



Estimating the Water Requirement of Grapevines in Iran in the Coming Decades

Tayeba Shojaei¹, Gholam Abbas Fallah Ghalhari², Abdolreza Kashki³

1. Faculty of Geography and Environmental Sciences, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran

Email: t.shojaee21@gmail.com

2. (Corresponding Author) Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Kashan, Kashan, Iran

Email: fallah.g@kashanu.ac.ir

3. Faculty of Geography and Environmental Sciences, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran

Email: a.kashki@hsu.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article History:

Received:

2 June 2024

Received in revised form:

25 August 2024

Accepted:

28 September 2024

Available online:

6 November 2024

Keywords:

Climate Change,

Water Demand,

Reference

Evapotranspiration,

Grape,

Iran.

ABSTRACT

Climate change is one of the most important challenges in the future. The present research was investigated in the time domain of the past period (1980-2005) and the future period in the form of the middle future period (2020-2055) and the far future period (2056-2090) based on real data from weather stations and data from general atmospheric circulation models. The geographical area of the research has covered the whole of Iran. To achieve future climate change, from the simulated data of five proposed models (BCC-CSM1.1, MRI-CGCM3, GFDL-CM3, MIROC-ESM and (GISS-E2-R) from the CMIP5 model series in the form of the fifth report and RCP scenarios Climate change was used. After the statistical analysis of the output of the MRI-CGCM3 model, the weighting method was used for the evaluations. In the coming decades, the reference evapotranspiration (ET₀) and the water requirement of the grape growing season will increase compared to the base period, so that according to the RCP8.5 scenario in the grape growing regions shortly (2020-2055) and far future (2090) - 2056), respectively, 31 and 98 mm will be added to the value of ET₀. The middle stage of grape growth will occur. Therefore, climate change will increase the amount of water in the grapes in the coming decades. Highlands will have less water needs than other areas.

Cite this article: Veisi Nabikandi, B, Hami, A., Valizadeh Kamran, K., & Emami Namin, F. (2024). Estimating the Water Requirement of Grapevines in Iran in the Coming Decades. *Physical Geography Research Quarterly*, 56 (3), 53-75.

<http://doi.org/10.22059/jphgr.2024.375069.1007824>



© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press

Extended Abstract

Introduction

It is predicted that the impact of climate change on agriculture will be more severe in the coming years due to changes in the intensity, magnitude and distribution of rainfall, soil water content, atmospheric water vapor, higher temperatures and, as a result, more evaporation and transpiration. This will have significant implications for irrigation needs, especially in semi-arid regions, known as hotbeds of climate change. Grape production requires a large amount of water, which can be problematic in semi-arid Mediterranean regions, where climate change projections predict a decrease in water availability associated with decreased rainfall and increased temperature.

Methodology

In the basic period, the status of effective climatic parameters was first investigated. Then, the time of occurrence of the phenological stages of the grapevine at the regional level was determined based on the data of the observation period. For future period data, the downscaled data of MarksimGCM database was used. The ordinal Kriging method was used for spatial distributions. RCP8.5 and RCP4.5 scenarios were used as pessimistic scenario and moderate scenario. In order to identify the phenological stages of grapevines, studies and field visits were conducted on grapevines. To control the phenological stages of grapes, the BBCH scale was used at Golmakan Agricultural Meteorological Station located in Khorasan Razavi Province in Northeast Iran during a complete growth period from the beginning of germination to the end of the stagnation period. In fact, the codes of phenological stages were observed and recorded in the field. In addition to field observations, climate data from the Golmakan agricultural meteorological station was also used. Golmakan agro climate station is located near Golmakan village and on the side of Mashhad-Chenaran road with an altitude of 1176 meters above sea level. This station mainly measures the effect of weather parameters on wheat and grape crops.

Results and discussion

The results showed that the grape tree in the initial stage of growth has a lower water requirement than other stages of growth. In the initial stage, the amount of water required varies from 207 mm in high and cool areas to 303 mm in low altitude and hotter areas. The results showed that in the coming decades, the amount of water needed will gradually increase compared to the base period. Based on the RCP8.5 scenario, in the period (2020-2055) and (2056-2090), the water demand will increase by 2.6 and 12 mm, respectively, compared to the base period. The amount of increase in water requirement in low altitude areas will be higher than in high and cool and cold areas. According to the RCP4.5 scenario, the amount of water needed in the period (2020-2055) and (2056-2090) will increase by 4 and 8 mm, respectively, compared to the base period. The amount of changes in water demand will be less than in the pessimistic scenario. The results of the spatial distribution of water requirement in the middle stage of grape growth in the base period showed that altitude conditions play a major role in the spatial distribution of water requirement in the middle stage of growth. The lowest amount of water requirement is observed in high areas. In the basic period, the amount of water needed in grape growing areas varies from 586 mm to 859 mm. The middle stage of grape growth, because it corresponds to the hot months of the year, has the highest amount of water needed in the growing season of grapes.

The results of the changes in the water requirement of the middle stage of grape growth in the coming decades compared to the base period under the RCP8.5 scenario show that in the period (2020-2055) and (2056-2090), on the water requirement of the middle stage of growth Grapes will increase 25 and 50 mm respectively, in its cultivation areas in Iran. In the far future period, the amount of water needed is higher than in the middle future. The highest amount of water requirement will be observed in low altitude stations

The results showed that in the period (2020-2055), the water requirement will change from 611 mm in high and cool areas to 884 mm in low and hotter areas. In the period

(2056-2090), the water requirement will increase from 636 mm to 909 mm according to the altitude conditions.

The results of changes in the water requirement of the middle stage of growth based on the RCP4.5 scenario for future periods showed that in the period (2020-2055) and (2056-2090) the amount of water requirement will be increased by 10 and 20 mm, respectively. The increase in water demand in this scenario will be less than the pessimistic scenario. The highest amount of water requirement will occur in low altitude areas.

The results showed that in the period (2020-2055), the water requirement will increase and change from 596 mm in high and cool areas and up to 869 mm in low altitude areas. In the period (2056-2090), the amount of water required for the middle stage of growth will change increase from 606 to 879 mm according to the altitude conditions. The results of the spatial distribution of the water requirement of the final stage of grape showed that in the basic period, the amount of water requirement varies from 358 to 410 mm from high to low altitude areas. This stage has less water requirement than the middle stage of growth. The lowest water requirement is observed in the high and cool areas of the northeast, north and northwest, and the high Zagros region. The areas of the plains and the marginal slopes of the mountainous areas have a higher water requirement.

Conclusion

The results show that in the RCP8.5 pattern, in the coming decades (2020-2055) and (2056-2090), 31 and 98 mm will be added to the reference evapotranspiration rate, respectively. The results of simulated data processing showed that under the RCP8.5 and RCP4.5 scenarios in the future periods, the amount of water requirement will increase compared to the base period for the growing stages of grapes in the growing areas of Iran. So that in the initial stage of growth under the mentioned scenarios in the periods (2020-2055) and (2056-2090) the amount of water requirement will increase by 6.2, 12, 4 and 8 mm, respectively. The water requirement of the middle stage of growth in the future period will increase

compared to the base period. Considering the timing of this stage of grape growth with the warm days of the year, the amount of water requirement is higher than other stages of grape growth. The lowest and the highest amount of water requirement will occur in the low and high altitude areas, respectively. The highest amount of water requirement in the stages of grape growth in the coming decades will occur in the low altitude areas on the edge of the high areas in the grape growing areas. The lowest water requirement in the future will occur in the high and cold regions of the northwest, the high Zagros and the Alborz regions and the high regions in the east and southeast.

Funding

There is no funding support.

Authors' Contribution

All of the authors approved the content of the manuscript and agreed on all aspects of the work.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

We are grateful to all the scientific consultants of this paper.



برآورد نیاز آبی درخت انگور کشمشی (Vitis Vinifera) در ایران در دهه‌های آینده

طیبه شجاعی^۱، غلام عباس فلاح قاله‌ری^۲، عبدالرضا کاشکی^۳

۱- گروه آب‌هوشناسی و ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران. رایانامه: t.shojaee21@gmail.com
 ۲- نویسنده مسئول، گروه جغرافیا و گردشگری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران. رایانامه: Fallah.g@kashanu.ac.ir
 ۳- گروه آب‌هوشناسی و ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران. رایانامه: a.kashki@hsu.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

تغییر اقلیم یکی از مهم‌ترین چالش‌ها در آینده محسوب می‌شود. تحقیق حاضر در قلمرو زمانی دوره گذشته (۲۰۰۵-۱۹۸۰) و دوره آینده به صورت دوره آینده میانی (۲۰۵۵-۲۰۲۰) و دوره آینده دور (۲۰۹۰-۲۰۵۶) بر مبنای داده‌های واقعی ایستگاه‌های هواشناسی و داده‌های مدل‌های گردش عمومی جو بررسی شد. قلمرو مکانی تحقیق، کل ایران را پوشش داده است. برای دستیابی به تغییر اقلیم دوره آینده، از داده‌های شبیه‌سازی شده پنج مدل پیشنهادی (MIROC-ESM، GFDL-CM3، MRI-CGCM3، BCC-CSM1.1 و GISS-E2-R) از سری مدل‌های CMIP5 در قالب گزارش پنجم و سناریوهای RCP تغییر اقلیم استفاده گردید. بعد از بررسی آماری خروجی مدل MRI-CGCM3 به عنوان مدل نهایی برای ارزیابی‌ها استفاده شد. برای اعتبار سنجی مدل‌ها، از روش وزن دهی استفاده شد. در دهه‌های آینده مقدار تبخیر - تعرق مرجع (ETO) و نیاز آبی فصل رشد انگور نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت، به طوری که بر اساس سناریوی RCP8.5 در مناطق کشت انگور در دوره آینده نزدیک (۲۰۲۰-۲۰۵۵) و آینده دور (۲۰۵۶-۲۰۹۰)، به ترتیب، ۳۱ و ۹۸ میلی‌متر بر مقدار ETO افزوده خواهد شد. مقدار نیاز آبی مراحل رشد انگور نیز در دهه‌های آینده افزایش خواهد یافت. بیشترین افزایش در مرحله میانی رشد انگور رخ خواهد داد. بنابراین تغییر اقلیم موجب افزایش مقدار ETO و نیاز آبی انگور خواهد شد. در دهه‌های آینده بیشترین افزایش نیاز آبی در مناطق کم ارتفاع حاشیه نواحی مرتفع و کوهستانی رخ خواهد داد. مناطق مرتفع و سردسیر شمال غرب و زاگرس مرتفع از نیاز آبی کمتری نسبت به دیگر مناطق برخوردار خواهند بود.

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت:

۱۴۰۳/۰۳/۱۳

تاریخ بازنگری:

۱۴۰۳/۰۶/۰۴

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۳/۰۷/۰۷

تاریخ چاپ:

۱۴۰۳/۰۸/۰۶

واژگان کلیدی:

تغییر اقلیم،

نیاز آبی،

تبخیر-تعرق مرجع،

انگور،

ایران.

استناد: شجاعی، طیبه؛ فلاح قاله‌ری، غلام عباس و کاشکی، عبدالرضا. (۱۴۰۳). برآورد نیاز آبی درخت انگور کشمشی (Vitis Vinifera) در ایران در دهه‌های آینده. *مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۵۶ (۳)، ۷۵-۵۳.

<http://doi.org/10.22059/jphgr.2024.375069.1007824>



مقدمه

درک ویژگی‌ها و عوامل تعیین‌کننده مربوط به نیاز آبی در شرایط تغییرات آب‌وهوایی برای تولید محصول و استفاده از منابع آب کشاورزی بسیار مهم است (Jia et al., 2021). پیش‌بینی می‌شود که تأثیر تغییر اقلیم بر کشاورزی در سال‌های آینده به دلیل تغییر شدت، بزرگی و توزیع بارندگی، محتوای آب خاک، بخار آب جوی، دماهای بالاتر و در نتیجه تبخیر و تفرق بیشتر، شدیدتر باشد. این امر پیامدهای قابل‌توجهی بر نیاز آبیاری، به‌ویژه در مناطق نیمه‌خشک، که به‌عنوان کانون تغییرات آب‌وهوایی شناخته می‌شود، خواهد داشت. تولید انگور نیاز به مقدار زیادی آب دارد که می‌تواند در مناطق نیمه‌خشک مدیترانه مشکل‌ساز باشد، جایی که پیش‌نگری‌های تغییرات اقلیمی، کاهش در دسترس بودن آب مرتبط با کاهش بارندگی و افزایش دما را پیش‌بینی می‌کنند (Pizarro et al., 2022).

