

# Assessing phenological growth stages of barberry tree growth and the effect of climate change on its water requirement in Iran

Hasan Rezaei<sup>1\*</sup> , Mohamad Motamedi Rad<sup>2</sup> 

<sup>1</sup> Assistant Professor, Department of Geography, Imam Ali Military University, Tehran, Iran

<sup>2</sup> Assistant Professor, Department of Humanities and Social Sciences, Farhangian University, Tehran, Iran

## Abstract

### Introduction

Increasing the efficiency of water consumption and water management is necessary to meet the water needs of agricultural plants which need to consider the variables affecting water consumption, including water needs and the amount of evaporation and transpiration. In this regard, evaporation and transpiration are important indicators in the process of plant growth and their amount is considered equal to the water requirement of the plant. On the other hand, climate change can affect water demand by changing the expected patterns for the average weather condition in the long term in a specific region or for the entire global climate. In the present study, the phenological stages of the seedless barberry tree were determined based on field observations at the Ghaen synoptic meteorological station. The seedless barberry tree is one of the commercial cultivars in Iran. In this research, the effect of climate change on the water requirement of barberry cultivation has been evaluated based on RCP scenarios in the near and far future.

### Materials and Methods

In the field part, in order to identify the occurrence time of the phenology stages and temperature thresholds, a series of visits and daily and weekly notes were made in the field during growing season of the barberry tree. For this purpose, a private and fertile commercial orchard with a suitable cultivated area of seedless barberry trees was selected. The studied garden group with three hectares of cultivated area in Qain city was identified as one of the most fertile gardens in the region. This private garden is located in Qain city, at a position of 33 degrees and 43 minutes of north latitude and 59 degrees and 10 minutes of east longitude and a height of 1432 meters above sea level. In this study, the phenology stages of seedless barberry trees as one of the commercial cultivars of Iran were determined. The BBCH coding system was used to record the phenology stages (Enriquez-Hidalgo et al., 2020). This scale has a 100-part table with codes from 0 to 99 and is designed for different phases (Feldmann and Rutikanga, 2021). It was used in the synoptic meteorological station of Qain city for one year from the beginning of germination to the end of the dormant period. In fact, the codes of the phenology stages were observed and recorded in the field. After determining the phenological stages of barren barberry trees, the water requirement of the selected tree species has been calculated. In the next step, to determine the water requirement, the reference evaporation and transpiration rate must be multiplied by the plant coefficient. For this purpose, the available data including hours of sunshine, the average temperature during the growing season, average rainfall, minimum temperature, maximum temperature, evaporation, and transpiration obtained from the National Meteorological Organization for 18 valid meteorological stations from 1987 to 2017 on hourly and daily time scales were used to predict the climatic condition. Toward this, the climatic condition of the near future (2059-2030) and the far future (2089-2060) has been predicted considering pessimistic (RCP8.5), and optimistic (RCP4.5) scenarios.

### Results and Discussion

The results showed that barberry needs six phenological stages to complete the growth period from early April to late November. Also, the amount of water requirement for barberry trees in the base period (1987-2017) on a daily basis in the eastern region under study is more than in the west and northwest of the region. The water requirement in the northwestern and western parts is more than in the east of the region under study, which is the

reason for the increase in the length of the barberry phenology stage in the region has been mentioned. The results of climate change analysis showed that the daily water requirement of barberry (2030-2059) based on the RCP8.5 model during the growing season varies between 4.5-5.8 mm per day and the total water requirement is 990-1260 mm. According to the RCP4.5 model, the daily water requirement of barberry varies between 5.6-5.8 mm per day and the total water requirement is 1290-990 mm. The daily water requirement of barberry according to the RCP4.5 model (2060-2089) varies between 4-5 mm per day and the total water requirement is 960-1150 mm. Also, the daily water requirement of barberry according to the RCP8.5 model varied between 4.5-8.2 mm per day. The total water requirement of the barberry tree is 950-1300 mm.

### Conclusion

The present study was conducted with the aim of measuring the phenology stages of the seedless barberry tree and the water requirement of the barberry tree according to the conditions of climate change in the areas prone to its cultivation in Iran. The results showed that the barberry tree needs six phenology stages to complete its growth cycle. The growth period according to climatic conditions and topography lasts from early April to late November. The results of estimating the water requirement in the base period showed that the cities of Kerman, Yazd, Qain, Birjand, Zahedan and Torbat Heydarieh need the most water during the growth stage (1330-1240 mm per day) and the lowest water requirement of the barberry tree in the north It is in the west and west of the country, but in the future, the amount of water needed by the barberry tree in the northwest and west is more than the center and east of the study area, which is the reason for the earlier completion of the phenology stages in the center and east of the country, for this reason, these areas are among the unsuitable areas. It is considered cultivation. Since the annual rainfall changes from year to year; Therefore, the irrigation project cannot be planned only based on one year's information, so long-term records are needed to calculate the effective rainfall based on the probability of occurrence. Cultivation of barberry is very desirable in terms of irrigation for dry and semi-arid areas where farmers are facing water shortages. Considering that water is the main and essential requirement of any product; Therefore, it is essential to estimate the water requirement of each plant.

**Keywords:** Barberry, Iran, Phenology, RCP, Water requirement

**Article Type:** Research Article

\*Corresponding Author, E-mail: rezaei\_h@iamu.ac.ir

**Citation:** Rezaei, H., & Motamedi Rad, M. (2023). Assessing phenological growth stages of barberry tree growth and the effect of climate change on its water requirement in Iran. *Water and Soil Management and Modeling*, 3(2), 78-92.

DOI: 10.22098/mmws.2022.11189.1105

DOR: 20.1001.1.27832546.1402.3.2.6.0

Received: 24 July 2022, Received in revised form: 01 September 2022, Accepted: 01 September 2022, Published online: 01 September 2022

*Water and Soil Management and Modeling*, Year 2023, Vol. 3, No. 2, pp. 78-92.

Publisher: University of Mohaghegh Ardabili

© Author(s)





## ارزیابی مراحل فنوفازهای رشد درخت زرشک و اثر تغییر اقلیم بر نیاز آبی آن در ایران

حسن رضائی\*<sup>۱</sup>، محمد معتمدی‌راد<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> استادیار، گروه جغرافیا، دانشگاه افسری امام علی (ع)، تهران، ایران  
<sup>۲</sup> استادیار، گروه علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه فرهنگیان، تهران، ایران

### چکیده

یکی از راه‌های افزایش راندمان مصرف آب و مدیریت آب در تأمین نیاز آبی گیاهان زراعی در نظر گرفتن متغیرهای تأثیرگذار بر مصرف آب، شامل نیاز آبی و میزان تبخیر و تعرق است. در این راستا، تبخیر و تعرق در واقع شاخص تعیین‌کننده‌ای در فرآیند رشد گیاه است و میزان آن برابر با نیاز آبی گیاه در نظر گرفته می‌شود. در پژوهش حاضر، مراحل فنولوژیکی درخت زرشک بی‌دانه بر اساس مشاهدات میدانی در ایستگاه هواشناسی سینوپتیک قاین مشخص شد. در ادامه، برای تعیین نیاز آبی باید میزان تبخیر و تعرق مرجع در ضریب گیاهی ضرب شود. از آمار ۱۸ ایستگاه هواشناسی معتبر از سال ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۷ در مقیاس زمانی ساعتی و روزانه برای دوره پایه و برای دوره آینده نزدیک (۲۰۳۰-۲۰۵۹) و آینده دور (۲۰۶۰-۲۰۸۹) بر اساس سناریوی بدینانه RCP8.5 و سناریوی خوش‌بینانه RCP4.5 استفاده شد. نتایج نشان داد که زرشک شش مرحله فنولوژیکی برای تکمیل دوره رشد و نمو از اوایل فروردین تا اواخر آبان نیاز دارد. همچنین، میزان نیاز آبی درخت زرشک در دوره پایه (۱۹۸۷-۲۰۱۷) به‌صورت روزانه منطقه شرق مورد مطالعه بیش‌تر از غرب و شمال غرب منطقه است ولی در مجموع، نیاز آبی شمال غرب و غرب بیش‌تر از شرق منطقه مورد مطالعه بوده که دلیل آن افزایش طول مرحله فنولوژی زرشک در منطقه یاد شده است. نتایج تغییر اقلیم نشان داد که نیاز آبی روزانه زرشک (۲۰۳۰-۲۰۵۹) بر اساس مدل RCP8.5 در طول فصل رشد بین ۴/۵-۵/۸ میلی‌متر در روز متغیر و مجموع نیاز آبی ۹۹۰-۱۲۶۰ میلی‌متر است. نیاز آبی روزانه زرشک بر اساس مدل RCP4.5 بین ۵/۸-۶/۵ میلی‌متر در روز متغیر و مجموع نیاز آبی ۹۹۰-۱۲۹۰ میلی‌متر است. بر اساس نیاز آبی روزانه زرشک بر اساس مدل RCP8.5 (۲۰۶۰-۲۰۸۹) بین ۴-۵ میلی‌متر در روز متغیر و مجموع نیاز آبی ۹۶۰-۱۱۵۰ میلی‌متر و نیاز آبی روزانه زرشک بر اساس مدل RCP8.5 بین ۴/۸-۵/۲ میلی‌متر در روز متغیر و مجموع نیاز آبی ۹۵۰-۱۳۰۰ میلی‌متر است. در نهایت بررسی پارامترهای اقلیمی دوره پایه و آینده مشخص کرد که تغییر اقلیم بر نیاز آبی کشت زرشک در ایران بر اساس سناریوی خوش‌بینانه و بدینانه تأثیرگذار بوده و کشاورزان و برنامه‌ریزان را در انتخاب مکان مناسب جهت کشت زرشک یاری می‌کند.

واژه‌های کلیدی: ایران، زرشک، فنولوژی، نیاز آبی، RCP

نوع مقاله: پژوهشی

\*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: rezaei\_h@iamu.ac.ir

استاد: رضائی، حسن، و معتمدی‌راد، محمد (۱۴۰۲). ارزیابی مراحل فنوفازهای رشد درخت زرشک و اثر تغییر اقلیم بر نیاز آبی آن در ایران. مدل‌سازی و

مدیریت آب و خاک، ۳(۲)، ۷۸-۹۲.

