



Evaluation of Physical and Economic Efficiency of Water Consumption in Greenhouse Production Units in South Khorasan Province

Hossein Khozehmehnezhad^{1,✉} | Omidreza Behrooz² | Hamed Javadi³

1. Associate Professor, Department of Water Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran.
2. PhD Student, Department of Water Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran.
3. Associate Professor, Soil and Water Research Department, South Khorasan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Birjand, Iran.

✉Corresponding Author: hkhazemehnezhad@birjand.ac.ir

Submit Date
08 June 2026

Revise Date
26 July 2026

Accept Date
22 August 2026

Keywords:

Cucumber, Tomato, Pepper, Greenhouse scale.

Extended abstract

Introduction

Water scarcity is the primary limiting factor for agricultural development in arid and semi-arid regions such as Iran (Khozehmehnezhad et al., 2021). Given the highly constrained water resources in South Khorasan Province, optimizing water-use efficiency (WUE) and economic water productivity (EWP) is vital to achieving sustainable agriculture (Shayanmehr et al., 2024). In recent years, transitioning agricultural production from open-field systems to greenhouse environments has been widely promoted as a key strategy to enhance water productivity and shield crops from harsh environmental conditions (Guo et al., 2024; Heydari et al., 2007). However, the operational performance and water productivity of greenhouse units vary significantly, depending on factors such as facility scale, crop type, and local management practices. Therefore, evaluating physical and economic water efficiency under real farming conditions is crucial for strategic planning and resource allocation. To address this need, the present study aimed to evaluate the physical and economic efficiency of water consumption in greenhouse production units in South Khorasan Province.

Cite this article: Khozehmehnezhad, H., Behrooz, O., & Javadi, H. (2027). Evaluation of physical and economic efficiency of water consumption in greenhouse production units in South Khorasan Province. *Journal of Aquifer and Qanat*, 7 (2), 45- 66. <https://doi.org/10.22077/jaaq.2026.11479.1142>.



Copyright: © 2027 by the authors. Licensed by the Journal of Aquifer and Qanat. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Materials and Methods

This study was conducted during the 2024–2025 agricultural growing season in South Khorasan Province, Iran. A comprehensive census survey was carried out, covering all 202 active greenhouse units producing cucumber (113 units), tomato (49 units), and pepper (40 units) across the province. Data were gathered through structured questionnaires, face-to-face and telephone interviews, and field measurements. The recorded parameters included greenhouse cultivation area, total crop production, physical yield, volume of applied irrigation water (monitored via water meters where available), and farm-gate crop prices. Following the methodology described by Asadi et al. (2023), physical water use efficiency (WUE) and economic water productivity (EWP) were calculated using the following equations (Eq. 1 and Eq. 2):

$$WUE = \frac{Y}{V} \quad (1)$$

$$EWP = \frac{Y \times P}{V} \quad (2)$$

Where Y represents the crop yield (kg ha^{-1}), V is the volume of irrigation water consumed ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$), and P is the farm-gate price of the crop (Rials kg^{-1}). The collected data were processed and analyzed using descriptive statistics in Microsoft Excel.

Results and Discussion

The results revealed substantial differences in performance between greenhouse and open-field systems (Table 1). The average physical yields of greenhouse cucumber, tomato, and pepper were 196,450, 198,671, and 147,965 kg ha^{-1} , respectively, which were significantly higher than their corresponding open-field yields (35,272, 23,363, and 16,363 kg ha^{-1}).

Greenhouse cultivation also dramatically improved physical water use efficiency (Table 1). The physical WUE values for greenhouse cucumber, tomato, and pepper were 16.25, 15.13, and 14.85 kg m^{-3} , representing 8.5-, 14.8-, and 14.4-fold increases compared to open-field conditions. In terms of economic water productivity, greenhouse cucumber achieved the highest value (10,731,402 Rials m^{-3}), followed by tomato (10,546,689 Rials m^{-3}) and pepper (5,343,465 Rials m^{-3}). These values were 8-, 15-, and 11-times higher than those obtained under open-field systems, respectively. These findings are in line with Heidari et al. (2007), who reported that protected environments significantly reduce evaporative losses while maximizing economic returns per unit of water.

Table 1. Comparison of yield and physical and economic water productivity between greenhouse and open-field systems

Crop	Production System	Yield (kg.ha^{-1})	Physical WUE (kg.m^{-3})	Economic Water Productivity (Rials m^{-3})
Cucumber	Greenhouse	196,450	16.25	10,731,402
	Open Field	35,272	2.81	1,381,446
Tomato	Greenhouse	198,671	15.13	10,546,689
	Open Field	23,363	1.02	686,303
Pepper	Greenhouse	147,965	14.85	5,343,465
	Open Field	16,363	1.04	458,369

Furthermore, greenhouse units with a scale of 1000 to 3000 m^2 achieved the highest physical yield (192,410 kg ha^{-1}) and water use efficiency (30.69 kg m^{-3}). Regarding the planting window, sowing crops from April to June yielded the highest average performance (216,102 kg ha^{-1}) and physical WUE (35.43 kg m^{-3}).

Conclusion

Transitioning crop production from open fields to greenhouse environments is a highly effective strategy to mitigate water scarcity in South Khorasan Province. Greenhouse cucumber was identified as the most suitable crop in the province compared to other crops like tomato and pepper, as it achieved the highest physical water use efficiency of 16.25 kg m^{-3} and the highest economic water productivity of 10,731,402 Rials m^{-3} . To optimize water productivity, greenhouses should ideally be designed within a scale of 1000 to 3000 m^2 and managed under optimal planting dates (April to June). These findings provide valuable insights for agricultural policymakers to support targeted greenhouse development in hyper-arid regions.



ارزیابی کارایی فیزیکی و اقتصادی مصرف آب در واحدهای تولیدی محصولات گلخانه‌ای استان خراسان جنوبی

حسین خزیمه‌نژاد^۱ | امیدرضا بهروز^۲ | حامد جوادی^۳

۱. دانشیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.
۲. دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.
۳. دانشیار، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان جنوبی سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بیرجند، ایران.

✉ نویسنده مسئول: hkhoezcmehmezhad@birjand.ac.ir

چکیده

این پژوهش با هدف ارزیابی کارایی فیزیکی و اقتصادی مصرف آب در واحدهای تولیدی محصولات گلخانه‌ای استان خراسان جنوبی و مقایسه آن با کشت فضای باز انجام شد. بدین منظور داده‌های پژوهش از طریق پرسش‌نامه و آماربرداری میدانی از ۲۰۲ گلخانه فعال در شهرستان‌های مختلف استان خراسان جنوبی در طول دوره تولیدی ۱۴۰۳-۱۴۰۴ جمع‌آوری شد. شاخص‌های مورد بررسی شامل عملکرد، حجم آب مصرفی، کارایی مصرف آب و کارایی اقتصادی آب برای محصولات خیار، گوجه‌فرنگی و فلفل بودند. نتایج نشان داد که عملکرد خیار، گوجه‌فرنگی و فلفل در گلخانه به ترتیب ۱۹۶۴۵۰، ۱۹۸۶۷۱ و ۱۴۷۹۶۵ کیلوگرم در هکتار بود، درحالی‌که این مقادیر در فضای باز به ترتیب ۳۵۲۷۲، ۲۳۳۶۳ و ۱۶۳۶۳ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. همچنین کارایی مصرف آب در گلخانه برای خیار، گوجه‌فرنگی و فلفل به ترتیب ۱۶/۲۵، ۱۵/۱۳ و ۱۴/۸۵ کیلوگرم بر مترمکعب بود که نسبت به فضای باز به ترتیب ۸/۵، ۱۴/۸ و ۱۴/۴ برابر افزایش نشان داد. از نظر کارایی اقتصادی نیز خیار گلخانه‌ای با ۱۰۷۳۱۴۰۲ ریال بر مترمکعب، گوجه‌فرنگی با ۱۰۵۴۶۶۸۹ ریال بر مترمکعب و فلفل با ۵۳۴۳۴۶۵ ریال بر مترمکعب، مقادیر بالاتری نسبت به کشت فضای باز داشتند. نتایج همچنین نشان داد که گلخانه‌های با مساحت ۱۰۰۰ تا ۳۰۰۰ مترمربع و زمان کاشت فروردین تا خرداد، بیشترین عملکرد و کارایی مصرف آب را به خود اختصاص داده‌اند. در مجموع، مقایسه سه محصول مورد مطالعه نشان داد که خیار گلخانه‌ای از نظر هر دو شاخص کارایی فیزیکی و اقتصادی مصرف آب، مناسب‌ترین و مزیت‌دارترین محصول برای شرایط استان خراسان جنوبی است؛ زیرا هم بالاترین کارایی مصرف آب و هم بیشترین کارایی اقتصادی را در بین محصولات بررسی‌شده به خود اختصاص داد؛ بنابراین، کشت گلخانه‌ای به‌ویژه برای محصول خیار، می‌تواند راهکاری مؤثر برای افزایش بهره‌وری آب، ارتقای سودآوری و پایداری تولید در شرایط کم‌آب استان خراسان جنوبی باشد.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۳/۱۸
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۵/۰۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۵/۳۱

کلیدواژه‌ها:

خیار، گوجه‌فرنگی، فلفل، مقیاس گلخانه.

مقدمه

بخش کشاورزی بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب در جهان است و در مناطق خشک و نیمه‌خشک، محدودیت منابع آب چالش اصلی پایداری تولید به شمار می‌رود (khozeymahnezhad et al., 2021). توسعه کشت‌های گلخانه‌ای راهکاری کلیدی برای افزایش تولید و ارتقای بهره‌وری آب است؛ با این حال، موفقیت این سامانه‌ها به مدیریت آبیاری، تغذیه، فناوری و شرایط اقلیمی بستگی داشته و نتایج یک منطقه بدون ارزیابی بومی قابل تعمیم به سایر مناطق نیست (Abyar et al., 2026; Abbas & Al-Naemi, 2026).

در دهه‌های اخیر، کشت گلخانه‌ای سبزی‌های پر مصرفی نظیر خیار، گوجه‌فرنگی و فلفل به دلیل کنترل شرایط محیطی و کاهش تبخیر، متداول شده است، به‌طوری‌که کارایی مصرف آب در این روش ۵ تا ۱۰ برابر کشت‌های فضای باز گزارش شده است (Heydari et al., 2007). با توجه به ضرورت ارتقای کارایی مصرف آب، تحقیقات بر شناسایی عوامل مؤثر بر افزایش عملکرد و بهره‌وری آب در این واحدها متمرکز شده است.

در بررسی گیاه خیار گلخانه‌ای نتایج نشان داد که تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی منجر به بیشترین کارایی مصرف آب (۶۹/۷ کیلوگرم بر مترمکعب) می‌شود، درحالی‌که مصرف آب در گلخانه‌های یزد ۵۵ تا ۶۰ درصد بیش از نیاز واقعی است (Karimi et al., 2010).

در مطالعات خارجی، نیاز آبی خیار ۶۹۳۰ مترمکعب در هکتار (Mujahed, 2007) و میزان آب مصرفی آن ۲۹۰ میلی‌متر گزارش شده است (Chartzoulakis & Drosos, 1995). همچنین در ترکیه، کارایی مصرف آب خیار را ۴۲ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش کردند (Cakir et al., 2017).

در گزارشی دیگر نیز بالاترین کارایی را در حجم آبیاری ۲۴۳۷ مترمکعب در هکتار گزارش نمودند (Mao et al., 2003). علاوه بر این، نتایج گزارشی حاکی از آن بود که عملکرد و کارایی مصرف آب در کشت تابستانه به مراتب بیشتر از کشت زمستانه است (Rezvani et al., 2020). نتایج تحقیقی نشان داد که کارایی مصرف آب در ۳۸ درصد واحدهای گلخانه‌ای بیش از ۲۰ کیلوگرم بر مترمکعب بود (Dehghani et al., 2007).