حجایی و همکاران (۱۳۹۸) به بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر فنولوژی انگور رقم بی‌دانه سفید در استان آذربایجان غربی با استفاده از داده‌های تغییر اقلیم پروژه CORDEX پرداختند. نتایج نشان داد که مراحل فنولوژی انگور در آینده نزدیک (۲۰۲۰-۲۰۵۰) و آینده دور (۲۰۷۱-۲۱۰۰) نسبت به دوره پایه (۱۹۷۶-۲۰۰۵) به ترتیب ۱۰ و ۴۰ روز کاهش خواهد یافت. علیزاده و همکاران (۱۳۹۹) با بررسی اثر تغییر اقلیم بر کیفیت انگور بی‌دانه سفید در ایستگاه گل‌مکان با استفاده از مدل HadCM3 و سناریوهای RCP 4.5, 8.5 به این نتیجه رسیدند که در منطقه مطالعاتی دما افزایش و بارش کاهش و متعاقب آن متغیرهای کیفیت انگور (قند، وزن خوشه، اندازه خوشه، طول میوه، اسیدیته و ...) در دوره آینده نزدیک (۲۰۲۰-۲۰۵۰) با روند کاهشی معنی‌داری مواجه خواهند شد.

هور و گاق (۲۰۲۰) به ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر رشد انگور در دره اکاناگان^۱ کانادا پرداختند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که دره اکاناگان از کشت انگور با آب‌وهوای سرد به آب‌وهوای متوسط تبدیل شده است و ممکن است در آینده بیشتر به طبقه‌بندی‌های آب‌وهوای گرم تغییر کند. این به معنای خطرات بیشتر آب‌وهوایی مرتبط با استرس گرمایی است، اما خطر کمتری به دلیل آسیب یخ‌زدگی و پتانسیل یخبندان رخ خواهد داد. سازگاری مؤثر با تغییرات اقلیمی برای صنعت انگور و شراب در این منطقه اهمیت حیاتی دارد. ژاگوس و همکاران (۲۰۲۰) به ارزیابی نیاز آبی انگور از منظر تغییرات اقلیمی در غرب لهستان پرداختند. بدین منظور آن‌ها از داده‌های بارش و دمای روزانه سه ایستگاه در دوره ۱۹۸۱-۲۰۱۰ استفاده نموده و میزان تبخیر و تفرق مرجع را در دوره رشد انگور (می تا اکتبر) با استفاده از روش بلانی و کریدل محاسبه کردند. نتایج نشان داد که نیاز آبی انگور در هر دهه در طی سی سال دوره آماری در کل دوره رشد و به‌ویژه دوره ژوئن تا اگوست افزایش یافته است. آوارز و همکاران (۲۰۲۱) اثرات سه رژیم آبیاری دیم، آبیاری محدود و آبیاری کامل را بر روی عملکرد و ترکیبات درخت انگور گونه بوبال در اقلیم مدیترانه‌ای را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد در نیمه تابستان انگور دیم تنش آبی متفاوتی داشتند و هنگام برداشت غلظت کل مواد محلول و ترکیبات فنولیکی بالاتر است. در رژیم آبیاری محدود اثرات مشاهده‌شده بر روی پارامترهای رنگ و ترکیبات فنولیکی انگور به دلیل شرایط کم‌آبی باعث کاهش عملکرد و وزن دانه انگور در مقایسه با رژیم آبی می‌گردد.

ماسیا و همکاران (۲۰۲۱) پیامدهای تغییر اقلیم را بر نیاز آبی محصول در بعد منطقه‌ای و محلی در مناطق نیمه‌خشک جنوب اروپا مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان می‌دهد که در کشورهای مدیترانه‌ای، تولید ذرت، گندم و انگور در شرایط آب‌وهوایی آینده به ترتیب حدود ۱۳، ۱۶ و ۱۰ درصد به آب بیشتری نیاز دارد. گورارا و همکاران (۲۰۲۱) تأثیر تغییر آب‌وهوا بر تبخیر - تفرق پتانسیل و نیاز آبی محصول در ایتالیای جنوبی را بررسی کردند. نتایج نشان داد روند افزایشی تبخیر تفرق پتانسیل،

نیاز آبی آبیاری را افزایش می‌دهد و در نتیجه نیاز به بازنگری در سیاست‌های توسعه منابع آب و تخصیص آب در حوزه آبخیز است. پیزارو و همکاران (۲۰۲۲) نقش مدیریت آب و تغییر اقلیم را در تولید انگور رومیزی در حوزه مدیترانه بررسی کردند. نتایج نشان داد که در آینده نزدیک تحت تمام سناریوهای تغییر اقلیم آزمایش شده، استراتژی‌های آبیاری مبتنی بر تأمین ۸۰٪ و ۵۰٪ تبخیر و تعرق محصول (ETc) (سناریوهای کم آبیاری) بازده بیشتری نسبت به مدیریت آبیاری استاندارد دارند. بر اساس این نتایج، تا اواسط قرن حاضر، مدیریت آبیاری تأثیر بیشتری نسبت به تغییر آب‌وهوا برای انگورهای رومیزی دارد.

سگلار و همکاران (۲۰۲۴) شاخص‌های اقلیم کشاورزی را برای دوره آبی بر روی درخت انگور و زیتون در سراسر اروپا مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل از پژوهش آن‌ها نشان می‌دهد که تا قبل از سال ۲۰۲۰ فقط مقدار اندکی از مناطق کشت انگور و زیتون در اروپا تحت تأثیر پدیده‌های فرین قرار گرفته بودند. لکن پیش‌نگری‌های مربوط به دوره ۲۰۸۰-۲۰۲۰ نشان می‌دهد که پدیده فرین دمای بالا به‌طور فزاینده‌ای افزایش خواهد داشت. تقریباً یک ۱/۳ نواحی کشت انگور و بیش از نیمی از نواحی کشت زیتون در آینده شرایط خشک‌سالی شدید را تجربه خواهند کرد. بعلاوه فراوانی رویدادهای فرین ترکیبی در منطقه مدیترانه‌ای تحت سناریوی بدبینانه (RCP 8.5) خواهد یافت.

راموس و همکاران (۲۰۲۴) به ارزیابی تأثیر دما و میزان دسترسی به آب بر روی کیفیت انگور قرمز (Merlot) در منطقه گرم اسپانیا پرداختند. افزایش دما باعث کاهش ترکیبات محتوی فنولیکی انگور می‌شود و دسترسی به آب بیشتر این میزان را افزایش می‌دهد. مرحله رسیدن انگور تحت تأثیر تغییرات دما و توزیع آب در مراحل رشد قرار می‌گیرد. پیش‌نگری شرایط دمایی گرم‌تر در دوره آبی می‌تواند بر ترکیبات فنولیکی انگور قرمز و در نتیجه بر نوشیدنی تولیدشده حاصل از آن تأثیرگذار باشد. برای حفظ کیفیت انگور بایستی خط‌مشی‌هایی برای کاهش تنش گرمایی اتخاذشده و زمان‌بندی آبیاری انگور نه‌تنها در مرحله رسیدن بلکه در مراحل قبل از آن با شرایط اقلیمی تغییر یابد.

هدف عمده این تحقیق، ارزیابی پیامدهای تغییر اقلیم بر نیاز آبی مراحل مختلف رشد انگور رقم بی‌دانه سفید کشمشی در ایران در دهه‌های آینده است.

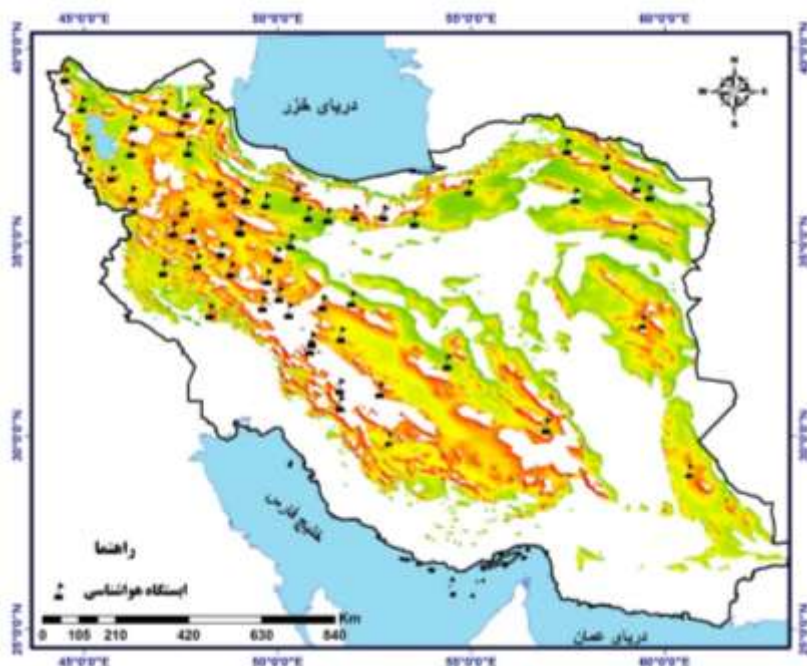
روش پژوهش

در تحقیق حاضر از طیف متنوعی از داده‌ها متناسب با محتوا و هدف تحقیق استفاده شده است. از داده‌های روزانه دما و بارش در دوره پایه از سال ۱۹۸۰ تا ۲۰۰۵ در سطح ۵۲ ایستگاه هواشناسی منتخب استفاده شده است. برای دوره آینده و ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر نیاز آبی، از داده روزانه و ماهانه شبیه‌سازی‌شده خروجی مدل‌های گردش کلی جو استفاده شد. مکانی تحقیق، کل ایران و سپس مناطق مستعد کشت انگور رقم بی‌دانه سفید کشمشی (Vitis Vinifera) در ایران را شامل می‌شود. این رقم بیشتر در مناطق معتدله و نیمه گرمسیری ایران کشت می‌شود. شکل (۱) تصویری از میوه این رقم را نشان می‌دهد. بعد از تعیین مناطق مستعد کشت درختان انگور بر اساس شرایط اقلیمی با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی، ایستگاه‌های هواشناسی واقع در این محدوده از کشور شناسایی گردید. در این راستا با در نظر گرفتن آمار بلندمدت و مورد اعتماد، آمار و اطلاعات ۵۲ ایستگاه هواشناسی همدید تهیه شد.



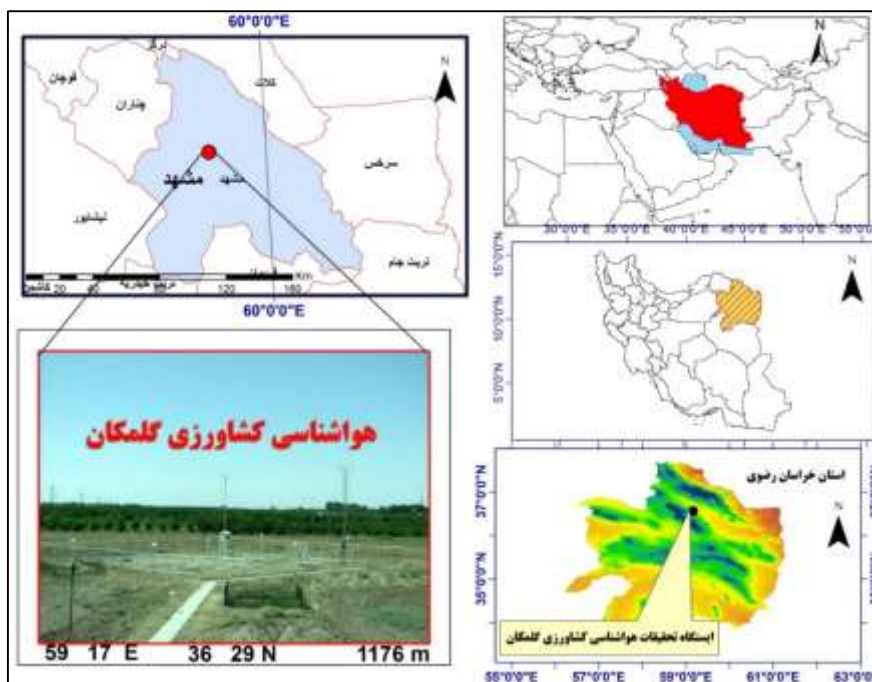
شکل ۱. مرحله فنولوژیکی نمو میوه درخت انگور

شکل (۲) موقعیت و پراکنش ایستگاه‌های هواشناسی منتخب در مناطق کشت درختان انگور را نشان می‌دهد. آمار و اطلاعات این ایستگاه‌ها در مقیاس روزانه برای پارامترهای دمای کمینه، دمای بیشینه، میانگین دما، بارش و تابش خورشیدی در دوره پایه از سازمان هواشناسی کشور تهیه شد.



