Journal of Plant Environmental Physiology
ISSN: 7671-2423 (Print), 2783-4689 (Online) http://ecophysiologi.gorganiau.ac.ir

Doi: 10.30495/iper.2021.1943937.1743
Dor: 20.1001.1.24237671.1401.17.66.1.6

Islamic Azad University
Gorgan Branch

Effect of substrate and humic acid on some morphophysiological traits and water consumption of *Carpobrotus edulis* L. in a green roof system

Maliheh Rabbani Kheir Khah[1], Fatemeh Kazemi[2*]

[1]Departmenr of Horticulture, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
Email: se_ra929@mail.um.ac.ir
[2]Department of Horticulture and Landscape, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran,
Email: fatemeh.kazemi@um.ac.ir

Serial 66, 17th year, Number 2, Summer 2022 (1-23)

Article type:
Research Full Paper

Article history
Received: 2021/11/03
Revised:2021/12/19
Accepted: 2021/12/28

Keywords
Bentonite
Plant coverage
Water consumption efficiency
Green roof system,
water requirement

Abstract

The health of plants in green roof conditions depends to a large extent on the supply of water required by plants. The composition of the substrate is effective in maintaining the moisture and making it available to the plant, and one of the solutions to reduce water consumption in the green roof is improving the substrate. In this study, water requirement and some morphophysiological traits of Carpobrotus edulis L. were studied under substrate and humic acid treatment. The research was conducted in green roof box conditions as a factorial experiment based on a randomized complete block design with three replications from May to September 2020 in Mashhad. The first factor was substrate including Substrate 1 (soil 20% + 20% Leica + 20% perlite + mineral pumice + 20% leaf soil), Substrate 2 (substrate 1 + 6% by weight of bentonite), Substrate 3 (substrate 1+ 12% by weight of bentonite), soilless Substrate 4 (27% mineral pumice + 27% Leica + 27% perlite + 20% leaf soil), Substrate 5 (substrate 4 + 6% by weight bentonite), and Substrate 6 (substrate 4+ 12% by weight of bentonite). The second factor was the concentration of humic acid (0, 100, and 200 mg L-1) applied as fertigation every 15 days. Soil-containing substrates performed significantly better than soilless substrates and the highest coverage, root length, and volume of green roof plants were observed in substrate 3 (containing soil and 12% by weight of bentonite). The highest leaf water and chlorophyll contents and the lowest relative saturation deficit, carotenoids, phenols, and leaf carbohydrates were observed in Substrate 3, which show the physiological stability of the plant under stress conditions, was evident in substrate 3. Application of 200 mg/L humic acid was associated with the best growth and physiological performance of plants. A substrate rich in moisture and nutrients, including 20% Soil + 20% Leica + 20% perlite +20% mineral pumice + 12% w bentonite + 200 mg/L humic acid resulted in the plants with optimal water consumption. The presence of soil and mineral superabsorbent (bentonite) in the green roof substrate is especially important in terms of moisture retention, and of course, the supplementary nutrition of plants in the green roof also improves their performance in the green roof.

Please cite this article as Rabbani Kheir Khah, M., Kazemi, F. 2022. Effect of substrate and humic acid on some morphophysiological traits and water consumption of Carpobrotus edulis L. on a green roof system. *Journal of Plant Environmental Physiology*. 65(2): 1-23.

© 2022. All Rights Reserved

نشریه فیزیولوژی محیطی گیاهی

شاپا: (چاپی) ۲۴۲۳-۷۶۷۱ (آنلاین) ۲۷۸۳-۴۶۸۹، http://ecophysiologi.gorganiau.ac.ir

Doi: 10.30495/iper.2021.1943937.1743
Dor: 20.1001.1.24237671.1401.17.66.1.6

دانشگاه آزاد اسلامی واحد گرگان

تاثیر نوع بستر کشت و اسید هیومیک بر برخی صفات مورفوفیزیولوژیک و مصرف آب گیاه سدوم دم عقربی (*Carpobrotus edulis* L.) روی یک سیستم بام سبز

سیده ملیحه ربانی خیرخواه[۱]، فاطمه کاظمی[۲]*

[۱]گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران، رایانامه: se_ra929@mail.um.ac.ir

[۲]گروه باغبانی و فضای سبز ، دانشکده کشاورزی ، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران، رایانامه: fatemeh.kazemi@um.ac.ir

سال هفدهم، شماره ۶۶، تابستان ۱۴۰۱ / صفحات: ۲۳-۱

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی-پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۱۲
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۹/۲۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۰۷

واژه‌های کلیدی:
بنتونیت
پوشش‌دهی گیاه
کارایی مصرف آب
سیستم بام سبز
نیاز آبی

چکیده

سلامت گیاهان درشرایط بام سبز آن تا حد زیادی وابسته به تامین آب مورد نیازگیاهان است. ترکیبات بستر کشت، در حفظ و در دسترس قرار گرفتن رطوبت برای گیاه موثرند و یکی از راهکارها جهت کاهش مصرف آب در بام سبز، اصلاح بستر کشت است. در این پژوهش، نیاز آبی و برخی صفات مورفوفیزیولوژیک گیاه سدوم دم عقربی (*Carpobrotus edulis* L.) تحت تیمارهای بستر کشت و مقدار اسید هیومیک بررسی گردید. این تحقیق درقالب آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار از اردیبهشت تا شهریور ۱۳۹۹ به صورت کشت در جعبه‌های کشت در شرایط بام سبز در شهر مشهد انجام شد. عامل اول بسترهای کشت (شامل بستر کشت حاوی خاک شامل بستر کشت ۱ (خاک ۲۰٪+۲۰٪ لیکا+۲۰٪ پرلیت+ پوکه معدنی+۲۰٪ خاکبرگ)، بستر کشت ۲ (بستر کشت۱+ ٦٪ بنتونیت) و بستر کشت ۳ (بستر کشت ۱+ ۱۲٪ وزنی بنتونیت) و بسترهای کشت بدون خاک شامل بستر کشت ٤ (پوکه معدنی ۲۷٪+ ۲۷٪ لیکا+ ۲۷٪ پرلیت+ ۲۰ درصد خاکبرگ)، بستر کشت ۵ (بستر کشت٤+ ٦٪ بنتونیت) و بستر کشت ٦ (بستر کشت ٤+ ۱۲٪ وزنی بنتونیت) و عامل دوم غلظت اسید هیومیک (شامل صفر ، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر) بود و اسید هیومیک هر ۱۵ روز به صورت کود آبیاری به گیاهان داده شد. نتایج نشان داد بسترهای حاوی خاک به طور قابل‌توجهی نسبت به بسترهای بدون خاک بهتر عمل کردند. بالاترین میزان پوشش‌دهی گیاهان و طول و حجم ریشه در بستر کشت ۳ (حاوی خاک و ۱۲٪ وزنی بنتونیت) رویت شد. بالاترین محتوی آب برگ و کلروفیل و کمترین کمبود اشباع نسبی، مقادیر کارتنوئید، فنول و کربوهیدرات برگ در بستر کشت ۳ (حاوی خاک و ۱۲٪ وزنی بنتونیت) مشاهده شد. تیمار ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید هیومیک با بهترین عملکرد رشدی و فیزیولوژیکی گیاهان همراه بود. تیمار خاک ۲۰٪+۲۰٪ لیکا+۲۰٪ پرلیت+ پوکه معدنی+۲۰٪ + ۱۲٪ وزنی بنتونیت همراه با ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید هیومیک، گیاهانی با مصرف بهینه آب حاصل آورد. وجود خاک و سوپرجاذب معدنی بنتونیت در بستر کشت بام سبز از نظر نگه داشت رطوبت اهمیت ویژه داشته و البته تغذیه تکمیلی گیاهان در بام سبز نیز موجب بهبود عملکرد گیاهان در بام سبز می‌گردد.

استناد: ربانی خیرخواه، س.م.، کاظمی، ف. (۱۴۰۱). تأثیر عنصر روی و جیبرلیک اسید بر بهبود تبادلات گازی و عملکرد لوبیا سفید (*Phaseolus vulgaris*) با استفاده از دستگاه تحلیل گر گاز مادون قرمز در شرایط تنش خشکی. *نشریه فیزیولوژی محیطی گیاهی*، ٦۵ (۲)، ۲۳-۱.

مقدمه

بام سبز، بامی است که مقدار یا تمامی آن با خاک و پوشش گیاهی پوشانده می‌شود. از مهمترین دلا یل گرایش به توسعه بام‌های سبز در شهرها بهبود اثر جزیره گر مایی (Imran et al., 2018; Yang et al., 2018)، بهبود کیفیت آب (Buffam et al., 2016)، کاهش رواناب (Dunnett and Nagase, 2012)، افزایش تنوع زیستی(Köhler, 2018 وMikenas - Ksiazek) می‌باشد. بام‌های سبز به طور معمول دارای بخش‌های عمده شامل لایه ضدآب، فیلتر، نوارهای زهکش، بستر رشد و گیاهان می‌باشند (Bianchini et al., 2012). لایه‌های بستر کشت و گیاه در همکاری با یکدیگر در کنترل انرژی و مدیر یت رواناب نقش دارند (Oberndorfer et al., 2007). انتخاب و بهینه‌سازی هر لایه بام سبز، یکی از مهمترین مسائل در طراحی است (Razzaghmanesh et al., 2014).

خشکی یکی از عوامل محدودکننده در سیستم‌های گسترده بام سبز با عمق بستر کشت متو سط (<۱۵ سانتی‌متر) و وابسته به بارش طبیعی برای حفظ ر شد است (Rowe and Getter, 2006). جهت حفظ رطوبت و افزایش راندمان آبیاری در بامهای سبز، روشهایی مانند کاربرد مالچ های سبک وزن جهت جلوگیری از تبخیر و کاهش دمای خاک (Walters, Midden and 2018)، انتخاب عمق و ترکیب مناسب محیط کشت (Razzaghmanesh et al., 2014)، تعیین نیاز آبی دقیق گیاهان (Marasco et al, 2014)، انتخاب گونه مناسب (Vahdati et al., 2017) و کاربرد گونه‌های پرستار (Pilehvar, 2014) پیشنهاد شده است. همچنین، تغذیه مطلوب گیاهی یکی از روش‌های مؤثر بر تواناسازی گیاهان در مقابله با شرایط خشکی معرفی شده است. از دیگر روش‌های افزایش مقاومت گیاهان به تنش خشکی، کاربرد مواد هیومیکی است. ترکیبات هیومیکی بر رشد و نمو گیاهی به صورت مستقیم (از طریق افزایش کارایی کودها یا کاهش فشردگی خاک) و غیر مستقیم (از طریق بهبود شرایط کلی زیست‌توده گیاه) تأثیرگذار هستند (Nardi et al., 2002). Jozay و همکاران (۲۰۲۱) تأثیر محلول اسید هیومیک و نوع بستر کشت بر برخی صفات مورفوفیزیولوژیک و بیو شیمیایی گیاهان *Syngonium* spp. و *Scindapsus* spp. در شرایط دیوار سبز داخلی مورد مطالعه قراردادند. نتایج نشان داد در اغلب موارد بستر کوکوپیت + ورمی‌کمپوست + پرلیت پاسخ مناسب‌تری را نسبت به بستر کوکوپیت + ورمی‌کمپوست + زئولیت ارائه داده است و همچنین کاربرد ٤ میلی‌گرم بر لیتر اسید هیومیک در تمامی انواع بستر کشت گیاهان با کیفیت‌تری ایجاد کردند. در مطالعه‌ای روی گل همیشه بهار، Dalvand (۲۰۱٦) نشان داد که با کاهش دفعات آبیاری میزان جذب فسفر کاهش می‌یابد. دلیل کاهش جذب مواد مغذی (فسفر، سدیم و پتا سیم) در خاکهای خشک تو سط ریشه گیاه می‌تواند دسترسی کمتر گیاه به این مواد مغذی با شد. با توجه به مطالعه فوق و این واقعیت که تاثیر تنش خشکی بر روی گیاهان در شرایط بام سبز اجتناب ناپذیر است، استفاده از اسید هیومیک می‌تواند به بهبود رشد و پوشش‌دهی گیاهان در این سیستم‌ها کمک کند.

