



Simulation of Sugar Beet (*Beta vulgaris* L.) Root Yield and Water Productivity in Response to Different Sowing Date and Irrigation Treatments Using SUCROS Model

Esmail Mohammadi-Ahmadm Mahmoudi¹ and Sajjad Rahimi-Moghaddam^{2*}

1- Ph.D. Graduated Student, Department of Agroecology, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

2- Assistant Professor, Department of Production Engineering and Plant Genetics, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran.

(*- Corresponding author Email: rahimi.s@lu.ac.ir)

How to cite this article:

Received: 03-05-2022

Revised: 08-10-2022

Accepted: 22-10-2022

Available Online: 25-01-2021

Mohammadi-Ahmadm Mahmoudi, E., & Rahimi-Moghaddam, S. (2024). Simulation of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) root yield and water productivity in response to different sowing date and irrigation treatments using SUCROS model. *Journal of Agroecology*, 15(4), 825-842.

DOI: [10.22067/agry.2022.76485.1108](https://doi.org/10.22067/agry.2022.76485.1108)

Introduction:

Water is considered one of the main factors driving agricultural activities. It is predicted that more than 67% of the world's population will suffer from water shortages in their habitats by 2050. Therefore, maximizing water efficiency is the best solution to the problem. Water productivity is important in evaluating the efficiency of irrigated and rainfed systems. Sugar beet is one of the strategic crops in Iran and its area under cultivation has decreased in the last two decades, especially in Khorasan Razavi Province. The high water requirement of sugar beet and the problem of water shortage during spring and summer are the most important reasons for the decrease in the area under cultivation of this crop. Given the crisis in water supply for crop production, increasing water productivity in irrigated agroecosystems can be considered a suitable strategy to increase the area under cultivation and yield of crops. In recent years, different studies have been conducted to increase the water productivity of different crops using simulation models.


Materials and Methods:

In this study, root yield and water productivity of sugar beet were evaluated in response to three different sowing date treatments (20 February, 21 March, and 21 April) and four irrigation interval treatments (10 days, 12 days, 14 days, and treatment with the model according to the crop water demand) in Neyshabur, Sabzevar, Quchan, and Torbat Jam locations. For this purpose, the SUCROS simulation model and long-term meteorological data were used to estimate the growth and production of sugar beet. In addition, the trend of sugar beet daily water demand and changes in soil water in different treatments during the growing season was extracted and analyzed.

Results and Discussion:



©2023 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

 [https:// DOI: 10.22067/agry.2022.76485.1108](https://doi.org/10.22067/agry.2022.76485.1108)

The results showed that the highest yield of sugar beet (63.80 t.ha^{-1}) was obtained in Sabzevar by sowing on 20 February and irrigation with ten days intervals, while in Torbat Jam, Neyshabur, and Quchan, the maximum root yield (66.44 , 109.38 and 112.15 t.ha^{-1} , respectively) was achieved by sowing on 20 February and irrigation based on crop water demand. In contrast, sowing sugar beet on 21 April with 14 days of irrigation intervals in all studied locations resulted in the lowest yield among treatments. Water productivity comparison in different locations showed that in Sabzevar, Torbat Jam, and Neyshabur, the treatment of the 20 February sowing date and irrigation based on crop water demand resulted in maximum water productivity (4.08 , 4.52 , and 8.10 kg.m^{-3} , respectively) and in Quchan, the treatment of 20 February sowing date and 14 days irrigation interval with 7.70 kg m^{-3} led to the maximum water productivity. The results also indicated that in Sabzevar, the lowest water productivity was obtained by sowing sugar beet on 21 April and irrigation with 14 days intervals, and in Torbat Jam, Neyshabur, and Quchan, the minimum water productivity was simulated by sowing date of 21 April and ten days irrigation intervals. Evaluation of the relationship between the length of growth season (as a criterion of sowing date) with sugar beet yield and water productivity in all locations showed that there were significant relationships among these variables and the length of growth season at 1% probability level, which indicated the importance of early cultivation in increasing the sugar beet production and water productivity in Razavi Khorasan Province.

Conclusion:

The findings of this study suggest that modifying the sowing date, in comparison to adjusting irrigation intervals, may have a more significant impact on enhancing sugar beet yield and water productivity. Additionally, in warmer locations like Sabzevar and Torbat Jam, exploring alternative options such as autumn sugar beet cultivation is advisable. In light of the constraints posed by limited water resources, it is recommended that researchers prioritize investigations into water productivity rather than solely focusing on maximizing crop yield.

Acknowledgments:

The authors are grateful to Dr. Reza Deihimfard from Shahid Beheshti University, Iran, for providing valuable comments and advice on methodology.

Keywords: Crop water requirement, Irrigation intervals, Khorasan Razavi Province, Modelling



مقاله پژوهشی

جلد ۱۵، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۲، ص ۸۴۲-۸۲۵

شبیه سازی عملکرد و بهره‌وری آب در چغندر قند (*Beta vulgaris L.*) بهاره در پاسخ به تیمارهای تاریخ کشت و آبیاری با استفاده از مدل SUCROS

اسماعیل محمدی احمد محمودی^۱ و سجاد رحیمی مقدم^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۱۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۳۰

چکیده

پژوهش حاضر، عملکرد ریشه و بهره‌وری آب گیاه چغندر قند (*Beta vulgaris L.*) در پاسخ به تیمارهای تاریخ کشت (یک اسفند، یک فروردین و یک اردیبهشت) و دور آبیاری (۱۰ روز، ۱۲ روز، ۱۴ روز و همچنین یک تیمار دور آبیاری با توجه به نیاز آبی محصول در طول فصل رشد در شرایط عدم محدودیت آبی) در شهرستان‌های نیشابور، قوچان، تربت جام و سبزوار را ارزیابی کرد. از مدل SUCROS و داده‌های بلندمدت هواشناسی جهت برآورد رشد و نمو و عملکرد استفاده شد. روند تغییرات نیاز روزانه گیاه و همچنین تغییرات آب خاک در تیمارهای مختلف در طول فصل رشد استخراج شدند و مورد تحلیل قرار گرفتند. نتایج به‌دست آمده نشان داد، بیشترین عملکرد چغندر قند (۶۳/۸۰ تن در هکتار) در شهرستان سبزوار با کشت این محصول در ابتدای اسفند و آبیاری آن با فاصله زمانی ۱۰ روزه صورت گرفت، در حالی که در شهرستان‌های تربت جام، نیشابور و قوچان بیشترین عملکرد ریشه (به ترتیب ۶۶/۴۴، ۱۰۹/۳۸ و ۱۱۲/۱۵ تن در هکتار) با کشت در یک اسفند و تیمار آبیاری بر اساس نیاز آبی گیاه زراعی حاصل می‌گردد. به‌طور کلی، تغییر تاریخ کشت در مقایسه با تغییر دور آبیاری می‌تواند تأثیر بیشتری در تولید و بهره‌وری آب چغندر قند داشته باشد. علاوه بر این، در مناطق گرم‌تر مانند سبزوار و تربت جام بهتر است راهکارهای دیگر مانند کشت پاییزه چغندر قند نیز ارزیابی گردد. همچنین با توجه به محدودیت منابع آبی، توصیه می‌شود که پژوهشگران تمرکز بیشتری بر روی افزایش بهره‌وری آب در کنار بهبود عملکرد گیاه زراعی در مقایسه با شرایط موجود در مزارع داشته باشند.

واژه‌های کلیدی: استان خراسان رضوی، دور آبیاری، مدل سازی، نیاز آبی محصول

۱- دانش‌آموخته دکتری گروه کشاورزی اکولوژیک، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، ایران.

۲- استادیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران.

(Email: rahimi.s@lu.ac.ir)

*- نویسنده مسئول:

مقدمه

یکی از چالش‌های جهانی در ارتباط با کشت فاریاب محصولات کشاورزی، تولید عملکرد و زیست‌توده بیشتر و همچنین مصرف آب کمتر است (Jabro et al., 2014). اهمیت آب به‌گونه‌ای است که به عنوان عامل و محرک اصلی فعالیت‌های کشاورزی به‌شمار می‌رود (Tabiei & Baradaran, 2014). بر اساس آمارهای منتشر شده، در حال حاضر حدود یک سوم مردم دنیا با کم‌آبی مواجه هستند که تا سال ۲۰۲۵ میلادی این آمار به بیش از دو سوم خواهد رسید (Pakmehr et al., 2021). بنابراین، برای حل این مشکل حداکثرسازی بهره‌وری مصرف آب بهترین راه‌حل می‌باشد. بهره‌وری آب عاملی مهم در ارزیابی کارایی سامانه‌های کشت آبی و دیم است (Jabro et al., 2014).

گیاه چغندرقد (*Beta vulgaris* L.) یکی از گیاهان استراتژیک و از مهم‌ترین گیاهان صنعتی در ایران است که به‌واسطه فصل رشد طولانی، مصرف آب بسیار بالایی دارد (Sadrghein, 2012)، به طوری که بسته به منطقه، اقلیم و عوامل دیگر، مقدار تبخیر و تعرق واقعی آن در طول فصل رشد بین ۵۰۰ تا ۱۲۰۰ میلی‌متر متغیر است (Fabeiro et al., 2003; Jabro et al., 2012; Dunham, 1993). استان خراسان رضوی یکی از اصلی‌ترین قطب‌های تولید چغندرقد در کشور است که با توجه به بحران آب در این استان، سهم این استان در تولید چغندرقد کشور در سالیان اخیر کاهش یافته است. با این حال، این استان در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۴۰۰ جایگاه دوم تولید چغندرقد در کشور را داشته است، به‌شکلی که در این سال سطح زیرکشت این محصول در استان خراسان رضوی معادل ۲۰۵۸۹ هکتار بوده و از این سطح از اراضی معادل ۹۱۵۹۵۸ تن چغندرقد برداشت شده است که به‌ترتیب نزدیک به ۱۸ و ۱۵ درصد از سطح زیرکشت و تولید چغندرقد کشور را شامل می‌گردد (Anonymous, 2022). با توجه به اهمیت تولید این محصول در کشور و نیاز آبی بالای آن، بازبینی در مدیریت عملیات زراعی در جهت بهبود عملکرد و ارتقای بهره‌وری آب این محصول امری ضروری و انکارناپذیر است (Jovzi & Zare Abyaneh, Heydari Pour et al., 2014; Haghayeghi et al., 2015; Deihimfard & Rahimi-Moghaddam, 2015).

در سالیان اخیر، مدل‌های شبیه‌سازی رشد محصولات زراعی در

مطالعات و تحقیقات علمی جایگاه ویژه‌ای پیدا کردند. استفاده از این مدل‌های شبیه‌سازی در صورتی که به‌خوبی اعتبارسنجی شده باشند و استفاده از اطلاعات بلندمدت هواشناسی در هر منطقه می‌تواند یک ابزار کاربردی در این زمینه باشد (Rahimi-Moghaddam et al., 2018; Amiri, 2018). با توجه به پیشرفت‌های صورت گرفته در این مدل‌ها و قابل اعتماد بودن نتایج آن‌ها، امروزه این مدل‌ها جایگاه درخوری در تجزیه و تحلیل سامانه‌های کشت گیاهان زراعی و واکنش این گیاهان به عوامل مدیریتی و محیط‌های مختلف پیدا کرده‌اند (Emdad & Tafteh, 2017; Pawar et al., 2017; Chenu et al., 2013; Amiri et al., 2016).