شکل ۲. موقعیت و پراکنش ایستگاه‌های هواشناسی مناطق کشت درخت انگور در ایران

زیر بنای تحقیق حاضر را آمار دوره پایه و دوره آینده شکل می‌دهد. در این راستا متناسب با اهداف تحقیق، از روش‌ها و مدل‌های مختلفی جهت تجزیه و تحلیل داده‌های تحقیق استفاده شده است. در دوره پایه ابتدا وضعیت پارامترهای مؤثر اقلیمی بررسی شد. سپس زمان رخداد مراحل فنولوژیکی درخت انگور در سطح منطقه بر اساس داده‌های دوره واقعی در بازه زمانی بلندمدت سنجش و توزیع آن‌ها مشخص شد. برای داده دوره آینده از داده ریزمقیاس شده پایگاه MarksimGCM استفاده شد. از روش کریجینگ معمولی جهت توزیع‌های فضایی استفاده شد. از دو سناریوی RCP8.5 و RCP4.5 به عنوان سناریوی بدبینانه و سناریوی حد وسط استفاده شد. برای شناسایی مراحل فنولوژی درخت انگور، اقدام به مطالعات و بازدیدهای میدانی بر روی درختان انگور شد. برای کنترل مراحل فنولوژیکی انگور، از مقیاس BBCH در ایستگاه هواشناسی کشاورزی گل‌مکان واقع در استان خراسان رضوی در شمال شرق ایران در طی یک دوره رشد کامل از آغاز جوانه‌زنی تا پایان دوره رکود استفاده شد. در واقع کدهای مراحل فنولوژیکی به صورت میدانی مشاهده و ثبت گردید. در کنار مشاهدات میدانی از اطلاعات اقلیمی ایستگاه هواشناسی کشاورزی گل‌مکان در محل باغ نیز استفاده شد. ایستگاه هواشناسی کشاورزی گل‌مکان در حوالی روستای گل‌مکان و حاشیه جاده مشهد - چناران با ارتفاع ۱۱۷۶ متر از سطح دریا و مختصات ۳۶ درجه و ۲۹ دقیقه و ۵۹ درجه ۱۷ دقیقه طول جغرافیایی واقع می‌باشد. این ایستگاه هواشناسی کشاورزی عمدتاً بر روی محصولات گندم و انگور تأثیر پارامترهای جوی را اندازه‌گیری می‌کند. شکل ۳ موقعیت ایستگاه را در استان خراسان رضوی و ایران نشان می‌دهد.



شکل ۳. موقعیت جغرافیایی باغ مورد مطالعه جهت انجام بازدیدهای میدانی فنولوژی انگور

بررسی‌ها نشان داد درخت انگور بر اساس مقیاس BBCH، ۸ مرحله فنولوژیکی اصلی دارد. این مراحل به ترتیب مرحله جوانه‌زنی و نمو جوانه (کد ۰)، مرحله نمو برگ (کد ۱)، مرحله گل‌آذین (کد ۵)، مرحله گلدهی (کد ۶)، مرحله نمو میوه (کد ۷)، مرحله رسیدن میوه (کد ۸)، مرحله بلوغ کامل و خزان (کد ۹) را شامل می‌شود. مرحله اول از اوایل فروردین‌ماه با ظهور دماهای بالاتر از دمای پایه (۱۰ درجه سانتی‌گراد) در منطقه گلستان آغاز شده و تا ۳۰ فروردین‌ماه به طول انجامیده است. زمان رخداد مرحله فنولوژیکی نمو برگ در درختان انگور از اوایل اردیبهشت‌ماه تا اواسط اردیبهشت به تدریج به طول می‌انجامد. مرحله فنولوژیکی گل‌آذین از اواسط تا اواخر اردیبهشت‌ماه به طول می‌انجامد. زمان رخداد مرحله گلدهی از اوایل خرداد تا اواسط خردادماه به طول می‌انجامد. مرحله فنولوژیکی نمو میوه از اوایل تیرماه تا اواخر مردادماه به طول می‌انجامد. مرحله فنولوژیکی بلوغ کامل و خزان از اواخر شهریورماه تا اواخر آبان‌ماه به طول می‌انجامد.

در این مطالعه برای داده دوره آینده بر اساس پایگاه داده MarkSimGCM، برون‌داد پنج مدل پیشنهادی در پروژه درون مقایسه‌ای مدل‌های جفت شده (BCC-CSM1.1، MRI-CGCM3، GFDL-CM3، MIROC-ESM و GIS-E2-R) بر اساس سناریوهای واداشت تابشی RCP4.5 و RCP8.8 استفاده شد. دوره پایه، دوره زمانی ۲۰۱۴-۱۹۸۰ را پوشش می‌دهد. نام مدل‌ها، مؤسسات ارائه‌دهنده مدل و تفکیک افقی مدل‌های مورد مطالعه در جدول (۱) مشخص شده است.

جدول ۱. مشخصات مدل‌های CMIP5 ارزیابی شده در مطالعه حاضر

نام مدل‌های جوی - اقیانوسی جفت شده	نام موسسه ارائه‌دهنده مدل	تفکیک افقی مدل
BCC-CSM1.1	مرکز برکنس برای تحقیقات آب‌وهوا (دانشگاه برگن، نروژ)	۱/۹ * ۱/۹
MRI-CGCM3	موسسه مطالعات جوی و اقیانوسی و علوم زمینی - دریایی و موسسه مطالعات علوم محیطی ژاپن	۲/۸ * ۲/۸
GFDL-CM3	آزمایشگاه ژئوفیزیک و دینامیک شاره‌ها	۲/۵ * ۲
MIROC-ESM	موسسه مطالعات جوی و اقیانوسی و علوم زمینی - دریایی و موسسه مطالعات علوم محیطی ژاپن	۲/۸ * ۲/۸
GISS-E2-R	موسسه مطالعات فضایی گودارد	۲/۵ * ۲

در این تحقیق عدم قطعیت در شبیه‌سازی مدل‌های جفت شده جوی - اقیانوسی به روش وزن‌دهی به برون‌داد هر مدل تحت سناریوهای واداشت تابشی داده شد. بدین منظور، مقادیر شبیه‌سازی شده دوره آینده با مقدار مشاهده شده دوره پایه مقایسه گردید. میزان توانمندی هر مدل بر اساس وزنی که در این فرایند به دست می‌آورد مشخص می‌شود. وزن هر مدل بر اساس رابطه (۱) بررسی می‌شود (باباییان و کوهی، ۱۳۹۱: ۹۵۶).

$$W_{i,j} = \frac{1}{\Delta F_{i,j} \sum_{i=1}^n (1/\Delta I_{i,j})} \quad (1)$$

در رابطه فوق F متغیر هواشناسی مورد بررسی، ΔF اختلاف بین متغیر شبیه‌سازی شده تحت سناریوهای مختلف با مقدار مشاهداتی در دوره پایه و W وزن شبیه‌سازی‌های هر مدل گردش عمومی جو برای سناریوی مورد نظر می‌باشد. i و j به ترتیب نشان‌دهنده ماه و مدل گردش عمومی جو می‌باشد (باباییان و کوهی، ۱۳۹۱: ۹۵۶). این شرایط بر روی مدل‌های مختلف در محیط نرم‌افزار اکسل به صورت برنامه اعمال شد و بر اساس آن وزن مدل‌ها محاسبه گردید. بعد از اعمال روش وزن‌دهی بر برون‌داد مدل‌های شبیه‌سازی کننده دوره آینده، بر اساس شاخص‌های اعتبار سنجی (MAE) ، (MBE) ، (R^2) و $(RMSE)$ نتایج برون‌داد مدل‌ها با داده دوره پایه مقایسه شد. این شاخص‌ها و معیارها بر اساس روابط (۲) تا (۵) محاسبه می‌شوند.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \quad (2)$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)}{n} \quad (3)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |P_i - O_i|}{n} \quad (4)$$

$$R^2 = \frac{(\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})(O_i - \bar{O}))^2}{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2 \sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (5)$$

در معادله‌های فوق، P_i مقدار برآورد شده و O_i مقدار اندازه‌گیری شده، \bar{P} میانگین مقادیر برآورد شده، \bar{O} میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده و n برابر تعداد مقایسه‌ها می‌باشد. مقدار آماره $RMSE$ همواره مثبت بوده و هر چه به صفر نزدیک‌تر باشد بهتر است. مقدار مثبت آماره MBE نشان‌دهنده این است که مدل میزان بارش را بیشتر از مقدار واقعی برآورد کرده است. مقدار R^2 از صفر تا یک تغییر می‌کند و هر چه به یک نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده برازش بهتر داده‌ها می‌باشد.

برآورد تبخیر - تعرق مرجع با روش هارگریوز - سامانی

در این تحقیق از روش هارگریوز-سامانی برای محاسبه تبخیر تعرق گیاه مرجع استفاده شده است. در روش هارگریوز - سامانی برای محاسبه تبخیر تعرق گیاه مرجع تنها داده‌های دما مورد نیاز می‌باشد، بنابراین یک روش دماپایه محسوب می‌شود (شریفان و هزار جریبی، ۱۳۸۹: ۲۱۳؛ باباییان و کوهی، ۱۳۹۱: ۹۵۷؛ گودرزی و همکاران، ۱۳۹۶: ۶۰). این روش بر اساس رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$E_{to} = 0.0023Ra (T_{mean} + 17.8)(TD)^{0.5} \quad (6)$$

در این رابطه، TD: تفاوت بیشینه و کمینه دما بر حسب درجه سلسیوس، T_{mean} : میانگین دما دره حرارت، Ra: تابش برون زمینی در لبه خارجی جو که از جداول ویژه قابل استخراج است و Eto: تبخیر - تعرق گیاه مرجع بر حسب میلی‌متر در روز یا ماه است (احمدی، ۱۳۹۶: ۷۰؛ شریفان و هزار جریبی، ۱۳۸۹: ۲۱۳؛ گودرزی و همکاران، ۱۳۹۶: ۶۰). برای نحوه محاسبه تابش فرازمینی به آلن و همکاران (۱۹۹۸) مراجعه نمایید.

تعیین نیاز آبی درخت انگور

آب موردنیاز برای جبران تلفات تبخیر - تعرق گیاهان یک مزرعه تحت کشت، نیاز آبی نامیده می‌شود (وزیری و همکاران، ۱۳۸۷: ۲۵). نیاز آبی به مقدار آبی گفته می‌شود که باید به صورت آبیاری به زمین داده شود تا گیاه با حداکثر توان خود رشد کرده و تولید محصول نماید (میرموسوی و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۲۶). روش زیر (رابطه ۳-۲۶) یکی از روش‌های برآورد نیاز آبی است که سازمان فائو ارائه کرده است. این روش که برای گیاهان مجزا بسیار مفید است. در این روش تبخیر - تعرق گیاه با ضرب ضریب گیاهی در تبخیر - تعرق گیاه مرجع، محاسبه می‌شود (وزیری و همکاران، ۱۳۷۸: ۲۶).

$$ETc = ETo \cdot Kc \quad (7)$$

در رابطه فوق Etc، تبخیر - تعرق گیاه (میلی‌متر بر روز)، Kc، ضریب گیاهی (بدون واحد) و ETo، تبخیر - تعرق مرجع (میلی‌متر بر روز) است. در این تحقیق نیاز آبی انگور در مراحل رشد از طریق تبخیر و تعرق مرجع (ETo) و ضریب گیاهی (Kc) مشخص گردید. روش معمول در تعیین نیاز آبی گیاهان استفاده از تبخیر - تعرق مرجع (ETo) و اعمال ضریب گیاهی (Kc) می‌باشد. نیاز آبی گیاه انگور مانند هر گیاه دیگر از روی ضرایب گیاهی^۱ (Kc) آن در طول دوره رشد و تبخیر - تعرق گیاه مرجع^۲ به دست می‌آید.

میزان ضریب گیاهی (Kc) انگور

پوشش سطح گیاه، ارتفاع گیاه و سطح برگ با رشد گیاه تغییر می‌کند. ضریب گیاهی یک گیاه مشخص در دوره رشد به دلیل تفاوت تبخیر - تعرق در مراحل مختلف، تغییر خواهد کرد. دوره رشد گیاه انگور را می‌توان به سه مرحله متمایز اولیه، توسعه میانی و پایانی تقسیم کرد. Kc یا ضریب گیاهی گیاه انگور در مراحل رشد به صورت جدول (۲) است (وزیری و همکاران، ۱۳۷۸).

جدول ۲. ضریب گیاهی (Kc) انگور در مراحل رشد

مرحله اولیه رشد	مرحله میانی	مرحله پایانی
۰/۳۰	۰/۸۵	۰/۴۵

منبع: (وزیری و همکاران، ۱۳۷۸)

یافته‌ها

اعتبارسنجی مدل‌های شبیه‌سازی کننده گردش عمومی جو از تغییر اقلیم آینده

نتایج بر اساس روش وزن دهی به برونداد مدل‌های مختلف گردش عمومی جو نشان داد که از میان پنج مدل پیشنهادی، (GISS-E2-R و MIROC-ESM، GFDL-CM3، MRI-CGCM3، BCC-CSM1.1) تعبیه شده در پایگاه

1. Crop coefficients

2. Reference evapotranspiration

MarkSimGCM، با اعمال روش وزن دهی و معیارهای اعتبارسنجی ارائه شده بر روی داده مشاهده‌ای در گذشته در دوره (۱۹۸۰-۲۰۰۵) و داده برون داد مدل‌ها در دوره آینده، مدل MRI-CGCM3، به دلیل اختلاف کمتر و انطباق بالاتر با داده مشاهده‌ای، از توانایی بیشتری در شبیه‌سازی آینده برخوردار می‌باشد.

