فرآیند و کارکرد گیاهی، جلد ۱۳، شماره ۶۲، مهر و آبان‌ماه ۱۴۰۳ صفحه: ۲۶۷-۳۰۰
https://doi.org/10.22034/13.62.267

مقاله پژوهشی

بررسی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک چمن یال‌اسبی، فستوکا روبرا، گل‌یخ و سدوم‌عقربی تحت تأثیر آب‌های نامتعارف و باکتری‌های محرک رشد در دیوارهای سبز خارجی

منصوره جوزای[۱]، حسین زارعی*[۱]، سارا خراسانی‌نژاد[۱] و تقی میری[۲]
[۱] گروه علوم باغبانی، دانشکده تولید گیاه، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
[۲] دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه بیرمنگهام، B15 2TT، انگلستان
(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۳۱، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۲/۰۷/۱۷)

چکیده
امروزه با وجود گسترش شهرنشینی و سرعت بالای ساخت‌وساز در شهرها، اکثر بافت شهر را ساختمان‌ها پر کرده‌اند. لذا بازگرداندن طبیعت به شهرها در قالب فضاهای سبز عمودی می‌تواند یکی از راه‌حل‌های پرطرفدار باشد. باتوجه به نوظهور بودن دیوارهای سبز و ایراد وارده به آن‌ها که مصرف‌کننده لوکس آب شهری هستند و از طرفی بحران جدی آب، لزوم کاربرد آب‌های بازیافتی در کشت گیاهان در این ساختارهای سبز را دو چندان می‌کند. از طرفی آلودگی‌هایی که از طریق آب‌های نامتعارف مورد استفاده در فضاهای سبز به محصولات کشاورزی منتقل می‌شود، در شهرها یک مشکل جدی است و در کشاورزی شهری باید مورد توجه قرار گیرد. به دنبال راه‌حلی برای رفع ایراد وارده به استفاده رایج از این‌گونه آب‌ها در باغبانی شهری، 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 چهار آزمایش مجزا و درقالب کرت‌های خردشده 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 باکتری در چهار سطح به صورت ترکیبی از باکتری‌های مختلف شامل ترکیب ۱ (*Pseudomonas flucrecens*+ *Azosporillum Liposferum*+ *Thiobacillus thioparus*+ *Aztobactor chorococcum*)، ترکیب ۲ (*Paenibacillus polymyxa*+ *Pseudomonas fildensis*+ *Bacillus subtilis*+ *Achromobacter xylosoxidans*+ *Bacillus licheniformis*)، ترکیب ۳ (*Pseudomonas putida*+ *Acidithiobacillus ferrooxidans*+ *Bacillus velezensis*+ *Bacillus subtilis*+ *Bacillus methylotrophicus*+ *Mcrobacterium testaceum*) و سطح شاهد بدون کاربرد باکتری بود. همچنین گونه‌های گیاهی مورد بررسی شامل فستوکا روبرا (*Festuca ovina glauca*)، چمن یال‌اسبی (*Ophiopogon japonicus*)، گل‌یخ (*Aptenia cordifolia*) و کارپوبروتوس (*Carpobrotus edulis*) بود. نتایج نشان داد که تمام صفات مورفولوژیک (ارتفاع گیاه، تعداد گره، فاصله میانگره‌ها، قطر طوقه، قطر ساقه، تعداد برگ، پهنای برگ، تعداد و طول شاخه‌های جانبی، شاخص رشد) در هر چهار گیاه در سطح احتمال ٪۵ اختلاف معنی‌دار نشان دادند. طول برگ در سه گیاه فستوکا، چمن یال‌اسبی، گل‌یخ در سطح احتمال ٪۵ معنی‌دار شد. بالاترین محتوی نسبی آب برگ و کلروفیل و کمترین کمبود اشباع نسبی، کاروتنوئید و آنتوسیانین در بسترهای تلقیح‌شده با باکتری بود. همچنین صفات مورفوفیزیولوژیک برتر در گیاهان کشت‌شده در بسترهای تلقیح‌شده آبیاری با پساب فاضلاب رویت شد. نتایج این پژوهش تلفیق

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: h.zarei@gau.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]
[DOI: DOI: 10.22034/13.62.267]

بستر کشت با ترکیب باکتری ۳ و آبیاری با پساب فاضلاب و همچنین استفاده از گیاه گل‌یخ به جای سایر گیاهان ناپایدار به‌کاررفته در دیوار سبز خارجی در اقلیم خشک و نیمه‌خشک را پیشنهاد می‌کند.

واژه‌های کلیدی: آب‌های ضایعاتی، بحران آب، توسعه شهری پایدار، روش‌های بیولوژیک، کمبود اشباع نسبی، گیاهان پالاینده

مقدمه

محیط‌های شهری با توسعه‌های ناپایدار کنونی محیط‌هایی پرچالش هستند که از دیدگاه زیست‌محیطی نیاز به اصلاحات اساسی دارند. علت اساسی مشکلاتی از جمله گسترش آلاینده‌ها، جزایر گرمایی شهری، توسعه سطوح سخت، تغییرات اقلیم، از دست‌دادن تنوع زیستی و زیان‌های زیبایی مربوط به تحولات کنونی شهری است (V´asquez *et al*., 2019; Jozay *et al*., 2021a). این در حالی است که محیط‌های طبیعی و غیرساختگی شهری قابلیت بازسازی و اصلاح خود را به صورت اکولوژیکی دارند، اما توسعه‌های جدید شهری با رویکردهای ناپایدار این گزینه‌ها را از ما گرفته‌اند (Langemeyer and Connolly, 2020). برای حل این معضل Artmann و Sartison (۲۰۱۸) راه‌حل مبتنی بر طبیعت را ارائه دادند. این راه‌حل بیان می‌کند خدمات اکوسیستمی حاصل از زیرساختارهای سبز پایدار شهری می‌تواند با مجموعه وسیعی از چالش‌های شهری مقابله کند.

ازآنجایی‌که گسترش افقی فضاهای سبز به دلیل کمبود زمین خالی حداقل از نظر تئوری می‌تواند این هدف را تأمین کند، تنها راه‌حل قابل‌اجرا توسعه عمودی باغ‌ها است. کمبود شدید فضا در محیط‌های شهری متراکم کنونی ضرورت گسترش بام‌ها و دیوارهای سبز در سطح شهرهای آینده را امری ضروری می‌نماید (Jozay *et al*., 2024a). می‌توان گفت دیوارهای سبزعمودی فناوری‌های زیست‌محیطی پایداری هستند که مزایای اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی متعددی را به همراه دارند و به‌عنوان ریه‌های شهری نیز در نظر گرفته می‌شوند (Mahmoudi Jabri *et al*., 2020). اما هنوز پتانسیل اساسی این زیرساختارها از دیدگاه عناصر سازنده پایدار، با هدف افزایش کارآیی‌های زیست‌محیطی و چندکاره‌کردن آنها کمتر در تحقیقات مورد بررسی قرار گرفته است (Jozay *et al*., 2021b).

نیاز آبی بالای سیستم‌های سبز یک عامل محدودکننده برای توسعه آنها در مناطق کم‌آب است. برای کاهش نیاز آبی استفاده از گونه‌های مقاوم به خشکی و گرما پیشنهاد می‌شود (Savi *et al*., 2016). راه‌حل دیگر می‌تواند استفاده از منابع آب جایگزین مانند آب خاکستری و پساب فاضلاب باشد (Jozay *et al*., 2024b). از آنجایی که دیوار سبز یک نوآوری محیط زیستی محسوب می‌گردد بایستی امکان ذخیره‌سازی آب باران و استفاده مجدد از آب بازیافتی ایجاد شود (Jozay and Rabbani, 2019).

آلودگی خاک با فلزات سنگین که در منابع کودی و آب‌های نامتعارف مورد استفاده در فضاهای سبز شهری موجود است و انتقال آن به محصولات کشاورزی در شهرها یک مشکل جدی است. بنابراین علیرغم اهمیت توسعه کشاورزی شهری در شهرها چالش‌های متعددی مانع پایداری این مفهوم در محیط‌های شهری می‌شود که مقابله با آنها نیاز به برنامه‌ریزی دارد. عوامل مهمی از جمله فاکتورهای به‌زراعی و باغبانی مثل باکتری‌های محرک رشد، فاکتورهای طراحی و همین‌طور فاکتورهای گیاهی در فیلتراسیون خاک (Li *et al*., 2022)، در حذف آلاینده‌ها نقش دارند و اخیراً گزارش شده است که کشت گیاهان در بسترهای حاوی برخی باکتری‌های محرک رشد در رفع نیاز آنها به کودهای شیمیایی (Kazemi and Jozay, 2024) مؤثر است.

کودهای زیستی در تحقیقات شامل انواع مختلف ریزموجودات آزادزی هستند که توانایی تبدیل عناصر غذایی پرمصرف را از فرم غیرقابل دسترس به فرم قابل‌دسترس طی فرآیندهای بیولوژیکی داشته و منجربه توسعه سیستم ریشه‌ای

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.267]

و جوانه‌زنی بهتر بذور می‌شوند (Singh *et al*., 2022).

در پژوهشی Liu و همکاران (۲۰۲۱) چهل و یک سویه باکتریایی از خاک ریزوسفر و بافت ریشه پنج گیاه غالب (*Artemisia argyi* Levl.، *Gladiolus gandavensis* Vaniot، *Boehmeria nivea* L. Houtt، *Veronica didyma* Tenore و *Miscanthus floridulonizing* Lab) جدا کردند. نتایج نشان داد در بین باکتری‌ها دو سویه، *Klebsiella michiganensis* TS8 و *Lelliottia jeotgali* MR2، تحمل بالاتری را به کادمیوم نشان داد و بر گیاه‌پالایی کادمیوم خاک بسیار موفق بود. TS8ارتفاع گیاه را افزایش داد و وزن خشک برگ‌ها را از ۳۹/۹ به ۹۹/۱ رساند. به‌نظر می‌رسد سویه‌های *Pseudomonas*، *Mycobacterium*، *Staphylococcus*، *Micrococcus*، *Bacillus*، *Paenibacillus*، *Klebsiella* به‌طور گسترده تنها برای گیاه‌پالایی مورد استفاده قرار گرفتند و کاربرد ترکیبی این سویه‌ها موفق‌تر از کاربرد تکی آن‌ها بوده‌است (Xiao *et al*., 2022). برخی گیاهان و علف‌های بومی نیز دارای پتانسیل گیاه‌پالایی در آب آلوده به فلزات هستند. گیاه‌پالایی باواسطه افزایش زیستی یک رویکرد امیدوارکننده است که می‌تواند اثرات هم‌افزایی میکروارگانیسم‌ها و همچنین گیاهان را افزایش دهد (Gavrilescu, 2022).

از طرفی مهمترین چالش رشد جمعیت تقاضای آب برای فعالیت‌های اقتصادی به‌ویژه کشاورزی است. کمبود آب شیرین یکی از نگرانی‌های اصلی در مناطق متراکم شهری است. از طرفی دفع آب خاکستری و پساب فاضلاب‌های شهری می‌تواند منابع آب سطحی و زیرزمینی را آلوده کند. در این زمینه دیوارهای سبز می‌توانند تصفیه آب‌های نامتعارف را بهبود بخشند، چرخه هیدرولوژیکی را افزایش دهند، همچنین زیبایی و لذت‌بردن از مناطق شهری را افزایش دهند (Zanin *et al*., 2018). از موارد مهم در آب‌های نامتعارف می‌توان به آب خاکستری، پساب فاضلاب اشاره نمود.

آب خاکستری فاضلابی است که از خشکشویی‌ها، دستشویی‌ها، دوش‌ها، حمام‌ها (به‌نام آب خاکستری روشن نیز نامیده می‌شود) و در برخی موارد از سینک‌های آشپزخانه و ماشین‌های ظرفشویی (به‌نام آب خاکستری تیره) تولید می‌شود. آب خاکستری روشن در مقادیر قابل‌توجهی (۴۵ تا ۶۰ درصد از فاضلاب خانگی) تولید می‌شود و حاوی بار آلاینده کم در مقایسه با فاضلاب خانگی مخلوط است (Noutsopoulos *et al*., 2018). به همین دلیل تلاش‌های زیادی برای استفاده مجدد از آن در محل انجام شده است.

در این زمینه دیوارهای سبز اخیراً به عنوان سیستم‌های صرفه‌جویی در فضا، مبتکرانه پیشنهاد شده‌اند که می‌توانند مزایای سبزسازی ساختمان‌ها را با ظرفیت پوشش گیاهی آب در تصفیه فاضلاب از طریق تالاب‌های ساخته‌شده ترکیب کنند (Lakho *et al*., 2022). Lakho و همکاران (۲۰۲۲) یک سیستم دیوار سبز ۱۴/۴ مترمربعی در یک خانه تراس‌دار در گنت (بلژیک) برای اصلاح آب خاکستری، طراحی و نصب کردند. در اولین مرحله تحقیقاتی، سیستم حذف ٪۶۷، ٪۴۳، ٪۸۳ برای TSS، COD، BOD و کلیفرم کل را نشان داد و از پساب به‌دست آمده برای شستشوی توالت استفاده مجدد کردند.

Thomaidi و همکاران (۲۰۲۲) در پژوهشی از بام سبز به‌عنوان یک تالاب ساخته‌شده برای تصفیه آب خاکستری در ساختمان استفاده کردند. آنها در مطالعه خود از گونه‌های گیاهی (*Geranium zonale*، *Polygala myrtifolia* و *Atriplex halimus*) استفاده کردند. این آزمایش به‌مدت ۱۲ ماه در شرایط آب‌وهوایی معمولی مدیترانه‌ای در جزیره Lesvos یونان انجام شد. نتایج نشان داد که بام‌های سبز کاشته‌شده با *Atriplex halimus* دارای بهترین راندمان حذف COD (٪۹۱)، BOD (٪۹۱)، TSS (٪۹۳) و کدورت (٪۹۳) بود. همچنین فاضلاب تصفیه‌شده دارای ارزش غذایی خوبی است که می‌تواند رشد گیاه را افزایش دهد، مصرف کود را کاهش دهد و بهره‌وری ضعیف خاک حاصلخیز را افزایش دهد (Soudi, 2018).

با توجه به شرایط تنش‌زای دیوار سبز از دیدگاه ریزاقلیمی و استفاده از آب‌های نامتعارف جهت تولید گیاهان، احتمال انتقال فلزات سنگین و افزایش تنش‌های غیرزیستی بیشتری

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.267]

وجود دارد (Rosa *et al*., 2022). بنابراین استفاده از پساب فاضلاب در کشاورزی شهری باید با احتیاط بیشتری همراه باشد. هدف اصلی این مقاله بررسی این موضوع است که استفاده از کودهای آلی بیولوژیک علاوه بر افزایش ماده آلی خاک و جایگزین مؤثر کودهای شیمیایی، با افزایش صفات رشدی و زیبایی دیوارهای سبز، راهکاری مؤثر در جهت افزایش عملکرد کشاورزی پایدار است. برای موفقیت در کشاورزی پایدار استفاده از کودهای زیستی مثل باکتری‌های محرک رشد و دیگر میکروارگانیسم‌های سودمند امری اجتناب‌ناپذیر است. اقدامات کشاورزی خوب که با برنامه‌ریزی و مدیریت اجرا می‌شود، اثرات زیست‌محیطی و آلودگی منابع آب را کاهش می‌دهد و استفاده مجدد می‌تواند برای محیط زیست مفید باشد.

مواد و روش‌ها

شرایط و مکان اجرای آزمایش: پژوهش مورد نظر در شهر مقدس مشهد در شمال‌شرقی ایران انجام گرفت. مشهد مرکز استان خراسان رضوی، دومین شهر بزرگ و پرجمعیت ایران در شمال‌شرق 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). میزان متوسط بارندگی سالیانه حدود ۲۵۵ میلی‌متر است. میانگین حداقل و حداکثر دما سالانه به‌ترتیب ۴- و ۲۲ درجه سانتی‌گراد می‌باشد و رطوبت نسبی در حدود ۴۰ درصد گزارش گردیده است (National Centers for Climatology, 2019). در واقع محل دقیق آزمایش روی دیواری به طول ۱۸ متر در محوطه بیرونی سردخانه پیرشا واقع در شمال شهر مشهد است.

این آزمایش به بررسی تأثیر کیفیت آب آبیاری و سویه‌های مختلف باکتری بر رشد و عملکرد برخی گیاهان زینتی با خاصیت انباشتگری و در عین‌حال اندازه‌گیری میزان مصرف آب این گونه‌ها در شرایط دیوار سبز انجام شد که این پژوهش به‌صورت چهار آزمایش مجزا و در قالب کرت‌های خردشده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در فروردین‌ماه سال زراعی ۱۴۰۱ اجرا شد. بستر کشت مورد استفاده در تمامی واحدهای آزمایش یکسان و شامل (۲۵ درصد کوکوپیت (Khorshid *et al*., 2018)، ۵ درصد ورمی‌کمپوست (Wang *et al*., 2022)، ۵۵ درصد پرلیت (Gong *et al*., 2022)، ۱۰ درصد ورمی‌کولیت (Bai *et al*., 2022) و ۵ درصد زئولیت (Yu *et al*., 2022) بود (میزان توصیه‌شده مواد آلی بستر برای کشت گیاهان در دیوار سبز مطابق دستورالعمل FLL (گایدلاین آمریکا) کمتر از ۳۰ درصد است). هر دیوار شامل دو پانل ۱۰۶×۴۴ سانتی‌متر و هر سه دیوار یک تکرار در این آزمایش بود. در هر دیوار ۱۶ پلات (واحد آزمایشی) در نظر گرفته شد. با در نظر گرفتن چهار گیاه زینتی و تیمارهای نامبرده با سه تکرار، آزمایش شامل ۱۴۴ واحد آزمایشی بود.

اعمال تیمار آب‌های نامتعارف: فاکتور اصلی کیفیت آب آبیاری به‌صورت 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) به‌عنوان سطوح فاکتور اصلی درآزمایش اول در نظر گرفته می‌شود. فاکتور اصلی در سه مخزن تانک اصلی جمع و به صورت آبیاری قطره‌ای به گیاه اعمال می‌شود و میزان آبیاری ٪۷۰ ظرفیت زراعی خاک مورد استفاده در نظر گرفته خواهد شد و بر اساس دبی قطره چکان‌ها تنظیم می‌گردد.

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) استفاده شد.

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

Mix1 (*Psedoumonas flucrecens*+ *Azosporillum Liposferum*+ *Thiobacillus thioparus*+ *Aztobactor chorococcum*)

B2- پانی باسیلوس پلی‌میکسا+ سودوموناس فیلدنسیس+ باسیلوس سوبتیلیس+ آکروموباکتر زایلوساکسیدانس+ باسیلوس لیکنیفورمیس

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.267]

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

B3– سودوموناس پوتیدا+ اسیدیتیوباسیلوس فرواکسیدانس + باسیلوس ولزنسیس + باسیلوس سابتلیس + باسیلوس متیلوتروفیکوس + میکروباکتریوم تستاسئوم

Pseudomonas putida+ *Acidithiobacillus*) Mix3 *ferrooxidans*+ *Bacillus velezensis*+ *Bacillus subtilis*+ (*Bacillus methylotrophicus*+ *Mcrobacterium 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 (جوزای و ربانی، ۱۳۹۹) و شامل فستوکا روبرا (*Festuca ovina glauca*)، چمن یال‌اسبی (*Ophiopogon japonicus*)، گل‌یخ (*Aptenia cordifolia*) و کارپوبروتوس (*Carpobrotus edulis*) است.

صفات مورد بررسی، صفات مورفولوژیک: صفات مورفولوژیک اندازه‌گیری‌شده در این آزمایش شامل ارتفاع گیاه، فاصله میانگره‌ها (اندازه‌گیری به‌وسیله خط‌کش)، قطر طوقه، قطر ساقه گیاه، طول و پهنای برگ (اندازه‌گیری با کولیس دیجیتال)، تعداد شاخه‌های جانبی، تعداد گره، تعداد برگ در شاخه جانبی است که به‌صورت ماهیانه اندازه‌گیری شد (Mozaffari *et al.*, 2017; Gorgini Shabankareh *et al.*, 2018). شاخص رشد (عرض گیاه × طول گیاه × ارتفاع گیاه)، ماهیانه بررسی شد (Kaemi *et al.*, 2021).

صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی: کلیه صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی در آخر آزمایش و در فصل پاییز مورد ارزیابی قرار گرفت.

کلروفیل a، b، کاروتنوئید و غلظت کلروفیل کل: کلروفیل a و b و کاروتنوئید و نهایتاً غلظت کلروفیل کل با استفاده از روش Dere (۱۹۹۸) ارزیابی شد. برگ تازه به میزان ۰/۲ گرم را کاملاً خرد کرده و آن را در یک هاون چینی با ۱۰ میلی‌لیتر متانول ۹۶ درصد ساییده 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 اسپکتروفتومتر میزان جذب نور، در طول‌موج‌های ۶۶۶، ۶۵۳ و ۴۷۰ نانومتر به‌ترتیب برای کلروفیل a و b و کاروتنوئید خوانده شد. نهایتاً غلظت کلروفیل‌کل با استفاده از روابط (۱، ۲، ۳ و ۴) به‌دست آمد:

رابطه (۱)

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

رابطه (۲)

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

رابطه (۳)

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

رابطه (۴)

$$CHL_t = \text{Chl a} + \text{Chl b}$$

محتوای نسبی آب برگ‌ها (RWC): محاسبه محتوای نسبی آب برگ 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 به‌دست آوردن وزن آماس در ظروف در بسته حاوی آب‌مقطر به‌مدت 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 ۴۸ ساعت منتقل شدند. وزن خشک برگ به وسیله ترازو توزین گردید.

