفصل استفاده گردید که توسط جوئی^۲ (Joe, 1997) توسعه داده شد. در این روش، ابتدا توزیع حاشیه‌ای داده‌های مشاهداتی مشخص می‌گردد و در گام بعد پارامتر θ تابع مفصل با استفاده از بیشینه‌سازی تابع درست نمایی تعیین می‌گردد. از رابطه زیر تابع لگاریتم درست نمایی قابل برآورد می‌باشد (Salvadori et al., 2007):

$$L(\theta) = \sum_{k=1}^n \log(c(u, v)) = \sum_{k=1}^n \log[c(F_D(d), F_S(s))] \quad (۵)$$

که در آن n تعداد داده‌ها، $F_D(d)$ و $F_S(s)$ به ترتیب توابع توزیع حاشیه‌ای متغیرهای مدت (d) و شدت (s) خشک‌سالی و c تابع چگالی مفصل می‌باشد. در این

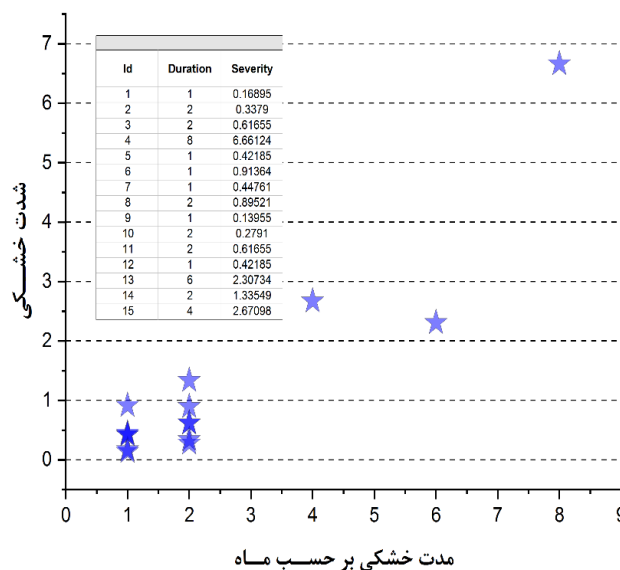
1. Cuadras-Auge
2. Joe



شکل ۳. نمودار تغییرات شاخص SPI در مقیاس ماهانه در ایستگاه سینوپتیک قائن
 Fig. 3. Changes of SPI index in monthly time scale in Qaen's synoptic station

پارامترها در قالب جدول ضمیمه شکل (۴) شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود شدت خشک‌سالی ۶/۶۶ با تداوم ۸ ماه شدیدترین خشک‌سالی هواشناسی اتفاق افتاده در بازه زمانی ۱۹۹۸-۲۰۱۸ بوده است.

پس از تعیین مقادیر شاخص خشک‌سالی هواشناسی SPI از آزمون ران-تست با هدف تعیین شدت و مدت خشکی استفاده گردید. نتایج حاصل از این آزمون در شکل (۴) نشان داده شده است. همچنین مقادیر این



شکل ۴. شدت-مدت خشک‌سالی بر اساس شاخص SPI در ایستگاه دیده‌بانی قائن
 Fig 4. Severity-Duration of drought dased on SPI index in Qaen's synoptic Station

شدت و مدت خشکی، برآزش تعدادی از توزیع‌ها با استفاده از آزمون آماری کاموگرف-اسمیرنوف در سطح معنی‌داری ۵ درصد انجام گرفت و نتایج نشان داد که تابع احتمال حاشیه‌ای پارتو^۱ و لوگ نرمال^۲ مناسب‌ترین

نتایج آزمون همبستگی تاو-کندال و اسپیرمن نیز مقادیر همبستگی بین شدت و مدت خشک‌سالی را به ترتیب ۰/۷۴ و ۰/۸۸ نشان داد که بیانگر اثر همسان گرد این متغیرها می‌باشد و لذا می‌توان از توابع مفصل برای ساخت مدل دو متغیره استفاده نمود. به‌منظور تعیین توزیع‌های حاشیه‌ای متغیرهای

1. Pareto
2. Lognormal

توزیع‌های احتمال، برای به ترتیب ویژگی‌های مدت و شدت خشک‌سالی در ایستگاه سینوپتیک قائن می‌باشند و پارامترهای این توزیع‌ها در جدول زیر آورده شده است:

جدول ۳. برازش توابع تک متغیره حاشیه‌ای مدت و شدت خشک‌سالی هواشناسی در ایستگاه قائن
Table 3. Fitting marginal univariate functions of duration and intensity of meteorological drought in Qaen's station

P-value	پارامترهای برآورد شده‌ی تابع	بهترین تابع برازش شده	متغیر
0.344	$a=0.95, b=1.00$	پرتو	مدت
0.653	$\mu=0.39, \sigma=1.35, \gamma=0.015$	لوگ نرمال	شدت

دست آمد. همچنین مقدار حداکثر درست‌نمایی نیز ۷/۸۷ تعیین شد. لذا تابع مفصل دو متغیر توأم با این پارامتر قابل توصیف است. سایر شاخص‌های ارزیابی نیز در جدول زیر آورده شده است:

نتایج بررسی تابع مفصل مناسب نشان داد که تابع جوئی بهترین نتایج نکویی برازش AIC را نشان داد که مقدار این شاخص برابر ۱۳/۷۴- تعیین گردید و مقدار پارامتر تابع مفصل جوئی نیز ۴- برابر ۳/۸۴ به

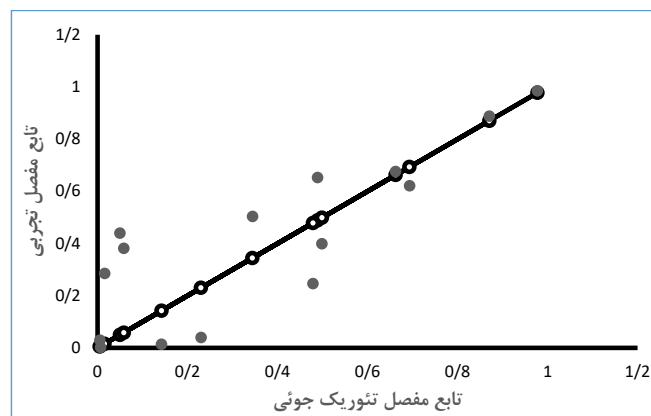
جدول ۴. مقادیر شاخص‌های ارزیابی در انتخاب تابع مفصل مناسب

Table 4. Values of evaluation indices in the selection of the appropriate joint function

P-value	NSE	RMSE	تابع مفصل انتخابی
۰/۲۷	۰/۹۹۶	۰/۰۶۷۲	جوئی

مطلوبی می‌باشند.

همان‌طور که مشاهده می‌شود شاخص‌های ارزیابی در انتخاب تابع مفصل جوئی، دارای مقادیر عملکردی

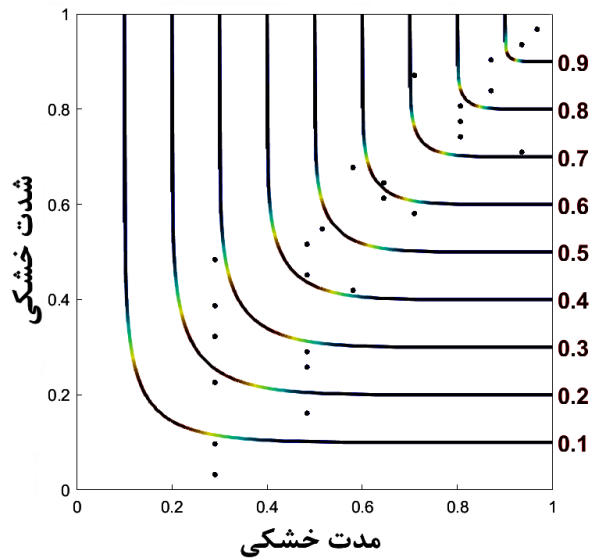


شکل ۵. تابع مفصل تجربی برحسب تابع مفصل جوئی در ایستگاه قائن

Fig 5. The joint experimental function based on the Joe joint function in Qaen's station

برازش زاویه ۴۵ درجه نشان داد که بین مقادیر تجربی و تئوری همخوانی مناسبی برقرار می‌باشد.

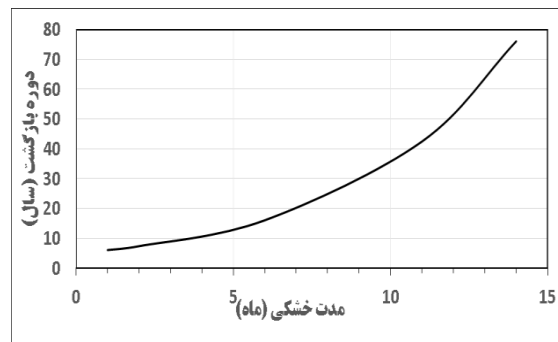
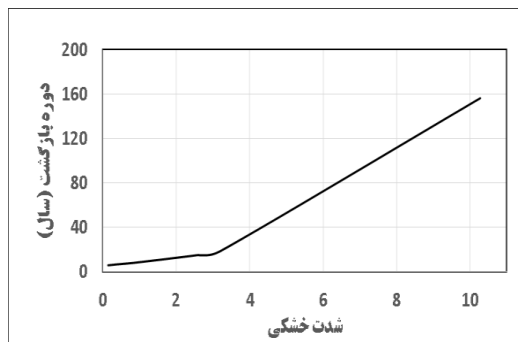
در شکل ۵ مقادیر توابع مفصل تجربی و تابع مفصل جوئی در مقابل یکدیگر رسم شده‌اند. همچنین خط



شکل ۶. منحنی احتمال وقوع شدت-مدت خشک‌سالی تجربی و برازش شده با استفاده از تابع مفصل جوئی در ایستگاه قائن
Fig 6. Empirical probability curve of severity-duration drought event using the Joe joint function in Qaen's station

که در این شکل نشان داده می‌شود این تابع مفصل برازش شده همخوانی مناسبی با مقادیر تجربی دارد. بنابراین این تابع مفصل مناسب می‌باشد.

شکل ۶ منحنی احتمال وقوع شدت-مدت خشک‌سالی تجربی را در برابر مقادیر مستخرج شده از تابع مفصل جوئی را در برابر همدیگر نشان می‌دهد. همان گونه



شکل ۷. منحنی دوره بازگشت شدت و مدت خشک‌سالی هواشناسی برای ایستگاه همدیدی قائن
Fig7. The return period of the intensity - duration meteorological drought curve for Qaen's station

در تحلیل برای طرح‌های کوتاه مدت مبنای محاسبات دوره بازگشت‌های کوچک‌تر و در تحلیل برای دوره‌های بلندمدت مبنای طراحی دوره بازگشت‌های بزرگ‌تر مدنظر است که در این پژوهش هر دو دوره بازگشت بررسی گردید. نتایج حاصل از داده‌های تولیدی حاکی از آن است که حداقل در دوره‌های آتی برای شدت و مدت‌های مشخص احتمال رخ دادن حداقل خشک‌سالی‌هایی دوره مشابه‌های تاریخی وجود خواهد داشت. آگاهی از دوره بازگشت‌های بر اساس داده‌های تاریخی

همان طور که در منحنی‌های دوره بازگشت شکل ۷ مشاهده می‌شود با افزایش مقادیر شدت و مدت خشک‌سالی دوره بازگشت خشک‌سالی‌ها نیز افزایش می‌یابد، که این موضوع نیز با مبنای تحلیل‌های هیدرولوژیک مطابقت دارد، چرا که از دیدگاه هیدرولوژیک احتمال رخداد وقایع شدید نظیر خشک‌سالی، سیلاب در طول یک بازه زمانی طویل وجود دارد. چرا که عنصر زمان به عنوان مهم‌ترین عامل در تحلیل دوره بازگشت‌ها در مسائل هیدرولوژی و منابع آب می‌باشد،

- characteristics encompassing climate indices over the Himalayan states in India. *Journal of Hydrology*, 580, 124356. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124356>.
- Farrokhnia, A. & Morid, S. (2008). Analysis of drought severity and duration using Copula functions. 4th National Congress on Civil Engineering, 6-8 May [In Persian]
- Joe, H. (1997). Multivariate models and multivariate dependence concepts. CRC press.
- Loukas, A. & Vasiladias, L. (2004). Probabilistic analysis of drought spatiotemporal characteristics in Thessaly region, Greece. *Natural Hazards and Earth System Science*, 4, 719-731. <https://doi.org/10.5194/nhess-4-719-2004>.
- Madadgar, S., & Moradkhani, H. (2013). Drought analysis under climate change using copula. *Journal of Hydrologic Engineering*, 18(7), 746-759. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.000053](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.000053).
- Mesbahzadeh, T., Mirakbari, M., Mohseni Saravi, M., Soleimani Sardoo, F., & Miglietta, M. M. (2020). Meteorological drought analysis using copula theory and drought indicators under climate change scenarios (RCP). *Meteorological Applications*, 27(1). <https://doi.org/10.1002/met.1856>.
- Mirabbasi, R., Anagnostou, E., Fakheri-Fard, A., Dinpashoh, Y. & Eslamian, S. (2013). Analysis of meteorological drought in northwest Iran using the Joint Deficit Index. *Journal of Hydrology*, 492, 35-48. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.04.019>.
- Mirabbasi, R., Fakheri-Fard, A. & Dinpashoh, Y. (2012). Bivariate drought frequency analysis using the copula method. *Theoretical and Applied Climatology*, 108(1-2), 191-206. <https://doi.org/10.1007/s00704-011-0524-7>.
- Mishra, A., Singh, V. P. & Desai, V. (2009). Drought می‌تواند اطلاعات مفیدی را در اختیار مهندسان منابع آب، محیط زیست و سایر حوزه‌های مرتبط با علوم آب قرار دهد.
- نتیجه‌گیری**
- در این تحقیق تحلیل دو مشخصه اصلی خشک‌سالی شامل مدت و شدت خشک‌سالی با استفاده از توابع مفصل دومتغیره در ایستگاه هواشناسی قائن صورت گرفت. شاخص خشک‌سالی بارش استاندارد شده و آزمون ران تست به ترتیب برای تفکیک وقوع خشک‌سالی و نیز شدت-مدت آن‌ها مورداستفاده قرار گرفتند. توزیع‌های حاشیه‌ای متغیرهای شدت و مدت خشکی، آزمون آماری اندرسون-دارلینگ در سطح معنی‌داری ۵ درصد انجام گرفت و نتایج نشان داد که توابع احتمال حاشیه‌ای پرتو و لوگ نرمال مناسب‌ترین توزیع‌های احتمال، برای به ترتیب ویژگی‌های مدت و شدت خشک‌سالی در ایستگاه سینوپتیک قائن می‌باشند.
- همچنین نتایج بررسی تابع مفصل مناسب برای دو مشخصه شدت و مدت خشکی نشان داد که تابع جوئی بهترین نتایج نکویی برازش AIC را دارد و مقدار پارامتر تابع مفصل جوئی نیز برابر ۳/۸۴ به دست آمد. همچنین مقدار حداکثر درست‌نمایی نیز ۷/۸۷ تعیین شد. لذا تابع مفصل دو متغیر توأم با این پارامتر قابل توصیف می‌باشد که با نتایج آمیدی و همکاران (Omidi, et al., 2010) همخوانی دارد. همچنین احتمال توأم وقوع خشک‌سالی با دوره برگشت متناظری در شدت و مدت خشک‌سالی محاسبه گردید.
- منابع**
- Bazrafshan, O., Zamani, H. & Shekari, M. (2020). A copula-based index for drought analysis in arid and semi-arid regions of Iran. *Natural Resource Modeling*, 33(1), e12237. <https://doi.org/10.1111/nrm.12237>.
- Chen, L., & Guo, S. (2019). Copulas and its application in hydrology and water resources. Springer Singapore.
- Das, J., Jha, S. & Goyal, M. K. (2020). Non-stationery and copula-based approach to assess the drought

- research*), 11(3), 59-75. <https://doi.org/10.30495/wsrcj.2022.19226>. [In Persian].
- Naderi, K., Moghdasi, M., Shukri, A., & Ahmadi, F. (2021). Analyzing the effect of the length of the statistical period on the probability of drought using the detailed functions approach (case study: Arak synoptic station). *Iran Water and Soil Research*, 52(9), 2427-2440. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2021.324692.668986>. [In Persian].
- Omidi, M., Mohammadzadeh, M., & Murid, S. (2010). Probabilistic analysis of severity-duration of drought in Tehran province using detailed functions. *Iran Water and Soil Research*, 41(1), 95-101. <https://doi.org/20.1001.1.2008479.1389.41.1.10.9>. [In Persian].
- Sadegh, M., Ragno, E., & AghaKouchak, A. (2017). Multivariate C copula A analysis T toolbox (Mv-CAT): describing dependence and underlying uncertainty using a Bayesian framework. *Water Resources Research*, 53(6), 5166-5183. <https://doi.org/10.1002/2016WR020242>.
- Sajeev, A., Deb Barma, S., Mahesha, A., & Shiau, J. T. (2021). Bivariate drought characterization of two contrasting climatic regions in India using copula. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 147(3). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0001536](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0001536).
- Salvadori, G., De Michele, C., Kottegoda, N. T., & Rosso, R. (2007). *Extremes in nature: an approach using copulas* (Vol. 56). Springer Science & Business Media.
- Shiau, J.T. (2006). Fitting drought duration and severity with two-dimensional copulas. *Water resources management*, 20(5), 795-815.
- Sklar, M. (1959). Functions de repartition an dimensions et leurs marges. *Publ. inst. statist. univ.Paris*, 8, 229-231.
- characterization: a probabilistic approach. *Stoch Environment Research Risk A*, 23(1), 41-55. <https://doi.org/10.1007/s00477-007-0194-2>.
- Moradzadeh Rahmatabadi, S., Irandoust, M., & Mirabbasi Najafabadi, R. (2022). Bivariate Frequency Analysis of Rainfall Characteristics Using Archimedean Copula Functions (Case Study: Khanmirza Watershed in Chaharmahal and Bakhtiari Province). *Journal of Water and Soil Resources Conservation*, 11(3),59-75.<https://doi.org/10.30495/wsrcj.2022.19226>. [In Persian].
- MotevaliBashi Naeini, E., Akhond Ali, A. M., Radmanesh, F., Sharifi, M., & Abedi Koupaei, J. (2019). Zoning map of drought characteristics under climate change scenario using copula method in the Zayandeh Roud River Catchment. *Irrigation Sciences and Engineering*, 42(1), 145-160. <https://doi.org/10.22055/jise.2017.20611.1485>. [In Persian].
- Mousavi Nadoushani, S.S., Alimohammadi, S., Ahani, A., Behrouz, M., & Mousavi, S. M. (2017). Analysis of the frequency of the bivariate drought in the Qarasu-Gorganrood watershed using detailed functions. *Journal of Water & Soil Protection Research*, 25(4), 75-91. <https://doi.org/10.22069/jwsc.2018.14689.2964>. [In Persian].
- Muntaseri, M., Amir Attai, b. & Rezaei, H. (2016). Copula-Based Regional Drought Analysis and Derivation of Severity-Area-Frequency Curve in Lake Urmia Basin, *Water and soil journal*, 31(4), 1260-1277. <https://doi.org/10.22067/jsw.v31i4.60382>. [In Persian].
- Murad Zadeh Rahmat-Abadi, S., Irandoost, M., & MirAbbasi, R. (2022). Bivariate Frequency Analysis of Rainfall Characteristics Using Archimedean Joint Functions (Case Study: Khanmirza Basin in Chaharmahal and Bakhtiari Province). *Protection of water and soil resources (scientific*

- Tosunoglu, F. & Kisi, O. (2016). Joint modeling of annual maximum drought severity and corresponding duration. *Journal of Hydrology*, 543: 406-422.
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.10.018>.
- Vicente-Serrano, S. M., & López-Moreno, J. I. (2005). Hydrological response to different time scales of climatological drought: an evaluation of the Standardized Precipitation Index in a mountainous Mediterranean basin. *Hydrology and earth system sciences*, 9(5), 523-533. <https://doi.org/10.5194/hess-9-523-2005>.
- Won, J., Choi, J., Lee, O., & Kim, S. (2020). Copula-based Joint Drought Index using SPI and EDDI and its application to climate change. *Science of the Total Environment*, 744, 140701. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140701>.
- Zhang, L., & Singh, VP. (2006) Bivariate flood frequency analysis using the copula method. *J Hydrologic Engineering*, 11(2), 150-164. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1084-0699\(2006\)11:2\(150\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0699(2006)11:2(150)).



Investigation of Iran's Temperature Changes Compared to the Past Long-Term Climatic Standard Period

Masoumeh Fakhri

Agricultural Planning, Economics and Rural Development Research Institute (APERDRI), Tehran, Iran.

*Corresponding Author: m.fakhri@agri-peri.ac.ir

Keywords:

Temperature changes, Iran, Agriculture.

Introduction

Natural phenomena and human activities are considered among the most important factors influencing global temperature changes. These changes can occur either naturally or due to human activities, such as the emission of greenhouse gases. Given the significance of temperature changes and their impact on climate change, this article aims to thoroughly examine temperature changes in Iran over standard climatic periods and analyze their effects on various sectors, particularly agriculture.

Materials and methods

The main objective of this research is to study the trend of temperature changes in the country at three levels: 1) temperature changes across the country, 2) analysis of the overall causes of temperature rise, and 3) analysis of the opportunities and threats posed by rising temperatures in the agricultural sector.

This research employs a mixed methodology that includes both quantitative and qualitative approaches. At the first level, the country's temperature changes are analyzed using network data from the CRU database, which is a reliable source of global climate data. These data cover two standard climatic periods: 1961-1990 and the recent period of 1990-2020. Temperature analyses have been conducted using statistical methods based on average, maximum, and minimum temperature data.

At the second level, a qualitative research approach has been utilized to investigate the general causes of temperature rise in the country. This analysis examines the effects of greenhouse gases, land-use changes, and other human and natural factors.

At the third level, the research evaluates the potential opportunities and threats arising from increased temperatures in the agricultural sector. Since agriculture is one of the most important economic sectors in the country and is highly affected by temperature changes, this level specifically addresses the impact of temperature on agriculture.

Results and Discussion

The results of the study indicate a clear rise in temperature during the recent period

Received:

07 March 2024

Revised:

20 September 2024

Accepted:

20 September 2024

How to cite this article:

Fakhri, M.. (2024). Investigation of Iran's Temperature Changes Compared to the Past Long-Term Climatic Standard Period. *Journal of Drought and Climate change Research*, 2(3), 17-32. [10.22077/jdcr.2024.7392.1062](https://doi.org/10.22077/jdcr.2024.7392.1062)



compared to the standard climatic period. The average annual temperature, as well as the average minimum and maximum temperatures, show a significant increase during the period 1990-2020 compared to 1961-1990. This temperature rise is particularly noticeable during the warmer months of the year (June and August), and the increase in average minimum temperature has been greater than the rise in maximum temperature.

In cold and temperate regions, rising temperatures may lead to longer growing seasons for plants. This allows farmers to cultivate crops with longer growing periods and higher yields. The increase in temperature in these regions can also lead to a shift in planting patterns and the possibility of growing heat-tolerant crops, offering new opportunities for farmers.

On the other hand, rising temperatures in warmer regions bring threats such as increased evaporation and evapotranspiration, reduced soil moisture, and increased demand for water resources. These conditions can lead to reduced agricultural productivity and higher irrigation and resource management costs. Additionally, the temperature rise creates favorable conditions for the multiplication and spread of harmful insects, which can cause serious damage to the agricultural sector. Furthermore, increased temperatures can raise cooling costs for greenhouses and reduce overall productivity.

The results of this study show that the temperature rise in Iran in recent periods is clearly evident. This increase in temperature can have both positive and negative effects on various sectors of the country, particularly agriculture. In colder regions, rising temperatures provide opportunities to improve agricultural performance and expand cultivated areas. However, in warmer regions, the temperature increase poses threats such as increased evaporation, greater water demand, and the spread of pests and diseases, all of which can lead to decreased agricultural productivity.

Conclusion

To mitigate the negative impacts of these changes, it is essential to adopt appropriate policies in natural resource management and sustainable agriculture. These policies should include smart water resource management, the use of modern agricultural technologies, and the promotion of renewable energy. Additionally, educating farmers to adapt to new conditions and use temperature-resistant seeds can help improve agricultural performance.

In conclusion, this study emphasizes that temperature changes require serious attention and long-term planning to minimize their harm and properly capitalize on the opportunities they present.



بررسی وضعیت تغییرات دمایی کشور نسبت به دوره استاندارد اقلیمی بلندمدت گذشته

معصومه فخری

مؤسسه پژوهش‌های برنامه‌ریزی، اقتصاد کشاورزی و توسعه روستایی، تهران، ایران.

*نویسنده مسئول: m.fakhri@agri-peri.ac.ir

واژه‌های کلیدی:

تغییرات دما، ایران، کشاورزی.

چکیده

پدیده‌های طبیعی و فعالیت‌های انسانی، دو عامل اساسی در تغییرات دما در جهان محسوب می‌شوند. تغییرات دما می‌تواند به دو صورت طبیعی یا ناشی از فعالیت‌های انسانی (مانند انتشار گازهای گلخانه‌ای (رخ دهد). با توجه به اهمیت تغییرات دمایی و ارتباط آن با تغییرات اقلیمی، این مقاله با بهره‌گیری از روش‌شناسی مبتنی بر روش تحلیلی و توصیفی سه سطحی در سطح اول تغییرات دمایی در پهنه کشور با بهره‌گیری از داده‌های شبکه‌ای پایگاه CRU و اتکا بر روش تحقیق کمی، در سطح دوم واکاوی علل کلی افزایش دما در کشور با اتکا به روش تحقیق کیفی و در آخرین سطح، واکاوی فرصت‌ها و تهدیدهای ناشی از افزایش دما در بخش کشاورزی با اتکا به روش تحقیق کیفی را بررسی کرده است. که نتایج نشان می‌دهد که افزایش دما در متوسط حداقل دما و حداکثر دما در دوره سی ساله اخیر نسبت به دوره استاندارد اقلیمی انتخابی کاملاً مشهود بوده است. افزایش دما در حداقل دما نسبت به دوره استاندارد اقلیمی انتخابی در عین اینکه افزایشی بوده است، نسبت به حداکثر دما نیز بسیار بیشتر بوده است. افزایش دما در نواحی با محدودیت رشد به دلیل سرما (همچون نواحی معتدل و سرد)، ممکن است باعث گسترش فصل رشد شود و این امکان را فراهم کند که ارقام با دوره رشد طولانی‌تر و عملکرد بالاتر کشت شوند. از سوی دیگر اثرات مثبت، بیشتر در عرض‌های جغرافیایی بالا (مناطق سردسیر) صادق است. این موضوع، فرصتی را برای گسترش تولید محصولات کشاورزی و افزایش تنوع کاشت فراهم می‌کند. همچنین افزایش دما می‌تواند به کشاورزان مناطق سردسیر این امکان را بدهد که الگوی کاشت خود را تغییر داده و محصولات گرمادوست را نیز کشت نمایند. تهدیداتی همچون افزایش تبخیر، افزایش تبخیر-تعرق و ایجاد شرایط برای تکثیر و ازدیاد جمعیت حشرات مضر و افزایش هزینه‌های سرمایه‌بندی گلخانه‌ها و موارد دیگری را به همراه داشته باشد.

تاریخ دریافت:

۱۴۰۲/۱۲/۱۷

تاریخ ویرایش:

۱۴۰۳/۰۶/۳۰

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۳/۰۶/۳۰

مقدمه

فعالیت‌های بشر و به تبع آن گرمایش جهانی و پدیده تغییر اقلیم یکی از چالش‌های جدی بشر می‌باشد که ابعاد گسترده‌ای به همراه دارد. مفهوم تغییر دما به بررسی میزان تغییر دما در طول زمان در مقیاس‌های مختلف، مانند مقیاس روزانه، فصلی، سالانه، دهه‌ای یا حتی قرن‌ی اشاره دارد. تغییرات دما ممکن است به صورت طبیعی و یا به علت فعالیت‌های انسانی مثل انتشار گازهای گلخانه‌ای رخ دهد که می‌تواند تأثیرات گسترده‌ای بر محیط زیست، کشاورزی، شرایط آب و هوایی، جوامع انسانی و اقتصاد داشته باشد. گازهای گلخانه‌ای، گرمای خورشید را به دام می‌اندازد و این امر منجر به گرم شدن کره زمین و تغییر اقلیم می‌شود. افزایش دما در طول زمان، الگوهای آب و هوا را تغییر داده و تعادل معمول طبیعت را به هم می‌زند. این امر، خطرات بسیاری را برای انسان‌ها و سایر اشکال حیات روی زمین به همراه دارد. از عوامل مهم انسانی تغییرات دما در جهان می‌توان به استفاده از سوخت‌های فسیلی، تغییر کاربری اراضی، تخریب جنگل‌ها و افزایش ساخت و سازها، مصرف بی‌رویه منابع پایه و غیره اشاره کرد که ابعاد گسترده‌ای داشته است (United Nations, 2024).

برای هزاران سال (احتمالاً بیش از یک میلیون سال)، آب و هوای زمین در حالت تعادل با غلظت دی‌اکسید کربن اتمسفر در حدود ۲۸۰ ppm بوده است. دی‌اکسید کربن (CO₂) در هوا اکنون در حال افزایش است و در حال حاضر به سطوحی رسیده است که به مدت میلیون‌ها سال وجود نداشته است (Hansen et al., 2023; Letcher, 2021). همچنین غلظت سایر گازهای گلخانه‌ای از جمله متان (CH₄)، اکسید نیتروژن (N₂O) و ازن تروپوسفر (O₃) نیز به بیشترین مقدار خود در ۶۵۰۰۰۰ سال گذشته رسیده‌اند، این گازهای گلخانه‌ای، به عنوان محرک‌های اصلی گرمایش زمین از اواسط قرن بیستم در نظر گرفته می‌شوند (Ainsworth et al., 2020) در بین اقلیم‌شناسان، این اتفاق نظر وجود دارد که روند گرمایشی که در طول قرن گذشته آن را تجربه کرده‌ایم، توسط هیچ‌یک از عوامل طبیعی شناخته‌شده، قابل توضیح نیست

(Thompson, 2010). این گرمایش، عمدتاً ناشی از فعالیت‌های انسانی در طول انقلاب صنعتی از جمله سوزاندن زغال‌سنگ و سایر سوخت‌های فسیلی برای نیرو دادن به کارخانه‌ها، کارخانه‌های ذوب و موتورهای بخار بوده که موجب افزایش گازهای گلخانه‌ای بیشتری در جو شده است (Rosen, 2021).

نتایج تحقیقات دانشمندان نیز حاکی از افزایش میانگین دمای سطح زمین به میزان ۱ درجه سانتی‌گراد در ۱/۵ قرن اخیر (از سال ۱۸۸۰) است (Herring & Lindsey, 2022). گرم شدن اقیانوس‌ها، ذوب شدن یخچال‌های طبیعی، بالا آمدن سطح آب دریاها و کاهش پوشش برف در نیمکره شمالی، شواهدی فراگیر و قابل توجه از افزایش دما هستند (D'Amato and Akdis, 2020). دمای جهانی در سال ۲۰۲۳ به سطوح فوق‌العاده بالایی رسید (ECMWF, 2024) و این سال، با دمای ۱/۱۸ درجه سانتی‌گراد که بالاتر از میانگین قرن بیستم بوده، به عنوان گرم‌ترین سال از زمان شروع ثبت جهانی در سال ۱۸۵۰ شناخته شده است. این مقدار، ۰/۱۵ درجه سانتی‌گراد بیشتر از رکورد قبلی ثبت‌شده در سال ۲۰۱۶ است. ۱۰ سال با بالاترین دما در رکورد ۱۷۴ ساله، همه در دهه گذشته (۲۰۱۴-۲۰۲۳) رخ داده‌اند (NOAA, 2024) و این شرایط در سال ۲۰۲۴ نیز تشدید شده است. یافته‌های سرویس تغییرات اقلیمی کوپرنیک^۱ نیز حاکی این است که میانگین دمای جهانی در ژانویه ۲۰۲۴، به میزان ۱/۶ درجه سانتی‌گراد بالاتر از سطح قبل از صنعتی شدن در این ماه بوده است (Hughes, 2024). لذا این داده‌ها نشان می‌دهند که میانگین افزایش دمای جهانی به سرعت در حال نزدیک شدن به ۱/۵ درجه سانتی‌گراد و گذر از آن است و برای پیشگیری از آسیب‌های محیط زیستی و اقتصادی، نباید از این مقدار فراتر برویم (Via, 2023).

اگرچه مدل‌های تصویرسازی شرایط دمایی آینده نشان می‌دهد که تغییرات دما به‌طور مساوی توزیع نمی‌شود و انتظار می‌رود که مناطق قطبی و مناطق خشکی شاهد بیشترین تغییرات باشند ولی داده‌های اقلیمی مشاهده‌شده در دهه‌های اخیر، به

1. Copernicus Climate Change Service (C3S)

مواد و روش‌ها

این پژوهش با رویکردی ترکیبی به بررسی تغییرات دمایی در ایران و پیامدهای آن پرداخته است. در سطح نخست، از روش کمی برای تحلیل روندهای دمایی در سطح ملی استفاده شده است. داده‌های دمایی سطح زمین از پایگاه داده CRU (واحد تحقیقات آب و هوایی)، یکی از معتبرترین منابع جهانی در این زمینه، استخراج شده است. این داده‌ها با وضوح مکانی 0.5×0.5 درجه و پوشش زمانی گسترده، امکان بررسی دقیق تغییرات دمایی در سرتاسر کشور را فراهم می‌آورند. برای تحلیل روندهای دمایی، از نرم‌افزار اکسل استفاده شده است. دوره‌های زمانی ۱۹۶۱-۱۹۹۰ به‌عنوان دوره پایه و دوره ۲۰۲۰ به‌عنوان دوره اخیر برای مقایسه در نظر گرفته شده‌اند. انتخاب این دوره‌ها به‌دلیل همخوانی با استانداردهای جهانی و پوشش تغییرات اقلیمی اخیر بوده است. پس از جمع‌آوری داده‌ها و پردازش، از نرم‌افزار اکسل برای تحلیل داده‌ها و رسم نمودارهای مختلف استفاده شد. از ترکیبی از نمودارهای خطی و ستونی برای نمایش بهتر تغییرات استفاده شد. سپس در سطح دوم واکاوی علل کلی افزایش دما در کشور با اتکا به روش تحقیق کیفی مد نظر قرار گرفته و در آخرین سطح واکاوی فرصت‌ها و تهدیدهای ناشی از افزایش دما در بخش کشاورزی با اتکا به روش تحقیق کیفی بررسی شده است.

سطح اول: تغییرات دمایی در پهنه کشور

در این پژوهش تغییرات دمایی بر مبنای یک دوره استاندارد اقلیمی ۳۰ ساله مد نظر قرار گرفته است. این پژوهش بر اساس داده‌های بسیار دقیق و معتبر پایگاه «واحد تحقیقات آب و هوایی»^۱ تهیه شده است. این پایگاه، وابسته به دانشگاه شرق آنجلیا^۲، یکی از معتبرترین مراکز تحقیقاتی در زمینه تغییرات آب و هوا است. داده‌های این پایگاه همچنین در پرتال دانش تغییرات اقلیم بانک

وضوح روند گرم شدن را در بسیاری از نقاط جهان نشان می‌دهند و حاکی از افزایش دمای بیش از ۱۰۰ کشور به‌دلیل افزایش آلودگی کربنی هستند. لذا گرمایش در تمام مناطق کره زمین رخ می‌دهد و هیچ کشوری از آن در امان نیست (IPCC, 2021; Kahn & Climate Central, 2017; Vaghefi et al., 2019). کشور ایران نیز از این تغییرات دمایی جهانی بی‌نصیب نبوده است. هیئت بین‌الدولی تغییر اقلیم، افزایش دما در خاورمیانه را تا ۲ درجه سانتی‌گراد در ۱۵ تا ۲۰ سال آینده و بیش از ۴ درجه سانتی‌گراد تا پایان قرن، تخمین می‌زند. در بین کشورهای خاورمیانه، ایران در دهه‌های آینده با افزایش ۲/۶ درجه سانتی‌گرادی میانگین دما مواجه خواهد شد، از این رو، واقعیت گرمایش و تغییر اقلیم ایران، شدیدتر از منطقه خاورمیانه است (Mansouri Danneshvar et al., 2019). تأثیرات آن طی سالیان اخیر در کشور محسوس بوده است. بخش کشاورزی در ایران به‌دلیل ماهیت خود و ارتباط نزدیک با پدیده‌های اقلیمی، بیشترین تأثیرات را از تغییرات دما متحمل می‌شود و تولیدات کشاورزی به‌دلیل خشکسالی‌های ناشی از افزایش حداکثر دمای سالانه و کاهش بارندگی‌های تجمیعی، کاهش یافته است (Shahpari et al., 2023). لذا تغییرات دمایی می‌تواند چالش‌های جدیدی برای کشاورزان و بخش کشاورزی به‌همراه داشته باشد و برای کاهش اثرات منفی آن و تداوم تولید محصولات کشاورزی و کاهش تهدیدات مرتبط با امنیت غذایی نیاز به مدیریت مناسب و تطابق با تغییرات دمایی می‌باشد از سوی دیگر با توجه به تنوع و گستره اقلیمی کشور و تأثیرپذیری آن از افزایش دما و اطلاع از وضعیت موجود کشور تهدیدات و فرصت‌های مرتبط بیانگر ضرورت پژوهش می‌باشد به‌ویژه که شرایط گرمایش جهانی در دنیا و منطقه و کشور رو به تشدید می‌باشد؛ لذا هدف این مقاله بررسی تحولات دمایی کشور، واکاوی علل کلی این تغییرات و تبیین فرصت‌ها و تهدیدات محتمل می‌باشد تا در نهایت توصیه‌های مناسب برای کاهش آسیب‌های ناشی از این موضوع ارائه گردد.

1. Climate Research Unit
2. East Anglia

در مناطق داخلی است. به غیر از نواحی ساحلی، دما در ایران با دامنه نسبتاً بزرگ سالانه، حدود ۲۲ تا ۲۶ درجه سانتی‌گراد مشخص می‌شود (Climate Change Knowledge Portal, 2022).

برای بررسی تغییرات دمایی کشور ایران در این پژوهش دوره زمانی ۱۹۶۱-۱۹۹۰ به‌عنوان دوره استاندارد اقلیمی در نظر گرفته شده و دوره سی ساله منتهی به سال ۲۰۲۰ نیز به‌عنوان دوره زمانی اخیر انتخاب شده است.

سطح دوم: علل کلی افزایش دما در کشور

در سطح دوم تحلیل، علل کلی افزایش دما در کشور با بهره‌گیری از روش تحقیق مبتنی بر روش تحقیق کیفی و استفاده از منابع علمی در دسترس مورد توجه قرار گرفته است.

سطح سوم: فرصت‌ها و تهدیدهای ناشی از افزایش دما در بخش کشاورزی

در سطح سوم تحلیل، فرصت‌ها و تهدیدهای ناشی از افزایش دما در بخش کشاورزی با بهره‌گیری از روش تحقیق مبتنی بر روش تحقیق کیفی و استفاده از منابع علمی در دسترس مورد توجه قرار گرفته است.

نتایج و بحث

سطح اول: تغییرات دمایی در پهنه کشور

یک «دوره استاندارد اقلیمی» یک بازه زمانی معین است که برای تجزیه و تحلیل داده‌های اقلیمی و مطالعه تغییرات اقلیمی به کار می‌رود. استفاده از دوره‌های استاندارد اقلیمی تشخیص الگوها و تغییرات طولانی‌مدت در شرایط جوی و اقلیمی را امکان‌پذیر می‌کند. این الگوها معمولاً شامل متغیرهایی نظیر دما، بارش، فشار جوی، رطوبت و غیره هستند. با تعریف یک دوره استاندارد اقلیمی، می‌توان تغییرات طولانی‌مدت و میان‌مدت اقلیمی را مطالعه و مقایسه کرد تا نتایج تحلیل‌های اقلیمی معتبر تر شود. در حال حاضر، برای اکثر مطالعات اقلیمی، دوره استاندارد اقلیمی ۳۰ ساله به‌عنوان بازه زمانی متداول در نظر گرفته می‌شود (WMO, 2023). دوره ۳۰ ساله، شامل سه دهه کامل از تغییرات فصلی و جوی می‌باشد. این تقارن فصلی به محققان و متخصصان اقلیم‌شناسی

جهانی^۱ در دسترس هستند. این مجموعه داده مستقیماً از داده‌های بازبینی شده بیش از ۴۰۰۰ ایستگاه‌های زمینی در خشکی‌ها به‌دست می‌آید. منبع این داده‌ها در مقیاس جهانی عبارتند از داده‌های ماهانه ایستگاه‌های هواشناسی وابسته به سازمان هواشناسی جهانی، داده‌های ماهانه آب و هوای جهانی تهیه شده توسط مرکز ملی داده‌های آب و هوایی ایالات متحده (NCDC)، داده‌های دهه‌ای رکوردهای جهانی هوا (WWE) که بین سرویس‌های ملی هواشناسی و NCDC رد بدل می‌شود (Miri et al., 2017).

این پایگاه داده به‌منظور جمع‌آوری، ذخیره‌سازی و ارائه اطلاعات مرتبط با وضعیت آب و هوا تأسیس شده است. به‌عبارتی یک پایگاه داده باز تحلیلی اقلیمی است که از داده‌های هواشناسی جهانی برای نمایش تغییرات آب و هوا در طول زمان استفاده می‌کند. همچنین دارای قدرت مکانی بالا بوده و دوره‌های زمانی بلندمدت را به‌خوبی پوشش می‌دهد. این داده‌ها از سال ۱۹۰۱ تا امروز با وضوح 0.5×0.5 درجه در سراسر کره زمین در دسترس هستند (Ullah et al., 2022). پوشش ابر، دمای روزانه، فراوانی روزهای یخبندان، بارندگی، میانگین دمای روزانه، میانگین دمای حداکثر روزانه، فشار بخار، تبخیر-تعرق پتانسیل و تعداد روزهای مرطوب از جمله اطلاعاتی است که می‌توان از این پایگاه داده استخراج کرد. داده‌ها در مقیاس‌های زمانی مختلف مانند روزانه، ماهانه، و سالانه ارائه می‌شوند. براساس مطالعات میری و همکاران (Miri et al., 2017) بررسی مقادیر ضریب تعیین (R^2) دمای برآورد شده توسط CRU و داده‌های زمینی، بیانگر دقت مناسب دمای برآوردی توسط CRU در بخش‌های مختلف ایران است. منطقه مطالعاتی این پژوهش کشور ایران می‌باشد آب و هوای کشور ایران به‌جز نواحی ساحلی شمالی و بخش‌هایی از غرب ایران، عمدتاً خشک و نیمه‌خشک با تابستان گرم و خشک و زمستان بسیار سرد به‌ویژه

1. Climate Change Knowledge Portal (CCKP)

پرتال دانش تغییرات اقلیم: یک منبع آنلاین است که اطلاعات جامع و منابع مرتبط با تغییرات آب و هوا و اقلیم را فراهم می‌کند. این پرتال معمولاً به‌عنوان یک منبع مرجع برای دسترسی به داده‌ها، نمودارها، گزارشات علمی و اطلاعات تحلیلی در زمینه تغییرات اقلیمی است. هدف این پرتال، ارتقاء دانش و آگاهی در مورد تغییرات آب و هوا، تأثیرات آن بر محیط زیست و جوامع، و راهکارهای مدیریتی و تطابق با این تغییرات است. این پرتال به‌عنوان یک پروژه یا سرویس تحت حمایت بانک جهانی شناخته می‌شود.

2. Climatic standard period

Office of Technology Studies, Presidency, Policy Re-
(search Center, 2022).

محدودیت دسترسی به داده‌های مشاهده‌ای هم به دلایل فنی نظیر محدودیت تعداد ایستگاه‌های مشاهده‌ای است و هم می‌تواند به دلایل دیگری نظیر هزینه‌های بالای تهیه داده‌ها، عدم وجود سیاست‌ها و مدیریت مناسب برای جمع‌آوری و انتشار داده‌ها باشد؛ اما این محدودیت‌ها به هر دلیلی که باشد، می‌توانند تأثیرات منفی بر روی تحقیقات و مطالعات داشته باشند. بسیاری از چالش‌ها و مسائل حال حاضر، از جمله تغییرات اقلیمی، حوادث طبیعی، افزایش جمعیت، مهاجرت، بهداشت جهانی، تنوع زیستی و نیاز به تعاملات و همکاری‌های بین‌المللی و غیره، از ماهیت جهانی برخوردار هستند. داشتن داده‌های گسترده از مناطق مختلف، امکان تحلیل گسترده‌تری را فراهم می‌کند و به درک بهتر از روندها و اثرات جهانی مسائل کمک می‌کند؛ بنابراین، بسیاری از پایگاه‌های داده جهانی به منظور جمع‌آوری اطلاعات جامعی در این زمینه‌ها تأسیس شده‌اند. این پایگاه‌ها که به روش‌های مختلفی از جمله استفاده از سنسورها، ایستگاه‌های مشاهده‌ای و سامانه‌های راداری، داده‌ها را جمع‌آوری کرده و توسط الگوریتم‌ها و مدل‌های آماری پردازش می‌کنند، داده‌های ارزشمندی را برای تحقیقات اقلیمی و مطالعات مرتبط با اقلیم تولید کرده و با دقت و کیفیت بالا و بعضاً بدون هزینه، در دسترس محققان و تحلیل‌گران قرار می‌دهند. پوشش زمانی مناسب و پوشش مکانی گسترده این داده‌ها امکان تحلیل تغییرات اقلیمی را فراهم می‌کنند. همچنین، تنوع داده‌های موجود در این پایگاه‌ها، ابزاری قدرتمند برای مطالعات مختلف و متعدد را به محققان ارائه می‌دهد. لذا تغییرات دمایی مورد نیاز سطح اول بر مبنای داده‌های شبکه‌ای پایگاه CRU استخراج و تجزیه و تحلیل شده است

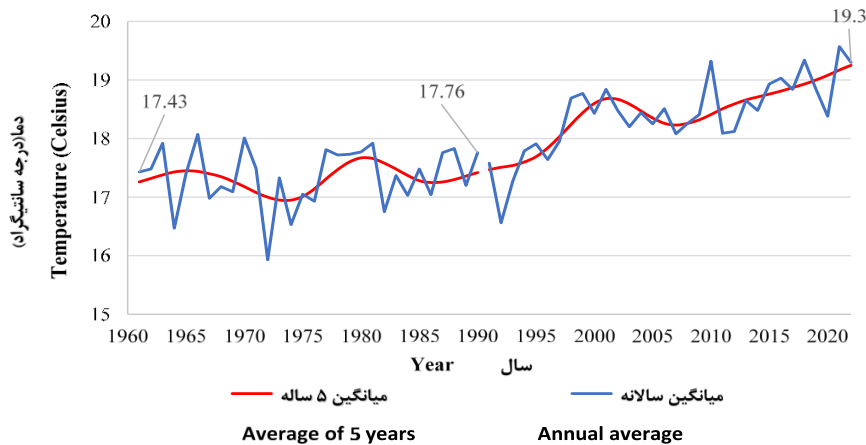
شکل (۱) میانگین دمای سالانه مشاهده‌شده در کشور را طی دو دوره سی ساله نشان می‌دهد. روند داده‌ها همان‌گونه که در شکل ملاحظه می‌شود، افزایشی است به طوری که از میانگین دمای ۱۷,۴۳ درجه سانتی‌گراد در سال ۱۹۶۰ به ۱۹,۳ درجه سانتی‌گراد

کمک می‌کند تا بهترین تخمین‌ها و تجزیه و تحلیل‌ها را ارائه دهند. این انتخاب به دلیل دلایل گوناگونی از جمله کمیت و ثبات داده‌ها انجام می‌شود. دوره استاندارد اقلیمی ۳۰ ساله هم به اندازه کافی طولانی است که از تغییرات کوتاه مدت و تصادفی در داده‌های اقلیمی کاسته شود و تغییرات طولانی‌مدت و مهم در شرایط جوی و اقلیمی را نشان دهد، هم به اندازه کافی کوتاه است که به راحتی قابل دستیابی باشد و تحلیل و مقایسه داده‌های اقلیمی از گذشته و آینده را تسهیل کند. این بازه زمانی به عنوان یک معیار مشخص و قابل تطبیق در مطالعات اقلیمی مورد استفاده قرار می‌گیرد و به ما امکان می‌دهد تا الگوها و تغییرات اقلیمی در دوره‌های طولانی‌تر را شناسایی کنیم و تصمیم‌گیری‌های مبتنی بر اقلیم را انجام دهیم.

وجود اطلاعات و داده‌های اقلیمی به هنگام و دقیق، برای اکثر مدل‌های شبیه‌سازی در حوزه‌های هیدرولوژی، اکولوژی و سایر علوم ضروری و حیاتی می‌باشند. این داده‌ها اطلاعات کلیدی در مورد شرایط جوی، دما، بارش، باد، رطوبت و سایر متغیرهای اقلیمی ارائه می‌کنند و در مدل‌سازی‌های اقلیمی، پیش‌بینی تغییرات اقلیمی، مدیریت منابع آب، برنامه‌ریزی شهری، مطالعات هیدرولوژی، اکولوژی و غیره، مفید و ضروری هستند. این داده‌ها همچنین برای مقایسه و ارزیابی تغییرات اقلیمی و تأثیرات آنها بر محیط زیست و انسان‌ها بسیار ارزشمند هستند. اما کمبود دسترسی به داده‌های مشاهده‌ای با کیفیت و پوشش مکانی و زمانی مناسب، از جمله میزان بارش، دما، رطوبت و دمای خاک، یکی از چالش‌های حوزه اقلیم‌شناسی و مطالعات مرتبط به حساب می‌آید. این مسئله به ویژه در کشورهای در حال توسعه، به عنوان یک مشکل معمول به چشم می‌آید و پژوهش‌گران و محققان را با محدودیت‌های قابل توجهی روبه‌رو می‌سازد. در کشور ایران نیز مشکلات متعددی در زمینه داده‌ها و اطلاعات مربوط به آب‌وهوا وجود دارد که موجب شده در ابعاد مختلف از قبیل ساختاری و نهادی، جمع‌آوری و انتقال داده، پردازش و ذخیره سازی داده، تولید و انتشار داده و اطلاعات، با چالش‌هایی همراه باشد

در سال ۲۰۲۰ رسیده است. در دوره سی ساله استاندارد در نظر گرفته شده به طور میانگین دما سالانه ۰/۱۱ درجه افزایش یافته است اما در دوره اقلیمی اخیر (۱۹۹۰-۲۰۲۰) این افزایش دما سالانه ۰,۰۵۱ درجه سانتیگراد بوده است. به عبارتی در سی ساله دوم نسبت به سی ساله اول روند افزایش دما حدود ۵ برابر شده است.

در سال ۲۰۲۰ رسیده است. در دوره سی ساله استاندارد در نظر گرفته شده به طور میانگین دما سالانه ۰/۱۱ درجه افزایش یافته است اما در دوره اقلیمی اخیر (۱۹۹۰-۲۰۲۰) این افزایش دما سالانه ۰,۰۵۱ درجه سانتیگراد بوده است. به عبارتی در سی ساله دوم نسبت به سی ساله اول روند افزایش دما حدود ۵ برابر شده است.



شکل ۱. نمودار میانگین دمای سالانه مشاهده شده در کشور از سال ۱۹۶۱-۲۰۲۰

مأخذ داده‌ها: واحد تحقیقات آب و هوایی (CRU).. دسترسی از طریق پرتال دانش تغییرات اقلیم بانک جهانی (CCKP). تحلیل: انویسنده.آ.