نتایج اعتبارسنجی و تعیین میزان توانمندی مدل‌های گردش کلی جو با داده دوره مشاهده‌ای (۱۹۸۰-۲۰۰۵) بر اساس روش وزن دهی در جدول (۳) مشخص شده است. نتایج نشان داد که مدل MRI-CGCM3 با توجه به وزن بالاتر نسبت به دیگر مدل‌های گردش عمومی پیشنهاد شده، از توانمندی بالاتری در شبیه‌سازی رفتار دما و بارش در دوره آینده نسبت به دوره پایه یا مشاهده‌ای برخوردار می‌باشد. بنابراین از داده‌های مدل مذکور پروژه درون مقایسه‌ای مدل‌های جفت شده CMIP5، بر اساس سناریوهای واداشت تابشی RCP، برای ارزیابی و آشکارسازی اثرات تغییر اقلیم دوره آینده استفاده شد.

جدول ۳. نتایج اعتبارسنجی مدل‌های گردش کلی جو بر اساس روش وزن دهی در مقایسه با دوره مشاهده‌ای

GISS-E2-R	MIROC-ESM	GFDL-CM3	MRI-CGCM3	BCC-CSM1.1	
۰/۱۹	۰/۲۹	۰/۲۵	۰/۴۰	۰/۳۰	دمای کمینه
۰/۱۷	۰/۱۸	۰/۲۳	۰/۳۹	۰/۲۷	دمای بیشینه
۰/۱۳	۰/۱۹	۰/۱۳	۰/۲۹	۰/۲۶	بارش

نتایج راستی آزمایی و معیارهای ارزیابی عملکرد برون داد مدل‌های پیشنهاد شده برای دمای هوا

نتایج ارزیابی عملکرد و مقایسه مدل‌های پیشنهاد شده گردش کلی جو برای مؤلفه دمای هوا در دوره آینده نسبت به دوره مشاهده‌ای (۱۹۸۰-۲۰۰۵) بر اساس معیارهای ارزیابی در جدول (۴) مشخص شده است. نتایج نشان داد که مدل‌های پیشنهاد شده از انطباق نسبتاً بالایی با داده مشاهده‌ای برخوردارند، اما مدل MRI-CGCM3 از انطباق بالاتر و خطای شبیه‌سازی کمتری نسبت به دیگر مدل‌ها برخوردار می‌باشد. بنابراین مدل مذکور هم بر اساس روش وزن دهی و هم معیارهای اعتبار و خطا سنجی از انطباق بالاتری با داده‌های دوره پایه برخوردار می‌باشد. لذا در ادامه نتایج این مدل برای داده دوره آینده و شبیه‌سازی شده برای پارامترها و روش‌های مورد مطالعه استفاده شده است.

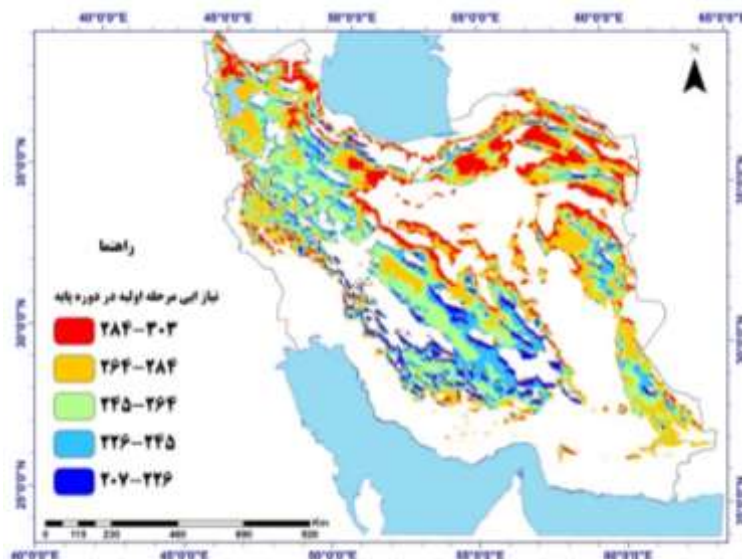
جدول ۴. نتایج عملکرد معیارهای ارزیابی برای پنج مدل گردش عمومی جو برای دمای هوا نسبت به دوره پایه (۱۹۸۰-۲۰۰۵)

مدل	معیارهای ارزیابی				
	RMSE	MBE	MAE	R ²	R
BCC-CSM1.1	۹/۹۹	۱۱/۰۵	۱۵/۷	۰/۵۰	۰/۷۰
MRI-CGCM3	۸/۷۱	۱۲/۴۹	۱۳/۴۰	۰/۵۴	۰/۷۴
GFDL-CM3	۱۲/۱۲	۱۴/۷۲	۱۸/۵	۰/۴۹	۰/۷۱
MIROC-ESM	۹/۸۲	۱۳/۱۹	۱۴/۱۲	۰/۵۲	۰/۷۲
GISS-E2-R	۱۵/۸۸	۲۵/۰۹	۱۹/۵۹	۰/۴۸	۰/۶۹

برآورد نیاز آبی مراحل رشد انگور در دوره پایه و آینده

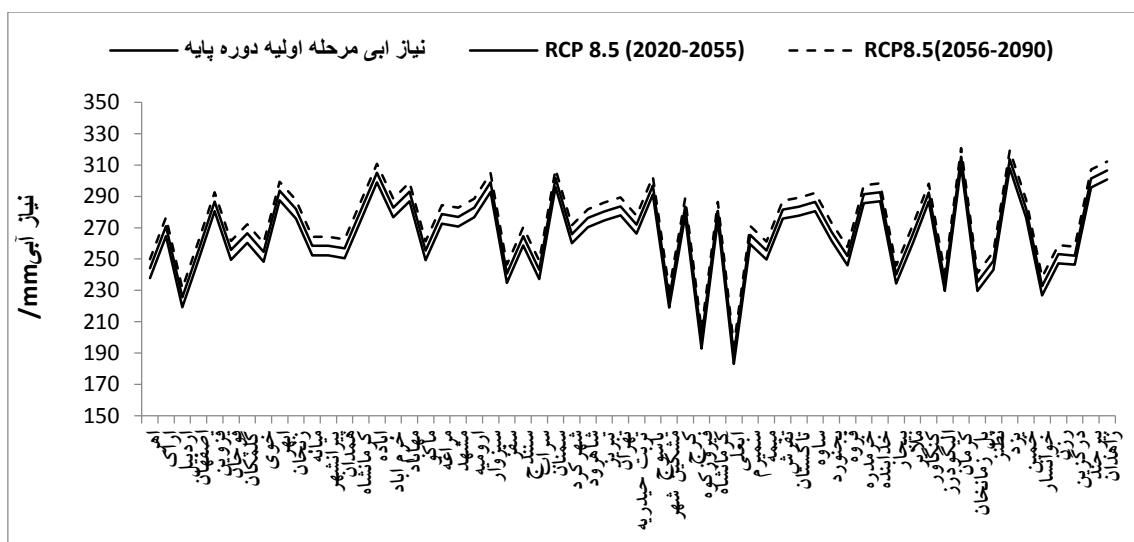
مرحله اولیه رشد انگور

نتایج توزیع مکانی نیاز آبی مرحله اولیه رشد در دوره پایه در مناطق کشت انگور در شکل (۴) مشخص شده است. نتایج نشان داد که درخت انگور در مرحله اولیه رشد (از شروع رشد گیاه تا پوشش مؤثر سطح زمین توسط گیاه) از نیاز آبی کمتری نسبت به دیگر مراحل رشد برخوردار می‌باشد. در مرحله اولیه مقدار نیاز آبی از ۲۰۷ میلی‌متر در مناطق مرتفع و خنک تا ۳۰۳ میلی‌متر در مناطق کم ارتفاع و گرم‌تر متغیر می‌باشد.



شکل ۴. بررسی وضعیت نیاز آبی مرحله اولیه رشد انگور در دوره پایه

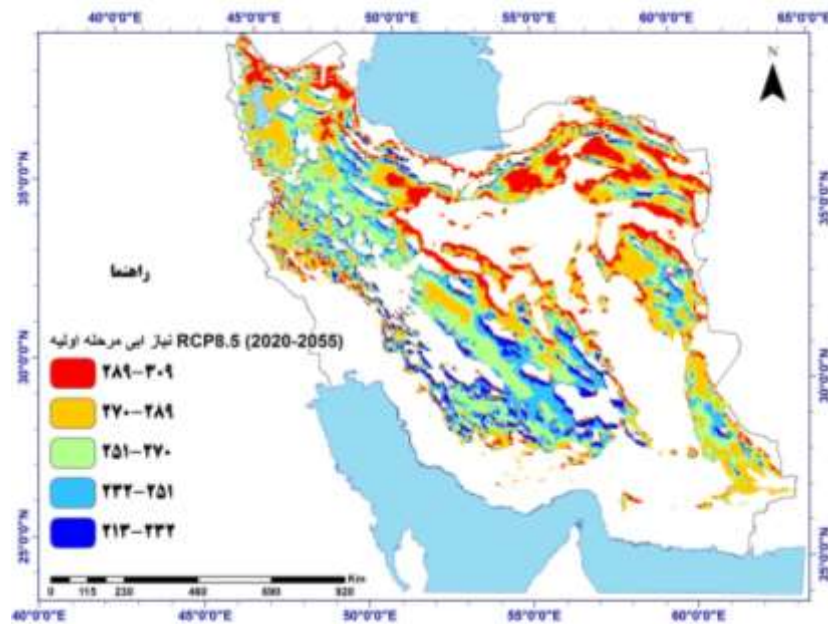
نتایج تغییرات نیاز آبی مرحله اولیه رشد انگور در دوره آینده بر اساس الگوی RCP8.5 نسبت به دوره پایه در شکل (۵) مشخص شده است. نتایج نشان داد که در دهه‌های آینده مقدار نیاز آبی به تدریج نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت. همان‌طور که مشخص شده، منحنی دوره آینده (۲۰۵۶-۲۰۹۰) از فاصله بیشتری نسبت به منحنی دوره پایه قرار گرفته است. به طوری که بر اساس این سناریو در دوره (۲۰۲۰-۲۰۵۵) و (۲۰۵۶-۲۰۹۰) مقدار نیاز آبی به ترتیب ۶/۲ و ۱۲ میلی‌متر نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت. مقدار افزایش نیاز آبی در مناطق کم ارتفاع بیشتر از مناطق مرتفع و خشک و سردسیر مشاهده می‌شود.



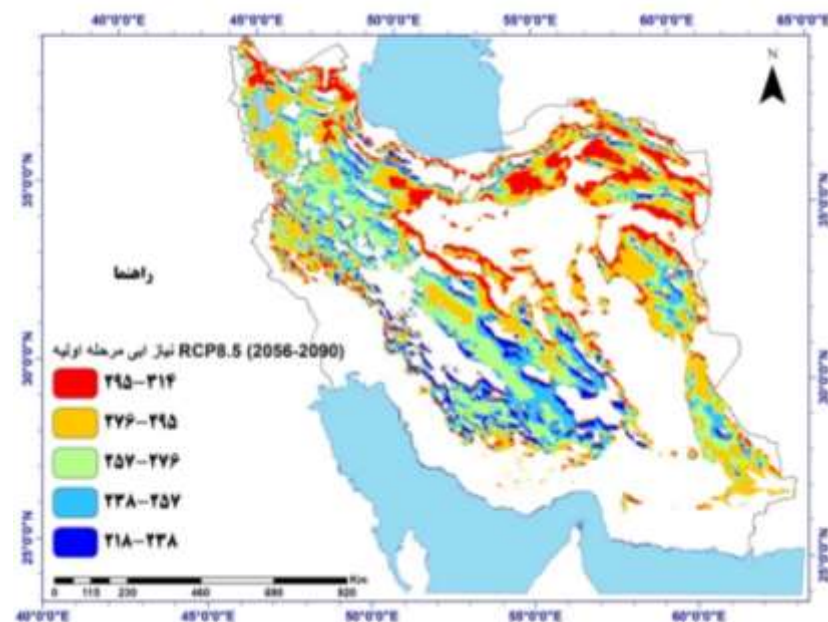
شکل ۵. بررسی میزان انحراف و تغییرات نیاز آبی مرحله اولیه رشد انگور در دوره آینده بر اساس RCP8.5 نسبت به دوره پایه در مناطق کشت انگور در ایران

نتایج توزیع مکانی نیاز آبی مرحله اولیه رشد انگور در دهه‌های آینده نسبت به دوره پایه بر اساس سناریوی RCP8.5 در شکل‌های (۷) و (۶) مشخص شده است. نتایج نشان می‌دهد که در دوره (۲۰۲۰-۲۰۵۵) مقدار نیاز آبی از ۲۱۳ میلی‌متر در

مناطق مرتفع و خنک تا ۳۰۹ میلی‌متر در مناطق کم ارتفاع و گرم‌تر تغییر خواهد یافت. در دوره (۲۰۵۶-۲۰۹۰) مقدار نیاز آبی از افزایش بیشتری نسبت به دوره میانی مشاهده می‌شود. در این دوره مقدار نیاز آبی از ۲۱۸ میلی‌متر در مناطق مرتفع و خنک تا ۳۱۴ میلی‌متر در مناطق کم ارتفاع و گرم‌تر متغیر می‌باشد.

