

Investigating the functional and environmental effects of *Ophiopogon japonicus* and *Festuca ovina glauca* under the influence of growth-promoting bacteria and types of recycled water in the vertical green system

Mansoure Jozay¹, Hossein Zarei^{2*}, Sarah Khorasaninejad³, Taghi Miri⁴

¹ Department of Horticultural Sciences, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran, Email: mansoureh.jozay_s99@gau.ac.ir,

² Department of Horticultural Sciences, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran, Email: h.zarei@gau.ac.ir

³ Department of Horticultural Sciences, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran, Email: khorasaninejad@gau.ac.ir

⁴ School of Chemical Engineering, University of Birmingham, B15 2TT, United Kingdom, Email: t.miri@bham.ac.uk

Article type:

Research article

Abstract

Article history

Received: 21.01.2024

Revised: 11.05.2024

Accepted: 18.05.2024

Published: 21.06.2024

Keywords

Dry climate
Sustainable future
of cities
Thermal and
humidity
adjustment
External green wall
Water use
efficiency
Accumulator
ornamental species

Vegetation in cities is decreasing due to rapid urbanization and population growth. The development of vertical green infrastructure significantly helps to compensate for the lack of natural environment in urban areas. This research aimed to investigate the effect of different types of unconventional and bacterial strains on the growth and performance of some acclimate accumulator ornamental plants in the external green wall in two separate experiments and the form of split plots based on a randomized complete block design in 2022. The main factor of recycled water treatment included three levels (grey water, waste water of Kashfroud area and urban water (control)), and the sub-factor of different bacterial strains in four levels (B1: *Pseudomonas fluorescens* + *Azospirillum lipoferum* + *Thiobacillus thioparus* + *Azotobacter chroococcum*, B2: *Paenibacillus polymyxa* + *Pseudomonas fildesensis* + *Bacillus subtilis* + *Achromobacter xylosoxidans* + *Bacillus licheniformis*, B3: *Pseudomonas putida* + *Acidithiobacillus ferrooxidans* + *Bacillus velezensis* + *Bacillus subtilis* + *Bacillus methylotrophicus* + *Microbacterium testaceum* and B0: Without the use of bacteria). Also, the investigated plant species included (*Festuca ovina glauca*, *Ophiopogon japonicus*). All functional traits showed significant differences at the 5% probability level. The highest number of flowers, the number of leaves, and the highest biomass and water use efficiency in *Ophiopogon japonicus* were observed in substrates inoculated with B3 compound and irrigated with wastewater. However, in the *Festuca ovina glauca*, the most functional traits mentioned were in the substrates inoculated with B1 compound and irrigated with gray water. Combining the substrates with combination B3 and B2 and irrigation with wastewater effectively adjusted the temperature and humidity of two lawns in all three seasons of the study. The results of this research

suggest the integration of the substrates with the combination of bacteria and the use of recycled water in external green walls in dry climates for the sustainable future of contemporary cities to include green space.

Abbreviation

Mix1: B1 (*Pseudomonas fluorescens* + *Azospirillum lipoferum* + *Thiobacillus thioparus*+ *Azotobacter chroococcum*), Mix 2: B2 (*Paenibacillus polymyxa* + *Pseudomonas fildesensis* + *Bacillus subtilis*+ *Achromobacter xylosoxidans*+ *Bacillus licheniformis*), Mix 3: (B3: *Pseudomonas putida*+ *Acidithiobacillus ferrooxidans*+ *Bacillus velezensis*+ *Bacillus subtilis*+ *Bacillus methylotrophicus*+ *Microbacterium testaceum*) and B0: Without the use of bacteria.

Cite this article as: Jozay, M., Zarei, H., Khorasaninejad, S., Miri, T. (2023). Investigating the functional and environmental effects of *Ophiopogon japonicus* and *Festuca ovina* glauca under the influence of growth-promoting bacteria and types of recycled water in the vertical green system. *Journal of Plant Environmental Physiology*, 19(2): 19-44.



©The author(s)

Publisher: Islamic Azad University, Gorgan branch

Doi: <https://doi.org/10.71890/iper.2024.984475>

بررسی اثرات عملکردی و زیست محیطی چمن‌های یال‌اسبی (*Ophiopogon japonicus*) و فستوکا (*Festuca ovina glauca*) تحت تأثیر باکتری‌های محرک رشد و انواع آب‌های بازیافتی در سیستم سبز عمودی

منصوره جوای^۱، حسین زارعی^{۲*}، سارا خراسانی‌نژاد^۳، تقی میری^۴

^۱ گروه علوم باغبانی، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران، رایانامه: mansoureh.jozay_s99@gu.ac.ir

^۲ گروه علوم باغبانی، دانشکده تولیدات گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران، رایانامه: h.zarei@gu.ac.ir

^۳ گروه علوم باغبانی، دانشکده تولیدات گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران، رایانامه: khorasaninejad@gu.ac.ir

^۴ دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه بیرمنگهام، B15 2TT، انگلستان، رایانامه: t.miri@bham.ac.uk

نوع مقاله:	چکیده
مقاله پژوهشی	پوشش گیاهی در شهرها به دلیل شهرنشینی سریع و رشد جمعیت در حال کاهش است. توسعه زیرساخت‌های سبز عمودی به طور قابل توجهی در جبران عدم وجود محیط طبیعی در مناطق شهری کمک می‌کند. پژوهش حاضر به منظور بررسی تأثیر انواع آب‌های نامتعارف و همچنین سویه‌های باکتری بر رشد و عملکرد برخی گیاهان زینتی انباشتگر در دیوار سبز خارجی به صورت ۲ آزمایش مجزا و در قالب کرت‌های خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۴۰۱ انجام شد. فاکتور اصلی تیمار آب‌های بازیافتی شامل سه سطح (آب خاکستری، پساب فاضلاب ناحیه کشف‌رود و آب لوله‌کشی شهری (شاهد))، فاکتور فرعی سویه‌های مختلف باکتری‌های محرک رشد در چهار سطح شامل (ترکیب ۱: B1 (<i>Pseudomonas fluorescens</i> + <i>Azospirillum lipoferum</i> + <i>Thiobacillus thioparus</i>) + <i>Paenibacillus polymyxa</i>)، ترکیب ۲: B2 (<i>Azotobacter chroococcum</i> + <i>Pseudomonas fildesensis</i> + <i>Bacillus subtilis</i> + <i>Achromobacter xylosoxidans</i> + <i>Pseudomonas putida</i> + <i>Acidithiobacillus</i>)، ترکیب ۳: B3 (<i>Bacillus licheniformis</i> + <i>Bacillus subtilis</i> + <i>Bacillus velezensis</i> + <i>Bacillus ferroxidans</i>) و B0 سطح شاهد بدون کاربرد باکتری) و و گونه‌های گیاهی مورد بررسی شامل فستوکا روبرا (<i>Festuca ovina glauca</i>)، چمن یال‌اسبی (<i>Ophiopogon japonicus</i>) بود. تمام صفات عملکردی در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی‌دار نشان دادند. بالاترین تعداد گل، سطح برگ و بیشترین زیست‌توده و کارایی مصرف آب در چمن یال‌اسبی در بسترهای تلقیح شده با ترکیب B3 و آبیاری با پساب فاضلاب رویت شد. اما در چمن فستوکا بیشترین صفات عملکردی مذکور در بسترهای تلقیح شده با ترکیب B1 و آبیاری با آب خاکستری بود. تلفیق بستر کشت با ترکیب B3 و پس از آن ترکیب B2 و آبیاری با پساب فاضلاب در تعدیل حرارتی و رطوبتی دو چمن در هر سه فصل پژوهش موثر بود. نتایج این پژوهش تلفیق بستر کشت با ترکیب باکتری‌های رشد و استفاده از آب‌های بازیافتی در دیوارهای سبز خارجی را در اقلیم خشک برای آینده پایدار شهرهای معاصر در جهت گنجاندن

واژه‌های کلیدی:

اقلیم خشک
آینده پایدار شهرها
تعدیل حرارتی و رطوبتی
دیوار سبز خارجی
کارایی مصرف آب
گونه‌های زینتی انباشتگر

مخفف‌ها:

ترکیب ۱: B1 (*Pseudomonas fluorescens* + *Azospirillum lipoferum* + *Thiobacillus*)
ترکیب ۲: B2 (*Paenibacillus polymyxa* + *thioparus* + *Azotobacter chroococcum*)
ترکیب ۳: B3 (*Pseudomonas fildesensis* + *Bacillus subtilis* + *Achromobacter xylosoxidans* + *Bacillus licheniformis*)
Bacillus velezensis + *Bacillus subtilis* + *Bacillus methylotrophicus* + *Microbacterium testaceum* و B0 سطح شاهد بدون کاربرد باکتری.

استناد: جوزای، منصوره؛ زارعی، حسین؛ خراسانی‌نژاد، سارا؛ میری، تقی. (۱۴۰۳). بررسی اثرات عملکردی و زیست‌محیطی چمن‌های یال‌اسبی (*Ophiopogon japonicus*) و فستوکا (*Festuca ovina glauca*) تحت تأثیر باکتری‌های محرک رشد و انواع آب‌های باز یافتی در سیستم سبز عمودی. *فیزیولوژی محیطی گیاهی*، ۱۹(۲)، ۴۴-۱۹.

Doi: <https://doi.org/10.71890/iper.2024.984475>

ناشر: دانشگاه آزاد اسلامی، واحد گرگان

© نویسندگان.



مقدمه

نمای سبز ساختمان مکان ایجاد یک معماری سازگار با محیط زیست را فراهم می‌کند، پوشش گیاهی برای برقراری ارتباط با عموم مردم پتانسیل گسترده دارد (Heathcote, 2015). تلاش اولیه برای ادغام پوشش گیاهی در طراحی نمای ساختمان‌ها، با هدف استفاده از عناصر زنده در نظم هندسی منطقی، سبکی مشابه با باغبانی کلاسیک ایجاد می‌کند (Blanc, 2008). به دلیل نگرانی‌های اقتصادی و زیست محیطی و با توجه به اینکه مناطق شهری در آینده پرجمعیت‌تر می‌شوند، بهبود شرایط زندگی شهری ضروری است (Ferreira et al., 2021). برنامه‌های بین المللی مختلفی برای بهبود زیست پذیری شهرها تدوین شده‌است، مانند اهداف توسعه پایدار (SDG's) شهرها و سکونت‌گاه‌های انسانی فراگیر، ایمن، انعطاف‌پذیر و پایدار" تا سال ۲۰۳۰، دسترسی همگانی به فضاهای سبز و عمومی امن، فراگیر و قابل دسترسی، به‌ویژه برای زنان و کودکان، افراد مسن و افراد دارای معلولیت فراهم می‌کند (United Nations, 2020).

علاوه بر این، اثر خنک‌کنندگی دیوارهای سبز خارجی بر دمای اطراف توسط Banti و همکاران (۲۰۲۳) بررسی شده است. آنها نشان دادند که فضای سبز عمودی به کاهش دمای سطح و خنک شدن مناطق اطراف کمک می‌کند. فرآیند تبخیر و تعرق گیاهان، همراه با اثرات سایه‌اندازی، به کاهش دمای محیط کمک می‌کند، محیط‌های شهری را راحت‌تر می‌کند و مصرف انرژی برای سرمایش را کاهش می‌دهد. این تنظیم دما نه تنها رفاه ساکنان شهری را افزایش می‌دهد، بلکه به صرفه‌جویی در انرژی و پایداری کمک می‌کند. محققانی دیگر اثرات خنک‌کنندگی باغ‌های عمودی بر اقلیم کوچک را

بررسی کرده‌اند و پتانسیل آن‌ها را برای کاهش استرس گرمایی و مصرف انرژی برای خنک‌سازی برجسته کرده‌اند. فرآیند تبخیر و تعرق گیاهان و اثر سایه‌زنی ایجاد شده توسط دیوارهای سبز به کاهش اثر جزیره گرمایی شهری کمک می‌کند و شهرها را راحت‌تر و پایدارتر می‌کند (Brázdová et al., 2020).

نوع آبی که برای آبیاری استفاده می‌شود نقش مهمی در موفقیت دیوارهای سبز خارجی دارد. محدودیت آب شیرین برای آبیاری کشاورزی به‌ویژه در کشورهای واقع در منطقه خشک یک چالش جهانی است. برای مقابله با این وضعیت، استفاده مجدد از فاضلاب تصفیه شده به‌عنوان یک منبع آب غیرمتعارف اخیراً اهمیت قابل توجهی یافته است (UNESCO, 2020). بنابراین، در مناطقی که از کمبود آب رنج می‌برند، می‌توان از این منابع برای تکمیل یا جایگزینی استفاده از آب شیرین برای کاربردهایی که به کیفیت آب آشامیدنی نیاز ندارند، به‌ویژه آبیاری کشاورزی استفاده کرد (Helmecke et al., 2020). استفاده مجدد از پساب تصفیه شده فرصت مهمی برای پرداختن به اختلاف بین تقاضا و منابع آب است زیرا اگر به‌درستی تصفیه و بازیافت شوند، می‌توانند بیش از ۱۳ درصد از کل نیاز آب را پوشش دهند (Alhamed et al., 2018). در واقع، طرح ملی آب^۲ (PNE) و برنامه ملی برای استفاده مجدد این عمل را ترویج می‌کند و هدف آن افزایش استفاده مجدد از فاضلاب تصفیه‌شده به ۳۲۵ میلیون مترمکعب در سال تا سال ۲۰۳۰ است (World-Bank Gestion de la Rareté de l' Eau en Milieu Urbain au Maroc, 2017).

