

**EXTENDED ABSTRACT**

## Effect of Climate Change on Water Requirement of Rice Crop in the Tajan Watershed

F. Jafari<sup>1</sup>, H. R. Moradi<sup>2\*</sup> and A. Bagheri<sup>3</sup>

1. PhD Student in Watershed Management, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor, Iran.

2\*. Corresponding Author, Professor, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor, Iran. ([harmoradi@modares.ac.ir](mailto:harmoradi@modares.ac.ir))

3. Associate Professor, Department of Water Management and Engineering, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

### ARTICLE INFO

*Article history:*

Received: 05 February 2023

Revised: 10 September 2023

Accepted: 13 September 2023

### TO CITE THIS ARTICLE:

Jafari, F., Moradi, H. R., Bagheri, A. (2024). 'Effect of Climate Change on Water Requirement of Rice Crop in the Tajan Watershed', *Irrigation Sciences and Engineering*, 47(2), pp. 69-86. doi: 10.22055/jise.2023.42970.2057.

*Keywords:*

Climate Scenarios, Effective Rainfall, CROPWAT, Lars-WG.

### Introduction

Climate change has greatly challenged the management of water resources due to its impact on water requirements of crops. In this research, the effect of climate change on water requirement of Rice crop was simulated in the study area of the Tajan watershed and its changes until 2060 were studied. To investigate climate change, Lars-WG software and HadGEM2 model outputs under (RCP 2.6) and (RCP 8.5) climate scenarios have been used. To evaluate the impact of climate change in the next 40 years on water requirement, using CROPWAT 8.0 software, potential and actual evapotranspiration and effective rainfall were calculated for the future period and crop water requirement was determined and compared with the water requirement of the current period. The results showed that the mean water requirement of Rice crop in the RCP 2.6 scenario were predicted in 2040-2021 and 2041-2060 periods is equal to 658.27 and 658.46 mm, respectively, and in the RCP 8.5 scenario in 2040-2021 and 2041-2060 periods were predicted to be equal to 672.93 and 673 mm, respectively. Therefore, according to both climate scenarios, the water requirement has increased in all time periods compared to the current period, which is about 648 mm.

Mazandaran is a province based on agricultural production and it has long been one of the centers of Rice cultivation as the second strategic product of the country. planting Rice is very vital and important for the economy of the whole region. Therefore, it is necessary to study the evaluation of changes in the water requirement of Products in response to climate change conditions. Various researchers investigated the effects of climate change on water requirement, some of which are mentioned below.

Casolani et al. (2020) in a study investigated the effect of climate change on water requirement of crops. The results showed that the water requirement in the periods of 2011-2040, 2041-2070, and

2071-2100 will increase by 6, 19, and 24 percent, respectively, compared to the current period. Jia *et al.* (2021) investigated the changes in the water requirement of crops under climate change conditions. The results showed that the effective rainfall increases by 0.98 mm per year and the water requirement decreases by 2.27 mm per year.

### Methodology

Considering the direct relationship between the climatic variables of temperature and precipitation and plant evapotranspiration, it is first necessary to evaluate different climatic scenarios, and then to evaluate this information to estimate the water requirement of plants. In the present study, in order to investigate the effects of climate change on the water requirement of Rice crop in the future, it was necessary to simulate the climatic parameters of this period. In this research, the outputs of one of atmospheric-oceanic general circulation models named HadGEM2 have been used to investigate rainfall and temperature changes under RCP 2.6 and RCP 8.5 climate scenarios as optimistic and pessimistic scenarios in the study area of the Tajan watershed. Lars-WG software was used for Downscaling during three stages of data calibration, data evaluation, and meteorological data generation for the future period. Daily values of rainfall, maximum and minimum temperature, and sunshine hours for the next 40 years (2021-2060) were produced and simulated.

CROPWAT 8.0 software was used to estimate water requirements. This model is a simple water balance model and enables the simulation of moisture stress on the plant and calculation of the yield reduction based on the established methods of estimating evapotranspiration and the reaction of the plant to water stress. The steps for calculating water requirements are explained below.

-Calculation of evapotranspiration:

In order to determine the potential evapotranspiration, the FAO- Penman -Monteith method, which is approved by the international commission on irrigation and drainage (ICID), food and agricultural organization (FAO) and american society of civil engineers (ASCE), was used by CROPWAT 8.0 software. This method provides the most up-to-date, accurate, comprehensive analysis related to the process of evapotranspiration and enables the quantification of this criterion through mathematical equations (Gkatsopoulos, 2017).

-Calculation of effective rainfall:

The amount of effective rainfall has been calculated using monthly rainfall statistics and the method of united states department of agriculture (USDA) by CROPWAT 8.0 software. Finally, to calculate the water requirement, equation (1) was used by CROPWAT 8.0 software (Ramezani Etedali *et al.*, 2019).

$$CWR= 10.(ET_c - P_{eff}) \quad (1)$$

where:  $ET_c$ : is the evapotranspiration in (mm),  $P_{eff}$ : is the mean monthly effective rainfall (mm), and CWR: is the water requirement (cubic meters per hectare).

### Results and Discussion

The results showed that the mean monthly minimum and maximum temperature in all months of the future period will increase in both scenarios compared to the current period. The mean monthly rainfall in the future period in both scenarios does not have a constant trend compared to the current period and is various in different months. The amount of potential evapotranspiration in both scenarios has increased in all periods compared to the current period, which is equal to 2.84 mm. Also, the water requirement of Rice has increased according to both scenarios in all periods compared to the current period, which is equal to 6481 cubic meters per hectare. The results of the prediction mean potential evapotranspiration, effective rainfall and water requirement of Rice crop under climate change conditions under two scenarios in the time period (2021-2040) and (2041-2060) and the amount of these parameters in the current period. shows that the rate of potential

evapotranspiration decreases during these two periods. The amount of effective rainfall also decreases during these two periods. The water requirement increases in the period (2041-2060) compared to the period (2021-2040) in both scenarios. The mean water requirement in RCP 2.6 scenario in period (2040-2021) and (2041-2060) is equal to 6582 and 6584 cubic meters per hectare, and in RCP 8.5 scenario in period (2040-2021) and (2041-2060) it is equal to 6729 and 6730 cubic meters per hectare, respectively. Therefore, according to both scenarios water requirement has increased in all time periods compared to the current period, which is equal to 6481 cubic meters per hectare.

### Conclusions

Knowing the growth period, effective rainfall and water requirement for planning agricultural operations is a significant help in order to optimally use limited water resources. The general results obtained in this research are as follows:

- Climate change causes an increase in crop water requirement in both climate scenarios in the future period compared to the current period.
- The increase in water requirement in the distant future period (2041-2060) is higher compared to the near future time period (2021-2040)

The results of this research show that it will be possible to use the model used in this research to predict climate change and its effects on the water requirement of crops with good accuracy. The results of this research can be a useful tool for managers, planners and policymakers of the water sector in order to properly and sustainably manage water resources in line with the sustainable development of agriculture. It is suggested that in future research, in order to more accurately evaluate the changes in the water requirement under the impact of climate change, the output results of different atmospheric-oceanic general circulation models should be compared.

### Acknowledgments

The authors would like to thank the Regional Water Company of Mazandaran to allow to access the base data.

### References

- 1- Casolani, N., Cartone, A., Postiglione, P. and Liberatore, L., 2020. Climate variability in agriculture and crop water requirement: Spatial analysis of Italian provinces. *Journal of Cleaner Production*, 262, pp. 121331. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.121331.
- 2- Gkatsopoulos, P., 2017. A Methodology for Calculating Cooling from Vegetation Evapotranspiration for Use in Urban Space Microclimate Simulations. *Procedia Environmental Sciences*, 38, pp. 477 – 484. DOI: 10.1016/j.proenv.2017.03.139.
- 3- Jia, K., Yang, Y., Dong, G., Zhang, C. and Lang, T., 2021. Variation and determining factor of winter wheat water requirements under climate change. *Agricultural Water Management*, 254, pp. 106967. DOI: 10.1016/j.agwat.2021.106967.
- 4- Ramezani Etedali, H., Ahmadaali, K., Gorgin, F. and Collins, B., 2019. Optimization of the cropping pattern of main cereals and improving water productivity: application of the water footprint concept. *Irrigation and Drainage*, 68(4), pp. 765-777. DOI: 10.1002/ird.2362.



## تأثیر تغییر اقلیم بر نیاز آبی محصول برنج در آبخیز تجن

فائزه جعفری<sup>۱</sup>، حمیدرضا مرادی<sup>۲\*</sup> و علی باقری<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی دکتری، گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران.  
 ۲- نویسنده مسئول، استاد، گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران.  
 hrmoradi@modares.ac.ir  
 ۳- دانشیار، گروه مهندسی و مدیریت آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۲۲

بازنگری: ۱۴۰۲/۰۶/۱۹

دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۱۶

### چکیده

تغییر اقلیم به واسطه اثرگذاری بر نیاز آبی محصولات زراعی، مدیریت منابع آبی را به شدت با چالش مواجه کرده است. در این پژوهش به شبیه‌سازی اثر تغییر اقلیم بر نیاز آبی محصول برنج در محدوده مطالعاتی آبخیز تجن پرداخته و روند تغییرات آن تا سال ۲۰۶۰ مطالعه گردید. برای بررسی تغییر اقلیم از نرم‌افزار Lars-WG و خروجی‌های مدل HadGEM2 تحت سناریوهای اقلیمی (RCP 2.6) و (RCP 8.5)، استفاده شده است. برای ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم در ۴۰ سال آبی بر نیاز آبی، با استفاده از نرم‌افزار CROPWAT 8.0 میزان تبخیر و تعرق پتانسیل و واقعی و بارندگی مؤثر برای دوره آبی محاسبه شده و نیاز آبی محصول تعیین شد و با نیاز آبی دوره فعلی مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان دادند میانگین نیاز آبی برنج در سناریو RCP 2.6 در بازه زمانی ۲۰۴۰-۲۰۶۰ و ۲۰۴۱-۲۰۶۰ به ترتیب برابر با ۶۵۸/۴۶ و ۶۵۸/۲۷ میلی‌متر با افزایشی معادل ۱/۵۶ و ۱/۵۹ درصد نسبت به دوره فعلی و در سناریو RCP 8.5 در بازه زمانی ۲۰۴۰-۲۰۶۰ و ۲۰۴۱-۲۰۶۰ به ترتیب برابر با ۶۷۲/۹۳ و ۶۷۳ میلی‌متر معادل با ۳/۸۳ و ۳/۸۴ درصد افزایش، پیش‌بینی می‌شود. بنابراین نیاز آبی بر اساس هر دو سناریوهای اقلیمی در تمام بازه‌های زمانی نسبت به دوره تاریخی که میزان آن ۶۴۸ میلی‌متر است، افزایش داشته است. بنابراین تغییر اقلیم با تأثیر بر میزان تبخیر و تعرق و بارندگی مؤثر، باعث روند افزایشی نیاز آبی برنج در هر دو سناریوهای اقلیمی در دوره زمانی آبی (۲۰۲۱-۲۰۶۰) می‌شود. میزان افزایش نیاز آبی در دوره زمانی آبی دور (۲۰۴۱-۲۰۶۰) در مقایسه با دوره زمانی آبی نزدیک (۲۰۲۱-۲۰۴۰) نسبت به دوره تاریخی، بیشتر است.

