Journal of
Plant Environmental Physiology
Print ISSN: 2423-7671
Online ISSN: 2783-4689
PSI
Phycological Society of Iran

Performance of *Frankenia thymifolia* as a ground cover plant species and its effect on physicochemical characteristics of recycled substrates in four different seasons in external green wall systems

Mansoreh Jozay[1,3], Fatemeh Kazemi[2,3*], Amir Fotovat[3]

[1] Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran, Email: mansoureh.jozay_s99@gau.ac.ir
[2]School of Science, Edith Cowan University, Perth, Australia, Email: f.kazemi@ecu.edu.au
[3] Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, Emai: afotovat@um.ac.ir

Article type:
Research article

Article history
Received: 15.07.2022
Revised: 13.09.2022
Accepted: 16.09.2022
Published:20.04.2023

Keywords
Agricultural waste
Green wall
Soil acidity
Sustainable agriculture
Urban development

Abstract

Integrating nature into the buildings through green roofs and walls is considered a sustainable strategy in current city development. However, studies on organic waste growing media that allow appropriate plant establishment in these systems are insignificant and yet challenging. This study aimed to evaluate the stability of the *Frankenia thymifolia* cover plant in four combinations of growing media (30% cocopeat + 65% perlite + 5% vermicompost, 30% leaf litter + 65% perlite + 5% vermicompost, 30% mushroom compost + 65% perlite + 5% vermicompost, and the typical soil used in the green spaces as the control) in the external green wall conditions. The study was a split-plot arrangement in a randomized complete block design with three replications. The main factor was the different seasons in four levels, and the second was the growing media in four levels. Also, at the end of the study, the characteristics of the substrates were tested as a randomized complete block design experiment with three replications. The morpho-physiological traits of the Frankenia plant and the physicochemical characteristics under different growing media were significantly different ($p \leq 0.01$). The results showed that leaf surface features, leaf water content, chlorophyll a, b and total, carotenoid, and all the root-related traits were higher in the plants grown in the organic matter growing medium than those grown in the typical soil. Also, better physicochemical attributes (lower bulk density, porosity, less ash, more air volume, and more acidity) were observed in organic growing medium in comparison with the typical soil. The results of this research confirmed the favorable effect of using washed mushroom compost along with perlite and vermicompost instead of the common imported green wall substrates. It also suggests using the Frankenia in climates similar to Mashhad year-round in the external green wall systems.

Cite this article as: Jozay, M., Kazemi, F., Fotovat, A. (2023). Performance of *Frankenia thymifolia* as a ground cover plant species and its effect on physicochemical characteristics of recycled substrates in four different seasons in external green wall systems. *Journal of Plant Environmental Physiology*, 69(1): 1-25.

©The author(s)
Publisher: Islamic Azad University, Gorgan branch
Doi: 10.30495/iper.2022.1960747.1808
Dor: 20.1001.1.24237671.1402.18.69.1.9

فیزیولوژی محیطی گیاهی
شاپا چاپی: ۲۴۲۳-۷۶۷۱
شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۳-۴۶۸۹
PSI
انجمن جلبک شناسی ایران
Phycological Society of Iran
دانشگاه آزاد اسلامی
واحد گرگان

عملکرد گیاه پوششی فرانکنیا (*Frankenia thymifolia*) و تأثیر آن بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی بسترهای کشت بازیافتی در چهار فصل مختلف در سیستم‌های دیوار سبز خارجی

منصوره جوزای[۱،۳]، فاطمه کاظمی[۲،۳*]، امیر فتوت[۳]

[۱] دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران، رایانامه: mansoureh.jozay_s99@gau.ac.ir

[۲] دانشکده علوم، دانشگاه ادیت کوان، پرت، استرالیا، رایانامه: f.kazemi@ecu.edu.au

[۳] گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران، رایانامه: afotovat@um.ac.ir

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۲۴
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۶/۲۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۱۵
تاریخ چاپ: ۱۴۰۲/۰۱/۳۱

واژه‌های کلیدی:
اسیدیته بستر
پسماند کشاورزی
توسعه شهری
دیوار سبز
کشاورزی پایدار

چکیده

امروزه یکپارچه‌سازی طبیعت و ساختمان‌ها در قالب پشت‌بامها و دیوارهای سبز به عنوان یک راهبرد پایدار در شهرها مورد توجه قرار گرفته است. اما مطالعات روی بسترهای کشت ضایعاتی با جنبه ارگانیک که در این سیستم‌ها امکان استقرار به گیاهان بدهد، ناچیز است و دستیابی به دیوار سبز خارجی پایدار، هنوز یک چالش است. هدف این مطالعه، ارزیابی پایداری گیاه پوششی فرانکنیا (*Frankenia thymifolia*) در چهار ترکیب بستر کشت (۳۰ درصد کوکوپیت+ ۶۵ درصد پرلیت+ ۵ درصد ورمی‌کمپوست، ۳۰ درصد خاکبرگ+ ۶۵ درصد پرلیت+ ۵ درصد ورمی‌کمپوست، ۳۰ درصد کمپوست قارچ+ ۶۵ درصد پرلیت+ ۵ درصد ورمی‌کمپوست و خاک معمول مورد استفاده در فضای سبز به عنوان شاهد) در شرایط کشت در دیوار سبز خارجی بود. آزمایش به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتور اصلی فصول مختلف سال در چهار سطح و فاکتور دوم، بسترهای کشت در چهار سطح بود. همچنین آزمایش ویژگی‌های بسترهای کشت در انتهای پژوهش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. صفات مورفوفیزیولوژیک گیاه فرانکنیا و صفات فیزیکوشیمیایی بسترهای کشت در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد. نتایج نشان داد که صفات سطح برگ، محتوی نسبی آب برگ، کلروفیل a، b و کل، کاروتنویید و تمامی صفات مربوط به ریشه در بسترهای حاوی مواد آلی بیشتر از خاک معمول بود. همچنین صفات فیزیکوشیمیایی مرغوب‌تر (وزن مخصوص ظاهری پایین‌تر، تخلخل بیشتر، خاکستر کمتر، حجم هوای بیشتر و اسیدیته بیشتر)، در بسترهای کشت آلی بیشتر از بستر خاک معمولی بود. نتایج این پژوهش، استفاده از کمپوست قارچ شسته شده به همراه پرلیت و ورمی‌کمپوست، به جای بسترهای وارداتی رایج دیوار سبز را تایید می کند. همچنین، استفاده از گیاه فرانکنیا در شرایط آب و هوایی مشابه شهر مشهد در چهار فصل سال در دیوارهای سبز خارجی پیشنهاد می‌شود.

استناد: جوزای، منصوره؛ کاظمی، فاطمه؛ فتوت، امیر. (۱۴۰۲). عملکرد گیاه پوششی فرانکنیا (*Frankenia thymifolia*) و تأثیر آن بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی بسترهای کشت بازیافتی در چهار فصل مختلف در سیستم‌های دیوار سبز خارجی. *فیزیولوژی محیطی گیاهی*، ۶۹ (۱)، ۲۵-۱.

Doi: 10.30495/iper.2022.1960747.1808
Dor: 20.1001.1.24237671.1402.18.69.1.9

ناشر: دانشگاه آزاد اسلامی، واحد گرگان
© نویسندگان.

مقدمه

در شرایط کنونی در کشورهای در حال توسعه، تغییر کاربری‌های شهری و تبدیل جنگل‌ها به سطوح سخت منجر به ایجاد مشکلاتی مانند آلودگی هوا، آب و خاک، کاهش پوشش گیاهی و افزایش جزایر گرمایی شده است (Jozay et al., 2021). همچنین روند رو به افزایش شهرنشینی، ضرورت گسترش فضاهای سبز عمودی را به عنوان یک راهکار پایدار برای رفع مشکل کمبود فضای سبز شهری افزایش داده‌است (Jozay and Rabbani Khairkhah, 2021). امروزه، ایده یکپارچه‌سازی محیط‌های طبیعی و ساختمان‌ها در قالب بام‌ها و دیوارهای سبز به عنوان زیرساختارهای مهم برجسته در بسیاری از شهرها مورد استفاده قرار می‌گیرد. با وجود مزایای بسیار دیوارهای سبز، به نظر می‌آید هنوز پذیرش مطلوبی از طرف پیمانکاران و مردم ندارد که می‌تواند به علت عملکرد و رشد نامناسب گیاهان در این دیوارها باشد.

تلفیق معماری و طبیعت را نمی‌توان یک مفهوم جدید در دنیای امروز دانست و این مفهوم ریشه تاریخی در زندگانی بشر دارد (Zhe et al., 2011). از زمان‌های اولیه، منظره‌های طبیعی و ساخته شده با بناهای شهری درهم آمیخته شده بودند. فضاهای سبز طراحی شده، همزمان با شکل‌گیری دغدغه‌های انسان در مورد معماری نیز پدیدار گشتند. با وجود آنکه فن‌آوری باغچه‌های عمودی هنوز نیز موضوع نسبتاً جدیدی است، به‌نظر می‌رسد ایده اولیه آن قرن‌ها پیش در تمدن بین‌النهرین شکل گرفته باشد (Van Bohemen, 2005).

زیرساخت‌های سبز، خدمات اکوسیستمی و زیست محیطی مانند کنترل باد و درجه حرارت (Caprotti and Romanowicz, 2013; Perez et al., 2011)، کاهش اثرات جزیره گرمایی شهری (Kazemi et al., 2020)، ترسیب کربن آلی (Marchi et al., 2015)، کاهش آلودگی صوتی و هوا (Romanova et al., 2019)، و نیز بهبود عملکرد حرارتی برای ساختمان (Manso and Castro-Gomes, 2016) را به‌همراه دارند و باعث بهبود محیط زیست شهری (Virtudes and Manso, 2014)، افزایش زیبایی نمای ساختمان (Perez et al., 2011)، دور کردن آب باران از نمای ساختمان (Haggag et al., 2014) می‌شوند، همچنین زیرساخت‌های سبز باعث بهبود میکرو اقلیم شهری (Djedjiga et al., 2015)، افزایش تبخیر و تعرق (Djedjiga et al., 2017) و ایجاد سرمایش تبخیری، قطع و جذب تابش خورشید (Hunter et al., 2014)، کاهش سرعت باد سطحی بر روی دیوار، کاهش و به تأخیر انداختن نفوذ آب زهکشی (Wong et al., 2012)، کاهش اثر اشعه UV (Djedjiga et al., 2017) می‌شوند و افزایش ارزش واقعی ملک و کمک به افزایش بازگشت سرمایه و ایجاد جاذبه دیداری بر نمای ساختمان (Minghong and Xiubin, 2015) و زیبایی‌شناسی شهری و پاسخ روحی مثبت در مردم را افزایش می‌دهند (Davis et al., 2016). افزایش زیستگاه برای گرده‌افشان‌های شهری و حیوانات کوچک (Dover, 2015) و تولید مواد غذایی در دیوارهای سبز، ایده‌های نسبتا نوین در طراحی سیستم‌های تولید مواد غذایی در شهر می‌باشند (Fisher, 2013). این زیرساخت‌ها، فضاهای سبز را در مناطقی که زمین بسیار گران قیمت و در دسترس نیست و یا برای رشد مواد غذایی ناامن است، محیا می‌کنند (Boyd, 2007).

از طرفی انتخاب گیاه برای بام‌ها و دیوارهای سبز نیازمند توجه ویژه است. عموماً برای این منظور از گونه‌های سریع‌الرشد اما غیرتهاجمی استفاده می‌شود. در واقع در انتخاب نوع گیاهان باید طوری عمل کرد که ضمن افزایش میزان سرانه فضای سبز، در چهار

فصل گیاهان چهره سبز داشته باشد (Jozay, 2020). انتخاب نوع گیاه نیز در افزایش کارایی دیوارهای سبز و کارایی مصرف آب در آنها موثر است. نوع گیاه انتخابی در دیوار سبز بسته به نوع آب و هوا و شرایط اقلیمی متفاوت است (Perini et al., 2011).

در میان مجموعه غنی از گیاهان پوششی، گیاهانی یافت می‌شوند که اگر بتوان در دیوارهای سبز نیز از این گیاهان جهت پوشش‌دهی سریع دیوارها استفاده کرد می‌توان با توجه به مصرف آب کم و مقاومت به خشکی و تنش‌های برخی از آنها بهره‌وری دیوارها را افزایش داد. پژوهش‌های قبلی بر روی برخی گونه‌های گیاهان پوششی در فضاهای سبز پهنه‌ای (Elhami, 2015) و نیز بر روی بام‌های سبز (Vahdati et al., 2017) در سطح شهر مشهد مقاومت و سازگاری این گونه را مورد تأیید قرار داده است ولی هیچ پژوهشی در سطح شهر مشهد و یا حتی در سایر نقاط اقلیمی به عملکرد و سازگاری این گونه در شرایط کشت در دیوار سبز اشاره ننموده است. لذا در این آزمایش به ویژگی‌های رشدی و عملکردی گونه فرانکنیا در بسترهای کشت مختلف در شرایط کشت در دیوارهای سبز خارجی پرداخته شد.