تمامی کارکردهای ذکرشده برای دیوارهای سبز منوط به پایداری و استقرار و زنده‌مانی گیاهان در این سیستم‌ها می‌باشد. البته این موضوع دور از انتظار

² National Water Plan¹ Sustainable Development Goals

نیست که با توجه به محدود بودن بستر کشت و سایر شرایط تنش‌زا (دمای بالا و کمبود رطوبت، کمبود مواد مغذی) نگهداری استقرار گیاهان در سیستم‌های سبز کار دشواری است اما محققان روش‌هایی جهت افزایش زنده‌مانی گیاهان دیوار سبز پیشنهاد داده‌اند که نیاز به بررسی بیشتر دارد استفاده از باکتری‌های محرک رشد گیاهی مقاوم به فلز، روشی کارآمد برای افزایش عملکرد محصول از طریق بهبود تجمع زیست‌توده و تحمل گیاه به فلزات سنگین در پساب فاضلاب است.

در همین راستا، باکتری‌های محرک رشد گیاه^۱ (PGPR) به عنوان راه‌حلی ممکن برای کاهش اتکای صنعت به مواد شیمیایی کشاورزی و در عین حال بهبود عملکرد محصول مورد بررسی قرار گرفته‌اند. PGPR باکتری‌هایی هستند که در داخل یا اطراف گیاهان زندگی می‌کنند. آنها می‌توانند از طریق مکانیسم‌های مختلف، مانند تولید هورمون‌های گیاهی مکمل، محافظت در برابر تنش‌های زیستی و غیرزیستی، و بهبود جذب مواد مغذی و آب، مزایای رشد را به همراه داشته باشند (Glick, 2012). خاک ریزوسفری معمولاً به دلیل وجود ترشحات ریشه گیاه به شکل ترکیبات کربنی و اسیدهای آلی، غلظت بیشتری از باکتری در مقایسه با بقیه خاک دارد. این ترشحات ریشه هزینه کربن قابل‌توجهی را برای گیاهان ایجاد می‌کنند و واسطه تلاقی گیاه-باکتری هستند (Badri et al., 2009). برای اینکه کسری هزینه کربن جبران شود، باکتری‌ها باید عملکردهای تقویت‌کننده رشد را ارائه دهند. باکتری‌های مفید فواید مختلفی برای تغذیه گیاه دارند، به‌ویژه درشت مغذی‌هایی مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم، همچنین ریزمغذی‌های خاصی مانند آهن، که جزء ضروری کلروفیل است را جذب می‌کنند. از طرفی تولید بیش

از حد IAA توسط باکتری‌ها نیز با افزایش تولید 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid (ACC) مرتبط است (Ruzzi and Aroca., 2015). اکسین‌ها با تعدیل بیان آکوپورین باعث ظهور ریشه‌های جانبی می‌شوند علاوه بر این، سیگنال‌دهی اکسین در تشکیل و نگهداری مریستم‌های آپیکال ساقه و رشد ساقه دخیل است (Fan et al., 2023).

تصفیه و استفاده از آب خاکستری یک راه‌حل بسیار جالب برای ترویج مدیریت پایدار آب در شهرها است (Lu et al., 2019). این آب بیش از ۷۵ درصد از فاضلاب خانگی را تشکیل می‌دهد که از زباله‌های توالی عاری است (Ghaitidak and Yadav, 2013) که در کشورهای توسعه‌یافته ممکن است حجم روزانه تا ۱۲۰ لیتر برای هر نفر را به‌خود اختصاص دهد (Morel and Diener, 2006). حجم قابل‌توجهی از فاضلاب خانگی (۴۵ تا ۶۰ درصد) می‌تواند در محل تصفیه و مورد استفاده مجدد قرار گیرد، که هم حجم تقاضای آب شیرین در خانوارها را کاهش می‌دهد (Humeau et al., 2011) و هم انرژی مورد نیاز برای تصفیه فاضلاب خانگی در فاضلاب متمرکز را کاهش می‌دهد. هنگام استفاده از آب بازیافتی باید عواملی مانند کیفیت آب و روش‌های تصفیه را در نظر گرفت.

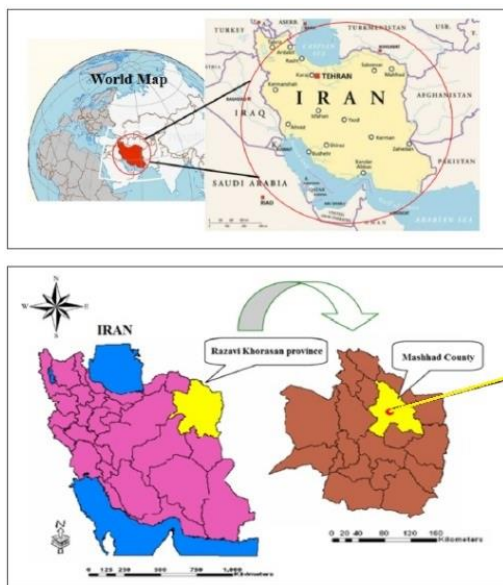
چمن یال‌اسبی با نام علمی *Ophiopogon japonicus* و از خانواده Convallariaceae / Liliaceae، بومی چین، ویتنام، هند و ژاپن و گیاهی دائمی و همیشه‌سبز است. توده فشرده‌ای از برگ‌های سبز تیره به پهنای ۳ میلی‌متر و طول ۳۰ سانتی‌متر تشکیل شده‌است. گیاهان به آرامی با ساقه‌های زیرزمینی گسترش یافته و چمن سفت و خشنی به ارتفاع ۱۵ تا ۲۰ سانتی‌متر ایجاد می‌کند. گل‌های کوچک به رنگ یاسی کمرنگ در تابستان و سنبله‌های کوتاه که اغلب در میان برگ‌ها هستند ظاهر می‌شود.

¹ Plant Growth Promoting Rhizobacteria

را در پی خواهد داشت.

مواد و روش‌ها

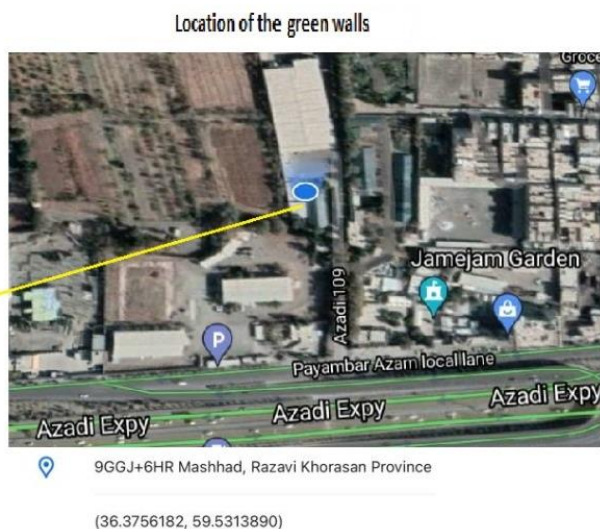
شرایط و مکان اجرای آزمایش: پژوهش مورد نظر در شهر مقدس مشهد در شمال شرقی ایران انجام گرفت. مشهد مرکز استان خراسان رضوی، دومین شهر بزرگ و پرجمعیت ایران در شمال شرق کشور با اقلیمی نیمه خشک، زمستان‌های سرد و تابستان‌های گرم و خشک است. میزان متوسط بارندگی سالیانه حدود ۲۵۵ میلی‌متر می‌باشد. میانگین حداقل و حداکثر دما سالانه به ترتیب ۴- و ۲۲ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی در حدود ۴۰ درصد گزارش گردیده است (National Centers for Climatology, 2019). واقع محل دقیق آزمایش روی دیواری به طول ۱۸ متر در محوطه بیرونی سردخانه پیرشا واقع در شمال شهر مشهد (ارتفاع از سطح دریا ۹۹۵ متر، مختصات جغرافیایی، ۳۶ درجه و ۱۸ دقیقه شمالی، ۵۹ درجه و ۳۶ درجه شرقی) بود (شکل ۱).



شکل ۱: موقعیت محل مطالعه در مشهد

این گیاه مقاوم به سایه بوده و سایه آفتاب‌پسند می‌باشد. از لحاظ دمایی مقاوم و نیمه‌مقاوم به سرما می‌باشد. سرما را تا ۵ درجه سانتی‌گراد زیر صفر تحمل می‌کند (Janani et al., 2018). فستوکا: با نام علمی *Festuca ovina glauca* و از خانواده Poaceae، بومی و از گراس‌های همیشه‌سبز است. این گیاه از دسته به‌هم پیوسته نرم اما محکمی از برگ‌های سوزنی شکل به طول ۱۰ تا ۲۵ سانتی‌متر به شکل توده‌ای منفرد تشکیل شده است (Yang et al., 2022).

با بررسی این عناصر، این مقاله پتانسیل دیوارهای سبز خارجی را برای ایجاد مناظر شهری سبزتر و پایدارتر نشان می‌دهد که با استفاده از ترکیب‌های متفاوت سویه‌های باکتری مختلف و کاربرد همزمان آب‌های بازیافتی باعث بهبود شرایط رشدی و تغذیه‌ای گیاهان مورد نظر و همچنین کنترل تغییرات دما و رطوبت بستر کشت می‌شوند و به دنبال آن افزایش کارکردهای عملکردی و زیست‌محیطی گیاهان

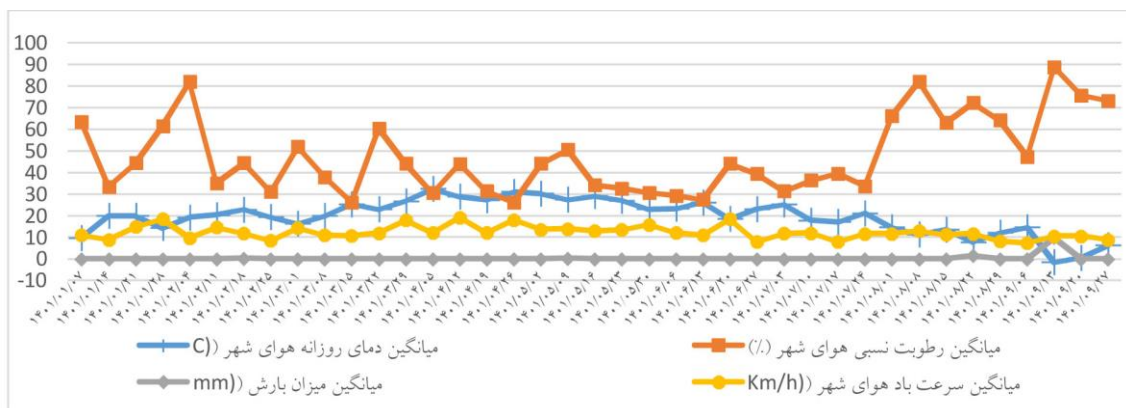


در مکانی با فاصله مناسب از عوامل ایجاد سایه و در جهت شرقی - غربی استقرار یافت. سیستم کشت

برای انجام این تحقیق پانل‌های کشت عمودی (مش از جنس مفتول فولادی با ضخامت ۵ میلی‌متر)،

عمودی مورد استفاده در این طرح، تحت‌عنوان سیستم المیچ (طرح اولیه مالیزیایی) بود. واحدهای آزمایشی شامل گلدان‌های المیچ دیوار سبز، گلدان‌های پلاستیکی که از پلی‌پروپیلن نو و یا بازیافتی و با عرض و طول ۲۰×۲۰ و با حدود عمق ۲۱ سانتی‌متر می‌باشد. به‌عنوان لایه زهکش در انتهای گلدان‌ها از لیکا استفاده شد و پس از آن یک لایه ژئوتکستایل به‌عنوان فیلتر خاک قرار داده شد. در هر پلات دو عدد از هرگونه گیاهی مورد آزمایش، کشت گردید. هر دیوار شامل دو پانل ۱۰۶×۴۴ سانتی‌متر و هر سه دیوار یک تکرار از این آزمایش بود. هر دیوار شامل ۴ ردیف عمودی و ۴ ردیف افقی است. در هر دیوار ۱۶ پلات (واحد آزمایشی) در نظر گرفته‌شد. با در نظر گرفتن دو گیاه و تیمارهای نامبرده با سه تکرار،

آزمایش اول شامل ۷۲ واحد آزمایشی بود (شکل ۲). این پژوهش به‌صورت ۲ آزمایش مجزا و در قالب کرت‌های خردشده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۴۰۱ اجرا شد. بستر کشت مورد استفاده در تمامی واحدهای آزمایش یکسان و شامل (۲۵٪ کوکوپیت، ۵٪ ورمی‌کمپوست ۵۵٪ پرلیت، ۱۰٪ ورمی‌کولیت، و ۵٪ ژئولیت) بود. در ابتدای آزمایش به‌منظور انجام آزمایش خاک، نمونه‌برداری از بستر اولیه انجام و به آزمایشگاه خاکشناسی دانشگاه فردوسی مشهد منتقل شد. ویژگی‌های خاک در جدول ۱ ارائه گردیده است. رطوبت نسبی، سرعت باد، بارندگی و دمای هوا در محل آزمایش در طول دوره مطالعه ثبت شد (شکل ۲).



