



به‌زرعی کشاورزی

دوره ۲۴ ■ شماره ۱ ■ بهار ۱۴۰۱

صفحه‌های ۱۲۴-۱۱۵

DOI: 10.22059/jci.2021.323429.2551

مقاله پژوهشی:

تأثیر کم‌آبیاری و نوع بستر کشت بر کارایی مصرف آب و برخی ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه شب‌بو

بهزاد آزادگان^{۱*}، رضا کوهستانی^۲، محمود مشعل^۱

۱. دانشیار، گروه مهندسی آب، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، پاکدشت، ایران.

۲. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، پاکدشت، ایران.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۳/۰۲ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۴/۲۷

چکیده

هدف از این مطالعه، بررسی ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی و همچنین کارایی مصرف آب گیاه شب‌بو در شرایط کم‌آبیاری و انواع بسترهای کشت بود. به همین منظور، آزمایشی به صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۱۳۹۷-۱۳۹۸ در گلخانه تحقیقاتی پردیس ابوریحان دانشگاه تهران انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل چهار بستر کشت (پرلیت، پرلیت + کود دامی غنی‌شده، پرلیت + زئولیت، پرلیت + ورمی‌کمپوست) و سه تیمار کم‌آبیاری (آبیاری ۱۰۰ درصد (شاهد)، کم‌آبیاری ۷۵ درصد نیاز آبی، و کم‌آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی) بود. نتایج نشان داد که اثر بستر کشت بر روی ارتفاع گیاه، قطر ساقه، سطح برگ، وزن تر و خشک ریشه، وزن تر و خشک گیاه و همچنین کارایی مصرف آب در سطح یک درصد معنی‌دار بود و بستر مخلوط پرلیت و ورمی‌کمپوست منجر به بهبود این صفات می‌شد. همچنین، تیمار کم‌آبیاری شدید (۵۰ درصد) دارای اثرات منفی بر روی پارامترهای رشد گیاه از جمله وزن تر و قطر ریشه بود، درحالی‌که تیمار کم‌آبیاری در سطح ۷۵ درصد اثر مخرب بر روی گیاه نداشته و باعث افزایش معنی‌دار کارایی مصرف آب در سطح یک درصد شد. به طوری‌که بستر مخلوط پرلیت و ورمی‌کمپوست با تیمار کم‌آبیاری ۷۵ درصد، کارایی مصرف آب را در حدود ۱/۸ برابر نسبت به شاهد در بستر پرلیت افزایش داد. با توجه به کاهش کیفیت و ویژگی‌های رشدی محصول در کم‌آبیاری شدید (۵۰ درصد)، تولید این گیاه در شرایط کم‌آبیاری ۷۵ درصد نیاز آبی پیشنهاد می‌شود.

کلیدواژه‌ها: پرلیت، زئولیت، کلروفیل، نیاز آبی، ورمی‌کمپوست

Effect of Low Irrigation and Type of Culture Medium on Water Use Efficiency and Some Morphological and Physiological Characteristics of the Stock Plant

Behzad Azadegan^{1*}, Reza Kouhestani², Mahmoud Mashal¹

1. Associate Professor, Department of Water Engineering, College of Abouraihan, University of Tehran, Pakdasht, Iran

2. Former M.Sc. Student, Department of Water Engineering, College of Abouraihan, University of Tehran, Pakdasht, Iran

Received: May 23, 2021

Accepted: July 18, 2021

Abstract

This study aims at investigating morphological and physiological characteristics as well as water use efficiency of the stock plant in various low irrigation treatments and culture media. For so doing, a research has been conducted in the form of split plots with a completely randomized block design with three replications in the crop year 2018-2019 in the research greenhouse of the College of Abouraihan, University of Tehran. The treatments include four culture media (perlite, perlite + enriched manure, perlite + zeolite, and perlite + vermicompost) and three low irrigation levels (100% (control), 75%, and 50% of water needs). Results indicate the significant effects ($P < 0.01$) of culture medium on plant height, stem diameter, leaf area, root fresh and dry weight, plant fresh and dry weight, as well as water use efficiency, and the perlite + vermicompost media improves all these traits. Moreover, severe irrigation treatment (50%) has had negative effects on plant growth parameters, i.e., root fresh weight and diameter, while irrigation at 75% of water needs does not have any undesirable effect on plants, significantly increasing water use efficiency ($P < 0.01$). The perlite + vermicompost with 75% low irrigation treatment increases the water use efficiency by about 1.8 times, compared to the control in the perlite culture media. Due to the decrease in the quality of growth characteristics in severe low irrigation treatments (50%), this plant's production is recommended in irrigation at 75% of the water needs.

Keywords: Chlorophyll, perlite, vermicompost, water need, zeolite

۱. مقدمه

استفاده بهینه از آب یکی از محورهای اصلی کشاورزی پایدار در مناطق خشک و نیمه‌خشک است (Ahmadi, Saracilani et al., 2020). اعمال تنش کم‌آبیاری یک روش مناسب برای افزایش بهره‌وری مصرف آب در کشاورزی محسوب می‌شود. کم‌آبیاری، انتخاب یک راهبرد بهینه و مناسب برای استفاده از آب و تولید محصول تحت شرایط کمبود آب و یا بالابودن قیمت آن است. یکی از شاخص‌های مورد استفاده در مباحث عملکرد گیاه-آب مصرفی، بهره‌وری آب است که به صورت نسبت عملکرد محصول به میزان آب مصرفی تعریف می‌شود (Mashal et al., 2009). با این حال، کمبود آب در گیاه بر رشد، نمو و عملکرد گیاهان تأثیر نامطلوب می‌گذارد (Asefpour Vakilian, 2020).