فرانکنیا با نام علمی *Frankenia thymifolia* از خانواده Frankeniaceae است. فرانکنیا یک گیاه با ساقه‌های متراکم و خزنده پوشیده شده با برگ‌های کوچک نیمه گوشتی است. این گونه به‌طور وسیعی در نواحی گرمسیری و معتدل اروپا، نواحی مدیترانه‌ای آسیای صغیر و استرالیا پراکنده است. همه گونه‌های این جنس، چند ساله، همیشه سبز و با عادت رشد پهن شونده می‌باشند. در اواخر پاییز رنگ سبز آن به رنگ قرمز بسیار زیبا تغییر می‌یابد و با تغییر فصل و برطرف شدن سرما، مجدداً رنگ سبز پدیدار می‌شود. در آفتاب و سایه آفتاب به خوبی رشد می‌کند و در خاک‌های معمولی با شیب تند هم قابل کشت می‌باشد (Ghasemi Ghahsare and Kafi, 2010).

سیستم‌های کشت عمودی نیاز به بسترهایی دارند که امکان توسعه مناسب گیاه و فراهم شدن آب و هوا و مواد مغذی لازم را داشته باشند (Kazemi and Mohorkob, 2017). نوع ترکیب بستر کاشت، وزن مخصوص و عمق آن در دیوارهای سبز نقشی اساسی داشته و ارتباطی مستقیم با نوع گیاهان، عمق پانل‌ها و میزان بار وارده به نمای ساختمان دارد (Prodanovic et al., 2017). هدف از این پژوهش بررسی عملکرد گیاه پوششی فرانکنیا و تأثیر آن بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی بسترهای کشت بازیافتی در چهار فصل مختلف در سیستم‌های دیوار سبز خارجی در شرایط آب و هوایی شهر مشهد و اقلیم نیمه‌خشک می‌باشد.

مواد و روش‌ها

شرایط و مکان اجرای آزمایش: این تحقیق طی خرداد ۱۳۹۷ تا خرداد سال ۱۳۹۸ در مزرعه تحقیقاتی گروه علوم باغبانی و مهندسی فضای سبز دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد اجرا شد. مشهد دومین شهر بزرگ و پرجمعیت ایران در شمال شرق کشور با اقلیمی نیمه‌خشک، زمستان‌های سرد و تابستان‌های گرم و خشک است (ارتفاع از سطح دریا ۹۹۵ متر، مختصات جغرافیایی، ۳۶ درجه و ۱۸ دقیقه شمالی، ۵۹ درجه و ۳۶ درجه شرقی). برای انجام این تحقیق، پانل‌های کشت عمودی در مکانی با فاصله مناسب از عوامل ایجاد سایه و در جهت رو به جنوب استقرار یافتند. سیستم کشت عمودی مورد استفاده در این طرح روش موسوم به سیستم کشت عمودی پاکتی بود و دیوارهای سبز احداث شده، طبق روش پیشنهادی احداث دیوار سبز، ثبت شده در اختراع به

شماره ۸۷۰۱۱ اجرا شده است. آزمایش به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کاملا تصادفی با سه تکرار (در واقع ۳ دیوار مجزا هر کدام به عنوان یک تکرار) انجام شد. فاکتور اصلی فصول مختلف سال در چهار سطح و فاکتور دوم بسترهای کشت در چهار سطح (۳۰ درصد کوکوپیت+ ٦٥ درصد پرلیت+ ۵ درصد ورمی‌کمپوست، ۳۰ درصد خاکبرگ+ ٦٥ درصد پرلیت+ ۵ درصد ورمی‌کمپوست، ۳۰ درصد کمپوست قارچ+ ٦٥ درصد پرلیت+ ۵ درصد ورمی‌کمپوست و خاک معمول مورد استفاده در فضای سبز به عنوان شاهد (این خاک از اضافه کردن حدود ۱۰ درصد کود دامی پوسیده به خاک لومی تشکیل می‌شود)) و گیاه مورد نظر فرانکنیا (*Frankenia thymifolia*) بود. در این تحقیق پسماند کمپوست قارچ از واحد ویژه تولید قارچ دانشگاه فردوسی مشهد و خاکبرگ به صورت پوسیده و نپوسیده و پرلیت و کوکوپیت از بازار گل مشهد تهیه شد. سیستم آبیاری در این پروژه، سیستم آبیاری قطره‌ای بود، همچنین میزان آب آبیاری ۷۰٪ ظرفیت زراعی خاک مورد استفاده در نظر گرفته و بر اساس دبی قطره چکان‌ها اعمال شد.

صفات مورد بررسی

۱.اندازه‌گیری سطح برگ: اندازه‌گیری سطح برگ به‌وسیله دستگاه سنجش نوری سطح برگ، مدل Delta ساخت کشور انگلستان بلافاصله بعد از برداشت برگ صورت پذیرفت.

۲. محتوای نسبی آب برگ: محاسبه محتوای نسبی آب برگ (RWC) با روش Hossain و همکاران (۲۰۱۰) صورت گرفت. ابتدا نمونه برگی را با ترازوی ۰/۰۰۱ وزن کرده که وزن تر به‌دست آمد. سپس برای بدست آوردن وزن آماس، در ظروف در بسته حاوی آب مقطر به مدت ۱۲ ساعت در دمای ۲۱ (۱۹ تا ۲۳) درجه سانتی‌گراد قرار داده و وزن نمونه‌های آماسیده پس از گرفتن آب اضافی از سطح برگ اندازه‌گیری شده و برای تعیین وزن خشک، نمونه‌ها به آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ٤٨ ساعت منتقل شدند. وزن خشک برگ به وسیله ترازو توزین گردید.

$$RWC = \frac{Fw-Dw}{Tw-Dw} \times 100) \quad \text{(معادله ۱)}$$

که در آن Fw وزن‌تر، Dw وزن خشک و Tw وزن آماس برگ می‌باشد.

۳. کلروفیل a، b، کاروتنوئید و غلظت کلروفیل کل

کلروفیل a وb و کاروتنوئید و نهایتاً غلظت کلروفیل کل با استفاده از روش Dere (۱۹۹۸) ارزیابی گردید. برگ تازه به میزان ۰/۲ گرم را کاملا خرد کرده و آن را در یک هاون چینی با ۱۰ میلی‌لیتر متانول ۹٦ درصد سابیده تا به صورت توده یکنواختی درآید. عمل ساییدن و له‌کردن بایستی در محیطی خنک و نور کم انجام گیرد. مخلوط حاصل را از کاغذ صافی عبور داده و سپس به‌مدت ۱۰ دقیقه عمل سانتریفیوژ با سرعت ۲۵۰۰ دور در دقیقه انجام داده شد. بلافاصله محلول روشناور را برداشته و با استفاده از اسپکتوروفتومتر میزان جذب نور، در طول موج‌های ٦٦٦، ٦٥٣ و ٤٧٠ نانومتر به ترتیب برای کلروفیل a و b و کاروتنوئید قرائت شد. و نهایتاً غلظت کلروفیل کل با استفاده از روابط زیر بدست آمد:

(معادله ۲)

$$Chl\ a\ (\mu g/\ ml) = (15/65\times A\ 666) - (7/34\times A\ 653)$$

(معادله ۳)

$$Chl\ b\ (\mu g/\ ml) = (27/05\times A\ 653) - (11/21\times A\ 666)$$

(معادله ٤)

$$Carotenoid\ (\mu g/\ ml) = (1000\times A\ 470) - (2/860\times Chl\ a) - (129/2\times Chl\ b) / 245$$

(معادله ۵)

$$CHL_t = Chl\ a + Chl\ b$$

٤. به منظور تعیین زیست‌توده بخش‌های مختلف گیاه از روش Kazemi و همکاران (۲۰۱۱) استفاده شد. به‌منظور تعیین زیست‌توده کل در ابتدای کار قبل از

کشت در بستر از هر نمونه گیاهی، ۳ عدد به طور تصادفی انتخاب شد و بعد از شستشوی خاک اطراف ریشه‌ها ، ابتدا وزن تر گیاه و سپس وزن خشک گیاه بعد از قرار گرفتن در آون به مدت ٤٨ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد توزین شد. سپس گیاهان در داخل بسترها کاشته شده و در هر فصل حدوداً بعد از ۳ ماه به طور تخریبی و تصادفی یک نمونه از هر پلات خارج کرده و بعد از خارج کردن گیاه از بستر و شستشوی خاک اطراف ریشه‌ها، با ترازوی ۰/۰۰۱ وزن تر محاسبه و پس از ٤٨ ساعت نگهداری در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد وزن خشک محاسبه شد.

۵. ارزیابی کلیه صفات مربوط به ریشه طبق روش Akhwan و همکاران (۲۰۱۲) انجام شد.

این محاسبات نیاز به گرفتن نمونه تخریبی هر سه ماه یکبار داشت و برای انجام این کار نشاها با دقت از بستر خارج و طول ریشه با خط کش با دقت یک میلیمتر، تعداد ریشه‌ها با شمارش، قطر ریشه با کولیس و حجم ریشه از طریق اختلاف حجم ایجاد شده پس از قرار دادن ریشه در حجم مشخصی از آب با دقت یک دهم میلی‌لیتر در استوانه مدرج محاسبه شد.

٦. اندازه‌گیری صفات مربوط به بستر در انتهای آزمایش از جمله اندازه‌گیری جرم مخصوص ظاهری، جرم مخصوص حقیقی و برآورد خلل و فرج کل، برآورد مواد معدنی بستر، برآورد درصد ذرات جامد بستر، برآورد درصد حجمی هوا بستر براساس روش Chen و همکاران (۱۹۸۸) انجام گرفت.

پس از خشک شدن بستر در آون ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد یک گرم از آن در کروزه ریخته شد و به مدت ١٦ ساعت در کوره ٦٠٠ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و پس از خارج کردن از کوره وزن گردید و درصد خاکستر و درصد ماده آلی بدست آمد و جرم مخصوص حقیقی بر اساس فرمول زیر بدست آمد:

(معادله ٦)

$$\text{جرم مخصوص حقیقی } (\frac{gr}{cm3}) = \frac{100}{\frac{\text{درصد ماده آلی}}{\frac{1}{3}} + \frac{\text{درصد خاکستر}}{2.66}}$$

با محاسبه وزن مخصوص ظاهری و حقیقی بر اساس فرمول زیر می‌توان خلل و فرج کل را برآورد نمود.

(معادله ۷)

$$\text{خلل و فرج کل } \% = (1 - \frac{\text{جرم مخصوص ظاهری}}{\text{جرم مخصوص حقیقی}}) \times 100$$

۷.ماده آلی به روش اکسایش تر Nelson و Sommers (۱۹۸۲)، محاسبه شد.

(معادله ۸)

$$\text{درصد کربن آلی} = \frac{\text{درصد ماده آلی(یا روش سوزاندن در کوره)}}{1/7} \times 100$$

۸. اسیدیته، هدایت الکتریکی بستر کشت در عصاره و گل اشباع Allison و Moodie (١٩٦٥) و با استفاده از دستگاه‌های هدایت سنج الکتریکی (مدل JENWAY4510) و پی اچ متر (مدل METROHM691) محاسبه شد.