شکل ۲: روند تغییرات میانگین دمای هوا، رطوبت نسبی هوا، بارندگی و سرعت باد در طی بهار، تابستان و پاییز ۱۴۰۱

جدول ۱: خصوصیات شیمیایی اولیه بسترکشت مورد استفاده در آزمایش

بستر	نیتروژن (%)	فسفر (%)	پتاسیم (%)	مگنیزیم (%)	کربن آلی (%)	ماده آلی (%)	خاکستر (%)	بستر (%)	ظرفیت زراعی	نقطه پژمردگی دائم (ds/m)	هدایت الکتریکی (ds/m)	pH
۲۵ کوکوپیت + ورمی‌کمپوست	۰/۰۸۲	۰/۰۰۵	۰/۴۰	۰/۷۳	۴/۰۳	۲/۳۴	۹۰	۱۲۱/۷۷	۱۳/۸	۱/۷۴	۶/۹۵	
۵۵٪ پرلیت + ورمی‌کولیت												
۵٪ ژئولیت												

اعمال تیمار آب‌های نامتعارف: فاکتور اصلی کیفیت آب آبیاری به صورت تیمارهای آب‌های بازیافتی شامل (آب خاکستری جمع‌آوری شده از آب باران و سینک دوقلو مخصوص آبکشی و شستشوی میوه و سبزی، پساب فاضلاب خام از ناحیه کشف‌رود و آب لوله‌کشی شهری (شاهد) به عنوان سطوح فاکتور اصلی در آزمایش اول در نظر گرفته شد. فاکتور اصلی در سه مخزن تانک اصلی جمع و به صورت آبیاری قطره‌ای به گیاه اعمال شد و میزان آبیاری در حد ۸۰٪ ظرفیت زراعی خاک مورد استفاده بوده است که بر اساس دبی قطره چکان‌ها تنظیم گردید.

اعمال تیمار باکتری محرک رشد: فاکتور فرعی سویه‌های مختلف باکتری زیستی در چهار سطح و به صورت تلقیح در بستر کشت در چهار طرف ریشه گیاه (دور محیط ریشه) و برای هر گیاه ۲۰ cc استفاده شد. در این پژوهش از باکتری‌های محرک رشدی استفاده گردید که علاوه بر رفع نیاز گیاه به کودهای شیمیایی جادب آلودگی فلزات سنگین در خاک بودند (Ekhlasi Nia, 2021; Huang et al., 2022) و کاربرد ترکیبی این سویه‌ها موفق‌تر از کاربرد تکی آن‌ها بوده است (Xiao et al., 2020).

تیمارها و سویه‌های باکتریایی از آزمایشگاه بیولوژی و بیوتکنولوژی خاک مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی گلستان (LBSG) و شماره جدایه در بانک آزمایشگاه (041011) تهیه شد که در ذیل اسامی آنها آورده شده است. باکتری‌ها از ریزوسفر گیاهان زراعی مانند سویا و گندم با استفاده از روش Ju و همکاران

(۲۰۱۹) استخراج شدند. به جز گروه شاهد غیر تلقیح، بسترهای اطراف هر نمونه گیاهی آبیاری و با ۲۰ میلی‌لیتر سوسپانسیون باکتریایی تلقیح شدند تا غلظت باکتری ۱۰۸ CFU/ml بدست آید.

B1- سودوموناس فلورسنس + آزوسپریلیوم لیوسفروم + تیوباسیلوس تیوپاروس + ازتوباکتر کروکوم

Mix1 (*Pseudomonas fluorescens* + *Azospirillum lipoferum* + *Thiobacillus thioparus* + *Azotobacter chroococcum*)

B2- پانی باسیلوس پلی‌میکسا + سودوموناس فیلدنسیس + باسیلوس سوبتیلیس + آکروموباکتر زایلو ساکسیدانس + باسیلوس لیکنیفورمیس

Mix2 (*Paenibacillus polymyxa* + *Pseudomonas fildensis* + *Bacillus subtilis* + *Achromobacter xylosoxidans* + *Bacillus licheniformis*)

B3- سودوموناس پوتیدا + اسیدیتوباسیلوس فرواکسیدانس + باسیلوس ولزنسیس + باسیلوس سابتلیس + باسیلوس متیلوتروفیکوس + میکروباکتریوم تستاسئوم

Mix3 (*Pseudomonas putida* + *Acidithiobacillus ferrooxidans* + *Bacillus velezensis* + *Bacillus subtilis* + *Bacillus methylotrophicus* + *Microbacterium testaceum*)

B0- شاهد (بدون تلقیح باکتری)

مشخصات گیاهی گونه‌های مورد آزمایش: گیاهان مورد استفاده در آزمایش با توجه به جنبه زینتی و خاصیت انباشتگری آنها انتخاب شده است و شامل فستوکا روبرا (*Festuca ovina glauca*) و چمن یال‌اسبی (*Ophiopogon japonicus*) بود (شکل ۳ و ۴).



الف



ب



ج

شکل ۳: نمایی از دیوارهای سبز بیرونی آزمایش در فصول الف: بهار/ب: تابستان/ج: پاییز



A: *Festuca ovina glauca*



B: *Ophiopogon japonicus*

شکل ۴: گیاهان زینتی انباشتگر مورد مطالعه

صفات مورد بررسی

صفات عملکردی

تعداد گل در تک بوته و یونیت: برای ارزیابی تعداد گل در تک بوته و یونیت از روش شمارش به صورت ماهیانه استفاده گردید.

سطح برگ: اندازه گیری سطح برگ نیز به وسیله دستگاه سطح برگ سنج Conveyor belt unit مدل Delta-T ساخت کشور انگلستان بلافاصله بعد از برداشت برگ در پایان آزمایش صورت پذیرفت.

اندازه گیری زیست توده کل: به منظور تعیین زیست توده کل در انتهای کار به صورت تخریبی و با روش Kazemi و همکاران (۲۰۱۱) محاسبه شد. به منظور تعیین زیست توده اولیه، 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 ریشه ها، ابتدا وزن تر گیاه و سپس وزن خشک گیاه بعد از قرار گرفتن در آون به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد توزین شد.

وزن تر و خشک برگ، شاخساره و ریشه گیاهان: وزن تر و خشک با استفاده از ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ در انتهای آزمایش اندازه گیری شد. برای اندازه گیری وزن خشک، ۲۰-۱۰ گرم از نمونه در خشک کن برقی (آون) با دمای ۷۰ درجه سانتی گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شده و سپس توزین شد. **کارایی مصرف آب (Water Use Efficiency):** از دو روش Medrano و همکاران (۲۰۱۵) و Fernandez و همکاران (۲۰۰۵) به صورت فصلی محاسبه شد.

کارایی مصرف آب بر اساس زیست توده گیاهی ($WUE_{biomass}$): جهت بررسی راندمان مصرف آب، سه گیاه به ازای هر گونه در ابتدا و قبل از اجرای تیمارها برای تعیین زیست توده ابتدایی کل گیاه برداشت شد. به همین نحوه، سه گیاه از هر تیمار در انتهای مطالعه برداشت شدند. برگ ها، ساقه ها و ریشه های هر گیاه جدا و در آون در دمای ۶۰ درجه سانتی گراد خشک و سپس وزن خشک آنها بدست آمد. بدین وسیله با تخمین اختلاف میانگین میزان زیست توده آغازین و انتهای مطالعه، کارایی مصرف آب زیست توده محاسبه شد (Medrano, 2015).

کارایی مصرف آب بر اساس اندکس رشد گیاهی ($WUE_{Growth\ index}$): با تقسیم افزایش اندکس رشد (اختلاف بین اندکس رشد آغازین و انتهای) بر تمام آب مصرفی (آبیاری به علاوه آب باران) در طی دوره آزمایش تعیین شد (Fernandez et al., 2005).

صفات ترمودینامیکی مربوط به بستر

دمای داخل بستر: دمای هر یک از واحدهای آزمایشی بستر با استفاده از دماسنج دستی یا دیتالوگر به صورت هفتگی و در ساعت مشخص (۱۲ تا ۲ ظهر) اندازه گیری شد. دماسنج ها در داخل هر بستر در عمق ۵ سانتی متری از خاک و در مرکز هر واحد آزمایشی قرار گرفت.

رطوبت داخل بستر: رطوبت داخل بستر با سنسور رطوبتی مدل (EXTECH MO750 ساخت آمریکا) در عمق ۱۰ سانتی متری خاک و در یک ساعت مشخص روز به صورت هفتگی تعیین شد. (دما و رطوبت داخل بستر علاوه بر بسترهای حاوی گیاه، در بستر کشت بدون گیاه نیز به عنوان شاهد در هر دو آزمایش اندازه گیری شد).

آنالیز آماری: به منظور تجزیه و تحلیل آماری از نرم افزار JMP 8 استفاده شد. تجزیه و تحلیل داده ها با

روش آنالیز واریانس و مقایسه میانگین داده ها با استفاده از آزمون توکی در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪ انجام گردید. همه نمودارها با نرم افزار اکسل ترسیم شد.

نتایج

همان طور که از جدول تجزیه واریانس (۲ و ۳) مربوط به صفات عملکردی در چمن یالاسی مشهود است، در صفت کارایی مصرف آب بهار اثرات ساده آبیاری و باکتری، در سطح احتمال ۱٪ اختلاف معنی دار نشان دادند. در مورد کارایی مصرف آب بر اساس اندکس رشد پاییز فقط اثر ساده باکتری، در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی دار نشان دادند. در صفت تعداد گل در تک بوته، سطح برگ، وزن تر و خشک ریشه و شاخساره، وزن تر و خشک زیست توده، کارایی مصرف آب بر اساس اندکس رشد تابستان و کارایی مصرف آب زیست توده پاییز علاوه بر اثرات ساده آبیاری و باکتری، اثرات متقابل آن دو نیز در سطح آماری ۱٪ معنی دار شد. همانطور که جدول ۲ نشان می دهد در مورد تعداد گل در یونیت، فقط اثرات ساده باکتری و اثرات متقابل هر دو تیمار اختلاف معنی دار نشان دادند ($p \leq 0.01$).

جدول میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس نشان می دهد در مورد دما و رطوبت در فصل بهار و تابستان علاوه بر اثرات ساده آبیاری و باکتری، اثرات متقابل آن دو نیز ($p \leq 0.05$) معنی دار شدند (جدول ۵). اما در مورد دما در فصل پاییز فقط اثرات ساده اختلاف معنی دار نشان دادند ($p \leq 0.05$). در حالیکه رطوبت بستر علاوه بر اثرات ساده باکتری، اثرات متقابل آبیاری و باکتری ($p \leq 0.05$) نیز معنی دار شدند (جدول ۴).

جدول ۲: میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف نوع آب آبیاری و نوع باکتری بر روی برخی از صفات عملکردی چمن یال‌اسبی

منابع تغییرات	درجه آزادی	گل در تک بوته	تعداد گل در یونیت	سطح برگ	وزن تر ریشه	وزن تر شاخساره	وزن خشک ریشه	وزن خشک شاخساره	وزن تر	وزن خشک
بلوک	۲	۰/۰۲	۳/۳۶	۰/۱۷	۰/۷۴	۲/۵۴	۰/۰۶	۰/۰۵	۵/۹۳	۰/۲۱
آبیاری	۲	۱/۸۶*	۲۰/۵۲ ^{ns}	۲۷۰/۹۲**	۱۷۱/۳۰*	۵۲۰/۴۶**	۲۸/۸۷**	۵۳/۲۴**	۸۰۰/۰۵**	۱۵۶/۶۷**
خطای عامل اصلی	۴	۰/۱۱	۳/۶۱	۰/۱۰	۱۰/۳۵	۹/۹۳	۰/۱۵	۰/۲۸	۱/۵۷	۰/۱۳
باکتری	۳	۲/۸۱**	۲۸/۲۲**	۱۶۶/۲۹**	۴۴۳۷/۰۴**	۱۹۱/۰۲**	۸۵/۰۲**	۲۰/۷۸**	۶۴۵۲/۰۹**	۱۷۶/۳**
آبیاری × باکتری	۶	۲/۸۹**	۱۱/۴۱**	۲۳۰/۰۲**	۲۰۳۴/۰۶**	۳۵۶/۱۴**	۱۸/۲۱**	۳۸/۵۸**	۳۱۱۷/۰۹**	۹۴/۶۷**
خطا عامل فرعی	۱۸	۰/۴۵	۲/۱۵	۰/۷۲	۱/۲۰	۴/۷۸	۰/۳۰	۰/۳۷	۱۵/۴۵	۰/۵۶

^{ns}، * و ** به ترتیب نشانگر عدم اختلاف معنی‌دار و معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

جدول ۳: میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف نوع آب آبیاری و نوع باکتری بر روی برخی از صفات عملکردی چمن یال‌اسبی