گیاهان مطلوب برای بام‌های سبز گسترده بایستی دارای ویژگی های مقاومت در برابر خشکسالی و شرایط اقلیمی سخت، در دسترس بودن، مقرون به صرفه بودن، بدون نیاز به آبیاری منظم، دارای ریشه های کوتاه و ظریف، توانایی زنده ماندن در حداقل تامین موادغذایی، نیاز به نگهداری کمتر، تبخیر و تعرق کمتر و توانایی بیشتر در کاهش جزایر گرمایی باشند (Shafique et al., 2018). Schweitzer و همکاران (۲۰۱٤) به بررسی زنده مانی ۱۱۲ گونه

گیاهی در شرایط بام‌سبز در کلرادو پرداختند. نتایج نشان داد که در تمامی فصول سال ساکولنت ها بیشترین زنده‌مانی را داشتند. Ondo˜no و همکاران (۲۰۱۶) در شرایط آب‌وهوایی اسپانیا روی یک بام‌سبز به بررسی رشد و عملکرد دو گونه *Silene vulgaris* و *Lagurus ovatus* L. در دو عمق بستر کشت ۵۰ و ۱۰۰ میلی متر پرداختند. تیمار های بعدی شامل بسترهای کمپوست: خاک: خرده آجر (۱:۱:۳v/v) و کمپوست: خرده آجر (۱:٤v/v) و دو سطح آبیاری ٤۰ ٪ ET0 و بدون آبیاری بود. نتایج نشانگر این موضوع بود که بدون وجود آبیاری در این شرایط، گیاهان به طور کامل از بین می‌روند و عمق بستر نسبت به نوع بستر اهمیت بیشتری دارد. Naderi و همکاران (۲۰۱۸) شرایط آب و هوایی تهران، گیاهانی همچون چمن یال اسبی (*Ophiopogon jabura*)، فرانکنیا (*Frankenia thymifolia*)، کارپوبروتوس (*Carpobrotus edulis*) در دو عمق کشت ۱۰ و ۲۰ سانتی‌متر و دو شرایط آبیاری خشک (آبیاری هر ۳ روز یکبار) و مرطوب (آبیاری روزانه) در یک بام سبز را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد بیشترین کیفیت، سطح پوشش و ارتفاع در هر سه گیاه مربوط به تیمارهای بستر با عمق ۲۰ سانتی‌متر و بستر کشت حاوی پیت و آبیاری مرطوب بود.

از دیگر جنبه‌های کلیدی در موفقیت بام‌سبز در راستای رسیدن به اهداف و کارکردهای مهم اکولوژیک و محیطی آن، انتخاب بستر کشت مناسب است. یک محیط کشت ایده‌آل برای گیاهان می‌تواند زندگی گیاهی را حفظ کند، نیازمند نهاده‌های کمی باشد و به آسانی تجزیه نشود. همچنین باید دارای ویژگی‌های سبک وزنی، تخلیه خوب، نگهداری خوب آب و ظرفیت ذخیره مواد مغذی زیاد و با قابلیت دسترسی زیاد در محل باشد (Mohorko and Kazemi, 2017). برای مناطق با اقلیم خشک‌تر که حساسیت بیشتری دارند برنامه‌ریزی‌ها باید طوری باشد که بستر کشت نوسانات دمایی و استرس خشکی را براس گیاه کاهش دهد که این امر می تواند با افزایش ظرفیت نگه‌داری آب و ایزولاسیون دمایی بستر امکان‌پذیر باشد. زمانی که از دست دادن آب به صورت تعرق بر میزان آب جذب شده از خاک پیشی میگیرد، تنش آب رخ می‌دهد. تنش طولانی مدت بر تمام فرآیندهای متابولیک گیاه اثر میگذارد و در نتیجه اغلب موجب کاهش تولید گیاه می‌شود (Dehnavardi Movahedi et al., 2003). در بام‌های سبز گسترده، آبیاری ممکن است برخی از اثرات کاهش عمق بستر را جبران کند (VanWoert et al., 2005). Schweitzer و Erell (۲۰۱٤) نیز در پژوهشی، به بررسی میزان خنک‌کنندگی و مصرف آب گونه‌های مختلف در شرایط بام‌سبز پرداختند. نتایج نشان داد که میزان آب مورد نیاز گونه های گیاهی مورد آزمایش از ۲/٦ تا ۹ لیتر در مترمربع در روز بود. *Aptenia cordifolia* در استفاده از آب، بیشترین کارایی را داشت و بالاترین مزیت خنک‌کنندگی را در واحد سطح به ازای هر واحد آب برای آبیاری داشت.

Savi و همکاران (۲۰۱٤) نیز نشان دادند که اصلاح جزیی لایه‌بندی بام‌سبز، می‌تواند دسترسی گیاهان به آب را بهبود بخشد. یکی از اصلاح‌کننده‌های بستر بام‌سبز باید سوپرجاذب‌ها باشد (Farrell et al., 2013). سوپرجاذب‌ها موادی هستند که قادر به جذب مقادیر زیادی از آب‌های حاصل از بارندگی و آبیاری بوده، از هدر رفت آن به عمق خاک جلوگیری کرده و تحت شرایط خشکی خاک آن را مجدد در اختیار گیاه می‌گذارند. در این حالت از تنش وارده به گیاه بر اثر خشکی جلوگیری می‌کنند. جذب سریع آب و حفظ آن بوسیله سوپرجاذب‌ها، بازده جذب آب ناشی از بارندگی را بالا برده و در صورت آبیاری خاک، فواصل آبیاری را کاهش می‌دهند (Allahdadi, 2005). بنتونیت

از جمله سوپرجاذب‌های طبیعی است که مخلوطی از کانی‌های ۲:۱ بوده و از گروه کانی‌های رسی است که دارای مقدار زیادی مونت موریلونیت و مقادیر زیادی سدیم یا یون است و دارای چسبندگی زیادی می‌باشد. بنتونیت‌هایی که دارای سدیم قابل تعویض هستند، دارای ظرفیت بالای متورم شدن می‌باشند و وقتی آب به آنها اضافه شود به صورت ژله‌ای در می‌آیند. بنتونیت قابلیت جذب آب نسبتا زیادی دارد و این قابلیت در نوع سدیم‌دار از انواع دیگر بیشتر است (Abedi Kopaei, 2004 و Sohrab). Rabbani Kheir Khah و همکاران (۲۰۱۹) به بررسی تغییرات صفات کمی و کیفی دو نوع چمن با کاربرد چهار نوع سوپرجاذب تحت دو شرایط آبیاری کامل و پس از آن تنش‌خشکی پرداخت. دو گونه *Lolium perenne* L. ‘Chadegan’ و همچنین *Festuca arundinacea* نیز سوپرجاذب‌های معدنی شامل زئولیت (۱۰ درصد وزنی)، بنتونیت (٦ درصد وزنی) و سوپرجاذبهای آلی شامل آکوآزورب (٦ گرم بر مترمربع) و بلورآب (۵۰ گرم بر متر مربع) بودند. در اکثر صفات کیفی و کمی، با کاربرد آکوآزورب و پس از آن بنتونیت چمن ها بهترین کیفیت را نشان‌داد. Savi و همکاران (۲۰۱٤) اثرات اصلاحی پلیمر هیدروژل را در ظرفیت نگهداری آب یک بستر بام سبز، و همچنین بر وضعیت آب و رشد گیاه سلوی دارویی *Salvia officinalis* بررسی کردند. تیمارها شامل دو عمق بستر (۸ یا ۱۲ سانتی‌متر) و پلیمرهیدروژل (۰/۳ یا ۰/٦ ٪) بودند. هیدروژل به میزان قابل‌توجهی محتوای آب بستر را به اشباع و همچنین آب در دسترس برای پوشش‌گیاهی افزایش داد. در این پژوهش، مطالعه و بررسی روی تاثیر نوع بستر کشت و سطوح مختلف اسید هیومیک بر مصرف آب و برخی عوامل موثر بر مصرف آب گونه پوششی *C. edulis* به‌عنوان گامی برای دستیابی به یک سیستم بام سبز پایدار در مناطق خشک و نیمه خشک صورت گرفته است. سوال اصلی در این تحقیق این بود: وجود یا عدم وجود خاک و وجود یا عدم وجود سوپرجاذب چه تاثیری بر رشد گیاهان و رابطه آب، خاک و گیاه در سیستم‌های بام سبز دارد؟

مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی محل آزمایش و طرح آزمایشی: این آزمایش در بام ساختمان دو طبقه در شهر مشهد انجام شد. شهر مشهد با عرض جغرافیایی ۵۹ درجه و ۳۸ دقیقه طول شرقی و ۳٦ درجه و ۱٦ دقیقه طول شمالی در ارتفاع ۹۸۹ متری از سطح دریا واقع شده است. این شهر دارای اقلیمی نیمه‌خشک تا خشک با زمستان‌های سرد و تابستان‌های گرم می‌باشد. مشهد بر روی دشتی بین ارتفاعات بینالود (جنوب غربی) و هزار مسجد (شمال و شمال شرق) واقع شده است. آزمایش به صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. گونه گیاهی در این آزمایش گونه پوششی سدوم دم عقربی (*Carpobrotus edulis* L.) بود.

به‌طورکلی، در سیستم‌های بام سبز، ترکیبات لیکا، پومیس و پرلیت سه جزء متداول بستر هستند (Mohorko ،Kazemi, 2017). در این آزمایش، مقدار یکسانی از این ترکیبات در بستر پایه مورد استفاده قرار گرفت. شش مخلوط بستر ارائه شده در جدول ۱ به عنوان سطوح فاکتور اول (بستر کشت) در نظر گفته شدند. فاکتور دوم این آزمایش سطوح مختلف اسیدهیومیک بود که شامل سطوح صفر، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلیگرم در لیتر و به صورت کود – آبیاری هر ۱۵ روز یکبار به گیاه و بر اساس روش Dalvand (۲۰۱٦) اعمال شد.

تجزیه شیمیایی و فیزیکی بسترهای آزمایش شده در جدول ۲ ارائه شده است. این تحقیق شامل ۱۰۸

واحد آزمایشی بود که در هر واحد آزمایشی پنج گیاه به صورت بوته نشایی کشت شد. در این تحقیق، در هر پلات حاوی ۵ گیاه و زیرگلدانی آن به‌عنوان یک لایسیمتر در نظر گرفته شد. به‌منظور بررسی تغییرات رطوبت از سطح خاک بدون پوشش گیاهی، تیمارهای شاهد (جهت بررسی رطوبت بستر و تبخیر از سطح بدون پوشش گیاهی) هر نوع بستر با سه تکرار (۱۸ واحد آزمایشی) نیز به طرح آزمایشی اضافه شد و دما و رطوبت آنها مورد بررسی قرار گرفت. کرت‌های آزمایشی جعبه‌های پلاستیکی با ابعاد ۴۰×۳۲ سانتی‌متر با عمق ۲۶ سانتی‌متر بود. لایه‌های مورد استفاده در این کرتهای آزمایشی بام‌سبز به‌ترتیب از پایین به بالا شامل لایه عایق (کف جعبه‌ها)، لایه زهکش (پرلیت)، لایه فیلترخاک (ژئوتکستایل)، بستر کشت و گیاه می‌باشد.

جدول ۱: بسترهای کشت مورد استفاده در واحدهای آزمایشی

نوع بستر کشت	ترکیبات
بستر کشت۱	خاک ۲۰٪+۲۰٪ لیکا+۲۰٪ پرلیت+ پوکه معدنی+۲۰٪ خاکبرگ
بستر کشت۲	بستر کشت ۱+۶درصد وزنی بنتونیت
بستر کشت۳	بستر کشت ۱+ ۱۲درصد وزنی بنتونیت
بستر کشت٤	پوکه معدنی ۲۷٪+ ۲۷٪ لیکا+ ۲۷٪ پرلیت+ ۲۰ درصد خاکبرگ
بستر کشت۵	بستر کشت ٤+٦ درصد وزنی بنتونیت
بستر کشت٦	بستر کشت٤+۱۲درصد وزنی بنتونیت

جدول ۲: برخی از خواص فیزیکی و شیمیایی بسترهای کشت مورد مطالعه

نوع بستر کشت	نیتروژن کل(%)	پتاسیم (mg/kg)	فسفر (mg/kg)	مواد آلی (%)	کربن آلی(%)	EC (ds/ m)	pH	تخلخل کل (%)	وزن مخصوص (g/cm3)
بستر کشت ۱	۰/۰۵۱	٦۵۸/٦۳	۷/٤۸	۱/۰۰۸	۰/۵۸۵	۱/۲۹	۸/۲۱	۹۸/٤	۲/۱۳۳
بستر کشت ۲	۰/۰٤٦	۹۲٤/٤۳	٦/٦۱	۱/۳٤٤	۰/۷۸	۱/۸۸	۸/۳۵	۹۸/۸۷	۲/۱۳
بستر کشت ۳	۰/۰۱٤	۷۵۵/۲۸	۷/۱۹	۰/۲۳۵	۰/۱۳٦	۲/۳٤	۸/۸٤	۹۸/٤	۲/۱۹
بستر کشت ٤	۰/۰٤۲	۵۸٦/۱۳	۵/٤٦	۱/۱۷٦	۰/٦۸۲	۰/۷۱	۸/۲۷	۹۸/۱٤	۲/۱۹
بستر کشت ۵	۰/۰۵۲	۷٤۵/۳۳	٦/۳۳	۳/۳٦۱	۱/۹۵	۱/۳۱	۸/۵٤	۹٤/٦۹	۱/۸۷
بستر کشت ٦	۰/۰۳٤	۸۲٤/۹۳	٤/۸۹	۱/۲۷۷	۰/۷٤	۱/۵۲	۸/۵۳	۹۷/۹۸	۲/۱۳

بررسی میزان تبخیر و تعرق گیاهان: مقدار آب آبیاری، مطابق با ۷۵٪ تبخیر وتعرق گیاه مرجع هر ۳ روز یکبار و بر اساس تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A که بر بام نصب شده بود، بر اساس معادله (۱) محاسبه گردید.

$$ET0=Kp\ ET \quad \text{(معادله ۱)}$$

که در آن ET_0 تبخیرو وتعرق گیاه مرجع، Kp ضریب تشت تبخیر که از نشریه فائو ۵٦ استخراج شد (برای مشهد ۰/۷۷ در نظر گرفته شده است) و ET مقدار تبخیر از سطح تشت نبخیر می‌باشد. در اردیبهشت و خرداد هر ۳٦ ساعت و از تیر تا مهر هر ٤۸ ساعت گیاهان آبیاری شدند.