با به‌کارگیری مدل شبیه‌سازی CERES-Maize مطالعه‌ای بر روی بهینه‌سازی تاریخ کشت و راهکارهای آبیاری گیاه ذرت (*Zea mays* L.) به‌منظور افزایش عملکرد این محصول در چین انجام شد. نتایج به‌دست آمده نشان داد، کشت در بازه زمانی ۱۴ الی ۲۴ ژوئن و همچنین انجام دو مرحله آبیاری در مراحل گل‌دهی و پر شدن دانه به مقدار ۱۰۰ میلی‌متر در هر مرحله منجر به عملکرد و بهره‌وری آبی مطلوب در این گیاه گردد (Saddique et al., 2019). واکنش گیاه گندم پاییزه (*Triticum aestivum* L.) به مدیریت‌های مختلف آبیاری با استفاده از مدل شبیه‌سازی CERES-Wheat بررسی و گزارش شد که انجام دو مرتبه آبیاری در مراحل طولی شدن ساقه و گرده‌افشانی با حجم ۷۵ میلی‌متر منجر به بیشترین عملکرد دانه و کارایی مصرف آب می‌شود (Zhou et al., 2018). مطالعه‌ای با هدف تعیین بهترین تاریخ کشت به‌منظور افزایش عملکرد و کارایی مصرف آب در سامانه‌های کشت نخود دیم (*Cicer arietinum* L.) در استان کرمانشاه و با استفاده از مدل شبیه‌سازی SSM-Chichpea انجام شد و نتایج این پژوهش نشان داد، کشت در اول اسفند (زودترین تاریخ کاشت) منجر به دستیابی به بیشترین عملکرد، عملکرد بیولوژیک و کارایی مصرف آب شده، به‌طوری‌که تأخیر در کاشت می‌تواند تا ۶۴ درصد منجر به نقصان در عملکرد این محصول گردد. نتایج این تحقیق همچنین نشان داد، کشت در زودترین تاریخ ممکن منجر به افزایش طول دوره رشد گیاه، همزمانی بارندگی بیشتر با فصل رشد محصول و عدم تقارن دوره رشد زایشی محصول با دماهای بالا و تنش‌های خشکی انتهای فصل می‌گردد (Amiri, 2018). از مدل شبیه‌سازی AquaCrop جهت بررسی تأثیر تاریخ

SUCROS واکنش گیاه زراعی چغندرقد به فواصل مختلف آبیاری و تاریخ کشت‌های مختلف با توجه به مدیریت‌های متداول در چهار شهرستان در استان خراسان رضوی بررسی شده و مطلوب‌ترین دور آبیاری و تاریخ کشت برای این محصول شناسایی گردد.

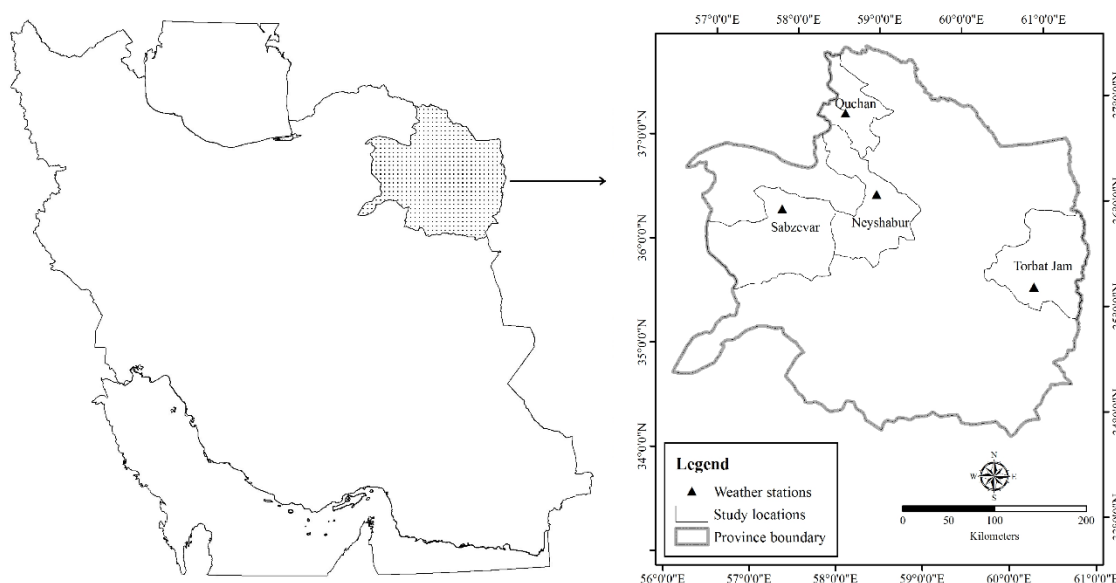
مواد و روش‌ها

منطقه مورد بررسی

پژوهش حاضر به منظور بررسی واکنش گیاه چغندرقد به تاریخ‌های کشت و دوره‌های آبیاری مختلف در قالب آزمایش شبیه سازی بلندمدت در چهار شهرستان نیشابور (ارتفاع ۱۲۱۳ متر از سطح دریا)، سبزوار (ارتفاع ۹۷۲ متر از سطح دریا)، قوچان (ارتفاع ۱۲۸۷ متر از سطح دریا) و تربت جام (ارتفاع ۹۵۰ متر از سطح دریا) در استان خراسان رضوی انجام شد. با توجه به اینکه استان خراسان رضوی از دیرباز یکی از قطب‌های تولید چغندرقد بوده است و با توجه به تنوع اقلیمی این استان، سعی شد انتخاب شهرستان‌ها به شکلی باشد که در برگزیده تنوع اقلیمی این استان باشد. موقعیت جغرافیایی و پراکنش شهرستان‌های مورد مطالعه در استان خراسان در شکل ۱ قابل مشاهده می‌باشد.

کاشت و آبیاری تکمیلی بر میزان عملکرد عدس بهاره دیم در دشت قزوین استفاده شد. بدین منظور، شش تاریخ کاشت مختلف در بازه زمانی متداول کشت عدس (*Lens culinaris Medik.*) و هشت تاریخ پیشنهادی مدل استفاده شد و همچنین دو تاریخ برای انجام آبیاری تکمیلی پیشنهاد شد. نتایج به دست آمده نشان داد، کاشت در بازه زمانی اواسط بهمن ماه تا اواسط اسفند ماه و همچنین، انجام یک آبیاری تکمیلی در ۵۵ الی ۶۵ روز پس از کاشت و مصادف با مرحله گل دهی گیاه زراعی منجر به بیشترین عملکرد ممکن می‌گردد. با توجه به نتایج این پژوهش، انجام یک مرحله آبیاری تکمیلی در تاریخ مناسب می‌تواند تا ۹۰ درصد عملکرد این محصول را در شرایط دیم افزایش دهد (Kamali et al., 2016). در یک مطالعه شبیه‌سازی دیگر، مدل APSIM به منظور بررسی برهم‌کنش مدیریت \times ژنتیک \times محیط بر کارایی مصرف آب ذرت در استان خوزستان به کار برده شد و نتایج نشان داد که بیشترین کارایی مصرف آب (۸/۱ کیلوگرم بر هکتار بر میلی‌متر) در برهم‌کنش رقم هشت بار آبیاری در طول فصل رشد \times رقم دیررس \times فصل کشت تابستانه به دست آمد (Rahimi-Moghaddam et al., 2019).

در این راستا، با توجه به جایگاه گیاه چغندرقد در استان خراسان رضوی و محدودیت در تأمین آب مورد نیاز کشت بهاره این محصول، در این پژوهش سعی گردید، با استفاده از مدل شبیه‌سازی

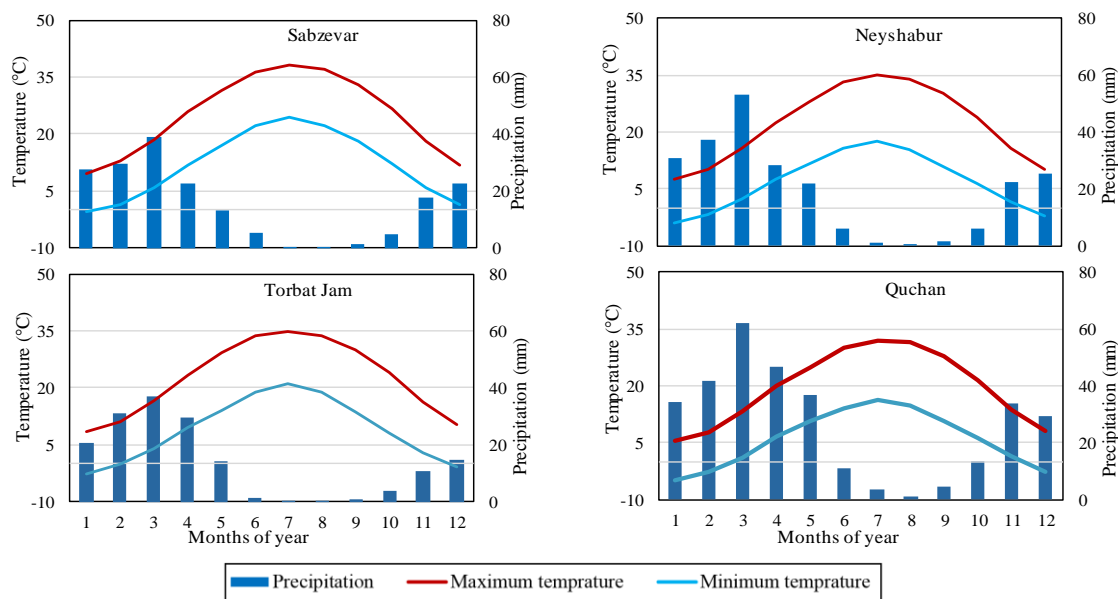


شکل ۱- موقعیت جغرافیایی مناطق مورد مطالعه و ایستگاه‌های هواشناسی آن‌ها در استان خراسان رضوی و ایران

Fig. 1- Geographic position of the studied locations and their weather stations in Khorasan Razavi province and the position of the studied province on the Iran map

فصول سرد سال بوده و بارش در فصل تابستان به‌ندرت اتفاق می‌افتد. میانگین بلندمدت متوسط ماهیانه دماهای بیشینه، کمینه و مقدار بارندگی ماهانه مناطق مورد بررسی در شکل ۲ ارائه شده است.