به طور کلی، در شرایط کم‌آبیاری مقدار محصول تولیدی در واحد سطح کاهش می‌یابد، اما در نهایت عملکرد به ازای واحد آب مصرفی افزایش می‌یابد (Ullah et al., 2019). پژوهش‌گران در پژوهشی، اثرات کم‌آبیاری بر توابع عملکرد و پیامدهای آن بر هزینه تولید گیاه ذرت (رقم سینگل کراس ۷۰۴) را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها نشان دادند که آبیاری کامل بیش‌ترین عملکرد محصول در واحد سطح را به همراه داشت. کشت ذرت بدون آبیاری تا ۳۰ درصد نیاز آبی گیاه، باعث ایجاد ضرر و زیان مالی برای کشاورز می‌شود. بیش‌ترین درآمد ناخالص، مربوط به تیمار با ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه بود. همچنین، بیش‌ترین درآمد خالص در شرایط کاهش ۱۰ درصدی در مصرف آب نسبت به حالت آبیاری کامل به دست آمد (Mashal et al., 2009). در پژوهش دیگری بر روی گندم رقم پارس (Jafari et al., 2018)، بیش‌ترین کارایی مصرف آب برای عملکرد دانه در شرایط ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه و همچنین روش‌های آبیاری جویچه‌ای یک در

میان ثابت و متغیر و کم‌ترین مقدار کارایی مصرف آب برای عملکرد دانه مربوط به تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه در روش آبیاری جویچه‌ای معمول بود.

افزودن برخی مواد نظیر بقایای گیاهی، کود دامی، کمپوست و مواد سوپرچاذب به خاک، قابلیت نگهداری آب خاک را افزایش می‌دهد (Ahmadi Saracilani et al., 2020). افزودن این مواد به خاک برای افزایش کارایی مصرف آب و بهبود خواص فیزیکی خاک یکی از مهم‌ترین راه‌های مقابله با کمبود آب به شمار می‌رود. استفاده از بسترهای کشت از دهه ۱۹۶۰ میلادی و با استفاده از مواد آلی مانند پیت آغاز شد. امروزه مواد دیگری مانند پشم‌سنگ، پومیس، رس‌های منبسط‌شده (لیکا)، و پرلیت مورد استفاده قرار می‌گیرند (Schie, 1997). ماده به‌کاررفته به عنوان بستر رشد ممکن است یک ماده آلی (پیت‌ماس، پوست درخت، فوم و یا مواد آلی دیگر) و یا یک ماده غیرآلی نظیر ماسه، پرلیت، ورمی‌کولیت، پشم‌سنگ و یا نانواهن باشد (Lwin et al., 2018; Abedinpour & Roohani, 2019). این بسترها شرایط مناسبی برای بهبود بستر کشت فراهم می‌کنند. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بسترهای رشد به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم بر عملکرد و کیفیت محصول مؤثر هستند (Shinohara et al., 1997). ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی این بسترها عموماً مطلوب‌تر از خاک‌های مزرعه است، زیرا دارای تخلخل بیش‌تر و وزن کم‌تر هستند که باعث آسان‌شدن رفع نیاز غذایی گیاهان و کاهش آفات و بیماری‌های گیاهی می‌شود (Fascella et al., 2009).

پرلیت، آلومینوسیلیکات با منشأ آتشفشانی است و دارای ظرفیت تبادل کاتیونی زیادی نبوده و باعث افزایش زهکشی بستر کشت و بهبود آن می‌شود (Abad et al., 2002). ورمی‌کمپوست می‌تواند شرایط را برای بهبود ظرفیت نگهداشت رطوبت در خاک فراهم کرده و به جذب

Reddy, 2011). زئولیت‌ها به دلیل تخلخل ساختار کریستالی خود قادرند بیش‌تر از ۶۵ درصد وزن خود آب جذب کنند. ژئوپونیک یک بستر طبیعی مبتنی بر زئولیت (کلینوپتیلولیت) است که پس از افزودن آب، امکان تبادل یونی در عناصر بستر را فراهم می‌کند و باعث آزاد شدن کند عناصر غذایی برای استفاده گیاهان می‌شود (Belviso, 2020). یک بستر کشت مناسب علاوه بر داشتن ویژگی‌های مطلوب فیزیکی-شیمیایی و بیولوژیکی باید در دسترس، نسبتاً ارزان، پایدار و به اندازه کافی سبک باشد تا کار با آن آسان و حمل و نقل آن از نظر اقتصادی مقرون به صرفه باشد (Oka, 2010).

شب‌بو (*Matthiola incana* L.) یکی از مهم‌ترین گل‌های شاخه بریده محسوب می‌شود که به علت عطر مطبوع، فرم زیبا و تنوع رنگ تقاضای آن در بازار افزایش داشته و همه‌ساله، سطح وسیعی از آن در کشور مورد کشت و کار قرار می‌گیرد (Jafari et al., 2019). در این پژوهش سعی شده است که با کاربرد برخی مواد افزودنی به بستر کشت گیاه، راندمان مصرف آب در کشت‌های گلخانه‌ای شب‌بو به‌عنوان یک گل مهم شاخه‌بریده افزایش یابد. کم‌آبی و خشکسالی‌های متوالی باعث شده است که اکثر نقاط جهان و به‌ویژه ایران در حال حاضر با خطرات خشکی روبه‌رو شود. در این شرایط، توجه به روش‌ها و شیوه‌های جدید آبیاری و روش‌های به‌زراعی برای به‌کارگیری هر نوع تمهیدات با هدف صرفه‌جویی در مصرف آب جهت دست‌یافتن به حدکثر تولید در امر کشاورزی به مسأله‌ای اجتناب‌ناپذیر تبدیل شده است. بررسی منابع نشان می‌دهد که تاکنون پژوهشی درخصوص اثر بستر کشت و میزان کم‌آبیاری در تولید گلخانه‌ای گیاه شب‌بو انجام نشده است. در نتیجه، هدف از انجام این پژوهش، بررسی تأثیر کم‌آبیاری و واکنش گیاه شب‌بو به تنش خشکی ناشی از کم‌آبیاری در

