



Research Article

## Interaction Effects of Biochar and Various Irrigation levels on Crop Coefficient at Different Growth Stages in the Greenhouse-grown Coriander

Elnaz Moslemli<sup>1</sup>, Javad Behmanesh<sup>2\*</sup>, Vahid Rezaverdinejad<sup>2</sup>

1-Master's degree in Irrigation and Drainage Group, Water Engineering Department, Urmia University, Urmia, Iran.

2-Professor, Department of Water Engineering, Urmia University, Urmia, Iran.

Received: August 19, 2024

Accepted: January 27, 2025

Revised: November 23, 2024

Published online: March 20, 2025

\*Corresponding Author's Email: [j.behmanesh@urmia.ac.ir](mailto:j.behmanesh@urmia.ac.ir)

### ARTICLE INFO

### ABSTRACT

#### Keywords:

Biochar,  
Crop coefficient,  
Evapotranspiration,  
Water balance equation,  
Water requirement

#### Background and Objectives

Agriculture has a vital role in providing food. According to the climatic conditions and shortage of precipitation, conservation of water resources has vital importance. In order to make optimum use of water resources, especially in the agricultural sector as the largest water consumer in arid and semi-arid regions, it is necessary to enhance water use efficiency. Correct irrigation scheduling leads to reduced water use and therefore consequently improves water productivity. In managing and executing irrigation programs in a greenhouse, awareness of crop water requirements and crop coefficient at different growth stages is essential and by its help, it can improve the water management in agricultural sector. One of the important factors in this direction is determining the amount of evaporation-transpiration. The net water requirement of plants in the greenhouse controlled by the soil moisture method and was measured by the moisture measuring devices. The aim of irrigation is to create suitable moisture conditions for the plant consequently, maintaining soil moisture is essential. Biochar as a soil amendment improves soil moisture retention capacity. Proper management of agricultural waste is one of the important strategies for sustainable development of agriculture. Considering the high durability of biochar in soil, a useful strategy for waste management is use of biochar in the agricultural sector. The scientific name of Coriander is *Coriandrum Sativum*. It is a plant with a height of 60 to 100 cm and a growth period of 100 to 120 days. Because of the importance and use of herbal coriander plants, research into about water requirements of this crop is essential, especially in arid areas.

#### Methodology

In order to study the effect of biochar on the water requirement and crop coefficient in coriander growth process in the greenhouse under water stress, one factorial experiment in randomized complete block design in three replications was carried out. The utilized biochar has been produced from plum wood at a pressure of 2 bar, under a temperature of 500 °C for 24 hours by the slow pyrolysis process. Irrigation treatments were used at three levels including full-irrigation 100 and deficit-irrigation 75 and 50% of water requirement of coriander. Also, three application

#### How to cite:

Moslemli, E. Behmanesh, J. Rezaverdinejad, V. *Interaction Effects of Biochar and Various Irrigation levels on Crop Coefficient at Different Growth Stages in the Greenhouse-grown Coriander*. (2025). *Journal of Hydraulics and Water Science*, 35 (1):25-37.

<https://doi.org/10.22034/hws.2025.65532.1008>



This is an open-access article under the CC BY-NC license  
(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/>)



levels of biochar were used at 0, 2.5 and 5% by weight. In the growth season, to calculate the evapotranspiration of coriander, the soil moisture was measured using TDR and also to calculate reference evapotranspiration the pots were used as weighing lysimeters. Meteorological parameters were also measured during the growing season by meteorological devices. Statistical analysis was performed using SAS 9.4 software. In the data analysis, a simple analysis of variance was performed for the depth of irrigation water and then the mean of the studied traits was compared using Duncan's test at the 5% level.

### *Findings*

The results showed that the application of biochar reduced the rate of evapotranspiration compared to the control treatment. The results revealed that the minimum and maximum evapotranspiration of the coriander were obtained 5.1 and 1.1 and the mentioned values for the reference plant were 6 and 2 mm/day, respectively. The total and average evapotranspiration of the coriander and reference plant for the 42-day period were 141.3 and 150.4 mm and 3.3 and 3.6 mm/day, respectively. The results of the analysis of variance of irrigation water depth showed that the effect of irrigation and biochar treatment was significant at the probability level of 5%. The results showed that there was no significant difference in the amount of water consumed in the application of 2.5% and 5% biochar, but it was significantly different compared to the application of 0%. The results show that the biochar caused moisture in the soil to be maintained. Calculating of crop coefficients for the coriander showed that these parameters in the initial, middle and final stages of coriander growth were 0.79, 1.30 and 0.83, respectively.

### *Conclusion*

In the present study, the evapotranspiration and crop coefficients of coriander at different growth stages were investigated daily in the greenhouse. Aggregation of evaporation-transpiration values in different treatments of biochar and irrigation levels showed that the use of biochar improves soil moisture. The results showed that used biochar as soil amendment reduced the rate of evapotranspiration under drought stress. Therefore, to reduce the amount of water used in the greenhouses, the biochar application can be recommended.

---



## نشریه دانش آب و هیدرولیک

درگاه نشریه: [hws.tabrizu.ac.ir](http://hws.tabrizu.ac.ir)



مقاله پژوهشی

### اثرات متقابل بیوچار و سطوح مختلف آبیاری بر ضریب گیاهی گشنیز در مراحل مختلف رشد

الناز مسلم لی<sup>۱</sup>، جواد بهمنش<sup>۱\*</sup>، وحید رضاوردی نژاد<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۰۸

تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۰۹/۰۳

تاریخ انتشار آنلاین: ۱۴۰۴/۰۱/۰۱

۱- فارغ التحصیل کارشناسی ارشد و دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی گروه مهندسی آب دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

۲- استاد گروه مهندسی آب دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

۳- استاد گروه مهندسی آب دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

\* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: [j.behmanesh@urmia.ac.ir](mailto:j.behmanesh@urmia.ac.ir)

#### چکیده

#### کلمات کلیدی

در مدیریت و اجرای برنامه آبیاری در گلخانه، آگاهی از نیاز آبی گیاه و ضریب گیاهی در مراحل مختلف رشد ضروری است و به کمک آن می توان مدیریت مصرف آب در بخش کشاورزی را بهبود بخشید. بیوچار به عنوان اصلاح کننده خاک، سبب بهبود ظرفیت نگهداشت رطوبت می شود. این پژوهش به منظور بررسی اثر میزان مصرف سطوح مختلف بیوچار و آبیاری بر نیاز آبی و تعیین ضریب گیاهی گشنیز، این آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی به صورت فاکتوریل در سه تکرار در شرایط گلخانه‌ای انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل سه سطح آبیاری کامل، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گشنیز و سه سطح کاربرد بیوچار صفر، ۲/۵ و ۵ درصد وزنی هر گلدان بودند. بر اساس نتایج، مجموع تبخیر-تعرق گیاه گشنیز و مرجع در طی ۴۲ روز به ترتیب برابر ۱۴۱/۳ و ۱۵۰/۴ میلی متر به دست آمد. محاسبات ضرایب گیاهی برای گیاه گشنیز نشان داد که این پارامتر در سه مرحله ابتدایی، میانی و انتهایی به ترتیب برابر ۰/۷۹، ۱/۳۰ و ۰/۸۳ حاصل شد. بررسی‌ها نشان داد مصرف بیوچار می تواند به عنوان اصلاح کننده خاک در شرایط تنش خشکی باعث کاهش تبخیر-تعرق شود. بنابراین کاربرد آن برای گیاه در گلخانه‌ها به منظور کاهش میزان مصرف آب توصیه می شود.

