

Determining water requirements and water use efficiency of tomatoes and bell peppers in greenhouses

R. Alimohammadi Nafchi¹

Extended Abstract

Introduction:

Intensive and controlled greenhouse cultivation can be effective to some extent in improving food security. Greenhouses have a distinct advantage due to their ability to support continuous crop production throughout the year, resulting in increased productivity, especially when compared with open-field cultivation. Water is one of the main and influential inputs on food production and security, and it should be used optimally to achieve high productivity and efficiency. Determining the optimal amount of water requirement and the performance of each crop provides valuable guidance for planners to increase the food security factor.

Water shortage is also a significant threat to the agricultural sector. Determining irrigation scheduling is effective in enhancing the production of agricultural products, especially greenhouse crops.

Appropriate knowledge of water consumption and the water use efficiency of various crops, including tomatoes and bell peppers, can effectively assist planners and officials at the regional and national levels in optimizing the production of various greenhouse crops throughout the seasons.

Methods:

This research was conducted in the Kakulak greenhouse complex located in Shahrekord city, Iran, during 2022-2023 cropping season. Cultivation was carried out in two greenhouses in the autumn of 2023, simultaneously with cultivation in the corresponding control greenhouses. Each crop (bell pepper and tomato) was planted in one greenhouse with three replicates, each replicate consisting of three pots. A grass lysimeter and an evaporation pan (class A) were installed in each greenhouse, and another evaporation pan was placed outside the greenhouse. Bell pepper seeds were sown in seedling trays using a culture medium and were transferred to the pot environment after about five weeks. Crop management practices (irrigation, weed removal, spraying, fertilization, pruning, measuring the height and number of fruits per plant) and harvesting were carried out during the cultivation period. Irrigation was typically performed daily. Fertilization and pesticide application of the pots were the same the greenhouse schedule. Daily recorded data included: volume of water added to the pots, the grass lysimeter volume of drained water, volume of water evaporated from the evaporation pans inside and outside the greenhouses, the temperature parameters, the instantaneous and maximum, and minimum daily relative humidity inside and outside the greenhouse and the amount of light intensity inside the greenhouse. In addition, the volume of water consumed in the bell pepper greenhouse was measured using a two-inch meter.

Actual evapotranspiration (the amount of water consumed by the plant) was calculated and estimated using the water balance equation and considered for the desired crops. Water use efficiency index (WUE) was also calculated as a function of the yield of each crop (kilograms per hectare) and the amount of water used (cubic meters per hectare).

Conclusion:

In order to increase the food security factor, considering the challenges and tensions caused by the shortage of water resources globally and in Iran use of high-yield intensive cropping systems such as greenhouses cultivation, is essential. Development of greenhouses cultivation, due to higher productivity (lower water consumption and increased yield per unit area), can partially help solve the problems of water stress. According

¹ Agricultural Engineering Research Department, Chaharmahal and Bakhtiari Agricultural and Natural Resources Research and Education center, AREEO, Shahrekord, Iran.

* Corresponding Author: Nafchi38@gmail.com

Received: 2025/6/12

Accepted: 2025/6/15

the results of the current research on water requirements and water use efficiency of tomatoes and bell peppers in greenhouses, the bell pepper crop consumed 4993 cubic meters per hectare of water during the growing season (341 days), with a yield and production of 115634 kilograms per hectare and a water use productivity index of 23.56 kilograms per cubic meter.

The ratio of water used for bell pepper production to grass evapotranspiration and transpiration was 52.1 percent, and to the amount of evaporation from a class A evaporation pan was 58.31 percent. The tomato crop with 165-days growing season, water consumption of 2844 cubic meters per hectare, yield of 89191 kg per hectare, with a water use efficiency index of 31.36 kg per cubic meter was obtained.

The irrigation hydromodule of both crops, considering the water requirement of pad and fan, was 0.45 liters per second per hectare. Future research is suggested with focus on scaling these findings to larger greenhouse systems. Additionally, investigating the impact of varying greenhouse use across diverse agricultural contexts. These advancements could support local policymakers and farmers in developing resilient food production systems while conserving critical water resources.

Keywords: Bell peppers, Evapotranspiration, Greenhouse, Tomato, Water productivity.

Citation: Alimohammadi Nafchi, R., 2025. Determining water requirements and water use efficiency of tomatoes and bell peppers in greenhouses. *Iranian Water Research Journal*. 57(2). Pp. 107-118. [https://dx.doi.org/ 10.22034/iwrj.2025.15271.2694](https://dx.doi.org/10.22034/iwrj.2025.15271.2694)



تعیین نیاز آبی و بهره‌وری مصرف آب گوجه‌فرنگی و فلفل دلمه‌ای در گلخانه

رحیم علی‌محمدی نافچی^۱

چکیده

کشت‌های گلخانه‌ای با داشتن ضریب بهره‌وری مناسب، به عنوان گزینه برتر برای افزایش ضریب امنیت غذایی در دنیا مطرح شده و مورد استفاده قرار گرفته‌اند. این پژوهش به منظور برآورد آب مورد نیاز سامانه‌های گلخانه‌ای (تبخیر و تعرق و سامانه‌های سرمایشی فن و پد) برای تولید محصولات فلفل دلمه‌ای و گوجه‌فرنگی در مراحل مختلف فصل رشد، در شهرستان شهرکرد اجرا گردید. آزمایش در سه تکرار برای هر محصول انجام و پارامترهای، حجم آب اضافه شده و زهکشی شده از هر گلدان و لایسیمتر چمن، تبخیر از تشت تبخیر، دما و رطوبت‌های لحظه‌ای، حداکثر و حداقل داخل و بیرون از گلخانه اندازه‌گیری شد. میزان آب مورد نیاز هر گلدان و لایسیمتر چمن از روش بیلان آبی محاسبه گردید. محصول فلفل دلمه‌ای و گوجه‌فرنگی بصورت جداگانه، در داخل دو گلخانه، طی دو فصل کشت، مورد ارزیابی و تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. نتایج نشان داد، میانگین مصرف آب فلفل دلمه‌ای در مدت زمان اجرای پروژه (۳۴۲ روز)، معادل ۴۹۹۳ مترمکعب در هکتار، متوسط عملکرد ۱۱۵۶۳۴ کیلوگرم در هکتار و شاخص بهره‌وری مصرف آب ۲۳/۱۶ کیلوگرم بر مترمکعب است. حجم آب مصرفی گوجه‌فرنگی رقم کوئین (۱۶۶ روز) ۲۸۴۴ متر مکعب در هکتار با عملکرد ۸۹۱۹۱ کیلوگرم در هکتار بود. و شاخص کارایی مصرف آب معادل ۳۱/۳۶ کیلوگرم بر مترمکعب به‌دست آمد. همچنین میزان آب مصرفی گوجه‌فرنگی در داخل گلخانه نسبت به چمن (گیاه مرجع) ۵۲/۱ درصد و نسبت به میزان تبخیر از تشت تبخیر (داخل گلخانه) ۵۸/۳۱ درصد به‌دست آمد.

