Water and Soil Management and Modeling

Online ISSN: 2783 - 2546

University of Mohaghegh Ardabili

The impact of drought stress on the growth, yield, and water use efficiency of white sweet potato in autumn cultivation

Zahra Zakeri Darbaghi[1], Mohammadreza Torkizadeh [2], Mahdiye Nuradini [2], Hamidreza Kamali [3]*

[1] M.S. graduate, Department of Horticulture, College of Agriculture, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran
[2] B.S. student, Department of water science and engineering, Minab higher education center, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran
[3] Assistant Professor, Department of water science and engineering, Minab higher education center, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

Extended Abstract

Introduction

With the reduction of water resources in Iran, increasing the efficiency of water use in the agricultural sector has attracted the attention of researchers. Regarding water requirements, irrigation requirements, and crop water productivity, it is important for managers and decision-makers to adjust the cultivation information patterns of each region. In Iran, limited research has been conducted on sweet potatoes, and the extent of its production within the country remains unclear. Sweet potatoes are mostly grown in the cities of Minab, Jask, and parts of Sistan and Baluchestan province. In the study by Shamili et al. (2016), the effect of soil texture and irrigation method on improving yield and yield components of two sweet potato cultivars was investigated. Sweet potato is also used as a potential crop for animal feed and raw material in industry. Therefore, the research of Naseri et al. (2014) was conducted with the aim of cultivating sweet potato in the Minab region to produce fresh fodder, which shows the suitable ability of this plant for producing animal fodder. Given that Minab and Jask counties are significant producers of sweet potatoes in the nation, this study aimed to examine the impact of water stress on the growth and yield of sweet potato in the tropical region of Minab county.

Materials and Methods

This study was conducted in the research lysimeters of Minab Higher Education Center in 2024-2025 in a completely randomized design. The study area is located at an altitude of 29 meters above sea level at the latitude and longitude coordinates of 27° 5' 28" and 57° 5' 42", respectively. The study area is a tropical and humid region with a temperate climate in winter, and therefore most of the cultivation is done in the fall and winter. White sweet potato plant cuttings were planted at 40 cm intervals on the ridge on 2024/4/11. The lysimeters were irrigated to meet soil moisture deficiency. Irrigation treatments included (I_1) 120, (I_2) 100, (I_3) 80, and (I_4) 60 percent of the moisture requirement, and were performed in three replications. For proper establishment of the plants, the same irrigation rate was applied for all four treatments up to 40 days after planting, and then irrigation was performed based on moisture stresses. The irrigation rate was determined before irrigation and by using soil sampling from different depths. At the end of the growing season on 27/2/1404, the entire root crop as well as the plant were collected and weighed. Considering that not all produced tubers were suitable for the market and economically viable, the weight, diameter, and length of each sweet potato tuber were evaluated to determine their marketability. Those that met USDA standards were classified as marketable products. To calculate water use efficiency, the definition of irrigation water use efficiency (IWUE) was used.

Results and Discussion

Some parameters such as root weight, root dry weight, and total dry matter were significantly affected by drought stress, and other parameters such as irrigation water use efficiency based on tuber and total dry matter were not significant. The weight of the harvested tubers for treatments I_1 to I_4 was found to be 5846, 5224, 2852, and 2069 kg ha^{-1}, respectively. Additionally, the IWUE for all harvested tubers for treatments I_1 to I_4 were determined to be 1.20, 1.26, 0.97, and 0.83 kg m^{-3}, respectively. Drought stress up to 80% moisture supply (I_3) had no significant

Water and Soil Management and Modeling

Online ISSN: 2783 - 2546

University of Mohaghegh Ardabili

effect on yield reduction. A similar trend was observed for foliage fresh weight, with the difference that drought stress only caused a significant difference between the maximum stress (I_4) and minimum stress (I_1) treatments. Excessive water consumption in treatment I_1 only increased the weight of foliage and had no effect on the total weight of harvested tubers. Despite the fact that water stress had no effect on the IWUE of all tubers, the IWUE value for marketable tubers was significant. According to the results, the IWUE value of treatments I_1 and I_2 was at the same level, but applying stress in treatments I_3 and I_4 significantly reduced the IWUE of marketable tubers. The amount of applied water in treatment I_1 was 479 mm, treatment I_2 was 408 mm, treatment I_3 was 304 mm, and treatment I_4 was 241 mm, which was applied based on the supply of soil moisture deficiency. The actual evapotranspiration amount during the growing season was found to be 565, 494, 390, and 334 millimeters for treatments I_1 to I_4, respectively.

Conclusion

The effect of drought stress on the fresh weight of harvested tubers was significant. However, this effect was not significant on the IWUE. From this, it can be concluded that the sweet potato plant has the ability to adapt to drought conditions, such that with increasing drought stress, the IWUE remained constant and did not decrease. The product obtained in the present study was also evaluated in terms of marketability. The results showed that by separating the marketable product, the IWUE decreases. Also, by applying water stress, the IWUE decreases significantly. In other terms, water stress leads to a reduction in the quantity of marketable products, which has resulted in a notable decline in the Irrigation Water Use Efficiency (IWUE). Given the importance of economic issues, it is recommended that an economic analysis of this research be conducted to determine the impact of drought stress on crop profitability. Also, the response of other sweet potato cultivars to drought stress also requires a more comprehensive study.

Keywords: Pendal, Minab, Irrigation Water Use Efficiency, IWUE, Marketability

Article Type: Research Article

Acknowledgement

Minab Higher Education Center - University of Hormozgan is appreciated for its cooperation in the implementation of the project, including water supply. We also thank Mr. Ameri, the laboratory expert, Ms. Salari, and Mr. Jafari for their help and cooperation.

Conflicts of interest

The authors of this article declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.

Data Availability Statement:

The datasets are available upon a reasonable request to the corresponding author.

Authors' contribution

Zahra Zakeri Darbaghi: Harvesting, Irrigation, Laboratory measurement, original draft preparation
Mohammadreza Torkizadeh: Applying water treatments, Laboratory measurement, spraying, soil water measurements, harvesting
Mahdiye Nuraldini: Laboratory measurement, harvesting
Hamidreza Kamali: Supervision, statistical analysis, methodology, Manuscript editing

*Corresponding Author, E-mail: Hamidreza Kamali, hr.kamali@hormozgan.ac.ir

Citation: Zakeri Darbaghi, Z., Torkizadeh, M.R., Nuraldini, M. & Kamali, H. (2026). The impact of drought stress on the growth, yield, and water use efficiency of white sweet potato in autumn cultivation. *Water and Soil Management and Modeling*, 6(1), 241-251.

doi: 10.22098/mmws.2025.18475.1694

Received: 30 September 2025, Received in revised form: 18 October 2025, Accepted: 18 October 2025, Published online: 21 March 2026

Water and Soil Management and Modeling, Year 2026, Vol. 6, No. 1, pp. 241-251

Publisher: University of Mohaghegh Ardabili *© Author(s)*

مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک

شاپا الکترونیکی: ۲۵٤٦-۲۷۸۳

تاثیر تنش خشکی بر رشد، عملکرد و کارایی مصرف آب سیب‌زمینی شیرین سفید در کشت پاییزه

زهرا ذاکری درباغی[۱]، محمدرضا ترکی‌زاده[۲]، مهدیه نورالدینی[۲]، حمیدرضا کمالی[۳*]

[۱] فارغ التحصیل کارشناسی ارشد باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