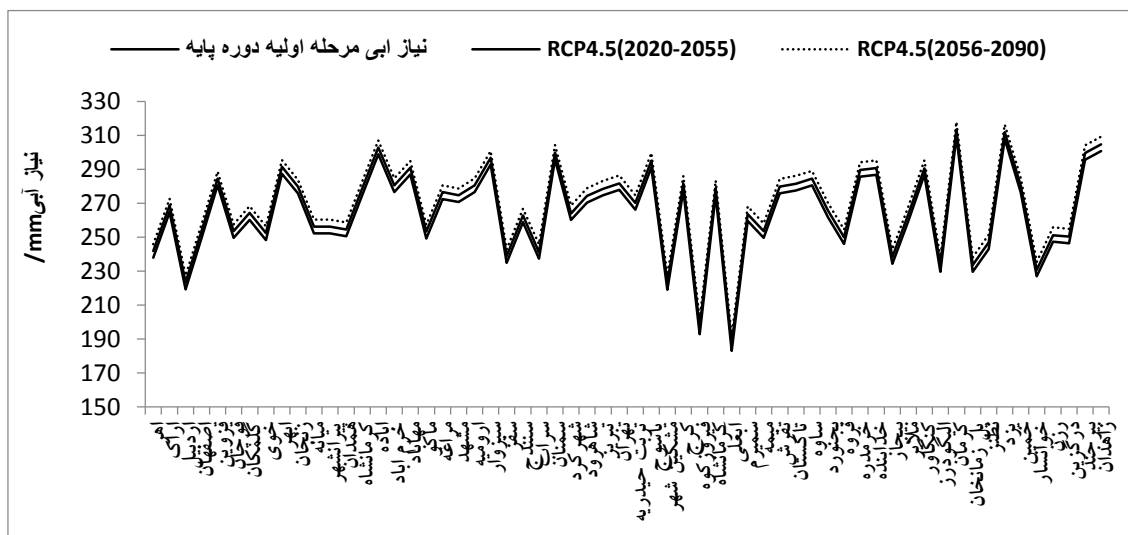


شکل ۶. بررسی میزان انحراف و تغییرات نیاز آبی مرحله اولیه رشد انگور در دوره آینده (۲۰۲۰-۲۰۵۵) بر اساس RCP8.5 نسبت به دوره پایه در مناطق کشت انگور در ایران

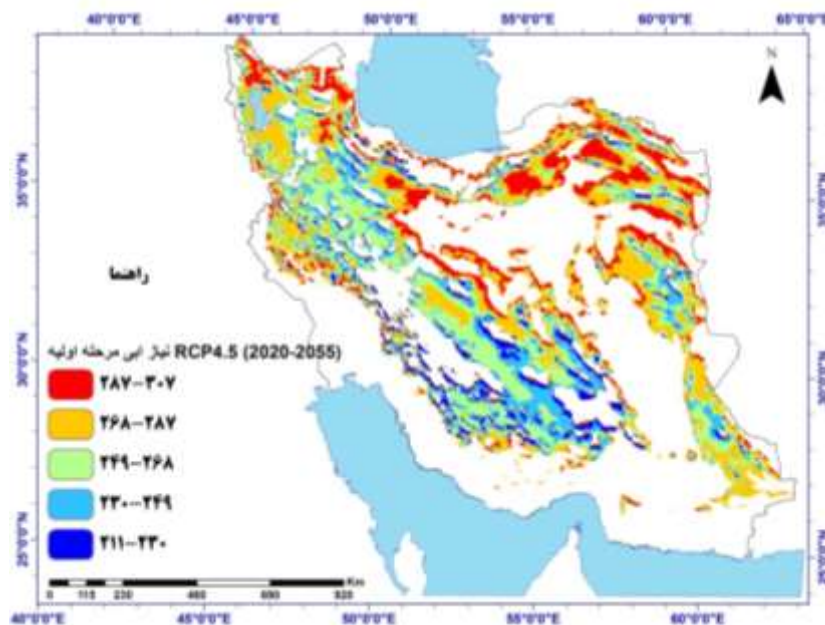


شکل ۷. بررسی میزان انحراف و تغییرات نیاز آبی مرحله اولیه رشد انگور در دوره آینده (۲۰۵۶-۲۰۹۰) بر اساس RCP8.5 نسبت به دوره پایه در مناطق کشت انگور در ایران

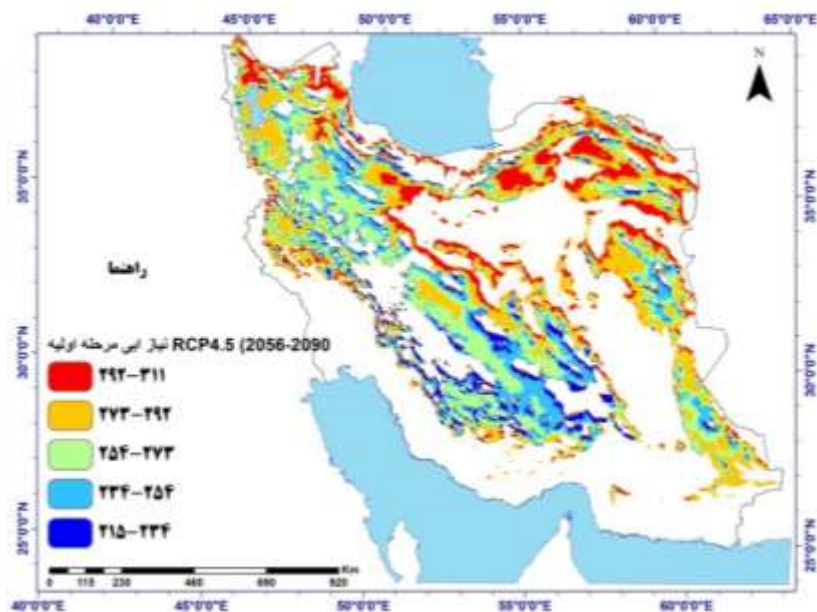
نتایج تغییرات نیاز آبی مرحله اولیه رشد انگور در دهه‌های آینده تحت سناریو RCP4.5 نسبت به دوره پایه در شکل (۸) مشخص شده است. در این سناریو مقدار نیاز آبی در دوره (۲۰۲۰-۲۰۵۵) و (۲۰۵۶-۲۰۹۰) نسبت به دوره پایه به ترتیب ۴ و ۸ میلی‌متر افزایش خواهد یافت. مقدار تغییرات نیاز آبی نسبت به سناریوی بدبینانه کمتر رخ خواهد داد. نتایج تغییرات نیاز آبی مرحله ابتدایی رشد انگور در دوره آینده بر اساس سناریوی RCP4.5 برای دوره (۲۰۲۰-۲۰۵۵) و (۲۰۵۶-۲۰۹۰) در شکل‌های (۹) و (۱۰) مشخص شده است.



شکل ۸. بررسی میزان انحراف و تغییرات نیاز آبی مرحله اولیه رشد انگور در دوره آینده بر اساس RCP4.5 نسبت به دوره پایه در مناطق کشت انگور در ایران



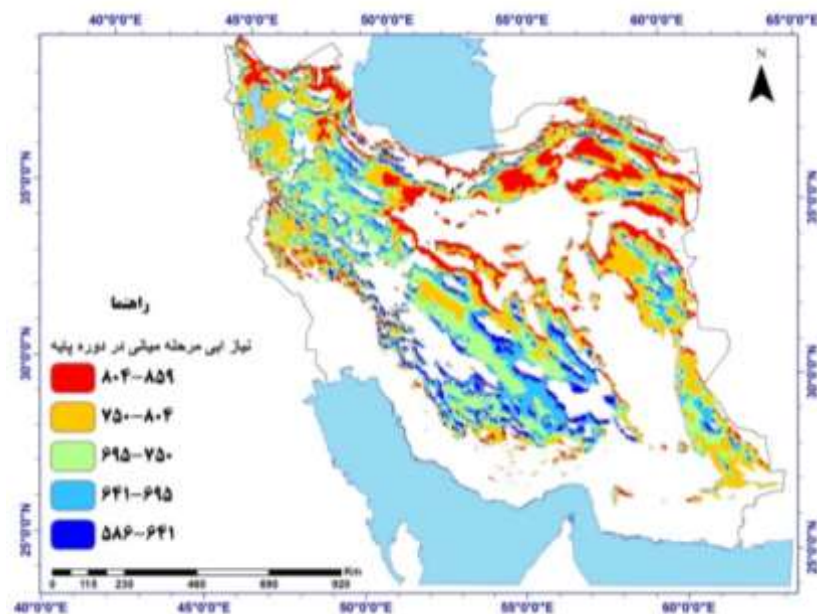
شکل ۹. بررسی میزان انحراف و تغییرات نیاز آبی مرحله اولیه رشد انگور در دوره آینده (۲۰۲۰-۲۰۵۵) بر اساس RCP4.5 نسبت به دوره پایه در مناطق کشت انگور در ایران



شکل ۱۰. بررسی میزان انحراف و تغییرات نیاز آبی مرحله اولیه رشد انگور در دوره آینده (۲۰۵۶-۲۰۹۰) بر اساس RCP4.5 نسبت به دوره پایه در مناطق کشت انگور در ایران

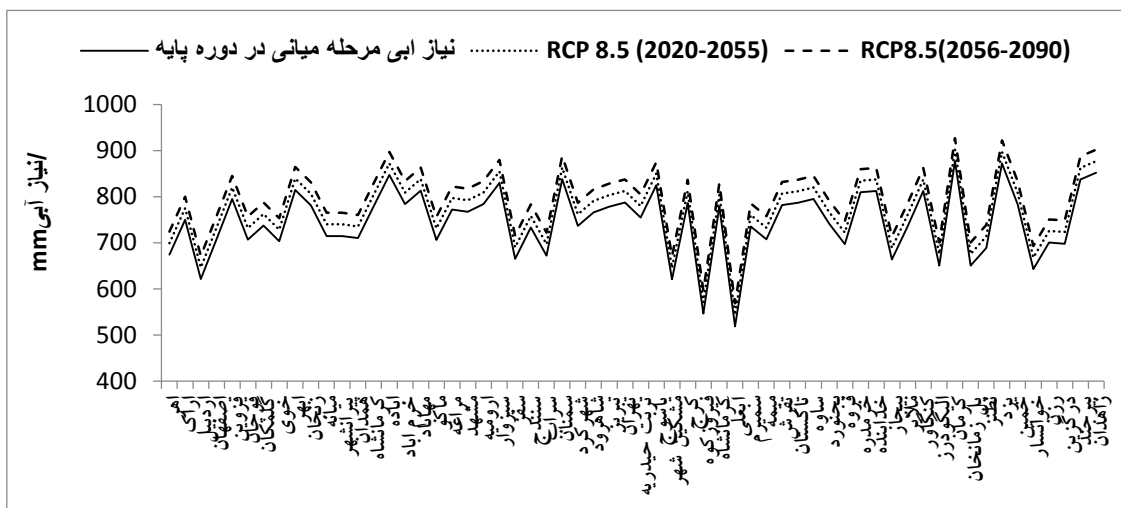
مرحله میانی رشد انگور

نتایج توزیع مکانی نیاز آبی مرحله میانی رشد انگور (از پوشش کامل سطح زمین توسط گیاه تا رسیدن میوه) در دوره پایه در شکل (۱۱) مشخص شده است. نتایج نشان داد که شرایط ارتفاعی نقش عمده‌ای در توزیع مکانی نیاز آبی در مرحله میانی رشد ایفا می‌نماید. کمترین مقدار نیاز آبی در نواحی مرتفع مشاهده می‌شود. در دوره پایه در مناطق کشت انگور مقدار نیاز آبی از ۵۸۶ میلی‌متر تا ۸۵۹ میلی‌متر متغیر می‌باشد. مرحله میانی رشد انگور به دلیل اینکه از نظر زمانی مطابق با ماه‌های گرم سال است در دوره رشد انگور در طول سال می‌باشد، لذا از بیشترین مقدار نیاز آبی در فصل رشد انگور برخوردار می‌باشد.