در این تحقیق، تبخیر و تعرق گیاهان در هر تیمار با استفاده از روش لیسیمتر یا تعادل آب خاک با استفاده از معادله (۲) برآورده و برای تجزیه و تحلیل ماری، از متوسط تبخیر و تعرق روزانه در هر ماه استفاده شد.

$$P+I=Dp+\ ET+\Delta S+RO \quad \text{(معادله ۲)}$$

که در آن:

P= مقدار بارندگی موثر (ml)

Dp= میزان آب زهکش بعد از هر آبیاری از زیر گلدانی هر کرت جمع‌آوری و به وسیله استوانه مدرج اندازه‌گیری شد (ml)

I = مقدار آب آبیاری (ml)

ET=یزان تبخیر وتعرق گیاه (ml)

ΔS= میزان تغییر ذخیره رطوبتی خاک هر جعبه بوسیله رطوبت‌سنجش پرتابل مدل (EXTECH MO750) از عمق ۱۵ سانتی‌متری (به اندازه طول رطوبت سنج)، قبل از انجام آبیاری اندازه‌گیری شد (ml).

RO= میزان رواناب آب سطحی که به علت محدودبودن سطح گلدان صفر محسوب شد.

بررسی پارامترهای هواشناسی: رطوبت نسبی و دمای هوا در محل آزمایش در طول دوره مطالعه ثبت شد. با مقایسه این داده‌ها با اطلاعات هواشناسی شهر مشهد، مشخص شد که متوسط دمای هوا در بالای پشت بام ٤ درجه سانتی‌گراد، بالاتر و رطوبت هوا ٥ تا ٦ درصد کمتر از آن در سطح زمین است(شکل ۱).

بررسی رطوبت و دمای بسترهای کشت: رطوبت داخل بستر کشت توسط رطوبت سنجش پرتابل مدل (EXTECH MO750) به قبل از هر بار آبیاری و در ساعت مشخص (حدود ۱۲ ظهر) در دو عمق ۲ و ۱۵ سانتی‌متری بستر کشت اندازه‌گیری شد.

بررسی صفات فیزیولوژیک: محتوای نسبی آب برگ با استفاده از فرمول (TW-DW)/ ((FW-DW) محاسبه شد که در آن FW وزن تر نمونه‌های برگی، TW وزن تر نمونه‌هایی که ٢٤ ساعت در دمای اتاق خیسانده شده‌اند. DW وزن خشک نمونه‌های برگی است (Barrs, 1962 و Weatherley).

کمبود اشباع نسبی با فرمول RSD (%) = (Tw- Fw) / Tw × 100 محاسبه شد به این صورت که پس از جمع‌آوری برگ‌ها و توزین وزن تر(Fw)، برگها به مدت ۵ ساعت در آب مقطر و دمای اتاق قرار داده شد. سپس برگ‌ها را از آب خارج کرده و مجددا وزن شد و وزن آماس (Tw) آن‌ها به دست آمد (Samar Raza et al., 2012).

جهت تعیین پایداری غشاء یاخته‌های برگی از شاخص نشت الکترولیت بر اساس روش وBlum و Ebercon (۱۹۸۱) استفاده شد.. مقادیر نشت الکترولیت (EL) از طریق رابطه زیر محاسبه شد (هدایت الکتریکی اولیه (Ci) و هدایت الکتریکی ثانویه (پس از اتوکلاو کردن نمونه ها)(Cs)).

EL = (Ci/Cs) / 100 (معادله ۲)

به‌منظور محاسبه میزان کلروفیل، ۰/۲۵ گرم برگ تازه را خرد کرده با ۵ میلی‌لیتر آب مقطر در هاون سائیده و سپس مخلوط حاصل را در یک بالن ژوژه با آب مقطر به حجم رسانده، ۰/۵ میلی‌لیتر از مخلوط حاصله برداشته و با ٤/٥ میلی‌لیتر متانول مخلوط گردید، سپس به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفوژ با سرعت ۳۵۰۰ دور در دقیقه انجام شد این روش بر اساس روش Arnon (۱۹٤۰) می‌باشد. پس از آن محلول شناور را برداشته و با استفاده از اسپکتروفتومتر میزان جذب نور در طول موجهای ٤٧٠، ٦٥٣، ٦٦٦ نانومتر قرائت گردید. نهایتا غلظت کلروفیل از رابطه زیر بدست آمد.

(معادله ۳)

Chl a (µg/ ml) = (15/65× A 666) – (7/34× A 653) (معادله ٤)

Chl b (µg/ ml) = (27/05× A 653) – (11/21× A 666) (معادله ۵)

Carotenoid (µg/ ml) = (1000× A 470) – (2/860× Chl a) – (129/2× Chl b) / 245

CHL_t= Chl a+ Chl b (معادله ٦)

جهت اندازه‌گیری ترکیبات فنولی از روش فولین سیکالتو استفاده شد (Singleton and Slinkard, 1997). پس از جذب نمونه‌ها در طول موج ٧٦٥

نانومتر برای رسم منحنی استاندارد از غلظت‌های مختلف اسید گالیگ استفاده شد.

برای اندازه‌گیری کربوهیدرات‌های محلول کل برگ از روش Irigoyen و همکاران (۱۹۹۲) استفاده شد. میزان جذب در طول موج ٦٢٥ نانومتر با دستگاه اسپکتوفتومتر قرائت می‌گردد. غلظت کربوهیدراتهای محلول کل برحسب میلی‌گرم بر گرم بافت تازه برگ بیان شد. از غلظت‌های مختلف گلوکز جهت رسم نمودار استاندارد و محاسبه نهایی میزان کربوهیدرات‌های محلول استفاده شد.

بررسی صفات کیفی و مورفولوژ یک: میزان پوشش‌دهی گیاهی و یا به عبارت دیگر رشد افقی گیاهان به صورت بصری و با استفاده از گروه ارزیاب ذکر شده در بالا مورد بررسی قرار گرفت. بر این اساس، به گیاهان با توجه به میزان پوشش‌دهی آنها نمره‌ای بین ۰ تا ۱۰۰ داده شد (Durhman et al., 2007).

صفات مورفولوژیک اندازه‌گیری شده در این آزمایش شامل تعداد برگ، تعداد شاخه‌های جانبی، طول (اندازه گیری بو سیله خط کش) و حجم ریشه (با استفاده از استوانه مدرج و قانون ارشمیدس) می‌باشد، همچنین اندکس رشد گیاه (عرض گیاه×طول گیاه× ارتفاع گیاه)، در پایان آزمایش بررسی شد.

تجزیه و تحلیل آماری

به‌منظور تجزیه و تحلیل آماری از نرم افزار JMP8 استفاده شد. مقایسه میانگین داده‌ها، با استفاده از آزمون توکی در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪، و نمودارها با نرم‌افزار اکسل ترسیم شدند.

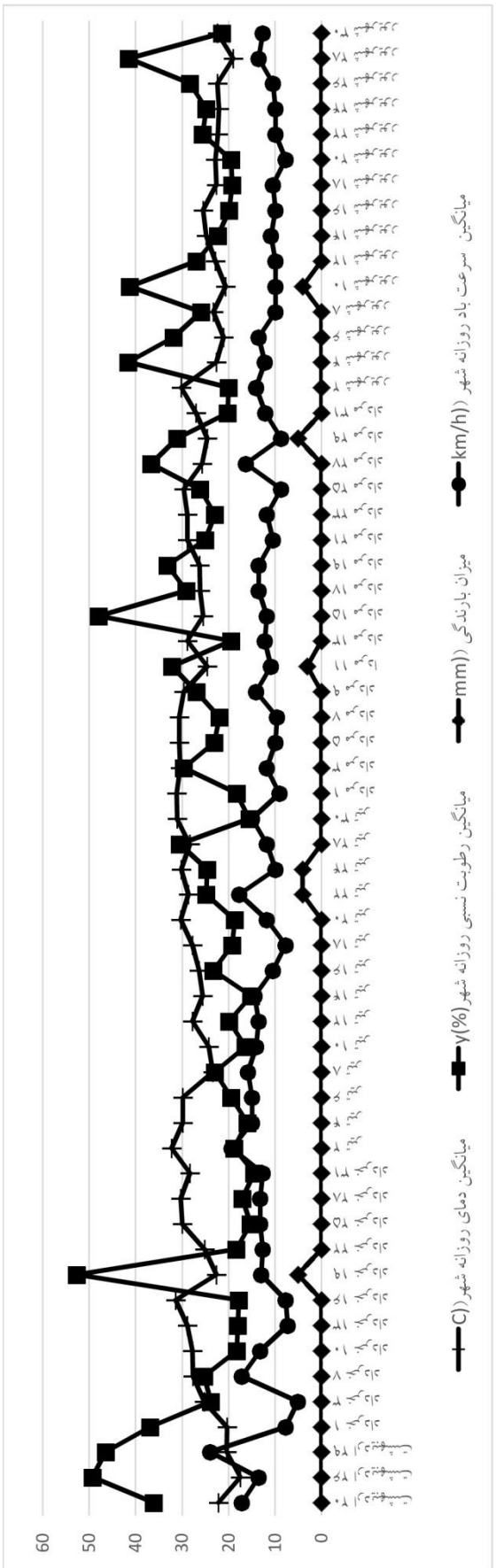
نتایج

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که در ماه‌های اردیبهشت و خرداد، تنها اثر ساده بسترکشت در تبخیر و تعرق *C. edulis* معنی‌دار بود. با این حال، در سه ماه بعدی، اثرات ساده و متقابل بستر کشت و سطوح اسید هیومیک، معنی‌دار بودند (جدول ۳).

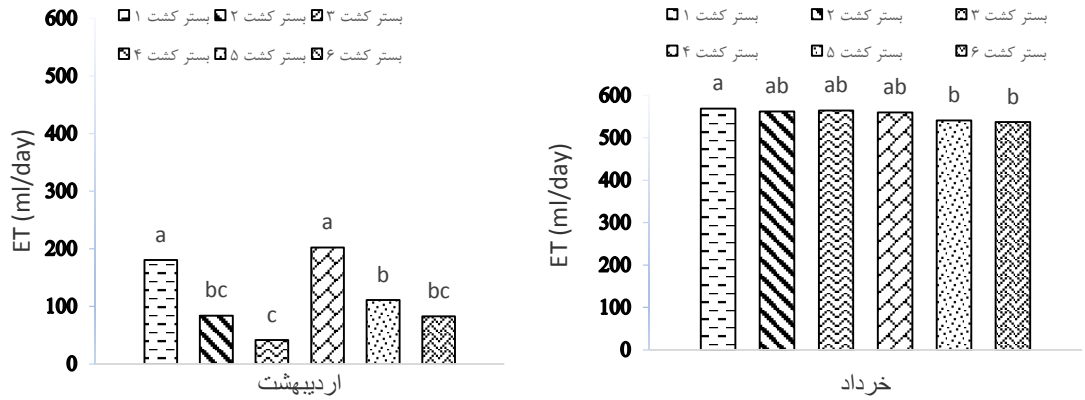
جدول ۳: تجزیه واریانس (میانگین مربعات) نوع بستر کشت و سطوح اسید هیومیک روی تبخیر و تعرق (ET) گیاه ***C. edulis***

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
بلوک	۲	۸۷۰/۹۷^{ns}	٤٠٤/٨٥^{ns}	۱۳۱۰/۲۰^{ns}	۱۰۳/۷۲^{ns}	۲۷/۸٦^{ns}
بستر کشت	۵	۳٤۷۹٤/۰۲**	۱۵۷٦/ ۲۸**	۵۲٦۳/٦۷**	۳۸۸٦/۱۸**	۱۳۸۸ /۳۰**
اسید هیومیک	۲	۱۰۱۱/۰۷^{ns}	٦۰۰/۰۷^{ns}	۱۰۳۹۹/۲۱**	٤۲٦/۹۸*	۱۵٦۹/۹٤**
بستر کشت× اسید هیومیک	۱۰	۱٦۳۱/۳۱^{ns}	۳۱۵/۳۷^{ns}	۱۹۵۰/۱٦**	۲۹۰/۷۷**	۷٦٤/۱٦**
خطا	۳٤	۹۵٦/۸	۳۷۱/۲۵	٦۵۲/۰۳	۹٤/۲۳	۳۸/۳۱
CV%		۵/۷۲	۱/۱۳	۲/۵۷	۰/۸۳	۱/۰٦

*،** و ^{ns}: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ ، ۵٪ و غیر معنی‌دار.

