



Modeling the Net Irrigation Requirement of Potato Plants under Climate Change Conditions with the CROPWAT Model

Fatima Bayatani¹ , Gholam Abbas Fallah Ghalhari² 

1. Department of Hydrometeorology and Geomorphology, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran. E-mail: bayanifateme@gmail.com
2. Corresponding Author, Department of Geography and Tourism, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Kashan University, Kashan, Iran. E-mail: fallah.g@kashanu.ac.ir

Article Info

ABSTRACT

Article type:

Research Article

Article history:

Received: 6 August 2024

Revised: 4 June 2025

Accepted: 27 June 2025

Published online: 29 December 2025

Keywords:

Potato, climate change, CANESM2 model, RCP scenarios, net irrigation requirement.

In this study, CanESM2 general circulation model and RCP4.5, RCP2.6, and RCP8.5 scenarios were used to simulate potato water requirement in three periods: 2011-2040, 2041-2070, and 2071-2100. The results showed the greatest increase in reference evapotranspiration in Hamadan and Shiraz station by 0.29 mm per day in the period of 2071-2100 and RCP8.5 scenario and the greatest decrease in Isfahan station by 0.83 mm per day that will occur in the period 2011-2040 and RCP4.5 scenario. The results showed the greatest decrease in actual evapotranspiration at the Sanandaj station in the period of 2011-2040 and in the RCP8.5 scenario by -206.7 mm and the greatest increase in the actual evapotranspiration at the Tabriz station and in the period of 2071-2100 in The RCP8.5 scenario that will occur at the rate of +121.48 mm. The simulation results of effective precipitation showed that all stations except Sanandaj will face a decrease in effective precipitation. The highest decrease in effective precipitation was observed in the third period (2071-2100), So that the percentage of effective precipitation will fluctuate between 2.4% (Hamadan) and 54.38% (Shahrekord). The effective precipitation in Sanandaj station will increase by nearly 40%. The simulation results of the net irrigation requirement showed that the largest increase is related to the middle stage of potato growth. The highest increase in net irrigation requirement was observed in Tabriz station in RCP4.5 scenario in the third period by 377.28 mm and the lowest increase in Jiroft station in RCP8.5 scenario in the third period by 65.44 mm. In Sanandaj and Isfahan stations, a decrease in net irrigation will be observed. According to the obtained results, it can be concluded that the tropical regions of Iran will experience the greatest increase in net irrigation needs under the influence of climate change

Cite this article: Bayatani, F. & Fallah Ghalhari, G.A. (2026). Modeling the Net Irrigation Requirement of Potato Plants under Climate Change Conditions With the CROPWAT Model. *Journal of Geography and Planning*, 29 (94), 110-129. <http://doi.org/10.22034/gp.2025.62828.3287>



© The Author(s).

Publisher: University of Tabriz.

DOI: <http://doi.org/10.22034/gp.2025.62828.3287>

Introduction

One of the indirect effects of climate change is related to plant water relations. Climatic changes cause changes in agricultural climate zones, increase water demand and decrease the yield of agricultural and horticultural crops, and cause a decrease in food security and the country's dependence on foreign countries. More than 80% of available water resources in the world are used for irrigation of agricultural crops (Pradeep et al., 2015). The water required for irrigation depends on the plant's water needs and the water that is available to agricultural products naturally (effective rainfall, soil moisture, etc) (Frenken and Gillet., 2012). As global temperatures and the frequency of extreme weather increases, climate change has a significant impact on the water cycle and agricultural production, and is directly related to the security of regional water and food resources (Godfrey et al., 2010). Agriculture is an important and largest sector of water consumption, consuming approximately 70% of the total water consumption worldwide. The purpose of this research is to evaluate the consequences of climate change on the water demand of potatoes in selected stations in Iran, which have the largest area under cultivation and production.

Data and Methods

The areas studied in this research include Ardebil, Tabriz, Shahrekord, Hamedan, Jiroft, Kohnouj, Manoujan, Isfahan, Sanandaj and Shiraz stations. The mentioned areas are among the main centers of potato cultivation and production in the country. The mentioned areas account for 62.72% of the cultivated area and 68.27% of the country's potato production. In this study, in order to simulate the water requirement of different phenological stages of the potato plant using the CanESM2 general circulation model, under RCP2.6, RCP4.5 and RCP8.5 scenarios for the regions under study in three climatic periods of 2011-2040, 2041-2070 and 2071-2100 temperature (minimum temperature and maximum temperature), precipitation, relative humidity, sunny hours and average wind speed were simulated. The water requirement of potato plant phenological stages (initial stage, plant development, middle and final stage) was calculated by applying CROPWAT model. In order to estimate the net irrigation requirement, the evapotranspiration of the reference plant (ET_o) was first calculated. To calculate reference evapotranspiration, the FAO-Penman-Monteith method was used. The crop water consumption requirement (ET_c) was calculated using plant coefficients (K_c) and reference evapotranspiration (ET_o). The effective rainfall was estimated using USDA method and finally the net irrigation requirement was calculated. In this study, potential evapotranspiration (ET_o), crop water requirement (ET_c) and effective precipitation (P_{eff}) based on the CanESM2 model under RCP scenarios, in the conditions of the future climate period (2011-2040, 2041-2070 and 2071-2100)) was simulated in the studied areas.

Discussion

The simulation results of the net irrigation requirement of the phenological stages of the potato plant will increase in the future climatic conditions in all the regions under study (except Sanandaj and Isfahan) under the RCP scenarios. The intensity of the increase in water demand in all three scenarios was observed more strongly in the third period (2071-2100). The greatest absolute increase will be in the tropical regions of the country. Therefore, according to the obtained results, it can be concluded that the tropical regions of the country, under the influence of climate change, have the highest increase in net irrigation requirements.

Results

In the study areas of three stations Sanandaj, Isfahan and Manoujan, the rate of potential evapotranspiration will decrease in the future period. In the rest of the study areas, we see an increase in potential evapotranspiration. The crop water requirement (ET_c) has decreased by 36.2% and 17.64% in two stations of Sanandaj and Isfahan, respectively. While in other studied areas, the amount of water consumed by the plant is increasing. On average, the highest increase was observed in the tropical areas of Kohnouj and Manoujan, and the lowest percentage increase was observed in Shahrekord station. On average, effective precipitation in the study areas (without considering Sanandaj and Isfahan stations) effective precipitation decreased by 23.46%. The biggest decrease in effective precipitation was for the Shahrekord station. The net irrigation requirement in different stages of potato growth is decreasing in two stations - Sanandaj and Isfahan, and in other studied areas, the net irrigation requirement shows an increasing trend. The net irrigation requirement will increase during the plant growth period in all the regions under study (except Sanandaj and Isfahan). The highest increase will be related to the tropical regions of the country, so that the Kohnouj station shows the highest increase in net irrigation requirements with an average increase of 18.36%. Jiroft station with 17.32% and Manoujan station with 12.02% are in the next ranks. The lowest increase in water demand was observed in Shahrekord station with an increase of 0.82%. Therefore, according to the obtained results, it can be concluded that the tropical regions of the country, under the influence of climate change, will have the largest increase in net irrigation requirements.

Keywords: Potato, climate change, CANESM2 model, RCP scenarios, net irrigation requirement.



مدل سازی تغییرات نیاز خالص آبیاری گیاه سیب زمینی در شرایط تغییر اقلیم در برخی از مناطق کشور

فاطمه بیاتانی^۱، غلامعباس فلاح قاهری^۲✉

۱. گروه آب و هواشناسی و ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران. رایانامه: bayatanifateme@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

چکیده

اطلاعات مقاله

در این مطالعه برای شبیه سازی نیاز آبی سیب زمینی از مدل گردش کلی CanESM2 و سناریوهای RCP4.5، RCP2.6 و RCP8.5 در سه دوره ۲۰۱۱-۲۰۴۰، ۲۰۷۰-۲۰۴۱ و ۲۰۷۱-۲۱۰۰ استفاده شد. نتایج نشان داد بیشترین افزایش تبخیر-تعرق مرجع در ایستگاه همدان و شیراز به میزان ۰/۲۹ میلی متر در روز در دوره ۲۰۷۱-۲۱۰۰ و سناریوی RCP8.5 و بیشترین کاهش در ایستگاه اصفهان به میزان ۰/۸۳ میلی متر در روز و در دوره ۲۰۱۱-۲۰۴۰ و سناریوی RCP4.5 رخ خواهد داد. نتایج نشان داد بیشترین کاهش میزان تبخیر-تعرق واقعی در ایستگاه سنندج در دوره ۲۰۱۱-۲۰۴۰ و در سناریوی RCP8.5 به میزان ۲۰۶/۷ میلی متر و بیشترین افزایش تبخیر-تعرق واقعی در ایستگاه تبریز و در دوره ۲۰۷۱-۲۱۰۰ در سناریوی RCP8.5 به میزان ۱۲۱/۴۸ میلی متر رخ خواهد داد. نتایج شبیه سازی بارش موثر نشان داد همه ایستگاه ها به استثناء سنندج با کاهش بارش موثر مواجه خواهند شد. بیشترین میزان کاهش بارش موثر در دوره سوم (۲۰۷۱-۲۱۰۰) مشاهده شد، بطوریکه درصد کاهش بارش موثر در محدوده ۲/۴ درصد (همدان) تا ۵۴/۳۸ درصد (شهرکرد) در نوسان خواهد بود. بارش موثر در ایستگاه سنندج تا نزدیک ۴۰ درصد افزایش خواهد یافت. نتایج شبیه سازی نیاز خالص آبیاری نشان داد بیشترین افزایش مربوط به مرحله میانی رشد سیب زمینی است. بیشترین افزایش نیاز خالص آبیاری در این مرحله، در ایستگاه تبریز در سناریوی RCP4.5 دوره ی سوم به میزان ۳۷۷/۲۸ میلی متر و کمترین افزایش نیاز خالص آبیاری در ایستگاه جیرفت در سناریوی RCP8.5 در دوره سوم به میزان ۶۵/۴۴ میلی متر مشاهده شد. با توجه به نتایج به دست آمده می توان نتیجه گرفت که مناطق گرمسیر کشور تحت تاثیر شرایط تغییر اقلیم، بیشترین افزایش نیاز خالص آبیاری را به دلیل افزایش دما، کاهش بارندگی و کاهش بارش موثر به خود اختصاص داده اند.

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۱۶

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۳/۱۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۰۶

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۱۰/۰۸

کلیدواژه ها:

سیب زمینی، تغییر اقلیم،

مدل CANESM2،

سناریوهای RCP،

نیاز خالص آبیاری.

استناد: بیاتانی، فاطمه و فلاح قاهری، غلامعباس (۱۴۰۴). مدل سازی تغییرات نیاز خالص آبیاری گیاه سیب زمینی در شرایط تغییر اقلیم در برخی از مناطق کشور.

جغرافیا و برنامه ریزی، ۳۹ (۹۴)، ۱۱۰-۱۲۹.

<http://doi.org/10.22034/gp.2025.62828.3287>



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه تبریز.

مقدمه

بیش از ۸۰ درصد منابع آبی در دسترس در سطح جهان برای آبیاری محصولات کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد (پرادپ^۱، جادیا و سنگیل، ۲۰۱۵). آب مورد نیاز آبیاری به نیاز آبی گیاه و آبی که به صورت طبیعی (بارش مؤثر، رطوبت خاک، و غیره) در دسترس محصولات کشاورزی قرار می‌گیرد، بستگی دارد (فرنکن و گیل^۲، ۲۰۱۲؛ فلاح قاهره، راه چمنی و بیرانوند، ۱۳۹۴). با افزایش دمای جهانی و تشدید فراوانی رخدادهای حدی آب و هوایی، تغییرات آب و هوایی تأثیر قابل توجهی بر چرخه آب و تولید محصولات کشاورزی دارد و به طور مستقیم با امنیت منابع غذایی و آب منطقه ای مرتبط است (گادفرای و همکاران، ۲۰۱۰). کشاورزی یک بخش مهم و بزرگ‌ترین مصرف کننده آب است که تقریباً ۷۰ درصد از کل آب مصرفی در سراسر جهان را مصرف می‌کند. تغییرات اقلیمی و فعالیت های انسانی تأثیرات عمیقی بر منابع آب کشاورزی داشته‌اند (کنگ و همکاران، ۲۰۱۷). برآورد دقیق نیازهای آبی محصول^۳ (CWR) و نیازهای آبی آبیاری (IR)^۴ و درک جامع واکنش آنها به عوامل هواشناسی و فعالیت های انسانی (به عنوان مثال، تغییر سطح محصول) برای کاهش اثرات تغییرات آب و هوایی بر آب کشاورزی و استفاده و حصول اطمینان از مدیریت پایدار منابع آب تحت محیط های در حال تغییر اهمیت زیادی دارد (سان و همکاران، ۲۰۱۹؛ جیا و همکاران، ۲۰۲۳).

پیشینه پژوهش

سیب زمینی بعد از گندم، برنج و ذرت، چهارمین منبع غذایی انسان محسوب می‌شود. در برخی از کشورها، این محصول بعد از ذرت، دومین منبع غذایی انسان است (بگوم و همکاران، ۲۰۱۸). سیب زمینی اساساً یک محصول منطقه معتدله است، اما این محصول در اقلیم های مختلف از حاره ای تا جنب قطبی کشت می‌شود (رایت و استاک، ۱۹۹۰). بنابراین با توجه به اهمیت سیب زمینی در سبد غذایی انسان، تحقیقات متعددی در داخل و خارج کشور در مورد نیاز آبی این گیاه انجام شده است که در زیر به برخی از آنها اشاره می‌شود.