DOI: 10.22098/mmws.2022.11189.1105

DOR: 20.1001.1.27832546.1402.3.2.6.0

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۰۲، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۶/۱۰، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۱۰، تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۰۶/۱۰

مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک، سال ۱۴۰۲، دوره ۳، شماره ۲، صفحه ۷۸ تا ۹۲

© نویسندگان

ناشر: دانشگاه محقق اردبیلی



## ۱- مقدمه

یکی از پدیده‌هایی که شرایط آب و هوایی مناطق مختلف جهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد تغییر اقلیم است. تغییر اقلیم یعنی هر تغییر مشخص در الگوهای مورد انتظار برای وضعیت میانگین آب و هوایی، که در طولانی‌مدت در یک منطقه خاص یا برای کل اقلیم جهانی، رخ بدهد (Gudarzi, 2015; Yarmohammadi et al., 2016). بر همین اساس، به‌منظور سازگاری با این پدیده، جوامع علمی اقدام به ارائه راهکارهایی در زمینه‌های گوناگون از جمله کشاورزی کرده‌اند. در این بین سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (فاو) در سال ۲۰۱۰ با ارائه طرح کشاورزی هوشمند اقلیم‌محور، سعی در هماهنگ کردن مطالعات در زمینه سازگاری کشاورزی با پدیده تغییر اقلیم نمود.

نگرانی درباره تغییر اقلیم ابعاد جهانی به خود گرفته و تلاش‌های بین‌المللی از دهه گذشته برای حل این مسأله آغاز شده است. مطابق داده‌های ثبت شده اقلیمی، متوسط دمای سطح زمین تا پایان قرن بیستم حدود ۰/۶ درجه سانتی‌گراد افزایش پیدا کرده که بیش‌ترین گرمایش در دوره‌های ۱۹۱۰-۱۹۴۵ و ۲۰۰۰-۱۹۷۶ اتفاق افتاده است. بر اساس مدل‌های گردش عمومی جو تحت سناریوهای مختلف، پیش‌بینی می‌شود که متوسط دمای جهان طی دوره ۲۱۰۰-۱۹۹۰، بین ۱/۴ تا ۵/۸ درجه سانتی‌گراد افزایش یابد که توام با تغییراتی در الگوهای مکانی و زمانی بارندگی خواهد بود (Sarafroze, 2012). در این راستا، هیات بین‌الدول تغییر اقلیم آرد تدوین گزارش پنجم ارزیابی خود، از سناریوهای جدید تحت عنوان سناریوهای واداشت تابشی RCP<sup>۱</sup>، به‌عنوان نماینده خطوط سیر غلظت‌های گوناگون گازهای گلخانه‌ای استفاده کرده است (Rezaei and Falah Ghalhari, 2022). واداشت تابشی، تفاوت بین انرژی تابشی دریافتی از خورشید و انرژی برگشتی به جو توسط زمین است (IPCC, 2013). واداشت مثبت (ورودی بیش‌تر انرژی تابشی خورشید) موجب افزایش و واداشت منفی (برون‌رفت بیش‌تر انرژی) موجب کاهش دمای سیستم زمین می‌گردد. سناریوهای جدید تغییر اقلیم RCP غلظت گازهای گلخانه‌ای در جو را منعکس می‌کنند و همچنین درک بهتری از اقلیم احتمالی و توسعه‌های اقتصادی-اجتماعی نشان می‌دهند (Su et al., 2016) بر اثر افزایش دما بر اثر تغییر اقلیم، چرخه هیدرولوژی تحت تأثیر زیادی می‌گیرد که با تغییر شدت بارش و تبخیر همراه است (Rezaei, 2019). یکی از آثار احتمالی تغییر اقلیم، اثر آن بر نیاز آبی گیاهان در مناطق مختلف است که در سطح وسیع در یک منطقه می‌تواند قابل

توجه باشد. (Gudarzi and Abedi Kopaei, 2019). در پژوهشی Mardiyati and Nastir (2021) نشان دادند که تغییرات آب و هوایی بر کشت برنج دیم تأثیرگذار است و جهت سازگاری کشاورزان باید، تغییر زمان کاشت، مدیریت الگوهای کشت، فاصله کشت و استفاده انواع کوتاه‌مدت کشاورزان برنج دیم را در مواجهه با خطر تغییرات آب و هوایی به‌کار ببرند. Meddi and Eslamian (2020) در پژوهشی در کشور مغرب نشان دادند که میزان بارندگی بر اثر تغییر اقلیم در طول فصل‌های مختلف در حال کاهش است و باید جهت عملکرد محصول، در این منطقه برنامه‌ریزی شود.

Lapp et al. (2008) با بررسی تغییرات اقلیمی در حوضه ساسکچوان در جنوب غربی کانادا دریافتند که در آینده بارش‌ها در فصل‌های پائیز و زمستان افزایش و در تابستان (با تغییرپذیری بیش‌تری نسبت به زمستان) کاهش می‌یابد. هم‌چنین، Cherie (2013) در حوضه بالادست نیل در اتیوپی اثرات تغییر اقلیم را بر آب‌شناسی و منابع آب را بررسی کرده و نتیجه گرفت که مقادیر بارش در دوره آینده برای فصل‌های بهار و تابستان ۳۶- تا ۱+ درصد و در فصل زمستان ۸- تا ۱۲۶+ درصد تغییر خواهند کرد. Abbasi et al. (2010) نیز در پژوهشی تغییر اقلیم ایران را در دهه‌های آینده تا سال ۲۱۰۰ بررسی کردند. نتایج شبیه‌سازی اقلیمی ایشان بر اساس دو شبیه‌ساز گردش عمومی جو HadCM2 و ECHAM4 نشان دادند که در مجموع، میانگین دمای کشور تا سال ۲۱۰۰ به میزان ۳ تا ۳/۶ درجه سلسیوس افزایش خواهد یافت. پدیده دگرگونی اقلیم می‌تواند با تغییر در میزان تبخیر-تعرق گیاهان و مدت، شدت و زمان بارش‌ها، عملکرد محصولات، هم‌چنین تقاضای آب را در بخش کشاورزی تحت تأثیر قرار دهد. (Gudarzi and Abedi Kopaei, 2019) اثرات تغییر اقلیم بر نیاز آبی و نیاز آبیاری در مناطق تحت آبیاری را در دشت نجف‌آباد بررسی کردند و نتایج نشان داد که میزان تبخیر و تعرق در تمامی ماه‌ها نسبت به دوره پایه افزایش یافته که این میزان برای سناریوی RCP 4.5 به‌طور متوسط حدود ۲/۵ درصد و برای سناریوی RCP 8.5 به‌طور متوسط حدود ۴/۱ درصد است. مقدار افزایش نیاز آبی برای گیاهان مختلف قابل توجه نبوده و حداکثر برابر با ۵/۵ درصد است. Barzegari and Maleki (2015) در پژوهشی به بررسی نیاز آبی بخش کشاورزی تحت شرایط تغییر اقلیم (مطالعه موردی: دشت یزد-اردکان) پرداختند. نتایج نشان داد که تا سال ۲۰۳۰ تغییرات دما و توزیع بارش در منطقه مورد مطالعه معنی‌دار خواهد بود و در دوره پیش‌بینی شده، دمای کمینه و دمای بیشینه سالانه به‌ترتیب ۱/۸۳ و ۱/۱۹ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهند داشت. از طرفی متغیر بارش از نظر میزان و نوع بارش دارای تغییرات معنی‌داری خواهد

<sup>۱</sup>Food and Agriculture Organization of the United (FAO)<sup>۲</sup>IPCC<sup>۳</sup>Pathway Concentration Representative

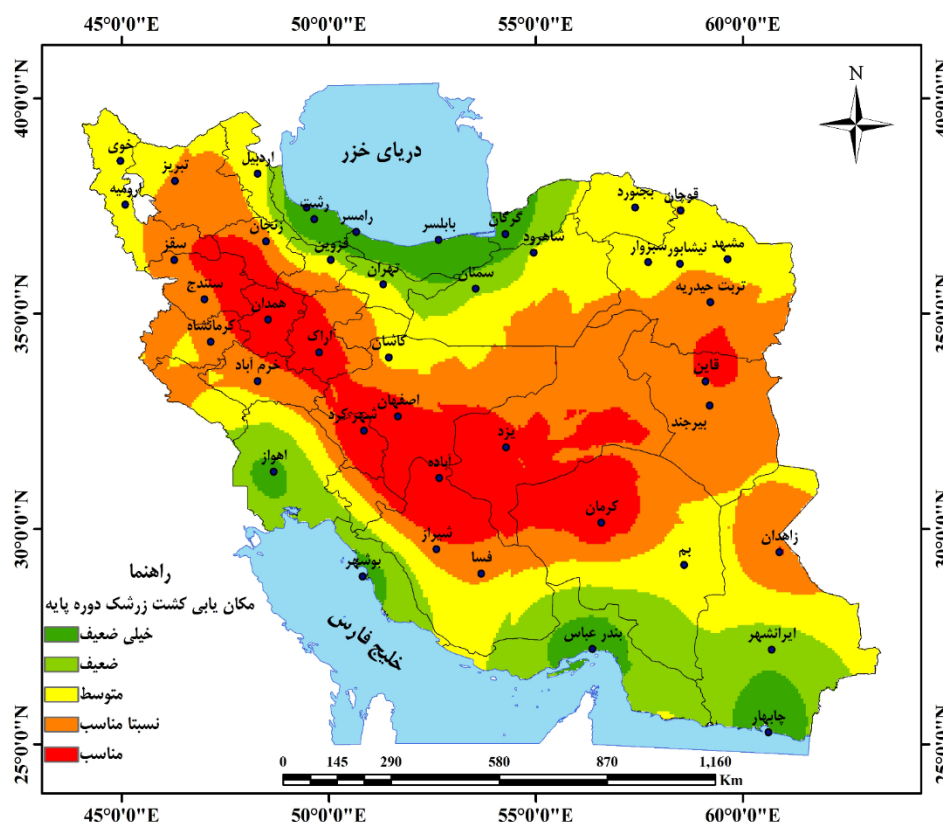
کشور شامل استان‌های خراسان جنوبی (قاین، بیرجند)، فارس (شیراز و آباده)، همدان، مرکزی، اصفهان، چهارمحال و بختیاری و کرمان بهترین مکان برای کشت این محصول هستند. همچنین بخشی از استان‌های شمال غرب ایران به همراه استان‌های سیستان و بلوچستان و جنوب استان خراسان رضوی و غربی (سقز، سنندج، کرمانشاه و خرم‌آباد نسبتاً مناسب برای کشت زرشک هستند (جهت کسب اطلاعات تکمیلی به پژوهش Rezaei and Falah (2022) مراجعه شود) (شکل ۱).