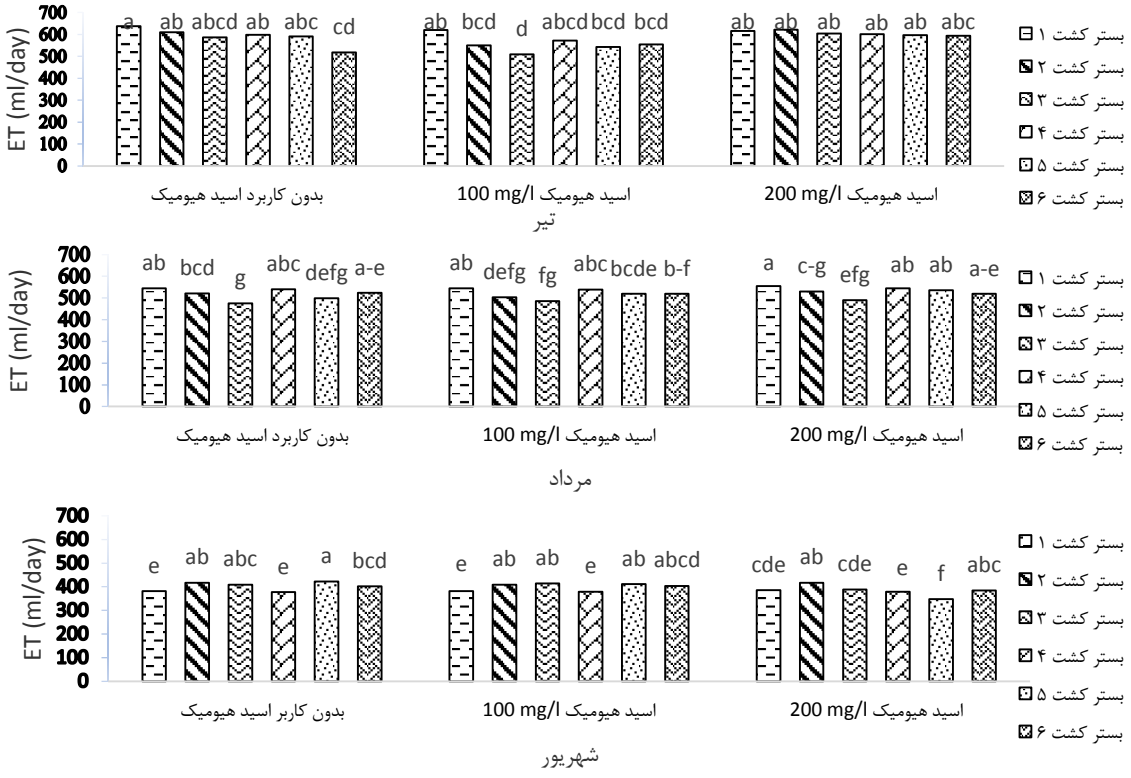


شکل ۱: روند تغییرات دما، رطوبت نسبی، بارش و سرعت باد در ماه‌های آزمایش سال ۱۳۹۹ در شهر مشهد



شکل ۲: اثرات ساده بستر کشت بر تبخیر و تعرق (ET) گیاه *C. edulis*

تبخیر و تعرق: مطابق شـــکل ۲، در ماه اول آزمایش، تیمارهای حاوی بنتونیت (بستر ۲، ۳، ۵ و ٦)، صرف نظر از اینکه خاک در بســترها وجود داشـــت یا خیر، میزان تبخیر و تعرق گیاهان را به میزان قابل‌توجهی کاهش دادند. با این حال، در ماه خرداد، کمترین تبخیر و تعرق مربوط به دو بسـتر بدون خاک حاوی ٦ و ۱۲ درصـــد بنتونیت (بســـتر ۵ و ٦) بود و تفاوت ســـایر تیمارها از نظر آماری معنی‌دار نبود.



شکل ۳: اثرات متقابل انواع بستر و سطوح اسید هیومیک بر تبخیر و تعرق گیاه *C. edulis*

در تیرماه مطابق جدول ٤ برای بستر کشت۳، ۵ و ٦ نسبت به غلظت‌های مختلف اسید هیومیک حساس بودند و سطوح مختلف این ا سید موجب اختلاف در تبخیرو تعرق گیاهان در این بسترهای کشت شد.

جدول ٤: تفسیر اثرات متقابل نوع بستر کشت و سطوح اسید هیومیک روی تبخیر و تعرق (ET) گیاه *C. edulis* در تیرماه

اثر متقابل	تیمار	Num DF	Den DF	F value	Pr> F
بستر کشت× اسید هیومیک	بستر کشت۱	۲	۳٤	۰/٤٦۸	۰/٦۲۹
بستر کشت× اسید هیومیک	بستر کشت۲	۲	۳٤	٦/۲۹۲	۰/۰۰٤
بستر کشت× اسید هیومیک	بستر کشت۳	۲	۳٤	۱٤/۲٤۰	۰/۰۰۰۰۳
بستر کشت× اسید هیومیک	بستر کشت٤	۲	۳٤	۱/۹٤۰	۰/۱٥۹
بستر کشت× اسید هیومیک	بستر کشت٥	۲	۳٤	٥/۰٤	۰/۰۱۲
بستر کشت× اسید هیومیک	بستر کشت٦	۲	۳٤	۱۱/۰۲	۰/۰۰۰۲
بستر کشت× اسید هیومیک	عدم کاربرد اسید هیومیک	٥	۳۰	٥/۲٥۲	۰/۰۰۱
بستر کشت× اسید هیومیک	اسید هیومیک ۱۰۰ mg/l	٥	۳۰	٤/۳۸۱	۰/۰۰۳
بستر کشت× اسید هیومیک	اسید هیومیک ۲۰۰ mg/l	٥	۳۰	۰/۲٤۱	۰/۸۳۰

جدول٥: تفسیر اثرات متقابل نوع بستر کشت و سطوح اسید هیومیک روی تبخیر و تعرق (ET) گیاه ***C. edulis*** در مردادماه

اثر متقابل	تیمار	Num DF	Den DF	F value	Pr> F
بستر کشت× اسید هیومیک	بستر کشت۱	۲	۳٤	۰/۰٥۸	۰/۹٤۲
بستر کشت× اسید هیومیک	بستر کشت۲	۲	۳٤	۲/۱٤۹	۰/۱۳٤
بستر کشت× اسید هیومیک	بستر کشت۳	۲	۳٤	۱۱/۹۷٦	۰/۰۰۰۱
بستر کشت× اسید هیومیک	بستر کشت٤	۲	۳٤	۰/۲٥۲	۰/۷۷۸
بستر کشت× اسید هیومیک	بستر کشت٤	۲	۳٤	۰/۹۱۷	۰/٤۱
بستر کشت× اسید هیومیک	بستر کشت٦	۲	۳٤	۰/۳۹۱	۰/٦۷۹
بستر کشت× اسید هیومیک	عدم کاربرد اسید هیومیک	٥	۳۰	۸/٤۸۸	۰/۰۰۰۰٤
بستر کشت× اسید هیومیک	اسید هیومیک ۱۰۰ mg/l	٥	۳۰	۳/۳٥۷	۰/۰۱٥
بستر کشت× اسید هیومیک	اسید هیومیک ۲۰۰ mg/l	٥	۳۰	۹/۲٥٦	۰/۰۰۰۰۲

جدول ٦: تفسیر اثرات متقابل نوع بستر کشت و سطوح اسید هیومیک روی تبخیر و تعرق (ET) گیاه *C. edulis* در شهریورماه

اثر متقابل	تیمار	Num DF	Den DF	F value	Pr> F
بستر کشت× اسید هیومیک	بستر کشت۱	۲	۳٤	۲/۳۸٦	۰/۱۰۷
بستر کشت× اسید هیومیک	بستر کشت۲	۲	۳٤	۳/٦۹۲	۰/۲
بستر کشت× اسید هیومیک	بستر کشت۳	۲	۳٤	۳/٦۹۲	۰/۰۳٥
بستر کشت× اسید هیومیک	بستر کشت٤	۲	۳٤	۰/۰۱٤	۰/۹۸٥
بستر کشت× اسید هیومیک	بستر کشت٤	۲	۳٤	۳۳/۰٦	۱/۰٦۲
بستر کشت× اسید هیومیک	بستر کشت٦	۲	۳٤	۱/۸٥۱	۰/۱۷۲
بستر کشت× اسید هیومیک	عدم کاربرد اسید هیومیک	٥	۳٤	٦/٤۹٥	۰/۰۰۰۲
بستر کشت× اسید هیومیک	اسید هیومیک ۱۰۰ mg/l	٥	۳٤	٤/۸٥٦	۰/۰۰۱
بستر کشت× اسید هیومیک	اسید هیومیک ۲۰۰ mg/l	٥	۳٤	۷/٥۹٥	۰/۰۰۰۰۷

مطابق جداول ٥ و ٦ در ماه‌های مرداد و شهریورو برای بستر کشت ۳ غلظت‌های مختلف اسید هیومیک باعث اختلاف تبخیر و تعرق شده است و در سایر بسترهای کشت دیگر غلظت‌های مختلف اسید

هیومیک اختلاف تبخیر و تعرق را ایجاد نکرده‌اند. به عبارت دیگر فقط بستر کشت ۳ به غلظت‌های مختلف اسید هیومیک در شهریور حساس بوده است.

همانطور که در شکل ۳ نشان داده شده است، در ماه تیر، کمترین میزان تبخیر و تعرق مربوط به گیاهان تیمار شده با ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک و بستر حاوی خاک و ۱۲ درصد بنتونیت (بستر ۳) بود. در مردادماه، در گیاهان تحت تیمار تمامی سطوح اسید هیومیک و بستر کشت حاوی خاک و بنتونیت (بستر ۳) تبخیر و تعرق به طور قابل توجهی کاهش یافت. در ماه شهریور، تبخیر و تعرق در تیمارهای بدون اسید هیومیک یا با ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک، هنگامی که با استفاده از بنتونیت در بسترها ترکیب شد (بسترهای کشت ۲، ۳، ۵ و ٦) افزایش یافت. در بالاترین سطح اسید هیومیک، گیاهان در بسترهای حاوی خاک و بنتونیت ٦ درصد وزنی بیشترین ET را داشتند (بسترکشت ۲). کمترین ET نیز مربوط به گیاهان در بستر بدون خاک حاوی ٦ درصد بنتونیت (بستر کشت ۵) بود.

