# اثر بایوپرایمینگ با باکتری‌های محرک رشد بر صفات رشدی، بیوشیمیایی، فنل، فلاونویید، ویتامین ث و نیترات در گیاه کاهو (*Lactuca sativa* L.) رقم رابیکون در بسترهای مختلف رشد

نیر احمدی[۱]، حمیده فاطمی[۱*]، بهروز اسماعیل‌پور[۱] و علی اشرف سلطانی طولارود[۲]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۲/۲۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۲/۲۲)

## چکیده

**بستر رشد مناسب نه تنها سبب بهبود کیفیت خاک می‌شود بلکه به‌طور غیرمستقیم سبب بهبود استقرار باکتری‌ها خواهد شد. یک آزمایش گلخانه‌ای به‌منظور بررسی اثر بسترهای رشد آلی و باکتری‌های محرک رشد بر صفات مورفولوژیک، فنل، فلاونویید و نیترات در سبزی کاهو رقم رابیکون F1 یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار اجرا شد. فاکتورهای آزمایشی شامل کودهای آلی (ورمی‌کمپوست ۲۰ درصد حجمی، کمپوست مصرف شده قارچ ۱۰ درصد حجمی و خاک مزرعه) در بستر رشد و پرایمینگ بذر با باکتری‌های محرک رشد (*سودوموناس پوتیدا* سویه P۱۰، *سودوموناس فلورسنس* سویه R۱۵۹، *سودوموناس فلورسنس* سویه R۱۵۰ و بدون باکتری) بودند. در پایان مرحله رشد، صفات مورفولوژیک (ارتفاع گیاه، تعداد برگ، قطر تاج، سطح برگ، طول و حجم ریشه، وزن تازه و خشک بوته)، رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، b، کل و کاروتنوید)، ویتامین ث، فنل و فلاونویید و غلظت نیترات اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که آثار ساده بستر رشد و تلقیح با سویه‌های باکتری *سودوموناس* بر صفات ارتفاع گیاه، قطر تاج، سطح برگ، طول و حجم ریشه، وزن تازه و خشک بوته، کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئید، ویتامین ث، فنل و فلاونویید معنی‌دار بود. اثر برهم‌کنش این دو فاکتور نیز بر صفات سطح برگ، طول و حجم ریشه، وزن تازه و خشک بوته، کلروفیل a و فنل معنی‌دار بود، به‌طوری که بیشترین وزن تازه و خشک بوته، محتوای فنل و کلروفیل در ترکیب بستر ورمی‌کمپوست و سویه ۱۵۹ *سودوموناس* به‌دست آمد. هر چند در برخی صفات ترکیب کمپوست و *سودوموناس پوتیدا* سویه P۱۰ و یا ترکیب ورمی‌کمپوست و *سودوموناس پوتیدا* سویه P۱۰ نتایج بهتری نشان داد اما به نظر می‌رسد درنهایت سویه ۱۵۹ *سودوموناس* توانسته نقش بیشتری در کمّیت و کیفیت کاهو ایفا کند.**

**واژه‌های کلیدی: کلروفیل، ورمی‌کمپوست، ویتامین ث، کمپوست مصرف شده قارچ، *سودوموناس***

## مقدمه

امروزه کشاورزی به‌طور گسترده‌ای متکی بر استفاده از کودهای شیمیایی است که می‌تواند منجر به آثار مخرب زیست‌محیطی به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه شود (۶۰ و ۴۰)، بنابراین

۱. گروه علوم باغبانی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل

۲. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: Ha.fatemi@yahoo.com

کاربرد کودهای دوست‌دار محیط زیست با منابع تجدیدپذیر توجه جهانی را به خود معطوف کرده است. فناوری تولید کمپوست یک روش بسیار کارآمد برای استفاده از باقی‌مانده‌های کشاورزی و کاهش خطرات پاتوژن‌ها و ترکیبات مضر است (۱۸ و ۵۸)، ورمی‌کمپوست یکی از انواع شناخته شده آنهاست که از همکاری ریزجانداران و کرم خاکی سبب تبدیل باقی‌مانده‌های کشاورزی به یک محصول با ارزش می‌شود (۲۱). کاربرد اصلاح کننده‌های آلی مانند کمپوست‌های متداول ترموفیلیک به‌عنوان ابزار مؤثری برای بهبود ساختمان خاک، افزایش حاصلخیزی، افزایش جمعیت ریزجانداران و تنوع آن، بهبود گنجایش نگهداری رطوبت خاک و افزایش عملکرد در نظر گرفته می‌شود (۷). پژوهش‌ها نشان داده است که مقدار مواد غذایی ورمی‌کمپوست بسته به مواد خام آن بسیار متفاوت بوده و معمولاً مقادیر نیتروژن، فسفر، پتاسیم و عناصر ریزمغذی در ورمی‌کمپوست در مقایسه با خاک معمولی بیشتر است (۴۸ و ۵۵). پژوهش‌گران مختلف با بررسی تأثیر ورمی‌کمپوست، افزایش وزن تازه و خشک اندام‌های هوایی و سطح برگ در گوجه‌فرنگی (۶)، فلفل (۴)، افزایش جذب عنصر روی در سبزی‌ها (۱)، افزایش جوانه‌زنی بذور، رشد دانهال‌ها و گل‌دهی گیاهان زینتی (۷) و رشد و عملکرد سبزی‌ها (۴) و تغییرات متابولیکی و فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی در کلم‌چینی را مشاهده کردند (۶۲). افزودن ورمی‌کمپوست همچنین عملکرد تجاری میوه را تحت تأثیر قرار داد (۶۵).

کمپوست مصرف شده قارچ، به بقایای بستر پرورش قارچ گفته می‌شود که یکی از فرآورده‌های جانبی صنعت تولید قارچ‌های خوراکی بوده، که اجزای اصلی این ماده شامل قسمت‌های مختلفی مانند کاه، کود مرغی، چوب ذرت، و سنگ گچ است. همچنین اجزای دیگری مانند علف‌های خشک، بلغور پنبه‌دانه، غوزه پنبه، غلاف دانه‌های کاکائو، تفاله جو و برخی از مواد دیگر می‌تواند به آن افزوده شود (۶۴). تاکنون پژوهش‌های زیادی در مورد استفاده مجدد از پسماند کمپوست قارچ برای بهبود کشت سبزی‌ها، گل‌ها و میوه‌ها انجام گرفته است (۱۲ و ۱۳). در پژوهشی، افزودن نسبت‌های ۱۵٪ و ۲۵٪ کمپوست مصرف شده قارچ به بستر رشد خیار میزان رشد، تعداد میوه و ارتفاع آن را به‌طور معنی‌داری افزایش داد (۲۲). علاوه‌بر این افزودن کمپوست مصرف شده قارچ به خاک باعث افزایش مواد آلی، بهبود نگهداشت آب و مواد غذایی، افزایش میزان نفوذپذیری، تهویه، فعالیت میکروبی، دمای خاک و پایداری خاکدانه‌ها می‌شود (۳۵). استفاده از کودهای آلی مانند کمپوست مصرف شده قارچ به‌عنوان جایگزینی برای کودهای شیمیایی، گام مناسبی برای افزایش تولید و عملکرد در واحد سطح، حفظ سلامت جامعه و یکی از ارکان کشاورزی پایدار قلمداد می‌شود.

علاوه بر بسترهای آلی استفاده از باکتری‌های محرک رشد بومی و سازگار با شرایط خاک و اقلیم کشور با هدف تولید کودهای زیستی از ارزش ویژه‌ای برخوردار است (۵۲). ریزوباکتری‌های محرک رشد به باکتری‌هایی گفته می‌شود که در منطقه ریزوسفر ریشه تجمع یافته و سبب آثار مثبت بر رشد و عملکرد گیاه می‌شوند (۵۱). به‌طورکلی این ریزوباکتری‌ها به صورت مستقیم وبا مشارکت در فراهمی و جذب عناصر ضروری مانند نیتروژن و فسفر و افزایش قابلیت حل شدن فسفر نامحلول خاک باعث افزایش رشد گیاه می‌شوند (۲) و یا به صورت غیرمستقیم از طریق افزایش تولید هورمون‌های گیاهی از جمله اکسین، جیبرلین، سیتوکینین و تعدیل تولید اتیلن سبب بهبود رشد گیاه می گردند (۲۴ و ۴۶). پژوهش‌های پیشین به کاربرد جداگانه این فاکتورها اذعان داشتند و با توجه به اینکه در واقع بستر رشد یکی از فاکتورهای کلیدی در رشد باکتری‌ها است، بنابراین انتخاب یکی بستر مناسب می‌تواند رشد و کارایی باکتری‌ها را به‌طور قابل توجهی افزایش دهد (۵۴ و ۵۶). ورمی‌کمپوست قادر است که رشد سه جنس مختلف باکتری (*A. chroococcum, B. mega-terium* and *B. mucilaginous*) را تحریک کند (۶۵).

