



Assessment of Climate Change Impact on Spring-Sown Sugar Beet (*Beta vulgaris* L.) Net Irrigation Water Requirement and Potential Yield in Karaj, Iran (Climate Classification: BSk)

Mohammad Shamsi¹ , **Teymour Sohrabi¹**  , **Javad Bazrafshan¹** 

1. Department of Irrigation & Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. Email: mohammad.shamsi@ut.ac.ir

2. Corresponding Author, Department of Irrigation & Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran, Email: myousef@ut.ac.ir

3. Department of Irrigation & Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran, Email: jbazr@ut.ac.ir

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: Nov. 14, 2022

Revised: Feb. 18, 2023

Accepted: Feb. 28, 2023

Published online: Jan. 22, 2022

Keywords:

Climate Change,
Emission Scenario,
Sugar Beet,
Yield,
Water Requirement.

ABSTRACT

Climate change affects agriculture by affecting temperature and rainfall. Assessing this effect is important in order to change policies in agriculture. This paper sought to assess the impact of climate change on sugar beet net irrigation water requirement and potential yield.

In this research, the climatic information of the meteorological station located in Mohammadshahr, Karaj for the period 1970-2014 and the crop parameter of the sugar beet research farm located in Mehrshahr, Karaj were used. Future climatic data from six global climate models under three optimistic, intermediate and pessimistic scenarios (SSP126, SSP245 and SSP585) for the period 2015-2100 were downscaled for Karaj using empirical quantile mapping method. Temperature and precipitation data as well as reference evapotranspiration, which was calculated by Hargreaves-Samani method, were given to AquaCrop model.

The results indicate that the reference evapotranspiration under SSP585 will increase by 14.8% (6.5% under SSP126) at the end of the 21st century in Karaj. The water requirement can increase up to 7.8% under SSP585 (3.7% under SSP126). The amount of irrigation water requirement in the future period will increase up to 10.5% under SSP585 (5.8% under SSP126). The biomass and yield variations at the 21st century ending period will be 11.8% and 19.2% increase under SSP585 (4.2% and 5.9% increase under SSP126), respectively. The results can be used in climate change adaptation policies regarding water allocation and optimal planting date determination for sugar beet cultivation in Karaj.

Cite this article: Shamsi, M., Sohrabi, T., & Bazrafshan, Z. (2023). Assessment of Climate Change Impact on Spring-Sown Sugar Beet (*Beta vulgaris* L.) Net Irrigation Water Requirement and Potential Yield in Karaj, Iran (Climate Classification: BSk), *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 53 (11), <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.350830.669394>

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.350830.669394>



Extend Abstract

Introduction:

Climate change is an undeniable phenomenon, which affects virtually every aspect of life on Earth. The agricultural sector is heavily connected to the environment and thus, gets affected by climate change the most. Climate change affects agriculture by affecting temperature and rainfall. The elevated air temperature increases the potential evapotranspiration. Variation in precipitation is generally unfavorable. Increase in precipitation causes waterlogging and subsequently erosion in soil, while decreased precipitation causes water stress in crops. It is necessary to assess the climate change impact on agriculture in order to change policies accordingly. This paper sought to assess the impact of climate change on sugar beet net irrigation water requirement and potential yield.

Materials and methods:

In this research, the climatic information of the meteorological station located in Mohammadshahr, Karaj for the period 1970-2014 and the crop parameter of the sugar beet research farm located in Mehrshahr, Karaj were used. Future climatic data from six global climate models, namely ACCESS-ESM1-5, CanESM5, EC-EARTH3, IPSL-CM6A-LR, MRI-ESM2-0 and NorESM2-LM, under three optimistic, intermediate and pessimistic scenarios (SSP126, SSP245 and SSP585) for the period 2015-2100 were downscaled for Karaj using empirical quantile mapping method. Taylor diagram was used to evaluate the downscaling results. Temperature and precipitation data as well as reference evapotranspiration, which was calculated by Hargreaves-Samani method, were given to AquaCrop model. The effective rainfall calculation approach was set to USDA-SCS method in AquaCrop model. The trend and fluctuations of the climatic and crop variables were examined using the Mann-Kendall and Pettitt tests, respectively.



Results:

The results indicate that the sugar beet sowing and harvest dates advance by 39 and 71 days, respectively, which means a decrease of 29 days in the growing season length (from 171 to 142 days). The reference evapotranspiration under SSP585 will increase by 14.8% (6.5% under SSP126) at the end of the 21st century in Karaj. The water requirement can increase up to 7.8% under SSP585 (3.7% under SSP126). The amount of irrigation water requirement in the future period will increase up to 10.5% under SSP585 (5.8% under SSP126). The biomass and yield variations at the 21st century ending period will be 11.8% and 19.2% increase under SSP585 (4.2% and 5.9% increase under SSP126), respectively. All the climatic and crop variables showed strongly significant trend in the study period (1995-2100) under the pessimistic scenario, while the fluctuations of the variables were not as significant as their corresponding trends under the same scenario.

Conclusion:

According to the results of this paper, the increasing temperature caused by the elevating atmospheric CO₂ concentration, under the pessimistic scenario, increases the sugar beet net irrigation water requirement by increasing the crop evapotranspiration. The decreasing precipitation also contributes to the obtained result. The potential yield showed a contradicting result, i.e., the elevated CO₂ under the pessimistic scenario favors the yield production due to the fact that more CO₂ contributes to more efficient photosynthesis. The results can be used in climate change adaptation policies regarding water allocation and optimal planting date determination for sugar beet cultivation in Karaj.

ارزیابی تاثیر تغییر اقلیم بر نیاز خالص آب آبیاری و عملکرد پتانسیل چغندر قند بهاره (*Beta vulgaris L.*) در کرج (اقلیم: BSk)

محمد شمسی^۱، تیمور سهرابی^۲، جواد بذرافشان^۳

۱. گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکدهگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران، ایمیل: mohammad.shamsi@ut.ac.ir
۲. نویسنده مسئول، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکدهگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران، ایمیل: myousef@ut.ac.ir
۳. گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکدهگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران، ایمیل: jbazr@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۸/۲۳
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۱/۲۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۹
تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۱۱/۱

واژه‌های کلیدی:

چغندر قند،
تغییر اقلیم،
سناریوی انتشار،
عملکرد،
نیاز آبیاری.

تغییر اقلیم با تاثیر بر دما و بارندگی بر کشاورزی تاثیر می‌گذارد. برآورد این تاثیر از جهت تغییر سیاست‌گذاری‌ها در زمینه کشاورزی اهمیت دارد. هدف از این تحقیق، برآورد تغییرات نیاز آبی و متعاقب آن، نیاز خالص آب آبیاری و عملکرد چغندر قند تحت تاثیر تغییر اقلیم در آینده در کرج می‌باشد. در این پژوهش از اطلاعات اقلیمی ایستگاه هواشناسی واقع در محمدشهر کرج در دوره ۲۰۱۴-۱۹۷۰ و اطلاعات گیاهی مزرعه تحقیقاتی چغندر قند واقع در مهرشهر کرج استفاده شد. اطلاعات اقلیمی آینده در دوره ۲۰۱۵-۲۱۰۰ از شش مدل اقلیمی تحت سناریوهای خوشبینانه (SSP126)، حدواسط (SSP245) و بدبینانه (SSP585) به روش نگاشت چندکی تجربی برای کرج کوچک مقیاس شدند. اطلاعات دما و بارندگی و تبخیر و تعرق مرجع محاسبه شده با روش هارگریوز-سامانی به مدل گیاهی AquaCrop داده شدند. نتایج حاکی از آن است که میزان تبخیر و تعرق مرجع تحت سناریوی بدبینانه در دوره انتهایی قرن ۲۱ در کرج تا ۱۴/۸ درصد (۶/۵ درصد تحت سناریو خوشبینانه) افزایش پیدا خواهد کرد. میزان نیاز آبی می‌تواند تا ۷/۸ درصد تحت سناریوی بدبینانه (۳/۷ درصد تحت سناریوی خوشبینانه) افزایش یابد. میزان نیاز آبیاری در دوره آینده تحت سناریوی بدبینانه تا ۱۰/۵ درصد (۵/۸ درصد تحت سناریوی خوشبینانه) افزایش پیدا خواهد کرد. میزان تغییرات مقادیر بیومس و ماده خشک چغندر قند تحت سناریوی بدبینانه در دوره انتهایی قرن ۲۱ به ترتیب برابر با ۱۱/۸ و ۱۹/۲ درصد افزایش (۴/۲ و ۵/۹ درصد تحت سناریوی خوشبینانه) خواهد بود. از نتایج این پژوهش می‌توان در سیاست‌های انطباقی تغییر اقلیم در زمینه تخصیص آب و تعیین تاریخ کاشت بهینه برای کشت چغندر قند در کرج استفاده نمود.

استناد: شمسی، محمد، سهرابی، تیمور، بذرافشان، جواد، (۱۴۰۱) ارزیابی تاثیر تغییر اقلیم بر نیاز خالص آب آبیاری و عملکرد پتانسیل چغندر قند بهاره (*Beta vulgaris L.*) در کرج (اقلیم: BSk)، مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۳ (۱۱)، ۲۶۹۹-۲۶۸۳. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.350830.669394>



© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.350830.669394>

مقدمه

پدیده تغییر اقلیم به طور قطعی ثابت شده است و در گزارش‌های هیئت بین‌المللی تغییر اقلیم (IPCC^۱) که مرجع جهانی ارزیابی تغییر اقلیم می‌باشد نیز به دفعات بیان شده است. تاثیرات تغییر اقلیم گسترده است و بر تمام فعالیت‌ها، از جمله کشاورزی و آبیاری اثر می‌گذارد. دما و بارش دو عاملی هستند که تغییر در آنها باعث اثرگذاری مستقیم بر کشاورزی می‌شود؛ با گرمایش جهانی و افزایش دما، نیاز گرمایی گیاهان با سرعت بیشتری تامین شده و طول دوره رشد کوتاه می‌گردد؛ همچنین افزایش دما باعث افزایش تبخیر و تعرق و در نتیجه افزایش نیاز آبی و آب آبیاری می‌گردد. تغییر در الگوی زمانی و مکانی بارندگی نیز به طور کلی مطلوب نمی‌باشد، چراکه کاهش بارندگی باعث برداشت بیشتر از منابع آب سطحی و زیرزمینی شده و در نهایت منجر به تنش خشکی می‌شود؛ افزایش بارندگی نیز باعث فرسایش خاک و آب‌گرفتگی زمین‌ها می‌شود که اثر منفی بر کشاورزی خواهد داشت. شایان پرسش است که آیا تغییر اقلیم می‌تواند بر آبیاری، به طور دقیق‌تر میزان آب آبیاری و مدیریت آبیاری تاثیر قابل توجهی داشته باشد؟ آیا این تاثیر مثبت (مطلوب) است یا منفی (نامطلوب)؟ در صورت وجود تاثیر منفی، شدت آن چه مقدار خواهد بود؟ به عبارت دیگر، آیا خسارت‌های قابل توجهی به بخش کشاورزی وارد خواهد شد؟ آیا امنیت غذایی تحت تاثیر قرار می‌گیرد؟ آیا تغییر اقلیم بر پارامترهای دیگر کشاورزی، مانند تاریخ کاشت و برداشت گیاهان تاثیر می‌گذارد؟ با توجه به تغییرات فرضی در دمای متوسط ماهانه و سالانه در تمام مناطق دنیا و با توجه به وابستگی شدید تاریخ‌های کاشت و برداشت—به عبارت دقیق‌تر مراحل رشد گیاه—به دما، این احتمال مطرح می‌شود که تغییر اقلیم باید بر تاریخ‌های کاشت و برداشت گیاهان نیز تاثیر داشته باشد.