تجزیه واریانس داده‌های مورفولوژیک در جدول ۷ نشان می‌دهد اثر ساده بستر کشت در تمامی صفات مورفولوژیک معنی‌دار بود. اثر ساده اسید هیومیک نیز تنها در مورد اندکس رشد معنی‌دار نبود. اما اثر متقابل نوع بستر کشت و سطوح اسید هیومیک تنها در مورد اندکس رشد و درصد پوشش‌دهی اختلاف معنی‌دار نشان داد

جدول ۷: تجزیه واریانس (میانگین مربعات) نوع بستر کشت و سطوح اسیدهیومیک صفات مورفولوژیک و عملکردی *C. edulis*

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		تعداد برگ	تعداد شاخه جانبی	اندکس رشد	درصد پوشش دهی	طول ریشه	حجم ریشه
بلوک	۲	۹/۸۳^{ns}	۷/۸۷^{ns}	۲۷۰۷۱۶۳^{ns}	۳٦/۷۸^{ns}	۷/۹۹^{ns}	۱/۹۹^{ns}
بستر کشت	۵	۱۵٦/۹۳**	۲۳/۲۸**	۲٦۹۲۳۱۰۸**	۱٤۹۳/۷۹**	۳۸/۲٤*	۸/٦٦*
اسید هیومیک	۲	۳٤/۵۷*	۹۵/٤۵**	۲٤۵۱۹۳۱^{ns}	۳۷٤/۹٦**	٦۰/٤٤**	۸/۳۵**
بستر کشت×اسیدهیومیک	۱۰	۱٦/٤٦^{ns}	٤/۲۸^{ns}	۱۹۷۱٤۳۹^{ns}	۵۷/۰۷*	۲۲/۱۹^{ns}	۷/۹٦^{ns}
خطا	۳٤	۸/۹٦	٤/۲۸	۸۵۷٦۸۵	۲۰/۷۷	۱۲/۳۳	۰/۵۷
CV%		٤/۵	۸/۱۱	۱٤/٦٤	۲/۸۵	٤/٦۹	۱۲/۵۸

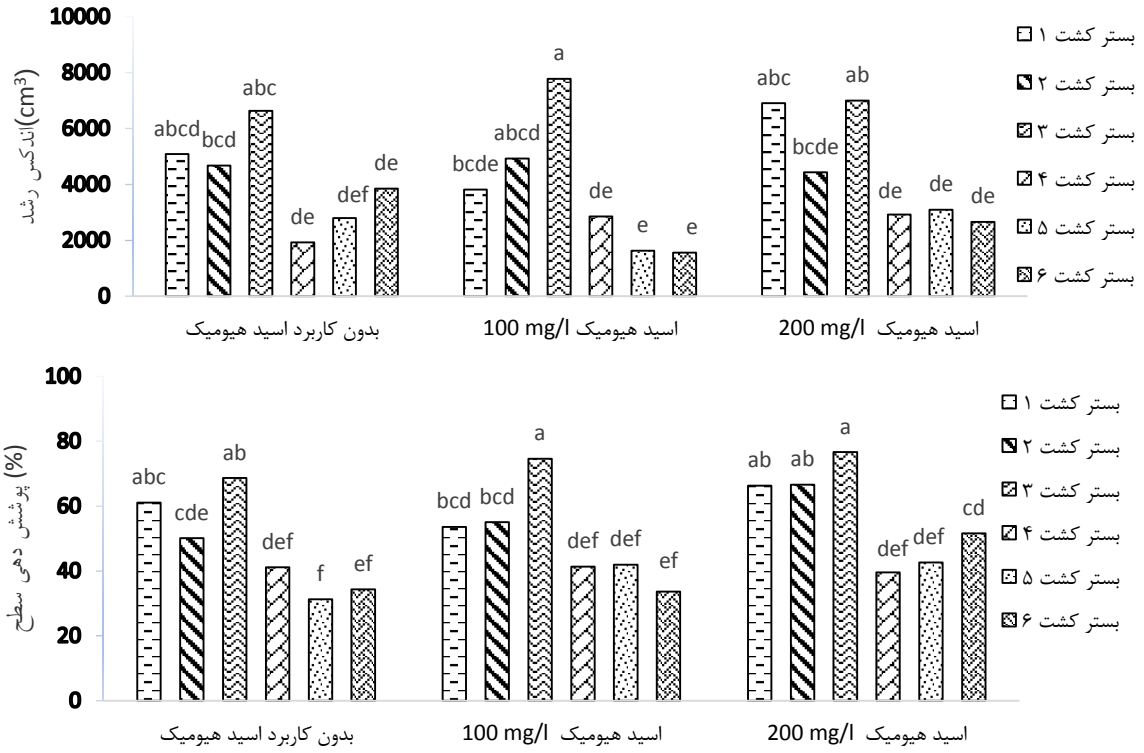
*،** و ^{ns}: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ ، ۵٪ و غیر معنی‌دار.

تعداد برگ و تعدا شاخه جانبی: بیشترین تعداد برگ در شاخه جانبی و تعداد شاخه جانبی مربوط به بستر ۳ (حاوی خاک و ۱۲٪ بنتونیت) است و بسترهای بدون خاک از نظر آماری تفاوت معنی‌داری نداشته و کمترین تعداد برگ را دارا بودند (شکل ٤). در بین سطوح اسید هیومیک بیشترین تعداد برگ در تیمار اسید هیومیک ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر و کمترین تعداد برگ نیز در تیمار عدم کاربرد اسید هیومیک مشاهده شد، در حالیکه از نظر آماری کمترین تعداد شاخه جانبی (۷ شاخه) در تیمار عدم کاربرد اسید هیومیک و بیشترین تعداد شاخه جانبی (۱۲ شاخه) در تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید هیومیک مشهود بود (جدول ۹).

شاخص رشد و درصد پوشش‌دهی: مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کاربرد خاک در بستر کشت، شاخص رشد و پوشش‌دهی گیاه را به میزان قابل‌توجهی افزایش داد (شکل ٤). استفاده از بنتونیت در بسترهای بدون خاک تأثیر معنی‌داری بر شاخص رشد و درصد پوشش‌دهی نداشت. استفاده از دو سطح اسید هیومیک در مقایسه با گروه شاهد، شاخص رشد

و متعاقبا در صد پوشش‌دهی را به‌طور یکسان افزایش داد (شکل ٤).

طول و حجم ریشه: از نظر آماری، بیشترین طول و حجم ریشه مربوط به بسترهای کشت حاوی خاک و بنتونیت (۲ و ۳) بوده و کمترین طول و حجم ریشه در بستر کشت بدون خاک و بدون بنتونیت (٤) رویت شد (شکل ٤). از طرفی با کاربرد اسید هیومیک ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر در مقایسه با شاهد حدود ۳۱ میلی‌متر طول و ٤ سی سی حجم ریشه افزایش یافت.



شکل ٤: اثر متقابل بستر کشت و اسید هیومیک بر اندکس رشد و درصد پوشش‌دهی گیاه *C. edulis*

همانطور که در جدول ۸ نشان داده شده است، اثر ساده بسترکشت بر همه صفات فیزیولوژیک تفاوت معنی‌داری را نشان داد. اثر ساده اسید هیومیک برای همه صفات به جز کلروفیل b، کارتنوئید و نشت الکترولیت معنی‌دار بود و در نهایت اثر متقابل محیط کشت و اسید هیومیک تنها بر روی کلروفیل b، کلروفیل کل و فنول برگ تفاوت معنی‌داری را در سطح احتمال یک درصد نشان داد.

محتوای آب برگ و کمبود اشباع نسبی: مطابق جدول ۹، در تمام سطوح اسید هیومیک، کمترین محتوای نسبی آب برگ در بستر ٤ (بدون خاک و بدون بنتونیت) مشاهده شد در حالی که بیشترین میزان محتوای آب برگ در بستر ۳ (حاوی خاک و ۱۲ درصد وزنی بنتونیت) در تیمار کاربرد ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید هیومیک مشهود است. کمترین و بیشترین کمبود اشباع نسبی نیز به ترتیب مربوط به بستر ۳ (حاوی خاک و ۱۲ درصد وزنی بنتونیت) و بستر ٤ (بدون خاک و بدون بنتونیت) میباشد. همچنین از نظر آماری با کاربرد ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید هیومیک نسبت به عدم کاربرد این اسید کمبود اشباع نسبی به‌طور معنیداری کاهش یافت (جدول ۹).

جدول ۸: تجزیه واریانس (میانگین مربعات) نوع بستر کشت و سطوح اسید هیومیک صفات فیزیولوژیک *C. edulis*

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات								
		محتوای آب برگ	کمبود اشباع نسبی برگ	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کارتنوئید	فنول برگ	کربوهیدرات برگ	نشت الکترولیت
بلوک	۲	۹۴/۵۲*	۱۲۰/۸۰*	۲/۶۳**	۰/۶۶ ns	۰/۵۷ ns	۰/۲۴ ns	۰/۰۱ ns	۲۰۲۲/۱۶ ns	۵۳/۴۲ ns
بستر کشت	۵	۵۰۱/۸۸**	۴۵۱/۶۷**	۲**	۰/۸۳**	۱۲/۰۴**	۱/۲۰**	۰/۵۶**	۱۵۷۸۶/۱۰**	۸۶۰/۷۸**
اسید هیومیک	۲	۲۲۹/۸۰**	۱۱۰/۳۰*	۴/۶۲**	ns۰/۴۰	۶/۸۸**	۰/۲۴ ns	۰/۴۵**	۱۲۵۴۹/۴۹**	ns ۲۳۸/۰۳
بستر کشت × اسید هیومیک	۱۰	۵۱/۶۴ ns	۵۶/۳۴ ns	۰/۱۵ ns	۱/۹۹**	۲/۳۴**	۰/۱۸ ns	۰/۲۳**	nsبر۵۹۵/۸۴	nsبر۹۹/۶۱
خطا	۳۴	۲۴/۶۵	۳۱/۲۱	۰/۳۷	۰/۵۴	۰/۶۸	۰/۲۳	۰/۰۴	۱۱۱۸/۳۷	۱۴۹/۷۳
CV%		۲	۱۸	۸/۶۲	۸/۴	۵/۱۹	۲۰/۳۴	۵/۷۶	۵/۰۲	۵/۷

*،** و ns: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ ، ۵٪ و غیر معنی‌دار.

جدول ۹: مقایسه میانگین اثرات بستر کشت و اسید هیومیک بر برخی صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاه *C. edulis*

نوع بستر کشت	تعداد برگ در شاخه جانبی	تعداد شاخه جانبی	طول ریشه (cm)	حجم ریشه (cc)	محتوای نسبی آب برگ (%)	کمبود اشباع نسبی (٪)	کلروفیل a (µg/mg)	کربوهیدرات برگ (µg/mg)	کارتنوئید (µg/mg)	نشت الکترولیت (٪)
بستر کشت ۱	۲/۲۲bc	۱۰/۹۱ab	۲۴/۹۱ab	۳/۰۹ab	۹۳/۵۵ab	۵/۸۵cd	۰/۹۵bc	۱۵۳/۶۹bc	۰/۲۷b	۵۷/۵۱ab
بستر کشت ۲	۲۶/۷۴ab	۹/۶۷ab	۲۲/۹۲ab	۳/۳۹a	۹۱/۶۳ab	۷/۳bcd	۱/۵۷ab	۱۵۱/۱۲bc	۰/۲۱b	۴۵/۷۵b
بستر کشت ۳	۳۰/۳۶a	۱۲/۱۵a	۲۶/۲۲a	۳/۴۹a	۹۸/۰۱a	۱/۸d	۱/۸۶a	۱۰۹/۰۱c	۰/۱۶b	۴۰/۴۱b
بستر کشت ۴	۱۸/۴۴c	۸/۳۴c	۲۰/۸۸b	۲/۱۷b	۷۶/۶۹d	۲۲/۴۴a	۰/۵۱c	۲۷۳/۱۴a	۱/۲۹a	۶۸/۴۸a
بستر کشت ۵	۲۲c	۸/۵۷c	۲۱/۸ab	۲/۸ab	۸۹/۶۱bc	۱۰/۳۶bc	۱/۱۴abc	۱۶۱/۴۱b	۰/۴۶ab	۵۲/۴ab
بستر کشت ۶	۲۱/۴۵c	۸/۱۶c	۲۴/۸۶ab	۲/۹۹ab	۸۳/۰۱cd	۱۵/۲۶ab	۱/۳۶abc	۱۵۰/۰۱bc	۰/۴۹b	۴۹/۹۷b
عدم کاربرد اسید هیومیک	۲۲/۶b	۷/۱b	۲۱/۷۳b	۲/۶۹b	۸۵/۱۶b	۱۲/۸۸a	۰/۷۵b	۱۸۱/۰۱a	-	-
اسید ۱۰۰ mg/l هیومیک	۲۲/۸۳ab	۱۱/۵۷ a	۲۳/۷ab	۲/۶۸b	۸۸/۳۳b	۱۰/۷۶ab	۱/۱۵b	۱۶۹/۴۵a	-	-
اسید ۲۰۰ mg/l هیومیک	۲۵/۱۷a	۱۰/۲۸a	۲۵/۳۸a	۳/۵۹a	۹۲/۹a	۷/۸۶b	۱/۸a	۱۳۰/۶۶b	-	