کاهو (*Lactuca sativa* L.) گیاهی یک‌ساله از خانواده Astreacae و یکی از سبزی‌های برگی فصل خنک است که در

**جدول ۱. مشخصات بسترهای رشد مورد استفاده در آزمایش**

| نوع بستر | میزان نیتروژن (mg/kg) | میزان فسفر (mg/kg) | پتاسیم (mg/kg) | pH | EC |
|---|---|---|---|---|---|
| شاهد (خاک عادی) | ٪۵۴ | ۴/۵ | ۶۹۷ | ۶/۸۱ | ۱/۴۹ |
| پسماند قارچ ٪۱۰ | ٪۷۸ | ۲۱/۵ | ۸۰/۰ | ۶/۹۸ | ۰/۷۵ |
| ورمی‌کمپوست ٪۲۰ | ٪۹۰ | ۱۱/۱۲ | ۷۶۹ | ۷/۷۶ | ۰/۱۸ |

سال‌های اخیر توجه خاصی به کشت و تولید آن معطوف شده است. برگ‌های سبز این گیاه سرشار از ویتامین‌هایی مانند A و K و مواد معدنی ضروری برای سلامتی انسان مانند پتاسیم است (۱۵، ۲۶ و ۴۳). با توجه به مصرف زیاد کاهو در سبد غذایی خانواده‌های ایرانی، تولید سالم این محصول از طریق کاهش مصرف کودهای شیمیایی و استفاده از کودهای آلی مانند ورمی-کمپوست و کمپوست و همچنین تلقیح گیاهان با باکتری‌های محرک رشد گیاهی به‌صورت همزمان ضروری به نظر می‌رسد. از این رو پژوهشی با هدف بررسی تأثیر باکتری‌های محرک رشد بر رشد، عملکرد و کیفیت گیاه کاهو در بسترهای رشد آلی جهت تولید محصول سالم و با کیفیت انجام شد.

## مواد و روش‌ها

این پژوهش با هدف بررسی تأثیر بسترهای آلی و باکتری‌های محرک رشد بر رشد و صفات مورفوفیزیولوژیک و بیوشیمیایی گیاه کاهو برگی رقم رابیکون F1 در گلخانه به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل سه نوع بستر رشد خاک معمولی و بستر خاک حاوی کودهای آلی (کمپوست قارچ به نسبت ۱۰ درصد، ورمی‌کمپوست به نسبت ۲۰ درصد) و تلقیح با باکتری‌های محرک رشد (*سودوموناس پوتیدا* سویه P۱۰، *سودوموناس فلورسنس* سویه‌های R۱۵۹ و R۱۵۰ و بدون باکتری (شاهد) بودند. برخی ویژگی‌های شیمیایی بسترهای مورد استفاده در این آزمایش در جدول (۱) آمده است. برای تهیه مایه تلقیح ، ابتدا باکتری به محیط کشت نوترینت براث (NB) انتقال داده و به مدت ۳-۲ روز در شیکر انکوباتور با دمای ۲۸ درجه سلسیوس نگهداری و پس از رسیدن باکتری‌ها به غلظت $10^9$ CFU/mL، بذرهای ضدعفونی شده با وایتکس ۵ درصد به مدت ۴۵ دقیقه در شیکر قرار داده شده و پس از آن به مدت یک ساعت در زیر هود لامینار نگهداری شدند. سپس بذور تیمار شده درگلدان‌های آماده شده با توجه به تیمارهای آزمایشی کشت شدند. برای آبیاری ابتدا رطوبت گنجایش مزرعه با روش گاردنر (۱۹) اندازه‌گیری شده و برای جلوگیری از شیوع بیماری‌های قارچی رطوبت ۸۰ درصد گنجایش مزرعه در طول آزمایش برای گلدان‌ها تامین شد و گیاهان تا مرحله تولید تاج نگهداری شدند. ویژگی‌های محرک رشدی باکتری‌ها در جدول (۲) به اختصار آمده است.

### اندازه‌گیری صفات مورفولوژیک

پس از رشد کامل گیاه، بوته‌ها برداشت شده و به آزمایشگاه انتقال یافتند و صفات ارتفاع، تعداد برگ، حجم و طول ریشه اندازه‌گیری شد (۴). سطح برگ کل با استفاده از دستگاه سطح‌سنج مدل ADC انگلستان اندازه‌گیری شد. وزن تازه گیاه پس از انتقال به آزمایشگاه بلافاصله با ترازوی دیجیتال اندازه‌گیری و وزن خشک پس از قراردادن در آون با دمای ۸۰ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت اندازه‌گیری شد.

### رنگیزه‌های فتوسنتزی

کلروفیل a و b، کلروفیل کل و کاروتنویید به روش لیتنچتنتالر (۳۴) اندازه‌گیری شده و با فرمول‌های زیر محاسبه شد:

**جدول ۲. ویژگی‌های محرک رشدی باکتری‌های تیمارشده در این پژوهش**

| سویه باکتری | فسفر (نسبت هاله به کلنی) | حلالیت فسفر (میکروگرم به لیتر) | اکسین (میلی‌گرم به لیتر) | سیدروفور (نسبت هاله به کلنی) | سیانید هیدروژن* |
|---|---|---|---|---|---|
| P۱۰ | ۱/۲۵ | ۲۹۵/۰۰ | ۸/۱۸ | ۲/۰۱ | ۱ |
| R۱۵۰ | ۲/۰۷ | ۳۷۴/۲۷ | ۴/۷۹ | ۱/۶۲ | ۱ |
| R۱۵۹ | ۳/۱۱ | ۳۷۴/۸۶ | ۳۹/۷۱ | ۲/۲۱ | ۳ |

* سیانید هیدروژن: ۱ (۰)، ۲ (حداقل)، ۳ (نسبتاً کم )، ۴ (نسبتاً زیاد) و ۵ (حداکثر)

Chla = [(12.7×A663)-(2.6×A645)]×ml acetone/mg leaf tissue
Chlb = [(22.9×A645)-(4.68×A663)] ×ml acetone/mg leaf tissue
Total Chl = a+b
Carotenoid =1000A470-1.90Chla-63.14 Chlb/214

**محتوی ویتامین ث**

برای تعیین میزان ویتامین ث، مقدار ۳ تا ۶ گرم نمونه پودری برگ، توزین شده و به نسبت ۱:۵ به آن آب مقطر افزوده شد (به ازای ۶ گرم برگ پودرشده، ۳۰ میلی‌لیتر آب مقطر). پس از ۲۰ دقیقه تکان دادن، سوسپانسیون توسط کاغذ صافی واتمن صاف شده و به‌عنوان عصاره نمونه برگی مورد استفاده قرار گرفت. تعیین اسید اسکوربیک (ویتامین ث) با استفاده از روش تیتراسیون و با استفاده از یک نمک حاوی مس (سولفات مس یا استات مس) انجام شد (۴۲).

**محتوی فنل**

برای این منظور، در ابتدا عصاره‌ای از بافت هوایی کاهو بر اساس روش لین و همکاران (۳۵) با اندکی تغییرات تهیه شد و سپس محتوای ترکیبات فنلی تام بر اساس تجربه‌های مارینوا و همکاران (۳۶) با استفاده از معرف فولین- سیوکالتو به شرح زیر اندازه‌گیری شد. ابتدا به ۰/۲ میلی‌لیتر از عصاره‌های مختلف یا محلول استاندارد اسید گالیک (۱۰۰، ۸۰، ۶۰، ۴۰، ۲۰، صفر میلی گرم در لیتر)، ۱/۸ میلی‌لیتر آب دوبار تقطیر و ۰/۲ میلی‌لیتر معرف فولین-سیوکالتو (رقیق‌شده به نسبت ۱ به ۱۵) افزوده شده و کاملاً مخلوط شد. پس از ۵ دقیقه، ۰/۲ میلی‌لیتر محلول بی‌کربنات سدیم ۷ درصد و ۰/۸ میلی‌لیتر آب دوبار تقطیر افزوده شد و ۹۰ دقیقه در دمای اتاق و تاریکی نگهداری شده و سپس مقدار جذب نمونه‌ها در طول موج ۷۵۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد. محتوای ترکیبات فنلی تام عصاره‌ها بر حسب میلی‌گرم اکی‌والانت اسید گالیک (GAE) بر گرم ماده خشک برگ محاسبه شد.

**سنجش محتوای فلاونوئیدی تام**

محتوای فلاونوئیدی بر اساس روش بکتو و همکاران (۹) به‌صورت زیر اندازه‌گیری شد. ابتدا به ۰/۲ میلی‌لیتر از عصاره‌های مختلف یا محلول استاندارد کوئرسیتین، (۰، ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰) میلی‌گرم در لیتر مخلوط ۴/۵ میلی‌لیتر اتانول ۹۰ درصد و ۰/۲ میلی‌لیتر کلرید آلومینیوم ۲ درصد و ۰/۱ میلی‌لیتر اسید استیک ۳۳ درصد، افزوده شده و به‌خوبی مخلوط شد. در ادامه جذب نمونه‌ها پس از ۳۰ دقیقه نگهداری در دمای اتاق و تاریکی، در طول موج ۴۱۴ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد. محتوای ترکیبات فلاونوئیدی تام عصاره‌ها بر حسب میلی‌گرم اکی‌والانت کوئرسیتین (QE) بر گرم ماده خشک برگ محاسبه شد.

**غلظت نیترات**

برای اندازه‌گیری غلظت نیترات ابتدا ۰/۴گرم از نمونه گیاهی پودرشده را وزن کرده، ۴۰ سی‌سی از محلول سولفات آمونیوم به هر نمونه افزوده شده و به مدت ۱۵ دقیقه تکان داده شد.

**جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس اثر تلقیح با باکتری‌های محرک رشد و بستر رشد آلی بر صفات مورفولوژیک کاهو رقم رابیکون**

| منابع تغییرات | df | وزن تازه | وزن خشک | ارتفاع گیاه | تعداد برگ | قطر تاج | سطح برگ | طول ریشه | حجم ریشه |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| بستر رشد | ۲ | ۲۱۷۹۴/۸$^{**}$ | ۱۴۱/۲۳$^{**}$ | ۸۳/۵۲۱$^{**}$ | ۳۹/۰۸۳$^{**}$ | ۱۵۱/۶۱$^{*}$ | ۱۶۱۱۳۸۷۳۹/۵$^{**}$ | ۶۲۰/۰۶$^{**}$ | ۳۲۱۳/۳$^{**}$ |
| باکتری | ۳ | ۲۸/۸۹۷$^{**}$ | ۰/۲۴۴$^{ns}$ | ۴۲/۴۷۲$^{**}$ | ۰/۴۴۴$^{ns}$ | ۴۵/۷۶۶$^{*}$ | ۶۳۱۲۹۰۸/۷$^{**}$ | ۹۱/۰۵$^{*}$ | ۱۸۲۱/۶$^{**}$ |
| بستر × باکتری | ۶ | ۲۷۵/۰۳$^{*}$ | ۳/۵۶۶$^{*}$ | ۸/۹۰۹$^{ns}$ | ۱/۲۷۸$^{ns}$ | ۳/۰۷۱$^{ns}$ | ۱۹۲۰۶۳۵۱/۷$^{**}$ | ۹۷/۶۱۸$^{*}$ | ۶۲۷/۶۴$^{**}$ |
| اشتباه آزمایشی | ۳۶ | ۳۱۷/۴۱ | ۲/۱۹۲ | ۵/۰ | ۰/۹۸۶ | ۴/۷۱۰ | ۹۹۹۷۸۶/۵ | ۳۱/۷۲۲ | ۳۷/۲۵۰ |
| ضریب تغییرات (درصد) | | ۲۷/۱ | ۳۱/۹ | ۷/۰۹ | ۸,۰۵ | ۸/۲۷ | ۱۱/۵ | ۱۸/۹ | ۲۳/۹ |

$^{**}$، $^{*}$، ns به‌ترتیب بیانگر اثر معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد و عدم اثر معنی‌داری است.

سپس سوسپانسیون از کاغذ صافی عبور داده شده و غلظت نیترات در عصاره به‌دست آمده با دستگاه 781 pH/Ion Meter ساخت کارخانه Metrohm کشور سوئیس قرائت شد (۲۸).

### تجزیه و تحلیل داده‌ها

داده‌های به‌دست آمده در این پژوهش، با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS 9.4 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. مقایسه میانگین تأثیر تیمارها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد و نمودارها با نرم‌افزار گرافیکی Excel ترسیم شدند.

## نتایج

### تجزیه واریانس داده‌های مورفولوژیک

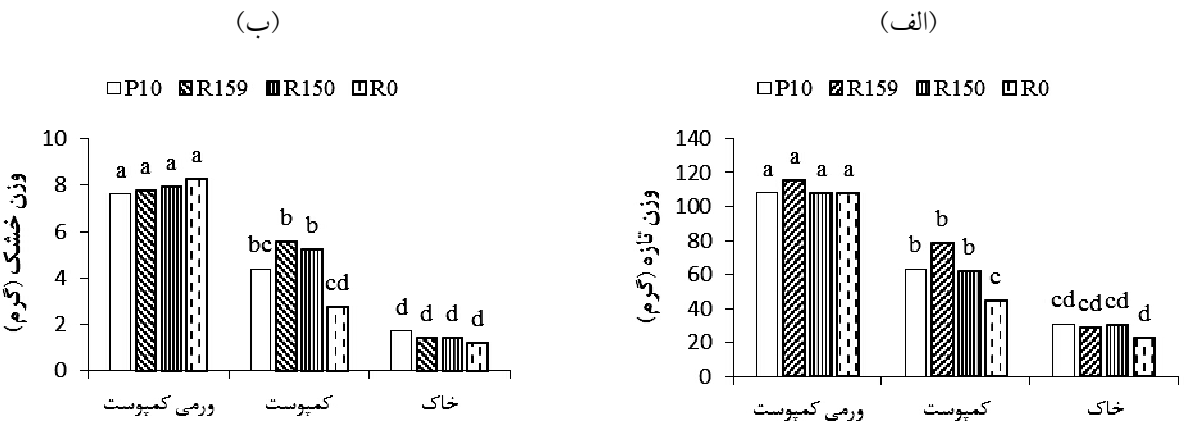
نتایج حاصل از تجزیه واریانس تأثیر بسترهای رشد و تلقیح با باکتری‌های محرک رشد گیاه بر شاخص‌های مورفولوژیک کاهو نشان داد که تأثیر بستر رشد بر صفات ارتفاع بوته، تعداد برگ، سطح برگ، حجم ریشه، طول ریشه، وزن تاره و خشک بوته معنی‌دار بود، اما تیمار تلقیح با باکتری محرک رشد تنها بر صفات وزن تاره، ارتفاع گیاه، طول ریشه، سطح برگ و حجم ریشه تأثیر معنی‌دار داشت و اثر متقابل این دو فاکتور نیز بر صفات وزن تاره و خشک بوته، حجم و طول ریشه و سطح برگ معنی‌دار بود (جدول ۳).

### وزن تاره و خشک بوته

مقایسه میانگین تأثیر تیمارها برای وزن تازه بوته نشان داد که بیشترین وزن تازه بوته (۱۰۸/۸ گرم در گلدان) در ترکیب تیماری بستر ورمی‌کمپوست و تلقیح باکتری *سودوموناس فلورسنس* سویه ۱۵۹ حاصل شد که تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای باکتریایی مختلف مشاهده نشد و بیشترین وزن خشک بوته کاهو در بستر ورمی‌کمپوست بدون تفاوت معنی‌دار بین تیمارهای باکتریایی به‌دست آمد، و کمترین مقدار وزن تازه بوته در تیمار خاک بدون تلقیح با باکتری به‌دست آمد. همچنین کمترین میزان وزن خشک بوته نیز در تیمار خاک بدون توجه به تیمار باکتریایی به‌دست آمد (شکل ۱).

### ارتفاع گیاه

نتایج مقایسه میانگین تأثیر تیمارها بر ارتفاع بوته نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته (۳۳/۵۶ سانتی‌متر) در گیاهان پرورش یافته در بسترهای رشد حاوی ورمی‌کمپوست به‌دست آمد، که از لحاظ آماری با گیاهان پرورش یافته در بسترهای رشد حاوی کمپوست مصرف شده قارچ خوراکی اختلاف معنی‌دار نداشت. کمترین میزان این صفت (۲۹/۰۶ سانتی‌متر) در تیمار شاهد یعنی بستر رشد حاوی خاک حاصل شد. همچنین تیمار تلقیح با باکتری *سودوموناس پوتیدا* سویه P۱۰ به همراه *سودوموناس فلورسنس* سویه R۱۵۰، به‌ترتیب با ۳۳/۲۵ و ۳۲/۸۳ سانتی‌متر، بیشترین ارتفاع بوته را موجب شدند، که با هم اختلاف معنی‌داری نداشتند.




**شکل ۱. مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش بستر رشد و باکتری‌های محرک رشد (باکتری *سودوموناس پوتیدا* سویه ۱۰ (P۱۰)، باکتری *سودوموناس فلورسنس* سویه ۱۵۰ (R۱۵۰)، باکتری *سودوموناس فلورسنس* سویه ۱۵۹ (R۱۵۹) و شاهد (R۰) بر صفات الف) وزن خشک و ب) وزن تازه کاهو رقم رابیکون؛ حروف متفاوت بیانگر تفاوت معنی‌دار تیمارها بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد است.**

### تعداد برگ

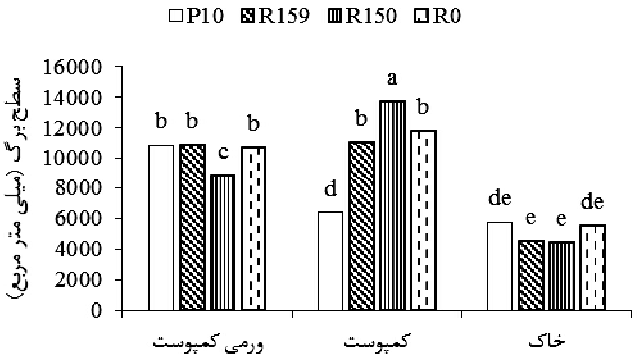
بر اساس مقایسه میانگین صورت گرفته، بیشترین تعداد برگ (۱۳/۸۷ عدد در گلدان) متعلق به تیمار بستر رشد ورمی-کمپوست بود و کمترین میزان آن (۱۰/۷۵ عدد در گلدان) در تیمار خاک به‌دست آمد، که به مفهوم افزایش ۲۲/۵ درصد آن در بستر ورمی‌کمپوست در مقایسه با خاک است.