Fig 1. Average annual temperature graph observed in the country from 1961-2020

Source Data: Climate Research Unit (CRU), accessed via World Bank portal CCKP. Analysis by: [Author]

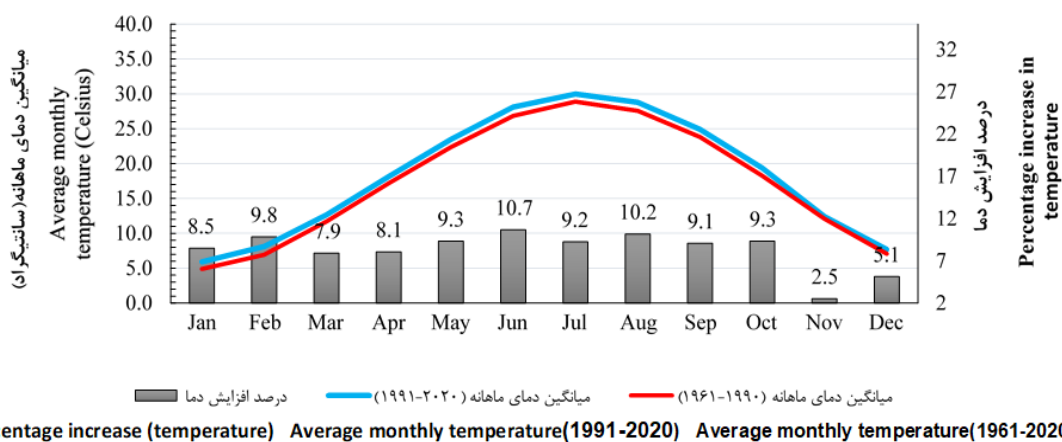
زمانی اخیر نسبت به دوره استاندارد اقلیمی انتخابی به طور متوسط با افزایش ۸/۳ درصدی همراه بوده است.

بر همین اساس میانگین حداکثر دمای هوا طی سی ساله اخیر نسبت به سی ساله استاندارد انتخابی نیز به جز ماه نوامبر که میزان آن در حد بسیار کمی کاهش یافته در سایر ماهها افزایشی بوده است. حداکثر میزان افزایش آن در ماه فوریه معادل ۱,۱۶ درجه سانتیگراد بوده است. بالاترین میزان درصد افزایش (نسبت به دوره استاندارد اقلیمی انتخابی) نیز در ماه ژانویه با ۹,۰۴ درصد بوده رخ داده است. متوسط درصد افزایش دما طی دوره سی ساله اخیر نسبت به دوره استاندارد اقلیمی انتخابی حدود ۴ درصد بوده است. شکل (۳) این مقادیر را در قالب نمودار نمایش می‌دهد.

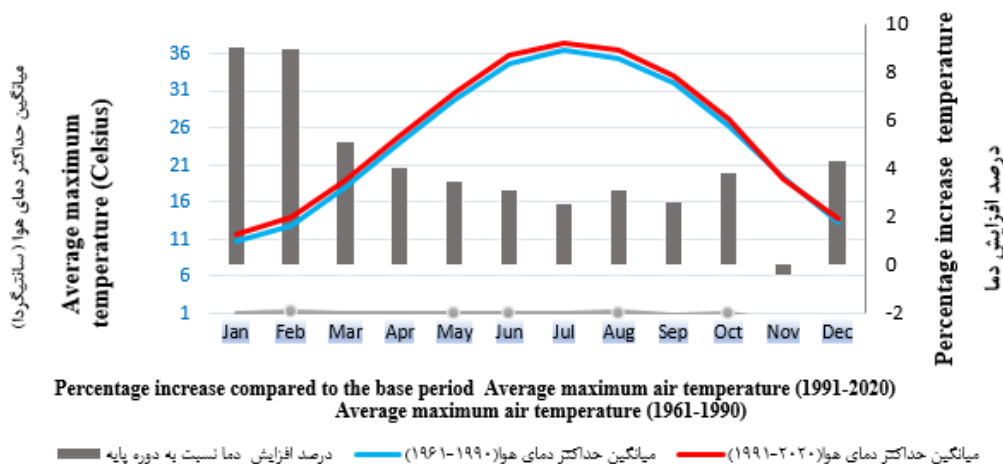
شکل (۴) میانگین حداقل دمای ماهانه طی دوره زمانی اخیر را نسبت به دوره استاندارد اقلیمی انتخابی نشان می‌دهد. بر طبق این نمودار، افزایش دما در تمامی ماهها رخ داده است که بالاترین میزان افزایش بر حسب

شکل (۲) نمودار میانگین دمای ماهانه دوره زمانی اخیر (۱۹۹۱-۲۰۲۰)، به رنگ آبی، نسبت به دوره استاندارد اقلیمی انتخابی (۱۹۶۱-۱۹۹۰)، رنگ قرمز و درصد افزایش دما را برای ماههای مختلف به صورت ستونی نشان می‌دهد. همان طور که در نمودار قابل مشاهده است میانگین دمای ماهانه کشور طی دوره (۱۹۹۱-۲۰۲۰) نسبت به دوره زمانی (۱۹۶۱-۱۹۹۰) افزایش یافته است که این میزان بین ۲/۵ درصد افزایش برای ماه نوامبر تا ۱۰/۷ درصد برای ژوئن متغیر بوده است^۱. به عبارتی میانگین دمای ماهانه هوا طی سی ساله اخیر نسبت به سی ساله استاندارد گذشته بین ۰/۳ درجه تا ۱/۳ درجه سانتیگراد افزایش یافته است. همان طور که گفته شد بیشترین افزایش دما در ماههای ژوئن و آگوست بوده است و کمترین افزایش در ماه نوامبر رخ داده است. به عبارتی میزان افزایش دما در ماههای گرم، بیشتر از ماههای سرد سال اتفاق افتاده است. میانگین دمای ماهانه در دوره

۱. در تقویم ۱۰ ابان تا ۹ آذر معادل نوامبر و ۱۱ خرداد تا ۹ تیر معادل ژوئن می‌باشد.



شکل ۲. میانگین دمایی ماهانه دوره زمانی اخیر نسبت به دوره استاندارد اقلیمی انتخابی و درصد افزایش دما
 Fig 2. Average monthly temperature in the recent time period compared to the selected climatic standard period and the percentage of the temperature increase



شکل ۳. میانگین حداکثر دمایی ماهانه دوره زمانی اخیر نسبت به دوره استاندارد اقلیمی انتخابی و درصد افزایش دما
 Fig 3. Average monthly maximum temperature in the recent time period compared to the selected climatic standard period and the percentage of the temperature increase

می‌کند که هر کدام می‌تواند تأثیرات متفاوتی در پی داشته باشند.

- افزایش دما در نمودارهای متوسط حداقل دما و حداکثر دما در دوره سی ساله اخیر نسبت به دوره استاندارد اقلیمی انتخابی کاملاً مشهود است.

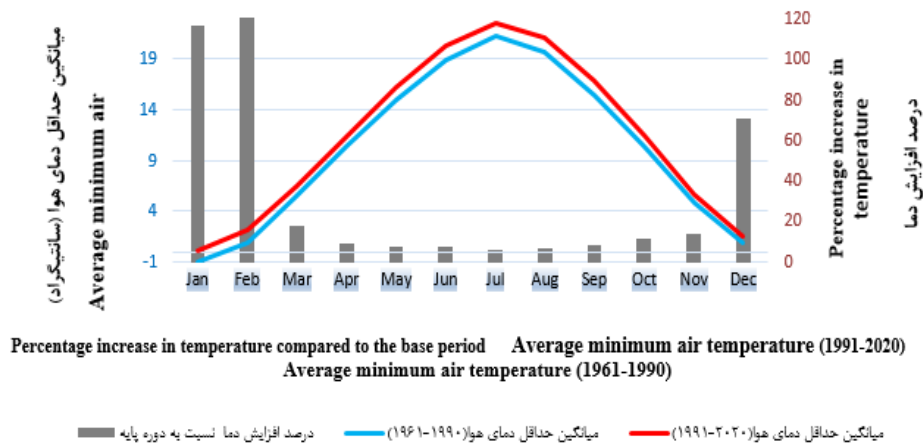
- افزایش دما در نمودار حداقل دما نسبت به دوره استاندارد اقلیمی انتخابی در عین اینکه افزایشی بوده است، نسبت به نمودار حداکثر دما نیز بسیار بیشتر بوده است.

- با توجه به زمان وقوع حداقل دما در طول شبانه‌روز

درجه در ماه ژوئن و معادل $1/46$ درجه سانتی‌گراد بوده است.

بیشترین میزان درصد افزایش دما نسبت به دوره استاندارد اقلیمی ۱۲۱ درصد بوده که در ماه فوریه رخ داده است. درصد افزایش حداقل دما در سایر ماه‌ها نیز در شکل به صورت ستونی نمایش داده شده است. متوسط درصد افزایش دمای حداقل طی دوره سی ساله اخیر نسبت به دوره استاندارد، ۳۳ درصد بوده است.

نتایج حاصل از بررسی نمودارها چند نکته را مشخص



شکل ۴. میانگین حداقل دمای ماهانه دوره زمانی اخیر نسبت به دوره استاندارد اقلیمی انتخابی و درصد افزایش دما
Fig 4. Average monthly minimum temperature in the recent time period compared to the selected climatic standard period and the percentage of the temperature increase

تشکیل مه در هوا کاهش می‌یابد، زیرا هوا گرم‌تر می‌شود و توانایی حمل رطوبت از هوا به شکل مه کمتر می‌شود.

علاوه بر این افزایش دما در ساعات شب می‌تواند تأثیراتی بر نظام رطوبتی خاک داشته باشد. این افزایش ممکن است منجر به تبخیر بیشتر آب از خاک شود و در نتیجه، نیاز به آبیاری بیشتر باشد. افزایش حداکثر دما نیز که می‌توان آن را به‌نوعی افزایش دما در ساعات روز دانست می‌تواند منجر به تغییرات در الگوی بارندگی و رطوبت منطقه شود. از آنجایی که باد معمولاً از مناطق گرم به سمت مناطق سرد حرکت می‌کند؛ بنابراین، افزایش دما ممکن است الگوی جریانات هوایی را تغییر داده و سیستم‌های بارشی را تحت تأثیر قرار دهد. به طور کلی، افزایش دما تأثیرات متنوعی بر پدیده‌های هواشناسی دارد و این تأثیرات بستگی به شرایط محلی و منطقه‌ای هواشناسی دارد.

سطح دوم: علل کلی افزایش دما در کشور

افزایش میانگین درجه حرارت کشور طی دوره سی ساله اخیر نسبت به دوره استاندارد اقلیمی انتخابی می‌تواند به عوامل طبیعی و انسانی باز گردد. اولین علت این افزایش را می‌توان به تغییرات اقلیمی جهانی مرتبط دانست. افزایش تولید گازهای گلخانه‌ای از جمله دی‌اکسید کربن و متان ناشی از فعالیت‌های

که اغلب در ساعات شب اتفاق می‌افتد می‌توان گفت که افزایش حداقل دما در واقع به معنای کاهش دامنه تغییرات دمایی شبانه‌روزی باشد.

نرخ افزایش دما به خصوص حداقل دما در ماه‌های مختلف متغیر است و در برخی ماه‌ها این شدت افزایش، بسیار قابل توجه بوده است. رشد میانگین حداکثر دما نیز می‌تواند به معنای میزان افزایش دما در ساعات روز باشد.

رشد میانگین حداکثر دما نیز می‌تواند به معنای میزان افزایش دما در ساعات روز باشد؛ یعنی دمای هوا در طول روز، به‌خصوص در گرم‌ترین ساعات، نسبت به گذشته بیشتر شده است. دمای سردترین ساعات شب (حداقل دما) با سرعت بیشتری نسبت به گرم‌ترین ساعات روز (حداکثر دما) در حال افزایش است. این موضوع ممکن است تأثیرات متفاوتی بر بخش‌های مختلف اکوسیستم، فعالیت‌های کشاورزی و سلامت انسانی داشته باشد. همچنین افزایش دما در ساعات شب ممکن است تأثیراتی بر پدیده‌های هواشناسی مانند رطوبت نسبی و وقوع مه داشته باشد زیرا زمانی که دما افزایش یافته ولی مقدار رطوبت هوا ثابت باقی‌مانده باشد، افزایش دما معمولاً منجر به کاهش رطوبت نسبی هوا می‌شود که این موضوع ممکن است تأثیرات زیادی بر کشاورزی و نیاز آبی گیاهان داشته باشد؛ همچنین با افزایش دما، احتمال

و خسارات جدی به دنبال دارند؛ با این حال، برخی از کشورها ممکن است از برخی از اثرات مثبت ناشی از تغییرات دمایی بهره‌مند شوند. این اثرات مثبت خیلی محدود بوده و باید با احتیاط ویژه مورد بررسی قرار گیرند. اثرات منفی این تغییرات بیشتر در مناطقی با عرض جغرافیایی متوسط و پایین و اثرات مثبت آن بیشتر در عرض‌های جغرافیایی بالا ظاهر شده است (National Agriculture and Water Strategic Research Center, 2023).

تغییر اقلیم پیامدهای قابل توجهی بر کشاورزی از جمله تخریب خاک، تأثیرات بر دسترسی به آب و کاهش قابل توجه در بهره‌وری محصولات دارد. همچنین افزایش دمای جهانی می‌تواند منجر به افزایش تبخیر و تنش آبی شود که بر رشد و عملکرد محصول تأثیر می‌گذارد. تغییرات در الگوهای بارش (که نتیجه گرمایش جهانی می‌باشد)، مانند بارندگی شدید یا خشکسالی‌های طولانی‌مدت، می‌تواند فصل کاشت و برداشت را مختل کند و بر تولید محصولات تأثیر بگذارد. تغییر فصل رشد در کشاورزی به دلیل تغییرات اقلیمی می‌تواند شیوه‌های کشاورزی سنتی را مختل کند و بر عملکرد محصول تأثیر بگذارد. افزایش نرخ تبخیر، بر دسترسی به آب تأثیر می‌گذارد، افزایش دما می‌تواند منجر به افزایش تبخیر از بدنه‌های آبی و خاک و کاهش دسترسی به آب برای اهداف کشاورزی شود. تغییرات در بارش نیز می‌تواند بر دسترسی آب برای آبیاری تأثیر بگذارد و بر رشد و بهره‌وری محصولات، تأثیر منفی بگذارد. علاوه بر این، ذوب شدن یخچال‌های طبیعی و کاهش حجم برف به دلیل افزایش دما می‌تواند چرخه طبیعی آب را مختل کند و بر دسترسی به آب در مناطق خاص تأثیر بگذارد. همچنین تغییر در الگوی آفات و بیماری‌ها نیز از جمله اثرات منفی افزایش دما می‌باشد. به‌طور کلی، تغییرات اقلیمی ناشی از گرمایش، چالش‌های مهمی را برای بهره‌وری کشاورزی ایجاد می‌کند و اثرات بالقوه بلندمدت و کوتاه‌مدت بر امنیت غذایی و معیشت کشاورزان در کشورهای در حال توسعه دارد (Anony-mous, 2023).

افزایش دما به‌طور کلی و بالاخص در بخش کشاورزی

انسانی و مصرف بالای سوخت‌های فسیلی از جمله اصلی‌ترین دلایل این افزایش دما است. همچنین تغییر کاربری اراضی، مانند کاهش سطح جنگل‌ها و افزایش ساخت و سازها و نیز تغییر توپوگرافی زمین می‌تواند به تغییرات در توزیع حرارت و بارش منطقه‌ای منجر شود. باید توجه داشت برخی از این عوامل ممکن است به‌صورت همزمان تأثیرگذار بوده و موجب افزایش دمای میانگین در کشور شده باشند. رابطه بین افزایش دما و تغییرات الگوی بادهای و جریانات جوی به‌صورت دوطرفه است، به این معنا که هر یک از این عوامل می‌تواند تأثیر مستقلی بر دیگری داشته باشد. به‌عنوان مثال تغییر در تابش خورشیدی، تغییر در جذب و انتشار حرارت، تأثیرات گازهای گلخانه‌ای می‌تواند باعث افزایش دما شود و این افزایش دما، سبب تغییر در جریانات جوی و الگوهای بادی و بارش شود. از سوی دیگر، الگوهای بادهای و جریانات هوایی نیز می‌توانند به‌عنوان عاملی مستقل باعث افزایش دما شوند. بنابراین، این رابطه به‌عنوان یک سیکل پیچیده بین عوامل مختلف در اقلیم و هواشناسی مطرح می‌شوند. به‌طور کلی تغییرات در الگوی باد، الگوی بارندگی و کاهش سطوح برف و یخ نیز نقش مهمی در افزایش دما دارند. باید توجه داشت عوامل متعددی در مسئله افزایش دما دخیل می‌باشند و برای تفسیر دقیق دلایل افزایش دما نیاز به بررسی عوامل مختلف مانند انسانی (انتشار گازهای گلخانه‌ای)، طبیعی (شدت تابش و زاویه آن و غیره) و دیگر پارامترهای محیطی است.

سطح سوم: فرصت‌ها و تهدیدهای ناشی از افزایش دما در بخش کشاورزی

کشاورزی فعالیت اقتصادی برای تولید غذا جهت ایجاد امنیت غذایی حال و آینده جهان می‌باشد. با وجود پیشرفت‌های علمی و تکنولوژیکی در زمینه افزایش بهره‌وری و تولید محصولات زراعی، کشاورزی به‌شدت به اقلیم وابسته است؛ بنابراین تغییرات اقلیمی در کوتاه مدت و بلندمدت در میزان تولید اثرگذار می‌باشد (Koocheki et al., 2015). تغییرات دمایی ناشی از تغییرات اقلیم به‌طور مستقیم و غیرمستقیم بر بخش کشاورزی اثرگذار است و معمولاً تأثیرات منفی

تهدیدهای محتمل

● افزایش دما باعث افزایش نیاز به آب در فرآیند رشد گیاهان می‌شود. این تغییرات می‌توانند تأثیرات مستقیمی بر مدیریت آب و استفاده بهینه از منابع آب در کشاورزی داشته باشند. افزایش دما به خصوص برای برخی گیاهان حساس به دما می‌تواند باعث کاهش عملکرد آنها شود. همچنین از آنجا که افزایش دما ممکن است باعث تغییرات در الگوی بارش و شدت بارش‌ها شود؛ این تغییرات می‌توانند تأثیرات مستقیمی بر مدیریت آب و کنترل رطوبت در مزارع داشته باشند. تغییر در الگوی بارش و شدت آن باعث شدت بیشتر خشک‌سالی یا سیلابی شدن مناطق خاص شود که این امر به مشکلات جدی در کشاورزی منجر می‌شود.

● افزایش حداقل دما موجب افزایش تبخیر - تعرق گیاهان و در نتیجه نیاز گیاهان به مقدار بیشتری آب می‌شود که در شرایط کم‌بارش می‌تواند منجر به مشکلات آبیاری و مدیریت آب شود.

● افزایش دما موجب افزایش نرخ تبخیر آب می‌شود. این امر نیز می‌تواند به کاهش آب در اختیار محصولات منجر شود که در نهایت به کاهش تولید منتهی می‌شود. تغییر در شاخص‌های بیولوژیکی (مانند تغییر زمان گل‌دهی گیاهان)، افزایش آفات و بیماری‌ها نیز از دیگر تهدیدات مرتبط با افزایش دما می‌باشند.

● با گرم شدن کره زمین، شرایط برای تکثیر و ازدیاد جمعیت حشرات مضر، مناسب خواهد شد. طولانی‌تر شدن فصل رویش گیاهان، موجب می‌شود تا تعداد بیشتری از این گونه آفات (همانند ملخ) چرخه تولید مثلی خود را طی نمایند. در مناطقی که شدت سرمای زمستان، اجازه زمستان‌گذرانی لارو حشرات را نمی‌دهد، گرم شدن زمین، موجبات تسهیل در این پدیده را فراهم می‌آورد و امکان طغیان آفات در فصول گرم سال را در این مناطق، افزایش می‌دهد. تغییر الگوی وزش باد نیز در انتقال حشرات، باکتری‌ها و قارچ‌های مولد بیماری، تغییراتی به وجود خواهد آورد. تغییرات دمایی موجب اختلال در زمان مناسب چرخه تکاملی حشرات و گیاهان میزبان

می‌تواند همراه با تبعات و یا مزایایی باشد که بستگی به میزان و نحوه مواجهه با تغییرات اقلیمی و تدابیر متناسب، چالش‌ها و فرصت‌هایی را ایجاد می‌کند.

فرصت‌های محتمل

● افزایش دما در نواحی با محدودیت رشد به دلیل سرما (همچون نواحی معتدل و سرد)، ممکن است باعث گسترش فصل رشد شود و این امکان را فراهم کند که ارقام با دوره رشد طولانی‌تر و عملکرد بالاتر کشت شوند. برای محصولاتی که فصل رشد آنها کوتاه است، مانند گندم، برنج، جو، یولاف و بسیاری از سبزیجات، توسعه فصل رشد می‌تواند امکان پیش‌آید که هر سال میزان بیشتری از این محصولات را کشت کنیم یا کاشت را در فصل پاییز انجام دهیم. برای مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری که بارندگی عامل محدودیت فصل رشد می‌باشد یا نقاطی که کاشت در بین سال انجام می‌شود، امکان توسعه فصل رشد، کم بوده و بستگی به این دارد که الگوی بارندگی چگونه تغییر کند. در یک تحقیق انجام‌شده در تایلند، مشاهده شد که کاهش عملکرد در فصل گرم‌تر، با دستیابی به عملکرد بالاتر در فصل سرد‌تر، جبران می‌شود (Nasiri Mahallati et al., 2002).

● افزایش دما ممکن است به گسترش مناطق کشاورزی و افزایش سطح زیر کشت در مناطق جدید منجر شود. البته همان‌طور که پیش از این گفته شد این اثرات مثبت، بیشتر در عرض‌های جغرافیایی بالا (مناطق سردسیر) صادق است. این موضوع، فرصتی را برای گسترش تولید محصولات کشاورزی و افزایش تنوع کاشت فراهم می‌کند. همچنین افزایش دما می‌تواند به کشاورزان مناطق سردسیر این امکان را بدهد که الگوی کاشت خود را تغییر داده و محصولات گرمادوست را نیز کشت نمایند.

اگرچه برخی فرصت‌ها در قبال افزایش دما ممکن است حاصل شود اما باید توجه داشت که افزایش دما در مناطق گرم و خشکی نظیر بیشتر مناطق کشور ما، نه تنها فرصت نیست بلکه تهدیدی جدی برای بخش کشاورزی می‌باشد. در ادامه به برخی از این تهدیدات اشاره می‌شود که می‌تواند بخش کشاورزی را متأثر سازد.

سی ساله منتهی به سال ۲۰۲۰ نیز به‌عنوان دوره زمانی اخیر پرداخته شد. لذا داده‌های میانگین دمای سالانه مشاهده‌شده در کشور طی دو دوره سی ساله فوق‌الذکر رسم و روند دمایی مورد بررسی قرار گرفت. همچنین مقادیر میانگین حداکثر دمای ماهانه و حداقل دمای ماهانه نیز در مقایسه با دوره استاندارد اقلیمی انتخابی در قالب نمودار رسم و تغییرات آن مورد توجه قرار گرفت. طبق نتایج حاصله در هر سه فاکتور مورد بررسی، افزایش دما در دوره سی ساله اخیر نسبت به دوره استاندارد اقلیمی انتخابی، کاملاً مشهود است. همچنین افزایش دما در نمودار حداقل دما نسبت به دوره استاندارد اقلیمی انتخابی، علاوه بر افزایشی بودن، تغییرات بسیار قابل توجه‌تری نیز نسبت به نمودار حداکثر دما داشته است. این افزایش دما چه در میزان میانگین و چه در میانگین حداکثر و حداقل دما، می‌تواند اثرات متفاوتی بر بخش کشاورزی داشته باشد. این تغییرات همراه با فرصت‌ها و تهدیدهای احتمالی می‌باشد که با توجه به سایر فاکتورها می‌تواند در مناطق مختلف خودنمایی کند. اکثر فرصت‌های محتمل افزایش دما، در عرض‌های جغرافیایی بالا (مناطق سرد) قابل مشاهده بوده و با توجه به این نکته که اقلیم ذاتی کشور ما گرم و خشک می‌باشد، تهدیدهای تغییرات دمایی، احتمالاً بروز و ظهور بیشتری دارند.

نکته قابل توجه این است که تأثیرات افزایش دما و تغییرات اقلیمی، موجب تحولات گسترده در تمامی بخش‌های کشور از جمله کشاورزی، منابع طبیعی، محیط زیست، سلامت، اقتصاد شده و خواهد شد. افزایش حوادث طبیعی، بیابان‌زایی، کمبود منابع آب، خشکسالی‌های پیاپی، تغییرات الگوهای بارش (میزان و شدت بارش)، افزایش تنش‌های حرارتی، بالا رفتن مصرف انرژی و غیره از جمله تبعات افزایش دما در کشور می‌باشند. برای تعدیل این اثرات منفی و متوقف نمودن این روند در کشور، راهبردهای کلان و خرد در قالب یک برنامه جامع و هماهنگ، بایستی در تمامی بخش‌ها اجرا شود. اقداماتی نظیر ترویج و تشویق به استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر به‌جای سوخت‌های فسیلی، حمایت از کشاورزی پایدار،

شده که موجب اختلال در ارتباط متقابل این دو دسته از موجودات خواهد شد. بنابراین در این شرایط، نیاز به استفاده از آفت‌کش‌ها و سموم افزایش یافته و لزوم توسعه روش‌های مبارزه تلفیقی، بسیار جدی‌تر خواهد شد (Ghalandari and Jan Ali Zadeh, 2015).

● افزایش دما ممکن است تغییراتی در نیاز به انرژی سیستم‌های خنک‌کننده در محیط‌های گلخانه‌ها ایجاد کند که می‌تواند تأثیرات مستقیمی بر مصرف انرژی در بخش کشاورزی داشته باشد. همچنین دما بر ترکیب و فعالیت میکروب‌ها و حیات خاکی تأثیر می‌گذارد. افزایش دما ممکن است موجب تغییرات در کیفیت خاک شود که بر رشد و توسعه محصولات کشاورزی تأثیر می‌گذارد. همچنین می‌تواند موجب افزایش خشکی و ریسک آتش‌سوزی به‌خصوص در دیم‌زارها شود. این امر می‌تواند به مشکلات امنیت غذایی و از دست دادن منابع طبیعی این مناطق منجر شود.

نتیجه‌گیری

دما یکی از عوامل اقلیمی مؤثر بر رشد، نمو و عملکرد محصولات کشاورزی می‌باشد. همه گیاهان دارای محدودیت‌های دمایی هستند که عدول از آن‌ها می‌تواند اثرات منفی بر رشد گیاهان داشته باشد. طی چند دهه اخیر تغییرات اقلیمی ناشی از عوامل طبیعی و انسانی، قابل توجه بوده است. مهم‌ترین عامل تغییرات دمایی از بعد فعالیت‌های انسانی انتشار گازهای گلخانه‌ای و به‌تبع آن، تغییر دمای زمین بوده است. کشور ما نیز از این امر مستثنی نبوده و بعضاً اثرات بیشتری از این تغییرات پذیرفته است. سایر عوامل انسانی تغییرات دما در کشور ما علاوه بر گرمایش جهانی، شامل تغییر کاربری اراضی، کاهش سطح جنگل‌ها و افزایش ساخت و سازها و غیره بوده است. در این مقاله، همان‌طور که ذکر شد به‌علت محدودیت دسترسی به داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی داخل کشور، از داده‌های پایگاه واحد تحقیقات آب و هوایی (CRU) که یک مرکز تحقیقاتی معتبر در زمینه تغییرات اقلیمی است، استفاده شد و به بررسی تحولات دمایی کشور طی سال‌های ۱۹۶۱-۱۹۹۰ به‌عنوان دوره استاندارد اقلیمی و دوره

- Anonymous. (2023). The Impact of Climate Change on Agricultural Productivity in Developing Countries: A Quantitative Study. (2023). In *European journal of molecular & clinical medicine*, 6(2), Institute for Advanced Studies. <https://doi.org/10.48047/ejmcm/v06/i02/03>
- Climate Change Knowledge Portal. (2022). Iran, Islamic Rep. Retrieved December 10, 2023, from <https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/iran-islamic-rep>
- D'Amato, G., & Akdis, C. A. (2020). Global warming, climate change, air pollution and allergies. In *Allergy*, 75(9), 2158–2160. <https://doi.org/10.1111/all.14527>
- ECMWF. (2024). Copernicus: 2023 is the hottest year on record, with global temperatures close to the 1.5°C limit. Retrieved October 10, 2024, from <https://climate.copernicus.eu/copernicus-2023-hottest-year-record>
- Ghalandari, S., & Jan Ali Zadeh, M. (2015). Climate change and ecophysiology of agricultural plants. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Research in Science and Technology* [In Persian].
- Fakhri, M., Dokohaki, H., Eslamian, S., Fazeli Farsani, I., & Farzaneh, M. R. (2014). Flow and sediment transport modeling in rivers. *Handbook of Engineering Hydrology*, 2, 233-275. <https://doi.org/10.1201/b16683-14>
- Fakhri, M., Farzaneh, M. R., Eslamian, S., & Khordadi, M. J. (2013). Confidence Interval Assessment to Estimate Dry and Wet Spells under Climate Change in Shahrekord Station, Iran. In *Journal of Hydrologic Engineering*, 18(7), 911–918. American Society of Civil Engineers (ASCE). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)he.1943-5584.0000688](https://doi.org/10.1061/(asce)he.1943-5584.0000688)
- Farzaneh, M. R., & Banimostafaarab, F. (2023a). Analysis of climate change adaptation laws in devel-

ترویج رفتارهای حفاظت از منابع در جامعه و همکاری بین‌المللی در راستای کاهش گازهای گلخانه‌ای برای متوقف یا کند نمودن افزایش دما باید در بعد کلان مورد توجه قرار گیرد.

همچنین تخریب خاک، تغییر کاربری اراضی، از بین رفتن جنگل‌ها و مراتع، استفاده مداوم از کودها و مواد شیمیایی در تولید، مصرف بالای انرژی در بخش کشاورزی، عدم مدیریت منابع آب و خاک و غیره، منجر به انتشار بیشتر گازهای گلخانه‌ای در بخش کشاورزی و به تبع آن افزایش دما در کشور خواهد شد؛ لذا وجود استراتژی‌های مناسب برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در بخش کشاورزی و سازگاری با شرایط اقلیمی جدید می‌تواند کمک کند تا از شدت این تغییرات دمایی کاسته شده و آسیب‌های کمتری نیز متوجه بخش کشاورزی شود. برای تأمین این هدف، توصیه‌های سیاستی زیر در بخش کشاورزی مورد تأکید می‌باشد:

- ترویج رویکردهای کشاورزی پایدار که محافظه‌کارانه با منابع طبیعی برخورد می‌کنند و به حفاظت از خاک، آب، و تنوع زیستی توجه دارند.

- بهره‌گیری از تکنولوژی‌های مدرن در کشاورزی، مانند سیستم‌های هوشمند آبیاری، کشاورزی دقیق و سیستم‌های کشت هوشمند.

- ارائه آموزش به کشاورزان در زمینه‌های مختلف از جمله انتخاب بذرها و گیاهان مقاوم به دما و محصولات مناسب، استفاده از تکنولوژی‌های نوین و مدیریت منابع طبیعی در جهت افزایش توانمندی آنان در مواجهه با تغییرات دمایی

- بهینه‌سازی سیستم‌های آبیاری و مدیریت استفاده از آب برای افزایش بهره‌وری و جلوگیری از تبخیر بیشتر - استفاده از روش‌های پیشگیری و مدیریت مستمر برای کنترل آفات و بیماری‌ها

منابع

- Ainsworth, E. A., Lemonnier, P., & Wedow, J. M. (2019). The influence of rising tropospheric carbon dioxide and ozone on plant productivity. In S. Tausz-Posch (Ed.), *Plant Biology*, 22(S1), 5–11. <https://doi.org/10.1111/plb.12973>

- (2023). *Climate Change 2021 – The Physical Science Basis*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>
- Kahn, B., & Climate Central. (2017). A century of global warming, in just 35 seconds. Retrieved from <https://www.scientificamerican.com/article/a-century-of-global-warming-in-just-35-seconds/>
- Koocheki, A., Nasiri Mahalati, M., & Jafari, L. (2015). Evaluation of climate change effect on agricultural production of Iran: I. Predicting the future agroclimatic conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 13(4), 651-664. doi: 10.22067/gsc.v13i4.51156. [In Persian].
- Letcher, T. M. (2021). Global warming—a complex situation. *Climate Change*, 3–17. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-821575-3.00001-3>
- Mansouri Daneshvar, M. R., Ebrahimi, M., & Nejadsoleymani, H. (2019). An overview of climate change in Iran: facts and statistics. In *Environmental Systems Research* (Vol. 8, Issue 1). Springer Science and Business Media LLC. <https://doi.org/10.1186/s40068-019-0135-3>
- Miri, M., Azizi, G., Mohamadi, H., & Pourhashemi, M. (2017). Evaluation statistically of temperature and precipitation datasets with observed data in Iran. *Journal of Water and Soil Management*, 10(35), 39-50. Retrieved from <https://jwmsei.ir/article-1-587-fa.html>. [In Persian]. 20.1001.1.20089554.1395.10.35.8.1
- Nasiri Mahallati, M., Kucheki, A., & Rezvani, P. (2002). The impact of global climate change on agricultural production. Ferdowsi University of Mashhad Press. [In Persian]. <https://doi.org/10.22067/gsc.v14i1.51157>
- Calvin, K., Dasgupta, D., Krinner, G., Mukherji, A., Thorne, P. W., Trisos, C., Romero, J., Aldunce, P., Barrett, K., Blanco, G., Cheung, W. W. L., Connors, S., Denton, F., Diongue-Niang, A., Dodman, oped countries. *Journal of Drought and Climate Change Research*, 1(1), 49-70. doi: 10.22077/jdcr.2023.6024.1009. [In Persian].
- Farzaneh, M. R., & Banimostafaarab, F. (2023b). Analysis of climate change adaptation laws in developing countries. *Climate Change Research*, 4(13), 35-54. [In Persian]. doi: 10.30488/ccr.2023.394431.1128
- Fazeli Farsani, I., Farzaneh, M. R., Besalatpour, A. A., Salehi, M. H., & Faramarzi, M. (2018). Assessment of the impact of climate change on spatiotemporal variability of blue and green water resources under CMIP3 and CMIP5 models in a highly mountainous watershed. *Theoretical and Applied Climatology*, 136(1–2), 169–184. Springer Science and Business Media LLC. <https://doi.org/10.1007/s00704-018-2474-9>
- Hansen, J. E., Sato, M., Simons, L., Nazarenko, L. S., Sangha, I., Kharecha, P., Zachos, J. C., von Schuckmann, K., Loeb, N. G., Osman, M. B., Jin, Q., Tselioudis, G., Jeong, E., Lacis, A., Ruedy, R., Russell, G., Cao, J., & Li, J. (2023). Global warming in the pipeline. In *Oxford Open Climate Change* (Vol. 3, Issue 1). Oxford University Press (OUP). <https://doi.org/10.1093/oxfclm/kgad008>
- Herring, D., & Lindsey, R. (2022). What evidence exists that Earth is warming and that humans are the main cause? Retrieved December 10, 2023, from <https://www.climate.gov/news-features/climate-qa/what-evidence-exists-earth-warming-and-humans-are-main-cause>
- Hughes, R. A. (2024). Global temperatures breached critical 1.5°C warming threshold for first time over 12 month period. Retrieved October 10, 2024, from <https://www.euronews.com/green/2024/02/08/2024-begins-with-worlds-hot-test-january-on-record-eu-scientists-confirm>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).

- ness Media LLC. <https://doi.org/10.1007/s00704-023-04506-0>
- Thompson, L. G. (2010). Climate change: The evidence and our options. *The Behavior Analyst*, 33(2), 153–170. Springer Science and Business Media LLC. <https://doi.org/10.1007/bf03392211>
- Ullah, S., You, Q., Sachindra, D. A., Nowosad, M., Ullah, W., Bhatti, A. S., Jin, Z., & Ali, A. (2022). Spatiotemporal changes in global aridity in terms of multiple aridity indices: An assessment based on the CRU data. In *Atmospheric Research* (Vol. 268, p. 105998). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2021.105998>
- United Nations. (2024). Causes and effects of climate change. United Nations Framework Convention on Climate Change. Retrieved on January 15, 2024. from <https://www.un.org/en/climatechange/science/causes-effects-climate-change>.
- Vaghefi, S. A., Keykhai, M., Jahanbakhshi, F., Sheikholeslami, J., Ahmadi, A., Yang, H., & Abbaspour, K. C. (2019). The future of extreme climate in Iran. In *Scientific Reports* (Vol. 9, Issue 1). Springer Science and Business Media LLC. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-38071-8>
- Via, S. (2023). Climate change basics and evidence. Retrieved December 10, 2023, from <https://extension.umd.edu/resource/climate-change-basics-and-evidence>
- World Meteorological Organization (WMO). (2023). WMO publishes global update of climate datasets. Retrieved December 10, 2023, from <https://wmo.int/media/news/wmo-publishes-global-update-of-climate-datasets>
- D., Garschagen, M., Geden, O., Hayward, B., Jones, C., ... Ha, M. (2023). IPCC, 2023: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland. (P. Arias, M. Bustamante, I. Elgizouli, G. Flato, M. Howden, C. Méndez-Vallejo, J. J. Pereira, R. Pichs-Madruga, S. K. Rose, Y. Saheb, R. Sánchez Rodríguez, D. Ürge-Vorsatz, C. Xiao, N. Yassaa, J. Romero, J. Kim, E. F. Haites, Y. Jung, R. Stavins, ... C. Péan, Eds.; H. Lee, Chair). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). <https://doi.org/10.59327/ipcc/ar6-9789291691647>
- NOAA. (2024). National centers for environmental information, monthly global climate report for annual 2023. Retrieved from <https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/monthly-report/global/202313>.
- Nunes, C. (2019). Is global warming real? Retrieved December 10, 2023, from <https://www.nationalgeographic.com/environment/article/global-warming-real>
- Office of Technology Studies, Presidency, Policy Research Center. (2022). National infrastructure development roadmap for weather data publication. Sharif University of Technology. [In Persian].
- Rosen, J. (2021). The science of climate change explained: Facts, evidence and proof. Retrieved December 10, 2023, from <https://www.nytimes.com/article/climate-change-global-warming-faq.html>
- Shahpari, G., Ashena, M., Martinez-Cruz, A. L., & León, D. G. (2023). Implications for the Iranian economy from climate change effects on agriculture—a static computable general equilibrium approach. *Theoretical and Applied Climatology*, 153(3–4), 1221–1235. Springer Science and Business Media LLC.



Effect of Drought and Salinity Stress on Chlorophyll and Carotenoid Content in Russian Olive Leaves (*Elaeagnus angustifolia* L.)

Zahra Seif¹, Vahid Etemad², Mohsen Javanmiri Pour^{3*}

1- Ms.C. Graduate, Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran. Karaj, Iran.

2- Associate Professor, Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran. Karaj, Iran.

3- Assistant Professor, Agricultural and Natural Resources Research Center, Research Institute of Forests and Rangelands, Kermanshah, Iran

*Corresponding Author: mjavanmiri@ut.ac.ir

Keywords:

Carotenoid, Chlorophyll content, interactive effect, drought stress, Russian olive, salinity stress.

Extended abstract

Introduction

Given that the majority of Iran's land area consists of arid and semi-arid regions, the use of plants resistant to salinity and drought stress can provide a new opportunity for harnessing the potential of the country's highly stressful climates. Therefore, this research aimed to investigate the effects of different levels of drought and salinity on the survival and morphophysiological characteristics of one-year-old Russian olive seedlings.

Material and methods

An experimental pot study was conducted in a completely randomized block design with three replications and three observations, at three levels of drought (control 100%, 66%, and 33% field capacity) and four levels of salinity (zero as control, 4, 8, and 12 dS/m), in the greenhouse of the Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, from August to November over a period of 4 months. In this study, the content of chlorophyll and carotenoids was examined and measured.

Results

The results of this study showed that the main and interactive effects of drought and salinity stress on the measured traits were significant at the probability level of 0.001. The main and interactive effects of drought and salinity stress led to a decrease in chlorophyll and carotenoid content. The lowest levels of chlorophyll a (19.1 milligrams per gram leaf weight), chlorophyll b (44.0 milligrams per gram leaf weight), total chlorophyll (94.0 milligrams per gram leaf weight), and carotenoid content (39 milligrams per gram leaf weight) were observed. In the interaction effect of salinity stress under drought conditions on total chlorophyll, treatments with 66% field capacity and salt levels of 4, 8, and 12 dS/m showed decreases of 9%, 21%, and 32%, respectively, compared to the control. In treatments with 33% field capacity

Received:

15 May 2024

Revised:

04 June 2024

Accepted:

11 June 2024

How to cite this article:

Seif, Z., Etemad, V., & Javanmiri Pour, M. (2024). Effect of Drought and Salinity Stress on Chlorophyll and Carotenoid Content in Russian Olive Leaves (*Elaeagnus angustifolia* L.). *Journal of Drought and Climate change Research*, 2(3), 32-48. [10.22077/jdcr.2024.7645.1069](https://doi.org/10.22077/jdcr.2024.7645.1069)



and salt levels of 4, 8, and 12 dS/m, decreases of 32%, 40%, and 45% were observed, respectively. Regarding the interaction effect of drought stress and salinity on carotenoid content, treatments with 66% field capacity and salt levels of 4, 8, and 12 dS/m resulted in decreases of 11%, 13%, and 17%, respectively. Similarly, treatments with 33% field capacity and salt levels of 4, 8, and 12 dS/m showed decreases of 13%, 15%, and 23% in carotenoid levels, respectively, compared to the control treatment.

Conclusion

The findings highlight the significant adverse effects of combined salinity and drought stress on the chlorophyll and carotenoid content in *Elaeagnus angustifolia* leaves. The results emphasize the importance of managing salinity and drought stress to maintain the health and productivity of oleaster plants, especially in arid and semi-arid regions like Iran. By selecting and cultivating stress-resistant plant species, it is possible to enhance the utilization of high-stress environments and mitigate the negative impacts of these stresses on plant physiology.



تأثیر تنش‌های خشکی و شوری بر میزان کلروفیل و کاروتنوئید در برگ‌های سنجد (*Elaeagnus angustifolia L.*)

زهرا سیف^۱، وحید اعتماد^۲، محسن جوانمیری پور^{۳*}

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۲- دانشیار، گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۳- استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی، موسسه تحقیقات جنگلها و مراتع، کرمانشاه، ایران.

*نویسنده مسئول: mjavanmiri@ut.ac.ir

چکیده

واژه‌های کلیدی:

در مناطق خشک و نیمه‌خشک تنش شوری و خشکی از مهم‌ترین مشکلات طبیعی محسوب می‌شود. با توجه به اینکه بیشتر مساحت کشور ایران در این دسته قرار دارد، استفاده از گیاهان مقاوم به این تنش‌ها می‌تواند فرصت‌های جدیدی برای بهره‌برداری از اقلیم‌های پرتنش کشور فراهم کند. این پژوهش به بررسی تأثیر سطوح مختلف خشکی و شوری بر زنده‌مانی و خصوصیات مورفوفیزیولوژیک نهال‌های یکساله سنجد پرداخته است. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و در سه سطح خشکی (شاهد ۱۰۰، ۶۶ و ۳۳ درصد ظرفیت زراعی) و چهار سطح شوری (صفر، ۴، ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر) در گلخانه دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، از مرداد تا آبان به مدت ۴ ماه انجام شد. در این تحقیق، محتوای کلروفیل و کاروتنوئید نهال‌ها مورد بررسی و اندازه‌گیری قرار گرفت. نتایج نشان داد که اثر تنش خشکی و شوری بر صفات اندازه‌گیری شده معنی‌دار است و افزایش این تنش‌ها منجر به کاهش محتوای کلروفیل و کاروتنوئید گردید. به‌طور خاص، میزان کلروفیل a برابر با ۱۹/۱، کلروفیل b برابر با ۴۴/۰، کلروفیل کل برابر با ۹۴/۰ و کاروتنوئید برابر با ۳۹/۰ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ مشاهده شد. در اثر متقابل تنش شوری و خشکی بر محتوای کلروفیل کل، در تیمارهای ۶۶ درصد ظرفیت زراعی با سطوح نمک ۴، ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب کاهش‌های ۹، ۲۱ و ۳۲ درصدی نسبت به شاهد مشاهده شد. همچنین، در تیمارهای ۳۳ درصد ظرفیت زراعی، کاهش‌های ۳۲، ۴۰ و ۴۵ درصدی نسبت به شاهد ثبت گردید. در مورد کاروتنوئیدها نیز، در تیمارهای ۶۶ درصد ظرفیت زراعی و سطوح نمک مشابه، کاهش‌های ۱۱، ۱۳ و ۱۷ درصدی نسبت به شاهد مشاهده شد. در تیمارهای ۳۳ درصد ظرفیت زراعی نیز کاهش‌های ۱۳، ۱۵ و ۲۳ درصدی در میزان کاروتنوئید نسبت به شاهد ثبت گردید. این یافته‌ها نشان‌دهنده اثرات منفی قابل توجه تنش شوری و خشکی بر محتوای کلروفیل و کاروتنوئید در نهال‌های سنجد است. نتایج بر اهمیت مدیریت این تنش‌ها برای حفظ سلامت و بهره‌وری گیاهان تأکید دارد. انتخاب و پرورش گونه‌های مقاوم می‌تواند به افزایش استفاده از محیط‌های پرتنش کمک کرده و اثرات منفی این تنش‌ها را کاهش دهد.

اثر متقابل، تنش خشکی، تنش شوری، سنجد، کاروتنوئید، محتوای کلروفیل.

تاریخ دریافت:

۱۴۰۳/۰۲/۲۶

تاریخ ویرایش:

۱۴۰۳/۰۳/۱۵

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۳/۰۳/۲۲

مقدمه

تنش‌های خشکی و شوری از جمله تنش‌های مهم در محیط‌های مختلف زیستی هستند که می‌تواند تأثیرات جدی بر فیزیولوژی گیاهان داشته باشد. این تنش‌ها می‌توانند باعث کاهش فعالیت فتوسنتزی، افزایش استرس اکسیداتیو، و کاهش محتوای کلروفیل و کاروتنوئید در برگ‌ها شوند که در نتیجه به کاهش رشد و عملکرد گیاه منجر می‌شود.

گیاهان مانند سایر موجودات زنده تحت تأثیر تنش‌های مختلف قرار می‌گیرند. به‌طور کلی تنش‌ها به دو دسته تنش‌های زیستی^۱ نظیر آفات و بیماری‌ها و علف‌های هرز و تنش‌های غیر زیستی^۲ مانند شوری، خشکی، سرما، یخ‌زدگی، دمای بالا، فلزات سنگین، شرایط غرقابی، تابش پرتوهای فرابنفش و آسیب‌های ناشی از کمبود و یا بیش‌بود برخی از عناصر خاک تقسیم می‌شوند (Ghanbari et al., 2016). این تنش‌ها با تأثیرات خود باعث محدودیت‌هایی در رشد و عملکرد گیاهان می‌شوند به‌طوری که اختلاف قابل توجهی بین عملکرد واقعی و عملکرد بالقوه گیاهان دیده می‌شود (Guha-sapir et al., 2004).

شوری و خشکی دو محدودیت عمده زیست‌محیطی برای بهره‌وری محصول محسوب می‌شوند و به‌طور مداوم سیستم‌های کشاورزی و تولید محصول را تهدید می‌کنند (Abrar et al., 2020; Saadat-mand et al., 2015). تنش خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده رشد گیاهان در سراسر جهان و شایع‌ترین تنش محیطی است (Abedi and Pakniyat, 2010). پس از خشکی تنش شوری جزء مهم‌ترین گسترده‌ترین تنش‌های محیطی در نواحی خشک و نیمه‌خشک جهان محسوب می‌گردد (Jahanbakhsh et al., 2019).

در اثر تنش شوری، گیاه ممکن است به دلیل رقابت در یون سدیم و کلر با مواد مغذی مانند کلسیم و پتاسیم و نیترات باعث کمبود یا عدم تعادل مواد مغذی شود و تنش خشکی می‌تواند بر جذب عناصر غذایی و جابه‌جایی برخی مواد مغذی، در گیاه اثرگذار

باشد (Saadatmand et al., 2013)؛ حتی در مواردی که خاک از نظر مواد مغذی مورد نیاز گیاه غنی باشد، اما در زمان بروز تنش شوری و خشکی شدید این مواد مغذی نمی‌توانند رشد گیاه را بهبود ببخشند (Hu and Schmidhalter, 2005).

درخت سنجد با نام علمی (*Elaeagnus angustifolia* L.) از خانواده Elaeagnaceae که در کشورهای دیگر با نام زیتون روسی شناخته می‌شود (Bartish et al., 2002). از این خانواده گیاهی ۷۲ گونه مختلف و از سه جنس *Elaeagnus*, *Hippophae*, *Shepherdia* در سراسر جهان وجود دارند. در کشور ما این گونه در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌عنوان یک گیاه خودرو، بادشکن و در منظرسازی راه‌ها تکثیر یافته است (Mousavi Mirkola et al., 2017). همچنین دارای قابلیت سازگاری و انعطاف‌پذیری زیادی با شرایط مختلف محیطی از قبیل خشکی و شوری می‌باشد (Klich, 2000, Asadiar et al., 2012). درختان بالغ سنجد تحمل سیل و خشک‌سالی را دارند، اما تحمل شرایط اسیدی pH کمتر از شش را ندارند. گونه سنجد به مقادیر شوری خاک نیز مقاوم بوده و توانایی زیادی در تثبیت نیتروژن دارد (Katz and Shafroth, 2003, Ahani et al., 2017).

در ارتباط با تأثیر تنش‌های خشکی و شوری بر میزان کلروفیل و کاروتنوئید در گونه‌های مختلف مطالعاتی در داخل و خارج از کشور انجام شده است که توجه به آن‌ها حائز اهمیت فراوانی است.

نتایج آزمایشی به‌جهت بررسی پاسخ‌های فیزیولوژیک نهال‌های افاقیا به تنش خشکی نشان داد که بر اثر تنش خشکی میزان تجمع پرولین در برگ افزایش و پارامتر فلورانس کلروفیل در برگ کاهش یافته و این دو پارامتر را می‌توان به‌عنوان شاخص تعیین میزان تحمل به خشکی در افاقیا برای کاشت در مناطق خشک و نیمه‌خشک مفید دانست (Kordrostami et al., 2017).

نتایج مطالعه‌ای بر روی نهال‌های گلدانی نمدار (*Til- cordata*) به هدف شناسایی پارامترهای فلورانس کلروفیل به‌عنوان شاخصی برای تنش خشکی و شوری

1. Biotic
2. Abiotic

میزان کلروفیل a و بیوماس خشک (در سطح احتمال ۱ درصد) و کارایی مصرف آب لحظه‌ای (در سطح احتمال ۵ درصد) و همچنین بین ارقام از نظر میزان کلروفیل a، محتوای کاروتنوئید، هدایت روزنه‌ای، میزان تفرق و بیوماس خشک (در سطح احتمال ۰/۱ درصد)، کارایی مصرف آب ذاتی (در سطح احتمال ۱ درصد) و کارایی مصرف آب لحظه‌ای (در سطح احتمال ۵ درصد) اختلاف معنی‌دار بود (Ojaghloo et al., 2022).

نتایج حاصل از تنش خشکی در بین شش رقم انگور نشان داد که با افزایش سطح تنش خشکی میزان کلروفیل کل و کاروتنوئید در برگ‌های همه ارقام مورد مطالعه انگور کاهش پیدا کرد. در بین ارقام مورد مطالعه بیشترین میزان کلروفیل کل میلی‌گرم بر گرم در رقم قره‌شلیق با مقدار ۲/۱۴ وزن‌تر مشاهده شد و کمترین میزان در رقم کوچک‌بوغان با مقدار ۳۲/۰ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر به‌دست آمد. میزان کاروتنوئید در رقم قره‌شلیق با مقدار ۱/۸۱ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر و کمترین میزان در رقم کوچک‌بوغان با مقدار ۰/۰۹۷ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر مشاهده شد (Fahim et al., 2022). نتایج بررسی تأثیر کاربرد تنش خشکی و شوری بر رنگیزه‌های فتوسنتزی و غلظت عناصر نعنای فلفلی (*Mentha Piperita L*) در شرایط سلنیوم نشان داد که با افزایش سطح تنش خشکی و شوری، از میزان کلروفیل a، b و کل و کاروتنوئیدها کاسته شد (Shamsabadi et al., 2023).