۱. مطالعات داخلی

آشفته (۱۳۹۱) تاثیر پدیده تغییر اقلیم بر نیاز آبی محصولات عمده کشاورزی در شبکه آبیاری آیدوگوموش (شامل گندم، جو، یونجه، و سیب زمینی) را با استفاده از مدل HADCM3 ارزیابی نمود. نتایج افزایش ریسک میزان نیاز آبی محصولات را نشان می‌دهد، به گونه ای که این افزایش تا حدود ۱۰ و ۱۳ درصد به ترتیب برای ریسک ۵۰ و ۲۵ درصد می‌رسد. اخوان، قبایی سوق و مساعدی (۱۳۹۴) نیاز خالص آبیاری سیب زمینی را در دشت بهار همدان در شرایط تغییر اقلیم محاسبه نموده‌اند. نتایج نشان داد نیاز خالص آبیاری سیب زمینی در آینده ۲۷۵ متر مکعب در هکتار نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت. به همین دلیل، الگوی کشت جایگزین در این منطقه توصیه شده است. فلاح قاهره، باعقیده و رضایی (۱۳۹۵) نیاز آبی سیب زمینی را در اقلیم تربت حیدریه محاسبه نموده‌اند. نتایج نشان داد نیاز آبیاری سیب زمینی از کاشت تا برداشت محصول ۸۰۳/۱ میلی متر و میزان آبیاری که این کاهش رطوبت را جبران کند، ۷۴۱/۹ میلی متر است. جلالی و همکاران (۱۳۹۶) نیاز آبی سیب زمینی را در اقلیم های مختلف استان اصفهان محاسبه نمودند. نتایج نشان داد نیاز خالص آبیاری در اقلیم خشک - زمستان سرد و دمای برابر یا کمتر از نقطه انجماد - تابستان گرم (نطنز و شاهین شهر)، ۵۰۴۴ متر مکعب در هکتار، در اقلیم خشک - زمستان سرد با دمای بالای نقطه انجماد - تابستان گرم (مبارکه و اصفهان)، ۵۰۷۸ متر مکعب در هکتار و اقلیم نیمه خشک - زمستان سرد با دمای برابر یا کمتر از صفر - تابستان گرم (تیران و دهاقان)، ۵۷۰۳ متر مکعب در هکتار است.

1. Pradeep
2. Frenken and Gillet
3. Crop Water Requirement
4. Irrigation Requirement

خداامرادپور و احمدی (۱۳۹۸) نیاز آبی سیب زمینی را توسط مدل CROPWAT در یک اقلیم نیمه خشک سرد در شهرستان رزن برآورد نموده‌اند. نتایج نشان داد نیاز خالص آبی گیاه سیب زمینی در طول فصل رشد تقریباً ۱۰۱۴/۷ میلی متر است که تنها ۳/۷ میلی متر آن توسط بارندگی تامین می‌شود. مدل برای جبران این کاهش رطوبت، ۱۸ دوره آبیاری در کل فصل رشد، به جز ده روز آخر مرحله پایانی رشد، با مقدار کل آب مصرفی ۹۱۱/۴ میلی متر برآورد نموده است. افشاری پور و همکاران (۱۴۰۲) تغییرات نیاز خالص آبیاری سیب زمینی را در دشت جیرفت ارزیابی نموده‌اند. نتایج آنها نشان داد بر اساس سناریوی RCP8.5 میانگین نیاز آبی سیب زمینی در دوره آتی (۲۰۵۰-۲۰۳۱) نسبت به دوره پایه (۲۰۱۷-۱۹۸۹)، ۱۱/۱۲ درصد افزایش خواهد یافت. نیسی و همکاران (۱۴۰۳) از مدل WOFOST برای ارزیابی مقدار خالص آب آبیاری سیب زمینی در سیستم آبیاری قطره ای نواری در شهرستان کرمانشاه استفاده نمودند. نتایج نشان داد با در نظر گرفتن عملکرد قابل قبول و بهره‌وری آب بالا، تأمین ۶۵ درصد نیاز آبی (معادل عمق ۶۳۴ میلی متر) برای زراعت سیب‌زمینی به عنوان مقدار بهینه تعیین شد. جوزی، ابراهیمی پاک و فاتحی (۱۴۰۳) نیاز آبی سیب زمینی را در اقلیم های سرد(سنقر)، معتدل (کرمانشاه) و گرم (قصر شیرین) در استان کرمانشاه محاسبه نمودند. نتایج نشان داد میانگین نیاز آبی در سه شهر ذکر شده و میانگین این سه شهر به ترتیب ۶۳۰، ۷۱۸، ۴۵۴ و ۶۰۵ میلی متر است.

۲. مطالعات خارجی

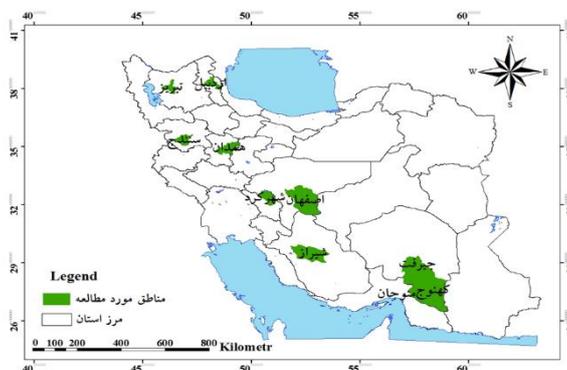
ویشنوی و همکاران (۲۰۱۲) آب مورد نیاز سیب زمینی را با استفاده از مدل CROPWAT در هندوستان برای دو تاریخ کاشت ۱۲ اکتبر و ۸ نوامبر سال ۲۰۱۰ میلادی محاسبه نموده‌اند. نتایج آنها نشان داد کل آب مورد نیاز سیب زمینی کاشته شده در تاریخ زودتر ۲۱۲/۵ میلی متر و برای سیب زمینی کاشته شده در تاریخ دیرتر، ۲۲۶/۷ میلی متر است. بنابراین آب مورد نیاز سیب زمینی با تاریخ کشت تغییر می‌کند. فراگ و همکاران (۲۰۱۵) آب مورد نیاز سیب زمینی را تحت شرایط تغییر اقلیم در مصر محاسبه نموده‌اند. نتایج نشان داد بیشترین تأخیر- تفرق مرجع بر اساس سناریوی RCP8.5 و در دوره ۲۰۱۰-۲۰۷۱ متعلق به منطقه مصر علیاست. برآورد نیاز آبی محصول سیب زمینی در مناطق مختلف اقلیم کشاورزی نشان داد که فصل زمستان بیشترین سطح زیر کشت سیب زمینی را داراست و پس از آن فصل تابستان قرار گرفته است. نتایج همچنین نشان داد منطقه مصر علیا، دارای کمترین سطح زیر کشت سیب زمینی در فصول مختلف کشت است. لی و همکاران (۲۰۲۲) به مدل سازی و ارزیابی تابع تولید آب سیب زمینی در یک محیط خشک و سرد در استان گانژو در چین طی ماه های آوریل تا اکتبر سال های ۲۰۲۰-۲۰۱۹ پرداخته‌اند. نتایج نشان داد که میانگین مصرف سالانه آب در مرحله حجیم‌سازی غده بیشترین میزان را داشته است که به ۱۸۵/۳۵ تا ۲۳۹/۵۲ میلی‌متر رسید و پس از آن میانگین مصرف سالانه آب در مرحله شروع غده و مرحله انباشت نشاسته به ترتیب ۱۰۰/۰۲ تا ۱۳۲/۳ میلی‌متر و ۸۲/۴۸ تا ۱۱۲/۳۶ میلی‌متر بود. میانگین سالانه مصرف آب در مرحله نهال‌زایی با ۴۹/۳۲ تا ۶۹/۸۱ میلی‌متر کمترین مقدار بود.

پاف، فلیشر و تیملین (۲۰۲۲) اثرات مدیریت آب و نیتروژن را برای سیب زمینی تحت شرایط حاضر و آینده در ایالات متحده ارزیابی نموده‌اند. نتایج نشان داد کارایی مصرف آب تحت تیمار کم آبیاری و نیتروژن بالا موثرتر است. لیو و همکاران (۲۰۲۲) توزیع زمانی و مکانی نیاز آبی گندم و ذرت را در چین در دوره ۲۰۱۷-۱۹۷۴ مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج حاکی از وجود روند افزایشی نیاز آبی در حوضه آبریز رودخانه زرد در بیجینگ چین است. آریپتا و همکاران (۲۰۲۳) پیامدهای تغییر اقلیم بر نیاز آبی گندم و سیب زمینی را در شرق هندوستان با استفاده از سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 ارزیابی نموده‌اند. نتایج نشان داد در همه مناطق کشاورزی مورد بررسی، نیاز آبی فصلی در دوره ۲۰۲۰-۲۰۹۵ روند افزایش یکنواختی خواهد داشت. بین و همکاران (۲۰۲۳) از مدل AquaCrop برای برنامه ریزی آبیاری سیب زمینی در یک منطقه خشک در چین استفاده نمودند. نتایج نشان داد عملکرد سیب زمینی با افزایش میزان کل آبیاری افزایش یافته است. با این حال، زمانی که میزان کل آبیاری از ۲۵۰۰ متر مکعب در هکتار فراتر رفت، عملکرد شروع به کاهش می‌کند. این مطالعه همچنین نشان داد که برنامه آبیاری بهینه برای سیب زمینی، ۲۰ میلی متر آبیاری در دور آبیاری ۷ روزه (یعنی ۱۸۰۰ متر مکعب در هکتار یا ۱۸۰ میلی متر از کل آبیاری) است.

پارمار، پاتل و تیواری (۲۰۲۳) به محاسبه نیاز آبی محصول ذرت با استفاده از سنجش از دور و GIS پرداختند. نتایج نشان داد نقشه های تبخیر-تعرق گیاهی که با استفاده از روش های سنجش از دور به دست آمده اند، ابزار مفیدی برای ارزیابی نیاز آبی گیاهان هستند. مهاوج و همکاران (۲۰۲۳) نیاز آبی محصولات ذرت، گندم زمستانه و سویا را در ایالات متحده آمریکا محاسبه کردند. نتایج نشان دهنده نیاز آبی بالاتر سویا و ذرت (۱۶۸-۳۶ میلی متر در ماه) نسبت به گندم زمستانه (۱۲۳-۳۳ میلی متر در ماه) است. چاک راورتی و همکاران (۲۰۲۳) نیاز آبی گندم و ذرت را در هندوستان مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد گندم بیشترین و ذرت کمترین نیاز آبی را دارا می باشد. همچنین ماه فوریه بیشترین نیاز آبی را داراست. هامفریس و همکاران (۲۰۲۴) نیاز آبی محصول و تبخیر و تعرق بالقوه برای کشاورزی پایدار قهوه در پاسخ به سناریوهای تغییرات آب و هوایی آینده را مورد ارزیابی قرار دادند. یافته‌ها بر نقش حیاتی استراتژی‌های تطبیقی خاص مزرعه در کاهش تأثیرات تغییر الگوهای بارش بر کشت قهوه تأکید می‌کنند. ریتا، هتیه و فینسا (۲۰۲۴) نیاز آبی محصول و برنامه ریزی آبیاری تحت سناریوی تغییر اقلیم و تخصیص بهینه زمین زراعی در حوضه آبریز کولفو را بررسی کردند. نتایج این تحقیق به سیاستگذاران در تشویق کشاورزی مقاوم به آب و هوا و بهبود آگاهی کشاورزان در مقیاس کوچک از طریق برگزاری کارگاه‌ها و آموزش کمک می‌کند. مرور مطالعات انجام شده در کشور در زمینه پیامدهای تغییر اقلیم بر نیاز آبی سیب زمینی نشان می‌دهد بیشتر محققین توجه خود را به محاسبه نیاز آبی گیاه در شرایط اقلیمی مختلف، مدیریت منابع آب در شرایط کم آبیاری، مدیریت آب و کود و غیره معطوف داشته‌اند و کمتر به پیامدهای تغییر اقلیم بر نیاز آبی این محصول توجه شده است. هدف این تحقیق ارزیابی پیامدهای تغییر اقلیم بر نیاز آبی سیب زمینی در برخی از مناطق کشور است.

روش پژوهش

مناطق مورد مطالعه در این تحقیق شامل ایستگاه‌های اردبیل، تبریز، شهرکرد، همدان، جیرفت، کهنوج، منوجان، اصفهان، سنندج و شیراز می‌باشند. مناطق نام برده جزو مراکز اصلی کشت و تولید سیب‌زمینی در کشور محسوب می‌شوند. مناطق نامبرده ۶۲/۷۲ درصد سطح زیر کشت و ۶۸/۲۷ درصد تولیدات سیب‌زمینی کشور را به خود اختصاص داده‌اند.