### قطر تاج

بر اساس مقایسه میانگین‌ها، از نظر قطر تاج در کاهو اختلاف معنی‌داری بین بسترهای رشد آلی یعنی ورمی‌کمپوست و کمپوست قارچ مشاهده نشد و هر دو در گروه آماری مشترک قرار گرفتند (به‌ترتیب با قطر تاج ۲۷/۷۵ و ۲۷/۷۸ سانتی‌متر)، در حالی که بستر رشد خاک با کمترین قطر تاج (۲۲/۱۷ سانتی‌متر) نسبت به دو بستر رشد دیگر با اختلاف معنی‌دار در گروه آماری پایین قرار گرفت. همچنین کاربرد باکتری *سودوموناس پوتیدا* سویه P۱۰، *سودوموناس فلورسنس* سویه R۱۵۹ و R۱۵۰، اختلاف معنی‌داری از نظر قطر تاج نشان ندادند (به‌ترتیب با ۲۷/۰۷، ۲۷/۶۹ و ۲۷/۲۸ سانتی‌متر قطر تاج)، درحالی که نسبت به تیمار شاهد تفاوت معنی‌دار نشان دادند و کمترین میزان این صفت (۲۲/۸۷ سانتی‌متر) در تیمار بدون مصرف باکتری به‌دست آمد. اختلاف بین تیمارهای باکتریایی نسبت به تیمار شاهد به‌طور میانگین ۱۶/۳۵ درصد بود. افزایش قطر تاج می‌تواند امکان افزایش تعداد برگ و در نتیجه محصول را در پرورش کاهو فراهم سازد.

### سطح برگ

سطح برگ گیاهان کاهو در این پژوهش به شدت تحت تأثیر بسترهای مختلف رشد قرار گرفت و بیشترین سطح برگ در گیاهان با بستر کمپوست قارچ حاصل شد که اختلاف معنی‌داری با بسترهای دیگر داشت و کمترین این صفت در تیمار شاهد ثبت شد. سویه‌های باکتری نیز آثار مثبتی بر این صفت گذاشتند و بزرگ‌ترین برگ‌ها در گیاهان در اثر تلقیح با *سودوموناس فلورسنس* R۱۵۹ تولید شد، هرچند اختلاف آماری کمی با سویه *سودوموناس فلورسنس* R۱۵۰ نشان داد و تیمار شاهد (بدون تلقیح باکتری‌ها) کمترین میزان سطح برگ را داشتند. بر اساس مقایسه میانگین‌ها بستر رشد کمپوست قارچ با کاربرد باکتری *سودوموناس فلورسنس* سویه R۱۵۰ با بیشترین سطح برگ (۱۳۷۱۲/۰ میلی‌متر مربع در گلدان) به




**شکل ۲. مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش بستر رشد و باکتری‌های محرک رشد (*سودوموناس پوتیدا* سویه ۱۰ (P۱۰)، *سودوموناس فلورسنس* سویه ۱۵۰ (R۱۵۰)، *سودوموناس فلورسنس* سویه ۱۵۹ (R۱۵۹) و شاهد (R۰)) بر سطح برگ گیاه کاهو بر رقم رابیکون؛ حروف متفاوت بیانگر تفاوت معنی‌دار تیمارها بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد است.**

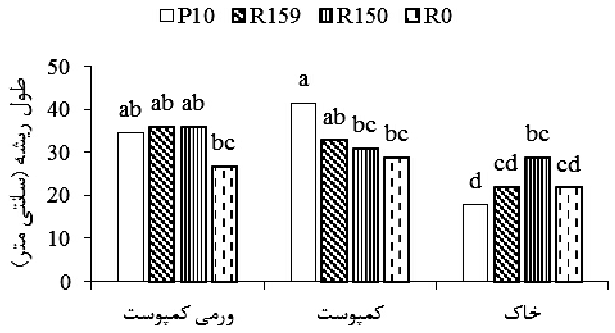
عنوان تیمار ترکیبی برتر بود، در حالی که کمترین سطح برگ از به‌کارگیری *سودوموناس فلورسنس* سویه R۱۵۹ و *سودوموناس فلورسنس* سویه R۱۵۰ به‌ترتیب با ۴۴۹۰/۳ و ۴۳۹۸/۰ میلی‌متر مربع در بستر رشد خاک به‌دست آمد که اختلاف معنی‌داری با تیمار بستر خاک بدون تلقیح و بستر خاک با سویه P۱۰ حاصل نشد (شکل ۲).

**طول ریشه**

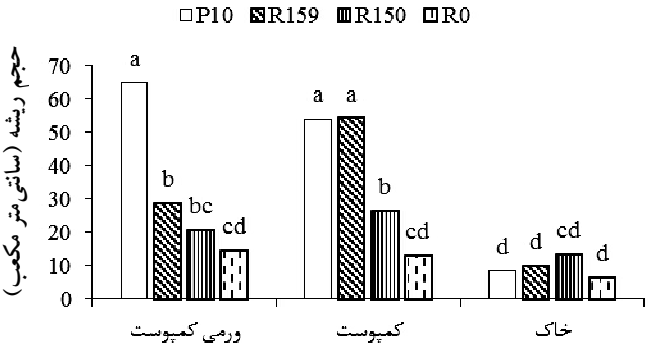
طول ریشه نیز مانند دیگر صفات این آزمایش تحت تأثیر تیمارهای آزمایش قرار گرفت، به‌طوری که بیشترین طول ریشه در گیاهان کاهو با بستر کمپوست قارچ حاصل شد که اختلاف معنی‌داری با بسترهای دیگر داشت و کوتاه‌ترین ریشه‌ها در تیمار شاهد ثبت شد. سویه‌های باکتری نیز آثار مثبتی بر این صفت گذاشتند به‌طوری که *سودوموناس فلورسنس* سویه R۱۵۰ و *سودوموناس پوتیدا* سویه P۱۰ سبب تولید طویل‌ترین ریشه‌ها در این گیاهان شد و تیمار شاهد بدون تلقیح هیچ یک از باکتری‌ها کمترین میزان طول ریشه را نشان دادند. مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش فاکتورهای آزمایش مشخص کرد که در بین ترکیبات تیماری مختلف، تیمار ترکیبی با بستر رشد حاوی کمپوست قارچ و باکتری *سودوموناس پوتیدا* سویه P۱۰ بیشترین طول ریشه (۴۱/۵۰ سانتی‌متر در گلدان) به‌دست آمد. همچنین ترکیبات تیماری حاوی بستر رشد کمپوست قارچ با باکتری سودوموناس فلورسنس سویه R۱۵۹ و در بستر رشد ورمی‌کمپوست سودوموناس پوتیدا سویه P۱۰، سودوموناس فلورسنس سویه R۱۵۹ و R۱۵۰ و در همین بستر بدون مصرف باکتری نیز، بدون تفاوت معنی‌دار، در این گروه آماری قرار گرفتند. کمترین مقدار این صفت (۱۷/۷۵ سانتی‌متر در گلدان) با همین باکتری اما در بستر رشد خاک حاصل شد (شکل ۳). این نتایج نشان داد که اگر چه کاربرد باکتری توانست طول ریشه را به‌طور معنی‌دار افزایش دهد، اما کاربرد آن در بستر رشد مناسب، باعث بهبودی بیش از ۵۰ درصد طول ریشه شد که اهمیت بستر رشد را در کشت گلخانه‌ای کاهو بیان می‌کند.

**حجم ریشه**

صفات حجم ریشه نتایج به نسبت متفاوت‌تری را نسبت به صفات دیگر نشان داد، به‌طوری که گیاهانی که با باکتری سویه *سودوموناس پوتیدا* سویه P۱۰ تلقیح شده بودند ریشه‌های حجیم‌تری نسبت به سایر تیمارها تولید کردند و در گیاهانی که با هیچ سویه باکتری تلقیح نشده بودند کمترین حجم ریشه ثبت شد (شکل ۴). در رابطه با تأثیر بسترهای آلی بر حجم ریشه نیز بستر کمپوست قارچ مصرفی تأثیر بیشتری داشت که




**شکل ۳. مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش بستر رشد و باکتری‌های محرک رشد *سودوموناس پوتیدا* سویه ۱۰ (P۱۰)، *سودوموناس فلورسنس* سویه ۱۵۰ (R۱۵۰)، *سودوموناس فلورسنس* سویه ۱۵۹ (R۱۵۹) و شاهد (R۰) بر طول ریشه کاهو رقم رابیکون؛ حروف متفاوت بیانگر تفاوت معنی‌دار تیمارها بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد است.**




**شکل ۴. مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش بستر رشد و باکتری‌های محرک رشد (*سودوموناس پوتیدا* سویه ۱۰ (P۱۰)، *سودوموناس فلورسنس* سویه ۱۵۰ (R۱۵۰)، *سودوموناس فلورسنس* سویه ۱۵۹ (R۱۵۹) و شاهد (R۰)) بر حجم ریشه گیاه کاهو رقم رابیکون؛ حروف متفاوت بیانگر تفاوت معنی‌دار تیمارها بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد است.**

اختلاف معنی‌داری نسبت به سایر تیمارها نشان داد. مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش کود آلی در بستر رشد تلقیح با باکتری‌های محرک رشد مشخص کرد که بیشترین حجم ریشه (۶۵/۰، ۵۴/۰ و ۵۴/۳ سانتی‌متر مکعب در گلدان) به‌ترتیب در بستر رشد حاوی ورمی‌کمپوست به همراه کاربرد باکتری *سودوموناس پوتیدا* سویه P۱۰ و بستر رشد کمپوست قارچ و تلقیح با باکتری *سودوموناس پوتیدا* سویه P۱۰ و تلقیح با باکتری *سودوموناس فلورسنس* سویه R۱۵۹ بدون اختلاف آماری معنی‌دار به‌دست آمد و کمترین مقدار این صفت (۶/۵۰ سانتی‌متر مکعب در گلدان) در تیمار بدون باکتری با بستر رشد بدون کود آلی حاصل شد (شکل ۴).