با توجه به تاثیر تغییر اقلیم بر جنبه‌های متفاوت کشاورزی و با توجه به نیاز برای سیاست‌گذاری در جهت کاهش اثرات تغییر اقلیم، نیاز است که ارزیابی از تاثیر تغییر اقلیم بر نیاز آبی محصولات کشاورزی و نیاز آب آبیاری در هر منطقه به عمل آید. بدون دانستن کمیت و کیفیت تاثیر اقلیم بر کشاورزی و آبیاری، بی‌شک امکان سیاست‌گذاری مناسب و واقعی وجود نخواهد داشت. سیاست‌گذاری‌های مرتبط با تغییر اقلیم خود دارای اثرات گسترده‌ای خواهند بود. با توجه به اهمیت سیاست‌گذاری در جهت کاهش تغییر اقلیم و با توجه به هزینه‌بر بودن این سیاست‌ها، نیاز به ارزیابی دقیق از اثرات تغییر اقلیم بر کشاورزی احساس می‌شود.

تغییر اقلیم توسط چندین سازوکار بر نیاز آبی و آب آبیاری تاثیر می‌گذارد که مهم‌ترین آنها افزایش دمای هوا و متعاقباً افزایش تبخیر و تعرق (ET^2) و همچنین تاثیر بر الگوی زمانی و مکانی بارندگی می‌باشد. تغییر اقلیم باعث تغییرات بارش هم از نظر زمانی و هم مکانی می‌شود و همچنین کمیت بارش را تغییر می‌دهد که خود باعث تغییرات نیاز خالص آب آبیاری می‌شود. هدف از این تحقیق، برآورد تغییرات نیاز آبی و متعاقب آن، نیاز خالص آب آبیاری و عملکرد چغندر قند در آینده در کرج می‌باشد.

پیشینه پژوهشی

در ایران تحقیقات زیادی در زمینه تاثیر تغییر اقلیم بر کشاورزی انجام شده است. بیشتر مطالعات بر روی محصولات راهبردی مانند غلات انجام شده‌اند. Joorabloo *et al.* (2019) پژوهشی در رابطه با تاثیر تغییر اقلیم بر تبخیر و تعرق مرجع در استان سمنان (اقلیم: BWh) انجام دادند. آنها از خروجی‌های ۱۴ مدل اقلیمی تحت سناریوهای A2، A1B و B1 استفاده نمودند. نتایج آنها نشان داد که متوسط سالانه تبخیر و تعرق مرجع در دوره ۲۰۷۰-۲۰۹۹ تحت سه سناریوی A2، A1B و B1 به ترتیب ۹/۲، ۸ و ۵/۸ درصد افزایش می‌یابد.

Hoseini Tabesh & Aghashariatmadari (2020) اثر تغییر اقلیم بر نیاز آبیاری برنج را در انزلی با استفاده از مدل گردش عمومی HadGEM2-ES تحت سناریوهای واداشت تابشی گزارش پنجم هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم RCP^۳ 2.6، RCP^۳ 4.5 و RCP^۳ 8.5 و مدل ریزمقیاس‌نمایی Lars-WG بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که میانگین سالانه دمای پیشینه و کمینه در هر دو دوره ۲۰۳۹-۲۰۲۰ و ۲۰۵۹-۲۰۴۰ افزایش می‌یابد و نیاز خالص آبیاری برنج نیز در دو دوره آینده به ترتیب تا حداکثر ۳۱ و ۴۵ درصد افزایش می‌یابد.

Fazeli Khiavi *et al.* (2020) اثر تغییر اقلیم بر تبخیر و تعرق مرجع (ET_0) را در دشت مغان (اقلیم: Dfb) بررسی کردند. آنها از مدل گردش عمومی جو HadGEM2 تحت سناریوهای گزارش پنجم هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم و همچنین از مدل LARS-WG به

منظور ریزمقیاس‌نمایی خروجی مدل‌های اقلیمی استفاده نمودند. آنها از معادلات فائو-پنمن-مانتیس و هارگریوز-سامانی برای محاسبه ET_0 بهره بردند. نتایج آنها نشان داد که ET_0 در دوره‌های ۲۰۳۰-۲۰۱۱ و ۲۰۶۰-۲۰۳۱ از ۶ تا ۸/۴ درصد در مقایسه با دوره پایه افزایش خواهد یافت. معادله هارگریوز-سامانی در شرایط مشابه افزایشی به میزان ۴/۵ تا ۷/۷ درصد را نشان داد.

در خارج از ایران نیز تحقیقات متعددی در زمینه تاثیر تغییر اقلیم بر میزان نیاز آب آبیاری انجام شده است. Sánchez-Sastre *et al.* (2020) مطالعه‌ای بر اثر تغییر اقلیم بر عملکرد و نیاز آبی چغندرقد در منطقه کاستیل و لئون^۱ (اقلیم: Csb, Dsb و Dsc) در شمال غربی کشور اسپانیا با استفاده از خروجی‌های مدل اقلیمی MPI-ESM-LR تحت سناریوی RCP4.5 انجام دادند. نتایج آنها حاکی از آن بود که تبخیر و تعرق مرجع در دوره میانی قرن ۲۱ (۲۰۶۱-۲۰۸۰) تا ۲۰۰ میلی‌متر در سال می‌تواند افزایش یابد. آنها همچنین گزارش کردند که بدون تغییر در تاریخ کاشت چغندرقد، ماده خشک تا حدود ۹ درصد در هر دو دوره ۲۰۶۰-۲۰۴۱ و ۲۰۸۰-۲۰۶۱ کاهش خواهد یافت. Dellal & Unuvar (2019) مطالعه‌ای بر تاثیر تغییر اقلیم بر عملکرد چند محصول زراعی از جمله چغندرقد در مناطق مختلف ترکیه انجام دادند. نتایج آنها نشان داد که عملکرد چغندرقد در سال‌های ۲۰۲۰، ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ بدون تغییر در تاریخ کاشت به ترتیب به میزان ۵، ۱۰ و ۱۶ درصد در جنوب شرقی آناتولی (اقلیم: Dsa و Dsb) نسبت به سال ۲۰۱۴ کاهش می‌یابد.

Ma *et al.* (2017) مطالعه‌ای بر تاثیر تغییر اقلیم بر عملکرد محصول ذرت برای دو رقم کالیبره‌شده در شهرهای گرلی^۲ (اقلیم: BSk) و راکی فورد^۳ (اقلیم: BSk) به ترتیب در شمال و جنوب ایالت کلرادو^۴ در کشور ایالات متحده انجام دادند و کاهش ۲۱ و ۷ درصد را به ترتیب برای ماده خشک و بیومس در دوره انتهایی قرن ۲۱ (۲۰۷۰-۲۰۹۱) تحت سناریوی RCP8.5 بدون تغییر در تاریخ کاشت ذرت و بدون تنش آبی برای رقم کالیبره‌شده در شهر گرلی و کاهش ۵/۸ درصد برای ماده خشک و افزایش ۴/۲ درصد را برای بیومس برای رقم کالیبره‌شده در شهر راکی فورد بدست آوردند.

Lin *et al.* (2018) تغییرات ET_0 را تحت شرایط تغییر اقلیم در کوه‌های کیلیان^۵ در کشور چین شبیه‌سازی کردند. آنها از مدل گردش عمومی جو CanESM2 و سناریوهای گزارش پنجم RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 استفاده نمودند. آنها همچنین از مدل ریزمقیاس‌نمایی SDSM به منظور ریزمقیاس‌نمایی داده‌های اقلیمی بهره بردند. دوره‌های ۱۹۹۰-۲۰۱۵ و ۲۰۱۶-۲۱۰۰ به ترتیب به عنوان دوره‌های پایه و آینده در نظر گرفته شد. آنها دریافتند که ET_0 تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب به میزان ۷/۲، ۱۰/۴ و ۱۷/۶ درصد در مقایسه با دوره پایه افزایش خواهد یافت.

همانطور که بیان شد، مطالعات زیادی در ارتباط با تاثیر تغییر اقلیم بر نیاز آبی در داخل و خارج از ایران انجام شده است. در مطالعات انجام‌شده در داخل ایران، بیشتر از مدل ریزمقیاس‌نمایی LARS-WG و سناریوهای گزارش سوم IPCC (SRES^۶) استفاده شده است. در تعدادی از مقالات نیز سناریوهای گزارش پنجم IPCC (RCP) نیز استفاده شده است. بیشتر مطالعات انجام‌شده در داخل ایران متمرکز بر محصولات راهبردی مانند غلات می‌باشند. مطالعات بر اقلیم‌های مختلف، از جمله شمال کشور (البرز شمالی)، کرج، قزوین و سمنان (البرز جنوبی) صورت گرفته‌اند. در تمام تحقیق‌ها مشخص شده است که دمای هوا در دوره‌های آینده افزایش پیدا خواهد کرد، اما در مورد بارش روند افزایشی یا کاهشی معنی‌داری در مقالات مشاهده نمی‌شود؛ همچنین افزایش معنی‌داری در نیاز آبی محصولات مشاهده می‌گردد. تعداد بسیار زیادی مطالعه در خارج از ایران، از جمله کشورهای ایالات متحده، چین و اسپانیا انجام شده است. در این مقالات نیز از سناریوهای RCP استفاده شده و نشان داده شده است که نیاز آبیاری در دوره آینده افزایش خواهد یافت و دلیل اصلی آن کاهش بارندگی در دوره آینده می‌باشد.