با توجه به شرایط تغییر اقلیم در جهان و تغییرات آب‌وهوایی در ایران، و با توجه به اینکه بیشتر مساحت ایران تحت اقلیم خشک و نیمه‌خشک می‌باشد و میزان میانگین بارش سالیانه در کشور کمتر از ۲۶۰ میلی‌متر است، ضرورت دارد در چنین شرایطی برای بهره‌وری و حفاظت آب‌و خاک و احیای برخی از اقلیم‌های پر تنش کشور، استفاده از گیاهان مقاوم به تنش‌های محیطی نظیر خشکی و به طبع آن شوری فراهم گردد. بنابراین اهداف تحقیق حاضر شامل تأثیر تنش‌های اصلی و متقابل خشکی و شوری بر میزان کلروفیل و کاروتنوئید نهال‌های سنجد برای استفاده در طرح‌های جنگل‌کاری به‌ویژه در مواجهه با تغییرات اقلیمی در عصر حاضر است.

نشان داد که تنش شوری و خشکی مکانیسم‌های مشابهی در فاز فتوسنتز نوری دارند، با این حال پاسخ فتوسیستم II به تنش اعمالی زودتر در شرایط خشکی رخ داد. در هر دو تنش، آسیب به محل‌های تجمع اکسیژن و مراکز واکنش به‌صورت همزمان رخ داد. از آنجایی که هر دو تنش شوری و خشکی تأثیر بازدارندگی مشابهی را در فاز فتوسنتز نوری ایجاد کردند (Kalaji et al., 2018).

نتایج مطالعه‌ای به‌منظور بررسی تأثیر تنش خشکی و شوری بر وضعیت محتوای نسبی آب برگ زیتون نشان داد درختان زیتون تحت تنش خشکی، کاهش محتویات کلروفیل کل، پتانسیل آب برگ و پارامترهای تبادل گاز فتوسنتزی را در طی دوره خشکی نشان دادند. آبیاری با آب شور این اثرات مخرب و کاهش صفات را کمتر کرد ولی به سطح مشاهده شده در آبیاری با آب شیرین نرسید (Trabelsi et al., 2018). یافته‌های حاصل از اثر متقابل تنش‌های شوری و خشکی در گل نرگس شهلا بر محتوای کلروفیل کل معنی‌دار و کاهش بود. به‌طوری‌که تیمار ۶۰ میلی مولار کلرید سدیم همراه با ۳۰ درصد ظرفیت زراعی باعث کاهش ۷۲ درصدی کلروفیل کل نسبت به شاهد شد. تنش‌های شوری و خشکی سبب کاهش محتوای کاروتنوئید برگ شدند، به‌طوری‌که مقدار این صفت در شدیدترین سطوح شوری و خشکی، به‌ترتیب ۲۶ و ۲۵ درصد در مقایسه با شاهد کاهش یافت (Nasari Moghdam et al., 2020). نتایج تأثیر سطوح تنش شوری در سه ژنوتیپ کینوا (*Willd quinoa Chenopodium*) نشان داد که مقایسه پارامترهای رشد و افزایش پرولین و کاهش میزان پروتئین در تنش شوری ۳۲ دسی‌زیمنس بر متر می‌تواند با کاهش کلروفیل، کاروتنوئیدها، قندهای احیا، کربوهیدرات‌های کل و افزایش تنش اکسیداتیو و میزان H_2O_2 مرتبط باشد (Jafari et al., 2021).

نتایج اثر سطوح خشکی بر زیتون (*Olea europaea L*) نشان داد، بین سطوح مختلف تنش خشکی از نظر صفات محتوای کاروتنوئید، هدایت روزنه‌ای، میزان تفرق و شدت فتوسنتز (در سطح احتمال ۰/۱ درصد)،

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

تحقیق حاضر به‌منظور بررسی تأثیر سطوح مختلف خشکی و شوری بر زنده‌مانی و خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی نهال‌های یک‌ساله گونه سنجد در شرایط تنش شوری و خشکی در گلخانه گروه جنگل‌داری و اقتصاد جنگل دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران واقع در کرج انجام شد. این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در ۳ تکرار و ۳ مشاهده صورت گرفت. گلخانه انجام آزمایش با فتوپریود ۸/۱۶ ساعت (روشنایی / تاریکی) و دمای ۱۵/۳۰ درجه سانتی‌گراد (روز / شب) بود.

روش تحقیق:

در ماه فروردین ۱۷۱ اصله نهال یک‌ساله سنجد از نهالستان منابع طبیعی استان البرز واقع در محمد شهر در مسیر جاده کرج - ماهدشت، تهیه و به گلخانه دانشکده گروه جنگل‌داری و اقتصاد جنگل دانشگاه تهران منتقل شد، در دو ماه اول مراقبت‌ها و آماده‌سازی از نهال‌ها برای آزمایش صورت گرفت و مقداری از خاکی که برای پر کردن گلدان‌هایی با قطر دهانه ۲۲، و ارتفاع ۲۱ سانتی‌متر مورد استفاده قرار گرفت، به‌صورت جداگانه جمع‌آوری و برای آنالیز و بررسی میزان ظرفیت زراعی خاک به آزمایشگاه خاکشناسی منتقل شد. میانگین ارتفاع اولیه نهال‌ها تقریباً ۸۰ سانتی‌متر با میانگین قطر یقه ۸/۳۰ میلی‌متر بود متوسط طول ریشه ۱۳ سانتی‌متر اندازه‌گیری گردید.

در جهت تهیه خاک مورد نیاز برای تعویض و پر کردن گلدان‌های مورد آزمایش از خاکی که در نهالستان منابع طبیعی کرج موجود بود استفاده گردید که در این مرحله که اوایل بهار انجام گردید خاک برای تعویض گلدان‌ها به‌صورت دو قسمت خاک و یک قسمت کود زراعی آماده شد و به طبع مقداری از خاک نیز برای آنالیز جدا شد تا نسبت به مشخصات فیزیکوشیمیایی، وزن مخصوص ظاهری، بافت، اسیدیته، و هدایت الکتریکی نمونه خاک اقدام گردد.

در این پژوهش پس از تهیه خاک‌های مورد استفاده برای کاشت، رطوبت در دو نقطه مهم ظرفیت زراعی

(FC) و نقطه پژمردگی دائم (PWP) در آزمایشگاه خاکشناسی به‌روش صفحات فشاری تعیین شد. برای این منظور با استفاده از رینگ‌های مخصوص این دستگاه به مقدار کافی از هر نوع خاک نمونه لازم تهیه و یک روز قبل از آزمایش با آب اشباع نموده و بعد از قرار دادن نمونه‌ها بر روی صفحه، آب ریخته تا نمونه‌ها به‌حالت اشباع باقی‌مانده، آنگاه نمونه‌های اشباع شده را تحت فشار ۰/۱ (۰/۱) برای خاک‌های شنی و ۰/۳ (برای خاک‌های رسی) بار برای اندازه‌گیری FC و ۱۵ بار برای اندازه‌گیری PWP قرار داده و پس از قطع شدن آب خروجی، نمونه‌ها را توزین کرده و بعد از خشک کردن در آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد، درصد رطوبت خاک اندازه‌گیری شد.

قبل از انجام هرگونه اعمال تنش مقدار مناسب از خاکی که گلدان‌ها از آن پر شدن جمع‌آوری و کلیه فاکتورهای مورد استفاده در تیمارهای آزمایشی در آزمایشگاه خاکشناسی مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. برخی از پارامترهای فیزیکی و شیمیایی خاک مانند بافت خاک، درصدهای کربن، ازت، وزن ظاهری، وزن حقیقی، ظرفیت زراعی، نقطه پژمردگی، مقدار پتاسیم، فسفر، سدیم، کلسیم، EC و PH مورد اندازه‌گیری قرار گرفت.

آزمایش تنش شوری

در این آزمایش بررسی تحمل شوری بر روی نهال‌های سنجد انجام گرفت و برای تهیه آب‌شور قابل آبیاری از محلول نمک سدیم کلراید با درصد خلوص ۹۹ و آب شهری استفاده شد. تنش شوری، در چهار سطح و در مدت دو ماه و نیم روی نهال‌ها اعمال گردید و چهار سطح شوری، شوری صفر (عدم شوری)، شوری ۴، ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر بودند. در هر نوبت آبیاری، از آب نمک‌های تهیه شده در مخزن‌های تعبیه شده که روی آن‌ها با صفحات فیبری سفید برای جلوگیری از تبخیر آب پوشانیده شده بود، به میزان آبیاری نرمال در دسترس گیاه قرار می‌گرفت.

آزمایش تنش خشکی

در این آزمایش تنش خشکی بر روی نهال‌های یک ساله سنجد در سه سطح آبیاری، ۱۰۰ درصد ظرفیت

1. Permanent wilting point

جدول ۱. بررسی برخی از پارامترهای فیزیکی و شیمیایی خاک

Table 1. Examination of some physical and chemical parameters of soil

وزن مخص وص ظاهر	ماده آلی (%)	ی g/c	نقطه پژمردگی دائم (%)	ظرفیت زراعی (درصد)	هدایت الکتریکی (mho)	P H	کلسیم (ppm)	سدیم (ppm)	پتاسیم (ppm)	فسفات (ppm)	ازت (%)	کربن (%)	پارامتر
ماده آلی organi c matter (%)	ی g/c	نقطه پژمردگی دائم (%)	ظرفیت زراعی (درصد)	هدایت الکتریکی (mho)	P H	کلسیم (ppm)	سدیم (ppm)	پتاسیم (ppm)	فسفات (ppm)	ازت (%)	کربن (%)	پارامتر	
ماده آلی organi c matter (%)	ی g/c	نقطه پژمردگی دائم (%)	ظرفیت زراعی (درصد)	هدایت الکتریکی (mho)	P H	کلسیم (ppm)	سدیم (ppm)	پتاسیم (ppm)	فسفات (ppm)	ازت (%)	کربن (%)	پارامتر	
Sandy loam	2.15	2.5	13.3	25.8	2.56	7.5	40	29.6	316	6.97	11	1.35	مقدار Value

دسی‌زیمنس بر متر) و خشکی در سه سطح (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی، ۶۶ و ۳۳ درصد ظرفیت زراعی) انجام گرفت. در هر تیمار میزان خشکی و میزان شوری تغییر می‌کند و از تیمارهای با خشکی و شوری نرمال (شوری صفر و خشکی ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) تا تیمارهای با میزان تنش خشکی و شوری شدید (شوری ۱۲ دسی‌زیمنس و خشکی ۳۳ درصد ظرفیت زراعی) متغیر بود (جدول ۲).

طرح و تیمارهای آزمایش

این آزمایش به‌منظور بررسی و اندازه‌گیری میزان تحمل و بردباری نهال‌های یک‌ساله سنجد به تنش‌های شوری و خشکی همچنین بررسی اثر متقابل

زراعی (آبیاری نرمال)، ۶۶ درصد ظرفیت زراعی و ۳۳ درصد ظرفیت آبیاری اعمال شد. در ابتدا وزن خاک خشک و درصد رطوبت زراعی و وزن نرمالی که هر گلدان در هر سطح رطوبتی (MAD) باید داشته باشد، به‌دست آمد. سپس در هر نوبت آبیاری میزان رطوبت خاک هر گلدان به‌وسیله دستگاه رطوبت‌سنج اندازه‌گیری شد و کمبود آب در هر سطح رطوبتی با استفاده از استوانه مدرج به هر گلدان اضافه گردید.

آزمایش تنش خشکی و شوری

در این آزمایش به‌منظور بررسی تحمل نهال‌های سنجد به تنش متقابل شوری در خشکی، در ۱۲ تیمار با میزان شوری در چهار سطح (صفر، ۴، ۸، ۱۲

جدول ۲. تیمارهای خشکی و شوری

Table 2. Drought and salinity treatments

شوری (دسی‌زیمنس بر متر) Salinity (ds/m)	خشکی (درصد ظرفیت زراعی) Aridity (Field capacity %)	تیمار Treatment	شوری (دسی‌زیمنس بر متر) Salinity (ds/m)	خشکی (درصد ظرفیت زراعی) Aridity (Field capacity %)	تیمار Treatment
8	66	7	0	100	1
12	66	8	4	100	2
0	33	9	8	100	3
4	33	10	12	100	4
8	33	11	0	66	5
12	33	12	4	66	6

عصاره مورد نظر به ۱۵ میلی لیتر رسانیده شد. سپس عصاره تهیه شده را با استفاده از سانتریفیوژ با سرعت $g \times 5000$ به مدت ۱۰ دقیقه را قرار داده و صاف شد. برای اندازه گیری میزان جذب نوری نمونه ها از دستگاه اسپکتروفتومتر (Shimadzu UV-160) استفاده شد. در ابتدا باید دستگاه را صفر می شد که این کار با استفاده از استون ۸۰ درصد انجام گرفت و سپس به صورت جداگانه، در طول موج های ۶۴۵ نانومتر و ۶۶۳ نانومتر برای محتوای کلروفیل و در طول موج ۴۷۰ نانومتر برای کاروتنوئید توسط دستگاه اسپکتروفتومتر میزان جذب عصاره های استخراج شده، قرائت گردید. سپس با استفاده از روابط زیر که در سطر زیر آورده می شود میزان کلروفیل کل محاسبه شد.

$$(1) \text{ میلیگرم کلروفیل کل در هر گرم برگتر} = \frac{V}{1000 \times W} [(20.2 \times A_{645}) + (8.02 \times A_{663})]$$

$$(2) \text{ کاروتنوئید (میلیگرم در گرم وزن برگ) = } \frac{V}{1000 \times W} [1000 (A_{470}) - 1.82(\text{Chl a}) - 85.02 (\text{Chl b}) / 198]$$

در گرم وزن برگ) است. در تنش خشکی ۶۶ و ۳۳ درصد ظرفیت زراعی به ترتیب کاهش ۶ و ۲۶ درصدی (شکل ۱)، در تنش شوری ۴، ۸ و ۱۲ دسی زیمنس بر متر به ترتیب کاهش ۴، ۱۳ و ۳۲ درصدی مشاهده می شود (شکل ۱).

در اثر متقابل تنش شوری در خشکی در تیمارهای ۶۶ درصد ظرفیت زراعی و سطوح نمک ۴، ۸ و ۱۲ دسی زیمنس بر متر به ترتیب کاهش ۸، ۲۱ و ۳۸ درصدی و در تیمارهای ۳۳ درصد ظرفیت زراعی و سطوح نمک ۴، ۸ و ۱۲ دسی زیمنس بر متر به ترتیب ۲۷، ۴۵ و ۵۰ درصد کاهش میزان کلروفیل a نسبت به شاهد شد (شکل ۲).

بیشترین و کمترین میزان کلروفیل b به ترتیب در تیمار شاهد (۰/۴۷ میلی گرم در گرم وزن برگ) و تیمار خشکی ۰/۳۳ و شوری ۱۲ دسی زیمنس بر متر (۰/۲۱ میلی گرم در گرم وزن برگ) مشاهده شد. در تنش خشکی ۶۶ و ۳۳ درصد ظرفیت زراعی به ترتیب کاهش ۶ و ۲۲ درصدی (شکل ۳)، در تنش شوری ۴، ۸ و ۱۲ دسی زیمنس بر متر به ترتیب کاهش ۶، ۲۲ و ۲۷ درصدی مشاهده می گردد (شکل ۳).

در اثر متقابل تنش شوری در خشکی بر روی کلروفیل

خشکی در شوری به صورت طرح فاکتوریل در قالب بلوک های کامل تصادفی انجام گرفت. آزمایش در سه سطح خشکی (۱۰۰، ۶۶، ۳۳ درصد ظرفیت زراعی) و چهار سطح شوری (صفر، ۴، ۸، ۱۲ دسی زیمنس بر متر) در سه تکرار و سه مشاهده (در هر تکرار سه نهال) بررسی گردید. تعداد کل گلدان های مورد استفاده ۱۷۱ عدد که در هر گلدان یک نهال سنجد موجود بود.

از روش Arnon (1949) برای اندازه گیری محتوای کلروفیل برگ تر سنجد استفاده گردید. برای اندازه گیری محتوای کلروفیل و کاروتنوئید، این کار ابتدا ۱/۰ گرم نمونه برگی از برگ سنجد را در هاون چینی به همراه ۳ میلی لیتر استون ۸۰ درصد کاملاً ساییده و حجم نهایی

در این رابطه، A میزان جذب در طول موج مورد نظر، V حجم نهایی استون ۸۰ درصد بر حسب میلی لیتر و W اندازه برگ تازه بر حسب گرم است.

نتایج و بحث

با توجه به نتایج تجزیه واریانس، اثر اصلی و متقابل تنش خشکی و شوری بر میزان کلروفیل a در سطح احتمال یک درصد معنی دار است (جدول ۳). نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی تنش خشکی و شوری بر روی میزان کلروفیل b در سطح احتمال یک درصد معنی دار و در اثر متقابل تنش خشکی در شوری روی این صفت در سطح احتمال پنج درصد معنی دار و کاهشی است (جدول ۳). اثر اصلی و متقابل خشکی و شوری بر روی میزان کلروفیل کل در سطح احتمال یک درصد معنی دار است (جدول ۳). نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی و متقابل تنش های شوری و خشکی بر کاروتنوئید در سطح احتمال یک درصد معنی دار و کاهشی است (جدول ۳).

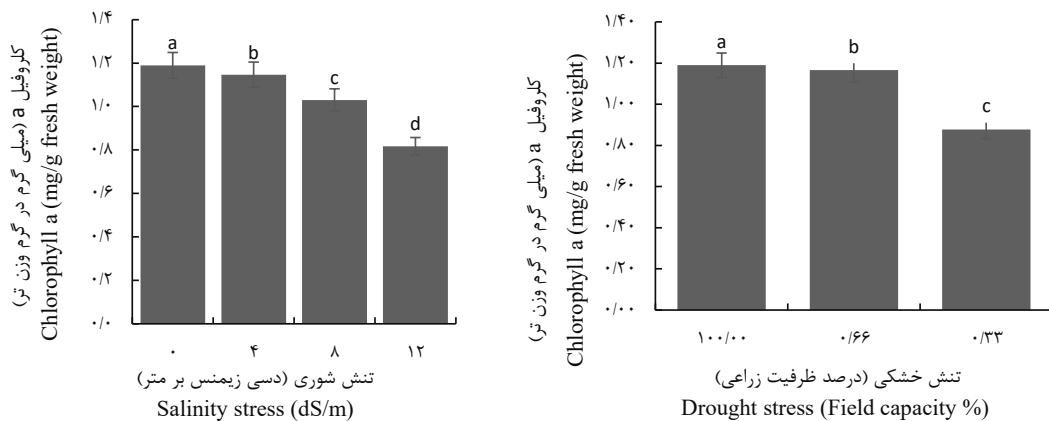
بیشترین میزان کلروفیل a مربوط به تیمار شاهد (۱/۲۴ میلی گرم در گرم وزن برگ) و کمترین میزان آن مربوط به تیمار خشکی ۳۳ درصد ظرفیت زراعی و شوری ۱۲ دسی زیمنس بر متر (۰/۵۴ میلی گرم

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس محتوای کلروفیل برگ سنجید تحت تنش‌های خشکی و شوری

Table 3. The results of analyzing the variance of the chlorophyll content of elder leaves under drought and salinity stresses

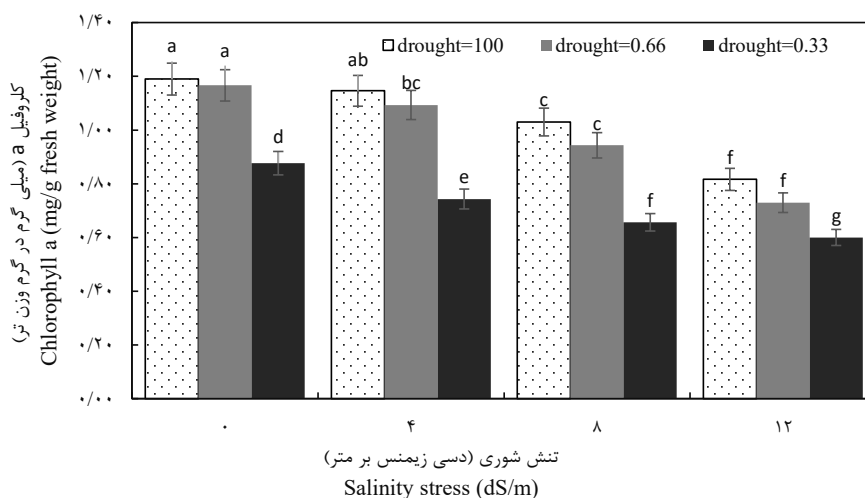
کاروتنوئید Carotenoid	کلروفیل کل Total chlorophyll	میانگین مربعات Mean of squares		درجه آزادی df	منبع تغییرات Source of changes
		کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل a Chlorophyll a		
0.000325 **	0.0022 **	0.0036**	0.0002 **	2	تکرار replication
0.005**	0.576 ^{ns}	0.0722 ^{ns}	0.36 ^{ns}	2	تنش خشکی drought stress
0.0153**	0.386 ^{ns}	0.0202**	0.222**	2	تنش شوری Salinity stress
0.001**	0.0076**	0.0007*	0.0082**	6	خشکی × شوری drought × Salinity
0.0003	0.0018	0.0025	0.0015	22	خطا Error
4.24	3.17	4.65	4.36	-	ضریب تغییرات (%)

***، ** و ns به ترتیب معنی‌داری در سطح ۱٪، ۵٪ و عدم تفاوت معنی‌دار می‌باشد.



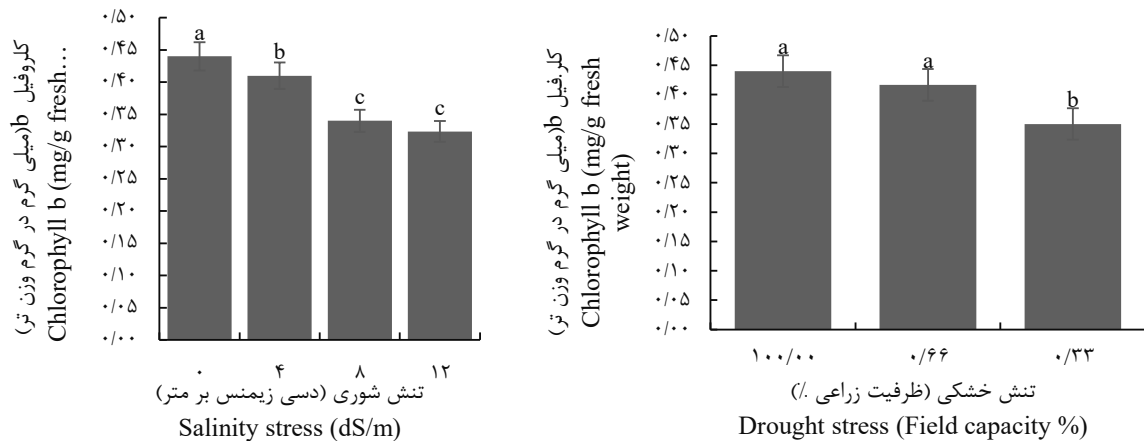
شکل ۱. تأثیر تنش خشکی و تنش شوری روی محتوای کلروفیل a

Fig 1. The effect of drought stress and salinity stress on the content of chlorophyll a



شکل ۲. تأثیر تنش متقابل خشکی × شوری روی کلروفیل a

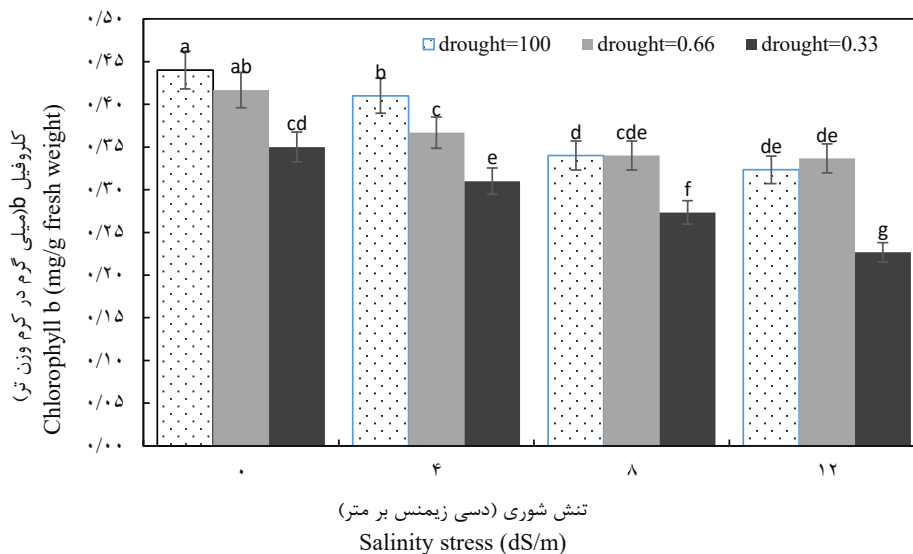
Fig 2. The effect of drought × salinity mutual stress on chlorophyll a



شکل ۳. تأثیر تنش خشکی و تنش شوری روی محتوای کلروفیل b
Fig 3. Effect of drought stress and salinity stress on chlorophyll b content

زراعی و سطوح نمک ۴، ۸ و ۱۲ دسی زیمنس بر متر به ترتیب ۲۹، ۳۸ و ۵۰ درصد کاهش نسبت به شاهد مشاهده گردید (شکل ۴).

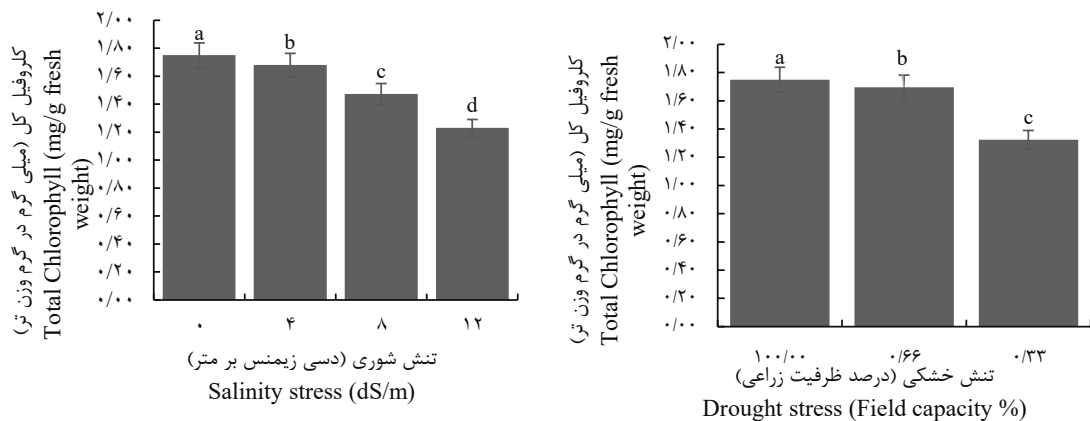
b، در تیمارهای ۶۶ درصد ظرفیت زراعی و سطوح نمک ۴، ۸ و ۱۲ دسی زیمنس بر متر به ترتیب کاهش ۱۸، ۲۲ و ۲۵ درصدی، و در تیمارهای ۳۳ درصد ظرفیت



شکل ۴. اثر متقابل خشکی × شوری روی کلروفیل b
Fig 4. Drought x salinity interaction on chlorophyll b

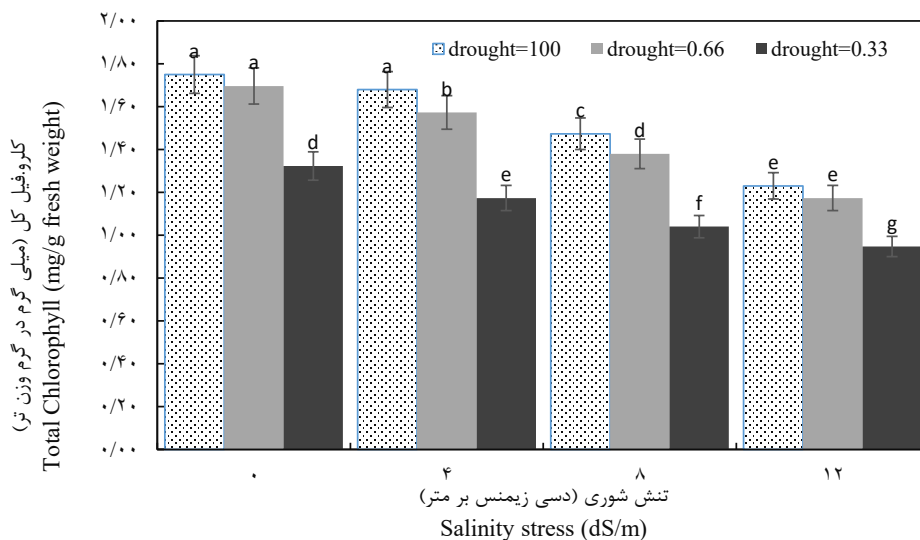
در اثر متقابل تنش شوری در خشکی روی کلروفیل کل، در تیمارهای ۶۶ درصد ظرفیت زراعی و سطوح نمک ۴، ۸ و ۱۲ دسی زیمنس بر متر به ترتیب کاهش ۹، ۲۱ و ۳۲ درصدی و در تیمارهای ۳۳ درصد ظرفیت زراعی و سطوح نمک ۴، ۸ و ۱۲ دسی زیمنس بر متر به ترتیب ۳۲، ۴۰ و ۴۵ درصد کاهش نسبت به شاهد مشاهده شد (شکل ۶).
 با توجه به نتایج این تحقیق، اثر اصلی تنش خشکی و شوری بر روی محتوای کلروفیل معنی دار و کاهش

بیشترین میزان کلروفیل کل در تیمار شاهد (۱/۷۵ میلی گرم در گرم وزن برگ) و کمترین میزان کلروفیل کل در تیمار خشکی ۳۳ درصد ظرفیت زراعی و شوری ۱۲ دسی زیمنس بر متر (۰/۹۴ میلی گرم در گرم وزن برگ) مشاهده شد. در تنش شوری ۴، ۸ و ۱۲ دسی زیمنس بر متر به ترتیب کاهش ۳، ۱۵ و ۲۹ درصدی (شکل ۵)، در تنش خشکی ۳۳ و ۶۶ درصد ظرفیت زراعی به ترتیب کاهش ۲ و ۲۴ درصدی مشاهده می گردد (شکل ۵).



شکل ۵. تأثیر تنش خشکی و تنش شوری روی محتوای کلروفیل کل

Fig 5. Effect of drought stress and salinity stress on total chlorophyll content



شکل ۶. اثر متقابل خشکی و شوری روی کلروفیل کل

Fig 6. Drought and salinity interaction on total chlorophyll

کل حدود ۳۰ درصد کاهش و کلروفیل b، ۲۷ درصد کاهش یافت.

در اثر متقابل تنش خشکی در شوری، در تیمارهای خشکی ۶۶ درصد ظرفیت زراعی و سطوح مختلف نمک، در شوری دسی زیمنس بر متر ۴، کلروفیل a و کلروفیل کل ۸ درصد و کلروفیل b، ۱۸ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش یافت و در شوری دسی زیمنس بر متر ۸ محتوای کلروفیل a و b و کلروفیل کل ۲۱ درصد نسبت به شاهد کاهش، و در شوری دسی زیمنس بر متر ۱۲ محتوای کلروفیل a و کلروفیل کل ۳۵ درصد کاهش و کلروفیل b، ۲۵ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش یافت. در تیمار خشکی ۳۳ درصد ظرفیت

است. در اثر تنش خشکی در تیمار ۶۶ درصد ظرفیت زراعی کاهش در محتوای کلروفیل a و کلروفیل کل ۲ درصد و در کلروفیل b ۶ درصد است. در تیمار خشکی ۳۳ درصد ظرفیت زراعی محتوای کلروفیل a و کلروفیل b به ترتیب ۲۶ و ۲۰ درصد کاهش و کلروفیل کل ۲۴ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت.

در تنش شوری ۴ دسی زیمنس بر متر میزان کلروفیل a و کلروفیل کل ۴ درصد کاهش و کلروفیل b، ۶ درصد کاهش یافت. در تنش شوری دسی زیمنس بر متر ۸ میزان کلروفیل a و کلروفیل کل حدود ۱۴ درصد کاهش و کلروفیل b، ۲۲ درصد کاهش یافت. در شوری دسی زیمنس بر متر ۱۲، کلروفیل a و کلروفیل

تنش شوری نیز در ابتدا با افزایش میزان شوری به مقدار ۴ دسی زیمنس بر متر میزان کاروتنوئید ۱٪ افزایش ولی با افزایش تیمار شوری یعنی در تیمارهای ۸ و ۱۲ دسی زیمنس بر متر میزان کاروتنوئید نسبت به شاهد به ترتیب ۱۱٪ و ۱۵٪ کاهش یافت (شکل ۷). در اثر متقابل تنش خشکی در شوری بر روی میزان کاروتنوئید، در تیمارهای ۶۶ درصد ظرفیت زراعی و سطوح نمک ۴، ۸ و ۱۲ دسی زیمنس بر متر به ترتیب کاهش ۱۱، ۱۳ و ۱۷ درصدی، و در تیمارهای ۳۳ درصد ظرفیت زراعی و سطوح نمک ۴، ۸ و ۱۲ دسی زیمنس بر متر به ترتیب ۱۳، ۱۵ و ۲۳ درصد کاهش در میزان کاروتنوئید نسبت به تیمار شاهد مشاهده شد (شکل ۸).

با توجه به نتایج این تحقیق، اثر اصلی و متقابل تنش شوری و خشکی بر میزان کاروتنوئید برگ معنی‌دار شد و کاروتنوئید ابتدا در تنش اصلی خشکی و شوری مقدار آن افزایش و سپس با افزایش سطوح خشکی و شوری، میزان کاروتنوئید کاهش یافت. در تنش خشکی در تیمار ۶۶ درصد ظرفیت زراعی میزان کاروتنوئید یک درصد نسبت به شاهد افزایش و سپس در تیمار ۳۳ درصد ظرفیت زراعی میزان کاروتنوئید یک درصد نسبت به شاهد کاهش یافت.

در اثر تنش شوری، در تیمار شوری ۴ دسی زیمنس بر متر کاروتنوئید یک درصد افزایش یافت و در ادامه با افزایش سطح شوری به ۸ دسی زیمنس بر متر کاروتنوئید ۱۱ درصد کاهش نسبت به شاهد و شوری ۱۲ دسی زیمنس بر متر، ۱۵ درصد کاهش نسبت به شاهد دیده شد.

در اثر متقابل تنش خشکی در شوری، در تیمارهای ۶۶ درصد ظرفیت زراعی و سطوح مختلف نمک ۴، ۸ و ۱۲ دسی زیمنس بر متر میزان کاروتنوئید به ترتیب ۱۱، ۱۳ و ۱۷ درصد نسبت به شاهد کاهش دیده شد و در تیمارهای خشکی ۳۳ درصد ظرفیت زراعی و شوری ۴، ۸ و ۱۲ دسی زیمنس بر متر میزان کاروتنوئید به ترتیب ۱۳ و ۱۵ درصد نسبت به شاهد مشاهده شد.

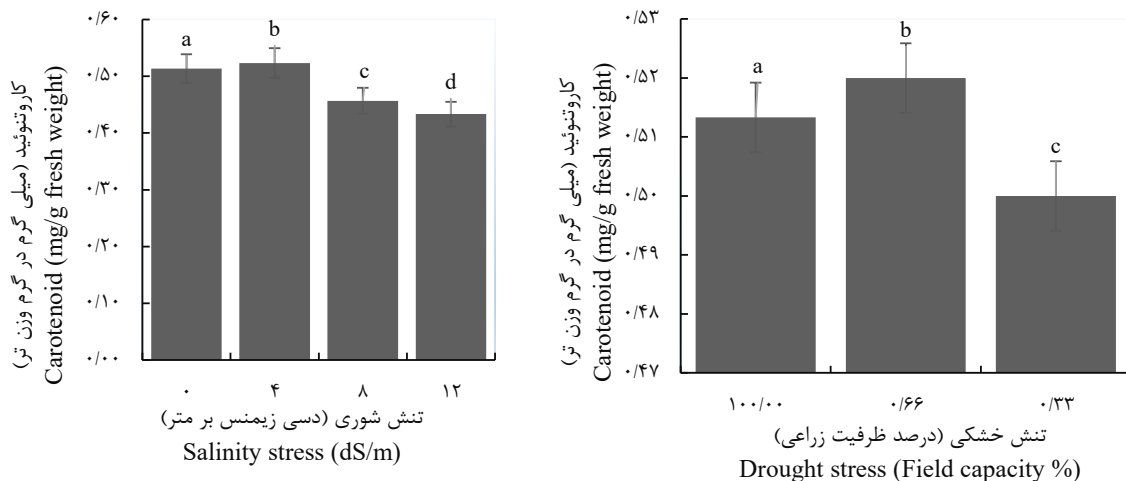
نتایج به‌دست‌آمده در مطالعات طرابلسی و همکاران، ۲۰۱۸، جعفری و همکاران، ۲۰۲۱، شمس‌آبادی و همکاران، ۲۰۲۳ با نتایج تحقیق حاضر همسو می‌باشد.

زراعی و شوری دسی زیمنس بر متر ۱۲ محتوای کلروفیل ۵۰ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت. نتایج به‌دست آمده در این تحقیق با نتایج ناصری مقدم و همکاران (۲۰۲۰)، فهیم و همکاران (۲۰۲۲) و اوجاقلو و همکاران (۲۰۲۲) همسو می‌باشد.

کاهش میزان کلروفیل در اثر تنش خشکی یا شوری را می‌توان با توجه به تحقیق افشار محمدیان و همکاران (۲۰۲۱) نسبت داد که اظهار داشتند، اختلال ضمنی در جذب عناصر غذایی دخیل در ساختار کلروفیل مانند منیزیم و آهن یکی از دلایل کاهش کلروفیل در برگ بوته‌های در معرض تنش است. در مطالعات زیادی که گیاهان متفاوتی تحت تنش شوری و خشکی قرار گرفته میزان محتوای کلروفیل در اثر تنش کاهش یافته است. در همین راستا، در مطالعه‌ای نشان داده شد که میزان کلروفیل و کاروتنوئید در تنش شوری در ارقام متفاوت صنوبر کاهش می‌یابد (Calagri et al., 2017). در مطالعه‌ای دیگر بر روی نهال پسته در تنش خشکی و شوری انجام گرفت، نشان داد تنش شوری و خشکی باعث کاهش کلروفیل کل و کاروتنوئید شد (Khalilpour et al., 2021).

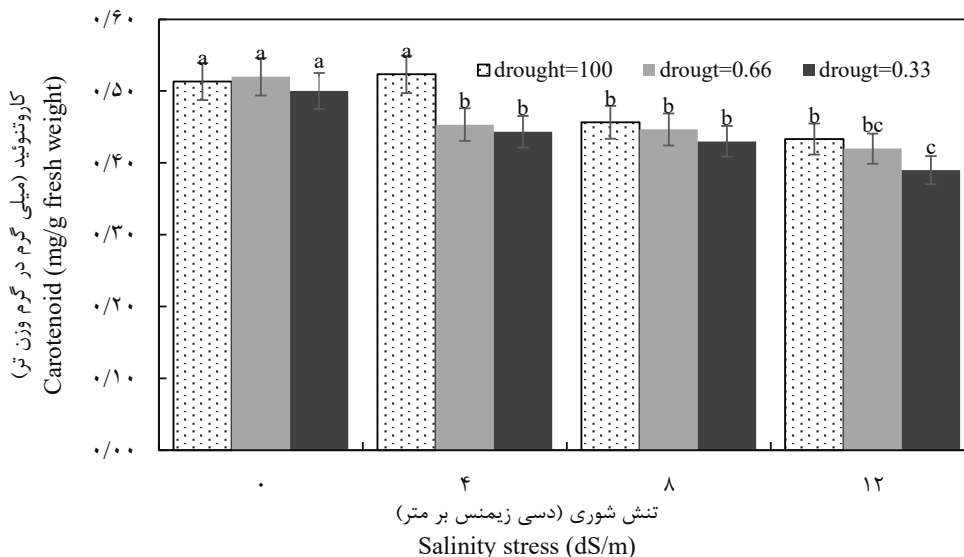
دولت کردستانی و همکاران (۱۳۹۶) در مطالعه‌ای به بررسی برخی شاخص‌های مورفولوژیکی استبرق (*Calotropis procera Ait*) در خشکی پرداختند که نتایج نشان داد که افزایش رطوبت روز سبب کاهش محتوای کلروفیل شد که تأییدکننده نتایج تحقیق اخیر است.

کمترین میزان کاروتنوئید در اثر متقابل خشکی در شوری در تیمار ۳۳ درصد ظرفیت زراعی و شوری ۱۲ دسی زیمنس بر متر (۰/۳۹ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) مشاهده شد و بیشترین میزان آن در تیمار خشکی ۶۶ درصد و همچنین در تیمار شوری ۴ دسی زیمنس بر متر (۵۲/۰ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) مشاهده گردید. میزان کاروتنوئید در اثر اصلی و متقابل تنش خشکی و شوری کاهش می‌یابد. در تنش خشکی در ابتدا با افزایش تنش خشکی به حد ۶۶ درصد ظرفیت زراعی میزان کاروتنوئید ۱٪ افزایش یافت ولی در تیمار ۳۳ درصد ظرفیت زراعی میزان کاروتنوئید نسبت به آبیاری نرمال ۱٪ کاهش یافت (شکل ۷). در



شکل ۷. تأثیر تنش خشکی و تنش شوری روی محتوای کاروتنوئید

Fig 7. Effect of drought stress and salinity stress on carotenoid content



شکل ۸. اثر متقابل خشکی × شوری روی میزان کاروتنوئید

Fig 8. Drought x salinity interaction on carotenoid levels

تنش شوری و خشکی، میزان کلروفیل و کاروتنوئید در برگ نهال‌های سنجد نیز در اثر تنش‌های اعمال شده کاهش یافت. البته میزان کاهش و افزایش صفات اندازه‌گیری شده با سطح تیمارهای خشکی و شوری در ارتباط است و هر چه میزان سطح شوری یا خشکی اعمال شده بیشتر باشد این میزان اثر نیز بیشتر و یا کمتر می‌گردد. در شرایط اعمال توأم این دو تنش خشکی و شوری، این اثرات تشدید شد. به طوری که می‌توان گفت دو تنش در کنار هم اثر هم دیگر را

تنش شوری تأثیر زیادی در کاهش میزان کاروتنوئید داشت. کاروتنوئید نقش مهمی در دفاع آنتی‌اکسیدانی ایفا می‌کنند. به این صورت که هرچه میزان کاروتنوئید در گیاه بیشتر، دفاع مؤثرتر و بهتری در برابر تنش اکسیداتیو ناشی از تنش آب خواهد داشت (Genç et al., 2020).

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به دست آمده، به صورت کلی می‌توان نتیجه گرفت که اثر اصلی و متقابل تنش

- Arnon, D.I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenol oxidase in *Beta Vulgaris*. *Journal of Plant Physiology*, 24, 1-5. DOI: 10.1104/pp.24.1.1
- Asadiar L.S., Rahmani, F., & Siami, A. (2012a). Assessment of genetic diversity in the Russian olive (*Elaeagnus angustifolia*) based on ISSR genetic markers. *Revista Ciencia Agronomica*, 44, 310-316. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902013000200013>
- Asadiar L.S., Rahmani, F., & Siami, A. (2012b). Assessment of genetic variation in Russian olive (*Elaeagnus angustifolia*) based on morphological traits and random amplified polymorphic DNA (RAPD) genetic markers. <https://doi.org/10.5897/JMPR11.1451>
- Journal of Medicinal Plants Research*, 6: 1652-1661.
- Babakhanzadeh Sejrani, A., Mousavizadeh, S, J., & Mozafari, Kh. (2016). Phytochemical and antioxidant investigation of elderberry fruit extract (*Elaeagnus angustifolia*) in different habitats of Shahrood region. *Ecophytochemistry Quarterly of Medicinal Plants*, 16 (4), 62-73. [In Persian]. DOI: 20.1001.1.23223235.1395.4.4.6.4
- Bartish, I. V., Jeppsson, N., Nybom, H., & Swenson, U. (2002). Phylogeny of Hippophae (*Elaeagnaceae*) Inferred from Parsimony Analysis of Chloroplast DNA and Morphology. *Systematic Botany*, 27(1), 41-54. <http://www.jstor.org/stable/3093894>
- Calagri, M., Salehi Shanjani, P., & Banj Shafifei, S. (2017). Comparison of the growth of two poplar species (*Populus alba* and *Populus euphratica*) and their hybrids in saline and non-saline areas. *Plant Research Journal (Iranian Biology Journal)*, 31 (1), 143-154. [In Persian]. DOR:20.1001.1.23832592.1396.30.1.13.2
- Daneshvar, H. & Kayani, B. (2004). Investigating the effect of salinity on some local cultivars of تشدید می‌نمایند. این یافته‌ها اثرات نامطلوب قابل توجه تنش شوری و خشکی را بر محتوای کلروفیل و کاروتنوئید در برگ سنجد نشان می‌دهد. نتایج بر اهمیت مدیریت تنش شوری و خشکی برای حفظ سلامت و بهره‌وری گیاهان سنجد به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند ایران تأکید دارد. با انتخاب و پرورش گونه‌های گیاهی مقاوم به تنش، می‌توان استفاده از محیط‌های پر تنش را افزایش داد و اثرات منفی این تنش‌ها بر فیزیولوژی گیاه را کاهش داد. از نظر پژوهشی پیشنهاد می‌شود این پژوهش در بازه زمانی بلند مدت و بر روی نهال‌هایی با سنین مختلف انجام شود.
- منابع**
- Abedi, T., & Pakniyat, H. (2010). Antioxidant enzyme changes in response to drought stress in ten cultivars of oilseed rape (*Brassica napus L.*). *Czech Journal of Genetics and Plant Breeding*, 46(1), 27-34. DOI: 10.17221/67/2009-CJGPB
- Abrar, M., Saqib, M., Abbas, G., Atiq-Urrahman, M., Mustafa, A., Shah, S. A. A., Mehmood, K., Maitlo, A. A., Mahmood-Ul-Hassan, Sun, N., & Xu, M. (2020). Evaluating the contribution of growth, physiological, and ionic components towards salinity and drought stress tolerance in *Jatropha curcas*. *Plants*, 9(11), 1-18. <https://doi.org/10.3390/plants9111574>
- Afshar Mohamadian, M., Omidipour, M., & Jamal Omid, F. (2018). Effect of different drought stress levels on chlorophyll fluorescence indices of two bean cultivars. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 31(3), 511-525. DOI: 20.1001.1.23832592.1397.31.3.3.3
- Ahani, H., Jalilund, H. Vaezi, c., & Sadati, S, A. (2017). The effect of drought stress on the morphology of bitter elder (*Elaeagnus rhamnoides* (L.) A. Nelson) seedlings. *Plant ecosystem protection*, 5(11), 191-204. [In Persian]. URL: <http://pec.gonbad.ac.ir/article-1-253-en.html>

- linity: A comparison of their effects on mineral nutrition of plants. In *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 168 (4), 541–549. <https://doi.org/10.1002/jpln.200420516>
- Jafari, T., Iranbakhsh, A., Kamali, K., Daneshmand, F. (2021). Effect of salinity stress levels on some Growth parameters, Mineral ion concentration, Osmolytes, Non-enzymatic antioxidants and phenylalanine ammonia-lyase activity in three genotypes of (*Chenopodium quinoa* Willd). *NCMBJ*, 12 (45), 63-85. [In Persian]. DOR:20.1001.1.22285458.1400.12.45.3.2
- Jahanbakhsh, S., Permon, Gh., Jodi, Z. (2019). The effect of drought and salinity stress on germination, establishment and activity of antioxidant enzymes of different ecotypes of chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). *Plant process and function*. 8 (30), 353-371. [In Persian]. DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.30.17.1
- Kalaji, H. M., Račková, L., Paganová, V., Swoczyna, T., Rusinowski, S., & Sitko, K. (2018). Can chlorophyll-a fluorescence parameters be used as bio-indicators to distinguish between drought and salinity stress in *Tilia cordata* Mill? *Environmental and Experimental Botany*, 152, 149–157. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2017.11.001>
- Katz G.L. & Shafroth P.B. (2003). Biology, ecology and management of *Elaeagnus angustifolia* L. (Russian olive) in Western North America. *Wetlands*, 23 (4), 763-777. DOI: 10.1672/0277-5212(2003)023[0763:BEA-MOE]2.0.CO;2
- Khalilpour, M., Mozafari, V., & Abbaszadeh-Daha-ji, P. (2021). Tolerance to salinity and drought stresses in pistachio (*Pistacia Vera* L.) seedlings inoculated with indigenous stress-tolerant PGPR isolates. *Scientia Horticulturae*, 289. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110440>
- Elaeagnus angustifolia* in Isfahan province. *Research and Construction*, 17 (4), 65-83.
- Heidari Sharif Abad, H. (2001). Plants and salinity. Research Institute of Forest and Rangelands, 147 pp. [In Persian] Dulat Kurdistan, M, Taqwai, M., & Adipour, N. (2017). Investigating the effect of spermidine on morphological and Physiological indicators of *Calotropis procera* Ait. Seedlings under salt stress. *Pasture*, 12(4), 437-451. [In Persian]. DOR: 20.1001.1.20080891.1397.12.4.6.6
- Fahim, S., Ghanbari, A., Mohammad Naji, A., Shokhian, A., & Maleki, H. (2022). Lajayer Impact of drought stress on morphological and physiological traits in some Iranian grape cultivars. *Plant process and function*, 47 (11), 249 266. [In Persian]. DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.47.11.0
- Genç Y., Bardakci, H., Yücel Ç, Karatoprak GŞ, Küpeli Akkol E, Hakan Barak T, & Sobarzo-Sánchez E. (2020). Oxidative Stress and Marine Carotenoids: Application by Using Nanoformulations. *Mar Drugs*.18 (8), 423. doi: 10.3390/md18080423
- Ghanbari, F., Amirinejad, A., Sayari, M., & Kurdi, S. (2016). The effect of salicylic acid on resistance to salinity and alkalinity of sweet pepper plant. *Plant Research Journal (Iranian Biology Journal)*, 29(1), 130-141. [In Persian]. DOR:20.1001.1.23832592.1395.29.1.11.3
- Guha-Sapir, D., Hargitt, D., & Hoyois, P. (2004). Thirty years of natural disasters, 1974-2003. 1078_publication2004emdat.PDF (www.unisdr.org)
- Hosseinzadeh, H., Ramezani, M. & Namjo, N. (2003). Muscle relaxant activity of *Elaeagnus angustifolia* L. fruit seeds in mice. *Journal Ethnopharmacol*, 84, 275-78. [In Persian]
- Hu, Y., & Schmidhalter, U. (2005). Drought and sa-

- secondary active substances and antioxidant activity of different organs of the medicinal plant *Elaeagnus angustifolia* L. in different habitats of Razavi Khorasan province. *Ecophytochemistry Quarterly of Medicinal Plants*, 41(4), 58-67. [In Persian]
- Saadatmand, L., Gurban Ali, M. & Niakan, M. (2015). Investigating some morpho-physiological traits of Sanjad medicinal plant (*Elaeagnus angustifolia* L.) in 4 different habitats of Razavi Khorasan province. *Journal of Plant Environmental Physiology*, 10 (37), 21-31. [In Persian]
- Shafroth, Patrick B, Brown, Curtis A, Merritt, David M, & eds. (2009). Saltcedar and Russian Olive Control Demonstration Act Science Assessment. *Scandinavian Journal of Forest Research*. 29(7): 639-649. <https://pubs.usgs.gov/sir/2009/5247/>
- Shamsabadi, V., Banejad, H., Ansari, H., & Nemati, S. H. (2023). Investigating Influence Drought Stress and Salinity Stress on Photosynthetic Pigments and Concentration of Elements of *Mentha Piperita* L In Condition Selenium. *Water Management in Agriculture*, 10 (1), 95-110. DOR: 20.1001.1.24764531.1402.10.1.7.5
- Trabelsi et al., 2018 N. Trabelsi, S.M. Marotta, F. Giaratana, A. Taamali, M. Zarrouk, G. Ziino, et al. (2018). Use of Tunisian flavoured olive oil as anisakicidal agent in industrial anchovy marinating process. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98 (2), 3446-3451. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8857>
- Klich MG. (2000). Leaf variations in *Elaeagnus angustifolia* related to environmental heterogeneity. *Environ Exp Bot.* 144(3), 171-183. [https://doi.org/10.1016/S0098-8472\(00\)00056-3](https://doi.org/10.1016/S0098-8472(00)00056-3)
- Mousavi Mirkola, S.R., Manbari, M. & Ishaghi Rad, J. (2017). Investigating some vegetative and ecological characteristics of *Elaeagnus angustifolia* species in West Azerbaijan province. *Journal of Plant Research (Iranian Biology Journal)*, 30 (1), 200-213. [In Persian]. DOR:20.1001.1.23832592.1396.30.1.17.6
- Naseri Moghadam, A., Bayat, H., Aminifard, M., & Moradinejad, F. (2020). Effect of drought and salinity stress on flower quality, biochemical changes and ion concentration in *Narcissus Gazzetta* cv. 'Shahla'. *Plant Production Research (Agricultural Sciences and Natural Resources)*, 27(1), 207-221. DOR:20.1001.1.23222050.1399.27.1.13.5
- Ojaghloo, B., Rabiei, V., Taheri, M., Nikbakht, J., & Azimi, M. (2022). Effects of drought stress on some photosynthesis-related parameters in commercial olive cultivars (*Olea europaea* L.). *Research in Pomology*, 6(2), 101-113. DOI: 10.30466/rip.2021.53279.1154
- Qi, Y., Li, J., Chen, C. et al., (2018). Adaptive growth response of exotic (*Elaeagnus angustifolia* L.) to indigenous saline soil and its beneficial effects on the soil system in the Yellow River Delta, China. *Trees*, 32, 1723-1735. <https://doi.org/10.1007/s00468-018-1746-4>
- Ramezani, M., Hoseseinzadeh, H. & aneshmand, N. (2001). Antinociceptive effect of *Elaeagnus angustifolia* fruit seeds in mice. *Fitoterpia*, 72: 255-262. [https://doi.org/10.1016/S0367-326X\(00\)00290-2](https://doi.org/10.1016/S0367-326X(00)00290-2)
- Saadatmand, L., Gurban Ali, M. & Niakan, M. (2013). Investigating the changes of the most important



Utilization of the Climate Indices and the Multi-Criteria Decision-Making Approach in Crop Yield Forecasting in line with Policy Making in Agriculture

Laleh Parviz^{1*}, Bita Kazemi², Mir Ahmad Hatf³

1- Associate Professor, Faculty of Agriculture, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran.