**کلید واژه‌ها:** بارش مؤثر، سناریوهای اقلیمی، نرم‌افزار کراپ وات، نرم‌افزار لارس دبلیو جی.

### مقدمه

با توجه به شواهد و مطالعه‌های بین‌المللی هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم (Intergovernmental Panel on Climate Change)، به نظر می‌رسد که پدیده تغییر اقلیم می‌تواند آثار بالقوه‌ای در وضعیت منابع آب داشته باشد (IPCC, 2013). تغییر اقلیم بر دما و توزیع بارش تأثیرات متفاوتی دارد که در نتیجه بر روی توزیع مکانی و زمانی منابع آبی و همچنین نیاز آبی (Water Requirement) گیاهان و مصرف آب در بخش کشاورزی مؤثر می‌باشد (Bannayan et al., 2010). از این رو محققین پدیده تغییر اقلیم را به‌عنوان بزرگ‌ترین تهدید کشاورزی و امنیت غذایی در قرن ۲۱ معرفی نموده‌اند (Wang, 2010). افزایش غلظت گاز کربنیک در آینده منجر به افزایش دمای جو می‌شود، مهم‌ترین اثر آن در کشاورزی افزایش تبخیر و تعرق (Evapotranspiration) و تغییر طول دوره رشد گیاهان است که باهم نیاز آبی گیاه را تعیین می‌کنند. بنابراین نیاز آبی گیاه

به‌طور مستقیم تحت تأثیر پارامترهای اقلیمی و تغییرات آن خواهد بود (IPCC, 2014).

محققین مختلفی در داخل و خارج از کشور به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر تقاضای آب بخش کشاورزی و نیاز آبی پرداختند که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود.

Chattaraj et al. (2014) طی مطالعه‌ای تأثیر تغییر اقلیم

بر نیاز آبی گندم را بررسی نمودند. نتایج نشان دادند میزان تبخیر و تعرق و نیاز آبی برای دوره ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰ نسبت به دوره فعلی کاهش می‌یابد. Ye et al. (2015) اثرات تغییر اقلیم را بر نیاز آبی محصول برنج مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان دادند که نیاز آبی در دوره‌های زمانی ۲۰۴۰-۲۰۱۱، ۲۰۷۰-۲۰۴۱ و ۲۱۰۰-۲۰۷۱ به ترتیب ۸، ۱۷ و ۲۰ درصد نسبت به دوره تاریخی افزایش می‌یابد. Barzegari و Malekinezhad (2017) به بررسی تغییرات نیاز آبی تحت تأثیر تغییر اقلیم پرداختند. نتایج نشان دادند تغییر اقلیم تا سال ۲۱۰۰ منجر به افزایش تبخیر و تعرق و بالا

این محصول، کاشت برنج بسیار حیاتی است و میزان برداشت آن نیز برای اقتصاد کل منطقه حائز اهمیت است. از این رو با توجه به تغییرات اقلیمی در سال‌های اخیر، نیاز آبی برنج برای تولید با راندمان بالاتر و کاهش مصرف آب حائز اهمیت است. در آبخیز تجن نیز با در نظر گرفتن جایگاه و اهمیت محصول برنج در نظام زراعی این منطقه و با توجه به تأثیرات احتمالی تغییر اقلیم در تشدید مساله کمبود آب، ضروری است مطالعه‌های مربوط به ارزیابی تغییرات نیاز آبی گیاهان در واکنش به شرایط تغییر اقلیم، برای برنامه‌ریزی بلندمدت در خصوص بررسی میزان منابع آب موجود حوضه صورت گیرد. بررسی منابع نشان دادند اثر تغییر اقلیم بر تغییرات مداوم تبخیر و تعرق و نیاز آبی و با استفاده از خروجی‌های مدل HadGEM2 با استفاده از نرم‌افزار Lars-WG در این حوضه مورد مطالعه قرار نگرفته است. لذا تحقیق حاضر با هدف ارزیابی تغییرات نیاز آبی این محصول تحت شرایط فعلی و تغییر اقلیم صورت گرفت.

## مواد و روش‌ها

### محدوده مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه، آبخیز تجن واقع در استان مازندران به وسعت ۳۸۱۰ کیلومترمربع است. این حوضه بین طول جغرافیایی "۵۷° ۵۳' ۰۵" تا "۲۶° ۱۸' ۵۳" و عرض جغرافیایی "۱۷° ۰۹' ۳۶" تا "۴۹° ۲۹' ۳۶" واقع شده است. در شکل (۱) موقعیت آبخیز تجن در کشور نشان داده شده است. مرتفع‌ترین نقطه آبخیز تجن در جنوب شرقی حوضه با ارتفاع ۳۶۷۰ متر و پست‌ترین نقطه در خروجی حوضه با ارتفاع ۲۶- متر از سطح دریا واقع شده است. میانگین بارش سالانه معادل ۷۶۰ میلی‌متر و متوسط دمای سالانه حوضه برابر با  $15^{\circ}\text{C}$  می‌باشد (Avand et al., 2021).

رفتن نیاز آبی تا چهار درصد می‌شود. Wang et al. (2018) طی مطالعه‌ای نقش تغییر اقلیم را بر تغییرات نیاز آبی گندم بررسی نمودند. نتایج نشان دادند که نیاز آبی بین ۳/۱ تا ۱۵/۸ درصد افزایش پیدا می‌کند. Arefinia et al. (2020) تأثیرات تغییر اقلیم بر نیاز آبی گندم را در چهار بازه زمانی بررسی کردند. نتایج نشان داد بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار نیاز آبی سالانه برابر ۴۰۳ و ۲۸۶ میلی‌متر به ترتیب مربوط به بازه‌های ۲۰۴۰-۲۰۵۹ و ۲۰۲۰-۲۰۳۹ است. Mohebi (2020) تأثیرات تغییر اقلیم بر نیاز آبی نخیلات را بررسی کردند. نتایج نشان داد نیاز آبی در سه بازه زمانی در مقایسه با دوره پایه برای همه سناریوها و همه بازه‌های زمانی به جز سناریو RCP 8.5 در دوره زمانی ۲۰۱۱-۲۰۴۰ افزایش یافته است. Casolani et al. (2020) در مطالعه‌ای اثر تغییر اقلیم را بر نیاز آبی محصولات بررسی کردند. نتایج نشان دادند نیاز آبی در دوره‌های زمانی ۲۰۴۰-۲۰۱۱، ۲۰۷۰-۲۰۴۱ و ۲۱۰۰-۲۰۷۱ به ترتیب به میزان ۱۹، ۶ و ۲۴ درصد در مقایسه با دوره فعلی افزایش می‌یابد. Li et al. (2020) در تحقیقی به تأثیر تغییر اقلیم بر نیاز آبی پرداختند. نتایج نشان دادند متوسط نیاز آبی محصولات، تحت سناریوهای مختلف بین ۱۳ تا ۱۹ میلی‌متر در سال افزایش می‌یابد. Jia et al. (2021) به بررسی تغییرات نیاز آبی محصولات تحت شرایط تغییر اقلیم پرداختند. نتایج نشان دادند بارش مؤثر ۰/۹۸ میلی‌متر در سال افزایش و نیاز آبی ۲/۲۷ میلی‌متر در سال کاهش می‌یابد. Vila-Traver et al. (2022) طی مطالعه‌ای به تفکیک اثرات تغییر اقلیم و تغییر کاربری اراضی بر بهره‌وری آب پرداختند. نتایج نشان دادند تغییر اقلیم تبخیر و تعرق واقعی و نیاز آبی را به ترتیب نه و ۱۴ درصد افزایش می‌دهد. مازندران استانی با محور تولیدی کشاورزی است و تقریباً کشت تمامی محصولات آن به بارندگی بستگی دارد و از دیرباز از مراکز کشت برنج به‌عنوان دومین محصول استراتژیک کشور بوده است. با توجه به ویژگی‌های اقلیمی و پیوند مستقیم اقتصاد کشاورزان با