کلمات کلیدی: تبخیر و تعرق، فلفل دلمه‌ای، بهره‌وری مصرف آب، گلخانه، گوجه‌فرنگی.

ارجاع: علی‌محمدی نافچی، ر. ۱۴۰۴. تعیین نیاز آبی و بهره‌وری مصرف آب گوجه‌فرنگی و فلفل دلمه‌ای در گلخانه. مجله پژوهش آب ایران. ۵۷ (۲). صص ۱۰۷-۱۱۸. <https://dx.doi.org/10.22034/iwrj.2025.15271.2694>

^۱ - بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی چهارمحال و بختیاری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شهرکرد، ایران.
نویسنده مسئول: nafchi38@gmail.com
تاریخ دریافت: (۱۴۰۴/۳/۲۲) تاریخ پذیرش: (۱۴۰۴/۳/۲۵)

مقدمه:

فلفل دلمه‌ای (*Capsicum annuum*) گیاهی یکساله از خانواده بادمجانیان (*Solanaceae*) است. تنش آبی بر رشد فیزیولوژیکی و تغذیه‌ای فلفل دلمه‌ای تأثیر منفی می‌گذارد. از این رو تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه فلفل دلمه‌ای برای تولید بهینه محصول ضروری است (Kirmak et al. 2003). از کل سطوح زیر کشت محصولات گلخانه‌ای تنها ۴ درصد آن به کشت فلفل دلمه‌ای اختصاص دارد (Sajadi et al. 2017). بیشترین تولید فلفل دلمه‌ای در کشورهای چین، مکزیک، ترکیه، اسپانیا و رومانی صورت می‌گیرد و از صادر کننده‌های اصلی می‌توان به مکزیک و اسپانیا اشاره کرد (FAO 2022). فلفل گیاهی است که به دماهای حداکثر و حداقل حساس است. دمای بهینه برای رشد و نمو گیاه فلفل ۲۴ لغایت ۳۰ درجه سانتیگراد است. رشد گیاه در دمای ۱۳ درجه سانتیگراد متوقف و دمای بالای ۳۲ درجه هم باعث ریزش گل‌ها و جوانه‌های آن می‌گردد. فلفل گیاهی حساس به تنش خشکی و نیمه حساس به تنش شوری است (Rubio et al. 2010). Diaz- Perez and Hook (2017) با انجام پژوهشی مزرعه‌ای نتیجه گرفتند که فلفل دلمه‌ای به هر دو حالت کمبود و ازدیاد آب خاک حساس است. اما آبیاری کمتر از ۱۰۰ درصد نیاز آبی (۷۰ درصد) تأثیر معنی‌داری بر عملکرد آن نداشت. zareabianeh et al. (2018) در پژوهش انجام‌شده در شرایط گلخانه‌ای، نشان دادند که عملکرد فلفل همدانی در گلدان‌هایی با ۱۰۰ درصد تأمین نیاز آبی، ۱۸۹۸۰ کیلوگرم در هکتار با مصرف آب ۳۹۶۳ مترمکعب در هکتار بود. این مقدار با تیمار ۸۵ درصد نیاز آبی، اختلاف معنی‌داری نداشت. Moghbeli et al. (2019) متوسط مصرف آب را در گلخانه‌های منطقه جنوب استان کرمان (جیرفت) ۱۱۲۴۰ مترمکعب در هکتار برآورد کردند. این مقدار از متوسط نیاز آبی گیاهان گلخانه‌ای (۶۵۰۰ مترمکعب در هکتار) بیشتر بود. کارآیی مصرف آب در گوجه‌فرنگی و فلفل دلمه‌ای ۱۶/۸۲ و ۷/۸۵ کیلوگرم بر مترمکعب بود. کارآیی اقتصادی مصرف آب هم معادل ۳۶/۹ و ۳۰/۱ هزار ریال در مترمکعب به‌دست آمد. Ihuoma and Madramootoo (2019) تأیید نمودند که تشخیص زمان آبیاری برای مصرف بهینه آب، بسیار حائز اهمیت است. و شاخص نرمال آب^۴ (WI) و شاخص‌های طیفی سبزیگی^۵،^۶ RDVI، WI/NDVI و^۷ (PRI^۸ norm , OSAVI) از مهمترین شاخص‌ها برای