2- BSc. Student, Faculty of Agriculture, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran.

3- MSc. Remote Sensing and GIS, Expert of Department of Natural Resources and Watershed Management, Tabriz, Iran.

*Corresponding Author: lparviz@azaruniv.ac.ir

Keywords:

Aridity, Ivanov, TOPSIS, Yield.

Abstract Extended Introduction

Crop yield forecasting requires low-cost, high-precision technology to facilitate agricultural management. Sustainable agriculture is of great importance, as it strives to optimize crop yields. Meanwhile, increasing crop yield by reducing environmental impacts is an important and challenging task for sustainable food supply in this century. Wheat is one of the most important food products in the world and Iran. Due to its economic and nutritional value, decision-makers must monitor wheat crop growth and yield parameters during the season. Therefore, this research aims to estimate crop yield using some climatic indicators. Climate indices are different mathematical combinations of meteorological data. Each climate index has a specific trend in the simulation of the surrounding environment, so it is necessary to identify the effective index in each region. In most of the previous research, the correlation between the indices and the yield of the product was used. However, this research proposed a robust and comprehensive multi-criteria decision-making approach, which brings an innovative perspective to the crop yield issue.

Materials and Methods

The data and information of this research were related to two provinces in the northwest of the country (East and West Azerbaijan provinces). According to the De Martonne index, the provinces are located in a semi-arid climate. Climate indicators are quantities that can be used to determine droughts and weather variability. Climate indicators play a key role in weather monitoring and forecasting. In this regard, wheat yield was modeled with climate indices (De Martonne index, Koppen 1, Koppen 2, Koppen 3, Angström, Selyaninov, Ivanov, Aridity, effective precipitation index, and vegetation index). In this type of modeling, the combination of indices was used in the form of two, three, and four indices. MCDM is a general term used to describe a set of methods for structuring and evaluating options based on multiple criteria

Received:

22 July 2024

Revised:

17 August 2024

Accepted:

17 August 2024

How to cite this article:

Parviz, L., Kazemi, B., & Hatf, M.A. (2024). Utilization of the Climate Indices and the Multi-Criteria Decision-Making Approach in Crop Yield Forecasting In line with Policy Making in Agriculture. Journal of Drought and Climate change Research, 2(3), 49-66. [10.22077/jdcr.2024.7942.1072](https://doi.org/10.22077/jdcr.2024.7942.1072)



and objectives. These methods provide targeted decisions because they can manage the inherent complexity and uncertainty of the issues, as well as the knowledge resulting from the participation of several factors. MCDM can make the quality of decisions clearer, more efficient, and more logical, which leads to justifiable and explainable choices. In addition, MCDM promotes the role of participants in the decision-making process, facilitates compromise and group decisions, and provides a suitable platform for stakeholders to share their personal preferences. To decide on the appropriate climate index selection in each climate of the modeling process, multi-criteria decision-making (TOPSIS) was used based on five evaluation criteria, and Shannon's entropy was used to determine the weight of the criteria.

Results and Discussion

The period used in this research was 22 years, and the period from 2018 to 2021 was considered the verification period. The Hurst coefficient was used to check the length of the statistical period, and the average Hurst coefficient for all indicators is 0.65, which is greater than 0.5, so the length of the statistical period of the series is acceptable. The values of the indices in West Azarbaijan province have increased compared to East Azarbaijan; for example, in the Ivanov index, the rate of increase from East Azarbaijan station to West Azarbaijan is 1.38, in the VCI index, it is equal to 51.01 and in the aridity index, it is 62.01. Using a combination of indices is highly accurate under the condition of using an index with better performance in single-index mode; for example, the rate of SIM increase from single-index to four-index mode in East Azerbaijan province is 20.94. The trend of changes in statistics is not the same in all cases, so to make a comprehensive conclusion about determining the optimal index based on the performance of all statistics, the TOPSIS method was used. In West Azarbaijan province, in the case of a single index, first, the Ivanov index and then the aridity index, and in East Azarbaijan province aridity index, VCI, and Silyaninov have a high rank. In the case of two indicators, the combination of aridity index and VCI in East Azerbaijan Province and the combination of Angströmand Ivanov in West Azerbaijan Province have a better rating. In the case of three indicators, in West Azerbaijan province, Ivanov-Silyaninov and PEI indices have better performance, and in East Azerbaijan province, aridity-VCI and PEI indices have better performance. In the case of four indicators, in East Azerbaijan province, the combination of Long-De Martonne-aridity and VCI indices, and in West Azerbaijan province, Koppen 2-3-Angströmand Ivanov has better performance.

Conclusion

Determining the effective climate index in each region for crop yield forecasting is a powerful tool for decision-making in crop management and improvement. The results showed that using a combination of indicators is more accurate than using a single indicator. The reason for this problem can be stated that in the combined mode, corrections are made in terms of the used data and terms of the mathematical structure. The effect of the type of indicator in each climate on the crop yield is different. East and West Azarbaijan Provinces are very similar in terms of climate, but indices along with the Ivanov index in West Azarbaijan Province and the aridity index in East Azarbaijan Province have a high impact on wheat yield. This problem shows that each region has its index in the simulation of climatic processes governing the crop yield. The use of other multi-criteria decision-making approaches or their integrated mode can be one of the suggestions of this research. By using a suitable and accurate index, the forecasting of the crop yield becomes closer to the actual values.



بهره‌گیری از شاخص‌های اقلیمی و رویکرد تصمیم‌گیری چند معیاره در پیش‌بینی عملکرد محصول در راستای سیاست‌گذاری کشاورزی

لاله پرویز^{۱*}، بینا کاظمی^۲، میر احمد هاتف^۳

- ۱- دانشیار، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران.
- ۲- دانشجوی کارشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران.
- ۳- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد سنجش از دور و SIG، کارشناس اداره آبخیزداری آذربایجان شرقی، تبریز، ایران.

*نویسنده مسئول: lparviz@azaruniv.ac.ir

چکیده

واژه‌های کلیدی:

عملکرد، TOPSIS، ایوانف، خشکی.

در پیش‌بینی عملکرد محصول فناوری با هزینه کم و دقت بالا برای تسهیل در مدیریت کشاورزی مورد نیاز است. در این راستا عملکرد گندم در استان‌های آذربایجان شرقی و غربی با شاخص‌های اقلیمی (شاخص لانگ، دومارتن، کوپن ۱، کوپن ۲، کوپن ۳، آنگستروم، سیلیان‌ین‌وف، ایوانف، خشکی، شاخص باران مؤثر و شاخص پوشش گیاهی) مدل‌سازی شدند. در این نوع مدل‌سازی از ترکیب شاخص‌ها به صورت دو، سه و چهار شاخصه استفاده شد. در راستای تصمیم‌گیری در انتخاب شاخص اقلیمی مناسب در هر اقلیم در روند مدل‌سازی، براساس ۵ آماره ارزیابی از تصمیم‌گیری چندمعیاره (TOPSIS) استفاده شد که روش آنتروپی شانون در تعیین میزان وزن شاخص‌ها به کار گرفته شد. میزان متوسط افزایش آماره تشابه (SIM) برای تمامی شاخص‌ها از استان آذربایجان شرقی به غربی برابر با ۱۳/۲ درصد است که نشان دهنده عملکرد بهتر شاخص‌های اقلیمی در استان آذربایجان غربی نسبت به شرقی است. استفاده از ترکیب شاخص‌ها به شرط استفاده از شاخصی با عملکرد بهتر در حالت تک شاخصه دقت بالایی دارد، به عنوان مثال میزان افزایش SIM از حالت تک شاخصه به چهار شاخصه در استان آذربایجان شرقی ۲۰/۹۴ است. نتایج حاصل از تصمیم‌گیری چندمعیاره نشان داد که شاخص‌هایی با شاخص ایوانف در استان آذربایجان غربی و شاخص خشکی در استان آذربایجان شرقی تأثیر بالایی بر عملکرد گندم دارند. تعیین شاخص اقلیمی مؤثر در هر منطقه در پیش‌بینی عملکرد محصول به‌عنوان ابزار قوی برای تصمیم‌گیری در مدیریت و اصلاح محصول می‌باشد.

تاریخ دریافت:

۱۴۰۳/۰۵/۰۱

تاریخ ویرایش:

۱۴۰۳/۰۵/۲۷

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۳/۰۵/۲۷

مقدمه

در حال حاضر کشاورزی پایدار از اهمیت بالایی برخوردار است، زیرا در تلاش است تا بازده محصول را بهینه کند و در عین حال اثرات زیست محیطی را کاهش دهد (Biswas et al., 2024). در این میان افزایش عملکرد محصول با کاهش اثرات زیست محیطی یک وظیفه مهم و چالش برانگیز برای تأمین پایدار مواد غذایی در قرن بیست و یکم است (Tanabe et al., 2023). برآورد دقیق و سریع محصول به عنوان مؤلفه حیاتی کشاورزی دقیق و شکل دهنده به امنیت غذایی و تنظیم قیمت و در نتیجه افزایش پایداری اقتصاد کشاورزی عمل می کند (Khodjaev et al., 2024). پیش بینی عملکرد محصول قبل از برداشت یکی از ابزارهای برنامه ریزی عرضه مواد غذایی در آینده است. پیش بینی عملکرد محصول برای برنامه ریزی پیشرفته، تدوین و اجرای سیاست های مربوط به تهیه، توزیع و تصمیم گیری واردات و صادرات مهم است. از آنجایی که عملکرد محصول نقطه اوج بسیاری از فرآیندهای موقتی گیاه است و تحت تأثیر عوامل خارجی مختلف مرتبط با خاک، آب و هوا و فناوری قرار می گیرد، پارامترسازی این عوامل و بررسی رابطه آنها با عملکرد برای مدلسازی عملکرد ضروری است (Bazgeer et al., 2007). مدلسازی عملکرد محصول از جهات گوناگون از جمله پیش بینی رشد محصول، ارزیابی اثرات زیست محیطی بر محصول، تحلیل تأثیر گزینه های مختلف مدیریت محصول و راهنمایی اصلاح محصول می تواند مفید باشد. این مدل ها امکان تلفیق با مدل های پیش بینی آب و هوایی را دارند که می تواند کمک مؤثری در پایش وضعیت محصولات باشد (Hao et al., 2021). با توجه به اهمیت پیش بینی و برآورد عملکرد محصول، رویکردهای زیادی در این زمینه استفاده شده است که در این تحقیق رویکردهای استفاده شده در چهار دسته قرار گرفتند. یکی از رویکردهای مدلسازی تعیین رابطه بین داده های هواشناسی با عملکرد محصول است. ارتباط معنی داری بین عملکرد گندم و دمای کمینه، بیشینه، مجموع ساعات آفتابی، اختلاف دما و تبخیر در همدان مشاهده شد. نتایج نشان دادند که مدل های

رگرسیون مبتنی بر پارامترهای هواشناسی ۶۹ درصد از تغییرات عملکرد را تفسیر می کنند (Bazgeer et al., 2007)، که این مساله می تواند پدیده تغییر اقلیم در دهه های اخیر را توجیه کند (Delghandi et al., 2023). علاوه بر خود داده های هواشناسی، شاخص های اقلیمی با ترکیب داده های هواشناسی نقش مهمی در پیش بینی عملکرد محصول دارند. با استفاده از شاخص های هواشناسی کشاورزی در شهرهای سنندج، قروه، بیجار، کرمانشاه و کنگاور عملکرد گندم پیش بینی شد. شاخص های منتخب بر اساس مقدار ضریب هم بستگی معنی دار بین شاخص ها و عملکرد محصول بود. شاخص های منتخب شامل دمای کمینه روزانه، اختلاف تجمعی دماهای بیشینه و کمینه روزانه، مقدار تجمعی واحدهای حرارتی-نوری، ساعات آفتابی، درجه روزهای تجمعی رشد، میزان بارندگی و مقدار تجمعی واحدهای حرارتی-آفتابی بودند. در سنندج و قروه ۶۸ درصد، کرمانشاه ۹۱ درصد، کنگاور ۸۱ درصد از تغییرات عملکرد گندم ناشی از تغییرات داده های هواشناسی و شاخص های منتخب بودند (Bazgeer and Kamali, 2008). با استفاده از سه رویکرد عملکرد محصولات گندم، جو، سیب زمینی و ذرت دانه ای پیش بینی شدند. در رویکرد اول تخمین عملکرد محصول با رویکرد اقلیمی براساس داده های معنی دار اقلیمی با تحلیل رگرسیون انجام گرفت. در رویکرد دیگر بر اساس رویکرد استوکستیک بود. در رویکرد نهایی داده های هواشناسی براساس رویکرد استوکستیک برآورد شدند و سپس با تحلیل رگرسیون، عملکرد محصولات تخمین زده شدند. روش ترکیبی زمانی که پارامترهای دخیل در آن با دقت بالایی برآورد شوند، از کارایی بالایی برخوردار است (Parviz and Paymai, 2019). جذر میانگین مربعات خطا با شاخص های اقلیمی نسبت به استفاده از خود داده های هواشناسی ۳۶/۶۶ درصد کاهش داشت. با یازده شاخص های اقلیمی و خوشه بندی سلسله مراتبی مدلسازی عملکرد گندم در استان های گیلان، اصفهان، کرمانشاه، آذربایجان غربی انجام گرفت. رگرسیون ساده و شبکه عصبی مصنوعی به عنوان ابزارهای مدلسازی در نظر گرفته شدند. شاخص اقلیمی با ساختار مناسب

(Niedbala et al., 2019). در تحقیقی در مورد عملکرد گندم در هند از روش‌های رگرسیون خطی چندگانه گام به گام، شبکه عصبی مصنوعی، تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی در ترکیب با رگرسیون خطی، شبکه عصبی مصنوعی در ترکیب با تحلیل مولفه‌های اصلی، رگرسیون لاسو و رگرسیون لجستیک استفاده شد. متغیرهای آب و هوا مانند بیشینه دما، کمینه دما، رطوبت نسبی، بارندگی، ساعات آفتابی و تبخیر تأثیر زیادی بر عملکرد محصول دارند. نتایج نشان داد که درصد انحراف عملکرد تخمینی بر اساس عملکرد مشاهده شده به ترتیب بین ۰/۱ تا ۲۵/۶، ۰/۹ تا ۲۲/۸، ۰/۷ تا ۲۲/۵ درصد در مرحله پنجه‌زنی، گل‌دهی و پر شدن دانه بود. بر اساس درصد انحراف و دقت مدل لجستیک و لاسو دارای عملکرد بهتری بودند و پیشنهاد روش این بود که می‌توان از این مدل‌ها برای تخمین عملکرد محصول گندم در سطح منطقه در مراحل مختلف رشد استفاده کرد (Aravind et al., 2023). در رویکرد دوم از داده‌های سطح زیر کشت و تولید سالانه در پیش‌بینی عملکرد گندم استفاده شد. در این راستا با داده‌های ۴۰ ساله و مدل‌های الگوریتم بهترین همسایگی، ماشین بردار پشتیبان، برنامه‌ریزی بیان ژن و شبکه بیزین عملکرد گندم شبیه‌سازی شدند. روش بهترین همسایگی و شبکه بیزین به ترتیب دارای بیشترین و کمترین دقت بودند (ghojghar Ansari 2023). رویکرد سوم مربوط به استفاده از اطلاعات سنجش از دور در پیش‌بینی عملکرد محصول است که مدلسازی مربوط به شاخص‌های حاصل از تصاویر ماهواره‌ای مانند شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI) با عملکرد محصول است (Khosravi-rad et al., 2019). رویکرد چهارم رویکرد مکانی است که در پیش‌بینی عملکرد محصولات استفاده شد. در تحقیقی از کریجینگ و کو کریجینگ در پیش‌بینی عملکرد گندم در منطقه گتوند استان خوزستان استفاده شد. نتایج بیانگر آن بودند که دقت کو کریجینگ بیشتر از کریجینگ است (Seyied Jalali and Sarmadian, 2016). هدف تکنیک تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM) کمک به انتخاب بهترین گزینه یا گزینه‌ها از طیف وسیعی از گزینه‌ها است. این

می‌تواند دقت مدلسازی را بالا ببرد. ورود داده‌ها با رویکرد خوشه‌بندی منجر به بهبود عملکرد مدلسازی شد (Parviz and Bonyadi, 2019). با استفاده از داده‌های هواشناسی و دو روش مدلسازی شبکه عصبی مصنوعی و سیستم استنتاج فازی عصبی تطبیقی (ANFIS)، عملکرد جو تخمین زده شد. بارندگی و عملکرد سال گذشته نقش مهمی در افزایش دقت روش‌ها داشتند. ورودی عملکرد سال گذشته و تبخیر و تعرق توانست عملکرد ANFIS را افزایش دهد. بیشترین مقدار عملکرد در ANFIS شامل داده‌های رطوبت نسبی، دمای نقطه شبنم و دمای بیشینه بود. داده تشعشع در ورودی‌ها دقت تخمین عملکرد جو را کاهش داد (Madani et al., 2021). عملکرد گندم با استفاده از داده‌های هواشناسی در همدان تخمین زده شد که معیارهای ارزیابی نشان دادند که بهترین زیرمجموعه شاخص‌های هواشناسی کشاورزی شامل دمای کمینه روزانه، اختلاف جمعی دمای کمینه و بیشینه، درجه-روز-رشد، کمبود فشار بخار آب، ساعات آفتابی و تبخیر و تعرق پتانسیل بود. نتایج نشان داد که در مدل‌های آماری نهایی، ۸۳ درصد از تغییرات عملکرد گندم مربوط به تغییرات شاخص‌های هواشناسی کشاورزی بود (Bazgerr et al., 2007). با استفاده از ۵۰ شاخص کشاورزی اقلیمی حساسیت آب و هوایی مناطق مختلف تولید ذرت در آمریکا مورد بررسی کرد. دما و شاخص استاندارد شده بارش و تبخیر و تعرق در ماه جولای دارای عملکرد خوبی بودند. نشان داده شد که برخی از شاخص‌های کشاورزی-اقلیمی می‌توانند به طور قابل توجهی مدلسازی عملکرد محصول را در مقایسه با اطلاعات ساده‌تر آب و هوای مستقیم بهبود بخشند (Mathieu and Aires 2018). مدل‌های بیان شده بر اساس داده‌های کمی بودند، ولی در تحقیقی سه مدل براساس متغیرهای کمی و کیفی در تخمین عملکرد گندم زمستانه استفاده شد. در اولین محدوده پیش‌بینی، میانگین دمای هوا از ۱ سپتامبر تا ۳۱ دسامبر سال قبل و در دامنه پیش‌بینی دوم مجموع بارندگی از ۱ می تا ۳۱ می و سومین میانگین دمای هوا از ۱ ژانویه تا ۱۵ آوریل و در عوامل کیفی نوع کشت پیش از آن در سال قبل دارای اهمیت بود

دومارتن، استان‌ها در اقلیم نیمه‌خشک (شاخص دومارتن استان آذربایجان غربی بیشتر از آذربایجان شرقی) قرار گرفته است. در شکل ۱-ب نمودار کلیماگراف هر دو استان از نظر شکل مشابه هم هستند، ولی در استان آذربایجان غربی تغییرات بارندگی بیشتر از استان آذربایجان شرقی است. گندم در هر دو استان از محصولات استراتژیک در زمینه تأمین مواد غذایی است، بنابراین برآورد و تخمین آن با روشی کارآمد در اتخاذ سیاست‌گذاری‌های بخش کشاورزی استان نقش مهمی دارد.

شاخص‌های اقلیمی

شاخص‌های اقلیمی کمیت‌هایی هستند که می‌توان از آنها برای مشخص کردن خشکسالی‌ها، حالت‌های تغییرپذیری آب و هوا استفاده کرد. شاخص‌های اقلیمی نقش کلیدی در پایش و پیش‌بینی آب و هوا دارند. شاخص‌های اقلیمی دارای ساختار ریاضی هستند که نوع معادله ریاضی حاکم بر آنها و داده‌های دخیل در آنها با هم متفاوت است. در سال‌های اخیر تعداد معادلات اصلاح شده افزایش داشته است. معادلات ریاضی استفاده شده در این تحقیق در جدول ۱ آورده شده است.

براساس جدول ۱، داده‌های معادلات با هم فرق دارند. حتی زمانی که داده‌ها یکسان هستند، نوع معادله ریاضی با هم متفاوت است به طوری که حتی در یک عدد ثابت از معادله با هم تفاوت دارند.

مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM)

MCDM یک اصطلاح کلی است که برای توصیف مجموعه‌ای از روش‌ها برای ساختاردهی و ارزیابی گزینه‌ها براساس معیارها و اهداف متعدد استفاده می‌شود. این روش‌ها تصمیمات هدفمندی را ارائه می‌دهند، زیرا می‌توانند پیچیدگی و عدم قطعیت ذاتی مسائل و همچنین دانش ناشی از مشارکت چندین فاکتور را مدیریت کنند. MCDM می‌تواند کیفیت تصمیم‌ها را واضح‌تر، کارآمدتر و منطقی‌تر سازد که منجر به انتخاب‌های توجیه‌پذیر و قابل توضیح می‌شود. علاوه بر این MCDM نقش شرکت‌کنندگان در فرآیند تصمیم‌گیری را ارتقا می‌دهد، مصالحه و تصمیمات گروهی را تسهیل می‌کند و بستر مناسبی

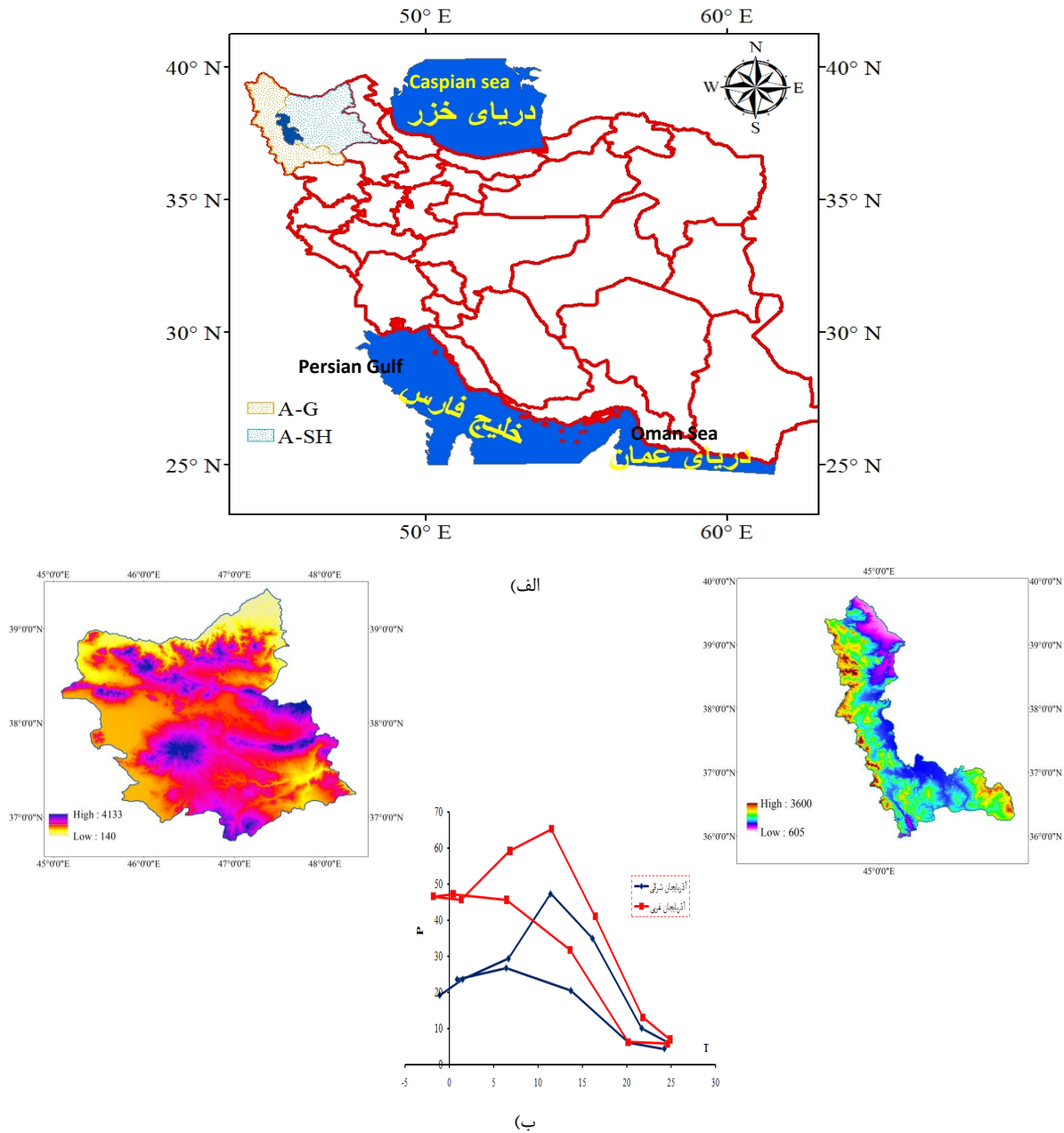
رویکرد معمولاً در بهینه‌سازی عملکرد سازمان‌های مختلف، مانند سازمان‌هایی که در حوزه‌های صنعتی، مدیریتی و اداری، هم در بخش دولتی و هم در بخش خصوصی فعالیت می‌کنند، استفاده می‌شود (Biswas et al., 2024). از این رویکرد به‌طور مستقیم در تخمین عملکرد محصول استفاده نشده است. یکی از کاربردهای تصمیم‌گیری چند معیاره در مبحث کشاورزی مربوط به استفاده از TOPSIS و فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) در تعیین بهترین انتخاب مدیریتی کشت است. براساس دو روش تصمیم‌گیری گزینه‌های منتخب برای جایگزین‌های مبتنی بر خاک‌ورزی ارائه شدند (Biswas et al., 2024).

گندم یکی از مهم‌ترین محصولات غذایی در جهان و ایران است. به دلیل ارزش اقتصادی و تغذیه‌ای آن، نظارت بر رشد محصول گندم و پارامترهای عملکرد در طول فصل برای تصمیم‌گیرندگان ضروری است. تخمین عملکرد محصول قبل از برداشت براساس متغیرهای آب و هوا در مورد بازاریابی، قیمت‌گذاری، واردات، صادرات و سیاست‌گذاری مفید است. بنابراین هدف این تحقیق تخمین عملکرد محصول با استفاده از برخی از شاخص‌های اقلیمی است. شاخص‌های اقلیمی در واقع ترکیبات ریاضی مختلفی از داده‌های هواشناسی هستند. هر شاخص اقلیمی دارای روند بخصوصی در شبیه‌سازی محیط پیرامون است، به همین دلیل شناسایی شاخص مؤثر در هر منطقه ضروری است که در بیشتر تحقیقات قبلی از هم‌بستگی بین شاخص‌ها و عملکرد محصول استفاده شد. ولی در این تحقیق رویکرد قوی و همه‌جانبه تصمیم‌گیری چند معیاره پیشنهاد شد که استفاده از این رویکرد در مبحث عملکرد محصول جنبه نوآوری دارد و در تحقیقات قبلی از این رویکرد در این زمینه استفاده نشده است. معیار در نظر گرفته شده براساس آماره‌های ارزیابی ارائه شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

داده و اطلاعات این تحقیق مربوط به دو استان از استان‌های شمال غرب کشور بود که در شکل ۱ موقعیت آنها نشان داده شده است. از نظر شاخص



شکل ۱. الف) موقعیت مکانی استان‌های مورد مطالعه در کشور، ب) نمودار کلیماگراف دو استان.
Fig 1. a) The location of studied provinces in the country, b) the climograph of two provinces.

روش‌ها تعریف عبارتی برای ترجیحات تصمیم‌گیرنده از طریق توابع مطلوبیت است مانند MAUT، MAVT، ۲- مقایسه جفتی: این رویکرد شامل مقایسه جفت معیارها با این پرسش است که براساس مقیاس از پیش تعریف شده یکی چقدر از دیگری مهمتر است، مانند ANP، ۳- رویکردهای برتری (غیر رتبه‌ای): روش‌های رتبه‌بندی برتر بر این اصل استوارند که یک گزینه ممکن است درجه‌ای از تسلط بر دیگری داشته باشد، مانند ORESTE، PROMETHEE، ELECTRE.

را برای ذی‌نفعان فراهم می‌کند تا ترجیحات شخصی خود را به اشتراک بگذارند. MCDM یک اصطلاح گسترده برای توصیف مجموعه‌ای از روش‌ها استفاده می‌شود که می‌توانند برای پیش‌بینی از فرآیند تصمیم‌گیری با در نظر گرفتن معیارهای متعدد از یک چارچوب ساختار یافته بهره‌گیرند. از دهه ۱۹۶۰ ده‌ها تکنیک MCDM توسعه یافته است. به‌طور کلی می‌توان آنها را در گروه‌هایی طبقه‌بندی کرد: ۱- توابع مطلوبیت و ارزش چند شاخصه: هدف این

جدول ۱. شاخص‌های بکار رفته در تحقیق همراه با معادلات و داده‌های مورد نیاز

Table 1. The used indices in the research along with the required equations and data

ساختار ریاضی Mathematical structure	داده های مورد نیاز (ماهانه) Required data(monthly)	نام شاخص Name of index
$I = \frac{P}{\frac{1}{12} \sum T > 0}$	Precipitation Temperature بارندگی دما	شاخص لانگ (Lang index)
$I = \frac{P}{T + 10}$	Precipitation Temperature بارندگی دما	شاخص دومارتن (De Martonne index)
$I = \frac{8P}{5T + 120}$	Precipitation Temperature بارندگی دما	شاخص کوپن ۱ (Köppen1 index)
$I = \frac{2P}{T + 33}$	Precipitation Temperature بارندگی دما	شاخص کوپن ۲ (Köppen2 index)
$I = \frac{P}{T + 7}$	Precipitation Temperature بارندگی دما	شاخص کوپن ۳ (Köppen3 index)
$I = \frac{P}{1.07^T}$	Precipitation Temperature بارندگی دما	شاخص آنگستروم (Angstrom index)
$I = \frac{\sum P}{0.1 \sum H}$	Precipitation بارندگی و درجه حرارت تجمعی sum of average daily temperatures	شاخص سیلیانیوف (Selyaniniiov index)
$I = \frac{P}{\sum E} - E = 0.0018(2.5 + T^2)(100 - RH)$	Precipitation Temperature بارندگی دما Relative humidity رطوبت نسبی	شاخص ایوانف (Ivanov index)
$I = \frac{P}{ET_p}$	Precipitation and Potential evapotranspiration بارندگی و تبخیر و تعرق پتانسیل	شاخص خشکی (Aridity index)
$I = 115 \left(\frac{P}{T - 10} \right)^{1.11}$	Precipitation Temperature بارندگی و دما	شاخص باران موثر (PEI effective precipitation index)
$I = \frac{P + RH}{T + 7}$	Precipitation Temperature- Relative humidity بارندگی دما رطوبت نسبی	شاخص پوشش گیاهی (VCI vegetation cover index)

۲- محاسبه ماتریس مربوط به وزن معیارها (W): در این تحقیق از روش آنترופی شانون استفاده شد. ۳- تعیین حاصل ضرب ماتریس بی مقیاس شده و ماتریس وزن‌ها ۴- مقایسه فاصله از راه‌حل ایده‌آل مثبت V_j^+ و منفی V_j^- است. راه‌حل ایده‌آل مثبت برای شاخص‌های مثبت بزرگ‌ترین مقدار و برای شاخص‌های منفی کوچک‌ترین مقدار است. راه‌حل ایده‌آل منفی برای شاخص‌های منفی مثبت کوچک‌ترین مقدار در نظر گرفته می‌شود. اصل روش براساس محاسبه فاصله اقلیدسی هر گزینه تا ایده‌آل‌های مثبت و منفی ۵- محاسبه نزدیکی نسبی یک گزینه به راه‌حل ایده‌آل و در نهایت رتبه‌بندی گزینه‌ها بر اساس مقادیر بزرگ‌تر نزدیکی نسبی (et al., 2018-Wang et al., 2019 Seyedmohammadi al., 2019)

۴- روش‌های فاصله تا نقطه ایده‌آل: گزینه‌ها براساس فاصله آنها از نقطه ایده‌آل ارزیابی و مرتب می‌شوند که نشان دهنده یک جایگزین فرضی است که به بهترین وجه با اهداف تصمیم‌گیرندگان مطابقت دارد، مانند CP، TOPSIS و VIKOR (De Brito and Evers, 2016).

روش TOPSIS

یکی از مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره است و اساس این روش به این صورت می‌باشد که گزینه انتخابی باید به بهترین حالت ممکن یا راه‌حل ایده‌آل مثبت نزدیک (کمینه فاصله) باشد و نسبت به راه‌حل ایده‌آل منفی (بدترین حالت) دور باشد. گام‌های حل این رویکرد تصمیم‌گیری در ادامه بیان می‌شود: بی‌مقیاس‌سازی ماتریس تصمیم با استفاده از روش نرم (تقسیم هر عنصر به مجذور مربعات هر ستون).

تعیین شاخص‌های اقلیمی براساس ساختار ریاضی و داده‌های هواشناسی مورد لزوم شد که نتایج در شکل ۲ آورده شده است.

با توجه به شکل ۲، مقادیر شاخص‌ها در استان آذربایجان غربی نسبت به آذربایجان شرقی افزایش داشته است، به‌عنوان نمونه در شاخص ایوانف میزان افزایش از ایستگاه آذربایجان شرقی به غربی ۱/۳۸ و در شاخص VCI برابر با ۵۱/۰۱ و در شاخص خشکی ۶۲/۰۱ درصد بود. در ادامه براساس شاخص‌های بیان شده در جدول ۱ اقدام به تعیین عملکرد گندم براساس مدل رگرسیون بردار پشتیبان شد. در این مدل تحلیل حساسیت بر روی ضریب پنالتی و توابع کرنل انجام گرفت. البته در مورد شاخص‌های اقلیمی تنها از یک شاخص استفاده نشد، بلکه دسته‌بندی به این صورت بود که ابتدا شاخص‌ها به‌صورت تکی (جدول ۱) استفاده شدند و بعد دسته‌های دوتایی (لانگ-دومارتن (۱)، دومارتن-کوپن ۱ (۲)، کوپن ۱-۲ (۳)، کوپن ۲-۳ (۴)، کوپن ۳-آنگستروم (۵)، آنگستروم-ایوانف (۶)، ایوانف-سیلیانینوف (۷)، سیلیانینوف-PEI (۸)، VCI-PEI (۹) و شاخص خشکی- VCI (۱۰)) و بعد دسته‌های سه‌تایی (کوپن ۱-لانگ-دومارتن (۱)، کوپن ۱-۲-۳ (۲)، کوپن ۳-آنگستروم-ایوانف (۳)، ایوانف-سیلیانینوف-PEI (۴)، VCI-PEI-شاخص خشکی (۵)) و سپس دسته‌های چهارتایی (کوپن ۱-۲-۳-دومارتن-لانگ (۱)، کوپن ۱-۲-۳-آنگستروم-ایوانف (۲)، VCI-PEI-سیلیانینوف-ایوانف (۳)، لانگ-دومارتن-VCI و شاخص خشکی (۴)) انتخاب و وارد مدلسازی شدند. نتایج عملکرد شاخص‌ها در پیش‌بینی عملکرد محصول در قالب آماره‌های ارزیابی در شکل ۳ آورده شده است.

بر اساس شکل ۳، میزان شاخص‌های آماری در استان آذربایجان غربی نسبت به آذربایجان شرقی در وضعیت بهتری هستند، به‌عنوان نمونه میزان متوسط کاهش RRMSE برای تمامی شاخص‌ها از استان آذربایجان شرقی به غربی برابر با ۷۲/۵۳ درصد و میزان متوسط افزایش SIM برای تمامی شاخص‌ها از استان آذربایجان شرقی به غربی برابر با ۱۳/۲ درصد است. در استان آذربایجان شرقی در

آنتروپی شانون: پایه این روش به این صورت است که هر چه پراکندگی در مقادیر یک شاخص بیشتر باشد، آن شاخص دارای اهمیت بالایی است. اگر در این روش m تعداد گزینه‌ها در نظر گرفته شود، ابتدا باید شاخص‌ها بی‌مقیاس شوند (رابطه ۱) و سپس ضریب ثابتی مانند k محاسبه می‌شود.

$$P_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad (1)$$

$$k = \frac{1}{\ln(m)} \quad (2)$$

$$E_j = -k \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln p_{ij} \quad (3)$$

$$d_j = 1 - E_j \quad (4)$$

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{i=1}^n d_j} \quad (5)$$

a : اجزا ماتریس وزن داده شده. مقدار آنتروپی شاخص z از رابطه ۳ به‌دست می‌آید و در نهایت مقدار عدم اطمینان یا درجه انحراف برای شاخص z به‌دست می‌آید. روش آنتروپی بیشترین وزن را به شاخص با بیشتری درجه انحراف می‌دهد، بنابراین وزن شاخص‌ها از رابطه ۵ به‌دست می‌آید.

آماره‌های ارزیابی

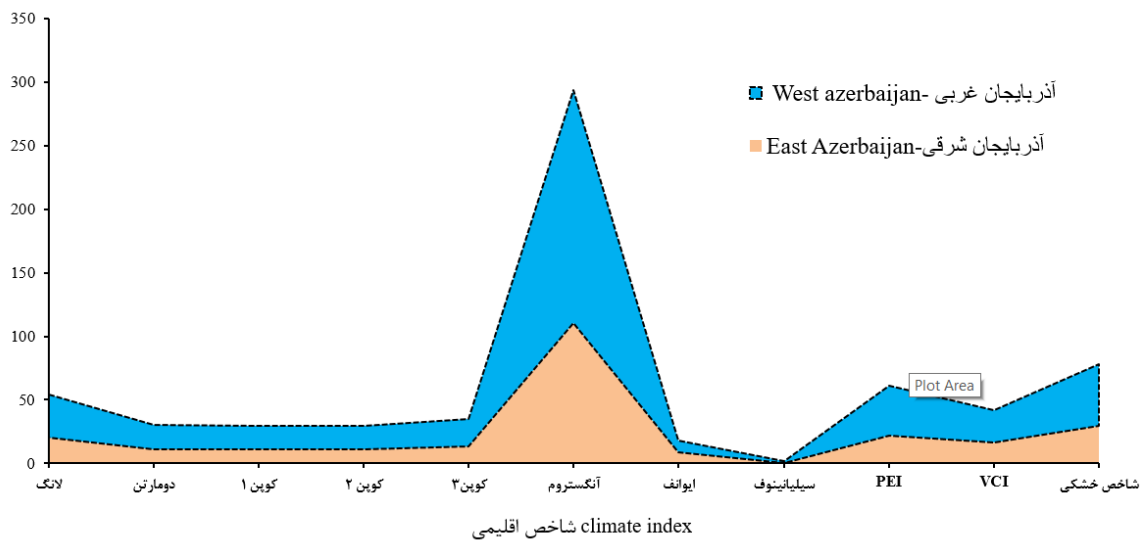
در این تحقیق ورودی‌ها با ترکیبات مختلف وارد روند مدلسازی می‌شوند، بنابراین براساس آماره‌های جدول ۲، ورودی مناسب و کارآمد تعیین خواهد شد.

نتایج و بحث

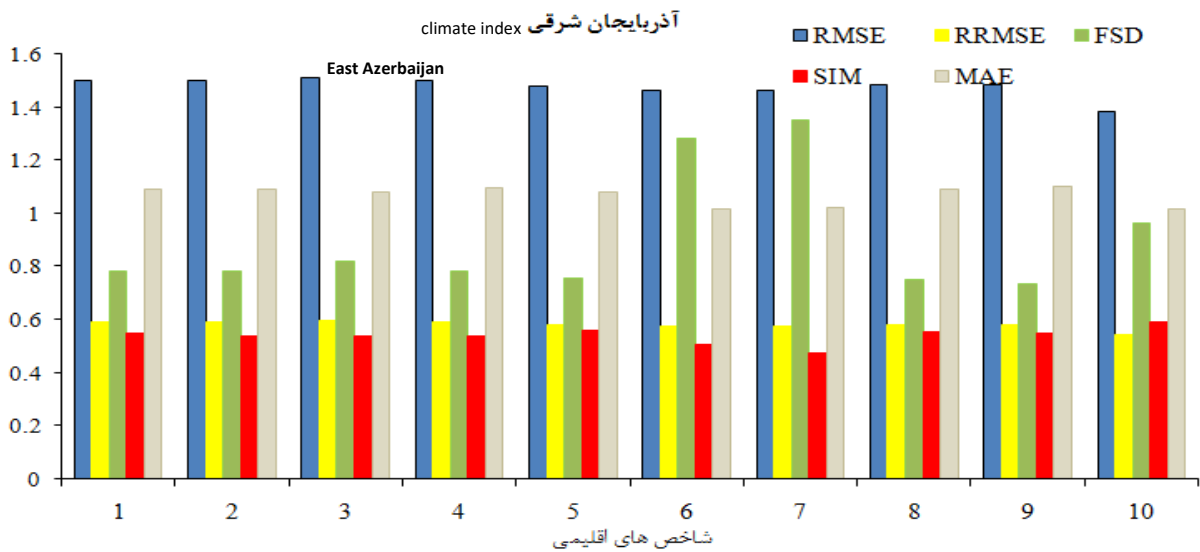
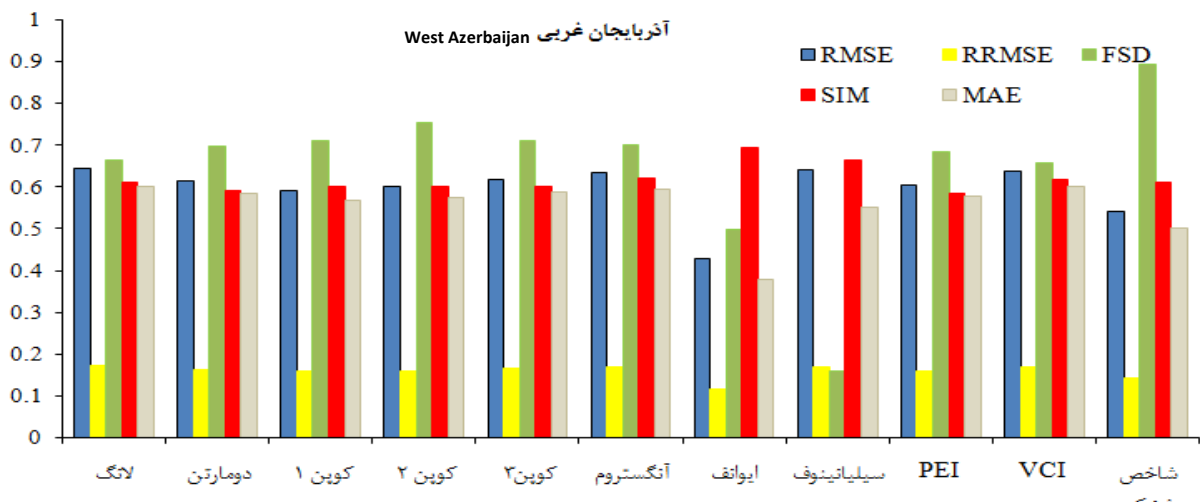
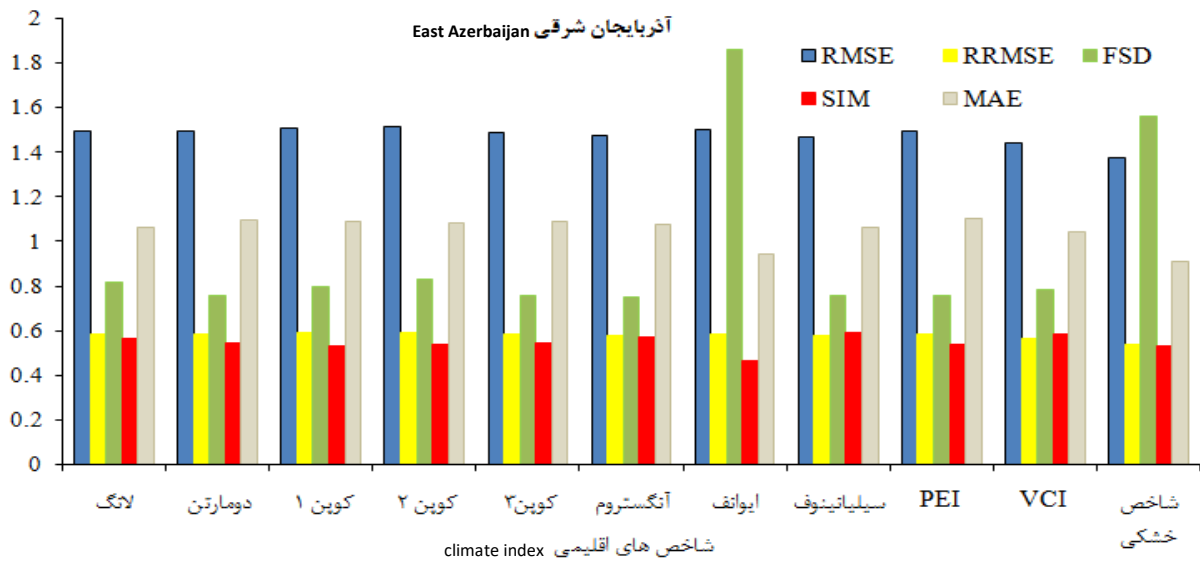
طول دوره آماری مورد استفاده در این تحقیق ۲۲ سال بود که به‌صورت ۲۰:۸۰ برای واسنجی و صحت‌سنجی استفاده شد و دوره ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۱ به‌عنوان دوره صحت‌سنجی در نظر گرفته شدند. از ضریب هرست برای بررسی طول دوره آماری استفاده شد که متوسط ضریب هرست برای تمامی شاخص‌ها ۰/۶۵ است که چون از ۰/۵ بزرگ‌تر است، طول دوره آماری سری قابل قبول است. به‌طور کلی ضریب هرست تمامی شاخص‌ها از ۰/۵ بزرگ‌تر هستند، کمترین مقدار مربوط به ضریب لانگ و برابر با ۰/۵۳ می‌باشد. بعد از اخذ داده‌های هواشناسی اقدام به

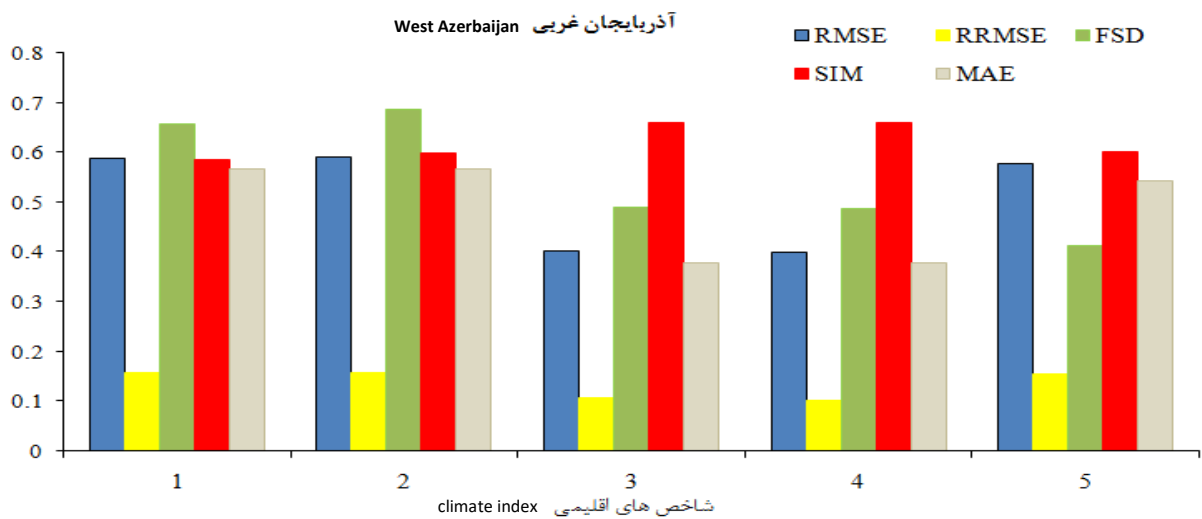
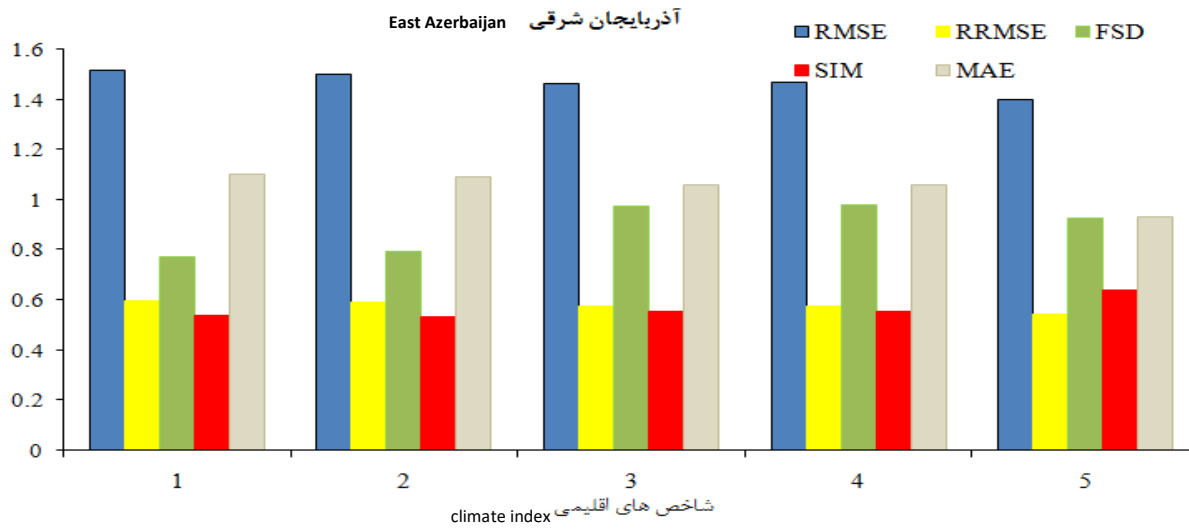
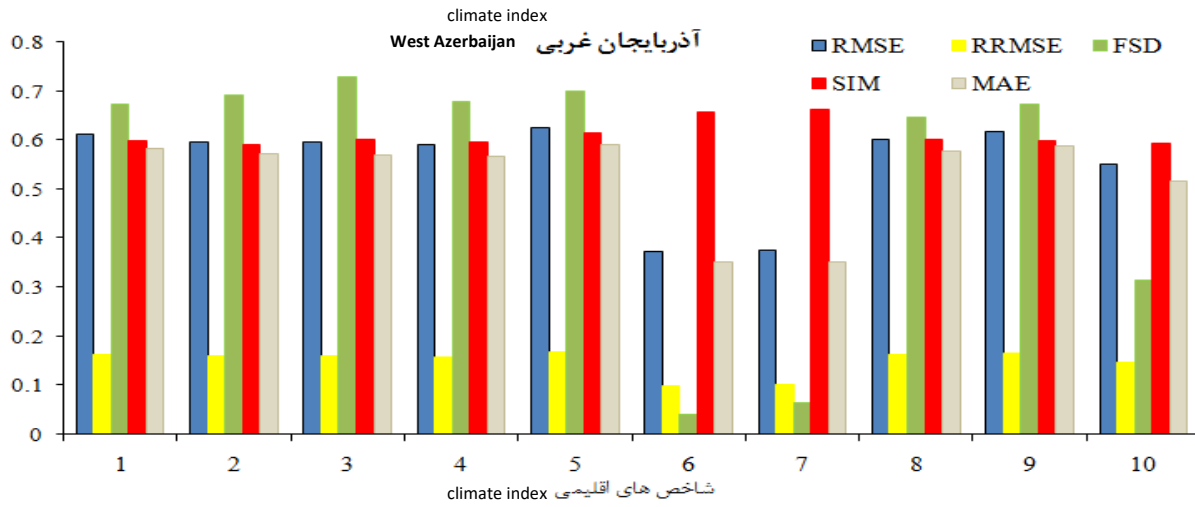
جدول ۲. آماره‌های ارزیابی مورد استفاده در تحقیق