مواد غذایی توسط گیاه سرعت بخشد (Campitelli & Ceppi, 2008). از دیگر مزایای عمده ورمی‌کمپوست می‌توان به هدایت الکتریکی پایین، ظرفیت تبدیلی کاتیونی بالا، و قابلیت بالای جذب عناصری مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم اشاره کرد (Tognetti et al., 2005). افزایش تخلخل، تهویه، نفوذپذیری و بالابردن مقدار ظرفیت نگهداشت آب خاک از اثرات ورمی‌کمپوست بر روی ویژگی‌های خاک می‌باشد (Taylor et al., 2003). پژوهش‌ها نشان داده است که کاربرد سوپرچاذب و ورمی‌کمپوست سبب افزایش کارایی مصرف آب آبیاری گندم می‌شود (Azimi et al., 2018). این پژوهش نشان داد که نتایج کاربرد هم‌زمان سوپرچاذب و ورمی‌کمپوست معنی‌دار نیست، اما در کاربرد سوپرچاذب و ورمی‌کمپوست به‌صورت جداگانه، بهترین مقدار برای حصول حداکثر کارایی مصرف آب، ۰/۲ درصد وزنی سوپرچاذب و یا ۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست به‌دست آمد.

زئولیت‌ها در بخش کشاورزی با خواص جذب‌کردن، ذخیره‌نمودن و رهاسازی گند نیتروژن کاربرد دارند (He et al., 2002; Jakkula & Wani, 2018). این مواد با جذب سریع آب و حفظ آن، تلفات آبیاری مانند نفوذ عمقی و رواناب را کاهش داده، در ادامه بازده ناشی از بارندگی‌های پراکنده را بالا برده و در صورت آبیاری، فواصل بین آبیاری‌ها را افزایش می‌دهد. هم‌چنین با قرارگیری این کانی در خاک و جذب آب توسط آن پیوستگی عمودی لوله‌های مویینه شکسته شده و تبخیر از سطح خاک کم می‌شود (Hazrati et al., 2017). پژوهش‌ها نشان داده است که زئولیت‌ها به دلیل برخورداری از میل ترکیبی زیاد با آمونیوم، قادر به جذب انتخابی این کاتیون از کودهای دامی، کمپوست‌ها و یا کودهای شیمیایی آمونیومی هستند و در نتیجه رهایش نیتروژن به درون محیط را کاهش می‌دهند (Ramesh &

ورمی کمپوست) استفاده شد. در بسترهای مخلوط، درصد وزنی هر یک از مواد برابر با ۵۰ درصد بود. در این آزمایش سه تیمار آبیاری (آبیاری کامل (۱۰۰ درصد)، کم آبیاری ۷۵ درصد نیاز آبی، و کم آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی) استفاده شد. طرح در ۳۶ کرت و به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار مورد ارزیابی قرار گرفت.

۲.۵. عملیات کاشت

بذور گیاه شب‌بو از تولیدکنندگان منطقه پاکدشت خریداری شد. پس از آماده کردن بستر کشت، کلیه بذرها در شرایط دمایی مطلوب با حداقل ۱۵ و حداکثر ۲۰ درجه سلسیوس) در آبان‌ماه سال ۱۳۹۷ در سینی مخصوص نشا کاشته شدند. بستر کشت به صورت یکنواخت و متشکل از کوکوپیت و پرلیت بود. پس از جوانه زدن بذرها و سبز شدن، بوته‌ها طی چند مرحله تنک شدند. پس از رشد گیاه و رسیدن به مرحله دوبرگی، گیاهان به گلدان‌های پلاستیکی شماره ۸ (با ارتفاع ۶/۵ سانتی‌متر و قطر دهانه ۷/۵ سانتی‌متر) منتقل شدند. گلدان‌ها دارای بستری یکنواخت از خاک باغچه، خاک‌برگ، کود پوسیده دامی و ماسه بادی با نسبت ۱:۲:۰/۵:۰/۵:۰/۵ پر شدند. بافت خاک مورد استفاده در گلدان‌ها از نوع شنی لومی بود که درصد رطوبت حجمی آن در حد ظرفیت زراعی معادل ۰/۸۳ درصد بود. پس از رسیدن به مرحله هشت‌برگی، جابجایی نهایی گیاه به گلدان اندازه ۴ (با ارتفاع ۱۸ سانتی‌متر و قطر دهانه ۲۰ سانتی‌متر) با بستر کشت‌های مشخص شده در بخش طرح آزمایش صورت گرفت. در زیر تمام گلدان‌ها، زیر گلدانی پلاستیکی جهت جمع‌آوری زه‌آب احتمالی و عدم نفوذ احتمالی عوامل بیماری‌زا از کف بستر قرار داده شد.

چهار بستر کشت مختلف (پرلیت، پرلیت + کود دامی غنی شده، پرلیت + زئولیت، پرلیت + ورمی‌کمپوست) بوده است.

۲. مواد و روش‌ها

۱.۲. موقعیت اجرای طرح و گیاه مورد مطالعه

این پژوهش در سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۷ در گلخانه تحقیقاتی پردیس ابوریحان دانشگاه تهران واقع در شهرستان پاکدشت، جنوب شرقی استان تهران (کیلومتر ۲۲ جاده خاوران) در شرایط دمایی روز و شب به ترتیب ۲۰ و ۱۵ درجه سلسیوس و فتوپریود ۸:۱۶ ساعت (روز:شب) اجرا شد.

۲.۲. اعمال کم آبیاری

پس از تعیین مقدار نیاز آبیاری در تیمار شاهد، تیمارهای کم آبیاری ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی نیز مشابه پژوهش‌های پیشین روی شب‌بو (Jafari et al., 2019) تعیین و تیمارهای کم آبیاری اعمال شد.