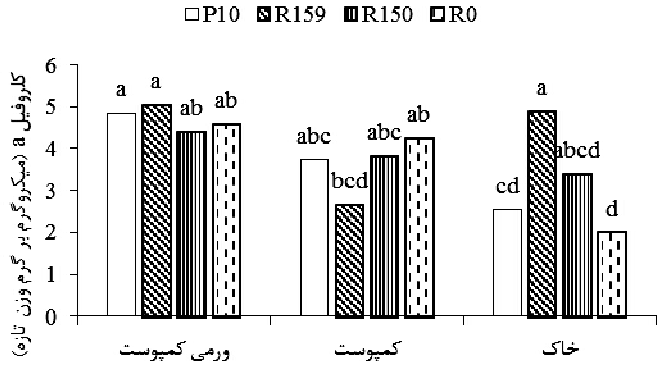
**تجزیه واریانس رنگیزه‌های فتوسنتزی**

نتایج حاصل از تجزیه واریانس تأثیر کودهای آلی و تلقیح با باکتری محرک رشد گیاهی بر رنگیزه‌های فتوسنتزی کاهو نشان داد که اثر بستر رشد تنها بر میزان کلروفیل a و کلروفیل کل معنی‌دار بود. اثر تلقیح با باکتری‌های محرک رشد گیاهی نیز بر کلروفیل b و کلروفیل کل و کاروتنوئید معنی‌دار بود و اثر برهم‌کنش دو فاکتور نیز بر میزان کلروفیل a معنی‌دار به‌دست آمد (جدول ۴).

**جدول ۴. نتایج تجزیه واریانس اثر باکتری‌های محرک رشد و بستر رشد بر رنگیزه‌های فتوسنتزی گیاه کاهو رقم رابیکون**

| منابع تغییرات | df | کلروفیل a | کلروفیل b | کلروفیل کل | کاروتنوئید |
|---|---|---|---|---|---|
| بستررشد | ۲ | ۷/۳۹۲$^{**}$ | ۰/۱۵۳ $^{ns}$ | ۷/۶۸۶$^{**}$ | ۰/۰۱۸۵$^{ns}$ |
| باکتری | ۳ | ۰/۵۸۳$^{ns}$ | ۰/۱۶۹$^{*}$ | ۷/۱۳۷$^{**}$ | ۰/۰۶۲۰$^{*}$ |
| بستر × باکتری | ۶ | ۲/۸۸۱$^{**}$ | ۰/۰۳۳$^{ns}$ | ۰/۹۳۹$^{ns}$ | ۰/۰۲۳۸$^{ns}$ |
| اشتباه آزمایشی | ۲۴ | ۰/۷۴۵ | ۰/۰۵۳ | ۱/۲۲۸ | ۰/۰۱۷ |
| ضریب تغییرات | | ۲۲/۴ | ۲۷/۴ | ۲۳/۳ | ۱۲/۳ |

$^{**}$، $^{*}$، ns به ترتیب بیانگر اثر معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد و عدم اثر معنی‌دار است.

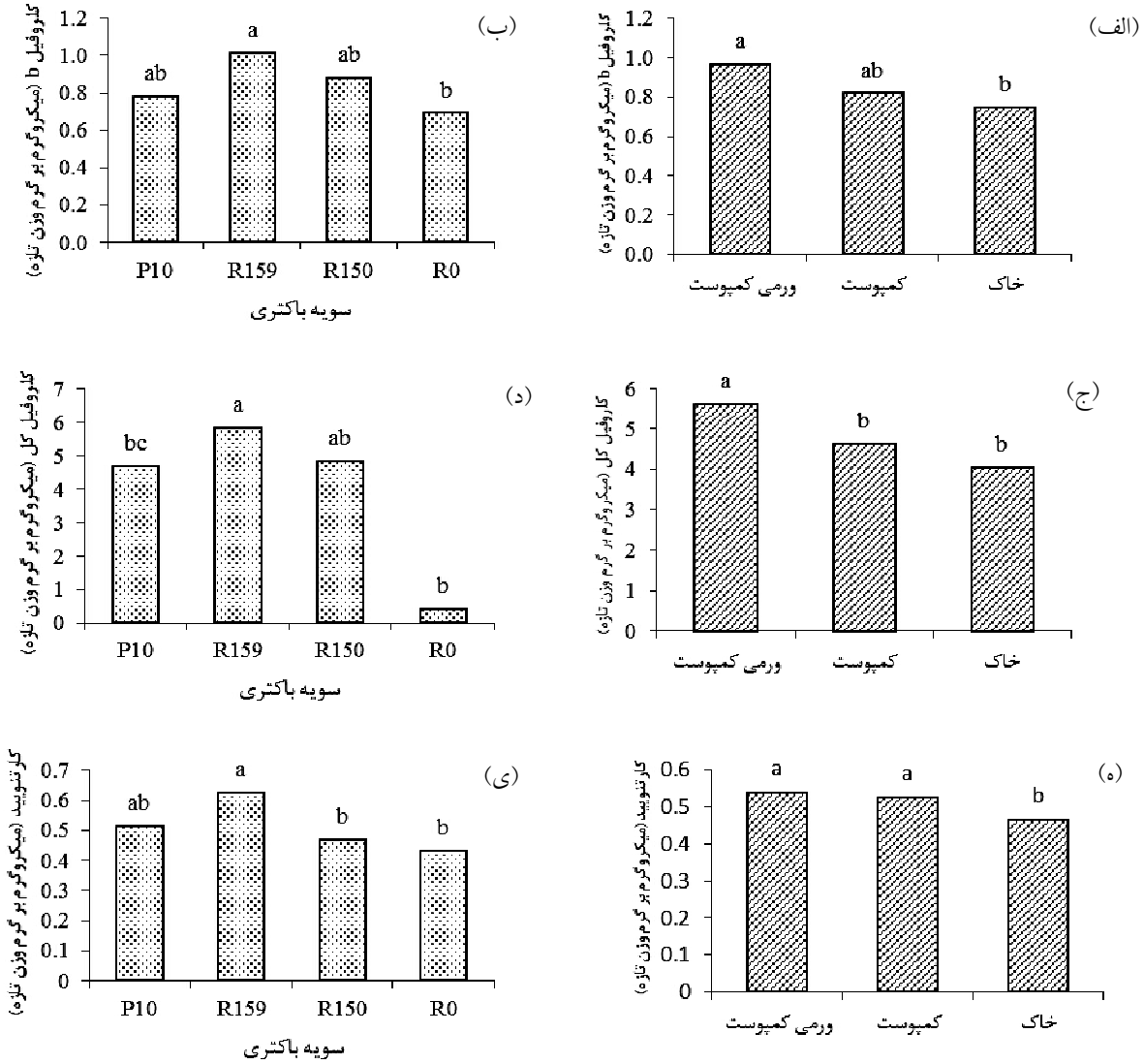



**شکل ۵. مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش بستر رشد و سویه‌های مختلف باکتری *سودوموناس پوتیدا* سویه ۱۰ (P۱۰)، *سودوموناس فلورسنس* سویه ۱۵۰ (R۱۵۰)، *سودوموناس فلورسنس* سویه ۱۵۹ (R۱۵۹) و شاهد (R۰) بر محتوی کلروفیل a در گیاه کاهو رقم رابیکون؛ حروف متفاوت بیانگر تفاوت معنی‌دار تیمارها بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد است.**

**رنگیزه‌های فتوسنتزی**

مقایسه میانگین آثار برهم‌کنش بستر رشد حاوی کودهای آلی و تلقیح با باکتری‌های محرک رشد بر میزان کلروفیل کاهو رقم رابیکون نشان داد بیشترین میزان کلروفیل a (۴/۸۷۶ میکروگرم بر گرم وزن تازه) از ترکیب تیماری بستر رشد حاوی ورمی‌کمپوست و تلقیح با باکتری *سودوموناس پوتیدا* سویه ۱۰ حاصل شد، در حالی‌که کمترین میزان کلروفیل a (۱/۹۹۵ میکروگرم بر کیلوگرم وزن تازه) از ترکیب تیماری با بستر رشد خاک و بدون باکتری به‌دست آمد (شکل ۵).