[۲] دانشجوی کارشناسی گروه علوم و مهندسی آب، مجتمع آموزش عالی میناب، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

[۳] استادیار گروه علوم و مهندسی آب، مجتمع آموزش عالی میناب، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

چکیده

با کاهش روزافزون منابع آبی در ایران، افزایش بهره‌وری مصرف آب در بخش کشاورزی همواره از دغدغه‌های پژوهشگران بوده است. اطلاعات مربوط به نیاز آبی، نیاز آبیاری و بهره‌وری آب گیاهان زراعی کمک قابل توجهی به مدیران و تصمیم گیران جهت تنظیم الگوی کشت هر منطقه می‌کند. در پژوهش حاضر به بررسی اثر تنش آبی بر رشد و عملکرد گیاه سیب‌زمینی شیرین پرداخته شده است. این مطالعه در لایسیمترهای پژوهشی مجتمع آموزش عالی میناب در سال زراعی ۱۴۰۴-۱۴۰۳ و در قالب طرح کاملا تصادفی انجام شد. تیمارهای آبیاری شامل (I_1) ۱۲۰، (I_2) ۱۰۰، (I_3) ۸۰، (I_4) ۶۰ درصد نیاز رطوبتی بود که در سه تکرار اعمال شد. آبیاری لایسیمترها به صورت غرقابی جوی و پشته‌ای و بر اساس تامین کمبود رطوبتی خاک ناحیه‌ی ریشه ، تا حد زراعی، بود. نتایج نشان داد برخی پارامترها مانند وزن تر و خشک غده، وزن تر و خشک شاخه و کل ماده‌ی خشک تحت تاثیر معنی‌دار تنش خشکی قرار گرفته، و بقیه‌ی پارامترها از جمله کارایی مصرف آب آبیاری معنی‌دار نشده است. تنش خشکی تا سطح ۲۰ درصد (I_3) تاثیر معنی‌داری بر کاهش وزن تر غده و شاخه نداشت. مقدار وزن تر غده‌ی برداشت شده برای تیمارهای I_1 تا I_4 بترتیب برابر۵۸۴۶، ۵۲۲۴، ۲۸۵۲ و ۲۰۶۹ کیلوگرم بر هکتار بدست آمد. همچنین مقادیر کارایی مصرف آب برای کل غده‌های برداشت شده برای تیمارهای I_1 تا I_4 بترتیب برابر ۱/۲۰، ۱/۲۶، ۰/۹۷ و ۰/۸۳ کیلوگرم بر مترمکعب بدست آمد. مشخص شد که تنش آبی باعث کاهش تعداد غده‌ها شده است. چون مبحث بازار پسندی محصولات، از نظر اقتصادی مهم است، پس از جداسازی غده‌های بازار پسند بر اساس دستورالعمل USDA، مجددا تحلیل آماری انجام شد و نتایج نشان داد که تنش آبی تاثیر معناداری در سطح آماری ۵ درصد بر کاهش کارایی مصرف داشته است بطوریکه کارایی مصرف آب برای غده‌های بازارپسند برای تیمارهای I_1 تا I_4 بترتیب برابر ۰/۹۰، ۰/۷۳، ۰/۴۳ و ۰/۷۰ کیلوگرم بر مترمکعب بدست آمد. نتایج نشان داد که علاوه بر تاثیر تنش خشکی بر مقدار محصول، تاثیر تنش خشکی بر بازارپسندی محصول نیز حایز اهمیت است و بایستی مورد بررسی قرار گیرد.

کلمات کلیدی: پندال، میناب، کارایی استفاده از آب آبیاری، IWUE، بازارپسندی

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: حمیدرضا کمالی، hr.kamali@hormozgan.ac.ir

استناد: ذاکری درباغی، زهرا، ترکی‌زاده، محمدرضا، نورالدینی، مهدیه، کمالی، حمیدرضا (۱۴۰۵). تاثیر تنش خشکی بر رشد، عملکرد و کارایی مصرف آب سیب‌زمینی شیرین سفید در کشت پاییزه. *مدل سازی و مدیریت آب و خاک*، ۶ (۱)، ۲۴۱ -۲۵۱ .

doi: 10.22098/mmws.2025.18475.1694

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۷/۰۸، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۷/۲۶، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۲۶، تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۱/۰۱

مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک، سال ۱۴۰۵، دوره ۶، شماره ۱، صفحه ۲۴۱ تا ۲۵۱

ناشر: دانشگاه محقق اردبیلی

© نویسندگان

مقدمه

سیب‌زمینی شیرین یا پندال [*Ipomoea batatas* (L.) Lam] گیاهی علفی و دولپه از خانواده پیچک‌سانان است که در سراسر نواحی حاره‌ای و معتدله گرم دنیا (حدفاصل عرض‌های جغرافیایی ۴۰ درجه شمالی و جنوبی و تا ارتفاع ۲۳۰۰ متر از سطح دریا) ، پرورش می‌یابد. سیب‌زمینی شیرین هفتمین محصول غذایی مهم دنیا بعد از برنج، گندم، ذرت، سیب‌زمینی، جو و کاساوا است. در رتبه‌بندی سطح زیر کشت، کشورهای چین، اوگاندا، تانزانیا، اندونزی، آنگولا، ویتنام، هندوستان، روآندا، بروندی و هائیتی به‌ترتیب رده‌های اول تا دهم را به خود اختصاص داده‌اند. بر اساس آمار فائو میزان عملکرد وزن تازه کل شاخساره سیب‌زمینی شیرین بین ۱۱ تا ۴۵/۷ تن در هکتار متغیر است. سیب‌زمینی شیرین منبع انرژی و دارای انواع قند، کربوهیدرات‌ها، کلسیم، آهن و سایر مواد کانی و انواع ویتامین به‌ویژه ویتامین‌های آ و ث است. همچنین این گیاه حاوی نشاسته، پروتئین و مواد معدنی می‌باشد (Stathers and Low, 2018).

در ایران پژوهش‌های اندکی بر روی سیب زمینی شیرین انجام شده است و میزان تولید آن در کشور مشخص نیست. محل کاشت سیب‌زمینی شیرین بیشتر در شهرهای میناب، جاسک و مناطقی از استان سیستان و بلوچستان می‌باشد. در پژوهش Shamili et al. (2016) اثر بافت خاک و روش آبیاری بر بهبود عملکرد و اجزای عملکرد دو رقم سیب‌زمینی شیرین مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که وزن تر شاخساره، نسبت شاخساره به ریشه، تعداد، وزن و قطر ریشه ذخیره ای، طول بوته، تعداد شاخه و برگ، درصد قندهای احیاءکننده، قند کل و شاخص بهره‌وری مصرف آب به طور معنی‌داری در سطح آماری ۵ درصد تحت تأثیر بافت خاک قرار گرفتند. به جز صفت تعداد ریشه ذخیره‌ای، سایر صفات به طور معنی‌داری در سطح آماری ۵ درصد تحت تأثیر نوع روش آبیاری قرار گرفتند. بیشترین بهره‌وری مصرف آب در خاک لومی با آبیاری قطره‌ای به ترتیب ۵/۴۹۲ و ۴/۵۶۹ کیلوگرم بر متر مکعب در دو رقم سفید و قرمز بود.