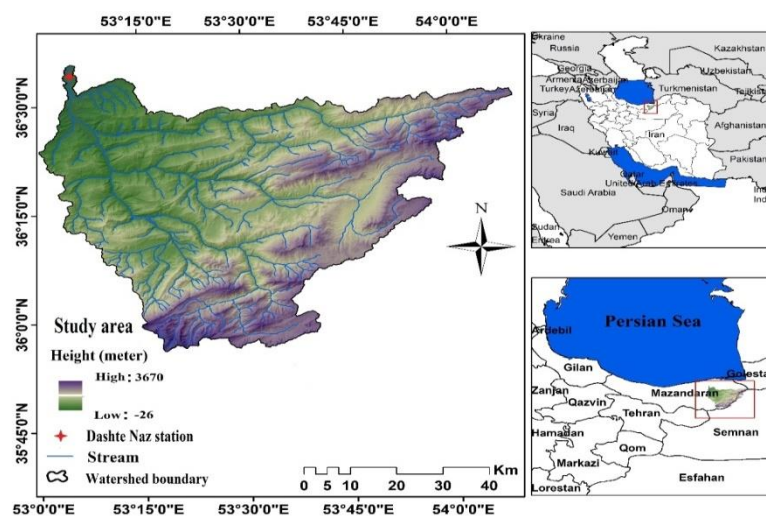


Fig. 1- Study area location

شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

که برای جامعه فرض شده است، ارزیابی شود (Lall, 2015). در این آزمون اگر معیار تصمیم (P-Value) کمتر از پنج درصد باشد، فرض صفر رد می‌شود؛ یعنی داده‌ها از توزیع نرمال پیروی نمی‌کنند. (فرض صفر: بین فراوانی مورد انتظار و مشاهده شده تفاوت معنی‌داری وجود ندارد. به عبارت دیگر داده‌ها از توزیع نرمال تبعیت می‌کنند) (Ansari Ghojghar et al., 2020). آماره آزمون با استفاده از رابطه (۱) محاسبه می‌شود:

$$D_n = \max_x |F_n(x) - F(x)| \quad (۱)$$

آماره آزمون کولموگروف اسمیرنوف حداکثر مقدار  $|F_n(x) - F(x)|$  است (Xiao et al., 2007). در این جا  $F_n(x)$  احتمال تجمعی تجربی و  $F(x)$  تابع توزیع تجمعی نظری است. بنابراین آماره  $D_n$  آزمون کولموگروف اسمیرنوف بیشینه قدرمطلق تفاضل تابع توزیع تجربی و نظری را آشکار می‌کند (Burr, 1964; Wilks, 2006). رابطه‌های ریاضی خطای میانگین مربعات، خطای جذر میانگین مربعات، میانگین قدر مطلق خطا، ضریب تعیین در ادامه آورده شده است (روابط ۲ تا ۵)، (Goodarzi et al., 2015).

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2 \quad (۲)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2} \quad (۳)$$

که در این دو رابطه  $Y_i$  برابر با مقادیر مشاهداتی،  $\hat{Y}_i$  برابر با مقادیر پیش‌بینی شده و  $n$  برابر تعداد داده‌ها است.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - x_i| \quad (۴)$$

که در آن  $y_i$  برابر با مقادیر پیش‌بینی شده،  $x_i$  برابر با مقادیر مشاهداتی و  $n$  تعداد داده‌ها است.

$$R^2 = 1 - \frac{RSS}{TSS} \quad (۵)$$

که در آن  $RSS$  برابر با مجموع مربعات باقی مانده و  $TSS$  مجموع مربعات کل می‌باشد.

به منظور ریزمقیاس‌نمایی از داده‌های روزانه بارش، بیشینه و کمینه دما و ساعات آفتابی ایستگاه دشت‌ناز ساری در سال‌های

## روش تحقیق

در این پژوهش از داده‌های روزانه بارش، بیشینه و کمینه دما، ساعات آفتابی به منظور مدل‌سازی تغییر اقلیم و از داده‌های ماهانه بارش، بیشینه و کمینه دما، ساعات آفتابی، رطوبت نسبی و سرعت باد به منظور برآورد نیاز آبی، ایستگاه دشت‌ناز ساری در سال‌های ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۵ استفاده شده است. ارتفاع ایستگاه دشت‌ناز از سطح دریا برابر با ۱۱ متر و از نوع سینوپتیک می‌باشد. این ایستگاه بین طول جغرافیایی "۲۹° ۱۱' ۵۳" و عرض جغرافیایی "۱۷° ۱۹' ۳۶" واقع شده است.

## مدل‌ها و سناریوهای اقلیمی

با توجه به رابطه مستقیم بین متغیرهای اقلیمی دما و بارش و تبخیر و تعرق گیاهی، ابتدا لازم است که سناریوهای مختلف اقلیمی دما و بارش مورد ارزیابی قرار گرفته و سپس این اطلاعات برای برآورد نیاز آبی گیاهان مورد بررسی قرار گیرد. در پژوهش حاضر، برای بررسی اثرات تغییر اقلیم بر نیاز آبی گیاه برنج در آینده، ابتدا لازم بود که پارامترهای اقلیمی این دوره شبیه‌سازی شوند. در این تحقیق از خروجی‌های یکی از مدل‌های گردش عمومی جوی - اقیانوسی با نام HadGEM2 برای بررسی تغییرات بارندگی و دما تحت سناریوهای اقلیمی RCP 2.6 و RCP 8.5 به عنوان سناریوهای خوش‌بینانه و بدبینانه در محدوده مطالعاتی آبخیز تجن استفاده شده است. گزارش ارزیابی پنجم برخلاف گزارش سناریوهای انتشار استفاده شده در مدل‌های گزارش ارزیابی چهارم، از روند غلظت گازهای گلخانه‌ای استفاده می‌کند. به عنوان مثال در RCP 2.6 کل واداشت تابشی تا سال ۲۰۵۰ حدود سه وات بر مترمربع می‌رسد و بعد از آن رو به کاهش می‌گذارد. سناریو RCP 8.5 به طور مداوم در حال افزایش می‌باشد و نیروی واداشت تابشی تا انتهای قرن ۲۱ به حدود هشت و نیم وات بر مترمربع خواهد رسید (IPCC, 2014).

برای ریزمقیاس‌نمایی (Downscaling) داده‌ها از نرم‌افزار Lars-WG طی سه مرحله کالیبره کردن داده‌ها (Calibration)، ارزیابی داده‌ها و تولید داده‌های هواشناسی برای دوره آتی استفاده (Semenov and Barrow, 2002). به منظور بررسی عملکرد مدل از معیارهای خطای میانگین مربعات (Mean Squared Error -)، خطای جذر میانگین مربعات (Root Mean Square Error)، میانگین قدر مطلق خطا (Mean Absolute Error)، ضریب تعیین (Coefficient of Determination) و آزمون کولموگروف اسمیرنوف (Kolmogorov-Smirnov) استفاده شد. آزمون کولموگروف اسمیرنوف ابزاری کلاسیک و مشهور برای آزمایش فرضیه غیر پارامتری است (Smirnov, Sadhanala et al., 2019). در آزمون کولموگروف اسمیرنوف یک نمونه‌ای داده‌های تجربی را می‌توان در برابر توزیع شناخته شده برآزش داد تا هم‌قوارگی توزیع یک نمونه با توزیعی

### ضریب گیاهی

ضریب گیاهی محصول به عنوان تابعی از مراحل رشد و تحت تأثیر عوامل مختلف از جمله تاریخ برداشت، درجه حرارت، رطوبت نسبی، دوره رشد و تیپ گیاه تغییر می‌کند ( Nikbakht, 2007). پس از محاسبه ضریب گیاهی، تبخیر و تعرق گیاه برنج از رابطه (۷) در نرم‌افزار CROPWAT 8.0 محاسبه شد.

$$ET_c = K_c \cdot ET_0 \quad (7)$$

که در آن:  $K_c$ ، ضریب گیاهی و  $ET_0$ ، تبخیر و تعرق پتانسیل می‌باشد.  $ET_c$  تبخیر و تعرق گیاه برنج در دوره رشد محاسبه شده به میلی‌متر می‌باشد

### بارندگی مؤثر

آن قسمت از بارش که در طی دوره رشد یک گیاه دریافت شده و برای مصارف آن در دسترس قرار گیرد، بارش مؤثر نامیده می‌شود (Ali and Mubarak, 2017). میزان بارندگی مؤثر با استفاده از آمار بارندگی ماهانه و با روش وزارت کشاورزی ایالات متحده آمریکا ( United States Department of Agriculture) توسط نرم‌افزار CROPWAT 8.0 محاسبه شده است. در این روش ارتباط بین میزان بارندگی و بارندگی مؤثر به صورت رابطه‌های (۸) و (۹) بیان می‌شود:

$$P_{eff} = \frac{P}{125 \cdot (125 - 0.2P)} \quad P \leq 250mm \quad (8)$$

$$P_{eff} = 125 + 0.1 \cdot P \quad P > 250mm \quad (9)$$

که در آن  $P_{eff}$ : متوسط بارندگی مؤثر ماهانه و  $p$ : متوسط بارندگی ماهانه می‌باشد. در نهایت برای محاسبه نیاز آبی، از رابطه (۱۰) توسط نرم‌افزار CROPWAT 8.0 استفاده شد که در آن:  $CWR$  نیاز آبی گیاه (مترمکعب بر هکتار) است (Allen et al., 1998; Monteith and Unsworth, 1990; al., 2019; Ramezani Etedali et al., 1965; Monteith, 1965).

$$CWR = 10 \cdot (ET_c - P_{eff}) \quad (10)$$

### نتایج و بحث

#### مدل سازی تغییر اقلیم

نتایج حاصل از تولید داده‌های اقلیمی آینده با استفاده از سناریوی RCP۲/۶ و RCP۸/۵ برای بازه زمانی ۲۰۲۱-۲۰۶۰ در جدول (۱) آورده شده است.

نتایج این بررسی نشان داد در ایستگاه دشت‌ناز ساری، میانگین ماهانه دمای کمینه و دمای بیشینه در تمامی ماه‌های سال دوره آبی در هر دو سناریوی خوش‌بینانه و بدبینانه نسبت به دوره فعلی (۲۰۱۵-۱۹۹۵) افزایش می‌یابد (جدول ۱). این میزان

۱۹۹۵ تا ۲۰۱۵ استفاده شده است. پس از پردازش و مرتب‌سازی داده‌ها و تهیه فایل‌های ورودی، مدل برای دوره پایه اجرا شد. پس از اطمینان از توانایی نرم‌افزار Lars-WG در شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی از طریق مقایسه داده‌های تولید شده توسط مدل HadGEM2 و داده‌های مشاهداتی موجود در دوره پایه، این مدل برای تولید داده‌های آبی با استفاده از سناریوهای اقلیمی خوش‌بینانه و بدبینانه اجرا شد و مقادیر روزانه داده‌های اقلیمی بارش، بیشینه و کمینه دما و ساعات آفتابی ۴۰ سال آینده (۲۰۲۱-۲۰۶۰) تولید و شبیه‌سازی شد.

