

Investigating the production functions of water consumption in determining the performance of two watermelon cultivars under water stress

Arash Tafteh^{1*} , Shahryar Safarpour Haghighi² , Om Leila Rashidi³ , Ali Abdzad Gohari⁴ 

¹ Assistant Professor, Department of irrigation and soil physics, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

² Researcher, Department of Soil Fertility and Plant Nutrition Research, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

³ Researcher, Soil and Water Research Department, South Kerman Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Kerman, Iran

⁴ Researcher, Department of irrigation and soil physics, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

Abstract

Introduction

Watermelon is a popular fruit that is cultivated in greenhouses and on the ground, and water and fertilizer, as two essential factors for the growth of the product, significantly affect the yield of crops. Watermelon is the twelfth plant in terms of cultivated area in Iran. Due to its importance in export and virtual water, it is necessary to pay special attention to the characteristics of water needs and water consumption. However, water resources are scarce and irrational irrigation and use of fertilizers are common. This caused environmental pollution and waste of resources and also affects the growth and absorption of nutrients. Plant absorption, therefore, affects the yield and quality of the product. China is the first producer of this product in the world with the production of 67% of the total watermelon crop. The next ranks with less than 4% of world production are held by Turkey, Iran, Brazil and Egypt. According to FAO statistics, Iran ranks third in the world in watermelon production. In Iran, 91,000 hectares are cultivated with watermelon, of which 85,400 hectares are irrigated. Considering the special attention given to the watermelon plant as one of the high consumption options in the cultivation pattern, it was necessary to conduct a research in this field to investigate the amount of water required and reduce its yield under deficit irrigation.

Materials and Methods

In this study, Charleston variety watermelon was grown with a density of 8000 plants per hectare on May 29, 2022 in the soil and water research farm in Alborz province. Also, Crimson Sweet cultivar with a density of 11,000 thousand plants per hectare was cultivated on December 25, 2021 in the southern research center of Kerman province. In this regard, a research was conducted in the form of randomized block design in 4 full irrigation treatments, 75% of water requirement, 50% of water requirement and 30% of water requirement in the research farm of the Soil and Water Research Institute and Kerman Research Center. After applying low irrigations in different treatments, the performance of each treatment was measured. Also, the water requirement values of watermelon were investigated using the water requirement system of the Soil and Water Research Institute of the country under standard conditions. Also, by using two production functions, the sensitivity coefficients of the Charleston variety were determined. Also, the water requirement values of watermelon were investigated using the water requirement system of the Soil and Water Research Institute of the country under standard conditions. Also, using two production functions, the sensitivity coefficients of the Charleston variety were determined.

Results and Discussion

The results showed that the standard water requirement of watermelon in Karaj is about 488 mm and in Jiroft area of Kerman is 423 mm and it is in good agreement with the water requirement estimated by the water requirement system. The results show that watermelon in both cultivars reacted to the lowest amount of stress, so it is sensitive to lack of irrigation, and therefore it is necessary to investigate the values of the production function in their case according to the applied treatments. On the other hand, the highest sensitivity coefficient occurred in the period of 60 to 80 days after cultivation in the middle period of growth and the recalibrated production function estimated the

yield of the plant with appropriate accuracy in the applied stresses, which the statistical indicators of Charleston variety RMSE, NRMSE, MBE, d and EF were 497, 0.02, -119, 0.99 and 0.98, respectively, and the Crimson number was 568, 0.095, -536, 0.98 and 0.96 respectively, so the sensitivity coefficients and production function It is proposed to simulate the performance of both watermelon cultivars under water stress conditions. Also, the highest productivity was obtained in the low irrigation treatment of 70% and Crimson variety has higher water consumption efficiency. Therefore, this variety is recommended for watermelon cultivation with 70% less irrigation.

Conclusion

Summarizing the results showed that the standard water requirement of watermelon in Karaj is about 488 mm and in Jiroft area of Kerman is 423 mm and it is in good agreement with the water requirement estimated by the NIAZAB system. The sensitivity coefficients and the production function presented for simulation The performance of both watermelon cultivars is suggested under water stress conditions. On the other hand, the highest sensitivity coefficient occurred in the period of 60 to 80 days after cultivation in the middle period of growth and the recalibrated production function estimated the yield of the plant with appropriate accuracy in the applied stresses, which the statistical indicators of Charleston variety RMSE, NRMSE, MBE, d and EF were 497, 0.02, -119, 0.99 and 0.98, respectively, and Crimson number was 568, 0.095, -536, 0.98 and 0.96, respectively. Therefore, the sensitivity coefficients and production function It is proposed to simulate the performance of both watermelon cultivars under water stress conditions. Of course, due to the high performance level of the Crimson variety, the amount of water productivity in this variety is twice that of the Charleston variety, so in terms of water consumption efficiency, the cultivation of the Crimson variety is a priority compared to the Charleston variety. Also, the highest productivity was obtained in the low irrigation treatment of 70% and Crimson variety has higher water consumption efficiency. Therefore, this variety is recommended for watermelon cultivation with 70% less irrigation.

Keywords: Productivity, Production functions, Watermelon, Yield response factor

Article Type: Research Article

*Corresponding Author, E-mail: arash_tafteh@yahoo.com

Citation: Tafteh, A., Safarpour Haghghi, Sh., Rashidi, O.L., & Abdzad Gohari, A. (2023). Investigating the production functions of water consumption in determining the performance of two watermelon cultivars under water stress. *Water and Soil Management and Modeling*, 3(3), 296-307.

DOI: 10.22098/mmws.2023.11989.1194

DOR: 20.1001.1.27832546.1402.3.3.19.1

Received: 24 December 2022, Received in revised form: 04 January 2023, Accepted: 06 January 2023, Published online: 06 January 2023

Water and Soil Management and Modeling, Year 2023, Vol. 3, No. 3, pp. 296-307

Publisher: University of Mohaghegh Ardabili

© Author(s)





بررسی توابع تولید آب مصرفی در تعیین عملکرد دو رقم هندوانه در تنش آبی

آرش تافته^{۱*}، شهریار صفرپور حقیقی^۲، ام لیلا رشیدی^۳، علی عبدزادگوهری^۴

- ^۱ استادیار، گروه آبیاری و فیزیک خاک، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
^۲ محقق، تحقیقات حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
^۳ محقق، بخش خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی جنوب استان کرمان، کرمان، ایران
^۴ محقق، گروه آبیاری و فیزیک خاک، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