ارزیابی تنش آبی و بهبود مدیریت آب محصولات گلخانه‌ای (فلفل دلمه‌ای) هستند. (O'Connor and Mehta 2016) ضمن انجام تحقیقی در رابطه با روش‌های صرفه جویی در مصرف آب گلخانه‌ها، تأیید نمودند که با توجه به توسعه گلخانه‌ها در دنیا می‌توان با کاهش تبخیر و تعرق، استفاده از سامانه‌های آبیاری نواری و قطره‌ای، و کاهش طول دوره رشد گیاه و قرار دادن آب در نزدیک‌ترین فاصله نسبت به ریشه و منطقه توسعه ریشه تا حد زیادی بهره‌وری را با کاهش مصرف آب و افزایش تولید بهبود بخشید. (Jafari et al. 2022) در تحقیقی در شهرستان چهارباغ، استان البرز تأیید نمودند که نیاز آبی فلفل دلمه‌ای ۳۹۷ میلی‌متر است. حداکثر تولید در بین تیمارهای کم آبیاری، در تیمار شاهد ضمن تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی و ۱۵۰ درصد نیاز کودی با عملکرد ۱۱۴/۳۸ تن در هکتار بود. (Mardaninejad et al. 2017) با انجام پژوهشی بیان کردند که حداکثر عملکرد فلفل و بیشترین مقدار شاخص کارآیی مصرف آب در تیمار ۱۰۰ درصد تأمین نیاز آبی به‌دست آمد و کاهش میزان آب آبیاری (تنش آبی) موجب کاهش عملکرد و کارآیی مصرف آب شد. با این حال، در شرایط کم آبی می‌توان تا ۲۰ درصد در مصرف آب صرفه جویی نمود زیرا بین تیمارهای ۱۰۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. Banki and Ganguly (2017) در پژوهشی در هند نتیجه گرفتند، استفاده از سامانه سرمایشی فن و پد در گلخانه‌ها ضمن داشتن راندمان بالا از نظر اقتصادی نیز برتر و گزینه بهینه است. (Saberian and Sajadiye 2020) راندمان سیستم سرمایشی تبخیری (فن و پد) را در شرایط اقلیمی اهواز ۵۷ لغایت ۷۷ درصد برآورد کردند. (Sadeghi et al. 2013) در شهرستان محلات استان مرکزی، شاخص کارآیی سامانه‌های فن و پد در شرایط منطقه را بسته به فاصله از پد و شرایط اقلیمی، تابش دریافتی خورشیدی داخل گلخانه، دما و رطوبت نسبی بین ۵۰ تا ۱۰۰ درصد برآورد کردند. Montazerti et al. (2019) در گلخانه دانشگاه تربیت مدرس تهران با استفاده از مدل TRNSYS نشان دادند که در شرایط محیطی با دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد و نسبت رطوبت ۰/۱۵ کیلوگرم بر کیلوگرم سامانه فن و پد در سرعت هوای ۱/۱۲۵ متر در ثانیه عملکرد مناسبی دارد. در رطوبت‌های بیشتر سامانه به تنهایی توانایی خنک کردن گلخانه را نداشت. همچنین با افزایش سرعت هوا، راندمان سیستم کاهش یافت. امروزه در سرتاسر

^۷ Optimized Soil Adjusted Vegetation Index^۸ Photochemical Reflectance index^۴ Water Index^۵ Renormalized Difference Vegetation Index^۶ Normalized Difference Vegetation Index

میلیمتر است. جهت وزش بادهای غالب در منطقه جنوبی شمالی با میانگین سرعت ۴/۳ متر در ثانیه و حداکثر ۲۰ متر در ثانیه (ایستگاه سینوپتیک شهرکرد) گزارش شده است. بافت خاک در مناطق مختلف متفاوت و از بافت سبک تا نیمه سنگین متغیر است.

نوعی فلفل شیرین با نام علمی (*Capsicum annuum*) و رقم انتخابی نیروین در این پژوهش استفاده شد. و در این پژوهش از رقم کوئین گوجه فرنگی استفاده شد.

روش تحقیق:

برای انجام این پژوهش دو گلخانه، هر گلخانه برای یک محصول (فلفل دلمه‌ای در موقعیت جغرافیایی mN، ۴۷۴۶۰۰ mE و (۳۵۸۸۰۲۴) و (گوجه‌فرنگی در موقعیت جغرافیایی mE، ۴۷۴۸۴۸ mN، ۳۵۸۷۵۳۵) انتخاب و پس از آماده‌سازی نسبت به کشت در پاییز سال ۱۴۰۱ همگام با کشت در گلخانه‌های مربوطه اقدام شد. هر محصول در یک گلخانه و در سه تکرار، هر تکرار در سه گلدان (قطر ۳۰ و ارتفاع ۳۸ سانتیمتری) کاشته شد. در هر گلخانه یک لایسیمتر چمن و یک تشت تبخیر (کلاس A) و یک تشت تبخیر دیگر نیز در بیرون از گلخانه قرار داده شد. از خاک خود گلخانه برای همه تیمارها استفاده شد. نتایج تجزیه خاک و آب مورد استفاده در جدول‌های ۱ و ۲ ارائه شده است.

جهان گلخانه‌ها به دلیل موضوع امنیت غذایی و مصرف بهینه منابع آبی و تولید پایدار، یکی از ضروریات جامعه کشاورزی و تولیدی هستند. بررسی‌های انجام شده همگی بر صرفه‌جویی مصرف آب، عملکرد بهتر و افزایش بهره‌وری و کارایی مصرف آب در کشت‌های گلخانه‌ای تأکید دارند. آگاهی کامل از میزان آب مصرفی و شاخص کارایی مصرف آب برای محصولات مختلف (از جمله گوجه‌فرنگی و فلفل دلمه‌ای) می‌تواند به برنامه‌ریزان و مسئولان در سطح منطقه‌ای و ملی برای تولید محصولات مختلف گلخانه‌ای در فصول سال کمک مؤثری نماید.

مواد و روش‌ها

مشخصات جغرافیایی و اقلیمی

این تحقیق در استان چهارمحال و بختیاری، شهرستان شهرکرد، شهرک گلخانه‌ای کاکلک و به مدت دو سال در بازه زمانی ۱۴۰۱/۷/۱ تا ۱۴۰۳/۷/۱ برای دو محصول گوجه فرنگی و فلفل دلمه‌ای در دو گلخانه جداگانه اجرا شد. استان چهارمحال و بختیاری به دلیل دارا بودن ویژگی‌های خاص جغرافیایی و توپوگرافی از لحاظ آب و هوایی متنوع بوده و دارای اقلیم‌های متفاوتی است. بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی و بیوکلیماتیک ایران و بر طبق روش گوسن، این منطقه در اقلیم استپی سرد قرار دارد و روش آمبرژه، این منطقه جزء مناطق خشک است. متوسط میزان بارندگی سالانه ۳۱۵ میلیمتر، میانگین رطوبت نسبی ایستگاه ۴۱/۷ درصد و میزان تبخیر سالانه ۱۷۱۰

جدول ۱- بافت خاک^۹ و نقطه پژمردگی^{۱۰} و ظرفیت زراعی^{۱۱} خاک محل اجرای پروژه

F.C (درصد)	P.W.P (درصد)	بافت	وزن مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب)
۲۷/۳۲	۱۰/۱۴	لومی رسی	۱/۱۲