منابع تغییرات	درجه آزادی	کارایی مصرف آب بر اساس اندکس رشد بهار	کارایی مصرف آب بر اساس اندکس رشد تابستان	کارایی مصرف آب بر اساس اندکس رشد پاییز	کارایی مصرف آب بر اساس زیست‌توده
بلوک	۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۱۲	۱/۱۸e ^{-۹}
آبیاری	۲	۰/۲۸**	۰/۰۵*	۰/۳۱ ^{ns}	۸/۶e ^{-۷**}
خطای عامل اصلی	۴	۰/۰۰۸	۰/۰۰۴	۰/۱۷	۷/۲e ^{-۱۰}
باکتری	۳	۰/۱۹**	۰/۰۸۰**	۰/۳۶*	۹/۶ve ^{-۷**}
آبیاری × باکتری	۶	۰/۰۳ ^{ns}	۰/۰۷۳**	۰/۰۵ ^{ns}	۵/۱۹e ^{-۷**}
خطا عامل فرعی	۱۸	۰/۰۲	۰/۰۰۸	۰/۱۰	۳/۰۹۷۹e ^{-۹}

^{ns}، * و ** به ترتیب نشانگر عدم اختلاف معنی‌دار و معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

جدول ۴: میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف نوع آب آبیاری و نوع باکتری بر روی صفات ترمودینامیک گیاه چمن یال‌اسبی

منابع تغییرات	درجه آزادی	دما در بهار	دما در تابستان	دما در پاییز	رطوبت در بهار	رطوبت در تابستان	رطوبت در پاییز
بلوک	۲	۱/۵۴	۰/۴۰	۳/۰۴	۹/۱۸	۰/۵۳	۱/۲۲
آبیاری	۲	۴۰/۴۵**	۵۵/۵۵**	۲۳/۴۱*	۲۵/۶۱**	۸۸/۸۸**	۵/۲۳ ^{ns}
خطای عامل اصلی	۴	۱/۲۱	۱/۳۱	۲	۰/۳۰	۰/۸۰	۱/۵۶
باکتری	۳	۱۲/۰۱**	۵۳/۵۳**	۱۱۹/۴۶**	۱۳/۶۳**	۵۰/۷۲**	۱۷/۵۱**
آبیاری × باکتری	۶	۳/۱۵*	۳/۵۴**	۰/۷۶ ^{ns}	۳/۲۹**	۳/۱۹**	۱۳/۹۱**
خطا عامل فرعی	۱۸	۰/۹۲	۰/۷۶	۰/۸۱	۰/۴۷	۰/۷۰	۱/۱۱

^{ns}، * و ** به ترتیب نشانگر عدم اختلاف معنی‌دار و معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

جدول میانگین مربعات مربوط صفات عملکردی چمن فستوکا نشان می‌دهد که در وزن تر ریشه و شاخساره، وزن خشک شاخساره، وزن تر و خشک زیست‌توده و کارایی مصرف آب بر اساس زیست‌توده پاییز اثرات ساده و متقابل نوع تیمارهای آب آبیاری و نوع باکتری معنی‌دار شدند ($p \leq 0.01$). درمورد سطح برگ اثرات ساده آبیاری و باکتری در سطح احتمال حداقل ۵٪ اختلاف معنی‌دار نشان دادند. در کارایی مصرف آب بر اساس اندکس رشد تابستان اثرات متقابل آبیاری و باکتری در سطح احتمال حداقل ۵٪، معنی‌دار شدند. از لحاظ آماری تعداد گل در تک بوته

و یونیت، وزن خشک ریشه، کارایی مصرف آب بر اساس اندکس رشد پاییز مانند هم عمل کردند و در اثرات ساده سویه‌های باکتری و اثرات متقابل آبیاری و باکتری در سطح احتمال حداقل ۵٪ اختلاف معنی‌دار آماری وجود داشت (جدول ۵ و ۶). همان‌طور که از جداول تجزیه واریانس ۷ مربوط به داده‌های ترمودینامیک مشهود است در رطوبت در هر سه فصل اثرات ساده و اثرات متقابل آنها تفاوت معنی‌دار آماری داشتند ($p \leq 0.05$) ولی در مورد دما در هر سه فصل مورد آزمایش فقط اثرات ساده آبیاری و باکتری در سطح احتمال حداقل ۵٪ اختلاف معنی‌دار نشان دادند.

جدول ۵: میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف نوع آب آبیاری و نوع باکتری بر روی برخی از صفات عملکردی چمن فستوکا

منابع تغییرات	درجه آزادی	تعداد گل در تک بوته	تعداد گل در یونیت	سطح برگ	وزن تر ریشه	وزن تر شاخساره	وزن خشک ریشه	وزن خشک شاخساره	وزن تر زیست‌توده	وزن خشک زیست‌توده
بلوک	۲	۶/۰۲	۷/۰۰	۰/۸۹	۷/۲۷	۲/۶۶	۲/۳۲	۰/۹۸	۱۷/۰۱	۱/۸۲
آبیاری	۲	۸/۵۲ ^{NS}	۲۷/۲۵ ^{NS}	۷/۷۲*	۳۹۲۴/۴۸ ^{**}	۵۱۸/۲۴ ^{**}	۱۸/۲۶ ^{NS}	۳۰/۳۰ ^{**}	۳۶۷۲/۲ ^{**}	۶۶/۷۴ ^{**}
خطای عامل اصلی	۴	۵/۷۷	۵/۷۵	۰/۵۱	۸/۸۲	۱۰/۰۶	۳/۰۰۳	۰/۲۰	۸/۸۳	۳/۵۱
باکتری	۳	۷۷/۲۸ ^{**}	۶۴/۶۲ ^{**}	۳/۵۹*	۱۰۸۳/۲۳ ^{**}	۱۱۱۸/۹۸ ^{**}	۳۰/۶۸ ^{**}	۸۹/۲۹ ^{**}	۴۲۳۱/۲۴ ^{**}	۲۱۸/۸۹ ^{**}
آبیاری × باکتری	۶	۳۴/۵۶ ^{**}	۹۲/۳۲ ^{**}	۱/۰۰۹ ^{NS}	۱۰۵۹/۴۹ ^{**}	۲۰۹/۸۸ ^{**}	۱۲/۷۹ ^{**}	۱۸/۵۶ ^{**}	۱۳۸۴/۰۳ ^{**}	۴۹/۰۹ ^{**}
خطا عامل فرعی	۱۸	۳/۶۳	۶/۳۱	۰/۷۷	۸/۹۱	۶/۴۹	۱/۲۰	۱/۰۸	۱۷/۴۴	۲/۳۹

^{NS}، * و ** به ترتیب نشانگر عدم اختلاف معنی‌دار و معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

صفات عملکردی گیاهان زیتنی انباشتگر در این آزمایش

تأثیر استفاده از آب‌های آبیاری و سویه‌های مختلف باکتری در ارتباط با تعداد گل در تک‌بوته و یونیت: جدول ۹ برای تعداد گل در تک بوته و یونیت در چمن یال‌اسبی نشان دهنده این است که تیمار آب شهری با حضور ترکیب B3 در بستر کشت با بیشترین

تعداد گل در تک بوته همراه بود در حالی که حضور ترکیب B3 در آب خاکستری و پساب فاضلاب شهری مانند تیمارهای آب خاکستری بدون حضور باکتری و هر سه نوع آب با حضور ترکیب B1 کمترین تعداد گل در تک بوته را ایجاد کرد. لازم به ذکر است در شاهد (عدم تلفیق باکتری) و آبیاری گیاهان با پساب فاضلاب شهری، ترکیب B3 و آبیاری

با آب شهری با بیشترین تعداد گل در یونیت رویت شد. در چمن فستوکا بر عکس چمن یال‌اسبی بیشترین تعداد گل در تک‌بوته و یونیت در مرتبط با تیمار تلقیح بستر کشت با ترکیب B1 و در پساب فاضلاب شهری بود. کمترین تعداد گل در تک بوته مرتبط با تیمار تلقیح بستر کشت با ترکیب B3 در هر سه نوع تیمار آب، B2 و شاهد در پساب فاضلاب شهری بود. در حالیکه کمترین تعداد گل در یونیت ترکیب B3 در آب خاکستری و پساب فاضلاب شهری، ترکیب B2 در پساب فاضلاب شهری و آب شهری بود. به‌نظر تلقیح B2 و B3 در بستر کشت در گلدهی چمن چندان موفق عمل نکرد (جدول ۱۰).

جدول ۶: میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف نوع آب آبیاری و نوع باکتری بر روی برخی از صفات عملکردی چمن فستوکا

منابع تغییرات	درجه آزادی	کارایی مصرف آب بر اساس اندکس رشد بهار	کارایی مصرف آب بر اساس اندکس رشد تابستان	کارایی مصرف آب بر اساس اندکس رشد پاییز	کارایی مصرف آب بر اساس زیست‌توده پاییز
بلوک	۲	۰/۸۵	۰/۰۰۶	۰/۰۴	$9/99e^{-9}$
آبیاری	۲	$2/57^*$	$0/04^{NS}$	$1/03^{NS}$	$3/66e^{-V**}$
خطای عامل اصلی	۴	۰/۳۳	۰/۰۰۹	۰/۱۳	$1/93e^{-A}$
باکتری	۳	$1/84^{**}$	$0/02^{NS}$	$0/25^*$	$1/2e^{-6**}$
آبیاری × باکتری	۶	$0/49^{NS}$	$0/31^*$	$0/35^{**}$	$2/69e^{-V**}$
خطا عامل فرعی	۱۸	۰/۲۱	۰/۰۱۰	۰/۰۸	$1/31e^{-A}$

^{NS}، * و ** به ترتیب نشانگر عدم اختلاف معنی‌دار و معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

جدول ۷: میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف نوع آب آبیاری و نوع باکتری بر روی صفات ترمودینامیک چمن فستوکا

منابع تغییرات	درجه آزادی	دما در بهار	دما در تابستان	دما در پاییز	رطوبت در بهار	رطوبت در تابستان	رطوبت در پاییز
بلوک	۲	۰/۱۶	۰/۱۸	۰/۶۶	۰/۵۲	۰/۱۸	۱/۹۹
آبیاری	۲	$55/59^{**}$	$60/69^{**}$	$7/37^*$	$24/09^{**}$	$33/60^{**}$	$81/43^{**}$
خطای عامل اصلی	۴	۰/۱۷	۱/۴۹	۰/۹۵	۰/۰۹	۰/۱۰	۰/۹۷
باکتری	۳	$6/04^{**}$	$18/63^{**}$	$10/84^{**}$	$38/68^{**}$	$25/69^{**}$	$73/22^{**}$
آبیاری × باکتری	۶	$0/10^{NS}$	$0/39^{NS}$	$0/89^{NS}$	$0/87^*$	$2/40^{**}$	$6/34^{**}$
خطا عامل فرعی	۱۸	۰/۱۸	۰/۳۱	۰/۷۲	۰/۲۹	۰/۲۹	۰/۳۴

^{NS}، * و ** به ترتیب نشانگر عدم اختلاف معنی‌دار و معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

در حضور شاهد (عدم تلقیح باکتری) در آب شهری دیده شد. در فستوکا پساب فاضلاب شهری و آب خاکستری بیشترین سطح برگ را ایجاد کرد. تلقیح بستر کشت با ترکیب B1 نیز در افزایش سطح برگ موثر بوده است. کمترین سطح برگ مرتبط با تیمار

تأثیر استفاده از آب‌های آبیاری و سویه‌های مختلف باکتری در ارتباط با سطح برگ: جدول ۹ نشان داد بیشترین سطح برگ در چمن یال‌اسبی مرتبط با تیمار تلقیح بستر کشت B2 و آبیاری با پساب فاضلاب شهری بود اما کمترین سطح برگ در چمن یال‌اسبی

تلقیح بستر کشت B2 بود. آبیاری با آب خاکستری در افزایش سطح برگ چندان موفق عمل نکرد و کمترین سطح برگ را به خود اختصاص داد (جدول ۸).

تأثیر استفاده از آب‌های آبیاری و سویه‌های مختلف باکتری در ارتباط با وزن تر و خشک شاخساره و ریشه: همان‌طور که در جدول ۹ مشهود است بیشترین وزن تر ریشه در چمن یال‌اسبی مربوط به تیمار B3 و آب خاکستری می‌باشد. و این درحالی‌است که است کمترین وزن تر ریشه در تلقیح بستر کشت با ترکیب B1 و پساب فاضلاب شهری، شاهد (بدون باکتری) در آبیاری گیاهان با آب شهری بود. نکته قابل اهمیت این است که در آب شهری و بدون حضور باکتری نیز کمترین وزن خشک ریشه رویت شد در حالیکه بیشترین وزن خشک ریشه با تلقیح بستر کشت با ترکیب B1 و پساب فاضلاب شهری همراه بود. بیشترین وزن تر شاخساره مربوط به B3 و پساب فاضلاب شهری، بیشترین وزن خشک شاخساره مربوط به تیمار B1 و پساب فاضلاب شهری بود. کمترین وزن تر و خشک شاخساره در تیمار شاهد (بدون باکتری) و آب خاکستری رویت شد.