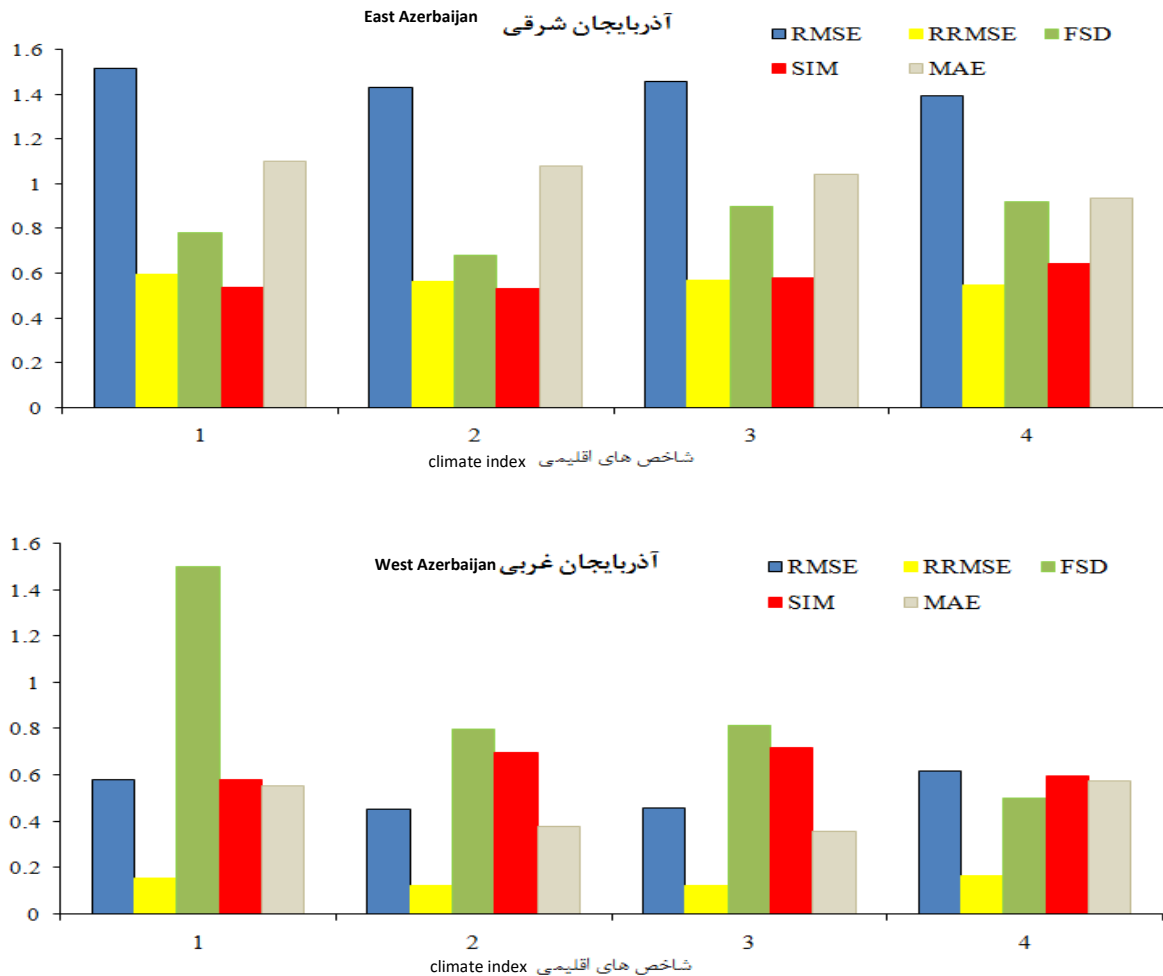
پارامترها	معادله	وضعیت بهینه	نام شاخص
P: مقادیر پیش بینی شده O: Forecasted values مقادیر مشاهداتی N: observed values تعداد داده ها data \bar{O} میانگین داده‌های mean of مشاهداتی observed values مقادیر max: بیشینه maximum value مقادیر کمینه min: minimum value انحراف معیار SD: Standard deviation	$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum (P_i - O_i)^2}$	کمینه minimize	جذر میانگین مربعات خطا root-mean-square deviation RMSE
\bar{O} میانگین داده‌های mean of مشاهداتی observed values مقادیر max: بیشینه maximum value مقادیر کمینه min: minimum value انحراف معیار SD: Standard deviation	$RRMSE = \frac{RMSE}{\bar{O}}$	کمینه minimize	جذر میانگین مربعات خطا نسبی relative root-mean-square deviation RRMSE
مقادیر پیش بینی شده P: Forecasted values مقادیر مشاهداتی O: observed values	$SIM(O, P) = \frac{1}{N} \sum \frac{1}{1 + \frac{ O_i - P_i }{\max(O) - \min(O)}}$	نزدیک یک Near one	تشابه similarity SIM
مقادیر پیش بینی شده P: Forecasted values مقادیر مشاهداتی O: observed values	$FSD = 2 \frac{ SD(P) - SD(O) }{SD(P) + SD(O)}$	کمینه minimize	کسر از انحراف استاندارد fraction of standard deviation FSD
مقادیر پیش بینی شده P: Forecasted values مقادیر مشاهداتی O: observed values	$MAE = \frac{1}{N} \sum P_i - O_i $	کمینه minimize	میانگین خطای قدرمطلق mean absolute error MAE



شکل ۲. متوسط شاخص‌های اقلیمی در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۱
 Fig 2. Average climate indices in the time period of 2000-2021







شکل ۳. آماره‌های ارزیابی پیش‌بینی عملکرد محصول با شاخص‌های اقلیمی (یک، دو، سه و چهار شاخص)

Fig 3. Evaluation criteria of crop yield prediction with climatic indices (one, two, three, and four indices)

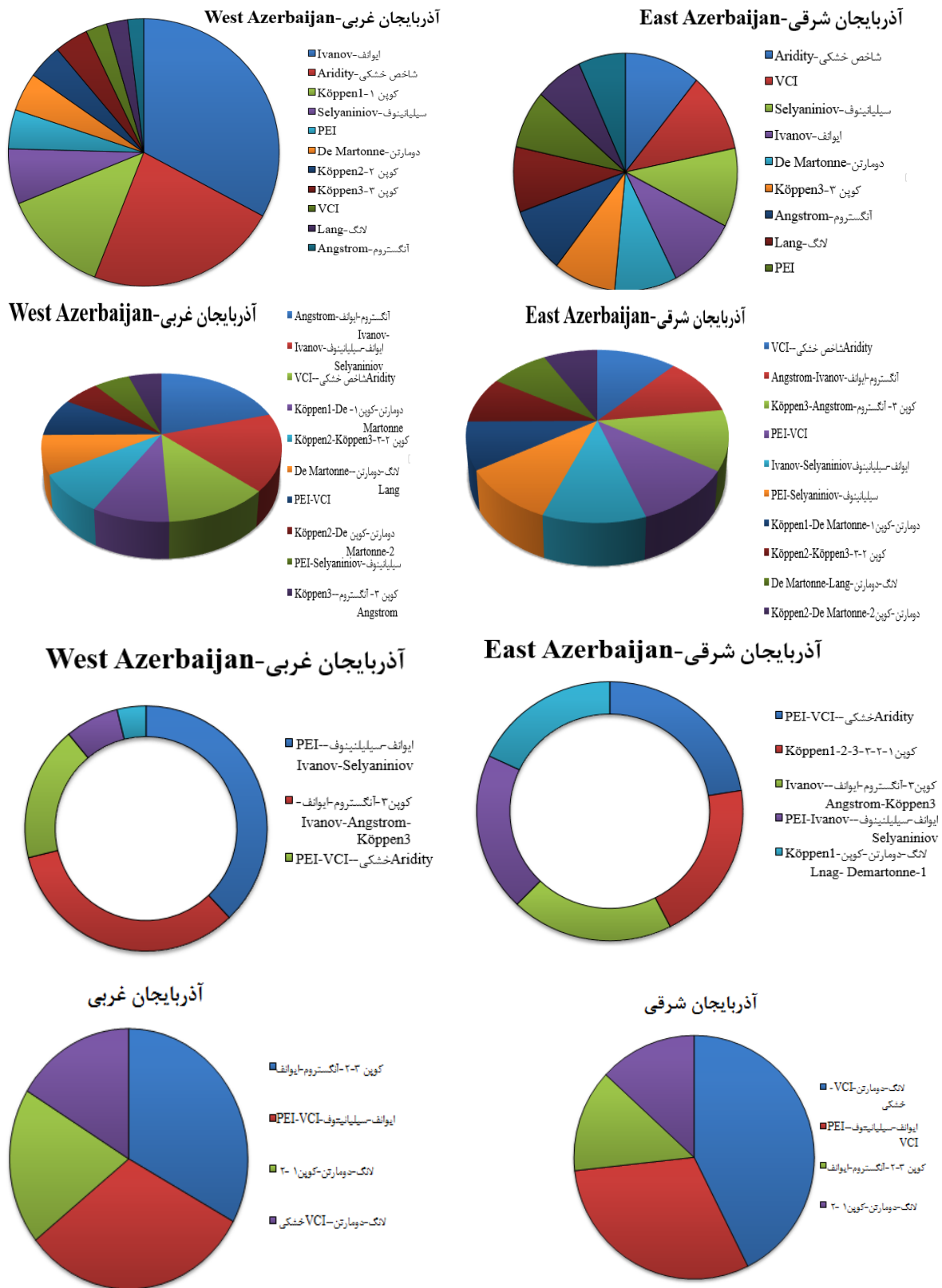
تک شاخصه (VCI) به دو شاخصه (VCI-PCI) برابر با ۶/۲۵ درصد شده است. در حالت سه ترکیبی ترکیب شاخص‌های VCI-PEI شاخص خشکی و VCI براساس RMSE, RRMSE, SIM, MAE و ترکیب شاخص لانگ، دومارتن و کوپن ۱ براساس VAF در وضعیت بهتری هستند. میزان افزایش SIM بهترین حالت‌های تک و دو شاخصه یعنی شاخص خشکی و دو شاخصه (شاخص خشکی-PEI) به سه شاخصه (VCI-PEI) و دو شاخصه (شاخص خشکی و VCI) برابر با ۲۰/۷۵ و ۸/۴۷ درصد بود. در حالت چهار شاخصه ترکیب شاخص‌های لانگ-دومارتن-۱ و VCI و شاخص خشکی براساس RMSE, RRMSE, SIM, MAE، ترکیب لانگ-دومارتن-۱ و خشکی و براساس VAF ترکیب کوپن ۲-۳-آنگستروم و ایوانف

حالت تک شاخصه براساس RMSE, RRMSE, MAE، شاخص خشکی و براساس VAF شاخص آنگستروم و براساس SIM شاخص‌های سیلیانینوف و VCI دارای وضعیت بهتری نسبت به سایر شاخص‌ها هستند. براساس RMSE, RRMSE شاخص کوپن ۲، براساس MAE شاخص‌های کوپن ۱ و ۲ و براساس SIM و VAF شاخص ایوانف عملکرد پایینی دارند. در حالت دو شاخصه براساس RMSE, RRMSE, MAE, SIM ترکیب VCI و شاخص خشکی و براساس VAF ترکیب VCI, PCI دارای وضعیت بهتری هستند. میزان افزایش SIM از حالت بهینه تک شاخصی (شاخص خشکی) به حالت دو شاخصه (ترکیب VCI و شاخص خشکی) برابر با ۱۱/۳۲ درصد است. میزان کاهش VAF از حالت

تحقیق دهقانی سرگزی و همکاران (Dehghani Sargazi et al., 2021) بررسی شد. نتایج این تحقیق توانست کاربرد مفیدی در مدیریت و برنامه‌ریزی توسعه کشت گندم دیم داشته باشد. ترکیبات مختلفی از داده‌های هواشناسی در مطالعه خادم‌پور و همکاران (Khadem-pour et al., 2020) در تخمین عملکرد محصول زعفران نشان دادند که دمای بیشینه، بارندگی، تبخیر و تعرق و رطوبت نسبی ارتباط نزدیکی با عملکرد زعفران دارند (خادم پور و همکاران ۱۳۹۹). همان‌طور که در تحلیل نمودارهای شکل ۳ مشاهده شد، روند تغییرات آماره‌ها در تمام حالت‌ها در یک سوء نیست، بنابراین برای اینکه نتیجه‌گیری جامعی در مورد تعیین شاخص بهینه براساس عملکرد تمامی آماره‌ها انجام شود، از روش TOPSIS استفاده شد. در این روش شاخص‌های اقلیمی و ترکیبات آنها به‌عنوان گزینه و آماره‌های ارزیابی به‌عنوان شاخص‌های تصمیم‌گیری در نظر گرفته شدند. نتایج اجرای TOPSIS و رتبه‌بندی شاخص‌ها در شکل ۴ نشان داده شده است.

اساس شکل ۴، در استان آذربایجان غربی در حالت تک شاخص ابتدا شاخص ایوانف و سپس شاخص خشکی و در استان آذربایجان شرقی شاخص خشکی و VCI و سیلیانینوف دارای رتبه بالایی هستند. در حالت دو شاخص در استان آذربایجان شرقی ترکیب شاخص خشکی و VCI و در استان آذربایجان غربی ترکیب آنگستروم و ایوانف دارای رتبه بهتری هستند. در حالت سه شاخص در استان آذربایجان غربی شاخص‌های ایوانف-سیلیانینوف و PEI و در استان آذربایجان شرقی شاخص‌های خشکی-VCI و PEI دارای عملکرد بهتری هستند. در حالت چهار شاخص در استان آذربایجان شرقی ترکیب شاخص‌های لانگ-دومارتن-خشکی و VCI و در استان آذربایجان غربی کوپن ۲-۳ - آنگستروم و ایوانف دارای عملکرد بهتری هستند. براساس ترکیبات مختلف در استان آذربایجان شرقی، شاخص خشکی و ترکیبی چهار شاخص (لانگ-دومارتن-خشکی و VCI) دارای عملکرد بهتری هستند. بنابراین در ادامه سعی در مقایسه آنها شد، به‌عنوان نمونه میزان کاهش RMSE و MAE از ترکیب چهار شاخص به تک شاخص به ترتیب برابر با ۱/۱۴ و

در وضعیت بهتری قرار داشتند. میزان کاهش VAF از حالت تک شاخص (شاخص خشکی)، دو شاخص (VCI-شاخص خشکی)، سه شاخص (PEI-شاخص خشکی و VCI) به چهار شاخص (لانگ-دومارتن- VCI و شاخص خشکی) به ترتیب برابر با ۴/۶۷، ۶۷/۲۱، ۲ درصد است. در استان آذربایجان غربی در حالت تک شاخص براساس RRMSE، MAE، SIM و VAF شاخص ایوانف دارای عملکرد بهتری است. RRMSE، MAE، شاخص لانگ و براساس VAF شاخص خشکی و براساس SIM شاخص عملکرد ضعیفی دارند. در حالت دو شاخص آنگستروم-ایوانف براساس RRMSE، MAE و VAF و براساس SIM شاخص ترکیبی ایوانف و سیلیانینوف دارای وضعیت حاوی ایوانف دارای عملکرد بهتری هستند. میزان کاهش RRMSE، RRMSE از شاخص ایوانف به حالت ترکیبی (ایوانف و آنگستروم) به ترتیب برابر با ۱۳/۹۵، ۴۱/۷۶ درصد است. در حالت سه شاخص براساس تمام آماره‌ها ترکیب ایوانف-PEI-سیلیانینوف دارای عملکرد بهتری می‌باشد. در حالت چهار شاخص براساس RRMSE، MAE، VAF ترکیب کوپن ۲-۳-آنگستروم و ایوانف و براساس SIM ترکیب ایوانف-سیلیانینوف-PEI و VCI دارای عملکرد بهتری هستند. باز در این حالت ترکیب‌های حاوی شاخص ایوانف دارای عملکرد بهتری هستند. تغییرات آماره‌های ارزیابی در هر دو استان در برابر تعداد زیادی از شاخص‌های اقلیمی و ترکیبات آنها کاملاً مشاهده می‌شود و این مسئله نشان‌دهنده اهمیت شاخص‌های اقلیمی در پیش‌بینی عملکرد محصول است. تأثیر شاخص‌های اقلیمی بر عملکرد محصول در تحقیقات بازگیر و کمالی (۱۳۸۷) هم مشاهده شد. در تحقیق فرج‌زاده و همکاران (Farajzadeh et al., 2013) مدل‌های ترکیبی مشتمل بر ترکیب عناصر اقلیمی و شاخص‌های کشاورزی دارای دقت بالایی بودند. در تحقیق Bazger et al., (2007) در تعیین عملکرد گندم ۸۳ درصد از تغییرات توسط شاخص‌های هواشناسی بیان شد. بررسی اثرات خشک‌سالی هواشناسی- کشاورزی بر عملکرد گندم دیم با استفاده از شاخص استاندارد شده بارش در



شکل ۴. رتبه بندی شاخص های اقلیمی در دسته های مختلف براساس روش TOPSIS
 Fig 4. Ranking of climate indices in different categories based on the TOPSIS method

از تک شاخص دارای دقت بالایی است. دلیل این مسئله را می‌توان به این صورت بیان کرد که در حالت ترکیبی از نظر داده‌های به کار رفته و هم از نظر ساختار ریاضی اصلاحاتی انجام می‌گیرد. تأثیر نوع شاخص در هر اقلیم بر عملکرد محصول متفاوت است. استان آذربایجان شرقی و غربی از نظر اقلیمی مشابهت بالایی دارند، ولی شاخص‌هایی همراه با شاخص ایوانف در استان آذربایجان غربی و شاخص خشکی در استان آذربایجان شرقی تأثیر بالایی بر عملکرد گندم دارند. این مسئله نشان می‌دهد که هر منطقه شاخص مخصوص به خود را در شبیه‌سازی فرآیندهای اقلیمی حاکم بر عملکرد محصول دارد. استفاده از سایر رویکردهای تصمیم‌گیری چند معیاره و یا حالت ادغامی آنها می‌تواند یکی از پیشنهادات این تحقیق است. همچنین تأثیر تغییر معیارها نیز بهتر است مورد بررسی قرار گیرد. با به‌کارگیری شاخص مناسب و دقیق، پیش‌بینی عملکرد محصول به مقادیر واقعی نزدیک‌تر می‌شود. عملکرد محصول ناشی از فرآیندهای گیاهی است و این فرآیندها از عوامل اقلیمی متأثر هستند که کمی‌سازی رابطه بین عوامل اقلیمی و عملکرد محصول با شاخص اقلیمی مؤثر در اتخاذ تصمیمات مربوط به برنامه‌ریزی و مدیریت کشاورزی می‌تواند تأثیر قابل توجهی داشته باشد.

منابع

- Ansari ghoghghar, M. (2023). Development of strategic wheat crop prediction toolkit using machine learning algorithms to reduce food security risks (case study: alborz province), *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 53(10), 2277-2294. [In Persian]. doi: 10.22059/ijswr.2022.342638.669260.
- Bazgeer, S. & Kamali, GH.A. (2008). Wheat yield prediction using agro meteorological indices For some regions of the Western of the country, *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 15(2), 113, 121. [In Persian]. DOI: 10.22059/jdesert.2008.31063
- Bazgeer, S., Kamali, G. & Mortazavi, A. (2007). Wheat yield prediction through agrometeo-

۲/۰۴ درصد است و میزان کاهش VAF از تک شاخص به چهار شاخص برابر با ۴۱/۲۱ و میزان افزایش SIM از تک شاخص به چهار شاخص برابر با ۲۰/۷۵ درصد است. بنابراین ترکیب چهارم بهتر عمل می‌کند. در استان آذربایجان غربی بر اساس آماره‌های RMSE، RRMSE، MAE و VAF ترکیب دو شاخص (ایوانف و آنگستروم) دارای عملکرد بهتری است، به طوری که میزان کاهش RMSE از تک شاخص (ایوانف)، سه شاخص (ایوانف-PEI و سیلیانینوف)، چهار شاخص (کوپن ۳-۲-آنگستروم و ایوانف) به دو شاخص (ایوانف و آنگستروم) به ترتیب برابر با ۱۳/۹۵، ۱۸/۳۲ و ۷/۲۶ درصد است. بر اساس SIM حالت چهار شاخص عملکرد بهتری دارد. میزان افزایش SIM از تک شاخص (ایوانف)، دو شاخص (ایوانف و آنگستروم)، سه شاخص (ایوانف-PEI و سیلیانینوف) به چهار شاخص (کوپن ۳-۲-آنگستروم و ایوانف) به ترتیب برابر با ۴/۹، ۳/۳، ۸/۹۳ درصد است. نوع شاخص‌های اقلیمی استفاده شده توانستند میزان برآورد عملکرد محصول را تحت تأثیر قرار دهند. در استان آذربایجان شرقی میزان کاهش عملکرد محصول از شاخص کوپن ۳ به مقادیر مشاهداتی ۲۸/۸۵ درصد و از ترکیب (لانگ-دومارتن-خشکی و VCI) به مقادیر مشاهداتی ۲۳/۴۹ درصد است. در استان آذربایجان غربی میزان افزایش عملکرد محصول از شاخص لانگ به مقادیر مشاهداتی ۴۶/۹۲ درصد و از ترکیب (ایوانف-سیلیانینوف-PEI و VCI) به مقادیر مشاهداتی ۳۲/۸۷ درصد می‌باشد. اختلاف بین عملکرد محصول مشاهداتی و ترکیبی در هر دو استان کاهش داشته است.

نتیجه‌گیری

پیش‌بینی به موقع عملکرد محصول می‌تواند مدیریت تولید کشاورزی و سیاست‌گذاری مواد غذایی را که از الزامات مهم توسعه کشاورزی دقیق هستند، تسریع بخشد. در این راستا پیش‌بینی عملکرد محصول با استفاده از شاخص‌های اقلیمی دارای اهمیت بالایی است. در این تحقیق یازده شاخص اقلیمی همراه با ترکیبات آنها (دو، سه و چهار شاخص) با رگرسیون بردار پشتیبان مدلسازی شدند. نتایج نشان دادند که استفاده از ترکیب شاخص‌ها نسبت به استفاده

- Khodjaev, S., Kuhn, L., Bobojonov, I. & Glauen, T. (2024). Combining multiple UAV-Based indicators for wheat yield estimation, a case study from Germany, *European Journal of Remote Sensing*, 57(1), 2294121. doi: 10.1080/22797254.2023.2294121.
- Khosravirad, M., Omid, M., Sarmadian, F. & Hosseinpor, S. (2019). Sugarcane yield estimation using LANDSAT time series imagery (Case Study-MianAB region in Khuzestan Province), *Iranian Journal of Biosystem Engineering*, 50 (2), 399-414. [In Persian]. doi: 10.22059/IJBSE.2019.268449.665108.
- Madani, A., Khasheyi, A., & Khakzad, S. (2021). Predicting grain yield of barley crop using artificial neural network and fuzzy neural systems in Khorasan province –Iran, *Journal of Plant Production*, 11(2), 75-92. [In Persian]. doi: 10.2/jpps.2022.691244.
- Mathieu, J. A., & Aires, F. (2018). Assessment of the agro-climatic indices to improve crop yield forecasting, *Agricultural and forest meteorology*, 253, 15-30. doi: 10.1016/j.agrformet.2018.01.031.
- Niedbała, G., Nowakowski, K., Rudowicz-Nawrocka, J., Piekutowska, M., Weres, J., Tomczak, R.J., Tyksiński, T. & Álvarez Pinto, A. (2019). Multi-criteria prediction and simulation of winter wheat yield using extended qualitative and quantitative data based on artificial neural networks, *Applied Sciences*, 9(14), 2773. doi: 10.3390/app9142773. doi: 10.3390/app9142773.
- Parviz, L. & Bonyadi, H. 2019. Wheat yield modeling using climate indices and hierarchical, *Ecohydrology*, 6(2), 479-491. [In Persian]. doi: 10.22059/ije.2019.272286.1013.
- Parviz, L. & Paymai, M. (2019). Stochastic climatological yield forecasting of four crops wheat, barley, potato and maize in East and West Azerbaijan indices for Hamedan, Iran, *Biaban (Desert Journal)*, 12, 33-38. doi: 10.22059/jdesert.2008.31063.
- Biswas, T., Majumder, A., Dey, S., Mandal, A., Ray, S., Kapoor, P., Emam, W., Kanthal, S., Ishizaka, A. & Matuka A. (2021). Evaluation of management practices in rice-wheat cropping system using multicriteria decision-making methods in conservation agriculture, *Scientific Reports*, 13, 14(1), 8600. doi: 10.1038/s41598-024-58022-w.
- De Brito, M. M. & Evers, M. (2016). Multi-criteria decision-making for flood risk management: a survey of the current state of the art, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 16(4), 1019-1033. doi: 10.5194/nhess-16-1019-2016.
- Dehghani Sargazi, H., Bazrafshan, O. & Zamani, H. (2021). Investigation of the effect of meteorological-agricultural drought on rainfed wheat yield in Iran using SPEI, *Nivar*, 45(114), 16-28. [In Persian]. doi: 10.30467/nivar.2021.295544.1198.
- Delghandi, M., Joorablou, S. & Ganji Nowroozi, Z. (2023). The impact of climate change on severity, duration, and magnitude of drought using SPI and RDI in the Semnan region, *Journal of Drought and Climate Change Research*, 1(1), 1-18. [In Persian]. doi:10.22077/jdcr.2023.5909.1004.
- Farajzadeh, M. & Khorani, A., Bazgir, S. & Zeaiean, P. (2013). Estimation of rainfed wheat yield using climatic-agricultural indicators and remote sensing in Kurdistan province, *Iranian Remote Sensing and GIS Journal*, 5(2), 35-52. [In Persian].
- Khadempour, F., Khashei Siuki, A. & Behdani, M. A. (2020). Evaluation of the efficiency of Lazy Algorithm in Estimating Yield of Saffron Based on Climatic Parameters, *Saffron Agronomy and Technology*, 8(2), 295-304. doi: 10.22048/jsat.2020.174803.1338

- baijan Provinces in the development of agricultural planning, *Crop production*, 11(4), 11-26. [In Persian]. doi: 10.22069/ejcp.2019.14153.2077.
- Seyed Jalali, S.A., Sarmadian, F., Shorafa, M. & Mohammad Ismail, Z. (2016). Application of kriging and cokriging in predicting wheat yield using principal component analysis, *Crop production Journal*, 9(2), 213-224. [In Persian]. doi: 10.22069/ejcp.2016.3124.
- Syedmohammadi, J., Sarmadian, F., Jafarzadeh, A. A., Ghorbani, M. A. & Shahbazi, F. (2018). Application of SAW, TOPSIS and fuzzy TOPSIS models in cultivation priority planning for maize, rapeseed and soybean crops, *Geoderma*, 310, 178-190. doi: 10.1016/j.geoderma.2017.09.012.
- Tanabe, R., Matsui, T. & Tanaka, T.S. (2023). Winter wheat yield prediction using convolution neural networks and UAV-based multispectral imagery, *Field Crops Research*, 291, 1087. doi: 10.1016/j.fcr.2022.108786.
- Wang, H., Wang, X., Bi, L., Wang, Y., Fan, J., Zhang, F. & Xiang, Y. (2019). Multi-objective optimization of water and fertilizer management for potato production in sandy areas of northern China based on TOPSIS, *Field Crops Research*, 240, 55-68. doi: 10.1016/j.fcr.2019.06.005.



Presenting the Suitable Planting Calendar of Tarem Hashemi Rice in Mazandaran Province Area Using Remote Sensing Technique

Alireza Yousefi Kebriya¹, Reza Norooz Valashedi^{2*}

1- Phd. Candidate of Agrometeorology, Faculty of Agricultural Sciences, University of Agricultural Sciences and Natural Resources Sari, Iran.

2- Assistant Professor, Department of Irrigation, Faculty of Agricultural Sciences, University of Agricultural Sciences and Natural Resources Sari, Iran.

*Corresponding Author: r.norooz@sanru.ac.ir

Keywords:

Air temperature, Rice nursery, Optimal planting time, Agricultural meteorology, GLDAS-simulated data.

Extended Abstract

Introduction and Objective: Rice is a staple food crop that requires specific environmental conditions for optimal growth and germination. Its sensitivity to climatic factors, particularly temperature, means that the timing of planting and harvesting is crucial to ensure a high-quality yield. In Mazandaran Province, Iran, rice farming plays a vital role in the local economy, and identifying the most suitable cultivation periods can significantly enhance crop outcomes. This research aims to determine the optimal planting time for rice cultivation in Mazandaran by analyzing local temperature data and satellite imagery, alongside farmer surveys and data from the Iranian Rice Research Institute in Amol.

Material and Methods: The study utilized 11 years of average temperature data from 2011 to 2021, gathered from 15 synoptic meteorological stations across Mazandaran Province. This dataset provided a comprehensive view of the province's climatic conditions over a significant period, allowing for a robust analysis of temperature trends and their impact on rice cultivation. Additionally, the study employed TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) satellite imagery to obtain average air temperature readings, which were then used to create a detailed map of suitable rice cultivation areas within the province.

To enhance the accuracy of the findings, the Kriging interpolation method was applied to draw a precise temperature map outlining the germination threshold for rice across Mazandaran Province. Kriging is a geostatistical technique that generates a predicted surface from scattered data points, thus providing a more reliable temperature distribution map tailored to the specific needs of rice cultivation.

Furthermore, to validate the research findings and refine the model for optimal rice cultivation, a structured questionnaire was distributed among 25 farmers across different regions of Mazandaran. These farmers, who collectively manage over 78 hectares of rice fields, provided valuable insights based on their experiences with varying

Received:

31 August 2024

Revised:

22 September 2024

Accepted:

22 September 2024

How to cite this article:

Yousefi Kebriya, A., & Norooz Valashedi, R. (2024). Presenting the Suitable Planting Calendar of Tarem Hashemi Rice in Mazandaran Province Area Using Remote Sensing Technique. *Journal of Drought and Climate change Research*, 2(3), 67-84. [10.22077/jdcr.2024.8087.1076](https://doi.org/10.22077/jdcr.2024.8087.1076)



planting dates and practices. Their responses were cross-referenced with data from the Iranian Rice Research Institute in Amol to evaluate the consistency and reliability of the results.

Results: The analysis revealed that the optimal time for rice planting in Mazandaran, based on the temperature data from the synoptic stations, is from April 21 to the end of May. This period aligns closely with the planting calendar recommended by the Iranian Rice Research Institute in Amol, suggesting a strong correlation between empirical observations and institutional guidelines. The temperature map created using Kriging interpolation and satellite imagery further supported these findings, indicating that the most favorable conditions for rice tillering, a critical stage in the rice growth cycle, occur in the Iranian month of Ordibehesht (April-May).

The study also highlighted the risks associated with planting rice outside this optimal window. For instance, planting in March, when average temperatures are below 10°C, proved to be particularly detrimental. The northern, northeastern, and coastal regions of Mazandaran, which fall into a weaker category due to their cooler climate, are especially unsuitable for early planting. This period often results in significant cold stress on rice seedlings, leading to poor germination rates and increased vulnerability to diseases.

Conversely, planting in June poses a different set of challenges. The increase in temperature during this month, coupled with the prolonged duration of the planting process, leads to heat stress, which adversely affects rice growth and yield. According to the farmer survey results, those who initiated planting in March reported higher levels of stress and disease in their fields. In contrast, farmers who adjusted their planting schedules to start in the spring reported a marked decrease in these adverse conditions. Notably, those who began planting towards the end of April did not experience significant stress or illness, underscoring the importance of adhering to the recommended planting window.

Conclusion: This research underscores the critical role of appropriate planting timing in managing and mitigating stress and diseases in rice fields. By following a well-defined planting calendar, farmers in Mazandaran can optimize their rice yields while minimizing the risks associated with climatic extremes. The findings suggest that the best time to plant Tarem Hashemi rice, a popular variety in Mazandaran, is in late April to early May. Adopting this planting schedule allows farmers to leverage optimal temperature conditions, thereby enhancing crop resilience and productivity. Ultimately, this research provides a valuable framework for rice cultivation in Mazandaran, offering practical guidelines that can be tailored to the unique climatic conditions of different regions within the province. By integrating empirical data with local knowledge and advanced geostatistical techniques, the study contributes to a more sustainable and profitable rice farming industry in the region.



ارائه تقویم کاشت مناسب برنج طارم هاشمی در پهنه مازندران با تکنیک سنجش از دور

علیرضا یوسفی کبریا^۱، رضا نوروز ولاشدی^{۲*}

۱- دانشجوی دکتری هواشناسی کشاورزی، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ساری، ایران.
۲- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ساری، ایران.

*نویسنده مسئول: r.norooz@sanru.ac.ir

چکیده

واژه‌های کلیدی:

انتخاب تاریخ کاشت مناسب یکی از عوامل مهم در مدیریت کارآمد زراعی است که با انطباق فرآیندهای فیزیولوژیکی، مورفولوژیکی و مراحل فنولوژیکی گیاه با شرایط مطلوب آب و هوایی نقش به‌سزایی در کنترل تولید دارد. این پژوهش با هدف تعیین بهترین زمان کاشت برنج طارم هاشمی در استان مازندران، با استفاده از داده‌های دمایی ۱۱ ساله (۱۳۹۰-۱۴۰۰) از ایستگاه هواشناسی سینوپتیک و داده‌های شبیه‌سازی شده GL-DAS انجام شد. برای ارزیابی دقت داده‌های ماهواره‌ای، از شاخص‌های آماری و روش کربجینگ استفاده گردید. همچنین ۲۵ کشاورز پرسشنامه‌ای برای اعتبارسنجی بیشتر داده‌ها تکمیل کردند. نتایج نشان داد که تصاویر ماهواره‌ای با داده‌های ایستگاهی همبستگی بالایی داشتند (ضریب همبستگی بین ۰/۵۵-۰/۶۳) و خطای میانگین مطلق دما در حدود ۳ درجه سانتی‌گراد و خطای ریشه میانگین مربعات حدود ۴/۲ درجه سانتی‌گراد بود. زمان بهینه برای کاشت برنج طارم هاشمی بین ۲۱ فروردین تا اواخر اردیبهشت تعیین شد. در این دوره، دمای هوا مناسب (۲۰-۳۰ درجه سانتی‌گراد) برای مراحل پنجه‌زنی فراهم بوده و در اسفند، به دلیل دمای زیر ۱۰ درجه سانتی‌گراد، کاشت نامطلوب است. کشاورزانی که در اسفند ماه اقدام به کشت کردند، با تنش‌های بیشتر و شیوع بیماری‌ها مواجه شدند. به‌طور کلی، با رعایت تاریخ مناسب کاشت، می‌توان از بروز تنش‌ها و بیماری‌ها کاسته و کیفیت محصول را افزایش داد. نتایج کمی این پژوهش نشان داد که کاشت برنج طارم هاشمی در دوره زمانی اواخر فروردین تا اوایل اردیبهشت، با کاهش قابل توجه تنش‌های محیطی و افزایش کیفیت محصول همراه بوده است، که می‌تواند به تصمیم‌گیری بهینه کشاورزان کمک شایانی نماید.

دمای هوا، خزانه برنج، زمان مناسب کاشت، هواشناسی کشاورزی، داده‌های شبیه‌سازی شده GLDAS.

تاریخ دریافت:

۱۴۰۳/۰۶/۱۰

تاریخ ویرایش:

۱۴۰۳/۰۷/۰۱

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۳/۰۷/۰۱

مقدمه

اقلیم به‌عنوان مهم‌ترین و غیرقابل کنترل‌ترین عامل تأثیرگذار بر عملکرد محصول در نظر گرفته شده است (Deng et al., 2022). مطالعات پیشین نشان داده که افزایش دما و کاهش دما به‌ترتیب باعث تسریع رشد فنولوژی برنج، کاهش جوانه‌زنی، تأخیر در رشد گیاه و در نتیجه کاهش عملکرد محصول می‌شود (Sakai et al., 2022; Xu et al., 2021). علاوه بر این، تحقیقات بسیاری بر خطرات اقلیمی ترکیبی که در مراحل تولید مثل برنج مانند خوشه‌دهی، گلدهی و آغاز پر شدن دانه رخ می‌دهد، تأکید کرده‌اند، مرحله‌ای که به‌طور معمول موجب کاهش چشمگیر عملکرد می‌شود (Yang et al., 2020). دما در مرحله پر شدن دانه نقش مهمی در باروری خوشه‌ها، وزن هزار دانه و کیفیت برنج دارد (de Lima et al., 2021). انتخاب تاریخ کاشت مناسب یکی از عوامل کلیدی در مدیریت بهینه زراعی است که با هماهنگی مراحل مختلف گیاه مانند، جوانه‌زنی، رشد رویشی، گلدهی و رسیدگی با شرایط ایده‌آل آب و هوایی، به افزایش بهره‌وری و کنترل بهتر تولید کمک می‌کند (Ryu et al., 2022). گیاهان زراعی همواره در معرض تنش‌های محیطی قرار دارند که این تنش‌ها به‌ویژه در شرایط نامساعد می‌تواند موجب کاهش قابل‌توجه عملکرد محصول گردد. برنج به‌ویژه حساس به دماهای پایین است، که به‌طور خاص در مرحله خزانه‌گیری می‌تواند منجر به کاهش محصول شود. آسیب‌های ناشی از سرمای شدید، به‌ویژه در فصول سرد، می‌تواند به‌طور مستقیم بر عملکرد و کیفیت محصول تأثیر بگذارد. در بسیاری از واریته‌های برنج در کشور، عدم تحمل به سرما در فصل خزانه‌گیری باعث آسیب به محصول می‌شود، به‌خصوص هنگامی که دما به میزان قابل توجهی کاهش یابد (Akhil et al., 2008). زمان وقوع مراحل فنولوژی در افزایش عملکرد ژنوتیپ‌های برنج بسیار مهم است. تاریخ کشت برنج، عامل بسیار مهم و تعیین‌کننده‌ای در تولید محصول است و زمان مناسب کاشت برای یک محصول در مناطق مختلف متغیر است. تعجیل و تأخیر در کاشت نسبت به تاریخ کاشت مطلوب هر منطقه، هر دو موجب کاهش

عملکرد برنج می‌شود (Berd et al., 2022). میانگین دمای مورد نیاز برنج هنگام رشد باید بین ۲۰ تا ۳۷ درجه سلسیوس باشد. پایین بودن دما در اوایل فصل زراعی یا آبیاری مزرعه با آب سرد سبب می‌شود که زمان رسیدن دانه‌ها به تأخیر افتد. بالا بودن دما هم موجب کاهش تعداد سنبلچه‌های بارور و وزن دانه‌ها می‌شود. هرگاه دمای محیط از ۱۳ درجه سلسیوس پایین‌تر آید برنج با سرما روبه‌رو می‌شود. همچنین هرگاه دمای محیط از ۴۰ درجه سلسیوس بیشتر شود باعث اختلال در رشد ریشه خواهد شد و گیاه از بین خواهد رفت. دمای محیط کشت در طول دوره‌ی رشد همواره باید متناسب با مراحل رشد گیاه باشد، دمای مذکور به‌ویژه در زمان گل دادن باید مناسب و کافی باشد، زیرا در این دوره گیاه به حداکثر دما نیاز دارد (Sadidi Shal et al., 2021). مشخص کردن دقیق زمان کاشت و برداشت و برنامه‌ریزی برای کشت دوم انواع محصولات ارتباط مستقیم با شرایط محیطی به‌ویژه تنش‌های سرمای اوایل بهار دارد که در هنگام به جلو آوردن زمان کشت و تهیه زود هنگام خزانه باعث تأخیر در رشد و در نهایت خسارت ناشی از ازدیاد هزینه تهیه خزانه و تولید نشا و کاهش عملکرد خواهد شد (Berd et al., 2022). تأثیر عوامل تنش‌زا بر گیاه، معمولاً همه‌جانبه بوده و به‌ندرت فقط بخش خاصی از آن را در برمی‌گیرد و باعث تغییراتی در عملکرد طبیعی و فیزیولوژیکی گیاهان می‌شود (Bodapati et al., 2005). تمامی این تنش‌ها باعث تغییراتی در ترکیب زیستی گیاهان شده و در نهایت منجر به آسیب‌هایی می‌شوند که به تخریب گیاه و محصول حاصل از آن می‌انجامد. دما پایین باعث کاهش میزان جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی در گیاه برنج می‌شود (Cruz et al., 2006). لذا تاریخ کاشت مناسب موجب بهینه شدن بازده استفاده از عوامل مؤثر بر عملکرد گیاه برنج خواهد شد در حالی که تاریخ کاشت نامناسب موجب به‌هم خوردن موازنه اجزای عملکرد در گیاه برنج می‌شود (Walia et al., 2014). مطالعاتی نیز در این زمینه صورت گرفته است، بررسی تاریخ‌های مختلف کاشت بر ده رقم برنج در منطقه شمال استان خوزستان نشان داد کاهش طول

روز تا ۵۰ درصد گلدهی، وزن هزار دانه و عملکرد دانه واکنش مثبتی نشان داد. وراثت‌پذیری صفات متوسط بود و پیشرفت ژنتیکی مورد انتظار برای عملکرد دانه نسبتاً بالا (۱۳/۶۶٪) گزارش شد (Abas, 2023). در پژوهشی، تأثیر تاریخ‌های مختلف کاشت بر عملکرد برنج و شرایط آب و هوایی مورد بررسی قرار گرفت. آزمایشی میدانی به‌مدت چهار سال (۲۰۱۸-۲۰۲۱) در ایستگاه تحقیقات هواشناسی کشاورزی جینگزو، چین، با چهار تاریخ کاشت متفاوت (اواخر آوریل، اوایل می، اواسط می و اواخر می) انجام شد. نتایج نشان داد که تأخیر در تاریخ کاشت از اوایل می به اواسط یا اواخر می می‌تواند عملکرد دانه را تا ۵/۶٪ تا ۸/۶٪ افزایش دهد. با این حال، کاشت زود هنگام می‌تواند استرس گرمایی را افزایش دهد، دمای مؤثر تجمعی را کاهش دهد، رشد برنج را مهار کرده و عملکرد دانه را کاهش دهد. از سوی دیگر، کاشت دیر هنگام ممکن است خطر دماهای پایین پس از گلدهی را افزایش دهد. با توجه به افزایش دمای مؤثر تجمعی، کاهش استرس گرمایی و دماهای پایین پس از گلدهی، تاریخ‌های کاشت از اواسط تا اواخر می بهترین زمان برای تضمین عملکرد بالا شناسایی شد (Liu et al., 2023). ژانگ و همکاران (Zhang et al., 2023) به بررسی تأثیر تاریخ‌های مختلف کاشت بر رشد و عملکرد آن تحت تغییرات اقلیمی آینده در جنوب شرقی چین پرداخته است. هدف این مطالعه شبیه‌سازی فنولوژی و عملکرد برنج دو برداشت با استفاده از سیستم DS-SAT v4.7.5 و تحلیل عوامل جوی مؤثر بر عملکرد برنج به کمک مدل جنگل‌های تصادفی و آنتروپی کوپولا بوده است. نتایج نشان داد که تحت سناریوهای مختلف تغییرات اقلیمی، عملکرد برنج به ترتیب ۲/۶٪، ۱/۸٪، ۲٪- و ۰/۱٪ افزایش یافته است. همچنین اهمیت بارش و تابش خورشیدی بر عملکرد برنج کاهش و اهمیت دما افزایش می‌یابد. کاشت زود هنگام برنج اولیه و کاشت دیر هنگام برنج دیررس باعث افزایش طول دوره فنولوژی و عملکرد برنج دو برداشت می‌شود. با انتخاب تاریخ کاشت بهینه، عملکرد برنج به ترتیب ۴/۶٪، ۵/۴٪، ۳/۴٪ و ۱۰/۲٪ افزایش خواهد یافت. جمعیت جهان می‌تواند به حدود ۸/۵ میلیارد

دوره رشد ارقام به‌جهت کاهش انتقال کربوهیدرات‌ها به دانه از عوامل مؤثر در کاهش عملکرد است (Lim-ouchi et al., 2014). خان و رحمان (Khan and Rah-man, 2011)، با بررسی ارقام مختلف برنج در شرایط کشت اول گزارش نمودند که درجه حرارت‌های پایین در طول دوره رشد برنج سبب افزایش تعداد روز تا گلدهی و رسیدگی و افزایش آن سبب کاهش زمان تا مراحل گلدهی و رسیدگی می‌گردد. ابو خدره و همکاران (Abou-Khadrah et al., 2014)، بررسی تاریخ‌های مختلف نشاکاری طی دو سال زراعی در مصر بیان نمودند که مناسب‌ترین زمان نشاکاری جهت حصول حداکثر عملکرد دانه برنج در کشت اول، در تاریخ کاشت زود هنگام (۲۶ فروردین) است و با تأخیر در کاشت، عملکرد دانه به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. بررسی مانان و همکاران (Mannan et al., 2009)، نشان می‌دهد که تعداد ساعات آفتابی بیشتر، سبب افزایش اجزای عملکرد و عملکرد دانه ارقام مختلف برنج در تاریخ کاشت ۲۲ آگوست (۳۱ مرداد) گردید. سدیدی شال و همکاران (Sadidi Shal et al., 2021)، به تأثیر اثر تغییر تاریخ کشت بر طول دوره رشد برنج هاشمی بر مبنای درجه -روز رشد (GDD) در سطح گیلان پرداختند، به این منظور از داده‌های میانگین دمای روزانه ۱۳ ایستگاه در یک دوره یازده‌ساله (۹۷-۱۳۸۷) استفاده کردند. نتایج نشان داد در تمام شهرستان‌های استان گیلان مناسب‌ترین تاریخ کشت از نظر کوتاه‌تر بودن طول دوره رشد مربوط به تاریخ‌های ۱۰ و ۲۰ خرداد به دست آمد. در مطالعه‌ای دو آزمایش در مزرعه ایستگاه تحقیقات برنج المشخاب در شهر نجف عراق طی سال‌های ۲۰۲۰ و ۲۰۲۱ انجام شد. در هر فصل، هشت ژنوتیپ و دو تاریخ جوانه‌زنی (۱۵ و ۳۰ ژوئن) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد که ژنوتیپ‌ها و تاریخ‌های کاشت تأثیر معناداری بر تمامی صفات مورد بررسی داشته است. ژنوتیپ‌ها به کاشت دیرتر (۲۰ ژوئیه) نسبت به کاشت زودتر (۵ ژوئیه) واکنش بهتری نشان دادند. ژنوتیپ T93 بالاترین پایداری عملکرد دانه و وزن هزار دانه را داشت، در حالی که Forat1 به تاریخ کاشت دیرتر و شرایط محیطی مطلوب از نظر تعداد

کشت برنج در استان مازندران حدود ۲۱۵ هزار هکتار است و ۴۰ درصد از برنج کشور را تأمین می‌کند (Ministry of Agricultural-Jihad of Iran, 2022). کشت برنج از دیرباز در این منطقه یک سنت بوده است. به طوری که اشتغال جمعیت روستاهای آن و فعالیت اقتصادی مستقیم و غیرمستقیم (مانند صنعت برنج، ماشین‌آلات، مواد شیمیایی کشاورزی) تحت تأثیر این محصول راهبردی است. همچنین ارزش فرهنگی مرتبط با سنت تولید برنج در این منطقه وجود دارد که بر سایر فعالیت‌های اجتماعی تأثیر می‌گذارد. نقشه سطوح زیر کشت برنج استان مازندران در شکل ۲ آمده است. با توجه به نقشه سطح زیر کشت برنج، مشاهده می‌شود که بیشترین سطح کشت در بخش مرکزی استان و شهرستان‌های بابل، آمل، فریدون‌کنار و بخش‌های شرقی استان مثل دشت ناز قرار دارد. غرب استان به دلیل پستی و بلندی‌های خاص غرب استان و نزدیکی دریا و جنگل، مساحت شالیزارهای برنج بسیار کاهش پیدا کرده است. در ناحیه‌ی شرقی استان مساحت شالیزارهای برنج بیشتر از غرب استان است. در این مطالعه از داده‌های یازده سال (۱۳۹۰-۱۴۰۰) میانگین دمای پانزده ایستگاه سینوپتیک استان مازندران به صورت روزانه و چهل و چهار تصویر ماهانه داده‌های شبیه‌سازی شده GLDAS به صورت ماهانه برای ماه‌های اسفند، فروردین، اردیبهشت و خرداد استفاده شد، که موقعیت ایستگاه‌ها در شکل ۱ آمده است.