جدول ۲- نتایج تجزیه آب مورد استفاده در گلخانه‌های فلفل دلمه‌ای و گوجه‌فرنگی

SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	Mg ²⁺	Ca ²⁺	K ⁺	Na ⁺	TDS	E.C.	pH
								mg.lit ⁻¹	μs.cm ⁻¹	
۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۲۹	۰/۰۶	۰/۰۸	۰/۲۵	۰/۰۱	۰/۰۳	۲۲/۱۶	۳۹/۵	۹/۳۵

^{۱۱} Field capacity

^۹ Soil texture

^{۱۰} Wilting point

بهره‌وری آب (WP¹³):

بهره‌وری آب یک اصطلاح کلیدی در ارزیابی استراتژی کم آبیاری است و توسط Pereira et al. (2012) به عنوان نسبت عملکرد قابل عرضه به بازار، به حجم آب مصرف شده توسط محصول (ETa) با استفاده از رابطه (۵) محاسبه می‌شود:

$$WP = \frac{Y_a}{ETa} \quad (5)$$

که در آن Y_a عملکرد قابل عرضه به بازار (کیلوگرم) و ETa: کل حجم آب مصرف شده در گلخانه که معادل میزان تبخیر و تعرق گیاه است.

به منظور بررسی کارایی سیستم خنک‌کننده (سیستم فن و پد) در گلخانه فلفل دلمه‌ای، فاکتورهای اصلی مؤثر در کارایی سیستم سرمایشی گلخانه شامل دمای خشک و دمای تر، بیرون و داخل گلخانه در فاصله ساعت ۹ صبح تا ۶ بعد از ظهر (ساعت کارکرد سامانه سرمایشی) در ۱۰ روز از گرم‌ترین روزهای تابستان اندازه‌گیری شد. گرم‌ترین روز در بین این ۱۰ روز به عنوان شاخص ارزیابی انتخاب و براساس نتایج و توصیه‌های تحقیقات مشابه قبلی، کارایی سامانه سرمایشی مذکور در نقاط مختلف گلخانه و در ساعات مختلف تعیین شد و در نهایت کارایی سامانه سرمایش در گرم‌ترین ساعت گرم‌ترین روز سال، به عنوان پتانسیل نهایی منظور گردید (رابطه ۶). همچنین با اندازه‌گیری آب مصرف شده در چرخه سامانه سرمایشی فن و پد در طول دوره کشت محصول، میزان حجم آب مصرفی سامانه سرمایشی محاسبه و با نیاز آبی گیاه کشت شده، مقایسه شد (Wang, 2000).

$$E = \frac{T_{out} - T_{cool}}{T_{out} - T_{wb}} \quad (6)$$

که در آن E راندمان سامانه فن و پد بر حسب درصد، T_{out} دمای بیرون گلخانه بر حسب درجه سانتیگراد T_{cool} دمای هوای موجود در نزدیکی سامانه فن و پد گلخانه بر حسب درجه سانتیگراد و T_{wb} دمای تر بیرون گلخانه بر حسب درجه سانتیگراد است.

نتایج و بحث

نتایج نشان داد میانگین مصرف آب در سال اول ۵۷۰۷ مترمکعب در هکتار با شاخص کارایی مصرف آب ۲۱/۸۳ کیلوگرم بر مترمربع، تبخیر و تعرق چمن ۸۵۰/۷ میلی‌متر و میزان تبخیر از تشت تبخیر کلاس آ واقع در داخل گلخانه ۷۶۷/۹ میلی‌متر است. در سال دوم اجرای طرح، حجم مصرف آب ۴۲۲۹/۴ مترمکعب در هکتار، شاخص کارایی مصرف آب

بذر فلفل دلمه‌ای در سینی‌های نشاء کشت و بعد از مدت حدود ۵ هفته به محیط گلدان منتقل شدند. عملیات داشت (آبیاری، حذف علف‌های هرز، سمپاشی، کود دهی، هرس، اندازه‌گیری ارتفاع و تعداد میوه در بوته و ...) و برداشت در طی دوره کشت انجام شد. آبیاری نیز معمولاً هر روز انجام شد. حجم آب اضافه شده به گلدان‌ها، لایسیمتر چمن و حجم آب زهکشی شده از آنها، میزان حجم آب تبخیر شده از تشت‌های تبخیر داخل و خارج از گلخانه‌ها، پارامترهای دما، رطوبت نسبی لحظه‌ای و حداکثر و حداقل روزانه در داخل و خارج از گلخانه و میزان روشنایی در داخل گلخانه بصورت روزانه ثبت شدند. همچنین، حجم آب مصرفی در گلخانه فلفل دلمه‌ای توسط کنتور دو اینچی اندازه‌گیری شد.

تبخیر و تعرق واقعی (میزان آب مصرفی توسط گیاه) با استفاده از معادله بیلان آبی محاسبه و برای محصولات مورد نظر در نظر گرفته شد (رابطه ۱ تا ۳) (Connolly 1998, Allen et al. 2005).

$$P + I \pm Ro = ETc + Dp \pm \Delta S \quad (1)$$

$$ETc = I - Dp \pm \Delta S \quad (2)$$

$$K_c = \frac{ETc}{ETo} \quad (3)$$

که در آن:

P: بارندگی که مقدار آن در گلخانه صفر در نظر گرفته شد. :

I: میزان آب آبیاری، ETc: تبخیر تعرق گیاه ،

Dp: نفوذ عمقی، Ro: رواناب سطحی خارج شده از زمین که مقدار آن نیز صفر در نظر گرفته شد .

ΔS : تغییر ذخیره رطوبتی خاک (به دلیل انجام روزانه آبیاری، مقدار آن صفر در نظر گرفته شد.

ضریب گیاهی گیاه نیز از معادله (۳) بدست آمد. در این رابطه K_c : ضریب گیاه مورد نظر در یک بازه زمانی مشخص و ETo : تبخیر و تعرق مرجع (گیاه چمن) در گلخانه است.

کارایی مصرف آب^{۱۲}:

معادله شاخص کارایی مصرف آب (رابطه ۴) تابعی از عملکرد هر محصول (کیلوگرم در هکتار) و میزان آب مصرفی (مترمکعب در هکتار) است (Passioura 2006).

$$WUE = \frac{Y}{ETC} \quad (4)$$

در این رابطه، WUE: شاخص کارایی مصرف آب (کیلوگرم بر مترمکعب)، Y: عملکرد محصول (کیلوگرم در هکتار) و ETC: مقدار تبخیر و تعرق گیاه در گلخانه است.