شکل ۱. موقعیت مناطق مورد مطالعه

جهت برآورد نیاز خالص آبیاری (In) از مدل *CROPWAT* استفاده شد. نیاز خالص آبیاری مقدار آبی است که در صورت وجود بارش موثر، مقدار آن کسر شده است و باقی مانده نیاز خالص آبیاری می‌باشد. نیاز خالص آبیاری را معادل نیاز آب مصرفی در نظر می‌گیرند. برای محاسبه نیاز خالص آبیاری، از پارامترهای تبخیر و تعرق گیاهی و بارش موثر استفاده می‌شود (جعفرپور، ۱۳۹۵). در این پژوهش برای محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع (*E_{to}*) از معادله‌ی فائو-پنمن - مونتیت استفاده شده است. برای محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع با استفاده از معادله‌ی فائو-پنمن - مونتیت داده‌های اقلیمی کمینه و بیشینه‌ی دمای هوا، رطوبت نسبی، ساعات آفتابی و سرعت باد مورد نیاز است. برای برآورد بارش موثر (*P_{eff}rain*)، از داده‌های بارش ایستگاه‌های همدید مناطق تحت مطالعه استفاده شده است. از دیگر ورودی‌های مدل *CROPWAT* می‌توان به نوع الگوی

کاشت، داده‌های ضریب محصول، سطح زیر کشت (۱ تا ۱۰۰ درصد مساحت) زمان‌بندی آبیاری، نوع خاک، کل رطوبت در دسترس خاک، حداکثر عمق ریشه و رطوبت اولیه‌ای که در خاک نفوذ می‌کند، اشاره نمود. معادله‌ی فائو-پنمن-مونتیت برای محاسبه تبخیر-تعرق مرجع به صورت زیر است (وزیری و همکاران، ۱۳۸۷):

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad \text{رابطه (۱)}$$

در رابطه (۱)، ET_o تبخیر-تعرق مرجع (میلی متر بر روز)، R_n تابش خالص ورودی به سطح گیاه (مگاژول بر متر مربع در روز)، G شار گرمای خاک (مگاژول بر متر مربع در روز)، T میانگین روزانه‌ی دمای هوا در ارتفاع دو متری (درجه سانتی‌گراد)، U_2 میانگین روزانه سرعت باد در ارتفاع دو متری (متر بر ثانیه)، e_s فشار بخار اشباع (کیلو پاسکال)، e_a فشار بخار واقعی هوا (کیلو پاسکال)، $e_s - e_a$ کمبود فشار بخار اشباع (کیلو پاسکال)، Δ شیب منحنی فشار بخار اشباع نسبت به دما (کیلو پاسکال بر درجه‌ی سانتی‌گراد) و γ ثابت سایکرومتری (کیلو پاسکال بر درجه سانتی‌گراد) می‌باشد. بارندگی مؤثر بخشی از کل بارش است که بر تولید محصول اثرگذار است. در این پژوهش با استفاده از مؤلفه‌های مدل 8 CROPWAT، در این مطالعه مدل بارش مؤثر در مدل کروپ وات براساس روش^۱ (USDA) محاسبه شد (معادلات ۳-۲۰ و ۳-۲۱). در این روش فرض بر این است که محصولات می‌توانند ۶۰-۸۰ درصد از بارندگی بالاتر از ۲۵۰ میلی متر را استفاده کنند، بالاتر از ۲۵۰ میلی متر در ماه میزان استفاده محصولات از کل بارندگی تنها ۱۰ درصد است، به عبارتی دیگر موقعی که بارندگی افزایش پیدا می‌کند، مقدار کارایی آن کاهش خواهد یافت (لشکری، کیخسروی و رضایی، ۱۳۸۷).

$$P_{eff} = P_{tot} \frac{(125 - 0.2P_{tot})}{125} \quad \text{که } P_{tot} \leq 250mm \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$P_{eff} = 125 + 0.1P_{tot} \quad \text{که } P_{tot} > 250mm \quad \text{رابطه (۳)}$$

در روابط فوق، P_{eff} نماینده بارندگی مؤثر بر حسب میلی متر بر ماه می‌باشد. نیاز آبی محصول (CWR) بر اساس رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$CWR = ET_o \times K_c \times A \quad \text{رابطه (۴)}$$

در رابطه فوق (۴)، K_c میانگین ضریب گیاهی و A مساحت کشت شده می‌باشد. رابطه فوق (۴)، بیانگر این امر است که اگر مساحت کشت شده به‌وسیله‌ی محصولی خاص کمتر از ۱۰۰٪ باشد، بیشینه‌ی CWR می‌تواند کمتر از بیشینه‌ی مقدار ET_o باشد. مقدار K_c از طریق درون‌یابی خطی، برای هر مرحله از رشد محصول به‌وسیله خود مدل انجام می‌گیرد. معادله‌ی نیاز آبیاری محصول عبارتست از:

$$Irr = A \times \sum (ET_o \times K_c \times P_{eff}) \quad \text{رابطه (۵)}$$

در رابطه (۵)، Irr نیاز آبیاری برحسب $\frac{m^3}{year}$ و برای یک دوره‌ی معین برحسب $\frac{mm}{periods}$ به دست می‌آید. A مساحت کشت شده می‌باشد که به‌صورت درصدی از کل مساحت نشان داده می‌شود و K_c نیز ضریب گیاهی است که مقدار آن بر اساس خصوصیات محصول، تاریخ کاشت، مرحله‌ی رشد محصول، طول فصل رشد و شرایط اقلیمی تغییر می‌کند (فلاح قاهره‌ی راه چمنی و بیرانوند، ۱۳۹۴).

۱. سرویس حفاظت خاک وزارت کشاورزی ایالات متحده (U.S. Department of Agriculture).

نتایج

تغییرات تبخیر و تعرق مرجع (ETO) در دوره دیدبانی و آینده

مقدار تبخیر و تعرق مرجع (ETO) با استفاده از فرمول فائو پنمن-مانتیث^۱ و بر اساس داده‌های دوره دیدبانی و دوره آینده محاسبه شد. مقادیر (ETO) سالانه شبیه‌سازی شده برای دوره آینده اقلیمی در مقایسه با میانگین تبخیر و تعرق مرجع در دوره دیدبانی برای مناطق مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است. با توجه به جدول ۱ مقدار تبخیر - تعرق مرجع در شرایط اقلیمی آینده نسبت به دوره دیدبانی در ایستگاه‌های مورد مطالعه نتایج متفاوتی را نشان می‌دهند. میزان تبخیر و تعرق مرجع ایستگاه‌های منوجان، اصفهان و سنندج در هر سه دوره اقلیمی آینده کاهش نشان می‌دهد. همچنین در ایستگاه تبریز در دوره اول سناریوی RCP2.6 و RCP4.5 و ایستگاه کهنوج دوره سوم، سناریوی RCP8.5 میزان تبخیر - تعرق مرجع کاهش یافته است. بیشترین میزان افزایش تبخیر - تعرق مرجع مربوط به ایستگاه همدان در دوره سوم (۲۰۷۱-۲۱۰۰) و سناریوی RCP8.5 رخ خواهد داد. با توجه به نتایج بدست آمده، بیشترین میزان افزایش تبخیر - تعرق مرجع در دوره سوم (۲۰۷۱-۲۱۰۰) مشاهده خواهد شد.

جدول ۱. میزان تغییرات میانگین تبخیر - تعرق مرجع (میلی‌متر در روز) در ایستگاه‌های منتخب در سه دوره ۲۰۴۰-۲۰۷۱، ۲۰۷۱-۲۰۷۰ و ۲۰۴۱-۲۰۷۰

۲۰۷۱-۲۱۰۰			۲۰۴۱-۲۰۷۰			۲۰۱۱-۲۰۴۰			دیدبانی	ایستگاه	
RCP8.5	RCP4.5	RCP 2.6	RCP8.5	RCP4.5	RCP 2.6	RCP8.5	RCP4.5	RCP 2.6			
۹/۱۵	۵/۳۲	۳/۸	۵/۹۷	۴/۵۸	۴/۰۳	۳/۴۱	۲/۷۱	۵/۳۹	درصد	۲/۴۵	اردبیل
۰/۲۲	۰/۱۳	۰/۰۹	۰/۱۵	۰/۱۱	۰/۱	۰/۰۸	۰/۰۷	۰/۱۳	ΔETO		
۷/۱۳	۲/۲۱	۰/۷۹	-۲/۹	۰/۹۸	۰/۸۳	۰/۲۴	-۰/۸۲	-۰/۳۳	درصد	۳/۷۲	تبریز
۰/۲۶	۰/۰۸	۰/۰۳	-۰/۱	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۱	-۰/۰۳	-۰/۰۱	ΔETO		
-۱۴/۷۷	-۱۷/۳۸	-۱۸/۲۳	-۱۶/۹۱	-۱۷/۹۶	-۱۷/۹۱	-۱۸/۷۲	-۱۹	-۱۸/۷۴	درصد	۳/۸۱	سنندج
-۰/۵۶	-۰/۶۶	-۰/۶۹	-۰/۶۴	-۰/۶۸	-۰/۶۸	-۰/۷۱	-۰/۷۲	-۰/۷۱	ΔETO		
۹/۲۹	۴/۹۳	۳/۶۶	۵/۸۲	۴/۲۴	۴/۰۷	۳/۱۴	۲/۶۷	۲/۹۶	درصد	۳/۱۶	همدان
۰/۲۹	۰/۱۶	۰/۱۲	۰/۱۸	۰/۱۳	۰/۱۲	۰/۱	۰/۰۸	۰/۰۹	ΔETO		
-۱۶/۷۱	-۱۸/۵۶	-۱۸/۹۴	-۱۸/۲۹	-۱۸/۷۸	-۱۹/۱۳	-۱۸/۴	-۱۹/۷۳	-۱۹/۵۵	درصد	۴/۲	اصفهان
-۰/۷	-۰/۷۸	-۰/۷۹	-۰/۷۷	-۰/۷۹	-۰/۸	-۰/۷۷	-۰/۸۳	-۰/۸۲	ΔETO		
۵/۱۸	۲/۹۴	۱/۹۲	۳/۳۴	۲/۴	۱/۹۹	۱/۵۵	۱/۳۷	۱/۷۴	درصد	۲/۹۹	شهرکرد
۰/۱۵	۰/۰۹	۰/۰۶	۰/۱	۰/۰۷	۰/۰۶	-۰/۷۷	۰/۰۴	۰/۰۵	ΔETO		
۶/۱۵	۳/۶۶	۲/۷۸	-۴/۳۵	۳/۴۲	۳/۰۹	۲/۷۴	۲/۵۶	۲/۳۹	درصد	۶/۴	شیراز
۰/۳۹	۰/۲۳	۰/۱۸	۰/۲۸	۰/۲۲	۰/۲	۰/۱۷	۰/۱۶	۰/۱۵	ΔETO		
۳/۷۴	۲/۸۶	۲/۲۴	۲/۹۷	۲/۷۹	۲/۴۹	۲/۰۶	۲/۱۲	۲/۳۴	درصد	۴/۰۲	جیرفت
۰/۱۵	۰/۱۱	۰/۰۹	۰/۱۲	۰/۱۱	۰/۱	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۹	ΔETO		
-۱/۷۹	۱/۸۸	۱/۱۱	۱/۷۳	۱/۷۲	۱/۳۷	۱/۲۵	۱/۰۶	۳/۱۳	درصد	۶/۳۷	کهنوج
-۰/۱۱	۰/۱۲	۰/۰۷	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۰۹	۰/۰۸	۰/۰۷	۰/۲	ΔETO		
-۶/۵۲	-۳/۰۱	-۲/۲۷	-۳/۳	-۲/۲۴	-۲/۱۳	-۱/۸	-۱/۵	-۱/۵۱	درصد	۷۳/۴	منوجان
-۰/۴	-۰/۱۸	-۰/۱۴	-۰/۲	-۰/۱۴	-۰/۱۳	-۰/۱۱	-۰/۰۹	-۰/۰۹	ΔETO		

تغییرات تبخیر - تعرق واقعی گیاه سیب زمینی (ETc) در دوره دیده بانی و آینده

تبخیر - تعرق واقعی (ETc) گیاه سیب زمینی بر اساس مدل CanESM2 تحت سناریوهای RCP، با استفاده از ضرایب گیاهی (Kc) و تبخیر - تعرق مرجع (ETO) در شرایط دوره اقلیمی آینده (۲۰۴۰-۲۰۷۰، ۲۰۷۰-۲۰۴۱ و ۲۰۷۱-۲۱۰۰) در مناطق مورد

مطالعه شبیه‌سازی شد (جدول ۲). نتایج شبیه‌سازی تبخیر-تعرق واقعی سیب‌زمینی نشان دهنده‌ی افزایش نیاز آب مصرفی در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه (به جزء ایستگاه سنندج و اصفهان) است (جدول ۲). با توجه به نتایج بدست آمده، بیشترین میزان افزایش تبخیر-تعرق واقعی در دوره سوم (۲۰۷۱-۲۱۰۰) مشاهده شد. لازم به ذکر است که در مناطق گرمسیری تحت مطالعه (ایستگاه جیرفت، کهنوج و منوجان) در دوره سوم در سناریوی RCP8.5، میزان افزایش تبخیر - تعرق واقعی اندکی کاهش خواهد یافت. روند افزایشی تبخیر-تعرق واقعی در ایستگاه شهرکرد در دوره اول (۲۰۴۰-۲۰۱۱) کاهش یافته است. بطور کلی با افزایش واداشتهای تابشی در سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 درصد افزایش تبخیر - تعرق واقعی بطور قابل ملاحظه‌ای افزایش خواهد یافت. نتایج حاصل از شبیه‌سازی تبخیر-تعرق واقعی سیب‌زمینی در مناطق مورد مطالعه (جدول ۲) بیانگر افزایش بیشتر تبخیر-تعرق واقعی (ETc) در مناطق سردسیر کشور نظیر تبریز، همدان و اردبیل (به استثنای سنندج) بود. با این حال افزایش کمتر تبخیر-تعرق واقعی گیاه (ETc) در مناطق گرمسیر کشور مانند جیرفت، کهنوج و منوجان مشاهده خواهد شد.