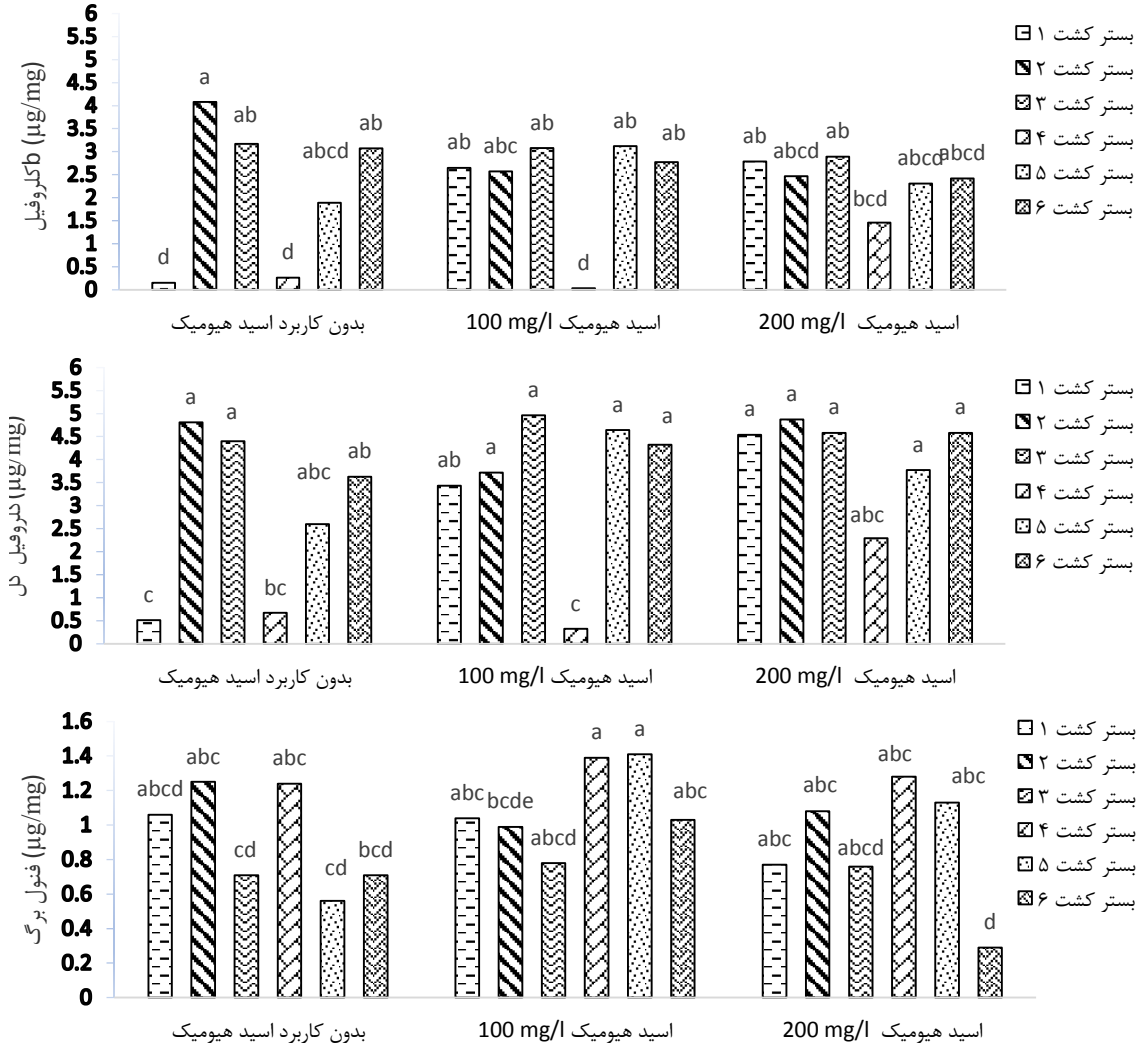
محتوای کلروفیل و کارتنوئید برگ: بر ا ساس جدول ۹ بیشترین و کمترین میزان کلروفیل a به‌ترتیب مربوط به گیاهان در بستر کشتهای ۳ (حاوی خاکو ۱۲٪ وزنی بنتونیت) و ٤ (بدون خاک و بدون بنتونیت) می‌باشد همچنین کاربرد ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نسبت به دو سطح دیگر اسید هیومیک به طور معنی‌داری میزان کلروفیل a را افزایش داد.

در مورد کلروفیل b و کل مقایسه میانگینها بیانگر این مطلب ا ست که کمترین میزان این کلروفیل‌ها در تیمار عدم کاربرد اسید هیومیک و بسترهای کشت بدون بنتونیت (۱ و ٤) و تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید هیومیک و بسترکشت بدون خاک و بدون بنتونیت (٤) رویت شد. در حالیکه سایر بسترهای کشت در تمامی سطح اسید هیومیک از نظر آماری کلروفیل a و b یکسانی دا شتند. مقایسه میانگین‌ها در شکل ٦ نشان داد کاربرد خاک در بستر های کشت به طور قابل‌توجهی میزان کارتنوئید برگ را کاهش داد (شکل ۵).

محتوای کربوهیدرات محلول برگ: مقایسه میانگین‌های جدول ۹ نشان می‌دهد که استفاده از ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک به طور قابل‌توجهی باعث کاهش کربوهیدرات برگ شده است همچنین کمترین میزان کربوهیدرات با رتبه آماری c مربوط به گیاهان تیمار بستر ۳ (حاوی خاک و ۱۲ درصد وزن بنتونیت) و بیشترین آن با رتبه آماری a در بستر ٤ (بدون خاک و بدون بنتونیت) مشاهده شد.

محتوای فنول برگ: کمترین میزان فنل در گیاهان تحت تیمار ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید هیومیک و بستر ٦ (بدون خاک و ۱۲٪ وزنی بنتونیت) و بیشترین میزان فنل در بستر کشت ٤ (بدون خاک و عدم استفاده از بنتونیت) و ٥ (بدون خاک و ٦٪ وزنی بنتونیت) در تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید هیومیک قابل رویت بود.

میزان نشت الکترولیت: بیشترین درصد نشت الکترولیت در بین گیاهان کشت شده در بسترهای مختلف مربوط به گیاهان در بستر کشت ٤ (بدون خاک و عدم استفاده از بنتونیت) بود و مابقی گیاهان کشت شده در سایر بسترها از نظرآماری یکسان عمل کردند.



شکل۵: اثر متقابل بستر کشت و اسید هیومیک بر کلروفیلb، کلروفیل کل و فنول برگ گیاه *C. edulis*

بحث

Cascone (۲۰۱۹) اظهار داشت که از عوامل مهم و موثر بر روند تبخیر و تعرق در گیاه، مقاومت روزنه، شاخص سطح برگ، نور خورشید، سرعت باد، رطوبت نسبی، ضخامت خاک، و ترکیب بستر میباشد. Winger Ellefson (۲۰۰٤) همچنین تأیید کردند که دو عامل انتخاب گیاه و خاک یا بسترکشت گیاهان، از مهمترین عوامل موثر بر تبخیر و تعرق در محیط های خشک و نیمه خشک هستند.

در آزمایش حاضر، از ماه اردیبهشت تا آخر خرداد ماه، تغییرات تبخیر و تعرق مطابق با تغییرات در پارامترهای هوا شناسی از جمله رطوبت نسبی، دما و سرعت باد بود. چنین تغییراتی ممکن است با پوشش کم گیاهان در ماه اول آزمایش توجیه شود. از ابتدای تیر ماه تا پایان مرداد، تغییرات دما بسیار اندک بود و در مقایسه با روند تغییرات رطوبت نسبی، روند ثابت‌تری داشت. به نظر می‌رسد در این دوره، رطوبت نسبی هوا، نسبت به دما و سرعت باد، تأثیر بیشتری بر کنترل میزان تبخیر و تعرق داشته است. با این حال، با مقایسه نمودارهای تبخیر و تبخیر و تعرق در این دوره، به نظر می‌رسد که با افزایش رشد گیاهان، تبخیر و تعرق نیز افزایش یافت. سرانجام، در ماه شهریور، رطوبت نسبی به طور قابل توجهی تغییر کرد و دمای هوا کاهش یافت و منجر به تغییرات قابل توجه و مداوم در روند تبخیر و تبخیر و تعرق گیاهان شد. این پدیده، در اوایل دوره آزمایش زمانی رخ داد که پوشش گیاهی محدود بود، تبخیر و تعرق عمد تا توسط پارامترهای هواشناسی کنترل شد تا بوسیله شاخص رشد و پوشش گیاهی. آزمایش ما در یک منطقه آب و هوایی گرم و خشک انجام شد، جایی که رطوبت هوا معمولاً کم است. Fai Chow و همکاران (۲۰۲۱) و Baryła و همکاران (۲۰۱۹) نیز تأیید کردند که عوامل محیطی مانند دما، تابش خورشید و سرعت باد تأثیرات مثبت قوی بر میزان رطوبت پوشش گیاهی و بسترها دارند.

مطالعات قبلی از جمله Jim و Tsang (۲۰۱۱)، Qin و همکاران (۲۰۱۱) و Susca و همکاران (۲۰۱۱) نشان دادند رطوبت حجمی در خاک نیز به‌عنوان عامل کلیدی برای فرآیند تبخیر و تعرق، به خصوص زمانی که هیچ آبیاری وجود ندارد، محسوب می‌شود. در این آزمایش مشخص شد ظرفیت نگهداری آب بسترها (به‌دلیل وجود یا عدم وجود بنتونیت و خاک) نیز میزان تبخیر را کنترل می‌کند. بسترهای کشت حاوی خاک رطوبت بیشتری نسبت به بسترهای کشت بدون خاک حفظ کردند. با این حال، هنگامی که بنتونیت به بستر کشت اضافه شد، این میزان رطوبت افزایش یافت. برای مثال، گیاهان در بستر نوع ۳ تبخیر کمتری نسبت به گیاهان در سایر بسترهای کشت داشتند، که می‌تواند به این دلیل باشد که این بستر به دلیل وجود خاک و درصد بالای بنتونیت در آن، ظرفیت نگهداری آب بیشتری نسبت به سایر بسترها دارد. این ظرفیت بالای نگهداری آب باعث شد تا رطوبت در لایه های زیرین بسترکشت زیاد باشد اما در سطح بستر کشت به دلیل تبخیر رطوبت کم باشد. همچنین داشتن رطوبت مطلوب در اطراف ریشه منجر به رشد بهتر گیاه، سایه اندازی روی سطح بستر کشت و در نهایت کاهش تبخیر از سطح بستر می‌شود. اما در بستر کشت (بستر ٤)، به علت ظرفیت نگهداری پایین آب، رشد گیاهان بسیار کم بود. بنابراین، تبخیر و تعرق گیاهان نسبت به گیاهان در سایر انواع بستر کمتر بود در حالی که دلیل ET بیشتر گیاهان در بسترهای کشت دارای خاک (۱، ۲ و ۳) نسبت به بستر ٤، پوشش و رشد بیشتر گیاهان و در نتیجه تعرق بیشتر گیاهان در این بسترها بود. Kazemi و Mohorko (۲۰۱۷) نیز اهمیت حفظ آب یا ظرفیت نگهداری بسترهای کشت بام سبز در مناطق آب و هوایی خشک را قبلاً تأیید کرده‌اند.

همچنین Bevilacqua و همکاران (۲۰۱۵) دریافتند که حتی اگر شرایط محیطی اجازه تبخیر و تعرق را بدهد، به دلیل محدودیت آب در بستر، ET قابل‌توجهی رخ نمی‌دهد. در تحقیقی که توسط Tan و همکاران (۲۰۱۷) انجام شده است. در خاکهای معمولی باغی و بسترهای مصنوعی که عمدتاً از پرلیت تشکیل شده‌اند، نرخ تبخیر و تعرق همبستگی مثبت قوی با میزان آب حجمی نشان داد. با مقایسه نمودارهای تبخیر و تبخیر و تعرق در ماه‌های مختلف در این آزمایش، به نظر می‌رسد که در شرایط بام سبز، میزان تبخیر بسیار بیشتر از تعرق است که موجب از بین رفتن آب از خاک می‌شود.

در گیاه *C. edulis*، استفاده از اسید هیومیک به تنهایی میزان تبخیر و تعرق را تغییر نداد و اثرات متقابل مشهود بود. با این حال، استفاده از ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک، به طور متوسط در ماه‌های مرداد و شهریور، میزان تبخیر و تعرق را ۱۵ میلی‌لیتر در مقایسه با تیمار شاهد کاهش داد. همچنین، می‌توان ذکر نمود که مولکول‌های اسید هیومیک با مولکول‌های آب پیوندهایی ایجاد می‌کنند که تا حد زیادی از تبخیر و تعرق آب جلوگیری می‌کند (Dalvand, 2016). البته به نظر میرسد کاهش تبخیر و تعرق جزئی توسط اسید هیومیک بیشتر به کاهش تبخیر از سطح خاک مربوط باشد تا کاهش تعرق. زیرا با افزایش سطح اسید هیومیک پوشش‌دهی سطح بستر کشت افزایش یافته و بدین طریق موجب کاهش تبخیر از سطح بستر کشت شده است (شکل ۵).