شاخص کارایی مصرف آب ۲۸/۷۷ کیلوگرم بر مترمکعب، تبخیر و تعرق از سطح چمن ۶۵۸ میلی‌متر و تبخیر از تشت تبخیر ۵۵۲ میلی‌متر بود. مصرف آب برای تولید گوجه‌فرنگی با حداکثر ۳۱۳۱ مترمکعب در هکتار (گلدان ۱، تکرار ۳) و حداقل ۲۴۵۸ مترمکعب در هکتار (گلدان یک، تکرار یک) و متوسط مصرف آب ۲۸۴۴ مترمکعب در هکتار است (جدول ۶). بیشترین و کمترین عملکرد گوجه‌فرنگی به ترتیب به میزان ۱۰۶۲۹۵ (گلدان یک، تکرار دو) و ۶۴۶۹۹ کیلوگرم در هکتار (گلدان سه، تکرار یک) و با متوسط عملکرد ۸۹۱۹۱ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد (جدول ۶).

شاخص کارایی مصرف آب در محدوده ۳۷ (گلدان یک، تکرار یک) و ۲۸ (گلدان دو، تکرار سه) کیلوگرم بر مترمکعب و متوسط آن ۲۷/۸۸ کیلوگرم به ازای مصرف هر مترمکعب آب برآورد شد (جدول ۶). نسبت بین متوسط مصرف آب برای تولید محصول گوجه‌فرنگی به متوسط مصرف آب برای چمن در لایسیمتر چمن معادل ۵۳ درصد و نسبت به میزان تبخیر از تشت تبخیر کلاس A در داخل گلخانه برابر ۶۲ درصد است. هیدرومدول آبیاری گوجه‌فرنگی ۰/۲ لیتر در ثانیه در هکتار برای گلخانه‌های بدون سامانه سرمایشی و ۰/۴۵ لیتر در ثانیه برای گلخانه‌های با سامانه پد و فن به‌دست آمد. میانگین صفات اندازه‌گیری شده در سال‌های اول و دوم اجرای طرح برای محصول گوجه‌فرنگی در جدول ۷، ارائه شده است. هیدرومدول آبیاری محاسبه شده برای ماه‌های بعد از کاشت گوجه‌فرنگی نیز در جدول ۸، آورده شده است.

با توجه به اینکه گلخانه‌ها مجهز به سیستم سرمایشی فن و پد بود. راندمان سامانه سرمایشی نیز برآورد گردید. به منظور محاسبه راندمان سامانه سرمایشی دما، رطوبت نزدیک پد، دما و دمای تر بیرون گلخانه در روزهای گرم سال اندازه‌گیری شد که راندمان به‌دست آمده معادل ۶۷ درصد در سال اول اجرای پروژه بود. حداقل و حداکثر راندمان سامانه سرمایشی نیز ۵۹ و ۷۵ درصد برآورد گردید.

۲۵/۲۶ کیلوگرم بر مترمکعب، حجم آب مصرفی چمن ۱۱۷۵ میلی‌متر و تبخیر از تشت تبخیر ۱۰۲۶ میلی‌متر به‌دست آمد. میانگین مصرف آب طی دو سال اجرای پروژه معادل ۴۹۹۳ مترمکعب در هکتار با شاخص کارایی مصرف آب ۲۳/۱۶ کیلوگرم بر مترمکعب بود (جدول ۸). با توجه به مدت زمان اجرای پروژه طی سال اول (۳۵۳ روز)، و سال دوم (۳۳۰ روز) هیدرومدول آب مصرفی گیاه فلفل دلمه‌ای معادل ۰/۱۷ لیتر در ثانیه در هکتار برای گلخانه‌های بدون سامانه سرمایشی و برای گلخانه‌های مجهز به سامانه پد و فن (سامانه سرمایشی برابر ۰/۴۲ لیتر در ثانیه در هکتار است).

بیشترین عملکرد محصول به میزان ۱۳۵۸۶۴ کیلوگرم در هکتار و مربوط به گلدان ۲ تکرار ۳ و کمترین آن در گلدان ۱، تکرار ۲ (۱۰۳۵۱۷ کیلوگرم در هکتار) و متوسط عملکرد محصول فلفل دلمه‌ای ۱۱۵۶۳۴ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد (جدول ۳). حداقل شاخص کارایی و بهره‌وری آب به میزان ۲۰/۶۶ (گلدان ۱، تکرار ۲) و حداکثر ۲۵/۵۵ کیلوگرم بر مترمکعب (گلدان ۱، تکرار ۱) و میانگین آن برابر ۲۳/۵۶ کیلوگرم به ازای مصرف هر مترمکعب آب است (جدول ۳).

جدول (۴) مقایسه میانگین صفات مختلف (آب داده شده، زهکشی شده، مصرفی در هر بوته و هکتار، عملکرد و شاخص کارایی مصرف آب) در سال‌های اول و دوم اجرای طرح هستند. اختلاف‌های مشاهده‌شده بیشتر ناشی از مدت زمان اجرای طرح و آب و هوا است. گلدهی گیاه فلفل دلمه‌ای در مدت زمان ۴۵ تا ۶۰ روز آغاز و پس از تولید میوه، هرس از قسمت‌های پایین گیاه شروع شد. همانطور که در جدول ۵، ارائه شده است، هیدرومدول آبیاری در طول مدت کشت گیاه تغییرات زیادی نداشته است. به گونه‌ای که از ۰/۱۱۷ تا ۰/۱۹۳ در ۸ ماه نخست تغییر کرده و پس از این مدت مقدار آن ۰/۱۶ لیتر در ثانیه در هکتار بوده است. هیدرومدول آبیاری در مراحل سه ماهه اول، دوم، سوم و چهارم بعد از کشت در گلخانه به ترتیب برابر ۰/۱۳۷، ۰/۱۶۲، ۰/۱۸۷ و ۰/۱۶۰ لیتر در ثانیه در هکتار به‌دست آمد (جدول ۵).