در فستوکا تلقیح بستر کشت با ترکیب B1 و در آب خاکستری بیشترین میزان وزن خشک شاخساره و وزن تر و خشک ریشه را ایجاد کرد، در حالیکه بیشترین میزان وزن تر شاخساره با ترکیب B3 و آب شهری همراه بود. کمترین میزان وزن تر ریشه و شاخساره مربوط به تیمار شاهد (بدون کاربرد باکتری) و آبیاری با پساب فاضلاب شهری و آب شهری مشاهده شد اما کمترین میزان وزن خشک ریشه و شاخساره فقط مربوط به تیمار شاهد (بدون کاربرد باکتری) و آبیاری با آب شهری بود (جدول ۱۰).

تأثیر استفاده از آب‌های آبیاری و سویه‌های مختلف باکتری در ارتباط با زیست‌توده: در چمن یال‌اسبی (جدول ۹) بیشترین وزن تر زیست‌توده مربوط به

تیمار تلقیح بستر کشت با ترکیب B3 آبیاری با انواع آب‌های بازیافتی به‌ترتیب (۱۳۸/۹۸ گرم) (۱۳۹/۹۴ گرم) بود و کمترین آن در شاهد و آب خاکستری رویت شد (۲۷/۱۸ گرم). تیمار با ترکیب B1 و آبیاری با پساب فاضلاب شهری بیشترین وزن خشک زیست‌توده نسبت به شاهد در آب خاکستری و آب شهری ایجاد کرد (۲۳/۱۱ گرم). در چمن فستوکا (جدول ۱۰) بیشترین وزن تر و خشک زیست‌توده مربوط به تیمار تلقیح بستر کشت با ترکیب B1 و آبیاری با آب خاکستری بود در حالی که تیمار شاهد (بدون کاربرد باکتری) و آبیاری با آب شهری کمترین وزن تر و خشک زیست‌توده را ایجاد کرد.

تأثیر استفاده از آب‌های آبیاری و سویه‌های مختلف باکتری در ارتباط با کارایی مصرف آب بر اساس زیست‌توده: مقایسه میانگین‌های گونه‌های گیاهی مورد پژوهش نشان می‌دهد که در چمن یال‌اسبی تلقیح بستر کشت با ترکیب B1 و آبیاری با پساب فاضلاب و در فستوکا ترکیب B1 و آبیاری با آب خاکستری بیشترین کارایی مصرف آب بر اساس زیست‌توده را ایجاد کرد. کمترین کارایی مصرف آب در چمن یال‌اسبی مربوط به شاهد (بدون کاربرد باکتری) و B3 در آبیاری با آب شهری و در فستوکا تیمار شاهد (بدون کاربرد باکتری) و ترکیب B1 و آبیاری با آب شهری بود (جداول ۹ و ۱۱).

تأثیر استفاده از آب‌های آبیاری و سویه‌های مختلف باکتری در ارتباط با کارایی مصرف آب بر اساس اندکس رشد: در چمن یال‌اسبی در بهار و پاییز آبیاری با آب خاکستری نسبت به پساب فاضلاب و آب شهری کارایی مصرف آب بر اساس اندکس رشد بیشتری ایجاد کرد و از لحاظ آماری مانند هم عمل کردند. لازم به ذکر است در بهار تلقیح بستر کشت با ترکیب B1 نیز کارایی مصرف آب را افزایش داد. اما در تابستان تلقیح بستر کشت با ترکیب B3 آبیاری با

پساب فاضلاب حدود ۵۰٪ ($cm^3/mm^3/55$) نسبت به ترکیب B3 آبیاری با آب خاکستری افزایش داده است (جدول ۸ و ۹). جدول ۸ نشان می دهد بهره وری مصرف آب بر اساس اندکس رشد بهار در فستوکا مربوط به تیمار تلقیح بستر کشت با ترکیب B1 بود. از طرفی آبیاری با آب خاکستری در افزایش کارایی مصرف آب بر اساس اندکس رشد موثر است. البته از لحاظ آماری تلقیح بستر کشت با ترکیب B1 در آبیاری با پساب فاضلاب شهری و آب خاکستری

مانند هم عمل کرده و کارایی مصرف آب را در تابستان و پاییز افزایش داده است. نکته قابل اهمیت این است که کمترین کارایی مصرف آب در تابستان مربوط به شاهد (بدون کاربرد باکتری) در آبیاری با آب شهری و ترکیب B2 در آبیاری با پساب فاضلاب شهری بود. در حالیکه در پاییز همه ترکیب های باکتری در آب شهری به غیر از B3 کمترین راندمان آب بر اساس اندکس رشد را به خود اختصاص دادند (جدول ۱۱).

جدول ۸: مقایسه میانگین های اثرات ساده آب های بازیافتی و سویه های باکتری برصفت عملکردی گونه های گیاهی مورد پژوهش

چمن یال اسبی		چمن فستوکا		
کارایی مصرف آب براساس اندکس رشد در بهار (سانتی متر مکعب بر میلی متر مکعب)	کارایی مصرف آب براساس اندکس رشد در پاییز (سانتی متر مکعب بر میلی متر مکعب)	سطح برگ (سانتی متر مربع)	کارایی مصرف آب بر اساس اندکس رشد بهار (سانتی متر مکعب بر میلی متر مکعب)	
آب خاکستری	$0.63a \pm 0.04$	$0.75a \pm 0.09$	$3.33b \pm 0.14$	$1.69a \pm 0.28$
پساب فاضلاب شهری	$0.49b \pm 0.06$	$0.96a \pm 0.10$	$4.87a \pm 0.24$	$1.07ab \pm 0.12$
آب شهری	$0.32c \pm 0.05$	$0.64a \pm 0.09$	$4.49a \pm 0.40$	$0.79b \pm 0.09$
B1	$0.70a \pm 0.059$	$1.07a \pm 0.15$	$5.07a \pm 0.45$	$1.67a \pm 0.30$
B2	$0.43b \pm 0.087$	$0.78ab \pm 0.10$	$3.05b \pm 0.21$	$1.43ab \pm 0.23$
B3	$0.38b \pm 0.035$	$0.66ab \pm 0.08$	$4.19ab \pm 0.28$	$0.98bc \pm 0.18$
B0	$0.41b \pm 0.059$	$0.73b \pm 0.08$	$4.12ab \pm 0.38$	$0.66c \pm 0.06$

حروف لاتین کوچک متفاوت در هر ستون جدول، نشان دهنده اختلاف معنادار بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال حداقل ۵٪ است. داده ها نشان دهنده $\pm$ ۱ خطای استاندارد (SE).

B1: (*Sedoumonas flucrecens*+ *Azospirillum Liposferum*+ *Thiobacillus thioparus*+ *Aztobactor chorococcum*), **B2:** (*Paenibacillus polymyxa*+ *Pseudomonas fildensis*+ *Bacillus subtilis*+ *Achromobacter xylosoxidans*+ *Bacillus licheniformis*), **B3:** (*Pseudomonas putida*+ *Acidithiobacillus ferrooxidans*+ *Bacillus velezensis*+ *Bacillus subtilis*+ *Bacillus methylotrophicus*+ *Mcrobacterium testaceum*) and **B0:** without the use of bacteria.

صفات ترمودینامیک گیاهان زینتی انباشتگر در این آزمایش: تأثیر استفاده از آب های آبیاری و سویه های مختلف باکتری در ارتباط با دما و رطوبت بستر کشت گیاه چمن یال اسبی: بر اساس شکل ۵ سطح ۴ باکتری (عدم کاربرد باکتری) صرفه نظر از نوع آب آبیاری، در ماه های بهار و تابستان دمای سطح بستر بیشتری نسبت به سایر تیمارهای باکتری داشته در حالیکه با شروع پاییز و سرما این روند عکس عمل کرده است و سطح ۴ باکتری پایین ترین دمای بستر کشت را به

خود اختصاص داده است. نظم تغییرات روند دمای سطح خاک نشان داد وجود پوشش گیاهی به طور قابل توجهی نوسانات دمای بستر کشت را کنترل می کند و تیمارهای B2 و B3 در کنترل نوسانات بهتر عمل کرده است که می تواند به دلیل رشد و پوشش دهی بیشتر گیاه چمن یال اسبی در این تیمارها باشد. در شهریور ماه با توجه به اینکه تفاوت درصد پوشش دهی سطح بستر کشت در تیمارهای مختلف باکتری متفاوت بود، تفاوت دمای سطح خاک در بسترهای کشت نیز

مشهودتر بود. در بهار و تابستان در ارتباط با میزان نکه داشت رطوبت در بستر کشت بالاترین رطوبت در بسترهای کشت حاوی ترکیب باکتری B2 و B3 بود در حالی که از نیمه آبان ماه این روند عکس شده و پایین‌ترین رطوبت در بستر کشت حاوی ترکیب ۲ و ۳ بود و بررسی و مقایسه دو نمودار دما و رطوبت نشان می‌دهد با افزایش ظرفیت نکه داشت رطوبت

بستر کشت دمای بستر کشت پایین تر می‌آید و خاک خنک‌تر می‌گردد. به نظر می‌رسد رشد و پوشش‌دهی بیشتر گیاه توسط ترکیب باکتری ۲ و ۳ موجب کاهش تبخیر از سطح بستر کشت و رطوبت بیشتر بستر کشت شده است. البته با افزایش رطوبت نسبی هوا میزان رطوبت بستر کشت افزایش می‌یابد.

جدول ۱۱: مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل آب‌های بازیافتی و سویه‌های باکتری بر صفات گونه‌های گیاهی مورد پژوهش

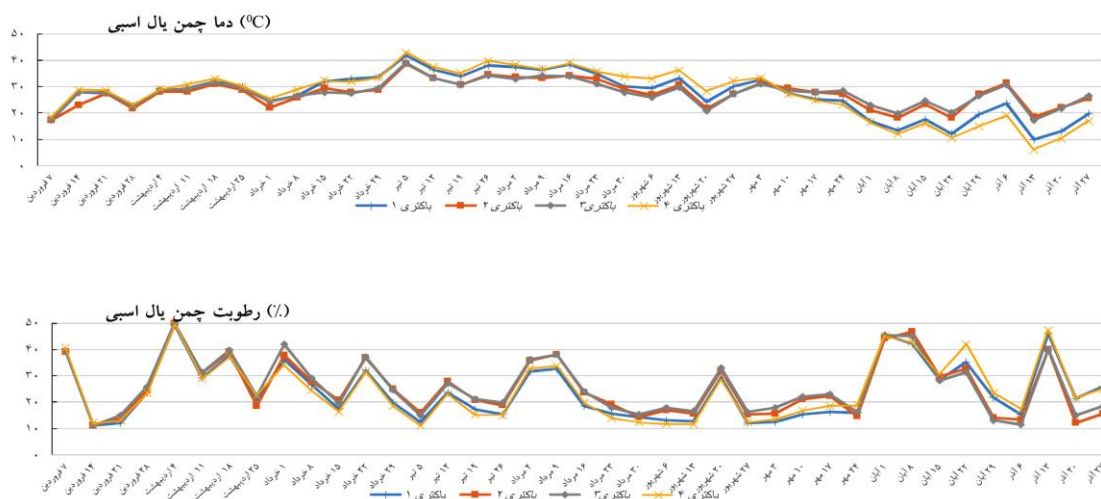
نوع آب آبیاری	نوع باکتری	کارایی مصرف آب بر اساس اندکس رشد تابستان (سانتی‌متر مکعب بر میلی‌متر مکعب)	کارایی مصرف آب بر اساس اندکس رشد پاییز (سانتی‌متر مکعب بر میلی‌متر مکعب)	کارایی مصرف آب بر اساس زیست‌توده پاییز (گرم بر میلی‌متر مکعب)
آب خاکستری	B1	۰/۶۱a±۰/۰۳	۱/۷۷a±۰/۱۵	۰/۰۰۱۸a±۰/۰۰۰۱۱
	B2	۰/۴۴ab±۰/۰۷	۱۰/۰۰abc±۰/۰۲	۰/۰۰۱۱c±۲/۴۴e-5
	B3	۰/۴۶ab±۰/۰۳	۰/۸۱bc±۰/۰۷	۰/۰۰۱۳bc±۴/۲۱e-5
	B0	۰/۳۶ab±۰/۰۵	۰/۷۹bc±۰/۱۱	۰/۰۰۰۷d±۱/۱۷e-5
پساب فاضلاب شهری	B1	۰/۴۵ab±۰/۰۳	۱۶/۳۳a±۰/۱۵	۰/۰۰۱۳c±۳/۱۶e-5
	B2	۰/۲۴b±۰/۰۱	۱/۲۳abc±۰/۱۹	۰/۰۰۱۴bc±۲/۰۱e-5
	B3	۰/۳۳ab±۰/۰۰	۱/۵۱ab±۰/۰۹	۰/۰۰۱۶ab±۸/۲۹e-5
	B0	۰/۴۲ab±۰/۰۳	۰/۸۵bc±۰/۳۳	۰/۰۰۰۶d±۲/۳۸e-5
آب شهری	B1	۰/۳۳ab±۰/۰۶	۰/۵۸c±۰/۰۵	۰/۰۰۰۷d±۲/۸۸e-5
	B2	۰/۴۲ab±۰/۰۶	۰/۶۲c±۰/۱۱	۰/۰۰۱۴bc±۲/۱۸e-5
	B3	۰/۴۵ab±۰/۰۴	۰/۷۰bc±۰/۱۱	۰/۰۰۱۳c±۷/۳۸e-5
	B0	۰/۲۲b±۰/۰۵	۰/۴۸c±۰/۰۱	۰/۰۰۰۴d±۷/۸۰e-5

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

B1: (*Sedoumonas flucrecens*+ *Azosporillum Liposferum*+ *Thiobacillus thioparus*+ *Aztobactor chorococcum*), **B2:** (*Paenibacillus polymyxa*+ *Pseudomonas fildensis*+ *Bacillus subtilis*+ *Achromobacter xylosoxidans*+ *Bacillus licheniformis*), **B3:** (*Pseudomonas putida*+ *Acidithiobacillus ferrooxidans*+ *Bacillus velezensis*+ *Bacillus subtilis*+ *Bacillus methylotrophicus*+ *Microbacterium testaceum*) and **B0:** without the use of bacteria.