بود. به این ترتیب که میزان بارندگی در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۰ نسبت به دوره آماری فعلی مورد بررسی، ۹ درصد افزایش خواهد داشت و تیپ بارندگی نیز از پاییز به بهار تغییر خواهد کرد. هدف این پژوهش ارزیابی تأثیر پدیده تغییر اقلیم بر نیاز آبی کشت زرشک بر اساس سناریوهای RCP در دوره آینده نزدیک و دور است.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه پژوهش، مناطق مستعد کشت درخت زرشک در ایران بالغ بر ۳۵۶۸۵۸/۱ کیلومتر مربع معادل ۲۲/۱ درصد است که مناطق شرق



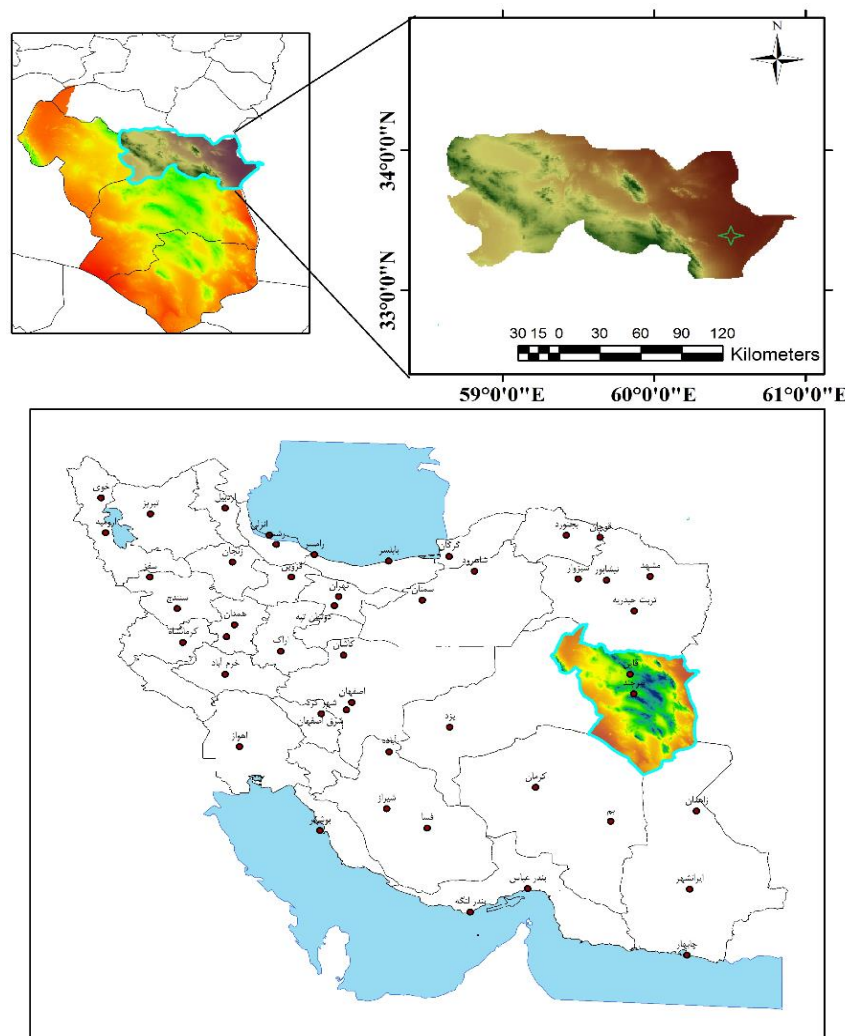
شکل ۱- پهنه‌بندی مکان‌های مستعد برای کشت زرشک در ایران (Rezaei and Falah Ghalhari, 2022)

Figure 1- Zoning of suitable places for barberry cultivation in Iran (Rezaei and Falah Ghalhari, 2022)

سطح زیر کشت در شهرستان قاین به‌عنوان یکی از باغ‌های بارور در منطقه مشخص شد. این باغ خصوصی در شهرستان قاین، در موقعیت ۳۳ درجه و ۴۳ دقیقه عرض شمالی و ۵۹ درجه و ۱۰ دقیقه طول شرقی و ارتفاع ۱۴۳۲ متر از سطح دریا واقع شده است. در این مطالعه مراحل فنولوژی درخت زرشک بی‌دانه به‌عنوان یکی از ارقام تجاری ایران مشخص شد.

### ۲-۲- روش پژوهش

در بخش میدانی، به‌منظور شناسایی زمان رخداد مراحل فنولوژی و آستانه‌های دمایی، به سلسله بازدیدها و یادداشت‌برداری‌های روزانه و هفتگی به‌صورت متوالی در فصل رشد و نمو درخت زرشک به‌صورت میدانی اقدام شد. برای این منظور، یک باغ تجاری خصوصی و بارور با سطح زیر کشت مناسب از درختان زرشک بی‌دانه انتخاب شد. مجموعه باغ مورد مطالعه با سه هکتار



شکل ۲- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه  
Figure 2- Geographical location of the study area

در ادامه از آمار و اطلاعات ۱۸ ایستگاه هواشناسی معتبر (ساعت آفتابی، میانگین دما در طول فصل رشد، میانگین بارندگی، دمای کمینه، دمای بیشینه، تبخیر و تعرق) با آمار طولانی‌مدت در مناطق مستعد کشت درخت زرشک در ایران استفاده شد. توزیع مکانی ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه در شکل ۱ مشخص شده است (مناطق مناسب و نسبتاً مناسب). آمار لازم برای دوره آماری ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۷ به صورت ساعتی و روزانه از سازمان هواشناسی کشور تهیه و استخراج شد (جهت دریافت اطلاعات تکمیلی به Rezaei and Falah Ghalhari (2022) مراجعه شود).

#### ۲-۲-۱- معادله فائو-پنمن-مانتیت

جهت بررسی نیاز آبی درخت زرشک ابتدا باید تبخیر و تعرق مرجع به دست آید. در این روش گیاه مرجع یک پوشش چمن فرضی است که ارتفاع آن ۱۲ سانتی‌متر و ضریب بازتابش در آن

از سیستم کدبندی BBCH برای ثبت مراحل فنولوژی استفاده شد (Enriquez-Hidalgo et al., 2020). این مقیاس دارای یک جدول ۱۰۰ قسمتی به صورت کدهایی از صفر تا ۹۹ بوده و برای فازهای مختلف طراحی شده است (Feldmann and Rutikanga, 2021). در ایستگاه هواشناسی سینوپتیک شهر قاین طی یک سال از آغاز جوانه‌زنی تا پایان دوره خواب استفاده شد. در واقع کدهای مراحل فنولوژی به صورت میدانی مشاهده و ثبت شدند.

در فرآیند اجرای مشاهدات میدانی، با کمک کارشناسان از مجموعه درختان زرشک، پنج درخت زرشک در مناطق مختلف باغ مشخص شد. سپس از زمان پایان رکود سال گذشته و آغاز تورم جوانه تا شروع دوره رکود سال جدید، مراحل فنولوژیکی در کدهای اصلی و فرعی در مقیاس BBCH با بازدیدهای روزانه و هفتگی ثبت شد.

بررسی اثرات تغییر اقلیم بر نیاز آبی، مناطق کشت زرشک در ایران، از داده‌های شبیه‌سازی شده برون‌داد مدل جفت شده hadGEM2-ES از سری مدل‌های CMIP5، بر اساس سناریوهای واداشت تابشی RCP 8.5 (بدبینانه) و RCP4.5 (خوش‌بینانه) استفاده شده است. برای دوره آینده نزدیک (۲۰۵۹-۲۰۳۰) و آینده دور (۲۰۶۰-۲۰۸۹) بر اساس سناریوی بدبینانه RCP8.5 و سناریوی خوشبینانه RCP4.5 تنظیم شد.

### ۲-۲-۳- مدل‌های تعیین نیاز گرمایی

برای تعیین درجه روزهای رشد هر مرحله فنولوژی با استفاده از آمار کمینه و بیشینه دما درجه روزهای رشد مؤثر و فعال مشخص شد. دمای پایه برای درخت زرشک ۱۵ درجه سانتی‌گراد درجه سانتی‌گراد مشخص شده است.

### ۲-۲-۴- درجه روزهای رشد مؤثر و فعال<sup>۱</sup> GDD

در این شاخص میانگین دمای هوای روزانه از آستانه دمای یخبندان (صفر درجه سانتی‌گراد) تا تکمیل ضریب حرارتی آن گونه درختی مورد نظر محاسبه می‌شود. رابطه (۲) روش محاسبه درجه روز را نشان می‌دهد.

$$DD = \sum_i^n \left( \frac{T_{max} + T_{min}}{2} \right) - T_{Base} \quad (2)$$

در این معادله، GDD معرف درجه روز است که طی N روز جمع‌آوری شده است، Tax بیشینه دمای هوای روزانه Tmin کمینه دمای هوای روزانه و TBASE دمای هوای پایه یا صفر فیزیولوژیکی گیاه و N تعداد روزها در یک زمان مشخص را نشان می‌دهد. درجه روزهای فعال به مانند روش درجه روزهای مؤثر با این تفاوت که میانگین دمای هوا از دمای پایه کسر نمی‌شود.