جدول ۲. میزان تغییرات تبخیر - تعرق واقعی (ETc) (میلی‌متر در روز) در ایستگاه‌های منتخب در سه دوره ۲۰۴۰-۲۰۱۱، ۲۰۷۰-۲۰۴۱ و ۲۰۱۰-۲۰۷۱ نسبت به دوره دیده بانی تحت سه سناریوی انتشار RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5

ایستگاه	دیدبانی	۲۰۱۱-۲۰۴۰			۲۰۴۱-۲۰۷۰			۲۰۷۱-۲۱۰۰		
		RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
اردبیل	درصد	۷،۵۹	۴،۶۹	۵،۴۱	۵،۸۷	۶،۶۲	۷،۷	۵،۸۹	۶،۹۶	۱۰،۷۶
	ΔETc	۳۶	۲۲،۲۳	۲۵،۶۵	۲۷،۸۶	۳۱،۴۳	۳۶،۵۲	۲۷،۹۵	۳۳	۵۰،۹۹
تبریز	درصد	۶،۹۶	۶،۰۷	۷،۴۲	۸،۴۶	۸،۴	۴،۱۷	۸،۴۶	۱۰،۰۴	۱۶،۴۷
	ΔETc	۵۱،۳	۴۴،۸	۵۴،۷	۶۲،۴	۶۱،۹۶	۳۰،۷۲	۶۲،۴	۷۴،۰۷	۱۲۱،۴۸
سنندج	درصد	-۳۶،۲۵	-۳۶،۴۱	-۳۸،۲۷	-۳۵،۷۱	-۳۵،۸	-۳۷،۰۳	-۳۵،۹۶	-۳۵،۱۸	-۳۵،۲۴
	ΔETc	-۱۹۵،۸	-۱۹۶،۷	-۲۰۶،۷	-۱۹۲،۹	-۱۹۳،۴	-۲۰۰	-۱۹۴،۲	-۱۹۰،۱	-۱۹۰،۳
همدان	درصد	۵،۷۴	۵،۱۷	۵،۶۳	۶،۳۱	۶،۳۵	۶،۸۳	۶،۳۱	۶،۹۷	۹،۳۱
	ΔETc	۳۴،۶۹	۳۱،۲۳	۳۴،۰۲	۳۸،۳۷	۳۸،۱۳	۴۱،۲۸	۳۸،۱۷	۴۲،۱۳	۵۶،۲۶
اصفهان	درصد	-۱۷،۱	-۱۸،۲۸	-۱۷،۹۴	۱۶،۴۷	-۱۷،۲۸	-۱۷،۸۱	-۲۰،۶۳	-۱۷،۱۲	-۱۶،۱۶
	ΔETc	-۸۴،۷	-۹۰،۵	-۸۸،۸	-۸۱،۵	-۸۵،۵	-۸۸،۱	-۱۰۲،۱	-۸۴،۸	-۸۰
شهرکرد	درصد	-۰،۲۹	-۰،۵۲	-۰،۲۶	۰،۰۳	۰،۲۴	۰،۹۲	۰	۰،۵۹	۲،۶۶
	ΔETc	-۱،۶	-۲،۸	-۱،۴	۰،۱	۱،۳	۵	۰	۳،۲	۱۴،۴
شیراز	درصد	۱،۳۹	۱،۵	۱،۶۲	۱،۶۷	۱،۹۷	۲،۰۶	۱،۳۹	۲،۲۲	۳،۰۸
	ΔETc	۸،۹۹	۹،۷۴	۱۰،۵	۱۰،۷۹	۱۲،۷	۱۳،۳۲	۹	۱۴،۳۶	۱۹،۷۹
جیرفت	درصد	۶،۶۶	۶،۶۴	۷،۳	۷،۳۳	۷،۸۳	۸،۴۹	۷،۴۶	۸،۲۹	۶،۶
	ΔETc	۱۶،۶	۱۶،۵	۱۸،۲	۱۸،۳	۱۹،۵	۲۱،۱	۱۸،۶	۲۰،۷	۱۶،۴
کهنوج	درصد	۱۴،۵۶	۱۳،۵۵	۱۵،۰۵	۱۵،۲۷	۱۶،۳	۱۷،۹۵	۱۵،۱۵	۱۷،۵۶	۱۳،۳۱
	ΔETc	۵۰،۹	۴۷،۴	۵۲،۶	۵۳،۴	۵۷	۶۲،۸	۵۳	۶۱،۴	۴۶،۶
منوجان	درصد	۱۳،۷۸	۱۳،۱۹	۱۳،۸	۱۴،۵	۱۵،۳۴	۱۶،۱۸	۱۴،۲۶	۱۶،۱۸	۶
	ΔETc	۵۳،۷	۵۱،۴	۵۳،۸	۵۶،۵	۵۹،۷	۶۳	۵۵،۵	۶۳	۲۳،۴

تغییرات بارش مؤثر (P_{EFF} rain) در دوره دیده بانی و آینده

نتایج شبیه‌سازی بارش مؤثر (جدول ۳ و شکل ۳) نشان دهنده‌ی کاهش بارش مؤثر در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه (به استثناء ایستگاه سنندج) است. روند بارش مؤثر در ایستگاه سنندج بر خلاف سایر مناطق مورد مطالعه نسبت به دوره دیده‌بانی افزایشی است. با توجه به نتایج بدست آمده، بیشترین میزان کاهش بارش مؤثر در دوره سوم (۲۰۷۱-۲۱۰۰) مشاهده شد، بطوریکه درصد کاهش بارش مؤثر در محدوده ۲/۴ (همدان) تا ۵۴/۳۸ (شهرکرد) درصد در تمام ایستگاه‌ها (بدون در نظر گرفتن ایستگاه سنندج) و سناریوهای مورد بررسی محاسبه شد (جدول ۳). بطور کلی بیشترین میزان کاهش بارش مؤثر در مناطق

گرمسیری (کشت پاییزه) مورد مطالعه از جمله جیرفت، کهنوج و منوجان مشاهده شد. این در حالی است که مناطق سردسیر کشور مانند همدان، اردبیل و تبریز (به استثناء سنندج) کاهش کمتری در بارش موثر این مناطق مشاهده شد. لازم به ذکر است که ایستگاه سنندج بر خلاف سایر مناطق روند بارش موثر در این ایستگاه افزایشی بود (جدول ۳).

جدول ۳. میزان تغییرات بارش موثر ($P_{\text{Eff rain}}$) (میلی متر در روز) در ایستگاه های منتخب در سه دوره ۲۰۴۰-۲۰۱۱، ۲۰۷۰-۲۰۴۱ و ۲۰۱۰-۲۰۷۱ نسبت به دوره دیده بانی تحت سه سناریوی انتشار RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5

۲۰۷۱-۲۰۱۰			۲۰۴۱-۲۰۷۰			۲۰۱۱-۲۰۴۰			دیدبانی	ایستگاه	
RCP8.5	RCP4.5	RCP 2.6	RCP8.5	RCP4.5	RCP 2.6	RCP8.5	RCP4.5	RCP 2.6			
-۱۶٫۳	-۱۷٫۴۱	-۱۵٫۴۵	-۱۴٫۱	-۱۴٫۵۴	-۱۲٫۱۳	-۱۴٫۲۷	-۱۱٫۹۵	-۱۹٫۹	درصد	۷۸٫۸۲	اردبیل
-۱۲٫۶۹	-۱۳٫۵۴	-۱۲	-۱۰٫۹۷	-۱۱٫۳۱	-۹٫۴۴	-۱۱٫۱	-۹٫۳	-۱۱٫۶	ΔP_{Eff}		
-۴٫۳۳	-۲۱٫۷۸	-۲۴٫۲۳	-۲۶٫۷۶	-۲۱٫۵۹	-۲۴٫۲۹	-۲۲٫۲۵	-۲۵٫۰۴	-۲۸٫۹۲	درصد	۴۶٫۹۶	تبریز
-۲٫۰۳	-۱۰٫۲۳	-۱۱٫۳۸	-۱۲٫۵۷	-۱۰٫۱۴	-۱۱٫۴۱	-۱۰٫۴۵	-۱۱٫۷۶	-۱۳٫۵۸	ΔP_{Eff}		
۴۰٫۰۳	۳۵٫۸۷	۴۰٫۰۱	۳۶٫۵۹	۴۰٫۲۷	۳۷٫۵	۴۰٫۸	۳۹٫۳۳	۳۹٫۷۹	درصد	۷۲٫۱۶	سنندج
۲۸٫۸۸	۲۵٫۸	۲۸٫۸۷	۲۶٫۴	۲۹٫۰۶	۲۷٫۰۸	۲۹٫۴۴	۲۸٫۳۸	۲۸٫۷۱	ΔP_{Eff}		
-۲۸٫۱	-۱۵٫۵۸	-۴٫۰۳	-۱۵٫۸۶	-۱۸٫۱۳	-۷٫۳۶	-۲٫۴	-۴٫۱۵	-۴٫۸	درصد	۲۲٫۰۸	همدان
-۶٫۲	-۳٫۴۴	-۰٫۸۹	-۳٫۵	-۴	-۱٫۶۳	-۰٫۵۳	-۰٫۹۲	-۱٫۰۶	ΔP_{Eff}		
-۲۲٫۶۷	-۲۱٫۲۸	-۱۰٫۳۸	-۲۳٫۳۶	-۲۱٫۲	-۱۷٫۴۸	-۱۵٫۴۸	-۱۷٫۵۹	-۱۷٫۹۳	درصد	۲۶٫۸۲	اصفهان
-۶٫۱	-۵٫۷	-۲٫۸	۶٫۳	-۵٫۷	-۴٫۷	-۴٫۲	-۴٫۷	-۴٫۸	ΔP_{Eff}		
-۵۴٫۲۸	-۳۶٫۶۴	-۲۴٫۷	-۴۰٫۷۹	-۳۴٫۰۱	-۳۱٫۰۹	-۱۹٫۹۳	-۲۶٫۳۶	-۲۷٫۷۳	درصد	۶٫۸۴	شهرکرد
-۳٫۷	-۲٫۵	-۱٫۷	-۲٫۸	-۲٫۳	-۱٫۲	-۱٫۴	-۱٫۸	-۱٫۹	ΔP_{Eff}		
-۲۲٫۷۳	-۱۹٫۳۷	-۳٫۳۲	-۸٫۵۵	-۱۵٫۲۵	-۵٫۱	-۳٫۵۴	-۲٫۶۸	-۱٫۴	درصد	۳۷٫۱۴	شیراز
-۶٫۱۷	-۵٫۲۶	-۰٫۹	-۲٫۳۲	-۴٫۱۷	-۱٫۳۹	-۰٫۹۶	-۰٫۷۳	-۰٫۳۸	ΔP_{Eff}		
-۴۶٫۷۴	-۴۱٫۸۵	-۳۲٫۵	-۴۳٫۱۵	-۳۸٫۵۹	-۳۸٫۳۳	-۳۷٫۶۸	-۳۳٫۹۶	-۳۵٫۸۲	درصد	۹۴٫۵	جیرفت
-۴۴٫۲	-۳۹٫۵	-۳۰٫۷	-۴۰٫۸	-۳۶٫۵	-۳۶٫۲	-۳۵٫۶	-۳۲٫۱	-۳۳٫۸	ΔP_{Eff}		
-۴۴٫۱۷	-۴۰٫۲۸	-۲۵٫۸۵	-۴۱٫۴۷	-۳۱٫۵۶	-۲۹٫۶۵	-۲۵٫۱۶	-۲۳٫۷۹	-۲۳٫۴۶	درصد	۷۹٫۵۶	کهنوج
-۳۵٫۱	-۳۲	-۲۰٫۶	-۳۳	-۲۵٫۱	-۲۳٫۶	-۲۰	-۱۸٫۹	-۱۸٫۷	ΔP_{Eff}		
-۳۲٫۱	-۳۲٫۲	-۳۲٫۸۴	-۳۰٫۷۶	-۳۲٫۳۸	-۳۲٫۰۲	-۳۲٫۶۱	-۳۱٫۴۷	-۳۳٫۳۶	درصد	۱۱۴٫۵۴	منوجان
-۳۶٫۸	-۳۸	-۳۷٫۶	-۳۵٫۲	-۳۷٫۱	-۳۶٫۷	-۳۷٫۴	-۳۶	-۳۸٫۲	ΔP_{Eff}		

تغییرات نیاز خاص آبیاری مراحل رشد فیزیولوژیکی گیاه سیب زمینی در دوره آینده بر اساس سناریوهای RCP

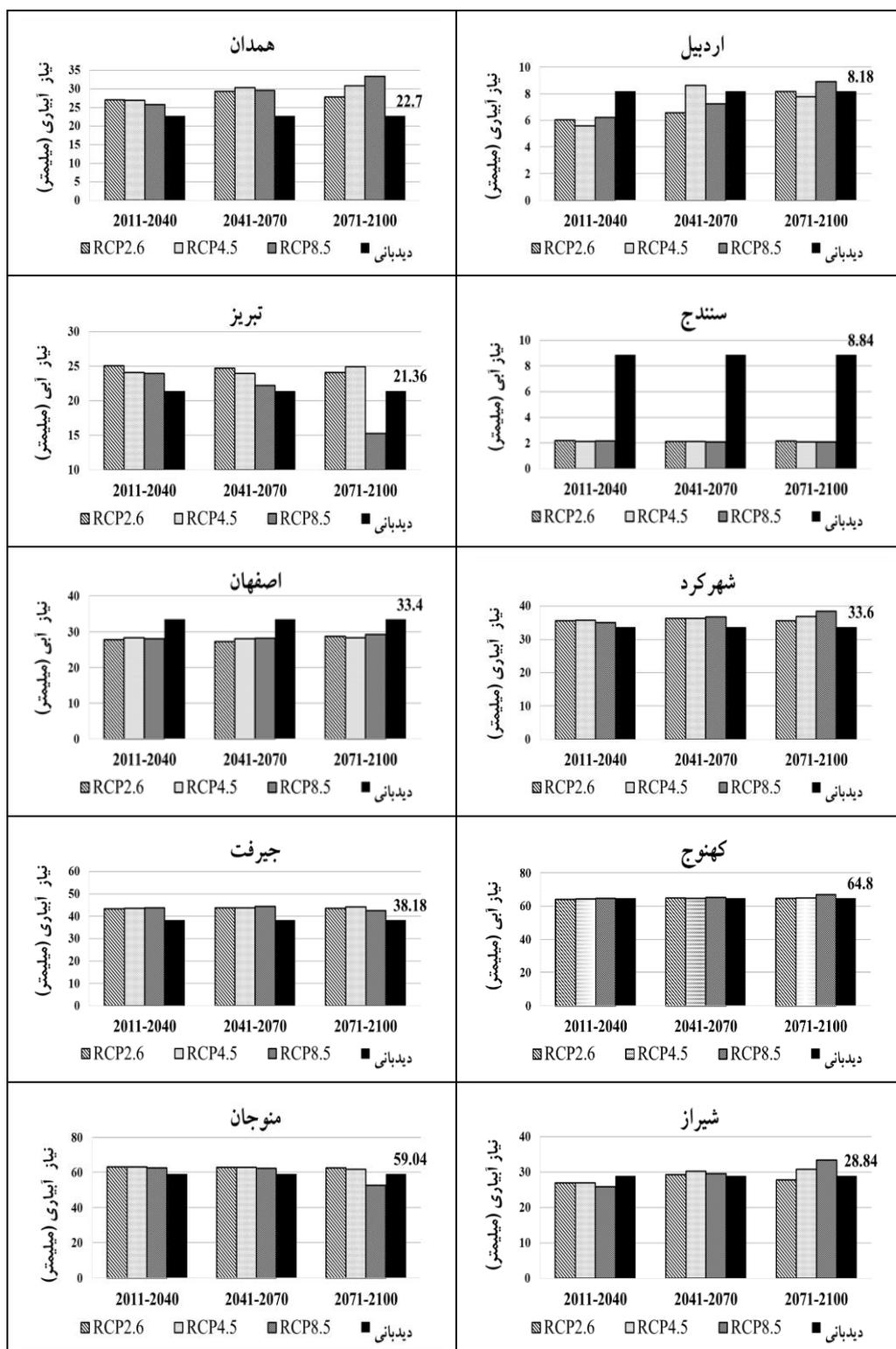
پوشش سطح زمین، ارتفاع گیاه و سطح برگ با رشد گیاه تغییر می کند. ضریب گیاهی یک گیاه مشخص در طول دوره رشد به دلیل تفاوت تبخیر-تعرق در مراحل مختلف، تغییر خواهد کرد. دوره رشد گیاه را می توان به چهار مرحله متمایز اولیه^۱، توسعه گیاه^۲، میانی^۳ و پایانی^۴ تقسیم کرد.