شکل ۶ نشان‌دهنده این است که کاربرد باکتری توانسته از نظر آماری در کاهش دمای بستر گیاهان در فصل بهار و تابستان نسبت به شاهد اختلاف ایجاد کند و حضور سویه‌های ترکیبی در هر سه نوع آب آبیاری باعث کاهش دما گردید و در فصل پاییز بیشترین دما مربوط به پساب فاضلاب شهری می‌باشد، به نظر می‌رسد سویه‌های ترکیب B2 و ترکیب B3 باعث گرمای بستر در فصل پاییز شد.

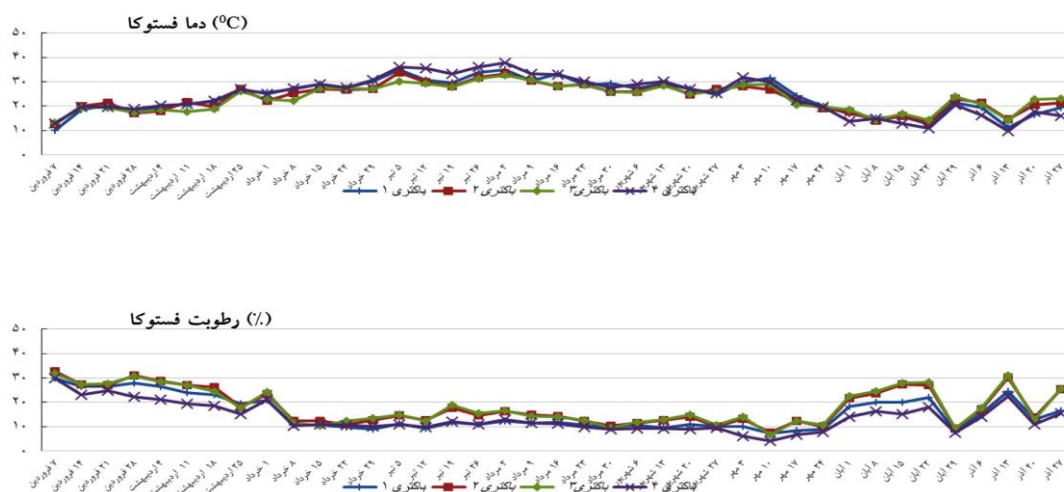
در مورد میزان رطوبت بیشترین و کمترین در فصل بهار و تابستان به ترتیب مربوط به به تیمار تلقیح بستر کشت با ترکیب B2 و B3 در آبیاری با پساب فاضلاب شهری بود و در فصل پاییز بیشترین رطوبت (۳۰/۷۸٪) مربوط به تیمار شاهد (بدون کاربرد باکتری) و آبیاری با آب شهری می‌باشد. البته شایان ذکر است که به تیمار تلقیح بستر کشت با ترکیب B2 در آب شهری کمترین رطوبت را ایجاد کرد.



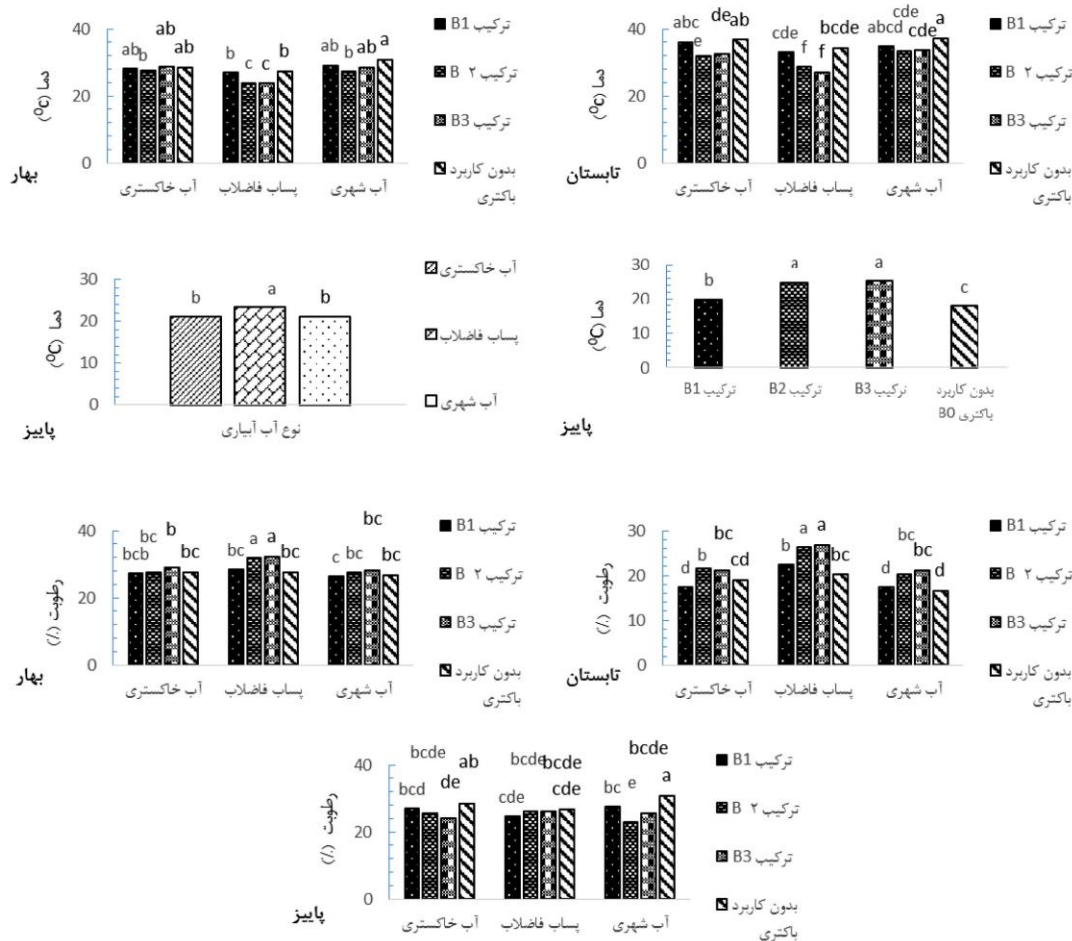
شکل ۵: بررسی تغییرات روندی دما و رطوبت بستر کشت چمن یال‌اسبی در طی بهار، تابستان و پاییز

نظم تغییرات روند دمای سطح خاک نشان داد وجود پوشش گیاهی به طور قابل توجهی نوسانات دمای بستر کشت را کنترل می‌کند و ترکیب ۲ و ۳ در کنترل نوسانات بهتر عمل کرده است و دمای بستر کشت بالاتری دارند که می‌تواند به دلیل رشد و پوشش‌دهی بیشتر گیاه چمن فستوکا در این تیمارها بوده است. در تمامی طول آزمایش در ارتباط با میزان نگاه‌داشت رطوبت در بستر کشت، پایین‌ترین رطوبت در بسترهای کشت بدون کاربرد باکتری بود و تغییرات روند رطوبت بستر کشت از خردادماه تا ۲۷ شهریور کمترین تغییرات را داشته است.

تأثیر استفاده از آب‌های آبیاری و سویه‌های مختلف باکتری در ارتباط با دما و رطوبت بستر کشت گیاه چمن فستوکا: بر اساس شکل ۷ تمام سطوح کاربرد باکتری صرفه‌نظر از نوع آب آبیاری، در ماه‌های بهار عملکرد مشابهی داشته و روی نمودار روندی، نمودارهای هر کدام از سطوح بسیار به هم نزدیک می‌باشند هرچند آنالیز آماری تفاوت‌هایی را نشان می‌دهد که باکتری B2 و B3 دمای کمتری را نشان می‌دهد. در حالیکه با شروع تابستان تا اوایل پاییز سطح ۴ باکتری بالاترین دمای بستر کشت را به خود اختصاص داده است. با شروع پاییز و سرد شدن هوا



شکل ۷: بررسی تغییرات روندی دما و رطوبت فستوکا در طی بهار، تابستان و پاییز

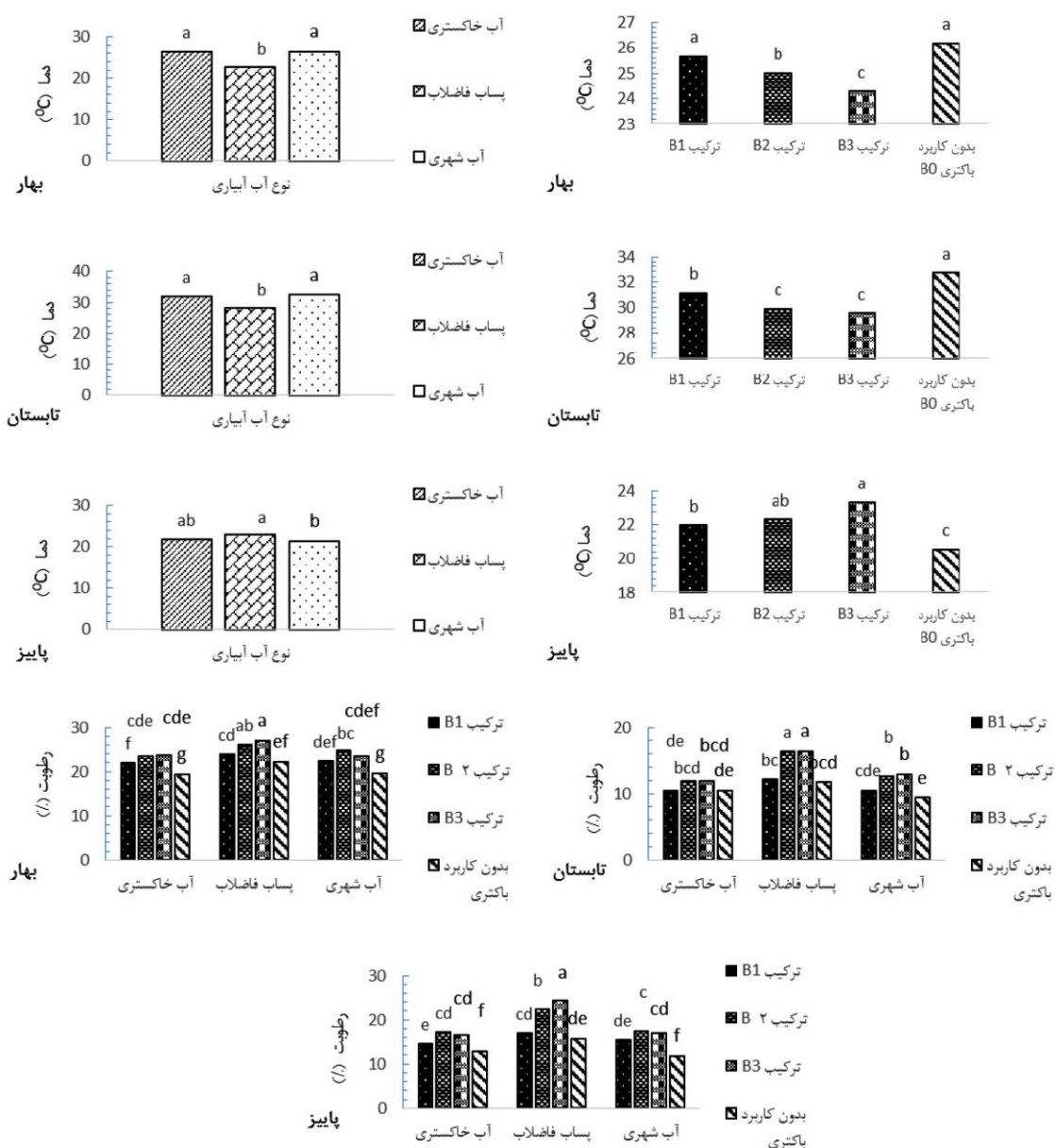


شکل ۶: اثرات آب‌های بازآفرینی و سویه‌های باکتری بر دما و رطوبت بستر کشت در در طی بهار،

تابستان و پاییز گونه *Ophiopogon japonicus*

کاهش دما بی‌تاثیر نبوده است. در فصل پاییز تلقیح بستر کشت با ترکیب B3 بر عکس عمل کرده و سبب افزایش دما گردید، البته پساب فاضلاب شهری تیز در فصل پاییز دما را افزایش داد. در بهار و پاییز ترکیب B3 و در تابستان ترکیب B2 و B3 در پساب فاضلاب شهری رطوبت را نسبت به شاهد افزایش داده‌است.