(رابطه ۵)

$$RWC = \frac{Fw-Dw}{Tw-Dw}\times 100$$

که در آن Fw وزن تر، Dw وزن خشک و Tw وزن آماس برگ است.

کمبود اشباع نسبی (RSD): مقدار کمبود اشباع نسبی از روش Samar Raza و همکاران (۲۰۱۲) محاسبه شد. پس از جمع‌آوری برگ‌ها و توزین وزن تر (Fw)، برگ‌ها به‌مدت ۵ ساعت در آب‌مقطر و دمای اتاق قرار داده می‌شوند. سپس برگ‌ها را از آب خارج کرده و مجدداً وزن می‌شوند و وزن

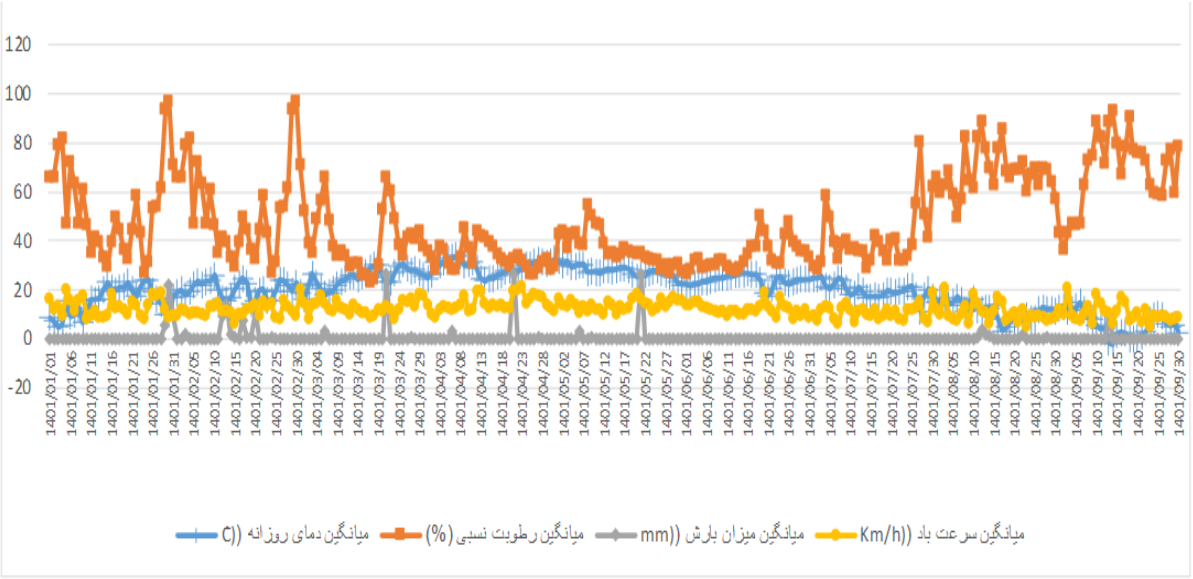
[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.267]

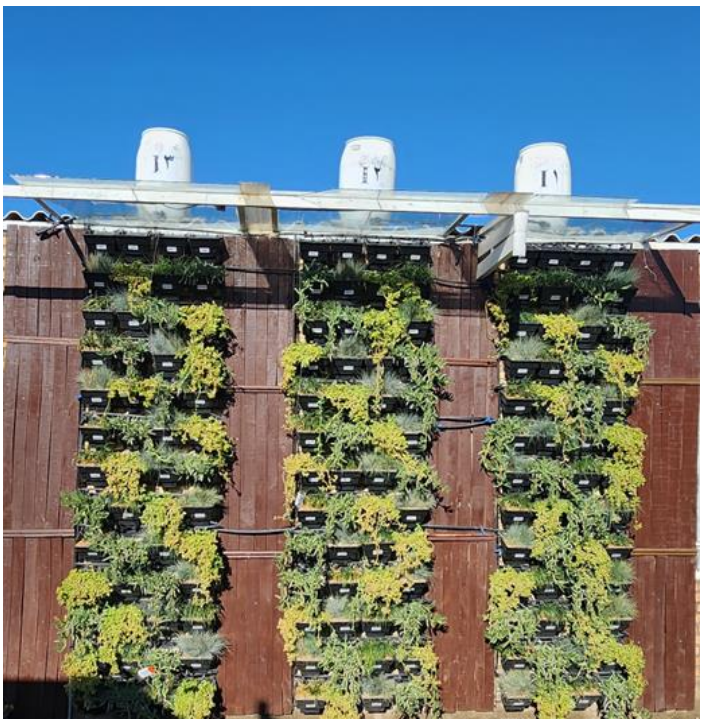
جدول ۱- خصوصیات شیمیایی اولیه بسترکشت مورد استفاده در آزمایش

	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	منیزیم	کربن آلی	ماده آلی	خاکستر	ظرفیت نگهداری بستر	هدایت الکتریکی (ds/ m)	pH
	(mg/kg)				(٪)					
بستر	۸۰۰	۵۰۰	۴۰۰۰	۷۳۰۰	۴/۰۳	۲/۳۴	۹۰	۱۲۱/۷۷	۱/۷۴	۶/۹۵

بستر: ۲۵ کوکوپیت+ ٪۵ ورمی‌کمپوست+ ٪۵۵ پرلیت+ ٪۱۰ ورمی‌کولیت+ ٪۵ زئولیت



شکل ۱- روند تغییرات دما، رطوبت نسبی، بارش و سرعت باد در ماه‌های آزمایش سال ۱۴۰۱ در شهر مشهد



شکل ۲- نمایی از دیوارهای سبز خارجی مورد آزمایش

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.267]

آماس (Tw) آن‌ها به‌دست می‌آید و مقدار کمبود اشباع نسبی از رابطه ۶ به دست می‌آید.

رابطه (۶)

$$RSD\ (\%) = (Tw- Fw) / Tw \times 100$$

آنتوسیانین: جهت اندازه‌گیری مقدار آنتوسیانین برگ از روش Nadernejad و همکاران (۲۰۱۳) استفاده شد. ۰/۱ گرم بافت گیاه تازه را در هاون چینی با ۱۰ میلی‌لیتر متانول اسید (متانول خالص و اسید کلریدریک خالص به نسبت حجمی (۱:۹۹) کاملاً ساییده و عصاره در لوله آزمایش سر پیچ‌دار ریخته شد و به مدت ۲۴ ساعت در تاریکی و در دمای ۲۵°C قرار گرفت. سپس به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۴۰۰۰ دور سانتریفیوژ و جذب محلول رویی در طول‌موج ۵۵۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه گیری شد. غلظت با استفاده از رابطه ۷ و با در نظرگرفتن ضریب خاموشی ۳۳۰۰۰ (ε) سانتی‌متر بر مول محاسبه شد.

رابطه (۷)

$$A = \varepsilon bc$$

که A جذب، b عرض سل و c غلظت محلول مورد نظر است.

ظرفیت زراعی بسترها FC: ظرفیت زراعی بستر بر اساس روش Salter و Haworth (۱۹۶۱) اندازه‌گیری شد که در این روش ابتدا گلدان‌های هم وزن را از خاک با وزن یکسان پر می‌کنیم سپس تا حد اشباع گلدان‌ها را آبیاری می‌کنیم به صورتیکه آب از زهکش خارج شود بعد روی گلدان را یک پوشش پلاستیکی قرار می‌دهیم تا از تبخیر آب جلوگیری شود. گلدان‌ها را در چند روز متوالی وزن می‌کنیم تا زمانی‌که به یک وزن ثابت برسند. در این هنگام درصد رطوبت موجود خاک برابر با درصد رطوبت در حد ظرفیت مزرعه است.

$$\text{درصد رطوبت در ظرفیت زراعی} = \frac{(\text{وزن خاک خشک} - \text{وزن خاک تر})}{\text{وزن خاک خشک}} \times 100$$

به‌منظور تجزیه و تحلیل آماری از نرم‌افزار JMP 8 استفاده شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با روش آنالیز واریانس و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون توکی در سطح احتمال حداقل ۵٪ انجام و همه نمودارها با نرم‌افزار اکسل ترسیم شد.

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 شده است.

نتایج

مطابق با جداول تجزیه واریانس ۲ و ۳، نتایج تجزیه واریانس مربوط به داده‌های مورفولوژیک در چمن یال‌اسبی نشان داد که اثرات ساده آبیاری و باکتری در سطح احتمال حداقل ٪۵ در چمن یال‌اسبی فقط در صفت پهنای برگ اختلاف معنی‌دار نشان دادند ($P\leq0.05$)، این در حالی است که در صفت ارتفاع فقط اثر ساده تیمارهای آب‌های بازیافتی و در مورد شاخص رشد اثر ساده سویه‌های مختلف باکتری در سطح آماری حداقل ٪۵ معنی‌دار شدند. اما در مورد صفت طول برگ علاوه بر اثرات ساده آبیاری و باکتری در سطح احتمال ٪۱، اثرات متقابل آن دو نیز ($P\leq0.01$) نیز معنی‌دار شدند. همان‌طور که از جدول تجزیه واریانس مربوط به داده‌های فیزیولوژیک در چمن یال‌اسبی مشهود است، در تمام صفات فیزیولوژیک گیاه چمن یال‌اسبی به‌غیر از آنتوسیانین، اثرات ساده نوع آب آبیاری و نوع باکتری در سطح احتمال حداقل ٪۵ تفاوت آماری معنی‌دار نشان دادند. در ارزیابی آنتوسیانین اثرات سویه‌های مختلف باکتری و اثر متقابل هر دو تیمار آزمایشی در سطح آماری ٪۱ معنی‌دار شدند.

از نتایج تجزیه واریانس ۴ مربوط به داده‌های مورفولوژیک در چمن فستوکا قابل رویت است در صفات طول و پهنای برگ اثرات ساده آبیاری و باکتری، در سطح احتمال حداقل ٪۵ در چمن فستوکا اختلاف معنی‌دار نشان دادند. در صفت طول برگ علاوه بر اثرات ساده آبیاری و باکتری، اثرات متقابل آن دو نیز در سطح آماری ٪۱ معنی‌دار شد همانطور که جدول ۴ نشان می‌دهد در مورد ارتفاع چمن فستوکا فقط اثرات ساده نوع آبیاری و در شاخص رشد این گیاه اثرات ساده سویه‌های باکتری اختلاف معنی‌دار نشان دادند ($P\leq0.05$).

جدول میانگین مربعات مربوط به داده‌های فیزیولوژیک در

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.267]

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

منابع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع	شاخص رشد	طول برگ	پهنای برگ
بلوک	۲	۰/۲۵	۱۲۸۳۱۴۲	۲/۷۷	۰/۱۱
آبیاری	۲	۱۰۸/۵۸**	۶/۰۴e$^{+۷*}$	۶۱/۳۷*	۱/۰۷*
خطای عامل اصلی	۴	۵/۸۳	۴۰۸۰۵۸۹	۶/۱۳	۰/۱۴
باکتری	۳	۲۶/۸۴*	۱/۵۱e$^{+۷ns}$	۳۶/۱۸*	۱/۱۶**
آبیاری × باکتری	۶	۳/۶۲^{ns}	۵۲۳۸۰۸^{ns}	۸/۶۴^{ns}	۰/۱۷^{ns}
خطا عامل فرعی	۱۸	۷/۰۸	۶۵۶۴۷۰۹	۱۱/۷۹	۰/۱۹

^{ns}، * و ** به‌ترتیب نشانگر عدم اختلاف معنی‌دار و معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد است.

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

منابع تغییرات	درجه آزادی	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کاروتنوئید	محتوای آب برگ	کمبود اشباع نسبی	عدد اسپد	آنتوسیانین
بلوک	۲	۳/۶۹	۴/۱۱	۱/۴۲	۰/۴۳	۳۴/۱۷	۱۷/۷۸	۶۷/۶۴	۱۶/۸۶
آبیاری	۲	۱۸/۷۶*	۱۴/۳۸*	۵۲/۳۵**	۳/۵۱*	۶۰۰/۹۳*	۴۵۳/۹۳*	۱۱۲۵/۷۱**	۲/۸۹^{ns}
خطای عامل اصلی	۴	۱/۳۲	۲/۰۶	۰/۱۲	۰/۲۹	۳۸/۵۶	۲۵/۷۴	۶۰/۵۶	۵/۴۵
باکتری	۳	۱۹/۰۵*	۴/۹۵*	۲۱/۰۶**	۷/۸۳**	۵۸۲/۷۳**	۳۷۰/۶۷**	۵۵۷/۵۰*	۱۳۱/۳۷**
آبیاری×باکتری	۶	۵/۱۴^{ns}	۳/۸۹^{ns}	۶/۳۰^{ns}	۲/۲۹*	۵۲/۱۴^{ns}	۴۷/۸۲^{ns}	۲۸/۳۱^{ns}	۵۷/۶۷**
خطا عامل فرعی	۱۸	۴/۵۵	۱/۵	۳/۷۳	۰/۷۹	۳۹/۸۶	۳۰/۳۱	۱۸۰/۸۷	۷/۱۳

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

جدول ۴- میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف نوع آب آبیاری و نوع باکتری بر روی برخی از صفات مورفولوژیک گیاه فستوکا

منابع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع	شاخص رشد	طول برگ	پهنای برگ
بلوک	۲	۳/۰۸	۱/۰۵e$^{+۸}$	۱۴/۵۸	۰/۰۰۰۱۷
آبیاری	۲	۱۴۴*	۸/۱۸e$^{+۸ns}$	۲۰۵/۵۸**	۰/۰۶**
خطای عامل اصلی	۴	۱۶/۸۳	۱/۴۸e$^{+۸}$	۹/۴۱	۰/۰۰۱
باکتری	۳	۴/۶۲^{ns}	۲/۷۵e$^{+۸*}$	۸۰/۷۴**	۰/۰۲*
آبیاری × باکتری	۶	۲۸/۹۶^{ns}	۱/۷۹e$^{+۸ns}$	۸۵/۶۵**	۰/۰۱^{ns}
خطا عامل فرعی	۱۸	۲۰/۸۷	۶۹۸۵۹۱۱۳	۱۳/۴۳	۰/۰۰۷۳

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

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.267]

چمن فستوکا نشان می‌دهد که در کلروفیل a، محتوای آب برگ و کمبود اشباع نسبی اثرات ساده تیمارهای آب‌های بازیافتی و اثرات متقابل نوع آب آبیاری و نوع باکتری معنی‌دار شدند (P≤0.05). درمورد کلروفیل b اثرات ساده آبیاری و باکتری در سطح احتمال حداقل ٪۵ اختلاف معنی‌دار نشان دادند. در کلروفیل کل و کاروتنوئید علاوه بر اثرات ساده آبیاری و باکتری در سطح احتمال ٪۱، اثرات متقابل آن دو نیز (P≤0.01) نیز معنی‌دار شدند. از لحاظ آماری عدد اسپد و آنتوسیانین مانند هم عمل کرد و در اثرات ساده سویه‌های باکتری و اثرات متقابل آبیاری و باکتری در سطح احتمال حداقل ٪۵ اختلاف معنی‌دار آماری وجود داشت (جدول ۵).

مطابق با جداول تجزیه واریانس ۶، اثرات ساده تیمارهای آب‌های بازیافتی در سطح احتمال ٪۵ در در گل یخ در صفات شاخص رشد، طول برگ و پهنای برگ اختلاف معنی‌دار نشان دادند. در صفات ارتفاع، تعداد گره و فاصله میانگره فقط اثرات ساده سویه‌های باکتری در سطح آماری ٪۵ معنی‌دار شدند. اما اثرات ساده نوع آب آبیاری و نوع باکتری در صفات تعداد برگ در شاخه جانبی و قطر طوقه تفاوت معنی‌دار در سطح آماری حداقل ٪۵ نشان دادند. ولی در مورد اثرات متقابل نوع آب آبیاری و نوع باکتری، فقط صفات مربوط به تعداد، طول شاخه جانبی و قطر ساقه (P≤0.05) معنی‌دار شدند، در ارزیابی تعداد شاخه جانبی به غیر از اثر متقابل دو تیمار، در اثرات ساده سویه‌های باکتری و در قطر ساقه به غیر از اثر متقابل دو تیمار، در اثرات ساده تیمارهای آب‌های بازیافتی تفاوت معنی‌دار وجود داشت (P≤0.05). این در حالی است که در صفت طول شاخه جانبی علاوه بر اثرات ساده نوع آب آبیاری و نوع باکتری (P≤0.01)، اثرات متقابل آن دو نیز تفاوت معنی‌دار داشتند (P≤0.05). در کلروفیل a، کلروفیل b و کمبود اشباع نسبی اثرات ساده تیمارهای آب‌های بازیافتی و سویه‌های مختلف باکتری معتی‌دار شدند (P≤0.05). در مورد کلروفیل کل، محتوی آب برگ، کاروتنوئید و آنتوسیانین علاوه بر اثرات ساده آبیاری و باکتری، اثرات متقابل آن دو نیز (P≤0.01) نیز معنی‌دار شدند (جدول ۷).

همان‌طور که از جداول تجزیه واریانس ۸ مربوط به داده‌های مورفوفیزیولوژیک در سدوم عقربی مشهود است همه صفات مورفوفیزیولوژیک به غیر از صفت طول برگ تفاوت معنی‌دار آماری داشتند (P≤0.05). اثرات ساده نوع آب آبیاری و نوع باکتری در صفات ارتفاع، تعداد شاخه جانبی، تعداد برگ در شاخه جانبی، تعداد گره، قطر ساقه و قطر طوقه در سطح آماری حداقل ٪۵ اختلاف معنی‌دار نشان دادند. در صفات پهنای برگ و فاصله میانگره تنها در اثرات ساده نوع باکتری اختلاف معنی‌دار مشاهده شد (P≤0.05). اثرات متقابل هر دو تیمار در صفات شاخص رشد، تعداد برگ در شاخه و قطر طوقه تفاوت معنی‌دار آماری رویت شد (P≤0.05). جدول میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس نشان می‌دهد (جدول ۹) اثرات ساده تیمارهای آب‌های بازیافتی و سویه‌های باکتری در صفات مربوط به کلروفیل a، کاروتنوئید، محتوی آب برگ و کمبود اشباع نسبی در سطح آماری ٪۵ معنی‌دار شدند، اما در مورد کلروفیل b فقط اثرات ساده سویه‌های باکتری اختلاف معنی‌دار نشان دادند (P≤0.05). در مورد کلروفیل کل و آنتوسیانین علاوه بر اثرات ساده آبیاری و باکتری، اثرات متقابل آن دو نیز (P≤0.05) نیز معنی‌دار شدند (جدول ۹).

صفات مورفولوژیک گیاهان زینتی انباشتگر در این آزمایش: مطابق با جداول تجزیه واریانس ۲، ۴، ۶ و ۸، تمام صفات مورفولوژیک گونه‌های گیاهی مورد پژوهش به غیر از صفت طول برگ در گیاه سدوم عقربی در سطح احتمال حداقل ٪۵ معنی‌دار بوده است.

ارتفاع بوته و شاخص رشد: مطابق با جداول تجزیه واریانس (جداول ۲، ۴، ۶ و ۸) در هر چهار گیاه، هر یک از اثرات ساده آب‌های بازیافتی و سویه‌های باکتری در سطح احتمال حداقل ٪۵ معنی‌دار بوده است. مقایسه میانگین‌های اثرات ساده نوع آب و نوع باکتری بر ارتفاع گونه‌های گیاهی مورد پژوهش نشان می‌دهد که در چمن یال‌اسبی و گیاه سدوم عقربی تلقیح بستر کشت با ترکیب B2 در افزایش ارتفاع مؤثر بوده است. به‌نظر می‌رسد حضور باکتری‌های محرک رشد در

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]
[DOI: DOI: 10.22034/13.62.267]

جدول ۵- میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف نوع آب آبیاری و نوع باکتری بر روی برخی از صفات فیزیولوژیگ گیاه فستوکا

منابع تغییرات	درجه آزادی	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کاروتنوئید	محتوای آب برگ	کمبود اشباع نسبی	عدد اسپد	آنتوسیانین
بلوک	۲	۱/۰۰	۶۱,۳	۴/۳۸	۰/۰۵	۱۳/۵۱	۱۲/۲۱	۲۵۴/۹۱	۰/۴۳
آبیاری	۲	۱۸/۸۱**	۱۶/۶۹*	۷۰/۹**	۲۰/۴۵**	۵۴۳/۱۸*	۴۸۶/۵۲*	۷۲۱/۹۵ns	۶/۹۱ns
خطای عامل اصلی	۴	۱/۰۲	۱/۶۱	۳/۱۴	۱/۰۱	۶۰/۲۶	۵۲/۴۷	۱۰۴/۸۵	۳۰/۹۹
باکتری	۳	۷/۹۸ns	۱۷/۴۲*	۴۳/۸۲**	۱۲/۲۸**	۱۹۳/۲۴ns	۱۱۰/۲۶ns	۴۶۹/۴۴*	۴۷/۲۳**
آبیاری×باکتری	۶	۱۳/۳۲*	۱۳/۰۰ns	۳۵/۸۱**	۹/۵۹**	۱۰۵/۲۲*	۵۸/۰۲*	۲۹۹/۷۸*	۱۷/۴۶**
خطا عامل فرعی	۱۸	۳/۴۶	۵/۴۵	۶/۹۰	۱/۴۰	۵۱/۶۰	۴۲/۴۲	۹۸/۷۴	۰/۹۲

ns، * و ** به ترتیب نشانگر عدم اختلاف معنی‌دار و معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد است.