تغییرات نیاز خالص آبیاری مرحله اولیه رشد گیاه سیب زمینی

مرحله اولیه رشد گیاهان، از تاریخ کشت شروع و نزدیک به زمان برقراری پوشش گیاهی ۱۰ درصد، پایان می یابد. طول مرحله اولیه، به طور عمده، به نوع، گونه گیاه، زمان کشت و اقلیم بستگی دارد. در طول مرحله اولیه رشد، سطح برگ محدود بوده و تبخیر و تعرق، به طور عمده، به صورت تبخیر از خاک سطحی است. بنابراین، ضریب گیاهی در مرحله اولیه رشد ($K_c \text{ ini}$) هنگامی که خاک با آبیاری و بارندگی خیس شده باشد، بالا و هنگامی که خاک سطحی خشک است، پایین می باشد. در شکل

1. Initial stage
2. Crop development stage
3. Mid-season stage
4. Late season stage

(۴) شبیه‌سازی نیاز خالص آبیاری گیاه سیب‌زمینی در سه دوره اقلیمی ۲۰۴۰-۲۰۱۱، ۲۰۷۰-۲۰۴۱ و ۲۱۰۰-۲۰۷۱ تحت سناریوهای RCP مشاهده می‌شود.



شکل ۲. شبیه‌سازی نیاز خالص آبیاری گیاه سیب‌زمینی در مرحله‌ی اولیه رشد بر اساس مدل CanESM2 برای سه دوره اقلیمی ۲۰۴۰-۲۰۱۱، ۲۰۷۰-۲۰۴۱ و ۲۱۰۰-۲۰۷۱ تحت سناریوهای RCP با استفاده از مدل CROPWAT.

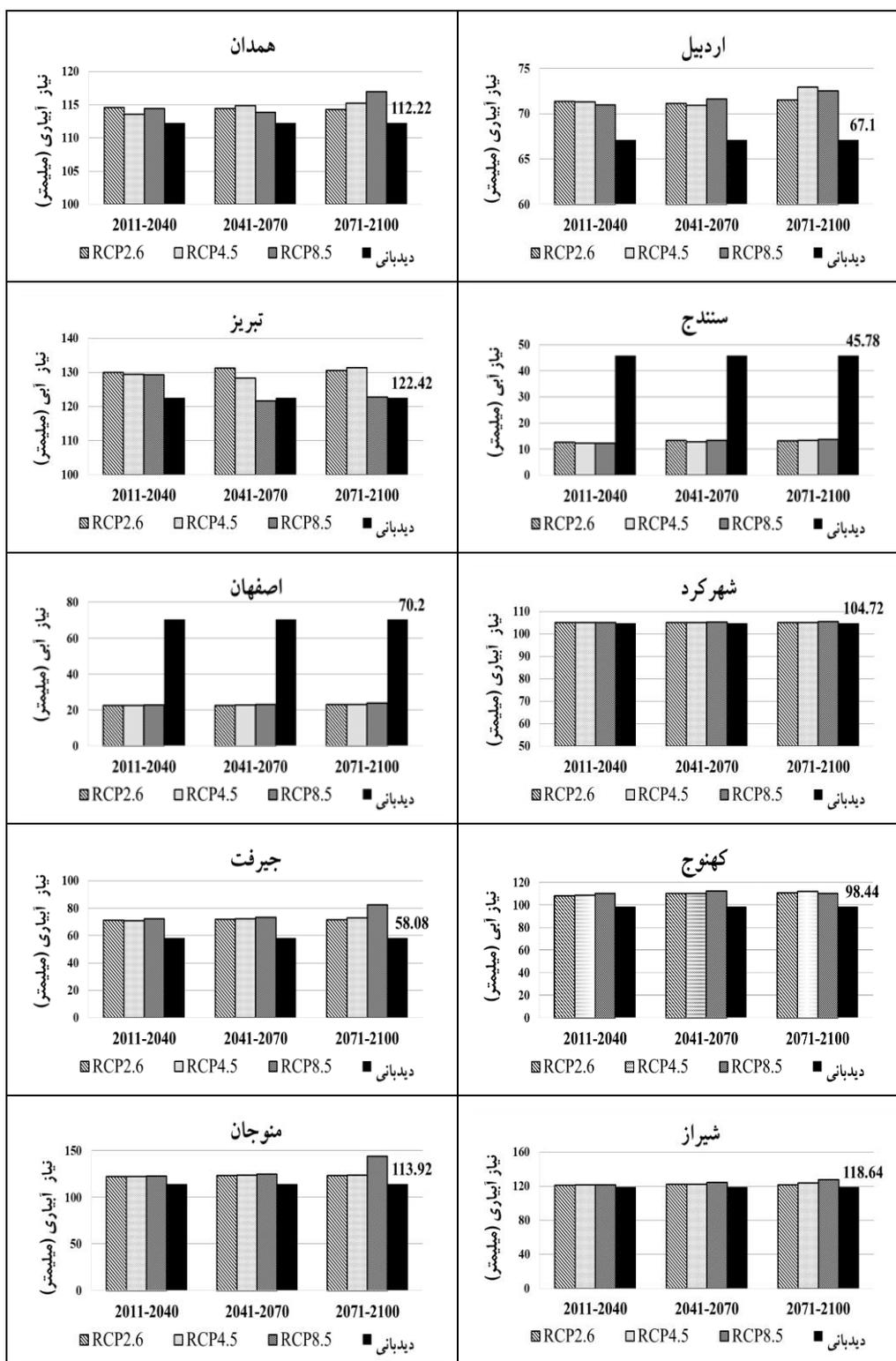
بر اساس نتایج شبیه‌سازی در تمام مناطق مورد مطالعه در دوره اقلیمی آینده، نیاز آبی مرحله اولیه بطور میانگین بین ۲/۰۶ میلی متر تا ۶۵/۱۴ میلی متر مشاهده شد. با توجه به شکل (۲) میزان نیاز خالص آبیاری در دو ایستگاه سنندج و اصفهان نسبت به دوره دیدبانی بطور متوسط به ترتیب ۷۶ و ۱۵/۴۴ درصد در مرحله اولیه رشد سیب‌زمینی کاهش خواهد یافت. در ایستگاه اردبیل تنها در دوره سوم نیاز خالص آبیاری در این مرحله افزایش یافته است. در دو ایستگاه تبریز و منوجان در دوره سوم و سناریوی RCP8.5، نیاز خالص آبیاری نسبت به دوره دیدبانی به ترتیب به میزان ۲۸/۶ و ۱۰/۵۵ درصد کاهش یافته است. بیشترین افزایش نیاز خالص آبی (بدون احتساب سنندج و اصفهان) در ایستگاه‌های همدان، اردبیل، شهرکرد و کهنوج مربوط به سناریوی RCP8.5 در دوره‌ی ۲۰۷۱-۲۱۰۰ بویژه در ایستگاه کهنوج با ۶۷/۲۱ میلی متر مشاهده شد.

تغییرات نیاز خالص آبیاری مرحله توسعه گیاه سیب‌زمینی

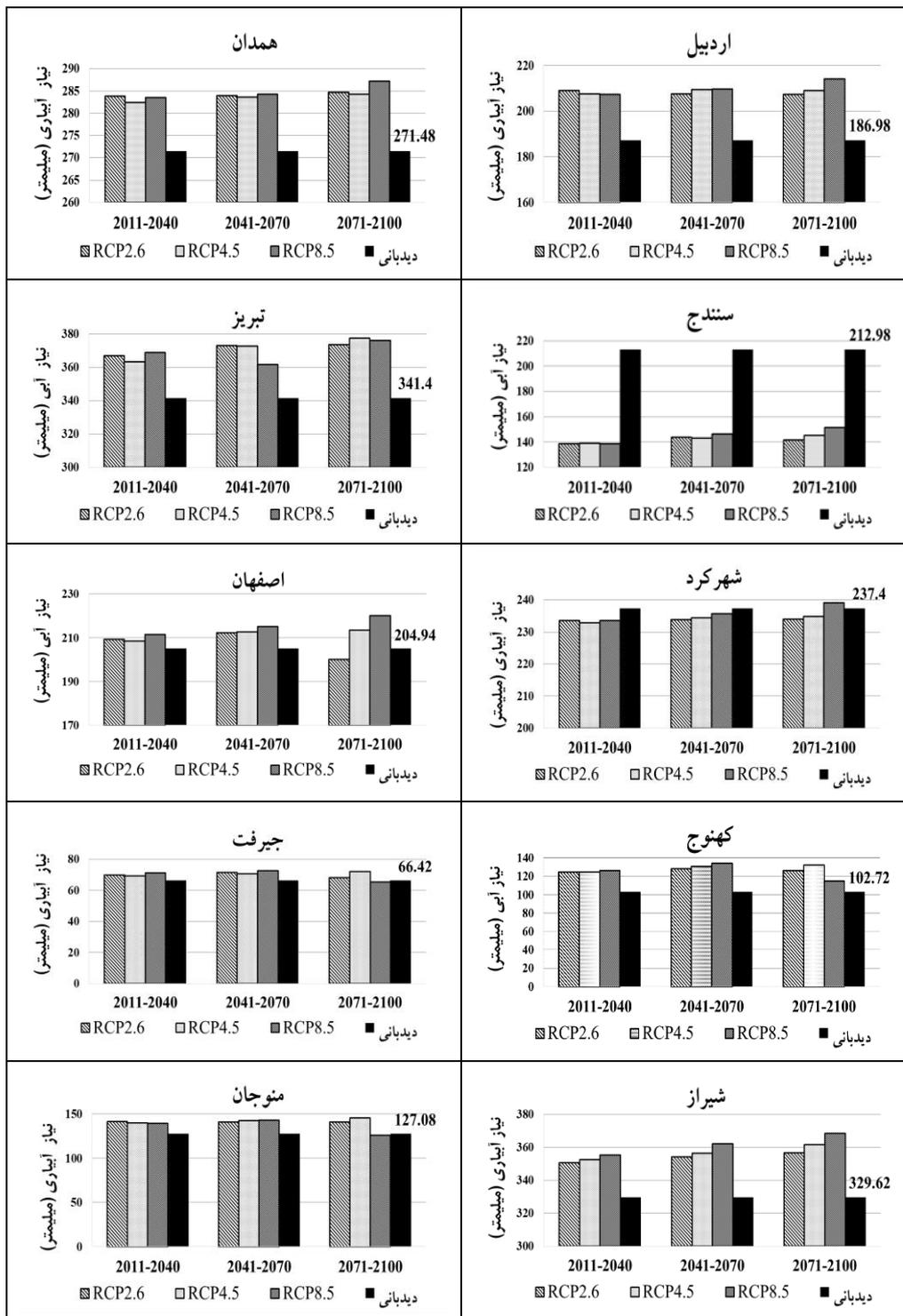
مرحله توسعه گیاه، از زمان پوشش گیاهی ۱۰ درصد شروع می‌شود و تا زمان پوشش مؤثر کامل ادامه می‌یابد. زمان پوشش مؤثر کامل برای بسیاری از گیاهان مصادف با شروع گل‌دهی است. تبخیر از سطح خاک، با افزایش رشد و سایه‌اندازی گیاه کاهش می‌یابد و به تدریج تعرق جزء اصلی فرآیند تلفات آب می‌شود. در مرحله توسعه گیاه، ضریب گیاهی متناسب با پوشش سطح زمین و رشد گیاه متغیر است. شبیه‌سازی مرحله توسعه گیاه سیب‌زمینی با استفاده از داده‌های شبیه‌سازی شده مدل گردش کلی CanESM2 تحت سناریوهای RCP انجام شد (شکل ۳). نتایج حاصله بیانگر افزایش نیاز خالص آبیاری در مناطق مورد مطالعه (به استثناء سنندج و اصفهان) تحت سناریوی RCP است. لازم به ذکر است که در هر دو ایستگاه اصفهان و سنندج نیاز خالص آبیاری از دوره اول به دوره سوم افزایش می‌یابد. نیاز خالص آبیاری (به استثناء سنندج و اصفهان) بطور متوسط بین ۷۱/۶ میلی متر تا ۱۲۸/۲ میلی متر افزایش یافته است. بیشترین افزایش مربوط به سناریوی RCP8.5 و RCP4.5 در دوره‌ی ۲۰۷۱-۲۱۰۰ در مناطقی نظیر منوجان، تبریز و همدان به ترتیب به میزان ۱۴۴، ۱۳۱/۲۶ و ۱۱۶/۹ میلی متر مشاهده شد. کمترین افزایش در سناریوی RCP4.5، در دوره ۲۰۴۰-۲۰۱۱ در ایستگاه جیرفت با ۷۰/۹۱ میلی متر و در دوره‌ی ۲۰۷۰-۲۰۴۱ در ایستگاه اردبیل به میزان ۷۰/۹۴ میلی متر مشاهده شد (شکل ۳).