بیوچار،

بیان آبی،

تبخیر-تعرق،

ضریب گیاهی،

نیاز آبی



**مقدمه:**

آب یکی از مهم‌ترین عوامل محدود کننده توسعه کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان می‌باشد. برای جلوگیری و خروج از بحران آب به مدیریت مناسب کشاورزی و منابع آب نیاز است. یکی از پارامترهای مهم و تأثیرگذار در این راستا، تعیین مقدار دقیق تبخیر- تعرق است (Piccini et al., 2009). طراحان و مدیران آبیاری باید در جهت افزایش بهره‌وری آب مصرفی اهتمام ورزند. در این ارتباط برنامه‌ریزی آبیاری بر اساس مقدار آب مصرفی گیاه تعیین می‌شود. لذا مقدار آب مورد نیاز گیاه باید دقیقاً برآورد شود تا مدیریت و برنامه‌ریزی صحیح آبیاری بر آن استوار گردد. نیاز آبی خالص گیاهان در گلخانه با روش کنترل رطوبت خاک و نصب دستگاه‌های اندازه‌گیری رطوبت با توجه به خصوصیات فیزیکی خاک و عمق مؤثر توسعه ریشه‌ها تعیین می‌شود (انتصاری و همکاران، ۲۰۰۸). کاربرد بیوجار در اغلب بافت‌های خاک موجب افزایش رطوبت قابل دسترس گیاه و کاهش ضریب آبگذری اشیاع می‌شود (اده و همکاران، ۲۰۲۰). یکی از اصلاح‌کننده‌های مهم در دهه اخیر، پیشنهاد شده بیوجار است. بیوجار یک ماده آلی غنی از کربن است که در اثر پیرولیز حرارتی زیست توده‌ها مانند ضایعات کشاورزی در شرایط بی‌هوازی تولید گردیده و قابل ماندگاری زیادی در خاک دارد (بیزلی و همکاران، ۲۰۱۵). فنگ و همکاران (۲۰۲۳) به بررسی اثرات بیوجار بر تبخیر خاک و محتوای رطوبت و مکانیسم‌های مرتبط در چین پرداختند. مقادیر مختلفی از بیوجار کاه را در یک آزمایش ستون خاک و یک آزمایش مزرعه‌ای و تأثیر آن بر تبخیر خاک و محتوای رطوبت برای بهبود کارایی مصرف آب خاک کشت شده در مناطق خشک به کار برده شد. نتایج حاصل نشان داد افزودن بیوجار کاه تبخیر خاک را کاهش داد و از دست دادن آب از خاک توسط تبخیر به تاخیر افتاد. شعبان و همکاران (۲۰۲۲) به بررسی اثرات میزان مصرف سه سطح بیوجار، سه سطح آبیاری و سه سطوح شوری بر پارامترهای فیزیولوژیکی، تبخیر- تعرق و رشد گندم کشت شده در شرایط گلخانه در دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز در قالب طرح کاملاً تصادفی با آرایش فاکتوریل در چهار تکرار پرداختند. نتایج نشان داد مصرف ۴۰۰۰۰ کیلوگرم در هکتار بیوجار می‌تواند به عنوان اصلاح‌کننده خاک برای بهبود عملکرد گندم و کاهش تبخیر- تعرق تحت کم‌آبیاری اعمال شده و تنش شوری استفاده شود. علی‌حوری (۲۰۲۲) برای تعیین نیاز آبی و ضرایب گیاهی درختان خرما رقم برخی از سه لایسیمتر زهکش‌دار در شهر اهواز استفاده کرد. برای محاسبه میزان تبخیر- تعرق نخل خرما از رابطه بیلان آب در خاک و گیاه مرجع از روش پنمن- مانیتیت استفاده شد. نتایج نشان داد مقادیر نیاز آبی نخل، شش، هفت و هشت ساله

به ترتیب معادل ۱۴۹۳، ۱۶۱۳ و ۱۶۱۵ میلی‌متر بود. مقادیر تبخیر- تعرق مرجع در سال‌های مذکور برابر ۲۰۷۰، ۱۹۵۰ و ۱۹۴۵ میلی‌متر برآورد شد. در این پژوهش مقادیر ضریب گیاهی خرما شش، هفت و هشت به ترتیب بین ۰/۵۴ تا ۰/۸۰ و ۰/۶۲ تا ۰/۹۷ و ۰/۴۷ تا ۱/۰۱ ساله گزارش گردید. شریفی عاشورآبادی و همکاران (۲۰۲۰) برای تعیین تبخیر- تعرق و ضریب گیاهی آویشن دناپی از روش‌های لایسیمتر زهکش‌دار و محاسباتی در کرج استفاده کردند. برای این کار دو لایسیمتر اصلی انتخاب و درصد ظرفیت زراعی آبیاری آن‌ها تنظیم گردید. در دو طرف هرکدام از آن‌ها، لایسیمترهای مشابه‌ای به عنوان حاشیه قرار گرفت. برای برآورد تبخیر - تعرق گیاه مرجع، از روش‌های محاسباتی بلانی کریدل فائو و پنمن - مانیتیت فائو استاندارد استفاده شد. نتایج نشان داد مقدار تبخیر - تعرق تجمعی گیاه مرجع به روش بلانی کریدل فائو و پنمن - مانیتیت فائو به ترتیب برابر ۷۱۵، ۶۳۷ میلی‌متر حاصل شد. همچنین مقدار تبخیر- تعرق آویشن دناپی در لایسیمترها تا ابتدای گلدهی برابر ۱۰۰ میلی‌متر تا ابتدای تولید بذر برابر ۴۵۵ میلی‌متر و تا انتهای مرحله بذر دهی برابر ۶۲۲ میلی‌متر حاصل شد. ضریب گیاهی آویشن در مراحل چهارگانه به ترتیب برابر ۰/۳۳، ۰/۶۶، ۱/۲۰ و ۰/۹۹ گزارش گردید. قوام سعیدی نوقابی و همکاران (۲۰۱۹) برای بررسی میزان تبخیر- تعرق و ضریب گیاهی خار مریم از روش بیلان آبی به کمک لایسیمتر به مدت یک سال زراعی در دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند پرداختند. برای محاسبه تبخیر- تعرق گیاه مرجع و گیاه خارمریم برای هر کدام از ۳ لایسیمتر وزنی استفاده شد. نتایج حاصل نشان داد میزان تبخیر- تعرق پتانسیل و واقعی به ترتیب برابر ۱۱۷۹/۵ و ۹۲۰/۲ میلی‌متر در طی ۱۷۷ روز و همچنین ضریب گیاهی در مراحل چهارگانه به ترتیب برابر ۰/۳۴، ۰/۶۹، ۰/۹۳ و ۰/۷۷ گزارش شد. رئوف (۲۰۱۹) به ارزیابی دقت داده‌های جهانی فائو برای تعیین ضریب گیاهی چغندر قند به کمک لایسیمتر زهکش‌دار در دشت اردبیل پرداخت. به کمک داده‌های اندازه‌گیری شده، معادله بیلان در بازه‌های مختلف کامل گردید. نتایج حاصل نشان داد تبخیر- تعرق گیاه چغندر قند در کل دوره رشد برابر ۱۰۱۳ میلی‌متر بود. ضریب گیاهی مراحل چهارگانه چغندر قند به ترتیب برابر ۰/۳۳، ۰/۹، ۱/۱۶ و ۰/۸۸ گزارش گردید. ابراهیمی و همکاران (۲۰۱۸) به بررسی میزان تبخیر- تعرق و تعیین ضریب گیاهی گیاه دارویی ریحان در بازه کوتاه ساعتی بر اساس روش لایسیمتر مطالعه‌ای به مدت ۴۵ روز در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه ارومیه پرداختند. نتایج نشان داد مجموع تبخیر و تعرق گیاه ریحان و مرجع به ترتیب برابر ۱۸۸/۴۵ و ۳۳۸/۵ میلی‌متر حاصل شد. ضریب گیاهی مراحل چهارگانه ریحان به