بخش اعظمی از استان خراسان رضوی (همه مناطق استان به‌جز بخش‌های کوچکی از شمال استان) در محدوده اقلیمی خشک و نیمه خشک قرار دارد. در استان خراسان رضوی، بارندگی‌ها بیشتر در



شکل ۲- میانگین بلندمدت (۱۳۹۳-۱۳۷۰) ماهیانه دماهای بیشینه، کمینه و مجموع بارندگی ماهیانه شهرستان‌های مورد مطالعه
 Fig. 2- Long-term monthly maximum and minimum temperatures and cumulative precipitation in the studied locations averaged from 1992 to 2015

کاملاً مستقل (Soleymani et al., Heydari Pour et al., 2015; 2003; Abdolahian Noghabi et al., 2011; Karimi and Naderi, 2008; Vafadar et al., 2008; Jalilian et al., 2001; Mirzaei & Rezvani, 2012) با بررسی ریشه دوم میانگین مربعات خطای نسبی (RRMSE)، میانگین خطای مطلق (MAE)، مقدار کارایی مدل (EF) (معادلات ۱-۳) و خط یک به یک حاصل از شبیه‌سازی مقادیر عملکرد این مطالعات و همچنین بررسی پراکنش خطای باقی‌مانده حاصل از شبیه‌سازی‌ها (Wallach et al., 2014) مورد ارزیابی قرار گرفت.

$$RRMSE (\%) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - S_i)^2}{n}} \times \frac{100}{\bar{O}} \quad \text{معادله (۱)}$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |O_i - S_i| \quad \text{معادله (۲)}$$

$$EF = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - S_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad \text{معادله (۳)}$$

مدل شبیه‌سازی مورد استفاده و آزمایش‌های شبیه‌سازی

به‌منظور شبیه‌سازی رشد و نمو گیاه چندرکنند در این مطالعه از مدل شبیه‌سازی (A Simple & Universal Crop) SUCROS (growth Simulator) استفاده شد. این مدل در ابتدا برای شبیه‌سازی گیاه گندم بهاره (van Laar et al., 1997) ارائه شد و بعد از آن با استفاده از چندین آزمایش مزرعه‌ای برای شبیه‌سازی رشد و نمو گیاه چندرکنند پارامترسازی و اعتبارسنجی شد (Deihimfard, 2011). این مدل همچنین با استفاده از داده‌های پنج آزمایش مزرعه‌ای مستقل برای شبیه‌سازی رشد و نمو گیاه چندرکنند در سطوح مختلف تولید اعتبارسنجی گردید (Deihimfard et al., 2019). علاوه بر این، دقت مدل استفاده شده در این پژوهش با استفاده از مجموعه‌ای از آزمایش‌های مزرعه‌ای مستقل در مناطق مختلف از جمله مشهد، همدان، کرج و کرمانشاه و سال‌های مختلف برگرفته از پژوهش‌های

در هر آبیاری لحاظ گردید. همان‌طور که گفته شد، علاوه بر سه تیمار دور آبیاری ۱۰ روز، ۱۲ روز و ۱۴ روز، یک تیمار دیگر بر اساس نیاز آبی گیاه زراعی در طول فصل رشد با استفاده از شبیه‌سازی‌های بلندمدت توسط مدل SUCROS در هر منطقه تعریف گردید که در این تیمار میزان نیاز آبی گیاه زراعی در شرایط عدم محدودیت آب به صورت روزانه برآورد شد و با رسیدن مقدار تجمعی نیاز آبی گیاه زراعی در روزهای متوالی به ۹۰ میلی‌متر پس از هر آبیاری، زمان فرا رسیدن آبیاری جدید تعیین گردید. انتخاب تیمارها بر اساس اطلاعات جمع‌آوری شده از کشاورزان مناطق مورد مطالعه بود. به این ترتیب که با توجه به اطلاعات به‌دست آمده از کشاورزان چغندرکار شهرستان‌های مورد بررسی، کشت چغندرقد در این مناطق توسط کشاورزان از اوایل اسفند ماه تا اوایل خرداد ماه صورت می‌گیرد و همچنین با توجه به وضعیت منابع آبی موجود و حق‌آبه مزارع، به‌طور معمول دور آبیاری مزارع بین ۱۰ الی ۱۴ روز می‌باشد. بنابراین، در این مطالعه سعی شد، تاریخ‌های کشت و تیمارهای آبیاری معمول برای هر شهرستان بررسی گردد و بهترین تیمار برای کشاورزان جهت استفاده بهتر از منابع با توجه به مقدار عملکرد ریشه و بهره‌وری آب (معادله ۴) نمایان گردد (Saini & Brar, 2018).

$$WP = \frac{\text{fresh Root yield (Kg. ha}^{-1}\text{)}}{\text{Water applied (m}^3\text{. ha}^{-1}\text{)}} \quad \text{معادله (۴)}$$

که در آن، WP: مقدار بهره‌وری آب است که حاصل نسبت بین عملکرد ریشه تر به مقدار آب به‌کار رفته (آبیاری و بارندگی) در مزرعه می‌باشد. علاوه بر این، مقدار نیاز آبی گیاه در شرایط رشد پتانسیل در هر سه تاریخ کشت برای هر شهرستان و مقدار عرضه آب در هر تیمار آبیاری در طول فصل رشد بر اساس شبیه‌سازی‌های بلندمدت صورت گرفته محاسبه شد (معادلات ۵ و ۶) (Chauhan et al., 2017) و میزان انطباق عرضه آب و نیاز آبی محصول در طول فصل رشد بررسی شد.

معادله (۵)

$$\text{Water supply} = \sum(\text{sw}(\text{layer}) - \text{ll}(\text{layer})) * \text{kl}(\text{layer})$$

$$\text{Water demand} = \frac{\Delta \text{DM} \times \text{VPD}}{\text{Transp_eff}}$$

که در آن، sw: مقدار آب در لایه خاک مورد نظر (میلی‌متر)، ll: مقدار آب خاک در نقطه پژمردگی (میلی‌متر) و kl: سرعت استخراج آب از گیاه (به‌ازای هر روز) است. مقدار عرضه آب با توجه به میزان آب موجود در هر لایه از خاک زراعی که ریشه گیاه زراعی در آن

که در آن، O: بیانگر مقادیر مشاهده شده، S: نشان‌دهنده مقادیر شبیه‌سازی شده، \bar{O} : نیز نشان‌دهنده میانگین کلی مقادیر مشاهده شده و n: بیانگر تعداد کل مشاهدات می‌باشد، که مقادیر کمتر RRMSE و MAE نشان‌دهنده دقت بیشتر مدل می‌باشد. مقدار EF نیز بین ۱-۰ بوده که ۱: نشان‌دهنده کارایی بالا و ۰: بیانگر عدم کارایی مدل است. در این مدل، سرعت روزانه فتوسنتز کانوپی بر اساس مقدار تشعشع دریافتی و رابطه بین فتوسنتز تک برگ و شدت نور دریافت شده و انتگرال‌گیری بر حسب شاخص سطح برگ و طول روز برآورد می‌شود (Spitters et al., 1989). سرعت تجمع ماده خشک با توجه به سرعت فتوسنتز کانوپی و با کسر تنفس‌های رشد و نگهداری محاسبه می‌شود. با توجه به اینکه رشد گیاه چغندرقد در سال اول به‌صورت رویشی می‌باشد و تغییرات فنولوژیک این گیاه در سال اول تنها تحت تأثیر دمای هوا می‌باشد، بنابراین در این مدل از مقادیر زمان حرارتی مورد نیاز (Thermal time requirements) جهت کمی‌سازی نمودی فنولوژیک گیاه استفاده می‌گردد. از این‌رو، میزان زمان حرارتی مورد نیاز گیاه چغندرقد از کاشت تا رسیدگی برداشت معادل ۲۷۰۰ درجه روز در نظر گرفته شد (Ebrahimipak, 2014 & Qi et al., 2005). و مراحل نمودی فنولوژیک که بین ۰ (کاشت) تا ۲ (رسیدگی) قرار دارند، بر اساس زمان حرارتی تجمع یافته برای هر مرحله تعیین شدند. بیان آب که شامل فرآیندهای تبخیر-تعرق، زهکشی، رواناب و جذب آب توسط ریشه‌ها است نیز جهت استفاده از مدل در شرایط مختلف رطوبتی به مدل اضافه شده است. در این مدل، به‌منظور برآورد تبخیر-تعرق پتانسیل از معادله ترکیبی پنمن-مونتیث استفاده می‌شود که تأثیر محدودیت آب بر فرآیندهای رشد محصول با توجه به نسبت بین تبخیر-تعرق واقعی به تبخیر-تعرق پتانسیل به‌صورت روزانه کمی‌سازی می‌شود. اطلاعات بیشتر در رابطه با این مدل توسط فن لار و همکاران (van Laar et al., 1997) ارائه شده است.

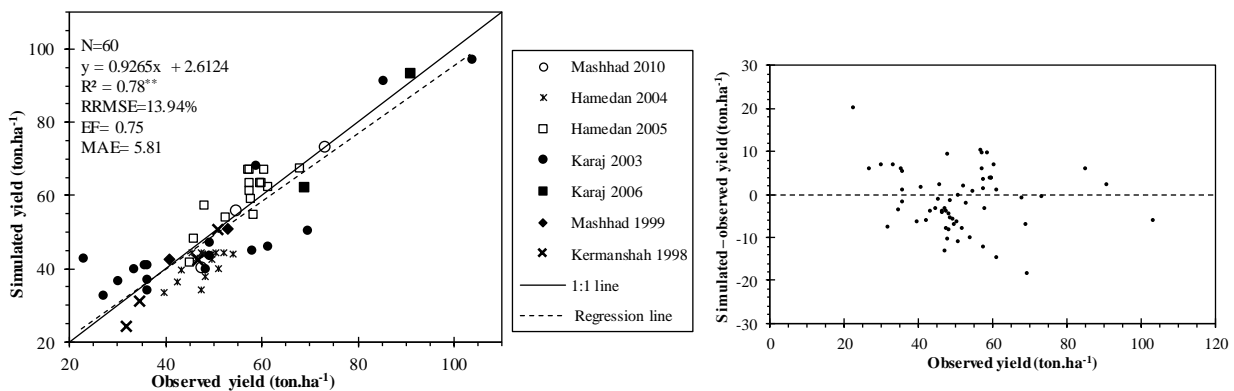
آزمایش‌های شبیه‌سازی در این مطالعه با استفاده از مدل SUCROS و اطلاعات بلندمدت اقلیمی شهرستان‌های مورد مطالعه (دوره آماری ۱۹۹۲ تا ۲۰۱۵) اجرا شد که تیمارهای این مطالعه شامل سه تاریخ کشت (یک اسفند: ۲۰ فوریه، یک اردیبهشت: ۲۱ مارس و یک خرداد: ۲۱ آوریل) و چهار دور آبیاری (۱۰ روز، ۱۲ روز، ۱۴ روز و یک تیمار دور آبیاری بر اساس نیاز رطوبتی گیاه در طول فصل رشد) بود. مقدار حجم آبیاری در تمام تیمارها یکسان و معادل ۹۰ میلی‌متر

نتایج بررسی دقت مدل شبیه‌سازی در برآورد عملکرد ریشه تر چغندر قند در مناطق و سال‌های مختلف نشان داد که مقدار ریشه دوم میانگین مربعات خطای نسبی، میانگین خطای مطلق و کارایی مدل برای شبیه‌سازی عملکرد ریشه تر چغندر قند به ترتیب معادل ۱۳/۹۴ درصد، ۵/۸۱ و ۰/۷۵ بود که نشان‌دهنده دقت خوب و همچنین کارایی بالای مدل برای برآورد عملکرد ریشه تر چغندر قند بود (شکل A۳). بررسی پراکنش خطای باقی‌مانده شبیه‌سازی‌ها نیز نشان‌دهنده دقت یکنواخت مدل SUCROS در برآورد عملکرد ریشه تر چغندر قند در مقادیر مختلف عملکرد بود (شکل B۳)، به طوری که مقدار عملکردهای مشاهده شده بین ۲۲/۵ تا ۱۰۳/۴ تن در هکتار و همچنین مقدار عملکردهای شبیه‌سازی شده بین ۲۴/۱ تا ۹۷/۴ تن در هکتار تغییرات داشت.