در خصوص گوجه‌فرنگی، محققان حداکثر عملکرد و کارایی مصرف آب را به ترتیب ۳/۲ تن در هکتار و ۵۵ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش کردند (Verdinejad et al., 2017). در تحقیقی، مقدار بهینه نیاز آبی گلخانه‌ای را معادل ۷۵ درصد تبخیر-تعرق محیط بیرون دانستند (Harmanto et al., 2005) و در تحقیقی دیگر مصرف آب این محصول را ۲۶۰ میلی‌متر برآورد کردند (Chartzoulakis & Drosos, 1995). در گزارشی میزان تبخیر-تعرق خیار، گوجه‌فرنگی و فلفل را در دوره‌های مختلف رشد به ترتیب ۲۰۲، ۵۲۴ و ۶۶۷ میلی‌متر گزارش نمودند (Abedi Koupai et al., 2011).

در مطالعات مربوط به فلفل، نتایج نشان داد که کارایی مصرف آب بین ۷۷ تا ۵۵/۲ کیلوگرم بر مترمکعب متغیر بود (Junior et al., 2016). محققان در رژیم‌های مختلف آبیاری، عملکرد ۲۱ تا ۳/۳۵ تن در هکتار و کارایی مصرف آب ۷/۴ تا ۹/۷ کیلوگرم بر مترمکعب را گزارش کردند (Sezen et al., 2006). همچنین در تحقیقی دیگر در کشت فلفل همدانی، کارایی مصرف آب را ۷۹/۴ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش نمودند (Zare Abyaneh et al., 2018).

یافته‌های اخیر بر نقش فناوری‌های نوین در مدیریت آب تأکید دارند؛ به‌طوری‌که کاربرد سامانه‌های هوشمند کودآبیاری در گلخانه‌های گوجه‌فرنگی، علاوه بر کاهش مصرف آب، عملکرد و بهره‌وری مصرف عناصر غذایی را بهبود

این مطالعه به روش سرشماری انجام شد و تمامی ۲۰۲ واحد گلخانه‌ای فعال محصولات گوجه‌فرنگی، خیار و فلفل استان مورد بررسی قرار گرفتند. در هر واحد گلخانه‌ای تنها یک محصول کشت شده بود. توزیع فراوانی واحدهای گلخانه‌ای فعال مورد مطالعه به تفکیک شهرستان و نوع محصول در جدول ۱ ارائه شده است.

ابزار اصلی گردآوری داده‌ها، پرسش‌نامه محقق‌ساخته بود. اطلاعات مورد نیاز از طریق تکمیل پرسش‌نامه و انجام مصاحبه حضوری و تلفنی با بهره‌برداران گلخانه‌ای جمع‌آوری شد. داده‌های گردآوری‌شده شامل نوع محصول، سطح زیر کشت، میزان تولید، عملکرد، حجم آب مصرفی و قیمت فروش محصول بود. همین اطلاعات برای کشت فضای باز محصولات خیار، گوجه‌فرنگی و فلفل نیز جمع‌آوری شد تا امکان مقایسه شاخص‌های مورد بررسی بین دو نظام تولیدی فراهم شود.

برآورد حجم آب آبیاری بر اساس دبی منبع آب و مدت‌زمان آبیاری انجام شد و در برخی واحدها که مجهز به کنتور بودند، اطلاعات ثبت‌شده کنتور مبنای محاسبه قرار گرفت. همچنین، قیمت محصول بر اساس قیمت سر مزرعه و مقدار محصول برداشت‌شده در طول دوره برداشت محاسبه شد. با توجه به اینکه برداشت محصول در برخی واحدها به‌صورت چندچین در یک دوره انجام می‌شد، مجموع محصول برداشت‌شده در کل دوره برداشت به‌عنوان عملکرد نهایی در نظر گرفته شد.

شاخص‌های اصلی پژوهش شامل کارایی فیزیکی و اقتصادی مصرف آب بود که به ترتیب از روابط زیر محاسبه شدند:

$$WUE = \frac{Y}{V} \quad (1)$$

$$EWP = \frac{Y \times P}{V} \quad (2)$$

بخشیده است (Wang et al., 2024). همچنین ارتقای کارایی مصرف منابع در گرو به‌کارگیری فناوری‌های نوین در مدیریت محیطی و آبیاری است (Guo et al., 2024).

با وجود مطالعات متعدد بر جنبه‌های فنی و زیستی، اطلاعات کمتری در خصوص ارزیابی هم‌زمان کارایی فیزیکی و اقتصادی مصرف آب در سطح واحدهای تولیدی وجود دارد. این موضوع در استان خراسان جنوبی با توجه به اقلیم خشک و محدودیت شدید منابع آب، اهمیت مضاعفی می‌یابد. از این‌رو، بررسی توان کارایی فیزیکی و اقتصادی مصرف آب در گلخانه‌های این استان می‌تواند درک دقیق‌تری از وضعیت بهره‌وری آب فراهم ساخته و راهکارهای عملیاتی برای بهبود مدیریت منابع و تصمیم‌گیری بهینه در توسعه کشت‌های گلخانه‌ای ارائه دهد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در استان خراسان جنوبی، واقع در اقلیم گرم و خشک، در سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۴ انجام شد. اطلاعات پایه مربوط به تعداد و وضعیت گلخانه‌های استان از طریق کارشناسان خبره جهاد کشاورزی گردآوری شد. بر این اساس، در مجموع ۴۰۸ واحد گلخانه‌ای در سطح استان شناسایی شد که از این تعداد، ۳۲۴ واحد با مجموع سطح زیر کشت ۶۳۰۸۸۹ مترمربع فعال بودند. بیشترین سطح زیر کشت گلخانه‌های فعال استان به محصولات خیار، گوجه‌فرنگی و فلفل اختصاص داشت؛ به‌طوری‌که خیار حدود ۳۹ درصد (۲۴۵۹۵۴ مترمربع)، گوجه‌فرنگی حدود ۲۵ درصد (۱۵۵۸۱۵ مترمربع)، فلفل حدود ۱۵ درصد (۹۷۴۹۰ مترمربع) و سایر محصولات حدود ۲۱ درصد (۱۳۱۶۳۰ مترمربع) از کل سطح زیر کشت گلخانه‌های فعال استان را شامل می‌شدند.

کلیه محاسبات مربوط به شاخص‌ها، تنظیم جداول و ترسیم نمودارها در همین نرم‌افزار انجام گرفت. با توجه به اینکه پژوهش به روش سرشماری انجام شد، تحلیل داده‌ها در سطح آمار توصیفی صورت گرفت.

در روابط فوق، Y: عملکرد محصول (کیلوگرم در هکتار)، V: حجم آب مصرف‌شده (مترمکعب در هکتار)، WUE: کارایی مصرف آب (کیلوگرم بر مترمکعب)، P: قیمت محصول (ریال) می‌باشند.

پس از جمع‌آوری و کنترل اولیه، داده‌ها در نرم‌افزار Microsoft Excel کدگذاری و پردازش شدند.

جدول ۱- توزیع فراوانی واحدهای گلخانه‌ای فعال مورد مطالعه به تفکیک شهرستان و نوع محصول
Table 1. Frequency distribution of the active greenhouse units studied by county and crop type

نام شهرستان	خیار	گوجه‌فرنگی	فلفل	جمع کل واحدهای فعال شهرستان
County name	Cucumber	Tomato	Pepper	Total active units in the county
بشرویه	4	2	9	15
Boshruyeh				
بیرجند	6	1	1	8
Birjand				
خوسف	16	14	14	44
Khusf				
درمیان	2	18	2	22
Darmian				
زیرکوه	4	0	0	4
Zirkouh				
سرایان	14	0	1	15
Sarayan				
سربیشه	5	6	0	11
Sarbisheh				
طیس	13	0	0	13
Tabas				
فردوس	16	0	2	18
Ferdows				
قاین	25	8	3	36
Qaen				
نهبندان	8	0	8	16
Nehbandan				
مجموع استان	113	49	40	202
Provincial Total				

کشت فضای باز و همچنین تأثیر مقیاس و تاریخ کاشت بر عملکرد و کارایی مصرف آب مورد مطالعه قرار گرفت.

نتایج و بحث

این پژوهش باهدف ارزیابی عملکرد و کارایی فیزیکی و اقتصادی مصرف آب در گلخانه‌های استان خراسان جنوبی برای سه محصول (خیار، گوجه‌فرنگی و فلفل) و مقایسه آن با

فلفل نیز کمترین عملکرد را نشان داد که می‌تواند ناشی از تفاوت‌های مدیریتی، شرایط رشد و ویژگی‌های ذاتی محصول باشد.

از نظر میزان تولید، خیار در رتبه نخست قرار گرفت که این موضوع علاوه بر عملکرد مناسب، به سطح زیر کشت بیشتر آن نیز مربوط است.

در مقابل، تولید کمتر فلفل با سطح زیر کشت و عملکرد پایین‌تر آن هماهنگ بود. در مجموع، این نتایج نشان می‌دهد که الگوی تولید گلخانه‌ای استان بیشتر بر خیار و گوجه‌فرنگی متمرکز است و این تفاوت‌ها می‌تواند در تحلیل کارایی مصرف آب نیز مؤثر باشد.

تحلیل آماری میزان و کارایی مصرف آب در محصولات خیار، فلفل و گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای خراسان جنوبی

نتایج تحلیل داده‌ها نشان داد که در خصوص محصولات مورد مطالعه، میزان مصرف آب در گوجه‌فرنگی (۱۲۶۲۱ مترمکعب) نسبت به خیار (۸۹۷۰ متر مکعب) بیشتر بود (شکل ۲- الف).

همچنین در این مطالعه، کارایی مصرف آب گوجه‌فرنگی، خیار و فلفل به ترتیب ۱۵/۱، ۱۶/۳ و ۱۴/۹ کیلوگرم بر مترمکعب بود (شکل ۲- ب). با توجه به عملکرد بالای خیار گلخانه‌ای در بین محصولات مورد مطالعه (جدول ۱- ب) و کمترین میزان مصرف آب این محصول (جدول ۲- الف) همان‌طور که انتظار می‌رفت بالاترین کارایی مصرف آب به خیار تعلق داشت. این در حالی بود که عملکرد فلفل نسبت به سایر محصولات پایین‌تر بود و میزان مصرف آب بالاتری داشت؛ لذا کمترین کارایی مصرف آب را به خود اختصاص داد.

نتایج نشان داد که میزان مصرف آب در گوجه‌فرنگی بیشتر از خیار بود، درحالی‌که خیار بالاترین کارایی مصرف آب را به خود اختصاص داد. این وضعیت بیانگر آن است که خیار