میزان آب مصرفی و تأثیر بیوچار بر مقدار تبخیر-تعرق و همچنین بررسی الگوی تغییرات ضریب گیاهی محصول، طی دوره رشد انجام گردید.

### مواد و روش‌ها:

برای بررسی اثر متقابل سطوح مختلف بیوچار و آبیاری، بر میزان تبخیر-تعرق و نیاز آبی و تعیین ضریب گیاهی مراحل مختلف رشد گیاه گشنیز آزمایشی در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه انجام گردید. گلخانه تحقیقاتی به صورت شمالی-جنوبی، در طول و عرض جغرافیایی ۴۴/۹۷ درجه شرقی، ۳۷/۶۵ درجه شمالی، و ارتفاع ۱۳۶۵ متر از سطح دریا آزاد واقع شده است. در جدول ۱، تاریخ کشت، تاریخ اتمام آزمایش مورد مطالعه ارائه شد.

با به کارگیری دستگاه هواشناسی در گلخانه Humidity/Barometer Monitor مدل MHB-382SD و Solar Power Meter مدل SPM.1116SD هر ۱۰ دقیقه به طور خودکار دما، رطوبت نسبی، تابش خورشیدی و فشار هوا ثبت گردید. مطابق جدول ۲ حداکثر و حداقل دما و متوسط پارامترهای دما، رطوبت، فشار و مجموع نور در گلخانه در طول دوره رشد گیاه گشنیز نشان داده شد.

به منظور آماده سازی خاک برای کشت چمن ابتدا حدود ۷۵ درصد خاک باغچه و ۲۵ درصد شن ریز(ماسه بادی) مخلوط شد. به منظور زهکشی بهتر کف گلدان سنگریزه هایی قرار داده شد. سپس خاک گلدان به صورت دستی پر شد. بذره‌های چمن در عمق ۲ الی ۳ سانتی متری قرار داده شد و روی آن با شن ریز پر گردید. حدود ۲ هفته طول کشید تا بذرها به صورت کامل سبز شوند. برای کشت گشنیز، از خاک مزرعه روستای باراجوق واقع در جاده سنتو شهرستان ارومیه استفاده شد. قبل از افزودن بیوچار، یک نمونه یک و نیم کیلوگرمی برای تعیین بافت خاک به روش هیدرومتری تهیه شد. بر اساس آن بافت خاک لوم رسی سیلتی تعیین شد. برای تهیه بیوچار از چوب آلو استفاده گردید. که در فشار ۲ بار، تحت دمای ۵۰۰ درجه سانتی گراد به مدت ۲۴ ساعت توسط فرآیند پیرولیز آهسته تولید شد. فرآیند تولید بیوچار توسط شرکت مهندسی مشاور خاک آزما نگین(کانیو) انجام گرفت. خصوصیات بیوچار مورد استفاده در جدول ۳ آمده است.

ترتیب برابر ۰/۱۴، ۰/۵۲، ۰/۹۳ و ۰/۸۳ گزارش گردید. رضوردی نژاد و همکاران (۲۰۱۷) به منظور تعیین تبخیر-تعرق و ضرایب گیاهی محصولات خیار و گوجه فرنگی بر اساس روش لایسیمتر مطالعه‌ای به مدت شش ماه در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه ارومیه پرداختند. نتایج حاصل نشان داد تبخیر-تعرق خیار طی ۱۳۰ روز و گوجه فرنگی طی ۱۸۰ روز به ترتیب برابر ۲۷۲/۴ و ۳۵۸/۶ میلی‌متر حاصل شد. ضریب گیاهی مراحل چهارگانه برای خیار و گوجه‌فرنگی به ترتیب برابر ۰/۱۹، ۰/۶۴، ۰/۹۹، ۰/۸۱ و ۰/۲۰، ۰/۶۵، ۱/۲۹، ۱ گزارش گردید. هاشمی نسب خبیبی و همکاران (۲۰۱۶) به منظور بر آورد تبخیر-تعرق و ضرایب گیاهی یک جزئی و دو جزئی دارویی همیشه بهار در منطقه کرمان در لایسیمتر، گیاه دارویی همیشه بهار و در یک لایسیمتر گیاه مرجع چمن کشت شد. برای اندازه‌گیری تبخیر-تعرق از معادله بیلان آب استفاده شد. تبخیر-تعرق گیاه مرجع با استفاده از روش پنمن-مانتیت محاسبه و نتایج حاصل از لایسیمتر مقایسه گردید. نتایج نشان داد میانگین تبخیر-تعرق گیاه دارویی همیشه بهار در دو فصل کشت به ترتیب برابر ۲/۸۰ و ۷/۴۷ میلی‌متر بر روز به‌دست آمد؛ و همچنین ضرایب گیاهی یک جزئی برای دو فصل کشت به ترتیب برابر ۰/۷۵، ۱/۶۱۲، ۰/۸۵۵ و ۰/۸۴، ۱/۵۷۴، ۱/۰۸۳ و دو جزئی برای دو فصل کشت به ترتیب برابر ۱/۲۳۸، ۱/۵۴۹، ۰/۹۰۵ و ۱/۲۶۶، ۱/۶۰۶، ۱/۰۹۸ گزارش گردید. قمرنیا و همکاران (۲۰۱۱) به بررسی تعیین ضریب گیاهی گشنیز در منطقه ای با اقلیم نیمه‌خشک در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه رازی شهرستان کرمانشاه در طی دو سال زراعی پرداختند. از سه لایسیمتر بیلان آبی به قطر ۱/۲ و ارتفاع ۱/۴ متر استفاده شد. برای محاسبه تبخیر-تعرق پتانسیل از معادله پنمن-مانتیت و برای اندازه‌گیری تبخیر-تعرق واقعی از بیلان آبی استفاده گردید. مقادیر ضریب گیاهی چهارگانه گشنیز به ترتیب برابر ۰/۶۶، ۱/۱۹، ۱/۳۶ و ۰/۹۸ گزارش گردید. بستامی و همکاران (۲۰۱۵) گیاه گشنیز از جمله سبزی‌های پرترفدار است که به علت دوران کوتاه رشد و نمو می‌توان چندسال در سال از آن محصول برداشت کرد. با توجه به اینکه در منابع مختلف، مقداری برای ضریب گیاهی گشنیز در گلخانه گزارش نشده و علی رقم سابقه دیرینه کشت، مصرف بالا و توان تولید فرآورده‌های مختلف دارویی، هنوز مطالعه خاصی در این خصوص انجام نشده است. علاوه بر این صادرات بذر، عدم کشت زمستانه این محصول در استان و همچنین اهمیت فراوان مدیریت مصرف آب از دیگر دلایل مهم جهت انجام این تحقیق می‌باشد. پژوهش حاضر با هدف برآورد تبخیر-تعرق و