جدول ۶- میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف نوع آب آبیاری و نوع باکتری بر روی برخی از صفات مورفولوژیک گل یخ

منابع تغییرات	درجه آزادی	پهنای برگ	طول برگ	شاخص رشد	ارتفاع	تعداد گره	تعداد برگ در شاخه جانبی
بلوک	۲	۲۱/۲۸	۰/۱۵	۲/۵۴e+۸	۱۵/۰۸	۲۱۹	۴۶۹/۳۶*
آبیاری	۲	۱۲۳/۹۹**	۱/۲۰*	۱/۳۳e+۹*	۹۹/۷۵ns	۸۷۸/۵۸ns	۸۲۷/۱۱*
خطای عامل اصلی	۴	۶/۷۶	۰/۰۹	۱/۶۲e+۸	۲۷/۹۵	۲۱۳/۰۸	۶۴/۲۷
باکتری	۳	۲۴/۹۷ns	۰/۲۰ns	۷/۴۸e+۸ns	۵۷۱/۲۱**	۶۳۶/۳۲*	۱۲۷۳/۳*
آبیاری × باکتری	۶	۲۹/۶۲ns	۰/۳۰ns	۵/۲۰e+۸ns	۸۴/۷۱ns	۴۳/۹۹ns	۸۲۹/۱۸ns
خطا عامل فرعی	۱۸	۱۷/۹۵	۰/۳۳	۳۰۴۸۲۷۳۹۲	۷۸/۵۱	۱۹۶/۵۷	۳۲۰/۱۹

ns، * و ** به ترتیب نشانگر عدم اختلاف معنی‌دار و معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد است.

ادامه جدول ۶-

منابع تغییرات	درجه آزادی	طول شاخه جانبی	تعداد شاخه جانبی	قطر طوقه	قطر ساقه	فاصله میانگره
بلوک	۲	۲۰/۰۲	۱/۳۶	۰/۳۹	۰/۶۲	۲/۳۴
آبیاری	۲	۵۸۱/۳۶**	۱۵/۰۲ns	۴/۳۱**	۳/۶۶*	۶/۱۷ns
خطای عامل اصلی	۴	۹/۲۷	۴/۲۷	۰/۱۵	۰/۳۳	۱/۰۹
باکتری	۳	۱۲۵/۲۸**	۰/۰۱*	۶/۰۳**	۰/۴۷ns	۶/۷۰*
آبیاری × باکتری	۶	۵۲/۵۰*	۰/۰۰۰۳**	۱/۲۴ns	۰/۷۸*	۲/۷۹ns
خطا عامل فرعی	۱۸	۱۶/۴۹	۳/۳۷	۰/۶۱	۰/۲۴	۱/۷۴

ns، * و ** به ترتیب نشانگر عدم اختلاف معنی‌دار و معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد است.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.267]

جدول ۷- میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف نوع آب آبیاری و نوع باکتری بر روی برخی از صفات فیزیولوژیگ گل یخ

منابع تغییرات	درجه آزادی	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کاروتنوئید	محتوای آب برگ	کمبود اشباع نسبی	آنتوسیانین
بلوک	۲	۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۶۴	۱۸/۰۷	۸/۴۲	۰/۵۰
آبیاری	۲	۰/۳۷**	۰/۵۳*	۱/۸۰**	۱۲/۲۸**	۱۰۷۶/۴۲**	۷۸۱/۰۳**	۲/۹۹*
خطای عامل اصلی	۴	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۲۹	۵۲/۱۷	۴۸/۳۳	۰/۲۱
باکتری	۳	۰/۱۴**	۰/۲۱*	۰/۵۶**	۴/۸۰**	۳۹۶/۵۲**	۲۱۲/۳۰*	۴۴/۰۳**
آبیاری × باکتری	۶	۰/۰۰۷^{ns}	۰/۱۳^{ns}	۰/۱۰*	۶/۰۳**	۶۰/۵۴*	۴۶/۸۸^{ns}	۵/۴۶**
خطا عامل فرعی	۱۸	۰/۰۲	۰/۰۶	۰/۰۴	۰/۸۹	۱۹/۸۶	۱۸	۰/۳۲

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

جدول ۸- میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف نوع آب آبیاری و نوع باکتری بر روی برخی از صفات مورفولوژیک گیاه سدوم عقربی

منابع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع	شاخص رشد	طول برگ	پهنای برگ	تعداد شاخه جانبی	طول شاخه جانبی
بلوک	۲	۹/۵۲	۲/۳۲e$^{+۸}$	۱/۹۶	۰/۸۸	۰/۵۸	۱۰/۱۹
آبیاری	۲	۱۵۶۵/۱۹**	۱/۶۶e$^{+۹ns}$	۰/۵۱^{ns}	۲/۱۳^{ns}	۱۲/۳۳**	۴۸/۸۶^{ns}
خطای عامل اصلی	۴	۴۹/۴۰	۳/۵۲e$^{+۸}$	۱/۱۶	۰/۶۴	۰/۶۶	۱۳/۵۶
باکتری	۳	۳۵۱/۵۸**	۲/۲۶e$^{+۸ns}$	۳/۳۰^{ns}	۳/۵۴*	۶/۸۸**	۳۶۵/۵۰**
آبیاری × باکتری	۶	۳۴/۰۸^{ns}	۲/۴۷e$^{+۸*}$	۱/۰۹^{ns}	۱/۵۰^{ns}	۱/۸۸^{ns}	۱۱۳/۶۷**
خطا عامل فرعی	۱۸	۱۸	۷۸۱۹۰۳۳۱	۱/۰۶	۱/۰۲	۱/۳۰	۲۳/۷۰

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

ادامه جدول ۸-

منابع تغییرات	درجه آزادی	تعداد برگ در شاخه جانبی	تعداد گره در شاخه جانبی	فاصله میانگره	قطر ساقه	قطر طوقه
بلوک	۲	۳۸۸/۰۸	۱/۵۸	۰/۱۲	۰/۱۴	۰/۴۴
آبیاری	۲	۵۵۹۵/۷۵*	۳۶/۳۳**	۰/۱۱^{ns}	۵/۰۳**	۳۵/۹۸**
خطای عامل اصلی	۴	۶۴۱/۰۸	۱/۶۶	۰/۳۷	۰/۲۶	۰/۲۹
باکتری	۳	۳۷۰۰/۸۴**	۲۸/۵۱**	۱/۳۹*	۲/۷۴*	۲/۷۶**
آبیاری × باکتری	۶	۳۱۸۱/۷۹**	۳/۶۲^{ns}	۰/۳۴^{ns}	۱/۹۶^{ns}	۳/۱۴**
خطا عامل فرعی	۱۸	۴۸۲/۴۲	۱/۸۹	۰/۲۷	۰/۷۷	۰/۳۱

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

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.267]

جدول ۹- میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف نوع آب آبیاری و نوع باکتری بر روی برخی از صفات فیزیولوژیگ گیاه سدوم عقربی

منابع تغییرات	درجه آزادی	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کاروتنوئید	محتوای آب برگ	کمبود اشباع نسبی	آنتوسیانین
بلوک	۲	۰/۰۲	۰/۱۱	۰/۰۲	۰/۵۷*	۲۲/۰۴	۱۹/۹۶	۰/۳۹
آبیاری	۲	۳/۵۵*	۰/۳۴ns	۴/۵۸*	۰/۷۵*	۹۴۲/۱۰**	۸۲۹/۷۸**	۱۷/۵۸**
خطای عامل اصلی	۴	۰/۲۷	۰/۵۵	۰/۳۳	۰/۰۷	۲۳/۵۶	۱۷/۸۹	۰/۶۲
باکتری	۳	۳/۶۷**	۱/۰۱*	۶/۰۲**	۰/۷۸*	۴۸۱/۵۸**	۴۲۸/۱۳**	۸/۰۴**
آبیاری × باکتری	۶	۰/۵۷ns	۰/۰۸ns	۰/۳۰**	۰/۴۳ns	۱۵۷/۴۷ns	۱۳۷/۱۶ns	۴/۳۸**
خطا عامل فرعی	۱۸	۰/۲۴	۰/۲۳	۰/۱۱	۰/۲۴	۵۹/۵۰	۵۶/۸۲	۰/۲۸

ns، * و ** به ترتیب نشانگر عدم اختلاف معنی‌دار و معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد است.

بستر کشت در چمن یال‌اسبی و گیاه سدوم عقربی به ترتیب به‌طور میانگین (۱/۱۱ سانتی‌متر) و (۸ سانتی‌متر) ارتفاع را نسبت به شاهد افزایش داده است. همچنین آبیاری چمن یال‌اسبی و گیاه سدوم عقربی با پساب فاضلاب شهری و آب خاکستری نسبت به آب شهری ارتفاع بیشتری در این گیاه ایجاد کرد. این در حالی است که در چمن فستوکا آبیاری با پساب فاضلاب شهری بیشترین ارتفاع (۳۰/۱۶ سانتی‌متر) را به خود اختصاص داد. در گل یخ تلقیح بستر کشت با ترکیب B2 و B3 موجب افزایش ارتفاع گیاه شد.

در مورد شاخص رشد در چمن یال‌اسبی و گل یخ آبیاری با پساب فاضلاب شهری و آب خاکستری نسبت به آب شهری شاخص رشد بیشتری ایجاد کرد و از لحاظ آماری مانند هم عمل کردند. اما در چمن فستوکا تلقیح بستر کشت با ترکیب B3 حدود ٪۵۰ شاخص رشد گیاه را نسبت به شاهد افزایش داده است. شایان ذکر است تیمار شاهد (بدون کاربرد باکتری) در هر سه گیاه نتوانسته است در افزایش ارتفاع و شاخص رشدی مؤثر باشد (جدول ۱۰). شکل ۲ نشان می‌دهد بیشترین شاخص رشد در سدوم عقربی مربوط به تیمار تلقیح بستر کشت با ترکیب B3 و آبیاری با پساب فاضلاب شهری است، البته از لحاظ آماری تلقیح بستر کشت با ترکیب B3 و B1 در آبیاری با پساب فاضلاب شهری مانند هم عمل کرده و تفاوت آماری خاصی ایجاد نکردند. نکته قابل اهمیت این است که آبیاری با پساب فاضلاب حتی در حضور شاهد (بدون کاربرد باکتری) شاخص رشد بیشتری نسبت به دو تیمار دیگر آب ایجاد کردند و کمترین شاخص رشد مربوط به شاهد (بدون کاربرد باکتری) در آبیاری با آب خاکستری و آب شهری بود.

اثر استفاده از انواع آب‌های آبیاری و سویه‌های مختلف باکتری بر طول و پهنای برگ: اختلاف پهنای برگ در بین انواع آب‌های آبیاری و سویه‌های مختلف باکتری در تمامی گیاهان از لحاظ آماری معنی‌دار بود ($P\leq0.05$)، صفت طول برگ نیز در تمام گیاهان مورد آزمایش به غیر از سدوم تفاوت معنی‌دار از خود نشان داد. در چمن یال‌اسبی (شکل ۳) بیشترین طول برگ (۱۷ سانتی‌متر) مربوط به تیمار تلقیح بستر کشت با ترکیب B3 بود و کمترین آن در شاهد (۱۲/۳۱ سانتی‌متر) رویت شد. تیمار با سویه‌های مختلف باکتری عرض برگ بیشتری در حدود (۰/۶۱ میلی‌متر) نسبت به شاهد ایجاد کرد. آبیاری با انواع آب‌های بازیافتی نسبت به آب شهری بیشترین طول و پهنای برگ را ایجاد کرد. در چمن فستوکا (شکل ۴) تلقیح بستر کشت با ترکیب B3 و آبیاری با پساب فاضلاب بیشترین طول برگ را (۳۵/۳۳ سانتی‌متر) به خود اختصاص داد و این در حالی است که کمترین طول برگ تلقیح بستر کشت با ترکیب B3 و آبیاری با آب خاکستری (۱۶/۶۶ سانتی‌متر) و تلقیح بستر کشت با ترکیب B1 و آبیاری با آب شهری (۱۲/۶۶ سانتی‌متر) بود. به‌نظر می‌رسد ترکیب B3

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.267]

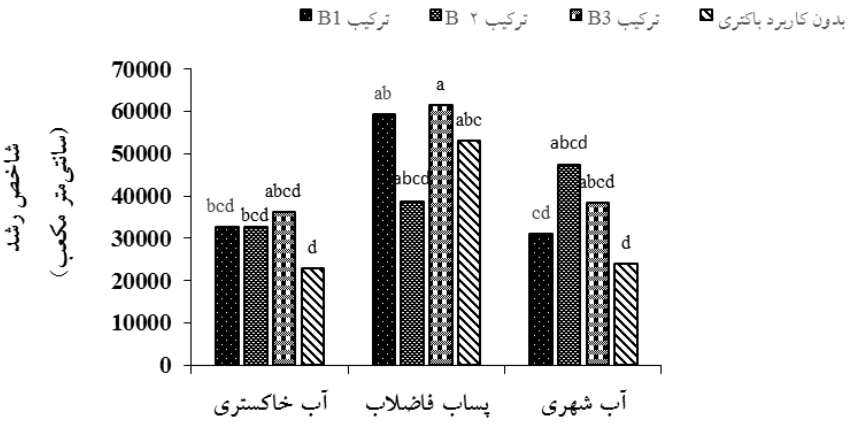
جدول ۱۰- مقایسه میانگین‌های اثرات ساده آب‌های بازیافتی و سویه‌های باکتری بر ارتفاع گونه‌های گیاهی مورد پژوهش

	چمن یال‌اسبی	چمن فستوکا	گل یخ	سدوم عقربی	چمن یال‌اسبی	چمن فستوکا	گل یخ
	ارتفاع (سانتی‌متر)	ارتفاع (سانتی‌متر)	ارتفاع (سانتی‌متر)	ارتفاع (سانتی‌متر)	شاخص رشد (سانتی‌متر مکعب)	شاخص رشد (سانتی‌متر مکعب)	شاخص رشد (سانتی‌متر مکعب)
A	۱۹/۹۱^{a}±۰/۸۳	۲۴/۱۶^{b}±۱/۴۲	۴۷/۳۳^{a}±۲/۳۹	۳۸/۳۳^{b}±۲/۳۷	۷۸۷۲/۹۱^{a}±۶۶۰/۶۰	۱۰۲۲۷/۷۵^{a}±۱۲۷۱/۰۹	۵۰۷۰۴/۴۱^{ab}±۳۸۵۵/۷۰
B	۲۱^{a}±۰/۹۵	۳۰/۱۶^{a}±۱/۱۷	۴۹/۸۳^{a}±۲/۹۴	۵۵/۲۵^{a}±۱/۷۳	۸۸۵۶/۰۶^{a}±۷۱۵/۸۹	۲۴۰۵۵/۹۱^{a}±۵۰۱۰/۹۰	۶۳۸۹۱/۰۸^{a}±۴۴۷۷/۵۰
C	۱۵/۳۳^{b}±۰/۳۹	۲۴/۱۶^{b}±۰/۹۹	۴۴/۰۸^{a}±۳/۴۳	۳۳/۵^{b}±۱/۹۶	۴۵۷۳/۲۵^{b}±۵۸۲/۹۴	۹۳۲۱/۷۵^{a}±۸۷۹/۸۹	۴۳۱۱۴/۰۸^{b}±۶۹۶۱/۴۷
B1	۱۷/۸۸^{ab}±۱/۸۸	۲۶/۷۷^{a}±۱/۶۶	۴۱/۲۲^{b}±۲/۰۹	۴۱/۸۸^{b}±۳/۵۱	۷۰۴۳/۵۵^{a}±۱۱۸۴/۶۹	۱۳۱۲۷/۲۲^{ab}±۲۰۶۴/۱۸	۴۹۶۲۲/۸۸^{a}±۶۲۴۷/۷۴
B2	۲۰/۵۵^{a}±۱/۱۷	۲۶/۰۰^{a}±۱/۳۳	۴۸/۷۷^{ab}±۲/۵۱	۴۸/۴۴^{a}±۲/۰۳	۸۴۱۴/۶۶^{a}±۶۹۶/۶۵	۱۲۱۲۹/۱۱^{ab}±۲۰۷۴/۴۹	۴۹۷۹۵/۱۱^{a}±۸۶۲۱/۴۹
B3	۱۹/۷۷^{ab}±۱/۱۷	۲۶/۶۶^{a}±۱/۸۶	۵۷/۶۶^{a}±۳/۸۱	۴۵/۲۲^{ab}±۴/۴۸	۷۵۹۵/۵۵^{a}±۸۳۸/۹۸	۲۲۶۳۷/۸۸^{a}±۶۹۹۲/۹۴	۶۵۸۳۶/۰۰^{a}±۴۷۸۳/۴۰
B0	۱۶/۷۷^{b}±۰/۹۳	۲۵/۲۲^{a}±۱/۷۹	۴۰/۶۶^{b}±۱/۶۳	۳۳/۸۸^{c}±۳/۳۵	۵۳۴۹/۲۲^{a}±۷۹۳/۲۸	۱۰۲۴۶/۳۳^{b}±۱۱۹۳/۰۹	۴۵۰۲۵/۴۴^{a}±۴۱۲۶/۸۱

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حداقل یک حرف مشابه لاتین می‌باشند، بر مبنای آزمون توکی در سطح ۰/۰۵ تفاوت معنی‌داری ندارند. داده‌ها به‌صورت خطای استاندارد ± میانگین (Mean±SE) است.

A: آب خاکستری، **B**: پساب فاضلاب شهری، **C**: آب شهری

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

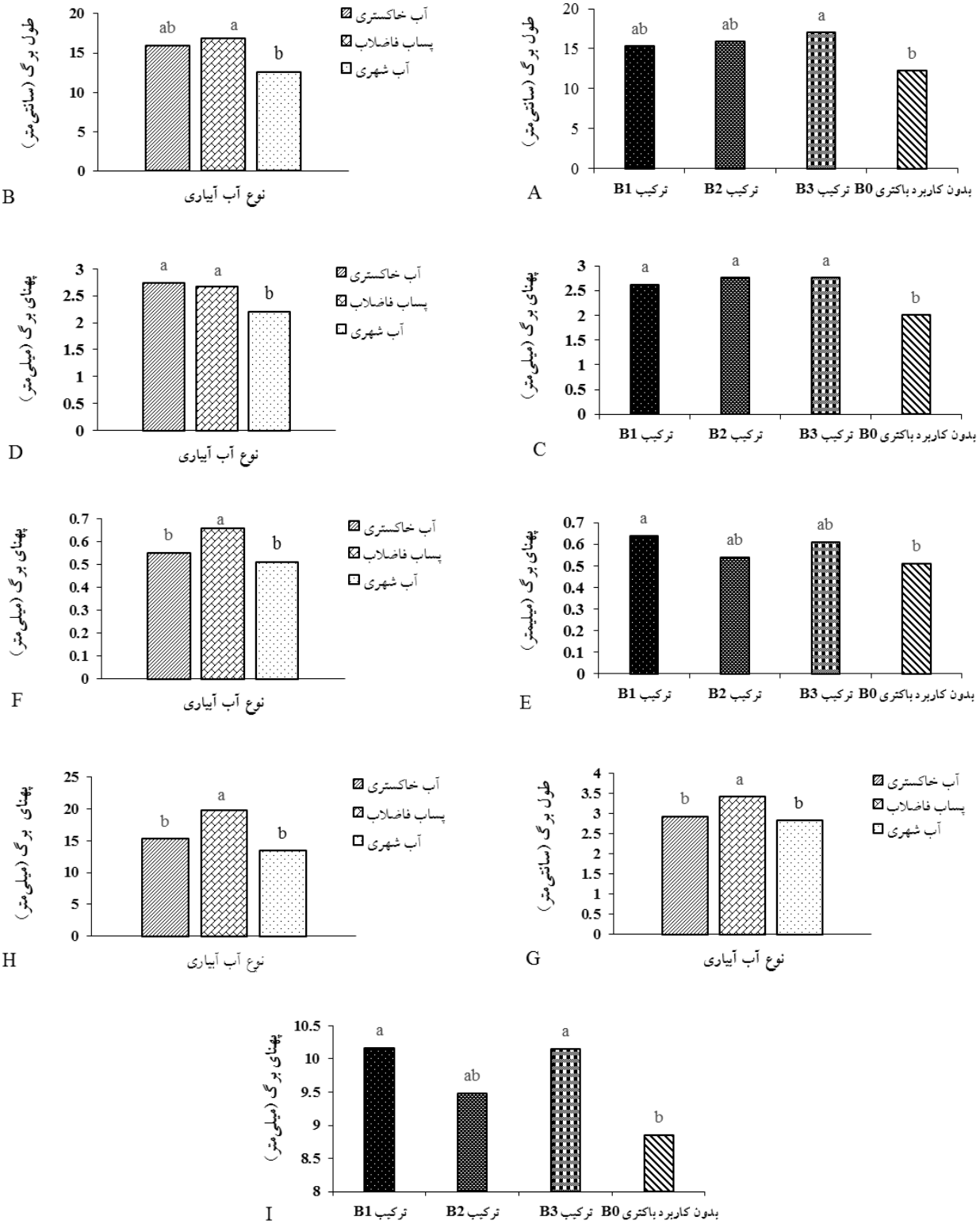


شکل ۲- اثرات متقابل آب‌های بازیافتی و سویه‌های باکتری بر شاخص رشد سدوم عقربی. داده‌ها نشان‌دهنده (خطای استاندارد: ۵۱۰۵/۲۳).