Tmin پایین‌تر از دمای پایه، برابر دمای پایه گیاه و درجه حرارت پایه گیاه، معادل ۱۵ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شد. برای حل مشکل فوق در مواقعی که کمینه و بیشینه دما کمتر از دمای مبنای گیاه است، دو آزمون زیر را برای دمای بیشینه و کمینه به‌طور مجزا به‌صورت زیر انجام می‌شود:

آزمون اول: اگر،  $T_{max} < T_l$  باشد، آن‌گاه،  $T_{max} = T_l$ ، در غیر

این صورت  $T_{max} = T_{max}$  خواهد بود. آزمون اول اطمینان می‌دهد که بیشینه دمای روزانه کمتر از دمای مبنای گیاه نباشد. اگر بیشینه دمای روزانه کمتر از دمای مبنای گیاه باشد، برای حذف مقادیر منفی فرض می‌شود دمای بیشینه با دمای مبنای برابر است.

آزمون دوم: اگر،  $T_{min} < T_l$ ، آن‌گاه،  $T_{min} = T_l$ ، در غیر این

صورت،  $T_{min} = T_{min}$  خواهد بود. آزمون دوم اطمینان می‌دهد که کمینه دمای روزانه کمتر از دمای مبنای گیاه نباشد. اگر کمینه

درصد می‌باشد. همچنین، مقاومت گیاهی ثابت و برابر ۷۰ ثانیه بر متر است (Rezaei, 2019).

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \left[ \frac{890}{T + 273} \right] U_2 (ea - ed)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad (1)$$

ET<sub>0</sub>: تبخیر-تعرق گیاه مرجع (mm d<sup>-1</sup>)

Rn: تابش خالص در سطح پوشش گیاهی (MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>)

U<sub>2</sub>: سرعت باد در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین (m s<sup>-1</sup>)

ea-ed: کمبود فشار بخار اشباع (KPa)

Γ: ثابت سایکرومتری (KPa °C<sup>-1</sup>)

Δ: شیب منحنی فشار بخار (KPa °C<sup>-1</sup>)

G: شار گرما به داخل خاک (MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>)

T: متوسط دمای هوا (°C)

### ۲-۲-۲- نیاز آبی دوره پایه

اصطلاح نیاز آبی گیاه به معنی مقدار آب مورد نیاز برای رشد و تولید محصول است که شامل آب مصرفی گیاه و نیازهای آبی ویژه مثل آماده کردن زمین، غرقاب کردن مزرعه، جهت شستشوی نمک‌های خاک و غیره است (Alavi Zadeh et al., 2013). تأمین آب آبیاری جهت رفع کمبود بارش در یک سال معین باید با برنامه‌ریزی انجام گیرد. از آن‌جا که بارش سالانه از سالی به سال دیگر تغییر می‌کند، بنابراین پروژه آبیاری نمی‌تواند فقط بر اساس اطلاعات یک‌سال طرح شود، پس برای محاسبه بارش مؤثر بر اساس احتمال وقوع به سوابق بلندمدتی نیاز است. کشت زرشک به لحاظ آبیاری برای مناطق خشک و نیمه خشک که کشاورزان با کمبود آب مواجه می‌باشند بسیار مطلوب است. با توجه به این‌که آب نیاز اصلی و ضروری هر محصولی است، بنابراین برآورد نیاز آبی مورد نیاز هر گیاه امری ضروری است (Rezaei, 2019).

درختچه زرشک گیاهی است که شروع فصل رشد آن از لحاظ تولید محصول از اوایل فروردین است که با توجه به زمان برداشت محصول اوایل آبان را می‌توان پایان فصل تولید محصول نامید. از لحاظ فنولوژی می‌توان دوره رشد زرشک را به شش مرحله تقسیم‌بندی کرد (جدول ۱). جهت برآورد نیاز آبی گیاه باید میزان تبخیر و تعرق در ضریب گیاهی ضرب شود تا میزان نیاز آبی روزانه و مجموع نیاز آبی زرشک برآورد شود.

جهت پهنه‌بندی نیاز آبی درخت زرشک از روش کریجینگ استفاده شد که یکی از مهم‌ترین و گسترده‌ترین روش درون‌یابی آماری است. این روش متکی بر منطق میانگین متحرک وزن‌دار و بهترین تخمینگر خطی ناریب است که علاوه بر مقادیر تخمین، میزان خطای تخمین در هر نقطه را نیز مشخص می‌کند (Rezaei, 2019).

درجه روز رشد GDD، در جدول ۱ مشخص شده است. درخت زرشک از زمان گلدهی تا برداشت میوه برای تکمیل نمو خود ۲۰۰ روز نیاز دارد. فصل رشد به صورت رشد رویشی و زایشی در این واریته، ۲۳۰ روز به طول می انجامد. کوتاه‌ترین زمان درون مراحل فنولوژی در مراحل اول و دوم فنولوژی یعنی نمو جوانه و نمو برگ و طولانی‌ترین زمان درون مراحل فنولوژی در مرحله نمو میوه رخ می‌دهد. درجه روزهای رشد موثر و فعال از ۷۵ درجه روز در مرحله اول فنولوژی به تدریج تا بیش از ۳۶۳۱ درجه روز در مرحله نمو میوه افزایش می‌یابد. بعد از مرحله نمو میوه میزان درجه روزها به تدریج روند نزولی پیدا می‌کنند. در واقع درختان زرشک علاوه بر نیاز سرمایی بالا برای حیات مجدد خود به تکمیل مراحل فنولوژیکی خود به نیاز گرمایی و درجه ساعت‌های بالایی نیاز دارند. همچنین نیاز درجه روزهای رشد مؤثر و فعال به ترتیب ۱۵۹۸ و ۵۱۷۴ مشخص شده است. بر مبنای آمار ایستگاه همدید قاین، توان گرمایی لازم برای درخت زرشک به راحتی تأمین می‌شود.

دمای روزانه کم‌تر از دمای مبنای گیاه باشد، برای حذف مقادیر منفی فرض می‌شود دمای کمینه با دمای مبنای برابر است. آزمون سوم: اگر،  $T_{max} > T_u$ ، آن‌گاه،  $T_{max} = T_u$ ، در غیر این صورت،  $T_{max} = T_{max}$  خواهد بود. در روابط ارائه شده،  $T_u$  آستانه فوقانی رشد گیاه است و در فراتر از این دما، رشد گیاه متوقف می‌شود. بنابراین، لایه دیگری از آزمون‌ها برای توقف جمع نمودن واحدهای حرارتی اضافه می‌شود. آزمون سوم اطمینان می‌دهد که بیشینه دمای روزانه بیش‌تر از آستانه فوقانی رشد گیاه نباشد. به عبارت دیگر، اگر بیشینه دمای روزانه از آستانه فوقانی رشد گیاه تجاوز نماید، فرض می‌شود بیشینه دما با آستانه فوقانی برابر است، لذا مجموع واحدهای حرارتی در بالای این دما صفر در نظر گرفته می‌شود (Rezaei, 2018, 2019).

### ۳- نتایج و بحث

بر مبنای آمار ایستگاه همدید قاین، کمینه و بیشینه دما، میزان درجه روزهای رشد موثر و فعال، طول روز و نیاز گرمایی در قالب

جدول ۱- تاریخ آغاز و پایان مراحل فنولوژی و انباشت گرمایی درخت زرشک در مراحل مختلف رشد در ایستگاه قاین در سال آبی ۹۷-۱۳۹۶

Table 1- The beginning and end date of the phenology and heat accumulation stages of the barberry tree in different stages of growth at Qain station in the water year 2016-2017

نیاز گرمایی		دما (C°)			تاریخ		مراحل رشد زرشک	
GDD فعال	GDD موثر	میانگین دما	بیشینه دما	کمینه دما	طول مرحله (روز)	پایان	آغاز	
75	5	8.7	16.1	1.2	9	2018.03.14	2018.03.05	مرحله جوانه‌زنی
329	54.5	13.7	19.3	4.8	22	2018.04.04	2018.03.15	مرحله نمو برگ
240	57	17.2	23	5.9	14	2018.04.18	2018.04.05	مرحله ظهور گل آذین
372	107.5	19.6	26.2	10.8	18	2018.05.07	2018.04.19	مرحله گل دهی
3631	1313.5	21.6	30.7	13.7	165	2018.09.23	2018.05.08	گل‌دهی تا میوه
526	61	10.7	19.3	2.6	30	2018.11.06	2018.10.06	آغاز رکود
1598	5174	10.4	28.3	10.8	230			جمع

در مراحل آغازین و پایانی داشته و بیش‌ترین نیاز آبی مربوط به مرحله میانی رشد است. در مرحله آغازین (جوانه‌زنی) و دوم که کم‌ترین نیاز آبی وجود دارد، میزان نیاز آبی در بیش‌تر ایستگاه‌های مورد مطالعه به‌طور متوسط برای مناطق شرقی کم‌تر از ۵۰ میلی‌متر و مناطق شمال غرب و غرب کشور به‌طور میانگین ۷۰ میلی‌متر است، در مرحله سوم فنولوژی بیش‌تر نیاز آبی مربوط به سقز (۷۵ میلی‌متر) و کم‌ترین نیاز آبی مربوط به زاهدان ۴۵ میلی‌متر نیاز دارد. در مرحله چهارم فنولوژی میزان نیاز آبی زرشک در دامنه تغییرات ۶۰ الی ۱۱۰ میلی‌متر در روز و