چکیده

نظر به توجه ویژه به گیاه هندوانه به عنوان یکی از گیاهان پر مصرف در الگوی کشت ایران لازم بود تا پژوهشی در این زمینه جهت بررسی مقدار نیاز آبی و کاهش عملکرد آن در شرایط تنش آبی انجام پذیرد. در این راستا پژوهشی در قالب طرح بلوک‌های تصادفی در ۴ تیمار آبیاری کامل، ۷۵ درصد نیاز آبی، ۵۰ درصد نیاز آبی و ۳۰ درصد نیاز آبی در مزرعه تحقیقاتی موسسه تحقیقات خاک و آب استان البرز و مرکز تحقیقات جنوب استان کرمان انجام شد. نتایج نشان داد که نیاز آبی استاندارد هندوانه در کرج حدود ۴۸۸ میلی‌متر و در منطقه جیرفت کرمان ۴۳۳ میلی‌متر است و با نیاز آبی تخمین زده شده توسط سامانه نیاز آب انطباق مناسبی دارد. از طرف دیگر بیشترین ضریب حساسیت در دوره ۶۰ تا ۸۰ روز پس از کشت در دوره میانی رشد رخ داد و تابع تولید واسنجی شده با دقت مناسبی عملکرد گیاه را در تنش‌های اعمال شده برآورد کرد که شاخص‌های آماری رقم چارلستون RMSE، MBE، NRMSE، d و EF به ترتیب ۰/۰۲، -۱۱۹، ۰/۹۹ و ۰/۹۸ و رقم کریمسون بترتیب ۵۶۸، ۰/۰۹۵، -۵۳۶، ۰/۹۸ و ۰/۹۶ بدست آمد لذا ضرایب حساسیت و تابع تولید ارائه شده برای شبیه‌سازی عملکرد هر دو رقم هندوانه در شرایط تنش آبی قابل قبول می‌باشد. همچنین بیشترین بهره‌وری در تیمار کم آبیاری ۷۰ درصد بدست آمد و رقم کریمسون دارای بهره‌وری مصرف آب بالاتری می‌باشد. لذا این رقم با کم آبیاری ۷۰ درصد برای کشت هندوانه توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری، توابع تولید، ضریب حساسیت گیاه، هندوانه

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: arash_tafteh@yahoo.com

استناد: تافته، آرش، صفرپور حقیقی، شهریار، رشیدی، ام لیلا، و عبدزاد گوهری، علی (۱۴۰۲). بررسی توابع تولید آب مصرفی در تعیین عملکرد دو رقم هندوانه در تنش آبی. *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۳(۳)، ۲۹۶-۳۰۷.

DOI: 10.22098/mmws.2023.11989.1194

DOR: 20.1001.1.27832546.1402.3.3.19.1

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۰۳، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۰/۱۴، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۱۶، تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۱۰/۱۶

مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک، سال ۱۴۰۲، دوره ۳، شماره ۳، صفحه ۲۹۶ تا ۳۰۷

© نویسنده‌گان

ناشر: دانشگاه محقق اردبیلی



۱- مقدمه

هندوانه با نام علمی *Citrullus lanatus*، گونهٔ بوته‌ای و میوه از تیرهٔ کدوییان و دستهٔ صیفی‌جات است که در جالیز رشد و نمو می‌کند. گیاهی بزرگ، پهن و یک‌ساله و یک پایه که خاستگاه آن آفریقای جنوبی است. ساقهٔ خزنده، برگ‌های پهن و کرک‌دار با بریدگی‌های ژرف و گل‌های سفید یا زرد رنگ دارد. تلاش‌های فراوانی برای فراهم‌آوری گونه‌های سرسخت در برابر بیماری و گونه‌های بی‌دانه یا با دانه‌های سفید درخور گوارش و هضم انجام گرفته است. بسیاری از ارقام آن می‌توانند ۱۰۰ روز پس از کاشت، میوهٔ رسیده تولید کنند (Wang et al., 2008; García-Mendivil and Sorribas, 2021). با این حال، منابع آب کمیاب است و آبیاری بی‌رویه و استفاده از کود رایج است (Hochmuth et al., 2015). این امر باعث آلودگی محیط زیست و اتلاف منابع شده و بر رشد و جذب مواد مغذی تأثیر می‌گذارد (Ahmadi, 2022). در نتیجه، جذب گیاه بر عملکرد و کیفیت محصول اثر می‌گذارد (Kaab et al., 2019; Li et al., 2020). هندوانهٔ یک گیاه تابستانی است و در تابستان به‌دلیل تبخیر-تعرق زیاد و بارندگی کم، به‌ویژه در آب و هوای مدیترانه‌ای، برای رشد به مقدار زیادی آب برای آبیاری نیاز دارد (Turner, 2004). هندوانه به تنش آبی بسیار حساس بوده و در صورت کاهش آبیاری، عملکرد نیز کاهش می‌یابد (Steduto et al., 2012). از این‌رو، برای استفادهٔ کارآمد از آب و به حداکثر رساندن عملکرد زمان و میزان کم آبیاری مهم است (Yang, 2017).

در ترکیه Erdem and Yuksel (2003) با مقایسهٔ عملکرد و اجزای عملکرد هندوانه در شرایط مختلف تنش آبی در تمام دورهٔ رشد گیاه نشان دادند که بیش‌ترین عملکرد در شرایط آبیاری کامل در تمام دورهٔ رشد گیاه حاصل شد. ضمن آن‌که دورهٔ گلدهی حساس به کمبود آب گزارش شد. بنابراین، مدیریت علمی و معقول آب و کود همواره در فرآیند تولید هندوانه ارزش جست و جو دارد. نیاز آبی هندوانه از دیگر محصولات خانوادگی کدوییان بیش‌تر است زیرا حجم عمدهٔ میوه را آب تشکیل می‌دهد (Soltani et al., 2018). چین با تولید ۶۷ درصد کل محصول هندوانه رتبهٔ اول تولید را در جهان دارد. رتبه‌های بعدی را با کم‌تر از ۴ درصد تولید جهان ترکیه، ایران، برزیل و مصر در اختیار دارند. ایران در تولید هندوانه رتبهٔ سوم جهان را دارد (FAO, 2017). در ایران ۹۱۰۰۰ هکتار زیر کشت هندوانه می‌رود که از این مقدار ۸۵۴۰۰ هکتار آبی است. با توجه به عدم راهبردی بودن این محصول و سطح بالای کشت آن و بحث ذخیرهٔ آب و اختصاص آب به محصولات راهبردی لازم است تا نیاز آبی و توابع تولید این محصول در شرایط کمبود آب مورد بررسی قرار گیرد تا در برنامه‌ریزی آبیاری مورد استفاده قرار گیرد

(Egdernezhad et al., 2019). نیاز آبی فصلی هندوانه از ۲۴۰ تا ۶۶۰ میلی‌متر بسته به اقلیم و طول دورهٔ رشد متفاوت است (Kirnak and Dogan, 2009; Bastos et al., 2012; Kuscü et al., 2015).

Erdem et al. (2005) به‌منظور ارزیابی مقادیر آستانهٔ متفاوت شاخص تنش آبی محصول (CWSI) برای آبیاری برنامه‌ریزی شده در هندوانه نشان دادند که حداکثر تبخیر-تعرق فصلی ۴۱۲ میلی‌متر از تیمار ۰/۲ شاخص تنش آبی به‌دست آمد و سطوح آبیاری به‌طور معناداری بر عملکرد میوه تأثیر گذاشت. اگرچه بیش‌ترین عملکرد میوه (۷۶/۳ تن در هکتار) از تیمار ۰/۲ شاخص تنش آبی محصول به‌دست آمد، اما ۰/۴ و ۰/۶ تیمار شاخص تنش آبی محصول از نظر آماری تفاوت معناداری نداشتند. بنابراین، بر اساس این نتایج، ۰/۶ مقدار شاخص تنش آبی محصول برای زمان آبیاری هندوانه باید استفاده شود (Khari et al., 2023). در مطالعه‌ای، Yin (2012) در آبیاری متناوب و کم آبیاری به روش آبیاری یک در میان کشت هندوانه در گلخانه نشان داد که رشد ارتفاع بوته، هر چه شدت کم آبیاری بیش‌تر باشد، ارتفاع گیاه با آبیاری یک در میان کاهش کم‌تری خواهد داشت. پژوهش دیگری توسط Wang et al. (2017) در رابطه با آزمایش‌های کم آبیاری تنظیم شده بر هندوانه‌های گلخانه‌ای در شمال‌غربی چین انجام شد. نتایج پژوهش نشان داد که هندوانه‌هایی که در فصل زمستان و بهار رشد می‌کنند، کارایی و کیفیت مصرف آب بهتری با مقدار کل آبیاری ۱۱۴ میلی‌متر دارند.