### نیاز آبی

نیاز آبی گیاه نشان‌گر مقدار آبی است که گیاه در کل فصل رشد برای رشد کامل و محصول‌دهی به آن نیاز دارد (Alizadeh, 2011). برای برآورد نیاز آبی گیاه از نرم‌افزار CROPWAT 8.0 استفاده شد. این مدل، یک مدل ساده بیابان آب است و امکان شبیه‌سازی تنش رطوبتی روی گیاه و محاسبه میزان کاهش محصول را بر پایه روش‌های مدون برآورد تبخیر و تعرق و عکس‌العمل گیاه به تنش آبی میسر می‌سازد. مراحل محاسبه نیاز آبی گیاه در ادامه توضیح داده شده است.

### تبخیر و تعرق گیاهی محصولات کشاورزی

به‌منظور تعیین تبخیر و تعرق گیاه مرجع از روش فائو پنمن - مانتیث (FAO-Penman-Monteith) که مورد تایید کمیته بین‌المللی آبیاری (International commission on irrigation and drainage)، سازمان خواربار جهانی (Food and agricultural organization) و جامعه مهندسی شهری آمریکا (American society of civil engineers) است، در قالب نرم‌افزار CROPWAT 8.0 و بر اساس رابطه (۶) استفاده شد. این روش بروزترین، دقیق‌ترین، جامع و کامل‌ترین تحلیل را در رابطه با فرآیند تبخیر و تعرق گیاه ارائه و کمی‌سازی این معیار را از طریق معادلات ریاضی امکان‌پذیر می‌کند (Gkatsopoulos, 2017).

$$ET_0 = \frac{0.408 \cdot \Delta \cdot (R_n - G) + \gamma \cdot \left( \frac{900}{T + 273} \right) \cdot U_2 \cdot (e_s - e_a)}{\Delta + \Delta \cdot (1 + 0.34 \cdot U_2)} \quad (6)$$

که در آن،  $ET_0$ : تبخیر و تعرق گیاه مرجع ( $mm \cdot day^{-1}$ )،  $R_n$ : تابش خالص در سطح پوشش گیاهی ( $MJ \cdot m^{-2} \cdot day^{-1}$ )،  $T$ : میانگین دمای هوا ( $^{\circ}C$ )،  $U_2$ : سرعت باد در ارتفاع دو متری از سطح زمین ( $m \cdot s^{-1}$ )،  $e_s - e_a$ : کمبود فشار بخار در ارتفاع دو متری ( $Kpa$ )،  $\Delta$ : شیب منحنی فشار بخار ( $Kpa \cdot ^{\circ}C^{-1}$ )،  $\gamma$ : ضریب رطوبتی ( $Kpa \cdot ^{\circ}C^{-1}$ )،  $G$ : شار گرما به داخل خاک ( $MJ \cdot m^{-2} \cdot day^{-1}$ ) است.

مربوط به سناریو RCP۸/۵ در ماه آوریل به میزان ۲/۳۲ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. حداکثر میزان افزایش دمای بیشینه در طی دوره آینده نسبت به دوره پایه مربوط به سناریو RCP۸/۵ در ماه ژوئیه به میزان ۲/۴۴ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. شکل (۲) مقایسه پارامترهای اقلیمی کمینه و بیشینه دمای ماهانه و میانگین ماهانه بارش در دوره پایه و شبیه‌سازی شده (آتی) را در ایستگاه دشت‌ناز ساری نشان می‌دهد.

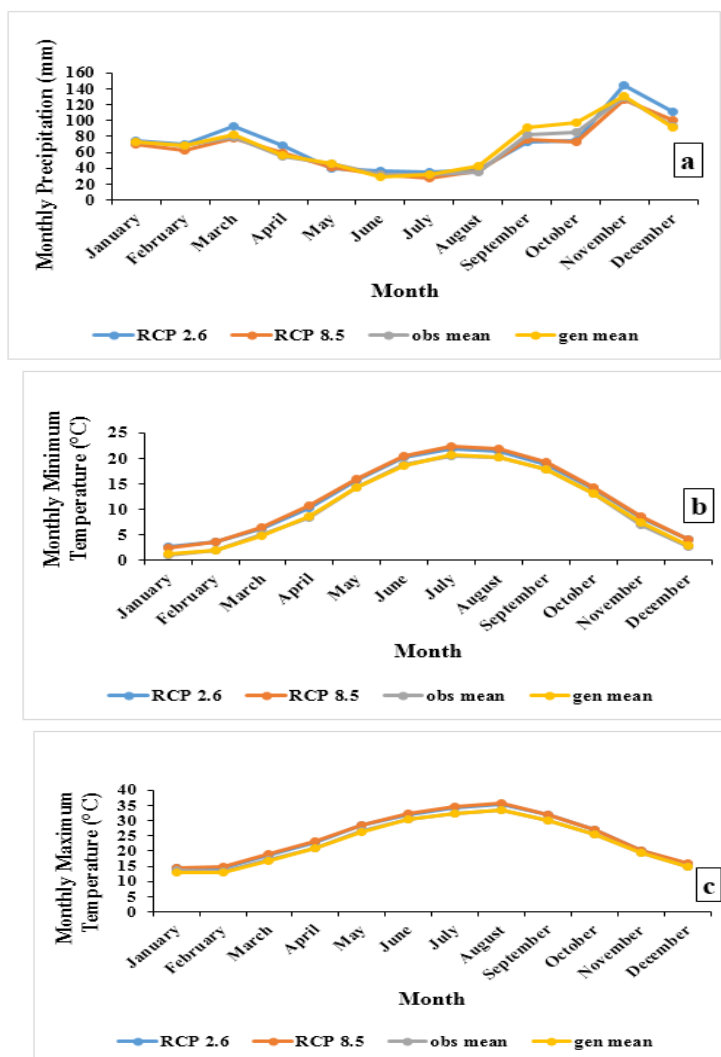
طی سناریوهای مختلف متفاوت است. از طرفی روند افزایشی دما، منجر به افزایش نیاز آبی بخش کشاورزی می‌شود. میانگین ماهانه بارش در دوره آتی در هر دو سناریوی خوش‌بینانه و بدبینانه نسبت به دوره فعلی روند ثابتی ندارد و در ماه‌های مختلف متفاوت است و در بعضی از ماه‌ها بیشتر و یا کمتر برآورد شد. میانگین ماهانه بارش در سناریو بدبینانه در همه ماه‌های سال بجز دو ماه می و سپتامبر، نسبت به سناریو خوش‌بینانه روند کاهشی دارد. حداکثر میزان افزایش دمای کمینه در طی دوره آینده نسبت به دوره پایه

جدول ۱- میانگین ماهانه پارامترهای اقلیمی پیش‌بینی شده تحت سناریوهای RCP۲/۶ و RCP۸/۵ تغییر اقلیم در دوره زمانی ۲۰۲۱-۲۰۶۰

Table 1- Mean monthly climate parameters predicted under RCP 2.6 and RCP 8.5 climate scenarios in 2021-2060 period

Months	Mean Monthly Precipitation (mm)		Mean Monthly Maximum Temperature (°C)				Mean Monthly Minimum Temperature (°C)		
	Future Period		Current Period	Future Period		Current Period	Future Period		
	RCP 8.5	RCP 2.6		RCP 8.5	RCP 2.6		RCP 8.5	RCP 2.6	
January	69.62	75.01	72.89	14.26	14.26	13.56	2.46	2.51	0.99
February	61.76	70.05	67.74	14.66	14.59	13.44	3.54	3.48	1.88
March	76.94	93.37	79.37	19.02	18.58	17.12	6.43	6.18	4.88
April	59.74	68.9	55.39	23.16	22.78	21.07	10.60	10.27	8.28
May	40.48	40.13	45.32	28.42	28.32	26.50	15.99	15.74	14.3
June	32.04	36.69	31.52	32.12	31.93	30.50	20.42	20.14	18.71
July	28.09	35.35	31.71	34.65	34.19	32.21	22.32	21.95	20.47
August	35.79	37.83	34.52	35.57	35.15	33.24	21.73	21.39	20.28
September	76.39	72.64	82.73	31.74	31.72	30.12	19.12	18.85	17.92
October	72.88	74.41	84.71	26.97	26.92	25.39	14.24	14.01	13.09
November	126.75	144.97	129.89	20.32	19.99	19.36	8.54	8.41	6.99
December	100.93	111.13	92.22	15.84	15.6	14.63	4.06	4.07	2.52





**Fig. 2- Comparison of climate parameters for the current and simulated period in Sari Dashte Naz station (a): mean monthly precipitation, (b): Mean Monthly Minimum Temperature, (c): Mean Monthly Maximum Temperature**

شکل ۲- مقایسه پارامترهای اقلیمی در دوره پایه و شبیه‌سازی شده در ایستگاه دشت‌ناز ساری (a): میانگین ماهانه بارش، (b): دمای کمینه ماهانه، (c): دمای بیشینه ماهانه

تبخیر و تعرق گیاه مرجع با توجه به شرایط اقلیمی حوضه تجن در ماه‌های مختلف در دوره فعلی (۲۰۱۵-۱۹۹۵) نشان می‌دهد که کم‌ترین میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع در ماه دسامبر و بعد از آن ژانویه می‌باشد که دارای کم‌ترین مقدار حداقل و حداکثر درجه حرارت روزانه است. گرچه میزان بارش‌ها هم در این ماه‌ها بالا می‌باشد، ولی هنوز میزان نزولات نسبت به بعضی از ماه‌های دیگر کمتر است. بیش‌ترین میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع در ماه ژوئای و بعد از آن ژوئن مشاهده شد. در این ماه‌ها میزان بارش و رطوبت نسبی از سایر ماه‌ها کمتر و حداقل و حداکثر درجه حرارت روزانه، تابش و ساعات آفتابی نسبت به سایر ماه‌ها در بالاترین مقدار می‌باشد. به نظر می‌رسد مجموعه این عوامل باعث افزایش میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع در این ماه شده است. در مرحله بعد با توجه به تغییر در هر یک از پارامترهای اقلیمی، میزان تبخیر

نتایج حاصل از ارزیابی عملکرد مدل با استفاده از معیارهای خطای میانگین مربعات، خطای جذر میانگین مربعات، میانگین قدر مطلق خطا، ضریب تعیین و آزمون کولموگروف اسمیرنوف در دوره پایه در جدول (۲) آورده شده است. همان‌گونه که در جدول مشاهده می‌گردد آزمون کولموگروف اسمیرنوف برای اختلاف داده‌های مشاهده‌ای و مدل‌سازی معنادار نیست ( $P > 0.05$ ). بنابراین اختلاف داده‌ها دارای توزع نرمال است.