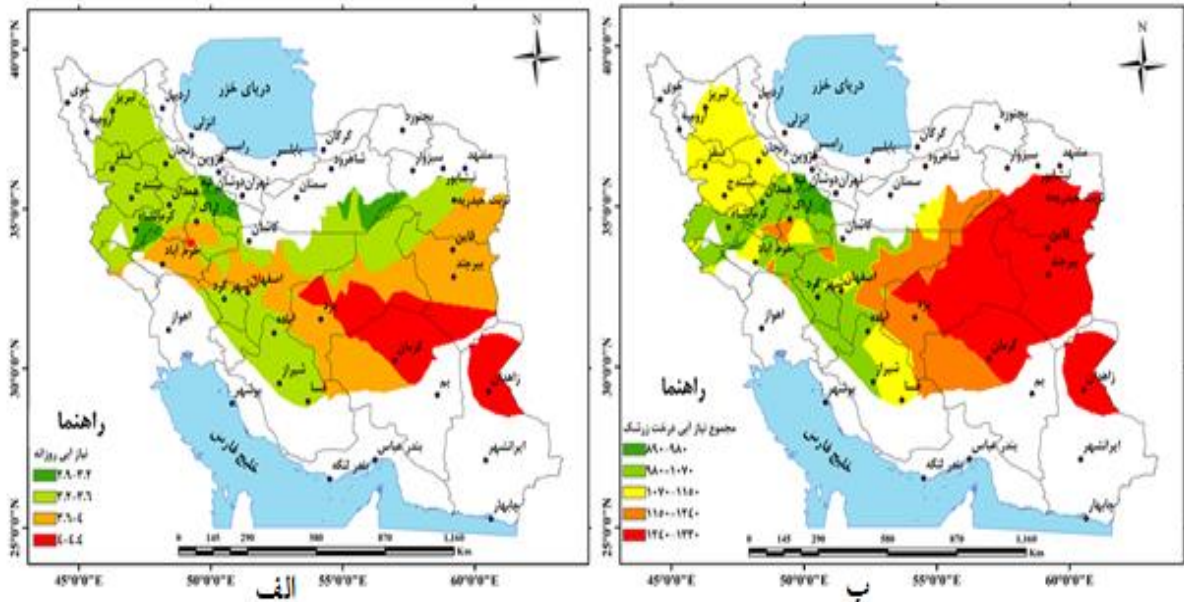
### ۳-۱- نیاز آبی

بر اساس نتایج به‌دست آمده شهرهای کرمان، یزد، قاین، بیرجند، زاهدان، تربت حیدریه و زاهدان بیش‌ترین نیاز آبی را در طول مرحله رشد نیاز دارند (۱۲۴۰-۱۳۳۰ میلی‌متر در روز) نیاز دارند و کم‌ترین نیاز آبی درخت زرشک مربوط به شمال غرب و غرب کشور است (شکل ۳ب) و همچنین نیاز آبی روزانه درخت زرشک در مناطق مورد مطالعه بین ۲/۹ الی ۴/۴ متغیر است (شکل ۳الف). نتایج برآورد نیاز آبی درخت زرشک بی‌دانه در مراحل مختلف رشد نشان می‌دهد که طی رشد و نمو کم‌ترین نیاز آبی را

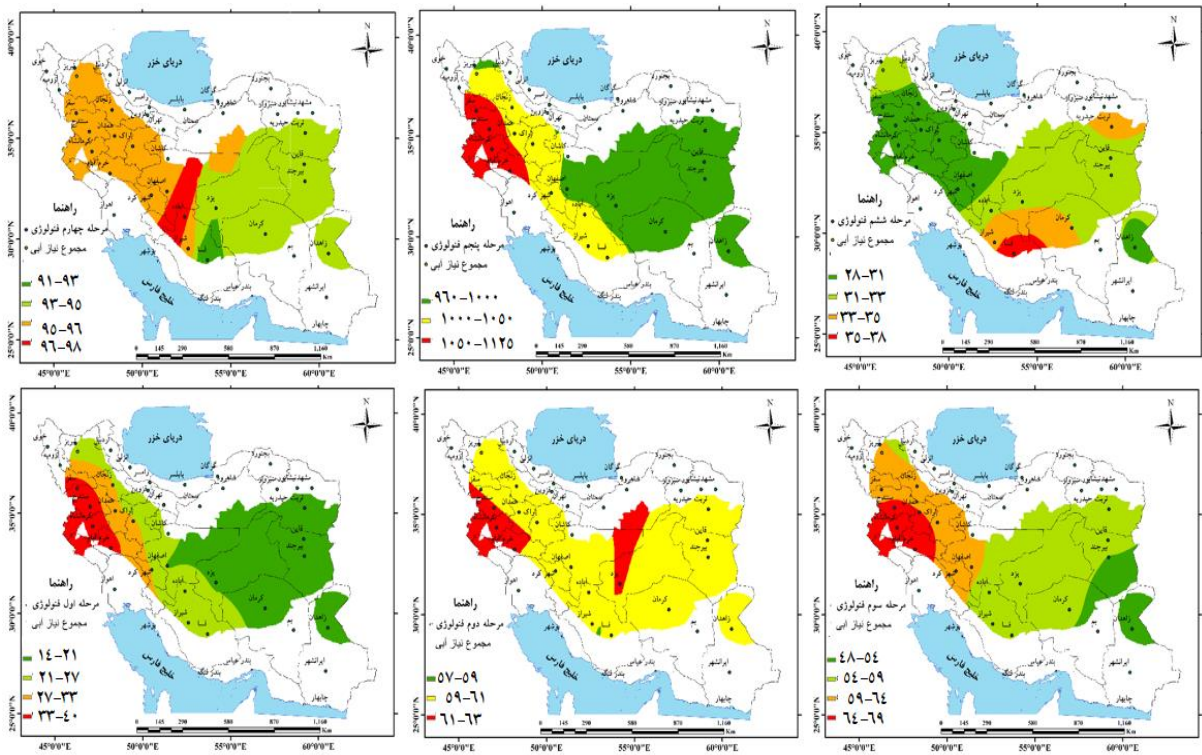


مورد مطالعه بیشتر از بخش‌های غرب و شمال غرب است، ولی مجموع نیاز آبی شمال غرب و غرب بیشتر از شرق منطقه مورد مطالعه است که دلیل آن افزایش طول مرحله فنولوژی زرشک در منطقه یاد شده است.

در مرحله پنجم نیاز آبی بیش‌تر ایستگاهها بیش‌تر از ۹۰۳ میلی‌متر است. میزان تغییرات نیاز آبی زرشک بی‌دانه بین ۲۵ تا ۱۰۰ میلی‌متر در مرحله ششم فنولوژی است (شکل ۴). به‌طور کلی میزان نیاز آبی درخت زرشک به‌صورت روزانه بخش شرق منطقه



شکل ۳- توزیع فضایی نیاز آبی درخت زرشک (الف: نیاز آبی روزانه- ب: مجموع نیاز آبی) بر حسب میلی‌متر در دوره پایه (۱۹۸۷-۲۰۱۷)  
 Figure 3- Spatial distribution of barberry tree water requirement (a: daily water requirement - b: total water requirement) in millimeters in the base period (1987-2017)



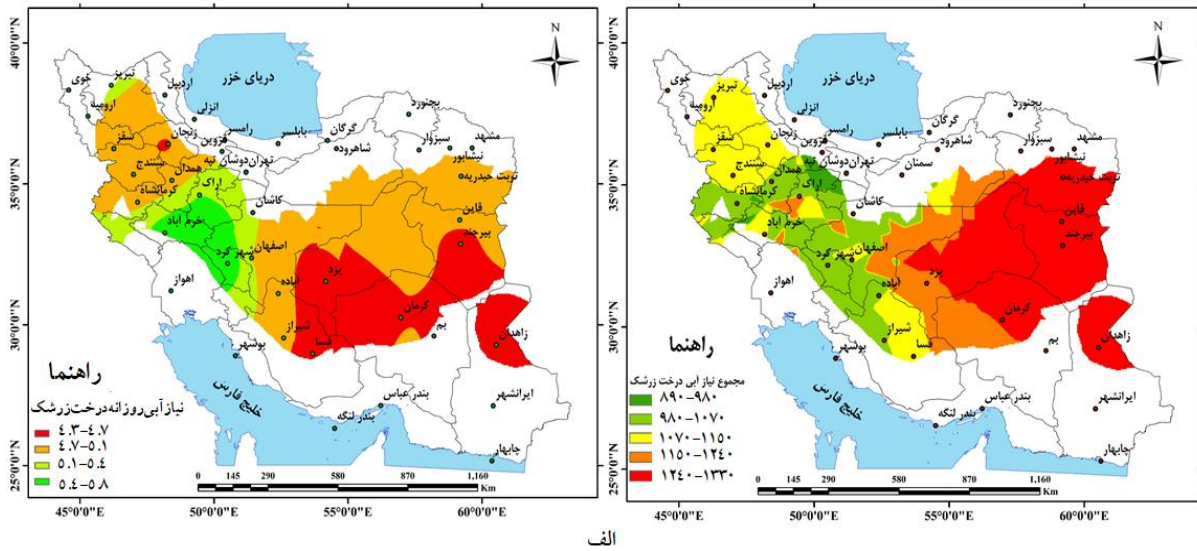
شکل ۴- توزیع فضایی نیاز آبی درخت زرشک بر حسب میلی‌متر در طول مرحله رشد در دوره پایه (۱۹۸۷-۲۰۱۷)  
 Figure 4- Spatial distribution of barberry tree water requirement in millimeters during the growth stage in the base period (1987-2017)

۲۰۳۰ نشان داد که به‌طور کلی نیاز آبی زرشک در طول فصل رشد بین ۴/۵-۵/۸ میلی‌متر در روز متغیر بوده و مجموع نیاز آبی ۹۹۰-۱۲۶۰ میلی‌متر است (شکل ۵-ب). به‌طور کلی بیش‌ترین نیاز آبی درخت زرشک در دوره پنجم فنولوژی (گل‌دهی تا میوه) اتفاق افتاده است و میزان تغییرات آن بین ۷۹۹ الی ۱۰۱۰ میلی‌متر در روز متغیر است و کم‌ترین تغییرات نیاز آبی مربوط به دوره جوانه‌زنی و رکود است (شکل ۷).