تحلیل نتایج گیاه گوجه‌فرنگی

محصول گوجه‌فرنگی (رقم کوئین در کشت سال اول بمدت ۱۴۵ روز و در کشت دوم (سال دوم) بمدت ۱۸۶ روز در گلخانه مستقر بود. میانگین مصرف آب در کشت سال اول ۱۶۴۳ مترمکعب در هکتار، شاخص کارایی مصرف آب ۳۶/۱۶ کیلوگرم بر مترمکعب، تبخیر و تعرق از سطح چمن ۳۹۱ میلی‌متر و تبخیر از تشت تبخیر داخل گلخانه ۳۳۷/۱۶ میلی‌متر بود. و حجم آب مصرفی در سال دوم ۱۶۸۸ مترمکعب در هکتار،

جدول ۳- مقادیر متوسط حجم آب مصرفی، عملکرد و شاخص کارآیی مصرف آب طی دو سال برای تولید محصول فلفل دلمه‌ای

تکرار	شماره گلدان	حجم مصرف آب m ³ /ha	عملکرد kg/ha	شاخص کارآیی مصرف آب kg/m ³
اول	۱	۴۲۹۹	۱۰۵۰۲۳	۲۴/۴۳
	۲	۴۲۷۲	۱۰۴۴۶۲	۲۴/۴۵
	۳	۴۱۹۹	۱۰۴۱۵۹	۲۴/۸۱
دوم	میانگین	۴۲۵۷	۱۰۴۵۴۸	۲۴/۵۶
	۱	۵۱۰۰	۱۰۳۵۱۷	۲۰/۳۰
	۲	۴۹۷۵	۱۰۴۲۱۸	۲۰/۹۵
سوم	۳	۴۸۹۴	۱۱۹۲۳۷	۲۴/۳۶
	میانگین	۴۹۹۰	۱۰۸۹۹۱	۲۱/۸۴
	۱	۵۶۸۵	۱۲۹۶۷۱	۲۲/۸۱
متوسط	۲	۵۷۵۵	۱۳۵۸۶۴	۲۳/۶۱
	۳	۵۷۵۴	۱۳۴۵۴۵	۲۳/۳۸
	میانگین	۵۷۳۱	۱۳۳۳۶۳	۲۳/۲۷
		۴۹۹۳	۱۱۵۶۳۴	۲۳/۱۶

جدول ۴- مقایسه میانگین صفات فلفل دلمه‌ای، در دو سال آزمایش

میانگین مربعات صفات اندازه‌گیری شده						
سال	آب داده شده (lit)	آب زهکشی شده (lit)	آب مصرفی در بوته (lit)	آب مصرفی (m3/ha)	عملکرد (kg/ha)	کارایی مصرف آب (kg/m3)
۱	۳۸۱/۶	۱۶۲/۰	۲۱۹/۵	۵۷۰/۷	۴۸۰/۷	۲۱/۹۰
۲	۲۳۳/۵	۷۰/۷۹	۱۶۲/۶	۴۲۳۰	۴۰۶۳	۲۴/۱۳

جدول ۵- هیدرومدول آبیاری و ضرایب گیاهی طی ماه‌های بعد از کشت محصول فلفل دلمه‌ای

ماه‌های بعد از کشت	هیدرومدول آبیاری Lit/s/ha	نسبت آب مصرفی به چمن %	نسبت آب مصرفی به تثبیت تبخیر %
۱	۰/۱۱۷	۰/۳۳۲	۰/۵۳۳
۲	۰/۱۴۱	۰/۳۴۷	۰/۵۸۵
۳	۰/۱۵۳	۰/۳۵۱	۰/۵۹۹
۴	۰/۱۵۶	۰/۴۰۰	۰/۶۸۶
۵	۰/۱۶۰	۰/۴۳۴	۰/۷۱۰
۶	۰/۱۷۰	۰/۴۵۲	۰/۸۱۱
۷	۰/۱۸۲	۰/۴۷۸	۰/۸۲۸
۸	۰/۱۹۳	۰/۶۸۳	۰/۸۶۳
۹	۰/۱۸۶	۰/۵۶۱	۰/۵۶۲
۱۰	۰/۱۶۱	۰/۳۷۴	۰/۴۸۱
۱۱	۰/۱۶۰	۰/۳۵۱	۰/۴۶۰

۱۲	۰/۱۶۰	۰/۳۲۱	۰/۴۱۵
----	-------	-------	-------

جدول ۶- مقادیر متوسط حجم آب مصرفی، عملکرد و شاخص کارایی مصرف آب طی دو سال برای تولید محصول گوجه‌فرنگی

تکرار	شماره گلدان	حجم مصرف آب M3/ha	عملکرد Kg/ha	شاخص کارایی مصرف آب Kg/m3
اول	۱	۲۴۵۸	۹۰۶۳۵	۳۶/۹۱
	۲	۲۷۴۲	۹۰۶۴۳	۳۳/۶۹
	۳	۲۵۸۴	۶۴۶۹۹	۲۸/۴۹
	میانگین	۲۵۹۵	۸۱۹۹۲	۳۳/۰۳
دوم	۱	۲۸۹۷	۱۰۶۲۹۵	۳۶/۷۸
	۲	۲۹۲۵	۹۶۴۵۶	۳۳/۳۶
	۳	۲۹۵۵	۹۵۹۴۶	۳۲/۷۸
	میانگین	۲۹۲۶	۹۹۵۶۶	۳۴/۳۱
سوم	۱	۳۱۳۱	۸۸۵۰۴	۲۸/۳۴
	۲	۳۰۳۷	۸۴۶۲۳	۲۷/۸۹
	۳	۲۸۶۵	۸۴۹۱۷	۳۰/۰۷
	میانگین	۳۰۱۱	۸۶۰۱۵	۲۸/۷۷
	متوسط	۲۸۴۴	۸۹۱۹۱	۳۲/۰۴
	چمن	۵۴۱		
	تشت تبخیر	۴۵۸		

جدول ۷- مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده محصول گوجه‌فرنگی در دو سال