از مطالب بالا نتیجه می‌شود که تمرکز تحقیقات گذشته بیشتر بر روی غلات و محصولات راهبردی هر منطقه، و همچنین سناریوهای گزارش‌های سوم و پنجم IPCC بوده و تحقیقات در زمینه تاثیر تغییر اقلیم بر چغندرقد تحت سناریوهای گزارش ششم IPCC محدود می‌باشند؛ بنابراین مطالعه بر تغییرات نیاز آبی و عملکرد چغندرقد در آینده تحت سناریوهای جدید، با توجه به اهمیت این محصول در منطقه مطالعاتی (کرج) ضروری به نظر می‌رسد.

1 Castille & Leon

2 Greeley

3 Rocky Ford

4 Colorado

5 Qilian

6 Special Report on Emission Scenarios

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

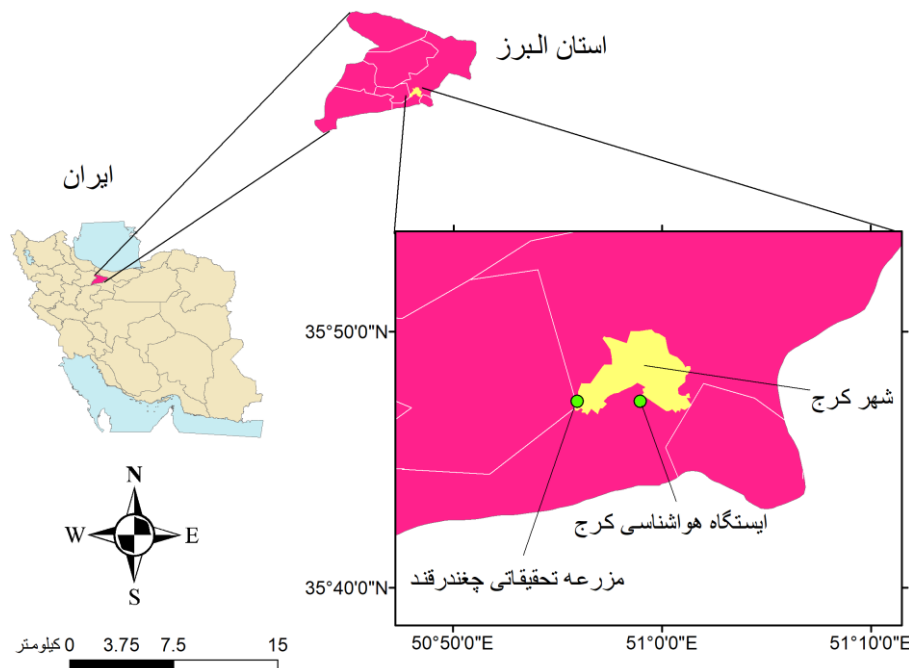
این پژوهش در مزرعه تحقیقاتی چغندرقد واقع در مهرشهر کرج، وابسته به موسسه تحقیقات چغندرقد در کرج انجام شد. این مزرعه در عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۷ دقیقه شمالی و در طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۴ دقیقه شرقی واقع شده است (شکل ۱). اطلاعات دما و بارش ایستگاه هواشناسی کرج واقع در اداره کل هواشناسی استان البرز به عنوان داده‌های هواشناسی مشاهداتی در نظر گرفته شدند. شهر کرج ۱۳۱۲ متر بالاتر از سطح دریا می‌باشد و دارای اقلیم سرد و نیمه‌خشک است. میزان متوسط سالانه بارش و دما در کرج به ترتیب برابر با ۲۶۰ میلی‌متر و ۱۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (Ahmadaali et al, 2021).

گیاه، اطلاعات اقلیمی و دوره‌ها

بر اساس مشورتی که با کشاورزان محلی به عمل آمد، گیاه چغندرقد (*Beta vulgaris L.*) که یکی از محصولات مهم استان البرز می‌باشد برای این تحقیق انتخاب شد. اطلاعات روزانه دمای کمینه، دمای بیشینه و بارش از سازمان هواشناسی کشور برای دوره ۴۵ ساله ۲۰۱۴-۱۹۷۰ دریافت شدند. در این پژوهش، دوره‌های زیر در نظر گرفته شدند: دوره ۱۹۹۴-۱۹۷۰ به عنوان دوره آموزش مدل نگاشت چندکی، دوره ۲۰۱۴-۱۹۹۵ به عنوان دوره اعتبارسنجی مدل نگاشت چندکی (دوره پایه) و دوره ۲۰۱۵-۲۱۰۰ به عنوان دوره آینده؛ این دوره خود به سه زیردوره ۲۰ ساله تقسیم شد: دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ به عنوان دوره آینده نزدیک، دوره ۲۰۷۰-۲۰۵۱ به عنوان دوره آینده میانه و دوره ۲۱۰۰-۲۰۸۱ به عنوان دوره آینده دور.

مدل‌های گردش عمومی جو و سناریوها

خروجی‌های مدل‌های گردش عمومی (GCM^۱) به دلیل ویژگی‌های داخلی آنها با هم تفاوت دارند و می‌توان با میانگین‌گیری از خروجی‌های چند مدل گردش عمومی، خطای آنها را تا حد زیادی کاهش داد (Shahid, 2010). استفاده از چند مدل گردش عمومی جو، نوسان‌های خروجی‌های مدل‌ها را تا حد زیادی کاهش می‌دهد.



شکل ۱. منطقه مطالعاتی

به منظور شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی در آینده، خروجی‌های شش مدل گردش عمومی جو تحت چهارچوب فاز ششم پروژه بین قیاسی مدل جفت‌شده (CMIP6) مورد استفاده قرار گرفتند (Eyring et al., 2016). خروجی‌های مدل‌های گردش عمومی از آدرس <https://esgf-data.dkrz.de/search/cmip6-dkrz> دریافت شدند. به منظور تأمین هماهنگی و در دسترس بودن خروجی‌های مدل‌ها، پیش‌فرض r1i1p1f1 برای بارگیری خروجی‌های مدل‌های گردش عمومی در نظر گرفته شد. این پیش‌فرض‌ها شرایط اولیه و مرزی مدل‌های اقلیمی را نشان می‌دهند. پارامترهای p و f به ترتیب نشان‌دهنده مجموعه پارامترها، روش مقاداردهی اولیه به مدل‌های اقلیمی، فیزیک مدل‌های اقلیمی و هماهنگی با سناریوهای کربن‌دی‌اکسید جو می‌باشند. عدد یک در پیش‌فرض‌های بیان شده نشان‌دهنده اولین حالت از هر پیش‌فرض بوده و این حالت در تمام مدل‌های اقلیمی موجود می‌باشد.

معیار انتخاب مدل‌های گردش عمومی بر اساس شهرت آنها و سابقه آنها در مطالعات هیدرولوژیکی در نظر گرفته شد. مدل‌های انتخاب‌شده نهایی عبارتند از: ACCESS-ESM1-5، CanESM5، EC-EARTH3، IPSL-CM6A-LR، MRI-ESM2-0 و NorESM2-LM. این مدل‌ها در گذشته در پژوهش‌های بسیاری مورد استفاده قرار گرفته‌اند و نتایج رضایت بخشی داشته‌اند (Sun et al., 2022).

به منظور شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی در آینده، سناریوهای بسیاری تدوین شده‌اند. در این تحقیق از سناریوهای مسیر اقتصادی-اجتماعی SSP^v126، SSP245 و SSP585 استفاده شد. سناریو اول، یک سناریوی خوشبینانه بوده و بر اساس این فرض می‌باشد که کشورها قابلیت انطباق با تغییر اقلیم و همچنین قابلیت مقابله با عوامل تغییر اقلیم را دارند و سیاست‌گذاری براساس زیست‌محیط می‌باشد. در این سناریو رقابت کشورها و توسعه بر مبنای سوخت‌های تجدیدپذیر می‌باشد (Van Vuuren et al., 2017). سناریو دوم یک سناریو حدواسط بوده و روند فعلی را برای توسعه اقتصادی و افزایش غلظت CO_2 در نظر می‌گیرد (Fricko et al., 2017). سناریو سوم، یک سناریوی بدبینانه بوده و توسعه را بر مبنای سوخت‌های فسیلی در نظر می‌گیرد؛ در این سناریو رقابت بین کشورها زیاد بوده و توسعه بر مبنای سوخت‌های فسیلی می‌باشد (Kriegler et al., 2017). سناریوهای SSP در حقیقت تلفیقی از سناریوهای اقتصادی-اجتماعی (O'Neill et al., 2017) و سناریوهای گزارش پنجم هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم هستند؛ بنابراین به عنوان مثال سناریوی SSP2 به صورت SSP245 (SSP2 + RCP4.5) نوشته می‌شود.

خروجی‌های مدل‌های ذکرشده توسط دستورات CDO^۳ به روش درون‌یابی دوطرفی (bilinear) به شبکه‌ای با سلول‌هایی با ابعاد $1^\circ \times 1^\circ$ بازشبکه‌بندی شدند و اطلاعات اقلیمی از فایل‌های با فرمت NetCDF برای عرض جغرافیایی $35/5^\circ$ شمالی و طول جغرافیایی 51° شرقی استخراج شدند. اطلاعات مربوط به مدل‌های انتخاب‌شده در جدول (۱) نشان داده شده‌اند.

ریز‌مقیاس‌نمایی مدل‌های اقلیمی

خروجی مدل‌های اقلیمی دارای مقیاس بزرگ هستند و تاثیر عوارض کوچک محلی را در نظر نمی‌گیرند؛ بنابراین برای استفاده از خروجی‌های مدل‌های اقلیمی در یک منطقه کوچک نیاز است که داده‌های خروجی آنها به روشی با داده‌های مشاهداتی محلی تطبیق یابند (Yue et al., 2021).