توسعه می‌یابد برآورد می‌شود. در معادله ۶، ΔDM : نشان‌دهنده تغییرات روزانه ماده خشک در شرایط پتانسیل (گرم ماده خشک تولیدی بر مترمربع به‌ازای هر روز)، $Transp_eff$: میزان کارایی تعرق (گرم ماده خشک تولیدی بر مترمربع بر میلی‌متر در کیلوپاسکال) و VPD: (کیلوپاسکال) نیز معیاری از وضعیت رطوبتی هوای کانوپی است که با کمک فشار بخار اشباع در دماهای بیشینه و کمینه محاسبه می‌گردد. در این مطالعه از نرم‌افزار آماری SAS و نرم‌افزار EXCEL برای مقایسه میانگین بین تیمارها و مدیریت داده‌ها استفاده شد.

نتایج و بحث

اعتبارسنجی مدل شبیه‌سازی



شکل ۳- مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده شده عملکرد ریشه تر چغندر قند در مناطق و سال‌های مختلف (الف) و پراکنش باقی‌مانده حاصل از برآورد عملکرد چغندر قند با استفاده از مدل SUCROS

Fig. 3- Simulated and observed fresh root yield of sugar beet in different locations and years (A) and the distribution of the sugar beet yield prediction residual using SUCROS model (B)

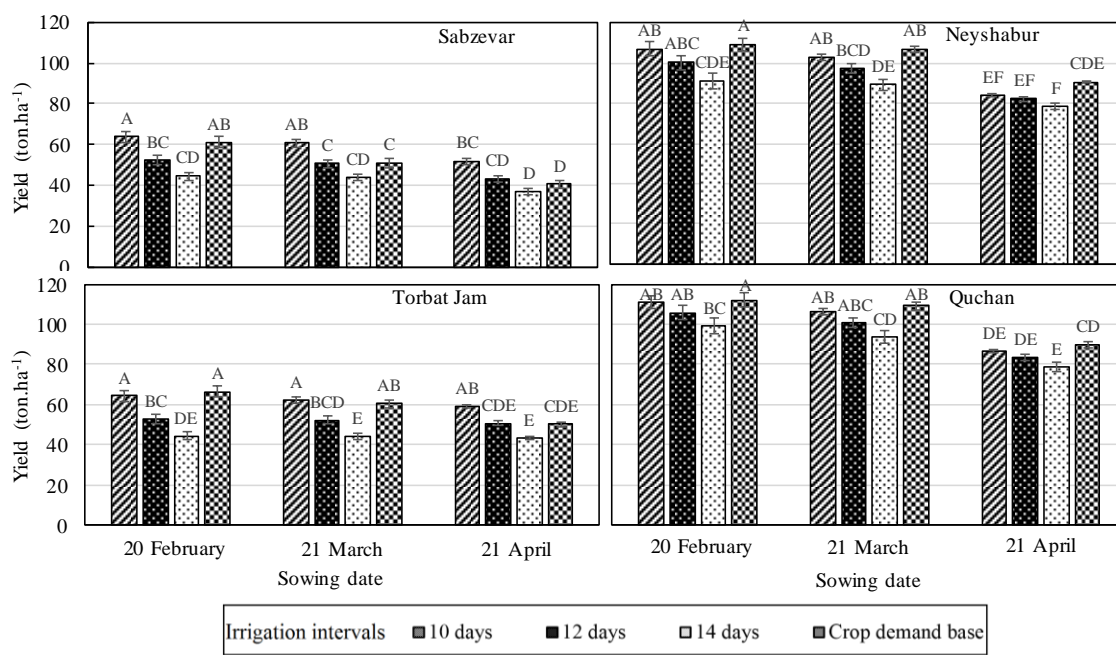
در کشت یک اردیبهشت (دیرترین تاریخ کشت) منجر به کمترین عملکرد چغندر قند (به ترتیب ۳۶/۹۹ و ۴۰/۴۶ تن در هکتار) در مقایسه با سایر تیمارها گردید. نتایج شبیه‌سازی‌ها در شهرستان نیشابور نیز نشان داد، با کشت در زودترین تاریخ کشت ممکن (اوایل اسفند ماه) و آبیاری محصول با توجه به نیاز آبی گیاه در طول فصل رشد می‌توان به حداکثر عملکرد ریشه (۱۰۹/۳۸ تن در هکتار) دست یافت. در حالی که کشت دیر هنگام (کشت در ابتدای اردیبهشت ماه) و افزایش دور آبیاری‌ها (دور آبیاری ۱۴ روز) منجر به ثبت کمترین عملکرد ریشه در این شهرستان (۷۸/۲۲ تن در هکتار) در مقایسه با سایر تیمارها می‌گردد. نتایج به‌دست آمده از تیمارهای اعمال شده در

واکنش عملکرد گیاه چغندر قند به تغییر تاریخ کشت و دور آبیاری‌ها

نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌های بلندمدت و ارزیابی این خروجی‌ها بر اساس آزمون توکی در سطح آماری پنج درصد (شکل ۴) نشان داد، اثر تغییر تاریخ کشت و فواصل آبیاری بر عملکرد گیاه چغندر قند در شهرستان‌های مورد بررسی متفاوت بود. نتایج به‌دست آمده نشان داد، در شهرستان سبزوار، کشت در تاریخ یک اسفند و دور آبیاری ۱۰ روز منجر به دستیابی به بیشترین عملکرد ریشه (۶۳/۸۰ تن در هکتار) شده و در مقابل، دور آبیاری ۱۴ روز و آبیاری بر اساس نیاز آبی گیاه

با سایر تیمارها (به ترتیب با عملکردهای ۴۳/۱۶ و ۴۴/۱۴ تن در هکتار) حاصل شد. نتایج به دست آمده در شهرستان قوچان نیز نشان داد، کشت در تاریخ یک اسفند و انجام آبیاری‌ها بر اساس نیاز آبی گیاه در طول فصل رشد با ۱۱۲/۱۵ تن در هکتار، منجر به دستیابی به بیشترین عملکرد در بین تیمارهای این پژوهش گردید. همان‌گونه که در شکل ۴ نشان داده شده است، در این منطقه، کشت در ابتدای اردیبهشت ماه در مقایسه با دو تیمار تاریخ کشت دیگر، به شکل قابل ملاحظه‌ای منجر به کاهش عملکرد گردید، به شکلی که کشت در یک اردیبهشت و آبیاری با فاصله زمانی ۱۴ روز منجر به شکل‌گیری کمترین عملکرد (۷۸/۷۹ تن در هکتار) در بین تیمارهای اعمال شده گردید.

شهرستان تربت جام (شکل ۴) نشان داد، بیشترین عملکرد ریشه چغندرقد (۶۶/۴۴ تن در هکتار) در شرایطی به دست آمد که کشت محصول چغندرقد در زودترین تاریخ کشت (یک اسفند) انجام شده و دور آبیاری‌ها بر اساس نیاز آبی گیاه در طول فصل رشد انجام گیرد. هرچند نتایج مقایسه میانگین بین تیمارهای مختلف نشان داد، تیمارهای کشت در یک اسفند و یک فروردین با دور آبیاری ۱۰ روز به ترتیب با عملکرد ۶۴/۲۸ و ۶۲/۲۵ تن در هکتار از نظر آماری (آزمون توکی در سطح پنج درصد) با این تیمار (بهترین تیمار از نظر عملکرد ریشه) تفاوت معنی‌داری نداشتند. هم‌سو با سایر شهرستان‌ها، در شهرستان تربت جام نیز افزایش دور آبیاری‌ها منجر به کاهش عملکرد گردید، به شکلی که در تاریخ کشت یک اردیبهشت و یک فروردین و با آبیاری در فاصله زمانی ۱۴ روز، کمترین تولید در مقایسه



شکل ۴- مقایسه میانگین عملکرد شبیه‌سازی شده بین تیمارهای مختلف در شهرستان‌های مورد مطالعه

Fig. 4- Mean comparison of simulated yield between different treatments in studied locations

میانگین‌های با حروف غیرمشترک در هر نمودار در سطح آماری پنج درصد و بر اساس آزمون توکی معنی‌دار هستند.

The means with different letters in each column are significant at 5% probability level based on Tukey test.

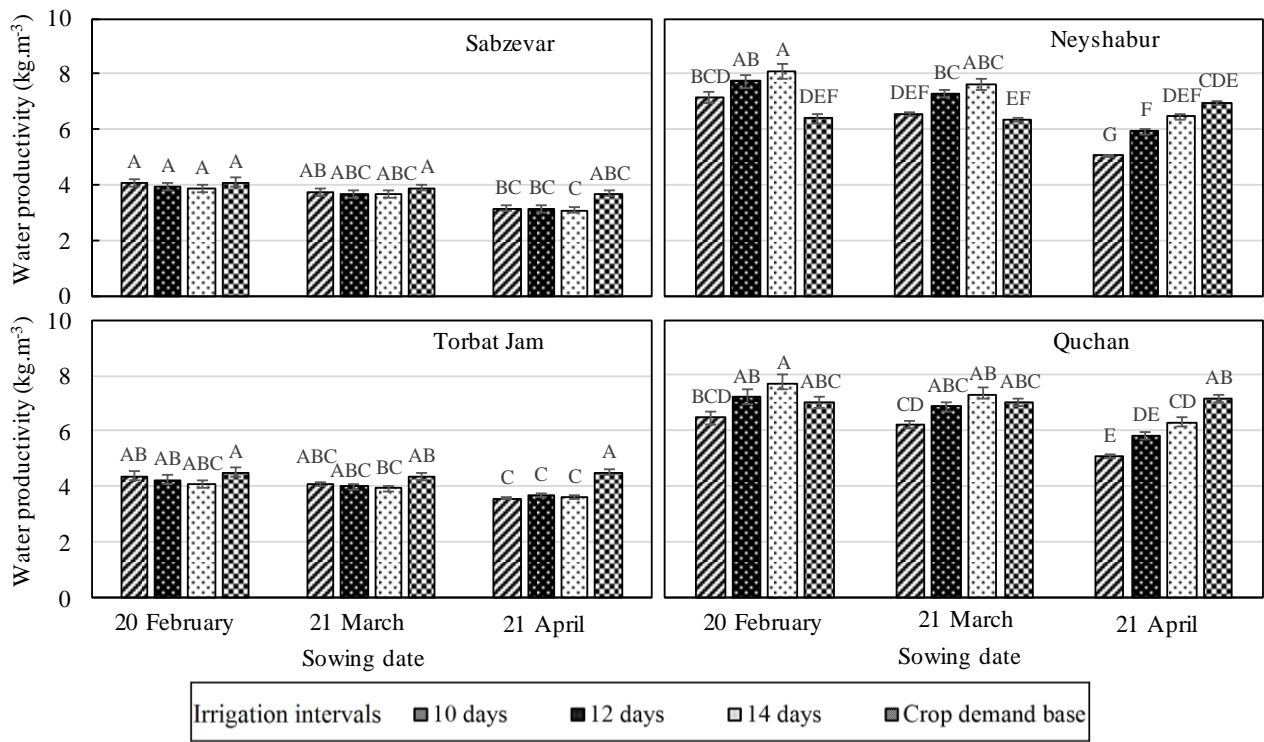
تیمارهای آزمایشی بود. نتایج به دست آمده در شهرستان نیشابور نشان داد، بیشترین بهره‌وری آبی در این شهرستان در تیمار کاشت در تاریخ یک اسفند و آبیاری با دور آبیاری ۱۴ روز با مقدار ۸/۱۰ کیلوگرم بر مترمکعب به دست آمد و کمترین بهره‌وری آبی با کاشت در یک اردیبهشت و انجام آبیاری هر ۱۰ روز یک بار در طول فصل شد با