این تحقیق به صورت کاملاً تصادفی بر پایه فاکتوریل به صورت در عمق دو سانتی متری کشت شد. برای کاشت لایه نازکی از خاک جدول ۱- تقویم زراعی محصولات مورد مطالعه.

محصول	تاریخ کشت	تاریخ شروع آزمایش	تاریخ اتمام آزمایش
گشنیز	۱۴۰۱/۱۱/۲۳	۱۴۰۱/۱۲/۰۸	۱۴۰۲/۰۱/۲۰
چمن	۱۴۰۱/۱۱/۰۱	۱۴۰۱/۱۲/۰۸	۱۴۰۲/۰۱/۲۰

جدول ۲- پارامترهای هواشناسی در گلخانه در طول دوره رشد گیاه گشنیز.

مجموع نور لوکس	متوسط فشار هکتو پاسکال	متوسط دما درجه سانتی گراد	متوسط رطوبت درصد	دما حداکثر درجه سانتی گراد	دما حداقل درجه سانتی گراد
۶۳۰۶۳۱۷/۷	۸۶۱/۹	۲۵/۳	۲۸/۹	۴۶/۸	۸/۴

جدول ۳- خصوصیات بیوچار مورد استفاده.

ردیف	ویژگی/شرح آزمون	واحد	نتیجه آزمون
۱	مواد آلی (OM)	%	۱۳/۸۹
۲	نسبت C/N	-	۱۰/۲۰
۳	OC	%	۸/۰۶
۴	MG	%	۵/۷۷
۵	pH	-	۸/۲
۶	شوری (Salt)	%	۰/۲
۷	N	%	۰/۷۹
۸	P	%	۰/۱۴
۹	K	%	۰/۱۷
۱۰	Ca	%	۴/۲۶
۱۱	خاکستر	%	۲۴/۶

گلدانی با دو فاکتور کم آبیاری و بیوچار و سه تکرار و در مجموع نه تیمار و ۲۷ گلدان انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل سه سطح آبیاری، آبیاری کامل (۱۰۰ درصد) و کم آبیاری ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گشنیز (a1, a2, a3) و سه سطح کاربرد بیوچار صفر، ۲/۵ و ۵ درصد وزنی هر گلدان (b1, b2, b3) بود. گلدان‌های مورد استفاده به شکل استوانه‌ای به ارتفاع ۲۰ و قطر ۲۳ سانتی متر انجام شد. برای هر گلدان چهار کیلوگرم خاک توسط ترازوی معمولی مدل PX3000 اندازه‌گیری شد. به منظور آماده سازی خاک برای کشت ابتدا بیوچار به طور کامل با خاک باغچه مخلوط و سپس هر گلدان به صورت دستی پر شد. در کف هر گلدان برای انجام زهکشی بهتر سنگریزه‌هایی قرار داده شد. فاصله بین دو ردیف گلدان ۵۰ سانتی متر و فاصله هر گلدان از یکدیگر ۲۰ سانتی متر در نظر گرفته شد. بذر گشنیز جوانه زده شده به صورت دستی

سطح هر گلدان برداشته و بذره‌های جوانه زده بر روی خاک قرار داده و سپس خاک برداشته شده بر روی بذرها ریخته و سطح خاک به کمک آبپاش نمدار شد. بعد از کاشت، در مراحل ابتدایی کاشت در حد مرطوب شدن سطح خاک (حدود ۱۵۰ یا ۲۰۰ میلی لیتر برای هر گلدان) آبیاری صورت گرفت. بذرها بعد از ۳ الی ۴ روز جوانه زد. تیمارهای آبیاری برای هر گلدان بعد از استقرار گیاه اعمال شد. از کاشت محصول به مدت دو هفته (تا مرحله استقرار گیاه)، تنش آب اعمال نگردید. طی این مدت برنامه آبیاری بصورت یک روز میان (دور آبیاری ۲ روز) انجام گردید و مقدار آبیاری با هدف رساندن رطوبت به رطوبت ظرفیت زراعی صورت گرفت. بعد از ثبات ریشه‌ها در خاک به کمک دستگاه TDR رطوبت به صورت حجمی در هر گلدان اندازه‌گیری شد. سپس آبیاری بر اساس کمبود رطوبتی (رسانیدن رطوبت به حد ظرفیت زراعی) در

مشخص، بر حسب میلی‌متر می‌باشد. ضرایب گیاهی در مراحل مختلف رشد بر اساس رابطه ۳ برآورد گردید.

$$Kc = \frac{ETc}{ETo} \quad [3]$$

که در آن  $ETc$ : تبخیر-تعرق گیاه (میلی‌متر بر روز)،  $ETo$ : تبخیر-تعرق گیاه مرجع (میلی‌متر بر روز)،  $Kc$ : ضریب گیاهی (بدون واحد) است. تجزیه و تحلیل آماری با استفاده از نرم افزار SAS انجام شد. در تحلیل داده ها، تجزیه واریانس ساده برای عمق آب آبیاری انجام و سپس میانگین صفات مورد مطالعه با استفاده از آزمون دانکن در سطح ۵ درصد مورد مقایسه قرار گرفت. به منظور رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

## نتایج و بحث

### تبخیر-تعرق

در شکل ۱ نمودار تغییرات تبخیر-تعرق گیاه گشنیز و گیاه مرجع (چمن) در کل دوره رشد نشان داده شده است. در شکل ۲ مقادیر رطوبت حجمی خاک برای سه تیمار آبیاری و سه تیمار بیوچار برای یک عمق اندازه‌گیری برای کل دوره رشد گشنیز نشان داده شده است. دلیل تغییرات رطوبتی در تیمار آبیاری مشابه به دلیل وجود تیمار بیوچار است. بالا بودن رطوبت در تیمارهای دارای بیوچار نسبت به تیمار شاهد به این دلیل است که تبخیر در آنها کمتر بوده و منجر به نگهداشت رطوبتی بالا شده است.