سیب زمینی شیرین به عنوان یک محصول مستعد جهت مصرف انسان و خوراک دام و ماده خام در صنعت، دارای بیش از ۷۰ درصد ماده خشک قابل هضم می باشد. از همین رو جهت تولید علوفه نیز گزینه‌ی مناسبی است. در پژوهش Naseri et al. (2014) با هدف امکان کشت پندال در منطقه‌ی میناب جهت تولید علوفه‌ی تر و نیز تعیین مناسب ترین تاریخ کشت، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با دو عامل تاریخ کاشت (در سه سطح اول، پانزدهم و سی ام شهریور ماه) و رقم (شامل رقم سفید و رقم قرمز) در ۴ تکرار در منطقه میناب در سال ۱۳۹۰ به اجرا درآمد. بر مبنای نتایج حاصل از این تحقیق، کاشت رقم قرمز سیب زمینی شیرین در اول شهریورماه جهت تولید علوفه در منطقه‌ی میناب توصیه شده است.

نتایج پژوهش Zhou et al. (2022) نشان داد که تنش خشکی در مقایسه با آبیاری کامل، رشد سیب‌زمینی شیرین در اندام‌های هوایی و زیرزمینی را مهار کرده و عملکرد سیب‌زمینی شیرین با افزایش خشکی کاهش می‌یابد. همچنین تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد که در اثر تنش خشکی سرعت خالص فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای و سرعت تعرق برگ‌های سیب‌زمینی شیرین به طور قابل توجهی کاهش یافت. با این وجود غلظت بالاتر کربوهیدرات‌ها، اسیدهای آمینه، فلاونوئیدها و اسیدهای آلی موجود در برگ‌های تحت تنش خشکی نشان می‌دهد که این متابولیت‌ها ممکن است مقاومت به خشکی سیب‌زمینی شیرین را بهبود بخشند (Huang et al., 2025).

برخی پژوهش‌ها نشان دهنده‌ی آن است که تاثیر تنش خشکی بر رشد و عملکرد ارقام مختلف سیب زمینی شیرین متفاوت است بطوریکه برخی ارقام سازگاری بهتری با شرایط خشکی دارند (Laurie et al., 2015). ارقام مقاوم سیب زمینی شیرین، ABA را در اندام‌های هوایی تجمع داده و محتوای ABA در غده‌ها را به طور قابل توجهی کاهش می‌دهند. سیگنالینگ ABA با کاهش تبعیض ایزوتوپی کربن و شاخص محتوای کلروفیل و افزایش کارایی مصرف آب مرتبط است، که تلاشی برای مقابله با تنش آبی از طریق بستن جزئی روزنه‌هاست (Gouveia et al., 2021).

در پژوهش Önder et al. (2015) به بررسی تأثیر روش‌های مختلف آبیاری و سطوح آبیاری بر راندمان مصرف آب، عملکرد و ویژگی‌های عملکرد سیب‌زمینی شیرین پرداخته شده است. نتایج نشان داد که علاوه بر مقدار آبیاری، روش آبیاری نیز بر مقدار محصول موثر است.

با استفاده از مدل‌های رشد گیاهی نیز می‌توان به بررسی میزان تاثیر تنش‌های مختلف از جمله تاثیر تنش آبی بر رشد و عملکرد گیاهان مختلف پرداخت. در پژوهش Somasundaram & Mithra (2008) مدل رشد و عملکرد سیب زمینی شیرین ارائه شده است. برخی از مدل‌های موجود مانند Aquacrop نیز قابلیت پیش بینی رشد و عملکرد سیب زمینی شیرین را نیز دارد (Rankine et al., 2015). همچنین مدل SSM ارائه شده در پژوهش Kamali et al. (2022) یک مدل رشد چغندرقند است که با توجه به غده‌ای بودن محصول، قابلیت اصلاح و بازنویسی برای سیب زمینی شیرین را دارد.

تأثیر فواصل مختلف آبیاری و سیستم‌های کاشت بر رشد رویشی، عملکرد ریشه ذخیره‌ای و کیفیت سیب‌زمینی شیرین رقم

ستاره سفید در پژوهش Saqib et al. (2017) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد با افزایش فاصله آبیاری، طول تاک، تعداد شاخه‌ها و میانگین سطح برگ به‌طور قابل توجهی کاهش یافت. کاشت ردیفی در محصول زمستانه در مقایسه با کاشت کرتی، تاک‌های بلندتری با سطح برگ بیشتر تولید کرد. پارامترهای عملکرد (طول ریشه ذخیره‌ای، قطر ریشه ذخیره‌ای، تعداد و وزن تازه ریشه‌های قابل فروش در هر بوته) به‌طور مستقیم با رشد رویشی، به ویژه در محصول تابستانه، مرتبط بودند. در شرایط تنش آبی، با کاهش رشد رویشی، عملکرد ریشه ذخیره‌ای نیز کاهش یافت. با این حال، ویژگی‌های عملکرد تحت تأثیر سیستم‌های کاشت قرار نگرفتند.

علاوه بر تاثیر تنش خشکی بر خصوصیات فیزیکی از جمله مقدار محصول، بر کیفیت محصول سیب زمینی شیرین نیز موثر است. Yoshida et al., (2020) گزارش کردند که تنش خشکی در سیب زمینی شیرین منجر به افزایش ترکیبات فنولی آنتی‌اکسیدانی، کاروتنوئیدها، آنتوسیانین‌ها و پرولین می‌شود، اگرچه این افزایش برای کاهش کامل استرس کافی نیست.

تحقیقات نشان می‌دهد که تنش خشکی تأثیر منفی قابل توجهی بر عملکرد بازاری سیب زمینی شیرین دارد. بر اساس مطالعات انجام شده روی رقم 'جیشو ۲۱'، تنش خشکی در مراحل مختلف رشد باعث کاهش معنی‌دار ماده خشک، زیست‌توده، و شاخص برداشت می‌شود. میزان کاهش در ماده خشک گیاهان تحت شرایط تنش خشکی کامل، تنش در مرحله اولیه رشد، مرحله میانی رشد و مرحله انتهایی رشد به ترتیب ۴۵.۳، ۳۳.۱، ۳۱.۳ و ۱۴.۲ درصد گزارش شده است (Zhang et al., 2018).

پژوهش‌های انجام شده نشان می‌دهد که اعمال تنش در مراحل مختلف رشد می‌تواند تاثیرات متفاوتی ایجاد کند. Wang et al., (2019) دریافتند که تنش خشکی در مراحل اولیه رشد باعث کاهش قطر متوسط ریشه و حجم ریشه می‌شود که مستقیماً بر شکل و اندازه غده‌ها و در نتیجه بازارپسندی تأثیر می‌گذارد.