این یافته‌ها اهمیت بالای بستر کشت را در رشد پایدار گیاهان در شرایط بام سبز تأیید می‌کند. لازم به ذکر است که میزان پوشش‌دهی سطح بستگی به ویژگی‌های رشد گیاهان مانند ارتفاع، طول و عرض گیاه دارد که تحت تأثیر شرایط تغذیه‌ای و رطوبت بستر قرار می‌گیرد. در بالا ذکر شد که میزان رطوبت در بستر ۳ به دلیل وجود خاک و بنتونیت بسیار بیشتر از بستر ٦ بود. در بستر ٦، به دلیل کمبود خاک، احتباس آب بسیار کم بود. بنابراین، آب به سرعت از این نوع بستر تخلیه شد و کمتر در دسترس گیاهان قرار گرفت. بنابراین، اگرچه ما مقدار یکسانی آب را برای هر دو نوع بستر تأمین کردیم، گیاهان در بستر ٦ کمتر از بستر ۳ رشد کردند. همچنین، شباهت تبخیر و تعرق این دو بستر کشت به تفاوت میزان تبخیر از سطح و تعرق از گیاهان در این انواع بستر مربوط می‌شود. Kazemi و همکاران (۲۰۲۰) رشد و عملکرد چهار گونه گیاهی مختلف در انواع مختلف بستر را در سیستم دیوار سبز داخلی مورد بررسی قرار داد و نتیجه گرفتند که *A. cordifolia* گونه‌ای مناسب برای سیستم‌های داخلی دیوار سبز است. یکی از عواملی موثر در عملکرد زیبایی سیستم‌های دیوار سبز درصد پوشش گیاهی است که بستگی به شاخص رشد گیاهان دارد.

از طرفی در بین صفات مورفولوژیک طول ریشه به طور قابل توجهی تحت تاثیر بنتونیت افزایش یافته است. البته برای شرایط بام سبز اغلب گیاهان با ریشه خیلی عمیق پیشنهاد نمی‌شود اما بایستی ریشه گیاه به اندازه‌ای رشد کند که بتواند پایداری گیاه را در برابر شرایط نامساعد از جمله باد در شرایط بام سبز حفظ کند و همچنین گیاه بتواند از این طریق از رطوبت باقیمانده در انتهای بستر کشت استفاده کند. همچنین نهایت رشد ریشه ثبت شده در این ازمایش مطابق نمودارها ۳۰ سانتی‌متر می‌باشد که به نظر برای بام سبز مطلوب است.

همانطور که بخشی دیگر از نتایج این آزمایش نشان داد وجود خاک و بنتونیت باعث افزایش میزان نگه داشت آب بستر و بهبود شرایط فیزیولوژیک گیاهان شد. شرایط استرس منجر به کنترل فعالیت‌های آنزیمی درگیر در سنتز پلی فنول‌ها می‌شود و باعث

مهار موثر رادیکال های سمی و بهبود رشد گیاه می‌شود. از طرف دیگر، تحت شرایط تنش‌زا، سنتز فنل برای حفظ ساختار سلولی در تقابل با استرس اکسیداتیو بهبود می یابد. در آزمایش حاضر اضافه کردن بنتونیت به بستر کشت با بهبود وضعیت رطوبتی خاک که تنش خشکی را برای گیاه کاهش می‌دهد منجر به کاهش کربوهیدراتها و فنول برگ گردید.

از طرفی افزودن بنتونیت به بستر کشت به‌طور قابل‌توجهی ظرفیت تبادل کاتیونی را افزایش میدهد و از شست و شوی مواد غذایی در بستر کشت جلوگیری می‌کند به نظر می‌رسد به همین دلیل است که در آزمایش ما بسترهای حاوی بنتونیت تحت تنش کمتری بوده و صفات فیزیولوژ یک از جمله رنگیزه های کلروفیل را افزایش داده و منجر به ایجاد سبزی بیشتر در برگ‌ها شده و برعکس کمبود اشباع نسبی، رنگیزه کارتنوئید، فنول و کربوهیدرات برگ را کاهش داده است و شادابی گیاهان را حفظ کرده است. Jiang and Fry (۱۹۹۸) نیز کاهش غلظت کلروفیل در تنش خشکی را گزارش کردند. دلیل این کاهش ممکن است تخریب غشا تحت تأثیر تنش‌های اکسیداتیو باشد. طبق گفته McCann and Huang(۲۰۰۸) سوپر جاذب احتمالاً با کاهش نشت الکترولیت و افزایش پایداری غشای سلول و کلروپلاست‌ها از کاهش مقدار کلروفیل در گیاهان تحت تنش خشکی جلوگیری می‌کند.

در مطالعه ما، اسید هیومیک رشد ریشه را بهبود بخشید که با نتایج Elmongy و همکاران (۲۰۱۸) مطابقت دارد. با این حال، غلظت بالای اسید هیومیک (۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر) بر رشد ریشه تأثیر قابل‌توجه‌تری می‌گذارد. مطالعات متعدد نشان داده‌اند که اسید هیومیک از طریق بهبود تغذیه گیاهی یا فعالیت هورمونی مانند آن، اثر خود را اعمال می‌کند (Muscolo et al., 2013). علاوه بر این، گزارش شده است که اسید هیومیک باعث بهبود تعداد ریشه‌های جانبی می شود، و احتمالاً به‌دلیل بهبود تمایز سلول به ریشه‌های جانبی جدید است (Tahiri et al., 2015). بهبود طول ریشه ناشی از اسید هیومیک ممکن است به دلیل فعال شدن H + -ATPase غشا پلاسما باشد که باعث اسیدی شدن آپوپلاست‌ها توسط پروتون‌های H + می‌شود و باعث افزایش توسعه دیواره سلولی شده که نهایتا افزایش طول سلولی را ایجاد میکند (Elmongy et al. 2018).

همانطور که ذکر شد pH بسترهای مورد استفاده بین ۸,۲ تا ۸,٦ بود. با این حال، pH مناسب بسترهای کشت بام سبز برای رشد گیاهان غیر از چمن‌ها حدود ٦ تا ۸,۵ (FLL, 2018) است. در خاک های قلیایی به دلیل pH بالا، بسیاری از عناصر جذب گیاهان نمی شوند. بنابراین، با وجود استفاده از کودهای مختلف، عملکرد افزایش نمی یابد. در این موارد، استفاده از اسید هیومیک به عنوان کود زیستی منجر به کاهش pH خاک و در نتیجه در دسترس بودن و حلالیت عناصر می شود و مواد مغذی قابل جذب را برای گیاهان فراهم می‌کند. این ماده اسیدی می‌تواند ظرفیت تبادل کاتیونی خاک را افزایش دهد، می‌تواند با ایجاد pH اسیدی کمتر، انحلال مواد مغذی، به ویژه فسفر و برخی عناصر دیگر را افزایش دهد. افزایش فسفر در خاک می‌تواند مربوط به افزایش انحلال این عنصر به دلیل وجود اسید هیومیک باشد. چنین مکانیسم‌هایی ممکن است مسئول افزایش جذب نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، آهن و روی در برگهای ژربرا پس از استفاده از اسید هیومیک در خاک باشد (Nikbakht et al., 2008). افزایش جذب نیترات توسط اسید هیومیک با افزایش تحرک سیتوکینین (CK) از ریشه به ساقه همراه است، و نتایج مثبتی در گیاهان از نظر رشد برگ و اندام هوایی دارد (Mora et al., 2012) و از مکانیسم فتوسنتز تحت شرایط استرس محافظت می کند (Calderin-Garcia et al., 2016).. نتایج این

آزمایش نشان داد که استفاده از اسید هیومیک، به ویژه پس از استقرار گیاهان، رشد و عملکرد گیاه را افزایش می‌دهد. نتایج آزمایش Esringu و همکاران (۲۰۱۵) که گزارش داد ند که بیشترین ارتفاع گیاه *Impatiens walleriana* با استفاده از غلظت ٤٠ میلی‌گرم بر کیلوگرم اسید هیومیک و اسید فولیک بدست آمد با بخشی از نتایج تحقیق فعلی مطابقت دارد. همچنین افزایش ارتفاع گیاه در این آزمایش می‌تواند به دلیل افزایش جذب مواد مغذی و رطوبت باشد. سطوح مختلف غلظت اسید هیومیک آزمایشی دیگر توسط Arancon و همکاران (۲۰۰۳) نیز باعث افزایش ارتفاع بوته گل همیشه بهار شد.

نتیجه‌گیری نهایی

نتایج این مطالعه نشان داد که بسترهای کشت بدون خاک به تنهایی نمی‌توانند رشد بهینه و حفظ شرایط فیزیولوژیک گیاه را تضمین کنند اما در ترکیب با بنتونیت می‌توانند رشد و بقای گیاه را بهبود بخشند و گیاه را در شرایط بهینه فیزیولوژیکی جهت حداکثر رشد و عملکرد قرار دهند. بستر حاوی خاک و ۱۲٪ وزنی بنتونیت بالاترین پوشش دهی را بدست داد. همچنین در میان سطوح اسید هیومیک مورد مطالعه، غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر بهترین عملکرد رشدی را دارا بود. یک محیط رشد غنی از رطوبت و مواد غذایی که شامل خاک ۲۰٪+۲۰٪ لیکا+۲۰٪ پرلیت+ پوکه معدنی+۲۰٪ + ۱۲٪ وزنی بنتونیت همراه اسید هیومیک به غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر می‌تواند برای کشت گیاه دم عقربی روی بام سبز به کار رود تا گیاهانی با کیفیت بالا با ویژگی‌های زیبایی شناسی مطلوب، مانند پوشش‌دهی خوب، شادابی و رشد مطلوب و مصرف بهینه آب ایجاد کند.

Refrences

Abedini, T., Moradi, P. and Hani, A. (2015). Effect of organic fertilizer and foliar application of humic acid on some quantitative and qualitative yield of Pot marigold. Journal of Novel Applied Sciences.10:1100-1103.

Abedi Kopaei, J. and Sohrab, F. (2004). Effect of zeolite and bentonite minerals on soil hydraulic properties. Proceedings of the 12th Iranian Conference on Crystallography and Mineralogy, Shahid Chamran University, Ahvaz, page 567. (In Persian with English Summary).

Allahdadi, A.B., Ghamsari, M., Akbari, G.A. and Zohourmehr, M. (2005). Study the effect of different levels of super absorbent polymer and irrigation on corn (*Zea mays* L.) growth and yield. 3th Congress on Super Absorbent Hydrogel Application in Agriculture. Research Center for Polymer and Petrochemical of Iran. (In Persian with English Summary).

Arancon, NQ, Yardin E, Edwards, CA. and Lee, S. (2003). The trophic diversity of nematode communities in soils treated with vermicomposts. Pedobiologia. 47: 731-735.

Arnon, D.S. (1940). Copper enzyme in isolated chloroplast polyphenol oxidase in Beta Vulgaris. J. Plant Physiol. 24: 1-15.

Barrs, H. D. and Weatherley, P.E. (1962). A reexamination of the relative turgidity technique for the estimating of water deficits in leaves. Australian Journal of Biological Sciences. 15: 413-428.

Baryła, A., Gnatowski, T., Karczmarczyk, A. and Szatylowicz, J. (2019). Changes in temperature and moisture content of an extensive-type green roof. Sustainability. 11: 2498.

Bevilacqua, P., Coma, J., Pérez, G., Chocarro, C., Juárez, A., Solé, C., De Simone, M. and Cabeza, L.F. (2015). Plant cover and floristic composition effect on thermal behaviour of extensive green roofs. Building and Environment. 92: 305–316. doi:10.1016/j.buildenv.2015.04.026.

Blum, A. and Ebercon, A. (1981). Cell membrane stability as a measure of drought and heat tolerance in wheat. Crop Science. 21:43-47.

Bianchini, F. and Hewage, K. (2012). How green are the green roofs? Lifecycle analysis of green roof materials. Building and Environment. 48:57–65.

Bidgoli, Z. (2016). Investigation of the use of superabsorbent in the amount of water retention on the green roof. Master Thesis. Faculty of Agriculture, University of Zanjan (In Persian).

Cacco, G., Attina, E., Gelsomino, A. and Sidari, M. (2000). Effect of nitrate and humic substances of different molecular size on kietic parameters of nitrate uptake in wheat seedlings. Journal of Plant Nutrition and Soil Science's**.** 163: 313-320.

Calderin-Garcia, A., de Souza, L.G.A., Pereira, M.G., Castro, R.N., Garcia-Mina, J.M., Zonta, E., Lisboa, F.J.G. and Berbara, R.L.L. (2016). Structure-property-function relationship in humic substances to explain the biological activity in plants. Scientific Reports.6: 20798.

Canellas, L., Olivares, F., Aguiar, N., Jones, D., Nebbioso, A., Mazzei, P. and Piccolo, A. (2015). Humic and fulvic acids as biostimulants in horticulture. Scientia Horticulturae. 196: 15-27.

Cascone, S. (2019). Green Roof Design: State of the Art on Technology and Materials. Sustainability. 11: 3020, 1-28. doi:10.3390/su11113020.

Dalvand, M. (2016). The effect of humic acid on seed germination, growth indices and drought stress in parsley, Master Thesis, Faculty of Agriculture, Arak University (In Persian).

Deenavarman, M., Lourdusamy, D. K., Thangaselvabai T. and Venkatesan, K. (2018). "Effect of different media incorporated with Pusa hydrogel on growth and watering frequency of potted foliage plant, Arrowhead (*Syngonium podophyllum Schott.)*. Journal of Agriculture and Ecology. pp. 71-76.