بر اساس نتایج مجموع و متوسط تبخیر-تعرق گیاه گشنیز در طول دوره رشد در جدول ۴ ارائه شد.

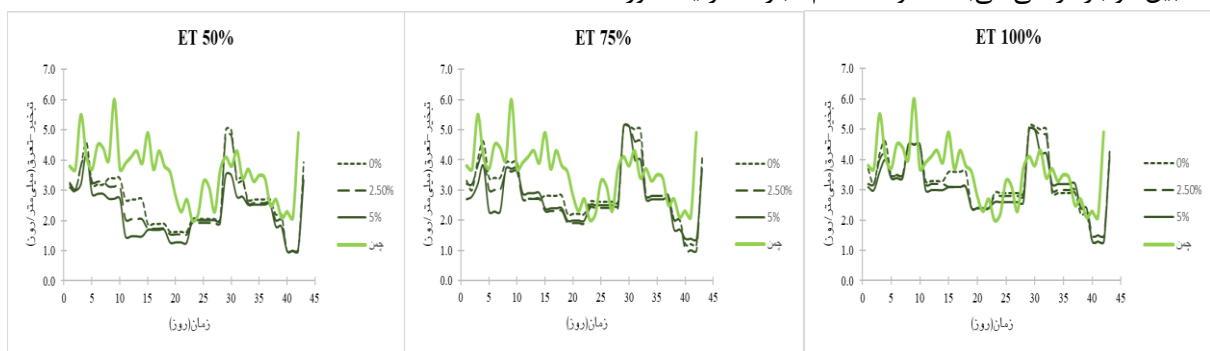
تیمار آبیاری کامل و اعمال کم آبیاری در بقیه تیمارها صورت گرفت. بر اساس اندازه‌گیری رطوبت خاک به روش جرمی و به کمک دستگاه TDR، رطوبت ظرفیت زراعی در حدود ۳۲ درصد حجمی به دست آمد. برای تعیین تبخیر-تعرق مرجع درون گلخانه، از گیاه چمن که به صورت مستقیم در سه گلدان مشابه کشت شده بود، استفاده گردید. ارتفاع گیاه چمن با هرس کردن در حد استاندارد ۱۲ سانتی‌متر ثابت نگه داشته شد. دور آبیاری ثابت و به نحوی صورت گرفت که شرایط مناسب و بدون تنش برای تبخیر-تعرق گیاه فراهم شد. میزان تبخیر-تعرق چمن از رابطه ۱ محاسبه گردید.

$$W_{AW} = W_d \left( \theta_{fc} - \frac{W_{ty} - W_t}{W_d} \right) \quad [1]$$

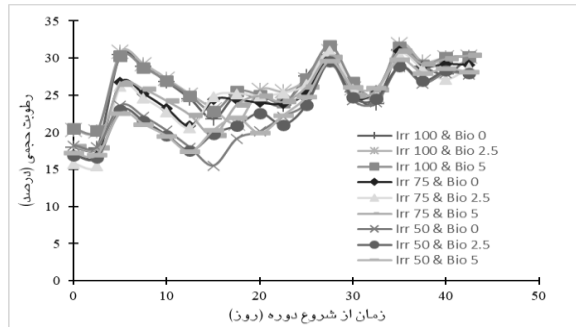
که در آن  $W_d$ : وزن خاک خشک درون گلدان در ابتدای آزمایش (kg)،  $\theta_{fc}$ : رطوبت وزنی خاک در حد ظرفیت زراعی (gg-1)،  $W_t$ : وزن گلدان و محتویات آن قبل از هر نوبت آبیاری (kg)،  $W_{ty}$ : وزن گلدان و محتویات آن بعد از انجام آبیاری انجام زهکشی احتمالی (kg)،  $WAW$ : مقدار آب قابل استفاده (kg). برای محاسبه تبخیر-تعرق گیاه گشنیز با استفاده از دستگاه TDR رطوبت حجمی خاک برای دوره های مختلف اندازه گیری شد و به کمک رابطه ۲ تبخیر-تعرق محاسبه گردید.

$$ET - I = \pm \Delta S \quad [2]$$

که در آن  $ET$ : تبخیر-تعرق،  $I$ : حجم آب داده شده،  $\Delta S$ : اختلاف رطوبت بین دو بازه زمانی می‌باشند. واحد تمام عبارات در یک دوره



شکل ۱- نمودار تبخیر-تعرق گیاه گشنیز و چمن در طول دوره رشد



شکل ۲- مقادیر رطوبت حجمی اندازه‌گیری خاک

جدول ۴- مجموع و متوسط تبخیر-تعرق و مجموع عمق آب آبیاری در طول دوره رشد.

عمق آب آبیاری میلی‌متر	تبخیر-تعرق میلی‌متر بر روز	تبخیر-تعرق میلی‌متر بر روز	بیوچار	آبیاری	مجموع	
					متوسط	مجموع
۲۲۰/۰	۳/۳	۱۴۱/۳	٪۰	٪۱۰۰		
۲۰۸/۰	۳/۲	۱۳۸/۵	٪۲/۵	٪۱۰۰		
۲۰۳/۶	۳/۱	۱۳۴/۰	٪۵	٪۱۰۰		
۱۷۹/۸	۳/۰	۱۲۹/۰	٪۰	٪۷۵		
۱۵۶/۰	۲/۸	۱۲۰/۵	٪۲/۵	٪۷۵		
۱۵۴/۵	۲/۷	۱۱۸/۰	٪۵	٪۷۵		
۱۲۱/۱	۲/۶	۱۱۳/۲	٪۰	٪۵۰		
۱۰۷/۲	۲/۵	۱۰۶/۰	٪۲/۵	٪۵۰		
۱۰۵/۴	۲/۲	۹۵/۵	٪۵	٪۵۰		

همکاران، ۲۰۱۱) که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد. مقدار تبخیر-تعرق به دست آمده برای گشسینز کمتر از مقادیر به دست آمده برای منطقه کرمانشاه در مزرعه تحقیقاتی (قمرنیا، ۲۰۱۱) و منطقه گرمسیری برزیل در مزرعه (سیلوا، ۲۰۱۸) است. با توجه به اینکه تحقیق حاضر در محیط گلخانه انجام گرفته است و یکی از عوامل مؤثر بر تبخیر-تعرق گیاه شرایط آب و هوایی و دما می‌باشد. این انتظار وجود دارد میزان تبخیر-تعرق گشسینز نسبت به شرایط مزرعه‌ای کمتر باشد.