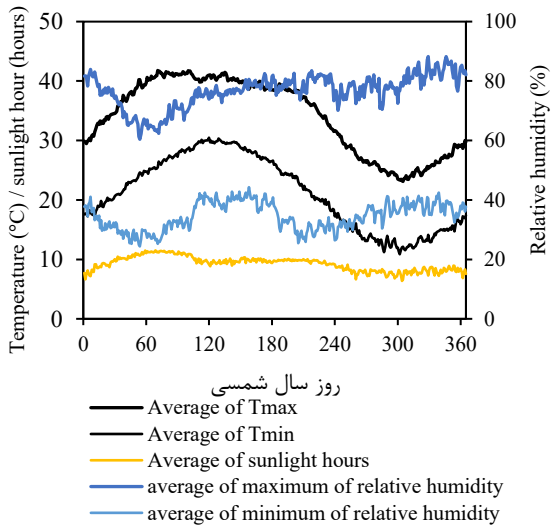
با توجه به اینکه شهرستان میناب و جاسک از عمده مناطق تولید سیب زمینی شیرین در کشور بوده که علاوه بر گرم و خشک بودن منطقه، بحران آب و خشکسالی نیز فشار مضاعفی بر کشاورزی منطقه وارد کرده است. بنابراین مطالعات مربوط به اثرات تنش خشکی بر کشاورزی منطقه می‌تواند به تصمیم‌گیران و کشاورزان در اتخاذ رویکرد مناسب کمک کند. از این رو هدف از پژوهش حاضر بررسی تاثیر تنش آبی بر رشد و عملکرد سیب زمینی شیرین در منطقه‌ی گرمسیری شهرستان میناب می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در لایسیمترهای پژوهشی مجتمع آموزش عالی میناب در سال زراعی ۱۴۰۴-۱۴۰۳ و در قالب طرح کاملا تصادفی انجام شد. آزمایش در خاکی با بافت لومی و خصوصیات مندرج در جدول ۱ اجرا شد. لایسیمترها از نوع لایسیمتر حجمی به شکل مستطیلی و با مساحت تقریبی ۳/۳×۲/۴ مترمربع و عمق حدود ۱/۵ متر بوده که امکان اندازه‌گیری زه آب خروجی را دارد.

منطقه‌ی مورد مطالعه با ارتفاع ۲۹ متر از سطح دریا در مختصات طول و عرض جغرافیایی "۴۲ '۵ °۵۷ و "۲۸ '۵ °۲۷ قرار دارد. این منطقه جز نواحی گرمسیری و مرطوب است که در فصل زمستان دارای آب و هوای معتدل بوده و از همین رو بیشتر کشت و کار در فصل پاییز و زمستان انجام می شود. در شکل ۱ میانگین ۳۵ ساله‌ی اخیر حداکثر دما، حداقل دما، ساعت آفتابی، رطوبت نسبی حداکثر و رطوبت نسبی حداقل نشان داده شده است. میانگین بارندگی بلند مدت سالانه در منطقه برابر ۲۱۹ میلی‌متر، و میانگین بارندگی بلند مدت در فصل کشت و کار (پاییز و زمستان) برابر ۱۹۳ میلی متر است.

قبل از انجام آزمایش، کود پوسیده دامی و مرغی به میزان مناسب با خاک بستر مخلوط و بستر خاک به صورت جوی و پشته با فاصله پشته‌ها برابر ۶۰ سانتی‌متر آماده گردید. قلمه‌های بوته‌ی سیب زمینی شیرین سفید در فواصل ۴۰ سانتی متری بر روی پشته، و در تاریخ ۱۴۰۳/۸/۱۴کاشته شد. برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه‌ی مورد مطالعه در جدول ۱ نشان داده شده است. چنانچه مشاهده می‌شود خاک مورد آزمایش دارای بافت سبک بوده که برای رشد گیاهان غده ای مناسب است.



شکل ۱- مقادیر میانگین بلند مدت عوامل هواشناسی منطقه‌ی مورد مطالعه

Figure1. average values of meteorological factors of the study area

آبیاری لایسیمترها به صورت غرقابی جوی و پشته‌ای و بر اساس تامین کمبود رطوبتی خاک بود که تیمارهای آبیاری شامل ۱۲۰(I۱)، ۱۰۰(I۲)، ۸۰(I۳)، ۶۰(I۴) درصد نیاز رطوبتی و در سه تکرار انجام شد. مقدار و زمان آبیاری‌های انجام شده در شکل ۲ بر حسب روز بعد از کاشت نشان داده شده است. جهت استقرار کامل قلمه ها و تولید برگ‌های جدید تا ۴۰ روز بعد از کاشت میزان آبیاری یکسان برای هر چهار تیمار اعمال، و بعد از آن بر اساس تنش‌های رطوبتی آبیاری انجام شد. تعیین مقدار آبیاری، با کمک تعیین رطوبت خاک قبل از آبیاری و با استفاده از نمونه گیری وزنی از اعماق مختلف با استفاده از مته‌ی خاک انجام شد. به این ترتیب که نمونه‌ها یک روز قبل از آبیاری گرفته شد و بعد از توزین، در آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی گراد و به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شد. سپس بر اساس معادله‌ی زیر عمق آبیاری محاسبه گردید:

$$d = \sum_1^n (FC_i - \theta_i) \times \Delta z_i \qquad (۱)$$

که در آن FC_i رطوبت ظرفیت زراعی در لایه‌ی iام، θ_i رطوبت در لایه‌ی iام و Δz_i ضخامت لایه‌ی i می باشد. با فرض ضریب تخلیه‌ی مجاز رطوبتی پنجاه درصد، دور آبیاری ۴ روز محاسبه شد.

مقدار تبخیر-تعرق واقعی در طول فصل رشد بر اساس روش بیلان آب خاک محاسبه گردید (Khozaei et al., 2020):

$$ET_a = d + R - R_0 - DP - DS \qquad (۲)$$

که در آن مقدار R بارندگی موثر، R_0 مقدار رولناب، DP نفوذ عمقی و DS تغییرات رطوبتی خاک می باشد.

در پژوهش حاضر نیاز آبشویی اعمال نشد و نفوذ عمقی (معادل زه آب خروجی از لایسیمتر) نیز برابر صفر بود. همچنین به این دلیل که کرت ها کوچک و محصور بود، مقدار رواناب صفر، و توزیع آب نیز یکسان فرض شد. از همین رو راندمان آبیاری ۱۰۰ درصد در نظر گرفته شد. مقدار بارندگی در فصل کشت برابر ۱۱۶/۸ میلی‌متر بوده که مقدار موثر آن از معادله‌ی زیر محاسبه شد (Muratoglu et al., 2023):

$$P_{eff} = \begin{cases} \frac{P(125-0.2P)}{125}, & P \le 250\ mm \\ 125 + 0.1P, & P > 250\ mm \end{cases} \qquad (۳)$$

که در آن P_{eff} مقدار بارش موثر و P مقدار بارندگی می‌باشد.

جهت کنترل و مدیریت آفات و بیماری‌ها، عملیات سمپاشی در تاریخ ۱۴۰۳/۹/۴ با استفاده از سم ایمیدا کلوپراید ۳۵٪ و آبامکتین ۱/۸ ٪ انجام شد. همچنین حذف علف‌های هرز بصورت دستی و چندین مرتبه در طول فصل رشد صورت پذیرفت.

در انتهای فصل رشد در تاریخ ۱۴۰۴/۲/۲۷ کل محصول ریشه و بوته جمع آوری و توزین شد. با توجه به اینکه تمام غده های تولید شده بازار پسند نبوده و از نظر اقتصادی مزیت ندارند، خصوصیات وزن، قطر و طول هر غده‌ی سیب زمینی شیرین جهت ارزیابی بازارپسندی اندازه گیری شد. بر اساس استاندارد ارائه شده توسط وزرات کشاورزی ایالات متحده (USDA, 2005)، غده‌های تولیدی با قطر کمتر از ۱/۵ اینچ (معادل ۳/۸ سانتی‌متر) یا وزن بیشتر از ۳۶ انس (معادل ۱۰۲۱ گرم) در دسته‌بندی محصول استاندار قرار نمی‌گیرد. تحلیل آماری صفات برداشت شده با استفاده از نرم افزار SAS نسخه‌ی 9.4 انجام شد.