تجزیه و تحلیل آماری با نرم افزار JMP 8 انجام شد. مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون توکی و رسم نمودارها با نرم افزار اکسل انجام شد. در ابتدای آزمایش به منظور انجام آزمایش خاک، نمونه‌برداری از خاک شاهد و بسترهای ترکیبی انجام و به آزمایشگاه خاکشناسی دانشگاه فردوسی مشهد منتقل شد. ویژگی‌های خاک در جدول‌های زیر ارائه گردیده است:

جدول ۱: خصوصیات شیمیایی اولیه بسترهای کشت مورد استفاده در آزمایش

بستر	نیتروژن (٪)	فسفر (٪)	پتاسیم (٪)	منیزیم (٪)	کربن آلی(٪)	ماده آلی(٪)	کربن/ نیتروژن	هدایت‌الکتریکی (میکرو زیمنس بر سانتی‌متر)	اسیدیته
۳۰٪ کوکوپیت +٦۵٪ پرلیت + ۵٪ ورمی کمپوست	۰/۳۲	۰/۰۵	۰/٤۰	۰/۷۳	٦/۵٦	۱۱/۳	۲۰/٤	۱/۳۲	٦/۸۷
۳۰٪خاکبرگ + ٦۵٪پرلیت + ۵٪ ورمی کمپوست	۱/۲۵	۰/۰۸	۰/۳۳	۰/۷۰	۸/۸۹	۱۵/۳	۷/۰۹	۱/۳۹	۷/۲۱
۳۰٪کمپوست قارچ +٦۵٪ پرلیت + ۵٪ورمی کمپوست	۰/۷۰	۰/۰۹	۰/۵۷	۱/۳۷	۱۰/۹	۱۸/۸	۱۵/۱	۲/۸۳	۷/۱٦
خاک معمول مورد استفاده در فضای سبز به عنوان شاهد	۰/۱۲	۰/۰۰۳	۰/۰۱	۰/۲٦	۲/٦۲	٤/۵۲	۲۰/۱	۱/۲۲	۸/۰۲

pH (اسیدیته)، EC (هدایت الکتریکی) ، C/N (نسبت کربن به نیتروژن)، OM (ماده آلی)، OC (کربن آلی)، Mg (منیزیم)، K (پتاسیم)، P (فسفر)، N (نیتروژن)

جدول ۲: خصوصیات فیزیکی اولیه بسترهای کشت مورد استفاده در آزمایش

بستر	ظرفیت نگهداری آب (٪)	نقطه پژمردگی دائم (٪)	وزن مخصوص ظاهری (gr/cm3)	وزن مخصوص حقیقی (gr/cm^3)	تخلخل (٪)	ذرات جامد (٪)	ماده معدنی (٪)	حجم هوا (٪)
۳۰٪ کوکوپیت+ ٦۵٪ پرلیت+ ۵٪ ورمی کمپوست	۷٤۰/۵۳	۱/۰۵	۰/۲٦	۱/۱۸	۷۸	۲۲	۸۸/٦۹	۷۵
۳۰٪ خاکبرگ+ ٦۵٪ پرلیت+ ۵٪ ورمی کمپوست	٦۹/۰۹	۸/۹٦	۰/٦۰	۱/۱۲	٤۲	۵۸	۸٤/٦۸	٤۱/۳
۳۰٪ کمپوست قارچ+ ٦۵٪ پرلیت+۵٪ورمی‌کمپوست	۱۱۳	٤/۵۹	۰/۲۹	۰/٦٦	۵٦	٤٤	۸۱/۱۷	۵٤/۱۰۸
خاک معمول مورد استفاده در فضای سبز به‌عنوان شاهد	۳۸	٤/۷٤	۰/۷۵	۰/۸۱	۸	۹۲	۹۵/٤۸	٦/۷۸

نتایج

نتایج مربوط به تجزیه واریانس صفات مورد اندازه‌گیری در جدول زیر تنظیم شده است.

جدول ۳: نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مورفوفیزیولوژیک در فرانکنیا

منابع تغییرات	درجه آزادی	سطح برگ	محتوای نسبی آب برگ	وزن تر شاخساره	وزن خشک شاخساره	کلروفیل a برگ	کلروفیل b برگ	کلروفیل کل	کاروتنوئید برگ
بلوک	۲	۰/۷٦	٤۰/٤	۱٤٤/۹۱	۳۲/۸۲	۰/۲۱	۰/۰۱٤	۰/۱۲	۰/۰۰۹
فصل	۳	٦۷/۹٤**	٤۱۸/۷٤**	۲۸۱۱/۷۹**	٦۸۵/۲۰**	۹/۵۷**	۱/۰٦**	۱۳/۹**	۸/۷۵**
خطای عامل اصلی	٦	۰/۱٤	٦۳/٤٤	٦٦/٦۸	۱۳/۲۸	۰/۳۵	۰/۰٤	۰/۲۸	۰/٤۹
بستر	۳	۱۸۷/۱**	۹۲۱/۳٤**	۳٦۲۲/۷۳**	۸۵۳/۷۱**	۱٤/۲۹**	۰/۱۷**	۱۱/۹**	٤/۳٤**
بستر× فصل	۹	۷/۹٤**	٦۲/۱۵ns	۲۹۹/۷۷**	۷۰/٦۹**	۲/۱۸**	۰/۰۳ns	۲/٤۰**	۰/۸۹ns
خطای عامل فرعی	۲٤	۰/۲۲	۱۰۹/۰٦	۷۵/۳۹	۲۰/٦۵	۰/۲۹	۰/۰۳	۰/۳	۰/۵۳

** تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ٪۱ - * تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ٪۵ - ns تفاوت معنی‌داری وجود ندارد.

جدول ٤: نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مربوط به ریشه در گیاه فرانکنیا

منابع تغییرات	درجه آزادی	وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه	قطر ریشه اصلی	حجم ریشه	طول ریشه
بلوک	۲	۱/۲۸	۰/۰۷	۰/۳٤	۳۵/۱٤	۳/۹۱*
فصل	۳	۱۱۳/۵٤**	٦/۲۷**	۲/۳٤**	۳۷۲/۷٤**	۲۰۸/٤۵**
خطای عامل اصلی	٦	۲/۰٦	۰/۲۳	۰/۰۷	۱۲/۰۳	۰/۷۸
بستر	۳	۸٤/۳٦**	۵/۷۵**	۰/۹٤**	۸۷/۰۲**	٦۱/۵۵**
بستر× فصل	۹	۱۱/۵۹**	۰/٦۷**	۰/۰۵ns	۲۰/۸۳ns	۱۰/۳۲ns
خطای عامل فرعی	۲٤	۱/۰۷	۰/۱۱	۰/۰٤	۱۸/۳٤	٦/۵٤

** تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ – * تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ – ns تفاوت معنی‌داری وجود ندارد.

مطابق با جداول تجزیه واریانس ۳ و ٤، نتایج تجزیه واریانس مربوط به داده‌های مورفوفیزیولوژیک در فرانکنیا نشان داد که اثرات ساده فصل و بستر در سطح احتمال ۱٪ در گیاه فرانکنیا در همه صفات اختلاف معنی‌دار نشان دادند. ولی در مورد اثرات متقابل فصل و بستر کاشت، فقط صفات مربوط به سطح برگ، وزن تر و خشک شاخساره، کلروفیل a و کل، وزن ترو خشک ریشه ($p\leq0.01$) نیز معنی‌دار شدند.

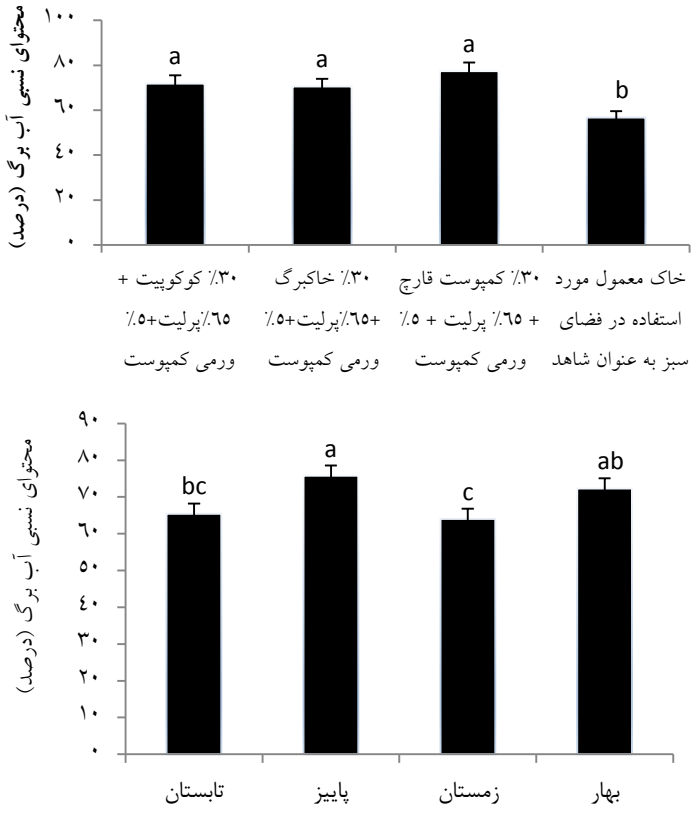
جدول ۵: نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تاثیر کشت فرانکنیا بر صفات شیمیایی و فیزیکی بسترهای کشت مختلف در انتهای آزمایش

منابع تغییرات	درجه‌آزادی	pH	EC	وزن مخصوص ظاهری	وزن مخصوص حقیقی	تخلخل	مواد معدنی بستر	درصد ذرات جامد	درصد حجم هوا
بلوک	۲	۰/۰۱	۰/۰۰۰۰۵	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۷۷	۰/۰۰۱	۰/۷۷	۰/۷۷
بستر	۳	۲/٦۳**	۱/۲۷**	۰/٤۰**	۰/٦۳**	۱۹۹/٦۳**	۲۰۱/۳۸**	۱۹۹/٦۳**	۱۹۲/۷۳**
خطا	٦	۰/۰۲	۰/۰۰۰۰۹	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰٤	۰/۵٦	۰/۰۰۱	۰/۵٦	۰/۵٦

** تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ – * تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ – ns تفاوت معنی‌داری وجود ندارد.

مطابق با جداول تجزیه واریانس۵، در تمام صفات شیمیایی و فیزیکی بسترهای کشت مختلف در گیاه فرانکنیا، اثر بستر در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد ($p\leq0.01$).

محتوای نسبی آب برگ: در گیاه فرانکنیا، صفت محتوای نسبی آب برگ تحت تأثیر فصول و بسترهای کشت در طی آزمایش قرار گرفت (جداول ۳ و ٤). طبق مقایسه میانگین‌ها، بیشترین محتوای نسبی آب برگ در گونه فرانکنیا در فصل پاییز می‌باشد. این در حالی است که در گونه فرانکنیا بستر خاک از نظر آماری با کمترین محتوای نسبی آب برگ همراه بود. می‌توان گفت در مورد این گیاه، سه بستر آلی در خصوص محتوای نسبی آب برگ از نظر آماری یکسان و بهتر از خاک معمول فضای سبز عمل کردند (شکل۱).



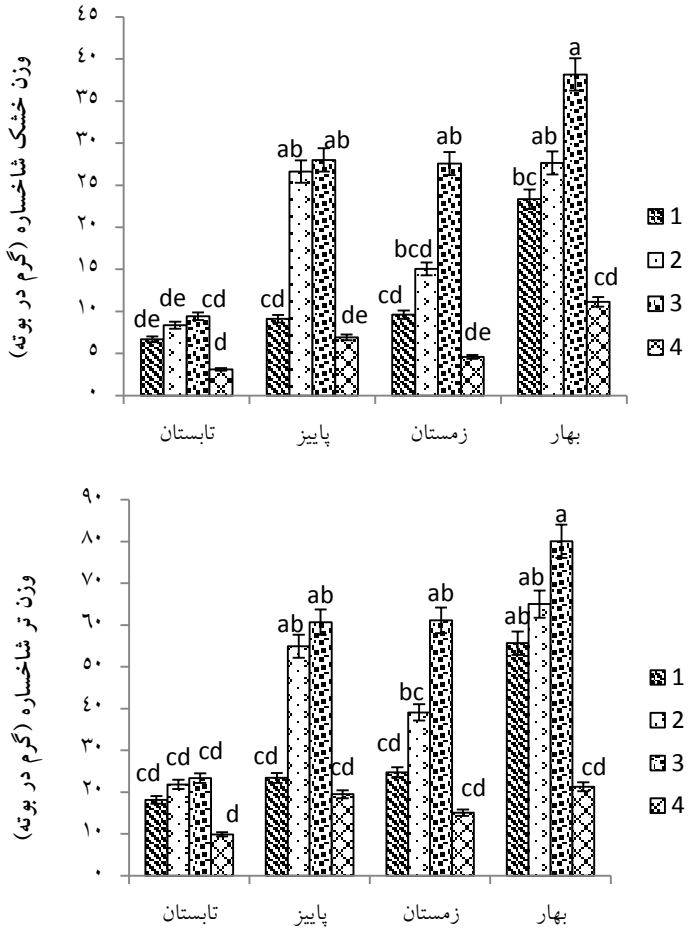
شکل۱: اثر ساده فصل و بستر کشت در ارتباط با محتوای نسبی آب برگ درفرانکنیا، داده‌ها نشان‌دهنده (خطای استاندارد: بستر: ۳/۰۱٤–فصل: ۲/۲۹).