Abdelkhalik et al. (2019) به‌منظور تعیین پاسخ تولید و راندمان مصرف آب آبیاری هندوانه به سه راهبرد مدیریت آبیاری در دو فصل رشد با اعمال ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبیاری در سال اول، و افزودن شش تیمار اضافی در سال دوم، نشان دادند که قرار گرفتن بوته‌های هندوانه در معرض کم آبیاری شدید منجر به کاهش زیست‌توده خشک، عملکرد کل و میانگین وزن میوه، تعداد میوه و شاخص برداشت شد. محتوای نسبی آب و شاخص پایداری غشای سلولی با افزایش کمبود آب کاهش یافت و راندمان مصرف آب آبیاری در طول مرحلهٔ رسیدن میوه نسبت به زمانی که محدودیت آب در مراحل مختلف رشد اعمال شد به میزان کم‌تری کاهش یافت. در پژوهشی، Miller et al. (2010) تیمارهای ۱۵ درصد و ۵۰ درصد آب تخلیه شده از محیط را بر روی هندوانه در خاک لومی شنی بررسی نمودند. آن‌ها نشان دادند که میانگین وزن میوه در تیمار ۱۵ درصد، ۵/۵ تا شش کیلوگرم و تیمار ۵۰ درصد، ۶/۵ تا هفت کیلوگرم بود که حاکی از کاهش اندازه و وزن میوه است. در ادامه، Khorramian and Zarifeenia (2018) سطوح مختلف نیاز خالص آبی به روش

افزایش میوه‌های پوسیدگی گلگاه داشت، ولی با اعمال تنش کم آبیاری بیش‌تر، غلظت کلسیم در گیاهان غیرپیوندی کاهش و عارضه پوسیدگی گلگاه افزایش یافت. با توجه به نتایج، پیوند روی پایه هندوانه ابوجهل اثر مثبتی نداشته است. در ادامه، Karimi and Jolaini (2017) مقدار نیاز آبی خالص هندوانه را ۵۱۸۰ مترمکعب در هکتار و مقدار نیاز آبیاری ناخالص را ۱۰۳۱۸ مترمکعب در هکتار در دشت مشهد گزارش نمودند. در نهایت، Jafari et al. (2016) مقدار نیاز آبی را برای ۴۸۰۰ مترمکعب در هکتار و نیاز ناخالص را ۸۴۰۰ مترمکعب در هکتار در ورامین گزارش نمودند و نشان دادند عمق فاروها در مقدار آب مصرفی بسیار تأثیرگذار است.

نظر به بررسی‌های انجام شده، مدل‌سازی گیاهی برای برنامه‌ریزی آبیاری بسیار حائز اهمیت خواهد بود و ارتقاء توابع تولید برای محصولات و ارقام مختلف می‌تواند کمک بسیار بزرگی به مدیریت آب در سطح کلان و بهینه‌سازی الگوی کشت نماید (Ebrahimipak et al., 2019). لذا هدف پژوهش حاضر واسنجی توابع تولید برای دو رقم هندوانه در جهت شبیه‌سازی عملکرد آن‌ها در شرایط مختلف تنش آبی است.

۲- مواد و روش‌ها

در این پژوهش هندوانه رقم چارلستون با تراکم ۸۰۰۰ بوته در هکتار در هشت خرداد ۱۴۰۱ در مزرعه تحقیقاتی مؤسسه خاک و آب در استان البرز کشت شد. هم‌چنین، رقم کریسون سوییت با تراکم ۱۱۰۰۰ هزار بوته در هکتار در چهار دی ۱۴۰۰ در مرکز تحقیقات جنوب استان کرمان کشت شد. در مزرعه مؤسسه تحقیقات خاک و آب مصرف ۱۰ تن کود دامی (گاوی) پوسیده به‌علاوه ۱۵۰ کیلو کود سوپر فسفات تریپل و ۱۰۰ کیلو سولفات پتاسیم در هکتار قبل از کاشت و مصرف ۲۰۰ کیلو کود ازته از منبع اوره در چهار تقسیط، پس از سبز شدن و در مرحله دو تا چهار برگی، قبل از گل‌دهی و دو تقسیط بعدی نیز بعد از هر مرحله برداشت به‌صورت کود آبیاری از طریق تزریق در شبکه تحت فشار تیپ اعمال شد. در منطقه جیرفت کود مرغی به میزان هشت تن در هکتار قبل از کاشت، ۱۵۰ کیلوگرم سولفات آمونیوم در زمان رشد رویشی قبل از گل‌دهی، دو کیلوگرم آهن در زمان تشکیل میوه، کود ۲۰:۲۰:۲۰، چهل کیلوگرم قبل از گل‌دهی و ۶۰ لیتر مایع مرغی مرحله بزرگ‌شدن میوه به زمین داده شد. هر پلات حدود ۶۰۰ متر مربع (عرض ۱۰ متر و طول ۶۰ متر) بود. تیمارهای آبیاری اعمال شده شامل تیمار آبیاری کامل، ۷۰ درصد نیاز آبی، ۵۰ درصد نیاز آبی و ۳۰ درصد نیاز آبی به‌صورت آبیاری تیپ بود. برای تعیین نیاز آبی استاندارد از روش

قطره‌ای بر عملکرد هندوانه و مقایسه آن با آبیاری جویچه‌ای را در سال‌های زراعی ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰ در استان خوزستان انجام دادند. نتایج نشان داد که ۱۲۵ درصد تأمین نیاز آبی به روش قطره‌ای با ۵۲/۵ تن در هکتار بیش‌ترین و تیمار ۵۰ درصد تأمین نیاز آبی به روش قطره‌ای با ۴۲/۵ تن در هکتار کم‌ترین عملکرد را داشت. حجم آب مصرفی در هر یک از تیمارهای ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ درصد تأمین نیاز آبی در روش قطره‌ای در سال ۱۳۸۹ به‌ترتیب ۲۵۳۳، ۳۶۴۴، ۴۷۶۶ و ۵۸۶۹ مترمکعب در هکتار و در سال ۱۳۹۰ به‌ترتیب ۲۴۴۲، ۳۴۳۰، ۴۴۱۷ و ۵۴۴۹ مترمکعب در هکتار بود.