نتایج به‌دست آمده از مقایسه میانگین نشان داد که بسترهای آلی (به ویژه ورمی‌کمپوست) میزان این فاکتور را تحت تأثیر قرار داد و سبب شد بیشترین میزان کلروفیل b در این تیمار ثبت شود در حالی که اختلاف معنی‌داری با بستر کمپوست قارچ نشان نداد اما با تیمار خاک اختلاف معنی‌دار داشت (شکل ۶-الف). باکتری *سودوموناس فلورسنس* سویه R۱۵۹ بیشترین میزان کلروفیل b را به خود اختصاص داد (۱/۰۱۳ میکروگرم بر گرم وزن تازه)، در حالی که در تیمار شاهد بدون مصرف باکتری کمترین میزان این صفت (۰/۶۹۱ میکروگرم بر گرم وزن تازه) مشاهده شد. با این حال مشخص شد که با مصرف سویه مناسب باکتری محرک رشد می‌تواند میزان کلروفیل b را بهبود و از آثار مخرب تشعشع بالا جلوگیری کند (شکل ۶-ب). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین میزان کلروفیل کل (۵/۶۲۰ میکروگرم بر گرم وزن تازه) در بستر رشد ورمی‌کمپوست به‌دست آمد در حالی که




**شکل ۶. تأثیر بستر رشد بر الف) کلروفیل b، ج) کلروفیل کل، ه) کارتنوئید؛ و تأثیر تلقیح با باکتری *سودوموناس پوتیدا* سویه ۱۰ (P۱۰)، باکتری *سودوموناس فلورسنس* سویه ۱۵۰ (R۱۵۰)، باکتری *سودوموناس فلورسنس* سویه ۱۵۹ (R۱۵۹) و شاهد (R۰) بر ب) کلروفیل b، د) کلروفیل کل و ی) کارتنوئید در گیاه کاهو رقم رابیکون؛ حروف متفاوت بیانگر تفاوت معنی‌دار تیمارها بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد است.**

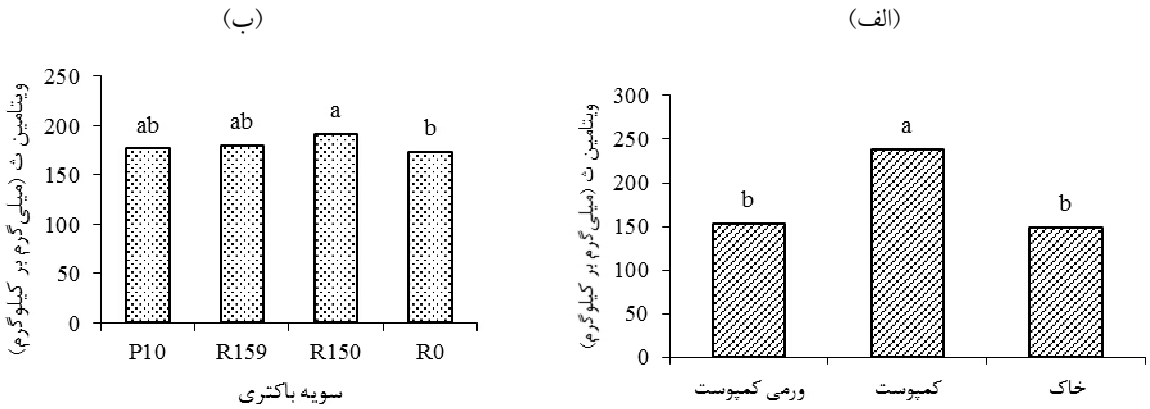
کمترین میزان این صفت بستر رشد خاک بدون کود آلی حاصل شد که با بستر رشد کمپوست قارچ مصرف‌شده اختلاف معنی‌دار آماری نداشت. در بین سویه‌های مختلف باکتری *سودوموناس فلورسنس* سویه R۱۵۹ با بیشترین میزان کلروفیل کل (برابر ۵/۸۴۳ میکروگرم بر گرم وزن تازه) و تیمار شاهد (بدون باکتری) کمترین میزان کلروفیل کل (۰/۳۶۶ میکروگرم بر گرم وزن تازه) را در کاهو موجب شدند (شکل ۶-د).

مطابق نتایج مقایسه میانگین مشخص شد که گیاهان تلقیح شده با باکتری *سودوموناس فلورسنس* سویه R۱۵۹ میزان کاروتنوئید بیشتری (۰/۶۲۴ میکروگرم بر گرم وزن تازه) را به خود اختصاص داد و به‌دنبال آن تیمار باکتری *سودوموناس*

**جدول ۵. نتایج تجزیه واریانس اثر باکتری‌های محرک رشد و بستر رشد بر صفات بیوشیمیایی گیاه کاهو رقم رابیکون**

| منابع تغییرات | df | ویتامین ث | فنل | فلاونوئید | نیترات |
|---|---|---|---|---|---|
| بستر رشد | ۲ | ۳۱۰۰۹/۷$^{**}$ | ۱۲۵/۲۸$^{**}$ | ۸۳۱/۱۴$^{**}$ | ۲۱۶۱۵۱۷/۹$^{**}$ |
| باکتری | ۳ | ۵۵۸/۰۹$^{ns}$ | ۳۹۴/۳۲$^{**}$ | ۲۷۴/۶۹$^{*}$ | ۱۳۵۶۶/۲۸$^{ns}$ |
| بستر × باکتری | ۶ | ۴۲۲/۷۲$^{ns}$ | ۱۵۳/۰۹$^{**}$ | ۱۲۶/۱۸$^{ns}$ | ۱۵۲۳/۰۳$^{ns}$ |
| اشتباه آزمایشی | ۲۴ | ۳۲۰/۱۱ | ۶/۲۵۷ | ۷۱/۸۲ | ۱۱۷۹۵/۲۹ |
| ضریب تغییرات | | ۹/۹۳ | ۶/۰۸ | ۱۶/۵ | ۱۱/۴ |

$^{**}$، $^{*}$، ns به ترتیب بیانگر اثر معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد و عدم اثر معنی‌دار است.




**شکل ۷. تأثیر بستر رشد بر الف) ویتامین ث، و تأثیر تلقیح با باکتری *سودوموناس پوتیدا* سویه ۱۰ (P۱۰)، *سودوموناس فلورسنس* سویه ۱۵۰ (R۱۵۰)، *سودوموناس فلورسنس* سویه ۱۵۹ (R۱۵۹) و شاهد (R۰) بر ب) ویتامین ث در گیاه کاهو رقم رابیکون؛ حروف متفاوت بیانگر تفاوت معنی‌دار تیمارها بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد است.**

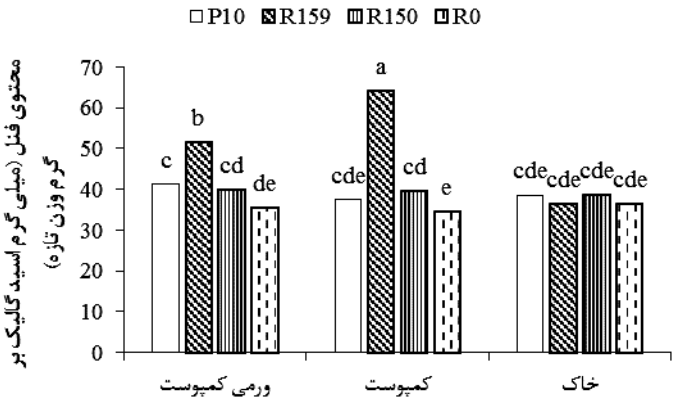
*پوتیدا* سویه P۱۰ با میزان (۰/۵۱۴ میکروگرم بر گرم وزن تازه) قرار گرفت. در باکتری *سودوموناس فلورسنس* سویه R۱۵۰ به همراه تیمار شاهد بدون مصرف باکتری نیز کمترین میزان این صفت (به ترتیب با ۰/۴۶۸ و ۰/۴۳۳ میکروگرم بر گرم وزن تازه) حاصل شد (شکل ۶-ی).

## نتایج تجزیه واریانس صفات بیوشیمیایی

مطابق نتایج تجزیه واریانس (جدول ۵)، اثر بستر رشد بر صفات ویتامین ث، فنل و فلاونویید در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. تلقیح با باکتری‌های محرک رشدی نیز توانست فنل و فلاونویید در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد اثر معنی‌داری نشان دهد، اما ویتامین ث تحت تأثیر تلقیح با سویه‌های باکتری قرار نگرفت. اثر برهم‌کنش تیمارهای آزمایشی نیز تنها توانست بر میزان فنل معنی‌دار شود.

## ویتامین ث

نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین میزان ویتامین ث (۲۳۸/۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در بستر رشد کمپوست مصرف‌شده قارچ مشاهده شد در حالی‌که در بستر رشد ورمی‌کمپوست به همراه بستر رشد خاک، بدون اختلاف آماری معنی‌دار، کمترین میزان ویتامین ث (به‌ترتیب با ۱۵۳/۳ و ۱۴۸/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) وجود داشت (شکل ۷-ب). اثر ساده باکتری‌های محرک رشد بر صفت ویتامین ث در شکل (۷-الف) به‌خوبی نشان داده شده است؛ هر چند سویه *سودوموناس فلورسنس* R۱۵۰ سبب تولید بیشترین




**شکل ۸. مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش بستر رشد و سویه‌های مختلف باکتری *سودوموناس پوتیدا* سویه ۱۰ (P۱۰)، *سودوموناس فلورسنس* سویه ۱۵۰ (R۱۵۰)، *سودوموناس فلورسنس* سویه ۱۵۹ (R۱۵۹) و شاهد (R۰) بر محتوی فنل در گیاه کاهو رقم رابیکون؛ حروف متفاوت بیانگر تفاوت معنی‌دار تیمارها بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد است.**

میزان ویتامین ث در گیاهان کاهو شد اما اختلاف معنی‌داری با سویه *سودوموناس فلورسنس* R۱۵۹ و *سودوموناس پوتیدا* P۱۰ و تیمار شاهد مشاهده نشد.