وزن تر و خشک شاخساره: در گونه فرانکنیا، علاوه بر اثرات ساده اثر متقابل بستر و فصل تفاوت معنی‌داری از لحاظ آماری ($p\leq0.01$) نشان دادند (شکل ۲).

همانطور که در شکل ۲ مشهود است بیشترین وزن تر و خشک شاخساره مربوط به فصل بهار و در بستر کشت ۳ (بستر ترکیبی پسماند کمپوست قارچ) می‌باشد و این درحالی‌است که کمترین وزن تر و خشک شاخساره در فصل تابستان و در بستر خاک معمولی (شاهد) رویت شد. به‌نظر می‌رسد تمام بسترهای آلی در سه فصل بهار، تابستان و پاییز وزن تر و خشک شاخساره بیشتری ایجاد کردند.

در گونه فرانکنیا در تمامی بسترها، از بهار به سمت تابستان افزایش وزن تر و خشک مشاهده شد اما یک افت وزن تر و خشک در زمستان رویت شد که به علت به خواب رفتن و خشک شدن و ریزش برگ‌های این گیاه در فصل سرد سال بود. اما بازگشت سریع بهاره را شاهد بودیم به طوریکه بیشترین وزن تر و خشک شاخساره مربوط به فصل بهار است. ضمناً بیشترین و کمترین وزن تر و خشک شاخساره نیز مربوط به بستر حاوی کمپوست قارچ و بستر خاک می‌باشد (شکل ۲).

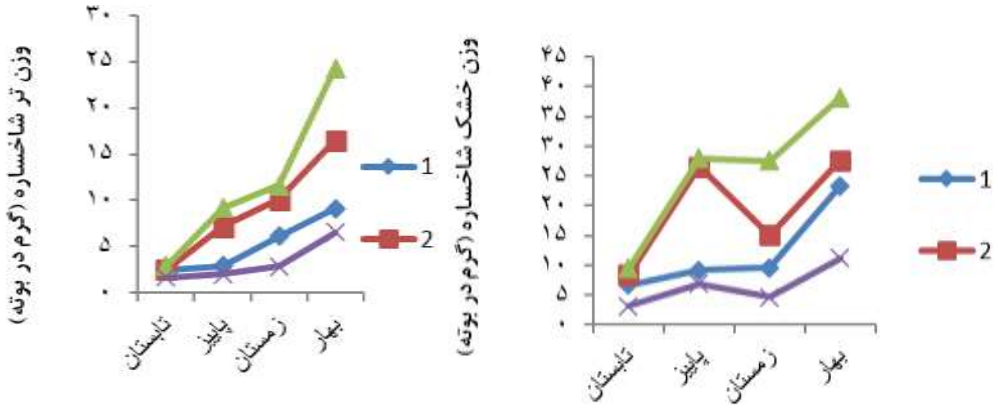
سطح برگ: در گیاه فرانکنیا در مورد سطح برگ، بین بسترها و فصول مورد مطالعه ($p\leq0.01$) و همچنین اثر متقابل این دو در گونه فرانکنیا ($p\leq0.01$) تفاوت معنی‌داری از لحاظ آماری مشاهده شد (شکل ۳).



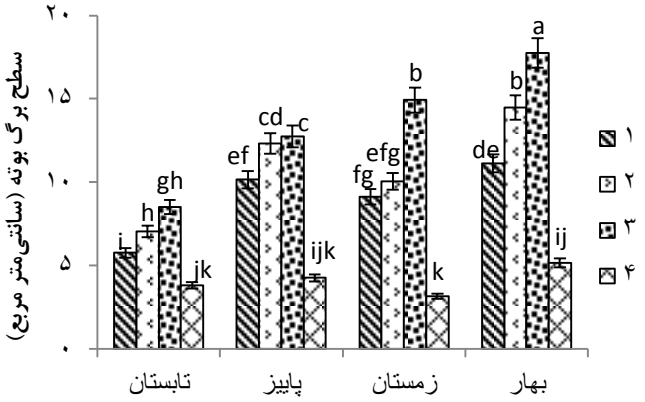
شکل ۲: اثر متقابل فصل و بستر کشت در ارتباط با وزن تر و خشک شاخساره در فرانکنیا، داده‌ها نشان‌دهنده (خطای استاندارد: وزن ترشاخساره: ۵/۰۱۳–وزن خشک شاخساره: ۲/۶۲).

به‌ترتیب شماره‌ها نمایانگر:

۱- ۳۰٪ کوکوپیت+ ۶۵٪ پرلیت+ ۵٪ ورمی‌کمپوست
۲- ۳۰٪ خاکبرگ+ ۶۵٪ پرلیت+ ۵٪ ورمی‌کمپوست
۳- ۳۰٪ کمپوست قارچ+ ۶۵٪ پرلیت+ ۵٪ ورمی‌کمپوست
۴- خاک معمول مورد استفاده در فضای سبز به عنوان شاهد



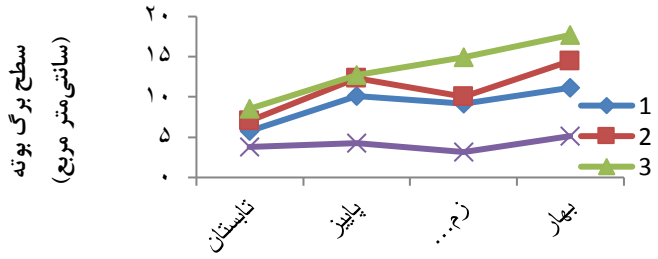
شکل ۲: اثر متقابل فصل و بستر کشت در ارتباط با وزن تر و خشک شاخساره در فرانکنیا



شکل ۳: اثر متقابل فصل و بستر کشت در ارتباط با سطح برگ بوته در فرانکنیا، داده‌ها نشان‌دهنده (خطای استاندارد: ۰/۲۷).

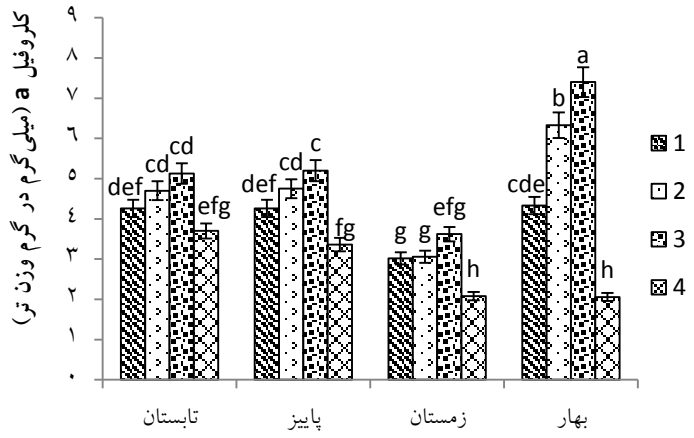
همانطور که در شکل ۳ نشان داده شده است، بیشترین سطح برگ در گیاه فرانکنیا مربوط به فصل بهار و بستر ترکیبی پسماند کمپوست قارچ بود، این در حالی است که بستر خاک معمول (شاهد) در تمام فصول سطح برگ کمتری به‌خود اختصاص داد. نکته جالب توجه این است که بستر وارداتی کوکوپیت نتوانست با بسترهای ضایعاتی پسماند قارچ و خاکبرگ رقابت کند.

در گونه فرانکنیا در تمامی بسترها، از تابستان به سمت بهار افزایش سطح برگ مشاهده شد؛ اما یک افت شدید در سطح برگ در زمستان رویت شد که به علت به خواب رفتن و خشک شدن و ریزش برگ‌های این گیاه در فصل سرد سال بود. اما بازگشت سریع سطح برگ در بهار را شاهد بودیم. لازم به ذکر است که بستر کمپوست قارچ سطح برگ گیاه را حتی در فصل زمستان حفظ کرد که به‌نظر می‌رسد علت، افزایش دما در این بستر نسبت به بسترهای دیگر در این فصل است. ضمناً بیشترین و کمترین سطح برگ نیز مربوط به بستر حاوی کمپوست قارچ و بستر خاک بود (شکل ۳).



شکل ۳: اثر متقابل فصل و بستر کشت در ارتباط با سطح برگ بوته در فرانکنیا

کلروفیل a : نتایج تجزیه واریانس برای کلروفیل a برگ بیانگر این بود در گونه فرانکنیا اثرات ساده و اثر متقابل فصل و بستر کشت در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بوده است شکل (٤).



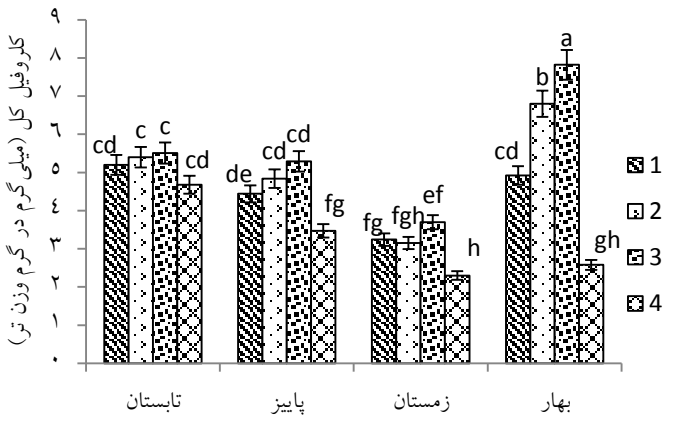
شکل ٤: اثر متقابل فصل و بستر کشت در ارتباط با کلروفیل a در فرانکنیا، داده‌ها نشان‌دهنده (خطای استاندارد: ۰/۳۱).

به ترتیب شماره‌ها نمایانگر : ۱- ۳۰٪ کوکوپیت+ ٦٥٪ پرلیت+ ٥٪ ورمی‌کمپوست ۲- ۳۰٪ خاکبرگ+ ٦٥٪ پرلیت+ ٥٪ ورمی‌کمپوست ۳- ۳۰٪ کمپوست قارچ+ ٦٥٪ پرلیت+ ٥٪ ورمی‌کمپوست ٤- خاک معمول مورد استفاده در فضای سبز به عنوان شاهد

با توجه به شکل (٤) درگونه فرانکنیا در بین فصول بیشترین و کمترین میزان کلروفیل a به ترتیب مربوط به بهار و زمستان می‌باشند. در تمامی بسترها نسبت به خاک میزان کلروفیل a افزایش یافته است. بیشترین سبزینگی در گیاه در بستر ترکیبی پسماند قارچ مشاهده شد.

کلروفیل b: در این آزمایش اثر متقابل فصل و بستر کشت تأثیر معنی‌داری بر میزان کلروفیل b گونه گیاهی مورد مطالعه نداشتند. و فقط اثرات ساده فصل و بستر کشت در فرانکنیا برای میزان کلروفیل b از نظر آماری معنی‌دار بودند (جدول ۳).در گونه فرانکنیا بستر کشت کوکوپیت و خاک و همچنین فصول تابستان و بهار دارای بیشترین کلروفیل b می‌باشند و رتبه آماری a گرفته‌اند (جدول ٦).

کلروفیل کل: مطابق جدول ۳ در گونه فرانکنیا اثرات ساده و اثر متقابل فصل و بستر کشت در خصوص فاکتور کلروفیل کل در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بودند. درفصل بهار و بستر ترکیبی ۳، بیشترین کلروفیل کل مشاهده گردید و کمترین کلروفیل کل در فصل زمستان و در بستر خاک معمول (شاهد) رویت شد. به‌نظر می‌رسد در گونه فرانکنیا در هر چهار بستر کشت با شروع تابستان و حرکت به سمت پاییز کاهش میزان کلروفیل کل مشهود بود تا جایی که کمترین میزان این فاکتور در زمستان ثبت شد اما با شروع بهار افزایش فوق‌العاده در میزان کلروفیل کل رویت شد. لازم به‌ذکر است در روند ذکرشده همچنان بسترهای ترکیبی ضایعاتی اختلاف خود را در سه فصل بهار، پاییز و زمستان نسبت به خاک معمول فضای سبز (شاهد) حفظ کردند و نکته قابل توجه این است که در فصل تابستان، بستر وارداتی (کوکوپیت) نتوانست با شاهد رقابت کند و از لحاظ آماری در یک رتبه قرار گرفتند (شکل ۵).



شکل ۵: اثر متقابل فصل و بستر کشت در ارتباط با کلروفیل کل برگ درفرانکنیا، داده‌ها نشان‌دهنده (خطای استاندارد: ۰/۳۲).