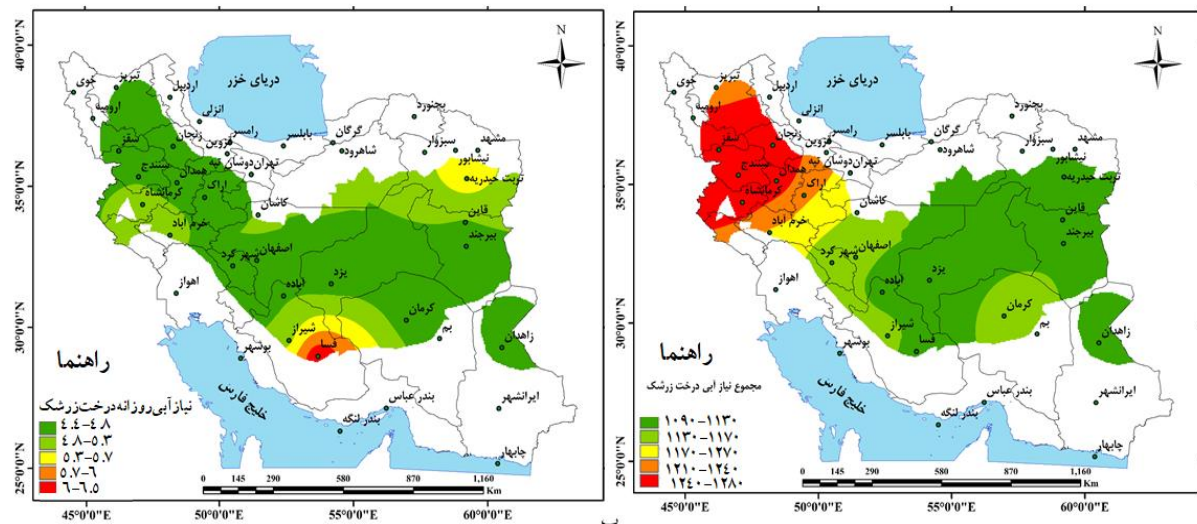
نیاز آبی روزانه زرشک بر اساس مدل RCP4.5 در دوره آماری ۲۰۳۰-۲۰۵۹ نشان داد که در این دوره نیاز آبی روزانه بین ۵/۶-۸/۵ میلی‌متر در روز متغیر بوده و مجموع نیاز آبی ۱۲۹۰-۹۹۰ میلی‌متر است (شکل ۵-الف).

۲-۳- نیاز آبی دو سناریوی RCP8.5 و RCP4.5 در دوره آماری ۲۰۵۹-۲۰۳۰

نتایج برآورد نیاز آبی درخت زرشک بی‌دانه در مراحل مختلف رشد نشان می‌دهد که طی رشد و نمو کم‌ترین نیاز آبی را در مراحل آغازین و پایانی داشته و بیش‌ترین نیاز آبی مربوط به مرحله میانی رشد است. در مرحله آغازین (جوانه‌زنی) و دوم که کم‌ترین نیاز آبی وجود دارد، میزان نیاز آبی در بیش‌تر ایستگاه‌های مورد مطالعه به‌طور متوسط کم‌تر از ۵۰ میلی‌متر است، در مرحله سوم فنولوژی بیش‌تر ایستگاه‌ها ۶۰ میلی‌متر نیاز دارند. در مرحله چهارم فنولوژی میزان نیاز آبی ۸۰ میلی‌متر در روز نیاز دارد، و در مرحله پنجم نیاز آبی بیش‌تر ایستگاه‌ها بیش‌تر از ۹۱۵ است و در مرحله ششم نیاز آبی ۲۵ میلی‌متر در روز است (شکل ۶). نیاز آبی روزانه زرشک بر اساس مدل RCP8.5 در دوره آماری ۲۰۵۹-

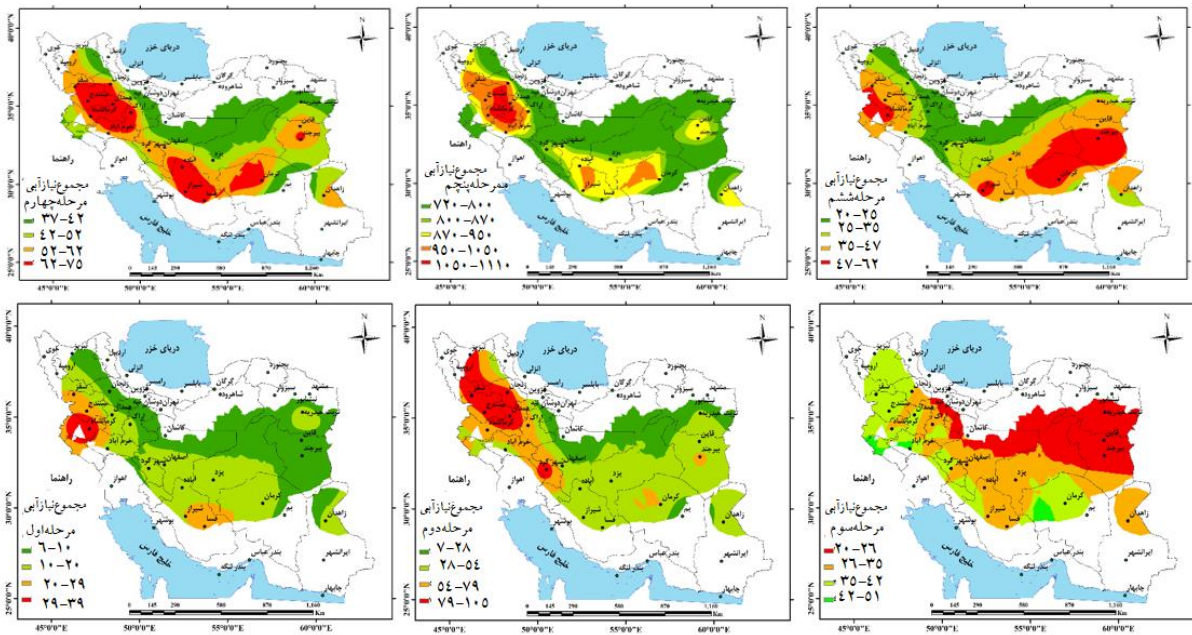


الف

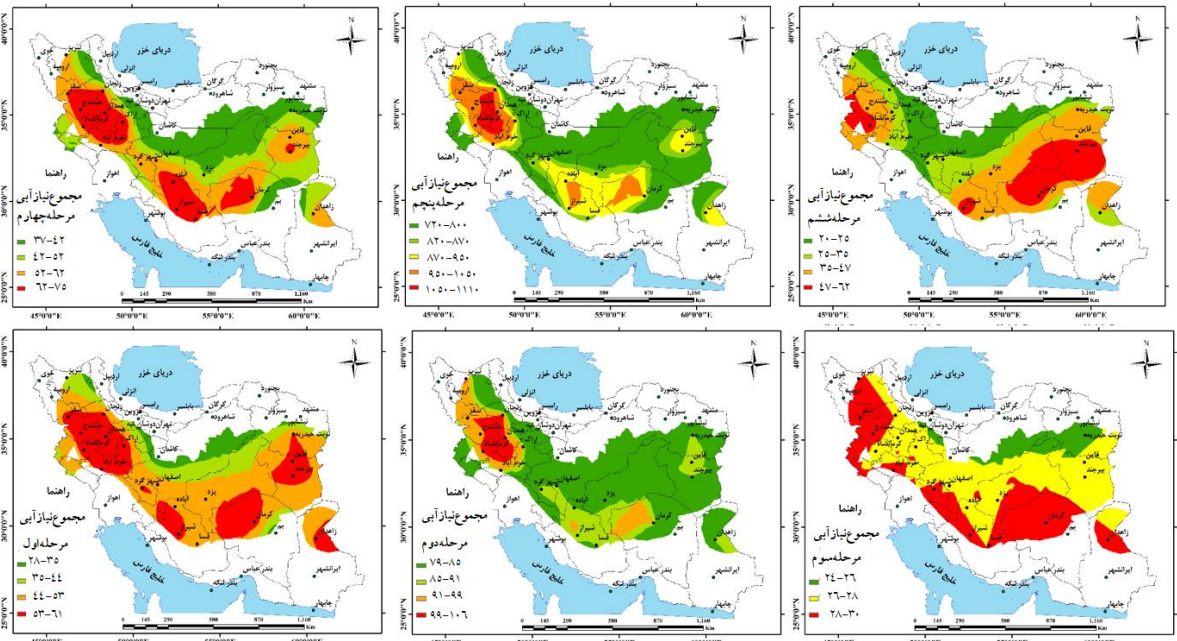


ب

شکل ۵- توزیع فضایی مجموع نیاز آبی درخت زرشک بر حسب میلی‌متر در سناریوی RCP4.5 (الف) و RCP8.5 (ب) دوره آماری ۲۰۳۰-۲۰۵۹  
 Figure 5- Spatial distribution of the total water requirement of barberry trees in millimeters in RCP4.5 (a) and RCP8.5 (b) scenarios for the statistical period of 2030-2059



شکل ۶- توزیع فضایی نیاز آبی درخت زرشک بر حسب میلی‌متر در طول مرحله رشد بر اساس سناریوی RCP4.5 در دوره آماری ۲۰۳۰-۲۰۵۹  
 Figure 6- Spatial distribution of barberry water requirement in millimeters during the growth stage based on the RCP4.5 scenario in the statistical period of 2030-2059



شکل ۷- توزیع فضایی نیاز آبی درخت زرشک بر حسب میلی‌متر در طول مرحله رشد بر اساس سناریوی RCP8.5 در دوره آماری ۲۰۳۰-۲۰۵۹  
 Figure 7- Spatial distribution of barberry tree water requirement in millimeters during the growth stage based on the RCP8.5 scenario in the statistical period of 2030-2059

بیشتر از ۸۵۲ است و در مرحله ششم نیاز آبی ۲۱ میلی‌متر در روز است (شکل ۹). نیاز آبی روزانه زرشک بر اساس مدل RCP4.5 در دوره آماری ۲۰۳۰-۲۰۵۹ نشان داد که نیاز آبی روزانه زرشک در این دوره بین ۴-۵ میلی‌متر در روز متغیر بوده و مجموع نیاز آبی ۹۶۰-۱۱۵۰ میلی‌متر است (شکل ۸ الف).