تحلیل آماری سطح زیر کشت، عملکرد و تولید محصولات عمده گلخانه‌ای خراسان جنوبی

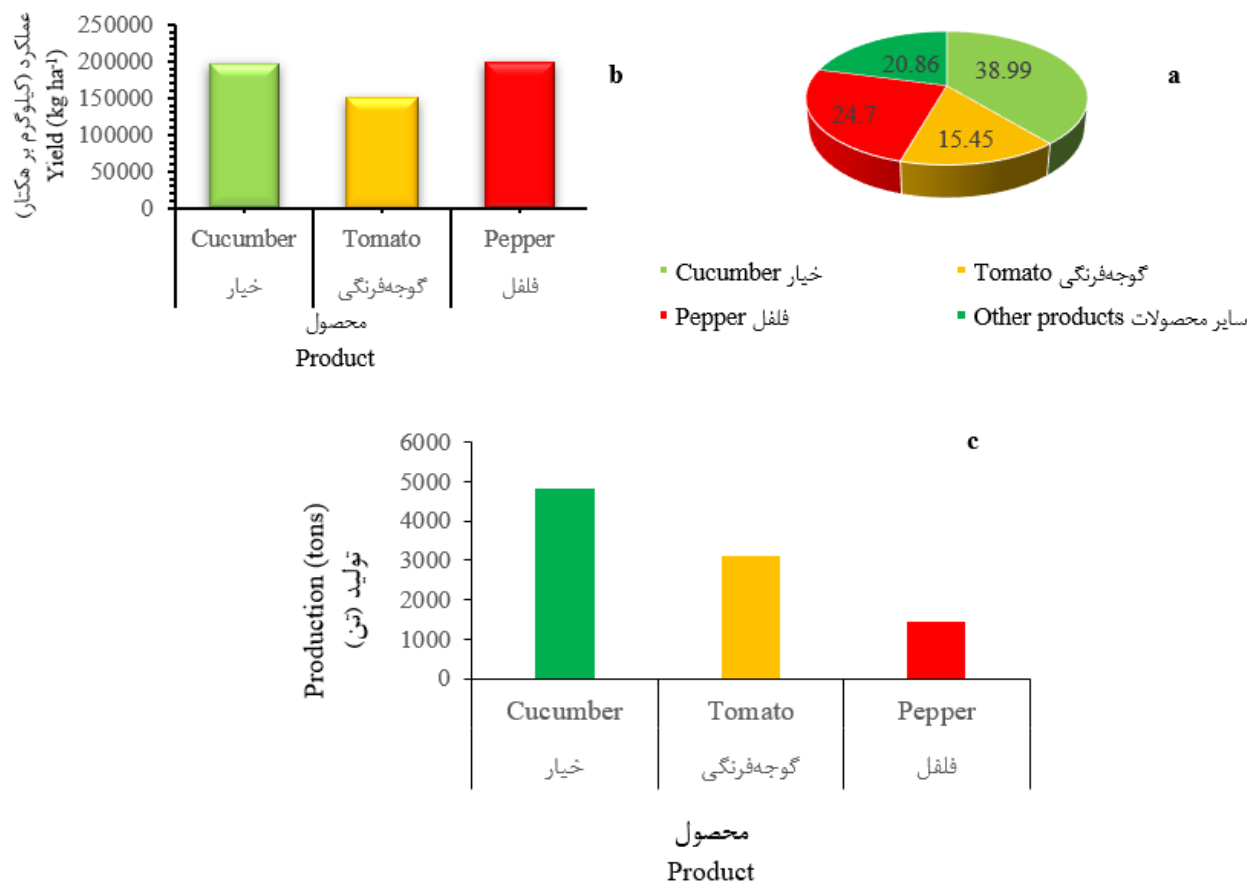
استان خراسان جنوبی در حال حاضر دارای تعداد ۴۰۸ واحد گلخانه می‌باشد که ۳۲۴ واحد (۶۳۰۸۸۹ مترمربع) فعال می‌باشد. بخش عمده سطح زیر کشت این استان به تولید خیار (حدود ۳۹ درصد معادل ۲۴۵۹۵۴ مترمربع)، گوجه‌فرنگی (حدود ۲۵ درصد معادل ۱۵۵۸۱۵ مترمربع)، فلفل (۱۵ درصد معادل ۹۷۴۹۰ مترمربع) و سایر محصولات (۲۱ درصد معادل ۱۳۱۶۳۰ مترمربع) اختصاص یافته است (شکل ۱- الف).

نتایج تحلیل داده‌ها نشان داد که در خصوص محصولات مورد بررسی، گوجه‌فرنگی بالاترین عملکرد با میانگین ۱۹۸۶۷۱ کیلوگرم در هکتار را داشت و پس از آن خیار با میانگین عملکرد ۱۹۶۴۵۰ کیلوگرم در هکتار قرار داشت و کمترین عملکرد مربوط به فلفل با میانگین عملکرد ۱۴۷۹۶۵ کیلوگرم در هکتار بود (شکل ۱- ب). همچنین بیشترین میزان تولید از بین محصولات گلخانه‌ای، مربوط به خیار با تولید ۴۸۳۲ تن و پس از آن گوجه‌فرنگی با تولید ۳۰۹۶ تن بود و فلفل با تولید ۱۴۴۳ تن کمترین میزان تولید در گلخانه‌های استان خراسان جنوبی را به خود اختصاص داد (شکل ۱- ج).

نتایج نشان داد که خیار، گوجه‌فرنگی و فلفل، محصولات اصلی گلخانه‌ای استان خراسان جنوبی هستند و در این میان، خیار بیشترین سهم سطح زیر کشت را دارد. این امر می‌تواند نشان‌دهنده سازگاری بیشتر این محصول با شرایط گلخانه‌ای منطقه و استقبال بیشتر بهره‌برداران از کشت آن باشد. از نظر عملکرد، گوجه‌فرنگی بیشترین میانگین عملکرد را داشت و پس از آن خیار قرار گرفت.

مشاهده شده بین محصولات مورد بررسی نشان می دهد که نوع محصول نقش مهمی در میزان و کارایی مصرف آب در شرایط گلخانه ای دارد.

توانسته است با مصرف آب کمتر، عملکرد بالاتری در واحد حجم آب تولید کند. در مقابل، فلفل به دلیل عملکرد پایین تر و مصرف آب بیشتر، کمترین کارایی مصرف آب را نشان داد. به طور کلی، اختلاف



شکل ۱. وضعیت سطح زیر کشت (الف)، عملکرد (ب) و تولید (ج) محصولات خیار، گوجه فرنگی و فلفل گلخانه ای در خراسان جنوبی
Fig 1. Cultivated area (a), yield (b), and production (c) of greenhouse cucumber, tomato, and pepper crops in South Khorasan

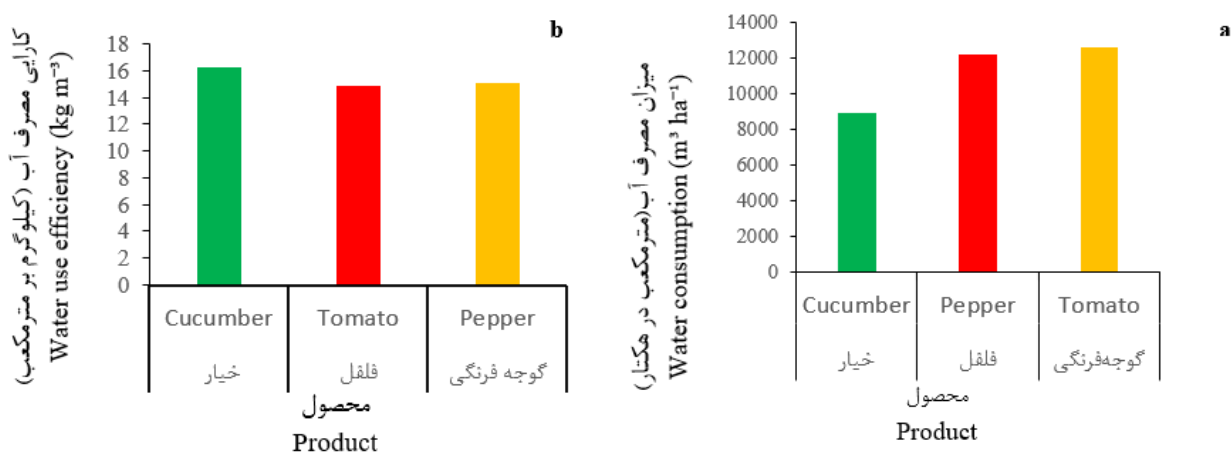
کیلوگرم بر مترمکعب بود (شکل ۲-ب). با توجه به عملکرد بالای خیار گلخانه ای در بین محصولات مورد مطالعه (جدول ۱-ب) و کمترین میزان مصرف آب این محصول (جدول ۲-الف) همان طور که انتظار می رفت بالاترین کارایی مصرف آب به خیار تعلق داشت. این در حالی بود که عملکرد فلفل نسبت به سایر محصولات پایین تر بود و میزان مصرف آب بالاتری داشت؛ لذا کمترین کارایی مصرف آب را به خود اختصاص داد. نتایج نشان داد که میزان مصرف آب در

تحلیل آماری میزان و کارایی مصرف آب در محصولات خیار، فلفل و گوجه فرنگی گلخانه ای خراسان جنوبی نتایج تحلیل داده ها نشان داد که در خصوص محصولات مورد مطالعه، میزان مصرف آب در گوجه فرنگی (۱۲۶۲۱ مترمکعب) نسبت به خیار (۸۹۷۰ مترمکعب) بیشتر بود (شکل ۲-الف). همچنین در این مطالعه، کارایی مصرف آب گوجه فرنگی، خیار و فلفل به ترتیب ۱۵/۱، ۱۶/۲ و ۱۴/۹

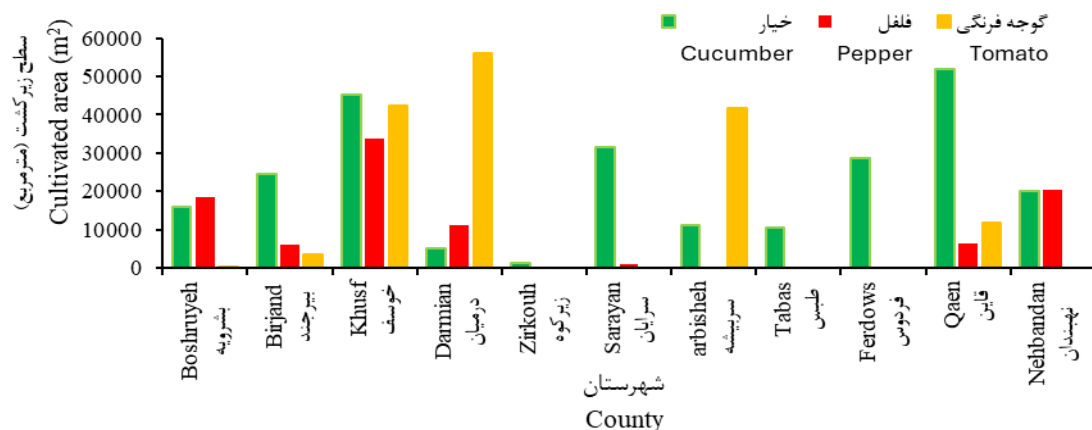
تحلیل سطح زیر کشت، عملکرد، مصرف آب و کارایی مصرف آب محصول خیار در شهرستان‌های استان خراسان جنوبی

نتایج این مطالعه نشان داد که از ۳۹ درصد (۲۴۵۹۵۴ مترمربع) سطح زیر کشت محصول خیار در استان خراسان جنوبی بیشترین سطح زیر کشت را شهرستان قاینات با ۲۱ درصد (۵۱۹۶۰ مترمربع) و کمترین سطح زیر کشت را شهرستان زیر کوه با ۱ درصد (۱۳۹۷ مترمربع) به خود اختصاص دادند (شکل ۳).

گوجه‌فرنگی بیشتر از خیار بود، درحالی‌که خیار بالاترین کارایی مصرف آب را به خود اختصاص داد. این وضعیت بیانگر آن است که خیار توانسته است با مصرف آب کمتر، عملکرد بالاتری در واحد حجم آب تولید کند. در مقابل، فلفل به دلیل عملکرد پایین‌تر و مصرف آب بیشتر، کمترین کارایی مصرف آب را نشان داد. به‌طور کلی، اختلاف مشاهده‌شده بین محصولات مورد بررسی نشان می‌دهد که نوع محصول نقش مهمی در میزان و کارایی مصرف آب در شرایط گلخانه‌ای دارد.