در آب خاکستری و ترکیب B1 در آب شهری از شاهد (بدون کاربرد باکتری) طول برگ کمتری ایجاد کرده هر چند از نظر آماری تفاوت فاحشی بین آنها دیده نمی‌شود. در مورد پهنای برگ فستوکا ترکیب B3 بیشترین (۰/۶۱ میلی‌متر) و پساب فاضلاب شهری کمترین (۰/۵۱ میلی‌متر) ایجاد کرد. شکل ۳ نشان می‌دهد در گل یخ پساب فاضلاب شهری بیشترین طول و عرض برگ و دو تیمار دیگر به‌ترتیب کمترین را به خود اختصاص دادند و از نظر آماری مانند هم عمل کردند. در سدوم عقربی تلقیح بستر کشت با ترکیب B3 بیشترین پهنای برگ را ایجاد کرد، هر چند از نظر آماری بین سویه‌های مختلف باکتری تفاوت فاحشی دیده نشد.

تأثیر استفاده از آب‌های آبیاری و سویه‌های مختلف باکتری بر تعداد و طول شاخه جانبی گیاهان: شکل ۵ نشان می‌دهد بر طبق این نتایج بیشترین تعداد شاخه جانبی در گل

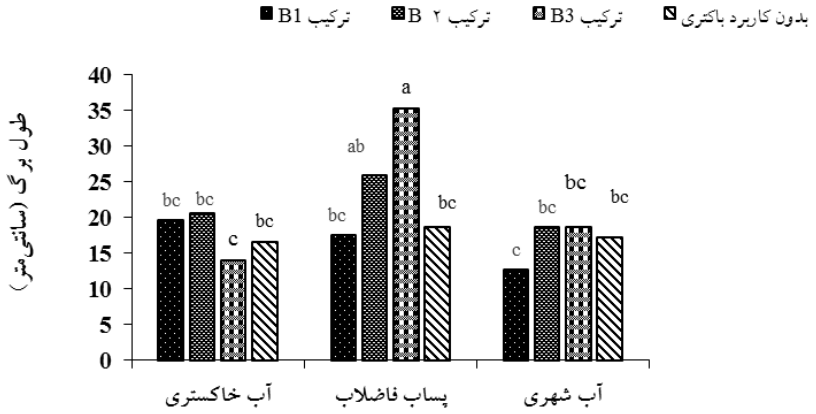
[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]
[DOI: DOI: 10.22034/13.62.267]



شکل ۳- اثرات ساده آب‌های بازیافتی و سویه‌های باکتری بر طول و پهنای برگ. A و B: طول برگ چمن یال‌اسبی داده‌ها به‌ترتیب از راست به چپ نشان‌دهنده (خطای استاندارد: ۱/۱۴، ۰/۷۱). C و D : پهنای برگ چمن یال‌اسبی (خطای استاندارد: ۰/۱۴، ۰/۱۱). E و F: پهنای برگ فستوکا (خطای استاندارد: ۰/۰۲، ۰/۰۱). G: طول برگ گل‌یخ (خطای استاندارد: ۰/۰۸)، H: پهنای برگ گل‌یخ (خطای استاندارد: ۰/۷۵). I: پهنای برگ سدوم عقربی (خطای استاندارد: ۰/۳۳).

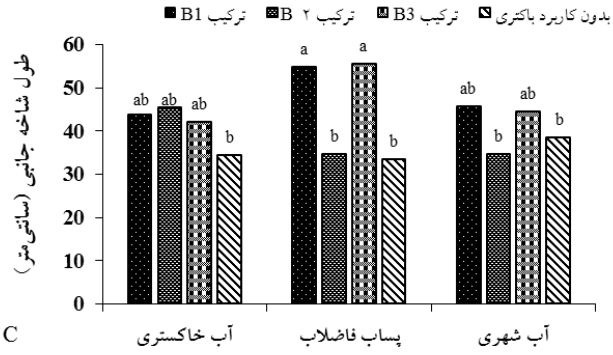
[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.267]



شکل ۴- اثرات متقابل آب‌های بازیافتی و سویه‌های باکتری بر طول برگ فستوکا. داده‌ها نشان‌دهنده (خطای ا استاندارد: ۱/۸۳).

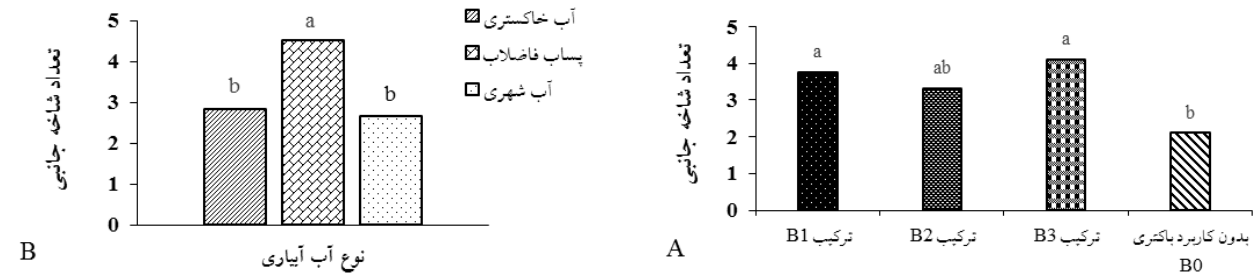




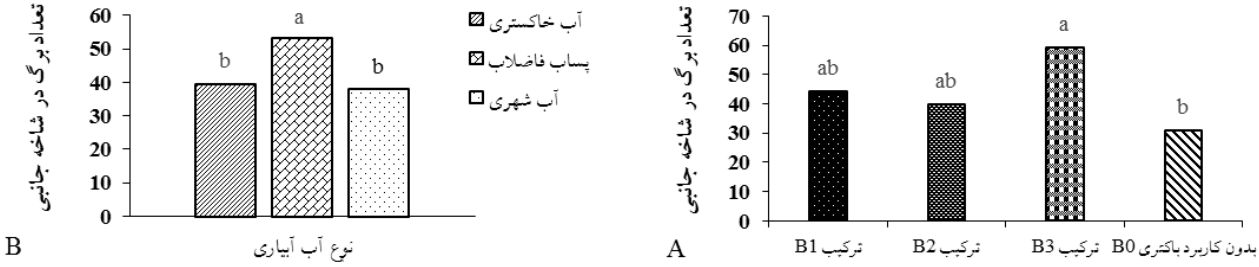
شکل ۵- اثرات متقابل آب‌های آبیاری و سویه‌های مختلف باکتری بر تعداد و طول شاخه جانبی A و B: گل یخ، داده‌ها به‌ترتیب از راست به چپ نشان‌دهنده (خطای استاندارد: ۱/۰۶، ۲/۳۴). C: طول شاخه جانبی سدوم عقربی (خطای استاندارد: ۲/۸۱).

یخ (۱۱ عدد) در حضور سویه‌های ترکیب ۳ و آبیاری با پساب فاضلاب شهری دیده شد. همان‌طور که در شکل مشهود است کمترین تعداد شاخه جانبی در گل یخ در آب شهری در حضور ترکیب B3 و B0 حدود میانگین (۳) دیده شد. همچنین بیشترین طول شاخه جانبی در گل یخ مربوط به حضور سویه‌های ترکیبی B3 و B2، B1 و کمترین مربوط به شاهد بود. شکل ۶ برای تعداد شاخه جانبی در سدوم عقربی نشان‌دهنده این است که حضور سویه‌های ترکیبی B3 و B1

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]
[DOI: DOI: 10.22034/13.62.267]



شکل ۶- اثرات متقابل آب‌های آبیاری و سویه‌های مختلف باکتری بر تعداد شاخه جانبی سدوم عقربی. داده‌ها به‌ترتیب از راست به چپ نشان‌دهنده (خطای استاندارد: ۰/۳۸، ۰/۲۳).



شکل ۱- اثرات ساده آب‌های آبیاری و سویه‌های مختلف باکتری بر تعداد برگ در شاخه جانبی گل‌یخ. داده‌ها به‌ترتیب از راست به چپ نشان‌دهنده (خطای استاندارد: ۵/۹۶، ۲/۳۱).

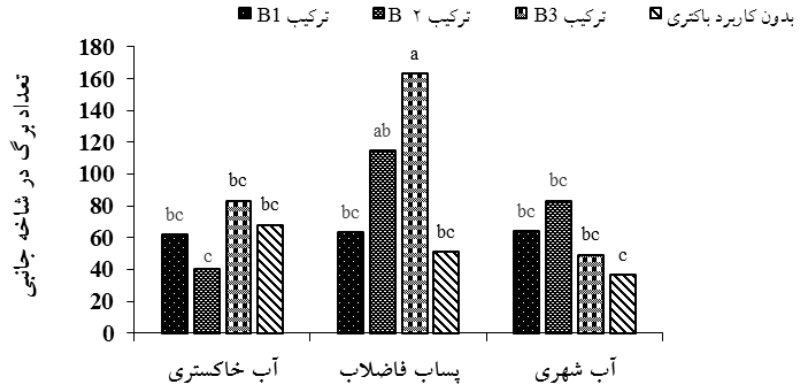
بیشترین تعداد شاخه جانبی با میانگین (۴/۱۱) را به خود اختصاص داد، این در حالی‌است که کمترین مربوط به شاهد (بدون کاربرد باکتری) بود. پساب فاضلاب شهری نیز نسبت به دو تیمار دیگر بیشترین تعداد شاخه جانبی (۴/۵) را ایجاد کرد. همان‌طور که در شکل ۵ مشهود است بیشترین طول شاخه جاتبی مربوط به تیمار تلقیح بستر کشت با ترکیب B3 و B1 (۵۵/۳۳ سانتی‌متر) بود و کمترین آن در شاهد در انواع آب آبیاری رویت شد.

تأثیر استفاده از آب‌های آبیاری و سویه‌های مختلف باکتری بر تعداد برگ در شاخه جانبی گیاه: شکل ۷ نشان‌دهنده این است که کاربرد باکتری توانسته از نظر آماری بین تعداد برگ در شاخه جانبی گیاهان نسبت به شاهد اختلاف ایجاد کند و حضور سویه‌های ترکیبی B3 بیشترین تعداد برگ (۵۹/۳۳ عدد) را ایجاد کرد و کمترین تعداد برگ مربوط به عدم تلفیق باکتری (۳۰/۸۸ عدد) است، به‌نظر می‌رسد بین نوع ترکیب سویه‌ها از نظر آماری اختلاف معنی‌دار وجود ندارد و از نظر آماری یکسان عمل کردند. همچنین در آبیاری با پساب فاضلاب شهری بیشترین تعداد برگ در شاخه جانبی گل یخ مشاهده شد. در مورد تعداد برگ در شاخه سدوم عقربی بیشترین و کمترین تعداد برگ به‌ترتیب مربوط به به تیمار تلقیح بستر کشت با ترکیب B3 (۱۶۳ عدد) بود و کمترین آن در شاهد (۳۶/۳۳ عدد) است (شکل ۸). البته شایان ذکر است که تلقیح بستر کشت با ترکیب B2 در آب خاکستری مانند شاهد عمل کرد و نتوانسته تعداد برگ قابل قبولی ایجاد کند.

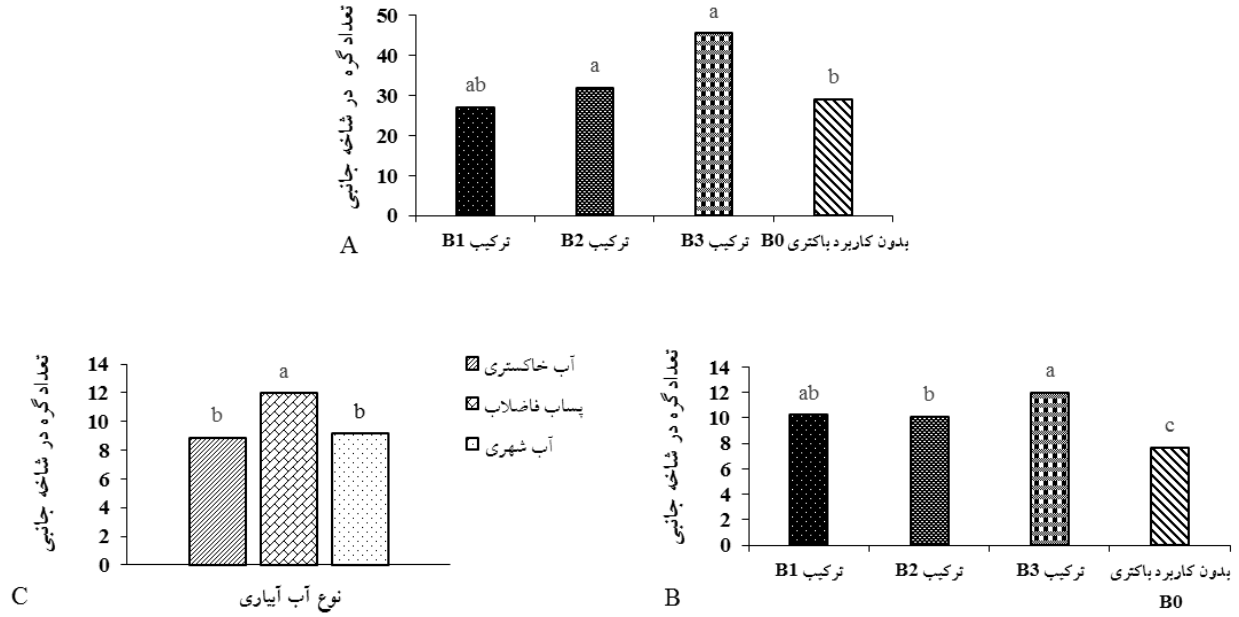
تأثیر استفاده از آب‌های آبیاری و سویه‌های مختلف باکتری بر تعداد گره: مطابق با جدول ۸ اثرات ساده آب‌های آبیاری و سویه‌های مختلف باکتری بر تعداد گره در گل یخ، معنی‌دار است ($P\leq0.01$). بیشترین تعداد گره در گل یخ مربوط تیمار تلقیح بستر کشت با ترکیب B3 و B2 بود و کمترین آن در شاهد رویت شد. این در حالی است که بیشترین تعداد گره در سدوم‌عقربی مربوط به تیمار تلقیح بستر کشت با ترکیب B3 و کمترین آن در شاهد بود (شکل ۹). همچنین آبیاری با پساب فاضلاب شهری در گیاه سدوم‌عقربی به‌طور معنی‌داری تعداد گره را بهبود بخشید.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.267]



شکل ۸- اثرات متقابل آب‌های آبیاری و سویه‌های مختلف باکتری بر تعداد برگ در شاخه سدوم عقربی. داده‌ها نشان‌دهنده (خطای استاندارد: ۱۲/۶۸).



شکل ۹- اثرات ساده استفاده از آب‌های آبیاری و سویه‌های مختلف باکتری در ارتباط با تعداد گره در A: گل‌یخ، داده‌ها نشان‌دهنده (خطای استاندارد: ۴/۰۶). B و C: سدوم‌عقربی. داده‌ها به‌ترتیب از راست به چپ نشان‌دهنده (خطای استاندارد: ۰/۴۵، ۰/۳۷).

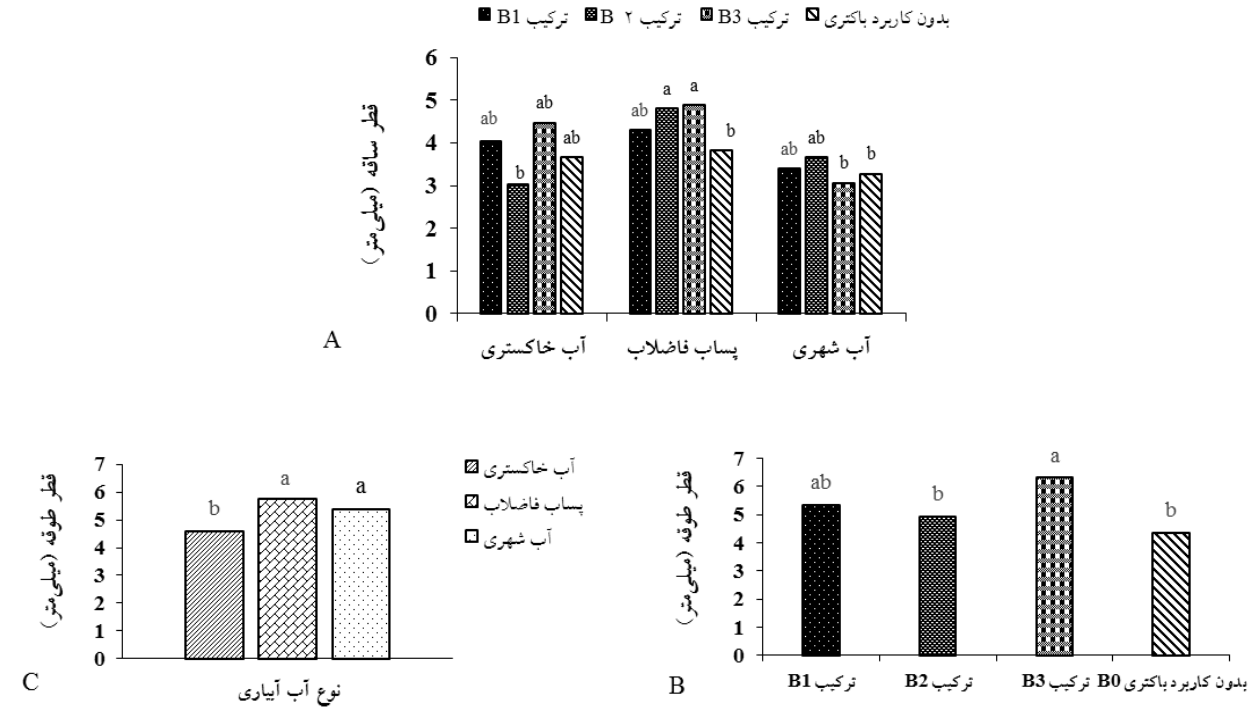
تأثیر استفاده از آب‌های آبیاری و سویه‌های مختلف باکتری بر فاصله میانگره: شکل ۱۰ نشان داد که کاربرد ترکیب B2 در گل‌یخ و سدوم‌عقربی بیشترین فاصله میانگره را ایجاد کرد و کمترین فاصله میانگره در گل یخ در تیمارهای B1 و B3 مشاهده شد. این در حالی است که در گیاه سدوم‌عقربی کمترین فاصله میانگره در تیمارهای B1 و B0 است.

تأثیر استفاده از آب‌های آبیاری و سویه‌های مختلف باکتری بر قطر طوقه و ساقه گیاهان: همان‌طور که در شکل ۱۱ مشهود است تیمار تلقیح بستر کشت با ترکیب B3 و B2 درحضور فاضلاب شهری قطر ساقه بیشتری ایجاد کرد، درحالی‌که کمترین قطر ساقه مربوط به تیمارهای B3 و B0 و آبیاری گیاهان با آب شهری بود. به نظر می‌رسد ترکیب B2 درحضور آب خاکستری چندان موفق عمل نکرد. و تلقیح بستر کشت با ترکیب B3 قطر طوقه بیشتری (۸/۳۴ میلی‌متر)

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]
[DOI: DOI: 10.22034/13.62.267]



شکل ۱۰- اثرات ساده استفاده از آب‌های آبیاری و سویه‌های مختلف باکتری در ارتباط با فاصله میانگره در A: گل‌یخ، داده‌ها نشان‌دهنده (خطای استاندارد: ۰/۴۴) B: سدوم‌عقربی، داده‌ها نشان‌دهنده (خطای استاندارد: ۰/۱۷).



شکل ۱۱- اثرات ساده استفاده از آب‌های آبیاری و سویه‌های مختلف باکتری در ارتباط با برقطر طوقه و ساقه در گل‌یخ. داده‌ها به‌ترتیب از راست به چپ نشان‌دهنده قطر ساقه: (خطای استاندارد: ۰/۲۸). قطر طوقه: (خطای استاندارد: ۰/۲۶، ۰/۱۱).