سال	آب داده شده (lit)	آب زهکشی شده (lit)	آب مصرفی در بوته (lit)	آب مصرفی (m3/ha)	عملکرد (kg/ha)	کارایی مصرف آب (kg/m3)
۱	۱۶۴/۲۷	۶۳/۶۷	۹۹/۵۷	۲۵۸۶/۶	۳۵۱۸/۱	۳۶/۲۱
۲	۱۶۸/۷۸	۵۱/۷۰	۱۱۷/۰۸	۳۰۴۴/۲	۳۳۶۲/۱	۲۸/۷۸

جدول ۸- هیدرومدول آبیاری و ضرایب گیاهی در ماه‌های رشد گوجه‌فرنگی

ماه‌های بعد از کشت	هیدرومدول آبیاری Lit/s/ha	نسبت آب مصرفی به چمن %	نسبت آب مصرفی به تشت تبخیر %
۱	۰/۰۸۰	۰/۱۰۲۷	۰/۱۳۴۰
۲	۰/۱۴۰	۰/۱۸۹۰	۰/۲۱۲۵
۳	۰/۲۱۷	۰/۲۷۶۰	۰/۳۱۸۰
۴	۰/۳۳۰	۰/۳۳۹۸	۰/۳۷۹۰
۵	۰/۲۷۸	۰/۳۳۰۰	۰/۳۷۳۰

نتیجه گیری

به منظور افزایش ضریب امنیت غذایی با توجه به چالش‌ها و تنش‌های ناشی از کمبود منابع آبی در اقصی نقاط کشور و دنیا، استفاده از کشت‌های مترکم با بهره‌وری بالا نظیر گلخانه‌ها امری ضروری است. توسعه گلخانه‌ها نظر به بهره‌وری بالاتر (مصرف آب کمتر و افزایش عملکرد در واحد سطح) می‌تواند تا حدی به حل مشکلات تنش کم آبی کمک نماید. محصول فلفل دلمه‌ای با مصرف آب ۴۹۹۳ مترمکعب در هکتار در طول فصل رشد (۳۴۱ روز)، عملکردی معادل ۱۱۵۶۳۴ کیلوگرم در هکتار داشت که شاخص بهره‌وری مصرف آب آن ۲۳/۵۶ کیلوگرم بر مترمکعب بود. نسبت آب مصرفی برای تولید فلفل دلمه‌ای به تبخیر و تعرق چمن ۵۲/۱ درصد و نسبت به مقدار تبخیر از تشت تبخیر کلاس A، معادل ۵۸/۳۱ درصد بود. محصول گوجه‌فرنگی نیز با ۱۶۵ روز طول فصل رشد، مصرف ۲۸۴۴ مترمکعب در هکتار آب، عملکرد ۸۹۱۹۱ کیلوگرم در هکتار، شاخص بهره‌وری مصرف آب معادل ۳۱/۳۶ کیلوگرم بر مترمکعب داشت. هیدرومدول آبیاری هر دو محصول با مد نظر قراردادن آب مورد نیاز پد و فن ۰/۴۵ لیتر در ثانیه در هکتار و برای گلخانه‌های بدون سامانه سرمایشی که تنها آب مورد نیاز تولید محصول فلفل دلمه‌ای و گوجه‌فرنگی مد نظر باشد معادل ۰/۲ لیتر در ثانیه در هکتار به‌دست آمد. لازم به ذکر است که گلخانه بدون سامانه سرمایشی به دلیل عدم کنترل درجه حرارت و رطوبت در داخل گلخانه فاقد وجاهت قانونی می‌باشد.

تقدیر و تشکر

از کلیه همکاران و عزیزانی که در راستای بهتر اجرا شدن این پژوهش کمک نمودند سپاسگزاری می‌گردد.

تضاد منافع نویسندگان

در این مقاله هیچ‌گونه تضاد منافی وجود ندارد و این مسئله مورد تایید است.

دسترسی به داده‌ها

داده‌های استفاده شده در این پژوهش در گزارش نهایی با عنوان استاندارد سازی مدیریت بهره‌برداری از گلخانه‌ها برای ارتقاء بهره‌وری آب (شماره ۶۷۳۲۰، مورخ ۱۴۰۴/۲/۱۷) موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی قابل دسترسی هستند.

اصول اخلاقی

نویسنده اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این اثر عملی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تایید می‌باشد.

منابع

1. Abedi Kopaei, J., Eslamian, S. S. and Zareian, M.J., 2011. Measuring and modeling water requirement and plant coefficient of cucumber, tomato and pepper using microlysimeter in greenhouse. Science and technology of greenhouse cultivation, 2(7): pp. 51-63. In Persian. <https://Dor.20.1001.1.20089082.1390.2.3.6.1>
2. Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., Raes, D. And James, L., 2005. FAO-56 Dual Crop Coefficient Method for Estimating Evaporation from Soil and Application Extensions. Irrigation and Drainage Engineering, 1(1): pp. 1-12. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(2005\)131:1\(2\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(2005)131:1(2))
3. Banki P., and Ganguly A., 2017. Performance and economic analysis of a floricultural greenhouse with distributed fan-pad evaporative cooling coupled with solar. Solar Energy, 147 : pp. 439-447. DOI: [10.1016/j.solener.2017.03.057](https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.03.057).
4. Connolly R.D., 1998. Modelling effects of soil structure on the water balance of soil-crop systems: a review. Soil & Tillage Research 48: pp. 1-19. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(98\)00128-7](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(98)00128-7).
5. Díaz-Pérez, J.C., Hook, J.E., 2017. Plastic-mulched bell pepper (*Capsicum annuum* L.) plant growth and fruit yield and quality as influenced by irrigation rate and calcium fertilization. HortScience 52, pp. 774-781. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI11830-17>.
6. FAO. 2022. World Food and Agriculture – Statistical Yearbook 2022. Rome. 380 p. <https://doi.org/10.4060/cc2211en>.
7. Farzamnia, M., Miranzadeh, M. and Jihad Akbar, M. 2015. Greenhouse Tomato Irrigation Planning Using Class A Evaporative Pan. Science and technology of greenhouse cultivation, 6(21): pp. 15-28. In Persian. <https://doi.org/10.18869/acadpub.ejggest.6.1.15>
8. Gadissa, T., Chemed, D., 2009. Effects of drip irrigation levels and planting methods on yield and yield components of green pepper *Capsicum annuum*, L.) in Bako, Ethiopia. Agric. Water Manag. 96, pp. 1673-1678. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.07.004>
9. Hong, M., Zhang, Z., Fu, Q. and Liu, Y., 2022. Water Requirement of Solar Greenhouse Tomatoes with Drip Irrigation under Mulch in the Southwest of the Taklimakan Desert. Water, 14: pp. 1-19. <https://doi.org/10.3390/w14193050>
10. Ihuoma, S. O. and Madramootoo, C. A., 2019. Crop reflectance indices for mapping water stress in greenhouse grown bell pepper. Agricultural Water Management, 219: pp. 49-58. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.04.001>