جهت محاسبه‌ی کارایی استفاده از آب، از تعریف کارایی استفاده از آب آبیاری (IWUE[1]) استفاده شد (Piri and Naserin, 2020):

$$IWUE = \frac{Y}{IR} \qquad (۴)$$

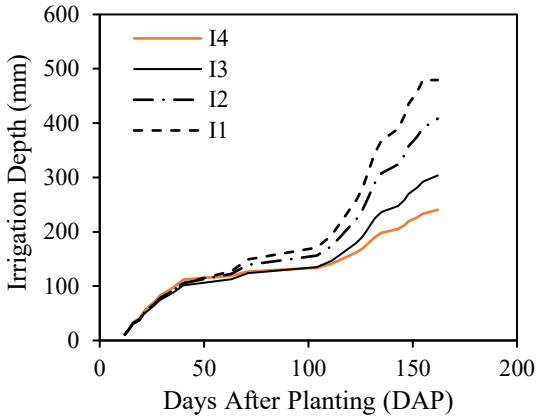
که در آن Y مقدار محصول تولیدی ($kg\ ha^{-1}$) و IR مقدار آب آبیاری ($m^3\ ha^{-1}$) می باشد. در قسمت نتایج، کارایی استفاده از آب آبیاری بر اساس غده، یا بر اساس کل بوته‌ی برداشت شده، محاسبه گردید.

جدول۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش

Table 1. Physical and chemical properties of the soil

درصد ازت کل	EC (dS/m)	pH	بی کربنات ($meq\ L^{-1}$)	چگالی ظاهری ($gr\ cm^3$)	٪ FC	درصد رس	درصد سیلت	درصد شن	بافت
0.09	4.17	7.5	14.0	1.36	22	13	41	46	Loam

[1] Irrigation Water Use Efficiency



شکل۲- میزان و زمان آبیاری اعمال شده در تیمارهای مختلف

Figure2. Amount and time of irrigation applied in different treatments

نتایج و بحث

نتایج تجزیه‌ی واریانس صفات اندازه‌گیری شده‌ی مربوط به کل محصول در جدول ۲ نشان داده شده است. چنانچه مشاهده می شود برخی پارامترها مانند وزن ریشه، وزن خشک ریشه و کل ماده‌ی خشک تحت تاثیر معنی‌دار تنش خشکی قرار گرفته، و بقیه‌ی پارامترها از جمله کارایی مصرف آب آبیاری بر اساس غده و کل ماده خشک معنی‌دار نشده است.

در جدول ۳ مقایسه‌ی میانگین صفات مورد بررسی کل محصول برداشت شده ارائه شده است. چنانچه مشاهده می شود تنش خشکی تا سطح ۸۰ درصد تامین رطوبتی ($I_۳$) تاثیر معنی‌داری بر کاهش محصول نداشته است. در مورد وزن تر شاخ و برگ نیز روند مشابهی دیده می شود با این تفاوت که تنش خشکی تنها باعث ایجاد اختلاف معنی‌دار بین تیمار حداکثر تنش ($I_۴$) و حداقل تنش ($I_۱$) شده است. از مقایسه‌ی بین نتایج معنی‌داری غده و شاخه در جدول ۲ می‌توان اینگونه نتیجه گرفت که مصرف بیش از نیاز آبی در تیمار $I_۱$ تنها باعث افزایش وزن شاخ و برگ شده و تاثیری بر وزن کل غده های برداشت شده نداشته است. پژوهش Gajanayake et al. (2016) نیز نتایج مشابهی در پی داشته است بطوریکه با افزایش آبیاری، تخصیص زیست توده به ریشه‌های ذخیره‌ای به صورت خطی کاهش و تقسیم برگ و ساقه افزایش یافته است.

مطابق جدول ۲، در مورد ماده‌ی خشک تولیدی نیز نتایج مشابهی دیده می‌شود چنانچه مصرف بیش از نیاز آبی در تیمار $I_۱$ در مقایسه با تامین به اندازه‌ی نیاز آبی در تیمار $I_۲$، باعث افزایش ماده خشک ریشه نشده است.

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مورد بررسی کل محصول برداشت شده در تیمارهای مختلف تنش آبی

Table 2. Analysis of variance of the studied traits of the total harvested crop in different water stress treatments

		میانگین مربعات						
منابع تغییر	درجه آزادی	وزن تر غده ($kg\ ha^{-1}$)	وزن خشک غده ($kg\ ha^{-1}$)	وزن تر شاخه ($kg\ ha^{-1}$)	وزن خشک شاخه ($kg\ ha^{-1}$)	کل ماده خشک ($kg\ ha^{-1}$)	کارایی مصرف آب غده ($kg\ m^{-3}$)	کارایی مصرف آب کل ($kg\ m^{-3}$)
تنش آبی	3	9730519*	1308352*	5352593 ns	234697 ns	2506086*	0.1222 ns	0.1433 ns
خطا	8	2232485	249119	1681313	73724	589247	0.2050	0.7208
ضریب تغییرات (٪)		37.1	36.9	38.6	38.6	37.3	42.5	42.1

ns، * و ** به‌ترتیب به معنی عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح ۵ درصد و معنی‌داری در سطح ۱ درصد می باشد.

جدول ۳- مقایسه‌ی میانگین صفات مورد بررسی کل محصول برداشت شده در تیمارهای مختلف تنش آبی

Table 3. Comparison of means of the studied traits of the total harvested crop in different water stress treatments

تیمار آبی	وزن تر غده ($kg\ ha^{-1}$)	وزن خشک غده ($kg\ ha^{-1}$)	وزن تر شاخه ($kg\ ha^{-1}$)	وزن خشک شاخه ($kg\ ha^{-1}$)	کل ماده خشک ($kg\ ha^{-1}$)	کارایی مصرف آب غده ($kg\ m^{-3}$)	کارایی مصرف آب کل ($kg\ m^{-3}$)
$I_۱$	5846 a	2042 a	5265 a	1103 a	3144 a	1.20 a	2.3 a
$I_۲$	5224 a	1769 ab	3192 ab	668 ab	2438 ab	1.26 a	2.07 a
$I_۳$	2952 ab	968 bc	2777 ab	582 ab	1550 b	0.97 a	1.90 a
$I_۴$	2069 b	637 c	2196 b	460 b	1097 b	0.83 a	1.80 a

مقادیر ستونی که با حروف مشابه نام‌گذاری شده است، در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن معنی‌دار نشده است

خصوصیات وزن، قطر و طول هر غده اندازه‌گیری شد تا بتوان بر اساس آن محصولات بازارپسند را جدا کرد. در جدول ۴ رابطه‌ی بین وزن غده با طول و قطر غده در تیمارهای مختلف آبی و به روش تحلیل واریانس (ANOVA[2]) با استفاده از نرم افزار Excel بدست آمد. چنانچه مشاهده می‌شود معادلات بدست آمده برای هر چهار تیمار معنی‌دار بوده و ضرایب معادله نیز دارای معنی‌داری بالای هستند (به جز ضریب طول و عرض از مبدا مربوط به تیمار $I_۴$). نتایج بدست آمده در جدول ۴ نشان دهنده‌ی این موضوع است که تنش آبی باعث کاهش تعداد غده‌های برداشتی شده است.