#### نتایج پیش‌بینی نیاز آبی محصول با استفاده از نرم‌افزار CROPWAT تبخیر و تعرق گیاه مرجع

اولین مرحله برای محاسبه تبخیر و تعرق محصولات زراعی، برآورد میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع می‌باشد. میانگین تغییرات

بین حداقل آن در مرحله آغازین تا حداکثر آن در مرحله میان فصل در نوسان است (Utset et al., 2007).

### نیاز آبی

نیاز آبی گیاه نشانگر مقدار آبی است که گیاه در کل فصل رشد برای رشد کامل و محصولدهی به آن نیاز دارد (Alizadeh, 2011). بر اساس تبخیر و تعرق محصول و با توجه به بارش مؤثر در منطقه، نیاز آبی محصول برنج در دوره فعلی و آتی تعیین شد. جدول (۳) نتایج نیاز آبی محصول برنج را در دوره فعلی نشان می‌دهد.

در جدول‌های (۴) و (۵) به ترتیب نتایج پیش‌بینی بارش مؤثر و نیاز آبی محصول برنج در شرایط تغییر اقلیم تحت دو سناریو انتشار RCP۲/۶ و RCP۸/۵ در دوره آتی در بازه‌های زمانی (۲۰۲۱-۲۰۴۰) و (۲۰۴۱-۲۰۶۰) ارائه شده است

و تعرق گیاه مرجع در دوره آینده محاسبه گردید. طبق این برآوردها، کم‌ترین میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع همانند دوره فعلی، در ماه‌های دسامبر و بعد از آن ژانویه و بیش‌ترین میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع در ماه‌های آگوست و ژولای می‌باشد. با توجه به وابستگی دیگر پارامترهای اقلیمی به درجه حرارت، این عامل مهم‌ترین عامل تأثیرگذار روی تبخیر و تعرق گیاه مرجع می‌باشد (Nikbakht, 2007).

### ضریب گیاهی

ضریب گیاهی محصول به‌عنوان تابعی از مراحل رشد و تحت تأثیر عوامل مختلف از جمله تاریخ برداشت، درجه حرارت، رطوبت نسبی، دوره رشد و تیپ گیاه تغییر کرده (Nikbakht 2007) و

### جدول ۲- ارزیابی عملکرد مدل در دوره پایه با استفاده از معیارهای مختلف

Table 2- Evaluation of model performance using different criteria for the current period

Station	parameter	MSE	RMSE	MAE	R <sup>2</sup>	K-S	P
Dashte	Minimum Temperature (°C)	0.04	0.20	0.17	0.94	0.50	0.96
Naz	Maximum Temperature (°C)	0.10	0.31	0.23	0.98	0.72	0.66
	Precipitation (mm)	27.48	5.24	3.35	0.95	1.04	0.22

### جدول ۳- میزان تبخیر و تعرق مرجع، بارش مؤثر و نیاز آبی در دوره فعلی

Table 3- Amount of potential evapotranspiration, effective rainfall and water requirement for the current period

Potential Evapotranspiration (mm/Day)	Effective Rainfall (mm/Year)	Water Requirement (m3/ha)	Year
2.72	108.60	6240	1995
2.84	173.60	6817	1996
2.70	175.80	6250	1997
2.82	219.90	6567	1998
2.71	249.00	6373	1999
3.07	175.90	6921	2000
3.07	130.20	6969	2001
2.97	214.20	6626	2002
2.80	227.80	6450	2003
2.86	351.10	6043	2004
2.84	212.50	6475	2005
2.96	74.30	6525	2006
2.88	222.70	6098	2007
2.96	101.60	6602	2008
2.81	204.20	6341	2009
2.93	83.10	6612	2010
2.67	142.40	6116	2011
2.77	166.30	6553	2012
2.74	136.00	6288	2013
2.88	94.80	6684	2014
2.81	162.60	6553	2015

جدول ۴- پیش‌بینی میزان تبخیر و تعرق مرجع، بارش مؤثر و نیاز آبی در دوره آتی (۲۰۲۱-۲۰۴۰)

Table 4- Potential evapotranspiration, effective rainfall and water requirement predicted for the future period (2021-2040)

Potential Evapotranspiration (mm/Day)		Effective Rainfall (mm/Year)		Water Requirement (m3/ha)		Year
RCP 2.6	RCP 8.5	RCP 2.6	RCP 8.5	RCP 2.6	RCP 8.5	
3.18	3.21	140.40	122.40	6971	7106	2021
3.19	3.21	194.00	170.00	6855	6977	2022
3.12	3.14	189.30	166.50	6630	6755	2023
3.00	3.02	227.10	197.90	6636	6749	2024
3.02	3.04	199.10	176.20	6392	6504	2025
2.99	3.02	210.30	169.80	6580	6697	2026
3.08	3.10	232.10	201.90	6596	6715	2027
3.03	3.05	322.00	285.70	6309	6429	2028
3.09	3.11	202.00	170.50	6663	6773	2029
3.01	3.03	215.60	183.20	6544	6644	2030
2.98	3.00	167.10	146.70	6458	6643	2031
2.76	2.78	310.30	276.30	6086	6244	2032
2.87	2.89	341.90	291.40	6412	6578	2033
2.84	2.86	288.60	247.40	6312	6473	2034
2.93	2.95	208.20	115.20	6434	6626	2035
2.91	2.93	212.20	182.10	6402	6590	2036
3.17	3.19	264.90	237.40	7008	7215	2037
3.17	3.19	227.80	193.10	6882	7070	2038
3.11	3.14	246.00	216.10	6663	6833	2039
3.04	3.06	225.00	200.70	6822	6966	2040

جدول ۵- پیش‌بینی میزان تبخیر و تعرق مرجع، بارش مؤثر و نیاز آبی در دوره آتی (۲۰۴۱-۲۰۶۰)

Table 5- Potential evapotranspiration, effective rainfall and water requirement predicted for the future period (2041-2060)

Potential Evapotranspiration (mm/Day)		Effective Rainfall (mm/Year)		Water Requirement (m3/ha)		Year
RCP 2.6	RCP 8.5	RCP 2.6	RCP 8.5	RCP 2.6	RCP 8.5	
3.04	3.07	212.30	189.60	6489	6626	2041
3.04	3.06	159.70	133.30	6785	6931	2042
3.09	3.12	173.30	144.20	6707	6842	2043
3.03	3.06	275.30	235.60	6433	6588	2044
3.09	3.11	219.20	197.40	6690	6826	2045
3.02	3.04	156.90	131.40	6601	6718	2046
2.97	2.99	268.50	226.60	6424	6581	2047
2.76	2.78	247.60	207.70	6175	6311	2048
2.85	2.87	257.20	216.80	6362	6494	2049
2.84	2.86	222.30	187.00	6385	6515	2050
2.91	2.93	199.40	165.60	6382	6542	2051
2.91	2.94	286.30	248.30	6440	6588	2052
3.21	3.23	175.60	152.40	7137	7301	2053
3.17	3.20	251.80	210.20	6916	7067	2054
3.10	3.13	359.50	329.10	6688	6844	2055
3.02	3.04	152.30	137.70	6788	6937	2056
3.01	3.03	242.70	211.40	6437	6582	2057
3.03	3.05	252.80	222.90	6802	6952	2058
3.07	3.09	308.10	255.20	6590	6749	2059
3.05	3.07	173.80	147.30	6461	6614	2060

در شکل‌های (۳) تا (۸) به ترتیب روند تغییرات بارش مؤثر، تبخیر و تعرق مرجع و نیاز آبی محصول برنج آبخیز تجن در بازه زمانی (۲۰۲۱-۲۰۶۰) به منظور مقایسه سناریوهای مختلف نشان داده شده است.

در جدول (۶) نتایج پیش‌بینی میانگین تبخیر تعرق مرجع، بارش مؤثر و نیاز آبی محصول برنج در شرایط تغییر اقلیم تحت دو سناریو انتشار RCP۲/۶ و RCP۸/۵ در بازه‌های زمانی (۲۰۴۰-۲۰۶۰) و (۲۰۲۱-۲۰۶۰) و همچنین میزان این پارامترها در دوره فعلی ارائه شده است.