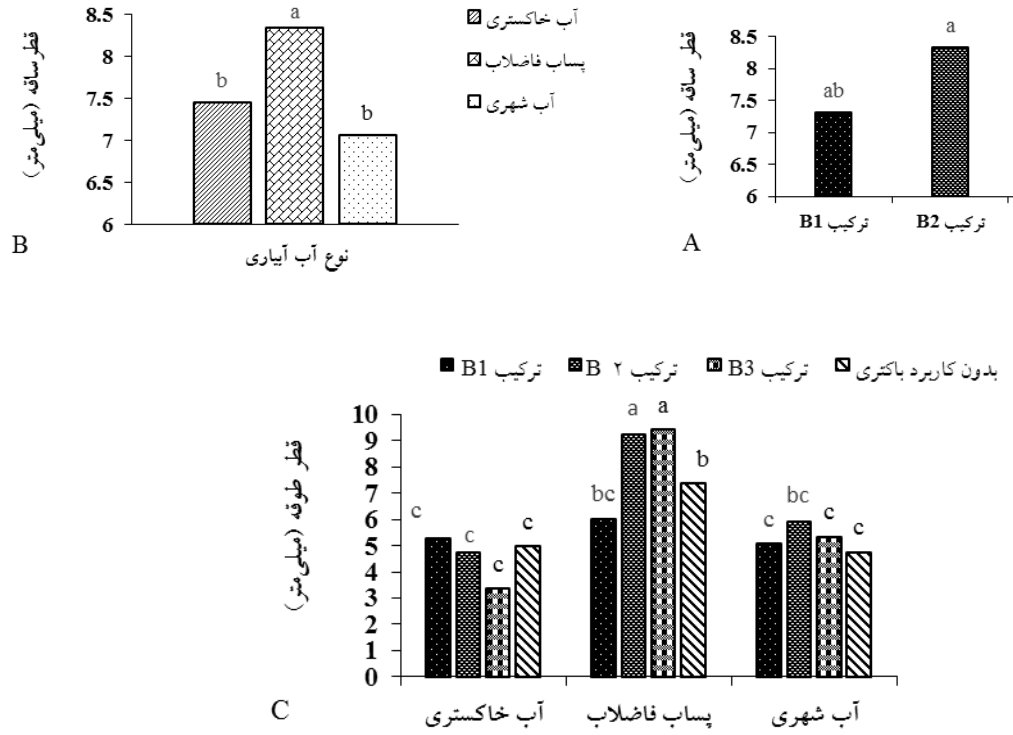
در گل یخ ایجاد کرد. کمترین قطر طوقه مربوط به عدم تلفیق باکتری بود. آبیاری با پساب فاضلاب شهری در افزایش قطر طوقه و ساقه گیاهان مؤثر بوده است.

شکل ۱۲ نشان داد در سدوم‌عقربی تلقیح بستر کشت با ترکیب B2 و همچنین آبیاری باپساب فاضلاب شهری قطر ساقه بیشتری ایجاد کرد. بیشترین قطر طوقه مرتبط با تیمار تلقیح بستر کشت با ترکیب B2 و B3 بود. به نظر تلقیح بیشتر سویه‌های باکتری در بستر کشت و آبیاری با پساب فاضلاب شهری در افزایش صفات مربوط به قطر ساقه موفق نسبت به شاهد (عدم تلفیق باکتری) و آبیاری با آب شهری عمل کرده است. نکته قابل توجه این است که حضور سویه‌های باکتری و آبیاری با پساب بیشترین قطر ساقه را ایجاد کرد. این در حالی است که در قطر طوقه غیر از ترکیب B2 و B3 در پساب فاضلاب شهری سایر تیمارها از نظر آماری اختلاف معنی‌دار با شاهد نداشتند.

صفات فیزیولوژیک گیاهان زینتی انباشتگر در این

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.267]



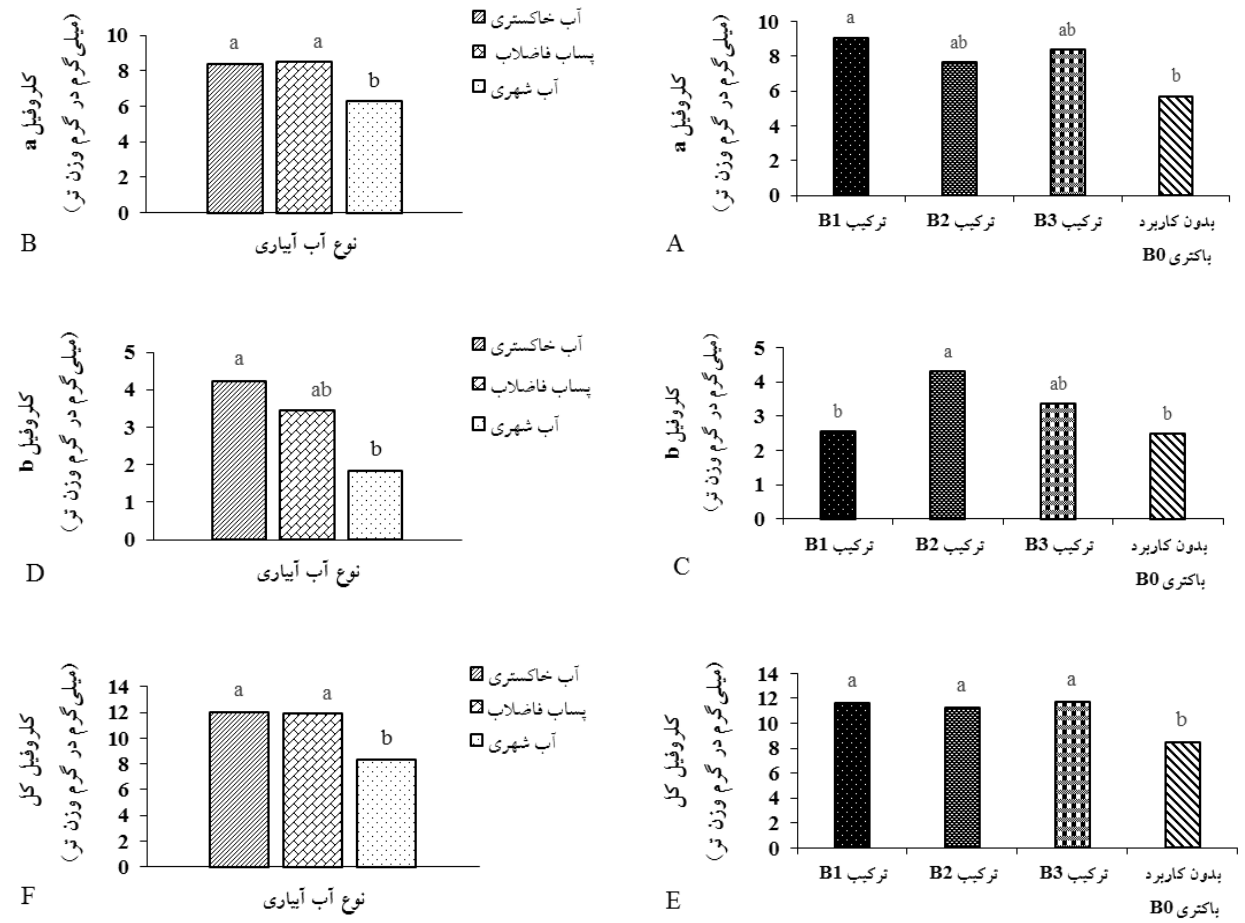
شکل ۱۲- اثرات متقابل استفاده از آب‌های آبیاری و سویه‌های مختلف باکتری در ارتباط با برقطر طوقه و ساقه در سدوم‌عقربی. داده‌ها به‌ترتیب از راست به چپ نشان‌دهنده قطر ساقه (خطای استاندارد: ۰/۲۹، ۰/۱۴). قطر طوقه (خطای استاندارد: ۰/۳۲).

آزمایش، تأثیر استفاده از از آب‌های آبیاری و سویه‌های مختلف باکتری در ارتباط با رنگیزه‌های فتوسنتزی: در چمن یال‌اسبی بیشترین میزان کلروفیل a و کلروفیل b مربوط به ترکیب B2 و B3 بود. درحالی‌که ترکیب با انواع سویه‌های باکتری نسبت به شاهد (بدون کاربرد باکتری) در کلروفیل کل تفاوت آماری معنی‌دار ایجاد کرد و با بیشترین کلروفیل همراه بود. کمترین میزان کلروفیل a و کلروفیل b و کل در تیمار شاهد (بدون کاربرد باکتری) رویت شد. به نظر می‌رسد آبیاری با آب‌های بازیافتی نسبت به آب شهری سبزینگی بهتری به هر چهار گیاه داده است (شکل ۱۳).

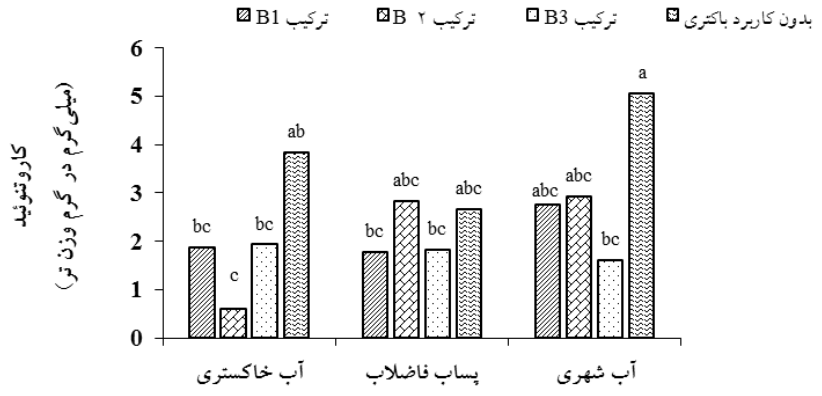
شکل ۱۴ برای کاروتنوئید در چمن یال‌اسبی نشان‌دهنده این است که تیمار شاهد (بدون کاربرد باکتری) در آب شهری با بیشترین میزان کاروتنوئید (۵/۰۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و حضور ترکیب B2 در بستر کشت و آبیاری گیاه با آب خاکستری با کمترین میزان کاروتنوئید (۰/۶۵میلی‌گرم بر گرم وزن تر) همراه بود.

در چمن فستوکا تیمار تلقیح بستر کشت با ترکیب B1 در آبیاری با آب خاکستری و پساب فاضلاب شهری، ترکیب B3 در آب شهری بیشترین میزان کلروفیل a را ایجاد کرد و کمترین میزان کلروفیل a در تیمار شاهد (بدون کاربرد باکتری) و آبیاری با آب شهری ایجاد شد. می‌توان گفت آب شهری در بهبود سبزینگی گیاه بدون حضور باکتری‌های محرک رشد موفق عمل نکرده است (شکل ۱۵). بیشترین میزان کلروفیل b مربوط به کاربرد ترکیب B1، B2 و B3 بود و کمترین میزان کلروفیل b در تیمار شاهد (بدون کاربرد باکتری) مشاهده شد. حضور باکتری‌های محرک رشد در انواع آب آبیاری میزان کلروفیل کل بیشتری نسبت به تیمار شاهد (بدون کاربرد باکتری) ایجاد کرد (شکل ۱۵). در مورد کاروتنوئید در چمن فستوکا و گل یخ، تیمار شاهد (بدون کاربرد باکتری) در آب شهری با بیشترین میزان کاروتنوئید همراه بود. گیاهان در حضور سویه‌های ترکیبی در انواع آب آبیاری زردی برگ کمتری از خود نشان دادند (شکل ۱۶ و ۱۸).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]
[DOI: DOI: 10.22034/13.62.267]



شکل ۱۳- اثرات ساده استفاده از آب‌های آبیاری و سویه‌های مختلف باکتری در ارتباط با رنگیزه‌های فتوسنتزی در چمن یال‌اسبی. داده‌ها به‌ترتیب از راست به چپ نشان‌دهنده کلروفیل‌a: (استاندارد: ۰/۷۱، ۰/۳۳). کلروفیل b: (خطای استاندارد: ۰/۵۳، ۰/۲۳). کلروفیل‌کل: (خطای استاندارد: ۰/۶۴، ۰/۱۰).

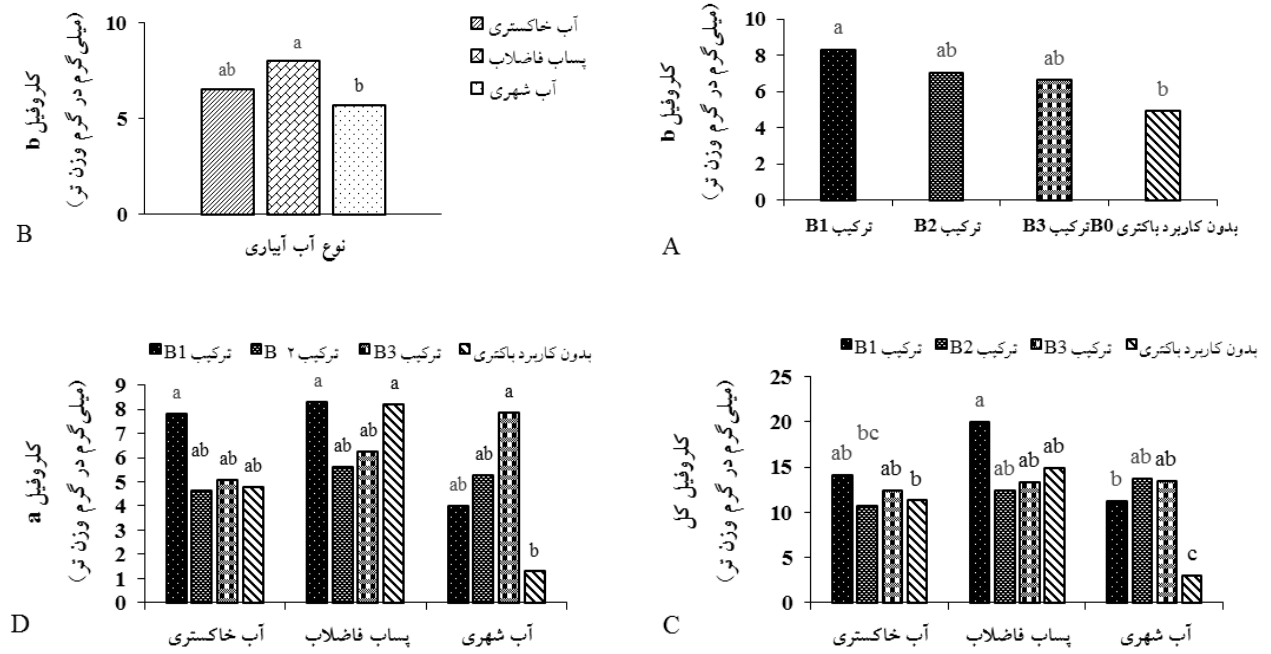


شکل ۱۴- اثر متقابل آب‌های آبیاری و سویه‌های مختلف باکتری در ارتباط با کاروتنوئید درچمن یال‌اسبی، داده‌ها نشان‌دهنده (خطای استاندارد: ۰/۵۱).

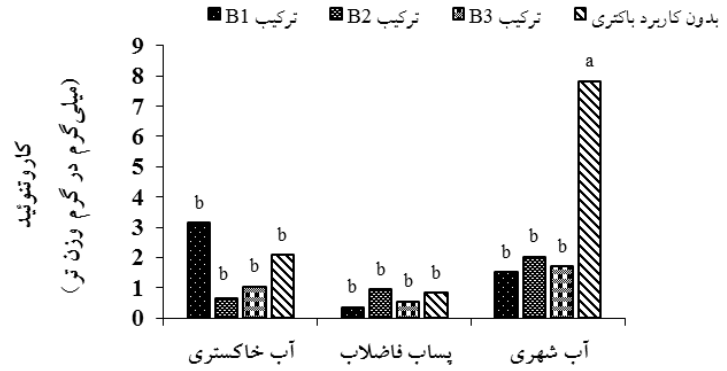
شکل ۱۷ نشان داد بیشترین میزان کلروفیل a و b در گل یخ مرتبط با تیمار تلقیح بستر کشت با ترکیب‌های باکتری بود. به

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.267]



شکل ۱۵- اثرات آب‌های آبیاری و سویه‌های مختلف باکتری در ارتباط با رنگیزه‌های فتوسنتزی در چمن فستوکا. داده‌ها به‌ترتیب از راست به چپ نشان‌دهنده کلروفیل b (خطای استاندارد: ۰/۷۷، ۰/۳۶)، کلروفیل کل (خطای استاندارد: ۱/۵۱) و کلروفیل a (خطای استاندارد: ۱/۰۷).

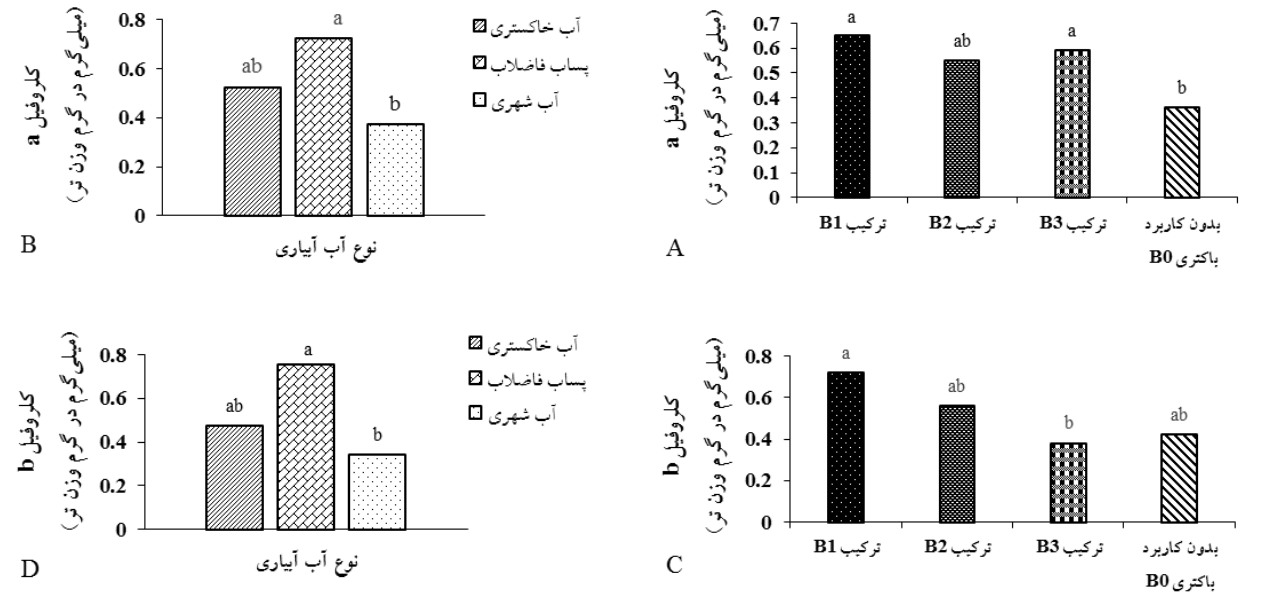


شکل ۱۶- اثر متقابل فصل و بستر کشت در ارتباط با کاروتنوئید در چمن فستوکا، داده‌ها نشان‌دهنده (خطای استاندارد: ۰/۶۸).

نظر تلقیح بیشتر سویه‌های باکتری در بستر کشت در افزایش صفات مربوط به سبزینگی گیاه نسبت به شاهد (عدم تلفیق باکتری) موفق عمل کرده است. بیشترین میزان کلروفیل کل در ترکیب B1 و در آبیاری گیاه با پساب (۲/۰۷ میلی‌گرم در گرم وزن تر) دیده شد و کمترین میزان کلروفیل کل در B0 و در آبیاری با آب شهری (۰/۶۲ میلی‌گرم در گرم وزن تر) همراه بود (شکل ۱۸).

شکل ۱۹ نشان‌دهنده این است که در گیاه سدوم‌عقربی بیشترین میزان کلروفیل a و کلروفیل b مربوط به ترکیب B2 و B3 بود. درحالی‌که ترکیب با انواع سویه‌های باکتری نسبت به شاهد (بدون کاربرد باکتری) در کلروفیل a و کلروفیل b تفاوت آماری معنی‌دار ایجاد کرد و با بیشترین میزان همراه بود. همچنین آبیاری با پساب فاضلاب شهری بیشترین میزان کلروفیل a نسبت به تیمارهای دیگر آب ایجاد کرد (شکل ۱۹).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]
[DOI: DOI: 10.22034/13.62.267]



شکل ۱۷- اثرات ساده استفاده از آب‌های آبیاری و سویه‌های مختلف باکتری در ارتباط با رنگیزه‌های فتوسنتزی در گل‌یخ، داده‌ها به‌ترتیب از راست به چپ نشان‌دهنده کلروفیل a (خطای استاندارد: ۰/۰۵، ۰/۰۴). کلروفیل b (خطای استاندارد: ۰/۰۸۳، ۰/۰۵۶).