شکل ۲. میزان مصرف آب (الف) و کارایی فیزیکی مصرف آب (ب) محصولات خیار، گوجه‌فرنگی و فلفل گلخانه‌ای در خراسان جنوبی
Fig 2. Water consumption (a) and physical water use efficiency (b) of greenhouse cucumber, tomato, and pepper in South Khorasan Province



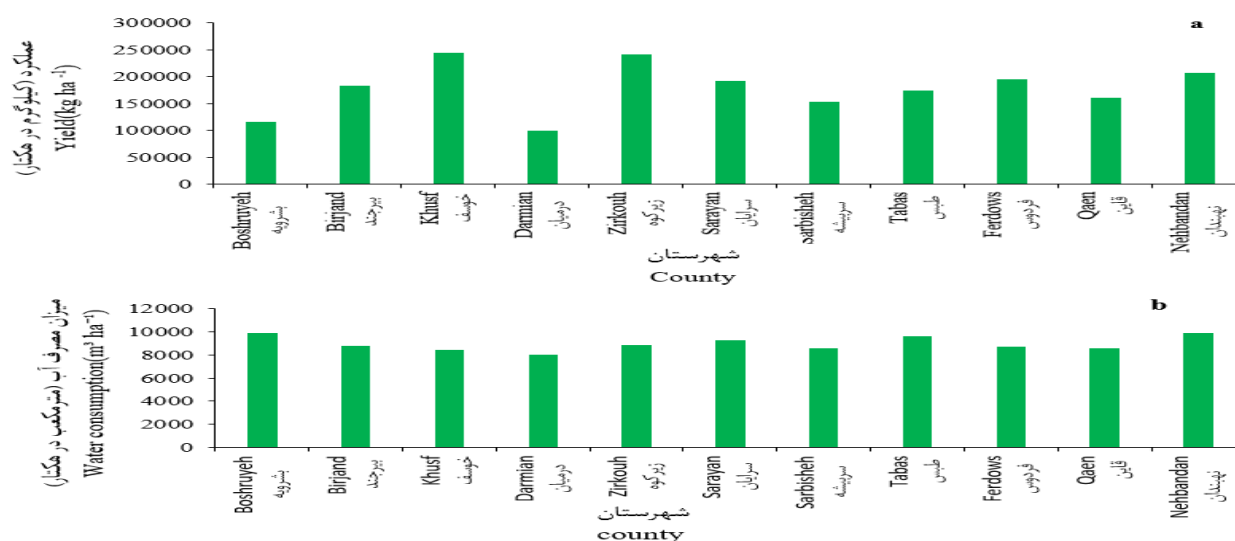
شکل ۳. سطح زیر کشت خیار، گوجه‌فرنگی و فلفل گلخانه‌ای شهرستان‌های مختلف خراسان جنوبی
Fig 3. Greenhouse cultivated area of cucumber, tomato, and pepper crops in the counties of South Khorasan Province

جنوبی متفاوت است. بیشترین سطح زیر کشت در شهرستان قاینات بیانگر اهمیت بیشتر این محصول در الگوی تولید گلخانه‌ای آن شهرستان است.

همچنین اختلاف عملکرد بین شهرستان‌ها نشان می‌دهد که شرایط محلی و نحوه مدیریت تولید می‌تواند نقش مهمی در میزان عملکرد خیار گلخانه‌ای داشته باشد. از سوی دیگر، تفاوت در میزان مصرف آب نیز بیانگر آن است که واحدهای گلخانه‌ای شهرستان‌های مختلف از نظر مدیریت آبیاری یکسان عمل نمی‌کنند.

در مجموع، این نتایج نشان می‌دهد که تفاوت‌های شهرستانی می‌تواند بر عملکرد و کارایی مصرف آب خیار گلخانه‌ای اثرگذار باشد.

نتایج حاصل از مقایسه شهرستان‌های استان نشان داد که شهرستان خوسف با عملکرد ۲۴۳۹۹۵ کیلوگرم در هکتار و پس از آن شهرستان زیرکوه با عملکرد ۲۴۰۷۵۳ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد خیار گلخانه‌ای را داشتند. این در حالی بود که شهرستان درمیان با عملکرد ۱۰۰۰۰۰ کیلوگرم در هکتار کمترین عملکرد را نشان داد (شکل ۴-الف). بررسی مصرف آب نیز بیانگر آن است که بیشترین مصرف آب به شهرستان‌های نهبندان و بشرویه به ترتیب با ۹۹۳۷ و ۹۹۰۰ مترمکعب در هکتار اختصاص داشت، درحالی‌که کمترین مقدار مصرف آب مربوط به شهرستان درمیان با ۸۰۰۰ مترمکعب در هکتار بود (شکل ۴-ب). نتایج نشان داد که سطح زیر کشت، عملکرد و مصرف آب خیار گلخانه‌ای در شهرستان‌های مختلف استان خراسان



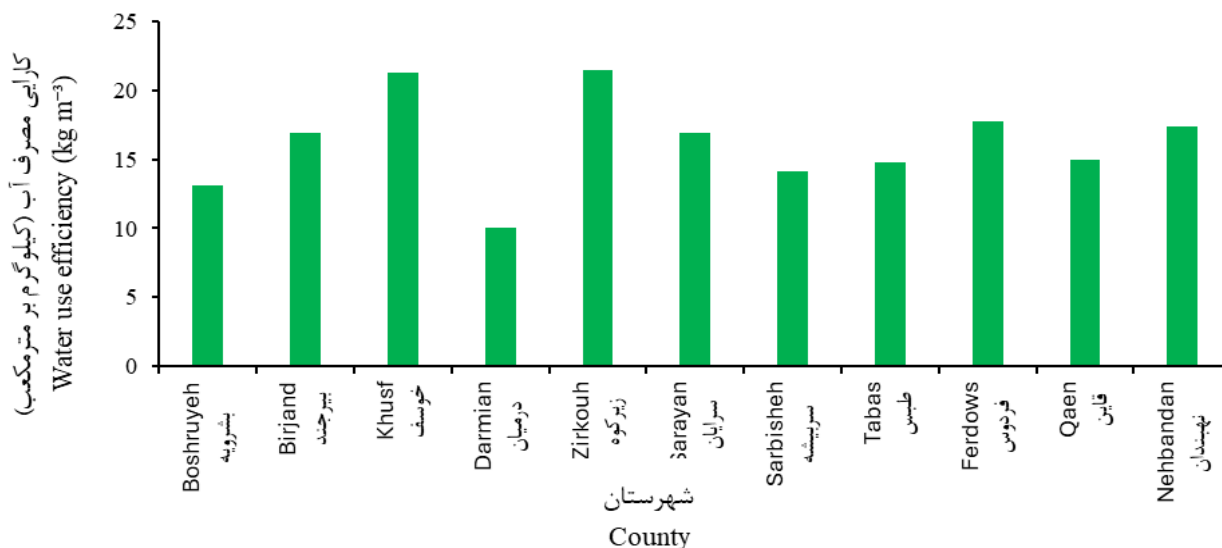
شکل ۴. میزان عملکرد (الف) و مصرف آب (ب) خیار در شهرستان‌های استان خراسان جنوبی
Fig 4. Yield (a) and water consumption (b) of cucumber in the counties of South Khorasan Province

اختلاف کارایی مصرف آب خیار بین شهرستان‌های مختلف نشان می‌دهد که عملکرد و میزان مصرف آب به طور هم‌زمان بر این شاخص اثرگذار بوده‌اند. کارایی بالاتر در شهرستان خوسف می‌تواند ناشی از ترکیب عملکرد بیشتر و مدیریت مناسب‌تر مصرف آب باشد، درحالی‌که کارایی

نتایج نشان داد بیشترین کارایی مصرف آب خیار مربوط به شهرستان خوسف با مقدار ۲۸/۹۶ کیلوگرم بر مترمکعب و کمترین کارایی مصرف آب مربوط به شهرستان درمیان با مقدار ۱۲/۵ کیلوگرم بر متر مکعب می‌باشد (شکل ۵).

شهرستان‌هایی با کارایی پایین‌تر می‌تواند نقش مهمی در ارتقای بهره‌وری آب خیار گلخانه‌ای داشته باشد.

پایین‌تر در شهرستان درمیان بیانگر محدودیت در بهره‌برداری مؤثر از آب مصرفی است. در مجموع، این نتایج نشان می‌دهد که بهبود مدیریت تولید و آبیاری در



شکل ۵. کارایی مصرف آب خیار در شهرستان‌های مختلف استان خراسان جنوبی
Fig 5. Water use efficiency of cucumber in the counties of South Khorasan Province

کمترین مقدار آن در شهرستان درمیان با عملکرد ۷۵۴۵۴ کیلوگرم در هکتار بود (شکل ۶-الف). همچنین، شهرستان نهبندان با ۱۳۳۱۲ مترمکعب بیشترین و شهرستان درمیان با ۱۰۷۵۰ مترمکعب کمترین میزان مصرف آب را به خود اختصاص دادند (شکل ۶-ب).

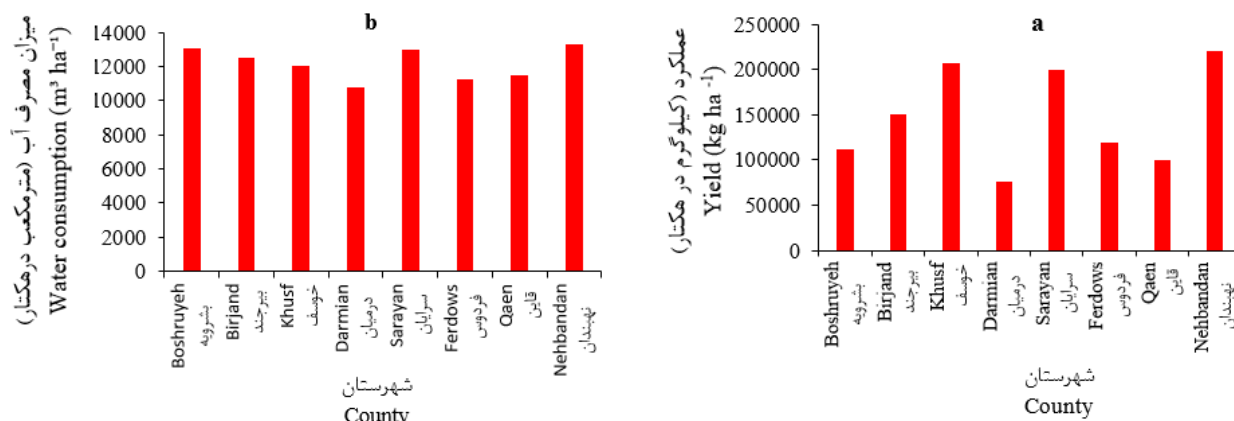
نتایج این مطالعه نشان داد که بیشترین کارایی مصرف آب مربوط به شهرستان خوسف با مقدار ۲۱/۶۱ کیلوگرم بر مترمکعب و کمترین آن مربوط به شهرستان بشروییه با مقدار ۸/۵۶ کیلوگرم بر مترمکعب بود (شکل ۷).

نتایج نشان داد که وضعیت کشت فلفل گلخانه‌ای در شهرستان‌های استان خراسان جنوبی یکنواخت نیست و از نظر سطح زیر کشت، عملکرد، مصرف آب و کارایی مصرف آب بین شهرستان‌ها تفاوت قابل توجهی وجود دارد.

تحلیل آماری سطح زیر کشت، عملکرد، مصرف آب و کارایی مصرف آب فلفل در شهرستان‌های استان خراسان جنوبی

سطح زیر کشت فلفل در استان خراسان جنوبی ۱۵ درصد، معادل ۹۷۴۹۰ مترمربع، برآورد شد. در بین شهرستان‌های استان، خوسف با ۳۵ درصد از کل سطح زیر کشت (معادل ۳۳۷۰۰ مترمربع) بیشترین سهم را به خود اختصاص داد، درحالی‌که درمیان با ۱ درصد (معادل ۱۰۰۰ مترمربع) کمترین سطح زیر کشت را دارا بود. همچنین، در شهرستان‌های سربیشه، زیرکوه، طبس و فردوس کشت فلفل گزارش نشد (شکل ۳).