به ترتیب شماره‌ها نمایانگر : ۱- ۳۰٪ کوکوپیت+ ٦٥٪ پرلیت+ ۵٪ ورمی‌کمپوست ۲- ۳۰٪ خاکبرگ+ ٦٥٪ پرلیت+ ۵٪ ورمی‌کمپوست ۳- ۳۰٪ کمپوست قارچ+ ٦٥٪ پرلیت+ ۵٪ ورمی‌کمپوست ٤- خاک معمول مورد استفاده در فضای سبز به عنوان شاهد

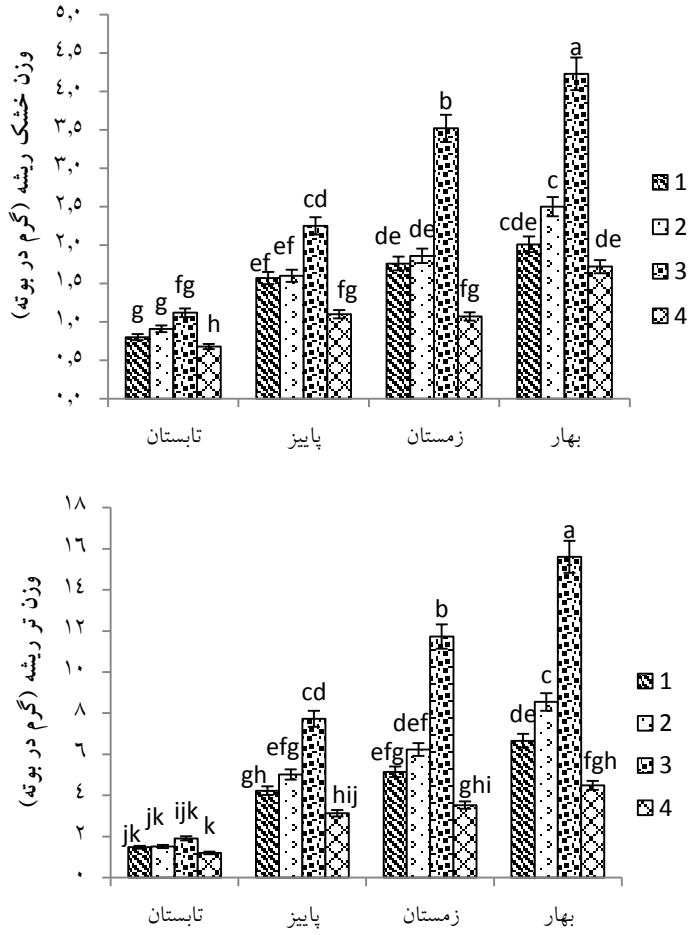
کاروتنوئید: در فرانکنیا در مورد کاروتنوئید تنها اثرات ساده فصل و بستر کشت در سطح احتمال ٪۱ معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین کاروتنوئید مربوط به بستر خاک معمولی (شاهد) و بستر وارداتی (کوکوپیت) بود و کمترین کاروتنوئید در بستر کمپوست قارچ رویت شد. در گونه فرانکنیا، در طول زمستان بیشترین کاروتنوئید مشهود است در حالی که در سه فصل دیگر به‌طور معنی‌داری کاهش یافته است. بنابراین از آنجایی که فصل زمستان توانست در گونه فرانکنیا بیشترین کاروتنوئید را ایجاد کند، بنابراین در این‌گونه بیشترین حالت زردی و پژمردگی در فصل زمستان رویت شد. (جدول ٦).

جدول ٦: مقایسه میانگین‌های کلروفیل b و کاروتنوئید گونه‌های گیاهی مورد آزمایش در فصول و بسترهای کشت مختلف

	فرانکنیا	
	کلروفیل b (میلی‌گرم در گرم وزن تر)	کاروتنوئید (میلی‌گرم در گرم وزن تر)
۳۰٪ کوکوپیت+ ٦٥٪ پرلیت+ ۵٪ ورمی‌کمپوست	۰/٤٨^{a} ±۰/۰۵۲	۳/۰۷^{a} ±۰/۲۱
۳۰٪ خاکبرگ+ ٦٥٪ پرلیت+ ۵٪ ورمی‌کمپوست	۰/۳۳^{ab}±۰/۰۵۲	۲/۸۲^{ab}±۰/۲۱
۳۰٪ کمپوست قارچ+ ٦٥٪ پرلیت+ ۵٪ ورمی‌کمپوست	۰/۲۲^{b}±۰/۰۵۲	۲/۲۱^{b}±۰/۲۱
خاک معمول مورد استفاده در فضای سبز به عنوان شاهد	۰/٤۵^{a} ±۰/۰۵۲	۳/۸۲^{a} ±۰/۲۱
تابستان	۰/۷۳^{a} ±۰/۰٦۱	۲/۹۸^{b}±۰/۲۰
پاییز	۰/۱۱^{b}±۰/۰٦۱	۲/۹۸^{b}±۰/۲۰
زمستان	۰/۱٤^{b}±۰/۰٦۱	۳/۹۵^{a}±۰/۲۰
بهار	۰/۵^{a} ±۰/۰٦۱	۱/۹۸^{C}±۰/۲۰

حروف لاتین کوچک متفاوت در هر ستون جدول، نشان دهنده اختلاف معنادار بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال حداقل ٪۵ است. داده‌ها نشان‌دهنده ± ۱خطای استاندارد (SE).

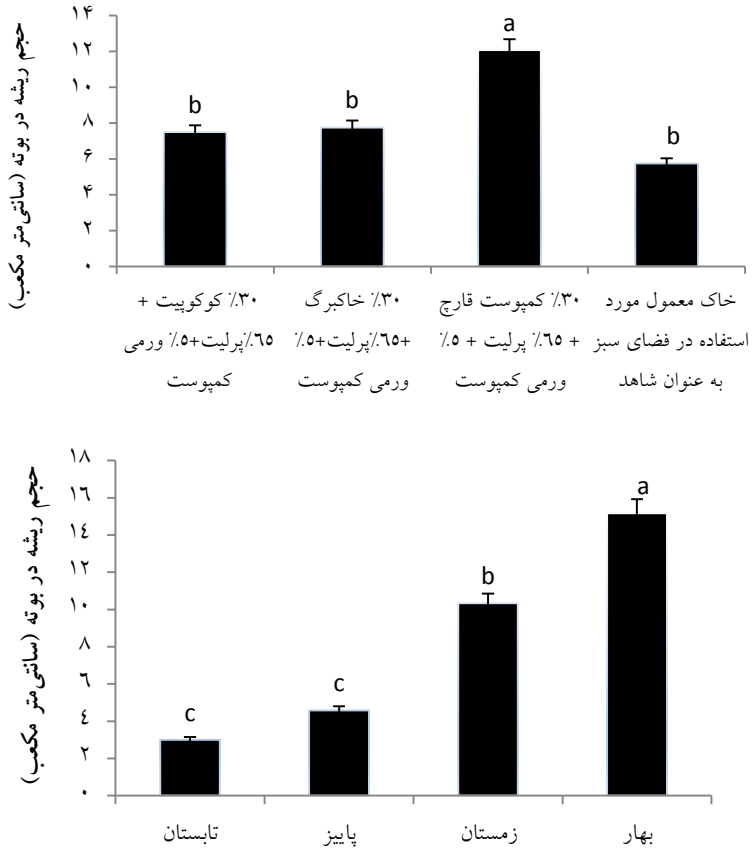
وزن تر و خشک ریشه: با توجه به جدول تجزیه واریانس مشاهده می‌شود در گونه گیاهی مورد آزمایش علاوه بر اثرات ساده اثر متقابل فصل و بستر کشت نیز معنی‌دار است (جدول٤). شکل ٦ نشان می‌دهد در گیاه فرانکنیا بین چهار بستر کشت، بستر حاوی کمپوست قارچ بالاترین رتبه را دارا بود گیاهان در هر دو بستر کوکوپیت و خاکبرگ وزن تر و خشک ریشه بیشتری نسبت به گیاهان کشت شده در بستر خاک در هر چهار فصل ایجاد کردند.. همانطور که در شکل ٦ مشهود است فصل بهار بیشترین وزن تر و خشک ریشه را ایجاد کرد و این در حالی‌است که در فصل تابستان کمترین وزن تر و خشک ریشه رویت شد.



شکل ٦: اثر متقابل فصل و بستر کشت در ارتباط با وزن تر و خشک ریشه در فرانکنیا، داده‌ها نشان‌دهنده (خطای استاندارد: وزن تر ریشه: ۰/۵۹–وزن خشک ریشه: ۰/۱۹).

به‌ترتیب شماره‌ها نمایانگر:
١- ٣٠٪ کوکوپیت+ ٦٥٪ پرلیت+ ٥٪ ورمی‌کمپوست
٢- ٣٠٪ خاکبرگ+ ٦٥٪ پرلیت+ ٥٪ ورمی‌کمپوست
٣- ٣٠٪ کمپوست قارچ+ ٦٥٪ پرلیت+ ٥٪ ورمی‌کمپوست
٤- خاک معمول مورد استفاده در فضای سبز به عنوان شاهد

حجم ریشه: مطابق با جداول تجزیه واریانس، در مورد حجم ریشه در گونه فرانکنیا تنها اثرات ساده فصل و بستر در سطح احتمال ۱٪ اختلاف معنی‌دار نشان می‌دهند ($p\leq0.01$) (جدول٤). در گونه فرانکنیا، بیشترین حجم ریشه مربوط به فصل بهار بود و کمترین حجم ریشه در فرانکنیا در فصل تابستان و پاییز رویت شد. در بین بسترها، بستر حاوی کمپوست قارچ توانست حجم ریشه را نسبت به سایر بسترها به‌طور معنی‌داری افزایش دهد. دو بستر آلی دیگر از لحاظ حجم ریشه اختلاف معنی‌داری با خاک معمول فضای سبز (شاهد) ایجاد نکردند (شکل ۷).



شکل ۷: اثر ساده فصل و بستر کشت در ارتباط با حجم ریشه درفرانکنیا. داده‌ها نشان‌دهنده (خطای استاندارد: بستر: ۱/۲۳–فصل: ۱/۰۰۱).

طول و قطر ریشه: در مورد میزان طول ریشه در گونه گیاهی مورد آزمایش تنها اثرات ساده فصل و بستر کشت در سطح احتمال ۱٪ اختلاف معنی‌دار نشان داد (جدول ٤).

در گونه فرانکنیا بیشترین طول ریشه مربوط به گیاهان رشد یافته در بستر کمپوست قارچ و در فصل بهار بود در حالی‌که بستر حاوی کوکوپیت نتوانست به اندازه سایر بسترها طول ریشه را افزایش دهد و کمترین رتبه آماری را گرفت. کمترین طول ریشه گیاه مربوط به فصل تابستان بود. در این گونه، بیشترین قطر ریشه مربوط به کمپوست قارچ بوده و فصل بهار و زمستان از نظر آماری بیشترین قطر ریشه را ایجاد کرد. کمترین قطر ریشه در بستر خاک معمول و در فصل پاییز و تابستان رویت شد (جدول ۷).

مطابق با جدول تجزیه واریانس ۵، در مورد اسیدیته و هدایت الکتریکی بستر، اثر بستر در گونه

گیاهی فرانکنیا در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود. مقایسه میانگین داده‌ها بیان‌گر این بود که در گیاه فرانکنیا در این پژوهش بیشترین و کمترین اسیدیته به‌ترتیب مربوط به خاک و بستر حاوی کوکوپیت بود ولی در فرانکنیا بیشترین هدایت الکتریکی مربوط به بستر حاوی کمپوست قارچ و کمترین مربوط به بستر حاوی کوکوپیت و خاکبرگ بود (جدول ۸).