جدول ۱. مشخصات مدل‌های انتخاب‌شده (برگرفته از Yue et al. (2021))

شماره مدل	نام مدل	قدرت تفکیک	کشور/موسسه
۱	ACCESS-ESM1-5	۱۴۴×۱۹۲	CSIRO/Australia
۲	CanESM5	۶۴×۱۲۸	CCCma/Canada
۳	EC-EARTH3	۲۵۶×۵۱۲	EC-EARTH-Consortium/EU
۴	IPSL-CM6A-LR	۱۴۲×۱۴۴	IPSL/France
۵	MRI-ESM2-0	۱۶۰×۳۲۰	MRI/Japan
۶	NorESM2-LM	۹۶×۱۴۴	NCC/Norway

برای ریزمقیاس‌نمایی مدل‌های اقلیمی روش‌های گوناگونی وجود دارد که یکی از آنها روش نگاشت چندکی تجربی (EQM^۴)

1 Coupled model inter-comparison project phase

2 Shared Socioeconomic Pathways

3 Climate Data Operators

4 Empirical Quantile Mapping

می‌باشد. این روش منابع محاسباتی کمی نیاز دارد و در گذشته در مطالعات هیدرولوژیکی با موفقیت مورد استفاده قرار گرفته است (Oruc, 2022)؛ بنابراین از این روش برای تصحیح آریبی داده‌های مدل‌های گردش عمومی جو استفاده شد. این روش ناپارامتری می‌باشد، به این معنا که هیچ توزیع احتمال از پیش تعیین‌شده‌ای برای متغیرها در نظر نمی‌گیرد و تنها بر اساس توزیع احتمال تجربی تجمعی داده‌های مشاهداتی و محاسباتی مدل در گذشته، توزیع احتمال تجربی تجمعی داده‌های محاسباتی در دوره آینده را بر اساس رابطه زیر اصلاح می‌کند.

$$X_{obsf} = F_{obsf}^{-1} \left(F_{modh} (X_{modf}) \right) \quad (\text{رابطه ۱})$$

که در آن X_{obsf} داده محاسباتی تصحیح‌شده در دوره آینده، F_{obsf}^{-1} معکوس تابع توزیع احتمال تجربی تجمعی داده‌های مشاهداتی، F_{modh} تابع توزیع احتمال تجربی تجمعی داده‌های محاسباتی مدل در دوره گذشته و X_{modf} داده محاسباتی تصحیح‌نشده در دوره آینده می‌باشد. این روش در محیط R توسط بسته qmap به کار گرفته شد.

به منظور ارزیابی نتیجه ریزمقیاس‌نمایی از نمودار تیلور^۱ (۲۰۰۱) استفاده شد. برای رسم نمودار تیلور، تابع `taylor.diagram` در محیط R به کار گرفته شد. این تابع در مجموعه `Plotrix` موجود می‌باشد. خروجی این تابع برای مدل‌های گردش عمومی جو انتخاب‌شده در شکل (۲) نشان داده شده است.

در شکل (۲) مشخص می‌شود که به چه میزان انحراف استاندارد و ضریب همبستگی داده‌های خروجی مدل‌های اقلیمی انتخاب‌شده بعد از تصحیح آریبی بهبود یافته‌اند. تمامی داده‌های ریزمقیاس‌شده نسبت به داده‌های مشاهداتی دارای ضریب همبستگی بیشتر از ۰/۹ هستند. میانگین خروجی مدل‌ها با علامت MME (Multi-model ensemble) در نمودار تیلور نشان داده است. MME در تمام متغیرها در مقایسه با هر یک از مدل‌ها، همبستگی بیشتری با داده‌های مشاهداتی دارد و در محاسبات بعدی نیز مقدار MME برای متغیرها در نظر گرفته شده است.

محاسبه نیاز آبی گیاه

در این تحقیق از روش هارگریوز-سامانی (Hargreaves & Samani, 1985) برای محاسبه تبخیر و تعرق مرجع استفاده شد (رابطه ۲). این روش هم در کرج (Ghahreman & Rahimzadegan, 2022) و هم در مناطق دیگر ایران با اقلیم‌های مشابه کرج استفاده شده است (Hoseini Tabesh & Aghashariatmadari, 2020). Rahimikhoob *et al.* (2020) نیز از ثابت ۰/۰۰۲۳ در کرج استفاده نمودند؛ بنابراین، همان ثابت ارائه‌شده توسط Hargreaves & Samani (1985) (۰/۰۰۲۳) در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفت. شکل نهایی رابطه هارگریوز-سامانی مورد استفاده در این پژوهش عبارت است از:

$$ET_0 = 0.0023 \times R_a \times \frac{(17.8 + T_{mean})}{\sqrt{T_{max} - T_{min}}} \quad (\text{رابطه ۲})$$

که در آن ET_0 تبخیر و تعرق مرجع (mm/day)، R_a تابش خارج از زمین (mm/day)، T_{mean} دمای متوسط هوا (°C)، T_{max} دمای بیشینه هوا (°C) و T_{min} دمای کمینه هوا (°C) می‌باشد.

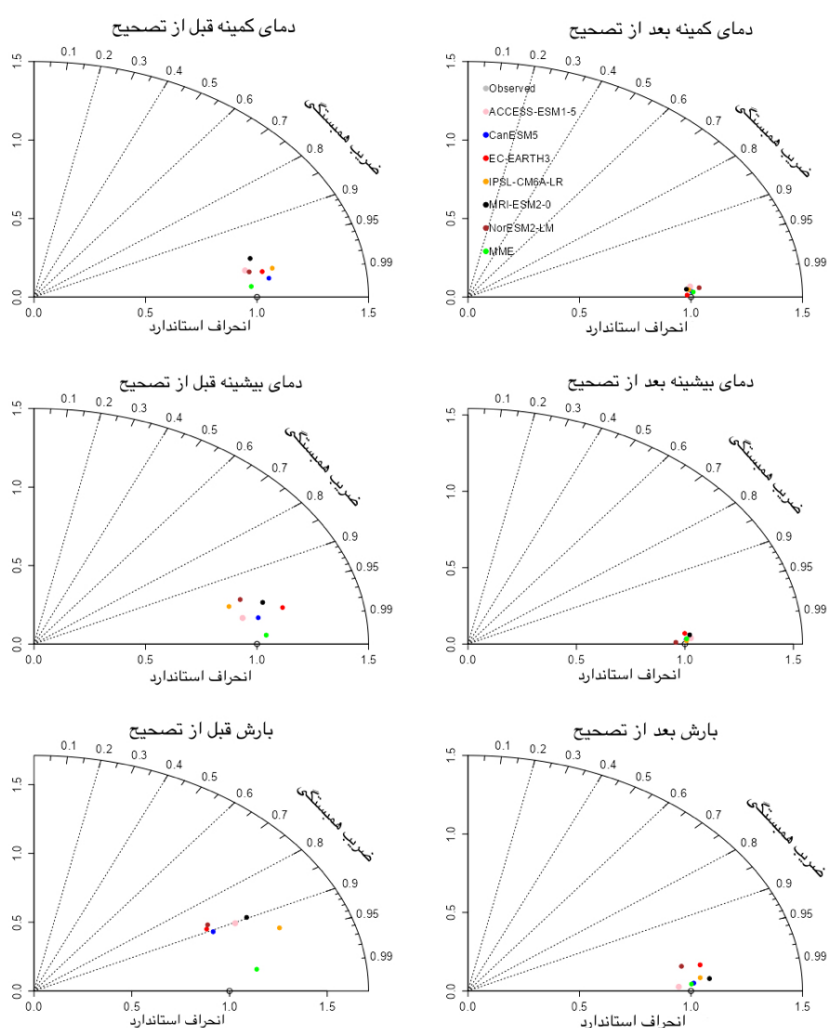
تبخیر و تعرق مرجع توسط رابطه زیر به تبخیر و تعرق واقعی گیاه تبدیل می‌شود (Allen *et al.*, 1998):

$$ET_c = K_c \times ET_0 \quad (\text{رابطه ۳})$$

که در آن ET_c تبخیر و تعرق گیاه (mm/day)، K_c ضریب گیاهی و ET_0 تبخیر و تعرق مرجع (mm/day) می‌باشد. ضریب گیاهی برای چغندر قند توسط Allen *et al.* (1998) ارائه شده است. نیاز خالص آبیاری توسط رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$NIR = ET_c - P_{eff} \quad (\text{رابطه ۴})$$

که در آن NIR نیاز خالص آبیاری گیاه (mm/month)، ET_c تبخیر و تعرق گیاه (mm/month) و P_{eff} بارش موثر (mm/month) می‌باشد.



شکل ۲. نمودار تیلور برای خروجی‌های تصحیح‌شده و تصحیح‌نشده مدل‌های اقلیمی

بارندگی موثر

روش USDA-SCS برای محاسبه بارندگی موثر در کرج استفاده شده است (Nakhjavani Moghaddam *et al.*, 2017). از این روش همچنین در دیگر مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران نیز استفاده شده است (Arefinia *et al.*, 2020)؛ بنابراین در این تحقیق نیز از این روش استفاده شده است (Smith, 1992).

$$\begin{cases} P_{eff} = \frac{P(125 - 0.2P)}{125} ; P \leq 250 \text{ mm} \\ P_{eff} = 125 + 0.1P ; P > 250 \text{ mm} \end{cases} \quad (\text{رابطه ۵})$$

که در آن P بارش ماهانه (mm) و P_{eff} بارش موثر ماهانه (mm) می‌باشد.

محاسبه تابش خارج از زمین و درجه روز

روابط موردنیاز برای محاسبه تابش خارج از جو (R_a) توسط Allen *et al.* (1998) ارائه شده است. بعد از نوشتن روابط به زبان برنامه‌نویسی MATLAB، R_a به صورت روزانه محاسبه شد. در این تحقیق از مفهوم درجه-روز (Growing Degree Days) GDD برای محاسبه جابه‌جایی فصل رشد چغندر قند استفاده شد. اهمیت این بررسی در این است که با تغییر اقلیم و متعاقباً تغییرات دمایی، امکان تغییر فصل رشد نیز وجود دارد.

دمای پایه برای چغندر قند ۵ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شد (Petkeviciene, 2009). معیار انتخاب تاریخ کاشت و برداشت به ترتیب رخداد زمان دمایی تجمعی ۳۸۰ سانتی‌گراد-روز و رخداد زمان دمایی تجمعی ۲۹۰۰ سانتی‌گراد-روز بعد از تاریخ کاشت در نظر گرفته شد. معیار تاریخ کاشت یادشده، تاریخ فعلی کاشت چغندر قند در کرج (اول اردیبهشت) را بدست می‌دهد؛ این معیار نشان می‌دهد که تغییر

دما در آینده چه تاثیری بر تاریخ کاشت خواهد گذاشت. معیار تاریخ برداشت، نیاز دمایی چغندر قند در طول فصل رشد (Sánchez-Sastre *et al.*, 2020) و همچنین پیش فرض مدل AquaCrop می باشد.

مدل گیاهی AquaCrop

در این پژوهش از مدل گیاهی AquaCrop برای محاسبه تاریخ‌های کاشت و برداشت، نیاز آبی و نیاز خالص آب آبیاری، میزان بیومس و ماده خشک چغندر قند در شرایط بدون تنش استفاده شد. این مدل هم در کرج (Karimi *et al.*, 2021) و هم در مناطق دیگر ایران با اقلیم‌های مشابه کرج استفاده شده است (Ebrahimipak *et al.*, 2022). پژوهش‌های انجام شده در کشورهای دیگر نیز اعتبار این مدل را تایید کرده‌اند (Bird *et al.*, 2016).