مطابق شکل ۸ مقایسه میانگین‌های اثرات ساده نوع آب و نوع باکتری بر با دما چمن فستوکا نشان می‌دهد که در فصل بهار تلقیح بستر کشت با ترکیب B3 و در تابستان تلقیح بستر کشت با ترکیب B2 و B3 در کاهش دما موثر بوده‌است. به‌نظر می‌رسد پساب فاضلاب شهری در فصل بهار و تابستان در



شکل ۸: اثرات آب‌های بازیافتی و سویه‌های باکتری بر دما و رطوبت بستر کشت در در طی بهار، تابستان و پاییز گونه *Festuca ovina glauca*

دیوارهای سبز بیرونی جذاب هستند، که اغلب در

مناطق شهری مورد استفاده قرار می‌گیرند.

تأثیر آب‌های بازیافتی و سویه‌های باکتری بر فاکتورهای عملکردی دیوار سبز خارجی: در آزمایش فعلی، افزایش سطح برگ در هر چهار گیاهی که در حضور باکتری بودند و با پساب فاضلاب شهری آبیاری شدند مشاهده شد و این مطابق با گزارشات محققان پیشین بود. Ackerly (۲۰۰۴) گزارش کرد که

بهدود

بهدود رفاه انسان و محیط شهری در شهرها و در سراسر جهان همیشه در راس منافع جوامع خواهد بود. به هر حال، تاب‌آوری محیط شهری در برابر تغییرات آب و هوایی در حال حاضر بسیار مهم است. به‌عنوان مثال، رفاه ساکنان را می‌توان از نظر جنبه‌های زیست محیطی بهبود بخشید. یکی از راه‌های افزایش تاب‌آوری شهرها، عناصر کوچک سبز شهری از جمله

گیاهان در شرایط خشکسالی، برگ‌های ضخیم‌تری تولید می‌کنند و این یک مکانیزم اجتناب از تنش می‌باشد. چنین تغییراتی ممکن است در زمانی که میکروبهایی با گیاهان همزیستی داشتند بیشتر باشد. Dutt و همکاران (۲۰۰۲) گزارش کردند که گیاهان در خاک عملکرد ضعیفی داشتند و تعداد روزهای بیشتری طول کشید تا جوانه‌ها در گل داوودی ظاهر شوند، در حالی که رشد جوانه‌های گل زودتر در کمپوست سبوس برنج گزارش شده بود. بوته‌های گل همیشه بهار آبیاری شده با TSW (۱۰۰٪) با افزایش معنی‌دار ۱۲/۲ درصد نسبت به شاهد بیشترین تعداد گل را ثبت کردند (Mann et al., 2023). ثبت افزایش تعداد گل‌های همیشه بهار آبیاری شده با پساب فاضلاب تصفیه شده، در مقایسه با محصولات آبیاری با آب شهری، در درجه اول به محتوای بالاتر مواد مغذی نسبت داده شد. استفاده از TSW باعث افزایش ظرفیت نگهداری بستر می‌شود که به حفظ مواد مغذی ضروری گیاه در ریزوسفر موجود در حجم محدود گلدان کمک می‌کند (Ojeda et al., 2003) و این نتایج، یافته‌های پژوهش حاضر را در مورد در افزایش تعداد گل در یونیت با حضور سویه‌های باکتری و پساب فاضلاب تایید کرد. 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 گرفت که یکی از عوامل موثر در عملکرد سیستم‌های دیوار سبز سطح پوشش گیاهی است که بستگی به زیست توده گیاهان دارد. نتایج Kazemi و همکاران (۲۰۲۰) با نتایج آزمایش حاضر سازگار است زیرا در آزمایش ما، چمن یال‌اسبی و چمن فستوکا در فصل پاییز و زمستان دارای زیست‌توده بیشتری بود، سرعت رشد و پوشش سریعتری داشتند. وجود سویه‌های زیستی و ژئولیت توزیع مواد مغذی

را تسهیل کرده و مدیریت آبیاری را در شرایط دیوار سبز بهبود بخشید. آبیاری با پساب فاضلاب همچنین جذب مواد مغذی را در بسترها بهبود بخشید. بنابراین، هیچ محدودیتی در رشد گیاه وجود نداشت و می‌توانست بقا و دوام بهتری را برای گیاهان فراهم کند. با این حال، به نظر می‌رسد بستر بدون تلقیح با سویه‌های زیستی به تنهایی بسترهای مناسبی برای سیستم‌های دیوار سبز خارجی نیستند و باید با افزودن باکتری‌های محرک رشد و پساب فاضلاب غنی شوند. هیچ توافق کلی در مورد تأثیر کمبود آب بر کارایی مصرف آب وجود ندارد. عمدتاً کارایی مصرف آب تحت تأثیر کاهش مصرف آب به جای جذب یا افزایش خالص تولید گیاهان است (Blum, 2005). برخلاف کشاورزی، در مناظر شهری، بهبود کارایی مصرف آب لزوماً به معنی بهبود عملکرد کلی نیست. هدف نهایی استفاده کارآمدتر از آب برای زیبایی ظاهری مناسب و متناسب گیاه است (Stabler and Martin, 2000). بنابراین، کارایی مصرف آب را می‌توان شاخص توانایی گونه‌های گیاهی برای صرفه‌جویی در آب در شرایط خشک در نظر گرفت (Fang et al., 2010). در آزمایش ما، کاربرد تیمارهای B1 و B3 و آب‌های نامتعارف در استفاده از آب کارآمدتر از سایر تیمارها بود و بیشترین پوشش را در واحد سطح در واحد آب برای آبیاری داشت، این نکته شایان ذکر است تیمارهای B1 و B3 در آب شهری در افزایش راندمان مصرف آب چندان موفق عمل نکردند.

لازم به ذکر است که بهره‌وری مصرف آب بستگی به ویژگی‌های رشد گیاهان مانند ارتفاع، طول و عرض گیاه دارد (Nazemi Rafi et al., 2019, 2020) که تحت تأثیر شرایط تغذیه‌ای و رطوبت بستر قرار می‌گیرد. در نتایج ذکر شد که حفظ رطوبت در بستر حاوی B2 و B3 بسیار بیشتر از سایر بسترها است. در

بستر شاهد، به دلیل نبود باکتری، احتباس آب بسیار کم است. بنابراین، آب به سرعت از این نوع بستر تخلیه می شود و کمتر در دسترس گیاهان قرار می گیرد. بنابراین، اگرچه ما مقدار یکسانی آب را برای هر دو نوع بستر تأمین کرده ایم، اما گیاهان در بستر شاهد (بدون کاربرد باکتری) کمتر از بستر تلفیح شده با B3 و B2 رشد کرده است. از طرفی در بستر شاهد به دلیل نبود باکتری و آب های بازیافتی میزان مواد غدایی فراهم گیاه به مراتب کمتر می باشد.

تأثیر آب های بازیافتی و سویه های باکتری بر فاکتورهای زیست محیطی دیوار سبز خارجی: در شرایط سیستم های سبز میزان رشد و سطح پوشش گیاه بسیار مهم است زیرا مشخص شده است که شاخص سطح برگ (LAI) و میزان تبخیر و تعرق از سطح تأثیر زیادی بر جریان حرارتی منتقل شده در محیط دارد (Pérez et al., 2012). نتایج نشان داده است که LAI عملکرد حرارتی سیستم های سبز را تحت تأثیر قرار می دهد زیرا سایه، انتقال حرارت جابجایی و تبخیر و تعرق را افزایش می دهد. مقادیر بالاتر LAI اجازه می دهد تا به دلیل افزایش تبخیر و تعرق به اثر خنک کننده بالاتری دست یابید (Peri et al., 2016). نظم تغییرات روند دما و رطوبت بستر کشت نشان داد وجود پوشش گیاهی به طور قابل توجهی نوسانات دما و رطوبت بستر کشت را کنترل می کند و دو گیاه چمن یال اسبی و چمن فستوکا در فصل بهار، پاییز و زمستان در کنترل نوسانات بهتر عمل کردند زیرا پوشش دهی سطح بیشتری داشته اند. البته باید توجه داشت که فراهم بودن رطوبت در منطقه ریشه نمی تواند ضامن رشد مناسب و کیفیت خوب گیاه باشد، بلکه میزان مواد مغذی مورد نیاز در بستر و میزان ریشه گیاه که تحت تأثیر ترکیب سویه های باکتری است بسیار حائز اهمیت است هر چند میزان

فعالیت باکتری ها نیز تحت تأثیر دما و رطوبت بستر کشت قرار می گیرد.

مزایای جانبی صفات میکروبی ممکن است پاسخ های مفید گیاه به رطوبت خاک را با حداقل سه مکانیسم غیر منحصر به فرد تقویت کند. باکتری های محرک رشد می توانند مستقیماً فنوتیپ گیاه را دستکاری کنند، (به عنوان مثال، با تولید هورمون های گیاهی (Yang et al., 2009)، محیط خاک را اصلاح کنند، (به عنوان مثال، تغییر ظرفیت نگهداری آب در خاک (Lennon and Lehmkuhl, 2016)، یا اجازه می دهند تا میکروب های مفید به طور کلی زنده بمانند و عملکرد مفید خود را حفظ کنند (به عنوان مثال، کمک به ریزوبیوم ها برای زنده ماندن و ادامه تثبیت نیتروژن برای گیاهان). در یک مطالعه جوزای (۱۳۹۸) گزارش کرد، با افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک، رشد گیاه در شرایط تنش زا افزایش می یابد. تغییر در چرخه هیدرولوژیکی ناشی از افزایش تبخیر و تعرق، فرکانس و شدت بیشتر بارندگی، که بر چرخه خشک کردن و خیس شدن (DW) خاک تأثیر می گذارد، یک اثر شناخته شده بر تغییرات آب و هوا است (Llopert et al., 2020). چرخه های DW مهم هستند زیرا تغییرات در خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک را افزایش می دهند. چرخه های مکرر DW می تواند فعالیت آنزیم میکروبی خارج سلولی را افزایش دهد، زیست توده میکروبی را کاهش دهد و تنوع و غنای جامعه میکروبی خاک را تغییر دهد، بر رقابت پذیری میکروارگانیسم های محرک رشد گیاه تلقیح شده در خاک تأثیر بگذارد (Huang et al., 2021). میکروارگانیسم های خاک با شرایط استرس زای محیطی سازگار می شوند که عمدتاً ناشی از دمای بالا و خشکسالی شدید است (Santos et al., 2012). این سازگاری به دلیل ویژگی های میکروارگانیسم ها برای رشد در شرایط آب و هوایی

سخت است که پتانسیل عملکردی بالا برای محصولات کشاورزی دارد (Reis Antunes et al., 2019).

در مورد چمن‌های فصل سرد که دامنه دمایی بهینه برای رشد این چمن‌ها ۲۰ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد است. این چمن‌ها در دماهای خنک بهار و پاییز خوب رشد می‌کنند. آنها ممکن است در دماهای گرم تابستان به خواب بروند و در صورتی که گرما شدید باشد، از بین بروند (Ghasemi Ghasare, 2018)، شایان ذکر است دو چمن مورد استفاده در این پژوهش چمن یال‌اسبی و فستوکا از چمن‌های فصل سرد بوده که در بخش بزرگی از تابستان به‌نظر به‌خواب رفته و تاثیری روی نوسانات رطوبتی بستر نداشته‌اند.

بر اساس شکل‌های ۵-۸ بستر کشت تلقیح شده با ترکیب B3 و B2 و از طرفی آبیاری با پساب فاضلاب، دمای بستر بیشتری نسبت به سایر بسترهای کشت در فصل پاییز داشته است. اما در فصل بهار و تابستان برعکس عمل کرده و سبب کاهش دمای بستر گردیده است. به‌نظر می‌رسد باکتری‌های محرک رشد و پساب فاضلاب با افزایش زیست‌توده تر و پوشش گیاهی بیشتر مانند مالچ زنده عمل کرده و باعث تعدیل دما شده‌است. در مطالعات پیشین نیز گزارش شده است وجود پوشش گیاهی از یخ‌زدگی بستر در طول زمستان جلوگیری می‌کند و آن را در فصل بهار خنک نگه می‌دارد (Brix, 2003).

در پژوهش Jozay (۲۰۲۰) نشان داده شد که دمای بسترهای کشت مختلف در طول تابستان در شرایط دیوار سبز متفاوت می‌باشد. در هر سه گونه گیاهی مورد آزمایش در این پژوهش کمترین دما در فصل تابستان در بستر کشت محتوی کمپوست قارچ ثبت گردید و در حالیکه در فصل پاییز و زمستان ترکیب این بستر آلی، دمای خاک را بالا برد و از یخ

زدگی گیاهان در بستری با عمق نهایت ۱۲ سانتی‌متر در فصل زمستان جلوگیری کرد. Jozay و همکاران (۲۰۲۲) این کاهش دما را در ارتباط با ظرفیت نگه داشت بالای آب این بستر و رطوبت بالاتر این بستر نسبت به سایر بسترها دانستند. در آزمایش ما نیز بسترهای کشت با ترکیب سویه‌های زیستی B3 و B2 و از طرفی آبیاری با پساب فاضلاب نسبت به سایر بسترهای کشت دمای پایین‌تری در تابستان و دمای بالاتری در پاییز داشتند که به بالا بودن رطوبت این بسترها به خاطر حضور باکتری‌های محرک رشد باز می‌گردد.