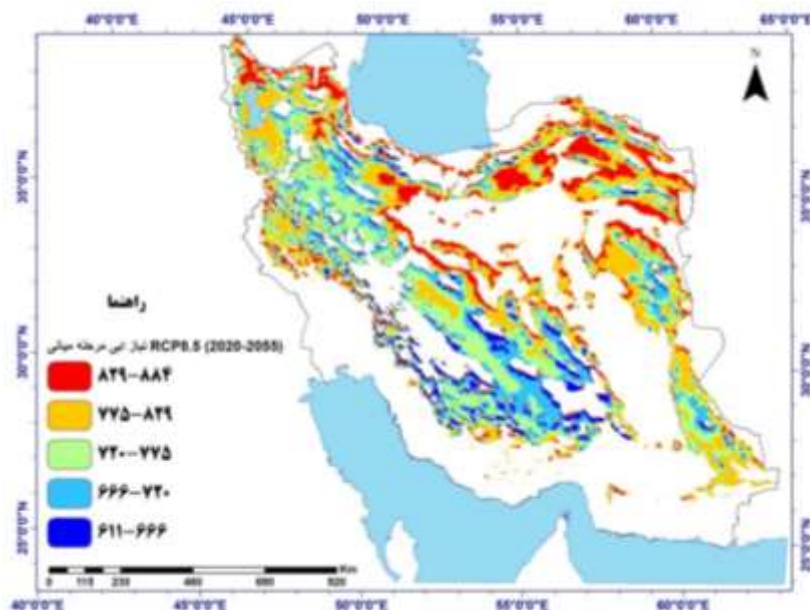
شکل ۱۱. بررسی وضعیت نیاز آبی مرحله میانی رشد انگور در دوره پایه

نتایج تغییرات و انحراف نیاز آبی مرحله میانی رشد انگور در دهه‌های آینده نسبت به دوره پایه تحت سناریوی RCP8.5 در شکل (۱۲) مشخص شده است. نتایج نشان می‌دهد که در دوره آینده (۲۰۲۰-۲۰۵۵) و (۲۰۵۶-۲۰۹۰) به ترتیب ۲۵ و ۵۰ میلی‌متر بر نیاز آبی در مرحله میانی رشد انگور در مناطق کشت آن در ایران افزوده خواهد شد. در دوره آینده دور مقدار نیاز آبی بیشتر از آینده میانی مشاهده می‌شود. بیشترین مقدار نیاز آبی در ایستگاه‌های کم ارتفاع مشاهده خواهد شد.

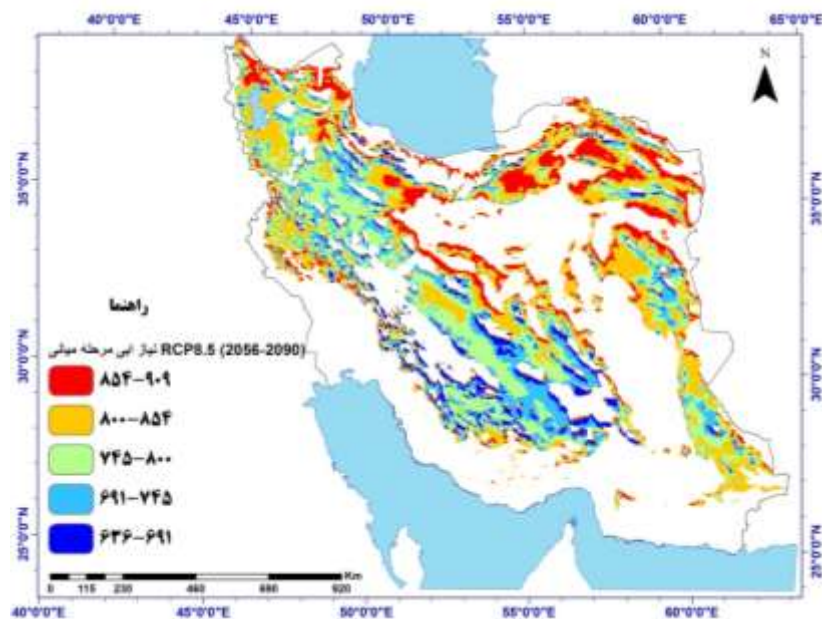


شکل ۱۲. بررسی میزان انحراف و تغییرات نیاز آبی مرحله میانی رشد انگور در دوره آینده بر اساس RCP8.5 نسبت به دوره پایه در مناطق کشت انگور در ایران

نتایج تغییرات نیاز آبی مرحله میانی رشد انگور در دوره آینده بر اساس سناریوی RCP8.5 برای دوره (۲۰۲۰-۲۰۵۵) و (۲۰۵۶-۲۰۹۰) در شکل‌های (۱۳) و (۱۴) مشخص شده است. نتایج نشان داد که در دوره (۲۰۲۰-۲۰۵۵) مقدار نیاز آبی از ۶۱۱ متر در مناطق مرتفع و خنک تا ۸۸۴ میلی‌متر در مناطق کم ارتفاع و گرم‌تر تغییر خواهد یافت. در دوره (۲۰۵۶-۲۰۹۰) مقدار نیاز آبی از ۶۳۶ میلی‌متر تا ۹۰۹ میلی‌متر متناسب با شرایط ارتفاعی افزایش خواهد یافت.

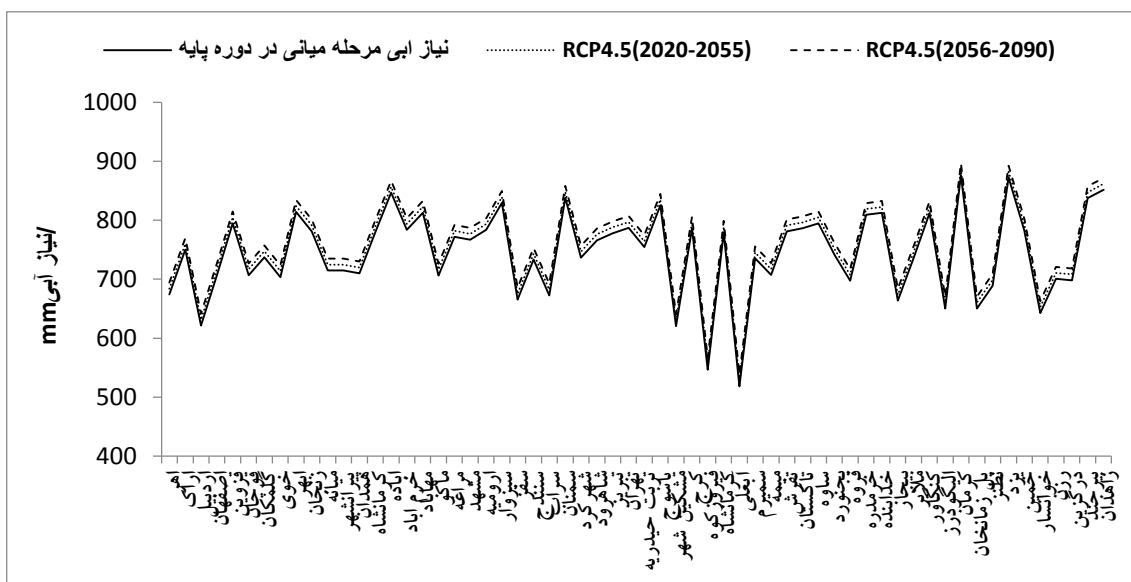


شکل ۱۳. بررسی میزان انحراف و تغییرات نیاز آبی مرحله میانی رشد انگور در دوره آینده (۲۰۲۰-۲۰۵۵) بر اساس RCP8.5 نسبت به دوره پایه در مناطق کشت انگور در ایران



شکل ۱۴. بررسی میزان انحراف و تغییرات نیاز آبی مرحله میانی رشد انگور در دوره آینده (۲۰۵۶-۲۰۹۰) بر اساس RCP8.5 نسبت به دوره پایه در مناطق کشت انگور در ایران

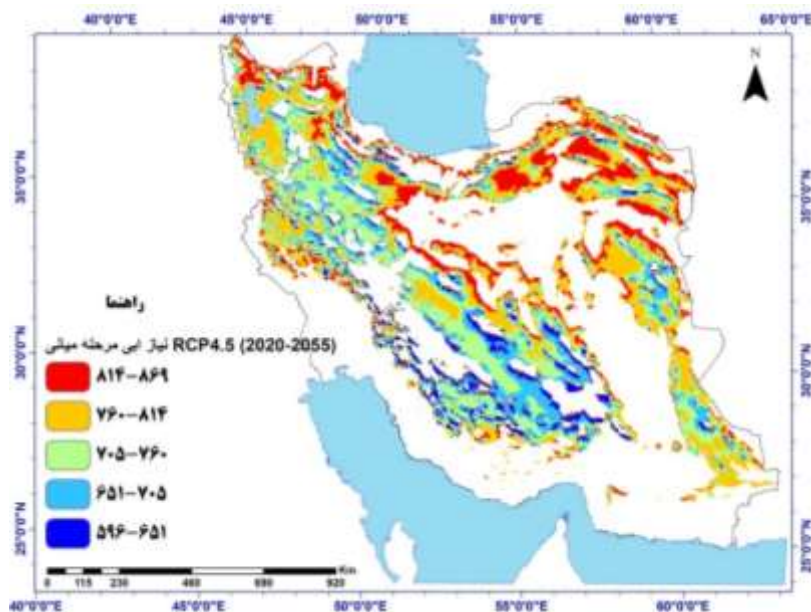
نتایج تغییرات نیاز آبی مرحله میانی رشد بر اساس سناریوی RCP4.5 برای دوره‌های آینده در شکل (۱۵) مشخص شده است. نتایج نشان داد که در دوره (۲۰۲۰-۲۰۵۵) و (۲۰۵۶-۲۰۹۰) به ترتیب ۱۰ و ۲۰ میلی‌متر بر مقدار نیاز آبی افزوده خواهد شد. مقدار افزایش نیاز آبی در این سناریو کمتر از سناریوی بدبینانه مشاهده می‌شود. بالاترین مقدار نیاز آبی در مناطق کم ارتفاع رخ خواهد داد.



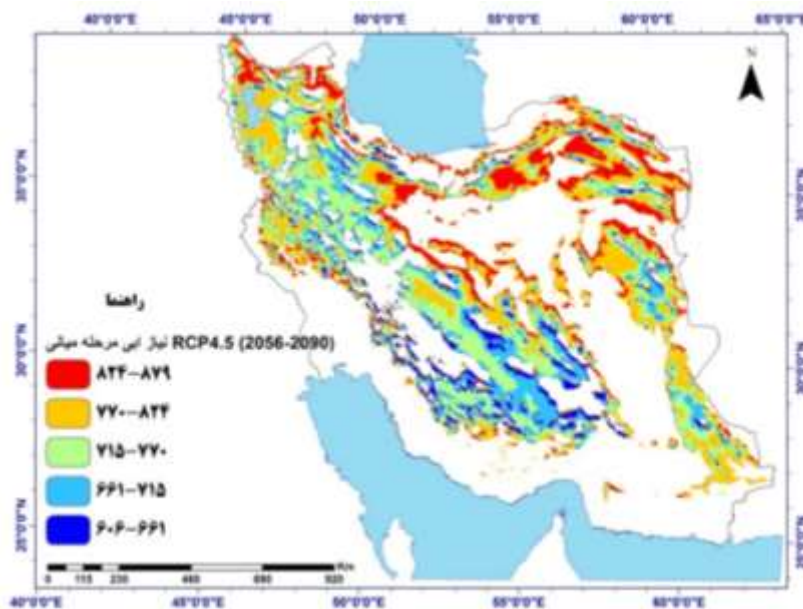
شکل ۱۵. بررسی میزان انحراف و تغییرات نیاز آبی مرحله میانی رشد انگور در دوره آینده بر اساس RCP4.5 نسبت به دوره پایه در مناطق کشت انگور در ایران

نتایج تغییرات نیاز آبی مرحله میانی در دهه‌های آینده بر اساس سناریوی RCP4.5 در دوره آینده در شکل‌های (۱۷) و (۱۶) مشخص شده است. نتایج نشان داد که در دوره (۲۰۲۰-۲۰۵۵) مقدار نیاز آبی از ۵۹۶ میلی‌متر در مناطق مرتفع و

خنک و تا ۸۶۹ میلی‌متر در مناطق کم ارتفاع افزایش خواهد یافت. در دوره (۲۰۵۶-۲۰۹۰) مقدار نیاز آبی مرحله میانی رشد از ۶۰۶ تا ۸۷۹ میلی‌متر متناسب با شرایط ارتفاعی افزایش خواهد یافت. بنابراین نیاز آبی مرحله میانی رشد در دوره آینده نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت. با توجه به تطابق زمانی این مرحله از رشد انگور با ایام گرم سال، مقدار نیاز آبی بیشتر از دیگر مراحل رشد انگور می‌باشد. کم‌ترین و بالاترین مقدار نیاز آبی به ترتیب در مناطق کم ارتفاع و مرتفع رخ خواهد داد.