جدول ۶- نتایج پیش‌بینی میانگین تبخیر و تعرق مرجع، بارش مؤثر و نیاز آبی در دوره فعلی و آتی

Table 6- Mean potential evapotranspiration, mean effective rainfall and mean water requirement predicted results for the current and future period

	Potential Evapotranspiration (mm/Day)				Effective Rainfall (mm/Year)	Water Requirement (m3/ha)			
	RCP 2.6		RCP 8.5			RCP 2.6		RCP 8.5	
Current Period	2021-2040	2041-2060	2021-2040	2041-2060	Current Period	2021-2040	2041-2060	2021-2040	2041-2060
	2.84	3.02	3.01	3.03	272.69	231.12	222.73	52.761	87.461
								687.9	728.59
								948.59	672.3
									93.9

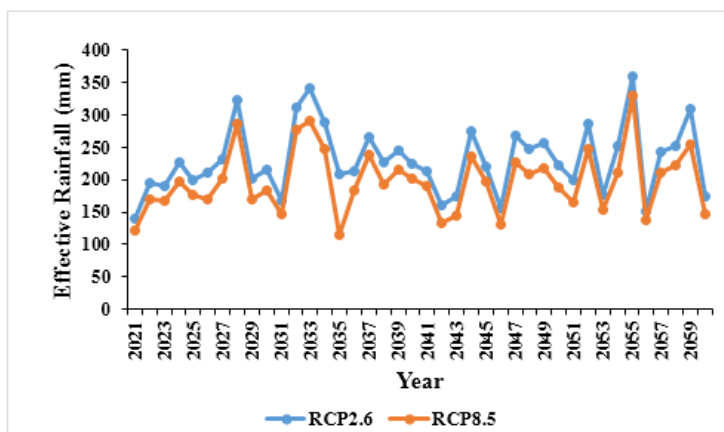


Fig.3- Mean effective rainfall under RCP 2.6 and RCP 8.5 climate scenarios

شکل ۳- میانگین بارش مؤثر تحت دو سناریو RCP۲/۶ و RCP۸/۵ تغییر اقلیم

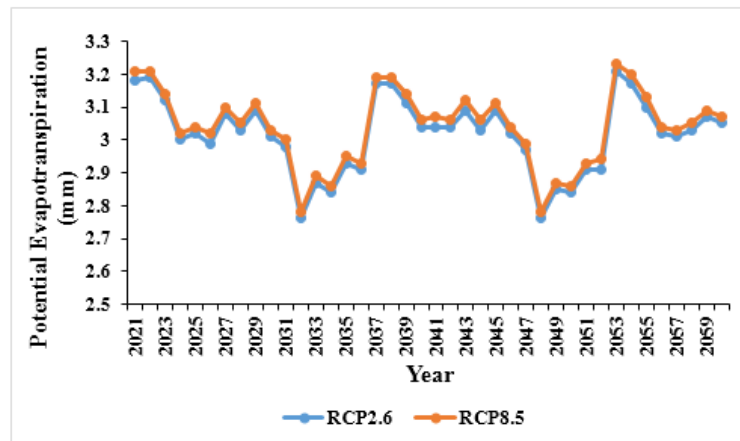


Fig. 4- Mean potential evapotranspiration under RCP 2.6 and RCP 8.5 climate scenarios

شکل ۴- میانگین تبخیر و تعرق مرجع تحت دو سناریو مختلف تغییر اقلیم

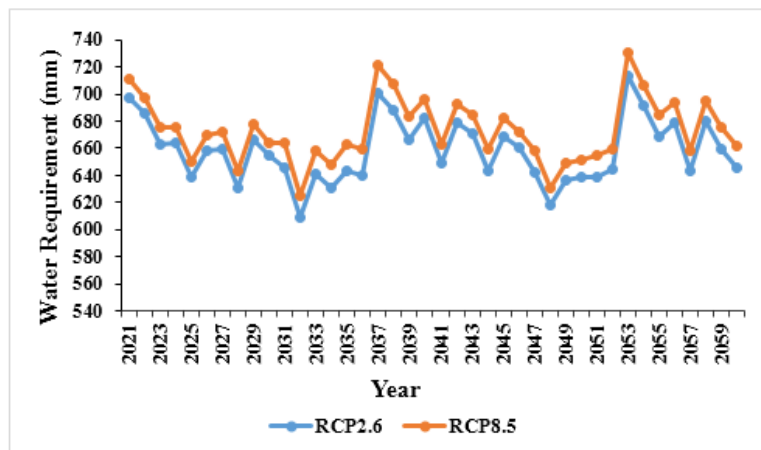


Fig. 5- Mean water requirement under RCP 2.6 and RCP 8.5 climate scenarios

شکل ۵- میانگین نیاز آبی تحت دو سناریو مختلف تغییر اقلیم

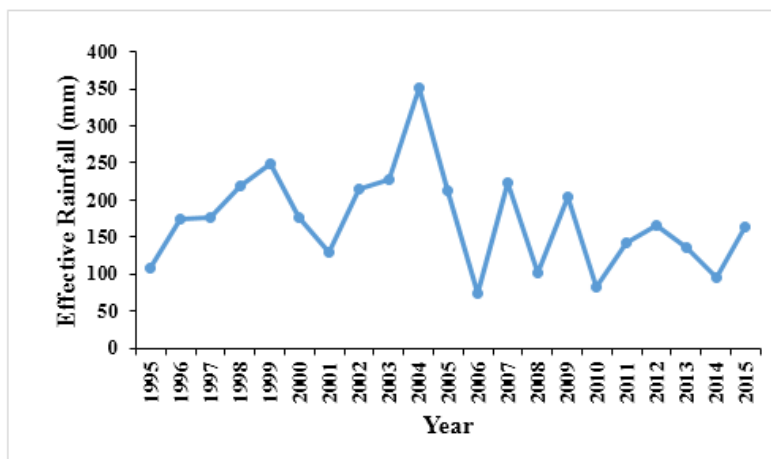


Fig. 6- Mean effective rainfall for the current period

شکل ۶- میانگین بارش مؤثر دوره فعلی

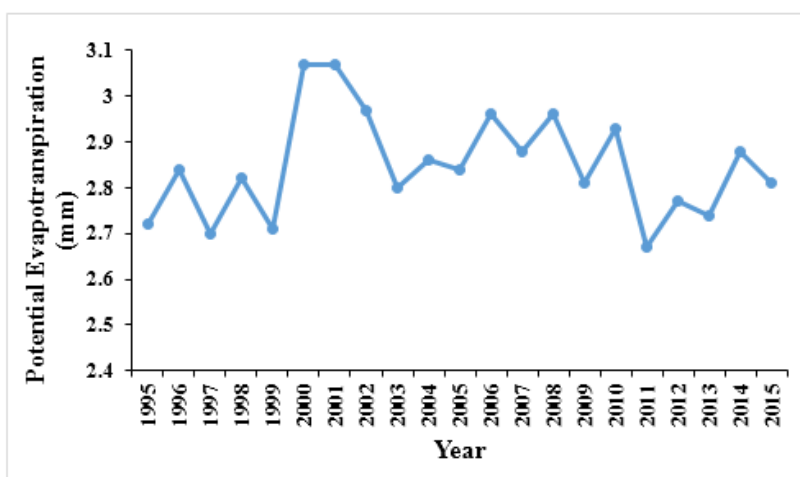


Fig. 7- Mean potential evapotranspiration for the current period

شکل ۷- میانگین تبخیر و تعرق مرجع دوره فعلی

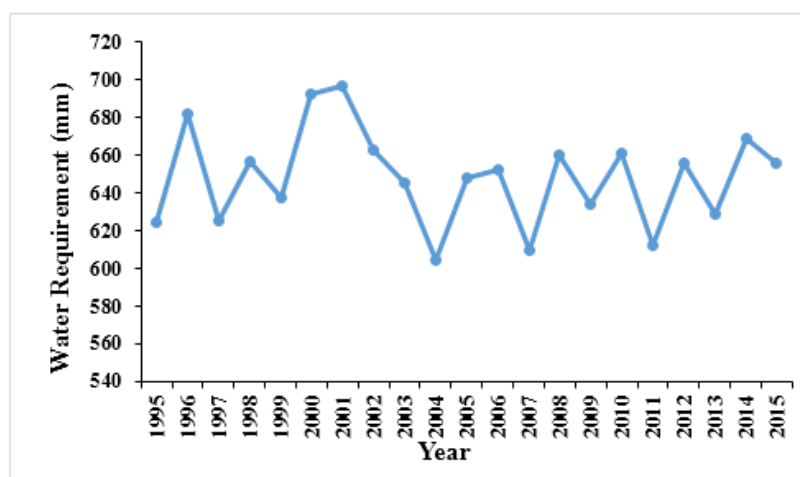


Fig. 8- Mean water requirement for the current period

شکل ۸- میانگین نیاز آبی در دوره فعلی

است، افزایش داشته است. علت اصلی این افزایش را می‌توان در افزایش میزان تبخیر و تعرق گیاه دانست.

در این پژوهش سعی شده است تأثیر تغییر اقلیم بر نیاز آبی محصول برنج در آبخیز تجن مورد بررسی قرار گیرد. نتایج پیش‌بینی میانگین تبخیر و تعرق مرجع، بارش مؤثر و نیاز آبی محصول برنج در شرایط تغییر اقلیم تحت دو سناریو انتشار RCP۲/۶ و RCP۸/۵ در بازه‌های زمانی (۲۰۲۱-۲۰۴۰) و (۲۰۴۱-۲۰۶۰) و همچنین میزان این پارامترها در دوره فعلی نشان می‌دهد که میزان تبخیر و تعرق مرجع در طی این دو دوره کاهش می‌یابد. یک پارامتر به تنهایی روی میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع تأثیر گذار نیست، بلکه این اثرات متقابل اقلیمی است که میزان تبخیر و تعرق را تعیین می‌کند. اما میزان بارش مؤثر نیز در طی این دو بازه زمانی روند کاهشی دارد. بنابراین به دنبال آن باعث افزایش میزان نیاز آبی گیاه می‌شود. میزان این پارامترها شامل میانگین تبخیر و تعرق مرجع، بارش مؤثر و نیاز آبی

همان‌طور که در شکل (۳) مشاهده می‌شود، بر اساس سناریو RCP۲/۶ که حالت خوش‌بینانه است، مقدار بارش مؤثر در بازه‌های زمانی مورد مطالعه نسبت به دوره فعلی و سناریو RCP۸/۵ که حالت بدبینانه است، بیشتر است. اما میزان آن در دوره (۲۰۴۱-۲۰۶۰) نسبت به دوره (۲۰۲۱-۲۰۴۰) کاهش می‌یابد.