نتیجه‌گیری نهایی

نتایج این مطالعه نشان داد که بسترهای کشت بدون خاک بدون حضور باکتری و به تنهایی نمی‌توانند رشد بهینه گیاه را ایجاد کنند اما در ترکیب باکتری و استفاده از پساب فاضلاب و آب خاکستری می‌توانند رشد و بقای گیاه را بهبود بخشند، بسترهای حاوی سویه‌های ترکیبی به‌طور قابل‌توجهی نسبت به بستر شاهد بهتر عمل کردند به‌طوری که بالاترین سطح برگ و زیست‌توده (مهمترین عامل برای دیوار سبز) از بستر حاوی (تلقیح بستر کشت با ترکیب B3 و B1) بدست آمد. همچنین در میان انواع آب مورد مطالعه، پساب فاضلاب شهری و آب خاکستری بهترین عملکرد زیست محیطی و ترمودینامیکی را داشته است. نتایج این پژوهش تلفیق بستر کشت با ترکیب باکتری ۳ و آبیاری با پساب فاضلاب در چمن یال‌اسبی و همچنین استفاده از ترکیب B1 و آبیاری با آب خاکستری در چمن فستوکا در دیوار سبز خارجی در اقلیم خشک و نیمه‌خشک را پیشنهاد می‌کند. ترکیب باکتری B3 و B1 و آبیاری با آب‌های نامتعرف، راندمان مصرف آب را حدود ۴۰ درصد در فصل بهار و پاییز افزایش داد. شایان ذکر است در

فصل تابستان راندمان مصرف آب بر اساس اندکس رشد بالای ۵۰ درصد رسید. بر اساس نتایج، استفاده از منابع آب بازیافتی می‌تواند گزینه‌ای قابل دوام و پایدار باشد، که حفاظت از آب را تضمین می‌کند و وابستگی به منابع آب شیرین را کاهش می‌دهد. در این مقاله سعی شد با بررسی صفات عملکردی و ترمودینامیکی مفهوم دیوارهای سبز زنده نه تنها به عنوان ابزاری مناسب برای مدیریت فضای شهری، بلکه به عنوان ابزاری ممکن برای افزایش تاب‌آوری اقلیمی شهرها معرفی شود.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مایلند از حمایت و منابع [دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی گرگان] در انجام این تحقیق با شماره کمک هزینه ۴۸۰ قدردانی کنند. امکانات و تخصص ارائه شده توسط دانشگاه در تکمیل موفقیت‌آمیز این مطالعه مؤثر بوده است.

References

- Ackerly, D. (2004). Functional Strategies of Chaparral Shrubs in Relation to Seasonal Water Deficit and Disturbance. *Ecological Monographs*, 74(1): 25–44.
- Badri, D.V. and Vivanco, J.M. (2009). Regulation and Function of Root Exudates. *Plant Cell Environ*, 32, 666–681.
- Banti, N., Ciacci, C., Di Naso, V. and Bazzocchi, F. (2023). Green Walls as Retrofitting Measure: Influence on Energy Performance of Existing Industrial Buildings in Central Italy. *Buildings*, 13(2): p.369.
- Blanc, P. (2008). *The vertical garden: in nature and the city*. New York: W.W. Norton and company.
- Blum, A. (2005). Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential- are they compatible, dissonant, or mutually exclusive? *Australian Journal of Agricultural Research*, 56(11): 1159-1168.
- Brázdová, A., Kupka, J., and Vojvodíková, B. (2020). The Exterior Green Walls and Their Perspective in High Density Parts of Urban Area. In *Proceedings of the 20th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2020*, Albena, Bulgaria, 18–24.
- Brix, H. (2003). May. Plants used in constructed wetlands and their functions. In *1st International Seminar on the use of Aquatic Macrophytes for Wastewater Treatment in Constructed Wetlands*, edit. Dias V., Vymazal J. Lisboa, Portugal (pp. 81-109).
- Dutt, M., Patil, M.T. and Sonawane, P.C. (2002). Effect of various substrates on growth and flowering of Chrysanthemum. *Indian Journal of Horticulture*, 59: 191–5.
- Ekhlasia Nia, A. (2021). Evaluation of arsenic and iron transport from sediments of a potable water treatment plant wastewater stabilization pond system. M.Sc. Thesis, In the Department of Civil, Geological and Environmental Engineering, Canada.
- Fan, S., Amombo, E., Yin, Y., Wang, G., Avoga, S., Wu, N. and Li, Y. (2023). Root system architecture and genomic plasticity to salinity provide insights into salt-tolerant traits in tall fescue. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 262: p.115315.
- Fang, Q.X., Ma, L., Green, T.R., Yu, Q., Wang, T.D. and Ahuja, L.R. (2010). Water resources and water use efficiency in the North China Plain: Current status and agronomic management options. *Agricultural Water Management*, 97(8): 1102-1116.
- Fernandez, V., Ebert, G. and Winklmann, G. (2005). The use of microbial siderophores for foliar iron application studies. *Plant Soil*, 272: 245-252.
- Ferreira, C.S.S., Potočki, K., Kapović-Solomun, M. and Kalantari, Z. (2021). Nature-based solutions for flood mitigation and resilience in urban areas. In *Nature-Based Solutions for Flood Mitigation: Environmental and Socio-Economic Aspects* (pp. 59-78). Cham: Springer International Publishing.
- Ghaitidak, D.M. and Yadav, K.D. (2013). Characteristics and treatment of greywater—a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 20: 2795–2809.

- Ghasemi Ghasare, M. and Kafi, M. (2018). Floriculture (scientific and practical). Volume 2. Publications of the author.
- Glick, B.R. (2012). Plant Growth-Promoting Bacteria: Mechanisms and Applications. Scientifica, e963401.
- Heathcote, E. (2015). The Problem with Ornament. The Architectural Review. Available online: <https://www.architectural-review.com/essays/ornament/ornament-is-the-language-through-which-architecture-communicates-with-a-broader-public> (accessed on 13 February 2022).
- Helmecke, M., Fries, E. and Schulte, C. (2020). Regulating water reuse for agricultural irrigation: Risks related to organic micro-contaminants. Environmental Sciences Europe, 32: 10.
- Huang, Q., Qiu, W., Yu, M., Li, S., Lu, Z., Zhu, Y., Kan, X. and Zhuo, R. (2022). Genome-Wide Characterization of Sedum plumbizincicola HMA Gene Family Provides Functional Implications in Cadmium Response. Plants, 11(2): 215.
- Huang, Y., Ren, W., Liu, H., Wang, H., Xu, Y., Han, Y. and Teng, Y. (2021). Contrasting impacts of drying-rewetting cycles on the dissipation of di-(2-ethylhexyl) phthalate in two typical agricultural soils. Science of the Total Environment, 792: 148433. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148433>.
- Humeau, P., Hourlier, F., Bulteau, G., Masse, A., Jaouen, P., Gerente, C., Faur, C. and Le Cloirec, P. (2011). Estimated costs of implementation of membrane processes for on-site greywater recycling. Water Science and Technology, 63: 2949–2956. <https://doi.org/10.2166/wst.2011.617>
- Janani, K., Sivarajasekar, N., Muthusaravanan, S., Ram, K., Prakashmaran, J., Sivamani, S., Dhakal, N., Shahnaz, T. and Selvaraju, N. (2019). Optimization of EDTA enriched phytoaccumulation of zinc by Ophiopogon japonicus: Comparison of Response Surface, Artificial Neural Network and Random Forest models. Bioresource Technology Reports, 7, p.100265.
- 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.
- Jozay, M., Kazemi, F. and Fotovat, A. (2022). The performance of cover plant (*Frankenia thymifolia*) and its effect on the physicochemical properties of the recycled substrates in four different seasons in external green wall systems. Journal of Plant Environmental Physiology, 18(69): 1-25. 10.30495/IPER.2022.1960747.1808
- Ju, W., Liu, L., Fang, L., Cui, Y., Duan, Ch. and Wu, H. (2019). Impact of co-inoculation with plant-growth-promoting rhizobacteria and rhizobium on the biochemical responses of alfalfa-soil system in copper contaminated soil, Ecotoxi & Environl Safety, 167: 218-226.
- 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., 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.
- Lennon, J. T. and Lehmkuhl, B.K. (2016). A Trait-Based Approach to Bacterial Biofilms in Soil. Environmental Microbiology, 18(8): 2732–42.
- Llopart, M., Reboita, M.S. and Rocha, R.P. (2020). Assessment of multi-model climate projections of water resources over South America CORDEX domain. Clim. Dyn, 54: 99–116. <https://doi.org/10.1007/s00382-019-04990-z>.
- Lu, Z., Mo, W., Dilkina, B., Gardner, K., Stang, S., Huang, J-C., and Foreman, M.C. (2019). Decentralized water collection systems for households and communities: household preferences in Atlanta and Boston. Water Res, 167: 115134. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.115134>
- Mann, G.S., Dubey, R.K., Singh, S., Deepika, R., Singh, D. and Kaur, N. (2023). Effect of growing media on growth and flowering of potted marigold (*Tagetes erecta* L.) irrigated with treated sewage water. Journal of Plant Nutrition, pp.1-14.

- Medrano, H., Tomás, M., Martorell, S., Flexas, J., Hernández, E., Rosselló, J., Pou, A., Escalona, J. M. and Bota, J. (2015). From leaf to whole-plant water use efficiency (WUE) in complex canopies: Limitations of leaf WUE as a selection target. *The Crop Journal*, 3: 220-228.
- Morel, A., and Diener, S. (2006). *Greywater Management in Low and Middle-Income Countries*. CH: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, Dübendorf.
- Nazemi Rafi, Z., Kazemi, F. and Tehranifar, A. (2020). Effects of various irrigation regimes on water use efficiency and visual quality of some ornamental herbaceous plants in the field. *Agricultural Water Management*, 212(1): 78-87.
- Nazemi Rafi, Z., Kazemi, F. and Tehranifar, A. (2019). Morpho-physiological and biochemical responses of four ornamental herbaceous species to water stress. *Acta Physio Plant*, 41(1): 6-13.
- Ojeda, G., Alcaniz, J.M. and Ortiz, O. (2003). Runoff and losses by erosion in soils amended with sewage sludge. *Land Degradation and Development*, 14 (6):563–73. doi: 10.1002/ldr.580.
- Pérez, G., Vila, A., Rincón, L., Solé, C., and Cabeza, L.F. (2012). Use of rubber crumbs as drainage layer in green roofs as potential energy improvement material, *Build. Environ*, 97: 347–354.
- Peri, G., Rizzo, G., Scaccianoce, G., La Gennusa, M. and Jones, P. (2016). Vegetation and soil – related parameters for computing solar radiation exchanges within green roofs: Are the available values adequate for an easy modeling of their thermal behavior? *Energy Build*, 129: 535–548.
- Reis Antunes, G., Santana, S.R.A., Escobar, I.E.C., Silva Brasil, M., de Araújo, G.G.L., Voltolini, T.V. and Fernandes-Júnior, P.I. (2019). Associative diazotrophic bacteria from forage grasses in the Brazilian semi-arid region are effective plant growth promoters. *Crop and Pasture Science*, 70: 899–907. <https://doi.org/10.1071/CP19076>.
- Ruzzi, M., and Aroca, R. (2015). Plant growth-promoting rhizobacteria act as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae*, 196: pp.124-134.
- Santos, R.M., Oliveira-Filho, A.T., Eisenlohr, P.V., Queiroz, L.P., Cardoso, D.B., and Rodal, M. J. (2012). Identity and relationships of the Arboreal Caatinga among other floristic units of seasonally dry tropical forests (SDTFs) of north-eastern and Central Brazil. *Ecol. Evol*, 2: 409–428. <https://doi.org/10.1002/ece3.91>
- Stabler, L., and Martin, CH. (2000). Irrigation Regimens Differentially Affect Growth and Water Use Efficiency of Two Southwest Landscape Plants. *Journal of Environmental Horticulture*, 18 (2): 66–70.
- UNESCO. (2021). *Valuing Water*; UNESCO: Paris, France, Volume 191, ISBN 9789231004346.
- UNESCO, UN-Water. (2020). *United nations world water development report 2020: Water and climate change*. UNESCO.
- World-Bank *Gestion de la Rareté de l' Eau en Milieu Urbain au Maroc*; (2017). World Bank: Washington, DC, USA, pp. 1–38.
- Xiao, Y., Liu, H., Chen, R., Liu, S., Hao, X. and Fang, J. (2022). Heteroauxin-producing bacteria enhance the plant growth and lead uptake of *Miscanthus floridulus* (Lab.). *International Journal of Phytoremediation*, 1-8.
- Yang, J., Kloepper, J.W. and Ryu, C.M. (2009). “Rhizosphere Bacteria Help Plants Tolerate Abiotic Stress.” *Trends in Plant Science*, 14(1): 1–4.
- Yang, X., Gao, Y., Gan, T., Yang, P., Cao, M. and Luo, J. (2022). Elevated atmospheric CO₂ enhances the phytoremediation efficiency of tall fescue (*Festuca arundinacea*) in Cd-polluted soil. *International Journal of Phytoremediation*, 24(12): pp.1273-1283.