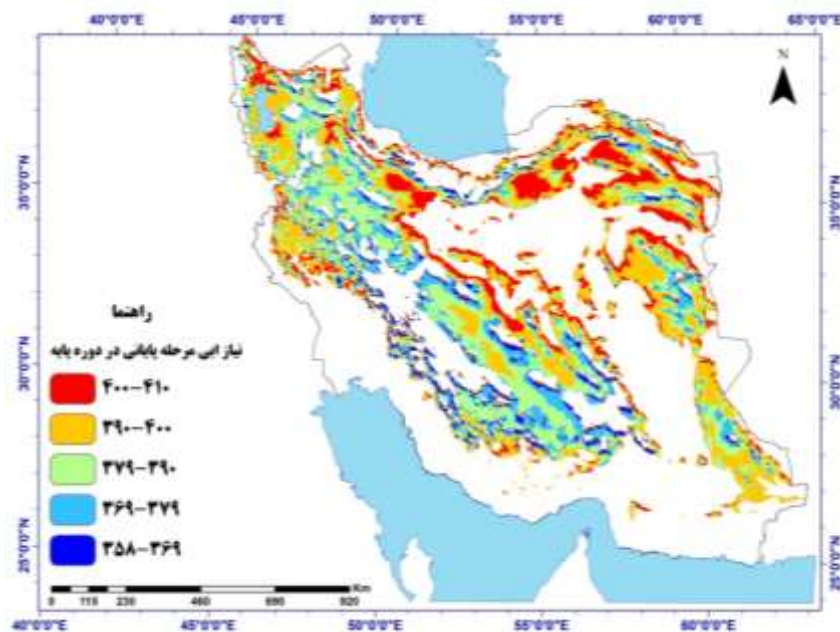
شکل ۱۶. بررسی میزان انحراف و تغییرات نیاز آبی مرحله میانی رشد انگور در دوره آینده (۲۰۲۰-۲۰۵۵) بر اساس RCP4.5 نسبت به دوره پایه در مناطق کشت انگور در ایران



شکل ۱۷. بررسی میزان انحراف و تغییرات نیاز آبی مرحله میانی رشد انگور در دوره آینده (۲۰۵۶-۲۰۹۰) بر اساس RCP4.5 نسبت به دوره پایه در مناطق کشت انگور در ایران

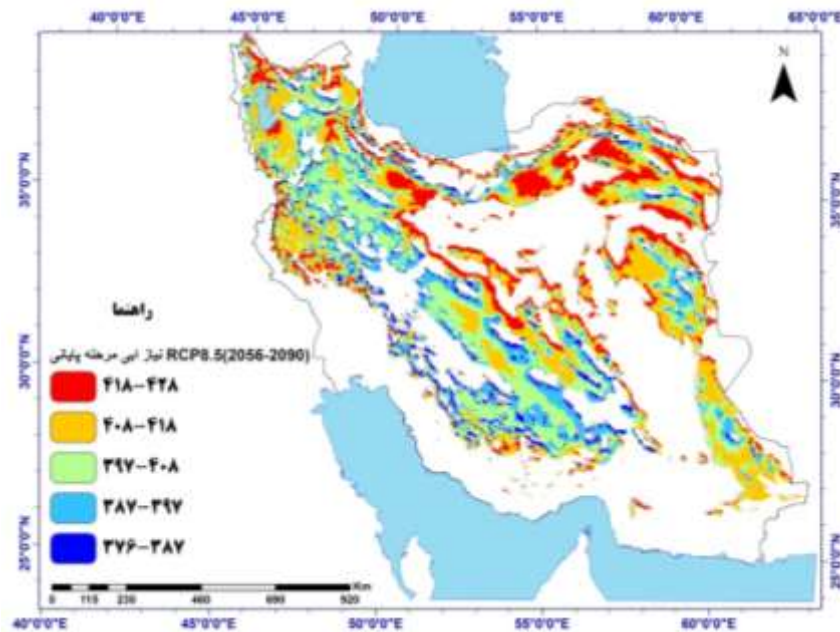
مرحله پایانی رشد انگور

نتایج توزیع مکانی نیاز آبی مرحله پایانی رشد انگور (مرحله فنولوژیکی رسیدن میوه تا بلوغ کامل و خزان) در شکل (۱۸) مشخص شده است. نتایج نشان داد که در دوره پایه مقدار نیاز آبی مرحله پایانی رشد در مناطق کشت انگور از ۳۵۸ تا ۴۱۰ میلی‌متر از مناطق مرتفع تا کم ارتفاع متغیر می‌باشد. این مرحله نسبت به مرحله میانی رشد از نیاز آبی کمتری برخوردار می‌باشد. کمترین نیاز آبی در مناطق مرتفع و خنک شمال شرق، شمال و شمال غرب و نواحی زاگرس مرتفع مشاهده می‌شود. مناطق دشت‌ها و دامنه‌های حاشیه مناطق کوهستانی از نیاز آبی بالاتری برخوردار می‌باشند.

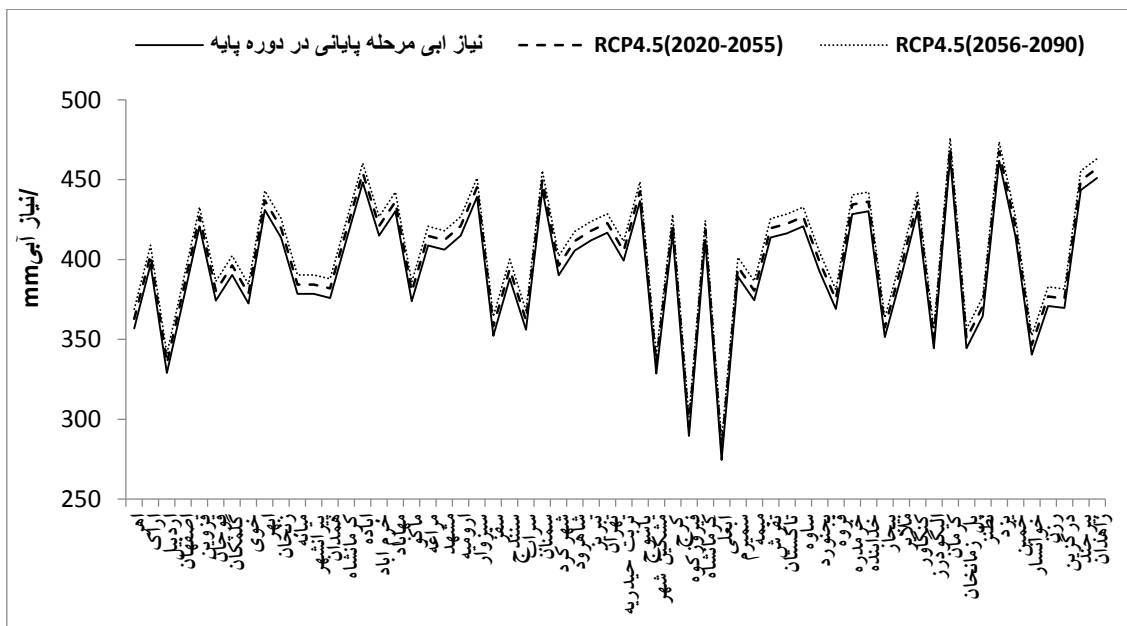


شکل ۱۷. بررسی وضعیت نیاز آبی مرحله پایانی رشد انگور در دوره پایه

نتایج تغییرات نیاز آبی مرحله پایانی رشد انگور در دهه‌های آینده بر اساس RCP8.5 در شکل (۱۹) مشخص شده است. نتایج نشان داد که در این مرحله از رشد انگور به دلیل تطابق آن با انتهای فصل رشد انگور، نیاز آبی کمتری مورد نیاز می‌باشد. نتایج نشان داد که در دوره (۲۰۲۰۹-۲۰۵۵) و (۲۰۵۶-۲۰۹۰) به ترتیب ۹ و ۱۸ میلی‌متر بر مقدار نیاز آبی مرحله پایانی رشد افزوده خواهد شد. نتایج تغییرات نیاز آبی مرحله پایانی رشد در دهه‌های آینده نسبت به دوره پایه بر اساس RCP8.5 در شکل‌های (۲۱) و (۲۰) مشخص شده است. نتایج نشان داد که در دوره (۲۰۲۰-۲۰۵۵) مقدار نیاز آبی از ۳۶۷ میلی‌متر در مناطق مرتفع و خنک تا ۴۱۹ میلی‌متر در مناطق کم ارتفاع تغییر خواهد یافت. در دوره (۲۰۵۶-۲۰۹۰) مقدار نیاز آبی مرحله پایانی رشد از ۳۷۶ میلی‌متر تا ۴۲۸ میلی‌متر تغییر پیدا خواهد کرد. در دهه‌های آینده بیشترین افزایش نیاز آبی در مناطق کم ارتفاع حاشیه نواحی مرتفع و کوهستانی رخ خواهد داد. مناطق مرتفع و سردسیر شمال غرب و زاگرس مرتفع از نیاز آبی کمتری نسبت به دیگر مناطق برخوردار خواهند بود. نتایج تغییرات نیاز آبی مرحله پایانی رشد انگور در دهه‌های آینده نسبت به دوره پایه بر اساس RCP4.5 در شکل (۲۲) مشخص شده است. نتایج نشان داد که در دوره (۲۰۲۰-۲۰۵۵) و (۲۰۵۶-۲۰۹۰) به ترتیب ۶ و ۱۲ میلی‌متر بر نیاز آبی مرحله پایانی رشد انگور افزوده خواهد شد.

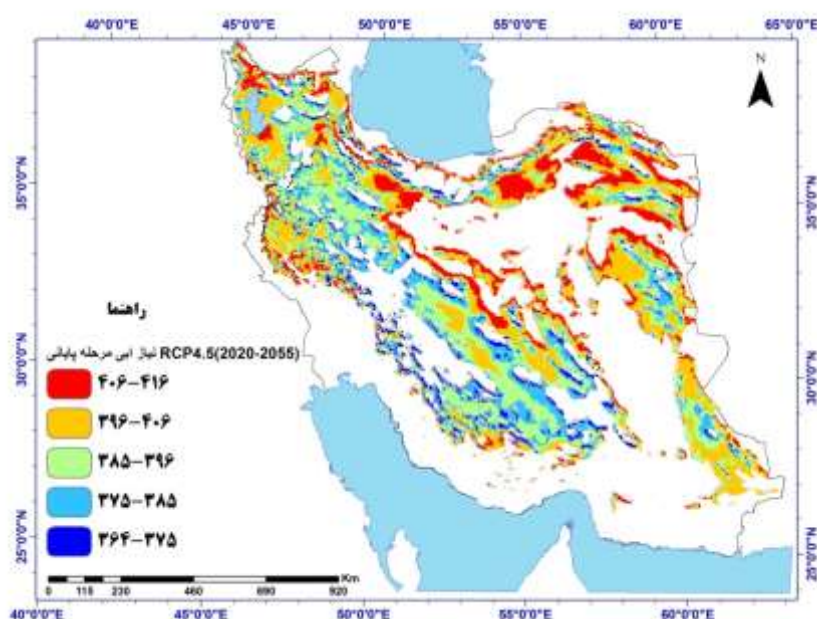


شکل ۲۱. بررسی میزان انحراف و تغییرات نیاز آبی مرحله پایانی رشد انگور در دوره آینده (۲۰۵۶-۲۰۹۰) بر اساس RCP8.5 نسبت به دوره پایه در مناطق کشت انگور در ایران

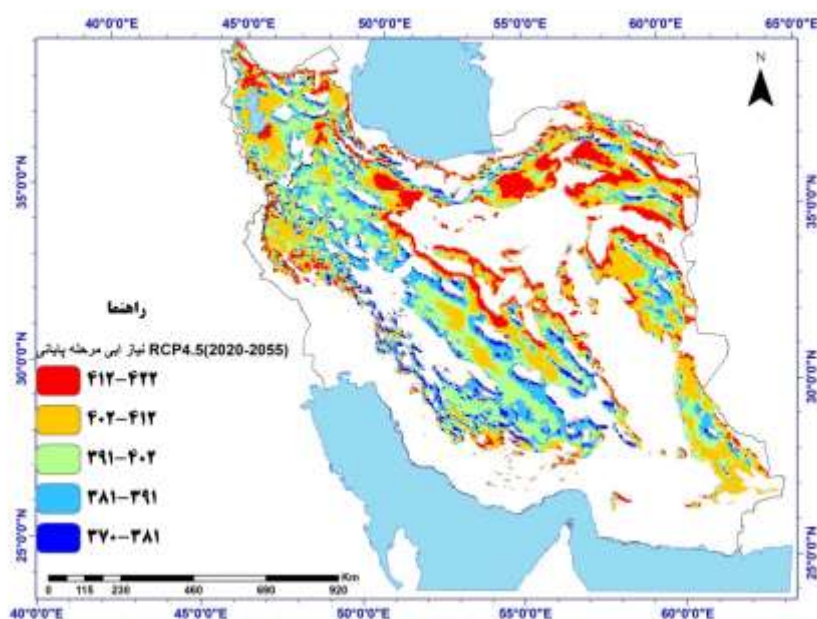


شکل ۲۲. بررسی میزان انحراف و تغییرات نیاز آبی مرحله پایانی رشد انگور در دوره آینده بر اساس RCP4.5 نسبت به دوره پایه در مناطق کشت انگور در ایران

نتایج تغییرات نیاز آبی مرحله پایانی رشد در دوره آینده در شکل‌های (۲۳) و (۲۴) مشخص شده است. نتایج نشان داد که در دوره (۲۰۲۰-۲۰۵۵) مقدار نیاز آبی ۳۶۴ تا ۴۱۶ میلی‌متر تغییر خواهد یافت. در دوره (۲۰۵۶-۲۰۹۰) مقدار نیاز آبی از ۳۷۰ تا ۴۲۲ میلی‌متر تغییر خواهد یافت. بالاترین مقدار نیاز آبی در این دوره در مناطق کم ارتفاع حاشیه مناطق مرتفع در مناطق کشت انگور رخ خواهد داد. کمترین نیاز آبی در این مرحله در دهه‌های آینده در مناطق مرتفع و سردسیر شمال غرب، زاگرس مرتفع و مناطق البرز و نواحی مرتفع در شرقی و جنوب شرقی خواهد داد.