۲.۳. بستر رشد

پس از انجام پژوهش‌ها و مطالعات، برای تهیه بسترهای مورد نظر، از پرلیت دانه‌بندی متوسط (خریداری شده از شرکت مهرآفرین ارم)، زئولیت (خریداری شده از شرکت توسعه تجارت ساربان تبریز)، کود دامی غنی شده (خریداری شده از شرکت کیمیاگستر دشت‌ناز مازندران) و ورمی‌کمپوست استفاده شد.

۲.۴. طرح آزمایش

در این پژوهش از بستر کشت پرلیت در چهار تیمار بستر کشت: ساده (فقط پرلیت)، مخلوط پرلیت و کود دامی، مخلوط پرلیت و زئولیت، و مخلوط پرلیت و

۶.۲. آبیاری

در مراحل اولیه رشد و تا استقرار کامل، آبیاری کامل و بدون اعمال تنش بر گیاه انجام شد. برای آبیاری از ظرف مدرج استفاده شد و ۴۰ میلی‌لیتر آب به هر گلدان به طور مساوی داده شد، به طوری که آب از ته گلدان خارج نشود. این روش آبیاری با آب معمولی تا هنگام استقرار گیاه و مرحله هشت برگ حقیقی ادامه یافت. پس از رسیدن گیاه به مرحله هشت برگی و شروع مرحله تنش، آبیاری در هر مرحله برحسب نیاز آبی هریک از تیمارها انجام می‌گرفت. برای محاسبه نیاز آبی در محیط گلخانه از روش بیلان آبی استفاده شد (Saremi et al., 2015). در هر دور آبیاری، به بسترهای کشت موردنظر حجم آب معینی داده می‌شد و پس از ۲۴ ساعت، آب خروجی از آن نیز اندازه‌گیری شد. نیاز آبی و حد آب قابل جذب خاک از تفاضل حجم آب آبیاری و حجم آب تخلیه‌شده (پس از ۲۴ ساعت و خروج آب ثقلی) به‌دست آمد، زیرا در بسترهای مورد مطالعه در این پژوهش آب به راحتی جریان داشته و گیاه از حداکثر آب موجود در میان منافذ خاک استفاده می‌کند. پس از تعیین نیاز آبی در تیمار شاهد، تیمارهای کم آبیاری ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی نیز تعیین شد و برای هر یک از بسترها و تکرارهای مختلف آن (سه تکرار) اعمال شد. آبیاری تیمارها به‌طور مرتب تا انتهای آزمایش و تعیین صفات گیاهی انجام شد.

۷.۲. تعیین صفات گیاهی

در انتهای دوره رشد، صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی رشد، مانند سطح برگ، طول و قطر ساقه، طول و قطر ریشه، وزن خشک و تر گیاه، وزن خشک و تر ریشه، و میزان کلروفیل اندازه‌گیری شد. سطح برگ به کمک دستگاه سنجش سطح برگ ساخته شده در پردیس ابوریحان دانشگاه تهران براساس میانگین مساحت ده برگ جوان کاملاً توسعه یافته گیاه و کلروفیل توسط دستگاه

قابل حمل SPAD متر اندازه‌گیری شد. عملکرد ماده خشک یا زیست‌توده در انتهای دوره رشد با تهیه نمونه‌های گیاهی و انتقال به آزمایشگاه اندازه‌گیری شد. برای این کار نمونه‌ها در آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت خشک و سپس توزین شدند.

۸.۲. کارایی مصرف آب

کارایی مصرف آب به‌عنوان یک عامل برای تعیین تولیدات گیاهی تحت میزان آب مصرفی استفاده می‌شود. در این پژوهش از تقسیم وزن خشک گیاه (زیست‌توده گیاهی) به میزان آب مصرفی به‌دست آمد.

۹.۲. تجزیه و تحلیل آماری

پس از جمع‌آوری داده‌ها، عملیات تجزیه واریانس بر روی تک‌تک صفات انجام پذیرفت. عملیات آماری و مقایسه میانگین تیمارها با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹.۱) به روش دانکن در سطح معناداری یک درصد انجام شد.

۳. نتایج و بحث

جدول (۱) نتایج تجزیه واریانس کم آبیاری در تیمارهای مختلف بستر را نشان می‌دهد. مطابق نتایج ارائه شده در این جدول، در شرایط کم آبیاری، در صفات ارتفاع گیاه و کارایی مصرف آب تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد مشاهده شد. این در حالی است که در قطر ریشه و وزن تر ریشه تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد مشاهده شد. اثر بستر کشت بر روی طول و قطر ساقه، سطح برگ، وزن تر و خشک ریشه، وزن تر و خشک گیاه، و همچنین کارایی مصرف آب در سطح یک درصد معنی‌دار بود. در اعمال تنش کم آبیاری مشاهده شد که گیاه شب‌بو در مقابل اعمال تنش شدید حساس بوده و اختلاف معنی‌داری در صفات اندازه‌گیری شده نسبت به شاهد مشاهده شد.