با توجه به جدول ۴ میزان عمق آب آبیاری به ترتیب در هر یک از تیمارهای آبیاری بر اساس تیمار بیوچار صفر، ۲/۵ و ۵ درصد وزنی به ترتیب کاهش یافت. نتایج به خوبی نشان می‌دهد بیوچار باعث حفظ رطوبت در خاک و صرفه‌جویی در مصرف آب می‌شود. با بررسی داده‌های رطوبت حجمی (شکل ۲) و مقدار آب داده شده به هر تیمار در طول فصل رشد و محاسبه تبخیر-تعرق (طبق جدول ۴) و همچنین مقایسه تبخیر-تعرق در تیمارهای بیوچار ۲/۵ و ۵ درصد وزنی با نمونه شاهد (بدون بیوچار) تبخیر-تعرق در تیمارها به علت توانایی بیوچار در ظرفیت نگهداری آب و

حداکثر و حداقل تبخیر-تعرق گیاه گشسینز و مرجع (چمن) به ترتیب برابر ۵/۱، ۱/۱ و ۶، ۲ میلی‌متر بر روز به دست آمد. شکل ۱ تغییرات شدت تبخیر-تعرق را در طی فصل رشد تحت سه تیمار آبیاری و سه تیمار بیوچار نشان می‌دهد. شدت تبخیر-تعرق از روز ۲۶ تا ۳۱ روند تغییرات آن قابل توجه بود. علت آن با بررسی‌های انجام گرفته حاکی از شرایط آب و هوایی و افزایش تشعشع دریافتی گلخانه در آن بازه بود. مجموع تبخیر-تعرق گیاه گشسینز و مرجع در طی ۴۲ روز به ترتیب برابر ۱۴۱/۳ و ۱۵۰/۴ میلی‌متر و متوسط آن به ترتیب برابر ۳/۳ و ۳/۶ میلی‌متر بر روز به دست آمد. در تحقیق دیگری برای گیاه گشسینز مقدار تبخیر-تعرق در سال‌های ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰ به قطر ۱/۲ و ارتفاع ۱/۴ متر، در هر سال به ترتیب ۷۱۳/۵۸ و ۵۸۰/۶۴ میلی‌متر گزارش شد (قمرنیا و همکاران، ۲۰۱۱). در تحقیق دیگری برای گیاه گشسینز میزان تبخیر-تعرق در فصل زمستان و تابستان به ترتیب ۱۰۳/۴ و ۱۸۷/۷ میلی‌متر گزارش شد (سیلوا و همکاران، ۲۰۱۸). در تحقیق دیگری میزان تبخیر-تعرق گیاه مرجع (چمن) را در طی ۲۱۵ روز، ۸۲۴ میلی‌متر و حداکثر و حداقل تبخیر-تعرق به ترتیب برابر ۶/۸ و ۱/۶ میلی‌متر بر روز گزارش شد (عابدی کویابی و



از مراحل رشد در جدول ۶ آورده شد. جدول ۷ تأثیر بیوچار بر روی ضریب گیاهی در مراحل مختلف رشد در تیمار آبیاری کامل (۱۰۰ درصد) را نشان می‌دهد.

با توجه به شکل ۴ مشاهده می‌گردد از روز ۳۱ تا انتهای دوره کشت روند ضریب گیاهی کاهش یافت. این کاهش به دلیل کاهش سطح ویژه برگ و در نتیجه کاهش تعرق می‌باشد. با توجه به طول دوره رشد و مراحل رشد گیاه از مرحله جوانه‌زنی تا تکامل مقدار آب مصرفی به ترتیب در مرحله ابتدایی، میانی و انتهایی برابر ۹۴/۳، ۶۰/۱ و ۵۶/۲ میلی‌متر است. در مراحل ابتدایی به دلیل کامل نشدن رشد گیاه مقدار آب مصرفی به طور متوسط برابر ۴/۵ میلی‌متر بود. همچنین در مرحله میانی مقدار آب مصرفی به بیشترین مقدار خود (۶ میلی‌متر) رسید. در ادامه مقدار آب مصرفی در مرحله انتهایی به ۵/۱ میلی‌متر کاهش یافت. علت کاهش، کاهش سطح ویژه برگ (در اثر میرایی) می‌باشد. بر اساس نتایج حداکثر ضریب گیاهی برابر ۱/۳۴ به دست آمد. بر اساس این نتایج طول دوره رشد مراحل ابتدایی، میانی و انتهایی گشسینز به ترتیب برابر ۲۱، ۱۰ و ۱۱ روز به دست آمد. در تحقیق دیگری ضریب گیاهی چهارگانه گشسینز به ترتیب برابر ۰/۶۶، ۱/۱۹، ۱/۳۶ و ۰/۹۸ به دست آمد (قمرنیا و همکاران، ۲۰۱۱). در منابع مختلف مقادیری برای ضریب گیاهی گشسینز ارائه نشده است. اما اگر این گیاه جز سبزیجات ریز محسوب گردد. سازمان فائو با تقسیم طول رشد این گیاهان به سه مرحله ابتدایی، میانی و انتهایی مقادیر برای اقلیم نیمه مرطوب ۰/۷، ۱/۰۵ و ۰/۹۵ ارائه کرده است. مقدار متوسط ضریب گیاهی اندازه‌گیری شده برای مرحله ابتدایی، میانی و پایانی دوره رشد گیاه گشسینز به ترتیب برابر ۰/۷۹، ۱/۳۰ و ۰/۸۳ استخراج گردید که در مقایسه با مقدار استخراج شده توسط فائو برای سبزیجات ریز به ترتیب برابر ۰/۷، ۱/۰۵ و ۰/۹۵ دارای اختلاف است که این اختلاف می‌تواند به متفاوت بودن عوامل مختلف مثل نوع واریته و موقعیت منطقه ارتباط داده شود.

افزایش ذخیره رطوبت خاک (وانگ و همکاران، ۲۰۱۶) به صورت ذیل حاصل شد.

$$ETC \text{ Biochar } 0\% > ETC \text{ Biochar } 2.5\% > ETC \text{ Biochar } 5\%$$

نتایج آنالیز واریانس عمق آبیاری نشان داد که اثر تیمار آبیاری و بیوچار در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار شد. آبیاری\*بیوچار اختلاف معنی داری نداشت (جدول ۵).