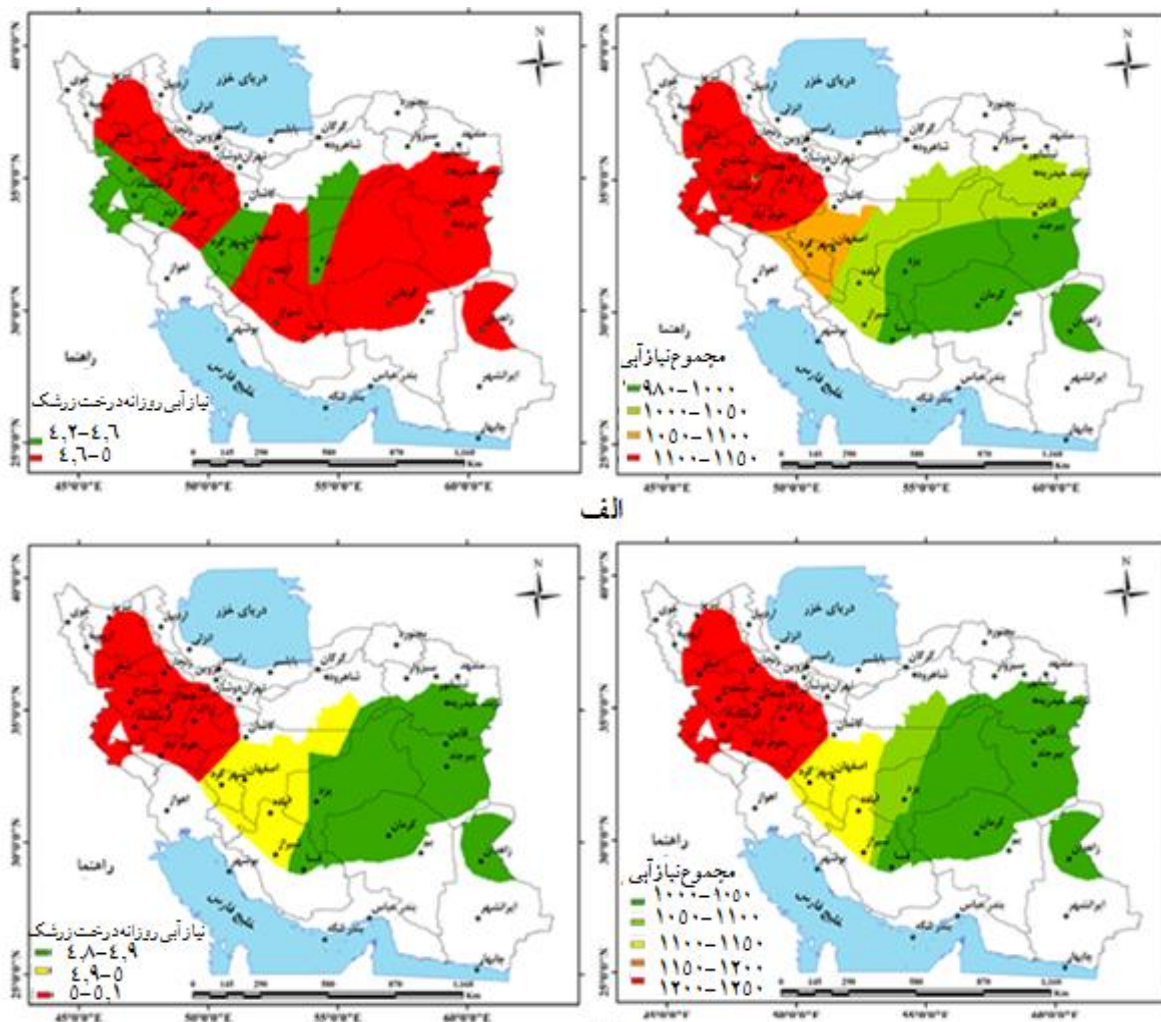
۳-۳- نیاز آبی دوره آینده دور در دوره آماری ۲۰۶۰-۲۰۸۹  
 نیاز آبی در مرحله آغازین (جوانه‌زنی) و دوم که کم‌ترین نیاز آبی وجود دارد، میزان نیاز آبی در بیش‌تر ایستگاه‌های مورد مطالعه به‌طور متوسط کم‌تر از ۴۰ میلی‌متر است، در مرحله سوم فنولوژی بیش‌تر ایستگاه‌ها ۵۵ میلی‌متر نیاز دارد در مرحله چهارم فنولوژی میزان نیاز آبی ۷۶ میلی‌متر در روز نیاز دارد و در مرحله پنجم نیاز آبی بیش‌تر ایستگاه‌ها

درخت زرشک برای تکمیل دوره رشد و نمو خود به شش مرحله فنولوژی نیاز دارد. دوره رشد متناسب با شرایط اقلیمی و توپوگرافی از اوایل فروردین تا اواخر آبان به طول می‌انجامد. نتایج برآورد نیاز آبی در دوره پایه نشان داد که شهرهای کرمان، یزد، قاین، بیرجند، زاهدان و تربت حیدریه بیشترین نیاز آبی را در طول مرحله رشد (۱۳۳۰-۱۲۴۰ میلی‌متر در روز) نیاز دارند و کمترین نیاز آبی درخت زرشک مربوط به شمال غرب و غرب کشور است ولی در دوره آینده میزان نیاز آبی درخت زرشک در شمال غرب و غرب بیش‌تر از مرکز و شرق منطقه مورد مطالعه است که دلیل زودتر تکمیل شدن مراحل فنولوژی در مرکز و شرق کشور است، به همین دلیل این مناطق جزء مناطق نامناسب کشت محسوب می‌شود.

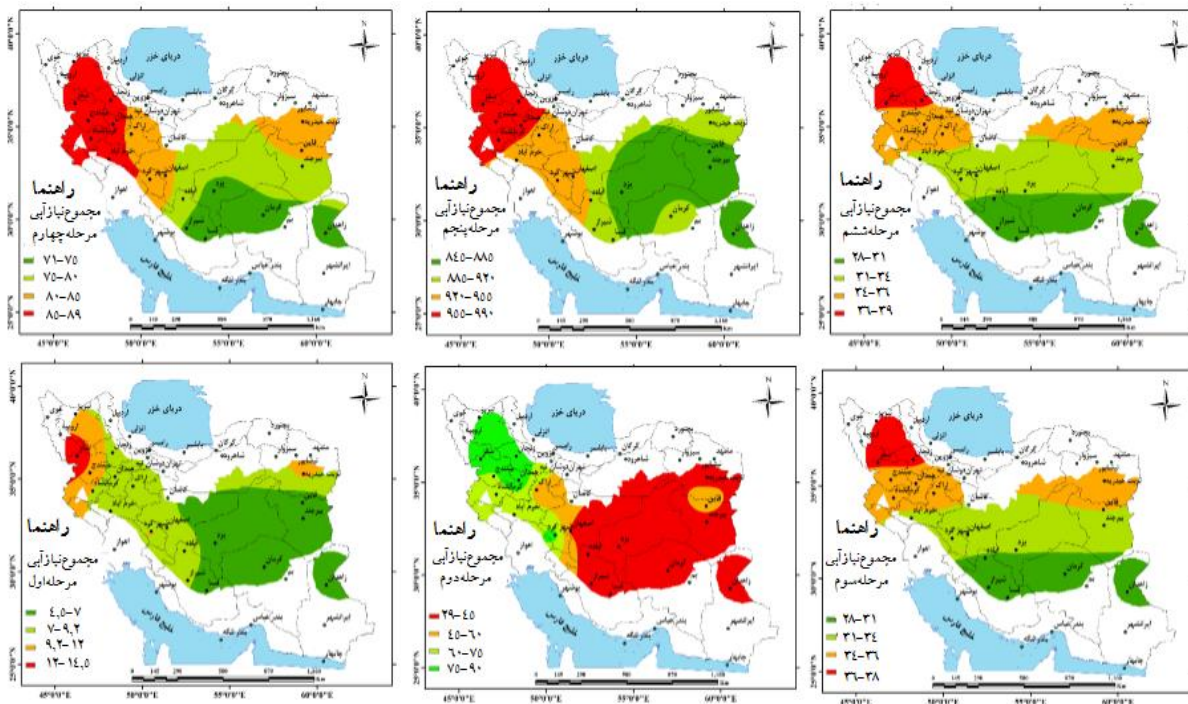
نیاز آبی روزانه زرشک بر اساس مدل RCP8.5 در دوره آماری ۲۰۸۹-۲۰۶۰ نشان داد که نیاز آبی روزانه زرشک در این دوره بین ۴/۸-۵/۲ میلی‌متر در روز متغیر است و مجموع نیاز آبی ۹۵۰-۱۳۰۰ میلی‌متر است (شکل ۸ ب). نتایج بررسی نیاز آبی زرشک در هر مرحله فنولوژی زرشک نشان داد که میزان نیاز آبی درخت زرشک در شش مرحله فنولوژی زرشک به ترتیب ۱۱، ۴۶، ۶۰، ۸۱، ۹۱۰ و ۳۰ میلی‌متر است (شکل ۱۰).

#### ۴- نتیجه‌گیری

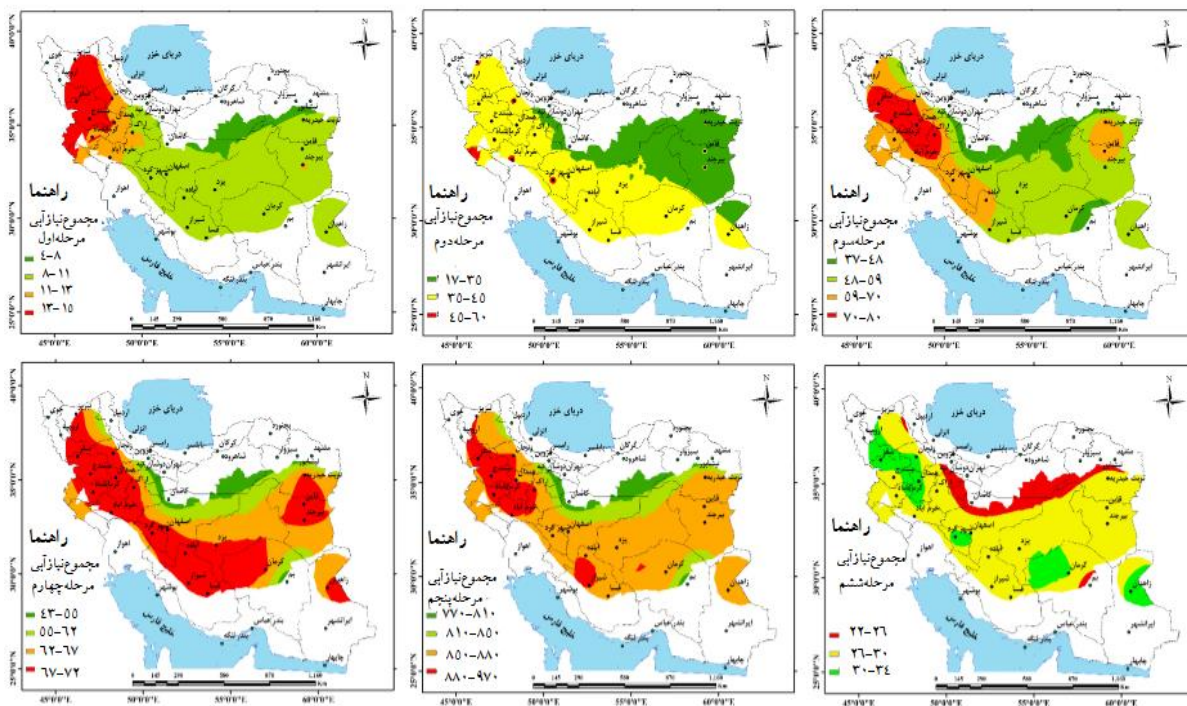
مطالعه حاضر با هدف سنجش مراحل فنولوژی درخت زرشک بی‌دانه و نیاز آبی درخت زرشک با توجه به شرایط تغییر اقلیم در مناطق مستعد کشت آن در ایران بررسی شد. نتایج نشان داد که