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس اثرات تنش آب و بستر کشت بر روی ویژگی‌های رشد گیاه و کارایی مصرف آب

میانگین مربعات													
منبع تغییر	درجه آزادی	ارتفاع پایه	قطر ریشه	سطح برگ	کلروفیل	طول ریشه	قطر ریشه	وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه	وزن خشک گیاه	وزن تر گیاه	وزن خشک گیاه	کارایی مصرف آب
تکرار	۲	۷/۵۴ns	۰/۰۰۲ns	۰/۱۳ns	۰/۲۳ns	۰/۱۴ns	۰/۰۰۱ns	۱/۷۷ns	۰/۰۴ns	۱۵/۲۶ns	۰/۹ns	۰/۵۲ns	
تنش آب	۲	۱۰۸/۰۲ ^{***}	۰/۰۰۱ ns	۱/۵۰ ns	۴/۷۵ns	۱/۱۷ns	۰/۰۰۴ [*]	۱۳/۴۶ [*]	۰/۵ns	۱۰۹/۲۱ns	۶/۹۰ns	۲/۹۰ ^{***}	
خطا	۴	۳/۴۳	۰/۰۰۵	۰/۶۹	۴/۸۲	۰/۸۹	۰/۰۰۱	۲/۱۲	۰/۴۵	۵۲/۸۳	۵/۷۷	۱/۱۲	
بستر کشت	۳	۱۴۱/۸۰ ^{***}	۰/۰۵ ^{***}	۱۹/۶۲ ^{***}	۱۹/۷۳ns	۱۴/۱۱ns	۰/۰۰۱ns	۲۵/۳۴ ^{***}	۲/۵۰ ^{***}	۱۰۸۳/۹۷ ^{***}	۶۵/۴۶ ^{***}	۳/۱۶ ^{***}	
تنش آب × بستر کشت	۶	۳۵/۸۰ [*]	۰/۰۰۲ns	۱/۳۵ns	۷/۴۴ns	۵/۱۴ns	۰/۰۰۱ns	۳/۷۶ns	۰/۲ns	۱۲۴/۳۴ns	۳/۶۰ns	۲/۰۷ [*]	
خطا	۱۸	۱۲/۱۳	۰/۰۰۱	۰/۶۷	۶/۹۵	۱۲/۹۴	۰/۰۰۱	۴/۳۲	۰/۳۸	۹۶/۵۱	۴/۶۲	۰/۲۴	
ضریب تغییرات (%)		۶/۳۷	۶/۵۹	۷/۶۵	۵/۲۵	۱۱/۳۴	۱۵/۸۰	۸/۹۶	۱۱/۳۱	۱۷/۱۴	۱۸/۰۳	۱۶/۳۷	

ns، *، **، و *** به ترتیب معنی‌دار در سطح ۵ درصد، ۱ درصد و غیر معنی‌دار.

معنی‌داری در وزن تر گیاه شب‌بو به وجود نمی‌آورد. Ganjeali et al. (2010) در مطالعه‌ای گزارش کردند که افزایش تنش باعث کاهش جذب و انتقال مواد از ریشه به برگ و منجر به کاهش رشد و وزن گیاه می‌شود. نتایج مقایسه میانگین قطر ریشه نشان می‌دهد که با افزایش شدت کم‌آبایی میزان این صفت کاهش می‌یابد. نتایج به دست آمده با نتایج گزارش شده توسط Jafari et al. (2019) مطابقت داشت. جدول (۲) نشان می‌دهد که در شرایط کم‌آبایی ۷۵ درصد، قطر ساقه بیش‌ترین میزان (۰/۶۶ سانتی‌متر) در میان تیمارها بود. در شرایط اعمال تنش خشکی، میزان کلروفیل برگ کمی کاهش یافته و میزان آن از ۵۰/۹۰ به ۴۹/۶۵ واحد رسیده است که البته این میزان تغییر معنی‌دار نبود.

جدول (۳) اثر بستر کشت بر روی ویژگی‌های رشدی مورد مطالعه و کارایی مصرف آب را نشان می‌دهد. نتایج مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه نشان داد که استفاده از بستر کشت مخلوط پرلیت با مواد دیگر مانند کود دامی غنی شده، ژئولیت، و ورمی‌کمپوست به جای پرلیت خالص (شاهد) باعث اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد بین تمام صفات به جز طول و قطر ریشه و هم‌چنین کلروفیل می‌شود.

در تنش‌های خشکی ملایم، صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه تحت تأثیر قرار نگرفتند (جدول ۲). نتایج مشابهی در پژوهش‌های اخیر گزارش شده است (Jafari et al., 2019). آن‌ها اثر خشکی بر روی دو رقم شب‌بو را در بستر کشت کوکوپیت (۶۰ درصد) و پرلیت (۴۰ درصد) مورد بررسی قرار دادند و نشان دادند که ویژگی‌های ظاهری گیاه تا ۴۰ درصد تنش کم‌آبایی تغییرات معنی‌داری نمی‌کنند.

مقادیر میانگین کلیه صفات در شرایط آبیاری مختلف و استفاده از بسترهای کشت متفاوت نیز محاسبه شد که در جدول‌های (۲) و (۳) آورده شده است. مطابق جدول (۲)، وزن تر ریشه اگرچه با افزایش سطح کم‌آبایی تا ۵۰ درصد نیاز آبی کاهش پیدا کرد اما این کاهش طول در تیمار کم‌آبایی ۷۵ درصد نتوانست اختلاف معنی‌داری در سطح ۱ درصد با تیمار شاهد به وجود آورد. اما با افزایش سطح کم‌آبایی به ۵۰ درصد، این اختلاف در سطح یک درصد معنی‌دار شد. اثرات شوری بر روی گیاه شب‌بو نیز به نتایج مشابهی منجر شده است. Jafari & Hashemi (2019) Garmdareh نیز نشان دادند در تنش‌های شوری محدود تا سطح شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر تغییر

تأثیر کم آبیاری و نوع بستر کشت بر کارایی مصرف آب و برخی ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه شب‌بو

جدول ۲. مقایسه میانگین ویژگی‌های رشد گیاه و کارایی مصرف آب بر اثر تنش آب

تنش آب	قطر ساقه (cm)	سطح برگ (cm ²)	کلروفیل	طول ریشه (cm)	قطر ریشه (cm)	وزن تر ریشه (g)	وزن خشک ریشه (g)	وزن تر گیاه (g)	وزن خشک گیاه (g)
۱۰۰٪ (شاهد)	۰/۶۶ a	۱۱/۰۸ a	۵۰/۹۰ a	۱۲/۹۱ a	۰/۲۳ a	۶/۱۴ a	۱/۶۹ a	۴۰/۶ a	۸/۰۸ a
۷۵٪	۰/۶۶ a	۱۰/۷۰ a	۵۰/۱۵ a	۱۳/۲۰ a	۰/۲۰ b	۴/۷۶ ab	۱/۶۱ a	۳۶/۹ a	۷/۳۷ a
۵۰٪	۰/۶۴ a	۱۰/۳۷ a	۴۹/۶۵ a	۱۳/۵۴ a	۰/۱۹ b	۴/۰۵ b	۱/۲۷ a	۳۴/۶۲ a	۶/۵۷ a

اعداد هر ستون با حروف یکسان انگلیسی دارای تفاوت معنی‌داری در سطح ۱ درصد براساس آزمون دانکن نیستند.