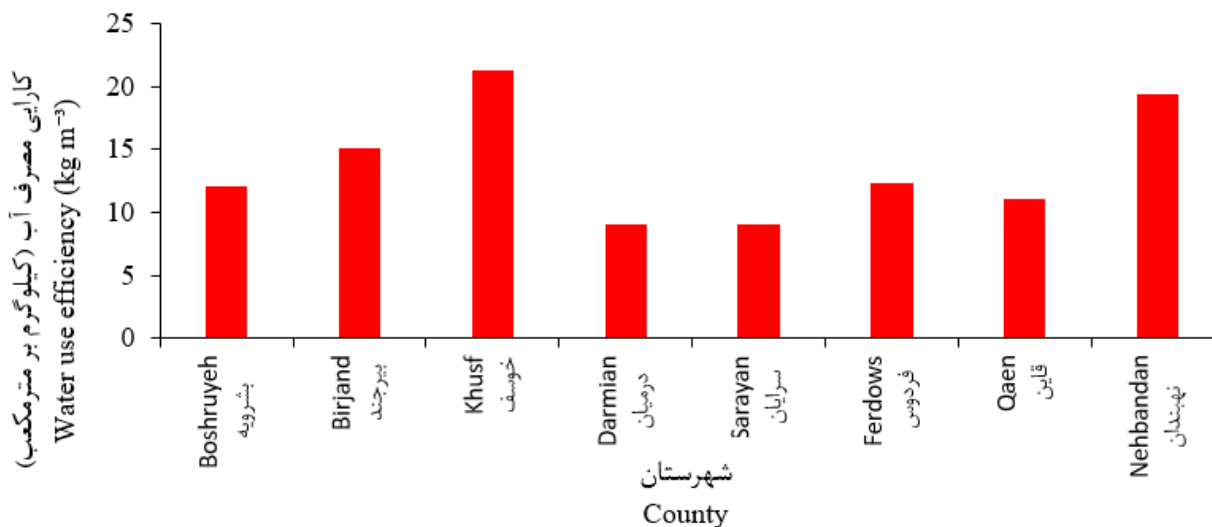
نتایج این مطالعه نشان داد که بیشترین میزان عملکرد فلفل در شهرستان نهبندان با ۲۲۰۰۰۰ کیلوگرم در هکتار و



شکل ۶. میزان عملکرد (الف) و میزان مصرف آب (ب) فلفل در شهرستان‌های مختلف استان خراسان جنوبی
Fig 6. Pepper yield (a) and water consumption (b) in the counties of South Khorasan Province

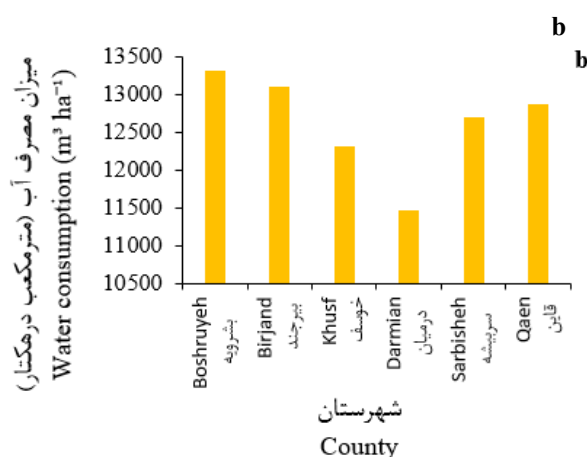
داشته باشد. از سوی دیگر، بیشترین کارایی مصرف آب در خوسف و کمترین آن در بشرویه نشان می‌دهد که مقدار مصرف آب به تنهایی تعیین‌کننده نیست، بلکه نحوه تبدیل آب مصرفی به محصول نیز اهمیت زیادی دارد.

تمرکز بیشتر سطح زیر کشت در شهرستان خوسف بیانگر جایگاه مهم‌تر این محصول در الگوی تولید آن شهرستان است. همچنین، اختلاف عملکرد و مصرف آب در شهرستان‌های مختلف نشان می‌دهد که شرایط محلی و نحوه مدیریت گلخانه می‌تواند نقش مهمی در تولید فلفل

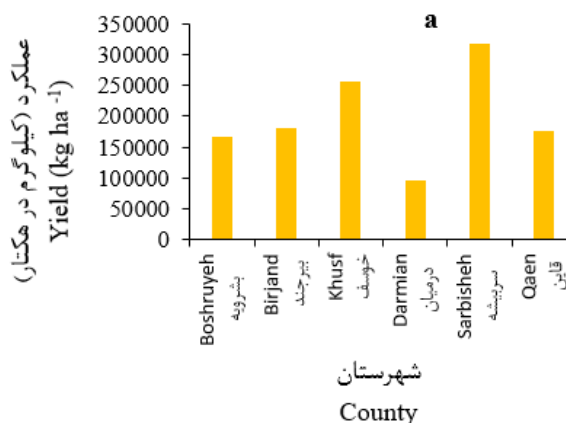


شکل ۷. کارایی مصرف آب فلفل در شهرستان‌های مختلف استان خراسان جنوبی
Fig 7. Water use efficiency of pepper in the counties of South Khorasan Province

از نظر عملکرد، بیشترین عملکرد گوجه‌فرنگی در شهرستان سربیشه با ۳۱۶۵۵۵ کیلوگرم در هکتار و کمترین عملکرد در شهرستان درمیان با ۶۵۹۹۳ کیلوگرم در هکتار گزارش شد (شکل ۸-الف). از لحاظ مصرف آب، بیشترین میزان مصرف مربوط به شهرستان بشرویه با ۱۳۳۰۰ مترمکعب در هکتار و کمترین میزان مصرف مربوط به شهرستان درمیان با ۱۱۴۵۳ مترمکعب در هکتار بود (شکل ۸-ب).



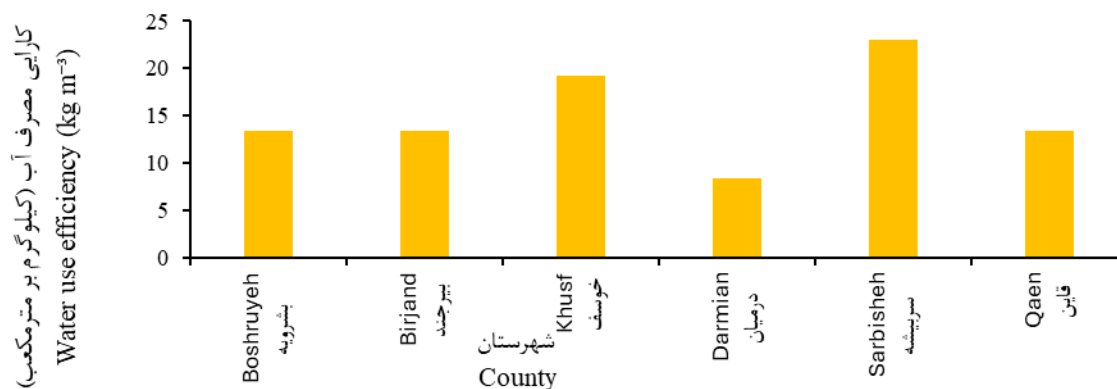
تحلیل آماری عملکرد، مصرف آب و کارایی مصرف آب گوجه‌فرنگی در شهرستان‌های استان خراسان جنوبی سطح زیر کشت گوجه‌فرنگی در استان خراسان جنوبی ۲۵ درصد، معادل ۱۵۵۸۱۵ مترمربع، است. در این میان، بیشترین سطح زیر کشت به شهرستان درمیان با ۳۶ درصد (معادل ۵۶۰۰۰ مترمربع) اختصاص داشت. کمترین سطح زیر کشت نیز به ترتیب مربوط به شهرستان‌های بشرویه و بیرجند به ترتیب با ۰/۱۲ درصد (معادل ۱۸۰ مترمربع) و ۲ درصد (معادل ۳۵۰۰ مترمربع) بود (شکل ۳).



شکل ۸. میزان عملکرد (الف) و میزان مصرف آب (ب) گوجه‌فرنگی در شهرستان‌های استان خراسان جنوبی
Fig 8. Tomato yield (a) and water consumption (b) in the counties of South Khorasan Province

شرایط محلی و نحوه مدیریت گلخانه می‌تواند اثر زیادی بر تولید این محصول داشته باشد. بیشترین کارایی مصرف آب در شهرستان سربیشه و کمترین آن در شهرستان درمیان نشان می‌دهد که عملکرد بالاتر همراه با مدیریت مناسب‌تر آب، نقش مهمی در افزایش بهره‌وری آب دارد. در مقابل، پایین بودن کارایی مصرف آب در برخی شهرستان‌ها می‌تواند ناشی از عملکرد کمتر و استفاده کمتر مؤثر از آب مصرفی باشد.

نتایج این مطالعه نشان داد که بیشترین کارایی مصرف آب در گوجه‌فرنگی را شهرستان سربیشه با ۲۴/۹۳ کیلوگرم بر مترمکعب و کمترین کارایی مصرف آب را شهرستان درمیان با ۸/۳۸ کیلوگرم بر مترمکعب به خود اختصاص دادند (شکل ۹). نتایج نشان داد که گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای در شهرستان‌های مختلف استان خراسان جنوبی از نظر عملکرد، مصرف آب و کارایی مصرف آب وضعیت یکسانی ندارد. اختلاف قابل توجه بین شهرستان‌ها بیانگر آن است که

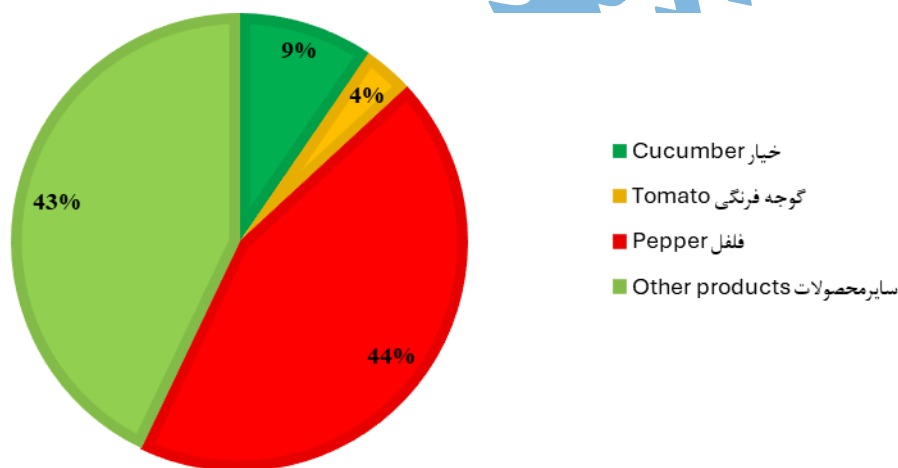


شکل ۹. کارایی مصرف آب گوجه‌فرنگی در شهرستان‌های استان خراسان جنوبی

Fig 9. Water use efficiency of tomato in the counties of South Khorasan Province

باز ۳۶۹۵ هکتار است که از این میزان سطح زیر کشت سهم خیار ۹ درصد (۳۵۳ هکتار)، گوجه‌فرنگی ۴ درصد (۱۳۳ هکتار)، فلفل ۴۴ درصد (۱۶۲۳ هکتار) و سایر محصولات ۴۳ درصد (۱۵۸۶ هکتار) می‌باشد (شکل ۱۰).

تحلیل آماری سطح زیر کشت، عملکرد، مصرف آب و میزان تولید و کارایی مصرف آب در شهرستان‌های استان خراسان جنوبی در کشت فضای باز خیار، گوجه‌فرنگی و فلفل کل سطح زیر کشت محصولات خیار، گوجه‌فرنگی، فلفل و سایر محصولات سبزی در استان خراسان جنوبی و در فضای



شکل ۱۰. سطح زیر کشت خیار، فلفل و گوجه‌فرنگی در فضای باز استان خراسان جنوبی

Fig 10. Cultivated area of crops (cucumber, pepper, and tomato) under open-field conditions in South Khorasan Province

مصرف آب و شهرستان طبس (۰/۷۶) کیلوگرم در مترمکعب) کمترین کارایی مصرف آب را داشتند. در خصوص فلفل بیشترین کارایی مصرف آب در شهرستان خوسف (۱/۸۸) کیلوگرم در مترمکعب) و کمترین کارایی در شهرستان طبس (۰/۲۵) کیلوگرم در مترمکعب) گزارش شد (جدول ۲).