جدول ۱: مقایسه میانگین‌های طول و قطر ریشه گونه‌های گیاهی مورد آزمایش در فصول و بسترهای کشت مختلف

	فرانکنیا	
	طول ریشه (سانتی‌متر)	قطر ریشه (میلی‌متر)
۳۰٪ کوکوپیت+ ٦٥٪ پرلیت+ ۵٪ ورمی‌کمپوست	۱۳/۱۵^{c}±۰/۷۳	۱/۰۳^{b}±۰/۵۹
۳۰٪ خاکبرگ+ ٦٥٪ پرلیت+ ۵٪ ورمی‌کمپوست	۱٦/۰۳^{ab}±۰/۷۳	۱/۳۳^{b}±۰/۵۹
۳۰٪ کمپوست قارچ+ ٦٥٪ پرلیت+ ۵٪ ورمی‌کمپوست	۱۸/۲۲^{a}±۰/۷۳	۱/۳۷^{a}±۰/۵۹
خاک معمول مورد استفاده در فضای سبز به عنوان شاهد	۱٤^{b}±۰/۷۳	۰/۷۷^{c}±۰/۵۹
تابستان	۱۱/۰۱^{d}±۰/۲۵	۰/٦۳^{b}±۰/۷۸
پاییز	۱۳/٤۸^{c}±۰/۲۵	۰/۹۱^{b}±۰/۷۸
زمستان	۱٦/۱٦^{b}±۰/۲۵	۱/۳۳^{a}±۰/۷۸
بهار	۲۰/۷۵^{a}±۰/۲۵	۱/٦۳^{a}±۰/۷۸

حروف لاتین کوچک متفاوت در هر ستون جدول، نشان دهنده اختلاف معنادار بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال حداقل ٪۵ است. داده‌ها نشان‌دهنده ± ۱خطای استاندارد (SE).

جدول ۸: مقایسه میانگین‌های مربوط به برخی صفات بسترهای کشت مختلف

بستر	فرانکنیا	
	pH	EC (میکرو زیمنس بر سانتی‌متر)
۳۰٪ کوکوپیت+ ٦٥٪ پرلیت+ ۵٪ ورمی‌کمپوست	٦/۷۰c±۰/۸۳	۱/۰۵c±۰/۰۰۵۵
۳۰٪ خاکبرگ+ ٦٥٪ پرلیت+ ۵٪ ورمی‌کمپوست	۷/۰۸b±۰/۸۳	۱/۰c±۰/۰۰۵۵
۳۰٪ کمپوست قارچ+ ٦٥٪ پرلیت+ ۵٪ ورمی‌کمپوست	۷/۰۵b±۰/۸۳	۲/۳۷a±۰/۰۰۵۵
خاک معمول مورد استفاده در فضای سبز به عنوان شاهد	۸/۷۰a±۰/۸۳	۱/۰۸b±۰/۰۰۵۵

حروف لاتین کوچک متفاوت در هر ستون جدول، نشان‌دهنده اختلاف معنادار بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال حداقل ٪۵ است. داده‌ها نشان‌دهنده ± ۱خطای استاندارد (SE).

صفات فیزیکی بستر: مطابق با جداول تجزیه واریانس ۵، در تمام صفات فیزیکی در گونه گیاهی مورد پژوهش اثر بستر در سطح احتمال ٪۱ معنی‌دار بوده است. مطابق با جدول مقایسه میانگین ۵، بیشترین وزن مخصوص ظاهری و حقیقی مربوط به بستر خاک شاهد و کمترین آن مربوط به بستر ضایعاتی خاکبرگ بود. قابل توجه این است که بیشترین تخلخل مربوط به خاکبرگ و کمترین تخلخل مربوط به خاک شاهد بود. در مورد وزن مخصوص ظاهری و تخلخل می‌توان گفت با افزایش تخلخل، وزن مخصوص ظاهری کاهش یافته و بالعکس. بیشترین وزن ظاهری و کمترین تخلخل مربوط به

خاک بود. بر اساس جدول (۹) در دو بستر در گونه گیاهی در مورد بسترهای حاوی خاکبرگ و کمپوست قارچ درصد مواد معدنی و ذرات جامد بستر کمترین و درصد حجم هوای بستر نسبت به دو بستر دیگر بیشترین بوده است. می‌توان گفت که با افزایش درصد ذرات جامد بستر از حجم هوای بستر کم می‌شود.

جدول ۹: مقایسه میانگین‌های مربوط به برخی صفات فیزیکی بسترهای کشت مختلف

بستر	فرانکنیا				فرانکنیا		
	وزن‌مخصوص ظاهری (gr/cm^3)	وزن‌مخصوص حقیقی (gr/cm^3)	تخلخل (٪)	مواد معدنی بستر (٪)	ذرات جامد (٪)	حجم هوا (٪)
۳۰٪ کوکوپیت+ ٦٥٪ پرلیت+ ۵٪ورمی‌کمپوست	۰/۷٦^{b}±۰/۰۱۳	۱/۷۳^{b}±۰/۰۳٦	٥٥/۸٤^{c}±۰/۰٤۳	۹۰/۷٦^{b}±۰/۰۲٤	٤٤/۱٥۳^{b}± ۰/٤۳	٥٤/٥۱^{c}±۰/٤۳
۳۰٪ خاکبرگ+ ٦٥٪ پرلیت+ ۵٪ ورمی‌کمپوست	۰/٤٦^{d}±۰/۰۱۳	۱/۱۸^{c}±۰/۰۳٦	٦۱/۳۱^{a}±۰/۰٤۳	۸۳/۱۸^{c}±۰/۰۲٤	۳۸/٦۸۷^{d}±۰/٤۳	٦۰/۷٥^{a}±۰/٤۳
۳۰٪ کمپوست قارچ +٦٥٪پرلیت +۵٪ورمی‌کمپوست	۰/٦۸^{c}±۰/۰۱۳	۱/٦۳^{b}±۰/۰۳٦	٥۸/۰۷^{b}±۰/۰٤۳	۷۷/۸۷^{d}±۰/۰۲٤	٤۱/۹۲۳^{c}±۰/٤۳	٥۷/۲۲^{b}±۰/٤۳
خاک معمول مورد استفاده در فضای سبز به عنوان شاهد	۱/۳۲^{a}±۰/۰۱۳	۲/۳۰^{a}±۰/۰۳٦	٤۲/۷۲^{d}±۰/۰٤۳	۹٦/٤٥^{a}±۰/۰۲٤	٥۷/۲۷^{a}±۰/٤۳	٤۲/۳۰^{d}±۰/٤۳

حروف لاتین کوچک متفاوت در هر ستون جدول، نشان دهنده اختلاف معنادار بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال حداقل ٪۵ است. داده‌ها نشان‌دهنده ± ۱خطای استاندارد (SE).

بحث

شناخت صحیح ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بسترهای رشد، همراه با درک عمیق اکوسیستم بومی، درک مکانیسم عمیق روابط آب و بستر و گیاه و محیط زیست فیزیولوژی برای حفظ پایداری بام‌های سبز در مناطق مختلف آب و هوایی لازم می‌باشد (Williams et al., 2010).

از آنجایی که تبدیل انرژی نورانی به انرژی شیمیایی توسط برگ‌های سبز صورت می‌گیرد، شاخص سطح برگ می‌تواند به عنوان یکی از مهمترین عوامل مؤثر در تولید زیست توده و در نتیجه عملکرد گیاه باشد (Kocheki and Banaiane, 1994) افزایش قابلیت دسترسی نیتروژن باعث تحریک رشد و افزایش شاخص سطح برگ می‌شود. افزایش شاخص سطح برگ و پوشش‌دهی سریع می‌تواند تابش دریافتی و فتوسنتز را افزایش دهد و باعث افزایش میزان عملکرد گردد (Soltani et al., 2010). دلیل دیگر افزایش شاخص سطح برگ به افزایش ذخیره نیتروژن توسط برگ برای انتقال به اندام‌های گیاهی در حال رشد مربوط می‌شود.

در مقایسه دو بستر پرلیت و ترکیب پرلیت با کوکوپیت روی گل ژربرا، رشد گیاه ژربرا به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر بستر کشت قرار گرفت. به‌طوری که گیاهان رشد کرده در ترکیب پرلیت و کوکوپیت دارای سطح برگ، تعداد برگ و گلدهی مطلوب‌تر نسبت به بستر پرلیت بودند (Raviv and Lieth, 2008). در پژوهش ما، گیاه‌های رشد کرده در بسترهای آلی سطح برگ بالاتری نسبت به شاهد داشتند و این نتایج مطابق یافته‌های محققان مذکور بود.

Akraminejad و همکاران (۲۰۱٦) در پژوهشی بر روی گیاه مرزه گزارش کردند که کودهای دامی و ترکیبات آلی باعث افزایش محتوای نسبی آب برگ در گیاهان شدند. در این مطالعه گیاهان در بسترهای

کشت آلی، محتوای نسبی آب برگ بیشتری نسبت به بستر شاهد (خاک معمولی) داشتند و این نتیجه با نتایج محققان مذکور مطابقت داشت. در این آزمایش، با اینکه بستر خاک شاهد رطوبت بستر بیشتری داشت اما محتوای نسبی آب برگ کمتری در گونه پیچ‌تلگرافی و پنج‌انگشت ایجاد کرد که این نشان دهنده عدم جذب صحیح و کافی آب توسط ریشه در این بستر می‌باشد. Williams و همکاران (۲۰۱۰) بیان کردند که نسبت مستقیمی بین میزان آب برگ و مقاومت به شرایط تنش مانند گرمی تابستان وجود دارد. بررسی محتوای نسبی آب برگ‌ها در گیاهان مورد آزمایش نشان داد که گیاه فرانکنیا در فصل تابستان بیشترین مقاومت را به شرایط گرم تابستان در دیوار سبز داشت.

Sajjadinia و همکاران (۲۰۱۰) در رابطه با محتوای نسبی آب برگ و فتوسنتز چند رقم پسته همبستگی بالا و تنوع بالایی را در مراحل و ارقام مختلف گزارش کردند و بیان کردند که کاهش محتوای آب نسبی به شدت، تعرق، هدایت روزنه و فتوسنتز را کاهش می‌دهد. Castrillo و Turujillo(۱۹۹٤) نیز همبستگی مثبتی بین محتوای نسبی آب برگ و غلظت کلروفیل، پروتئین و فعالیت رابیسکو مشاهده کردند.

تأثیر بر روابط آبی گیاه و میزان آب بافت‌های گیاهی و تبادلات گازی برگ‌ها، سبب افزایش محتوای نسبی آب برگ و کاهش تبخیر و تعرق می‌گردند (Anjum et al., 2010). شرایط بهینه بستر با جذب عناصر غذایی و انتقال آنها به گیاه، تجمع یون‌ها یا مولکول‌های آلی را در واکوئل سلول‌های برگ افزایش داده و با کاهش پتاسیل اسمزی برگ سبب حفظ نسبت آب در گیاهان می‌شوند.

در رابطه با تیمارهای حاوی کمپوست زباله شهری، کود دامی و خاک، کمپوست زباله شهری سبب افزایش معنی‌دار وزن تر و خشک اندام هوایی و تعداد گره نسبت به شاهد شدند. این افزایش می‌تواند به‌دلیل افزایش ماده آلی و فراهم شدن مقادیر مناسب عناصر غذایی در خاک و از طرفی بهبود ظرفیت نگهداری آب و بهتر شدن خصوصیات فیزیکی خاک باشد. با افزایش میزان کوکوپیت در بستر کشت، وزن خشک گیاه زیاد شده است. افزایش وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه با استفاده از ورمی‌کمپوست به عنوان ماده آلی دارای هوموس و سایر منابع طبیعی که دارای آثار شبه هورمونی و تحریک جذب عناصر غذایی است، قبلاً گزارش شده است (Pan American Seed Company, 2005). نتایج تحقیق ما با گزارش محققان مذکور در رابطه با افزایش وزن تر و خشک اندام هوایی با کاربرد مواد آلی مطابقت داشت.

اثر تراکم خاک و میزان سطوح مختلف فسفر و روی بر غلظت و جذب فسفر و روی در گیاه شبدر برسی و مشخص شد که فشردگی با تخریب ساختمان خاک و کاهش نفوذ ریشه به درون خاک، سبب کاهش جذب عناصر غذایی از قبیل روی و فسفر می‌شود (Heydari and Koti, 2010). بستری با ظرفیت نگهداری آب بالا، درصد تخلخل زیاد و در نتیجه تهویه و شرایط زهکشی مناسب، می‌تواند شرایط رشد و توسعه مطلوب ریشه از نظر قطر، حجم، طول و اندام هوایی گیاه را فراهم سازد (Barrett et al., 2016).

Akraminejad و همکاران (۲۰۱٦) اظهار داشتند که گیاهان در تیمار کودهای آلی و شیمیایی شاخص کلروفیل بیشتری نسبت به گیاهان شاهد داشتند. در این پژوهش، در بسترهای با ترکیبات آلی شاخص سبزینگی افزایش یافت و این نتایج با یافته‌های Fakharian (۲۰۰۸) مطابقت دارند که گزارش کردند هرگاه میزان عناصر نیتروژن و کلسیم با مصرف ترکیبات آلی از جمله کمپوست قارچ و غیره افزایش

یابد به دنبال آن شاخص سبزینگی نیز در گیاه کاهو افزایش می‌یابد. بر طبق نتایج Azarmi و همکاران (۲۰۱۹) دمای نسبتاً زیاد یا کم محیط ریشه، جذب منیزیم توسط گیاه بوته خیار را تحت تأثیر قرار می‌دهد؛ اما میزان این تأثیر می‌تواند بستگی به نوع و مرحله رشد گیاه داشته باشد. از آنجایی که این عنصر از اجزای اصلی کلروفیل می‌باشد، می‌تواند بر میزان کلروفیل گیاه نیز تاثیر بگذارد. بنابراین، حفظ دمای محیط ریشه نزدیک به دمای هوا، مناسبترین حالت برای تولید عملکرد بیشتر و کیفیت بهتر بخش هوایی از نظر سبزینگی و شادابی گیاه می‌باشد.