از سایر پژوهش‌های انجام شده می‌توان به پژوهش Pejic et al. (2016) در کشور صربستان اشاره نمود که بیان کردند عملکرد هندوانه در شرایط آبیاری (۳۷/۲۸ تن در هکتار) به‌طور معناداری بیش‌تر از رقم غیرآبی (۹/۹۸ تن در هکتار) بود. آب مورد استفاده در تبخیر-تعرق در شرایط آبیاری ۳۹۸ میلی‌متر و در شرایط غیرآبی ۱۱۷ میلی‌متر بود. ضریب پاسخ عملکرد محصول (Ky) ۱/۰۴ برای کل فصل رشد نشان می‌دهد که کاهش نسبی عملکرد تقریباً برابر با میزان کسری تبخیر-تعرق بوده است. مقادیر راندمان مصرف آب آبیاری و راندمان مصرف آب تبخیر-تعرق به‌ترتیب ۹/۹۳ کیلوگرم بر مترمکعب و ۱۰/۲۹ کیلوگرم بر مترمکعب بود. در پژوهش Erdem and Yuksel (2003) میزان ضریب پاسخ عملکرد محصول را ۱/۲۷ گزارش شده است. در این مطالعه به حساسیت هندوانه در طول دوره رشد به کمبود آب خاک تأکید شده است. بنابراین، هنگامی که هندوانه در مناطقی با منابع آبی محدود کشت می‌شود و حداکثر تولید در واحد حجم آب هدف‌گذاری می‌شود، هندوانه باید در تأمین آب نسبت به سایر گیاهان اولویت داشته باشد. هم‌چنین، Doorenbos and Kirmak and Şimşek et al. (2004)، Kassam (1979) و Dogan (2009) به‌ترتیب به ۱/۱، ۱/۱۵ و ۱/۱۴ اشاره نمودند و تأکید کردند که تفاوت در مقادیر تعیین شده ضریب پاسخ عملکرد محصول می‌تواند ناشی از شیوه‌های مدیریتی باشد. در مطالعه دیگری، Parkhiede et al. (2018) تأثیر تنش کم‌آبیاری بر رشد، عملکرد و شاخص‌های فیزیولوژیکی هندوانه رقم چارلستون‌گری پیوندی را در دانشگاه زنجان با تیمارهای آبیاری در سه سطح ۷۰، ۱۰۰ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه و تیمار پیوند شامل گیاهان پیوندی روی پایه هندوانه ابوجهل و گیاهان غیرپیوندی بررسی کردند. نتایج نشان داد، تنش کم آبیاری به‌طور معناداری رشد، عملکرد و کارایی مصرف آب را کاهش و درصد نشت یونی و محتوای پروتئین را افزایش داد. پایه هندوانه ابوجهل در شرایط آبیاری ۱۰۰ و ۷۰ درصد باعث کاهش غلظت کلسیم و

اندازه‌گیری بیش‌ترین عمق توسعه ریشه با روش پروفیل مستقیم و به میزان ۶۰ سانتی‌متر در رقم کریمسون و ۵۰ سانتی‌متر در رقم چارلستون بود. مقدار آب تحویلی به هر واحد آزمایشی توسط کنتور انجام شد. برخی از خصوصیات خاک مزارع مورد مطالعه در جدول ۱ و خصوصیات آب آن‌ها در جدول ۲ ارائه شده است.

بیان آبی و اندازه‌گیری رطوبت خاک به صورت وزنی استفاده شد (رابطه ۱).

$$d_n = \frac{(\theta_{FC} - \theta_i)}{100} \times D_r \quad (1)$$

در رابطه مذکور، θ_{FC} : درصد حجمی رطوبت خاک در ظرفیت زراعی، θ_i : درصد حجمی رطوبت خاک در منطقه ریشه در زمان آبیاری و D_r : عمق توسعه ریشه گیاه (سانتی‌متر) است.

جدول ۱- برخی از مشخصات خاک مزرعه مورد مطالعه
Table 1- Some characteristics of the SWRI institute's farm soil

| مزرعه (استان) | عمق خاک | شن (درصد) | سیلت (درصد) | رس (درصد) | بافت خاک | ظرفیت زراعی (درصد) | نقطه پژمردگی (درصد) | شوری (دسی‌زیمنس بر متر) |
|---------------|---------|-----------|-------------|-----------|-----------|--------------------|---------------------|-------------------------|
| | 0-30 | 46 | 30 | 24 | لوم | 27 | 14 | 1.5 |
| البرز | 30-60 | 45 | 33 | 22 | لوم | 25 | 12 | 1.7 |
| | 0-30 | 23 | 51 | 26 | سیلتی لوم | 28 | 11 | 3.2 |
| کرمان جنوبی | 30-60 | 28 | 50 | 22 | سیلتی لوم | 25 | 11 | 4.2 |

جدول ۲- برخی از مشخصات آب آبیاری مزرعه
Table 2- Some characteristics of the SWRI institute's farm water

| مزرعه (استان) | بی‌کربنات | کلراید | سدیم | منیزیم | کلسیم | اسیدیته | شوری (دسی‌زیمنس بر متر) |
|---------------|-----------|--------|------|--------|-------|---------|-------------------------|
| البرز | 116 | 13.5 | 12.6 | 4.9 | 55.2 | - | 0.39 |
| کرمان جنوبی | 150 | 40.9 | 32.4 | 7 | 79 | - | 0.9 |

پژوهش تابع Taftteh et al. (2013) است که بر اساس تعریف جدید برای توان رابطه Raes (2006) به صورت رابطه (۳) ارائه شده است:

$$\frac{y_a}{y_m} = \prod_{j=1}^n \left[1 - k_{y_i} \left(1 - \frac{ET_{a,j}}{ET_{m,j}} \right) \right]^{\frac{k_{y_i}}{\sum_{i=1}^n k_{y_i}}} \quad (3)$$

در این پژوهش با استفاده از داده‌های به‌دست آمده در مزرعه تحقیقات خاک و آب مقادیر ضریب حساسیت هندوانه برای هر دو تابع تولید با استفاده از روش چند پارامتری (Taftteh et al., 2014) واسنجی شد. برای ارزیابی نتایج از شاخص‌های آماری زیر استفاده شد. تحلیل داده‌ها با نرم‌افزارهای SPSS و برای مقایسه آماری بین نتایج توابع تولید، از شاخص‌های آماری موجود در رابطه‌های (۴) تا (۸) استفاده شد.

$$RMSE = \sqrt{\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2 \right)} \quad (4)$$

$$NRMSE = \sqrt{\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2 \right)} / O_{ave} \quad (5)$$

$$EF = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - O_{ave})^2} \quad (6)$$

پس از اعمال کم آبیاری‌ها در تیمارهای مختلف عملکرد هر تیمار اندازه‌گیری شد. همچنین، مقادیر نیاز آبی هندوانه با استفاده از سامانه نیاز آب مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور در شرایط استاندارد مورد بررسی قرار گرفت. سپس با استفاده از دو تابع تولید مقادیر ضرایب حساسیت رقم چارلستون تعیین شد. تابع تولید محصول نسبت به آب مقدار نسبی محصول را به ازای مقدار نسبی تبخیر-تعرق گیاه نشان می‌دهد. اگر فرض شود مقدار محصول در شرایط بدون تنش Y_m و مجموع تبخیر-تعرق گیاه در طی رشد ET_m باشد، با قرار گرفتن گیاه در برابر تنش آبی مقدار محصول کاهش یافته و به Y_a می‌رسد. یکی از معادلات فعلی، تابع Raes (2006) که یکی از توابع بسیار پر کاربرد در مدل شبیه‌سازی بیان آب و املاح است (رابطه ۲).

$$\frac{y_a}{y_m} = \prod_{j=1}^n \left[1 - k_{y_i} \left(1 - \frac{ET_{a,j}}{ET_{m,j}} \right) \right]^{\frac{\Delta t_j}{L_i}} \quad (2)$$