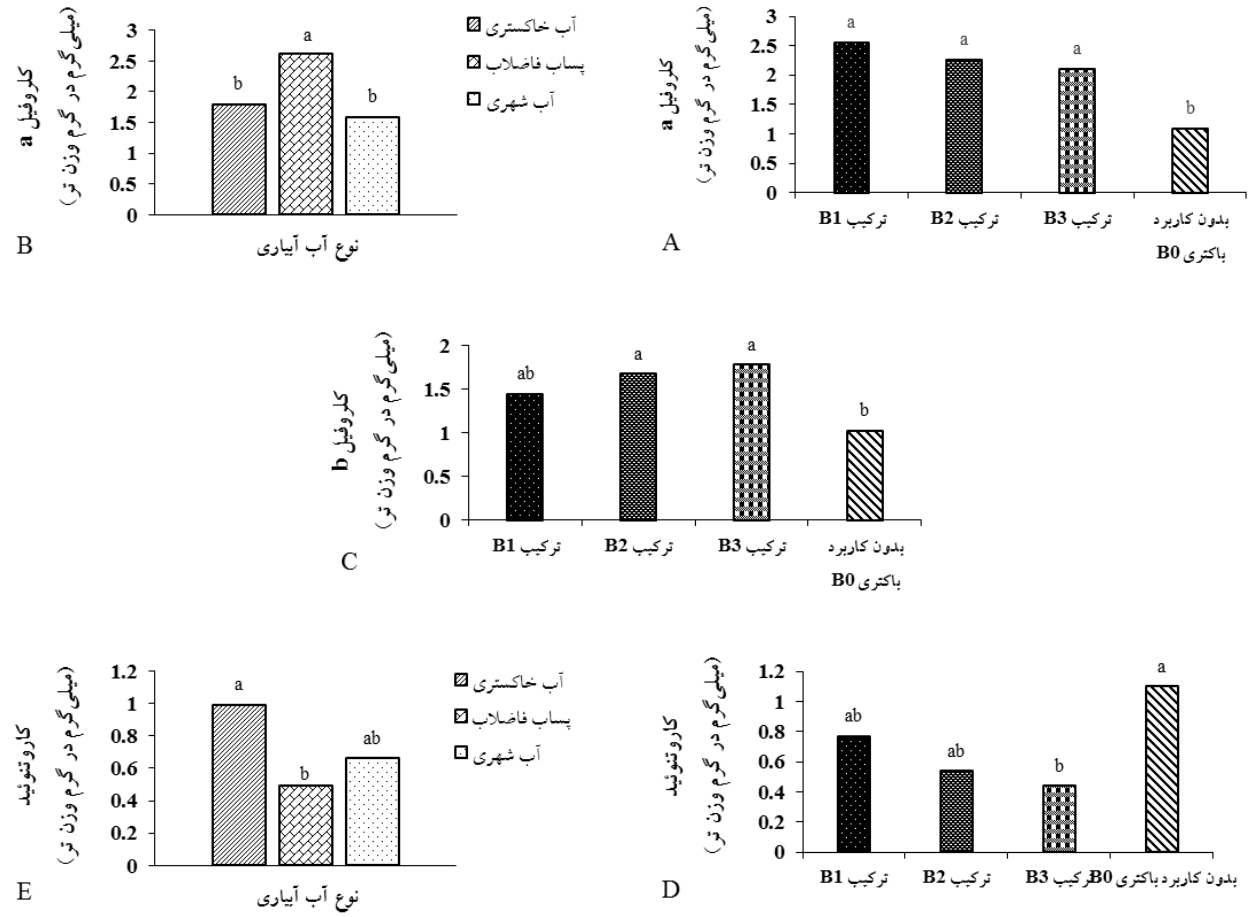
شکل ۱۸- اثرمتقابل استفاده از آب‌های آبیاری و سویه‌های مختلف باکتری در ارتباط با رنگیزه‌های فتوسنتزی در گل یخ، داده‌ها به‌ترتیب از راست به چپ نشان‌دهنده کلروفیل کل (خطای استاندارد: ۰/۱۱) و کاروتنوئید (خطای استاندارد: ۰/۵۴).

تیمار تلقیح بستر کشت با ترکیب B2 در آبیاری با پساب فاضلاب شهری، بیشترین میزان کلروفیل کل را ایجاد کرد و کمترین میزان کلروفیل کل در تیمار شاهد (بدون کاربرد باکتری) و آبیاری با آب شهری ایجاد شد (شکل ۲۰). همان‌طور که در شکل ۱۹ مشاهده می‌شود تیمار شاهد (بدون کاربرد باکتری) با بیشترین میزان کاروتنوئید همراه بود. آب خاکستری در مقایسه با دو نوع آب آبیاری دیگر زردی برگ بیشتری از خود نشان داد. به نظر می‌رسد در سدوم‌عقربی، آب خاکستری در ایجاد سبزینگی گیاه موفق عمل نکرد.

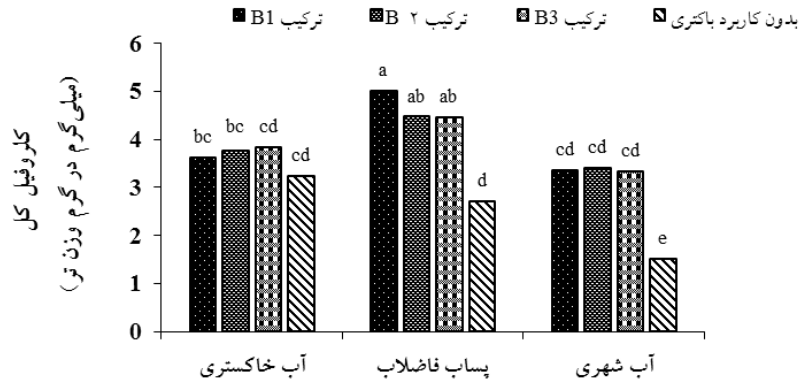
تأثیر استفاده از آب‌های آبیاری و سویه‌های مختلف باکتری در ارتباط با محتوای نسبی آب برگ: مطابق با شکل ۲۱ در هر سه گیاه چمن یال‌اسبی، فستوکا و سدوم عقربی تیمار تلقیح بستر کشت با انواع سویه‌های باکتری با بیشترین میزان محتوای نسبی آب برگ همراه بود. همچنین استفاده از انواع آب‌های بازیافتی محتوی آب برگ بیشتری در گیاهان ایجاد کرد. در گل یخ تلقیح بستر کشت با ترکیب B3 در آبیاری با آب خاکستری با بیشترین میزان محتوای آب برگ (۶۵/۶۸٪) کمترین میزان محتوای آب برگ در تیمار شاهد (بدون کاربرد باکتری) و آبیاری با آب شهری (۲۶/۶۹٪) ایجاد شد (شکل ۲۲).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.267]



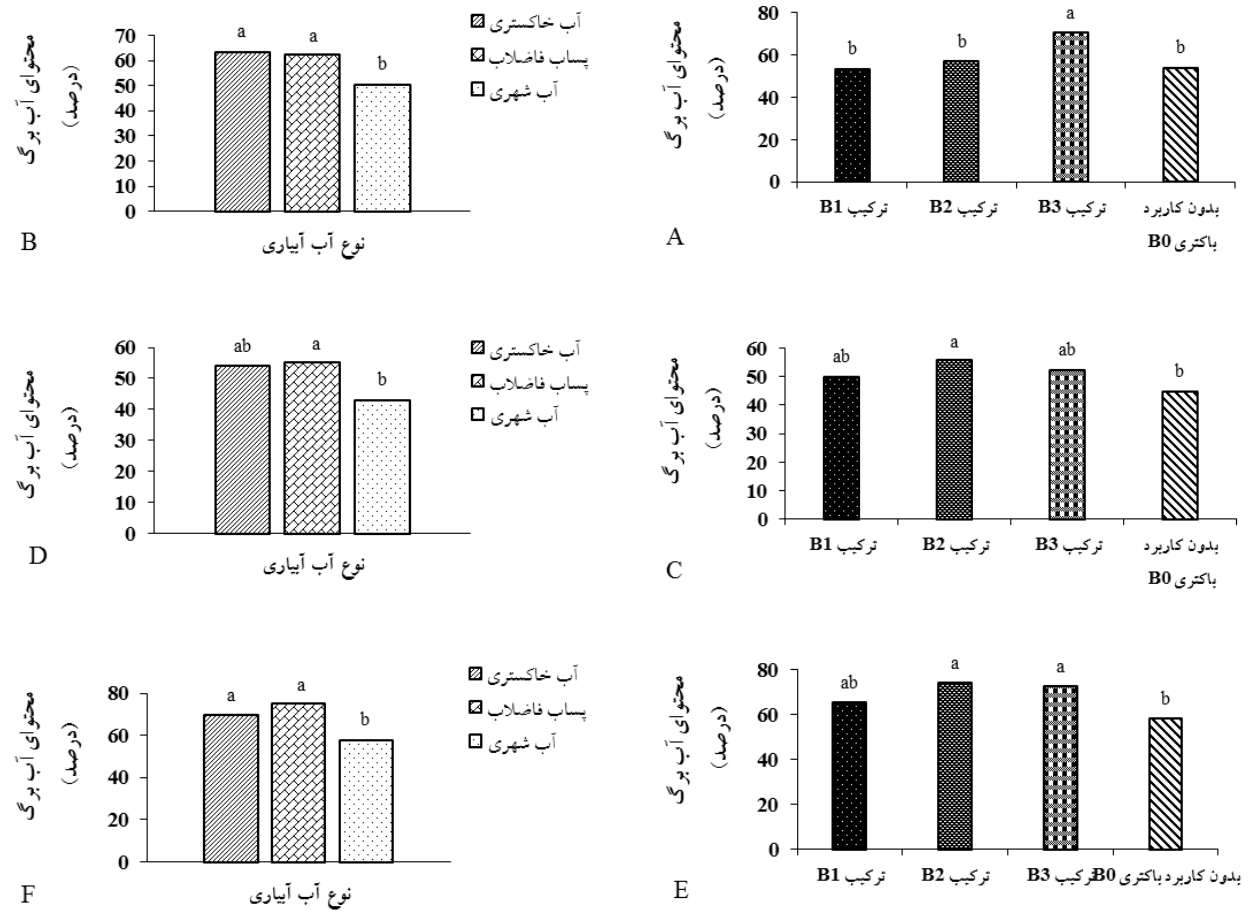
شکل ۱۹- اثرات ساده استفاده از آب‌های آبیاری و سویه‌های مختلف باکتری در ارتباط با رنگیزه‌های فتوسنتزی در سدوم‌عقربی، داده‌ها به‌ترتیب از راست به چپ نشان‌دهنده کلروفیل a (خطای استاندارد: ۰/۱۶، ۰/۱۵)، کلروفیل b (خطای استاندارد: ۰/۱۳) و کاروتنوئید (خطای استاندارد: ۰/۱۵، ۰/۰۷).



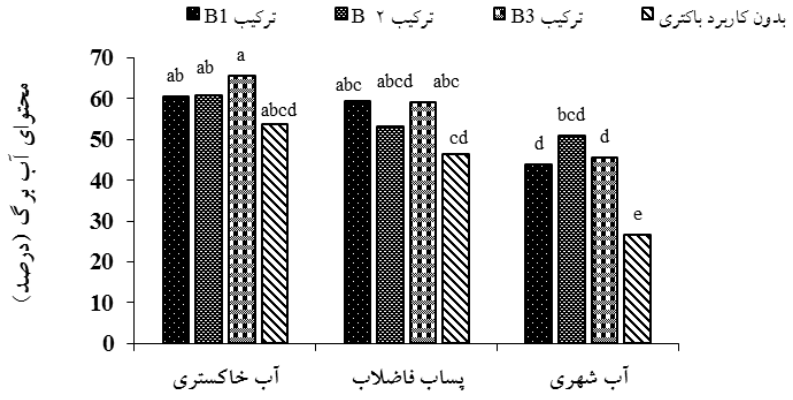
شکل ۲۰- اثر متقابل استفاده از آب‌های آبیاری و سویه‌های مختلف باکتری در ارتباط با کلروفیل کل در سدوم‌عقربی (خطای استاندارد: ۰/۱۱).

تأثیر استفاده از آب‌های آبیاری و سویه‌های مختلف باکتری در ارتباط با کمبود اشباع نسبی: همان‌طور که در

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]
[DOI: DOI: 10.22034/13.62.267]



شکل ۲۱- اثرات ساده آب‌های بازیافتی و سویه‌های باکتری بر محتوی نسبی آب برگ A و B: چمن یال‌اسبی، داده‌ها به‌ترتیب از راست به چپ نشان‌دهنده A (خطای استاندارد: ۲/۱۰، ۱/۷۹). C و D: فستوکا، داده‌ها به‌ترتیب از راست به چپ نشان‌دهنده (خطای استاندارد: ۲/۳۹، ۲/۲۴).E و F: سدوم عقربی، داده‌ها به‌ترتیب از راست به چپ نشان‌دهنده (خطای استاندارد: ۲/۵۷، ۱/۴۰).

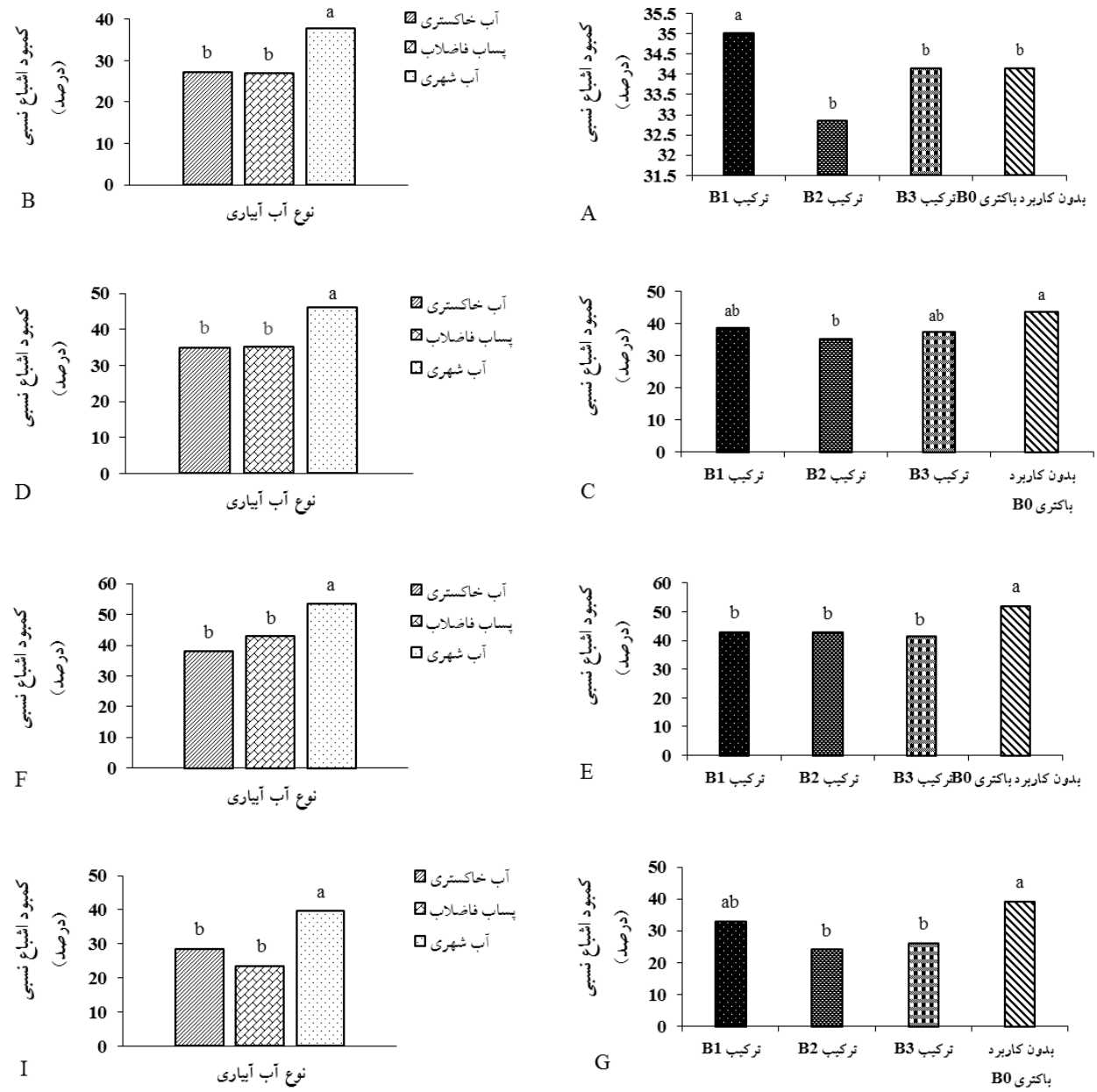


شکل ۲۲- اثر متقابل آب‌های بازیافتی و سویه‌های باکتری بر محتوی نسبی آب برگ درگل‌یخ (خطای استاندارد: ۲/۵۷).

شکل ۲۳ مشهود است بیشترین کمبود اشباع نسبی در سه گیاه فستوکا، گل یخ و سدوم عقربی مربوط به تیمار شاهد (بدون کاربرد باکتری) است. این درحالی است که در چمن یال‌اسبی تلقیح بستر کشت با ترکیب B1 بیشترین کمبود اشباع نسبی را

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.267]

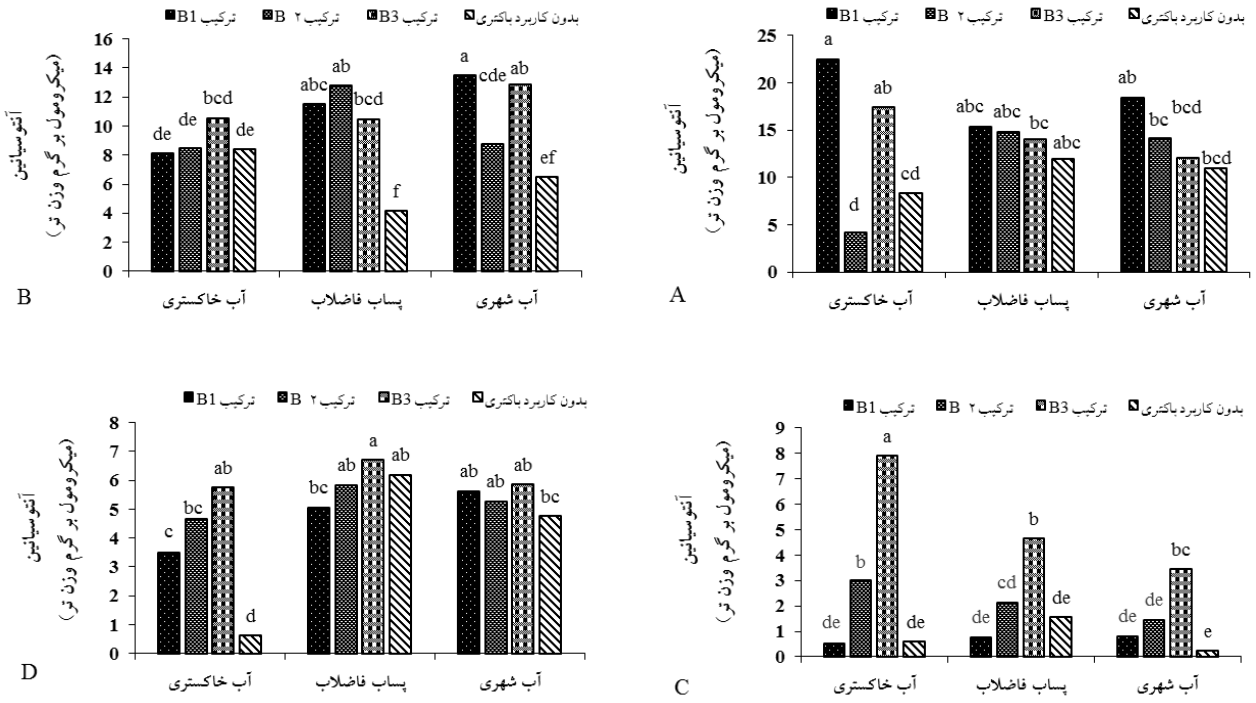


شکل ۲۳- اثرات ساده آب‌های بازیافتی و سویه‌های باکتری بر کمبود اشباع نسبی در A و B: چمن یال‌اسبی، داده‌ها به‌ترتیب از راست به چپ نشان‌دهنده A (خطای استاندارد ۱/۸۳، ۱/۴۶). C و D: فستوکا، (خطای استاندارد: ۲/۱۷، ۲/۰۹). E و F: درگل‌یخ، (خطای استاندارد: ۱/۴۱، ۲). H و I: سدوم عقربی، (خطای استاندارد: ۲/۵۱، ۱/۲۲).

ایجاد کرد. نکته قابل‌اهمیت این است که در آب شهری نیز بیشترین کمبود اشباع نسبی در چهار گیاه مورد آزمایش رویت شد. به‌نظر می‌رسد آب‌های بازیافتی کمبود اشباع نسبی کمتری ایجاد کردند.

تأثیر استفاده از آب‌های آبیاری و سویه‌های مختلف باکتری در ارتباط با آنتوسیانین: بیشترین میزان آنتوسیانین در چمن یال‌اسبی در تلقیح بستر کشت با ترکیب B1 و در آبیاری گیاهان با آب خاکستری (۲۲/۴۶ میکرومول بر گرم وزن تر) و کمترین میزان آنتوسیانین در تلقیح بستر کشت با ترکیب B2 و در آبیاری گیاهان با آب خاکستری (۴/۲۳ میکرومول بر گرم وزن تر) دیده شد. این در حالی است که در فستوکا تلقیح بستر کشت با ترکیب B1 و در آب شهری بیشترین میزان

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]
[DOI: DOI: 10.22034/13.62.267]



شکل ۲۴- اثر متقابل آب‌های بازیافتی و سویه‌های باکتری بر آنتوسیانین در A: چمن یال‌اسبی، داده‌ها نشان‌دهنده (خطای استاندارد: ۱/۵۴). B: فستوکا (خطای استاندارد: ۰/۶۴). C: درگل‌یخ (خطای استاندارد: ۰/۳۳). D: سدوم عقربی (خطای استاندارد: ۰/۳۰).