نیتروژن و منیزیم بیش از هر عامل دیگری در سنتز کلروفیل لازم هستند، به نحوی که سایر عناصر به تنهایی در این مورد، نمی‌توانند کمبود آن را جبران کنند (Meyer et al., 1973). سایر محققان نیز، به ترتیب در گیاهان تریتیکاله، گندم، چمن رای گرس چند ساله و نیز چمن مرغ به نتایج مشابهی رسیدند (Lingzhi et al., 2004). میزان کلروفیل در قلمه‌ها به طور معنی‌داری تحت تأثیر بسترهای کشت قرار می‌گیرد (Emami, 1977). Shibanirad و همکاران (۲۰۱۵) در بررسی اثر بسترهای کشت مختلف بر صفات کمی و کیفی سه رقم فلفل دلمه‌ای در سیستم هیدروپونیک، گزارش کردند که استفاده از مواد آلی مانند پیت و ضایعات خرما باعث افزایش معنی‌دار کلروفیل نسبت به سایر بسترها می‌شود.

برخی از محققان، تغییر در متابولیسم نیتروژن و سنتز ترکیباتی مانند پرولین، کاهش ضخامت تیغه‌های گرانوم و تخریب کلروپلاست‌ها را علت کاهش محتوای کلروفیل و افزایش کاروتنوئید در گیاه گندم ذکر کردند (Farah et al., 2008). مطالعات انجام شده توسط Kazemi و همکاران (۲۰۲۱) نشان داد که مقدار رنگیزه‌ها در گیاهان تیمار شده با بسترهای آلی افزایش می‌یابد. علاوه بر آن، کاروتنوئیدها با استفاده از چرخه گزانتوفیل و با واکنش‌های اپوکسیداسیون مصرف اکسیژن را کاهش داده و از کلروفیل در مقابل فتواکسیداسیون محافظت می‌کنند. کاروتنوئیدها از خاموش کننده‌های مهم حالت یکتایی کلروفیل و اکسیژن یکتایی محسوب می‌شوند. حضور و افزایش تدریجی آن‌ها با افزایش ظرفیت دفاع آنتی‌اکسیدانی برگ، باعث کاهش رادیکال‌های آزاد تولید شده در برگ شده و از این طریق آسیب به مراکز واکنشی و غشاها کاهش می‌یابد. از طرفی، کاروتنوئیدها از جمله سیستم‌های دفاعی هستند که به تدریج و با بلوغ برگ، جایگزین سیستم دفاعی آنتوسیانینی برگ جوان می‌شوند. میزان تجمع کاروتنوئیدها در برگ می‌تواند به عنوان راه حل‌های مقابله با تنش مطرح باشد (Abbaspour and Rezaei, 2015). کاروتنوئیدها نقش مهمی در حفاظت نوری بر عهده دارند. نتایج آزمایش ما نیز با نتایج آزمایش Koch (۱۹۹۶) در مورد افزایش رنگیزه‌های سبز و کاهش کاروتنوئیدها مطابقت دارد.

Fernandez و همکاران (۲۰۰۵) نشان دادند کوکوپیت باعث اسیدی شدن محیط کشت شده و باعث می‌شود محیط اطراف ریشه اسیدی‌تر گردد. این موضوع باعث می‌شود که جذب آهن بیشتر صورت گیرد. در نتیجه، سبزینگی برگ‌ها بیشتر شده و عدد اسپد بیشتر می‌شود. کاهش pH در اطراف ریشه تا حدی باعث حلالیت بیشتر ترکیبات آهن‌دار، منگنز و روی و جذب بهتر توسط ریشه‌های گیاه می‌شود. احتمالاً، افزایش میزان اسید با افزایش میزان کوکوپیت در رابطه با افزایش جذب آهن است. ورمی‌کمپوست‌ها دارای درصد تخلخل بالا، تهویه مناسب، زهکش خوب و ظرفیت نگهداری آب بالایی هستند. گزارشات نشان می‌دهند که دارای pH نزدیک به خنثی می‌باشند که به دلیل تولید اسیدهای آلی و CO_2 تولید شده و استابولیسم میکروبی می‌باشند. همچنین گزارش شده است که ورمی‌کمپوست حاوی ۱۷-۳۶ درصد اسید

هیومیک و ۱۳-۳۰ درصد اسید فولیک از نظر غلظت کل مواد آلی می‌باشد (Jozay et al., 2020)، موارد ذکر شده را می‌توان دلایلی بر اسیدی بودن بسترهای آلی در این پژوهش دانست. بالا بودن میزان شاخص سبزینگی در تیمار پسماند کمپوست قارچ شسته نشده نسبت به شسته شده را می‌توان به بالا بودن املاح معدنی در بستر کمپوست قارچ نسبت داد. این شرایط ممکن است باعث ایجاد تنش در گیاه شده و منجر به کاهش سطح برگ و افزایش تراکم کلروپلاستی شود (Fallovo et al., 2009). با مطالعه اثر شوری بر ظرفیت فتوسنتزی چغندرقند مشخص شد که با افزایش شوری سطح برگ بیشتر کاهش یافته و میزان شاخص سبزینگی در واحد سطح برگ افزایش پیدا می‌کند (Eudoxie and Alexander, 2011). پژوهش‌ها نشان می‌دهد که به علت هدایت الکتریکی بالای پسماند کمپوست قارچ تازه و تجزیه نشده (EC) نمی‌توان از آن در سطوح بالا، در خاک استفاده گردد. به همین دلیل در این پژوهش از کمپوست دوبار شسته شده قارچ مطابق با دستورالعمل F.L.L استفاده شد تا ضمن افزایش شاخص سبزینگی و شادابی گیاه از بالا رفتن زیاد هدایت الکتریکی و اثرات مضر آن جلوگیری شود.

Bunt (۱۹۸۳) با بررسی ویژگی‌های فیزیکی ترکیبات متفاوتی از پیت و بسترهای معدنی دارای اندازه ذرات و جرم مخصوص ظاهری متفاوت، گزارش کرد که فضای منافذ کل به طور معکوس با جرم مخصوص ظاهری در ارتباط است. آنها همچنین گزارش کردند آب در دسترس گیاه با استفاده از ذرات ریز معدنی تأثیر معنی‌داری نشان نداد. اما وجود ذرات درشت معدنی، آب در دسترس گیاه را کاهش دادند، به ویژه وقتی این بیش از ۲۵٪ حجم بستر را شامل شوند. با کاهش جرم مخصوص ظاهری در بسترهای ترکیبی حجم آب باقی مانده در بستر بعد از زهکش شدن بستر کاهش می‌یابد. در درصدهای ۱۰۰٪ ورمی‌کمپوست تهویه کم در بستر، باعث رشد کمتر بوته گوجه‌فرنگی به نسبت بسترهای ۳۵ و ۵۰٪ شده است (Lazcano et al., 2009). و به دلیل انتخاب بسترهای این پژوهش طبق گایدلاین دیوار سبز مواد آلی بستر از ۳۰ درصد تجاوز نکرد، عملکرد خوبی در رشد گیاه نسبت به بستر شاهد حاصل شد، و این یافته‌ها با یافته‌های لازکانو همسو بود. Argo (۱۹۹۸) بیان کرد رشد بهینه گیاه به فراهم کردن تعادل هوا و آب در دسترس در محیط ریشه بستگی دارد که به حداکثر رشد ریشه و کاهش شیوع بیماری‌ها منتج می‌شود. در این پژوهش بسترهای آلی به دلیل داشتن تخلخل زیاد و مواد معدنی کمتر حجم مناسبی از هوا را انباشت کردند به طوریکه بستر کمپوست قارچ در درجه اول، و بعد بستر خاکبرگ حجم ریشه بیشتری نیز ایجاد کردند.

متراکم شدن خاک می‌تواند به طور مستقیم با کاهش تنفس ریشه و کاهش جذب آب و املاح و به طور غیرمستقیم با نامساعد کردن شرایط شیمیایی خاک، جذب عناصر غذایی را مختل کند که همگی علائم خود را به صورت کاهش سرعت رشد و بروز علائم کمبود نشان می‌دهند (Vanini et al, 2007).

افزایش رطوبت معادل ظرفیت زراعی[1] (FC) و نقطه پژمردگی[2] (PWP) موجود در خاک‌ها به‌دلیل افزایش مقدار کربن آلی و در اثر افزایش مواد آلی و ترشحات میکروبی می‌باشد. Emerson (۱۹۹۵) استفاده از ضایعات آلی کشاورزی باعث افزایش زمان رسیدن به نقطه پژمردگی دائم در تمام تیمارها گردید. ضایعات آلی با کاهش میزان تبخیر و افزایش ظرفیت نگهداری آب سبب افزایش مقدار آب قابل استفاده شده و بدین ترتیب زمان رسیدن به نقطه پژمردگی

1. Field Capacity
2. Permanent wilting point

به‌تأخیر می‌افتد (Reddy and Reddy, 1998). افزایش درصد رطوبت در خاک و مواد آلی باعث بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک مانند تخلخل، پایداری خاکدانه‌ها و جرم مخصوص ظاهری خاک می‌شوند مطابقت دارد (Yongjie and Yangsheng, 2005).

Turkashvnd و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند افزودن ضایعات کشاورزی مانند شاخه‌های هرس شده و خرد شده تاکستان (۲ تن در هکتار) ، وزن تازه کود گاوی (۱۰ و ۲۰ تن در هکتار)، وزن تازه کمپوست قارچ له شده (۸ و ۱۶ تن در هکتار)، بر گیاه لیزوماکیا در نهایت باعث افزایش بیشتر درصد رطوبت قابل استفاده گردید. یافته‌های ما در این پژوهش در مورد بهبود خواص خاک با یافته آزمایش Turkashvnd و همکاران (۲۰۱۷) بر گیاه لیزوماکیا همسو بود.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد بستر کشت آلی با تأثیر بر فراهمی آب و مواد غذایی و همچنین تأثیر بر تخلخل، وزن مخصوص ظاهری، درصد ذرات جامد، درصد حجم هوا و اسیدیته خاک، تأثیر بسزایی بر صفات مورفوفیزیولوژیک مانند محتوای نسبی آب برگ، سطح برگ، افزایش زیست‌توده کل، صفات مرتبط با ریشه و رنگیزه‌های گیاهی می‌گذارند سبب شادابی و افزایش بیشتر سبزینگی گیاه می‌شوند. همچنین از نظر عملکردی و بهبود شرایط رشد گیاه نیز تفاوت معنی‌داری بین بسترهای آلی وجود داشت. با توجه به اینکه بستر ترکیبی حاوی کمپوست قارچ در اندازه‌گیری فاکتورهای مورفوفیزیولوژیک گیاه فرانکنیا تأثیر مثبت را داشت، این تیمار می‌تواند به منظور اصلاح صفات کیفی گیاهان در دیوارهای سبز خارجی به کار رفته در این بررسی در شرایط آب و هوایی مشابه شهر مشهد استفاده شود. در مورد گیاه فرانکنیا می‌توان گفت در فصل زمستان در شرایط خوبی نبوده و به‌دلیل تولید پوشال از سبزینگی کافی برای ایجاد زیبایی بصری برخوردار نیست، بنابراین از جاذبه دیداری و زیبایی کافی این گیاه در فصول بهار، تابستان و پاییز در بستر بازیافتی پسماند مصرف شده کمپوست قارچ در دیوارهای سبز خارجی می‌توان بهره گرفت.

References

Abbaspour, H., and Rezaei, H. (2015). The effect of gibberellic acid on the rate of the reaction of heat, photosynthetic pigments and phenolic compounds in the medicinal plant Dracocephalum moldavica L. under drought stress conditions. Plant Research Journal (Iranian Biology Journal). 5(27): 893-903.

Akhwan, S., Shabanpour, M., and Esfahani, M. (2012). The effect of soil compaction and soil texture on the growth of wheat roots and shoots. Journal of Water and Soil, 26(3): 735-727 (In Persian).