به منظور استفاده از مدل گیاهی AquaCrop، از اطلاعات گیاهی کالیبره شده در مزرعه تحقیقاتی چغندر قند واقع در مهرشهر کرج، وابسته به موسسه تحقیقات چغندر قند برای رقم مشهد (BP-Mashhad) در کرج استفاده شد. (Araji *et al.*, 2019) از پارامترهای گیاهی مشاهداتی چغندر قند در سال ۲۰۰۲ در کرج برای واسنجی مدل گیاهی استفاده کردند و نتایج مدل برای داده‌های مشاهداتی سال ۲۰۰۳ اعتبارسنجی شد. نتایج این تحقیق نشان داد که مدل گیاهی AquaCrop بعد از واسنجی (کالیبراسیون) تطابق قابل قبولی با شرایط واقعی در کرج دارد و تفاوت در مقادیر مشاهداتی و محاسباتی کمتر از ۵ درصد می باشد (خطای نسبی ماده خشک و بیومس تحت تیمار بدون تنش آبی به ترتیب برابر با ۰/۴ و ۴/۲- درصد)؛ بنابراین از داده‌های این تحقیق به منظور واسنجی مدل گیاهی AquaCrop استفاده شد (جدول (۲) و (۳)).

با توجه به کالیبره نبودن مدل‌های گیاهی دیگر برای چغندر قند در کرج، از خروجی‌های مدل AquaCrop به منظور تخمین عدم قطعیت نتایج استفاده گردید؛ بدین صورت که اطلاعات خروجی شش مدل اقلیمی منحصر به مدل گیاهی داده شد و انحراف استاندارد بین خروجی‌های متفاوت مدل گیاهی مبنای عدم قطعیت نتایج قرار گرفت.

جدول ۲. مقادیر واسنجی مدل AquaCrop برای چغندر قند در کرج (برگرفته از (Araji *et al.*, 2019))

پارامتر گیاهی	مقدار	توضیحات
دمای پایه	۵ درجه سانتی‌گراد	پیش فرض مدل
دمای بیشینه	۳۰ درجه سانتی‌گراد	پیش فرض مدل
ضریب رشد کنوپی	۱۰/۹ درصد بر روز	واسنجی شده
کنوپی بیشینه	۹۶ درصد	واسنجی شده
ضریب کاهش کنوپی	۳/۱ درصد بر روز	واسنجی شده
عمق کمینه موثر ریشه	۰/۳ متر	پیش فرض مدل
عمق بیشینه موثر ریشه	۱ متر	پیش فرض مدل
فاصله کاشت تا سبزشدن گیاه	۱۰ روز	اندازه‌گیری شده
فاصله کاشت تا کنوپی بیشینه	۹۶ روز	واسنجی شده
فاصله کاشت تا ابتدای دوره پایانی رشد	۱۵۴ روز	واسنجی شده
فاصله کاشت تا انتهای دوره پایانی رشد	۱۷۷ روز	اندازه‌گیری شده
بهره‌وری آب نرمالیزه	۱۷	پیش فرض مدل
شاخص برداشت مرجع	۷۰ درصد	پیش فرض مدل

جدول ۳. مشخصات خاک مزرعه تحقیقاتی چغندر قند در کرج (برگرفته از (Araji *et al.*, 2019))

بافت خاک	عمق (cm)	نقطه پژمردگی دائم (vol%)	نقطه ظرفیت زراعی (vol%)	نقطه اشباع (vol%)	کل آب در دسترس (mm/m)	هدایت هیدرولیکی اشباع (mm/day)
رس سیلتی (۲۰۰۲)	۳۰-۰	۱۴	۲۸	۴۸	۱۴۰	۱۳۳/۶
	۶۰	۱۴	۲۸	۴۸	۱۴۰	۱۴۵
رس سیلتی (۲۰۰۳)	۳۰-۰	۱۴	۲۸	۵۰	۱۴۰	۱۳۲/۱
	۶۰	۱۴	۲۸	۴۹	۱۴۰	۱۵۰/۷

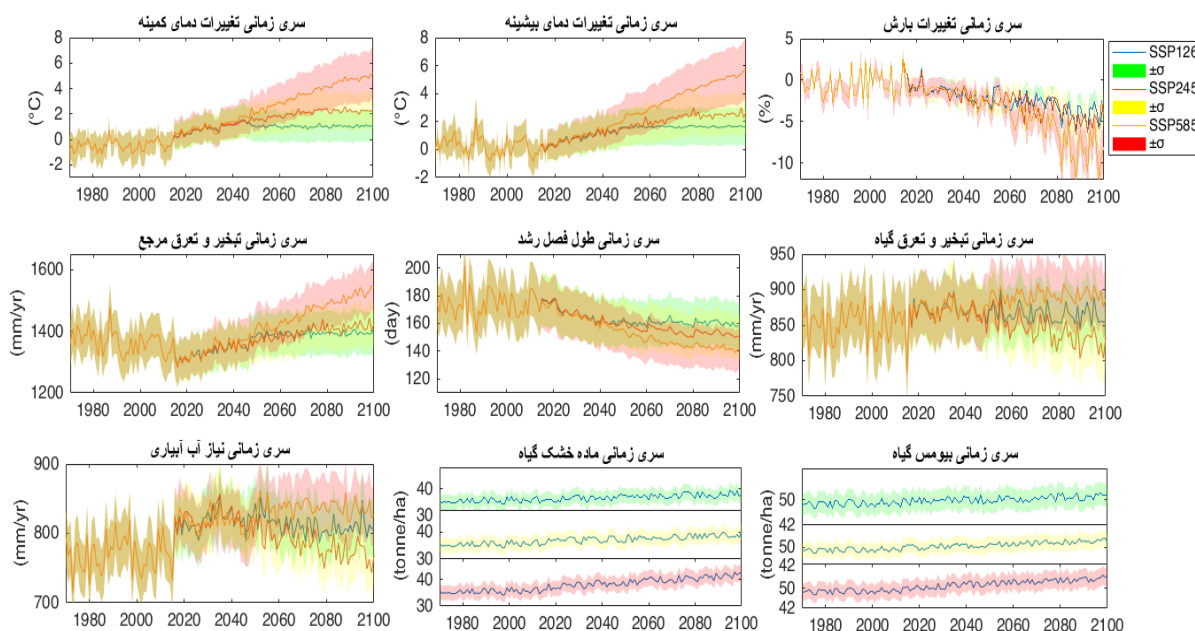
آزمون‌های آماری

به منظور تایید روند صعودی یا نزولی در نیازآبی و عملکرد چغندر قند در کل دوره مطالعاتی (۱۹۹۵-۲۱۰۰)، آزمون آماری من-کندال با حذف خودهمبستگی انجام شد (Yue *et al.*, 2002). این آزمون یک آزمون ناپارامتری بوده، تاثیر همبستگی سریالی را حذف می‌کند، در تحقیقات گذشته به جای آزمون من-کندال کلاسیک استفاده شده و نتایج مطلوبی داشته است (Geburu *et al.*, 2022). تخمین‌زننده شیب سن (Sen, 1968) که میانه تمام شیب‌های ممکن در یک سری زمانی را محاسبه می‌کند، اثر داده‌های پرت را حذف می‌کند، در گذشته در مطالعات هواشناسی و هیدرولوژیکی به دفعات استفاده شده و نتایج قابل قبولی داشته است (Yue *et al.*, 2021). هر دو آزمون توسط بسته نرم‌افزاری modifiedmk در محیط R انجام شدند. خطای نوع اول - احتمال وقوع نتایج به صورت تصادفی و غیرمعنی‌دار - نیز ۰/۰۵ در نظر گرفته شد.

آزمون پتیت (Pettitt's test) نیز یک آزمون آماری ناپارامتری بوده و برای تشخیص تغییرات ناگهانی در یک سری زمانی استفاده می‌شود (Pettitt, 1979). از این آزمون در پژوهش‌های گذشته در زمینه هیدرولوژی استفاده شده است (Gholami *et al.*, 2022). این آزمون نیز توسط بسته نرم‌افزاری Non-Parametric Trend Tests and Change-Point Detection در محیط R انجام شد (Type I error = 0.05).

نتایج و بحث

سری زمانی کمیت‌های مورد بررسی در این پژوهش در شکل (۳) نشان داده شده است. در شکل (۳)، نوارهای رنگی، عدم قطعیت به میزان یک انحراف استاندارد بین مدلی (inter-model) از دو طرف را نشان می‌دهند. در سری‌های زمانی (شکل (۳))، منحنی‌ها همان مقدار MME برای هر کمیت می‌باشند، درحالی‌که انحراف استاندارد از خروجی‌های شش مدل اقلیمی برای هر کمیت محاسبه شده است. جداول (۴) تا (۶) مقدار متوسط ۲۰ ساله هر کمیت را در دوره‌های گذشته و آینده نشان می‌دهند (MME برای هر کمیت)؛ در این جداول انحراف استاندارد از مقادیر MME برای هر کمیت در طول ۲۰ سال محاسبه شده است. لازم به ذکر است که در سری‌های زمانی تغییرات دمای کمینه، دمای بیشینه و بارش، تغییرات نسبت به متوسط دوره پایه (۱۹۹۵-۲۰۱۴) محاسبه شده‌اند.