جدول ۳. مقایسه میانگین ویژگی‌های رشد گیاه و کارایی مصرف آب بر اثر بستر کشت

بستر کشت	قطر ساقه (cm)	سطح برگ (cm ²)	کلروفیل	طول ریشه (cm)	قطر ریشه (cm)	وزن تر ریشه (g)	وزن خشک ریشه (g)	وزن تر گیاه (g)	وزن خشک گیاه (g)
پرلیت	۰/۵۶ d	۸/۹۳ c	۵۰/۵۷ ab	۱۱/۳۹ a	۰/۲۰ a	۳/۳۱ b	۱/۰۲ c	۲۵/۹۴ b	۵/۰۹ c
پرلیت+کود دامی	۰/۶۸ b	۱۱/۰۵ b	۵۰/۰۰ ab	۱۳/۵۰ a	۰/۲۰ a	۵/۳۶ ab	۱/۶۸ ab	۴۲/۲۸ a	۸/۳۲ b
پرلیت+زئولیت	۰/۶۴ c	۱۰/۳۸ b	۴۸/۴۰ b	۱۴/۱۶ a	۰/۲۱ a	۴/۱۱ b	۱/۱۹ bc	۳۱/۰۱ b	۵/۲۴ c
پرلیت+ورمی‌کمپوست	۰/۷۵ a	۱۲/۵۰ a	۵۱/۹۷ a	۱۳/۸۳ a	۰/۲۲ a	۷/۱۶ a	۲/۱۹ a	۵۰/۲۶ a	۱۰/۷۱ a

اعداد هر ستون با حروف یکسان انگلیسی دارای تفاوت معنی‌داری در سطح ۱ درصد بر اساس آزمون دانکن نیستند.

متقابل تیمار کم آبیاری و بستر خاک را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، تنها تغییرات دو صفت ارتفاع گیاه و کارایی مصرف آب در برابر اثر متقابل تنش کم آبیاری و نوع بستر کشت معنی‌دار بودند، که این معنی‌داری در سطح پنج درصد بر اساس آزمون دانکن بود (جدول ۱).

جدول (۴) نشان می‌دهد که بستر مخلوط پرلیت و ورمی‌کمپوست با تیمار کم آبیاری ۷۵ درصد، می‌تواند کارایی مصرف آب را در حدود ۱/۸ برابر نسبت به شاهد در بستر پرلیت افزایش دهد که در شرایط نواحی خشک و نیمه‌خشک مانند ایران می‌تواند بدون کاهش ویژگی‌های رشدی شب‌بو، در تولید این گیاه کارآمد باشد. اغلب پژوهش‌ها در حوزه تغییرات کارایی مصرف آب بر اثر تنش کم آبیاری در ایران بر روی محصولاتی مانند گندم (Safarian & Abdolshahi, 2014)، برنج (Zabihi et al., 2017)، کلزا (Vafabakhsh et al., 2009) و کاهو (Zoratipour et al., 2019) صورت گرفته است و در اغلب این پژوهش‌ها، تنش‌های ملایم خشکی باعث افزایش کارایی مصرف آب شده است.

در شرایط افزودن زئولیت به پرلیت، وزن تر و خشک ریشه و هم‌چنین وزن تر و خشک گیاه نسبت به شاهد اختلاف معنی‌داری نداشت. این در حالی است که با افزودن کود دامی غنی‌شده، تمام این چهار وزن نسبت به شاهد اختلاف معنی‌داری نشان داد. در کاربرد افزودنی‌های خاک مشاهده شد که در پرورش گل شب‌بو، در مقابل افزودنی‌هایی مانند کودهای دامی غنی‌شده که هزینه بالاتری دارند، ترکیب پرلیت و ورمی‌کمپوست می‌تواند برای بهبود ویژگی‌های رشد گیاه مورد استفاده قرار گیرد.

نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که با استفاده از بسترهای کشت مخلوط، طول و قطر ساقه و هم‌چنین سطح برگ افزایش می‌یابد و این افزایش در سطح یک درصد معنی‌دار است. نتایج هم‌چنین نشان داد که استفاده از بسترهای کشت با مخلوط‌های مناسب باعث افزایش وزن تر و خشک اندام‌های هوایی و زمینی گیاه شده که این موضوع باعث افزایش کارایی مصرف آب شده است که در جدول (۴) قابل مشاهده است.