Akraminejad, A., Safari, M., and Ruhollah Abdulshahi, R. (2016). Investigating the effect of organic and chemical fertilizers on the yield and essential oil of two native stands of savory (Satureja hortensis L.) under normal conditions and drought stress in Kerman region. Iranian Agricultural Research Journal, 13: 675-686.

Allison, L.E., and Moodie, C.D. (1965). Carbonate. p. 1379-1400. In C.A. Black et al. (Ed.) Methods of Soil Analysis. Part 2. 2nd Ed. Agron. Monogr. 9. ASA, CSSA, and Soil Science Society of America, Madison, WI.

Anjum, M.A., Naveed, F., Shakeel, F., and Amin, S. (2001). Effect of some chemicals on keeping quality and vase life of Tuberose (*Polianthes tuberosa* L.) cut flowers. Journal of Research in Science. 12(1): 1-7.

Argo, W. R. (1998). Root medium chemical properties. Hort Technology, 8(4): 486-494.

Azarmi, R., Tabatabai, J., and Chaparzadeh, N. (2019). Effect of magnesium and temperature of root environment on growth, yield and physiological characteristics of greenhouse cucumber in water culture system. Science and Technology of Greenhouse Crops, 9 (2): 11-21 (In Persian).

Barrett, G.E., Alexander, P.D., Robinson, J.S., and Bragg, N.C. (2016). Achieving environmentally sustainable growing media for soilless plant cultivation systems – A review. Scientia Horticulturae, 212: 220–234.

Boyd, J. (2007). Nonmarket benefits of nature: What should be counted in green GDP? Ecological Economics, 61(4), 716–723.

Bunt, A.C. (1983). Physical properties on mixtures of peats and minerals of different particle size and bulk density for potting substrates. Acta Horticulturae, 150: 143-153.

Caprotti, F., and Romanowicz, J. (2013). Thermal eco-cities: Green building and urban thermal metabolism. International Journal of Urban and Regional Research, 37(6), 1949–1967.

Castrillo, M., and Turujillo, I. (1994). Ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase activity and chlorophyll and protein contents in two cultivares of french bean plants under water stress and rewatering. Photosynthtica Journal, 30: 175.

Chen, Y., Inbar, Y. and Hadar. Y. (1988). composted agricultural wastes as potting media for ornamental plants. Soil Science, 145(4): 298-303.

Davis, M.J.M., Ramirez, F., and Pérez, M.E. (2016). More than just a Green Façade: vertical gardens as active air conditioning units. Procedia Engineering, 145: 1250-1257.

Dere, S., Günes, T., and Sivaci, R. (1998). Spectrophotometric determination of chlorophyll-a, b and total carotenoid contents of some algae species using different solvents, Turkish Journal of Botany, 22; 7–13.

Djedjiga, R., Belarbi, R and Bozonnet, E. (2017). Green wall impacts inside and outside buildings: experimental study. Energy Procedia. 139: 578-583.

Djedjiga, R., Bozonnet, E., and Belarbi, R. (2015). Analysis of thermal effects of vegetated envelopes: Integration of avalidated model in a building energy simulation program. Energy and Buildings, 86: (93–103).

Dover, J.W. (2015). Green infrastructure: Incorporating plants and enhancing biodiversity in buildings and urban environments. Abingdon; Oxon; New York: Routledge.

Elhami, H. (2015). Effects of drought stress on yield and quantitative characteristics and characteristics of four covered plant species with potential for use in Mashhad green space. Master thesis. Faculty of agriculture, Ferdowsi University of Mashhad.

Emami, A. (1997). Methods of plant decomposition (Volume 1), Water and Soil Research Institute. 2: 128 (In Persian).

Emerson, W.W. (1995). Water retention, organic C and soil texture, Australian Journal of Soil Research, 17: 45-56.

Eudoxie, G.D., and Alexander, I.A. (2011). Spent mushroom substrate as a transplant media replacement for commercial peat in tomato seedling production. Journal of Agricultural Science, 3: 4. 41-49.

Fallovo, C., Rouphael, Y., Cardarelli, M., Rea, E., Battistelli, A., and Colla, G. (2009). Yield and quality of leafy lettuce in response to nutrient solution composition and growing season. Journal of the Science of Food and Agriculture. Environ. 7: 2. 456-462.

Fakharian, N., Hassanpour Asil, M., and Samizadeh Lahiji, H. (2008). Effects of temperature, thickness of polypropylene shrink wrapping and modified atmosphere packaging on storage longevity of lettuce (*Lactuca sativa* L.). Journal of Horticultural Science and Technology, 22(2):135-145.

Farah, S., Hosseinian, A., Wende Li, A. and Trust, B. (2008). Measurement of

anthocyanins and other phytochemicals in purple wheat. Food Chemistry, 109: 916-924.

Fernandez, V., Ebert, G. and Winklmann, G. (2005). The use of microbial siderophores for foliar iron application studies. Plant Soil, 272: 245-252.

Fisher, S. (2013). Growing up the wall: How to grow food in vertical places, on roofs and in small spaces. Totnes: Green.

Ghasemi Ghahsare, M., and Kafi, M. (2010). Floriculture (scientific and practical). Volume 2. Publications of the author.

Haggag, M., Hassan, A., and Elmasry, S. (2014). Experimental study on reduced heat gain through green facades in ahigh heat load climate. Energy and Buildings, 82: 668–674.

Heydari, F., and Koti, A.R. (2010). The effect of soil compaction and different levels of phosphorus and zinc on the concentration and absorption of zinc in clover plant. Abstract collection of articles, 11th Iran Soil Science Congress, 218.

Hossain, M.I., Khatun, A., Talukder, M.S.A., Dewan, M.M.R., and Uddin, M.S. (2010). Effect of drought on physiology and yield contributing characters of sunflower. Bangladesh Journal of Agricultural Research, 35(1): 113-124.

Hunter, A.M., Williams, N.SG., Rayner, J.P., Aye, L., Hes, D., and Livesley, S.J. (2014). Quantifying the thermal performance of green façades: a critical review. Ecological Engineering, 63:102–13.

Jozay, M., Kazemi, F., and Fotovat, A. (2019). Evaluating the environmental performance of the growing media in a green wall system in a dry climate region. Desert, 20: 217-230.

Jozay, M. (2020). Effect of growing media on morphophysiological characteristics of some ground cover plants for usage in an external green wall system, Master's thesis, Ferdowsi University of Mashhad (In Persian).

Jozay, M., Kazemi, F., and Fotovat, A. (2020). Investigating the effect of the type of cultivation substrate and plant species on the quality performance and growth index of the external green wall in the climatic conditions of Mashhad in the summer season. 11th Horticultural Science Congress, Urmia (In Persian).

Jozay, M. and Rabbani Khairkhah, S.M. (2021). Vertical green systems (green wall). Iran Publishing (Arastu Publication).

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 Arshive, 21: 2240-2252. ttps://doi.org/10.51470/PLANTARCHIVES.2021.v21.S1.370.

Kazemi, F., Beecham, S., and Gibbs, J. (2011). Streetscape biodiversity and the role of bioretention swales in an Australian urban environment. Landscape and Urban Planning, 101: 139–148.

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., Jozay, M. (2020). Investigating plant and air-quality performances of an internal greenwall system under hydroponic conditions. Environmental Management. 275. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111230

Kocheki, A., and Banaiane, M. (1994). The Physiology of Crop Yield. Mashhad Jihad-e-Daneshgahi Press.

Koch, K. (1996). Carbohydrate-modulated gene expression in plants. Ann. Rev. Plant Physiology, 47: 509-540.

Lazcano, C., Arnold, J., Tato, A.J., Zaller, J.G., and Domı´nguez, J. (2009). Compost and vermicompost as nursery pot components: effects on tomato plant growth and morphology. Spanish Journal of Agricultural Research, 7(4): 944–951.

Lingzhi, T., Zhaorong, D., Jie, S., Bo, Z., Changan, L., and Yan yan, L. (2004). Effect of mowing and topdressing of nitrogen on photosynthetic characteristics in triticale. Anhui Agricultural University, 31(1): 72-75.

Manso, M., and Castro-Gomes, J.P. (2016). Thermal analysis of a new modular system for green walls. Journal of Building Engineering, 7: 53-62.

Marchi, M., Pulselli, R.M., Marchettini, N., Pulselli, F.M., and Bastianoni, S. (2015). Carbon dioxide sequestration model of a vertical greenery system. Ecological Modelling, 306: 46–56.

Meyer, B.S., Anderson, D.B., Bohning, R.H., and Fratianne, D.G. (1973). Introduction to Plant Physiology. Van Nostrand press.

Minghong, T., and Xiubin, L. (2015). Does the Green Great Wall effectively decrease dust storm intensity in China? A study based on NOAA NDVI and weather station data. Land Use Policy, 43: (42–47).Pan American Seed Company. (2005). Production Information Guide. 96 p.

Pérez, G., Rincón, L., Vila, A., González, J.M., and Cabeza, L.F. (2011). Behaviour of green facades in Mediterranean Continental climate. Energy Conversion and Management, 52: 1861e7.

Perini, K., Ottelé, M., Fraaij, A.L.A., Haas, E.M., and Raiteri, R. (2011). Vertical greening systems and the effect on air flow and temperature on the building envelope, Build. Environ, 46: 2287–2294.

Prodanovic, V., Hatt, B., McCarthy, D., Zhang, K., and Deletic, A. (2017). Green walls for greywater reuse: understanding the role of media on pollutant removal. Ecological Engineering,102: 625–635. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.02.045.

Raviv, M. and Lieth, J.H. (2008). Soilless Culture: Theory and Practice. London, UK, pp. 245-69.

Reddy, B. G., and Reddy, M.S. (1998). Soil health and crop productivity in in alfisol with ntegrated plant nutrient supply system. Proceeding of the 9thAustralian Agronomy Conference. Wagga Wagga. Australia.

Romanova, A., Horoshenkov K., and Hurrell, A. (2019). An application of a parametric transducer to measure acousticabsorption of a living green wall. Applied Acoustics, 145: 89-97.

Sajjadinia, A., Ershadi, A., Hokmabadi, H., Khayyat, M., and Gholami, M. (2010). Gas exchange activities and relative water content at different fruit growth and developmental stages of on and off cultivated pistachio trees. American Journal of Agricultural Economics, 1: 1-6.

Shibanirad, A., Haghighi, M., and Khoshgoftarmanesh, A. (2015). The effect of decreasing temperature and reducing the amount of nitrogen on the physiological characteristics (growth and photosynthesis) of lettuce (Lactuca sativus). Plant process and function. 4 (13): 121 (In Persian)..

Soltani, A., Torabi, B., Galeshi, S., and Zeinali, E. (2010). Analyzing Wheat yield constraints in Gorgan with comparative performance analysis (CPA) method.

Turkashvnd, A.M., Sedaghat Hor, Sh., and Jamalpour, H. (2017). Effects of multiple organic substrates and a synthetic moisture superabsorbent on soil usable water, permanent wilting point delay and Lysimachia plant growth. Journal of Sciences, Water and Soil, 20: 75:99-8 (In Persian).

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. Journal of Environmental Management, 192: 215-223.

Van Bohemen, H. (2005). Ecological Engineering, Bridging between Ecology and Civil Engineering, Aeneas Technical Publishers , Boxtel, The Netherlands.

Vanini, J.T., Henderson, J.J., Sorochan, J.C., and Rogers, J.N. (2007). Evaluating traffic stress by the Brinkman traffic simulator and Cady traffic simulator on a Kentucky

bluegrass stand. Crop Science, 47: 782-786.

Virtudes, A., and Manso, M. (2014). Green façades: as a feature in urban design. In: International Conference on Engineering. 17-18 October. University of Beira Interior, Covilhã, Portugal.

Williams, N.S.G., Rayner, J.P., Raynor, K.J. (2010). Green roofs for a wide brown land: opportunities and barriers for rooftop greening in Australia. Urban Forestry and Urban Greening, 9: 245–251.

Wong, N.H., Kwang Tan, A.Y., Chen, Y., Sekar, K., Tan, P.Y., and Chan, D. (2012). Thermal evaluation of vertical greenery systems for building walls. Building and Environment, 45(3): 663e72.

Yongjie, W., and Yangsheng, L. (2005). Effect of sewage sludge compost application on crops and cropland in a 3-year fields study. Chemosphere, 59: 1257-1265.

Zhe, W., li, Z., and jing, S. (2011). On the beauty of green expo architecture and sustainable development— taking "China Pavilion" as an example. Procedia Engineering, 21: 163-167.