تغییرات نیاز خالص آبیاری مرحله میانی رشد گیاه سیب‌زمینی

مرحله میانی رشد، از زمان برقراری پوشش کامل مؤثر شروع شده و تا رسیدن محصول ادامه می‌یابد. اغلب، با پلاسیدگی گیاه یعنی زرد یا پلاسیدن و ریزش برگ یا قهوه‌ای شدن میوه تا حدی که تبخیر و تعرق گیاه نسبت به تبخیر و تعرق مرجع کاهش - یابد، مرحله رسیدن محصول ظاهر می‌شود. مرحله میانی طولانی‌ترین مرحله رشد در گیاهان چند ساله و بسیاری از گیاهان سالانه می‌باشد در مرحله میانی رشد، ضریب گیاهی ($K_c \text{ mid}$) به بیشترین مقدار می‌رسد. مرحله‌ی میانی رشد سیب‌زمینی به علت طولانی‌تر بودن آن و همچنین همراه شدن این مرحله با روند افزایش دمای هوا، بیشترین افزایش نیاز خالص آبیاری در این مرحله اتفاق افتاد. بطور متوسط میزان افزایش نیاز خالص آبیاری برای مناطق تحت مطالعه (به استثناء ایستگاه سنندج و شهرکرد) بین ۷۰/۰۳ میلی متر تا ۳۷۰/۳۲ میلی متر مشاهده شد (شکل ۴). در این مرحله از رشد گیاه سیب‌زمینی نیاز خالص آبیاری در ایستگاه سنندج بطور متوسط به میزان ۳۲/۸ درصد نسبت به دوره دیدبانی کاهش یافته است. البته این میزان کاهش از دوره اول (۲۰۴۰-۲۰۱۱) به دوره سوم (۲۰۷۱-۲۱۰۰) کاهش یافته و نیاز آبیاری در دوره سوم در سناریوی RCP8.5 به بیشترین مقدار خود می‌رسد (شکل ۴). در ایستگاه شهرکرد نیز میزان نیاز خالص آبیاری در این مرحله از رشد سیب‌زمینی نسبت به دوره دیدبانی کاهش یافته است. البته نیاز آبیاری در سناریوی RCP8.5 در دوره سوم به میزان ۰/۷ درصد نسبت به دوره دیدبانی افزایش یافته است. بیشترین افزایش در نیاز خالص آبیاری در ایستگاه تبریز در سناریوی RCP4.5 در دوره‌ی سوم به میزان ۳۷۷/۲۸ میلی متر و کمترین افزایش نیاز آبیاری در ایستگاه جیرفت در سناریوی RCP8.5 در دوره سوم به میزان ۶۵/۴۴ میلی متر مشاهده شد (شکل ۴). در سایر ایستگاه‌های مورد مطالعه حداکثر افزایش نیاز آبیاری این دوره در سناریوی RCP8.5 و در دوره سوم مشاهده شد. در ایستگاه جیرفت، منوجان و کهنوج در سناریوی RCP8.5 در دوره سوم نیاز آبیاری نسبت به دوره دوم بهبود یافت.



شکل ۳. شبیه‌سازی نیاز خالص آبیاری گیاه سیب‌زمینی در مرحله‌ی توسعه رشد بر اساس مدل CanESM2 برای سه دوره اقلیمی ۲۰۴۰-۲۰۷۰، ۲۰۷۰-۲۰۹۰ و ۲۰۹۰-۲۱۰۰، تحت سناریوهای RCP با استفاده از مدل CROPWAT.



شکل ۴. شبیه‌سازی نیاز خالص آبیاری گیاه سیب‌زمینی در مرحله‌ی میانی رشد بر اساس مدل CanESM2 برای سه دوره اقلیمی ۲۰۴۰-۲۰۱۱، ۲۰۷۰-۲۰۴۱ و ۲۱۰۰-۲۰۷۱، تحت سناریوهای RCP با استفاده از مدل CROPWAT.

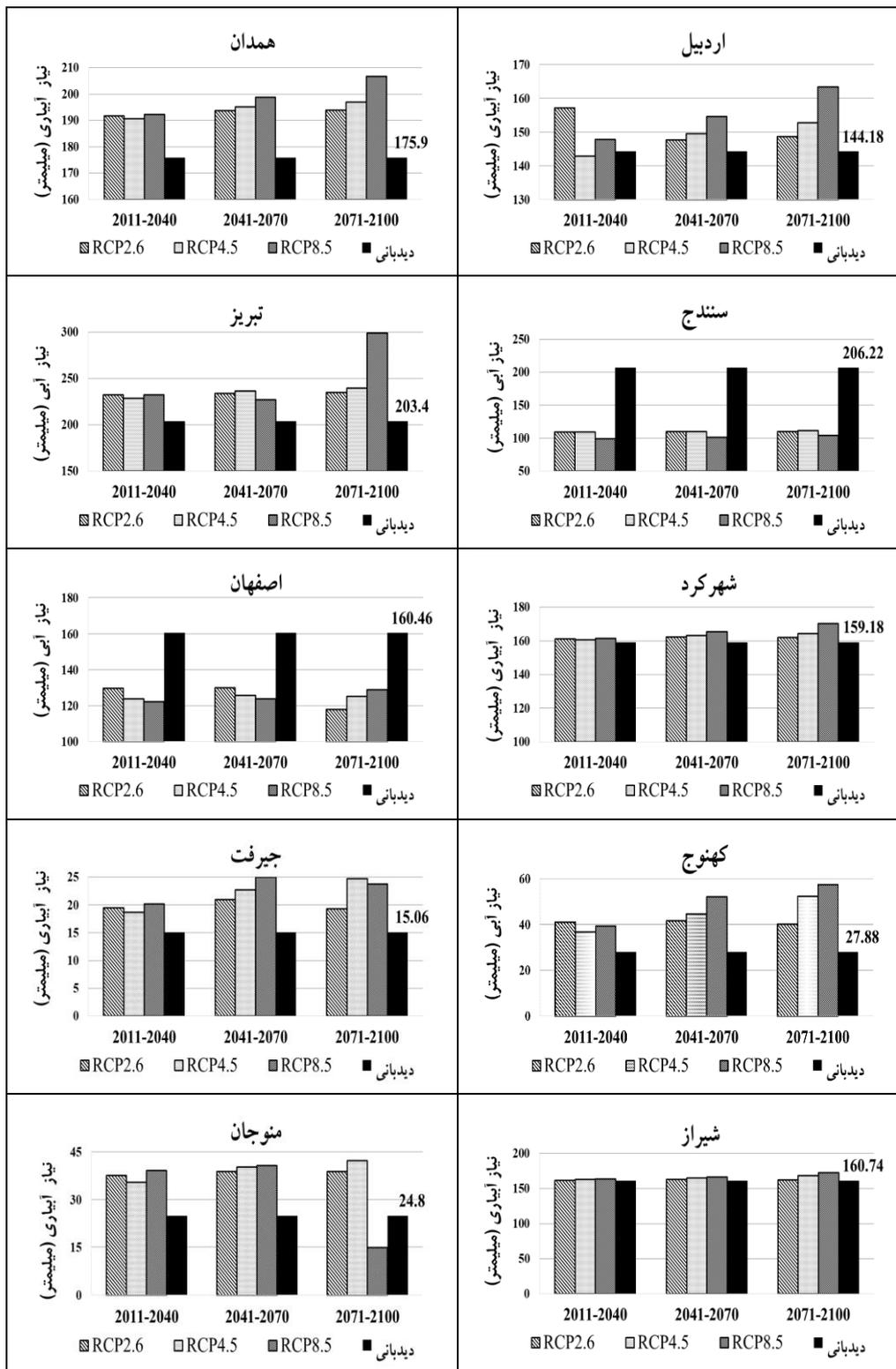
تغییرات نیاز خالص آبیاری مرحله پایانی رشد گیاه سیب‌زمینی

مرحله پایانی از شروع رسیدن محصول (انتهای مرحله میانی) تا برداشت آن یا پلاسیدگی کامل گیاه ادامه دارد. محاسبه ضریب گیاهی و تبخیر و تعرق گیاه در پایان دوره رشد یعنی تا زمان برداشت، خشک شدن طبیعی و پلاسیدگی کامل گیاه یا ریزش برگ-

ها خاتمه می‌یابد. پلاستیدگی گیاه، به طور معمول، به دلیل غیرمؤثر شدن هدایت روزنه‌ای سطوح برگ، موجب کاهش ضریب گیاهی می‌شود. بطور کلی تغییر ضریب گیاهی انواع محصولات تابع اقلیم و توسعه گیاه است. مرحله‌ی پایانی رشد با توجه به زمان برداشت محصول و نوع گیاه می‌تواند کوتاه مدت و یا بلند مدت باشد. بطور متوسط میزان افزایش نیاز خالص آبیاری برای مناطق تحت مطالعه (به استثناء ایستگاه سنندج و اصفهان) بین ۲۱/۶۲ میلی متر تا ۲۴۰/۱۸ میلی متر مشاهده شد (شکل ۵). در این مرحله از رشد گیاه سیب‌زمینی نیاز خالص آبیاری در ایستگاه سنندج و اصفهان بطور متوسط به ترتیب به میزان ۴۱/۱ و ۲۱/۸۷ درصد نسبت به دوره دیدبانی کاهش یافته است. قابل ذکر است که از دوره اول (۲۰۴۰-۲۰۱۱) به دوره سوم (۲۰۱۰-۲۰۷۱) روند نیاز آبیاری افزایشی است (شکل ۵). در ایستگاه منوجان نیز میزان نیاز خالص آبیاری در سناریوی RCP8.5 در دوره سوم به میزان ۳۹/۴ درصد نسبت به دوره دیدبانی کاهش خواهد یافت. بیشترین افزایش در نیاز خالص آبیاری در ایستگاه تبریز در سناریوی RCP8.5 در دوره‌ی سوم به میزان ۲۹۸/۵۳ میلی متر و کمترین افزایش نیاز آبیاری در ایستگاه منوجان در سناریوی RCP8.5 در دوره سوم به میزان ۱۵/۰۳ میلی متر مشاهده شد (شکل ۵). این درحالی است که بیشترین افزایش نیاز خالص آبیاری در ایستگاه منوجان در سناریوی RCP4.5 در دوره‌ی دوم (۲۰۷۰-۲۰۴۱) به میزان ۴۲/۲۶ میلی متر می‌باشد. در سایر ایستگاه‌های مورد مطالعه حداکثر افزایش نیاز آبیاری در سناریوی RCP8.5 و در دوره سوم مشاهده شد (شکل ۵).

شبیه‌سازی نیاز خالص آبیاری در طول فصل رشد گیاه سیب‌زمینی

نتایج شبیه‌سازی نیاز خالص آبیاری سیب‌زمینی نشان دهنده‌ی افزایش نیاز آبیاری در ایستگاه‌های اردبیل، همدان، تبریز، شهرکرد، جیرفت، کهنوج و منوجان و کاهش نیاز آبیاری در دو ایستگاه سنندج و اصفهان بود (جدول ۴ و ۵). با توجه به نتایج بدست آمده، بیشترین میزان افزایش نیاز خالص آبیاری در مناطق سردسیر در دوره سوم (۲۰۷۱-۲۰۱۰) و در مناطق گرمسیر در دوره دوم (۲۰۷۰-۲۰۴۱) مشاهده شد. به طوری که با افزایش واداشت‌های تابشی در سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 درصد افزایش نیاز خالص آبیاری بطور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافت. درصد افزایش نیاز خالص آبیاری بین ۴/۳۹ تا ۷۳/۲۱ میلی متر در تمام ایستگاه‌ها (به استثناء ایستگاه سنندج و اصفهان) و سناریوها مورد بررسی محاسبه شد (جدول ۴). در ایستگاه سنندج و اصفهان نیاز خالص آبیاری بطور متوسط به ترتیب به میزان ۴۴/۰۱ و ۱۷/۵ درصد کاهش، محاسبه شد. البته قابل ذکر است که نیاز آبیاری در این دو ایستگاه از دوره اول به دوره سوم افزایش می‌یابد (جدول ۴ و ۵). واکنش نیاز خالص آبیاری سیب‌زمینی نسبت به تغییر اقلیم بسته به منطقه و سناریوی تغییر اقلیم متفاوت است. بطور کلی می‌توان نتیجه گرفت، که نتایج حاصل از شبیه‌سازی نیاز خالص آبیاری گیاه سیب‌زمینی در مناطق مورد مطالعه بیانگر بیشترین افزایش در مناطق سردسیر کشور نظیر تبریز و اردبیل بود. افزایش کمتر نیاز آبیاری در مناطق گرمسیر کشور مانند جیرفت، کهنوج و منوجان مشاهده شد. در ایستگاه سنندج و اصفهان نیاز آبیاری نسبت به دوره دیدبانی کاهش یافته است. بنابراین نتایج نشان از تغییرپذیری بیشتر نیاز آبیاری گیاه سیب‌زمینی از پدیده‌ی تغییرات اقلیمی در مناطق سردسیر نسبت به مناطق گرمسیر کشور است. نتایج آزمون من‌کنندال نیز این مطلب را به خوبی نشان می‌دهد (جدول ۶).



شکل ۵. شبیه‌سازی نیاز خالص آبیاری گیاه سیب‌زمینی در مرحله‌ی پایانی رشد بر اساس مدل CanESM2 برای سه دوره اقلیمی ۲۰۴۰-۲۰۱۱، ۲۰۷۰-۲۰۴۱ و ۲۱۰۰-۲۰۷۱، تحت سناریوهای RCP با استفاده از مدل CROPWAT.

جدول ۴. شبیه‌سازی نیاز خالص آبیاری سیب‌زمینی (میلی‌متر) بر اساس مدل CanESM2 تحت سناریوهای RCP در مناطق مورد مطالعه در دوره‌های ۲۰۱۱-۲۰۴۰، ۲۰۷۰-۲۰۴۱، و ۲۱۰۰-۲۰۷۱.