شکل ۸- توزیع فضایی مجموع نیاز آبی درخت زرشک بر حسب میلی‌متر در سناریوی RCP8.5 (الف) و RCP4.5 (ب) در دوره آماری ۲۰۶۰-۲۰۸۹  
 Figure 8- Spatial distribution of the total water requirement of the barberry tree in millimeters in the RCP8.5 (a) and RCP4.5 (b) scenarios in the statistical period of 2060-2089



شکل ۹- توزیع فضایی نیاز آبی درخت زرشک بر حسب میلی‌متر در طول مرحله رشد بر اساس سناریوی RCP4.5 در دوره آماری ۲۰۶۰-۲۰۸۹  
Figure 9- Spatial distribution of water requirement of barberry tree in millimeters during the growth stage based on the RCP4.5 scenario in the statistical period of 2060-2089



شکل ۱۰- توزیع فضایی نیاز آبی درخت زرشک بر حسب میلی‌متر در طول مراحل رشد بر اساس سناریوی RCP8.5 در دوره آماری ۲۰۶۰-۲۰۸۹  
Figure 10- Spatial distribution of barberry tree water requirement in millimeters during the growth stage based on the RCP8.5 scenario in the statistical period of 2060-2089

و نیمه خشک که کشاورزان با کمبود آب مواجه هستند، بسیار مطلوب است. با توجه به این که آب نیاز اصلی و ضروری هر محصولی هست؛ بنابراین، برآورد نیاز آبی مورد نیاز هر گیاه امری ضروری است.

علوی زاده، سید امیر محمد، منظم اسماعیل پور، علی، و حسین زاده کرمانی، محمود (۱۳۹۲). امکان سنجی نواحی مستعد کشت زعفران در دشت کاشمر از استفاده با GIS. *زراعت و فناوری زعفران*، ۱(۱)، ۷۱-۹۵. doi:10.22048/josat.2013.4812

گودرزی، مصطفی (۱۳۹۴). بررسی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی با استفاده از تلفیق مدل Modflow و روش Thornthwaite and Mather. رساله دکتری، دانشگاه صنعتی اصفهان.

گودرزی، مصطفی، و عابدی کوپایی، جهانگیر (۱۳۹۹). اثرات تغییر اقلیم بر نیاز آبی و نیاز آبیاری در مناطق تحت آبیاری، مطالعه موردی: دشت نجف آباد. *حفظ و بهره‌موری آب*، ۱(۱)، ۲۳-۳۰.

یارمحمدی، سمیرا، ذاکری‌نیا، مهدی، قربانی، خلیل، و سلطانی، افشین (۱۳۹۶). بررسی اثر تغییر اقلیم بر تبخیر-تعرق و نیاز آبی گندم در منطقه بجنورد. *مهندسی منابع آب*، ۱۰(۳۵)، ۹۷-۱۱۰. doi: 20.1001.1.20086377.1396.10.35.8.0

از آن‌جا که بارش سالانه از سالی به سال دیگر تغییر می‌کند؛ بنابراین، پروژه آبیاری نمی‌تواند فقط بر اساس اطلاعات یکسال طرح شود، پس برای محاسبه بارش مؤثر بر اساس احتمال وقوع به سوابق بلندمدت نیاز است. کشت زرشک به لحاظ آبیاری برای مناطق خشک

## منابع

برزگری، فاطمه، و ملکی‌نژاد، حسین (۱۳۹۵). بررسی نیاز آبی بخش کشاورزی تحت شرایط تغییر اقلیم (مطالعه موردی: دشت یزد- اردکان). *علوم مهندسی و آبیاری (مجله علمی کشاورزی)*، ۳۹(۴)، ۸۵-۹۵. doi:10.1016/j.spc.2022.12.013

رضائی، حسن (۱۳۹۸). ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر مناطق کشت زرشک در ایران. رساله دکتری، دانشگاه حکیم سبزواری.

رضایی، حسن (۱۳۹۹). تغییر اقلیم کشاورزی. انتشارات دانشگاهیان، ۲۳۸ صفحه.

رضایی، حسن، و فلاح قالهری، غلام عباس (۱۴۰۰). مکان‌یابی مناطق مناسب برای کشت زرشک در کشور ایران. *جغرافیایی سرزمین*، ۱۱(۲)، ۱۰۱-۱۱۸. doi:10.30495/sarzamin.2022.60781.1954

سرافروزه، فاطمه، جلالی، مسعود، جلالی، طاهره، و جمالی، ابوالفضل (۱۳۹۱). ارزیابی اثرات تغییر اقلیم آینده بر مصرف آب محصول گندم در تبریز. *فضای جغرافیایی*، ۱۴(۳۷)، ۸۱-۹۶.

## References

- Abbasi, F., Babaeian, A., Habibi Nokhandan, M., Goli Mokhtari, L., & Malbusi, Sh. (2010). Climate change assessment over Iran in the future decades using MAGICC-SCENGEN model. *Journal of Physical Geography Research Quarterly*, 42(72), 91-110.
- Alavi Zadeh, S., Monazzam Esmael Pour, A., & Hossein Zadeh Kermani, M. (2013). Possibility study of areas with potential cultivation of saffron in Kashmar plain using GIS. *Saffron Agronomy and Technology*, 1(1), 71-95. doi:10.22048/josat.2013.4812 [In Persian]
- Barzegari, F., & Maleki Nejad, H. (2015). Investigating the water needs of the agricultural sector under climate change conditions (case study: Yazd-Ardakan Plain). *Engineering and Irrigation Sciences (Agricultural Scientific Magazine)*, 39(4), 85-95. doi:10.1016/j.spc.2022.12.013 [In Persian]
- Cherie, Z.N. (2013). Downscaling and modeling the effects of climate change on hydrology and water resources in the Upper Blue Nile River Basin, Ethiopia. Ph.D. Thesis, University of Kassel, Kassel, Germany.
- Enriquez-Hidalgo, D., Cruz, T., Teixeira, D.L., & Steinfort, U. (2020). Phenological stages of Mediterranean forage legumes, based on the BBCH scale. *Annals of Applied Biology*, 176(3), 357-368. doi:10.1111/aab.12578
- Feldmann, F., & Rutikanga, A. (2021). Phenological growth stages and BBCH-identification keys of Chilli (*Capsicum annuum* L., *Capsicum chinense* JACQ., *Capsicum baccatum* L.). *Journal of Plant Diseases and Protection*, 128(2), 549-555. doi:10.1007/s41348-020-00395-x
- Gooderzi, M. (2015). Investigating the effects of climate change on underground water resources using the combination of Modflow model and Thornthwaite and Mather method. Ph.D. Thesis, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. [In Persian]
- Gudarzi, M., & Abedi Kopaei, J. (2020). Effects of climate change on water demand and irrigation demand in irrigated areas, case study: Najafabad Plain. *Water Conservation and Productivity*, 1(1), 23-30. [In Persian]
- IPCC, (2013). The physical science basis. In: Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., & Midgley, P.M. (Eds.), Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.

- Lapp, S., Suachyn, D., & Wheaton, E. (2008). Future climate change scenarios for the south Saskatchewan River Basin. Institutional Adaptations to Climate Change Project.
- Mardiyati, S., & Natsir, M. (2021). Literacy and adaptation strategy of rainfed lowland farmer on climate change risk in Takalar Regency. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Vol. 681, 012080.
- Meddi, M., & Eslamian, S. (2020). Uncertainties in rainfall and water resources in Maghreb countries under climate change. *African Handbook of Climate Change Adaptation*, 1-37.
- Rezaei, H. (2018). Evaluation of the effects of climate change on barberry growing areas in Iran. Ph.D. Thesis, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran. [In Persian]
- Rezaei, H. (2019). *Agricultural climate change*. Academician Publications, 238 pages. [In Persian]
- Rezaei, H., & Falah Ghalhari, G. (2022). Locating suitable areas for barberry cultivation in Iran. *Territory*, 18(72), 101-118. doi:10.30495/sarzamin.2022.60781.1954 [In Persian]
- Sarafroze, F., Jalali, M., Jalali, T., & Jamali, A. (2013). Evaluation of the effects of future climate change on water consumption of wheat crops in Tabriz. *Geographical Space Quarterly*, 14(37), 81-96. [In Persian]
- Su, B., Huang, J., Gemmer, M., Jian, D., Tao, H., Jiang, T., & Zhao, C. (2016). Statistical downscaling of CMIP5 multi-model ensemble for projected changes of climate in the Indus River Basin. *Atmospheric Research*, 178, 138-149. doi:10.1016/j.atmosres.2016.03.023
- Yarmohammadi, S., Zakarinia, M., Ghorbani, Kh., & Soltani, A. (2016). Investigating the effect of climate change on evapotranspiration and water requirement of wheat in Bojnord region. *Water Resources Engineering*, 10(35), 97-110. doi: 20.1001.1.20086377.1396.10.35.8.0 [In Persian]