واکنش بهره‌وری آبی گیاه چغندرقد به تغییر تاریخ کشت و دور آبیاری‌ها

مقایسه مقادیر بهره‌وری آبی تیمارهای آزمایشی در تولید محصول چغندرقد بر اساس آزمون توکی و در سطح آماری پنج درصد نشان‌دهنده واکنش متفاوت این محصول در شهرستان‌های مختلف به

اربیّه‌شت با دور آبیاری ۱۰ روز بود. مقایسه مقادیر بهره‌وری آبی در تیمارهای مختلف در شهرستان تربت جام نشان داد، تیمارهایی که در آن‌ها آبیاری گیاه زراعی بر اساس نیاز آبی محصول در طول فصل رشد صورت گرفته بود، بیشتر از سایر تیمارها بودند، به‌شکلی که تیمارهای تاریخ کشت یک اسفند و یک اردیبهشت با آبیاری بر اساس نیاز گیاه زراعی به‌ترتیب با مقادیر ۴/۵۲ و ۴/۵۱ کیلوگرم در مترمکعب، بیشترین بهره‌وری آبی را در بین تیمارهای مختلف داشتند. نتایج به‌دست آمده همچنین نشان داد، عدم توجه به نیاز آبی محصول در طول فصل رشد و کاشت دیرتر آن منجر به مقادیر کمتر بهره‌وری آبی می‌گردد، به‌طوری‌که کاشت محصول در تاریخ یک اردیبهشت و آبیاری با فاصله زمانی ۱۰، ۱۴ و ۱۲ روز منجر به کمترین بهره‌وری آبی (به‌ترتیب برابر با ۳/۵۷، ۳/۵۹ و ۳/۶۷ کیلوگرم در مترمکعب) گردید (شکل ۵).

مقدار ۵/۰۵ کیلوگرم در مترمکعب در این شهرستان به‌دست آمد. در شهرستان سبزوار نیز تیمار کشت در یک اسفند و دور آبیاری بر اساس نیاز آبی گیاه زراعی در طول فصل رشد بیشترین بهره‌وری آبی (۴/۰۸ کیلوگرم در مترمکعب) را داشت. البته باید اشاره کرد که در این شهرستان تمام تیمارهای مربوط به تاریخ کشت یک اسفند و همچنین تیمار آبیاری بر اساس نیاز گیاه در تاریخ کشت یک فروردین از نظر آماری اختلاف معنی‌داری نداشتند. در شهرستان سبزوار کمترین مقدار بهره‌وری آبی (۳/۰۷ کیلوگرم در مترمکعب) در شرایطی به‌دست آمد که کشت محصول در ابتدای اردیبهشت صورت گیرد و آبیاری مزرعه با فاصله زمانی ۱۴ روز صورت گیرد. بیشترین و کمترین مقدار بهره‌وری آبی در شهرستان قوچان به‌ترتیب معادل ۷/۷۰ و ۵/۰۷ کیلوگرم در مترمکعب بود که به‌ترتیب مربوط به تیمارهای تاریخ کشت یک اسفند با دور آبیاری ۱۴ روز و تاریخ کشت یک



شکل ۵- مقایسه میانگین بهره‌وری آبی بین تیمارهای مختلف در شهرستان‌های مورد مطالعه
 Fig. 5- Comparison water productivity between different treatments in studied locations

میانگین‌های با حروف غیرمشترک در هر نمودار در سطح آماری پنج درصد و بر اساس آزمون توکی معنی‌دار هستند.

The means with different letters in each column are significant at 5% probability level based on Tukey test.

نیشابور به مراتب بیشتر از شهرستان‌های تربت جام و سبزوار بود، به شکلی که میانگین عملکرد چغندر قند در تمامی تیمارها در

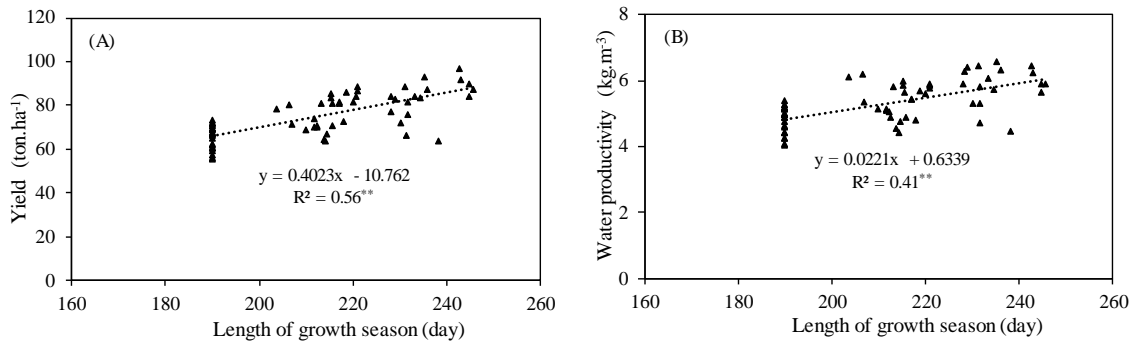
با مرور کلی نمودارهای ارائه شده در شکل‌های ۴ و ۵ می‌توان دریافت که مقدار عملکرد و بهره‌وری آبی در شهرستان‌های قوچان و

می‌توانند در عین دستیابی به مقادیر عملکرد قابل قبول و اقتصادی، تولیدی با بیشترین بهره‌وری آبی را داشته باشند. در مناطق گرم‌تر مانند تربت جام و سبزوار (شکل ۲) نیز آبیاری گیاه زراعی با توجه به نیاز آبی آن منجر به بیشترین عملکرد و بهره‌وری آب در این مناطق خواهد شد. هرچند در مناطق گرم‌تر با توجه به بهره‌وری آب کم در تمام تیمارها، به نظر می‌رسد، بهترین راهکار جهت دستیابی به تولید مطلوب و بیشینه در ازای مصرف آب کمتر، انتقال فصل رشد از فصل بهار به پاییز باشد. در مطالعه‌ای در دشت ارزوئیه کرمان نیز عنوان شد، کشت پاییزه چغندرقدند در مناطق گرمسیری در مقایسه با کشت بهاره آن از نظر عملکرد و کارایی مصرف آب به مراتب مناسب‌تر است (Javaheri et al., 2006). در مطالعه دیگری نیز عنوان گردید که در گیاه چغندرقدند می‌توان با تغییر فصل کشت علاوه بر افزایش عملکرد در مصرف آب نیز صرفه‌جویی نمود (Deihimfard & Rahimi, 2015). در یک مطالعه دیگر نشان داده شده که تغییر فصل کشت ذرت باعث ایجاد کاهش میانگین دما (۲/۶- درجه سانتی‌گراد)، افزایش بارندگی (۸۱/۳ میلی‌متر) و افزایش طول دوره رشد ذرت (هشت روز) می‌شود (Rahimi-Moghaddam et al., 2019).

واکنش گیاه چغندرقدند به تغییر تاریخ کشت: تأثیر طول فصل رشد بر عملکرد و بهره‌وری آب

نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌ها در این پژوهش نشان داد، انتخاب تاریخ کشت زودتر می‌تواند موجب افزایش طول فصل رشد در شهرستان‌های مورد مطالعه گردد، به‌شکلی که به‌طور میانگین در تمامی مناطق، طول فصل رشد در تاریخ کشت‌های یک اسفند، یک فروردین و یک اردیبهشت به‌ترتیب معادل ۲۳۶، ۲۱۴ و ۱۹۰ روز بود. نتایج حاصل از بررسی ارتباط بین طول فصل رشد (تاریخ کشت) و عملکرد و بهره‌وری آب گیاه چغندرقدند در تمامی مناطق مورد بررسی بیانگر وجود ارتباط معنی‌دار در سطح آماری یک درصد برای هر دو متغیر مورد بررسی بود که این مسئله بیانگر میزان تأثیر تغییر تاریخ کشت بر روی عملکرد و بهره‌وری آبی گیاه چغندرقدند در مناطق مورد بررسی بود (شکل ۶). بر اساس معادله خط به‌دست آمده در شکل ۶، به‌ازای افزایش یک روز در طول دوره رشد، عملکرد ریشه ۰/۴ تن در هکتار و بهره‌وری آب ۰/۰۲۲ کیلوگرم بر متر مکعب افزایش یافته است.

شهرستان‌های قوچان، نیشابور، تربت جام و سبزوار به‌ترتیب برابر با ۹۸/۰۴، ۹۴/۹۸، ۵۴/۲۰ و ۵۰/۰۴ تن در هکتار بود و همچنین میانگین بهره‌وری آبی در تمامی تیمارها در این شهرستان‌ها به‌ترتیب معادل ۶/۶۸، ۶/۷۹، ۴/۰۸ و ۳/۶۵ کیلوگرم در مترمکعب آب مصرفی بود که این موضوع به‌دلیل عملکرد کمتر این محصول در شهرستان‌های تربت جام و سبزوار بود. این احتمال می‌رود که بخش عمده از این اختلاف قابل توجه در این شهرستان‌ها ناشی از تفاوت دمایی آن‌ها (شکل ۲) باشد که در نهایت، منجر به تنفس بیشتر (تلفات بیشتر مواد فتوسنتزی) در شهرستان‌های سبزوار و تربت جام (به‌ترتیب ۲۲۹۴/۰۷ و ۱۷۸۴/۷۰ گرم CH_2O در مترمربع زمین) در مقایسه با شهرستان‌های نیشابور و قوچان (به‌ترتیب ۱۵۸۴/۱۷ و ۱۴۱۳/۱۹ گرم CH_2O در مترمربع زمین) و همچنین مصرف آب بیشتر از طریق روزه‌ها (تعرق بیشتر) جهت خنک کردن گیاه در این شهرستان‌ها می‌گردد. با توجه به نتایج حاصل از این دو شکل، به نظر می‌رسد در کل انتخاب تاریخ کشت‌های زودتر به‌دلیل استفاده بیشتر از منابع محیطی و زمان بیشتر برای استقرار گیاه زراعی، می‌تواند به دستیابی به عملکردهای بیشتر و همچنین بهره‌وری آبی بیشتر کمک کند. نتایج به‌دست آمده همچنین نشان داد، بهترین دور آبیاری در یک سامانه کشت چغندرقدند بسته به شرایط اقلیمی منطقه (به‌ویژه دمای هوا) و همچنین هدف کشاورز یا سیاست‌گذاران می‌تواند متغیر باشد. به زبان ساده و به‌صورت یک الگوی کلی می‌توان گفت که کشت در اولین فرصت پس از سرمای بهاره امکان حصول عملکرد و بهره‌وری آبی بیشتر را در مقایسه با کشت دیرتر فراهم خواهد ساخت و در صورتی که هدف از تولید چغندرقدند در مناطق مورد بررسی صرفاً دستیابی به عملکرد بیشتر باشد، تنظیم دور آبیاری بهتر است که با توجه به وضعیت دمایی منطقه صورت گیرد، به‌شکلی که در مناطق بسیار گرم مانند سبزوار (با میانگین دمای هوا در طول فصل رشد ۲۱/۹ درجه سانتی‌گراد) با کاهش دور آبیاری به ۱۰ روز، بیشترین عملکرد ریشه به‌دست خواهد آمد. درحالی‌که در مناطقی که دمای هوا نسبت به سبزوار کمتر بود (مانند قوچان، نیشابور و حتی تربت جام با میانگین دما در طول فصل رشد ۱۵/۸ و ۱۷/۶ و ۱۹/۱ سانتی‌گراد) با تنظیم دور آبیاری با توجه به نیاز آبی گیاه زراعی در طول فصل رشد می‌توان به بیشترین عملکرد ریشه دست یافت. در مقابل، با توجه به اینکه تلفات آب در مناطق خنک‌تر مانند قوچان و نیشابور (شکل ۲) کمتر از مناطق گرم است، با افزایش دور آبیاری به ۱۴ روز، کشاورزان