شکل ۳. سری زمانی کمیت‌های مورد بررسی

با توجه به شکل بالا، برای دمای کمینه و دمای بیشینه روند صعودی و برای بارش روند نزولی مشاهده می‌گردد، به طوریکه میزان تغییرات آنها در دوره آینده دور (۲۰۸۱-۲۱۰۰) به ترتیب برابر با ۴/۶۹ درجه سانتی‌گراد، ۵/۰۶ درجه سانتی‌گراد و ۸/۳۵- درصد مشاهده می‌گردد. تاریخ‌های کاشت و برداشت چغندر قند در جدول (۴) نشان داده شده‌اند:



جدول ۴. مقادیر تاریخ‌های کاشت و برداشت چغندر قند در تقویم هجری شمسی به تفکیک دوره‌های ۲۰ ساله در گذشته و آینده

SSP585		SSP245		SSP126		سناریو
Harvest date±SD (day)	Sowing date±SD (day)	Harvest date±SD (day)	Sowing date±SD (day)	Harvest date±SD (day)	Sowing date±SD (day)	متغیر / دوره
۲۰ مهر±۲/۲	۲۸ فروردین±۲/۳	۲۰ مهر±۲/۲	۲۸ فروردین±۲/۳	۲۰ مهر±۲/۲	۲۸ فروردین±۲/۳	متوسط دوره پایه
۷ مهر±۹/۶	۲۵ فروردین±۴/۳	۹ مهر±۱/۷	۲۵ فروردین±۵/۳	۹ مهر±۶/۶	۲۵ فروردین±۲/۳	متوسط ۴۰-۲۱
۲ شهریور±۳/۶	۶ فروردین±۲/۴	۱۶ شهریور±۹/۳	۱۳ فروردین±۱/۳	۲۳ شهریور±۷/۱	۱۶ فروردین±۸/۱	متوسط ۷۰-۵۱
۱۰ مرداد±۸/۳	۱۸ اسفند±۸/۲	۲ شهریور±۴/۳	۲ فروردین±۴/۲	۱۶ شهریور±۱/۳	۷ فروردین±۳/۲	متوسط ۱۰۰-۸۱

تحت سناریو بدبینانه (SSP585)، متوسط تاریخ کاشت چغندر قند در دوره آینده نزدیک (۲۰۲۱-۲۰۴۰)، آینده میانی (۲۰۷۰-۲۰۵۱) و آینده دور (۲۰۸۱-۲۱۰۰) به ترتیب برابر است با ۲۵ فروردین، ۶ فروردین و ۱۸ اسفند. میزان متوسط تاریخ برداشت چغندر قند در دوره آینده نزدیک (۲۰۲۱-۲۰۴۰)، آینده میانی (۲۰۵۱-۲۰۷۰) و آینده دور (۲۰۸۱-۲۱۰۰) به ترتیب برابر است با: ۷ مهر، ۲ شهریور و ۱۰ مرداد. تاریخ‌های کاشت و برداشت هر دو تحت سناریوی بدبینانه در دوره انتهایی قرن ۲۱ به ترتیب ۳۹ و ۷۱ روز به سمت زمستان جابه‌جا خواهند شد؛ این به معنی کاهش در طول فصل رشد به میزان ۲۹ روز (از ۱۷۱ به ۱۴۲ روز) می‌باشد. (Ma et al. (2017) نیز کاهش در طول فصل رشد از ۴۲ تا ۴۷ روز را گزارش کردند.

مقادیر تبخیر و تعرق مرجع، نیاز آبی و نیاز آب آبیاری چغندر قند در جدول (۵) نشان داده شده‌اند. تحت سناریو بدبینانه (SSP585)، میزان متوسط تبخیر و تعرق مرجع در دوره آینده نزدیک (۲۰۲۱-۲۰۴۰)، آینده میانی (۲۰۵۱-۲۰۷۰) و آینده دور (۲۱۰۰-۲۰۸۱) به ترتیب برابر است با: ۱۳۵۲/۵۴، ۱۴۲۶/۰۲ و ۱۵۱۳/۸۱ میلی‌متر در سال. این به معنی افزایش ۱۴/۸ درصدی تبخیر و تعرق مرجع نسبت به متوسط دوره پایه می‌باشد که در بازه نتایج (Fazeli Khiavi et al. (2021)، Lin et al. (2018) و Joorabloo et al. (2019) که در اقلیم‌های مشابه کرج (به ترتیب Dfb، BWk و BWh) انجام شده‌اند می‌باشد.

جدول ۵. مقادیر تبخیر و تعرق مرجع، تبخیر و تعرق گیاه و نیاز آبیاری خالص چغندر قند به تفکیک دوره‌های ۲۰ ساله در گذشته و آینده

SSP585			SSP245			SSP126			سناریو
NIR±SD (mm/year)	ETc±SD (mm/year)	±SD·ET (mm/year)	NIR±SD (mm/year)	ETc±SD (mm/year)	±SD·ET (mm/year)	NIR±SD (mm/year)	ETc±SD (mm/year)	±SD·ET (mm/year)	متغیر / دوره
۱۷±۸۵۵/۷۷۱	۲۲±۹۱/۸۵۲	۲۹±۴۸/۱۳۱۷	۱۷±۸۵۵/۷۷۱	۲۲±۹۱/۸۵۲	۲۹±۴۸/۱۳۱۷	۱۷±۸۵۵/۷۷۱	۲۲±۹۱/۸۵۲	۲۹±۴۸/۱۳۱۷	متوسط دوره پایه
۲۲±۴۸/۸۱۷	۱۹±۰۴/۹۰۲	۳۲±۵۴/۱۳۵۲	۲۹±۰۷/۸۰۸	۲۴±۴۲/۸۹۱	۱۷±۷۴/۱۳۴۱	۲۹±۰۷/۷۹۳	۲۴±۴۲/۸۶۱	۱۷±۶۵/۱۳۳۶	متوسط ۴۰-۲۱
۱۷±۲۲/۸۲۹	۱۵±۷۷/۹۰۷	۲۷±۰۲/۱۴۲۶	۲۵±۵/۸۱۹	۲۹±۲/۸۹۲	۸±۲۷/۱۴۰۱	۲۵±۵/۸۰۶	۲۹±۲/۸۷۳	۲۸±۲۸/۱۳۹۰	متوسط ۷۰-۵۱
۱۹±۸۹/۸۵۲	۱۵±۶۶/۹۱۹	۲۹±۸۱/۱۵۱۳	۲۶±۹۲/۸۳۱	۲۳±۴۲/۸۹۶	۶±۴۶/۱۴۵۲	۲۶±۹۲/۸۱۶	۲۳±۴۲/۸۸۴	۲۶±۴۳/۱۴۰۳	متوسط ۱۰۰-۸۱

(Sanchez-Sastre et al. (2020) نیز در شمال غرب اسپانیا (اقلیم: Csb، Dsb و Dsc) به افزایش سالانه تبخیر و تعرق مرجع تا ۲۰۰ میلی‌متر در سال دست یافتند. میزان متوسط تبخیر و تعرق گیاه در دوره آینده نزدیک (۲۰۲۱-۲۰۴۰)، آینده میانی (۲۰۵۱-۲۰۷۰) و آینده دور (۲۰۸۱-۲۱۰۰) به ترتیب برابر است با: ۹۰۲/۰۴، ۹۰۷/۷۷ و ۹۱۹/۶۶ میلی‌متر در سال که به معنی حداکثر افزایشی برابر با ۷/۸ درصد نسبت به متوسط دوره پایه می‌باشد. (Sanchez-Sastre et al. (2020) نیز در اقلیمی مشابه با کرج به افزایش ماهانه برابر با ۴۰ میلی‌متر برای تبخیر و تعرق چغندر قند دست یافتند. میزان متوسط نیاز آب آبیاری چغندر قند در دوره آینده نزدیک (۲۰۲۱-۲۰۴۰)، آینده میانی (۲۰۵۱-۲۰۷۰) و آینده دور (۲۰۸۱-۲۱۰۰) به ترتیب برابر است با: ۸۱۷/۴۸، ۸۲۹/۲۲ و ۸۵۲/۸۹ میلی‌متر در سال؛ معادل با ۱۰/۵ درصد افزایش نسبت به متوسط دوره پایه. شایان ذکر است که (Hoseini Tabesh & Aghashariatmadari (2020) به این نکته اشاره

نمودند که عوامل افزایشی و کاهششی در نیاز آبی گیاهان در اثر تغییر اقلیم تاثیر دارند؛ به عنوان مثال، افزایش در تبخیر و تعرق مرجع در اثر افزایش دمای هوا باعث افزایش نیاز آبی گیاه می‌شود؛ درحالیکه کاهش طول فصل رشد و همچنین جابه‌جایی فصل رشد به سمت زمستان و متعاقب آن قرارگیری دوره اوج نیاز آبی گیاه (دوره میانه رشد) در ماه‌های سردتر در کشت‌های بهاره باعث کاهش نیاز آبی می‌شوند؛ بنابراین برآیند عوامل ذکر شده وابسته به منطقه مورد مطالعه می‌باشد. مقادیر بیومس و وزن خشک چغندر قند در جدول (۶) نشان داده شده‌اند:

جدول ۶. مقادیر بیومس و ماده خشک چغندر قند به تفکیک دوره‌های ۲۰ ساله در گذشته و آینده

SSP585		SSP245		SSP126		سناریو
DM±SD (tonne/ha)	Biomass±SD (tonne/ha)	DM±SD (tonne/ha)	Biomass±SD (tonne/ha)	DM±SD (tonne/ha)	Biomass±SD (tonne/ha)	متغیر/ دوره
۷/۰±۵۶۵/۳۵	۸/۰±۹۴۰/۴۸	۷/۰±۵۶۵/۳۵	۸/۰±۹۴۰/۴۸	۷/۰±۵۶۵/۳۵	۸/۰±۹۴۰/۴۸	متوسط دوره پایه
۱±۰۵۰/۳۸	۹/۰±۷۶۹/۵۰	۹/۰±۱۵۹/۳۷	۹/۰±۴۴۲/۵۰	۹/۰±۳۷۱/۳۶	۱±۹۵۳/۴۹	متوسط ۲۱-۴۰
۹/۰±۵۴۸/۳۹	۷/۰±۴۱۰/۵۲	۹/۰±۶۳۵/۳۷	۹/۰±۴۹۰/۵۱	۹/۰±۰۳۳/۳۷	۷/۰±۱۰۱/۵۰	متوسط ۵۱-۷۰
۹/۰±۲۴۹/۴۱	۹/۰±۶۷۹/۵۳	۸/۰±۶۲۲/۳۸	۹/۰±۳۴۱/۵۲	۸/۰±۶۹۳/۳۷	۹/۰±۰۳۵/۵۱	متوسط ۸۱-۱۰۰