### محتوی فنل و فلاونویید

نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که گیاهان پرورش یافته در بستر رشد کمپوست قارچ که با باکتری *سودوموناس فلورسنس* سویه R۱۵۹ تلقیح شدند بیشترین میزان فنل (۶۴/۰۴ میلی‌گرم اسید گالیک بر گرم وزن تازه) را تولید کردند و کمترین میزان این صفت از همین بستر رشد در شرایط عدم کاربرد باکتری حاصل شد (شکل ۸). بیشترین میزان فلاونویید در بسترهای رشد ورمی‌کمپوست و کمپوست قارچ (به‌ترتیب با ۵۳/۸۳ و ۵۸/۳۳ میلی‌گرم کوئرستین بر گرم وزن تازه) و کمترین مقدار آن (۴۲/۲۰ میلی‌گرم کوئرستین بر گرم وزن تازه) متعلق به بستر رشد خاک بود. در بین سویه‌های مختلف باکتری، *سودوموناس فلورسنس* سویه R۱۵۹ با بیشترین میزان فلاونوئید (۵۸/۲۴ میلی‌گرم کوئرستین بر گرم وزن تازه) و تیمار شاهد (بدون باکتری) بدون اختلاف آماری معنی‌دار با *سودوموناس فلورسنس* سویه R۱۵۰ کمترین میزان این صفت را موجب شدند.

### غلظت نیترات

بر اساس مقایسه میانگین، کمترین میزان نیترات در گیاهان رشد کرده در خاک بدست آمد و گیاهان رشد یافته در بستر ورمی‌کمپوست و کمپوست قارچ به ترتیب ۲/۶۹ و ۲/۱۶ برابر نیترات بیشتری را نسبت به گیاهان رشد یافته در بستر خاک ثبت کردند.

## بحث

به‌طورکلی بسترهای رشد مورد استفاده در این پژوهش نسبت به خاک اثر بهتری بر صفات مورد بررسی داشتند، به‌طوری که بیشترین مقادیر وزن تازه و خشک کاهو در بستر ورمی‌کمپوست حاصل شد که با تیمارهای دیگر اختلاف معنی‌داری داشت. شاید بتوان رشد بهتر در بستر ورمی‌کمپوست را به ریشه‌دوانی بهتر گیاهان در این تیمار نسبت داد؛ البته سیستم ریشه‌ای گیاه کاهو در بستر کمپوست نیز رشد نسبتاً خوبی داشت. شاید علت این یافته، مواد غذایی بیشتر در تیمار ورمی‌کمپوست و تخلخل مناسب و ریشه‌دوانی آسان‌تر ریشه در بستر ورمی‌کمپوست و کمپوست باشد(۴).

کاربرد بستر ورمی‌کمپوست بر رشد گستره وسیعی از گونه‌های زراعی و باغبانی از جمله فلفل (۴)، توت‌فرنگی (۶۶)،

کلم چینی (۶۳) و ذرت شیرین (۳۲) آثار مثبت و معنی‌داری داشته است، که با یافته‌های این آزمایش هم‌خوانی دارد. از آنجایی‌که وزن تاره بوته به عنوان عملکرد در کاهو محسوب می‌شود، لذا می‌توان بیان داشت که کاربرد بستر رشدی مناسب از قبیل ورمی‌کمپوست با ذارا بودن مقدار کافی ازعناصرغذایی، قابلیت نگهداری آب و تولید هورمون‌های گیاهی می‌تواند بر رشد گیاه و عملکرد آن اثر مثبت داشته باشد (۵ و ۳۹ ).

در بوته‌های کاهو با ارتفاع زیاد، امکان بهبود تعداد برگ و در نتیجه افزایش عملکرد وجود دارد، که این قضیه را می‌توان به خواص فیزیکی و شیمیایی اسید هیومیک موجود در ورمی‌کمپوست مانند افزایش گنجایش نگهداری آب و عناصر غذایی از جمله نیتروژن و افزایش هورمون‌های تنظیم‌کننده رشد نسبت داد که این فاکتورها هماهنگی افزایش رشد را سبب می‌شوند (۴). در این پژوهش تلقیح با باکتری‌های محرک رشد (به ویژه *سودوموناس فلورسنس* سویه ۱۵۰ و *سودوموناس پوتیدا* سویه ۱۰) نیز اثر بسیار مثبتی بر صفات مورفولوژیک داشتند که به احتمال قوی به خواص محرک رشدی این سویه‌ها (از جمله تولید اکسین و سیدروفور) نسبت داده می‌شود. در این آزمایش گیاهان کاهویی که تیمارهای تلقیح با با کتری‌های محرک رشد به ویژه باکتری محرک رشد *سودوموناس پوتیدا* سویه ۱۰ و *سودوموناس فلورسنس* سویه ۱۵۹ را دریافت کرده بودند از حجم ریشه بیشتری برخوردار بودند، زیرا باکتری‌های محرک رشد می‌توانند از طریق مکانیسم کاهش سطح اتیلن در گیاه، رشد ریشه و اندام هوایی آن را افزایش دهند که یکی از مهم‌ترین خواص باکتری‌های محرک رشد هیدرولیز ACC و در نتیجه کاهش سطح اتیلن در گیاه است (۵۳). علاوه‌بر این مانیس (۳۹) افزایش ارتفاع بوته گیاه در اثر استفاده از باکتری‌های محرک رشد را به اثرگذاری هورمون گیاهی در افزایش رشد نسبت داد. در گیاه کلم، مایه‌کوبی بذر با تیمارهای مختلف از باکتری منجر به افزایش ارتفاع گیاهچه تحت شرایط گلخانه شد (۵۹). سلطانی طولارود و همکاران (۵۷) دریافتند تیمار ترکیبی با باکتری *سودوموناس* و بستر رشد حاوی ۲۰ درصد کمپوست بیشترین ارتفاع بوته را در گوجه فرنگی موجب شد. این یافته را می‌توان به محتوی کافی ورمی‌کمپوست از عناصرغذایی (۳۷) و اثربخشی باکترهای محرک رشد بر بهبود ویژگی‌های مورفولوژیک در گیاهان نسبت داد (۳۸ و ۴۹).

تیمارهای آزمایش تا حدودی بر تعداد برگ در کاهو اثرگذار بودند، بستر رشد مناسب با فراهم‌سازی شرایط بهینه رشد تا حدودی به افزایش تعداد آن کمک کرد. اتیه و همکاران (۵) گزارش کردند که ورمی‌کمپوست از طریق افزایش نگهداری آب، تأمین عناصر غذایی و تولید هورمون‌های گیاهی می‌تواند سبب بهبود جوانه‌زنی و به دنبال آن رشد گیاه داشته باشد. چمن‌گشت و همکاران (۱۰) کاربرد *سودوموناس پوتیدا* سویه P10 را در تولید بیشترین تعداد برگ‌ها در کاهو گزارش کردند. افزایش قطر تاج می‌تواند امکان افزایش تعداد برگ و در نتیجه محصول را، در پرورش کاهو فراهم سازد. نتایج نشان داد که کاربرد باکتری‌های محرک رشد به ویژه در بستر رشد مناسب، این امکان را فراهم می‌سازد که سطح برگ بسیار بیشتری در گیاه کاهو تولید شود و از آنجایی‌که این امر باعث افزایش فتوسنتز در گیاه می‌شود، لذا امکان افزایش عملکرد را میسر خواهد ساخت. آذرمی و همکاران (۶) بیان داشتند که در بستر رشد حاوی ورمی‌کمپوست به دلیل مقادیر قابل توجه ماده آلی، و جمعیت و تنوع میکروبی زیاد، امکان افزایش نگهداری آب، گنجایش تبادل کاتیونی و فراهمی عناصر غذایی، رشد و نمو گیاهان به‌طور معنی‌داری بهبود خواهد یافت. تأثیر ریزوباکترهای محرک رشد در افزایش ماده خشک گیاه نخود توسط رخزادی و همکاران (۵۰) گزارش شده است. کوبیلای و همکاران (۳۰) در یک آزمایش گلدانی با اضافه نمودن مقادیر ۰، ۱۵، ۳۰ و ۶۰ تن در هکتار از کمپوست قارچ مصرف شده در خاک گلدان‌های فلفل دریافتند که این کمپوست تأثیر معنی‌داری در افزایش مقدار ماده خشک و محتوای عناصر غذایی همچون N، P، K، Fe و Zn داشته است. پلات و همکاران (۴۵) با پژوهش روی گیاه کاهو به نتیجه رسیدند کاربرد ۱۲ تا ۱۴ تن در هکتار کمپوست قارچ مصرفی سبب افزایش معنی‌دار

عملکرد شد. غنی‌بودن بسترهای رشد حاوی ورمی‌کمپوست و کمپوست قارچ به ویژه از نظر عناصر غذایی می‌تواند با فراهم‌سازی به موقع آنها برای گیاه و توسعه برگ در افزایش کلروفیل کمک کند. افزودن کمپوست تا ۳۰ تن در هکتار باعث افزایش عملکرد و محتوای عناصر غذایی می‌شود. کاربرد کمپوست باعث افزایش رشد رویشی، تعداد گل و میوه سبزیجات شده و گیاهان نسبت به این مواد آلی واکنش مثبت نشان می‌دهند (۲۷). گلی‌کلانپا و همکاران (۲۰) دریافتند که گیاهان کاهوپرورش یافته در بستر رشد حاوی ۵۰ درصد پسماند کمپوست قارچ بیشترین میزان کلروفیل را داشتند که با نتایج این آزمایش هم‌خوانی دارد. به‌طورکلی کمپوست قارچ مصرفی در بستر گیاهانی مانند خیار، گوجه فرنگی و فلفل سبب افزایش صفاتی مانند ارتفاع گیاه، قطر ساقه، تعداد برگ، سطح برگ، وزن تازه و خشک گیاهان، تعداد گل و میوه، مواد جامد محلول و اندازه میوه شده و به‌طور کلی رشد و عملکرد گیاهان افزایش یافت (۲۲ و ۴۷).