با توجه به اینکه تمام محصول غده‌ی برداشت شده بازارپسند نبود، غده های با منطبق با استاندارد USDA به عنوان محصول بازارپسند جدا شد. در جداول ۵ و ۶، تجزیه‌ی واریانس و مقایسه‌ی میانگین مربوط به صفات غده ارائه شده است. چنانچه مشاهده می‌شود وزن تر و خشک غده‌ی های بازارپسند در $I_۴$ در یک سطح می باشد که این مسئله نشان دهنده‌ی آن است که مصرف بیش از نیاز آبی، تاثیر مثبتی بر افزایش محصول بازارپسند نداشته است. از طرف دیگر وزن تر و خشک غده‌ی های بازارپسند در تیمارهای $I_۳$ و $I_۴$ نیز در یک سطح می باشد که به این معنی است که تنش ۴۰ درصد ($I_۴$) نسبت به تنش ۲۰ درصد ($I_۳$) باعث کاهش محصول بازارپسند نشده است. مشابه این نتایج در پژوهش Zhang et al. (2018) نیزمشاهده شد بطوریکه تنش آبی تاثیر قابل توجهی بر بازارپسندی محصول داشته است.

جدول ٤– روابط رگرسیونی بدست آمده بین وزن (W) با طول (L) و قطر (D) غده در تیمارهای مختلف آبی

Table 4. Regression relationships obtained between weight (W) and length (L) and diameter (D) of tubers under different water treatments

تیمار آبی	تعداد	R^2	*P-value*			*Significance F*	معادله
			ضریب قطر	ضریب طول	عرض از مبدا		
$I_۱$	38	0.80	0.01 >	0.01 >	0.01 >	5.8×10^{-13}	W = 74.4 D + 8.6 L –286.4
$I_۲$	39	0.91	0.01 >	0.01 >	0.01 >	2.2×10^{-19}	W = 36.4 D + 6.5 L – 132.3
$I_۳$	24	0.83	0.01 >	0.01 >	0.01 >	9.3×10^{-9}	W = 42.3 D + 5.2 L – 133.0
$I_۴$	15	0.81	0.01 >	0.08	0.07	4.7×10^{-5}	W = 26.0 D + 3.9 L – 82.4

تاثیر جداسازی غده‌های بازار پسند بر صفات وزن تر و کارایی مصرف آب آبیاری (IWUE) بترتیب در شکل‌های ۳ و ۴ نشان داده شده است. برخلاف بی‌اثر بودن تنش آبی بر کارایی استفاده از آب آبیاری کل غده ها، کارایی استفاده از آب آبیاری برای غده‌های بازارپسند معنی‌دار شده است. به عبارت دیگر با جداسازی غده های بازارپسند، اختلاف بین IWUE در تیمارهای مختلف معنی دار شد. بر اساس نتایج بدست آمده، مقدار IWUE تیمارهای $I_۱$ و $I_۲$ در یک سطح می باشد اما اعمال تنش در تیمارهای $I_۳$ و $I_۴$ باعث کاهش معنی‌دار IWUE مربوط به غده‌های بازارپسند شده است.

در پژوهشی که در کشور کنیا انجام شد (Mbayaki and Kinama, 2022) شاخص‌های بهره‌وری آب محصول در سال اول کشت برای رقم‌های Kabode و Bungoma به ترتیب ۰/۲۲ و ۰/۲۱ کیلوگرم بر متر مکعب بود. در حالی که در سال دوم کشت به علت وقوع باران‌های مناسب مقدار بهره‌وری آب محصول افزایش یافته بطوریکه برای رقم‌های Kabode و Bungoma به ترتیب به مقدار ۲/۰ و ۱/۷ کیلوگرم بر متر مکعب رسیده است، که با یافته های پژوهش حاضر همخوانی دارد. البته مقادیر بالاتر IWUE نیز گزارش شده است که به عنوان نمونه می‌توان به پژوهش Önder et al. (2015) اشاره کرد که در آن مقدار IWUE برای تیمار کامل آبیاری در روش آبیاری سطحی جوی و پشته ای ۶۵/۷ $kg\ ha^{-1}\ mm^{-1}$ (معادل ۶/۵۷ $kg\ m^{-3}$) و در روش قطره ای ۶۴ $kg\ ha^{-1}\ mm^{-1}$ (معادل ۶/۴ $kg\ m^{-3}$) گزارش شده است. با توجه به اینکه آب و هوا، مدیریت آب آبیاری و وضعیت مواد مغذی خاک، همگی می‌توانند در تفاوت‌های شاخص‌های بهره‌وری دخیل باشند (Zwart and Bastiaanssen, 2004)، تفاوت بین مقادیر بهره‌وری در پژوهش‌های مختلف قابل توجیه است. به عنوان نمونه نتایج پژوهش Karuku et al. (2014) نشان داد که گنجاندن بقایای گیاهی در یک سیستم کشت می‌تواند باعث افزایش ذخیره‌ی آب خاک و در نتیجه افزایش عملکرد اقتصادی محصول و همچنین بهره‌وری آب محصول شود.

مقدار آب مصرفی در تیمار $I_۱$ برابر ۴۷۹ میلی‌متر، تیمار $I_۲$ برابر ۴۰۸ میلی‌متر، تیمار $I_۳$ برابر ۳۰۴ میلی‌متر و تیمار $I_۴$ برابر ۲۴۱ میلی‌متر بود که بر اساس تامین کمبود رطوبتی خاک اعمال گردید. بر اساس معادله‌ی ۲، مقدار تبخیر–تعرق واقعی در طول

[2] Analysis of Variance

فصل رشد نیز در تیمارهای I_1 تا I_4 بترتیب برابر ۵۶۵، ۴۹۴، ۳۹۰ و ۳۳۴ میلی‌متر بدست آمد.

این مقادیر با مقادیر گزارش شده در پژوهش‌های دیگر نیز تطابق نسبی دارد. در پژوهش Opafola et al. (2018) مقدار تبخیر–تعرق گیاه سیب زمینی شیرین در دو حالت کشت زود هنگام و کشت دیرهنگام بترتیب برابر ۳۳۹ و ۴۶۸ میلی متر گزارش شده است. البته در برخی پژوهش‌ها مقادیر بالاتر تبخیر–تعرق نیز گزارش شده است. در پژوهش Önder et al. (2015) میزان تبخیر–تعرق در روش آبیاری سطحی جوی و پشته‌ای ۶۹۱ میلی متر و در روش آبیاری قطره ای ۷۱۴ میلی متر گزارش شده است. در پژوهش Mbayaki and Kinama (2022) میزان حداقل و حداکثر تبخیر–تعرق بترتیب برابر ۶۵۵ و ۸۱۵ میلی‌متر گزارش شده که با درنظر گرفتن مقادیر بارندگی موثر، حداقل و حداکثر نیاز آبیاری سیب زمینی برای ارقام و شرایط مورد آزمایش بین ۴۲۷ و ۶۲۲ میلی‌متر گزارش شده است. تفاوت در مقادیر تبخیر–تعرق پژوهش‌های مختلف می‌تواند ناشی از تفاوت آب و هوایی، رقم و مدیریت زراعی باشد.