تحت سناریو بدبینانه (SSP585)، میزان متوسط بیومس چغندر قند در دوره آینده نزدیک (۲۰۲۱-۲۰۴۰)، آینده میانی (۲۰۷۰-۲۰۵۱) و آینده دور (۲۰۸۱-۲۱۰۰) به ترتیب برابر است با ۵۰/۷۶۹، ۵۲/۴۱۰ و ۵۳/۶۷۹ تن در هکتار که به معنی حداکثر افزایشی برابر با ۱۱/۸ درصد نسبت به متوسط دوره پایه می‌باشد. میزان متوسط ماده خشک چغندر قند در دوره آینده نزدیک (۲۰۲۱-۲۰۴۰)، آینده میانی (۲۰۷۰-۲۰۵۱) و آینده دور (۲۰۸۱-۲۱۰۰) به ترتیب برابر است با: ۳۸/۰۵۰، ۳۹/۵۴۸ و ۴۱/۲۴۹ تن در هکتار که به معنی حداکثر افزایشی برابر با ۱۹/۲ درصد نسبت به متوسط دوره پایه می‌باشد. (Sánchez-Sastre et al., 2020) برای بیومس چغندر قند در شمال غربی کشور اسپانیا با لحاظ سازگاری (تغییر در تاریخ کاشت) و بدون لحاظ سازگاری به تغییراتی به ترتیب برابر با ۱۳/۳- و ۱ درصد دست یافتند که میزان افزایش به مرتب کمتر از افزایش بیومس در مطالعه حاضر (حداکثر تا ۱۱/۸ درصد) می‌باشد؛ همچنین برای ماده خشک نیز مشابه با بیومس با و بدون لحاظ سازگاری به تغییراتی به ترتیب برابر با ۷- و ۱۷ درصد دست یافتند که نزدیک به نتیجه مطالعه حاضر (افزایش تا ۱۹/۲ درصد) می‌باشد. علت افزایش بیومس و عملکرد تحت سناریوهای بدبینانه، افزایش کربن دی‌اکسید جو و متعاقب آن افزایش بازده فتوسنتز و همچنین غلبه این عامل بر کاهش طول فصل رشد در اثر افزایش دما می‌باشد (Sánchez-Sastre et al., 2020). (Dellal & Unuvar, 2019) نیز در جنوب شرق ترکیه (اقلیم: Dsa و Dsb) برای بیومس چغندر قند بدون لحاظ سازگاری کاهش برابر با ۱۶ درصد تا سال ۲۰۸۰ گزارش کردند که با توجه به عدم تغییر تاریخ کاشت و عدم استفاده از رقم اصلاح شده، کاهش در بیومس چغندر قند صحیح می‌نماید. نتایج آزمون‌های من-کندال و پتیت در جدول (۷) نشان داده شده‌اند.

با توجه به جدول بالا، تبخیر و تعرق مرجع در دوره‌های آینده نزدیک (۲۰۲۱-۲۰۴۰)، میانی (۲۰۷۰-۲۰۵۱) و دور (۲۰۸۱-۲۱۰۰) به ترتیب در سال‌های ۱۰ام، ۹ام و ۱۰ام جهش معنی‌دار خواهد داشت ($p\text{-value} < 0.05$). تبخیر و تعرق گیاه در هیچ دوره‌ای در آینده جهش معنی‌دار نخواهد داشت ($p\text{-value} > 0.05$). نیاز آبیاری در دوره آینده نزدیک (۲۰۲۱-۲۰۴۰) در سال ۱۱ام جهش معنی‌دار خواهد داشت ($p\text{-value} < 0.05$).

هیچکدام از کمیت‌های بیومس و ماده خشک در آینده در هیچ دوره‌ای جهش معنی‌دار نخواهند داشت ($p\text{-value} > 0.05$). طول فصل کشت در دوره‌های آینده نزدیک (۲۰۲۱-۲۰۴۰)، میانی (۲۰۷۰-۲۰۵۱) و دور (۲۰۸۱-۲۱۰۰) به ترتیب در سال‌های ۱۰ام، ۸ام و ۱۳ام جهش معنی‌دار خواهد داشت ($p\text{-value} < 0.05$). به منظور تفسیر بیشتر و زمینه‌سازی نتایج آزمون‌های آماری انجام شده، نیاز است که آزمون‌های بیشتری از جمله آزمون حساسیت (Sensitivity Analysis) و همچنین آزمون حدی (Extreme Analysis) انجام شوند تا روندها و جهش‌های گزارش شده در ارتباط با هم مورد بررسی قرار گیرند و مهمترین کمیت‌های موثر بر نیاز آبی و عملکرد چغندر قند در دوره آینده مشخص شود.

جدول ۷. نتایج آزمون‌های پتیت و من-کندال به ترتیب به تفکیک دوره‌های ۲۰ ساله در گذشته و آینده و در کل سری زمانی تحت سناریو بدبینانه

	آزمون پتیت			آزمون من-کندال			
	آماره/دوره	U	K	p-value	Z	Sen's slope	p-value
تبخیر و تعرق مرجع	دوره پایه	۴۴	۱۴	۵۰/۱۰			
	۴۰-۲۱	۹۲	۱۰***	۰۰۴/۰	۵۷۳/۱۲	۴۴۵**/۲	.
	۷۰-۵۱	۸۹	۹**	۰۰۶/۰			
	۱۰۰-۸۱	۹۲	۱۰***	۰۰۴/۰			
نیاز آبی	دوره پایه	۲۸	۱۴	۱			
	۴۰-۲۱	۳۲	۱۰	۹۶۲/۰	۷۹۵/۵-	۴۴۹**/۰-	.
	۷۰-۵۱	۵۸	۸	۱۸۰/۰			
	۱۰۰-۸۱	۴۱	۵	۶۰۲/۰			
نیاز آب آبیاری	دوره پایه	۳۹	۳	۶۷۴/۰			
	۴۰-۲۱	۸۳	۱۱*	۰۱۴/۰	۸۰۷/۳-	۳۰۷**/۰-	.
	۷۰-۵۱	۴۰	۱۴	۶۳۷/۰			
	۱۰۰-۸۱	۴۶	۱۶	۴۴۱/۰			
بیومس	دوره پایه	۲۸	۱۰	۱			
	۴۰-۲۱	۵۰	۱۰	۳۳۵/۰	۳۴۲/۳	۰۱۰**/۰	.
	۷۰-۵۱	۳۰	۸	۱			
	۱۰۰-۸۱	۳۵	۵	۸۳۳/۰			
ماده خشک	دوره پایه	۳۹	۳	۶۷۴/۰			
	۴۰-۲۱	۵۶	۱۲	۲۱۲/۰	۴۹۱/۳	۰۱۱**/۰	.
	۷۰-۵۱	۲۸	۸	۱			
	۱۰۰-۸۱	۲۶	۱۲	۱			
طول فصل رشد	دوره پایه	۳۸	۱۵	۷۱۳/۰			
	۴۰-۲۱	۹۲	۱۰***	۰۰۴/۰	۹۱۶/۱۲-	۳۸۸**/۰-	.
	۷۰-۵۱	۸۱	۸*	۰۱۸/۰			
	۱۰۰-۸۱	۷۳	۱۳*	۰۴۴/۰			

(** معنی دار در سطح ۹۹ درصد، * معنی دار در سطح ۹۵ درصد، در غیر اینصورت غیر معنی دار)

نتیجه گیری

تغییر اقلیم با تاثیر بر دما و بارندگی بر کشاورزی تاثیر می‌گذارد. برآورد این تاثیر از جهت تغییر سیاست‌گذاری‌ها در زمینه کشاورزی اهمیت دارد. در این پژوهش از اطلاعات اقلیمی ایستگاه هواشناسی واقع در محمدشهر کرج در دوره ۲۰۱۴-۱۹۷۰ و اطلاعات گیاهی مزرعه تحقیقاتی چغندرقد واقع در مهرشهر کرج استفاده شد. اطلاعات اقلیمی آینده از شش مدل گردش عمومی ACCESS-ESM1-5، NorESM2-LM و MRI-ESM2-0، IPSL-CM6A-LR، EC-EARTH3، CanESM5 و SSP245) و بدبینانه (SSP585) به روش نگاهت چندکی برای کرج کوچک مقیاس شدند. اطلاعات دما و بارندگی و تبخیر و تعرق مرجع محاسبه شده با روش هارگریوز-سامانی به مدل گیاهی AquaCrop داده شدند. نتایج حاکی از آن است که میزان تبخیر و تعرق مرجع در سناریو بدبینانه در دوره انتهایی قرن ۲۱ در کرج تا ۱۴/۸ درصد افزایش پیدا خواهد کرد. میزان نیاز آبی می‌تواند تا ۷/۸ درصد افزایش یابد. میزان نیاز آب آبیاری در دوره آینده دور تحت سناریو بدبینانه تا ۱۰/۵ درصد افزایش پیدا خواهد کرد. مقادیر بیومس و ماده خشک چغندرقد تحت سناریو بدبینانه در دوره انتهایی قرن ۲۱ (۲۰۸۱-۲۱۰۰) به ترتیب تا ۱۱/۸ و ۱۹/۲ درصد افزایش پیدا خواهند کرد. پیشنهاد می‌شود مدل‌های گیاهی دیگر (CropSYST، CERES، APSIM، DSSAT و WOFOST) در کرج برای گیاه چغندرقد واسنجی شده تا به عنوان مبنایی برای مقایسه خروجی‌های مدل‌های گیاهی در دوره‌های آینده به منظور برآورد خطای مدل‌های گیاهی در تغییر اقلیم استفاده شوند.

توصیه می‌شود در مطالعات آینده اثر تغییر اقلیم بر ضریب گیاهی ارزیابی شود و همچنین تفاوت ضریب گیاهی در بین رقم‌های متفاوت چغندرقد نیز بررسی شود که آیا تغییرات ضریب گیاهی می‌تواند نتایج ارزیابی که در این تحقیق گزارش شده است را به طور معنی‌داری تغییر دهد یا خیر. با توجه به افزایش بازده فتوسنتز در اثر افزایش کربن‌دی‌اکسید جو در آینده، توصیه می‌شود اثر افزایش بازده

فتوسنتز بر ضریب گیاهی مورد بررسی قرار گیرد.