۲۰۷۱-۲۱۰۰			۲۰۴۱-۲۰۷۰			۲۰۱۱-۲۰۴۰			دوره دیدبانی	ایستگاه
RCP8.5	RCP4.5	RCP2.6	RCP8.5	RCP4.5	RCP2.6	RCP8.5	RCP4.5	RCP2.6		
۴۵۹,۲۱	۴۴۲,۶۴	۴۳۵,۸	۴۴۳,۳۲	۴۳۸,۶۸	۴۳۳,۱۷	۴۳۲,۵۵	۴۲۷,۱۳	۴۴۳,۸	۳۹۶,۳	اردبیل
۶۴۴,۱۵	۶۲۷,۱۴	۶۲۰,۴۹	۶۲۶,۳۵	۶۲۳,۹۲	۶۲۱,۲۴	۶۱۵,۸۴	۶۱۳,۵۴	۶۱۷,۱	۵۸۲,۲۲	همدان
۲۷۱,۲۸	۲۷۲,۳۲	۲۶۶,۵۷	۲۶۳,۱	۲۶۷,۵۷	۲۶۹,۵	۲۵۱,۹۲	۲۶۲,۵۴	۲۶۲,۹	۴۷۳,۸	سنندج
۸۱۲,۳۱	۷۷۳,۰۱	۷۶۲,۵۷	۷۳۲,۱۴	۷۶۰,۸۶	۷۶۲,۶	۷۵۳,۹۲	۷۴۵,۳	۷۵۳,۷۸	۶۸۸,۶۲	تبریز
۳۹۵,۴۴	۳۹۰,۲۷	۳۶۹,۹۹	۳۸۷,۵	۳۸۹,۵۱	۳۹۲,۴۹	۳۸۴,۶۶	۳۸۳,۵	۳۸۹,۳۹	۴۶۹,۰۴	اصفهان
۵۵۲,۲۶	۵۴۰,۷۹	۵۳۶,۶۱	۵۴۲,۸۲	۵۳۸,۶۵	۵۳۷,۲۵	۵۳۴,۸۵	۵۳۳,۹۵	۵۳۵,۲۶	۵۳۴,۹	شهرکرد
۶۶۴,۸۵	۶۵۶,۹۴	۶۴۷,۵۳	۶۵۴,۷۲	۶۵۲,۳۲	۶۵۰,۹۴	۶۴۵,۹	۶۴۴,۸۳	۶۴۶,۹۶	۶۲۲,۹۸	شیراز
۲۱۴,۰۵	۲۱۴,۵۷	۲۰۴,۶۳	۲۱۵,۲	۲۰۹,۴۲	۲۰۸,۰۲	۲۰۷,۱	۲۰۲,۰۸	۲۰۳,۸۸	۱۷۷,۷	جیرفت
۳۵۰,۳	۳۶۲,۴	۳۴۲,۲۶	۳۶۴,۳۳	۳۵۰,۶۸	۳۴۵,۷۲	۳۴۱,۲۸	۳۳۵	۳۳۸,۳۴	۲۹۳,۸۲	کهنوج
۳۳۸,۰۶	۳۷۳,۹۶	۳۶۵,۹۲	۳۷۱,۴۴	۳۶۹,۷۹	۳۶۶,۳۲	۳۶۴,۱۵	۳۶۰,۸۷	۳۶۴,۹۴	۳۲۴,۹	منوجان

جدول ۵. درصد تغییرات نیاز خالص آبیاری در طول فصل رشد سیب‌زمینی بر اساس مدل CanESM2 تحت سناریوهای RCP در مناطق مورد مطالعه در دوره‌های ۲۰۱۱-۲۰۴۰، ۲۰۷۰-۲۰۴۱، و ۲۱۰۰-۲۰۷۱.

۲۰۷۱-۲۱۰۰			۲۰۴۱-۲۰۷۰			۲۰۱۱-۲۰۴۰			ایستگاه
RCP8.5	RCP4.5	RCP2.6	RCP8.5	RCP4.5	RCP2.6	RCP8.5	RCP4.5	RCP2.6	
۱۵,۹	۱۱,۷	۱۰	۱۱,۸۶	۱۰,۶۹	۹,۳	۹,۱۵	۷,۹	۱۲	اردبیل
۱۰,۶۴	۷,۷۱	۶,۵۷	۷,۵۸	۷,۱۶	۶,۷	۵,۷۷	۵,۳۸	۶	همدان
-۴۲,۷۴	-۴۲,۵۲	-۴۳,۷۳	-۴۴,۴۷	-۴۳,۵۲	-۴۳,۱	-۴۶,۸۳	-۴۴,۶	-۴۴,۵	سنندج
۱۷,۹۶	۱۲,۲۵	۱۰,۷۴	۱۷,۹۶	۱۲,۲۵	۱۰,۷۴	۹,۴۸	۸,۲	۹,۴۶	تبریز
-۱۵,۷	-۱۶,۷۹	-۲۱,۱۲	-۱۷,۳۸	-۱۶,۹۵	-۱۶,۳۲	-۱۷,۹۸	-۱۸,۲	-۱۷	اصفهان
۳,۴۴	۱,۱	۰,۳۲	۱,۴۸	۰,۷	۰,۴۴	۰	-۰,۱۷	۰,۰۷	شهرکرد
۶,۸۸	۵,۴۵	۳,۹	۵,۱	۴,۸۱	۴,۴۹	۳,۶۸	۳,۵۱	۳,۸۵	شیراز
۲۰,۴۸	۲۰,۲	۱۴,۰۶	۲۱,۱۳	۱۷,۸۷	۱۷,۰۸	۱۶,۵۸	۱۳,۷۴	۱۴,۷۵	جیرفت
۱۹,۲۲	۲۳,۲۲	۱۶,۴۸	۲۳,۹۹	۱۹,۳۵	۱۷,۶۶	۱۶,۱۵	۱۴	۱۵,۱۵	کهنوج
۴,۰۵	۱۵,۱	۱۲,۶	۱۴,۳	۱۳,۸	۱۲,۸	۱۲,۰۸	۱۱,۰۷	۱۲,۳	منوجان

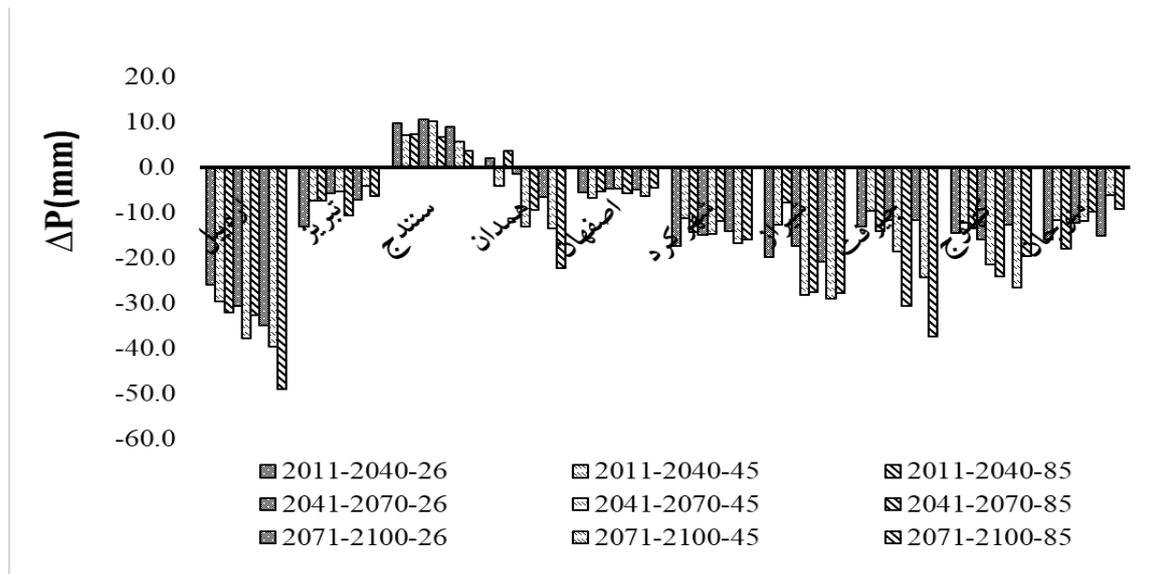
جدول ۶. نتایج حاصل از آزمون من کندال نیاز خالص آبیاری سیب‌زمینی در سطح معنی دار ۵ درصد در ایستگاه‌های منتخب

۲۰۱۱-۲۱۰۰			ایستگاه
RCP8.5	RCP4.5	RCP2.6	
Z	Z	Z	
۵**	۵**	-۲,۱*	اردبیل
۶,۶**	۷,۱**	۳,۳**	تبریز
۶,۳**	۳,۹**	۱,۸	سنندج
۱۰,۱**	۵,۸**	۲,۴*	همدان
۷,۱**	۴,۶**	-۴,۳**	اصفهان
۱۰,۶**	۶,۹۷**	۱,۳	شهرکرد
۴,۶**	۴,۳**	-۰,۰۰۳	جیرفت

۳,۷**	۷,۱**	۱,۳	کهنوج
-۳,۸**	۴,۰۶**	۰,۸	منوجان
۵,۷۵**	۴,۵۳**	۱,۵۴	شیراز

بحث و نتیجه گیری

در مجموع، در سه ایستگاه سنندج، اصفهان و منوجان، میزان تبخیر و تعرق پتانسیل در دوره آینده کاهش خواهد یافت. این شرایط در حالی است که در بقیه مناطق مطالعاتی شاهد افزایش تبخیر و تعرق پتانسیل خواهیم بود. نیاز آب مصرفی گیاه (ET_c) در دو ایستگاه سنندج و اصفهان به ترتیب به میزان ۳۶/۲ و ۱۷/۶۴ درصد کاهش یافته است. در حالی که در سایر مناطق مورد مطالعه مقدار آب مصرفی گیاه افزایشی است. بطور متوسط بیشترین افزایش در مناطق گرمسیری کهنوج و منوجان و کمترین درصد افزایش در ایستگاه شهرکرد مشاهده شد. بطور متوسط بارش موثر در مناطق مطالعاتی (بدون در نظر گرفتن ایستگاه سنندج و اصفهان) به میزان ۲۳/۴۶ درصد کاهش خواهد یافت. بیشترین کاهش بارش موثر متعلق به ایستگاه شهرکرد بود. نیاز خالص آبیاری در مراحل مختلف رشد سیب زمینی در دو ایستگاه سنندج و اصفهان کاهشی است و در سایر مناطق مورد مطالعه نیاز خالص آبیاری روندی افزایشی را نشان می دهد. نیاز خالص آبیاری در طول دوره رشد گیاه در تمام مناطق تحت مطالعه (به جزء سنندج و اصفهان) افزایش خواهد یافت. بیشترین افزایش مربوط به مناطق گرمسیری کشور خواهد بود، بطوریکه ایستگاه کهنوج با میانگین افزایش ۱۸/۳۶ درصد بیشترین افزایش نیاز خالص آبیاری را نشان می دهد. ایستگاه جیرفت با ۱۷/۳۲ درصد و منوجان با ۱۲/۰۲ درصد در رتبه های بعدی قرار دارند. کمترین افزایش نیاز آبی مربوط به ایستگاه شهرکرد با ۰/۸۲ درصد افزایش است. بنابراین با توجه به نتایج به دست آمده می توان نتیجه گرفت که مناطق گرمسیر کشور تحت تاثیر شرایط تغییر اقلیم، بیشترین افزایش نیاز خالص آبیاری را به خود اختصاص خواهند داد. به نظر می رسد یکی از دلایل افزایش نیاز خالص آبیاری در جنوب کشور افزایش دما و کاهش بارندگی و در نتیجه کاهش بارش موثر باشد. تنها استثنا ایستگاه های سنندج و اصفهان است که با کاهش نیاز خالص آبیاری مواجه خواهند بود. برای بحث بیشتر نتیجه ریزگردانی بارش ایستگاه های مورد مطالعه با مدل SDSM در شکل (۶) آورده شده است.



شکل ۶. تغییرات بارش سالانه در سه دوره ۲۰۴۰-۲۰۱۱، ۲۰۷۰-۲۰۴۱ و ۲۰۷۱-۲۰۱۰ تحت سه سناریوی انتشار RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5

همانطور که مشاهده می شود، مقدار بارش در همه سناریوها در ایستگاه سنندج افزایش خواهد یافت. از طرف دیگر، کمترین مقدار کاهش بارش متعلق به ایستگاه اصفهان است. بنابراین بارش موثر در ایستگاه سنندج افزایش و در اصفهان کاهش اندکی

نسبت به دوره پایه خواهد داشت و لذا نیاز خالص آبیاری در این دو ایستگاه در دهه های آتی کاهش خواهد یافت. از طرفی در ایستگاه های جنوب کشور بارش به میزان ۳۰ تا ۴۰ درصد نسبت به دوره پایه کاهش خواهد یافت که همین امر باعث کاهش بارش موثر و افزایش نیاز خالص آبیاری خواهد شد. نتایج ریزگردانی دمای کمینه و بیشینه هم نشان داده است که دما در نیمه جنوبی کشور بیشتر از سایر ایستگاه ها افزایش خواهد داشت که باعث افزایش تبخیر تعرق و نیاز خالص آبیاری خواهد شد. در مجموع می توان گفت نیاز خالص آبیاری سیب زمینی در همه ایستگاه ها به جز سنندج و اصفهان در آینده افزایش خواهد یافت. نتایج این تحقیق با نتایج تحقیق ابراهیمی (۱۳۸۹)، گودرزی و عابردی کوپایی (۱۳۹۹)، جعفری، مرادی و باقری (۱۴۰۳) مطابقت دارد که حاکی از افزایش نیاز آبی در شرایط تغییر اقلیم آینده است. در مورد ایستگاه سنندج و اصفهان، نتایج این تحقیق با نتایج تحقیق رحمانی و همکاران (۱۳۹۳) مطابقت دارد که حاکی از کاهش نیاز آبی محصولات دشت بیرجند در شرایط تغییر اقلیم است که ناشی از کاهش طول دوره رشد محصول (گندم و جو) و کاشت زود هنگام آینده در پاسخ به افزایش دماست.