در شکل‌های (۴) و (۵) نیز مشاهده می‌شود که تبخیر و تعرق و نیاز آبی برنج روندی مشابه و تقریباً نزدیک به هم دارند. به‌طور کلی بر اساس شکل (۴) می‌توان بیان نمود که میزان تبخیر و تعرق مرجع گیاه در هر دو سناریو انتشار در تمام بازه‌های زمانی نسبت به حالت پایه که میزان آن برابر با ۲/۸۴ میلی‌متر است، افزایش داشته است. هم‌چنین با توجه به شکل (۵) مقدار نیاز آبی برنج بر اساس هر دو سناریو انتشار در تمام بازه‌های زمانی نسبت به حالت پایه که میزان آن برابر با ۶۴۸۱ مترمکعب در هکتار

شده توسط Li et al. (2020) که متوسط نیاز آبی محصولات تحت سناریوهای مختلف بین ۱۳ تا ۱۹ میلی‌متر در سال افزایش یابد، مطالعه صورت گرفته توسط Vila-Traver et al. (2022) که در آن افزایش نیاز آبی به میزان ۱۴ درصد پیش‌بینی شده، بررسی انجام شده توسط Barzegari و Malekinezhad (2017) که بر طبق نتایج حاصل، نیاز آبی تا سال ۲۱۰۰ تا ۴ درصد افزایش می‌یابد و مطالعه صورت گرفته توسط Mohebi (2020) که بر طبق نتایج حاصل، نیاز آبی در سه بازه زمانی در مقایسه با دوره پایه برای همه سناریوها و همه بازه‌های زمانی به جز سناریو RCP 8.5 در دوره زمانی ۲۰۴۰-۲۰۱۱، افزایشی بین ۰/۱۶ تا ۱۰/۷ درصد داشته است، هم راسا و با نتایج حاصل از بررسی‌های Jia et al. (2021) که بر طبق نتایج آن، نیاز آبی ۲/۲۷ میلی‌متر در سال کاهش می‌یابد و تحقیق انجام شده توسط Chattaraj et al. (2014) که در آن نیاز آبی گندم برای دوره ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰ نسبت به دوره فعلی بین ۲/۹ تا ۵۹/۳ میلی‌متر یا یک تا ۲۲ درصد کاهش می‌یابد، متفاوت است. دلیل این تفاوت علاوه بر شرایط اقلیمی مناطق مورد بررسی، به نوع محصول مورد بررسی و ضریب گیاهی مربوط به آن، پراکندگی زمانی وقوع بارش‌ها و زمان‌بندی آبیاری محصولات، مدل‌ها و سناریوهای استفاده شده برمی‌گردد.

### نتیجه‌گیری

کاشت واقع‌بینانه محصول به درک صحیح از شرایط آب و هوایی بستگی دارد. آگاهی از میزان بارش سالانه، دوره رشد، بارش مؤثر و مقادیر نیاز آبی برای برنامه‌ریزی عملیات کشاورزی به‌منظور استفاده بهینه از منابع آبی محدود، کمک شایان توجهی می‌کند. برآورد صحیح مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل برنامه‌ریزان را قادر می‌سازد تا با مشخص کردن سقف نیاز آبی، علاوه بر تأمین بخشی از نیاز از طریق بارش و نهایتاً بارش مؤثر، به فکر فراهم آوردن بقیه نیاز آبی از سایر منابع آب نظیر رودخانه‌ها، سدها و چاه‌ها باشند. پژوهش حاضر با هدف ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر روند تغییرات نیاز آبی محصول برنج در آبخیز تجن صورت گرفت. در این خصوص نتایج زیر شایان توجه است:

- تغییر اقلیم باعث روند افزایشی نیاز آبی محصول در دوره زمانی آتی (سال‌های ۲۰۲۱-۲۰۶۰) می‌شود.
- در هر دو سناریوهای اقلیمی (بدبینانه و خوش‌بینانه) نیاز آبی نسبت به دوره تاریخی افزایش می‌یابد.
- میزان افزایش نیاز آبی در دوره زمانی آتی دور (۲۰۶۰-۲۰۴۱) در مقایسه با دوره زمانی آتی نزدیک (۲۰۴۰-۲۰۲۱) نسبت به دوره تاریخی، بیشتر است.

نتایج تحقیق حاضر نشان می‌دهد که استفاده از مدل به‌کار رفته در این پژوهش برای پیش‌بینی تغییر اقلیم و اثرات ناشی از آن بر نیاز آبی محصولات زراعی با دقت مطلوبی امکان‌پذیر خواهد بود. در حال حاضر، استفاده از این مدل‌ها تنها راه موجود برای

محصول برنج در دوره آتی (شرایط تغییر اقلیم) نسبت به دوره فعلی افزایش یافته است. نیاز آبی محصول برنج در بازه زمانی (۲۰۴۰-۲۰۲۱) نسبت به بازه زمانی (۲۰۴۰-۲۰۲۱) در هر دو سناریو خوش‌بینانه و بدبینانه افزایش می‌یابد. میانگین نیاز آبی برنج در سناریو RCP 2.6 در بازه زمانی ۲۰۴۰-۲۰۲۱ و ۲۰۶۰-۲۰۴۱ به ترتیب برابر با ۶۵۸۲ و ۶۵۸۴ مترمکعب در هکتار (۱/۵۸ و ۱/۶۱ درصد افزایش نسبت به دوره فعلی) و در سناریو RCP 8.5 در بازه زمانی ۲۰۴۰-۲۰۲۱ و ۲۰۶۰-۲۰۴۱ به ترتیب برابر با ۶۷۲۹ و ۶۷۳۰ مترمکعب در هکتار (۳/۸۵ و ۳/۸۶ درصد افزایش نسبت به دوره فعلی) به‌دست آمد. بنابراین نیاز آبی بر اساس هر دو سناریو انتشار در تمام بازه‌های زمانی نسبت به دوره تاریخی که میزان آن برابر با ۶۴۸۱ مترمکعب در هکتار است، افزایش داشته است. با توجه به مطالعه‌های مختلف، ارقام متفاوتی برای نیاز آبی محصول برنج محاسبه شده است که از آن جمله می‌توان به پژوهش انجام شده توسط Sheidaei et al. (2015) در آبخیز تجن که در آن نیاز آبی برنج در دوره فعلی (۱۹۷۱-۲۰۰۱) برابر با ۶۳۵۰ مترمکعب در هکتار و در دوره‌های آتی (۲۰۱۱-۲۰۴۰)، (۲۰۴۱-۲۰۷۰) و (۲۰۷۱-۲۱۰۰) به ترتیب برابر با ۶۸۴۲، ۷۴۳۵ و ۷۷۲۹ مترمکعب در هکتار برآورد شد، تحقیق انجام شده توسط Irannezhad et al. (2020) در استان مازندران که در آن متوسط نیاز آبی برنج در شهرهای انتخاب شده رامسر، قائم‌شهر، بابلسر و نوشهر در دوره فعلی (۱۹۸۴-۲۰۱۷) برابر با ۳۷۹۴ مترمکعب در هکتار محاسبه شد، بررسی صورت گرفته توسط Darzi Naftchali و Karandish (2016) در استان مازندران در ایستگاه‌های بابلسر، قراخیل، نوشهر و رامسر، که در آن، نیاز آبی دوره فعلی (۱۹۸۰-۲۰۱۰) به ترتیب برابر با ۴۰۰۸، ۳۷۷۱، ۴۱۶۹ و ۴۱۲۱ مترمکعب در هکتار و مقدار متوسط آن برای دوره‌های آتی (۲۰۱۱-۲۰۴۰)، (۲۰۴۱-۲۰۷۰) و (۲۰۷۱-۲۱۰۰) به ترتیب برابر با ۳۴۸۳، ۳۵۲۶، ۳۸۴۶ و ۳۵۲۰ مترمکعب در هکتار به‌دست آمد و در مطالعه انجام شده توسط Mojarad et al. (2005) که در آن، متوسط نیاز آبی در محدوده مطالعاتی دشت مازندران که در برگیرنده ۱۰ ایستگاه از جمله ایستگاه دشت ناز ساری می‌باشد، برابر با ۸۳۶۷ مترمکعب در هکتار به‌دست آمد، اشاره کرد. نتایج حاصل از این تحقیق با مطالعه صورت گرفته توسط Ye et al. (2015) که در آن مقادیر گزارش شده نیاز آبی محصول برنج در دوره‌های زمانی ۲۰۴۰-۲۰۱۱، ۲۰۷۰-۲۰۴۱ و ۲۱۰۰-۲۰۷۱ به ترتیب ۸، ۱۷ و ۲۰ درصد نسبت به دوره تاریخی افزایش می‌یابد، تحقیق صورت گرفته توسط Wang et al. (2018) که در آن نیاز آبی گندم بین ۳/۱ تا ۱۵/۸ درصد افزایش پیدا می‌کند، تحقیق انجام شده توسط Casolani et al. (2020) که نیاز آبی گزارش شده در دوره‌های زمانی ۲۰۴۰-۲۰۱۱، ۲۰۷۰-۲۰۴۱ و ۲۱۰۰-۲۰۷۱ به ترتیب به میزان ۱۹/۶ و ۲۴ درصد در مقایسه با دوره فعلی افزایش می‌یابد، بررسی انجام

محصولات کشاورزی تحت تأثیر تغییر اقلیم، نتایج خروجی مدل‌های مختلف گردش عمومی جوی- اقیانوسی باهم مورد مقایسه قرار گیرد.

### تقدیر و تشکر

بدین‌وسیله از بخش مطالعات شرکت سهامی آب منطقه‌ای مازندران برای امکان دسترسی به داده‌های اولیه تشکر و قدردانی می‌گردد.