شکل ۲۳. بررسی میزان انحراف و تغییرات نیاز آبی مرحله پایانی رشد انگور در دوره آینده (۲۰۲۰-۲۰۵۵) بر اساس RCP4.5 نسبت به دوره پایه در مناطق کشت انگور در ایران



شکل ۲۴. بررسی میزان انحراف و تغییرات نیاز آبی مرحله پایانی رشد انگور در دوره آینده (۲۰۵۶-۲۰۹۰) بر اساس RCP4.5 نسبت به دوره پایه در مناطق کشت انگور در ایران

بحث

نتایج نشان می‌دهد که در سناریوی RCP8.5 در دهه‌های آینده (۲۰۲۰-۲۰۵۵) و (۲۰۵۶-۲۰۹۰) به ترتیب ۳۱ و ۹۸ میلی‌متر بر میزان تبخیر - تعرق مرجع افزوده خواهد شد. نتایج پردازش داده‌های شبیه‌سازی شده نشان داد که تحت سناریوی های RCP4.5 و RCP8.5 در دوره‌های آینده مقدار نیاز آبی نسبت به دوره پایه برای مراحل رشد انگور در مناطق کشت آن در ایران افزایش خواهد یافت. به طوری که در مرحله اولیه رشد تحت سناریوهای مذکور در دوره‌های

(۲۰۵۵-۲۰۲۰) و (۲۰۹۰-۲۰۵۶) به ترتیب ۶/۲، ۱۲، ۴ و ۸ میلی‌متر بر مرحله مقدار نیاز آبی افزایش خواهد یافت. نیاز آبی مرحله میانی رشد در دوره آینده نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت. با توجه به تطابق زمانی این مرحله از رشد انگور با ایام گرم سال، مقدار نیاز آبی بیشتر از دیگر مراحل رشد انگور می‌باشد. کم‌ترین و بالاترین مقدار نیاز آبی به ترتیب در مناطق کم ارتفاع و مرتفع رخ خواهد داد. بالاترین مقدار نیاز آبی در مراحل رشد انگور در دهه‌های آینده در مناطق کم ارتفاع حاشیه مناطق مرتفع در مناطق کشت انگور رخ خواهد داد. کمترین نیاز آبی در دهه‌های آینده در مناطق مرتفع و سردسیر شمال غرب، زاگرس مرتفع و مناطق البرز و نواحی مرتفع در شرقی و جنوب شرقی رخ خواهد داد. نتایج مطالعه حاضر از نظر توانمندی مدل‌های CMIP5 در پیش‌نگری دوره آینده تحت شرایط تغییر اقلیم و افزایش Eto و نیاز آبی مراحل رشد، با مطالعات احمدی (۱۳۹۶: ۴۰) و عبدی (۱۳۹۷: ۳۶) همخوانی دارد.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق پیامدهای تغییر اقلیم بر نیاز آبی مراحل مختلف رشد انگور کشمشی در ایران مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور ابتدا مناطق مستعد کشت انگور با روش تحلیل سلسله مراتبی مشخص شد. سپس مراحل مختلف رشد انگور با مقیاس BBCH به صورت میدانی در مرکز تحقیقات کشاورزی گناباد واقع در استان خراسان رضوی برداشت شد. مراحل مختلف رشد انگور به سه مرحله اولیه، میانی و پایانی تفکیک شد و نیاز آبی در این سه مرحله با روش هارگریوز سامانی و ضریب گیاهی مربوط به هر مرحله به دست آمد. از میان مدل‌های منتخب، مدل MRI-CGCM3 به دلیل خطای کمتر و وزن بیشتر نسبت به مدل‌های دیگر، انتخاب و از داده‌های آن برای محاسبه نیاز آبی مراحل مختلف رشد انگور در دهه‌های آتی استفاده شد. نتایج نشان داد میزان نیاز آبی انگور در دهه‌های آتی افزایش خواهد یافت. بیشترین نیاز آبی در مرحله میانی و مناطق واقع در حاشیه دشت‌های داخلی کم ارتفاع رخ خواهد داد.

حامی مالی

بر اساس اظهار نویسندگان این مقاله حامی مالی نداشته است.

سهم نویسندگان در پژوهش

نویسندگان در تمام مراحل و بخش‌های انجام پژوهش سهم برابر داشتند.

تضاد منافع

نویسندگان اعلام می‌دارند که هیچ تضاد منافی در ارتباط با نویسندگی یا انتشار مقاله ندارند.

تقدیر و تشکر

نویسندگان از تمامی افرادی که در انجام پژوهش حاضر یاری‌رسان بوده‌اند، به‌ویژه سازمان هواشناسی کشور و داوران محترم که کار ارزیابی کیفیت مقاله را عهده‌دار بوده‌اند، تشکر و قدردانی می‌نمایند.

منابع

عبدی، اسماعیل، (۱۳۹۶). بررسی اثرات تغییر اقلیم بر نیاز آبی کلزا در استان خراسان رضوی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه حکیم سبزواری.

- احمدی، حمزه، (۱۳۹۶). بررسی اثرات تغییر اقلیم بر درختان سیب در ایران. پایان‌نامه دکتری، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری.
- علیزاده، احمد؛ بابائیان، ایمان؛ نوری، حمید و نجاتیان، محمدعلی. (۱۳۹۹). بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر کیفیت انگور سفید بدون دانه. *مجله پژوهش‌های اقلیم‌شناسی*، ۱۱ (۴۳)، ۱۲۶ - ۱۰۹.
- بابائیان، ایمان؛ کوهی، منصوره. (۱۳۹۱). ارزیابی شاخص‌های اقلیم کشاورزی تحت سناریوهای تغییر اقلیم در ایستگاه‌های منتخب خراسان رضوی. *مجله آب‌وخاک*، ۲۶ (۴)، ۹۶۷-۹۵۳. <https://doi.org/10.22067/jsw.v0i0.15299>
- حجابی، سمیه؛ عباسعلی نژاد شرامین، حامد؛ دولتی بانه، حامد. (۱۳۹۸). تأثیر تغییر اقلیم بر فنولوژی رقم انگور سفید بی‌دانه در استان آذربایجان غربی. *مجله پژوهش‌های میوه‌کاری*، ۴ (۲)، ۵۲ - ۴۳.

References

- Abdi, E. (2017). *Investigating the effects of climate change on the water needs of rapeseed in Khorasan Razavi province*. Hakim Sabzevari University's master's thesis. [In Persian].
- Acharjee, T. K., Ludwig, F., Van Halsema, G., Hellegers, P., & Supit, I. (2017). Future changes in water requirements of Boro rice in the face of climate change in North-West Bangladesh. *Agricultural Water Management*, 194, 172-183. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.09.008>
- Ahmadi, H. (2016). *Investigating the effects of climate change on apple trees in Iran*. PhD thesis, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Hakim Sabzevari University. [In Persian].
- Alizadeh, A., Babaiyan, I., Nouri, H., & Nejatian, M. A. (2019). Studying the effect of climate change on the quality of white seedless grapes. *Journal of Climatological Research*, 11 (43), 109 - 126 [In Persian].
- Alvarez, E. P., Molina, D. S., vivaldi, G. A., Esparza, M. J., Lizama, V. & Alvarez I. (2021). Effects of the irrigation regimes on grapevine C.V. Bobal in a Mediterranean climate: I. water relations, vine performance and grape composition. *Agricultural Water Management*, 248, 106772. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106772>
- Babaiyan, I., & Kohi, M. (2011). Evaluation of agricultural climate indicators under climate change scenarios in selected Khorasan Razavi stations. *Journal of Water and Soil*, 26(4), 967-953 [In Persian].
- Bonfante, A., Alfieri, S., Albrizio, R., Basile, A., De Mascellis, R., Gambuti, A., Giorio, P., Langella, G., Manna, P., Monaco, E., Moio, L., & Terribile, F. (2017). Evaluation of the effects of future climate change on grape quality through a physically based model application: A case study for the Aglianico grapevine in Campania region, Italy. *Agricultural Systems*, 152, 100-109. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2016.12.009>.
- Ceglar, A., Yang, C., Toreti, A., Santos, J. A., Pasqui, M., Ponti, L., Aquilaz, A. D., & Graca, A. (2024). Co-designed agro-climate indicators identify different future climate effects for grape and olive across Europe. *Climate Services*, 34, 100454. <https://doi.org/10.1016/j.cliser.2024.100454>.
- Geng, Q., Zhao, Y., Sun, S., He, X., Wang, D., Wu, D., & Tian, Z. (2023). Spatio-temporal changes and its driving forces of irrigation water requirements for cotton in Xinjiang, China. *Agricultural Water Management*, 280, 108218. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108218>.
- Gurara, M. A., Jilo, N. B., & Tolche, A. D. (2021). Impact of climate change on potential evapotranspiration and crop water requirement in Upper Wabe Bridge watershed, Wabe Shebele River Basin, Ethiopia. *Journal of African Earth Sciences*, 180, 104223. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2021.104223>
- Haj-Amor, Z., Kumar Acharjee, T., Dhaouadi, L., & Bouri, S. (2020). Impacts of climate change on irrigation water requirement of date palms under future salinity trend in coastal aquifer of Tunisian oasis. *Agricultural Water Management*, 228, 105843. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105843>.

- Hejabi, S., Abbaslinejad, Sh., & Dolati Baneh, H. (2019). The effect of climate change on the phenology of the white seedless grape variety in West Azerbaijan Province. *Journal of Fruit Research*, 4 (2), 43 – 52. [In Persian].
- Hewer, M. J., & Gough, W. A. (2020). Climate change impact assessment on grape growth and wine production in the Okanagan Valley (Canada). *Climate Risk Management*, 33, 100343. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2021.100343>.
- Humphries, U. W., Waqas, M., Hlaing, P. T., Wangwongchai, A., & Dechpichai, P. (2024). Determination of crop water requirements and potential evapotranspiration for sustainable coffee farming in response to future climate change scenarios. *Smart Agricultural Technology*, 8, 100435. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2024.100435>.
- Jagosz, B., Rolbiecki, S., Stanchowski, P., Ptach, W., Langowski, A., Kasperska, W., Sadan, H. A., Rolbiecki, R., Prus, P., & Kazula, M. J. (2020). Assesment of water needs of grapevines in western Poland from the perspective of climate change. *Agriculture*, 10(10), <https://doi.org/10.3390/agriculture10100477>
- Jia, K., Yang, Y., Dong, G., Zhang, C., & Lang, T. (2021). Variation and determining factor of winter wheat water requirements under climate change. *Agricultural Water Management*, 254, 106967. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106967>
- Liu, Y., Lin, Y., Huo, Z., Zhang, C., Wang, C., Xue, J., & Huang, G. (2022). Spatio-temporal variation of irrigation water requirements for wheat and maize in the Yellow River Basin, China, 1974–2017. *Agricultural Water Management*, 262, 107451. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107451>
- Masia, S., Trabucco, A., Spano, D., Snyder, R. L., Sušnik, J., & Marras, S. (2021). A modelling platform for climate change impact on local and regional crop water requirements. *Agricultural Water Management*, 255, 107005. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107005>.
- Pizarro, E., Galleguillos, M., Barría, P., & Callejas, R. (2022). Irrigation management or climate change? Which is more important to cope with water shortage in the production of table grape in a Mediterranean context. *Agricultural Water Management*, 263, 107467. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107467>
- Ramos, M. C., Jara, M. A., Rosillo, L., & Salinas, M. R. (2024) Effect of temperature and water availability on grape phenolic compounds and their extractability in Merlot grown in a warm area. *Scientia Horticulture*, 337, 113475. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106772>
- Sun, B., Wang, W., Liu, G., & Li, H. (2024). Projecting the impact of climate change and elevated CO2 concentration on rice irrigation water requirement in China. *Science of The Total Environment*, 912, 168489. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168489>
- Xiang, M., Zhang, S., Ruan, Q., Tang, C., & Zhao, Y. (2022). Definition and calculation of hierarchical ecological water requirement in areas with substantial human activity—A case study of the Beijing–Tianjin–Hebei region. *Ecological Indicators*, 138, 108740. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.108740>.
- Xu, C., Lu, C., & Sun, Q. (2021). Impact of climate change on irrigation water requirement of wheat growth – A case study of the Beijing-Tianjin-Hebei region in China. *Urban Climate*, 39, 100971. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.100971>.