Durhman, A.K., Rowe, D.B. and Rugh, C.L. (2006). Effect of substrate depth on initial growth, coverage, and survival of 25 succulent green roof plant. Horticultural Science. 42:588–95.

Dehnavardi Movahedi, F.M., Modares Sanavi, S., Sorushzadeh, M.A. and Jalali, M. (2003). Change in total soluble sugar, prolin,. Colorophyll and clorophyll florosance safflower variaties under drought stress and zins spraying and manganes. Desert. 9:93-109.

Ellefson, C. L. and Winger. D. (2004). Xeriscape Colorado: the complete guide. Westcliffe Press, 256 pages.

Emilsson, T. (2008). Vegetation development on extensive vegetated green roofs: Influence of substrate composition, establishment method and species mix. Ecological Engineering. 33: 265–277.

Elmongy, M., Zhou, H., Cao, Y., Liu, B. and Xia, Y. (2018). The effect of humic acid on endogenous hormone levels and antioxidant enzyme activity during in vitro rooting of evergreen azalea. Scientia Horticulturae. 227:234-243.

Esringu, A., Sezen, I., Aytali, B. and Ercisli, S. (2015). Effect of humic and fulvic acid application on growth parameters in *Impatiens walleriana* L. Aka. Ziraat Dergisi. 4(1): 37-42.

Fai Chow, M., Abu Bakar, M.F., Khai Wong, J. and Ling, L. (2021). Evapotranspiration Measurement and Estimation of Crop Coefficient for Native Plant Species of Green Roof in the Tropics. Water. 13: 1669. https://doi.org./10.3390/w13121669.

FLL. (2018). Guidelines for the Planning, Construction and Maintenance of Green Roof. Germany: Landscaping Development Research Society.

Francis, R.A. and Lorimer, J. (2011). Urban reconciliation ecology: the potential of living roofs and walls. J. Environ. Manag. 92: 1429–1437.

Getter, K. L. and Rowe, D.B. (2006). The role of extensive green roofs in sustainable development. Hort Science .41: 1276–1285.

Getter, K.L and Rowe, B.D. (2008). Media depth influences Sedum green roof establishment. Urban Ecosystems. 11(4):361-372.

Ghorbbani, R. (2016). Effect of humic acid pretreatment on germination and growth of marigold under drought stress. Master Thesis. Faculty of Agriculture, Birjand University.

Imran, H.M., Kala, J., Ng, A.W.M. and Muthukumaran, S. (2018). Effectiveness of green and cool roofs in mitigating urban heat island effects during a heatwave event in the city of Melbourne in southeast Australia. Journal of Cleaner Production. 197: 393-405.

Ismail, A.I.M., El-Shafey, O.I., Amr, M.H.A. and El-Maghraby, M.S. (2014). Pumice characteristics and their utilization on the synthesis of mesoporous minerals and on the removal of heavy metals, International Scholarly Research Notices. 259-379.

Jiang, H. and Fry, J. (1998). Drought responses of perennial ryegrass treated with plant growth regulators. Horticultural Science. 33: 270–273.

Jim, C.Y. and Tsang, S.W. (2011). Ecological energetics of tropical intensive green roof. Energy and Buildings. 43 (10): 2696–2704.

Jozay, M., Rabbani, M. and Kazemi, F. (2021). The impact of humic acid solutions and types of growing media on some morphophysiological and biochemical features of *Syngonium* sp. and *Pothos* sp. plants in interior green wall conditions. Plant Archives. 21(1): 2240-2252.

Kazemi, F., and Mohorkob, R. (2017). Review on the roles and effects of growing media on plant performance in green roofs in world climates. Urban Forestry & Urban Greening. 23: 13-26.

Kazemi, F., Rabbani, M. and Jozay, M. (2020). Investigating the plant and air-quality performances of an internal green wall system under hydroponic conditions. Journal of Environmental Management. 275: 1-10.

Karimi, A., Noshadi, M. and Ahmadzadeh, M. (2008). Effect of application of water-absorbing modifier (Igita) on soil water, plant growth and irrigation, Agricultural Science and Technology and Natural Resources. 46: 414-403.

Kohler, M., Liu, K. and Rowe, B. (2007). Green roofs as urban ecosystems: ecological structures, functions, and services. Bioscience. 57: 823–833.

Lucket, K. (2009). Green roof construction and maintenance, The McGraw Hills Company.

Liu, X., Xu, CH., Zhong, Z., Li, Y., Yuan, Z. and Cao, J. (2017). Comparison of 16 models for reference crop evapotranspiration against weighing lysimeter measurement. Agricultural Water Management. 184: 144-145.

Marasco, D. E., Hunter, B. N., Culligan, P. J., Gaffin, S. R. and McGillis, W. R. (2014). Quantifying evapotranspiration from urban green roofs: a comparison of chamber measurements with commonly used predictive methods. Environmental Science & Technology. 48: 10273–10281. http://dx.doi.org/10.1021/es501699h.

McCann, S.T. and Huang, B. (2008). Drought responses of kentucky bluegrass and creeping bentgrass as affected by abscisic acid and trinexapac-ethyl. Horticultural Science. 133; 20–26.

Monterusso, M.A., Rowe, D.B. and Rugh, C. L. (2005). Establishment and persistence of Sedum spp. and native taxa for green roof applications Horticultural Science. 40: 391–396.

Mora, V., Bacaicoa, E., Zamarrenõ, A.M., Aguirre, E., Garnica, M., Fuentes, M. and Garcıa-Mina, J. M. (2012). Action of humic acid on promotion of cucumber shoot growth involves nitrate-related changes associated with the root-to-shoot distribution of cytokinins, polyamines and mineral nutrients. Journal of Plant Physiology. 167: 633–642.

Muscolo, A., Sidari, M. and Nardi, S. (2013). Humic substance: Relationship between structure and activity. Deeper information suggests univocal findings. Journal of Geochemical Exploration.129: 57-63.

Naderi, R., Taheri, M. and Refahi, Sh. (2018.) Investigation of yield of some plants in different substrates and planting depth in dry conditions in wide green roof. Horticultural Sciences of Iran. 48 (1): 113-122.

Nagase, A. (2020). Novel application and reused materials for extensive green roof substrates and drainage layers in Japan – Plant growth and moisture uptake implementation. Ecological Engineering. 153:1-10.

Nagase, A. and Dunnett, N. (2012). Amount of water runoff from different vegetation types on extensive green roofs: Effects of plant species, diversity and plant structure. Landscape and Urban Planning. 104(3-4):356-363.

Nardi, S., Pizzeghello, D., Muscolo, A. and Vianello, A. (2002). Physiological effects of humic substances on higher plants. Soil Biology and Biochemistry. 34(11): 1527-1536.

Nikbakht A., Kafi, M., Babalar, M., Xia, PY. Luo, A. and Etemadi, N. (2015). Effect of humic acid on plant growth, nutrient uptake, and postharvest life of gerbera. Journal of Plant Nutrition. 31: 2155–2167.

Oberndorfer E., Lundholm, J., Bass, B., Coffman, R. R., Doshi, H. and Dunnett, N. (2007). Green roofs as urban ecosystems: ecological structures, functions, and services. BioScience. 57:823–33.

Ondo˜no, S., Martínez-Sánchez, J.J. and Moreno, J. L.(2016). The composition and depthof green roof substrates affect the growth of Silene vulgaris and Lagurus ovatusspecies and the C and N sequestration under two irrigation conditions. Journal of Environmental Management. 166: 330–340.

Qin, M., Walton, G., Belarbi,R. and Allard, F. (2011). Simulation of whole building coupled hygrothermal-airflow transfer in different climates, Energy Conversion and Management. 52: 1470–1478. doi:10.1016/j.enconman.2010.10.010.

Pilehvar, M. (2014). The effect of irrigation regime on survival, visual, thermodynamic and physiophysiological traits of some medicinal plants in the single and multiple green roof system. Master Thesis. Faculty of

Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad. (In Persian).

Rabbani Kheir Khah, S.M., Kazemi, F. and Shoor, M. (2019). Evaluating the effect of superabsorbents on soil moisture and physiological characteristics of turfgrasses. Desert. 24(2): 229-240.

Razzaghmanesh, M., Beecham, S. and Kazemi, F. (2014). The growth and survival of plants in urban green roofs in a dry climate. Science of the Total Environment. 476-477:288-297.

Rowe, D. B., Monterusso, M. A. and Rugh, C.L (2006). Assessment of heat-expanded slate and fertility requirements in green roof substrates. Hort Techno. 16(3): 471–477.

Salman, S. R., Abou-hussein, S.D., Abdel-Mawgoud, A. M. R. and El-Nemr, M.A. (2005). Fruit yield and quality of watermelon as affected by hybrids and humic acid application .Journal of Applied Sciences Research. 1:51-58.

Samar Raza, M.A., Saleem, M.F., Khan, I.H., Jamil, M., Ijaz, M. and Khan, M.A. (2012). Evaluating the drought stress tolerance efficiency of wheat (*triticum aestivum* l.) Cultivars. Russian Journal f Agricultural and Socio-Economic Sciences. 12(12): 41-46.

Savi, T., Marin, M., Boldrin, D., Incerti, G., Andr. S. and Nardin, A. (2014). Green roofs for a drier world: Effects of hydrogel amendment on substrate and plant water status. Science of the Total Environment. 490: 467-476.

Schweitzer, O. and Erell, E. (2014). Evaluation of the energy performance and irrigation requirements of extensive green roofs in a water-scarce Mediterranean climate. Energy and Buildings. 68: 25-32.

Shafique, M., Kim, R. and Rafiq, M. (2018). Green roof benefits, opportunities and challenges – A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 90: 757-773.

Simmons, M. T., Gardiner, Brian, Windhager, Steve, Tinsley, M. and Jeannine, R. (2008). Green roofs are not created equal: the hydrologic and thermal performance of six different extensive green roofs and reflective and non-reflective roofs in a sub-tropical climate Urban Ecosystems. 11: 339–348. http://dx.doi.org/10.1007/s11252-008-0069-4.

Slinkard K. and Singleton VL. (1977). Total phenol analysis; automation and comparison with manual methods. American Journal of Enology and Viticulture. 28: 49-55.

Susca, T., Gaffin, S.R. and Dell'Osso, G.R. (2011). Positive effects of vegetation: Urban heat island and green roofs, Environmental Pollution. 159: 2119–2126. doi:10.1016/j.envpol.2011.03.007.

Tahiri, A., Destain, J., Thonart, J.C. and Druart , PH. (2015). In vitro model to study the biological properties of humic fractions from landfill leachate and leonardite during root elongation of *Alnus glutinosa* L. Gaertn and *Betula pendula* Roth. Plant Cell, Tissue and Organ Culture. 122: 739–749.

Tan, C.L., Tan, P.Y., Wong, N.H., Takasuna, H., Kudo, T., Takemasa, Y., Lim, C.V.J. and Chua, H.X.V. (2017). Impact of soil and water retention characteristics on green roof thermal performance, Energy Build. 152 (2017) 830–842. doi:10.1016/j.enbuild.2017.01.011

Tattini, M., Bertoni, P., Landi, A. and Traversi, M.L. (1991). Effect of humic acids on growth and nitrogen uptake of container grown olive plant. Acta Horticulturae. 286: 125-128.

Turkmen, O., Demir, S., Sensoy, S. and Dursun, A. (2005). Effect of arbuscular mycorrhizal fungus and humi acid on the seedling development and nutrient content of pepper growli nader saline soil conditions. Journal of Biological Sciences. 5: 565-574.

Vahdati, N., Tehranifar, A. and Kazemi, F. (2017). Assessing chilling and drought tolerance of different plant genera on extensive green roofs in an arid climate region in Iran. Environmental Management . 19: 215-223.

VanWoert, N. D., Rowe, D. B., Andresen, J. A., Rugh, C. L. and Xiao, L. (2005). Watering regime and green roof susbtrate design affect Sedum plant growth. Horticultural Science. 40(4): 659–64.

Walters., S. and Midden, K. (2018). Sustainability of Urban Agriculture: Vegetable Production on Green Roofs. Agriculture. 8(168):1-16.

Williams, NSG., Hughes, RE., Jones, NM., Bradbury, D.A. and Rayner, J. P. (2010). The performance of native and exotic species for extensive green roofs in Melbourne, Australia. Acta Horticulturae.881: 689–96.

Yang, J., Mohan Kumar, D.L., Pyrgou, A., Chong, Santamouris, M., Kolokotsa, D. and Eang Lee, S. (2018). Green and cool roofs' urban heat island mitigation potential in tropical climate. Solar Energy.173: 597-609.

Zhoua, L., Monreal, C., Xu, SH., McLaughlin, N., Zhang, H., Hao, G. and Liu, J. (2019). Effect of bentonite-humic acid application on the improvement of soil structure and maize

yield in a sandy soil of a semi-arid region. Geoderma. 338: 269-280.