آنتوسیانین (۱۳/۵۳ میکرومول بر گرم وزن تر) را ایجاد کرد و کمترین میزان آن در تیمار شاهد (بدون کاربرد باکتری) و آبیاری با پساب فاضلاب شهری (۴/۱۵ میکرومول بر گرم وزن تر) ایجاد شد (شکل ۲۴).

در گل یخ بیشترین میزان آنتوسیانین در تلقیح بستر کشت با ترکیب B3 و در آبیاری گیاهان با آب خاکستری (۷/۹۳ میکرومول بر گرم وزن تر) و کمترین میزان آن در تیمار شاهد (بدون کاربرد باکتری) و آبیاری با آب شهری (۰/۵۲ میکرومول بر گرم وزن تر) ایجاد شد. مقایسه میانگین داده‌ها نشان می‌دهد بیشترین میزان آنتوسیانین در سدوم عقربی در تلقیح بستر کشت با ترکیب B3 و در آبیاری گیاهان با پساب فاضلاب شهری (۶/۷۳ میکرومول بر گرم وزن تر) و کمترین میزان آن در تیمار شاهد (بدون کاربرد باکتری) و آبیاری با آب خاکستری (۰/۶۳ میکرومول بر گرم وزن تر) بود. به‌نظر می‌رسد تلقیح بستر کشت با ترکیب B1 در گیاهان چمنی و تلقیح بستر کشت با ترکیب B3 در گیاهان گوشتی سبب افزایش آنتوسیانین می‌شود.

بحث

امروزه کمبود آب با کیفیت باعث شده است که برای آبیاری محصولات کشاورزی از آب‌های نامتعارف استفاده شود. کشور ایران که دارای آب و هوای خشک و نیمه‌خشک است نیز از این قاعده مستثنی نیست و به شدت از کمبود منابع آبی رنج می‌برد که در درازمدت می‌تواند به یکی از جدی‌ترین مشکلات کشور تبدیل شود (Rezapour *et al.*, 2017). در دسترس بودن آب شیرین برای آبیاری در حال کمبود است، بنابراین به یکی از عوامل محدودکننده اصلی در تولید محصولات پایدار به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک تبدیل می‌شود. برای غلبه بر این کمبود، کشاورزان به دلیل قیمت پایین و در دسترس‌بودن، محصولات خود را با پساب فاضلاب تصفیه‌شده یا نشده آبیاری می‌کنند. با این‌حال، استفاده مداوم از آن ممکن است باعث بدترشدن کیفیت خاک و تجمع زیستی فلزات سنگین سمی در زنجیره غذایی شود (Zemanova *et al.*, 2014). این کاهش کیفیت خاک توسط آب‌های نامتعارف منجر به کاهش کیفیت و کمیت گیاهان کشت‌شده در این خاک‌ها می‌گردد (Baker,

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.267]

2007) و در واقع نوعی تنش برای گیاهان محسوب می‌گردد اما همان‌طور که در آزمایش حاضر دیده شد پساب فاضلاب به تنهایی نه تنها کیفیت و کمیت گیاهان کشت‌شده را نسبت به آب شهری کاهش نداد بلکه در برخی صفات (ارتفاع، اندکس رشد، طول و پهنای برگ، تعداد و طول شاخه جانبی تعداد گره و برگ و کلروفیل، محتوای برگ و کمبود اشباع نسبی و آنتوسیانین) موجب بهبود این صفات شد. و این نتایج با یافته‌های Marinho و همکاران (۲۰۱۳) و Urbano و همکاران (۲۰۱۷) در مورد افزایش رشد گیاهان به دلیل مواد مغذی بیشتر نسبت به آب شیرین که می‌تواند منبع مواد مغذی برای کشاورزی باشد و تقاضای کود شیمیایی را کاهش دهد مطابقت دارد.

همچنین جهت بهبود اثرات مخرب آب‌های نامتعارف بر صفات کمی و کیفی گیاهان، مطالعات نشان داده‌اند که باکتری‌های محرک رشد گیاه، بهره‌وری را در شرایط مختلف محیطی به‌ویژه در موقعیت‌های استرس‌زا بهبود می‌بخشند (Carrillo- Castaneda *et al*., 2002; Ramakrishna *et al*., 2019). در آزمایش حاضر نیز نشان داده شد که کاربرد باکتری‌ها در بستر کشت موجب بهبود اثرات مخرب این آب‌های نامتعارف شد، هر چند عملکرد تمامی تیمارهای باکتری یکسان نبود. به‌طوری‌که ترکیب B3 موجب بهبود ارتفاع، اندکس رشد، طول و پهنای برگ، طول و تعداد شاخه جانبی، قطر طوقه، کلرفیل، محتوای نسبی برگ و کمبود اشباع نسبی و آنتوسیانین شد و پس از آن ترکیب B2 در رتبه بعدی قرار داشت. به‌نظر می‌رسد این باکتری‌ها با تأمین مواد مغذی، ترشح هورمون‌های رشد گیاه و بسیاری مکانیسم‌های دیگر باعث رشد گیاه می‌شوند (Chiappero *et al*., 2019). PGPR توانایی افزایش رشد گیاه میزبان را با روش‌های مختلف شامل تولید ترکیبات خاص و افزایش جذب مواد مغذی دارد (Aeron *et al*., 2020). در پژوهش ما در تمامی گیاهان مورد آزمایش افزایش میزان کلروفیل برگ‌ها منجر به تولید محصولات فتوسنتزی بیشتر و نهایتاً رشد بهتر و بیشتر اندام‌های گیاهی و پوشش‌دهی بهتر سطح توسط گیاه گردیده است. میزان پوشش‌دهی سطح بستگی به ویژگی‌های رشدی گیاهان، مانند ارتفاع، طول و عرض گیاه که تحت تأثیر شرایط تغذیه‌ای و رطوبت بستر قرار می‌گیرد دارد (Rabbani and Kazemi, 2022). Jozay و همکاران (۲۰۲۲) نیز در پژوهشی اظهار داشتند ترکیبات و محتوای بستر کشت تأثیر معنی‌داری بر میزان رشد و پوشش‌دهی گیاهان در دیوار سبز خارجی دارند. پوشش‌دهی سریع‌تر در ساختارهای سبز عمودی از جمله دیوارهای سبز یک صفت مطلوب محسوب می‌گردد و کاربرد ترکیب باکتری جهت بهبود این صفت مؤثر بوده است.

Chiaranunt و White (۲۰۲۳) گزارش کردند که خصوصیات مورفولوژیک در بسترهای تلقیح‌شده با باکتری نسبت به شاهد، به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر قرار گرفت، به‌طوری‌که گیاهان رشدکرده در حضور باکتری دارای ارتفاع تعداد برگ و طول و عرض برگ، قطر ساقه و طوقه مطلوب‌تر نسبت به بستر شاهد (عدم تلقیح) بودند. استفاده ترکیبی از لجن فاضلاب و ریزوباکتری‌های محرک رشد گیاه باعث بهبود جوانه‌زنی، پاسخ بیوشیمیایی و عملکرد غده ریج (*Luffa acutangula* (L.) Roxb) بیشترین رویش گیاهچه (٪ ۲/۱ ± ۳/۹۲)، زیست‌توده تازه (g ۰/۳ ±۹/۶)، سرعت رشد (g ۰/۱ ± ۱/۴ در روز)، طول گیاه (cm ۰/۳ ±۱۵/۵)، طول ریشه (cm ۰/۳ ±۱۰/۴)، کلروفیل کل (mg/g ۰/۱ ±۳/۲)، عملکرد محصول (kg ۰/۱ ±۱۳/۸ در بوته) شد (Kumar *et al*., 2022). یافته‌های این پژوهش در مورد افزایش شاخص‌های رشدی گیاهان مورد مطالعه در حضور باکتری‌های محرک رشد و آبیاری با نتایج یافته‌های محققان مذکور همسو بود.

در مورد مقایسه چهار گیاه مورد بررسی می‌توان گفت گل یخ در هر سه فصل مورد مطالعه در شرایط خوبی بوده و به‌دلیل سبزینگی و آویز و پرشدن کافی برای ایجاد یک منظره مطلوب از نظر زیبایی بصری می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد، بنابراین از جاذبه دیداری و زیبایی کافی این گیاه در فصول بهار، تابستان و پاییز در بسترهای ترکیبی تلقیح‌شده در دیوارهای سبز خارجی می‌توان بهره گرفت. درحالی‌که از نظر جاذبه دیداری سدوم عقربی در رتبه دوم قرار گرفت. در فصل

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.267]

بهار و تابستان چمن یال‌اسبی رشد چندانی نکرد و ظاهر خوبی از نظر اندکس رشد و سبزینگی نداشت، هر چند در فصل پاییز کسری رشد خود را جبران و در اواخر پاییز با سه گیاه دیگر به رقابت پرداخت. در مورد چمن فستوکا در فصل بهار و تابستان از نظر شاخص‌های رشدی بیشتر از چمن یال‌اسبی بود ولی هم‌ردیف گل یخ و سدوم عقربی نتوانست رقابت کند. Kazemi و همکاران (۲۰۲۰) رشد و عملکرد چهار گونه گیاهی در انواع مختلف بستر را در سیستم دیوار سبز داخلی بررسی کردند و نتایج نشان داد که *A. cordifolia* گونه‌ای مطلوب برای سیستم‌های داخلی دیوار سبز است. یکی از فاکتورهای مؤثر در عملکرد زیبایی سیستم‌های دیوار سبز درصد پوشش گیاهی است که به شاخص رشد گیاهان وابسته است و این یافته آزمایش Kazemi و همکاران (۲۰۲۰) در مورد کاربرد گل یخ با نتایج تحقیق فعلی مطابقت دارد.

محتوای کلروفیل برگ ارتباط نزدیکی با نیتروژن برگ در محصولات دارد و می‌تواند نشان‌دهنده در دسترس‌بودن نیتروژن خاک باشد (Marenco *et al*., 2009). Lubbe و همکاران (۲۰۱۶) کاهش محتوای کلروفیل در برگ‌های *Amarantus dubius* و *Solanum nigrum* در تیمارهای آب خاکستری مطرح کردند که به‌نظر این محققان آبیاری با آب خاکستری ممکن است دسترسی مواد مغذی را نسبت به آب لوله‌کشی به خطر بیاندازد. Vajpayee و همکاران (۱۹۹۹) در میان گیاهانی که در معرض غلظت‌های مختلف پساب دباغی قرار گرفتند، نسبت chl a/b ارزیابی کردند و کاهش بیشتر chlorophyll-a نسبت به chlorophyll-b با حساسیت بالاتر chlorophyll-a در مقایسه با chlorophyll-b گزارش شد.

افزایش پساب فاضلاب با اختلال در استفاده از δ-aminolevulinic acid dehydratase، یعنی ALAD (آنزیمی که در بیوسنتز کلروفیل دخیل است) اثرات سمی ایجاد می‌کند. δ-aminolevulinic acid dehydratase یک متالوآنزیم است و فعالیت آن در گیاهان به در دسترس‌بودن منیزیم بستگی دارد (Hayat *et al*., 2010). بنابراین پساب فاضلاب با افزایش فلزات همچنین فعالیت ALAD را با تبادل منیزیم در محل فعال کاهش می‌دهد و فعالیت succinic dehydrogenase را افزایش می‌دهد (Satyakala and Jamil, 1992). حداکثر کاهش محتوای کاروتنوئید *Spirodela polyrhiza* پس از هفت روز در غلظت ۷۵ درصد پساب دباغی نسبت به شاهد ۹۹/۳۸ درصد بود. نتایج حاضر نشان می‌دهد که تخریب کاروتنوئیدها ناشی از افزایش پساب در خاک و سمیت فلز توسط مشاهدات Sinha و همکاران (۲۰۰۲)، پشتیبانی می‌شود. در پژوهش حاضر افزایش رنگیزه‌ها در پساب فاضلاب و آب خاکستری در حضور باکتری‌های محرک رشد مشاهده شد که با نتایج بالا در میزان کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی با کاربرد پساب فاضلاب همسو نبود. در پژوهش ما آبیاری آب خاکستری و پساب باعث افزایش سبزینگی گیاهان شد و این شاید به علت حضور باکتری‌های محرک رشد باشد.

Yadav و Pandey (۲۰۲۰) نیز همبستگی مثبتی بین محتوای نسبی آب برگ و غلظت کلروفیل، پروتئین و فعالیت رابیسکو مشاهده کردند. محتوای آب در برگ‌های گیاه به حفظ تعادل آب فیزیولوژیکی در شرایط نامطلوب محیطی کمک می‌کند. Jozay و همکاران (۲۰۱۹) بیان کردند که نسبت مستقیمی بین میزان آب برگ و مقاومت به شرایط تنش زیست‌محیطی وجود دارد. تولید سیدروفور یکی از مکانیسم‌های اصلی PGPR برای تأمین آهن برای گیاهان در شرایط استرس‌زا است. مطالعات قبلی نشان داد که آهن در سنتز کلروفیل و حفظ ساختار کلروپلاست نقش دارد (Rout and Sahoo, 2015). علاوه‌براین، PGPR شامل آنزیم‌هایی است که به عنوان حل‌کننده‌های معدنی عمل می‌کنند و به حفظ رشد گیاه در شرایط تنش کمک می‌کنند. مکانیسم‌های اساسی که توسط PGPR باعث بهبود رشد گیاه در شرایط تنش می‌شود شامل افزایش سطح اتیلن درون‌زا (ET) از طریق فعالیت آنزیم ۱-آمینوسیکلوپروپان-۱-کربوکسیلات (ACC) دآمیناز، افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی، ارتقا رشد ریشه، ریزورپالایی، و استقامت بیماری است (Madhaiyan *et al*., 2006).

گیاهان تلقیح‌شده با سویه‌های باکتریایی توانایی تغییر ساختار سیستم ریشه جانبی و افزایش RWC را دارند

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.267]

(Bertrand *et al*., 2020). افزایش RWC برگ تحت تنش در گیاهان تلقیح‌شده با PGPR نیز در مطالعات دیگر گزارش شده است (Cedeno-Garcia *et al*., 2018; Zilaie *et al*., 2022). به‌طورکلی، افزایش تعداد ریشه‌های جانبی و موهای ریشه باعث اضافه‌شدن سطوح ریشه برای جذب مواد مغذی و آب می‌شود. جذب بیشتر آب و مواد مغذی توسط ریشه‌های تلقیح‌شده باعث بهبود وضعیت آبی گیاهان می‌شود که به نوبه خود می‌تواند عامل اصلی افزایش رشد گیاه باشد (Etesami and Maheshwari, 2018).

کمبود اشباع نسبی 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*., 2011). شرایط بهینه بستر با جذب عناصر غذایی و انتقال آنها به گیاه (Aeron *et al*., 2020)، 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. Vishnupradeep و همکاران (۲۰۲۲) در طی تحقیقات خود یافتند، تلقیح MST-PGPB باعث افزایش RWC در شرایط مختلف تنش شد. PGPB می‌تواند با کاهش RSD پتانسیل آب را برای جلوگیری از اتلاف آب حفظ کند. پیش از این، Ma و همکاران (۲۰۱۷) همچنین متوجه افزایش RWC در گیاهان تلقیح‌شده با *Pseudomonas azotoformans* شدند که در معرض تنش فلز و خشکی قرار گرفتند و نشان دادند که این به دلیل بهبود هدایت هیدرولیکی و کاهش اثرات منفی تنش‌های غیرزیستی است. به‌طور مشابه Pattnaik و همکاران (۲۰۲۰)، Silambarasan و همکاران (۲۰۱۹) و Woo و همکاران (۲۰۲۰) همچنین پیشنهاد کردند که تلقیح PGPB با افزایش رشد ریشه از طریق متابولیت‌های مختلف PGP از جمله تولید سیدروفورها، فعالیت ACCD، انحلال فسفات و سنتز IAA باعث بهبود RWC گیاه می‌شود. PGPB می‌تواند تحمل تنش گیاهی، تولید زیست‌توده و همچنین محتوای پروتئین را به‌ویژه در شرایط تنش غیرزیستی از طریق تغییر RWC گیاه، آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنزیمی و غیره بهبود بخشد (Manoj *et al*., 2020; Rajkumar *et al*., 2017). تلقیح بستر کشت با ترکیب B3 و B2 باعث افزایش رنگدانه‌ها و محتوای نسبی آب و کاهش کمبود اشباع نسبی در گیاهان مورد آزمایش شد و یافته‌های محققان مذکور را تأیید کرد.

افزایش رشد مرتبط با PGPB و افزایش متابولیت‌های ثانویه و آنتوسیانین گزارش شده است (Pagnani *et al*., 2018; Kumar *et al*., 2021). این واقعیت که جمعیت میکروبی با زیست‌توده گیاهی و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و آنتوسیانین همبستگی مثبت دارد و با تولید رادیکال‌های آزاد همبستگی منفی دارد (Kazemi and Jozay, 2022)، نشان‌دهنده سهم جمعیت میکروبی ریزوسفر در کاهش استرس اکسیداتیو از طریق افزایش تولید آنتوسیانین است. Singh و Malaviya (۲۰۱۹) گزارش کردند به دلیل سمیت حاد کروم موجود در پساب دباغی، آنتوسیانین در پساب دباغی پس از چهار روز کمتر از حد قابل تشخیص بود. افزایش آنتوسیانین در این پژوهش علی‌رغم استفاده مکرر از پساب فاضلاب می‌تواند به دلیل وجود سویه‌های باکتری باشد. نتایج حاضر در این پژوهش که تلقیح بستر کشت با ترکیب B1 در گیاهان چمنی و تلقیح بستر کشت با ترکیب B3 در گیاهان گوشتی آبیاری‌شده با آب‌های بازیافتی سبب افزایش آنتوسیانین شد، مطابق با گزارش‌های Pagnani و همکاران (۲۰۱۸) و Kumar و همکاران (۲۰۲۱) است.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد بستر کشت تلقیح‌شده با باکتری و آبیاری با پساب فاضلاب و بعد از آن آب خاکستری با تأثیر بر فراهمی آب و مواد غذایی و همچنین تأثیر بر صفات فیزیولوژیک گیاهان زینتی پالایشگر از جمله محتوای نسبی آب برگ، کمبود اشباع نسبی، صفات مرتبط با رنگیزه‌های گیاهی می‌گذارند و سبب شادابی و افزایش بیشتر سبزینگی گیاه می‌شوند از طرفی تأثیر بسزایی بر صفات مورفولوژیک مانند ارتفاع، اندکس رشد و تعداد شاخه‌های جانبی دارد و از نظر بهبود شرایط رشد گیاه نیز تفاوت معنی‌داری بین بسترهای

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.267]

ترکیبی تلقیح‌شده با انواع باکتری وجود دارد. با توجه به اینکه بستر ترکیبی حاوی ترکیب ۳ در اندازه‌گیری فاکتورهای مورفوفیزیولوژیک گیاهان تأثیر مثبت را داشت، این تیمار می‌تواند به منظور اصلاح صفات کیفی و مورفولوژیک گیاهان انباشتگر با خاصیت زینتی در دیوارهای سبز خارجی به کار رفته در شرایط آب و هوایی مشابه شهر مشهد استفاده شود. در مورد مقایسه چهار گیاه مورد بررسی می‌توان گفت گل یخ در هر سه فصل مورد مطالعه در شرایط خوبی بوده و به‌دلیل سبزینگی و آویز و پرشدن کافی برای ایجاد یک منظره مطلوب از نظر زیبایی بصری می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد، بنابراین از جاذبه دیداری و زیبایی کافی این گیاه در فصول بهار، تابستان و پاییز در بسترهای ترکیبی تلقیح‌شده در دیوارهای سبز خارجی می‌توان بهره گرفت. کمبود آب استفاده مجدد از آب‌های بازیافتی برای آبیاری را به یک روش رایج در سراسر جهان تبدیل می‌کند. افزودن باکتری‌های محرک رشد می‌تواند یک اصلاح مؤثر برای کاهش سمیت ناشی از پساب برای به‌دست آوردن رشد بهتر گیاهان آبیاری‌شده با آب فاضلاب و آب خاکستری باشد. با این حال، تحقیقات بیشتری باید در مورد کاربردهای بالینی آینده انجام شود.

تشکر و قدردانی

از حمایت مالی دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی گرگان در شماره طرح ۴۸۰ تقدیر به‌عمل می‌آید.

منابع

Aeron, A., Khare, E., Jha, C. K., Meena, V. S., Aziz, S. M. A., Islam, M. T., Kim, K., Meena, S. K., Pattanayak, A., Rajashekara, H., & Dubey, R. C. (2020). Revisiting the plant growth-promoting rhizobacteria: Lessons from the past and objectives for the future. *Archives of Microbiology*, *202*(4), 665-676.