جدول ۵– تجزیه واریانس صفات مورد بررسی محصول بازارپسند در تیمارهای مختلف تنش آبی

Table 5. Analysis of variance of investigated traits of marketable crops in different water stress treatments

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		وزن تر غده ($kg\ ha^{-1}$)	وزن خشک غده ($kg\ ha^{-1}$)	کارایی مصرف آب غده ($kg\ m^{-3}$)
تنش آبی	3	5269679^{**}	704955^{**}	0.1119^{*}
خطا	8	333716	37418	0.0267
ضریب تغییرات		22.6	22.5	23.6

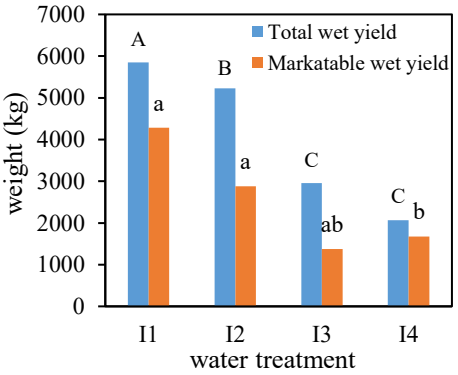
^{ns}، * و ** بترتیب به معنی عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح ۵ درصد و معنی‌داری در سطح ۱ درصد می باشد

جدول ٦– مقایسه ی میانگین صفات مورد بررسی محصول بازارپسند در تیمارهای مختلف تنش آبی

Table 6. Comparison of the means of marketable crops under different water stress treatments

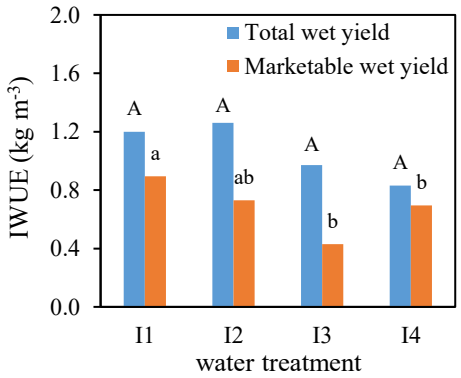
تیمار آبی	وزن تر غده ($kg\ ha^{-1}$)	وزن خشک غده ($kg\ ha^{-1}$)	کارایی مصرف آب غده ($kg\ m^{-3}$)
I_1	4284^{a}	1496^{a}	0.89^{a}
I_2	2876^{b}	974^{b}	0.73^{ab}
I_3	1371^{c}	515^{c}	0.43^{b}
I_4	1673^{c}	450^{c}	0.70^{b}

مقادیر ستونی که با حروف مشابه نام‌گذاری شده است، در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن معنی‌دار نشده است



شکل۳- تاثیر بازارپسندی بر وزن غده های برداشت شده

Figure3. The effect of marketability on the weight of harvested tubers



شکل٤- تاثیر بازارپسندی بر کارایی استفاده از آب آبیاری

The effect of marketability on Irrigation Water Use Efficiency

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر تاثیر تنش آب بر رشد و عملکرد سیب‌زمینی شیرین رقم سفید مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که اثر تنش خشکی بر وزن تر غده‌های برداشت شده معنی‌دار بوده است هرچند این اثر بر کارایی استفاده از آب آبیاری معنی‌دار نشد. از این مسئله می‌توان اینگونه نتیجه گرفت که گیاه سیب زمینی شیرین توانایی سازگاری با شرایط خشکی را دارد بطوریکه با افزایش تنش خشکی، کارایی استفاده از آب آبیاری ، ثابت باقی مانده است و دچار کاهش نشده است.

از این جهت که سیب زمینی شیرین نیز مشابه برخی دیگر از محصولات کشاورزی، بازار پسندی محصول بر میزان فروش و سودآوری آن تاثیر دارد، محصول بدست آمده در پژوهش حاضر از نظر بازارپسندی نیز مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که با جداسازی محصول بازارپسند، کارایی استفاده از آب آبیاری کاهش می‌یابد. همچنین با اعمال تنش آبی، کارایی مصرف آب آبیاری کاهش معنی‌داری پیدا می کند. به عبارت دیگر تنش آبی باعث می‌شود میزان محصول بازارپسند کاهش یافته و که این مسئله باعث کاهش معنی‌دار کارایی مصرف آب آبیاری شده است.

با توجه به نتایج بدست آمده اگر هدف از کاشت سیب زمینی شیرین مصارف صنعتی و یا تولید علوفه باشد، مقدار تنش تا حد ۲۰ درصد توصیه می شود. اما اگر هدف از کاشت سیب زمینی شیرین عرضه‌ی مستقیم به مصرف کنندگان و یا صادرات محصول باشد، اعمال تنش توصیه نمی‌گردد.

با توجه به اهمیت مباحث اقتصادی پیشنهاد می‌شود تحلیل اقتصادی پژوهش‌های مشابه نیز انجام، تا مشخص شود که تنش خشکی چه تاثیری بر سودآوری محصول خواهد داشت. همچنین واکنش ارقام دیگر سیب زمینی شیرین به تنش خشکی نیز نیاز به بررسی جامع‌تری دارد. بر طبق نتایج بدست آمده از پژوهش حاضر، علاوه بر اینکه تنش خشکی بر مقدار محصول تاثیر دارد، تاثیر تنش خشکی بر بازارپسندی محصول نیز حایز اهمیت است. بنابراین بایستی بررسی کرد که تنش خشکی چه تاثیری بر فروش و قیمت گذاری محصول سیب زمینی شیرین خواهد گذاشت.

سپاسگزاری

از مجتمع آموزش عالی میناب –دانشگاه هرمزگان جهت همکاری در زمینه‌ی اجرای پروژه از جمله تامین آب، تقدیر به‌عمل می‌آید. همچنین از جناب آقای مهندس عامری کارشناس آزمایشگاه، خانم مهندس سالاری و آقای جعفری جهت کمک و همیاری تشکر می‌نماییم.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافعی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

دسترسی به داده‌ها

داده‌ها و نتایج استفاده شده در این پژوهش از طریق مکاتبه با نویسنده مسئول در اختیار قرار خواهد گرفت.

مشارکت نویسندگان

زهرا ذاکری درباغی: کاشت، آبیاری‌های اولیه، اندازه‌گیری آزمایشگاه، تهیه نسخه اولیه‌ی مقاله، برداشت

محمدرضا ترکی‌زاده: اعمال تیمارهای آبی، اندازه‌گیری آزمایشگاه، سم‌پاشی، اندازه‌گیری رطوبت خاک، برداشت

مهدیه نورالدینی: اندازه‌گیری آزمایشگاه، برداشت

حمیدرضا کمالی: مشاوره، تحلیل آماری، بازبینی متن مقاله

منابع

شمیلی، منصوره. حسن زاده خانکهدانی، حامد. (۱۳۹۵). اثر بافت خاک و روش آبیاری بر بهبود عملکرد و اجزای عملکرد دو رقم سیب‌زمینی شیرین [Ipomoea batatas (L.) Lam.]. *اکوفیزیولوژی گیاهی*، ۸(۲۵)، ۲۰۱-۲۱۴.
https://journals.iau.ir/article_580150.html

ناصری، محمد. شمیلی، منصوره. حسن زاده خانکهدانی، حامد. ناصری، الهام. (۱۳۹۳). بررسی امکان تولید علوفه تر از شاخساره سیب زمینی شیرین (Ipomoea batatas L.) در منطقه میناب. *علوم دامی*، ۱۰۲: ۳۳-۲۷.
https://www.sid.ir/fa/VEWSSID/J_pdf/5001413931 0204.pdf

References

Gajanayake, B. & Reddy, K.R. (2016). Sweet potato Responses to Mid- and Late-Season Soil Moisture Deficits. *Crop Science*, 56: 1865-1877. doi: 10.2135/cropsci2015.03.0154