نتایج نشان داد که در کشت فضای باز، فلفل بیشترین سهم سطح زیر کشت را در بین محصولات مورد بررسی داشته است، درحالی‌که دامنه عملکرد و کارایی مصرف آب این محصولات در شهرستان‌های مختلف متفاوت بود. این اختلاف‌ها بیانگر اثر شرایط محلی و شیوه مدیریت مزرعه بر عملکرد و بهره‌وری آب در کشت فضای باز است. همچنین، پایین بودن مقادیر کارایی مصرف آب در فضای باز در مقایسه با مقادیر گزارش شده برای کشت گلخانه‌ای نشان می‌دهد که تولید در شرایط کنترل شده گلخانه، امکان استفاده مؤثرتر از آب را فراهم می‌کند. در مجموع، نتایج این بخش بیانگر برتری نسبی کشت گلخانه‌ای از نظر بهره‌وری آب و اهمیت مدیریت مناسب در ارتقای عملکرد و کارایی مصرف آب در کشت فضای باز است.

نتایج تحلیل داده‌ها نشان داد که در خصوص محصولات مورد مطالعه در فضای باز، عملکرد خیار در دامنه ۲۷۰۰۰ تا ۵۰۰۰۰ کیلوگرم در هکتار، عملکرد گوجه‌فرنگی در دامنه ۲۰۰۰۰ تا ۳۰۰۰۰ کیلوگرم در هکتار و عملکرد فلفل در دامنه ۵۰۰۰ تا ۳۰۰۰۰ کیلوگرم در هکتار در شهرستان‌های مختلف قرار دارد (جدول ۲). به طوری که بیشترین و کمترین عملکرد خیار مربوط به شهرستان‌های به ترتیب فردوس (۵۰۰۰۰ کیلوگرم در هکتار) و درمیان (۲۷۰۰۰ کیلوگرم در هکتار) بود. همچنین بیشترین و کمترین عملکرد گوجه‌فرنگی مربوط به شهرستان‌های به ترتیب درمیان (۳۰۰۰۰ کیلوگرم در هکتار) و طبس (۲۰۰۰۰ کیلوگرم در هکتار) بود. بیشترین و کمترین عملکرد فلفل نیز متعلق به شهرستان‌های به ترتیب خوسف (۳۰۰۰۰ کیلوگرم در هکتار) و طبس (۵۰۰۰۰ کیلوگرم در هکتار) بود (جدول ۲). نتایج نشان داد که بالاترین کارایی مصرف آب برای خیار در شهرستان فردوس (۴/۰۳) کیلوگرم در مترمکعب) و کمترین کارایی را شهرستان درمیان (۲/۱۹) کیلوگرم در مترمکعب) داشت. همچنین گوجه‌فرنگی در شهرستان خوسف (۱/۵) کیلوگرم در مترمکعب) بیشترین کارایی

جدول ۲. عملکرد، میزان مصرف آب و کارایی مصرف آب محصولات خیار، گوجه‌فرنگی و فلفل در فضای باز استان خراسان جنوبی
Table 2. Yield, water consumption, and water use efficiency of cucumber, tomato, and pepper under open-field conditions

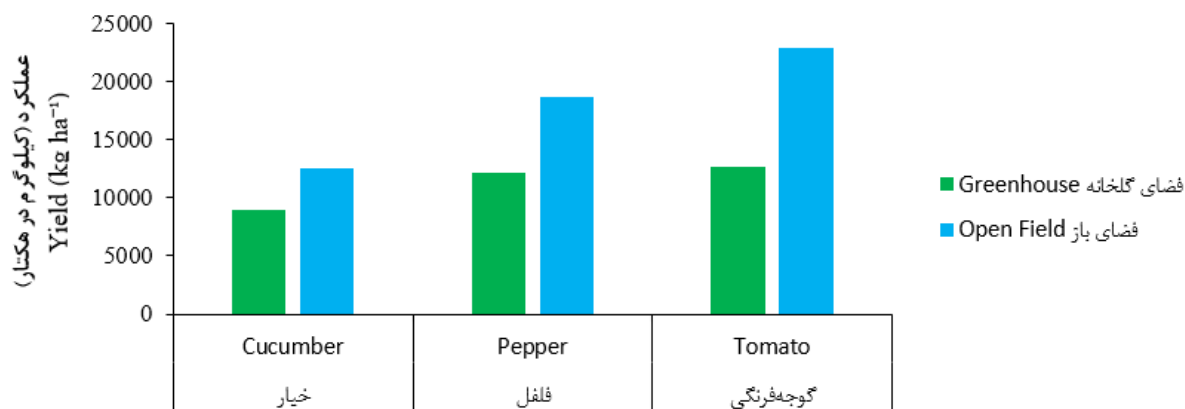
شهرستان County	محصول Crop	عملکرد Yield (kg ha ⁻¹)	میزان مصرف آب Water consumption (m ³ ha ⁻¹)	کارایی مصرف آب Water use efficiency (kg m ⁻³)
بشرویه Boshruyeh	خیار Cucumber	37000	12546	2.95
	گوجه‌فرنگی Tomato	26000	23794	1.09
	فلفل Pepper	25000	18900	1.32
بیرجند Birjand	خیار Cucumber	32000	13529	2.37
	گوجه‌فرنگی Tomato	25000	25508	0.98
	فلفل Pepper	20000	19392	1.03
خوسف Khusf	خیار Cucumber	32000	9785	3.27
	گوجه‌فرنگی Tomato	25000	16692	1.50
	فلفل Pepper	30000	15943	1.88
درمیان Darmian	خیار Cucumber	27000	12330	2.19
	گوجه‌فرنگی Tomato	30000	21569	1.39

0.72	17954	13000	Pepper	فلفل	
2.68	13052	35000	Cucumber	خیار	زیر کوه
1.13	22884	26000	Tomato	گوجه‌فرنگی	Zirkuh
1.48	18934	28000	Pepper	فلفل	
2.69	13005	35000	Cucumber	خیار	سرایان
1.17	23977	28000	Tomato	گوجه‌فرنگی	Sarayan
0.42	19150	8000	Pepper	فلفل	
3	11678	35000	Cucumber	خیار	سربیشه
1.68	17842	30000	Tomato	فلفل	Sarbisheh
2.28	13579	31000	Cucumber	خیار	طبس
0.76	26295	20000	Tomato	گوجه‌فرنگی	Tabas
0.25	19944	5000	Pepper	فلفل	
4.03	12391	50000	Cucumber	خیار	فردوس
1.19	22632	27000	Tomato	گوجه‌فرنگی	Ferdows
5 1.4	18670	27000	Pepper	فلفل	
5 2.9	11540	34000	Cucumber	خیار	قاینات
1.14	20970	24000	Tomato	گوجه‌فرنگی	Qaenat
2.82	14190	40000	Cucumber	خیار	نهبندان
1.01	25803	26000	Tomato	گوجه‌فرنگی	Nehbandan
1.37	19752	27000	Pepper	فلفل	

بود، درحالی‌که مقادیر متناظر در فضای باز به ترتیب حدود ۳۵۲۷۲، ۲۳۳۶۳ و ۱۶۳۶۳ کیلوگرم در هکتار بود (شکل ۱۱). این افزایش قابل توجه عملکرد را می‌توان به کنترل دقیق عوامل محیطی شامل دما، رطوبت، نور، تغذیه گیاهی و یکنواختی توزیع آب نسبت داد که منجر به کاهش تنش‌های محیطی و افزایش کارایی تبدیل منابع به محصول اقتصادی می‌شود.

تحلیل آماری عملکرد، مصرف آب و کارایی مصرف آب خیار، فلفل و گوجه‌فرنگی در فضای باز و گلخانه استان خراسان جنوبی

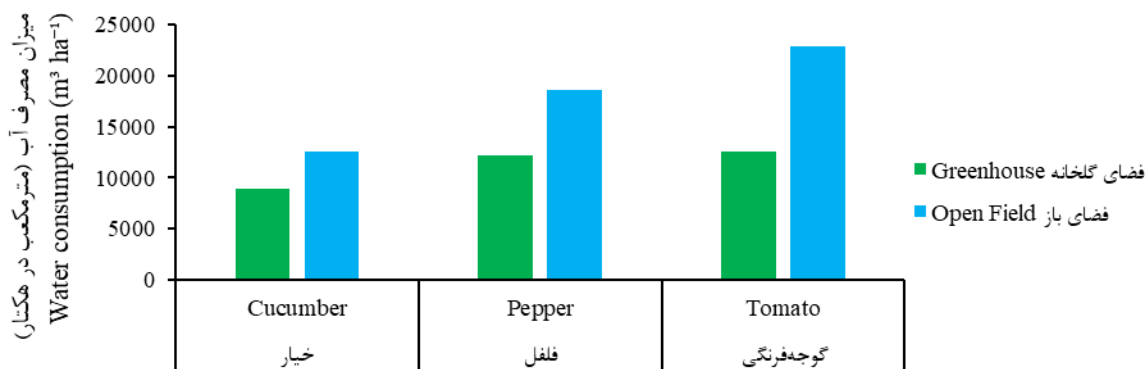
نتایج نشان داد که عملکرد محصولات در گلخانه چندین برابر فضای باز بوده است؛ به گونه‌ای که عملکرد خیار، گوجه‌فرنگی و فلفل در سیستم گلخانه‌ای به ترتیب به میزان ۱۹۶۴۵۰، ۱۹۸۶۷۱ و ۱۴۷۹۶۵ کیلوگرم در هکتار



شکل ۱۱. مقایسه میزان عملکرد خیار، فلفل و گوجه‌فرنگی در گلخانه و فضای باز در استان خراسان جنوبی
 Fig 11. Comparison of cucumber, pepper, and tomato yields in greenhouse and open-field conditions in South Khorasan Province

درحالی‌که میزان مصرف آب در گلخانه برای فلفل، خیار و گوجه‌فرنگی به ترتیب ۸۹۷۰، ۱۲۶۲۱ و ۱۲۱۸۴ متر مکعب در هکتار بود (شکل ۱۳).

نتایج این مطالعه نشان داد که میزان مصرف آب در فضای باز برای فلفل، خیار و گوجه‌فرنگی به ترتیب ۱۲۵۱۱، ۲۲۸۰۸ و ۱۸۵۸۷ متر مکعب در هکتار بود.

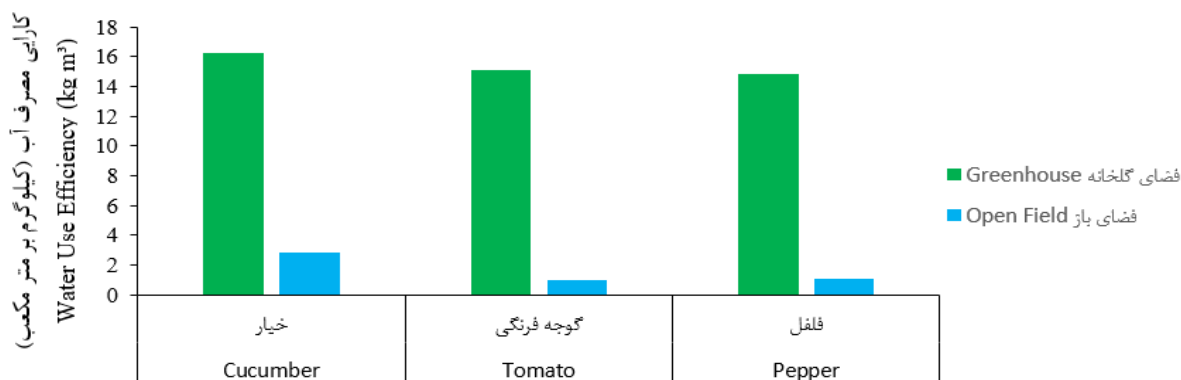


شکل ۱۲. مقایسه میزان آب مصرفی محصولات خیار، فلفل و گوجه‌فرنگی در گلخانه و فضای باز در استان خراسان جنوبی
Fig 12. Comparison of water use for cucumber, pepper, and tomato in greenhouse and open-field conditions in South Khorasan Province

برتری آشکاری دارد. افزایش عملکرد در گلخانه را می‌توان ناشی از کنترل بهتر شرایط محیطی و مدیریت دقیق‌تر آب و تغذیه دانست. همچنین، کمتر بودن مصرف آب در گلخانه و بالاتر بودن کارایی مصرف آب در هر سه محصول نشان می‌دهد که تولید گلخانه‌ای توانسته است آب مصرفی را با بازده بیشتری به محصول تبدیل کند. در مجموع، این یافته‌ها بیانگر اهمیت توسعه کشت گلخانه‌ای در مناطق کم‌آب برای افزایش بهره‌وری آب و تولید است.