مدل GLDAS و کریجینگ

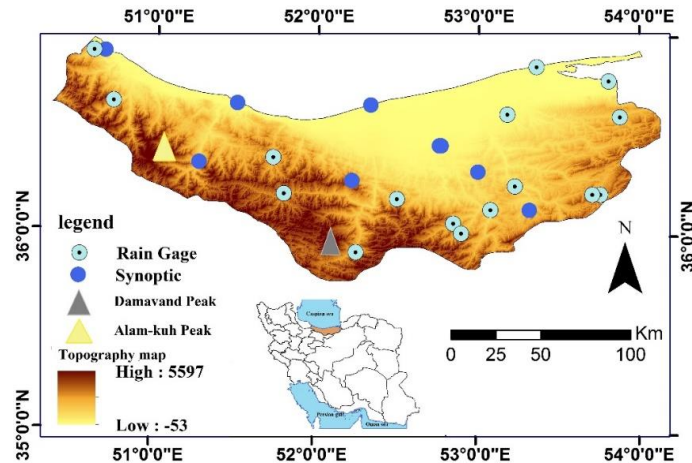
تصاویر ماهواره‌ای مدل GLDAS (Global Land Data Assimilation System) به خودی خود درست نیست. دلیل این امر این است که GLDAS یک مدل شبیه‌سازی است که از ترکیب داده‌های مشاهدات ماهواره‌ای و مدل‌های عددی سطح زمین استفاده می‌کند تا شرایط سطح زمین را شبیه‌سازی کند، داده‌های این مدل با دقت مکانی ۰/۲۵ درجه ارائه می‌شود و از ۱۹۷۹ موجود است. این داده‌ها برای مطالعات آب و هواشناسی، پیش‌بینی هوا، مدیریت منابع آب، کشاورزی و نظارت بر تغییرات آب‌وهوایی استفاده می‌شود. داده‌های GLDAS از ترکیب

در سال ۲۰۳۰، ۹/۷ میلیارد در سال ۲۰۵۰ و ۱۰/۹ میلیارد در سال ۲۱۰۰ افزایش یابد (United Nations, 2019). برای حل بحران امنیت غذایی جهانی، تولید جهانی محصولات زراعی باید به میزان قابل توجهی افزایش یابد. از آنجایی که دسترسی جهانی زمین قابل کشت محدود است. عملکرد محصول در واحد سطح باید افزایش یابد. برنج غذای اصلی تقریباً ۵۰ درصد از جمعیت جهان است (Nagaoka et al., 2020). فناوری‌های تولید برنج با عملکرد بالا برای حفظ جمعیت روبه‌رشد جهانی مورد نیاز است. طبق بررسی‌های انجام گرفته دمای هوا مهم‌ترین پارامتر هواشناسی اثرگذار بر تمامی مراحل فنولوژیکی برنج است و با توجه به اینکه برنج گیاهی حساس به سرما است که محصول آن تحت این تنش تا حد زیادی کاهش می‌یابد، با توجه به اهمیت کشت برنج لذا تعیین زمان مناسب کشت برنج در استان ضروری به نظر می‌رسد به همین منظور در این پژوهش با استفاده از داده‌های دمایی ایستگاه‌های هواشناسی، داده‌های شبیه‌سازی شده GLDAS، روش درون‌یابی کریجینگ و پرسشنامه‌هایی که توسط کشاورزان پاسخ داده شده است، نقشه تنش دمایی برنج در ماه‌های مختلف سال برای استان مازندران تهیه گردیده است و بهترین زمان کشت برنج تعیین گردید. این پژوهش با استفاده از داده‌های دقیق و تحلیل‌های پیشرفته، زمان بهینه کاشت برنج را تعیین کرده و به‌ویژه بر اهمیت توجه به شرایط دمایی در بهینه‌سازی تولید برنج در استان مازندران تأکید دارد. نتایج این مطالعه به ارتقا تصمیم‌گیری‌های کشاورزی و افزایش بهره‌وری در این منطقه کمک می‌کند.

مواد و روش‌ها

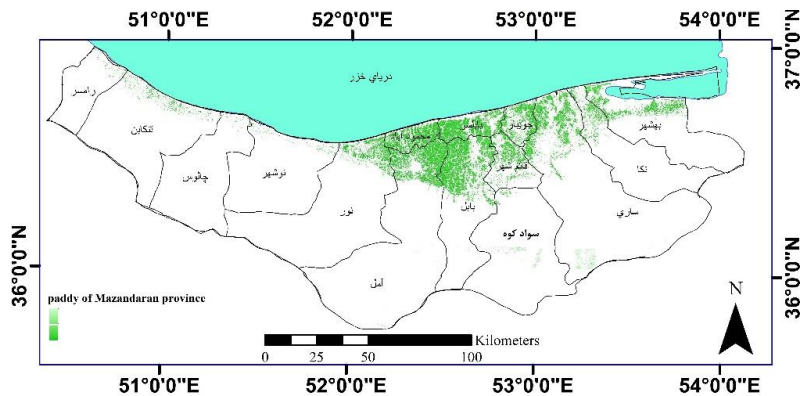
منطقه مورد مطالعه

استان مازندران با وسعتی معادل ۱/۴۶ درصد از مساحت کل ایران، حدود ۳/۷۲ میلیون هکتار مساحت دارد. این استان بین طول‌های جغرافیایی ۵۰ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۱۰ دقیقه شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۷ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۳۵ دقیقه شمالی، در جنوب دریای مازندران (خزر) و شمال رشته‌کوه البرز قرار گرفته است. سطح زیر



شکل ۱. موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی استان مازندران

Fig 1. Location of meteorological stations used in Mazandaran Province



شکل ۲. نقشه سطوح زیر کشت برنج استان مازندران

Fig 2. Map of the area under rice cultivation in Mazandaran Province

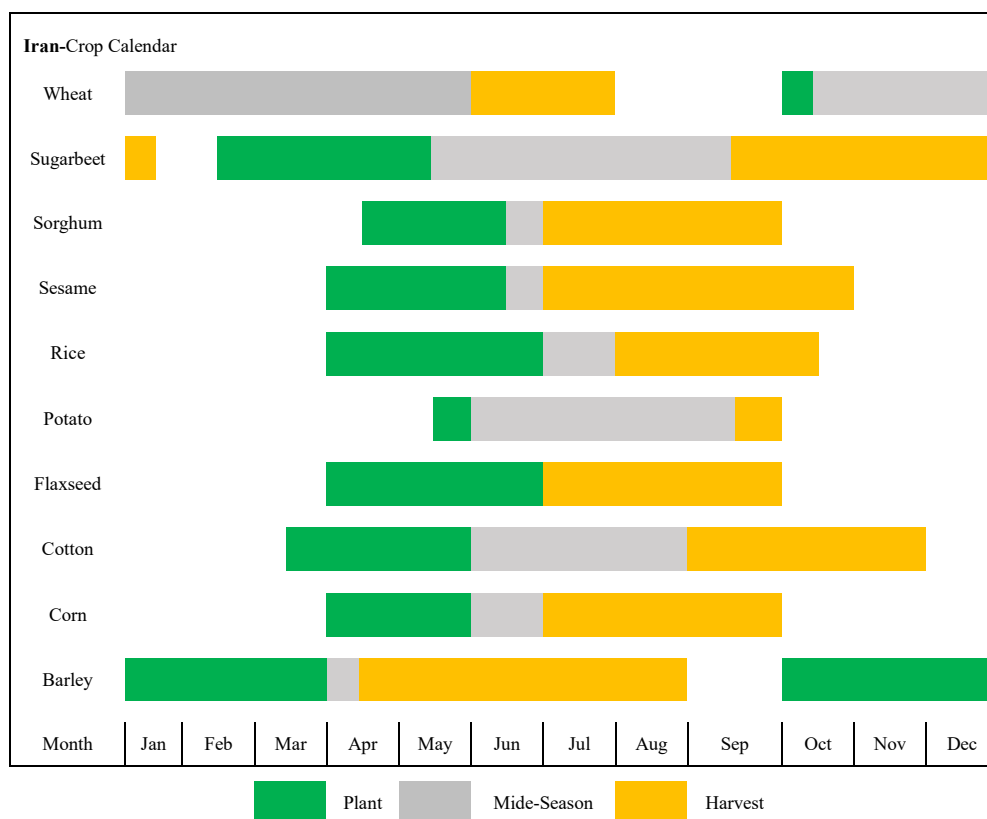
معیارهای ارزیابی

برای ارزیابی داده‌ها، از چندین شاخص آماری استفاده شد تا دقت و صحت داده‌ها بررسی شود. یکی از این شاخص‌ها ضریب همبستگی پیرسون است که میزان رابطه خطی بین دو مجموعه داده را نشان می‌دهد. این ضریب عددی بین ۱- و ۱- دارد؛ اگر مقدار آن نزدیک به ۱ باشد، نشان‌دهنده همبستگی مثبت و قوی بین داده‌ها است، در حالی که اگر نزدیک به ۱- باشد، همبستگی منفی و اگر نزدیک به ۰ باشد، نشان‌دهنده نبود رابطه خطی است. میانگین مربعات خطا یا RMSE (Root Mean Square Error) است که میزان خطای بین مقادیر تخمین زده شده و مقادیر واقعی را نشان می‌دهد. خطای اریب میانگین یا MBE (Mean Bias Error) است که جهت و میزان انحراف

مشاهدات ماهواره‌ای و مدل‌های عددی حاصل می‌شود و اطلاعات به‌روز و دقیق‌تری از وضعیت سطح زمین ارائه می‌دهد. (Tan et al, 2018). آمار کاربردی است که با استفاده از اطلاعات به‌دست آمده از نقاط نمونه برداری شده قادر به ارائه‌ی مجموعه‌ی وسیعی از تخمین‌گرهای آماری به‌منظور برآورد خصوصیت مورد نظر در نقاط نمونه برداری نشده، است (Yang et al, 2015). کریجینگ، یک روش تخمین، استوار بر منطق میانگین متحرک وزن‌دار است. کریجینگ یک روش زمین‌آمار برای درون‌یابی داده‌ها بر اساس واریانس فضایی است، در کریجینگ واریانس فضایی تابعی از فاصله شناخته می‌شود (Delavari et al, 2013). در این پژوهش از روش کریجینگ و مدل GLDAS برای تخمین دما و رسم نقشه استفاده شد.

گیاه و نیازهای آبی تعیین می‌شود. برای تهیه تقویم زراعی مناسب، لازم است پارامترهای هواشناسی مؤثر بر رشد و عملکرد برنج در سطوح احتمالاتی مختلف تحلیل و مورد بررسی قرار گیرند. این پارامترها شامل دما، بارش، رطوبت، ساعت آفتابی و سرعت باد هستند. با استفاده از داده‌های هواشناسی در دوره‌های آماری مختلف و با کمک مدل‌های شبیه‌سازی، می‌توان شرایط حاضر و آینده را پیش‌بینی کرد. تقویم زراعی برخی از محصولات عمده کشور در شکل ۳ آورده شده است (Shahnazari et al, 2021).

پیش‌بینی‌ها از مقادیر واقعی را مشخص می‌کند. این شاخص نشان می‌دهد که آیا مدل ماهواره‌ای داده‌ها را بیش از حد برآورد کرده است یا کمتر از حد واقعی. مقدار مثبت MBE نشان‌دهنده بیش‌برآورد و مقدار منفی نشان‌دهنده کم‌برآورد است. همچنین برای صحت پژوهش فوق نیز از داده‌های واقعی و تقویم کاشت برنج مؤسسه تحقیقات برنج ایران (آمل) به کار گرفته شد. تقویم زراعی اقلیمی برنج یکی از عوامل مهم در مدیریت کشت و بهره‌وری این محصول است. تقویم زراعی براساس شرایط هواشناسی، فنولوژی



شکل ۳. تقویم زراعی برخی محصولات عمده ایران
Fig 3. Crop calendar of some major products of Iran

شبیه‌سازی‌شده GLDAS فایل مورد نظر ابتدا توسط نرم‌افزار ENVI مدیریت و سپس وارد نرم‌افزار GIS شد و اطلاعات دمایی از آن استخراج شد. برای به‌دست آوردن دمای هر ایستگاه با استفاده از تصاویر GL-DAS اطلاعات جغرافیایی ایستگاه‌ها وارد نرم‌افزار شد، سپس با استخراج از تصاویر و نقاط ایستگاهی، اطلاعات برای هر یک از نقاط حاصل شد، سپس با استفاده از روش درون‌یابی کریجینگ دمای مناطق مختلف

با توجه به عدم پراکنش مناسب ایستگاه‌های هواشناسی و عدم وجود ایستگاه‌های متعدد در نزدیکی مزارع استان مازندران، در این پژوهش علاوه بر استفاده از داده‌های واقعی دما از داده‌های دمای شبیه‌سازی‌شده GLDAS برای نقاط فاقد ایستگاه هواشناسی استفاده شد. اطلاعات هر سلول که ایستگاه‌های مورد مطالعه در داخل آن قرار گرفت به‌عنوان دمای پایگاه‌های دمایی لحاظ شد. پس از دریافت تصاویر مدل

برنج کاشت برنج در ماه خرداد سبب ایجاد تنش‌های گرمایی شده و باعث افت عملکرد برنج می‌شود. همچنین به دلیل استفاده از خرانه برنج دمای درون خرانه بیشتر از هوا بوده و بهترین زمان برای کاشت برنج با درک این مسئله و نمودار شکل ۴ هفته سوم فروردین تا هفته دوم اردیبهشت است. باید این را در نظر گرفت که کاشت برنج در اسفند با توجه به دمای ده سال اخیر نامناسب است و سبب وارد شدن تنش سرمای به برنج می‌شود و باعث افت عملکرد شده و سبب می‌شود کشاورز برای جبران کمبود دما از کودهای شیمیایی استفاده کرده تا عملکرد برنج را جبران کند که همین امر سبب افزایش هزینه کشاورز می‌شود، بر همین اساس در شکل ۵ تقویم کشت برنج استان مازندران آورده شده است، که برای کل پهنه استان در نظر گرفته شده است.

تحلیل معنی‌داری و ارزیابی داده‌های دمایی GLDAS

برای تحلیل معنی‌داری داده‌های GLDAS از روش آزمون فرض آماری و برای ارزیابی از میانگین مربعات خطا و خطای اریب استفاده شد، که در جدول ۱ قابل مشاهده است. سطح معنی‌داری داده‌های دمایی طبق جدول در اکثر ماه‌ها قابل قبول است. به علاوه از ضریب همبستگی نیز برای ارتباط میان داده‌های شبکه‌ای و واقعی به کار گرفته شد. این ضریب بین ۱ تا ۱- است، که هرچه به ۱ و ۱- نزدیک باشد بهتر است، همچنین در صورت عدم وجود رابطه بین دو متغیر برابر صفر است. که با توجه به جدول ضریب همبستگی نیز در اکثر ماه‌ها مناسب است. برای ارزیابی داده‌های دمایی GLDAS از میانگین مربعات خطا و میانگین خطای اریب استفاده شد. بررسی میانگین مربعات خطای در این پژوهش نشان می‌دهد که بیشترین خطا مربوط به ماه دسامبر و ژانویه است، همچنین کمترین خطا مربوط به ماه‌های ژوئیه، است. با توجه به جدول ۱ مشاهده می‌شود که داده‌های ماهواره‌ای در فصل‌های گرم دارای خطای کمتری هستند. با توجه به مطالب فوق و جدول ۱ صحت استفاده از داده‌های GLDAS تایید می‌شود.

تحلیل نقشه نواحی کشت برنج

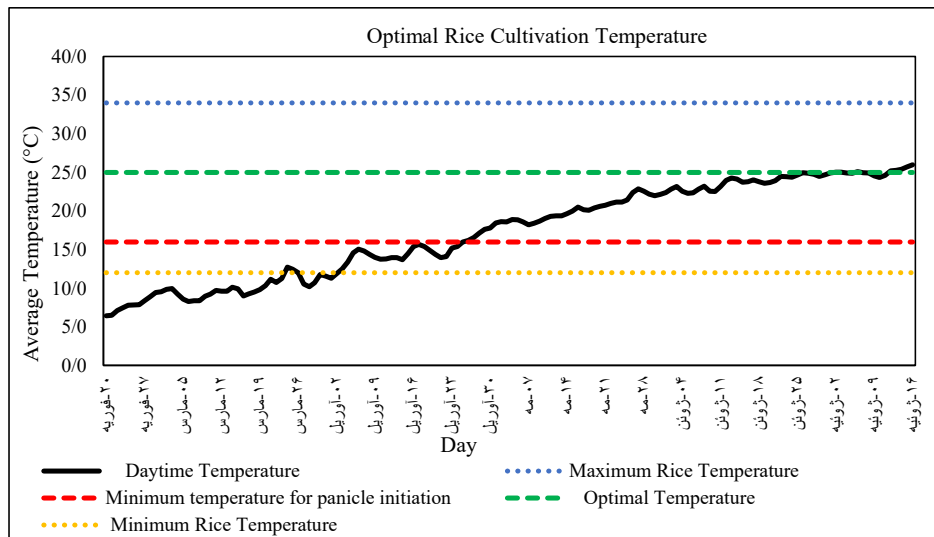
برنج یکی از محصولات است که برای جوانه زنی

استان محاسبه می‌شود. در این پژوهش در راستای تعیین زمان مناسب کشت برنج در استان مازندران با توجه به کمبود و عدم پراکنش مناسب ایستگاه‌های استان به خصوص در مناطق کشت برنج از تصویر شبیه‌سازی شده GLDAS در بازه زمانی ۱۳۹۰-۱۴۰۰ استفاده شد و در نزدیکی مزارع استان ایستگاه‌هایی مجازی در نظر گرفته شد، تا دمای مزارع مناطق مختلف استان از تصاویر GLDAS استخراج گردد، سپس با استفاده از روش کریجینگ نقشه میانگین دمای ده سال استان در ماه‌های اسفند، فروردین، اردیبهشت و خرداد رسم شد. با توجه به اینکه دما به عنوان یکی از کلیدی‌ترین عوامل در تعیین زمان کشت برنج نقش دارد. این پارامتر مستقیماً بر تمامی مراحل رشد گیاه، از جوانه‌زنی تا رسیدگی نهایی دانه‌ها، اثر می‌گذارد. شرایط دمایی نامناسب می‌تواند منجر به تنش‌های شدید در گیاه شود، مانند سرمازدگی در مراحل اولیه یا گرمای مفرط در زمان گل‌دهی و رسیدگی، که هر دو کاهش قابل توجهی در عملکرد نهایی محصول به همراه دارند. به دلیل حساسیت بالای برنج به تغییرات دمایی، تعیین زمان بهینه کاشت بر اساس دما از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است تا رشد گیاه در بهترین شرایط ممکن انجام شده و نیاز به نهاده‌های اضافی مثل کود و سم کاهش یابد، در نتیجه، عملکرد بهینه و هزینه‌های تولید کاهش می‌یابد، لذا در این پژوهش با استفاده از پارامتر دما به تعیین زمان مناسب کشت برنج در استان مازندران پرداخته شد.

نتایج و بحث

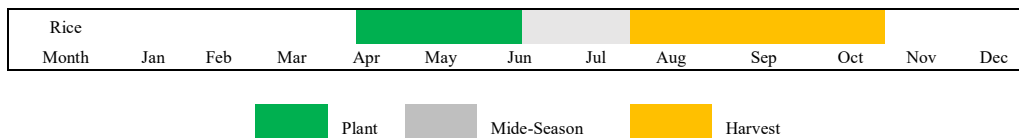
تحلیل نمودار دمایی کاشت برنج

با استفاده از داده‌ها واقعی ۱۵ ایستگاه هواشناسی استان مازندران میانگین یازده سال، پنج ماه اسفند، فروردین، اردیبهشت، خرداد، تیر به صورت روزانه رسم شده است، که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، همچنین با توجه به جدول ۲ دمای بیشینه، دمای مطلوب و دمای کمینه برنج نیز مشخص شد. با توجه به شکل ۴ بهترین زمان برای کاشت برنج از اواخر فروردین ماه تا اواخر اردیبهشت است به طوری که هفته‌ی آخر اردیبهشت شرایط به مناسب‌ترین نقطه می‌رسد و در ماه خرداد شرایط مطلوب برای برنج به وجود می‌آید، اما با توجه به دوره کشت



شکل ۴. نمودار روزانه دمایی استان مازندران برای کشت برنج در یازده سال اخیر (۱۴۰۰-۱۳۹۰)

Fig 4. Daily temperature graph of Mazandaran Province for rice cultivation over the recent eleven years (2011-2021)



شکل ۵. تقویم کشت برنج استان مازندران

Fig 5. Rice cultivation calendar of Mazandaran province

جدول ۱. میزان همبستگی و RMSE و MBE داده‌های GLDAS با داده‌های واقعی میانگین یازده ساله

Table 1. Correlation coefficient, RMSE and MBE of GLDAS data with the real eleven-years average temperature

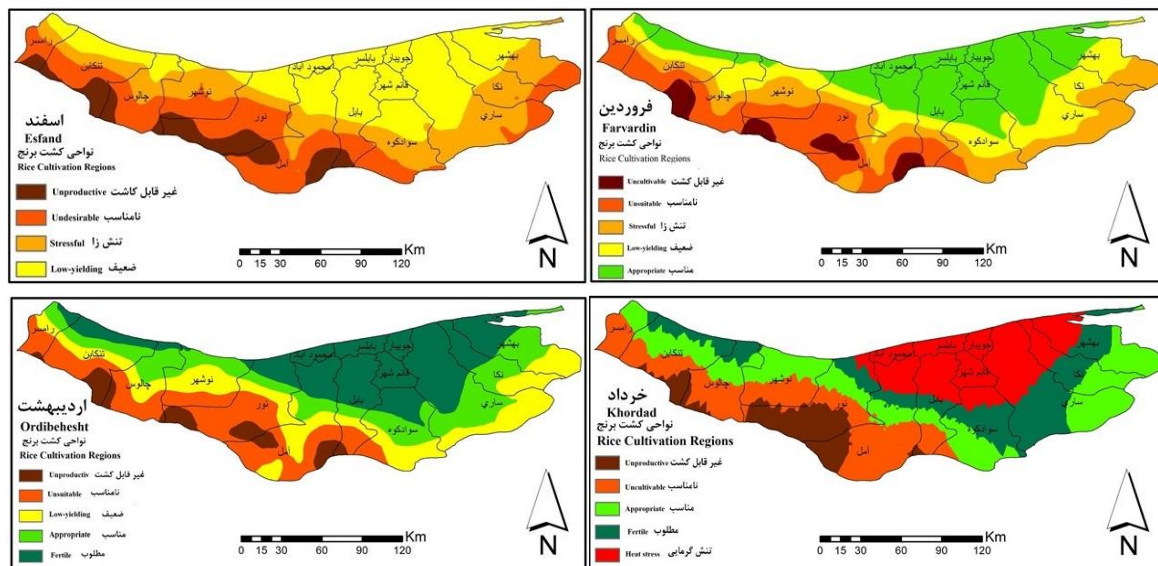
ماه	معنی داری	همبستگی	شاخص خطا	
Month	p-value	R ²	MBE	RMSE
Jan	0.004	0.61	4.1	-1.5
Feb	0.003	0.6	3.1	-1.4
Mar	0.01	0.51	3.2	-1.1
Apr	0.001	0.57	3.1	-1.9
May	0.002	0.58	3.9	-2.7
Jun	0.006	0.61	3.2	-2.6
Jul	0.004	0.62	2.2	-1.2
Aug	0.001	0.63	3.1	-2.3
Sep	0.003	0.62	2.3	-0.9
Oct	0.002	0.6	3.1	-1.9
Nov	0.002	0.59	3.9	-2.1
Dec	0.004	0.56	4.2	-2.9

آب و هوای آن نواحی کاملاً مرطوب و پرباران است. با استفاده از تصاویر میانگین دمای ماهانه GLDAS نقشه میانگین دمایی یازده سال ماه‌های اسفند، فروردین،

نیاز به آب و هوای مطلوب دارد تا بتواند رشد و بهره بیشتری داشته باشد. در حال حاضر استان‌های شمالی دارای بالاترین سهم مزارع در برنج کاری هستند زیرا

مناطق سواحل نوشهر و مناطق کم ارتفاع نیز برای کاشت برنج مناسب است. نقشه نواحی کشت خرداد ماه نشان می‌دهد نواحی شهرهای سواحل شرقی و مرکزی استان برای کاشت برنج تحت تنش گرمایی قرار گرفته و کشت برنج نامناسب است به طوری که از بهشهر تا محدوده محمودآباد و مناطق مرکزی استان ساری، قائمشهر، بابل و آمل برای کاشت برنج در خرداد ماه مناسب نبوده و بخش‌هایی با ارتفاع بیشتر مانند سواد کوه و بخش از مناطق غربی استان مانند چالوس، تنکابن و رامسر که دارای مزارع اندکی هستند برای کاشت برنج مطلوب است. با توجه به این نقشه‌های شکل ۶ در می‌یابیم که، کاشت برنج در اردیبهشت ماه بهتر از سایر ماه‌ها است و برنج با تنشی دمایی مواجه نخواهد شد و سبب کاهش خسارت، افزایش بازده و درآمد در کشت اول برای کشاورز می‌شود.

اردیبهشت و خرداد در محیط GIS با استفاده از روش کریجینگ رسم شد. نتایج نشان می‌دهد، که کاشت برنج در مناطق پر ارتفاع و کوهستانی غیر قابل کشت است که در همه‌ی ماه‌های سال در نقشه شکل شماره ۵ مشخص است. نتایج نقشه نواحی کشت اسفند ماه نشان می‌دهد که در اکثر مزارع استان کاشت برنج ضعیف بوده و با تنش همراه است، اما در فروردین ماه نواحی ساحلی و مرکزی استان برای کاشت برنج مناسب است و سایر نواحی برای کاشت برنج ضعیف است. اما کاشت برنج در ماه اردیبهشت بسیار بهتر از ماه‌های اسفند و فروردین بوده است و هیچ مناطقی از مزارع برنج استان مازندران تحت تنش قرار ندارند و نسبت به ماه فروردین مناطق وسیعی از سواحل شرقی، مرکزی و محدوده کمی از سواحل غربی در کلاس مطلوب قرار داشته و بهترین زمان کاشت برنج از بهشهر تا منطقه نور کشیده شده است، و



شکل ۶. نقشه نواحی مناسب کاشت برنج استان مازندران در ماه‌های مختلف میانگین ۱۱ سال

Fig 6. Map of suitable areas for rice cultivation in Mazandaran Province in different months of eleven years average

شد که در جدول ۴ آمده است. بر اساس جدول ۴ شهرستان‌های مرکزی استان مازندران مانند بابل، آمل، قائمشهر و ساری و مناطق شرقی استان بهترین زمان کاشت برنج از هفته آخر فروردین است، به طوری که اکثر کشاورزانی که در هفته آخر فروردین عملیات کاشت برنج را انجام داده‌اند، دچار بیماری نشده و

نظرسنجی کشاورز

برای درک بهتر مناسب‌ترین زمان کاشت برنج در استان مازندران، پرسشنامه‌ای تهیه شد که توسط بیست و پنج کشاورز با سابقه و پیشرو، از مناطق مختلف استان پاسخ داده شد. در این پرسشنامه منطقه کشت، تاریخ کشت، بیماری و تنش مشخص

۴ وارد شده است، بلاست بوده که به دلیل اختلاف دمای روز و شب و رطوبت است (Emmanuel Asibi et al, 2019). نتایج جدول ۴ نشان می‌دهد بهترین زمان برای کاشت برنج هفته آخر فروردین و اوایل اردیبهشت ماه است، همچنین برای صحت پژوهش فوق از داده‌های ۵ سال (۲۰۱۵-۲۰۱۹) تقویم کشت برنج مؤسسه تحقیقات برنج ایران (آمل) استفاده شد که بهترین زمان کاشت برنج هفته آخر فروردین ماه بوده است، که در شکل ۷ آورده شده است.

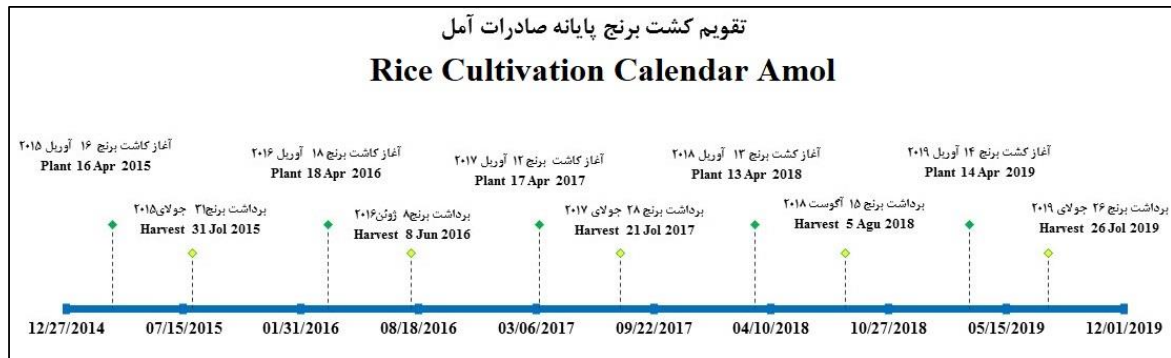
مزرعه بدون تنش بوده است. اکثر کشاورزانی که زمین زراعی آن‌ها دچار تنش و بیماری شده در ماه اسفند به کاشت برنج پرداخته‌اند و هرچه از اسفند فاصله گرفته و به ماه فروردین نزدیک شده میزان تنش‌ها کم‌تر شده است. به دلیل دمای بالاتر شرق استان نسبت به مناطق مرکزی و غرب استان (Yousefi et al, 2019)، میزان تنش و بیماری در تاریخ کشت همزمان، در شرق کمتر بوده است. همچنین بیشترین بیماری که به مزارع استان طبق جدول

جدول ۲. پرسش‌نامه الگوی تاریخ کشت برنج استان مازندران

Table 2. Questionnaire of the rice cultivation date pattern in Mazandaran Province

کشاورز Farmer	منطقه Area	هکتار Hectares	تاریخ کاشت Planting Date	بیماری Sickness	تنش Stress
Farmer 1	Babol Kenar	0.6	1402/01/08	بلاست، لکه قهوه‌ای Magnaporthe grisea, Brown Spot	√
Farmer 2	Babol Kenar	1	1401/01/25	-	-
Farmer 3	Babol	1.5	1401/12/15	تونگرو، پوسیدگی طوقه، کوتولگی، کرم ساقه‌خوار RTD, Fusarium proliferatum, Dwarfism, cream of rice	√
Farmer 4	Babol	2	1401/01/28	-	-
Farmer 5	Babol	2	1399/01/30	-	-
Farmer 6	Lale Abad	2	1399/01/27	-	-
Farmer 7	Babol Sar	5	1400/01/04	لکه قهوه‌ای، بلاست، مگس خزانه Magnaporthe grisea, Brown Spot, Ephydra afghanica	√
Farmer 8	Fereydun Kenar	2	1400/01/20	بلاست	√
Farmer 9	Fereydun Kenar	3	1400/12/25	بلاست، لکه قهوه‌ای، پوسیدگی طوقه، عدم رشد یکسان خزانه Magnaporthe grisea, Brown Spot, Fusarium proliferatum, Lack of uniform treasury Nursery	√
Farmer 10	Fereydun Kenar	3	1401/12/17	کوتولگی، کاهش پنجه زنی، زرد شدن برگ‌ها، عدم رشد یکسان خزانه، مگس خزانه Dwarfism, decrease tillering, Yellowing of leaves, Lack of uniform treasury Nursery, Ephydra afghanica	√
Farmer 11	Amol	2	1401/12/25	لکه قهوه‌ای، شیت بلایت، کوتولگی، پوسیدگی طوقه، پنجه زنی ضعیف Brown Spot, sheet beight, Dwarfism, Fusarium proliferatum, decrease tillering	√

Farmer 12	Amol	5	1400/12/16	زردی برگ‌ها، پوسیدگی طوقه، کوتولگی، مگس خزانه Yellowing of leaves, Fusarium proliferatum, Dwarfism, Ephydra afghanica	√
Farmer 13	Amol	5	1400/12/29	زردی برگ‌ها، پوسیدگی طوقه، کوتولگی Yellowing of leaves, Fusarium proliferatum, Dwarfism	√
Farmer 14	Mahmoud Abad	3	1400/12/13	تأخیر در رشد، عدم رشد یکسان خزانه، زردی برگ‌ها، تأخیر در پنجه زنی، پوسیدگی طوقه Delay Development, Yellowing of leaves, Lack of uniform treasury Nursery, delay tillering, Fusarium proliferatum	√
Farmer 15	Sorkhrud	3	1401/01/02	لکه قهوه‌ای، بلاست، مگس خزانه، کوتولگی Magnaporthe grisea, Brown Spot, Ephydra afghanica, Dwarfism	√
Farmer 16	Nur	1	1400/01/10	بلاست، مگس خزانه، کوتولگی، پوسیدگی طوقه Magnaporthe grisea, Ephydra afghanica, Dwarfism, Fusarium proliferatum	√
Farmer 17	Juybar	6	1400/01/05	لکه قهوه‌ای، شیت بلایت، مگس خزانه Brown Spot, sheet beight, Ephydra afghanica	√
Farmer 18	Juybar	3	1400/12/20	زردی برگ‌ها، تأخیر در پنجه زنی، کوتولگی، پوسیدگی طوقه، بلاست Yellowing of leaves, delay tillering, Dwarfism, Fusarium proliferatum, Magnaporthe grisea	√
Farmer 19	Qaem Shahr	6	1400/01/05	بلاست، لکه قهوه‌ای Magnaporthe grisea, Brown Spot	√
Farmer 20	Sari	4	1399/01/27	-	-
Farmer 21	Dasht Naz	4	1401/12/20	تونگرو، کوتولگی، بلاست RTD, Dwarfism, Magnaporthe grisea	√
Farmer 22	Dasht Naz	2	1400/01/26	-	-
Farmer 23	Behshahr	2	1401/01/15	بلاست Magnaporthe grisea	√
Farmer 24	Behshahr	2	1400/01/03	لکه قهوه‌ای، بلاست، شیت بلایت، مگس خزانه Magnaporthe grisea, Brown Spot, sheet beight, Ephydra afghanica	√
Farmer 25	Savadkuh	0.7	1400/01/11	زردی برگ‌ها، تأخیر در پنجه زنی، کوتولگی، پوسیدگی طوقه، محصول کم Yellowing of leaves, delay tillering, Dwarfism, Fusarium proliferatum, Product reduction	√



شکل ۷. تقویم کشت برنج مؤسسه تحقیقات برنج آمل
Fig 7. Rice cultivation calendar of export terminal of Amol

پنجه، طول پدانکل و تعداد دانه در سنبله همبستگی مثبت و معنی‌داری داشتند (جدول ۴). نتایج تحقیق با نتایج طاغی سدیدی شال و همکاران (Taghi Sadidi, Shal et al, 2021) برای بیشتر صفات منطبق بود. براساس نقشه همبستگی رسم شده بین صفات که میزان شدت همبستگی را براساس رنگ (رنگ قرمز بیشترین میزان همبستگی تا رنگ سفید عدم همبستگی) نمایش می‌دهد، بیشترین میزان همبستگی بین صفت وزن کل بوته با صفات وزن دانه در سنبله و وزن دانه در کل بوته، صفت وزن کل بوته با صفت وزن دانه در سنبله، صفت عملکرد دانه با صفت وزن هزار دانه و صفت تعداد پنجه بارور با صفت تعداد پنجه بود.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش به منظور تعیین زمان مناسب کشت برنج از داده‌های میانگین دمای روزانه یازده سال (۱۳۹۰-۱۴۰۰)، پانزده ایستگاه سینوپتیک استان مازندران، ۴۴ تصویر میانگین دمای هوای داده‌های شبیه‌سازی شده GLDAS برای ماه‌های اسفند، فروردین، اردیبهشت و خرداد و پرسش‌نامه الگوی تاریخ کشت برنج که توسط کشاورز پاسخ داده شد، مورد استفاده قرار گرفت و از روش درون‌یابی کریجینگ نقشه ماه‌های مناسب کشت برنج در محیط GIS رسم شد. همچنین نمودار روزانه دمای مناسب کشت برنج با استفاده از داده‌های هواشناسی ایستگاه‌های سینوپتیک استان مازندران رسم شد. نتایج پژوهش نشان داد که ماه‌های فروردین و اردیبهشت نسبت به ماه‌های دیگر برای کشت برنج در استان مازندران

نتایج حاکی از نمودار، نقشه‌ها و پرسش‌نامه نشان داد که بهترین زمان برای کاشت برنج در استان مازندران با توجه به دما از بازه زمانی ۲۱ فروردین ماه می‌باشد به طوری که کاشت برنج در بازه زمانی زودتر باعث تنش‌های سرمایی و خسارت زیادی به مزرعه می‌شود، همچنین توصیه می‌شود، کشاورزان از کاشت برنج در ماه اسفند به دلیل اینکه میانگین دما بین ۵ تا ۱۰ درجه سلسیوس می‌باشد، و باعث کاهش ۲۰ درصدی عملکرد برنج و افزایش کود و سم می‌شود (Fallah et al, 2015)، خودداری کنند. اسماعیل زاده و همکاران (Esmailzadeh et al, 2020)، بهترین زمان برای کشت دوم برنج طارم هاشمی محلی در آمل را در بازه‌ی زمانی ۷ تا ۱۹ تیر مشخص کردند، عرفانی و همکاران (Erfani et al, 2020)، بهترین زمان کاشت برنج تیسرا در محدوده‌ی تنکابن را محدوده ۲۵ اردیبهشت تا ۴ خرداد تشخیص دادند. مرادپور و همکاران (Moradpour et al, 2015)، به بررسی اثر تاریخ کاشت و تراکم بوته در استان مازندران برای ماه خرداد پرداختند و بهترین عملکرد برنج را برای تاریخ کاشت ۱۹ خرداد و بدترین عملکرد را برای ۲۹ خرداد تعیین کرد. نتایج این پژوهش علاوه بر اینکه تمام مزارع استان مازندران را در نظر گرفته، برای چهار ماه بررسی کرده و از داده‌های یازده ساله آماری واقعی و ماهواره‌ای استفاده کرده است و تاریخ مناسب و ماه مناسب را برخلاف پژوهش‌های فوق برای کشت اول مشخص کرده است. صفت وزن هزار دانه با تمام صفات به جز صفات تعداد پنجه و تعداد دانه در سنبله و صفت عملکرد دانه با تمام صفات به جز صفات تعداد

- butes of rice varieties under D.U.S. experiment. *Scientia Agriculturae*, 8(5), 133-139. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:171091350>
- Akhil, R.B., Ishigo-oka, N., Adachi, M.N. & Oguma, Y. (2008). Cold tolerance at the early growth stage in wild and cultivated rice. *Euphytica*, 165, 459-470. [doi:10.1007/s10681-008-9753-y](https://doi.org/10.1007/s10681-008-9753-y)
- AL-TAWEEL, S.K., AZZAM, C.R., KHALED, K.A. & ABDEL-AZIZ, R.M. (2021). Improvement of stevia (*Stevia rebaudiana* BERTONI) and steviol glycoside through traditional breeding and biotechnological approaches. *SABRAO Journal of Breeding and Genetics*, 53(1), 88-111. <https://www.researchgate.net/publication/350007661>
- Chandravarnan, P., Agyei, D. & Ali, A. (2022). Green and sustainable technologies for the decontamination of fungi and mycotoxins in rice: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 124, 278-295. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.04.020>
- Cruz, R.P., Milach, S.C. & Federizzi, L.C. (2006). Inheritance of rice cold tolerance at the germination stage. *Genetics and Molecular Biology*, 29(7), 314-320. <https://www.researchgate.net/publication/278246163>
- Deng, F., Zhang, C., He, L., Liao, S., Li, Q., Li, B., Zhu, S., Gao, Y., Tao, Y., Zhou, W., Lei, X., Wang, L., Hu, J., Chen, Y., & Ren, W. (2022). Delayed sowing date improves the quality of mechanically transplanted rice by optimizing temperature conditions during the growth season. *Field Crops Research*, 281, 108493. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2022.108493>
- Bodapati, N., Gunawardena, T.H. & Fukai, P.S.H. (2005). Increasing cold tolerance in rice. University of Queensland. School of Land and Food Sciences, RIRDC, Australia. <https://espace.library.uq.edu.au/view/UQ:66338>
- Delavari, D., Mirzayi Zade, M. & Tark, M. (2013). بهتر می‌باشند. البته بهترین زمان برای کشت برنج ۱۰ روز آخر فروردین و ۱۴ روز ابتدایی اردیبهشت می‌باشد، با توجه به اینکه برنج گیاهی حساس به شرایط دمایی است، هرچه از زمستان فاصله گرفته وضعیت کشت مناسب‌تر می‌شود. به طوری که اکثر مناطق کشت مرکزی و شرق استان در ماه اردیبهشت در کلاس مطلوب بوده‌اند، اما در ماه فروردین کلاس مطلوب برای کشت برنج وجود نداشته است و ماه اسفند در سراسر استان کاشت برنج نامناسب است اما کشاورزان به دلیل کاشت دوباره برنج اکثراً در این ماه و اوایل فروردین کاشت برنج را شروع می‌کنند که برای جلوگیری از تنش‌ها و بیماری‌ها از سم، کود، آفت‌کش و قارچ‌کش‌ها به میزان بالا استفاده می‌کنند تا محصولات دچار خسارت نشود. به دلیل تنش گرمایی و طولانی شدن فصل کشت خرداد ماه برای کشت برنج دیر به نظر می‌رسد. نتایج پژوهش فوق نشان داد بهترین زمان کاشت برنج هفته سوم فروردین و دو هفته ابتدایی اردیبهشت ماه است. این پژوهش با بهره‌گیری از داده‌های متنوع و روش‌های مدرن تحلیل اقلیمی، می‌تواند به‌عنوان الگویی برای مناطق مشابه در کشور استفاده شود. همچنین، نتایج به‌دست‌آمده می‌تواند به تصمیم‌گیران و کشاورزان در مدیریت بهتر منابع طبیعی و بهینه‌سازی تولید کمک کند و در راستای امنیت غذایی و توسعه پایدار منطقه نقش به‌سزایی ایفا کند. برای مطالعات آتی، پیشنهاد می‌شود، به بررسی دقیق‌تر تأثیرات تغییرات اقلیمی بر کشت مجدد برنج و استفاده از فناوری‌های مدیریت آبیاری برای بهینه‌سازی مصرف آب پرداخته شود.
- منابع**
- Abas, S. H. (2023). Effect of planting dates on the stability of new rice genotypes traits grown in Iraqi conditions. *Basrah Journal of Agricultural Sciences*, 36(2), 1-10. <https://doi.org/10.37077/25200860.2023.36.2.01>
- Abou-Khadrah, S.H., Abo-Youssef, M.I., Hafez, E.M. & Rehan, A.A. (2014). Effect of planting methods and sowing dates on yield and yield attri-

- sian] [20.1001.1.22518517.1393.4.14.7.7](https://doi.org/10.1001.1.22518517.1393.4.14.7.7)
- Liu, K., Song, C., Ye, P., Liu, H., Xia, Z., Waseem, H., Deng, Y., Liu, Z., Wang, L., Wang, B., Yang, X., & Zhu, J. (2023). Optimizing rice sowing dates for high yield and climate adaptation in central China. *Agronomy*, 13(5), 1339. <https://doi.org/10.3390/agronomy13051339>
- Mannan, M.A., Bhutya, M.S.U., Hossain, S.M.A. & Akhand, M.I.M. (2009). Study on phenology and yielding ability of basmati fine rice genotypes as influenced by planting date in aman season. *Bangladesh Journal of Agricultural Research*, 34(7), 373-384. DOI:10.3329/bjar.v35i1.5877
- Moradpour, S., Amiri, E., Mobasser, H.R. & Madani, H. (2015). The effects of planting date and plant density on rice in Mazandaran province. *Journal of New Findings in Agriculture*, 9(2), 117-127. [In Persian] <https://sanad.iau.ir/fa/Article/1086388>
- Nabi Pur, Y. & Vafa Khah, M. (2017). Comparison of Different Geostatistical Methods for Estimating Rainfall in Haji Ghoshan Watershed. *Journal of Range and Watershed Management*, 69(14), 487-502. [In Persian] <https://doi.org/10.22059/jrwm.2016.61698>
- Nadi, M. & Yousefi Kebriya, A. (2023). A Method for Correction of Tropical Rainfall Measuring Mission Satellite Temperature Network in Mazandaran Province. *Iranica Journal of Energy and Environment*, 15(1), 228-236. <https://doi.org/10.5829/IJEE.2024.15.01.10>
- Nagaoka, I., Sasahara, H., Matsushita, K., Maeda, H., Shigemune, A., Yamaguchi, M., Goto, A., & Miura, K. (2020). "Niji-no-kirameki," a new rice cultivar with high-yielding and resistance to high temperature, lodging, and rice stripe disease. *Breeding Research*, 22, 167-173. <https://doi.org/10.1270/jsbbr.19J04>
- Promchote, P., Shih-Yu, O., Wang, S., Yoon, J., John-Evaluation of different kriging methods in rainfall zoning of Ilam province. Second National Conference on Architecture, Civil Engineering, and Urban Environment, Hamadan, Shahid Mofteh College.
- Emmanuel Asibi, A., Chai, Q. & Jeffrey, C. (2019). Rice Blast: A Disease with Implications for Global Food Security. *Agronomy*, 9(8), 1-15. <https://doi.org/10.3390/agronomy9080451>
- Erfani, E., Abbasian, A., Sattari, M., Mohaddesi, A., Tavasoli, F., Rahim Sourorsh, H., Saeedi, M., Yousefi, M., Fathi, N. & Abadian, H. (2020). Determination of the optimum transplanting date based on GDD and the best plant density in rice (*Oryza sativa* cv. Tisa). *Journal of Applied Crop Research*, 33(7), 125-137. [In Persian] [10.22092/aj.2020.126741.1413](https://doi.org/10.22092/aj.2020.126741.1413)
- Esmaeilzadeh, M., Niknejad, Y., Fallah Amoli, H. & Kheyri, N. (2020). Determination of Optimum Transplanting Date for Double Cropping of Rice (*Oryza sativa* L. CV. Tarom Mahalli) in Mazandaran. *Journal of Crop Ecophysiology*, 40(9), 991-1006. [In Persian] <https://sanad.iau.ir/en/Article/956881?FullText=FullText>
- Fallah, A. & Miarostami, P. (2015). Effect of temperature treatments on growth stages and yield of rice varieties in greenhouse. *Journal of Applied Crop Research*, 28(6), 94-103. [In Persian] [10.22092/aj.2015.105728](https://doi.org/10.22092/aj.2015.105728)
- Khan, A. & Rahman, H.U. (2011). Effect of different planting dates on yield and yield components of rice (*Oryza sativa* L.). *Annals of Agrarian Science*, 9(2), 1-9.
- Limouchi, K., Siadat, A. & Abdolali Gilani, A. (2014). Effect of planting date on vegetative growth and yield of three rice cultivars in north regions of Khuzestan. *Agronomic Research in Semi Desert Regions*, 11(1), 51-63. [In Per-

- csc2.21003
- Walia, U.S., Walia, S.S., Sidhu, S.A., & Nayyar, S. (2014). Productivity of direct seeded rice in relation to different dates of sowing and varieties in central Punjab. *Journal of Crop and Weed*, 10(3), 126-129. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:64694918>
- Xu, Y., Chu, C., & Yao, S. (2021). The impact of high-temperature stress on rice: Challenges and solutions. *The Crop Journal*, 9(5), 963-976. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2021.02.011>
- Yang, J., Huo, Z., Li, X., Wang, P., & Wu, D. (2020). Hot weather event-based characteristics of double-early rice heat risk: A study of Jiangxi province, South China. *Ecological Indicators*, 113, 106148. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106148>
- Yosefi Kebriya, A., & Norooz Valashedi, R. (2023). Application of processed satellite images for filling the air temperature gaps (Case Study: Mazandaran Province). *Journal of Agricultural Meteorology*, 10(2), 52-57. [In Persian]. [10.22125/agmj.2022.292759.1119](https://doi.org/10.22125/agmj.2022.292759.1119)
- Yousefi Kabria, A., Nadi, M., & Sheikh Arjanki, S.H. (2019). Increase the accuracy of monthly and annual precipitation maps using covariates in Mazandaran province. *Iranian Water Research Journal*, 38(5), 107-114. [In Persian] https://iwj.sku.ac.ir/article_10724.html?lang=en
- Yousefi Kabria, A.R., Nadi, M., & Jamei, M. (2021). Combining interpolation methods and precipitation products of TRMM satellite to increase the accuracy of rainfall maps in Mazandaran province. *Water and Soil Conservation*, 28, 49-70. [In Persian]. DOI: [10.22069/jwsc.2022.19286.3477](https://doi.org/10.22069/jwsc.2022.19286.3477)
- Zhang, Z., Li, Y., Chen, X., Wang, Y., Niu, B., Liu, D.L., He, J., Pulatov, B., Hassan, I., & Meng, Q. (2023). Impact of climate change and plant-son, P., Creech, E., Shen, Y. & Yao, M. (2022). On the Changing Cool Season Affecting Rice Growth and Yield in Taiwan. *Agronomy*, 12(11), 1-15. <https://doi.org/10.3390/agronomy12112625>
- Sadidi Shal, S.M.T., Yazdany, M.R., Deldar Zahra, A. & Asadi Oskouei, E. (2022). Investigation of the effect of air temperature in Guilan province in determining the appropriate time for rice cultivation. *Journal of Climate Research*, 51(13), 213-225. https://clima.irimo.ir/article_150731.html?lang=en
- Sakai, H., Cheng, W., Chen, C. P., & Hasegawa, T. (2022). Short-term high nighttime temperatures pose an emerging risk to rice grain failure. *Agricultural and Forest Meteorology*, 314, 108779. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108779>
- Ministry of Agricultural-Jihad of Iran. (2022). Retrieved from <http://www.irangov.ir>. [In Persian]
- Taghi Sadidi Shal, S.M., Zohd Ghodsi, M.J., Asadi Oskouei, E., & Amin Deldar, Z. (2021). Comparison of Growing Degree Day of Different Phenological Stages of Hashemi Rice in Guilan Province. *Journal of Climate Research*, 45(12), 143-152. [In Persian]. https://clima.irimo.ir/article_132213.html?lang=en
- Tan, M.L., & Santo, H. (2018). Comparison of GPM IMERG, TMPA 3B42 and PERSIANN-CDR satellite precipitation products over Malaysia. *Atmospheric Research*, 135(2), 63-76. DOI: [10.1016/j.atmosres.2017.11.006](https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2017.11.006)
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. (2019). World population prospects 2019: Highlights (St/ESA/SER.A/423). United Nations.
- Volk, G., Carver, D., Irish, B., Marek, L., Frances, A., Greene, S., Khoury, C., Bamberg, J., del Rio, A., Warburton, M., & Bretting, P. (2023). *Crop Science*, 63(4), 2274-2296. <https://doi.org/10.1002/>

ing date shifts on growth and yields of double cropping rice in southeastern China in future. *Agricultural Systems*, 205, 103581. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2022.103581>



Isolation of Salinity and Drought-Tolerant Bacteria from the Rhizosphere of Plants and Evaluation of Some of Their Growth-Promoting Properties

Farhad Azarmi-Atajan

Associate Professor, Soil Science and Engineering Department, Agricultural College, University of Birjand, Birjand, Iran.

*Corresponding Author: farhadazarmi@yahoo.com & farhadazarmi@birjand.ac.ir

Keywords:

Indole acetic acid, Tri-calcium phosphate, Environmental stresses, Plant growth-promoting microorganisms, Sodium chloride.

Extended abstract

Introduction

A large part of Iran, especially the provinces located in the east and center, is located in arid and semi-arid regions where the annual precipitation is less than 150 mm. Consequently, agriculture conditions in these areas are challenging. Environmental stresses such as soil salinity, drought, and poor soil fertility play significant roles in reducing agricultural production. The utilization of beneficial soil microorganisms is crucial for managing agricultural production. The objective of this study was to assess the tolerance of bacteria isolated from the rhizosphere of saffron, pistachio, and barberry plants to salinity and drought stresses, as well as their capacity to solubilize phosphorus and produce indole acetic acid under laboratory conditions.

Material and Methods

To isolate plant growth-promoting bacteria, soil samples were collected from the rhizosphere of pistachio, barberry, and saffron plants in various regions of South Khorasan Province and transported to the Soil Biology Laboratory of the Faculty of Agriculture. Subsequently, the bacteria were cultured on the growth medium, and thereafter, bacterial isolates exhibiting variations in colony shape and appearance were chosen for purification and further investigations. Following this, 10 bacterial isolates were picked and evaluated for growth in culture media with varying salinity levels (0, 10, 20, and 40 dS/m), drought conditions (0, -5, and -10 bar), as well as for the solubilization of tricalcium phosphate, and the production of indole acetic acid. Finally, the data underwent statistical analysis using SAS software, and mean comparisons were performed utilizing the LSD test.