- Parameters of Tomato Plants in Greenhouse. Journal of Water Research in Agriculture, 36(3): pp. 299-313. In Persian.
<https://doi.org/10.22092/jwra.2022.358779.929>
22. Rubio, J. S., García-Sánchez, F., Flores, P., Navarro, J. M. and Martínez, V.m 2010. Yield and fruit quality of sweet pepper in response to fertilisation with Ca²⁺ and K⁺. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 8(1): pp. 170-177.
 DOI: <https://doi.org/10.5424/sjar/2010081-1156>.
 23. Saberian A. and Sajadiye M., 2020. Assessing the variable performance of fan-and-pad cooling in a subtropical desert greenhouse. *Applied thermal Engineering*, 179: pp. 1-18.
<https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2020.115672>.
 24. Sadeghi, S., Zarei, Q. and Mortazavi, S. N., 2013. Evaluation of the efficiency of the greenhouse fan and pad cooling system in the Mahallat region. *Science and technology of greenhouse cultivation*, 4(16): pp. 1-13. In persian. Doi: [20.1001.1.20089082.1392.4.4.5.6](https://doi.org/10.1001.1.20089082.1392.4.4.5.6).
 25. Sajadi, F., Sharifan, H. and Jamali, S., 2017. Evaluation the use of Caspian Seawater for Irrigation Green pepper under Greenhouse Conditions. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 11(2): pp. 274-285. In Persian.
 26. Singh, J., Sandal Sanjeev K., Abrar, Y. and Singh, S.P., 2023. Effect of Drip Irrigation and Fertigation on Soil Water Dynamics and Productivity of Greenhouse Tomatoes. *Water*, 15: pp. 1-16.
<https://doi.org/10.3390/w15112086>
 27. Verdinejad, R., Shabanian-Asl, V., Basharat, M. and Hassani, A., 2017. Determining water requirement, vegetation coefficient and water use efficiency of cucumber and tomato crops under greenhouse conditions (Case study: Urmia region). *Science and technology of greenhouse cultivation*, 8(3): pp. 27-39. In Persian. DOI: [10.29252/ejgcst.8.3.27](https://doi.org/10.29252/ejgcst.8.3.27).
 28. Wang, S.K., 2000. Handbook of air conditioning and refrigeration. McGraw Hill, New York, 1401 p.
 29. Zareabianeh, H., cheshmeh ghsabani, A., Babolhavayeji, H. and Afruzy, A., 2018. The effect of irrigation deficiency on evapotranspiration, water use efficiency, yield and growth of Hamedani pepper in greenhouse cultivation. *Science and technology of greenhouse cultivation*, 9(2): pp. 23-36. In Persian.
<https://dx.doi.org/10.29252/ejgcst.9.3.23>
 11. Jafari, M.S., Tafteh, A., and Ebrahimipak, N., 2022. Determining the water requirement and Applied water of bell pepper in the greenhouse and comparing it with the results of the water requirement system. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 53 (8): pp. 1831-1848. In Persian.
<https://doi.org/10.22059/ijswr.2022.345968.669321>
 12. Kirnak, H., Kaya, C., Higgs, D., Tas, I., 2003. Response of drip irrigated bell pepper to water stress and different nitrogen levels with or without mulch cover. *Journal Plant Nutrition*, 26: pp. 263-277. DOI: [10.1081/PLN-120017135](https://doi.org/10.1081/PLN-120017135).
 13. Mardaninejad, S., Tabatabaei, S. H., Pessarakli, M. and Zareabyaneh, H., 2017. Physiological Responses of Pepper Plant (*Capsicum annuum* L.) to Drought Stress. *Journal of Plant Nutrition*, [https://DOI.10.1080/01904167.2016.1269342](https://doi.org/10.1080/01904167.2016.1269342)
 14. Moghbeli Dameneh, E., Aein, A., Mokhtari, M. and Hasan Baluchi, M., 2019. Evaluation of Greenhouse yield and Water Use Efficiency in South of Kerman Province. *Greenhouse Vegetable Journal*, 2(1): pp. 1-8. In Persian.
 15. Montazeri, M., Banakar, A., Ghobadian, B. and Pasdar Shahri, H., 2019. Evaluation of Direct Evaporative Cooling System (Fan-Pad) in Greenhouse under Different Environmental Conditions. *Journal of Agricultural Machinery Mechanics Research*, 8(1): pp. 107-116. In Persian.
 16. O'Connor, N. and Mehta K., 2016. Modes of greenhouse water savings. *Procedia Engineering*, 159: pp. 259-266. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>
 17. Pereira, L.S., Cordery, I. And Iacovides, I., 2012. Improved indicators of water use performance and productivity for sustainable water conservation and saving. *Agricultural water management*, 108(15): pp. 39-51. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.08.022>.
 18. Passioura, J.B., 2006. Increasing crop productivity when water is scarce, from breeding to field management. *Agricultural Water Management*, 80: pp. 176-196. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2005.07.012>.
 19. Putra, A., Yuliando, H., 2015. Soilless culture system to support water use efficiency and product quality: a review. *Agriculture Science Procedia* 3: pp. 283-288. DOI: [10.1016/j.aaspro.2015.01.054](https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2015.01.054)
 20. Razmi, Z. and Ghaemi, A.A., 2011. Determination of plant coefficients and soil water tension of tomato under glass greenhouse conditions. *Science and technology of greenhouse cultivation*, 2(7): pp. 75-86. In Persian.
[https://Dor.20.1001.1.20089082.1390.2.3.83](https://doi.org/10.29252/ejgcst.2.7.75)
 21. Rezaee Khormenani, M., Akbari, M. and Kouchakzadeh, M., 2022. Effect of Wick Irrigation System on Water Productivity, Growth and Yield