نتایج این مطالعه نشان داد که کارایی مصرف آب در گلخانه برای خیار، گوجه‌فرنگی و فلفل به ترتیب برابر با ۱۶/۲۵، ۱۵/۱۳ و ۱۴/۸۵ کیلوگرم بر متر مکعب می‌باشد، درحالی‌که این شاخص در فضای باز برای محصولات فوق به ترتیب ۲/۸۱، ۱/۰۲ و ۱/۰۴ کیلوگرم بر مترمکعب بود (شکل ۱۳). این اختلاف بیانگر نقش تعیین‌کننده مدیریت کنترل‌شده نهاده‌ها، کاهش تلفات آب و افزایش بازدهی فیزیولوژیک گیاهان در شرایط گلخانه‌ای است.

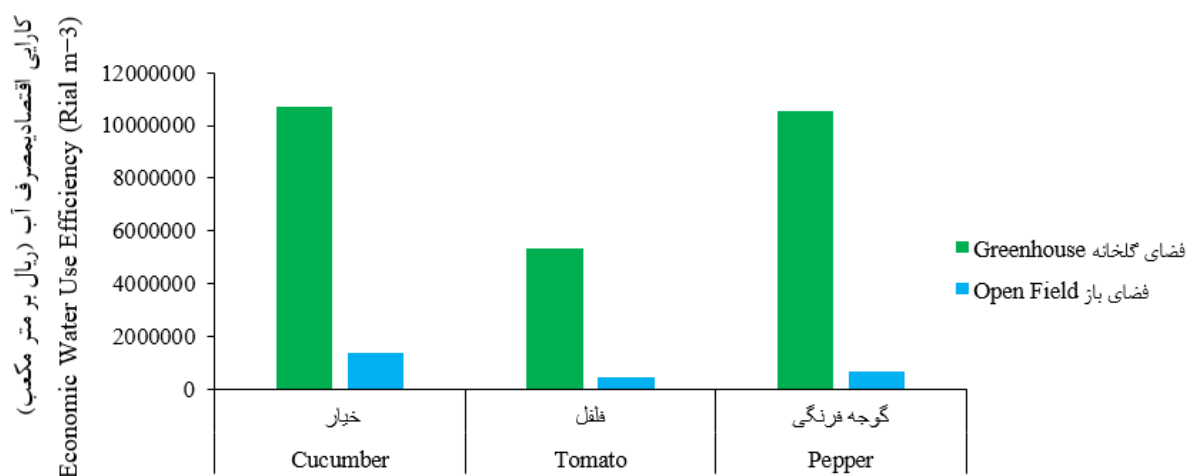
نتایج نشان داد که کشت گلخانه‌ای در مقایسه با فضای باز، هم از نظر عملکرد و هم از نظر کارایی مصرف آب



شکل ۱۳. مقایسه کارایی مصرف آب در محصولات خیار، فلفل و گوجه‌فرنگی در گلخانه و فضای باز در استان خراسان جنوبی
Fig 13. Comparison of water use efficiency (WUE) of crops (cucumber, pepper, and tomato) in greenhouse and open-field conditions in South Khorasan Province

برتری کارایی اقتصادی آب در گلخانه نسبت به فضای باز نشان می‌دهد که در شرایط کنترل‌شده گلخانه‌ای، آب مصرفی با ارزش اقتصادی بیشتری به محصول تبدیل می‌شود. این موضوع علاوه بر عملکرد بالاتر، به مدیریت دقیق‌تر آبیاری، کاهش تلفات آب، کنترل بهتر شرایط رشد و افزایش کیفیت و یکنواختی محصول نیز مربوط است. بیشترین کارایی اقتصادی مربوط به خیار گلخانه‌ای بود که بیانگر سازگاری بیشتر این محصول با شرایط گلخانه و توان بالاتر آن در تبدیل آب مصرفی به بازده اقتصادی است. همچنین اختلاف زیاد بین گلخانه و فضای باز در گوجه‌فرنگی و فلفل نشان می‌دهد که کشت گلخانه‌ای، به‌ویژه در مناطق کم‌آب، می‌تواند راهکار مؤثری برای افزایش بهره‌وری اقتصادی آب و بهبود درآمد تولیدکنندگان باشد.

مقایسه کارایی اقتصادی محصولات (خیار، فلفل و گوجه‌فرنگی) فضای باز و گلخانه در استان خراسان جنوبی نتایج نشان داد که کارایی اقتصادی محصولات گلخانه‌ای مورد مطالعه بیشتر از محصولات فضای باز است به‌طوری‌که خیار گلخانه‌ای (۱۰۷۳۱۴۰۲ ریال بر مترمکعب) بیشترین کارایی اقتصادی را داشت که نسبت به فضای باز (۱۳۸۱۴۴۶ ریال بر مترمکعب) ۸ برابر بیشتر بود. همچنین کارایی اقتصادی گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای (۱۰۵۴۶۶۸۹ ریال بر مترمکعب) ۱۵ برابر بیشتر از گوجه‌فرنگی فضای باز (۶۸۶۳۰۳ ریال بر مترمکعب) بود. کارایی اقتصادی فلفل گلخانه‌ای (۵۳۴۳۴۶۵ ریال بر مترمکعب) نیز ۱۱ برابر بیشتر از فلفل فضای باز (۴۵۸۳۶۹ ریال بر مترمکعب) بود (شکل ۱۴).



شکل ۱۴. مقایسه کارایی اقتصادی آب در محصولات (خیار، فلفل و گوجه‌فرنگی) در گلخانه و فضای باز در استان خراسان جنوبی
Fig 14. Comparison of economic water productivity of cucumber, pepper, and tomato under greenhouse and open-field conditions in South Khorasan Province

مقدار ۱۹۲۴۱۰ کیلوگرم در هکتار به خود اختصاص داده‌اند (شکل ۱۶- الف).

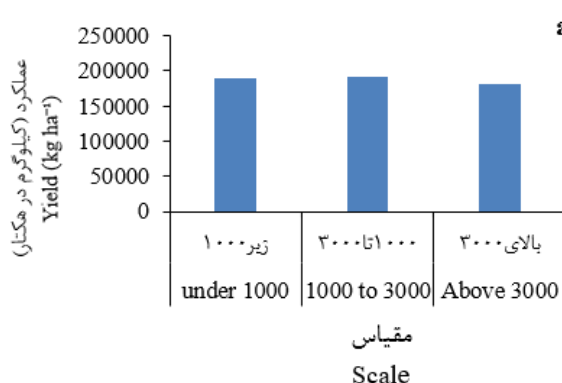
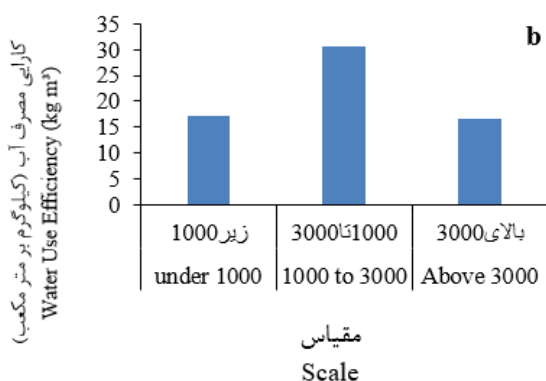
همچنین نتایج مربوط به کارایی مصرف آب نشان داد که بیشترین کارایی مصرف آب به میزان ۳۰/۶۹ کیلوگرم بر مترمکعب از مساحت‌های بین ۱۰۰۰ تا ۳۰۰۰ متر مربع حاصل شده است (شکل ۱۶- ب). نتایج نشان می‌دهد که

اثر مقیاس تولید (مساحت) بر عملکرد و کارایی مصرف آب محصولات گلخانه‌ای (خیار، فلفل و گوجه‌فرنگی) استان خراسان جنوبی

بررسی اثر مقیاس گلخانه نشان داد که گلخانه‌های با مساحت ۱۰۰۰ تا ۳۰۰۰ مترمربع بیشترین عملکرد را با

درحالی‌که در گلخانه‌های بزرگ‌تر، افزایش وسعت ممکن است مدیریت یکنواخت آب، کود و شرایط محیطی را دشوارتر کند و در نتیجه، بخشی از کارایی تولید کاهش یابد؛ بنابراین، یافته‌های این بخش نشان می‌دهد که در شرایط استان خراسان جنوبی، مقیاس‌های متوسط می‌توانند از نظر بهره‌وری آب و تولید، مناسب‌تر و کارآمدتر باشند.

مقیاس متوسط گلخانه (۱۰۰۰ تا ۳۰۰۰ مترمربع) از نظر عملکرد و کارایی مصرف آب، وضعیت مناسب‌تری نسبت به سایر مقیاس‌ها داشته است. به نظر می‌رسد در این مقیاس، تعادل بهتری میان ظرفیت تولید و امکان مدیریت فنی برقرار است؛ به‌طوری‌که کنترل آبیاری، تغذیه، تهویه و سایر عملیات مدیریتی با دقت بیشتری انجام می‌شود. در گلخانه‌های کوچک، محدودیت فضا و ظرفیت تولید می‌تواند مانع استفاده کامل از امکانات و نهاده‌ها شود،

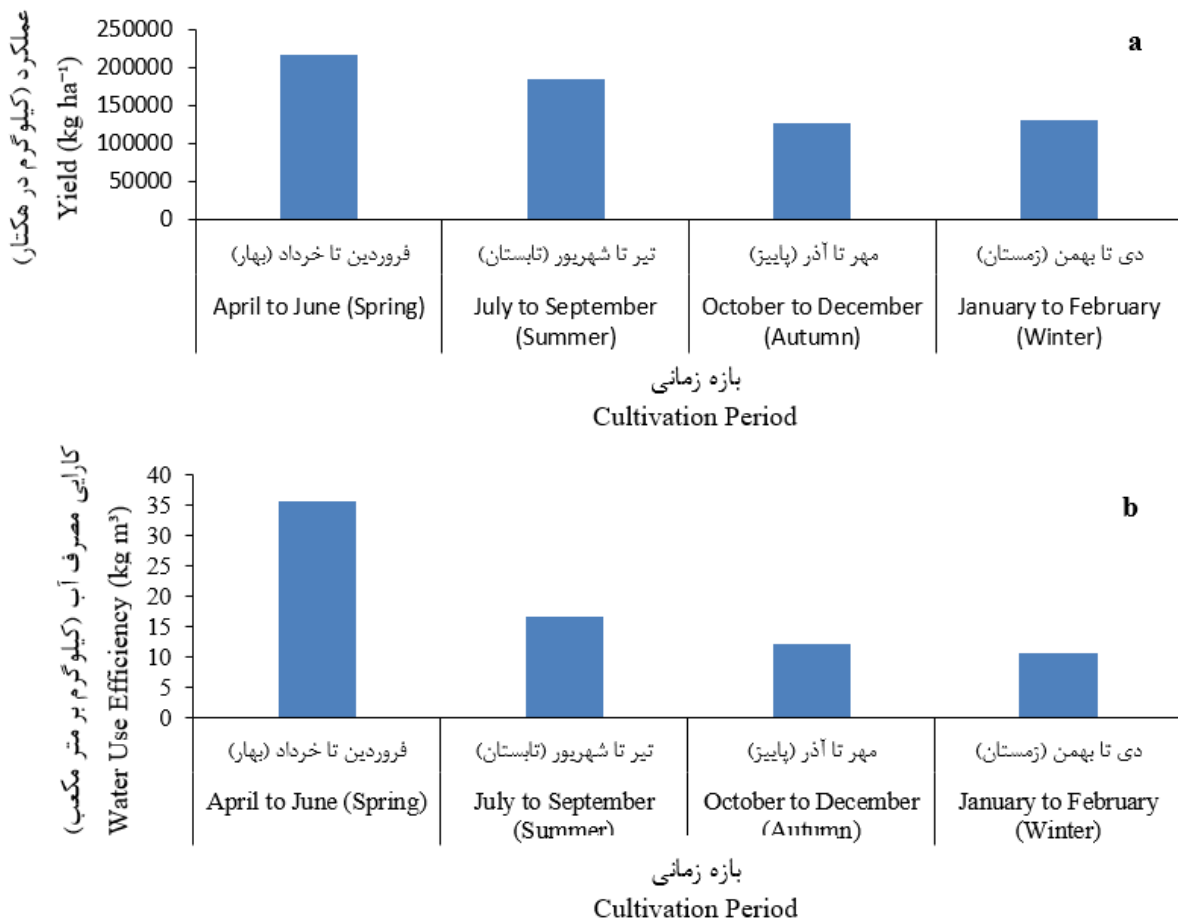


شکل ۱۵. تأثیر مساحت گلخانه بر عملکرد (الف) و کارایی مصرف آب (ب) خیار، فلفل و گوجه‌فرنگی گلخانه‌های استان خراسان جنوبی
Fig 15. Effect of greenhouse area on yield (a) and water use efficiency (b) of greenhouse cucumber, pepper, and tomato in South Khorasan Province