مطالعه اثرات تغییر اقلیم بر روی نیاز آبی در مقیاس منطقه‌ای می‌باشد. با توجه به این مطلب و مشکلات جدی‌تر کمبود آب در آینده منطقه مورد بررسی، برنامه‌ریزان باید این مساله را برای برنامه‌ریزی تخصیص منابع آبی آینده در نظر داشته باشند و از طریق تغییر سیستم کشت و یا افزایش راندمان آبیاری در راستای تعدیل اثرات تغییر اقلیم بر بخش کشاورزی اقدام نمایند. نتایج پژوهش حاضر می‌تواند ابزار سودمندی برای مدیران، برنامه‌ریزان و سیاست‌گذاران بخش آب به‌منظور مدیریت صحیح و پایدار منابع آب و در راستای توسعه پایدار کشاورزی باشد. پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی، برای ارزیابی دقیق‌تر میزان تغییرات نیاز آبی

### References

- 1- Ali, M.H. and Mubarak, S., 2017. Effective rainfall calculation methods for field crops: An Overview, Analysis and New Formulation. *Asian Research Journal of Agriculture*, 7(1), pp. 1-12.
- 2- Alizadeh, A., 2011. *Soil, Water and Plant Relationship* (12th Ed). Emam Reza University Press, Mashhad, Iran. (In Persian).
- 3- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements. *FAO Irrigation and Drainage Paper 56*, Rome, Italy.
- 4- Ansari Ghojghar, M., Pourgholam Amiji, M. and Araghinejad, SH., 2020. Investigating the Relationship between Drought and Trend of the Frequency of Dust Storms in the West and Southwest of Iran. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 51 (11), pp. 2839-2852. (In Persian). DOI: 10.22059/IJSWR.2020.304439.668648.
- 5- Arefinia, A., Ahmadaali, KH. and Nasiri Maryan, M., 2020. Estimating the Winter Wheat Water Requirement under Climate Change Scenarios in Gorgan Plain. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 51 (7), pp. 1857-1868. (In Persian). DOI: 10.22059/IJSWR.2020.292692.668398.
- 6- Avand, M., Moradi, H. and Ramazanzadeh lasboyee, M., 2021. Using Machine Learning Models, Remote Sensing, and GIS to Investigate the Effects of Changing Climates and Land Uses on Flood Probability. *Journal of Hydrology*, 595, pp. 125663. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2020.125663.
- 7- Bannayan, M., Sanjani, S., Alizadeh, A. and Lotfabadi, S., 2010. Association between climate indices, aridity index, and rain fed crop yield in northeast of Iran. *Field Crops Research Journal*, 118(2), pp. 105-114. DOI: 10.1016/j.fcr.2010.04.011.
- 8- Barzegari, F. and Malekinezhad, H., 2017. Investigation of the Effects of Climate Change on Sustainability of Water Need and Water Consumption of Agricultural Section in the Yazd-Ardakan Plain. *Journal of Agroecology*, 10 (4), pp. 1161-1176. (In Persian). DOI: 10.22067/JAG.V10I4.62527.
- 9- Burr, E., 1964. Distribution of the two-sample Cramér-von Mises  $W_2$  and Watson's  $U_2$ . *The Annals of Mathematical Statistics*, 35(3), pp. 1091-1098. DOI: 10.1214/aoms/1177703267.
- 10- Casolani, N., Cartone, A., Postiglione, P. and Liberatore, L., 2020. Climate variability in agriculture and crop water requirement: Spatial analysis of Italian provinces. *Journal of Cleaner Production*, 262, pp. 121331. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.121331.
- 11- Chattaraj, S., Chakraborty, D., Sehgal, V.K., Paul, R.K., Singh, S.D., Daripa, A. and Pathak, H., 2014. Predicting the impact of climate change on water requirement of wheat in the semi-arid Indo-Gangetic Plains of India. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 197, pp. 174-183. DOI: 10.1016/j.agee.2014.07.023.



- 12- Darzi Naftchali, A. and Karandish, F., 2016. Rice Cultivation Management in Mazandaran Province under Climate Change. *Water Research in Agriculture*, 30 (3), pp. 333-346. (In Persian).
- 13- Gkatsopoulos, P., 2017. A Methodology for Calculating Cooling from Vegetation Evapotranspiration for Use in Urban Space Microclimate Simulations. *Procedia Environmental Sciences*, 38, pp. 477 – 484. DOI: 10.1016/j.proenv.2017.03.139.
- 14- Goodarzi, M., Khosravianian, J. and Hejazi, A., 2015. Prediction of climatic parameters using Lars-WG model in Ghareesu. *Geographic Space*, 15 (51), pp.263-279. (In Persian).
- 15- IPCC., 2013. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. *Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*. Cam-bridge, United Kingdom and New York, USA.
- 16- IPCC., 2014. Climate Change 2014 Synthesis Report. Summary for Policymakers. *Contribution of Working Group I, II and III to Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*. In: R. Pachauri and L. Meyer (eds). Geneva, Switzerland.
- 17- Irannezhad, E., Mohammadi, H. and Borna, R., 2020. The effect of climate change on the water demand of rice in Mazandaran province. *Natural Geography*, 12 (46), pp. 1-14. (In Persian).
- 18- Jia, K., Yang, Y., Dong, G., Zhang, C. and Lang, T., 2021. Variation and determining factor of winter wheat water requirements under climate change. *Agricultural Water Management*, 254, pp. 106967. DOI: 10.1016/j.agwat.2021.106967.
- 19- Kolmogorov, A., 1933. Sulla determinazione empirica di una legge di distribuzione. *Giornale dell'Istituto Italiano degli Attuari*. 4, pp. 83–91.
- 20- Lall, A., 2015. Data streaming algorithms for the Kolmogorov-Smirnov test. *IEEE International Conference on Big Data*, pp. 95–104. DOI: 10.1109/BigData.2015.7363746.
- 21- Li, Z., Fang, G., Chen, Y., Duan, W. and Mukanov, Y., 2020. Agricultural water demands in Central Asia under 1.5 °C and 2.0 °C global warming. *Agricultural Water Management*, 231, pp. 106020. DOI: 10.1016/j.agwat.2020.106020.
- 22- Mohebi, A.H., 2020. Investigation of Water Requirements of Date Palms in Bam Region Due to Climate Change in Future Periods. *Journal of Water and Sustainable Development*, 7 (3), pp. 83-87. (In Persian).
- 23- Mojarad, F., Ghamarnia, H. and Nasiri, S., 2005. Estimation of effective rainfall and water requirement for rice cultivation in Mazandaran Plain. *Geographical Research Quarterly*, 54, pp. 59-76. (In Persian).
- 24- Monteith, J. L., 1965. Evaporation and environment. *19th Symposia of the Society for Experimental Biology*. 19, pp. 205–234.
- 25- Monteith, J.L. and Unsworth, M.H., 1990. *Principles of environmental physics* (2nd ed). Edward-Arnold Publishers Ltd. New York.
- 26- Nikbakht, J., Mohammadi, K. and Ehteshami, M., 2007. Estimation of Crop Evapotranspiration in Different Probability Levels: Case study in Maragheh, East AzarBaijan. *Journal of Agricultural Sciences*, 13 (1), pp. 95-106. (In Persian).
- 27- Ramezani Etedali, H., Ahmadaali, K., Gorgin, F. and Collins, B., 2019. Optimization of the cropping pattern of main cereals and improving water productivity: application of the water footprint concept. *Irrigation and Drainage*, 68(4), pp. 765-777. DOI: 10.1002/ird.2362.
- 28- Sadhanala, V., Wang, Y.X., Ramdas A. and Tibshirani, R.J., 2019. *A higher-order kolmogorovsmirnov test*. arXiv preprint arXiv, pp.1903.10083.

- 29- Semenov, M.A. and Barrow, E.M., 2002. *LARS-WG: A Stochastic Weather Generator for Use in Climate Impact Studies. User's manual, Version 3.0*. Rothamsted Research Station.
- 30- Sheidaeian, M., Ziatabar Ahmadi, M.Kh. and Fazloulou, R., 2015. Study on Climate Change Effect on Net Irrigation Requirement and Yield for Rice Crop (Case Study: Tajan Plain). *Water and Soil*, 28 (6), pp. 1284-1297. (In Persian).
- 31- Smirnov, N., 1948. Table for estimating the goodness of fit of empirical distributions. *Annals of Mathematical Statistics*, 19(2), pp. 279–281.
- 32- Utset, A., Velicia, H., Delrio, B., Morillo, R., Centenio, J. A. and Martinez, J. C., 2007. Calibrating and validating an agrohidrological model to simulate sugar beet water use under Mediterranean conditions. *Agricultural Water Management*, 94(3), pp. 11-21. DOI: 10.1016/j.agwat.2007.07.007.
- 33- Vila-Traver, J., Gonzalez de Molina, M., Infante-Amate, J. and Aguilera, E., 2022. Disentangling the effect of climate and cropland changes on the water performance of agroecosystems (Spain, 1922–2016). *Journal of Cleaner Production*, 344, pp. 130811. DOI: 10.1016/j.jclepro.2022.130811.
- 34- Wang, J., 2010. Food security, food prices and climate change in China: A dynamic panel data analysis. *Journal of Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 1, pp. 321-324.
- 35- Wang, J., Liu, X., Cheng, K., Zhang, X., Li, L. and Pan, G., 2018. Winter wheat water requirement and utilization efficiency under simulated climate change conditions: A Penman-Monteith model evaluation. *Agricultural Water Management*, 197, pp. 100–109. DOI: 10.1016/j.agwat.2017.11.015.
- 36- Wilks, D.S., 2006. *Statistical methods in the atmospheric sciences* (2nd ed). Academic Press. Elsevier Inc. U. S. A, pp. 627.
- 37- Xiao, Y., Gordon, A. and Yakovlev, A., 2007. A C++ program for the Cramér-von Mises two-sample test. *Journal of Statistical Software*, 17(8), pp. 1-15. DOI: 10.18637/jss.v017.i08.
- 38- Ye, Q., Yang, X., Dai, S., Chen, G., Li, Y. and Zhang, C., 2015. Effects of climate change on suitable rice cropping areas, cropping systems and crop water requirements in southern China. *Agricultural Water Management*, 159, pp. 35–44. DOI: 10.1016/j.agwat.2015.05.022.