Artmann, M. & Sartison, K. (2018). The role of urban agriculture as a nature-based solution: A review for developing a systemic assessment framework. *Sustainability*, *10*, 1937.

Anjum, S. A., Xie X. Y., Wang, L., Saleem, M. F., Man, C., & Lei, W. (2011). Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. *African Journal of Agricultural Research*, *6*, 2026-2032.

Baker, M. S. (2007). Wastewater characteristics and the impact of its use in irrigation on soil: The case of faria catchment (Doctoral dissertation).

Bertrand, A., Gatzke, C., Bipfubusa, M., Levesque, V., Chalifour, F. P., Claessens, A., Rocher, S., Tremblay, G. F., & Beauchamp, C. J. (2020). Physiological and biochemical responses to salt stress of alfalfa populations selected for salinity tolerance and grown in symbiosis with salt-tolerant rhizobium. *Agronomy*, *10*(4), 569.

Carrillo-Castaneda, G., Juarez Munos, J., Peralta-Videa, J. R., Gomez, E., Tiemannb, K. J., Duarte-Gardea, M., & Gardea-Torresdey, J. L. (2002). Alfalfa growth promotion by bacteria grown under iron limiting conditions. *Advances in Environment Research*, *6*(3), 391-399.

Cedeno-Garcia, G. A., Gerding, M., Moraga, G., Inostroza, L., Fischer, S., & Sepulveda- Caamano, M., et al., (2018). Plant growth promoting rhizobacteria with ACC deaminase activity isolated from Mediterranean dryland areas in Chile: Effects on early nodulation in alfalfa. *Journal of Agricultural Research*, *78*, 360-369.

Chiappero, J., Cappellari, L. D. R., Sosa Alderete, L. G., Palermo, T. B., & Banchio, E. (2019). Plant growth promoting rhizobacteria improve the antioxidant status in *Mentha piperita* grown under drought stress leading to an enhancement of plant growth and total phenolic content. *Industrial Crops and Products*, *139*, 111553.

Chiaranunt, P. & White, J. F. (2023). Plant beneficial bacteria and their potential applications in vertical farming systems. *Plants*, *12*(2), 400.

Dere, S., Gunes, T., & 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.

Etesami, H. & Maheshwari, D. K. (2018). Use of plant growth promoting rhizobacteria (PGPRs) with multiple plant growth promoting traits in stress agriculture: Action mechanisms and future prospects. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *156*, 225-246.

Gavrilescu, M. (2022). Enhancing phytoremediation of soils polluted with heavy metals. *Current Opinion in Biotechnology*, *74*, 21-31.

Gong, Y., Zhang, G., Hao, Y., & Nie, L. (2022). Enrichment evaluation of heavy metals from stormwater runoff to soil and shrubs in bioretention facilities. *Water*, *14*(4), 638.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.267]

Gorgini Shabankareh, H., Khorasaninejad, S., Sadeghi, M., & Tabasi, A. R. (2018). The effects of irrigation periods and humic acid on morpho- physiological and biochemical traits of Thyme (*Thymus vulgaris*). *Journal of Plant Ecophysiological Research*, *13*(51), 67-82.

Hayat, S., Hasan, S. A., Yusuf, M., Hayat, Q., & Ahmad, A. (2010). Effect of 28-homobrassinolide on photosynthesis, fluorescence and antioxidant system in the presence or absence of salinity and temperature in *Vigna radiata*. *Environmental and Experimental Botany*, *69*, 105-112.

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

Jozay, M., Kazemi, F. & 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. & Rabbani Khairkhah, S. M. (2019). Vertical Green Systems (green wall). Iran Publishing House (Aristo Publications).

Jozay, M., Kazemi, F., & Fotovat, A. (2021a). Evaluation of the growth and thermodynamic properties of frankenia on different growing media in an external green wall. *Isfahan University of Technology-Journal of Crop Production and Processing*, *10*(4), 111-124.

Jozay, M., Rabbani, M., *and* Kazemi, F. (2021b). 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.

Jozay, M., Kazemi, F., & 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*. Ready to print publishing.

Jozay, M., Zarei, H., Khorasaninejad, S., & Miri, T. (2024a). Maximising CO_2 Sequestration in the City: The role of green walls in sustainable urban development. *Pollutants*, *4*(1), 91-116.

Jozay, M., Zarei, H., Khorasaninejad, S., & Miri, T. (2024b). Exploring the impact of plant growth-promoting bacteria in alleviating stress on Aptenia cordifolia subjected to irrigation with recycled water in multifunctional external green walls. *BMC Plant Biology*, *24*(1), 802.

Kazemi, F. & Jozay, M. (2024). Developing a sustainable nature-based agricultural vertical system in cadmium polluted urban environments. *Ecological Engineering*, *208*, 107385.

Kazemi, F. & Jozay, M. (2022). Remediation of Cadmium and Its' Human Health Effects on Urban Agricultural Vertical Systems. Available at SSRN 4125832.

Kazemi, F., Jozay, M., Salahshoor, F., & Farhadi, H. (2021). Application of soil mulches on establishment and growth of native and commercial tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.) in an arid environment. *Desert*, *26*(1), 55-69.

Kazemi, F., Rabbani, M., & Jozay, M. (2020). Investigating plant and air-quality performances of an internal greenwall system under hydroponic conditions. *Environmental Management*, 275.

Khorshid, M., Oustan, S., Najafi, N., & Khataee, A. (2020). Kinetic characterization of hexavalent chromium stabilization in contaminated soils amended with cocopeat. *Arabian Journal of Geosciences*, *13*(11), 1-12.

Kumar, A., Tripti, Maleva, M., Bruno, L. B., & Rajkumar, M. (2021). Synergistic effect of ACC deaminase producing Pseudomonas sp. TR15a and siderophore producing Bacillus aerophilus TR15c for enhanced growth and copper accumulation in *Helianthus annuus* L. *Chemosphere*, *276*, 130038.

Kumar, V., Eid, E. M., Al-Bakre, D. A., Abdallah, S. M., Siric, I., Andabaka, Z., Kumar, P., Goala, M., Adelodun, B., Singh, J., & Kumari, S. (2022). Combined use of sewage sludge and plant growth-promoting rhizobia improves germination, biochemical response and yield of ridge gourd (*Luffa acutangula* (L.) Roxb.) under field conditions. *Agriculture*, *12*(2), 173.

Lakho, F. H., Qureshi, A., De Donno Novelli, L., Depuydt, V., Depreeuw, T., Van Hulle, S. W. H., & Rousseau, D. P. L. (2022). Performance of a green wall (Total Value Wall™) at high greywater loading rates and life cycle impact assessment. *Science of The Total Environment*, *821*, 153470.

Langemeyer, J. & Connolly, J. J. T. (2020). Weaving notion of justice into urban ecosystem service research and practice. *Environmental Science and Policy*, *109*, 1-14.

Liu, Sh., Liu, H., Chen, R., Ma, Y., Yang, B., Chen, Zh. Liang, Y., Fang, J., & Xiao, Y. (2021). Role of two plant growth-promoting bacteria in remediating cadmium-contaminated soil combined with *Miscanthus floridulus* (Lab.). *Plants*, *10*, 912.

Li, X., Chang, Z., Lian, X., Meng, G., Ma, J., Guo, R., & Wang, Y. (2022). Phytoremediation of cadmium contaminated alkaline soil using the ornamental hyperaccumulator *Mirabilis jalapa* L. enhanced by double harvesting: A field study. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-8.

Lubbe, E., Rodda, N., & Naidoo, S. (2016). Effects of greywater irrigation on germination, growth and photosynthetic characteristics in selected African leafy vegetables. *Water SA*, *42*(2), 203-212.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.267]

Madhaiyan, M., Poonguzhali, S., Ryu, J., & Sa, T. (2006). Regulation of ethylene levels in canola (*Brassica campestris*) by 1-aminocyclopropane-1-carboxylate deaminase-containing *Methylobacterium fujisawaense*. *Planta*, *224*, 268-278.

Ma, Y., Rajkumar, M., Moreno, A., Zhang, C., & Freitas, H. (2017). Serpentine endophytic bacterium *Pseudomonas azotoformans* ASS1accelerates phytoremediation of soil metals under drought stress. *Chemosphere*, *185*, 75-85.

Manoj, S. R., Karthik, C., Kadirvelu, K., Arulselvi, P. I., Shanmugasumdaram, T., Bruno, B., & Rajkumar, M. (2020). Understanding the molecular mechanisms for the enhanced phytoremediation of heavy metals through plant growth promoting rhizobacteria: A review. *Journal of Environmental Management*, *254*, 109779.

Marenco, R., Antezana-vera, S., & Nascimento, H. (2009). Relationship between specific leaf area, leaf thickness, leaf water content and SPAD-502 readings in six Amazonian tree species. *Photosynthetica*, *47*, 184-190.

Marinho, L. E. O., Tonetti, A. L., Stefanutti, R., & Coraucci Filho, B. (2013). Application ofreclaimed wastewater in the irrigation of rosebushes. *Water Air Soil Poll*, *224*, 1669.

Mozaffari, S., Khorasaninejad, S., & Gorgini Shabankareh, H. (2017). The effects of irrigation regimes and humic acid on some of physiological and biochemical traits of Common Purslane in greenhouse. *Journal of Crops Improvement (Journal of Agriculture)*, *19*(2), 401-416.

Nadernejad, N., Ahmadimoghadam, A., Hossyinifard, J., & Poorseyedi, S. (2013). Study of the rootstock and cultivar effect in PAL activity, production of phenolic and flavonoid compounds on flower, leaf and fruit in Pistachio (*Pistacia vera* L.). *Journal of Plant Biology*, *15*, 95-110.

National Centers for Climatology. (2019). Climate Information of the City of Mashhad, available on: https://www.ncdc.noaa.gov/climate-information, access date: 2019.07.25.

Nichols, P. B., Couch, J. D., & Al Hamdani, S. H. (2000). Selected physiological responses of *Salvinia minima* to different chromium concentrations. *Aquatic Botany*, *68*, 313-319.

Noutsopoulos, C., Andreadakis, A., Kouris, N., Charchousi, D., Mendrinou, P., Galani, A., Mantziaras, I., & Koumaki, E. (2018). Greywater characterization and loadings, physicochemical treatment to promote onsite reuse. *Journal of Environmental Management, 216*, 337-346.

Pagnani, G., Pellegrini, M., Galieni, A., D'Egidio, S., Matteucci, F., Ricci, A., Stagnari, F., Sergi, M., Lo Sterzo, C., Pisante, M., *and* Del Gallo, M. (2018). Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) in *Cannabis sativa* 'Finola' cultivation: An alternative fertilization strategy to improve plant growth and quality characteristics. *Industrial Crops and Products*, *123*, 75-83.

Pattnaik, S., Dash, D., Mohapatra, S., Pattnaik, M., Marandi, A. K., Das, S., & Samantaray, D. P. (2020). Improvement of rice plant productivity by native Cr (VI) reducing and plant growth promoting soil bacteria *Enterobacter cloacae*. *Chemosphere*, *240*, 124895.

Rabbani Khairkhah, S. M. & Kazemi, F. (2022). The effect of the type of cultivation substrate and humic acid on some morphophysiological traits and water consumption of scorpion tail sedum (*Carpobrotus edulis* L.) on a green roof system. *Journal of Plant Environmental Physiology*, *17*(66), 1-23.

Rajkumar, M., Bruno, L. B., & Banu, R. (2017). Alleviation of environmental stress in plants: The role of beneficial *Pseudomonas* spp. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, *47*, 372-407.

Ramakrishna, W., Yadav, R., & Li, K. (2019). Plant growth promoting bacteria in agriculture: Two sides of a coin. *Applied Soil Ecology*, *138*, 10-18.

Rezapour, S., Kouhinezhad, P., & Samadi, A. (2017). The potential ecological risk of soil trace metals following over five decades of agronomical practices in a semi-arid environment. *Chemical Ecology*, *34*, 68-78.

Rosa, P. A. L., Galindo, F. S., Oliveira, C. E. d.S., Jalal, A., Mortinho, E. S., Fernandes, G. C., Marega, E. M. R., Buzetti, S., & Teixeira Filho, M. C. M. (2022). Inoculation with plant growth-promoting bacteria to reduce phosphate fertilization requirement and enhance technological quality and yield of sugarcane. *Microorganisms*, 10, 192.

Rout, G. R. & Sahoo, S. (2015). Role of iron in plant growth and metabolism. *Reviews in Agricultural Science*, *3*, 1-24.

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

Salter, P. J. & Haworth, F. (1961). The available water capacity of a sandy loam soil: I. A critical comparison of methods of determining the moisture content of soil at field capacity and at the permanent wilting percentage. *Journal of Soil Science*, *12*, 326-334.

Satyakala, G. & Jamil, K. (1992). Chromium induced biochemical changes in *Eichhornia crassipes* (Mart) Solms. and *Pistia stratiotes* L. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, *48*, 921-928.

Savi, T., Casolo, V., Luglio, J., Bertuzzi, S., Trifilo, P., Lo Gullo, M. A., & ardini, A. (2016). Species-specific reversal of stem xylem embolism after a prolonged drought correlates to endpoint concentration of soluble sugars. *Plant Physiology and Biochemistry*, *106*, 198-207.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.267]

Silambarasan, S., Logeswari, P., Valentine, A., & Cornejo, P. (2019). Role of *Curtobacterium herbarum* strain CAH5 on aluminum bioaccumulation and enhancement of *Lactuca sativa* growth under aluminum and drought stresses. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *183*, 109573.

Singh, A. & Malaviya, P. (2019). Chromium phytoaccumulation and its impact on growth and photosynthetic pigments of *Spirodela polyrrhiza* (L.) Schleid. on exposure to tannery effluent. *Environmental Sustainability*, *2*, 157-166.

Singh, P., Singh, R. K., Zhou, Y., Wang, J., Jiang, Y., Shen, N., Wang, Y., Yang, L., & Jiang, M. (2022). Unlocking the strength of plant growth promoting Pseudomonas in improving crop productivity in normal and challenging environments: A review. *Journal of Plant Interactions*, *17*(1), 220-238.

Sinha, S., Saxena, R., & Singh, S. (2002). Comparative studies on accumulation of Cr from metal solution and tannery effluent under repeated metal exposure by aquatic plants: Its toxic effects. *Environmental Monitoring and Assessment*, *80*, 17-31.

Soudi, B. (2018). Appui a La Promotion De La Reutilisation Des Eaux Usees Par Le Renforcement Des Aspects Institutionnels, Reglementaires Et Financieres, Ainsi Que Des Démarches Participatives, Des Mesures Incitatives Et La Sensibilisation (Activite n_EFS-MO-2). Available online: https://www.swim-h2020.eu/wp-content/uploads/2018/09/SWIM-H2020-EFS-MO-2.

Thomaidi, V., Petousi, I., Kotsia, D., Kalogerakis, N., & Fountoulakis, M. S. (2022). Use of green roofs for greywater treatment: Role of substrate, depth, plants, and recirculation. *Science of The Total Environment*, *807*(3), 151004.

Urbano, V. R., Mendonça, T. G., Bastos, R. G., & Souza, C. F. (2017). Effects of treated wastewater irrigation on soil properties and lettuce yield. *Agricultural Water Management*, *181*, 108-115.

Vajpayee, P., Sharma, S. C., Tripathi, R. C., Rai, U. N., & Yunus, M. (1999). Bioaccumulation of chromium and toxicity to photosynthetic pigments, nitrate reductase activity and protein content of *Nelumbo nucifera* Gaertin. *Chemosphere*, *39*, 2159-2169.

V´asquez, A., Giannotti, E., Gald´amez, E., Vel´asquez, P., & Devoto, C. (2019). Green infrastructure planning to tackle climate change in Latin American cities. In: Urban Climate in Latin-American Cities (eds. Henriquez, C. & Romero, H.) Pp. 32-354. Springer.

Vishnupradeep, R., Bruno, L. B., Taj, Z., Karthik, C., Challabathula, D., Kumar, A., Freitas, H., & Rajkumar, M. (2022). Plant growth promoting bacteria improve growth and phytostabilization potential of *Zea mays* under chromium and drought stress by altering photosynthetic and antioxidant responses. *Environmental Technology and Innovation*, *25*, 102154.

Woo, O. G., Kim, H., Kim, J. S., Keum, H. L., Lee, K. C., Sul, W. J., & Lee, J. H. (2020). *Bacillus subtilis* strain GOT9 confers enhanced tolerance to drought and salt stresses in *Arabidopsis thaliana* and *Brassica campestris*. *Plant Physiology and Biochemistry*, *148*, 359-367.

Xiao, Y., Liu, H., Chen, R., Liu, S., Hao, X., & Fang, J. (2022). Heteroauxin-producing bacteria enhance the plant growth and lead uptake of *Miscanthus floridulus* (Lab.). *International Journal of Phytoremediation*, 1-8.

Yadav, R. & Pandey, P. (2020). Assessment of air pollution tolerance index (APTI) and anticipated performance index (API) of roadside plants for the development of greenbelt in urban area of bathinda city, punjab, India. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, *105*, 906-914.

Yu, G., Wang, G., Chi, T., Du, C., Wang, J., Li, P., Zhang, Y., Wang, S., Yang, K., Long, Y., & Chen, H. (2022). Enhanced removal of heavy metals and metalloids by constructed wetlands: A review of approaches and mechanisms. *Science of The Total Environment*, 153516.

Zanin, G., Bortolini, L., & Borin, M. (2018). Assessing stormwater nutrient and heavy metal plant uptake in an experimental bioretention pond. *Land*, *7*, 150.

Zemanova, V., Trakal, L., Ochecova, P., Szakova, J., & Pavlikova, D. (2014). A model experiment: Competitive sorption of Cd, Cu, Pb and Zn by three different soils. *Soil and Water Research*, *9*, 97-103.

Zilaie, M. N., Arani, A. M., Etesami, H., Dinarvand, M., & Dolati, A. (2022). Halotolerant plant growth-promoting rhizobacteria-mediated alleviation of salinity and dust stress and improvement of forage yield in the desert halophyte seidlitzia rosmarinus. *Environmental and Experimental Botany*, *201*, 104952.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.267]

Investigating the morpho-physiological characteristics of *Ophiopogon japonicus, Festuca ovina glauca, Aptenia cordifolia akd Carpobrotus edulis* under the influence of unconventional water and growth-promoting bacteria in external green walls

Mansoure Jozay[1], Hossein Zarei[1*], Sarah Khorasaninejad[1], Taghi Miri[2]

[1] Horticultural Sciences Department, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
[2] School of Chemical Engineering, University of Birmingham, B15 2TT, United Kingdom
(Received: 2023/05/18, Accepted: 2023/09/10)

Abstract

Today, despite the expansion of urbanization and the high speed of construction in cities, most of the city's fabric is filled with buildings. Therefore, the return of nature to cities in most vertical green spaces can be a solution to this problem. Considering the emergence of urban green walls and the objection to them that they are luxury consumers of urban water, on the other hand, the serious water crisis doubles the necessity of using recycled water in the cultivation of plants in these green structures. On the other hand, it is transferred to agricultural products through the unconventional water used in green spaces; this is a serious problem in cities and should be paid attention to. Looking for a solution to the problem of using this type of water in urban gardening, this research is to investigate the effect of different types of unconventional water and bacterial strains on the growth and performance of some ornamental plants in the external green wall in the environmental conditions of Mashhad as 4 separate experiments were structured as split plots based on a randomized complete block design with three replications in 2022. The main factor of recycled water treatments includes three levels (gray water, waste water from Kashferood area, and urban water (control)), and the sub-factor of different bacterial strains in four levels included Mix1 (*Psedoumonas flucrecens+ Azosporillum Liposferum+ Thiobacillus thioparus+ Aztobactor chorococcum), Mix2 (Paenibacillus polymyxa+ Pseudomonas fildensis+ Bacillus subtilis+ Achromobacter xylosoxidans+ Bacillus licheniformis*), Mix3 (*Pseudomonas putida+ Acidithiobacillus ferrooxidans+ Bacillus velezensis+ Bacillus subtilis+ Bacillus methylotrophicus+ Mcrobacterium testaceum*) and the control was without the use of bacteria. Also, the investigated plant species included (*Festuca ovina glauca*, *Ophiopogon japonicus*, *Aptenia cordifolia* and *Carpobrotus eduli*). The results showed morphophysiological traits (plant height, number of nodes, distance between nodes, root diameter, stem diameter, number of leaves, leaf length, leaf width, and number and length of lateral branches in all four plants were significant at the 5% probability level. The length of the leaves in the three plants, *Festuca*, *Ophiopogon* and *Aptenia* was significant at the 5% probability level. The highest RWC and chlorophyll and the lowest RSD, carotenoid and anthocyanin were in the substrates inoculated with bacteria. The results of this research are based on the use of combination 3. Also, superior morpho-physiological traits were observed in plants cultivated on inoculated substrates and irrigated with wastewater. The result of this research is the combination of substrate with the composition of three bacteria and irrigation with wastewater. It also suggests the use of the *Aptenia cordifolia* plant instead of other unstable plants used in the external green wall in dry and semi-arid climates during the spring, summer and autumn seasons.

Keywords: Waste water, Water crisis, Sustainable urban development, Biological methods, Relative saturation deficit, Purifying plants

Corresponding author, Email: h.zarei@gau.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.267]