جدول (۴) مقایسه میانگین صفات به واسطه اثرات

جدول ۴. مقایسه میانگین ویژگی‌های رشد گیاه و کارایی مصرف آب بر اثر تنش آب و بستر کشت

تنش آب	بستر کشت	ارتفاع گیاه (cm)	کارایی مصرف آب (g/l)
۱۰۰٪ (شاهد)	پرلیت	۵۰/۶۶ dc	۱/۲۶ h
	پرلیت + کود دامی	۵۵/۳۳ bc	۲/۵۲ f
	پرلیت + زئولیت	۵۲/۳۳ c	۱/۳۰ h
	پرلیت + ورمی کمپوست	۶۰/۶۶ ab	۳/۱۷ c
۷۵٪	پرلیت	۵۰/۰۰ dc	۱/۷۷ g
	پرلیت + کود دامی	۵۸/۰۰ b	۳/۰۲ d
	پرلیت + زئولیت	۶۳/۰۰ a	۱/۷۷ g
	پرلیت + ورمی کمپوست	۵۹/۶۶ ab	۳/۴۷ b
۵۰٪	پرلیت	۴۷/۳۳ d	۲/۶۲ ef
	پرلیت + کود دامی	۵۵/۶۶ bc	۳/۱۷ c
	پرلیت + زئولیت	۴۸/۰۰ d	۲/۷۶ e
	پرلیت + ورمی کمپوست	۵۵/۶۶ bc	۴/۸۵ a

اعداد هر ستون با حروف یکسان انگلیسی دارای تفاوت معنی‌داری در سطح ۱ درصد براساس آزمون دانکن نیستند.

مشاهده شد. در شرایط آبیاری کامل (شاهد) و کم‌آب‌اری ۷۵ درصد نیاز آبی، کارایی مصرف آب در بستر کشت پرلیت + ورمی کمپوست به ترتیب ۳/۱۷ و ۳/۴۷ گرم بر لیتر بود. اگرچه سطح کم‌آب‌اری ۵۰ درصد منجر به کارایی مصرف آب بیشتر شده است، اما اثرات منفی آن بر ویژگی‌های ظاهری و پارامترهای رشدی گیاه باید مورد توجه قرار گیرد.

۴. نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد با افزایش شدت کم‌آب‌اری، کارایی مصرف آب به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافت. بیش‌ترین مقدار این پارامتر در سطح کم‌آب‌اری ۵۰ درصد و برابر با ۴/۸۵ گرم گیاه بر لیتر مشاهده شد. در شرایط آبیاری کامل (شاهد) و کم‌آب‌اری ۷۵ درصد نیاز آبی، کارایی مصرف آب در بهترین بستر کشت به ترتیب ۳/۱۷ و ۳/۴۷ گرم بر لیتر بود. اگرچه کم‌آب‌اری در سطح ۵۰ درصد میزان کارایی مصرف آب را بیش‌تر از کم‌آب‌اری ۷۵ درصد افزایش داده است،

اما در بعضی پژوهش‌ها، نتایج مغایر گزارش شده است. براساس نتایج گزارش‌شده در بررسی سطوح مختلف آبیاری کاهو بر کارایی مصرف آب (Taheri et al., 2017)، اثر میزان آبیاری بر کارایی مصرف آب معنی‌دار نبوده است و مشاهده شد اعمال کم‌آب‌اری باعث کاهش ناچیز (غیرمعنی‌دار) افزایش کارایی مصرف آب، نسبت به تیمار شاهد (۱۰۰ درصد نیاز آبی) شده است. زیرا اعمال کم‌آب‌اری، کاهش محصول را در پی داشته در نتیجه اعمال تنش تأثیر چندانی بر کارایی مصرف آب نداشته است.

جدول (۴) نشان می‌دهد که با افزایش شدت کم‌آب‌اری تا ۷۵ درصد، کارایی مصرف آب به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافته است. به‌طورکلی، میزان بهره‌وری مصرف آب به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر میزان آب مصرفی قرار می‌گیرد و با افزایش کم‌آب‌اری کاهش معنی‌دار این صفت صورت می‌گیرد. بیش‌ترین مقدار این پارامتر در سطح کم‌آب‌اری ۵۰ درصد در بستر کشت پرلیت + ورمی کمپوست و برابر با ۴/۸۵ گرم گیاه بر لیتر

- Azimi, S., khoshravesh, M., darzi, A., Abedinpour, M. (2018). Effects of Hydrogel and Vermicompost on Water Use Efficiency of Wheat. *Journal of Water Research in Agriculture*, 32(1), 29-40.
- Belviso, C. (2020). Zeolite for potential toxic metal uptake from contaminated soil: a brief review. *Processes*, 8(7), 820.
- Campitelli, P., & Ceppi, S. (2008). Effects of composting technologies on the chemical and physicochemical properties of humic acids. *Geoderma*, 144(1-2), 325-333.
- Fascella, G., Agnello, S., Maggiore, P., Zizzo, G., & Guarino, L. (2009). Effect of controlled irrigation methods using climatic parameters on yield and quality of hydroponic cut roses. In *V International Symposium on Rose Research and Cultivation 870* (pp. 65-72).
- Ganjeali, A., Kafi, M., & Sabet Teimouri, M. (2010). Variations of root and shoot physiological indices in chickpea (*Cicer arietinum* L.) in response to drought stress. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 3(1), 35-45 (In Persian).
- Hazrati, S., Tahmasebi-Sarvestani, Z., Mokhtassi-Bidgoli, A., Modarres-Sanavy, S. A. M., Mohammadi, H., & Nicola, S. (2017). Effects of zeolite and water stress on growth, yield and chemical compositions of *Aloe vera* L. *Agricultural Water Management*, 181, 66-72.
- He, Z. L., Calvert, D. V., Alva, A. K., Li, Y. C., & Banks, D. J. (2002). Clinoptilolite zeolite and cellulose amendments to reduce ammonia volatilization in a calcareous sandy soil. *Plant and Soil*, 247(2), 253-260.
- Jafari, N., Aghayari, F., & Paknejad, F. (2018). Effect of Different Deficit-Irrigation Methods on Yield and Water Use Efficiency of Wheat (Parsi Cultivar). *Journal of Crop Ecophysiology*, 12(48), 581-598.
- Jafari, S., & Hashemi Garmdareh, S. E. (2019). Effects of salinity on morpho-physiological, and biochemical characteristics of stock plant (*Matthiola incana* L.). *Scientia Horticulturae*, 257, 108731.
- Jafari, S., Hashemi Garmdareh, S. E., & Azadegan, B. (2019). Effects of drought stress on morphological, physiological, and biochemical characteristics of stock plant (*Matthiola incana* L.). *Scientia Horticulturae*, 253, 128-133.
- Jakkula, V. S., & Wani, S. P. (2018). Zeolites: Potential soil amendments for improving nutrient and water use efficiency and agriculture productivity. *Scientific Reviews & Chemical Communications*, 8(1), 1-15.