در رابطه بالا، Y_a و y_m به ترتیب عملکرد واقعی و حداکثر عملکرد محصول (کیلوگرم بر هکتار)، k_{y_i} : ضریب واکنش عملکرد محصول به آب، $ET_{a,j}$ و $ET_{m,j}$: به ترتیب تبخیر-تعرق واقعی و تبخیر-تعرق پتانسیل در زمان L_j ؛ بازه زمانی مورد نظر (روز)، n : تعداد مراحل دوره رشد و L_i : طول کل دوره رشد است. از دیگر توابع مطرح در این زمینه و مورد استفاده در این

جدول ۳- دوره‌های فنولوژی اندازه‌گیری شده در مزرعه
Table 3-Phenological periods measured in the field

| نام دوره | اولیه | توسعه | میانی | پایانی | کل |
|--------------|-------|-------|-------|--------|-----|
| رقم چارلستون | 20 | 40 | 30 | 20 | 110 |
| رقم کریسون | 10 | 45 | 30 | 20 | 105 |

جدول ۴- نتایج نیاز آبیاری اندازه‌گیری شده در تیمارهای آبیاری رقم چارلستون (مترمکعب در هکتار)

Table 4- The results of irrigation requirement measured in irrigation treatments of Charleston variety (m³.ha)

| ماه | دهه | تیمار درصد | | | |
|--------|-----|-----------------------|---------------|---------------|---------------|
| | | تیمار کامل | تیمار ۷۰ درصد | تیمار ۵۰ درصد | تیمار ۳۰ درصد |
| | | نیاز آبیاری استاندارد | نیاز آبیاری | نیاز آبیاری | نیاز آبیاری |
| خرداد | 1 | 127 | 127 | 127 | 127 |
| خرداد | 2 | 115 | 0 | 0 | 0 |
| خرداد | 3 | 183 | 183 | 183 | 0 |
| تیر | 1 | 318 | 0 | 0 | 0 |
| تیر | 2 | 478 | 478 | 478 | 478 |
| تیر | 3 | 535 | 535 | 0 | 0 |
| مرداد | 1 | 622 | 622 | 622 | 622 |
| مرداد | 2 | 725 | 725 | 0 | 0 |
| مرداد | 3 | 669 | 669 | 669 | 669 |
| شهریور | 1 | 602 | 0 | 0 | 0 |
| شهریور | 2 | 514 | 514 | 514 | 0 |
| جمع | - | 4888 | 3853 | 2594 | 1897 |

جدول ۵- نتایج نیاز آبیاری اندازه‌گیری شده در تیمارهای آبیاری رقم کریسون (مترمکعب در هکتار)

Table 5- The results of irrigation requirement measured in irrigation treatments of Charleston variety (m³ ha⁻¹)

| ماه | دهه | تیمار درصد | | | |
|---------|-----|-----------------------|---------------|---------------|---------------|
| | | تیمار کامل | تیمار ۷۰ درصد | تیمار ۵۰ درصد | تیمار ۳۰ درصد |
| | | نیاز آبیاری استاندارد | نیاز آبیاری | نیاز آبیاری | نیاز آبیاری |
| دی | 2 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| دی | 3 | 150 | 150 | 140 | 130 |
| بهمن | 1 | 200 | 0 | 0 | 0 |
| بهمن | 2 | 220 | 180 | 150 | 100 |
| بهمن | 3 | 250 | 180 | 150 | 100 |
| اسفند | 1 | 580 | 550 | 500 | 500 |
| اسفند | 2 | 660 | 500 | 300 | 200 |
| اسفند | 3 | 650 | 490 | 450 | 380 |
| فروردین | 1 | 590 | 0 | 0 | 0 |
| فروردین | 2 | 480 | 350 | 320 | 200 |
| فروردین | 3 | 350 | 250 | 220 | 196 |
| جمع | - | 4230 | 2750 | 2330 | 1906 |

$$MBE = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O_i - P_i) \right)^2 \quad (7)$$

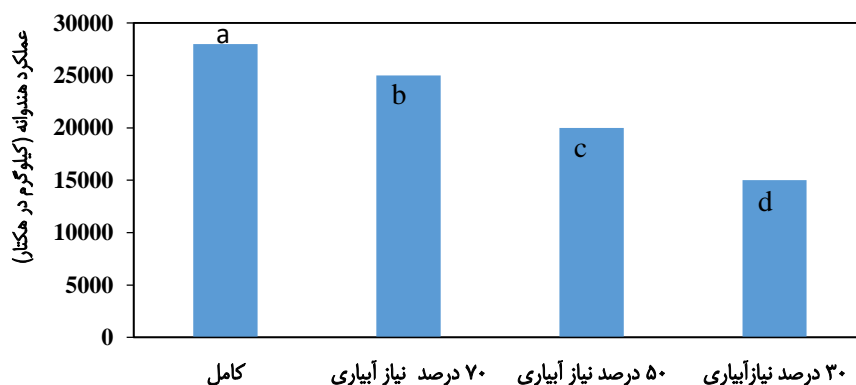
$$d = 1 - \frac{\sum_{t=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{t=1}^n (|P_i - O_i| + |O_i - O_{ave}|)^2} \quad (8)$$

در آن، RMSE؛ ریشه میانگین مربعات خطا، NRMSE؛ ریشه میانگین مربعات خطای نرمال، EF؛ ضریب کارایی مدل و MBE میانگین انحراف خطا، d؛ شاخص توافق یا سازگاری و R²؛ ضریب تبیین است. پارامترهای O، P، O_{ave} و n به ترتیب داده مشاهده شده، برآورد شده و میانگین داده‌های مشاهده‌ای و تعداد مشاهدات است. در ارزیابی مقادیر شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده است. اگر مقادیر RMSE و NRMSE به صفر نزدیک‌تر باشند، نشان دهنده این است که مدل شبیه‌سازی را بهتر انجام داده است. اگر ریشه میانگین مربعات خطا، کم‌تر از ۱۰ درصد باشد شبیه‌سازی عالی، بین ۱۰ تا ۲۰ درصد خوب، بین ۲۰ تا ۳۰ درصد متوسط و بالاتر از ۳۰ درصد، ضعیف برآورد شده است (Jamieson et al., 1991). میزان ضریب کارایی، بین منفی بی‌نهایت تا مثبت یک متغیر است و هرچه میزان آن به یک نزدیک‌تر باشد، مدل دارای کارایی بهتر و مقادیر شبیه‌سازی شده قابل اطمینان‌تر است (Willmott, 1982). میزان شاخص توافق یا سازگاری از منفی بی‌نهایت تا مثبت یک متغیر است و هرچه به یک نزدیک‌تر باشد، شبیه‌سازی مدل دارای کارایی بهتر است (Willmott, 1982).

۳- نتایج و بحث

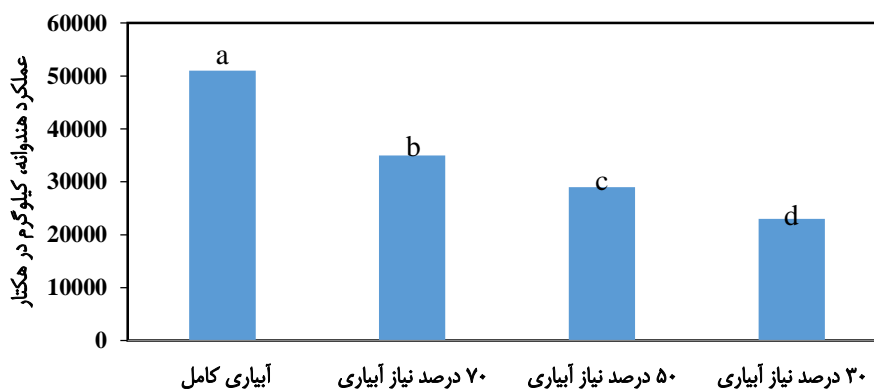
بررسی دوره‌های فنولوژی استاندارد (FAO 2016) در مورد تیمار آبیاری کامل اندازه‌گیری شد که در جدول ۳ نتایج هر دو رقم ارائه شده است. نتایج اندازه‌گیری آب آبیاری در بازه‌های آبیاری ۱۰ روزه برای رقم چارلستون و کریسون به ترتیب در جدول‌های ۴ و ۵ ارائه شده است. در این جداول، مقدار آب کاربردی در هر تیمار به تفکیک ارائه شد.