نتایج نشان داد میزان حجم آب مصرفی در کاربرد بیوچار ۲/۵ و ۵ درصد تفاوت معنی‌داری نداشت ولی نسبت به تیمار شاهد تفاوت معنی‌دار بود (شکل ۳). بنابراین استفاده مقدار مناسب آن تأثیر مثبت دارد و در صورت استفاده بیشتر می‌تواند تفاوت معنی‌دار نداشته باشد و حتی به دلیل قدرت جذب بالای آن اثرات منفی نیز به همراه داشته باشد. به ترتیب حجم آب مصرفی در هر یک از تیمارهای آبیاری بر اساس تیمار بیوچار صفر، ۲/۵ و ۵ درصد وزنی به ترتیب کاهش یافت. نتایج نشان می‌دهد که وجود بیوچار سبب شده که رطوبت در خاک حفظ و نگهداری شود. تا در صورت وجود تنش آب در اختیار گیاه قرار گیرد. کاهش میزان تبخیر-تعرق در حضور بیوچار می‌تواند به تأثیرات مثبت بیوچار بر کاهش تبخیر از سطح خاک مربوط شود. بیوچار به دلیل دارا بودن سطح ویژه، تخلخل و ظرفیت بالا برای نگهداری آب می‌تواند در جلوگیری از تبخیر و از دست دادن آب در خاک عمل کند (فنگ و همکاران، ۲۰۲۳ و وانگ و همکاران، ۲۰۱۶).

### ضریب گیاهی

بر اساس رابطه ۳ ضریب گیاهی گشسینز طی مراحل مختلف رشد و در هر روز محاسبه گردید. نمودار تغییرات ضریب گیاهی گشسینز به صورت روزانه برای طول دوره رشد در شکل ۴ ارائه شد. همان گونه که انتظار می‌رفت، ضریب گیاهی یک روند ثابت، صعودی، ثابت و سپس نزولی را طی کرد. به ترتیب مراحل رشد ابتدایی، میانی و انتهایی می‌باشد. مقادیر این ضریب برای هر یک

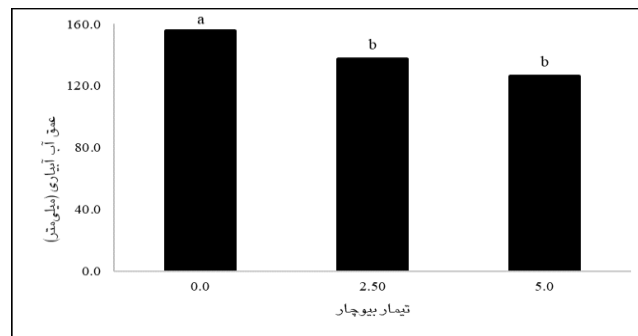
جدول ۵- تجزیه واریانس عمق آب آبیاری.

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات
آبیاری	۲	**۱۶۵۹۸/۵۴
بیوچار	۲	**۱۰۴/۲۵
آبیاری * بیوچار	۴	<sup>ns</sup> ۱/۲۹
خطا	۱۸	۲۳۶/۳۳
	-	

۱۰/۹۹

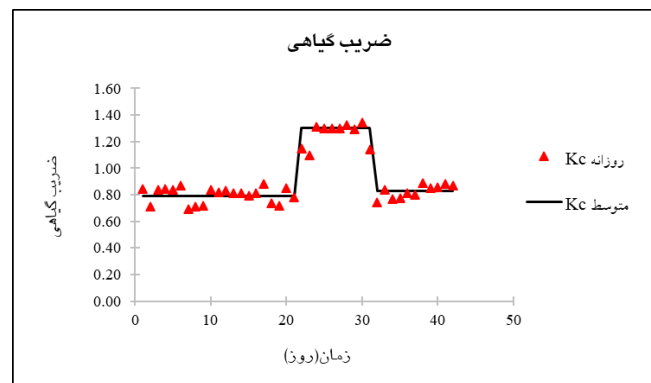
ضریب تغییرات

\* و \*\* به ترتیب نشان دهنده اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و NS نشان دهنده نبود اختلاف معنی دار است.



شکل ۳- مقایسه میانگین تیمار بیوچار بر عمق آب آبیاری

(حروف متفاوت بیانگر وجود اختلاف معنی دار بین تیمارها در سطح ۵ درصد می باشد)



شکل ۴- نمودار تغییرات ضریب گیاهی گشنیز در طول دوره رشد

جدول ۶- مقادیر ضریب گیاهی، طول مراحل رشد و میانگین سطح برگ.

مقدار آب مصرفی (میلی متر)	میانگین سطح برگ (میلی متر مربع)	ضریب گیاهی	طول دوره	مرحله رشد
۹۴/۳	۵۸۸	۰/۷۹	۲۱	ابتدایی
۶۰/۱	۸۱۲	۱/۳۰	۱۰	میانی
۵۶/۲	۶۷۵	۰/۸۳	۱۱	انتهای

جدول ۷- تأثیر بیوچار بر روی مقادیر ضریب گیاهی.

مرحله رشد	طول دوره	ابتدایی	میانی	انتهای
بیوچار ۵	۰/۷۷	۱/۲۵	۰/۸۱	
بیوچار ۲/۵	۰/۷۹	۱/۲۹	۰/۸۲	
بیوچار ۱	۰/۸۰	۱/۳۶	۰/۸۶	

## نتیجه‌گیری

در این مطالعه تبخیر - تعرق و ضریب گیاهی محصول گشنیز به صورت روزانه طی مراحل مختلف رشد گیاه در گلخانه مورد بررسی قرار گرفت. با تجمیع مقادیر تبخیر - تعرق گیاه گشنیز و چمن در محیط گلخانه، مقادیر نیاز آبی چمن در طی فصل رشد به ترتیب ۱۴۱/۳ و ۱۵۰/۴ میلی‌متر به‌دست آمد. با اندازه‌گیری تبخیر - تعرق گیاه مرجع و گشنیز، مقادیر ضریب گیاهی گشنیز در طی دوره رشد در هر روز و محاسبات ضرایب گیاهی برای گیاه گشنیز نشان داد که این پارامتر در سه مرحله ابتدایی، میانی و انتهایی به ترتیب ۰/۷۹، ۱/۳۰ و ۰/۸۳ به‌دست

آمد. تجمیع مقادیر تبخیر - تعرق در تیمارهای مختلف بیوچار در سطوح آبیاری نشان داد کاربرد بیوچار باعث حفظ و نگهداری رطوبت در خاک شد. میزان تبخیر - تعرق در تیمارهای کاربرد ۲/۵ و ۵ درصد وزنی بیوچار نسبت به تیمار شاهد کمتر است. همین امر سبب شده میزان حجم آب مصرفی نیز به ترتیب در تیمارهای کاربرد صفر، ۲/۵ و ۵ درصد وزنی بیوچار کاهش یابد. بررسی‌ها نشان داد مصرف بیوچار می‌تواند به عنوان اصلاح‌کننده خاک در شرایط تنش خشکی باعث کاهش تبخیر - تعرق شود. بنابراین کاربرد آن برای گیاه در گلخانه‌ها به منظور کاهش میزان مصرف آب توصیه می‌شود.