در آخر توصیه می‌گردد که در تحقیقات بعدی از معادله‌های جامع‌تر تبخیر و تعرق مرجع مانند فائو-پنمن-مانتیس استفاده گردد که عوامل بیشتری مانند باد، تابش و فشار بخار را نیز در بر می‌گیرند؛ همچنین آزمون‌های آماری بیشتری از جمله آزمون حساسیت (Sensitivity Analysis) و همچنین آزمون حدی (Extreme Analysis) انجام شوند تا روندها و جهش‌های گزارش شده در ارتباط با هم مورد بررسی قرار گیرند.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

منابع

- ابراهیمی پاک، نیازعلی؛ اگدرنژاد، اصلان؛ تافته، آرش و انصاری، محمد علی (۱۴۰۱). اثر مدیریت‌های مختلف آب و تأمین کود نیتروژن بر دقت و کارایی مدل AquaCrop در شبیه‌سازی عملکرد و کارایی مصرف آب گوجه‌فرنگی. *نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران*، ۱۲ (۳)، ۱۲۱-۱۳۶.
- احمدآلی، خالد؛ رحیمی، حسین و اعتماد، وحید (۱۳۹۹). اثر بافت خاک و سطوح مختلف آبیاری بر نیاز آبی و ضریب گیاهی زیتون تلخ (Melia azedarach L.) در منطقه کرج. *تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۱ (۱۲)، ۳۱۹۵-۳۲۰۵.
- جورابلو، ساناز؛ اژدری، خلیل؛ گنجی نوروزی، زهرا و دلقندی، مهدی (۱۳۹۷). تأثیر تغییر اقلیم بر تبخیر و تعرق گیاه مرجع و کمبود بارندگی در منطقه سمنان. *علوم مهندسی و آبیاری*، ۴۱ (۴)، ۶۱-۷۵.
- حسینی تابش، صبا و آقاشریعتمداری، زهرا (۱۳۹۹). تاثیر تغییر اقلیم بر نیاز آبیاری برنج تحت سناریوهای واداشت تابشی (مطالعه موردی: انزلی). *تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۱ (۱۰)، ۲۶۰۷-۲۶۲۱.
- فاضلی خیابوی، عبدالرحیم؛ صلاحی، برومند و گودرزی، مسعود (۱۳۹۹). ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر تغییرات تبخیر و تعرق پتانسیل در دشت مغان با سناریوهای RCPs. *مهندسی و مدیریت آبخیز*، ۱۲ (۴)، ۹۱۷-۹۹۳.
- کریمی، شکوه؛ اگدرنژاد، اصلان و نخجوانی مقدم، محمد مهدی (۱۴۰۰). بررسی دقت مدل AquaCrop در شبیه‌سازی عملکرد و بهره‌وری مصرف آب ذرت دانه‌ای در تراکم‌های کاشت متفاوت و مقادیر مختلف آب. *محیط زیست و مهندسی آب*، ۷ (۱)، ۵۹-۷۳.
- عارفی‌نیا، علی؛ احمدآلی، خالد و نصیری مریان، مساعد (۱۳۹۹). برآورد نیاز آبی گندم زمستانه دشت گرگان در شرایط تغییر اقلیم. *مجله تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۱ (۷)، ۱۸۵۷-۱۸۶۸.
- نخجوانی مقدم، محمد مهدی؛ قهرمان، بیژن و زارعی، قاسم (۱۳۹۶). تحلیل بهره‌وری آب گندم در مدیریت‌های آبیاری در برخی از مناطق ایران. *پژوهش آب در کشاورزی*، ۳۱ (۱)، ۴۳-۵۷.

REFERENCES

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56.
- Ahmadaali, K., Rahimi, H. & Etemad, V. (2021). Effect of Soil Texture and Different Levels of Irrigation Amount on Water Requirement and Crop Coefficient of Melia azedarach L. in Karaj Area. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 51, 3195-3205. (In Persian)
- Araji, H. A., Wayayok, A., Bavani, A. M., Amiri, E., Abdullah, A. F., Daneshian, J. & Teh, C. (2018). Impacts of climate change on soybean production under different treatments of field experiments considering the uncertainty of general circulation models. *Agricultural Water Management*, 205, 63-71.
- Araji, H. A., Wayayok, A., Khayamim, S., Teh, C. S., Abdullah, A. F., Amiri, E. & Bavani, A. M. (2019). Calibration of the AquaCrop model to simulate sugar beet production and water productivity under different treatments. *Applied Engineering in Agriculture*, 35, 211-219.
- Arefinia, A., Ahmadaali, K. & 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, 1857-1868. (In Persian)
- Bird, D. N., Benabdallah, S., Gouda, N., Hummel, F., Koeberl, J., La Jeunesse, I., Meyer, S., Pretenthaler, F., Soddu, A. & Woess-Gallasch, S. (2016). Modelling climate change impacts and adaptation strategies for agriculture in Sardinia and Tunisia using AquaCrop and value-at-risk. *Sci Total Environ*, 543, 1019-27.
- Dellal, I. & Unuvar, F. (2019). Effect of climate change on food supply of Turkey. *J Environ Prot Ecol*, 20 ,



692-700.

- Ebrahimipak, N., Egdarnejad, A., Tafteh, A. & Ansari, M. A. (2022). The Effect of Irrigation Water Management and Fertilizer Amount on AquaCrop Accuracy and Efficiency for Tomato Yield and Water Use Efficiency Simulation. *Irrigation and Water Engineering*, 12, 120-135. (In Persian)
- Eyring, V., Bony, S., Meehl, G. A., Senior, C. A., Stevens, B., Stouffer, R. J. & Taylor, K. E. (2016). Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization. *Geoscientific Model Development*, 9, 1937-1958.
- Fazeli Khiavi, A., Salahi, B. & Goodarzi, M. (2020). Assessment effects of climate change on changes in potential evapotranspiration in the Moghan Plain by RCPs. *Watershed Engineering and Management*, 12, 977-993. (In Persian)
- Fricko, O., Havlik, P., Rogelj, J., Klimont, Z., Gusti, M., Johnson, N., Kolp, P., Strubegger, M., Valin, H. & Amann, M. 2017. The marker quantification of the Shared Socioeconomic Pathway 2: A middle-of-the-road scenario for the 21st century. *Global Environmental Change*, 42, 251-267.
- Gebru, B. M., Adane, G. B., Park, E., Khamzina, A. & Lee, W.-K. (2022). Landscape pattern and climate dynamics effects on ecohydrology and implications for runoff management: Case of a dry Afromontane Forest in northern Ethiopia. *Geocarto International*, 1-23.
- Ghahreman, R. & Rahimzadegan, M. (2022). Calculating net radiation of freshwater reservoir to estimate spatial distribution of evaporation using satellite images. *Journal of Hydrology*, 605, 127392.
- Gholami, H., Moradi, Y., Lotfirad, M., Gandomi, M. A., Bazgir, N. & Shokrian Hajibehzad, M. (2022). Detection of abrupt shift and non-parametric analyses of trends in runoff time series in the Dez river basin. *Water Supply*, 22, 1216-1230.
- Hargreaves, G. H. & Samani, Z. A. (1985). Reference crop evapotranspiration from temperature. *Applied engineering in agriculture*, 1, 96-99.
- Hoseini Tabesh, S. & Aghashariatmadari, Z. (2020). The Effect of Climate Change on Rice Irrigation Requirement under RCP Scenarios (Case Study: Anzali). *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 51, 2607-2621. (In Persian)
- Joorabloo, S., Azhdary, K., Ganji, Z. & Delghandi, M. (2019). Climate Change Impact on Reference Evapotranspiration and Precipitation Deficit in Semnan Region. *Irrigation Sciences and Engineering (JISE) (Scientific Journal Of Agriculture)*, 41. (In Persian)
- Karimi, S., Egdernezhad, A. & Nakhjavanimoghaddam, M. M. (2021). Assessing Aquacrop Model Accuracy for Simulation of Corn Yield and Water Use Efficiency in Different Plant Densities and Water Amount. *Environment and Water Engineering*, 7, 59-72. (In Persian)
- Kriegler, E., Bauer, N., Popp, A., Humpenöder, F., Leimbach, M., Strefler, J., Baumstark, L., Bodirsky, B. L., Hilaire, J. & Klein, D. (2017). Fossil-fueled development (SSP5): an energy and resource intensive scenario for the 21st century. *Global environmental change*, 42, 297-315.
- Lin, P., He, Z., Du, J., Chen, L., Zhu, X. & Li, J. (2018). Impacts of climate change on reference evapotranspiration in the Qilian Mountains of China: Historical trends and projected changes. *International Journal of Climatology*, 38, 2980-2993.
- Ma, L., Ahuja, L., Islam, A., Trout, T., Saseendran, S. & Malone, R. (2017). Modeling yield and biomass responses of maize cultivars to climate change under full and deficit irrigation. *Agricultural Water Management*, 180, 88-98.
- Nakhjavani Moghaddam, M. M., Ghahreman, B. & Zarei, G. (2017). Wheat Water Productivity Analysis under Different Irrigation Management Practices in Some Regions of Iran. *Journal of Water Research in Agriculture*, 31, 43-57. (In Persian)
- O'Neill, B. C., Kriegler, E., Ebi, K. L., Kemp-Benedict, E., Riahi, K., Rothman, D. S., Van Ruijven, B. J., Van Vuuren, D. P., Birkmann, J. & Kok, K. (2017). The roads ahead: Narratives for shared socioeconomic pathways describing world futures in the 21st century. *Global environmental change*, 42, 169-180.
- Oruc, S. (2022). Performance of bias corrected monthly CMIP6 climate projections with different reference period data in Turkey. *Acta Geophysica*, 70, 777-789.
- Petkeviciene, B. (2009). The effects of climate factors on sugar beet early sowing timing. *Agronomy Research*, 7, 436-443.
- Pettitt, A. N. (1979). A non-parametric approach to the change-point problem. *Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics)*, 28, 126-135.
- Rahimikhoob, H., Sohrabi, T., & Delshad, M. (2020). Assessment of reference evapotranspiration estimation methods in controlled greenhouse conditions. *Irrigation Science*, 38, 389-400.
- Sánchez-Sastre, L. F., Alte Da Veiga, N. M., Ruiz-Potosme, N. M., Hernández-Navarro, S., Marcos-Robles,

- J. L., Martín-Gil, J. & Martín-Ramos, P. (2020). Sugar beet agronomic performance evolution in NW Spain in future scenarios of climate change. *Agronomy*, 10, 91.
- Sen, P. K. (1968). Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American statistical association*, 63, 1379-1389.
- Shahid, S. (2010). Impact of climate change on irrigation water demand of dry season Boro rice in northwest Bangladesh. *Climatic Change*, 105, 433-453.
- Smith, J. B., Hulme, M., Jaagus, J., Keevallik, S., Mekonnen, A. & Hailemariam, K. (1998). Climate change scenarios. *UNEP Handbook on Methods for Climate Change Impact Assessment and Adaptation Studies*, 2, 3-1.
- Sun, J., Yan, H., Bao, Z. & Wang, G. (2022). Investigating Impacts of Climate Change on Runoff from the Qinhuai River by Using the SWAT Model and CMIP6 Scenarios. *Water*, 14, 1778.
- Van Vuuren, D. P., Stehfest, E., Gernaat, D. E., Doelman, J. C., Van Den Berg, M., Harmsen, M., De Boer, H. S., Bouwman, L. F., Daioglou, V. & Edelenbosch, O. Y. (2017). Energy, land-use and greenhouse gas emissions trajectories under a green growth paradigm. *Global Environmental Change*, 42, 237-250.
- Yue, S., Pilon, P., Phinney, B. & Cavadias, G. (2002). The influence of autocorrelation on the ability to detect trend in hydrological series. *Hydrological processes*, 16, 1807-1829.
- Yue, Y., Yan, D., Yue, Q., Ji, G. & Wang, Z. (2021). Future changes in precipitation and temperature over the Yangtze River Basin in China based on CMIP6 GCMs. *Atmospheric Research*, 264, 105828.