شکل ۶- رابطه رگرسیونی بین طول فصل رشد با الف) عملکرد و ب) بهره‌وری آبی گیاه چغندر قند در تمام شهرستان‌های مورد مطالعه
 Fig. 6- Regression relationship between length of growth season with A) yield and B) water productivity at all studied locations

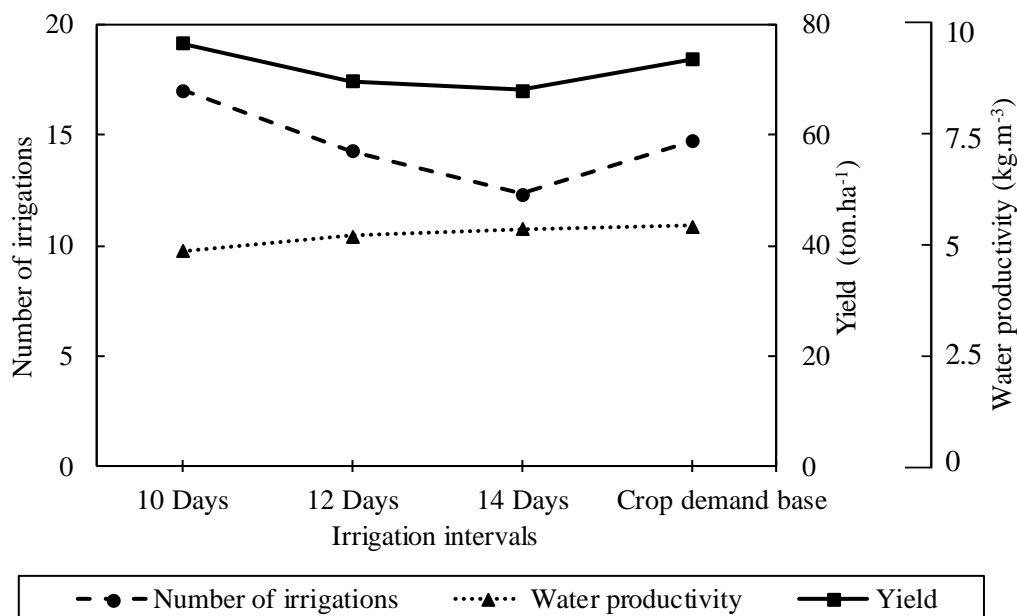
(1999; Pavlů et al., 2017; Vafadar et al., 2008).

واکنش عملکرد و بهره‌وری آبی چغندر قند به تغییر فواصل آبیاری

با توجه به خروجی‌های به‌دست آمده از شبیه‌سازی‌های بلندمدت، میانگین تعداد آبیاری صورت گرفته در طول فصل رشد در تیمارهای مختلف آبیاری در تمامی شهرستان‌ها و تیمارهای تاریخ کشت همان طور که انتظار می‌رفت، متغیر بود. همان‌طور که در شکل ۷ ارائه شده است، بیشترین تعداد آبیاری انجام شده در طول فصل رشد مربوط به دور آبیاری ۱۰ روز (به‌طور میانگین ۱۷/۱ مرتبه آبیاری) و کمترین تعداد آبیاری نیز مربوط به تیمار دور آبیاری ۱۴ روز (به‌طور میانگین ۱۲/۴ مرتبه آبیاری) بود. علاوه‌براین، میانگین عملکرد شبیه‌سازی شده برای تیمارهای مختلف دور آبیاری در تمامی مناطق بین ۶۸/۱۵ (تیمار دور آبیاری ۱۴ روز) تا ۷۶/۷۸ (تیمار دور آبیاری ۱۰ روز) تن در هکتار متغیر بود. نتایج به‌دست آمده همچنین نشان داد، میانگین بهره‌وری آبی برای این تیمارها بین ۴/۹ تا ۵/۵ کیلوگرم بر مترمکعب تغییرات داشت که به‌ترتیب مربوط به تیمار دور آبیاری ۱۰ روز و تیمار دور آبیاری بر اساس نیاز آبی گیاه زراعی بود.

این نتایج نشان می‌دهد، به‌موازات افزایش تعداد آبیاری‌ها در تیمارهای مختلف آبیاری، عملکرد ریشه نیز افزایش یافته است که این واکنش مثبت عملکرد ریشه به افزایش مقدار آب فراهم شده برای گیاه زراعی ناشی از نیاز آبی بالای این محصول (Dehghanisanij et al., 2020) است.

این تأثیر معنی‌دار طول فصل رشد بر روی عملکرد و بهره‌وری آبی گیاه چغندر قند می‌تواند به‌دلیل استفاده بهتر و بیشتر از منابع محیطی توسط گیاه زراعی با افزایش طول دوره رشد باشد. برای مثال، در تیمارهای با طول فصل رشد بیشتر (تاریخ کشت یک اسفند)، میزان تشعشع خورشیدی دریافتی در طول فصل رشد برای شهرستان‌های سبزوار، تربت جام، نیشابور و قوچان به‌ترتیب معادل ۵۲۰۰، ۵۲۱۴، ۵۱۹۴ مگاژول در مترمربع بود، درحالی‌که این مقادیر برای تیمارهای با طول فصل رشد کمتر (تاریخ کشت یک اردیبهشت) در این شهرستان‌ها به‌ترتیب برابر با ۴۴۱۰، ۴۵۹۲، ۴۵۰۸ و ۴۳۱۴ مگاژول در مترمربع بود. علاوه‌براین، بررسی‌ها نشان داد، میزان بارش‌های بهاره دریافتی در تیمارهای تاریخ کشت مختلف در شهرستان‌های مورد بررسی متفاوت بود، به‌شکلی که میزان بارش‌های بهاره در شهرستان‌های سبزوار، تربت جام، نیشابور و قوچان در تاریخ کشت‌های یک اسفند (طول فصل رشد بیشتر) به‌ترتیب معادل ۹۱/۳، ۹۳/۷، ۱۲۳/۴ و ۱۸۸ میلی‌متر بود، درحالی‌که مقدار بارش دریافتی در تیمارهای با تاریخ کشت یک اردیبهشت (طول فصل رشد کمتر) در این شهرستان‌ها به‌ترتیب معادل ۳۱/۵، ۳۲، ۴۲/۵ و ۸۴/۷ میلی‌لیتر بود. این مسائل به‌خوبی دسترسی بهتر به منابع محیطی در تاریخ کشت‌های زودتر را هویدا می‌سازد. نتایج به‌دست آمده در این پژوهش با نتایج دیگر محققان نیز هم‌سو بود، به‌طوری‌که در مطالعات دیگر نیز بسیاری از پژوهشگران عنوان کردند که تاریخ کشت زودتر در کشت بهاره چغندر قند منجر به عملکرد و یا بهره‌وری آبی بیشتر در این محصول می‌گردد (Yonts et al., Soleymani et al., 2003).



شکل ۷- تغییرات عملکرد و بهره‌وری آبی گیاه چغندر قند و همچنین تعداد آبیاری صورت گرفته در تیمارهای مختلف دور آبیاری در تمام شهرستان‌های مورد بررسی

Fig 7- Variability of the sugar beet yield and water productivity and the number of applied irrigations in different irrigation intervals treatments at studied locations

تأثیرگذار نیست و برای مثال، کشاورزان نباید انتظار داشته باشند، با افزایش در تعداد آبیاری‌ها (کاهش دور آبیاری)، به همان مقدار تغییرات در عملکرد نیز رخ دهد. در مطالعات دیگر مانند در مشهد (Haghayeghi et al., 2015) و در کرمانشاه (Jalilian et al., 2001) نیز عدم واکنش قابل توجه گیاه چغندر قند به تغییر دور آبیاری‌ها نیز گزارش شده است که این موضوع می‌تواند ناشی از تحمل نسبی گیاه چغندر قند به تنش‌های خفیف آبی باشد (Jaggard et al., 1998).

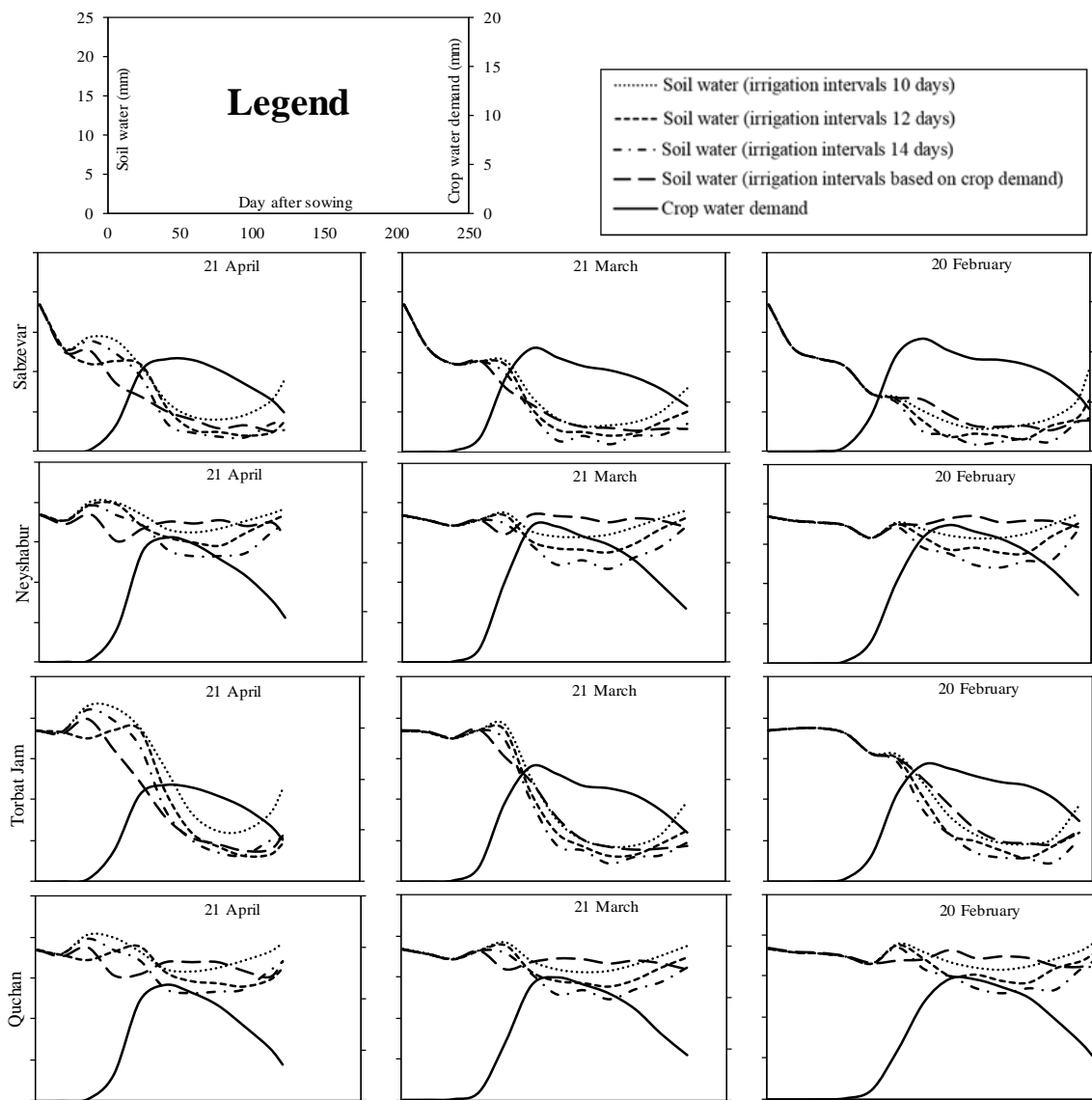
نیاز آبی روزانه چغندر قند و مقدار روزانه آب خاک در تیمارهای مختلف