## منابع مورد استفاده

- Abedi-Koupai, J., Eslamian, S.S., Zareian, M.J.(2011). Measurement and modeling of water requirement and crop coefficient for cucumber, tomato and pepper using microlysimeter in greenhouse. *J. Sci. & Technol. Greenhouse Culture*. 2:3.51-64. (In Persian). DOI: 20.1001.1.20089082.1390.2.3.6.1
- Alihouri, M(2022). Determining Water Requirement and Crop Coefficient of Date Palm cv. Barhee in Khuzestan Province. *J. of Water Research in Agriculture (Soil and Water Sci)*. 36: 4. 377-390. (In Persian). DOI:10.22092/jwra.2023.359666.938
- Bastami, A., Majidian, M., Mohsenabadi, G.R., Bakhshi, D(2015). Effects of fertilizer treatments on yield quantity and quality of coriander. *J. of Crop Improvement*. 17: 1. 93-107. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/jci.2015.54791>
- Beesley L., Moreno-Jiménez E. Gomez-Eyles J.L. Harris E. Robinson B. and Sizmur T (2015). A review of biochars' potential role in the remediation, revegetation and restoration of contaminated soils. *Environmental pollution*, 159(12), 3269-3282. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.07.023>
- Edeh, I. G., Mašek, O., Buss, W. (2020). A meta-analysis on biochar's effects on soil water properties—New insights and future research challenges. *Science of the Total Environment*, 714, 136857. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136857>
- Ebrahimi, M., Rezaverdinejad, V., Besharat, S., Abdi, M(2018). A study of evapotranspiration as well as crop coefficient in *Ocimum basilicum* L. growth process in greenhouse. *J. of Water and Irrigation Management*. 8: 1. 1-11. (In Persian). DOI: 10.22059/jwim.2018.244085.573
- Entesari, M.R., Heydari, N., Kheyrahi, J., Alaei, M., Farshi, A.a., Vaziri, J(2008). Water Use Efficiency in Greenhouse Production. Iranian National Committee on Irrigation and Drainage (IRNCID). Pp: 13.
- Freitas, E., Silva, G., Costa Guimarães, G., Vital, T., Vieira, J., Silveira, F., Gomes, C., Cunha, F(2023). Evapotranspiration and crop coefficient of *Physalis peruviana* cultivated with recycled paper as mulch. *Scientia Horticulturae*, Volume 320, 1 October 2023, 112212. DOI:10.1016/j.scienta.2023.112212
- Feng, W., Wang, T., Yang, F., Cen, R., Liao, H., Qu, Z(2023). Effects of biochar on soil evaporation and moisture content and the associated mechanisms. *Environmental Sciences Europe*. 35: 66. DOI:10.1186/s12302-023-00776-7
- Ghavam saeidi noghabi, S., Hammami, H., Khashei siuki, A(2019). Determination of Evapotranspiration and Crop Coefficient of Milk Thistle in Birjand Plain. *J. of Water Research in Agriculture (Soil and Water Sci)*. 33: 3. 493-505. (In Persian). DOI:10.22092/jwra.2019.120476
- Ghamarnia, H., Jafari Zadeh, M., Miri, E., Eghbal Ghobadi, M(2011). *Coriandrum sativum* L. crop coefficient determination in a semi-arid climate. *J. of Water and Irrigation Management*. 1: 2. 73-83. (In Persian).
- Hasheminasab, F., Mousavi-Baygi, M., Bakhtiari, B(2016). An Estimation of Actual Evapotranspiration and Single and Dual Crop Coefficients for *Calendula officinalis* L. (Case

- Study: Kerman). *J. of Irrigation Sciences and Engineering*. 40: 3. 109-121. DOI: 10.22055/jise.2017.13310
- Rahman, M., Ali, M., Mojid, M.A., Anjum, N., Haq, Md.E., Kainose, A., Dissanayaka, K. D. C. R(2023). Crop coefficient, reference crop evapotranspiration and water demand of dry-season Boro rice as affected by climate variability: A case study from northeast Bangladesh. *72*: 1. 148-165.  
<https://doi.org/10.1002/ird.2754>
- Rezaverdinejad, V., Shabaniyan asl, M., Besharat, S., hasani, A(2017). Determination of crop water requirement, crop coefficient and water use efficiency of greenhouse-grown cucumber and tomato (Case study: Urmia region). *J. of Soil and Plant Interactions*. 8: 3. 27-40. (In Persian). DOI: 10.29252/ejgcst.8.3.27
- Raouf, M (2019). Determination of Sugar Beet Crop Coefficient Using Lysimeter in Ardabil Plain and its Comparison with FAO Global Data. *J. of Water Research in Agriculture (Soil and Water Sci.)*. 33:2. 175-188. (In Persian). DOI: 10.22092/jwra.2019.119736
- Shaban, M.R., Razzaghi, F., Sepaskhah, A.R(2022). Interaction effects of biochar levels, irrigation regimes, and irrigation water salinity levels on wheat: I: Physiological parameters, evapotranspiration, and yield. *G. of Iran Agricultural Research*. 41: 1. 9-17. (In Persian). DOI: 10.22099/iar.2022.42728.1478
- Sharifi Ashourabadi, E., Rouhipour, H., Jebeli, M., Mackizadeh Tafti, M., Naderi, B(2020). Determination of Plant Coefficient and Evapotranspiration of Thyme in the Standard Conditions of Karaj. *J. of Water Research in Agriculture (Soil and Water Sci)*. 34: 3. 389-399. (In Persian). DOI: 10.22092/jwra.2020.128010.710
- Silva, V., Sousa, I., Tavares, A., Silva, T., Silva, B., Holanda, R., Brito, J., Braga, C., Souza, E., Silva, M(2018). Evapotranspiration, crop coefficient and water use efficiency of coriander grown in tropical environment. *Horticultura Brasileira* 36: 446-452. <https://doi.org/10.1590/S0102-053620180404>
- Wang, Y., Wei, Y., Sun, J., & Zhang, Y. (2016). Soil water infiltration and distribution characteristics under different biochar addition amount. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 32(8), 113-119. DOI:10.11975/j.issn.1002-6819.2016.08.016
- Youssef, E., Abdelbaset, M., Dewedar, O., Molina-Martínez, J., El-Shafie, A(2023). Crop Coefficient Estimation and Effect of Abscisic Acid on Red Cabbage Plants (*Brassica oleracea* var. *Capitata*) under Water-Stress Conditions. *Agriculture* 2023, 13, 610.