منابع

- آشفته، پریسا سادات (۱۳۹۱). تاثیر تغییر اقلیم بر نیاز آبی محصولات با استفاده از مدل HadCM3 در شبکه آبیاری آیدوغموش. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۳۶(۳)، ۱۵۱-۱۴۲.
- ابراهیمی، حسین (۱۳۸۹). تغییر مصرف آب کشاورزی با توجه به تغییر اقلیم. پژوهش در علوم زراعی، ۳(۹)، ۱۰۹-۱۲۰.
- اخوان، سمیرا؛ قباپی سوق، محمد و مساعدی، ابوالفضل (۱۳۹۴). بررسی اثر تغییر اقلیم بر مقدار نیاز خالص آبیاری محصولات عمده دشت همدان-بهار با استفاده از نتایج مدل ریزمقیاس LARS-WG5. نشریه پژوهش های حفاظت آب و خاک، ۲۲(۴)، ۴۶-۲۵.
- افشاری پور، سمیه؛ امیری نژاد، مهدیه؛ رفیعی ساردوئی، الهام و سلیمانی، امان الله (۱۴۰۲). بررسی تغییرات نیاز آبی محصولات زراعی دشت جیرفت تحت تاثیر تغییر اقلیم. نیوار، ۱۲۳(۱۲۲-۱۲۳)، ۴۷، ۱۶-۱.
- بیاتانی، فاطمه و فلاح قالهری، غلامعباس (۱۳۹۹). مطالعه اثرات تغییر اقلیم بر عملکرد گیاه سیب زمینی (مطالعه موردی: مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری استان کرمان). همایش ملی کشاورزی و سلامت، ۱۹ اسفند ۱۳۹۹، دانشگاه جیرفت.
- جعفرپور، شهرام (۱۳۹۵). بررسی اثرات تغییر اقلیم بر نیاز آبی و عملکرد محصولات عمده دشت اردبیل، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، گروه آموزشی مهندسی آب، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل.
- جلالی، امیر هوشنگ؛ سالمی، حمیدرضا؛ نیکویی، علیرضا؛ گوانجی، ساناز؛ رضایی، مصلح الدین؛ خداقلی، مرتضی و تومانیان، نورایر (۱۳۹۶). تعیین نیاز آبی سیب زمینی در اقلیم های مختلف استان اصفهان. پژوهش های کاربردی زراعی، ۴(۳۰)، ۷۳-۵۳.
- جعفری، فائزه؛ مرادی، حمیدرضا و باقری، علی (۱۴۰۳). تأثیر تغییر اقلیم بر نیاز آبی محصول برنج در آبخیز تجن، علوم و مهندسی آبیاری، ۲(۴۷)، ۸۶-۶۹.
- جوزی، مهدی؛ ابراهیمی پاک، نیاز علی و فاتحی، شاهرخ (۱۴۰۳). تعیین نیاز آبی سیب زمینی در اقلیم های مختلف استان کرمانشاه. نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران، ۱۵(۱)، ۱۵۱-۱۳۵.
- خدا مرادپور، مهرانه و احمدی، علیرضا (۱۳۹۸). برآورد نیاز آبی و مدیریت آبیاری گیاه سیب زمینی با مدل CROPWAT در اقلیم نیمه خشک سرد (مطالعه موردی: شهرستان رزن). چهاردهمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۲۵ تیرماه ۱۳۹۸، دانشگاه ارومیه.

- رحمانی، میترا؛ جامی الاحمدی، مجید؛ شهیدی، علی و هادی زاده ازغندی، مصطفی (۱۳۹۳). تأثیر تغییر اقلیم بر طول مراحل رشد و نیاز آبی گندم و جو (مطالعه موردی: دشت بیرجند). *بوم‌شناسی کشاورزی*، ۷(۴)، ۴۶۰-۴۴۳.
- فلاح قاله‌ری، غلامعباس؛ باعقیده، محمد و رضایی، حسن (۱۳۹۵). برآورد نیاز آبی محصول سیب زمینی در اقلیم تربت حیدریه و تخمین تبخیر و تعرق واقعی براساس تبخیر و تعرق مرجع. *فصلنامه انسان و محیط زیست*، ۳۷، ۶۰-۴۹.
- فلاح قاله‌ری، غلامعباس؛ راه چمنی، مهدی و بیرانوند، فرشته (۱۳۹۴). برآورد نیاز آبی گیاه کنجد در اقلیم سبزوار. *مطالعات جغرافیایی مناطق خشک*، ۶(۲۱)، ۱۱۴-۱۴۱.
- گودرزی، مصطفی و عابدی کوپایی، جهانگیر (۱۳۹۹). اثرات تغییر اقلیم بر نیاز آبی و نیاز آبیاری در مناطق تحت آبیاری، مطالعه موردی: دشت نجف آباد، *مجله ترویجی حفظ و بهره‌وری آب*، ۱(۱)، ۳۰-۲۳.
- لشکری، حسن؛ کیخسروی، قاسم و رضایی، علی (۱۳۸۸). تحلیل میزان کارایی مدل CROPWAT در برآورد نیاز آبی محصول گندم در غرب کرمانشاه: شهرستان‌های اسلام‌آباد غرب، سرپل زهاب و روانسر. *فصلنامه‌ی مدرس علوم انسانی*، دوره ۱۱(۱۳)، ۲۷۰-۲۴۷.
- نیسی، حمید؛ اگدرنژاد، اصلاان و سپهری صادقان، سالومه (۱۴۰۳). تعیین بهترین مقدار آب آبیاری سیب زمینی در سیستم آبیاری قطره‌ای نواری با استفاده از مدل WOFOST، *مدل سازی و مدیریت آب و خاک*. DOI:10.22098/mmws.2024.14880.1446
- وزیری، ژاله؛ سلامت، علیرضا؛ انتصاری، محمدرضا؛ مسچی، محمود؛ حیدری، نادر و دهقانی سانچ، حسین (۱۳۸۷). تبخیر-تعرق گیاهان (دستورالعمل محاسبه‌ی آب مورد نیاز گیاهان). انتشارات کمیته‌ی ملی آبیاری و زهکشی ایران، چاپ اول، ص ۳۸۹.

References

- Afsharipour, Samiyeh, Amirinejad, Mahdih, Rafiei Sardoi, Elham, Soleimani, Amanullah, (2023). Investigation of changes in water requirement of agricultural crops of Jiroft plain under the influence of climate change, *Nivar*, (122-123) 47, 1-16 (In Persian).
- Akhavan, Samira, Qabaei Souq, Mohammad, Mosaedi, Abolfazl, (2014). Investigating the effect of climate change on the net irrigation requirement of major crops in the Hamedan-Bahar plain using the results of the LARS-WG5 down-scaling model, *Journal of Water and Soil Conservation Research*, (4) 22, 25-46 (In Persian).
- Arpita G, Abhijit S, Manoj K.N, Manish K.N., (2023). Impact of climate change on water requirements of wheat and potato in Eastern India, *Internation journal of Global Warming*, 33(4): 349-367.
- Ashofteh., P. (2012). Climate Change Impact on the Crop Water Requirement Using HadCM3 Model in Idoghmoush irrigation network. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 6(3): 151-142 (In Persian).
- Bayatani, F., Fallah Ghalhari, G.A., (2019). Study of the effects of climate change on potato yield (case study: tropical and subtropical regions of Kerman province), National Conference on Agriculture and Health, March 19, 2019, *Jiroft University* (In Persian).
- Mahima Begum¹, Mrinal Saikia², Abhijit Sarmah², Nayan Jyoti Ojah², Pompy Deka³, Poran Kishore Dutta⁴ and Ipsita Ojah., (2018).
- Chakravarti, A., Rohilla, K., Singh, S. P., Singh, S. K., & Adebba, D. (2022). Estimation of crop water requirement for Bargi left bank canal command area-Jabalpur M.P. India. *Energy Nexus*, 6,

100068. <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2022.100068>.

- Ebrahimi, Hossein, (2010). Changes in agricultural water consumption due to climate change. *Research in Agricultural Sciences*, 3(9), 109-120 (In Persian).
- Fallah Ghalhari, G., Rahchamani, M., & Bayranvand, F. (2016). Estimating of sesame crop water requirement in Sabzevar climate. *Arid Regions Geographic Studies*, 6(21), 1-14. (In Persian)
- Fallah Ghalhari, Gholam Abbas, Baaqideh, Mohammad, Rezaei, Hassan, (2015). Estimation of water requirement of potato crop in Torbat Heydariyeh region and estimation of actual evapotranspiration based on reference evapotranspiration, *Human and Environment Quarterly*, 37, 60-49 (In Persian).
- Farag, A.A.; M. A.Abdrabbo & Manal.M.H. Gad EL-Moula., McCarl B. A., Abou Hadid A. F., (2015). Water requirement for potato production under climate change. *Global journal of advanced research*, 2(9): 1357-1375.
- Frenken K and Gillet V., (2012). Irrigation water requirement and water withdrawal by Country, AQUASTAT, http://www.fao.org/nr/water/aquastat/water_use_agr/index.stm.
- Godfray, J., Beddington, H. C., Crute, J. R., Haddad, I. R., Lawrence, L., Muir, D., Pretty, J. F., Robinson, J., Thomas, S., S. M., & Toulmin, C. (2010). Food Security: The Challenge of Feeding 9 Billion People. *Science*. <https://doi.org/1185383>.
- Gudarzi, Mustafa; Abedi Kopaei, Jahangir (2019). Effects of climate change on water demand and irrigation demand in irrigated areas, case study: Najaf Abad Plain. *Promotional Journal of Water Conservation and Productivity*, (1) 1, 23-30 (In Persian).
- 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>.
- In Aidoghmoush Irrigation Network. *Iranian Journal of Irrigation and drainage*, 6(3), 142-151 (In Persian).
- Jafari, Faezeh, Moradi, Hamidreza, Bagheri, Ali, (2024). The effect of climate change on the water requirement of rice crop in Tajan watershed, *Irrigation Science and Engineering*, (2) 47, 86-69 (In Persian).
- Jafarpur, Shahram (2015). *Investigating the effects of climate change on the water demand and yield of major crops in the Ardebil Plain*, Master's thesis, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Department of Water Engineering, Mohaghegh Ardabili University, Ardebil, Iran (In Persian).
- Jalali, Amirhoshang, Salemi, Hamidreza, Nikoyi, Alireza, Gwanji, Sanaz, Rezaei, Moslehuddin, Khodaqoli, Morteza, Tomanian, Nurair, (2016). Determining the water requirement of potatoes in different climates of Isfahan province, *agricultural applied research*, (4) 30, 53-73 (In Persian).
- Jia, K., Xie, B., Xue, X., Yang, Y., Dong, G., Lv, Y., & Wang, X. (2023). Impacts of meteorological factors and crop area changes on the variations in winter wheat water requirements in the lower reaches of the Yellow River Basin. *Agricultural and Forest Meteorology*, 330, 109315. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2023.109315>.
- Jozi, Mehdi, Ebrahimi Pak, Niaz Ali, Fatehi, Shahrokh, (2024). Determining the water requirement of potato in different climates of Kermanshah province, *Scientific Journal of Irrigation and Water Engineering of Iran*, (1) 15, 151-135 (In Persian).
- Kang, S., Hao, X., Du, T., Tong, L., Su, X., Lu, H., Li, X., Huo, Z., Li, S., & Ding, R. (2016). Improving agricultural water productivity to ensure food security in China under changing environment: From research to practice. *Agricultural Water Management*, 179, 5-17. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.05.007>.
- Khodamoradpour, Mehrane, Ahmadi, Alireza, (2018). Estimation of water requirement and irrigation management of potato plant with CROPWAT model in cold semi-arid climate (case study: Razan

- city), *14th National Conference on Watershed Science and Engineering of Iran*, July 25, 2018. Urmia University (In Persian).
- Lashkari, Hassan; Ki Khosravi, Qasim; Rezaei, Ali, (2008). Analysis of the efficiency of CROPWAT model in estimating the water requirement of wheat crop in the west of Kermanshah: Islamabad Gharb, Sarpol Zahab and Ravansar cities. *Modares Humanities Quarterly*, 13(1), pp. 247-270 (In Persian).
- Li, F., Zhang, H., Li, X., Deng, H., Chen, X., & Liu, L. Modelling and Evaluation of Potato Water Production Functions in a Cold and Arid Environment. *Water*, 14(13), 2044. <https://doi.org/10.3390/w14132044>.
- 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>
- Mhaweji, M., Gao, X., Reilly, J. M., & Abunnasr, Y. (2024). Corn, soybeans and winter wheat water requirements over the contiguous United States between 2013 and 2021: The application of the SEBALIGEE v2 global model. *Journal of Hydrology*, 630, 130782. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.130782>.
- Neysi, Hamid, Egdernejad, Aslan, Sepehri Sadeghian, Salomeh, (2024). Determining the best amount of potato irrigation water in strip drip irrigation system using WOFOST model, *soil and water modeling and management*, DOI:10.22098/mmws. 2024.14880.1446 (In Persian).
- Paff, K., Fleisher, D., & Timlin, D. (2022). Changes in the effects of water and nitrogen management for potato under current and future climate conditions in the U.S. *Computers and Electronics in Agriculture*, 197, 106980. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.106980>.
- Parmar, S. H., Patel, G., & Tiwari, M. (2023). Assessment of crop water requirement of maize using remote sensing and GIS. *Smart Agricultural Technology*, 4, 100186. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2023.100186>.
- Pradeep B , Jadia B.B., Sangale S.T. ., (2015). Case Studies of Innovative Irrigation Management Techniques, *Aquatic Procedia*, 4: pp1197-1202.
- Rahmani, Mitra, Jami Al-Ahmadi, Majid, Shahidi, Ali, Hadizadeh Azghandi, Mustafa, (2013). The effect of climate change on the growth stages and water requirements of wheat and barley (case study: Birjand Plain. *Agricultural Ecology*, (4)7, 460-443 (In Persian).
- Reta, B. G., Hatiye, S. D., & Finsa, M. M. (2024). Crop water requirement and irrigation scheduling under climate change scenario, and optimal cropland allocation in lower kulfo catchment. *Heliyon*, 10(10), e31332. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e31332>.
- Sun, J., Yu, X., Wang H., Jia, G., Zhao, Y., Tu Z., Deng W., Jia J., Chen, J., (2018). Effects of forest structure on hydrological processes in China, *Journal of Hydrology*, 561:187-199, ISSN 0022-1694, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.04.003>.
- Vaziri, J., Salamat, A., Entesari, M., Meschi, M., Heydari, N., Dehghani Sanich, H., (2007), *Evapotranspiration of plants (instructions for calculating the plant water required)*, publications of Iran's National Irrigation and Drainage Committee, first edition, p. 389 (In Persian).
- Vishno, L., Roy S., MURTY, N.S., NAIN A.S., (2012). Study on water requirement of Potato (*Solanum tuberosum* L.) using CROPWAT MODEL for Tarai Region of Uttarakhand. *Journal of Agrometeorology*, 4(14): 180-185.
- Yin, J., Yang, Y., Eeswaran, R., Yang, Z., Ma, Z., & Sun, F. (2023). Irrigation scheduling for potatoes (*Solanum tuberosum* L.) under drip irrigation in an arid region using AquaCrop model. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1242074. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1242074>.