با توجه به کاهش کیفیت ویژگی‌های رشدی محصول، کم آبیاری ۷۵ درصد نیاز آبی برای تولید این گیاه پیشنهاد می‌شود. هم‌چنین، بستر مخلوط پرلیت + کود دامی غنی‌شده، پرلیت + زئولیت، و پرلیت + ورمی‌کمپوست به ترتیب کارایی مصرف آب را از ۱/۲۶ گرم بر لیتر در شرایط شاهد به طور قابل توجهی افزایش دادند، به‌طوری‌که در شرایط استفاده از ورمی‌کمپوست میزان کارایی تا میزان ۳/۱۷ گرم بر لیتر افزایش یافت.

۵. تشکر و قدردانی

از معاونت محترم پژوهشی پردیس ابوریحان دانشگاه تهران به‌خاطر تأمین منابع مالی این پژوهش و هم‌چنین آزمایشگاه خاک‌شناسی و گلخانه گروه مهندسی آب پردیس ابوریحان، تشکر و قدردانی می‌گردد.

۶. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۷. منابع

- Abad, M., Noguera, P., Puchades, R., Maquieira, A., & Noguera, V. (2002). Physico-chemical and chemical properties of some coconut coir dusts for use as a peat substitute for containerised ornamental plants. *Bioresource Technology*, 82(3), 241-245.
- Abedinpour, M., & Roohani, E. (2019). Effect of Nano-Iron Fertilizer and Magnetized Water on Soybean Grain Yield and Water Productivity in Drip Irrigation. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 50(2), 287-296.
- Ahmadi Saraeilani, A., Mashal, M., Azadegan, B., & Kamali, P. (2020). Field evaluation of the effect of two superabsorbent polymers A200 and Stakosorb on hydraulic performance in furrow irrigation. *Water and Irrigation Management*, 10(2), 173-187 (In Persian).
- Asefpour Vakilian, K. (2020). Machine learning improves our knowledge about miRNA functions towards plant abiotic stresses. *Scientific Reports*, 10, 3041.

- Lwin, C. S., Seo, B. H., Kim, H. U., Owens, G., & Kim, K. R. (2018). Application of soil amendments to contaminated soils for heavy metal immobilization and improved soil quality—a critical review. *Soil Science and Plant Nutrition*, 64(2), 156-167.
- Mashal, M., Varavypour, M., Sadatnouri, S. A., & Zare Z. E. (2009). Optimizing consumptive water depth for corn by deficit-irrigation (Case study: Varamin area). *Agricultural Research*, 8(4), 123-134 (In Persian).
- Oka, Y. (2010). Mechanisms of nematode suppression by organic soil amendments—a review. *Applied Soil Ecology*, 44(2), 101-115.
- Ramesh, K., & Reddy, D. D. (2011). Zeolites and their potential uses in agriculture. *Advances in Agronomy*, 113, 219-241.
- Safarian, A., & Abdolshahi, R. (2014). Study the inheritance of water use efficiency in bread wheat (*Triticum aestivum*) under drought stress condition. *Journal of Crop Production*, 7(1), 181-199. (In Persian)
- Saremi, M., Farhadi, B., Maleki, A., & Farasati, M. (2015). Determination the crop coefficient and water requirement of lentil, using water balance method (Case study: Khorram Abad). *Iranian Journal Pulses Research*, 6(2), 87-98.
- Schie, W. V. (1997). Standardization of substrates. In *International Symposium on Growing Media and Hydroponics 481* (pp. 71-78).
- Shinohara, Y., Hata, T., Maruo, T., Hohjo, M., & Ito, T. (1997). Chemical and physical properties of the coconut-fiber substrate and the growth and productivity of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) plants. In *International Symposium on Growing Media and Hydroponics 481*, 145-150.
- Taheri, H., Soltani Mohammadi, A., & Alemzadeh Ansari, N. (2017). Effects of superabsorbent polymer on the number and leaf area of lettuce under drought stress. *Journal of Water Science & Engineering*, 7(15), 71-80 (In Persian).
- Taylor, M., Clarke, W. P., & Greenfield, P. F. (2003). The treatment of domestic wastewater using small-scale vermicompost filter beds. *Ecological Engineering*, 21(2-3), 197-203.
- Tognetti, C., Laos, F., Mazzarino, M.J., & Hernandez, M.T. (2005). Composting vs. vermicomposting: a comparison of end product quality. *Compost Science & Utilization*, 13(1), 6-13.
- Ullah, H., Santiago-Arenas, R., Ferdous, Z., Attia, A., & Datta, A. (2019). Improving water use efficiency, nitrogen use efficiency, and radiation use efficiency in field crops under drought stress: A review. *Advances in Agronomy*, 156, 109-157.
- Vafabakhsh, J., Nassiri Mahallati, M., Kouchaki, A., & Azizi, M. (2009). Effects of water deficit on water use efficiency and yield of Canola cultivars (*Brassica napus* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 7(1), 295-302 (In Persian).
- Zabihi, A., Darzi-Nafchali, A., & Khoshravesh, M. (2017). Analysing drought stress effects on yield and water use efficiency of rice and the root zone salinity. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 9(4), 375-385 (In Persian).
- Zoratipour, E., Soltani Mohammadi, A., & Alemzadeh Ansari, N. (2019). Evaluation of yield and water productivity of lettuce under drought and salinity stress in greenhouse conditions. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 13(2), 450-461 (In Persian).