Results

The results indicated that bacterial growth decreased with increasing salinity and polyethylene glycol concentration in the culture medium. Bacteria isolated from the rhizosphere of barberry plants demonstrated a greater ability than other isolates to thrive

Received:

03 December 2024

Revised:

13 December 2024

Accepted:

14 December 2024

How to cite this article:

Azarmi-Atajan, A. (2024). Isolation of Salinity and Drought-Tolerant Bacteria from the Rhizosphere of Plants and Evaluation of Some of Their Growth-Promoting Properties. *Journal of Drought and Climate change Research*, 2(3), 85-96. [10.22077/jdcr.2024.8513.1091](https://doi.org/10.22077/jdcr.2024.8513.1091)



in high salinity and drought conditions. As per the findings, the growth of isolates at salinity levels of 0, 10, 20, and 40 dS/m ranged from 0.603 to 1.524, 0.501 to 1.343, 0.417 to 1.234, and 0.184 to 1.038, respectively. The highest growth at salinity levels of 0, 10, 20, and 40 dS/m was observed in isolates S2, B3, B3, and B8, respectively, while the lowest growth was noted in isolates P6, P6, P2, and S1 at these salinity levels. The average growth (light absorption) of bacteria isolated from the rhizosphere of saffron, pistachio, and barberry plants at -5 bar water potential was 0.779, 0.850, and 1.059, respectively, and at -10 bar water potential was 0.756, 0.563, and 0.483, respectively. The highest growth of isolates at -5 and -10 bar water potential levels was attributed to isolate B7, whereas the lowest growth was associated with isolates P2 and S10 at these water potential levels. The highest phosphorus release in the liquid medium was recorded at 629 $\mu\text{g/mL}$, attributed to isolate S4. The solubility of phosphorus by the isolates ranged from 237 to 629 $\mu\text{g/ml}$. The average solubility of tricalcium phosphate in bacteria isolated from the rhizosphere of saffron, pistachio, and barberry plants was 484, 472, and 393 $\mu\text{g/ml}$, respectively. The production of indole acetic acid by the isolates varied from 18.83 to 3.23 $\mu\text{g/ml}$, with the highest production observed in isolate S6 (18.83 $\mu\text{g/ml}$).

Conclusion

The decrease in rainfall in Iran's agricultural regions, the increase in salinity and drought stresses in these areas, and the low efficiency and negative effects of chemical fertilizers on human health and the environment have made the use of beneficial microorganisms that are resistant to environmental stresses more necessary than ever. The results of this study showed that most of the isolates studied were able to tolerate different levels of salinity and drought in laboratory conditions up to a salinity of 40 dS/m and drought stress of -20 bar. On the other hand, most of the bacterial isolates isolated from the rhizosphere of saffron, pistachio, and barberry plants had the ability to dissolve tricalcium phosphate in solid and liquid media, reduce the pH of the environment, and also produce indole acetic acid as a plant growth-stimulating hormone. Therefore, these isolates can be tested for the preparation of microbial inoculants to induce plant resistance and promote growth under stressful conditions.



جداسازی باکتری‌های مقاوم به شوری و خشکی از ریزوسفر گیاهان و ارزیابی برخی خصوصیات محرک رشدی آن‌ها

فرهاد آذر می آتاجان

دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

*نویسنده مسئول: farhadazarmi@yahoo.com & farhadazarmi@birjand.ac.ir

واژه‌های کلیدی:

ایندول استیک اسید، تری کلسیم فسفات، تنش‌های محیطی، ریزجانداران محرک رشد گیاه، کلرید سدیم.

چکیده

تنش‌های محیطی مانند شوری خاک و خشکی و همچنین حاصلخیزی ضعیف خاک نقش مهمی در کاهش تولید محصولات کشاورزی دارد. بهره‌گیری از ریزجانداران مفید خاکزی که روابط متقابلی با ریشه گیاهان دارند برای مدیریت تولیدات کشاورزی حائز اهمیت است. هدف از این پژوهش ارزیابی تحمل باکتری‌های جدا شده از ریزوسفر گیاهان زعفران، پسته و زرشک به تنش‌های شوری و خشکی و همچنین قابلیت انحلال فسفر و تولید ایندول استیک در شرایط آزمایشگاهی بود. برای این منظور از ریزوسفر هر گیاه ۱۰ جدایه باکتری با خصوصیات ظاهری متفاوت کلونی انتخاب و از نظر رشد در محیط کشت با سطوح شوری (۰، ۱۰، ۲۰ و ۴۰ دسی زیمنس بر متر) و خشکی (۰، ۵ و ۱۰- بار) مختلف و توان انحلال تری کلسیم فسفات و تولید ایندول استیک ارزیابی شدند. نتایج نشان داد که با افزایش شوری و غلظت پلی اتیلن گلیکول در محیط کشت، رشد باکتری‌ها کاهش یافت. باکتری‌های جدا شده از ریزوسفر گیاه زرشک توانایی بیشتری نسبت به دیگر جدایه‌ها برای رشد در سطوح شوری و خشکی بالا نشان دادند. بیشترین مقدار فسفر آزاد شده در محیط مایع برابر با ۶۲۹ میکروگرم بر میلی‌لیتر بود که به جدایه S₄ تعلق داشت. حلالیت فسفر توسط جدایه‌ها در دامنه ۶۲۹-۲۳۷ میکروگرم بر میلی‌لیتر متغیر بود. متوسط انحلال تری کلسیم فسفات در باکتری‌های جدا شده از ریزوسفر گیاهان زعفران، پسته و زرشک به ترتیب برابر ۴۸۴، ۴۷۲ و ۳۹۳ میکروگرم بر میلی‌لیتر بود. تولید ایندول استیک توسط جدایه‌ها در دامنه ۱۸/۸۳-۳/۲۳ میکروگرم بر میلی‌لیتر متغیر بود. بیشترین مقدار تولید ایندول استیک اسید مربوط به جدایه S₆ (۱۸/۸۳ میکروگرم بر میلی‌لیتر) بود. بنابراین می‌توان از این جدایه‌ها برای آزمون آن‌ها برای تهیه مایه تلقیح‌های میکروبی برای القای مقاومت به گیاه و تأمین عناصر غذایی و بهبود رشد آن‌ها در شرایط تنش استفاده کرد.

تاریخ دریافت:

۱۴۰۳/۰۹/۱۳

تاریخ ویرایش:

۱۴۰۳/۰۹/۲۳

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۳/۰۹/۲۴

مقدمه

از اساسی‌ترین مشکلات خاک‌های کشاورزی، تنش‌های محیطی زنده و غیر زنده می‌باشد که در این بین نقش تنش‌های شوری و خشکی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک در کاهش کیفیت خاک و عملکرد گیاهان بیشتر است. اثر تنش خشکی بر کارایی تولید محصولات کشاورزی، مشکل جهانی بوده و نیازمند توجه جدی برای جلوگیری از کاهش تولید غذا می‌باشد (Adeleke and Babalola, 2022). به هر حال، عوامل متعددی مانند تغییرات اقلیمی و تنش‌های محیطی دستیابی به تولید غذای کافی برای جمعیت روبه‌رشد جهان را محدود می‌سازد. خشک‌سالی به دلیل استمرار کمبود آب مورد نیاز برای استفاده گیاهان ایجاد می‌گردد. تنش خشکی بر فرآیندهای مختلف بیوشیمیایی، فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی گیاه تأثیر منفی گذاشته و باعث کاهش عملکرد گیاه، تغییر شکل و ساختار ریشه، سرعت فتوسنتز و در نهایت جذب عناصر غذایی می‌شود. تنش شوری پیامدهای منفی برای رشد و تولید بسیاری از محصولات کشاورزی دارد. شور شدن خاک یک مسئله حیاتی است که به‌طور قابل توجهی بر ساختار، فرآیندها و عملکرد اکوسیستم‌های جهانی تأثیر می‌گذارد (del Carmen Orozco-Mosqueda et al., 2020). افزایش مقدار نمک خاک بر کیفیت فیزیکی و شیمیایی و همچنین فرآیندهای میکروبیولوژیکی تأثیر منفی دارد. تجمع بیش از حد این یون‌هایی نظیر سدیم با افزایش جذب Na^+ و کاهش نسبت Na^+/K^+ باعث استرس اسمزی و سمیت می‌شود. این مسائل را می‌توان به پتانسیل اسمزی پایین در ریشه گیاه نسبت داد که تقریباً بر تمام جنبه‌های رشد گیاه از جمله جوانه‌زنی، رشد رویشی و تولید مثل تأثیر می‌گذارد. شوری ویژگی‌های مختلف مورفولوژیکی، بیوشیمیایی و مولکولی را تغییر می‌دهد (Angon et al., 2023). شوری آب و خاک از عوامل اصلی محدودکننده تولید گیاهان کشاورزی بوده و براساس پیش‌بینی‌ها، حدود ۵۰ درصد زمین‌های کشاورزی تا سال ۲۰۵۰ با درجات مختلف شوری مواجه خواهند شد. بنابراین، علاوه بر استفاده از روش‌های مختلف بهره‌برداری از

زمین‌های شور و مدیریت آن‌ها برای تولید پایدار و اقتصادی، به‌کارگیری روش‌های نوین از جمله استفاده از ریزجانداران مفید خاکزی که روابط متقابلی با ریشه گیاهان دارند برای مدیریت تولیدات کشاورزی حائز اهمیت است (Sarcheshmepour et al., 2010; Azarmi et al., 2015).

لایه نازک خاکی که بلافاصله ریشه گیاه را احاطه کرده است، منطقه بسیار مهمی برای فعالیت و متابولیسم ریشه است و به ریزوسفر معروف است. این منطقه جایگاه فعالیت تعدادی از ریزجانداران مختلف است که در بین آن‌ها تعداد باکتری‌ها با اختلاف زیادی از بقیه بیشتر است. گیاهان آن دسته از باکتری‌ها را انتخاب می‌کنند که با انتشار ترکیبات آلی خاص از طریق ترشحات ریشه برای رشد آن‌ها مفید هستند (Chandra et al., 2018). باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه (PGPR) گروهی از باکتری‌های ریزوسفری هستند که با سازوکارهای مختلفی رشد گیاه را افزایش می‌دهند. برخی از سازوکارهای مورد استفاده توسط PGPRها عبارتند از: انحلال ترکیبات کم محلول و نامحلول عناصر غذایی و در نتیجه افزایش فراهمی آن‌ها، تثبیت نیتروژن، کنترل بیمارگرهای گیاهی با تولید سیانید هیدروژن، ترکیبات ضد میکروبی و رقابت برای جذب عناصر غذایی، تولید سیدروفور، افزایش تحمل گیاه به تنش‌های شوری، خشکی و سمیت عناصر و تولید هورمون‌های گیاهی مانند ایندول استیک اسید. این باکتری‌ها نه تنها به‌طور مستقیم رشد گیاه را افزایش می‌دهند، بلکه گیاهان را در برابر تنش شوری، خشکی، قارچ‌ها و باکتری‌های بیماری‌زا، ریزش گل‌ها و آلاینده‌های آلی و فلزات سنگین محافظت می‌کنند. به‌علاوه برخی PGPRها دارای آنزیم ACC دآمیناز هستند که با هیدرولیز کردن ACC، مقدار اتیلن را در گیاه کاهش می‌دهند. با کاهش مقدار اتیلن در گیاه، سرعت جوانه‌زنی دانه و رشد گیاه افزایش می‌یابد (Glick, 2014).

ایندول-۳-استیک اسید (IAA)، که به‌عنوان یک فیتوهورمون بنیادی در گروه اکسین‌ها طبقه‌بندی می‌شود، نه تنها بر رشد و نمو گیاه مؤثر است بلکه نقش مهمی در برهمکنش‌ها و ارتباطات گیاه-

هورمون در آن باکتری‌ها از ۰/۷۴ تا ۱۶/۶۴ میلی‌گرم در لیتر متغیر بود. این جدایه‌ها توان انحلال تری کلسیم فسفات در محیط کشت جامد و مایع را دارا بودند (Azarmi et al., 2015).

با توجه به‌قرار گرفتن بخش وسیعی از کشور ایران - به‌ویژه استان‌های واقع در شرق و مرکز - در منطقه خشک و نیمه‌خشک که مقدار بارش‌ها در این مناطق کمتر از ۱۵۰ میلی‌متر در سال است، شرایط سختی بر کشاورزی در این مناطق حاکم است (Doostan, 2020). در این مناطق عواملی مانند آب و هوای گرم و خشک، خاک‌های آهکی با pH بالا، حاصلخیزی ضعیف و مواد آلی کم خاک، دور طولانی آبیاری و شوری آب و خاک تأثیر منفی بر رشد و عملکرد محصولات کشاورزی گذاشته است. از طرفی، مصرف کودهای شیمیایی برای افزایش عملکرد گیاهان در این مناطق کارایی مناسبی نداشته و مصرف بیش از حد آن‌ها تهدیدات متعدد زیست محیطی و سلامت انسان را در پی داشته است. بنابراین هدف از پژوهش جداسازی باکتری‌های محرک‌های مقاوم به تنش‌های شوری و خشکی از ریزوسفر برخی گیاهان خراسان جنوبی و ارزیابی خصوصیات محرک رشد گیاه آن‌ها می‌باشد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور جداسازی باکتری‌های محرک رشد گیاه، نمونه خاک از ریزوسفر گیاهان پسته، زرشک و زعفران مناطق مختلف استان خراسان جنوبی جمع‌آوری و به آزمایشگاه بیولوژی خاک دانشکده کشاورزی منتقل گردید. نمونه‌های خاک تا زمان آزمایش در دمای حدود ۶ درجه نگهداری شدند. برای جداسازی، ۱۰ گرم خاک ریزوسفری همراه با ریشه گیاه از هر نمونه به درون ارلن‌های حاوی ۹۰ میلی‌لیتر محلول بافر استریل منتقل و تکان داده شدند. پس از آن، سری‌های رقت ده‌دهی از هر ارلن تهیه شده و عملیات کشت بر روی محیط کشت جامد نوترینت آگار (NA) انجام گردید. پلیت‌ها به مدت ۴ روز درون انکوباتور در دمای ۲۸ درجه سانتیگراد نگهداری شده و سپس جدایه‌های باکتریایی که از نظر شکل و ظاهر کلونی‌ها با هم متفاوت بودند برای خالص‌سازی و بررسی‌های

میکروب نیز ایفا می‌کند. این هورمون نقش مهمی در تعدادی از فعالیت‌های گیاهی مانند تشکیل برگ، رشد جنین، رشد و نمو ریشه، خزان و ریزش برگ‌ها، نور گرایی، زمین گرایی و رشد میوه دارد. همچنین، IAA با افزایش طول ریشه از طریق افزایش تعداد شاخه‌های ریشه، ریشه‌های مویین و جانبی ریشه به جذب مواد مغذی از اطراف کمک می‌کند. از سوی دیگر، باکتری‌های مفید از IAA برای تحریک و بهبود رشد گیاه و کاهش تنش‌های غیر زیستی استفاده کرده و در نتیجه کارایی مصرف عناصر غذایی را افزایش و وابستگی به کودهای شیمیایی را کاهش می‌دهند (Etesami and Glick, 2024). هورمون IAA تولید شده توسط باکتری‌ها با متعادل کردن توزیع اکسین در گیاه، فرآیندهای رشد و نمو گیاه از جمله رشد ریشه را تنظیم می‌کنند. از طرفی، با توجه به محدود بودن مسیرهای تولید IAA در گیاهان، باکتری‌ها با ایجاد تنوع در مسیرهای ساخت این هورمون، به پایداری تولید آن در جهت رشد گیاه کمک می‌کنند (Spaep- en and Vanderleyden, 2011). باکتری‌های حل‌کننده فسفات که به‌وفور در ریزوسفر یافت می‌شوند با ترشح اسیدهای آلی، پروتون و فسفات‌ها می‌توانند ترکیبات کم محلول و نامحلول فسفاتی را به‌فرم قابل استفاده برای گیاه درآورند. باکتری‌های حل‌کننده فسفات، pH خاک را از طریق تولید انواع اسیدهای آلی کاهش می‌دهند و از این طریق سبب دسترسی بیشتر به عناصری از قبیل فسفر می‌شوند. با توجه به تثبیت بخش اعظم فسفر در خاک و غیرقابل استفاده شدن آن برای گیاه، استفاده از باکتری‌های حل‌کننده فسفات می‌تواند به فراهمی و تغذیه فسفر گیاه کمک کند (Azarmi et al., 2015). در مطالعه‌ای باکتری‌های جدا شده از ریزوسفر گیاه گوجه فرنگی از نظر توان تولید IAA ارزیابی شدند که بیشترین مقدار تولید این هورمون توسط باکتری‌ها برابر ۸۹/۲۲ میکروگرم بر میلی‌لیتر بود (Rushabh et al., 2020). همچنین گزارش شده است که بیش از ۹۶ درصد باکتری‌های سودوموناس فلوروسنت جدا شده از ریزوسفر درختان پسته توانایی تولید IAA را در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر آل - تریپتوفان داشتند که دامنه تولید این

استفاده گردید. مقدار کلرید سدیم استفاده شده برای سطوح شوری ۱۰، ۲۰ و ۴۰ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب ۷۰، ۶۰ و ۵۰ درصد نمک‌های مصرفی را تشکیل داده و در همه سطوح مقدار مصرف کلسیم دو برابر منیزیم بود. ترکیب نمک‌های فوق در آب مقطر حل شده و قابلیت هدایت الکتریکی آب به سطوح مورد نظر رسانده شد. پس از تلقیح جدایه‌ها به محیط کشت‌های تهیه شده با شوری‌های مختلف، ارلن‌ها به مدت ۷۲ ساعت شیکر شده و در نهایت شدت جذب نور آن‌ها با استفاده از اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد (Sarcheshmepour et al., 2010).

برای ارزیابی توان تولید ایندول استیک اسید، کشت تازه هر جدایه به محیط کشت مایع NB منتقل و به مدت ۴۸ ساعت تکان داده شد. سپس از سوسپانسیون هر جدایه به ارلن‌های حاوی محیط کشت NB دارای ال-تریپتوفان با غلظت ۱۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر منتقل و به مدت ۴۸ ساعت با شدت ۱۲۰ دور در دقیقه تکان داده شدند. پس از آن سوسپانسیون باکتری سانتیفریژ و محلول رویی با معرف سالکوفسکی مخلوط شد. نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه در دمای آزمایشگاه نگهداری شده و در نهایت مقدار جذب نور توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (Shimadzu BioSpec-1601, Ja-) اندازه‌گیری و با نمودار استاندارد آماده شده با ایندول استیک اسید مقایسه شدند (Bent et al., 2001). در نهایت، تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها نیز به روش آزمون LSD انجام شد.

نتایج و بحث

براساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، اثر شوری محیط کشت بر رشد جدایه‌ها (جذب نور) معنی‌دار شد ($p \leq 0.01$). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که با افزایش شوری محیط کشت، رشد باکتری‌ها کاهش یافت. با توجه به نتایج به دست آمده، رشد جدایه‌ها در سطوح شوری صفر، ۱۰، ۲۰ و ۴۰ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب در دامنه ۰/۶۰۳-۱/۵۲۴، ۰/۵۰۱-۱/۳۴۳، ۰/۴۱۷-۱/۲۳۴ و ۰/۱۸۴-۱/۰۳۸ متغیر بود. بیشترین رشد در سطوح شوری صفر، ۱۰، ۲۰ و ۴۰ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب به جدایه‌های S₂

بعدی انتخاب شدند. پس از اطمینان از خالص شدن جدایه‌ها، از هر گیاه ۱۰ جدایه با تنوع مورفولوژیکی بالا انتخاب و از نظر خصوصیات محرک رشد گیاه شامل انحلال تری کلسیم فسفات در محیط کشت جامد و مایع، کاهش pH محیط کشت و توان تولید ایندول استیک اسید ارزیابی شدند. ارزیابی خصوصیات محرک رشدی جدایه‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی و با ۳ تکرار انجام شد.

برای اندازه‌گیری توان انحلال تری کلسیم فسفات (به‌عنوان منبع نامحلول فسفر)، ابتدا باکتری‌ها به مدت ۴۸ ساعت در محیط نوترینت برات^۱ (NB) کشت داده شدند. برای تشخیص نیمه کمی توان حلالیت فسفر، ۱۵ میکرولیتر تعلیق تازه باکتری با روش لکه‌گذاری و با سه تکرار روی پلیت‌های حاوی محیط جامد PKV که حاوی ۵ گرم در لیتر نمک نامحلول تری کلسیم فسفات بود، کشت داده شد. پلیت‌های تلقیح شده در دمای ۲۸ درجه سانتیگراد نگهداری و هاله شفاف اطراف کلونی به‌عنوان شاخص حلالیت تری کلسیم فسفات در نظر گرفته شد. نسبت قطر هاله بر قطر کلونی پس از گذشت ۵ روز اندازه‌گیری شد. در محیط کشت مایع حاوی تری کلسیم فسفات نیز پس از اضافه کردن جدایه‌های باکتری، ارلن‌ها به مدت ۵ روز تکان داده شده و پس از سانتیفریژ کردن آن‌ها، مقدار فسفر در محلول رویی با استفاده از اسپکتروفتومتر تعیین گردید (Rashid et al., 2004).

برای اندازه‌گیری توان تحمل به خشکی جدایه‌ها، به محیط کشت NB به ترتیب غلظت‌های ۰، ۲۰۳/۴ و ۲۹۸/۶ گرم پلی اتیلن گلیکول ۶۰۰۰ (PEG) به‌ازای یک کیلوگرم محیط کشت NB براساس معادله Mi- (chel and Kaufman (1973 اضافه گردید، به طوری که پتانسیل آبی ۰، ۵- و ۱۰- بار ایجاد شد. ارلن‌های حاوی باکتری‌ها و PEG به مدت ۷۲ ساعت شیکر شده و پس از آن شدت جذب نور در آن‌ها اندازه‌گیری شد. برای ارزیابی تحمل جدایه‌ها به تنش شوری نیز از محیط کشت NB با شوری‌های ۰، ۱۰، ۲۰ و ۴۰ دسی‌زیمنس بر متر (ds/m) که با استفاده از کلریدهای سدیم، کلسیم و منیزیم تهیه شده بود،

1. Nutrient Broth

دانه و رشد گیاه افزایش می‌یابد (Glick, 2014). توانایی باکتری‌ها در تحمل شرایط کم آبی و تنش خشکی شرط اولیه و لازم برای استفاده از این ریزجانداران برای بهبود رشد گیاهان است. کاهش جمعیت میکروبی و در نتیجه کاهش تولید ترکیبات محرک رشد گیاه کارایی ریزجانداران برای بهبود رشد گیاه و افزایش تحمل گیاهان به تنش را کاهش می‌دهد. نتایج مشابهی توسط دیگر پژوهشگران که گزارش کردند با کاهش پتانسیل آب رشد جدایه‌ها کاهش یافت نیز بیان شده است. نتایج مطالعات آن‌ها نشان داد که با کاهش پتانسیل آب به ۳۰- بار، بیش از ۷۰ درصد جدایه‌ها قابلیت رشد داشتند (Sarcheshmepour et al., 2010).

براساس نتایج تجزیه واریانس، توانایی جدایه‌ها در انحلال فسفر (تری کلسیم فسفات) در محیط جامد و مایع و همچنین تغییرات pH محیط مایع معنی‌دار شد ($p \leq 0.01$). نتایج نشان داد که نسبت قطر هاله به کلونی به‌عنوان شاخص حلالیت فسفر در محیط جامد برای جدایه‌های مورد مطالعه متفاوت بود. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، بیشترین نسبت قطر هاله به کلونی مربوط به جدایه S_6 (۲/۰۶) بود که با بیش از ۵۶ درصد جدایه‌ها اختلاف معنی‌داری داشت. همچنین کمترین مقدار این نسبت به جدایه S_3 (۱/۱۸) مربوط بود که با ۹۰ درصد جدایه‌ها اختلاف معنی‌داری داشت. از طرفی، بررسی نتایج مربوط به انحلال تری کلسیم فسفات در محیط مایع توسط جدایه‌های مورد مطالعه نشان داد که همه جدایه‌ها قابلیت انحلال فسفر را دارا بودند. براساس نتایج، بیشترین مقدار فسفر آزاد شده در محیط مایع برابر با ۶۲۹ میکروگرم بر میلی‌لیتر بود که به جدایه S_4 تعلق داشت. این جدایه اختلاف معنی‌داری با بیش از ۸۳ درصد جدایه‌ها از نظر مقدار انحلال فسفر داشت. حلالیت فسفر توسط جدایه‌ها در دامنه ۲۳۷-۶۲۹ میکروگرم بر میلی‌لیتر متغیر بود. متوسط انحلال تری کلسیم فسفات در باکتری‌های جدا شده از ریزوسفر گیاهان زعفران، پسته و زرشک به ترتیب برابر ۴۸۴، ۴۷۲ و ۳۹۳ میکروگرم بر میلی‌لیتر بود (جدول ۲). با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، تلقیح با جدایه‌ها

کمترین رشد در سطوح شوری B_3 ، B_8 و B_3 مربوط بود. کمترین رشد در سطوح شوری فوق نیز به ترتیب به جدایه‌های P_6 ، P_6 ، P_2 و S_1 تعلق داشت. به‌طور کلی باکتری‌های جدا شده از ریزوسفر گیاه زرشک توانایی بیشتری نسبت به دیگر جدایه‌ها برای رشد در سطوح شوری بالا نشان دادند (جدول ۱). افزایش مقدار نمک خاک بر کیفیت فیزیکی و شیمیایی و همچنین فرآیندهای میکرو بیولوژیکی تأثیر منفی دارد. در خاک‌های شور تجمع یون‌های مختلف از جمله Na^+ و Cl^- موجب کاهش نسبت Na^+/K^+ و تنش اسمزی می‌شود. در پتانسیل اسمزی پایین ریشه گیاه توانایی جذب آب و عناصر غذایی را به‌اندازه کافی نداشته و گیاه دچار آسیب می‌شود. شوری ویژگی‌های مختلف مورفولوژیکی، بیوشیمیایی و مولکولی گیاه را تغییر می‌دهد (Angon et al., 2023). نتایج مطالعات مختلف نشان داده است که باکتری‌های جدا شده از خاک‌های شور و یا نسبتاً شور توان تحمل زیادی به سطوح نمک در شرایط آزمایشگاهی داشتند (Sarcheshmepour et al., 2010; Azarmi et al., 2015).

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر خشکی محیط بر رشد جدایه‌ها معنی‌دار ($p \leq 0.01$) شد. براساس نتایج مقایسه میانگین داده‌ها، افزایش تنش خشکی (سطح PEG) موجب کاهش رشد باکتری‌ها گردید. متوسط رشد (جذب نور) باکتری‌های جدا شده از ریزوسفر گیاهان زعفران، پسته و زرشک در پتانسیل آب ۵- بار به ترتیب برابر ۰/۷۷۹، ۰/۸۵۰ و ۱/۰۵۹ و در سطح پتانسیل آب ۱۰- بار به ترتیب برابر ۰/۴۸۳، ۰/۵۶۳ و ۰/۷۵۶ بود. بیشترین رشد جدایه‌ها در سطوح پتانسیل آب ۵- و ۱۰- بار به جدایه B_7 متعلق بود. همچنین کمترین رشد در سطوح پتانسیل آب فوق نیز به ترتیب به جدایه‌های P_2 و S_{10} مربوط بود. باکتری‌ها علاوه بر افزایش فراهمی عناصر غذایی در خاک و در نتیجه بهبود رشد گیاه، گیاهان را در برابر تنش شوری، خشکی، قارچ‌ها و باکتری‌های بیماری‌زا، ریزش گل‌ها و آلاینده‌های آلی و فلزات سنگین محافظت می‌کنند. برخی PGPRها دارای آنزیم ACC دآمیناز (آنزیم ضد تنش) هستند که با هیدرولیز کردن ACC، مقدار اتیلن را در گیاه کاهش می‌دهند. با کاهش مقدار اتیلن در گیاه، سرعت جوانه‌زنی

جدول ۱. رشد جدایه‌ها (مقدار جذب نور) در محیط کشت با پتانسیل و شوری‌های مختلف

Table 1. The growth of isolates in medium with different potential and salinity

پتانسیل آب (بار)			شوری (دسی‌زیمنس بر متر)				جدایه
Water potential (bar)			Salinity (dS/m)				Isolate
-10	-5	0	40	20	10	0	
زعفران Saffron							
0.668 ^{cd}	0.911 ^e	1.239 ^e	0.184 ^{kl}	0.701 ^{hij}	0.995 ^{ef}	1.239 ^e	S ₁
0.524 ^{fg}	1.022 ^{cd}	1.524 ^a	0.336 ^{dij}	1.002 ^{cde}	1.241 ^{abc}	1.524 ^a	S ₂
0.502 ^g	0.681 ^{hi}	1.388 ^c	0.404 ^{hi}	0.910 ^{de}	1.158 ^{bcd}	1.388 ^c	S ₃
0.684 ^{cd}	0.832 ^{efg}	1.446 ^b	0.458 ^{gh}	1.011 ^{cde}	1.185 ^{bc}	1.446 ^b	S ₄
0.337 ^{ij}	0.521 ^{ij}	1.197 ^{efg}	0.525 ^{fg}	0.832 ^{fg}	1.012 ^{def}	1.197 ^{efg}	S ₅
0.557 ^{fg}	0.845 ^{ef}	1.072 ^{hi}	0.209 ^k	0.722 ^{ghi}	0.918 ^{fg}	1.072 ^{hi}	S ₆
0.452 ^{hi}	0.901 ^e	1.498 ^{ab}	0.328 ^{ij}	1.074 ^{cd}	1.283 ^{ab}	1.498 ^{ab}	S ₇
0.326 ^{ij}	0.672 ^{hi}	1.319 ^d	0.359 ^{hij}	0.711 ^{hij}	1.177 ^{bc}	1.319 ^d	S ₈
0.482 ^{gh}	0.718 ^{gh}	1.372 ^{cd}	0.501 ^{gh}	0.993 ^{cde}	1.279 ^{ab}	1.372 ^{cd}	S ₉
0.301 ^j	0.686 ^{hi}	1.429 ^{bc}	0.402 ^{hi}	0.730 ^{ghi}	1.064 ^{de}	1.429 ^{bc}	S ₁₀
پسته Pistachio							
0.501 ^g	0.814 ^{efg}	0.717 ^{lmn}	0.393 ^{hij}	0.568 ^{lm}	0.677 ^{kl}	0.717 ^{lmn}	P ₁
0.314 ^j	0.512 ^j	0.621 ^{mn}	0.186 ^{kl}	0.417 ^o	0.516 ^{no}	0.621 ^{mn}	P ₂
0.480 ^{gh}	0.722 ^{gh}	0.811 ^l	0.435 ^{hi}	0.703 ^{hij}	0.791 ^{hij}	0.811 ^l	P ₃
0.421 ^{hi}	0.619 ⁱ	0.748 ^{lm}	0.371 ^{hij}	0.584 ^l	0.632 ^{lm}	0.748 ^{lm}	P ₄
0.853 ^b	1.041 ^{cd}	1.119 ^{gh}	0.389 ^{hij}	0.712 ^{hij}	0.910 ^{fg}	1.119 ^{gh}	P ₅
0.891 ^{ab}	0.942 ^{cde}	0.603 ⁿ	0.215 ^k	0.443 ^{no}	0.501 ^{no}	0.603 ⁿ	P ₆
0.325 ^{ij}	0.671 ^{hi}	1.038 ^{hi}	0.514 ^g	0.814 ^{fgh}	0.923 ^{fg}	1.038 ^{hi}	P ₇
0.617 ^{def}	1.012 ^d	1.026 ^{hij}	0.402 ^{hi}	0.696 ^{hijk}	0.882 ^{fgh}	1.026 ^{hij}	P ₈
0.515 ^{fg}	1.151 ^b	0.739 ^{lm}	0.219 ^k	0.519 ^{mn}	0.592 ^{lmn}	0.739 ^{lm}	P ₉
0.714 ^{cd}	1.020 ^{cd}	0.916 ^k	0.546 ^{fg}	0.770 ^{gh}	0.835 ^{ghi}	0.916 ^k	P ₁₀
زرشک Barberry							
0.800 ^{bc}	1.065 ^{cd}	1.415 ^{bc}	1.004 ^{ab}	1.201 ^{ab}	1.269 ^{ab}	1.415 ^{bc}	B ₁
0.745 ^c	1.169 ^b	1.163 ^{fgh}	0.628 ^{ef}	0.896 ^{ef}	1.054 ^{de}	1.163 ^{fgh}	B ₂
0.573 ^f	0.834 ^{efg}	1.389 ^c	0.956 ^b	1.234 ^a	1.343 ^a	1.389 ^c	B ₃
0.602 ^{ef}	0.804 ^{fg}	1.219 ^{ef}	0.705 ^d	0.928 ^{de}	1.115 ^{ef}	1.219 ^{ef}	B ₄
0.892 ^{ab}	1.203 ^{ab}	1.437 ^{bc}	0.876 ^{bc}	1.063 ^{cd}	1.258 ^{ab}	1.437 ^{bc}	B ₅
0.711 ^{cd}	0.942 ^{cde}	1.046 ^{hi}	0.427 ^{hi}	0.703 ^{hij}	0.911 ^{fg}	1.046 ^{hi}	B ₆
0.955 ^a	1.285 ^a	1.383 ^c	0.986 ^{ab}	1.125 ^{bcd}	1.205 ^{bc}	1.383 ^c	B ₇
0.856 ^{ab}	1.117 ^{bc}	1.373 ^{cd}	1.038 ^a	1.216 ^a	1.339 ^a	1.373 ^{cd}	B ₈
0.706 ^{cd}	1.001 ^d	1.197 ^{efg}	0.649 ^e	0.874 ^{efg}	1.020 ^{def}	1.197 ^{efg}	B ₉
0.721 ^{cd}	1.172 ^b	1.426 ^{bc}	0.837 ^c	1.088 ^{cd}	1.271 ^{ab}	1.426 ^{bc}	B ₁₀

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف آماری معنی‌داری (آزمون LSD) در سطح ۵ درصد ندارند.

In each column, averages with the same one letter are not significantly different (LSD test) at a 5% probability level.

افزایش نشان داد (شکل ۱).

باکتری‌های حل‌کننده فسفات که به‌وفور در ریزوسفر یافت می‌شوند با ترشح اسیدهای آلی، پروتون و فسفات‌ها می‌توانند ترکیبات کم‌محلول و نامحلول فسفاتی را به‌فرم قابل استفاده برای گیاه درآورند.

موجب کاهش pH محیط کشت مایع نسبت به شاهد بدون تلقیح گردید. در بین جدایه‌ها، بیشترین توانایی کاهش pH محیط کشت مربوط به جدایه P₉ بود که این شاخص را از ۶/۴۳ (شاهد) به ۳/۱۹ کاهش داد. با کاهش pH محیط مقدار انحلال تری کلسیم فسفات

(جدول ۲). ایندول-۳-استیک اسید (IAA) نقش مهمی در برهمکنش‌ها و ارتباطات گیاه-میکروب نیز ایفا می‌کند. این هورمون در تعدادی از فعالیت‌های گیاهی مانند تشکیل برگ، رشد جنین، رشد و نمو ریشه، خزان و ریزش برگ‌ها، نور گرایی، زمین‌گرایی و رشد میوه نقش دارد. همچنین، IAA با افزایش طول ریشه از طریق افزایش تعداد شاخه‌های ریشه، ریشه‌های موئین و جانبی ریشه به جذب مواد مغذی از اطراف کمک می‌کند. از سوی دیگر، باکتری‌های مفید از IAA برای تحریک و بهبود رشد گیاه و کاهش تنش‌های غیر زیستی استفاده کرده و در نتیجه کارایی مصرف عناصر غذایی را افزایش و وابستگی به کودهای شیمیایی را کاهش می‌دهند (Etesami and Glick, 2024). همچنین در مطالعه‌ای، بیش از ۹۶ درصد باکتری‌های سودوموناس فلوروسنت جدا شده از ریزوسفر درختان پسته توانایی تولید IAA را در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر ال-تریپتوفان داشتند که دامنه تولید این هورمون در آن باکتری‌ها از ۰/۷۴ تا ۱۶/۶۴ میلی‌گرم در لیتر متغیر بود (Azarmi et al., 2015).

نتیجه‌گیری

کاهش بارندگی‌ها در مناطق کشاورزی کشور و افزایش تنش‌های شوری و خشکی در این مناطق از یک طرف و کارایی پایین و اثرات منفی کودهای شیمیایی بر سلامت انسان و محیط زیست از طرف دیگر، استفاده از ریزجانداران مفید و مقاوم به تنش‌های زیست محیطی را بیش از پیش ضروری ساخته است. نتایج این پژوهش نشان داد که بیشتر جدایه‌های مورد بررسی توان تحمل به سطوح مختلف شوری و خشکی در شرایط آزمایشگاهی تا شوری ۴۰ دسی‌زیمنس بر متر و تنش خشکی ۲۰- بار را داشتند. از طرفی اغلب جدایه‌های باکتری جدا شده از ریزوسفر گیاهان زعفران، پسته و زرشک توان انحلال تری‌کلسیم فسفات در محیط جامد و مایع، کاهش pH محیط و همچنین توانایی تولید ایندول استیک اسید به‌عنوان یک هورمون محرک رشد گیاه را دارا بودند. بنابراین می‌توان از این جدایه‌ها برای آزمون آن‌ها برای تهیه مایه تلقیح‌های میکروبی برای القای مقاومت به گیاه و رشد آن‌ها در شرایط تنش استفاده کرد.

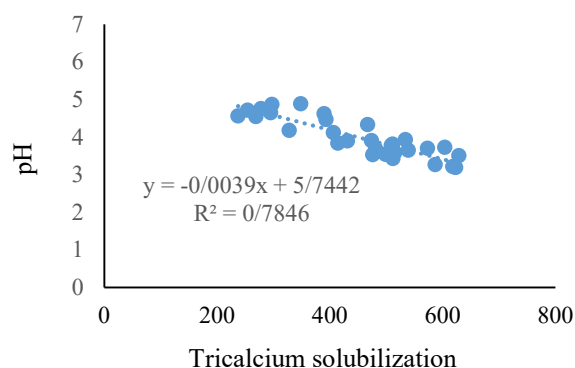
باکتری‌های حل‌کننده فسفات، pH خاک را از طریق تولید انواع اسیدهای آلی کاهش می‌دهند و از این طریق سبب دسترسی بیشتر به عناصری از قبیل فسفر می‌شوند. با توجه به تثبیت بخش اعظم فسفر در خاک و غیرقابل استفاده شدن آن برای گیاه، استفاده از باکتری‌های حل‌کننده فسفات می‌تواند به فراهمی و تغذیه فسفر گیاه کمک کند (Azarmi et al., 2015). نوری و سعود (Noori and Saud, 2012) گزارش کردند که تمامی جدایه‌های سودوموناس فلوروسنس مورد مطالعه قادر به انحلال تری‌کلسیم‌فسفات در محیط جامد بودند. همچنین نتایج مقایسه‌ای و همکاران (Magha-mi et al., 2013) نشان داد که جدایه‌های سودوموناس فلوروسنت جدا شده از ریزوسفر سویا توانایی انحلال فسفات‌های معدنی نامحلول را دارا بودند.

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که توان تولید ایندول استیک اسید توسط جدایه‌ها معنی‌دار شد ($p \leq 0.01$). براساس نتایج مقایسه میانگین داده‌ها، تمامی جدایه‌ها توانایی تولید ایندول استیک اسید در غلظت ۱۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر ال-تریپتوفان را داشتند (جدول ۲). تریپتوفان یک اسید آمینه است که توسط گیاهان تولید می‌شود و توسط باکتری‌های ریزوسفری به‌عنوان پیش‌سازهای فیزیولوژیکی اصلی در تولید IAA استفاده می‌شود. غلظت تریپتوفان مورد نیاز باکتری‌ها بسته به توانایی باکتری در سنتز تریپتوفان متفاوت است (Wagi and Ahmed, 2019). گزارش شده است که افزودن ال-تریپتوفان به محیط کشت NB حاوی باکتری‌های ازتوباکتر و سودوموناس موجب افزایش تولید IAA توسط آن‌ها شد (Ahmed et al., 2005). تولید ایندول استیک اسید توسط جدایه‌ها در دامنه ۱۸/۸۳-۳/۲۳ میکروگرم بر میلی‌لیتر متغیر بود. بیشترین مقدار تولید ایندول استیک اسید مربوط به جدایه S_6 (۱۸/۸۳ میکروگرم بر میلی‌لیتر) بود که اختلاف معنی‌داری با دیگر جدایه‌ها داشت. کمترین مقدار تولید این ترکیب نیز به جدایه P_4 مربوط بود. باکتری‌های جدا شده از ریزوسفر گیاه پسته با متوسط ۸/۶۴ میکروگرم بر میلی‌لیتر توانایی بیشتری نسبت به باکتری‌های جدا شده از ریزوسفر زرشک و زعفران در تولید ایندول استیک اسید داشتند

جدول ۲. قابلیت انحلال فسفر و تولید ایندول استیک اسید توسط جدایه‌ها
Table 2. The ability of solubilization of P and production of IAA by isolates

تولید ایندول استیک اسید IAA ($\mu\text{g.ml}^{-1}$)	انحلال فسفر P solubilization			جدایه Isolate
	محیط pH	محیط مایع	قطر هاله به کلونی	
	Medium pH	Liquid medium ($\mu\text{g.ml}^{-1}$)	Halo/Colony diameter	
زعفران Saffron				
13.22bc	3.43ij	512de	1.78bcd	S ₁
6.11klm	3.22jkl	618ab	2.02a	S ₂
7.16jk	3.90efg	431g	1.18j	S ₃
8.93ghi	3.51ij	629a	1.96ab	S ₄
7.46ij	3.81gh	511de	1.86abc	S ₅
3.87nop	3.93efg	534d	2.06a	S ₆
4.61lmno	4.12ef	406ghi	1.44efg	S ₇
4.28mnop	4.47cde	393hi	1.76bcd	S ₈
3.79nop	4.55cd	269kl	1.23ij	S ₉
18.83a	3.65hi	539cd	1.66cd	S ₁₀
پسته Pistachio				
12.34cd	3.84hg	414gh	1.55de	P ₁
10.16efgh	3.59hi	515de	1.97ab	P ₂
14.27b	4.33de	467efg	1.19j	P ₃
3.23pq	4.89b	348ij	1.62cde	P ₄
4.89lmn	3.27jk	587abc	1.75bcd	P ₅
11.06def	4.62bc	390hi	1.77bcd	P ₆
12.20cd	4.87b	297jk	1.54de	P ₇
4.55lmno	3.73gh	604ab	1.89abc	P ₈
3.75nopq	3.19kl	623a	2.01a	P ₉
9.94efgh	3.53hij	476ef	1.92abc	P ₁₀
زرشک Barberry				
3.85nop	4.18ef	328j	1.69cd	B ₁
14.72b	3.69gh	481ef	1.88abc	B ₂
11.83cde	3.54hij	499e	2.05a	B ₃
3.80nop	4.72b	254klm	1.81abcd	B ₄
10.35efg	4.65bc	295jk	1.32h	B ₅
9.54fgh	4.56cd	237lm	1.49ef	B ₆
3.69nopq	3.70gh	573bc	1.91abc	B ₇
10.48efg	4.76b	278k	1.29hi	B ₈
8.33hij	3.78gh	509de	1.74bcd	B ₉
7.17jk	3.91efg	474ef	1.89abc	B ₁₀
-	6.43a	-	-	Control

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف آماری معنی‌داری (آزمون LSD) در سطح ۵ درصد ندارند.
 In each column, averages with the same one letter are not significantly different (LSD test) at a 5% probability level.



شکل ۱. تغییرات و هم‌بستگی مقدار انحلال تری کلسیم فسفات و pH محیط مایع

Figure 1. Variations and correlation of tri-calcium phosphate solubilization and liquid medium pH

rhizobacteria. *Canadian Journal of Microbiology*, 47, 793-800. DOI: 10.1139/w01-080

Chandra, Sh., Askari, K., & Kumari, M. (2018). Optimization of indole acetic acid production by isolated bacteria from *Stevia rebaudiana* rhizosphere and its effects on plant growth. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, 16 (2), 581-586. DOI:10.1016/j.jgeb.2018.09.001

del Carmen Orozco-Mosqueda, M., Glick, B. R., & Santoyo, G. (2020). ACC deaminase in plant growth-promoting bacteria (PGPB): An efficient mechanism to counter salt stress in crops. *Microbiological Research*, 235, 126439. DOI:10.1016/j.micres.2020.126439

Doostan, R. (2020). An analysis of rainfall changes in Iran. *Journal of Climate Research*, 10, 13-25. [in Persian with English Summary].

Etesami, H., & Glick, B. R. (2024). Bacterial indole-3-acetic acid: A key regulator for plant growth, plant-microbe interactions, and agricultural adaptive resilience. *Microbiological Research*, 281, 127602. DOI:10.1016/j.micres.2024.127602

Glick, B. R. (2014). Bacteria with ACC deaminase can promote plant growth and help to feed the world. *Microbiological Research*, 169, 30-39. DOI:10.1016/j.micres.2013.09.009

Maghami, M., Olamaee, M., Rasuli Sadaghiani, M.H.

منابع

Adeleke, B.S. & Babalola, O.O. (2022). Meta-omics of endophytic microbes in agricultural biotechnology. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 42, 102332. DOI:10.1016/j.bcab.2022.102332

Ahmad, F., Ahmad, M., & Khan, S. (2005). Indole Acetic Acid production by the indigenous isolates of *Azotobacter* and fluorescent *Pseudomonas* in the presence and absence of tryptophan. *Turkish Journal of Biology*, 29, 29-34.

Angon, P. B., Mondal, S., Akter, S., Sakil, M. A., & Jalil, M. A. (2023). Roles of CRISPR to mitigate drought and salinity stresses on plants. *Plant Stress*, 8, 100169. DOI:10.1016/j.stress.2023.100169

Azarmi, F., Mozaffari, V., Abbaszadeh Dahaji, P., & Hamidpour, M. (2015). Isolation and evaluation of plant growth promoting indices of *Pseudomonas fluorescens* isolated from pistachio rhizosphere. *Journal of Soil Biology*, 2, 173-186. [in Persian with English Summary]. DOI:10.22092/SBJ.2015.100867

Bent, E., Tuzan, S., Chanway, C.P. & Enebak, S. (2001). Alteration in plant growth and root hormone levels of lodgepole pines inoculated with

- Spaepen, S. & Vanderleyden, J. (2011). Auxin and plant-microbe interactions. *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*, 3(4), a001438. DOI:10.1101/cshperspect.a001438.
- Wagi, Sh., & Ahmed, A. (2019). Bacillus spp.: potent microfactories of bacterial IAA. *Peer J*, 7:e7258 DOI:10.7717/peerj.7258. DOI: 10.7717/peerj.7258
- & Dordipour, E. (2013). Isolation and identification of *Pseudomonas Fluorecens* and evaluation of their plant growth promoting properties in soils Golestan province. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 3(2), 251-264. [in Persian with English Summary]. DOR: 20.1001.1.23221267.1392.3.2.14.3
- Michel, D.E. & Kaufmann, M.R. (1973). The osmotic potential of polyethylene Glycol 6000. *Plant Physiology*, 51, 914-916. DOI:10.1104/pp.51.5.914
- Noori, M.S.Sh. & Saud, H.M. (2012). Potential Plant Growth-Promoting Activity of *Pseudomonas* sp Isolated from Paddy Soil in Malaysia as Biocontrol Agent. *Plant Pathology & Microbiology*, 3, 1-4. DOI:10.4172/2157-7471.1000120
- Rashid, M., Khalil, S., Ayub, N., Alam, S. & Latif, F. (2004). Organic acids production solubilization by phosphate solubilizing microorganisms (PSM) under *in vitro* conditions. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 7, 187-196. DOI:10.3923/PJBS.2004.187.196
- Rushabh, Sh., Kajal, Ch., Pritesh, P., Amaresan, N. & Krishnamurthy, R. (2020). Isolation, characterization, and optimization of indole acetic acid-producing *Providencia* species (7MM11) and their effect on tomato (*Lycopersicon esculentum*) seedlings. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 28, 101732. DOI:10.1016/j.bcab.2020.101732
- Sarcheshmepour, M., Savaghebi, Gh., Saleh Rastin, N., Alikhani, H., & Pourbabaei, A. (2010). Isolation, screening, identification, and salinity and drought stress tolerance of selected plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) of pistachio trees. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 40, 178-190. [in Persian with English Summary]. DOR: 20.1001.1.2008479.1388.40.2.10.4



The Effect of Climate Change on the Way of Investing in Modern Irrigation Systems

Samane Arvandi

PhD in Water Science and Engineering, Department of Soil and Water Ministry of Jihad Agriculture, Karaj, Iran.

*Corresponding Author: S.arvandi@stu.sanru.ac.ir

Keywords:

Environmental hazards,
Increasing productivity,
Renewable energy sources,
Water resources.

Abstract

Introduction

In recent years, crises caused by natural events around the world have dramatically increased. The various effects of climate change on different sectors of production, the environment, and human societies have caused it to be mentioned as one of the most important environmental challenges of the twentieth century. Climate change has wide-ranging effects on how to invest in modern irrigation systems.

Climate change and food security are two fundamental factors in agriculture. Modern irrigation systems are a set of arrangements, solutions, and new technologies. While improving the irrigation efficiency, the actual water needs of the plants are supplied and the soil conditions are kept physically, chemically, and environmentally stable. Considering the importance of investment in this sector and the impact of climate change, this research aims to investigate the impact of climate change on the way of investing in modern irrigation systems.

Materials and methods

Generally, climate change has increased the need to invest in modern irrigation systems and resistant and environmentally friendly methods to face the challenges caused by climate change and sustainable agriculture, food security, and protection. Climate change has a great impact on how to invest in modern irrigation systems. These effects are applied through several main and related pathways: increasing water scarcity and changing rainfall patterns, technological advancement, automatic systems, alternative water sources, and renewable energy, policy support and financial incentives adapting to climate change, and reducing vulnerability. These changes and investments generally help to improve agricultural sustainability, increase food security, and protect water resources. Paying attention to these points and implementing them at different levels has an essential role in dealing with the challenges caused by climate change. To increase investment in modern irrigation systems due to climate changes, several

Received:

29 June 2024

Revised:

24 September 2024

Accepted:

24 September 2024

How to cite this article:

Arvandi, S. (2024). The Effect of Climate Change on the Way of Investing in Modern Irrigation Systems. *Journal of Drought and Climate change Research*, 2(3), 97-110. [10.22077/jdcr.2024.7834.1071](https://doi.org/10.22077/jdcr.2024.7834.1071)



specific strategies can be used. These strategies include using advanced technologies, improving water resources management, creating financial incentives, training and capacity building, and improving infrastructure.

Results and Discussion

Investment in modern irrigation systems is increasing due to climate change and this trend will continue due to the high importance of water resource management and increasing agricultural productivity. However, to succeed in this field, coordinated efforts are needed between governments, international organizations, the private sector, and farmers. Developing new technologies, providing appropriate training, and creating financial incentives increase these investments and deal with the challenges caused by climate change.

Conclusion

With increasing intensity and recurrence of droughts and changing rainfall patterns, traditional irrigation methods become less reliable and the need for more modern and intelligent systems for managing water resources is felt. New technologies like drip irrigation and automated irrigation systems, which utilize sensors and data analysis to optimize irrigation timing, are attracting investments. These technologies not only reduce water consumption but also increase productivity and reduce operating costs. In addition, the use of renewable energy sources such as solar irrigation systems is also extending. These systems are considered a sustainable and cost-effective option for water management, especially in areas where access to electricity is not reliable. Other innovative methods include using recycled water and alternative water sources for irrigation, which reduce the pressure on water resources due to a lack of fresh water. However, careful management is necessary to avoid environmental and health hazards. Also, there is more emphasis on policy frameworks and financial incentives to promote the adoption of new irrigation systems. The focus of investments extends beyond infrastructure, encompassing the empowerment and development of supporting institutions to ensure the effective implementation and maintenance of these technologies.



تأثیر تغییر اقلیم بر نحوه سرمایه‌گذاری در سامانه‌های نوین آبیاری

سمانه اروندی

دکتری علوم و مهندسی آب، معاونت آب و خاک وزارت جهاد کشاورزی، وزارت جهاد کشاورزی، کرج، ایران.

*نویسنده مسئول: S.arvandi@stu.sanru.ac.ir

واژه‌های کلیدی:

مخاطرات زیست‌محیطی، منابع انرژی تجدیدپذیر، افزایش بهره‌وری، منابع آبی.