بررسی روند تغییرات نیاز آبی گیاه چغندر قند در شرایط رشد بهینه در طول فصل رشد نشان داد، اوج نیاز آبی این گیاه در طول فصل رشد در ماه‌های تیر الی شهریور است. این در حالی است که مقدار آب موجود در خاک در طول این ماه‌ها در تیمارهای مختلف آبیاری در شهرستان‌های نیشابور و قوچان (مناطق خنک) در مقایسه با تربت جام و سبزوار (مناطق گرم) بیشتر بود، به شکلی که در شهرستان‌های تربت جام و سبزوار مقدار روزانه آب خاک در طول فصل رشد روندی

با این حال، نتایج نشان داد که اعمال آبیاری بیشتر بدون توجه به نیاز آبی گیاه زراعی در طول فصل رشد موجب حصول مقادیر کمتر بهره‌وری آب خواهد شد که لزوم تمرکز آبیاری‌ها در مراحل رشدی حساس و با نیاز آبی بالا را نشان می‌دهد. سپاسخواه و کامگار حقیقی (Sepaskhah & Kamgar-Haghighi 1997) در پژوهشی دو ساله در منطقه شیراز نیز دریافتند که با استفاده آب بیشتر برای تولید چغندر قند، مقداری کارایی مصرف آب در تولید این محصول کاهش یافت. سیدان و منصور (Seyedan & Mansouri 2019) در پژوهشی بر روی سیستم‌های آبیاری در مناطق مختلف استان همدان گزارش کردند که مقادیر کمتر بهره‌وری فیزیکی آب در شرایطی که حجم آب به کار رفته برای تولید چغندر قند بیشتر بود به دست آمد. باید توجه داشت که درصد تغییرات تعداد آبیاری‌ها در بیشترین حالت (۱۷/۱ مرتبه) نسبت به کمترین مقدار آن (۱۲/۴ مرتبه) حدود ۳۸ درصد بوده، در حالی که این مقدار (درصد تغییرات بیشترین مقدار نسبت به کمترین مقدار) برای عملکرد ریشه و بهره‌وری آبی به ترتیب معادل ۱۳ و ۱۲ درصد بوده است. این مسئله می‌تواند به نوعی بیانگر این موضوع باشد که تغییر دور آبیاری‌ها و به تبع آن تغییر در تعداد آبیاری‌ها چندان بر روی عملکرد و بهره‌وری آبی گیاه چغندر قند

پناهی و همکاران (Panahi et al., 2006) نیز در مطالعه‌ای بر روی تبخیر و تعرق چغندر قند بهاره در اصفهان گزارش کردند که اوج تبخیر و تعرق در کشت این محصول در ماه‌های تیر و مرداد رخ می‌دهد که نیازمند تمرکز بر تأمین آب از دست رفته در این ماه‌ها می‌باشد. مقایسه بین نیاز آبی محصول و میزان انطباق عرضه آب خاک در تیمارهای آبی مختلف می‌تواند تفاوت در بهره‌وری آبی شهرستان‌های مورد بررسی و تیمارهای مختلف را توجیه کند.

کاهشی داشته و روند آب خاک در نیشابور و قوچان در طول فصل رشد در تیمارهای مختلف تقریباً ثابت و یا با شیبی بسیار ملایم کاهشی بود (شکل ۶). دلیل اصلی این اختلاف، ناشی از تلفات بالای آب خاک به دلیل گرمای هوا و تخلیه آب خاک به وسیله تبخیر و تعرق در مزارع در مناطق گرم‌تر در طول ماه‌های تیر الی شهریور بود که تفاوت در ظرفیت نگهداری آب خاک در مناطق مورد بررسی نیز می‌تواند موجب تشدید افت محتوی روزانه آب خاک در این مناطق شود.



شکل ۸- روند تغییرات روزانه نیاز آبی گیاه چغندر قند در طول فصل رشد در تیمارهای مختلف تاریخ کشت و آبیاری در شهرستان‌های مورد مطالعه
 Fig. 8- Sugar beet daily water demand in the growth season in different sowing dates and irrigation intervals treatments at studied locations

و بهره‌وری مصرف آب در بوم‌نظام‌های کشت چغندرقدند داشته باشد. علاوه‌براین می‌توان در کنار کشت در اولین تاریخ کشت ممکن، بسته به شرایط اقلیمی منطقه (دمای هوا) و هدف کشاورزان و یا سیاست‌گذاران، فاصله بین آبیاری‌ها را تغییر داد. خروجی‌های این پژوهش نشان داد که به نظر می‌رسد در مناطق گرمسیری کشت بهاره چغندرقدند از نظر تولید و همچنین بهره‌وری آبی چندان مطلوب نمی‌باشد و بایستی تغییر فصل کشت در این مناطق و کاشت این محصول در پاییز در این مناطق مورد بررسی قرار گیرد. بررسی فواصل مختلف آبیاری نشان داد در برخی مناطق به‌ویژه مناطق خنک‌تر می‌توان با افزایش دور آبیاری‌ها تا ۱۴ روز، به بهره‌وری بالاتری در تولید محصول چغندرقدند در عین حصول عملکرد قابل قبول و اقتصادی دست یافت که این مسئله می‌تواند در حفظ منابع آبی کمک شایانی نماید. همچنین توجه به نیاز آبی این محصول در طول فصل رشد و افزایش آبیاری‌ها در فصول گرم سال می‌تواند در افزایش عملکرد این محصول مؤثر باشد.

قدردانی

نویسندگان از جناب آقای دکتر رضا دیهیم فرد عضو هیات علمی دانشگاه شهید بهشتی تهرانی به خاطر نظرات ارزشمند ایشان در پیشبرد مقاله حاضر کمال قدردانی را دارند.

برای مثال، با توجه به شکل ۸، در شهرستان سبزوار با وجود اعمال منظم آبیاری‌ها در هر سه تاریخ کشت بررسی شده در این مطالعه، مقدار آب عرضه شده در خاک در تمامی حالت‌ها بسیار کمتر از نیاز آبی گیاه چغندر بود که در نتیجه، منجر به افت عملکرد و همچنین کاهش بهره‌وری آبی شد. این وضعیت برای تیمارهای آبیاری در فواصل زمانی ۱۴ و ۱۲ روز شدیدتر بود و در نتیجه، مقدار عملکرد و بهره‌وری آبی در تیمارهایی که دور آبیاری‌ها ۱۲ و ۱۴ روز بودند در مقایسه با سایر تیمارها در این شهرستان کمتر بود (شکل‌های ۴ و ۵).

نتیجه‌گیری

این پژوهش با استفاده از مدل شبیه‌سازی SUCROS و اطلاعات بلندمدت هواشناسی در چهار شهرستان استان خراسان رضوی انجام شد. در این مطالعه، استفاده از تغییر تاریخ کاشت و دور آبیاری‌ها (کاهش تعداد آبیاری‌ها در طول فصل رشد) به‌عنوان دو راهکار مدیریتی در افزایش تولید و بهره‌وری آبی محصول چغندرقدند ارزیابی شدند. با توجه به نتایج این مطالعه، از آنجایی که هدف‌های مورد نظر در این پژوهش افزایش عملکرد و افزایش بهره‌وری بودند، تغییر تاریخ کشت و انتخاب زودترین تاریخ کشت ممکن پس از گذر از سرمای زمستان می‌تواند با افزایش استفاده از منابع محیطی (انرژی خورشیدی و بارش‌های بهاره) تأثیر مثبت و قابل توجهی بر روی تولید

References

1. Abdolalian Noghabi, M., Alamoli, Z.R., Akbari, G.A., & Nouri, S.A.S., (2011). Effect of severe water stress on the morphologic, quantitative, and qualitative characteristics of 20 sugar beet genotype. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 42(3), 453-464. (In Persian with English Summary) <https://dorl.net/dor/20.1001.1.20084811.1390.42.3.3.3>
2. Amiri, S.R., (2018). Determining the optimum sowing date of chickpea in Kermanshah province using modeling approach. *Plant Ecophysiology*, 10, 130-141. (In Persian with English Summary) <https://dorl.net/dor/20.1001.1.20085958.1397.10.32.11.6>
3. Amiri, S.R., Deihimfard, R., & Soltani, A., (2016). A single supplementary irrigation can boost chickpea grain yield and water use efficiency in arid and semiarid conditions: A modeling study. *Agronomy Journal*, 108, 2406-2416. <https://doi.org/10.2134/agronj2016.02.0087>
4. Anonymous, (2022). Report of the area, production, and yield of crops in the crop year 2019-2020, Office of Statistics and Information Technology. (In Persian with English Summary)
5. Chauhan, Y., Allard, S., Williams, R., Williams, B., Mundree, S., Chenu, K., & Rachaputi, N.C., (2017). Characterisation of chickpea cropping systems in Australia for major abiotic production constraints. *Field Crops Research*, 204, 120-134. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.01.008>
6. Chenu, K., Deihimfard, R., & Chapman, S.C., (2013). Large-scale characterization of drought pattern: A continent-