Gouveia, C.S.S., Ganança, J.F.T., Slaski, J.J., Lebot, V. and Pinheiro de Carvalho, M.Â.A. (2021). Abscisic acid phytohormone estimation in tubers and shoots of Ipomoea batatas subjected to long drought stress using competitive immunological assay. *Physiologia Plantarum*, 172: 419-430. doi: 10.1111/ppl.13192

Huang, S., Wang, J., Wang, H., & Li, H. (2025). Effects of Drought Stress on Photosynthetic Characteristics and Endogenous Hormone Levels in the Sweet Potato (*Ipomoea batatas*). *Horticulturae*, *11*(5), 456. doi: 10.3390/horticulturae11050456

Kamali, H.R., Zand-Parsa, S., Zare, M., Sapaskhah, A.R., & Kamgar-Haghighi, A.A. (2022). Development of a simulation model for sugar beet growth under water and nitrogen deficiency. *Irrigation Science*, 40(3), 337-358. doi: 10.1007/s00271-022-00769-z

Karuku, G.N., Gachene, C.K.K., Karanja, N., Cornelis, W., & Verplacke, H. (2014). Effect of different cover crop residue management practices on soil moisture content under a tomato crop (Lycopersicon esculentum). *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 17(3), 509-523. https://www.redalyc.org/pdf/939/93935728005 .pdf

Khozaei, M., Kamgar Haghighi, A.A., Zand Parsa, Sh., Sepaskhah, A.R., Razzaghi, F., Yousefabadi, V.A., Emam, Y. (2020). Evaluation of direct seeding and transplanting in sugar beet for water productivity, yield and quality under different irrigation regimes and planting densities, *Agricultural Water Management*, 238, 106230. doi:10.1016/j.agwat.2020.106230.

Laurie, R.N., Laurie, S.M., Du Plooy, C.P., Finnie, J.F., & Van Staden, J. (2015). Yield of drought-stressed sweet potato in relation to canopy cover, stem length and stomatal conductance. *Journal of Agricultural Science*, *7*(1), 201.

doi: 10.5539/jas.v7n1p201

Mbayaki, C.W. and Kinama, J.M. (2022). More crop per drop: The magic of sweet potato (Ipomoea batatas L.). *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, *25*(1), 1-10. doi: 10.56369/tsaes.3834

Muratoglu, A., Bilgen, G.K., Angin, I., & Kodal, S. (2023). Performance analyses of effective rainfall estimation methods for accurate quantification of agricultural water footprint. *Water Research*, 238, 120011. doi:10.1016/j.watres.2023.120011

Naseri, M., Shamili, M., Hassanzadeh Khankahdani, H. (2012). Evaluation the possibility of fresh forage production from sweetpotato (*Ipomea batatas* L.) shoots in Minab. *Animal Sciences*, 102, 27-33. [In Persian] https://www.sid.ir/fa/VEWSSID/J_pdf/50014139310204.pdf

Önder, D., Önder, S., Çalişkan, M.E. & Çalişkan, S. (2015). Influence of different irrigation methods and irrigation levels on water use efficiency, yield, and yield attributes of sweet potatoes. *Fresenius Environmental Bulletinl*, *24*, 3398-3403. https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20163038035

Opafola, O.T., David, A.O., Lawal, N.S., & Babalola, A.A. (2018). Estimation of Water Needs of Sweet Potato (Ipomea batata) Using the Penman-Monteith Model in Abeokuta, South-western Nigeria. *Arid Zone Journal of Engineering, Technology and Environment*, *14*(1), 143-152. https://www.azojete.com.ng/index.php/azojete

Piri, H., Naserin, A. (2020). Effect of different levels of water, applied nitrogen and irrigation methods on yield, yield components and IWUE of onion, *Scientia Horticulturae*, 268, 109361. doi: 10.1016/j.scienta.2020.109361.

Rankine, D.R., Cohen, J.E., Taylor, M.A., Coy, A.D., Simpson, L.A., Stephenson, T., & Lawrence, J.L. (2015). Parameterizing the FAO AquaCrop Model for Rainfed and Irrigated Field-Grown Sweet Potato. *Agronomy Journal*, 107(1), 375-387. doi: 10.2134/agronj14.0287

Saqib, M., Khalid, M.F., Hussain, S. & Anjum, M.A. (2017). Effect of water stress and planting system on growth, yield and quality of sweet potato. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*, 16(6), 201–210. doi: 10.24326/asphc.2017.6.18

Shamili, M. and Hasanzadeh Khankahdani, H. (2016). The effect of soil texture and irrigation method on improving yield and yield components of two sweet potato cultivars [Ipomoea batatas (L.) Lam.]. *Plant ecophysiology*, 25(8), 201-214. [In Persian] https://journals.iau.ir/article_580150.html

Somasundaram, K., & Mithra, V.S. (2008). MADHURAM: A simulation model for sweet potato growth. *World Journal of Agricultural Sciences*, 4(2), 241-254. https://www.idosi.org/wjas/wjas4(2)/19.pdf

Stathers, T., Low, J., Mwanga, R., Carey, T., McEwan, M., David., S., Gibson, R., Namanda, S., McEwan, M., Malinga, J., Ackatia-Armah, R., Benjamin, M., Katcher, H., Blakenship, J., Andrade, M., Agili, S., Njoku, J., Sindi, K., Mulongo, G., Tumwegamire, S., Njoku, A., Abidin, E., Mbabu, A., Mkumbira, J., Ogero, K., Rajendran, S., Okello, J., Bechoff, A., Ndyetabula, D., Grant, F., Maru, J., Munyua, H., Mudege, N., Muzhingi, T. (2018). *Everything You Ever Wanted to Know About Sweetpotato: Reaching Agents of Change ToT Manual*. International Potato Center, Lima, Perú. 12 vols., 664 pages. doi: 10.4160/9789290605027T2.

USDA, (2005). United States Standards for Grades of Sweetpotatoes. *United States Department of Agriculture: Washington, DC, USA.* https://www.ams.usda.gov/grades-standards/sweetpotatoes-grades-and-standards

Wang, J.Q., Li H., Liu, Q., Xiang, D. (2019). Effects of drought stress on root development and physiological characteristics of sweet potato at seedling stage. *The Journal of Applied Ecology*, 30(9): 3155-3163. Chinese. doi: 10.13287/j.1001-9332.201909.026

Yoshida, C.H.P., Pacheco, A.C., Lapaz, A. de M., Gorni, P.H., Vítolo, H.F., & Bertoli, S.C. (2020). Methyl jasmonate modulation reduces photosynthesis and induces synthesis of phenolic compounds in sweet potatoes subjected to drought. *Bragantia*, 79(3), 319–334. doi: 10.1590/1678-4499.20200203

Zhang, H.Y., Xie, B.T., Duan, W.X., Dong, S.X., Wang, B.Q., Zhang, L.M., Shi, C.Y. (2018). Effects of drought stress at different growth stages on photosynthetic efficiency and water consumption characteristics in sweet potato. *The Journal Of Applied Ecology*, 29(6), 1943-1850. doi: 10.13287/j.1001-9332.201806.024

Zhou, Z., Tang, J., Cao, Q., Li, Z. & Ma, D. (2022). Differential response of physiology and metabolic response to drought stress in different sweetpotato cultivars. PLOS ONE 17(3), e0264847. doi: 10.1371/journal.pone.0264847

Zwart, S.J. & Bastiaanssen, W.G. (2004). Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton and maize. *Agricultural Water Management*, 69(2), 115-133. doi: 10.1016/j.agwat.2004.04.007