نتایج نشان می‌دهد که در تیمار آبیاری کامل ۴۸۰۰ مترمکعب آب مصرف شده و در تیمارهای ۷۰، ۵۰ و ۳۰ درصد نیاز آبیاری مقادیر ۳۸۰۰، ۲۵۰۰ و ۱۸۰۰ مترمکعب آب مصرف شده است. که در سامانه نیاز آب (Ebrahimipak et al., 2022) این مقدار ۵۱۸۰ مترمکعب تخمین زده شد که با عدد به‌دست آمده پنج درصد اختلاف دارد. نتایج تحلیل آماری مقادیر عملکرد به‌دست آمده در هر تیمار نیز در شکل‌های ۱ و ۲ ارائه شد. نتایج نشان می‌دهد که هندوانه در هر دو رقم به کم‌ترین مقدار تنش واکنش نشان داده است. لذا نسبت به کم آبیاری حساس بوده و لازم است با توجه به تیمارهای اعمال شده مقادیر تابع تولید در مورد آن‌ها مورد بررسی قرار گیرد.



شکل ۱- نتایج عملکرد هندوانه در تیمارهای آبیاری رقم چارلستون

Figure 1- Watermelon yield results in Charleston cultivar irrigation treatments



شکل ۲- نتایج عملکرد هندوانه در تیمارهای آبیاری رقم کریمسون

Figure 2- Watermelon yield results in Crimson cultivar irrigation treatments

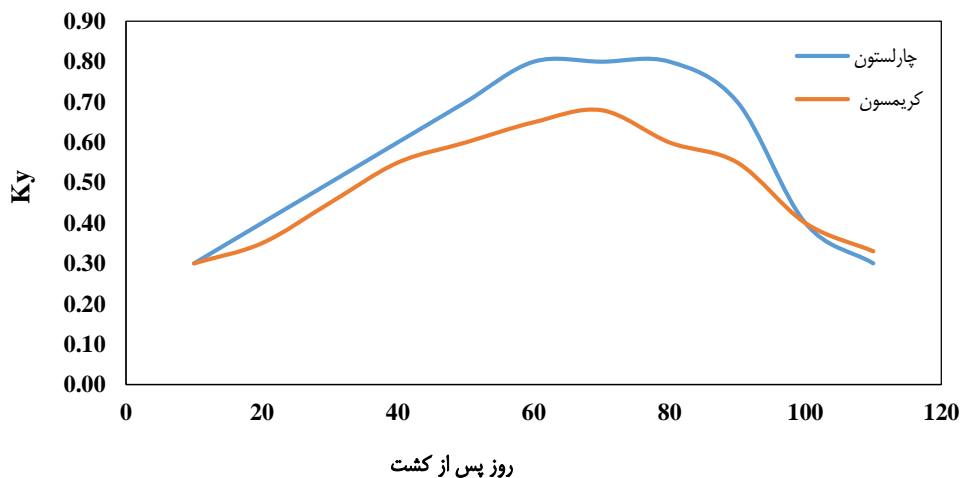
از این رو تابع تولید (2006) Raes و (2013) Taftah et al. برای تعیین ضرایب حساسیت و واسنجی مورد بررسی قرار گرفتند که نتایج ضرایب حساسیت هر دو رقم در شکل ۳ ارائه شده است. (2003) Erdem and Yuksel با بررسی ضریب حساسیت در دوره‌های مختلف رشد هندوانه در دوره ابتدایی ضریب حساسیت را ۰/۲۹ گزارش کردند که با ۰/۳ به دست آمده در شکل ۲ منطبق است. در دوره توسعه ضریب حساسیت را بین ۰/۳ تا ۰/۶ گزارش نمودند که در این مطالعه برای رقم کریمسون تا ۰/۷ و برای رقم چارلستون ۰/۸ به دست آمد که محدوده اعداد منطبق است. در دوره گل‌دهی این مقدار ۰/۶۸ گزارش کردند که در این مطالعه ۰/۷ تا ۰/۸ به دست آمد. لذا با توجه به این که رقم آن‌ها (Crimson Sweet) بوده است. بنابراین، این اختلاف در ارقام طبیعی است. همچنین، نتایج عملکرد هندوانه توسط هر دو تابع تولید بر اساس ضرایب هر دو رقم در شکل ۲ به دست آمد که نتایج تحلیل آماری آن در جدول ۶ ارائه شد.

نتایج شکل ۴ و ۵ نشان می‌دهد که بیش‌ترین بهره‌وری در هر دو رقم در کم آبیاری ۷۰ درصد به دست آمده است که کاملاً با نتایج گزارش شده (2018) khorravian and Zarifeenia منطبق است. از این‌رو، کم آبیاری به مقدار ۷۰ درصد نیاز آبی در دوره اولیه، توسعه و رسیدن هندوانه توصیه می‌شود و بهتر است از اعمال کم آبیاری در دوره میانی و گل‌دهی خوداری نمود. البته با توجه به سطح عملکرد بالای رقم کریمسون مقدار بهره‌وری آب در این رقم دو برابر رقم چارلستون است لذا از نظر بهره‌وری

از این رو تابع تولید (2006) Raes و (2013) Taftah et al. برای تعیین ضرایب حساسیت و واسنجی مورد بررسی قرار گرفتند که نتایج ضرایب حساسیت هر دو رقم در شکل ۳ ارائه شده است. (2003) Erdem and Yuksel با بررسی ضریب حساسیت در دوره‌های مختلف رشد هندوانه در دوره ابتدایی ضریب حساسیت را ۰/۲۹ گزارش کردند که با ۰/۳ به دست آمده در شکل ۲ منطبق است. در دوره توسعه ضریب حساسیت را بین ۰/۳ تا ۰/۶ گزارش نمودند که در این مطالعه برای رقم کریمسون تا ۰/۷ و برای رقم چارلستون ۰/۸ به دست آمد که محدوده اعداد منطبق است. در دوره گل‌دهی این مقدار ۰/۶۸ گزارش کردند که در این مطالعه ۰/۷ تا ۰/۸ به دست آمد. لذا با توجه به این که رقم آن‌ها (Crimson Sweet) بوده است. بنابراین، این اختلاف در ارقام طبیعی است. همچنین، نتایج عملکرد هندوانه توسط هر دو تابع تولید بر اساس ضرایب هر دو رقم در شکل ۲ به دست آمد که نتایج تحلیل آماری آن در جدول ۶ ارائه شد.

نتایج نشان می‌دهد که هر دو تابع نتایج قابل‌قبولی را برای تعیین عملکرد هندوانه ارائه نموده‌اند که تابع Taftah et al.

مصرف آب کشت رقم کریمسون نسبت به رقم چارلستون در اولویت است.