- wide modelling approach applied to the Australian wheatbelt– spatial and temporal trends. *New Phytologist*, 198, 801–820. <https://doi.org/10.1111/nph.12192>
7. Dehghanisanij, H., Ebrahimi, M., Rezaverdinejad, V., & Taghizadehghasab, A., (2020). Impact of changing irrigation method and planting spacing on water productivity, yield, and application efficiency of sugar beet in Miandoab plain. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 51(8), 2125-2136. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2020.300764.668575>
 8. Deihimfard, R., & Rahimi-Moghaddam, S., (2015). Assessing spring and autumn cropping of sugar beet yield in Mashhad and Neyshabor, by a simulation model. *Journal of Plant Production Research*, 22(3), 157-180. (In Persian with English Summary) <https://dorl.net/dor/20.1001.1.23222050.1394.22.3.7.8>
 9. Deihimfard, R., Nassiri Mahallati, M., & Koocheki, A., (2011). SUCROSBEET: A simple model for simulating growth and development of sugar beet under potential and nitrogen-limited conditions. *Journal of Agroecology*, 2(1), 1-20. (In Persian with English Summary)
 10. Deihimfard, R., Rahimi-Moghaddam, S., & Chenu, K., (2019). Risk assessment of frost damage to sugar beet simulated under cold and semi-arid environments. *International Journal of Biometeorology*, 63(4), 511-521. <https://doi.org/10.1007/s00484-019-01682-5>
 11. Dunham, R.J., (1993). Water use requirements. In D.A. Cooke and R.K. Scott (Eds.). *The Sugar Beet Crop: Science into Practice*. Chapman and Hall, London. p. 279–309.
 12. Ebrahimipak, N.A., & Ghalebi, S., (2014). Determination of evapotranspiration and crop coefficient of sugar beet using lysimeter and its comparison with experimental methods in Shahrekord, Iran. *Journal of Sugar Beet*, 30(1), 23-32. (In Persian with English Summary) <https://doi.org/10.22092/jsb.2014.5854>
 13. Emdad, M.R., & Tafteh, A., (2017). Evaluation of Aquacrop model for decreasing water stress effects due to different wheat planting date. *Journal of Agronomy and Plant Breeding*, 13(4), 75-83. (In Persian with English Summary)
 14. Fabeiro, C., Santa Olalla, M. Lopez, R., & Dominguez, A., (2003). Production and quality of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) cultivated under controlled deficit irrigation in semi-arid climate. *Agricultural Water Management*, 62, 215–227. [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(03\)00097-0](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(03)00097-0)
 15. Haghayeghi, S.A., Alizadeh, A., Ahmadi, M., Bannayan, M., & Ansari, H., (2015). Effect of irrigation regimes on crop water use efficiency of autumn sugar beets grown on the Mashhad plain. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 16(3), 15-30. (In Persian with English Summary)
 16. Heydari Pour, R., Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., & Zarea Faze Abadi, A., (2014). The effects of different levels of irrigation and nitrogen fertilizer on productivity and efficiency in corn (*Zea mays* L.), sugar beet (*Beta vulgaris* L.), and sesame (*Sesamum indicum* L.). *Journal of Agroecology*, 6(2), 187-198. (In Persian with English Summary) <https://doi.org/10.22067/jag.v6i2.39361>
 17. Heydari Pour, R., Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., & Zarea Faze Abadi, A., (2015). Effects of irrigation and nitrogen application rates on yield and yield components of corn, sesame, and sugar beet in Mashhad climatic condition. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 13(1), 24-33. (In Persian with English Summary) <https://doi.org/10.22067/gsc.v13i1.48312>
 18. Jabro, J.D., Iversen, W.M., Evans, R.G., & Stevens, W.B., (2012). Water use and water productivity of sugar beet, malt barley, and potato as affected by irrigation frequency. *Agronomy Journal*, 104, 1510-1516. <https://doi.org/10.2134/agronj2012.0169>
 19. Jabro, J.D., Stevens, W.B., Iverson, W.M., Evans, R.G., & Allen, B.L., (2014). Crop water productivity of sugarbeet as affected by tillage. *Agronomy Journal*, 106, 2280–2286. <https://doi.org/10.2134/agronj14.0186>
 20. Jaggard, K.W., Dewar, A.M., & Pidgeon, J.D., (1998). The relative effects of drought stress and virus yellows on the yield of sugar beet in the UK, 1980-1995. *Journal of Agricultural Science*, 130, 337-343. <https://doi.org/10.1017/S0021859698005371>
 21. Jalilian, A., Shirvani, A.R., Neamati, A., & Basati, J., (2001). Effects of deficit irrigation on the production and economy of sugar beet in Kermanshah region. *Journal of Sugar Beet*, 17(1), 1-14. (In Persian with English Summary) <https://doi.org/10.22092/jsb.2001.11560>
 22. Javaheri, M.A., Najafinezhad, H., & Azad Shahraki, F., (2006). Study of autumn sowing of sugar beet in Orzouiee area (Kerman province). *Pajouhesh and Sazandegi*, 71, 85-93. (In Persian with English Summary)
 23. Jovzi, M., & Zare Abyaneh, H., (2016). Water productivity and water use efficiency indexes of Sugar beet under

- different levels of water and nitrogen fertilizer. *Journal of Water and Soil Conservation*, 22(5), 117-133. (In Persian with English Summary) <https://dorl.net/dor/20.1001.1.23222069.1394.22.5.7.7>
24. Kamali, B., Ramezani Etedali, H., & Sotoodehnia, A., (2016). Determining appropriate time for rainfed lentil sowing and supplementary irrigation in Qazvin's plain using AquaCrop model. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 5(10), 613-621. (In Persian with English Summary)
 25. Karimi, A., & Naderi, M., (2008). Different levels of irrigation and nitrogen effects on quantitative and qualitative yield and water use efficiency of Sugar beet. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 22(1), 235-246. (In Persian with English Summary)
 26. Mirzaei, M.R., & Rezvani, S.M., (2012). Effect of deficit irrigation levels at four growth stages on yield and quality of sugar beet. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 14(2), 94-107. (In Persian with English Summary) <http://dorl.net/dor/20.1001.1.15625540.1391.14.2.1.4>
 27. Pakmehr, S., Yazdanpanah, M., & Baradaran, M., (2021). Investigating the behavior of farmers in the face of water scarcity. *Journal of Applied Sociology*, 32(3), 135-154. (In Persian with English Summary) <https://doi.org/10.22108/jas.2021.113630.1526>
 28. Panahi, M., Agdaei, M., & Rezaei, M., (2006). Determination of sugar beet standard evapotranspiration by lysimeter method in Kabotar-Abad, Isfahan. *Journal of Sugar Beet*, 22(1), 25-37. <https://doi.org/10.22092/jsb.2006.1663>
 29. Pavlů, K., Chochola, J., Pulkrábek, J., & Urban, J., (2017). Influence of sowing and harvest dates on production of two different cultivars of sugar beet. *Plant Soil Environment*, 63(2), 76-81 <https://doi.org/10.17221/614/2016-PSE>.
 30. Pawar, G.S., Kale, M.U., & Lokhande, J.N., (2017). Response of AquaCrop model to different irrigation schedules for irrigated cabbage. *Agricultural Research*, 6(1), 73-81. <https://doi.org/10.1007/s40003-016-0238-2>
 31. Qi, A., Kenter, C., Hoffmann, C., & Jaggard, K.W., (2005). The Broom's Barn sugar beet growth model and its adaptation to soils with varied available water content. *European Journal of Agronomy*, 23, 108-122. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2004.09.007>
 32. Rahimi-Moghaddam, S., Eyni-Nargeseh, H., Ahmadi, S.A.K., & Azizi, K., (2021). Towards withholding irrigation regimes and drought-resistant genotypes as strategies to increase canola production in drought-prone environments: A modeling approach. *Agricultural Water Management*, 243, 106487. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106487>
 33. Rahimi-Moghaddam, S., Kambouzia, J., & Deihimfard, R., (2019). Optimal genotype× environment× management as a strategy to increase grain maize productivity and water use efficiency in water-limited environments and rising temperature. *Ecological Indicators*, 107, 105570. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105570>
 34. Saddique, Q., Cai, H., Ishaque, W., Chen, H., Chau, H.W., Chattha, M.U., Hassan, M.U., Khan, M.I., & He, J., (2019). Optimizing the sowing date and irrigation strategy to improve maize yield by using CERES (Crop Estimation through Resource and Environment Synthesis)-maize model. *Agronomy*, 9(2), 1-19. <https://doi.org/10.3390/agronomy9020109>
 35. Sadrghein, H., (2012). Effects of drip tape irrigation on quantity and quality of sugar beet yield. *Journal of Water Research in Agriculture*, 26(3), 275-288. (In Persian with English Summary) <https://doi.org/10.22092/jwra.2012.118981>
 36. Saini, K.S., & Brar, N.S., (2018). Crop and water productivity of sugarbeet (*Beta vulgaris*) under different planting methods and irrigation schedules. *Agricultural Research*, 7(1), 93-97. <https://doi.org/10.1007/s40003-018-0294-x>
 37. Sepaskhah, A.R., & Kamgar-Haghighi, A.A., (1997). Water use and yields of sugarbeet grown under every-other-furrow irrigation with different irrigation intervals. *Agricultural Water Management*, 34(1), 71-79. [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(96\)01290-5](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(96)01290-5)
 38. Seyedan, S.M., & Mansouri, H., (2019). Water productivity in sugar beet cultivation under classical and furrow irrigation system in Hamedan province. *Journal of Agroecology*, 11(2), 673-686. <https://doi.org/10.22067/jag.v11i2.68593>
 39. Soleymani, A., Khajehpour, M.R., Nourmohammadi, G., & Sadeghian, Y., (2003). Effects of planting date and pattern on some physiological growth indices of sugarbeet. *Journal of Agricultural Sciences*, 9(1), 105-122. (In Persian with English Summary)
 40. Spitters, C.J.T., Van Keulen, H., & Van Kraalingen, D.W.G., (1989). A simple and universal crop growth simulator: SUCROS87. In R. Rabbinge S.A. Ward and H.H. van Laar (Eds.) *Simulation and Systems Management*

- in Crop Protection. Pudoc, Wageningen, The Netherlands. p. 147-181
41. Tabiei, H., & Baradaran, R., (2014). Effect of irrigation intervals and planting date on agronomic characteristics of Degen and Drfi (*Securiger securidaca* L.) in Birjand region. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 12(1), 80-90. (In Persian with English Summary) <https://doi.org/10.22067/gsc.v12i1.36643>
 42. Vafadar, L., Ebadi, A., & Sajed, K., (2008). Effects of sowing date and plant density on yield and some traits of sugar beet genotypes. *Electronic Journal of Crop Production*, 1(2), 103-120. (In Persian with English Summary) <https://dorl.net/dor/20.1001.1.2008739.1387.1.2.7.0>
 43. van Laar, H.H., Goudriaan, J., & van Keulen, H., (1997). SUCROS 97: Simulation of crop growth for potential and water-limited production situations, as applied to spring wheat. *Quantitative Approaches in Systems Analysis*, Wageningen, The Netherlands.
 44. Wallach, D., Makowski, D., Jones, J.W., & Brun, F., (2014). *Working with Dynamic Crop Models: Methods, Tools, and Examples for Agriculture and Environment: Second Edition*. pp. 1-487.
 45. Yonts, C.D., Wilson, R.G., & Smith, J.A. (1999). Influence of planting date on stand, yield, and quality of sugarbeet. *Journal of Sugar Beet Research*, 36(3), 1-14.
 46. Zhou, L., Liao, S., Wang, Z., Wang, P., Zhang, Y., Yan, H., Gao, Z., Shen, S., Liang, X., Wang, J., & Zhou, S., (2018). A simulation of winter wheat crop responses to irrigation management using CERES-Wheat model in the North China plain. *Journal of Integrative Agriculture*, 17(5), 1181-1193. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(17\)61818-5](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(17)61818-5)