چکیده

در سال‌های اخیر بحران‌های ناشی از رویدادهای طبیعی در جهان افزایش چشمگیری داشته است. تأثیرات گوناگون تغییر اقلیم بر بخش‌های مختلف تولیدی، محیط‌زیستی و جوامع انسانی سبب شده از آن به‌عنوان یکی از مهم‌ترین چالش‌های زیست‌محیطی قرن بیست‌ویکم یاد شود. تغییر اقلیم تأثیرات گسترده‌ای بر نحوه سرمایه‌گذاری در سامانه‌های نوین آبیاری دارد. با افزایش شدت و تکرار خشکسالی‌ها و تغییر الگوی بارش‌ها، روش‌های سنتی آبیاری کمتر قابل‌اعتماد می‌شوند و نیاز به سامانه‌های مدرن‌تر و هوشمندتر برای مدیریت منابع آبی احساس می‌شود. سرمایه‌گذاری‌ها به سمت فناوری‌های نوین مانند آبیاری قطره‌ای و سیستم‌های خودکار آبیاری که از حسگرها و تحلیل داده‌ها برای بهینه‌سازی زمان‌بندی آبیاری استفاده می‌کنند، سوق داده می‌شوند. این فناوری‌ها نه تنها مصرف آب را کاهش می‌دهند بلکه باعث افزایش بهره‌وری و کاهش هزینه‌های عملیاتی نیز می‌شوند. علاوه بر این، استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر مانند سامانه‌های آبیاری خورشیدی نیز در حال گسترش است. این سیستم‌ها به‌ویژه در مناطقی که دسترسی به برق قابل‌اعتماد نیست، گزینه‌ای پایدار و مقرون‌به‌صرفه برای مدیریت آب محسوب می‌شوند. روش‌های نوآورانه دیگر شامل استفاده از آب‌های بازیافتی و منابع آب جایگزین برای آبیاری می‌باشد که با توجه به کمبود آب شیرین، فشار بر منابع آبی را کاهش می‌دهند. با این حال، مدیریت دقیق برای جلوگیری از مخاطرات زیست‌محیطی و بهداشتی ضروری است. همچنین، تأکید بیشتری بر چارچوب‌های سیاستی و مشوق‌های مالی برای ترویج پذیرش سامانه‌های نوین آبیاری وجود دارد. سرمایه‌گذاری‌ها نه تنها بر زیرساخت‌ها بلکه بر توانمندسازی و توسعه نهادهای حمایتی برای اجرای مؤثر و نگهداری این فناوری‌ها متمرکز هستند.

تاریخ دریافت:

۱۴۰۳/۰۴/۰۹

تاریخ ویرایش:

۱۴۰۳/۰۷/۰۳

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۳/۰۷/۰۳

مقدمه

افزایش گازهای گلخانه‌ای ناشی از افزایش فعالیت‌های اقتصادی موجب گرم شدن کره زمین و تغییرات گسترده برگشت‌ناپذیری در تغییرات آب‌وهوایی در سطح جهان شده است. این تغییرات بسته به هر منطقه اثرات مثبت، خنثی و منفی می‌تواند داشته باشد (Janjua, 2014).

اثرات مثبت تغییر اقلیم بر تولیدات بخش کشاورزی در مناطقی از جهان که در نواحی با عرض‌های شمالی بالاتر از ۵۵ درجه قرار دارند، بیشتر است (Ew-2005, ert et al).

همچنین اثرات منفی تغییرات آب‌وهوایی بر تولیدات بخش کشاورزی در مناطقی که گرم و خشک هستند، بیشتر است. اثرات تغییر اقلیم بسته به نوع منطقه متفاوت است. برای مثال تغییرات آب‌وهوایی در مناطق سردسیری مانند تانزانیا موجب افزایش بهره‌وری محصولات کشاورزی شده است (Shiryaevskaya, 2020, at al).

همچنین تغییرات آب‌وهوایی که از سال ۲۰۱۰-۲۰۰۵ در کشور مالای به وقوع پیوست، موجب کاهش ۱/۷ درصد تولید ناخالص داخلی این کشور شد (Pauw at al, 2020). امروزه تغییرات اقلیم مسئله‌ای مهم و حیاتی است که توجه همگان را به‌سوی خود جلب کرده است؛ زیرا بر تجارت، نابرابری درآمد و رشد اقتصادی کشورها اثرگذار است. اثرات تغییرات آب‌وهوایی در برخی از مناطق از لحاظ اقتصادی یک موهبت و مزیت است (Berthelin at al, 2022). اما در کشورهای در حال توسعه‌ای که در مناطق خشک هستند و گرمای زیاد در آنجا حاکم است، یک شکست و بحران اقتصادی و جغرافیایی محسوب می‌شود (Ah-madzadeh at al, 2022).

در مناطق کمتر توسعه‌یافته، تغییرات اقلیم آسیب بیشتری به کشاورزان این مناطق وارد می‌کند. زیرا کشاورزان این مناطق فاقد سرمایه‌های اقتصادی و اجتماعی کافی مانند: آبیاری مدرن و کشت محصولات مقاوم در برابر خشک‌سالی هستند (Wreford at al, 2017؛ Song at al, 2022).

تغییرات اقلیم به‌عنوان ریسک مهمی برای بخش

کشاورزی شناخته می‌شوند؛ زیرا این تغییرات می‌تواند تأثیرات جدی بر روی تولید محصولات کشاورزی و صنایع غذایی و ارزش‌افزوده این بخش داشته باشد (Raihan & Tuspekova, 2022).

صنایع غذایی به منابع طبیعی و محصولات کشاورزی وابسته هستند و تغییر در تولیدات محصولات کشاورزی می‌تواند باعث کاهش تأمین مواد اولیه برای این صنایع شود که در نهایت منجر به افزایش قیمت محصولات غذایی و کاهش رقابت‌پذیری صنایع غذایی با بازارهای جهانی می‌شود (Godfray et al, 2010؛ Dell at al, 2008). افزایش قیمت مواد غذایی آسیب بیشتری به فقرا خواهد زد (De Hoyos & Medvedev, 2009).

تغییرات اقلیم علاوه بر اینکه امنیت غذایی جوامع را از طریق آسیب‌رساندن به محصولات کشاورزی تهدید می‌کند، موجب کند شدن توسعه اقتصادی کشورهای صادرکننده مواد غذایی می‌شود که در کاهش فقر اثرگذار هستند (Ahmadzadeh at al, 2022). کشورهای که در منطقه خاورمیانه هستند، بیشتر در معرض تغییرات اقلیم قرار می‌گیرند. از این‌رو اثراتی که تغییر اقلیم بر بخش کشاورزی و اقتصاد این کشورها دارد، بسیار حائز اهمیت است. زیرا اثراتی که تغییر اقلیم بر بخش کشاورزی دارد، با توجه به اهمیت بخش کشاورزی در تأمین مواد غذایی آحاد جامعه بسیار زیاد است (Meyghani at al, 2021).

یکی از راه‌های رسیدن به توسعه پایدار، توسعه بخش کشاورزی به‌عنوان یک بخش مهم اقتصادی است. زیرا بدون توسعه بخش کشاورزی، انتظار توسعه سایر بخش‌ها، از جمله بخش صنعت را نمی‌توان داشت (aleemran & aleem-2021؛ Momeni & Banouei, 2018). طبق تجربه‌ای که کشورهای پیشرو در بخش کشاورزی در زمینه تولید محصولات داشته‌اند، نشان می‌دهد که اگر تجهیزات سرمایه‌ای در فعالیت‌های مختلف کشاورزی به کار گرفته شود، سبب افزایش بهره‌وری عوامل تولید از جمله زمین، نیروی کار و مدیریت می‌شود. همچنین علاوه بر اینکه هزینه نهاده‌های تولید و بازدهی مناسبی برای سرمایه‌گذاری خواهد داشت، منجر به مازاد عرضه داخلی و توسعه صادرات محصولات کشاورزی خواهد شد. شاخص ارزش‌افزوده

حفاظت از منابع آبی تضمین گردد.

تغییر اقلیم تأثیرات زیادی بر نحوه سرمایه‌گذاری در سامانه‌های نوین آبیاری دارد. این تأثیرات از طریق چندین مسیر اصلی و مرتبط اعمال می‌شوند؛ افزایش کمبود آب و تغییر الگوی بارش‌ها، پیشرفت فناوری و استفاده از سیستم‌های خودکار، استفاده از منابع آب جایگزین و انرژی‌های تجدیدپذیر، پشتیبانی سیاستی و مشوق‌های مالی، تطبیق با تغییرات اقلیمی و کاهش آسیب‌پذیری. این تغییرات و سرمایه‌گذاری‌ها به‌طور کلی به بهبود پایداری کشاورزی، افزایش امنیت غذایی و حفاظت از منابع آبی کمک می‌کنند. توجه به این نکات و پیاده‌سازی آن‌ها در سطوح مختلف می‌تواند نقشی اساسی در مقابله با چالش‌های ناشی از تغییر اقلیم ایفا کند.

افزایش سرمایه‌گذاری در سامانه‌های نوین آبیاری با توجه به تغییرات اقلیمی مستلزم اتخاذ چندین راهبرد است. این راهبردها شامل استفاده از فناوری‌های پیشرفته آبیاری، بهبود مدیریت منابع آبی، و ایجاد انگیزه‌های مالی برای کشاورزان می‌باشد.

۱) فناوری‌های پیشرفته آبیاری: استفاده از سامانه‌های آبیاری هوشمند مانند میکرو آبیاری و آبیاری بارانی می‌تواند مصرف آب را تا ۳۵-۶۵ درصد کاهش دهد و بازدهی محصولات را افزایش دهد. این سامانه‌ها با استفاده از سنسورهای مختلف و کنترل دقیق، به کشاورزان کمک می‌کنند تا زمان و مقدار آبیاری را بهینه‌سازی کنند.

۲) مدیریت منابع آبی: بهبود مدیریت منابع آبی از طریق مدیریت یکپارچه منابع آب در حوضه‌های رودخانه‌ای و استفاده از پیش‌بینی‌های هواشناسی و مانیتورینگ هیدرولوژیکی می‌تواند بهره‌وری آبیاری را افزایش دهد. ایجاد مخازن ذخیره آب بلندمدت می‌تواند به کشاورزان کمک کند تا در دوره‌های خشک‌سالی منابع آب قابل‌اعتمادی داشته باشند.

۳) ایجاد انگیزه‌های مالی: دولت‌ها و سازمان‌های بین‌المللی می‌توانند با ارائه یارانه‌ها و تسهیلات مالی برای خرید تجهیزات نوین آبیاری، کشاورزان را تشویق به سرمایه‌گذاری در این سامانه‌ها کنند. همچنین، بیمه‌های محصولات کشاورزی که بر مبنای

نیز یکی از مهم‌ترین شاخص‌های اقتصاد کلان جهت تجزیه و تحلیل و ارزیابی‌ها و به‌نحوی نمایانگر قدرت اقتصادی کشورها است. ارزش‌افزوده هر بخش در اقتصاد نیز نمایانگر اهمیت و سهم آن بخش در اقتصاد است. ارزش‌افزوده بخش کشاورزی که شامل: تولید محصولات کشاورزی، دام‌پروری و صنایع غذایی است، یکی از مؤلفه‌های مهم در توسعه اقتصادی کشورها است. تغییرات اقلیم بر بخش‌های اقتصادی کشور مانند: تولید، درآمد عوامل تولید و درآمد نهادها اثرگذار است. این اثرگذاری روی بخش‌هایی که با بخش کشاورزی مرتبط هستند، بیشتر است و می‌تواند موجب کاهش یا افزایش ارزش‌افزوده این بخش شود و اثرات غیرمستقیمی بر تجارت، توسعه و امنیت غذایی بگذارد، (Khaleghi et al, 2015; Ozdemir, 2022).

یکی از مهم‌ترین نهاد‌های تولید، سرمایه است. زیرا نقش به‌سزایی در افزایش سطح تولید فعالیت‌های اقتصادی و افزایش بهره‌وری دیگر عوامل تولید ایفا می‌کند. از این‌رو یکی از عوامل مهم برای رشد و توسعه بخش‌های اقتصادی، از جمله بخش کشاورزی محسوب می‌شود، (Shahbazi & Saeidpour, 2013).

همان‌گونه که در این مطالعات مشاهده می‌شود تغییر اقلیم و امنیت غذایی دو رکن مهم و اساسی در مباحث کشاورزی می‌باشد. همچنین سامانه‌های نوین آبیاری مجموعه تمهیدات، راهکارها و فناوری‌های جدید اطلاق می‌شود که با عملیاتی کردن آن‌ها ضمن ارتقا راندمان آبیاری، نیاز واقعی آب گیاهان تأمین و شرایط خاک به‌لحاظ فیزیکی، شیمیایی و زیست محیطی پایدار نگه‌داشته می‌شود. بنابراین با توجه به اهمیت سرمایه‌گذاری در این بخش و تأثیر تغییر اقلیم در این مقاله به بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر نحوه سرمایه‌گذاری در سامانه‌های نوین آبیاری پرداخته خواهد شد.

مواد و روش‌ها

به‌طور کلی، تغییر اقلیم نیاز به سرمایه‌گذاری در سامانه‌های نوین آبیاری را افزایش داده و انتقال به روش‌های کارآمدتر، مقاوم‌تر و دوستدار محیط‌زیست را ضروری کرده است تا با چالش‌های ناشی از تغییر اقلیم مقابله شود و کشاورزی پایدار، امنیت غذایی و

سیستم‌ها از تکنولوژی‌های پیشرفته مانند منطق فازی، شبکه‌های عصبی، و یادگیری ماشینی برای بهینه‌سازی آبیاری بهره می‌برند (IntechOpen, 2022).

۲- مدیریت منابع آب

مدیریت یکپارچه منابع آب: با توجه به افزایش کمبود آب ناشی از تغییرات اقلیمی، مدیریت یکپارچه منابع آب در حوضه‌های رودخانه‌ای اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. این مدیریت شامل بهبود پیش‌بینی‌های هواشناسی و مانیتورینگ هیدرولوژیکی است که به کشاورزان کمک می‌کند تا تصمیمات بهتری در زمینه آبیاری بگیرند (FAO, 2011).

ذخیره‌سازی آب: ایجاد مخازن ذخیره آب و استفاده ترکیبی از آب‌های زیرزمینی و سطحی می‌تواند به کشاورزان کمک کند تا در دوره‌های خشک‌سالی منابع آب پایدار داشته باشند. این راهکارها به بهبود بهره‌وری آب و کاهش اتلاف آن کمک می‌کنند (FAO, 2011).

۳- ایجاد انگیزه‌های مالی

یارانه‌ها و تسهیلات مالی: دولت‌ها و سازمان‌های بین‌المللی می‌توانند با ارائه یارانه‌ها و تسهیلات مالی برای خرید تجهیزات نوین آبیاری، کشاورزان را تشویق به سرمایه‌گذاری در این سامانه‌ها کنند. این مشوق‌ها می‌توانند شامل وام‌های کم‌بهره، تخفیف‌های مالیاتی، و حمایت‌های مالی برای نصب سیستم‌های آبیاری هوشمند باشند (FAO, 2011).

بیمه محصولات کشاورزی: بیمه‌های مبتنی بر شاخص‌های اقلیمی می‌توانند از کشاورزان در برابر ریسک‌های ناشی از تغییرات اقلیمی حمایت کنند. این بیمه‌ها به کشاورزان کمک می‌کنند تا در صورت وقوع خشک‌سالی یا سایر رویدادهای آب و هوایی نامطلوب، خسارت‌های خود را جبران کنند (FAO, 2011).

۴- آموزش و ظرفیت‌سازی

آموزش کشاورزان: ارائه آموزش‌های مناسب به کشاورزان درباره روش‌های بهینه آبیاری و استفاده از فناوری‌های جدید می‌تواند تأثیر مثبتی در افزایش بهره‌وری آب و محصولات داشته باشد. این آموزش‌ها باید شامل اطلاعاتی درباره تأثیرات تغییرات اقلیمی و

شاخص‌های اقلیمی تنظیم می‌شوند، می‌توانند از کشاورزان در برابر ریسک‌های ناشی از تغییرات اقلیمی حمایت کنند.

۴) آموزش و ظرفیت‌سازی: ارائه آموزش‌های مناسب به کشاورزان درباره روش‌های بهینه آبیاری و استفاده از فناوری‌های جدید نیز می‌تواند تأثیر مثبتی در افزایش بهره‌وری آب و محصولات داشته باشد. این آموزش‌ها باید شامل اطلاعاتی درباره تأثیرات تغییرات اقلیمی و نحوه مدیریت بهتر منابع آب باشد.

۵) بهبود زیرساخت‌ها: سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های آبرسانی مانند شبکه‌های آبیاری تحت فشار و سیستم‌های توزیع آب هوشمند نیز از اهمیت بالایی برخوردار است. این زیرساخت‌ها می‌توانند کمک کنند تا آب به‌صورت کارآمدتری به مزرعه‌ها منتقل شود و هدررفت آب کاهش یابد.

با توجه به این راهبردها، می‌توان به‌طور مؤثر به تغییرات اقلیمی پاسخ داد و سرمایه‌گذاری‌ها در سامانه‌های نوین آبیاری را افزایش داد.

برای افزایش سرمایه‌گذاری در سامانه‌های نوین آبیاری با توجه به تغییرات اقلیمی، چندین راهبرد مشخص می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. این راهبردها شامل بهره‌گیری از فناوری‌های پیشرفته، بهبود مدیریت منابع آب، ایجاد انگیزه‌های مالی، آموزش و ظرفیت‌سازی، و بهبود زیرساخت‌ها می‌باشند. در ادامه به هر یک از این راهبردها اشاره شده است:

۱- استفاده از فناوری‌های پیشرفته آبیاری

سامانه‌های آبیاری هوشمند: فناوری‌های نوین مانند میکرو آبیاری و آبیاری بارانی می‌توانند به کاهش مصرف آب و افزایش بهره‌وری کمک کنند. به‌عنوان مثال، سامانه‌های آبیاری قطره‌ای و بارانی قادرند تا ۳۵-۶۵ درصد بیشتر از روش‌های سنتی آب صرفه‌جویی کنند و بازدهی محصولات را افزایش دهند. این سامانه‌ها با استفاده از حسگرهای مختلف و داده‌های محیطی، به کشاورزان کمک می‌کنند تا زمان و مقدار آبیاری را بهینه‌سازی کنند (IntechOpen, 2022). کنترل هوشمند: سیستم‌های آبیاری هوشمند با استفاده از شبکه‌های حسگر بی‌سیم، کنترل دقیق و هوشمندانه‌ای را برای آبیاری فراهم می‌کنند. این

شامل آموزش و توانمندسازی کشاورزان نیز می‌شوند (FAO, 2011).

۲- منابع بخش خصوصی

سرمایه‌گذاری‌های خصوصی: شرکت‌های خصوصی فعال در حوزه کشاورزی و فناوری می‌توانند در توسعه و ترویج سامانه‌های نوین آبیاری سرمایه‌گذاری کنند. این سرمایه‌گذاری‌ها می‌توانند شامل توسعه فناوری‌های جدید، بازاریابی و فروش تجهیزات آبیاری پیشرفته، و ارائه خدمات پس از فروش باشند.

شرکت‌های بیمه: بیمه‌های محصولات کشاورزی که به‌خصوص در برابر ریسک‌های تغییرات اقلیمی طراحی شده‌اند، می‌توانند به کاهش ریسک سرمایه‌گذاری در سامانه‌های نوین آبیاری کمک کنند. این بیمه‌ها می‌توانند کشاورزان را تشویق به پذیرش فناوری‌های جدید کنند (FAO, 2011).

۳- سازمان‌های بین‌المللی

سازمان‌های بین‌المللی و نهادهای مالی: سازمان‌های بین‌المللی مانند بانک جهانی، سازمان غذا و کشاورزی ملل متحد (FAO) و برنامه توسعه ملل متحد (UNDP) منابع مالی و تکنیکی برای پروژه‌های مرتبط با مدیریت منابع آب و آبیاری فراهم می‌کنند. این سازمان‌ها می‌توانند از طریق وام‌ها، کمک‌های بلاعوض، و پروژه‌های همکاری فنی، سرمایه‌گذاری در سامانه‌های نوین آبیاری را تسهیل کنند (FAO, 2011).

صندوق‌های اقلیمی: صندوق‌های ویژه‌ای مانند صندوق سبز اقلیم (GCF) که برای مقابله با تأثیرات تغییرات اقلیمی تأسیس شده‌اند، می‌توانند به پروژه‌های آبیاری هوشمند کمک مالی کنند. این صندوق‌ها به پروژه‌هایی که هدفشان کاهش مصرف آب و افزایش بهره‌وری در کشاورزی است، وام و کمک‌های بلاعوض ارائه می‌دهند.

۴- تسهیلات مالی

وام‌های کم‌بهره و تسهیلات مالیاتی: بانک‌ها و مؤسسات مالی می‌توانند با ارائه وام‌های کم‌بهره و تسهیلات مالیاتی به کشاورزان و شرکت‌های فعال در زمینه آبیاری، سرمایه‌گذاری در سامانه‌های نوین را تشویق کنند. این تسهیلات می‌توانند شامل کاهش مالیات

نحوه مدیریت بهتر منابع آب باشد (Patle et al, 2020). توانمندسازی نهادها: ایجاد نهادهای محلی و منطقه‌ای برای حمایت از کشاورزان و اجرای سیاست‌های مدیریتی مؤثر در زمینه آب نیز از اهمیت بالایی برخوردار است. این نهادها می‌توانند به اجرای برنامه‌های آموزشی و ترویجی کمک کنند (Patle et al, 2020).

۵- بهبود زیرساخت‌ها

سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های آبرسانی: توسعه و بهبود شبکه‌های آبیاری تحت فشار و سیستم‌های توزیع آب هوشمند می‌تواند به کاهش هدر رفت آب و افزایش کارایی آن کمک کند. این زیرساخت‌ها شامل نصب لوله‌های با کارایی بالا، سیستم‌های اتوماتیک کنترل آبیاری، و شبکه‌های توزیع آب پیشرفته می‌شود. با توجه به این راهبردها، می‌توان به‌طور مؤثر به تغییرات اقلیمی پاسخ داد و سرمایه‌گذاری‌ها در سامانه‌های نوین آبیاری را افزایش داد. اجرای این راهبردها نیازمند همکاری نزدیک بین دولت‌ها، سازمان‌های بین‌المللی، بخش خصوصی و کشاورزان است تا بتوان به بهره‌وری بیشتر و پایداری در کشاورزی دست یافت.

منابع سرمایه‌گذاری در سامانه‌های نوین آبیاری با توجه به تغییر اقلیم شامل منابع مختلفی از جمله منابع دولتی، بخش خصوصی، سازمان‌های بین‌المللی و مالیات‌ها و تسهیلات مالی است که در ادامه به آن‌ها اشاره شده است:

۱- منابع دولتی

بودجه‌های دولتی و یارانه‌ها: دولت‌ها می‌توانند از طریق بودجه‌های اختصاصی و ارائه یارانه‌ها به کشاورزان، سرمایه‌گذاری در سامانه‌های نوین آبیاری را تسهیل کنند. این بودجه‌ها می‌توانند برای خرید تجهیزات آبیاری مدرن، نصب سیستم‌های مدیریت هوشمند آب، و ایجاد زیرساخت‌های لازم مورد استفاده قرار گیرند (IntechOpen, 2022).

برنامه‌های توسعه کشاورزی: برنامه‌های ملی و منطقه‌ای توسعه کشاورزی که توسط دولت‌ها اجرا می‌شوند، می‌توانند شامل مشوق‌هایی برای پذیرش فناوری‌های جدید آبیاری باشند. این برنامه‌ها معمولاً

بر خرید تجهیزات آبیاری و ارائه شرایط بازپرداخت مناسب برای وام‌ها باشند (FAO, 2011).

برای افزایش سرمایه‌گذاری در سامانه‌های نوین آبیاری با توجه به تغییرات اقلیمی، نیاز به یک ترکیب متنوع از منابع مالی از جمله منابع دولتی، بخش خصوصی، سازمان‌های بین‌المللی، و تسهیلات مالی است. همکاری و هماهنگی بین این منابع می‌تواند به افزایش بهره‌وری آب و پایداری کشاورزی کمک کند و به مقابله با چالش‌های ناشی از تغییرات اقلیمی بپردازد.

جذب سرمایه‌گذاری‌های مردمی در سامانه‌های نوین آبیاری با توجه به تغییر اقلیم نیازمند اتخاذ استراتژی‌هایی است که مشوق‌ها و تسهیلات مناسب را فراهم کنند و اعتماد و انگیزه مردم را برای مشارکت افزایش دهند. در ادامه، راهکارهای مؤثری برای جذب سرمایه‌گذاری‌های مردمی در این زمینه ارائه می‌شود؛ ایجاد آگاهی و آموزش، مشوق‌های مالی، پروژه‌های مشارکتی و مدل‌های تجاری، تقویت اعتماد و شفافیت، استفاده از تکنولوژی‌های جدید فناوری که به‌عنوان راهکار برای ایجاد شفافیت و اطمینان در معاملات مالی مربوط به پروژه‌های آبیاری می‌تواند مورد توجه قرار گیرد فناوری بلاک‌چین است. این فناوری می‌تواند به کاهش ریسک‌های مرتبط با سرمایه‌گذاری و افزایش اعتماد عمومی کمک کند. با استفاده از این راهکارها و ایجاد شرایط مناسب، می‌توان سرمایه‌گذاری‌های مردمی را در سامانه‌های نوین آبیاری جذب کرد و به مقابله با چالش‌های ناشی از تغییرات اقلیمی پرداخت. فناوری بلاک‌چین یکی از نوآورانه‌ترین فناوری‌های دهه‌های اخیر است که در بسیاری از حوزه‌ها، از جمله جذب سرمایه‌گذاری در سامانه‌های نوین آبیاری، کاربرد دارد.

کاربردهای بلاک‌چین در سامانه‌های نوین آبیاری مشتمل بر چندین رویکرد می‌باشد که به‌ترتیب عبارت‌اند از: شفافیت در مدیریت منابع مالی، کاهش ریسک و تضمین بازگشت سرمایه، ردیابی و مدیریت منابع آب، پلتفرم‌های سرمایه‌گذاری جمعی، بهبود زنجیره تأمین کشاورزی.

نمونه موفق استفاده از بلاک‌چین در کشاورزی

پروژه‌های پایلوت: برخی از کشورها و شرکت‌ها پروژه‌های پایلوتی را برای استفاده از بلاک‌چین در کشاورزی و مدیریت منابع آب آغاز کرده‌اند. این پروژه‌ها نشان داده‌اند که استفاده از بلاک‌چین می‌تواند به بهبود بهره‌وری، کاهش هزینه‌ها و افزایش شفافیت کمک کند.

بلاک‌چین با ویژگی‌های امنیت، شفافیت و قابلیت اجرای قراردادهای هوشمند می‌تواند به‌عنوان یک ابزار مؤثر برای جذب سرمایه‌گذاری‌های مردمی در سامانه‌های نوین آبیاری استفاده شود. این فناوری می‌تواند به کاهش ریسک، افزایش اعتماد عمومی و بهبود مدیریت منابع آبی کمک کند و در نهایت به مقابله با چالش‌های ناشی از تغییرات اقلیمی بپردازد. وضعیت سرمایه‌گذاری در سامانه‌های نوین آبیاری در جهان با توجه به تغییرات اقلیمی در حال تحول و پیشرفت است. افزایش آگاهی از تأثیرات منفی تغییرات اقلیمی بر منابع آب و کشاورزی باعث شده تا بسیاری از کشورها و سازمان‌های بین‌المللی به سرمایه‌گذاری در این حوزه توجه بیشتری نشان دهند. در ادامه به بررسی وضعیت سرمایه‌گذاری در این زمینه پرداخته می‌شود:

۱- افزایش سرمایه‌گذاری‌های دولتی و بین‌المللی

دولت‌ها: بسیاری از دولت‌ها بودجه‌های قابل توجهی را به توسعه و ارتقای سامانه‌های نوین آبیاری اختصاص داده‌اند. به‌عنوان مثال، هند و چین برنامه‌های گسترده‌ای برای بهبود سامانه‌های آبیاری خود به‌منظور مقابله با خشک‌سالی و کمبود آب دارند. سازمان‌های بین‌المللی: سازمان‌های بین‌المللی مانند بانک جهانی، سازمان غذا و کشاورزی ملل متحد (FAO)، و صندوق بین‌المللی توسعه کشاورزی (IFAD) نیز پروژه‌های متعددی را در کشورهای در حال توسعه اجرا می‌کنند تا به بهبود بهره‌وری آب و ترویج فناوری‌های نوین آبیاری کمک کنند. این سازمان‌ها بودجه‌های مالی و کمک‌های فنی برای اجرای این پروژه‌ها ارائه می‌دهند.

۲- نقش بخش خصوصی و فناوری‌های نوین

شرکت‌های فناوری: شرکت‌های فناوری پیشرفته در

کمک کند.

نتیجه‌گیری

سرمایه‌گذاری در سامانه‌های نوین آبیاری با توجه به تغییرات اقلیمی در حال افزایش است و این روند به دلیل اهمیت بالای مدیریت منابع آب و افزایش بهره‌وری کشاورزی ادامه خواهد داشت. با این حال، برای موفقیت در این زمینه، نیاز به تلاش‌های هماهنگ بین دولت‌ها، سازمان‌های بین‌المللی، بخش خصوصی و کشاورزان است. توسعه فناوری‌های جدید، ارائه آموزش‌های مناسب و ایجاد مشوق‌های مالی می‌تواند به افزایش این سرمایه‌گذاری‌ها کمک کند و به مقابله با چالش‌های ناشی از تغییرات اقلیمی بپردازد.

چند نمونه از موفق‌ترین سامانه‌های نوین آبیاری که به تغییرات اقلیمی پاسخ داده و سرمایه‌گذاری‌های موفق‌تری را جذب کرده‌اند عبارت‌اند از:

(۱) سیستم‌های آبیاری بهره‌ور: سیستم‌های آبیاری بهره‌ور مانند سیستم‌های قطره‌ای که به‌طور دقیق آب را به نقاط مورد نیاز گیاهان تأمین می‌کنند. این سیستم‌ها کمترین میزان آب را مصرف می‌کنند و برای کشاورزان اقتصادی‌تر هستند. بسیاری از کشورها، به‌ویژه در مناطقی که با کمبود آب مواجه هستند، به سرمایه‌گذاری در این سیستم‌ها پرداخته‌اند.

(۲) سیستم‌های آبیاری هوشمند: این سامانه‌ها از فناوری‌های نوین مانند اینترنت اشیا (IoT)، سنسورها و هوش مصنوعی برای مدیریت بهینه مصرف آب استفاده می‌کنند. آن‌ها می‌توانند به‌طور خودکار آبیاری را تنظیم کنند بر اساس شرایط آب و هوایی محلی و نیازهای گیاهان، که از دیدگاه تغییرات اقلیمی بسیار مهم است.

(۳) سیستم‌های آبیاری تجدیدپذیر: این سیستم‌ها بر اساس منابع آبی تجدیدپذیر مانند باران‌آبیاری، آب‌های زیرزمینی بازیافت شده و حتی آب دریا تمرکز دارند. مثال‌هایی از این سامانه‌ها شامل تصفیه آب شور در مناطق نیمه‌خشک و استفاده از آب باران برای آبیاری در مناطق با بارندگی فصلی می‌شوند.

(۴) سیستم‌های آبیاری متناسب با گلخانه‌ها: با افزایش تعداد گلخانه‌ها به‌عنوان پاسخ به تغییرات

حوزه کشاورزی و آبیاری نیز به‌طور فزاینده‌ای در این حوزه سرمایه‌گذاری می‌کنند. این شرکت‌ها به توسعه سامانه‌های هوشمند آبیاری، سنسورهای پیشرفته، و نرم‌افزارهای مدیریت آب پرداخته و این فناوری‌ها را به بازار عرضه می‌کنند.

استارت‌آپ‌ها: استارت‌آپ‌های فعال در حوزه فناوری کشاورزی (AgTech) نیز نقش مهمی در توسعه و ترویج سامانه‌های نوین آبیاری دارند. این شرکت‌ها با ارائه راه‌حل‌های نوآورانه و بهره‌گیری از سرمایه‌گذاری‌های مخاطره‌پذیر (Venture Capital) به کشاورزان کمک می‌کنند تا به فناوری‌های جدید دسترسی داشته باشند.

۳- روندهای جهانی و چالش‌ها

افزایش بهره‌وری آب: یکی از اهداف اصلی سرمایه‌گذاری در سامانه‌های نوین آبیاری، افزایش بهره‌وری آب و کاهش هدر رفت آن است. فناوری‌های مدرن مانند آبیاری قطره‌ای و سیستم‌های کنترل هوشمند آبیاری به کشاورزان کمک می‌کنند تا مصرف آب را بهینه کنند و بازدهی محصولات را افزایش دهند.

چالش‌های مالی و فنی: با وجود این‌که سرمایه‌گذاری‌ها در این حوزه در حال افزایش است، چالش‌های مالی و فنی همچنان وجود دارند. هزینه‌های بالای نصب و نگهداری سامانه‌های نوین آبیاری و نیاز به آموزش و توانمندسازی کشاورزان از جمله چالش‌های اصلی هستند. همچنین، تغییرات اقلیمی و نوسانات آب و هوایی نیز بر پایداری این سامانه‌ها تأثیر می‌گذارند.

۴- نمونه‌های موفق

کشورهای بسیاری از پیشگامان در زمینه استفاده از سامانه‌های نوین آبیاری می‌باشند. این کشورها با بهره‌گیری از فناوری‌های پیشرفته و مدیریت کارآمد منابع آب، توانسته‌اند بهره‌وری آب را به‌طور قابل توجهی افزایش داده و به‌عنوان نمونه‌های موفق جهانی مطرح شوند.

به‌عنوان مثال استرالیا با اجرای برنامه‌های گسترده در زمینه مدیریت منابع آب و استفاده از سامانه‌های نوین آبیاری، توانسته است تأثیرات خشکسالی‌های مکرر را کاهش دهد و به بهبود پایداری کشاورزی

متنوعی قرار دارد. در حالی که ایران با مشکلاتی همچون کاهش تدریجی منابع آبی، بارش‌های نامنظم، خشکسالی‌ها و تغییرات دمایی مواجه است، اما هم‌زمان دارای توانمندی‌هایی نظیر تکنولوژی‌های نوین، دانش فنی، و منابع انسانی دارای مهارت، که می‌تواند به سرمایه‌گذاری در سامانه‌های نوین آبیاری کمک کند.

بعضی از راهکارهایی که می‌توانند وضعیت سرمایه‌گذاری در این زمینه را بهبود بخشند، شامل موارد زیر می‌شود:

(۱) تحریم‌ها و تشویق‌های دولتی: دولت می‌تواند با ارائه تسهیلات مالی، تسهیلات مالیاتی، تشویق به توسعه تحقیقات و توسعه در زمینه سامانه‌های نوین آبیاری، و تنظیم قوانین و مقررات مرتبط، سرمایه‌گذاری در این زمینه را تشویق کند.

(۲) توسعه فناوری: ایران به‌عنوان یک کشور با توانمندی‌های فناوری بالا در برخی زمینه‌ها مانند IT، اشیا (IoT)، هوش مصنوعی، سنسورها و فناوری‌های دیگر، به بهبود بهره‌وری آب در کشاورزی کمک کند که این امر جذابیت بیشتری برای سرمایه‌گذاران دارد. (۳) همکاری با بخش خصوصی: دولت می‌تواند با ایجاد شراکت‌های عمومی-خصوصی (PPP) و ایجاد فرصت‌های سرمایه‌گذاری در زمینه‌های مختلف سامانه‌های نوین آبیاری، از جمله توسعه زیرساخت‌های مرتبط و ارائه خدمات مشاوره‌ای، به سرمایه‌گذاران خصوصی اعتماد بیشتری دهد.

(۴) آموزش و آگاهی‌بخشی: افزایش آگاهی کشاورزان و سرمایه‌گذاران درباره فواید و مزایای سامانه‌های نوین آبیاری و روش‌های بهینه‌سازی مصرف آب می‌تواند به افزایش سرمایه‌گذاری در این زمینه کمک کند.

به‌طور کلی، با توجه به نیازهای ایران در زمینه مدیریت منابع آبی و تغییرات اقلیمی، سرمایه‌گذاری در سامانه‌های نوین آبیاری به‌عنوان یک راه‌حل مؤثر برای افزایش بهره‌وری و مقاومت در برابر تغییرات اقلیمی می‌تواند موفقیت‌آمیز باشد.

به‌طور مشخص، ایران با چالش‌های منحصربه‌فردی در زمینه منابع آبی و تغییرات اقلیمی روبه‌رو است.

اقلیمی و نیاز به تولید محصولات زراعی در شرایط آب و هوایی متفاوت، سرمایه‌گذاران به سیستم‌های آبیاری مناسب برای این محیط‌ها سرمایه‌گذاری می‌کنند. این سیستم‌ها معمولاً شامل سیستم‌های آبیاری هیدروپونیک یا نیمه هیدروپونیک و سیستم‌های آبیاری بر اساس اسپری هستند که به‌صورت دقیق آب را به گیاهان ارائه می‌دهند.

این سامانه‌ها نه تنها به کشاورزان کمک می‌کنند تا به بهره‌وری بیشتری از منابع آبی خود برسند، بلکه همچنین مقاومت آن‌ها در برابر تغییرات اقلیمی را افزایش می‌دهند و برای سرمایه‌گذاران جذاب هستند. برخی از موارد جهانی موفق در این زمینه با ذکر منبع به شرح زیر است:

(۱) پروژه تولید غذای آینده در هلند: در هلند، کشوری که با محدودیت منابع آبی مواجه است و در عین حال یکی از بزرگ‌ترین صادرکنندگان محصولات کشاورزی در جهان است، پروژه‌هایی مانند «برنامه تغذیه ۲۰۵۰» مورد توجه قرار گرفته‌اند. این برنامه‌ها به بهبود سامانه‌های آبیاری هوشمند، استفاده از تکنولوژی‌های نوین و افزایش بهره‌وری آب در کشاورزی تمرکز دارند. (۲) پروژه‌های آبیاری در کشورهای خاورمیانه: کشورهایمانند عربستان سعودی به‌دلیل شرایط آبی و آب و هوایی خاص خود، سرمایه‌گذاری‌های زیادی در زمینه سامانه‌های نوین آبیاری انجام داده‌اند. این کشورها با استفاده از تکنولوژی‌های پیشرفته مانند سیستم‌های آبیاری قطره‌ای و استفاده از آب شور، به یکی از پیشگامان جهان در این زمینه تبدیل شده است.

(۳) سرمایه‌گذاری‌های چین در آبیاری هوشمند: چین، با مواجهه با مشکلاتی همچون کاهش تدریجی منابع آبی و آلودگی، سرمایه‌گذاری‌های بسیاری در سامانه‌های آبیاری هوشمند و مدیریت بهینه منابع آبی انجام داده است. این سرمایه‌گذاری‌ها عمدتاً در استفاده از تکنولوژی‌های مانند IoT، سنسورها و هوش مصنوعی برای بهینه‌سازی مصرف آب در کشاورزی تمرکز دارد.

وضعیت سرمایه‌گذاری در سامانه‌های نوین آبیاری در ایران تحت تأثیر تغییرات اقلیمی و شرایط محیطی

در ایران شکل گیرد. در این راستا، رویکردهایی که می‌تواند در سرمایه‌گذاری در سامانه‌های نوین آبیاری در ایران اثربخش باشد عبارت‌اند از:

(۱) استفاده از فناوری‌های نوین: سرمایه‌گذاران می‌توانند در تحقیق و توسعه فناوری‌های نوین مانند اینترنت اشیا (IoT)، هوش مصنوعی، سنسورها و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) برای مدیریت بهینه منابع آبی و سامانه‌های آبیاری سرمایه‌گذاری کنند.

(۲) توسعه سامانه‌های هوشمند آبیاری: سامانه‌های هوشمند آبیاری که قادرند به‌طور دقیق به نیازهای گیاهان در شرایط آب و هوایی متفاوت پاسخ دهند، می‌توانند به کشاورزان کمک کنند تا به بهره‌وری بیشتری از منابع آبی دست یابند.

(۳) توسعه سامانه‌های آبیاری تجدیدپذیر: سرمایه‌گذاری در سامانه‌های آبیاری تجدیدپذیر مانند باران‌آبیاری، تصفیه آب شور، و استفاده از منابع آبی مانند آب شور و آب دریا می‌تواند به کشاورزان در شرایط کمبود آب کمک کند.

(۴) توسعه زیرساخت‌های آبیاری: سرمایه‌گذاری در توسعه زیرساخت‌های آبیاری مانند ساخت و نصب شبکه‌های آبیاری مدرن، احداث تأسیسات تصفیه آب، و استفاده از تجهیزات آبیاری پیشرفته می‌تواند به بهبود بهره‌وری آبی در کشاورزی و جلوگیری از هدر رفت منابع آبی کمک کند.

(۵) ترویج آموزش و آگاهی: سرمایه‌گذاران می‌توانند در برگزاری دوره‌های آموزشی و اطلاع‌رسانی به کشاورزان و سرمایه‌گذاران درباره مزایا و فرصت‌های مرتبط با سامانه‌های نوین آبیاری سرمایه‌گذاری کنند تا آگاهی و استفاده از این فناوری‌ها را افزایش دهند.

این رویکردها، اگر به‌طور هماهنگ و جدی انجام شوند، می‌توانند به بهبود وضعیت سامانه‌های آبیاری در ایران و مقاومت در برابر تغییرات اقلیمی کمک کنند.

منابع

Adav, V. S., Singh, A. R., Raut, R. D., & Govindarajan, U. H. (2020). Blockchain technology adoption barriers in the Indian agricultural supply chain:

کاهش منابع آبی، خشکسالی‌های مکرر، بارش‌های نامنظم و افزایش دما از جمله مشکلاتی هستند که تأثیر بسیاری بر کشاورزی و باغبانی ایران دارند. این چالش‌ها سرمایه‌گذاران و دولت را به دنبال راه‌حل‌های نوین و پایدار برای مدیریت منابع آبی می‌کند. در این زمینه، سامانه‌های نوین آبیاری می‌توانند نقش مهمی در بهبود وضعیت منابع آبی و افزایش بهره‌وری در کشاورزی ایران ایفا کنند.

با توجه به این موضوعات، سرمایه‌گذاران و دولت می‌توانند با انجام اقداماتی مانند:

(۱) ارائه تسهیلات مالی: دولت می‌تواند از طریق ارائه تسهیلات مالی، وام‌ها و تخفیف‌های مالیاتی برای سرمایه‌گذاران در زمینه سامانه‌های نوین آبیاری، حوزه‌های جذابی را برای سرمایه‌گذاری فراهم کند. (۲) توسعه زیرساخت‌ها: سرمایه‌گذاری در توسعه زیرساخت‌های مرتبط با سامانه‌های نوین آبیاری مانند ایجاد شبکه‌های آبیاری، ساخت و نصب تجهیزات آبیاری مدرن و ارتقا سیستم‌های آبیاری می‌تواند به بهبود عملکرد کشاورزی و جلوگیری از هدر رفت منابع آبی کمک کند.

(۳) پژوهش و توسعه: افزایش سرمایه‌گذاری در زمینه تحقیق و توسعه سامانه‌های نوین آبیاری و فناوری‌های مرتبط می‌تواند به ارتقا تکنولوژی و بهبود کارایی آبیاری در شرایط مختلف آب و هوایی کمک کند.

(۴) آموزش و اطلاع‌رسانی: برگزاری دوره‌های آموزشی و اطلاع‌رسانی به کشاورزان و سرمایه‌گذاران درباره فناوری‌های نوین آبیاری و روش‌های بهره‌وری آب می‌تواند باعث افزایش آگاهی و تسهیل در انتخاب و استفاده از این سامانه‌ها شود.

این اقدامات، اگر به‌طور جدی و هماهنگ انجام شوند، می‌توانند به بهبود وضعیت سرمایه‌گذاری در سامانه‌های نوین آبیاری و مدیریت منابع آبی در ایران کمک کنند و در مقابله با تغییرات اقلیمی نقش مهمی ایفا کنند.

سرمایه‌گذاری در سامانه‌های نوین آبیاری با توجه به تأثیرات تغییرات اقلیمی در ایران می‌تواند به شکل‌های مختلفی صورت بگیرد. این سرمایه‌گذاری‌ها باید بر اساس نیازها و چالش‌های مرتبط با تغییرات اقلیمی

- Climate-smart water technologies for sustainable agriculture, *Journal of Water and Climate Change*, 11(4), 1455–1466, <https://doi.org/10.2166/wcc.2019.257>
- Ewert, F., Rounsevell, M.D.A., Reginster, I., Metzger, M.G. & Leemans, R. (2005). Future scenarios of European agricultural land use. I. Estimating changes in crop productivity. *Agricultura Ecosystem Environmental*, 107, 101–116. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104877>
- Godfray, H. C., Beddington, J. R., Crute, I. R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J. F., Pretty, J., Robinson, S., Thomas, S. M., & Toulmin, C. (2010). Food Security: The Challenge of Feeding 9 Billion People. *Science*, 327(5967), 812–818. DOI: 10.1126/science.1185383
- Homani, F., Shahbazi, M., & Afkajo, H. (2018). Investigating the non-linear impact of financial development on the added value of the agricultural sector in the G8 member countries. *Agricultural Economics Research*, 38(10), 135–451. DOI: 10.1126/science.1185383
- <https://blogs.worldbank.org/en/water/towards-new-generation-Irrigation-investments>
- <https://www.worldbank.org/en/events/2022/11/02/innovating-planning-and-modernizing-irrigation-and-water-resources-management-for-climate-mitigation-and-adaptation>
- <https://www.fao.org/climate-smart-agriculture-sourcebook/production-resources/module-b6-water/chapter-b6-4/en/2011>
- Innovating, Planning, and Modernizing Irrigation and Water Resources Management for Climate Mitigation and Adaptation. (2022). *World Bank Water at COP27*, November 14.
- Janjua, P.Z., Samad, G. & Khan, N. (2014). Climate Change and Wheat Production in Pakistan; autoregressive distributed lag approach. *NJAS Wa-*
- an integrated approach, *Resources, Conservation and Recycling*, 161, 104877. DOI: DOI: 10.1016/j.resconrec.2020.104877
- Ahmadzadeh, K., Manochehri, S., Amani, R., & Samadipour, S. (2022). Climate Change, Trade and Income Inequality: A Quantile Panel Regression Approach. *Journal of Economics and Modeling*, 13(1), 57-92. doi: 10.29252/jem.2022.227221.1755. [In Persian].
- Aleemran, R., & aleemran, S. A. (2021). The Economic Factors Affecting the Value Added of Iran's Agricultural Sector. *Agricultural Economics Research*, 13(1), 191-206. [In Persian]. Dor: 20.1001.1.20086407.1400.13.1.9.8.
- Arbat, G.; Masseroni, D., 2024, The Use and Management of Agricultural Irrigation Systems and Technologies. *Agriculture*, 14, 236. <https://doi.org/10.3390/agriculture14020236>
- Berthelin, J., Laba, M., Lemaire, G., Powlson, D., Tessier, D., Wander, M., & Baveye, P. C. (2022). Soil carbon sequestration for climate change mitigation: Mineralization kinetics of organic inputs as an overlooked limitation. *European Journal of Soil Science*, 73(1), e13221.
- De Hoyos, R. E, & D. Medvedev. (2009). Poverty Effects Of Higher Food Prices. *World Bank Policy Research Working Paper*, 4887, 1–34. <https://doi.org/10.1111/ejss.13221>
- Dell, M., Jones, B. F., & Olken, B. A. (2008). Climate change and economic growth: evidence from the last half-century. *Working Paper*, 14132. Cambridge, MA: National Bureau of Economic Research. doi: 10.3386/w14132
- Erion Bwambale, Felix K. Abagale and Geoffrey K. Anornu. (2022). Smart Irrigation for Climate Change Adaptation and Improved Food Security, DOI: 10.5772/intechopen.106628
- G. T. Patle, Mukesh Kumar, Manoj Khanna. (2020).

- Pauw, K., Thurlow, J., & van Seventer, D. (2010). Droughts and floods in Malawi. *Assessing the Economywide Effects. International Food Policy Research Institute (IFPRI) Discussion Paper, 962*, 1-44.
- Praveen, B., & Sharma, P., 2019, A review of literature on climate change and its impacts on agriculture productivity, *Journal of Public Affairs*, 19(4), e1960. <https://doi.org/10.1002/pa.1960>
- Raihan, A., & Tuspekova, A. (2022). Dynamic impacts of economic growth, energy use, urbanization, tourism, agricultural value-added, and forested area on carbon dioxide emissions in Brazil. *Journal of Environmental Studies and Sciences*, 12(4), 794-814. <https://doi.org/10.1007/s13412-022-00782-w>
- Shahbazi, K., & Saeidpour, L. (2013). Threshold Effects of Financial Development on Economic Growth in D-8 Countries. *Economic Growth and Development Research*, 3(12), 38-21. [In Persian]
- Shiryaevskaya, A., Laura Millan, L., & Olga, T. (2020). *Longest Arctic Shipping Season Tops Off a Year of Climate Disasters*. Bloomberg, December 13. doi: 10.29252/jem.2022.227221.1755
- Song, Y., Zhang, B., Wang, J., & Kwek, K. (2022). The impact of climate change on China's agricultural green total factor productivity. *Technological Forecasting and Social Change*, 185, 122054. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.122054>
- Wreford, A., Ignaciuk, A., & Gruère, G. (2017). Overcoming barriers to the adoption of climate-friendly practices in agriculture. *gingen Journal of Life Sciences*, 68, 13-91
- Khaleghi, S., Bazazan, F. and Madani, S. (2015). The effect of climate change on the production of the agricultural sector and Iran's economy (social accounting matrix approach). *Social Accounting Matrix Approach*, vol. 7, no. 25, pp. 113-135. [In Persian]. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2013.11.002>
- Kalafatis, S. E. (2018). Comparing climate change policy adoption and its extension across areas of city policymaking. *Policy Studies Journal*, 46(3), 700-719. <https://doi.org/10.1111/psj.12206>
- Liu, P., Hendalianpour, A., Hamzehlou, M., Feylizadeh, M. R., & Razmi, J. (2021). "Identify and rank the challenges of implementing sustainable Supply Chain Blockchain Technology using the Bayesian Best Worst Method", *Technological and Economic Development of Economy*, 27 (3), 565-680. <https://doi.org/10.3846/tede.2021.14421>
- Meyghani, S., Khodaparast Mashadi, M., & Salehnia, N. (2021). The Impacts of Climate Change on Value-Added Agriculture in the MENA Region. *Journal of Economics and Regional Development*, 27(20), 129-158. [In Persian] doi: 10.22067/erd.2021.67927.1003
- Momeni, F. D., & Banouei, S. AA. (2018). The Importance of the Agricultural Sector in Maintaining the Economic-Social Equilibrium of Iran's Urban and Rural Structures. *Quarterly Journal of Space Economy & Rural Development*, 6(4), 17-46. [In Persian].
- Ozdemir, D. (2022). The impact of climate change on agricultural productivity in Asian countries: a heterogeneous panel data approach. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(6), 8205-8217. <https://doi.org/10.1007/s11356021-16291-2>

Journal of Drought and Climate change Research

JDCR

December, 2024, Vol. 2, No.7



- Application of Copula Functions in Meteorological Drought Analysis in Qaen Area** 1
Mahdi Amirabadizadeh, Mostafa Yaghoobzadeh
- Investigation of Iran's Temperature Changes Compared to the Past Long-Term Climatic Standard Period** 17
Masoumeh Fakhri
- Effect of Drought and Salinity Stress on Chlorophyll and Carotenoid Content in Russian Olive Leaves (*Elaeagnus angustifolia* L.)** 33
Zahra Seif, Vahid Etemad, Mohsen Javanmiri Pour
- Utilization of the Climate Indices and the Multi-Criteria Decision-Making Approach in Crop Yield Forecasting in line with Policy Making in Agriculture** 49
Laleh Parviz, Bita Kazemi, Mir Ahmad Hatef
- Presenting the Suitable Planting Calendar of Tarem Hashemi Rice in Mazandaran Province Area Using Remote Sensing Technique** 67
Alireza Yousefi Kebriya, Reza Norooz Valashedi
- Isolation of Salinity and Drought-Tolerant Bacteria from the Rhizosphere of Plants and Evaluation of Some of Their Growth-Promoting Properties** 85
Farhad Azarmi-Atajan
- The Effect of Climate Change on the Way of Investing in Modern Irrigation Systems** 97
Samane Arvandi