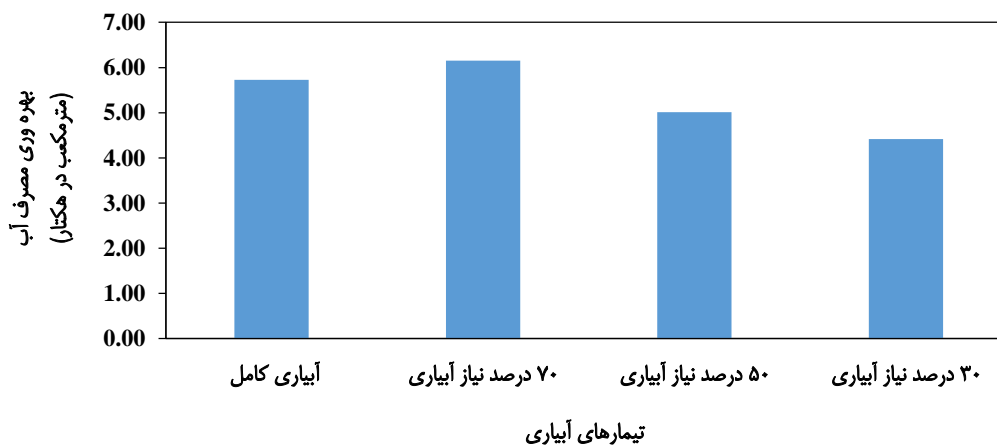
شکل ۳ - تغییر ضریب حساسیت گیاه هندوانه به تنش آبی

Figure 3- Changing the yield response factor of watermelon plant to water stress

جدول ۶ - تحلیل آماری نتایج عملکرد شبیه‌سازی شده با دو تابع تولید برای هر دو رقم هندوانه

Table 6 - Statistical analysis of simulated yield results with two production functions for both watermelon cultivars

| EF | d | MBE | NRMSE | RMSE | تابع تولید | رقم |
|------|------|------|-------|------|-----------------------|----------|
| 0.86 | 0.95 | 1645 | 0.085 | 1876 | Raes et al. (2006) | چارلستون |
| 0.98 | 0.99 | -119 | 0.023 | 497 | Tafteeh et al. (2013) | |
| 0.87 | 0.96 | 1840 | 0.152 | 1936 | Raes et al. (2006) | کریمسون |
| 0.96 | 0.98 | -536 | 0.095 | 568 | Tafteeh et al. (2013) | |



شکل ۴ - بهره‌وری مصرفی آب گیاه هندوانه در تیمارهای تنش آبی در رقم چارلستون

Figure 4- Water productivity of watermelon plant in water stress treatments in Charleston variety



شکل ۵- بهره‌وری مصرفی آب گیاه هندوانه در تیمارهای تنش آبی در رقم کریمسون

Figure 5- Water productivity of watermelon plant in water stress treatments in Crimson variety

در تیمار کم آبیاری ۷۰ درصد به‌دست آمد و رقم کریمسون دارای بهره‌وری مصرفی آب بالاتری است. لذا این رقم با کم آبیاری ۷۰ درصد برای کشت هندوانه توصیه می‌شود.

سپاسگزاری

از همکاری و مساعدت مرکز تحقیقات جنوب استان کرمان و پرسنل محترم مزرعه تحقیقاتی موسسه خاک و آب جهت اجرای پروژه‌های نیاز آبی هندوانه قدردانی می‌شود. همچنین، از مؤسسه تحقیقات خاک و آب جهت تأمین مالی اجرای پروژه سپاسگزاری می‌شود.

۴- نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر نشان داد که نیاز آبی استاندارد هندوانه در کرج حدود ۴۸۸ میلی‌متر و در منطقه جیرفت کرمان ۴۲۳ میلی‌متر است و با نیاز آبی تخمین زده شده توسط سامانه نیاز آبی انطباق مناسبی دارد. از طرف دیگر، بیش‌ترین ضریب حساسیت در دوره ۶۰ تا ۸۰ روز پس از کشت در دوره میانی رشد رخ داد و تابع تولید واسنجی شده با دقت مناسبی عملکرد گیاه را در تنش‌های اعمال شده برآورد کرد که شاخص‌های آماری رقم چارسلتون RMSE، NRMSE، MBE، d و EF به ترتیب ۰/۰۲، ۰/۰۹۵، ۰/۱۱۹، ۰/۹۹ و ۰/۹۸ و رقم کریمسون به ترتیب ۰/۵۶۸، ۰/۵۳۶، ۰/۹۸ و ۰/۹۶ به‌دست آمد. لذا ضرایب حساسیت و تابع تولید ارائه شده برای شبیه‌سازی عملکرد هر دو رقم هندوانه در شرایط تنش آبی پیشنهاد می‌شود. همچنین، بیش‌ترین بهره‌وری

References

- Abdelkhalik, A., Pascual-Sevaa, N., Inmaculada N., Ginerd A., Baixaulid, C., & Pascual, B. (2019). Yield response of seedless watermelon to different drip irrigation strategies under Mediterranean conditions. *Agricultural Water Management*, 212, 99–110. doi: 10.1016/j.agwat.2018.08.044
- Ahmadi, A. (2022). The effect of increasing water use efficiency on improving the status of groundwater resources using WEAP model in Qazvin Plain. *Water and Soil Management and Modelling*, 2(1), 53-62. doi: 10.22098/mmws.2022.9333.1034
- Bastos, E.A., Silva, C.R., Rodrigues, B.H.N., Andrade, J.R., & Ibiapina, L.M.M. (2012). Evapotranspiration and crop coefficient of drip irrigated watermelon in piaui coastline, Brazil. *Engenharia Agricola*, 32, 582-590. doi: 10.1590/S0100-69162012000300017
- Doorenbos, J., & Kassam, A.H. (1979). *Yield Response to Water*. FAO Publication, 33, Rome.
- Ebrahimipak, N., Egdernezhad, A., Tafteh, A., & Ahmadee, M. (2019). Evaluation of aquaCrop, WOFOST, and cropsyst to simulate rapeseed yield. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 13(3), 715-726. doi:20.1001.1.20087942.1398.13.3.14.4
- Ebrahimipak, N., Tafteh, A., Abbasi, F., & Baghani, J. (2022). Estimation the actual amount of wheat irrigation water using the NIAZAB system and compare with the farm measurement. *Iranian Journal of Soil and Water Research*. doi: 10.22059/ijswr.2022.346273.669328
- Egdernezhad, A., EbrahimiPak, N.A., Tafteh, A., & Ahmadee, M. (2019). Canola irrigation scheduling using AquaCrop model in Qazvin Plain. *Water Management in Agriculture*, 5(2), 53-64. doi: 20.1001.1.24764531.1397.5.2.7.2