می‌دهد که هم‌زمانی مرحله رشد گیاه با شرایط مساعد دمایی و نوری، نقش مهمی در افزایش بهره‌وری دارد. در این بازه زمانی، دمای مناسب‌تر و تابش کافی می‌تواند رشد رویشی، گلدهی و تشکیل میوه را بهبود دهد و در نتیجه، بخشی از آب مصرفی با بازده بیشتری به محصول تبدیل شود. از سوی دیگر، کاشت در زمان‌های نامناسب ممکن است گیاه را با تنش‌های حرارتی یا نوری مواجه کند و باعث کاهش رشد و افزایش تلفات آب شود؛ بنابراین، نتایج این بخش نشان می‌دهد که انتخاب زمان مناسب کاشت یکی از عوامل کلیدی در افزایش تولید و بهبود کارایی مصرف آب در گلخانه‌های استان خراسان جنوبی است.

تأثیر زمان کاشت بر عملکرد و کارایی مصرف آب محصولات گلخانه‌ای (خیار، فلفل و گوجه‌فرنگی) در استان خراسان جنوبی

نتایج نشان داد که گلخانه‌هایی که در بازه زمانی فروردین تا خرداد اقدام به کاشت کرده‌اند، بیشترین عملکرد را به میزان ۲۱۶۱۰۲ کیلوگرم در هکتار داشتند (شکل ۱۶-الف). همچنین بررسی کارایی مصرف آب نشان داد که گلخانه‌هایی با زمان کاشت فروردین تا خرداد بیشترین کارایی مصرف آب را با مقدار ۳۵/۴۳ کیلوگرم بر مترمکعب داشتند (شکل ۱۶-ب). برتری عملکرد و کارایی مصرف آب در کاشت‌های انجام‌شده از فروردین تا خرداد نشان



شکل ۱۶. تأثیر زمان کاشت بر عملکرد (الف) و کارایی مصرف آب (ب) در محصولات خیار، فلفل و گوجه‌فرنگی گلخانه‌های استان خراسان جنوبی

Fig 16. Effect of planting date on yield (a) and water use efficiency (b) in greenhouse cucumber, pepper, and tomato crops in South Khorasan Province

نتیجه‌گیری

داد و پس از آن گوجه‌فرنگی با ۱۵/۱۳ و فلفل با ۱۴/۸۵ کیلوگرم بر مترمکعب قرار گرفتند. از نظر کارایی اقتصادی نیز خیار گلخانه‌ای با ۱۰۷۳۱۴۰۲ ریال بر مترمکعب بالاترین مقدار را داشت و پس از آن گوجه‌فرنگی با ۱۰۵۴۶۶۸۹ و فلفل با ۵۳۴۳۴۶۵ ریال بر مترمکعب در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. این نتایج نشان می‌دهد که در میان محصولات بررسی‌شده، خیار گلخانه‌ای از نظر هر دو شاخص فیزیکی و اقتصادی، مناسب‌ترین گزینه برای بهره‌برداری بهینه از منابع آب در شرایط استان خراسان جنوبی بوده است.

همچنین نتایج نشان داد که مقیاس‌های تولیدی متوسط (۱۰۰۰ تا ۳۰۰۰ مترمربع) و زمان کاشت در بازه فروردین

یافته‌های این پژوهش نشان داد که انتقال کشت محصولات صیفی از فضای باز به شرایط گلخانه‌ای در استان خراسان جنوبی، موجب افزایش چشمگیر عملکرد، کارایی فیزیکی مصرف آب و کارایی اقتصادی آب شده است. عملکرد خیار، گوجه‌فرنگی و فلفل در گلخانه به مراتب بیشتر از فضای باز بود و کارایی مصرف آب این محصولات نیز در شرایط گلخانه‌ای برای خیار ۸/۵ برابر، برای گوجه‌فرنگی ۱۴/۸ برابر و برای فلفل ۱۴/۴ برابر افزایش یافت. در بین محصولات گلخانه‌ای مورد مطالعه، خیار با کارایی مصرف آب ۱۶/۲۵ کیلوگرم بر مترمکعب، بالاترین کارایی فیزیکی مصرف آب را به خود اختصاص

Iran. *Agricultural Economics and Development*, 30(4), 53–72. [In Persian]

Cakir, R., Kanburoglu-Cebi, U., Altintas, S., & Ozdemir, A. (2017). Irrigation scheduling and water use efficiency of cucumber grown as a spring-summer cycle crop in a solar greenhouse. *Agricultural Water Management*, 180, 78–87. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.11.012>

Chartzoulakis, K., & Drosos, N. (1995). Water requirements of greenhouse-grown pepper and tomato under drip irrigation. *Acta Horticulturae*, 449, 75–82. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1997.449.8>

Dehghani, S., Mahdavi, M., & Mousavi, S. H. (2007). Evaluation of water use efficiency and cucumber yield in greenhouse farms of Isfahan Province. *Iranian Journal of Horticultural Science and Technology*, 8(3), 125–136. [In Persian]

Guo, B., Zhou, B., Zhang, Z., Li, K., Wang, J., Chen, J., & Papadakis, G. (2024). A critical review of the status of current greenhouse technology in China and development prospects. *Applied Sciences*, 14(13), 5952. <https://doi.org/10.3390/app14135952>

Harmanto, H., Tantau, H. J., & Salokhe, V. M. (2005). Water requirements of cherry tomatoes grown in a greenhouse in a tropical environment. *Agricultural Water Management*, 73(3), 225–242. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2004.11.001>

Heydari, N., Khayami, M., & Rahimi, K. (2007). Evaluation of water productivity in greenhouse crop production under different climatic conditions of Iran. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 8(2), 45–58. [In Persian]

Junior, J. A., Frizzzone, J. A., & Santana, M. J. (2016). Water relations and water use efficiency of sweet pepper under greenhouse conditions. *Engenharia Agrícola*, 36(2), 260–271. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v36n2p260-271/2016>

Karimi, M., Shayan-Nejad, M., & Behbahani, S. M. (2010). Investigation of irrigation management and water use efficiency of greenhouse cucumber in Yazd Province. *Journal of Water and Soil*, 24(5), 950–959. [In Persian]

Khozeymehnezhad, H., Feyzi, F., Niknia, N., & Arabi Yazdi, A. (2021). *Investigation of water footprint in the agricultural sector: A case study of Khezri Plain*. Third National Conference on Water Science, Watershed Management, and River Engineering Technology Development, Iran. [In Persian]

Mao, X., Liu, M., Wang, X., Liu, C., & Hou, Z. (2003). Effects of deficit irrigation on yield and water use efficiency of greenhouse cucumber. *Transactions of the CSAE*, 19(4), 52–56.

Mujahed, A. (2007). Estimation of water requirements of greenhouse crops under arid

تا خرداد، بهترین نتایج را از نظر عملکرد و کارایی مصرف آب ایجاد کرده‌اند که این موضوع اهمیت مدیریت مقیاس تولید و انتخاب زمان مناسب کاشت را در موفقیت واحدهای گلخانه‌ای نشان می‌دهد. بر این اساس، توصیه می‌شود سیاست‌های حمایتی بخش کشاورزی در مناطق خشک، بر توسعه هدفمند کشت‌های گلخانه‌ای، به‌ویژه برای محصولاتی با کارایی بالاتر مانند خیار و گوجه‌فرنگی، متمرکز شود و هم‌زمان آموزش‌های فنی لازم در زمینه مدیریت آبیاری، تغذیه و زمان کاشت به بهره‌برداران ارائه گردد.

با این حال، تنوع سازه‌های گلخانه‌ای، تفاوت در سطح مدیریت واحدها و محدودیت در اندازه‌گیری مستقیم و دقیق حجم آب مصرفی در برخی گلخانه‌ها، از جمله محدودیت‌های این پژوهش بود؛ بنابراین پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آینده، ضمن بررسی اثر فناوری‌های نوین آبیاری و کنترل هوشمند شرایط محیطی، ارزیابی دقیق‌تر کارایی مصرف آب و سودآوری محصولات مختلف گلخانه‌ای در سطوح مدیریتی و سازه‌ای متفاوت نیز مورد توجه قرار گیرد.

منابع

Abbas, F., & Al-Naemi, S. (2026). Managing salinity stress through microclimate control to enhance tomato productivity in arid regions. *Scientific Reports*, 16(1), 13042. <https://doi.org/10.1038/s41598-026-13042-0>

Abedi Koupai, J., Sohrabi, T., & Ghasemi, A. (2011). Determination of evapotranspiration and crop coefficients of cucumber, tomato, and pepper under greenhouse conditions using microlysimeters. *Journal of Greenhouse Crops Science and Technology*, 2(6), 11–22. [In Persian]

Abyar, H., Pakzad-Toochaei, S., & Einollahipeer, F. (2026). Comparative environmental and economic assessment of greenhouse cucumber and *Opuntia ficus-indica* cultivation in arid regions. *Scientific Reports*, 16, 11736. <https://doi.org/10.1038/s41598-026-11736-0>

Asadi, H., Baghani, J., & Rafati, M. (2023). Physical and economic productivity of irrigation water and profitability of some crop products in different irrigation systems in Alborz Province of

- conditions. *Journal of Applied Sciences*, 7(6), 812–819. <https://doi.org/10.3923/jas.2007.812.819>
- Rezvani, M., Asadi, W., & Ghorbani, R. (2020). Impact of seasonal cultivation on water productivity and yield of greenhouse cucumber. *International Journal of Vegetable Science*, 26(4), 380–391. <https://doi.org/10.1080/19315260.2019.1645787>
- Sezen, S. M., Yazar, A., & Eker, S. (2006). Effect of drip irrigation regimes on yield and quality of greenhouse-grown bell pepper. *Agricultural Water Management*, 81(1-2), 115–131. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2005.03.006>
- Shayanmehr, S., Henneberry, S. R., Ali, E. B., Sabouhi Sabouni, M., & Shahnoushi Foroushani, N. (2024). Climate change, food security, and sustainable production: A comparison between arid and semi-arid environments of Iran. *Environment, Development and Sustainability*, 26(1), 359–391. <https://doi.org/10.1007/s10668-022-02712-w>
- Verdinejad, V., Ahmadi, M., & Naseri, A. A. (2017). Estimation of water requirements, yields, and water-use efficiency of greenhouse tomato and cucumber under different localized irrigation management strategies. *Journal of Water and Soil Science*, 27(2), 85–98. [In Persian]
- Wang, Q., Jia, Y., Pang, Z., Zhou, J., Scriber, K. E., Liang, B., & Chen, Z. (2024). Intelligent fertigation improves tomato yield and quality and water and nutrient use efficiency in solar greenhouse production. *Agricultural Water Management*, 298, 108873. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2024.108873>
- Zare Abyaneh, H., Tafazzoli, M., & Sabziparvar, A. A. (2018). The effect of different irrigation management on yield and water use efficiency of Hamedani pepper under greenhouse conditions. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 12(4), 890–901. [In Persian]