- Erdem, Y., Erdem, T., Orta, A.H., & Okursoy, H. (2005). Irrigation scheduling for watermelon with crop water stress index (CWSI). *Journal of Central European Agriculture*, 6(4), 449-460. doi:10.22059/ijswr.2018.261912.667967
- Erdem, Y., & Yuksel, A.N. (2003). Yield response of watermelon to irrigation shortage. *Scientia Horticulturae*, 98(4), 365-383. doi:10.1016/S0304-4238(03)00019-0
- FAO, (2017). FAOSTAT Website. Accessed on 22 December 2017. <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>.
- FAO, (2016). AQUASTAT Website. Accessed on 2 January 2018. http://www.fao.org/nr/water/aquastat/water_use/index.stm.
- García-Mendivil, H.A., & Sorribas, F.J. (2021). Effect of citrullus amarus accessions on the population dynamics of meloidogyne incognita and M. javanica and watermelon yield. *Scientia Horticulturae*, 275, 109680. doi:10.1016/j.scienta.2020.109680
- Hochmuth, H., Thevs, N., & He, P. (2015). Water allocation and water consumption of irrigation agriculture and natural vegetation in the Heihe River watershed, NW China. *Environmental Earth Sciences*, 73, 5269-5279. doi:10.1007/s12665-014-3773-9.
- Jafari, P., Jalali, A.H., & Tadaionfar, S. (2016). Comparing the irrigation water efficiency, yield and yield components of watermelon in different depths of furrow and different plant densities. *Journal of Crop Production and Processing*, 5(18), 291-299. doi:10.18869/acadpub.jcpp.5.18.291
- Jamieson, P.D., Porter, J.R., & Wilson, D.R. (1991). A test of the computer simulation model ARCWHEAT1 on wheat crops grown in New Zealand. *Field Crops Research*, 27, 337-350. doi:10.1016/0378-4290(91)90040-3
- Kaab, A., Sharifi, M., Mobli, H., Nabavi-Pelesaraei, A., & Chau, K. (2019). Use of optimization techniques for energy use efficiency and environmental life cycle assessment modification in sugarcane production. *Energy*, 181, 1298-1320. doi:10.1016/j.energy.2019.06.002
- karimi, M., & Jolaini, M. (2017). Evaluation of agricultural water productivity indices in major field crops in Mashhad Plain (technical note). *Journal of Water and Sustainable Development*, 4(1), 133-138. doi: 10.22067/jwsd.v4i1.52783
- Khari, D., Egdernezhad, A., & Ebrahimipak, N. (2023). Comparison of artificial intelligence models and experimental models in estimating reference evapotranspiration (Case study: Ramhormoz synoptic station). *Water and Soil Management and Modelling*, 3(2), 112-124. doi: 10.22098/mmws.2022.11293.1117
- khorrarnian, M., & Zarifeenia, N. (2018). The effect of tape irrigation levels and scheduled surface irrigation on yield and irrigation water use productivity of two watermelon varieties in Khuzestan. *Irrigation Sciences and Engineering*, 41(1), 73-84. doi: 10.22055 /jise.2017.17185 .1244
- Kirnak, H., & Dogan, E. (2009). Effect of seasonal water stress imposed on drip irrigated second crop watermelon grown in semi-arid climatic conditions. *Irrigation Science*, 27,155-164. doi: 10.1007/s00271-008-0130-3
- Kuscu, H., Turhan, A., Ozmen, N., Aydinol, P., Buyukcangaz, H., & Demir, A.O. (2015). deficit irrigation effects on watermelon (citrullus vulgaris) in a sub humid environment. *The Journal of Animal and Plant Sciences*, 25,1652-1659. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1153835>
- Li, G.H., Zhao, B., Dong, S.T., Zhang, J.W., Liu, P., & Lu, W.P. (2020). Controlled-release urea combining with optimal irrigation improved grain yield, nitrogen uptake, and growth of maize. *Agricultural Water Management*, 227, 105834. doi:10.1016/j.agwat.2019.105834
- Miller, G.A., Farahani, H.J., & Lankford, D. (2010). Set points for watermelon drip irrigation using capacitance probes. Third International symposium of Soil Sensor, Spain, Pp. 185-195.
- Parkhideh, J., Barzegar, T., & Nekonam, F. (2018). Growth, yield and physiological responses of watermelon cv. Charleston Gray grafted on bitter apple (Citrullus colocynthis L.) rootstock under deficit irrigation stress. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 49(2), 539-550. doi: 10.22059/ijhs.2017.233823.1258
- Pejić, B., Mačkić, K., Pavković, S., Ljevnaić-Mašić, B., Aksić, M., & Gvozdanić-Varga, J. (2016). Water-yield relations of drip irrigated watermelon in temperate climatic conditions. *Contemporary Agriculture*, 65(1-2), 53-59. doi:10.1515/contagri-2016-0009
- Raes, D., Greets, E., Wellens, J., & Sahli, A. (2006). Simulation of yield decline as a result of water stress with a robust soil water balance model. *Agricultural Water Management*, 81, 335-357. Doi: eee: agiwat: v:81:y: 2006:i:3:p:335-357
- Şimşek, M., Kaçira, M., & Tonkaz, T. (2004). The effects of different drip irrigation regimes on watermelon [Citrullus lanatus (Thunb.)] yield and yield components under semi-arid climatic conditions. *Australian Journal of Agricultural Research*, 55(11), 1149-1157. <https://doi.org/10.1071/AR03264>
- Soltani, F., Shajari, M., & Noory, H. (2018). Evaluation of growth, yield, and water use efficiency and evaporation transpiration of some watermelon accessions at drought stress conditions under different irrigation regimes.

- Iranian Journal of Horticultural Science*, 49(2), 351-363. doi: 10.22059/ijhs.2017.207658.1020
- Steduto, P., Hsiao, T.C., Fereres, E., & Raes, D. (2012). Crop Yield Response to Water. FAO Irrigation and Drainage Paper, 66th Edition, Rome, Italy.
- Tafteh, A., Ebrahimipak, N.A., Babazadeh, H., & Kaveh, F. (2013). Evaluation of improvement of crop production functions for simulation winter wheat yields with two types of yield response factors. *Journal of Agricultural Science*, 5, 111-122. doi: 10.5539/jas.v5n3p111
- Tafteh, A., Babazadeh, H., Ebrahimipak, N.A., & Kaveh, F. (2014). Optimization of irrigation water distribution using the MGA method and comparison with a linear programming method. *Journal of Irrigation and Drainage*, 63(5), 590-598. doi:10.1002/ird.1869
- Turner, N.C. (2004). Agronomic options for improving rainfall-use efficiency of crops in dryland farming systems. *Journal of Experimental Botany*, 55, 2413-2425. doi: 10.1093/jxb/erh154
- Wang, H., Zhou, G.S., Jiang, Y.L., Shi, Y.H., & Xu, Z.Z. (2017). Photosynthetic acclimation and leaf traits of *Stipa bungeana* in response to elevated CO₂ under five different watering conditions. *Photosynthetica*, 55, 164-175. doi:10.1007/s11099-016-0239-1
- Wang, Z.H., Li, S.X., & Malhi, S. (2008). Effects of fertilization and other agronomic measures on nutritional quality of crops. *Journal Science Food Agriculture*, 88, 7-23. doi:10.1002/jsfa.3084
- Willmott, C.J. (1982). Some comments on the evaluation of model performance. *Bulletin of American Meteorology Society*, 63, 1309-1313. doi:10.1175/1520-0477(1982)063<1309:SCOTEO>2.0.CO;2
- Yang, H., Du, T., Qiu, R., Chen, J., Wang, F., Li, Y., Wang, C., Gao, L., & Kang, S. (2017). Improved water use efficiency and fruit quality of greenhouse crops under regulated deficit irrigation in northwest China. *Agricultural Water Management*, 179, 193-204.
- Yin, S.M. (2012). Research on water-saving and quality-regulated irrigation models of special economic crops in greenhouses in arid areas of Northwest China. D. Northwest A & F University. *Agronomy for Sustainable Development*, 36, 1-21.