در این آزمایش، استفاده از بسترهای آلی رشد ورمی-کمپوست و کمپوست قارچ مصرفی در مقایسه با بستر مرسوم خاک، میزان کلروفیل گیاه کاهو را به‌ترتیب برابر ۲۲/۱ و ۱۶/۳ درصد افزایش دادند که این اثر مثبت بستر رشد در افزایش میزان کلروفیل و در نتیجه فرآیند فتوسنتز را روشن می‌سازد. در بین سویه‌های مختلف باکتری، *سودوموناس فلورسنس* سویه R۱۵۹ میزان کلروفیل را ۲۲/۲۶ درصد نسبت به تیمار شاهد (بدون باکتری) افزایش داد. باکتری‌های محرک رشد گیاهی با تسهیل دستیابی به عناصر ضروری و یا از طریق افزایش تولید هورمون های گیاهی از جمله ایندول–۳–استیک اسید، اسید جیبرلیک، سیتوکینین‌ها، (۲۳ و ۴۵) می‌توانند در بهبود محتوی کلروفیل برگ سهیم باشند. افزایش حلالیت فسفر توسط این باکتری‌ها سبب رهاسازی تریوزفسفات‌ها از کلروپلاست می‌شود (۳۱). در واقع افزایش میزان کلروفیل برگ در تیمارهای تلقیح با باکتری می‌تواند دلیلی بر افزایش فتوسنتز و عملکرد باشد. مایه‌کوبی بذر با تیمارهای مختلف از PGPR منجر به افزایش سطح برگ و محتوی کلروفیل تحت شرایط گلخانه در کلم شد، که بسته به سویه باکتری به کاررفته از نظر آماری دارای تفاوت معنی‌داری نیز بودند (۵۹). اثر مثبت بستر رشد بر محتوی کلروفیل، توسط پژوهش‌گران مختلف مانند ال–نجار و ال–ناشارتی (۱۴) در گیاه کلم گل و پاپتاناسیو و همکاران (۴۱) در ارقام کاهو نشان داده شده است. که غلظت کلروفیل کل در دو تیمار ورمی‌کمپوست در مقایسه با شاهد در هر دو فصل کشت افزایش یافت (۴۱). پارسا مطلق و همکاران (۴۲) دریافتند که اثر قارچ میکوریز بر غلظت کاروتنوئیدهای برگ معنی‌دار شد و میزان کاروتنوئید با کاربرد قارچ میکوریزا در مقایسه با عدم کاربرد آن (تیمار شاهد) افزایش معنی‌دار یافت.

بررسی‌ها نشان داده است که میوه‌ها و یا سبزی‌های ارگانیک، حاوی مواد معدنی و ویتامین‌های بیشتری نسبت به کشت مرسوم هستند (۱۱). کاهو حاوی مقدار زیادی ویتامین ث است (۲۵) که می‌تواند در تغذیه سالم نقش مهمی داشته باشد. در پژوهش زالی و همکاران (۶۵)، افزایش میزان ورمی‌کمپوست در بستر رشد باعث افزایش میزان ویتامین ث در گیاه گوجه‌فرنگی شد که به علت جذب بیشتر عناصر غذایی مانند فسفر می‌تواند باشد زیرا فسفر یکی از عناصر اصلی در فعال‌کردن آنزیم‌های درگیر در مسیر بیوسنتز ویتامین ث به شمار می‌آید (۳). گزارش شده است که ویتامین ث اثر منفی نیترات را خنثی می‌کند و حضور این ویتامین در کاهو تحت تأثیر نوع کودهای شیمیایی و انواع مختلف کمپوست قرار می‌گیرد، به‌طوری که افزایش آن در ورمی‌کمپوست توسط حسندخت (۲۳) تایید شده است که با نتایج این آزمایش همخوانی دارد.

در این پژوهش بستر رشد غلظت نیترات در گیاه را تحت تأثیر قرار داد که در بستر ورمی‌کمپوست بیشترین میزان نیترات اندازه‌گیری شد. از آنجایی‌که ورمی‌کمپوست‌ها حاوی عناصر در فرم‌هایی از جمله نیترات‌ها هستند (۳۷)، لذا در بستر رشد با مقدار زیاد ورمی‌کمپوست، امکان افزایش نیترات دور از انتظار نخواهد بود. اگرچه ویژگی‌های ژنتیکی ارقام کاهو نیز در این

مورد دخیل هستند (۳۳). حسندخت (۲۳) گزارش داد که میزان نیترات در کاهو بستگی تام به مقدار نیتروژن موجود در خاک دارد و علی‌رغم نیاز به مصرف نیتروژن در تولید سبزی از جمله کاهو، میزان نیتروژن زیاد، فراهمی نیترات را افزایش داده و اثر مستقیم برغلظت آن خواهد داشت. علاوه بر این به نظر می‌رسد شرایط اکولوژیکی دوره رشد گیاه کاهو نیز در افزایش تجمع نیترات دخیل است، بطوری‌که در آزمایش پاپتاناسیو و همکاران (۴۱) بیشترین غلظت نیترات در تمامی ارقام کاهو در طی فصل کشت پاییزه مشاهده شد. غلظت نیترات در تیمارهای ۳۰ و ۶۰ تن کمپوست مصرف‌شده قارچ به‌طور معنی‌دار بیش از سایر تیمارها بود (۶۱). در آزمایشی بر روی محصول کاهو مصرف ۵ تن در هر هکتار ورمی‌کمپوست، باعث تولید عملکرد مطلوب با حداقل میزان نیترات شد (۱۷). حد مجاز نیترات کاهو بین ۲۵۰۰ تا ۳۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم است (۱۶) که در این آزمایش، مقادیر غلظت نیترات اندازه‌گیری‌شده کم‌تر از حد مجاز بود.

در این پژوهش تیمارهای مورد بررسی آثار معنی‌داری بر میزان فنل گیاه کاهو داشتند. به‌طور کلی ترکیبات فنلی از آنتی‌اکسیدان‌های مهم گیاهی به شمار می‌روند (۴۴) که مقدار آن تحت تأثیر ژنوتیپ، بستر، مرحله رشدی و عوامل محیطی از جمله نور، دما و شرایط تغذیه‌ای متغیر است (۶۲). خالید و همکاران (۲۹) دریافتند که کودهای آلی به علت فراهمی عناصر غذایی سبب افزایش ترکیبات فنلی در تعدادی از گیاهان دارویی می‌شوند. علاوه براین هرمزی نژاد و همکاران (۲۵) نشان دادند که تلقیح با سویه‌های مختلف باکتری سبب افزایش ترکیبات فتلی در گیاه همیشه بهار شد.

## نتیجه‌گیری

یافته‌های این پژوهش بیانگر آن است که استفاده از بستر رشد آلی حاوی ورمی‌کمپوست و کمپوست قارچ در مقایسه با بستر رشد خاک ویژگی‌های مورفولوژیک، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی گیاه کاهو را به میزان بیشتری افزایش دادند. در برخی موارد بستر رشد آلی حاوی ورمی‌کمپوست نسبت به بستر رشد حاوی کمپوست قارچ مصرف شده رشد و شاخص‌های کیفی گیاه کاهو را به میزان بیشتری افزایش داد. کاربرد باکتری‌های محرک رشد نیز سبب افزایش اغلب صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاه کاهو شد که باکتری *سودوموناس فلورسنس* سویه R۱۵۹ در این رابطه از سایر سویه‌ها کارآمدتربود. به نظر می‌رسد از بستر ورمی‌کمپوست در کنار سویه *سودوموناس فلورسنس* سویه ۱۵۹ نتایج درخشان‌تری نسبت به سایر تیمارها به‌دست آمد، هر چند این آزمایش در سطح گلخانه و گلدانی انجام شده و برای تأیید این نتایج نیاز به پژوهش‌های گسترده‌تر در سطح مزرعه با ترکیبات مختلف تیماری و اندازه‌گیری خواص محرک رشدی سویه‌ها و بررسی‌های مولکولی گیاه کاهو وجود دارد.

## منابع مورد استفاده


1. Adinarayana, V. and S. T. Kumar. 2006 Effect of applied phosphorus and vermicompost on removal of heavy metals by leafy vegetables in polluted soil. 18th World Cong. Soil Sci., Phila. Pen, US. 650–654.
2. Ahemad, M. and M. Kibret. 2014. Mechanisms and application s of plant growth promoting rhizobacteria: Current perspective. J. King Saud Univ. Sci. 26: 1–20.
3. Alizhadeh, P., Aliasagarzadeh, N. and S. Baghban Siroos. 2006. The effect of VA mycorrhizhal fungi on yield and vitamin content of tomato at different levels of phosphorus. J. Agri. Sci. Nat. Resou. 12(6): 1–9. (In Farsi).
4. Arancon, N. Q., C.A. Edwards, P. Bierman, J. D. Metzger and C. Lucht. 2005. Effects of vermicomposts produced from cattle manure and food waste on the growth and yield of peppers in the field. Pedobiol. 49: 297–306.
5. Arnon, D. I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts, polyphenoloxidases in *Beta vulgaris*. Plant Physiol. 24: 1–15.
6. Atiyeh, R. M., S. Subler, C. A. Edwarda and J. Metzeger. 2001. Pig manure vermicompost as a component of a horticultural bedding plant medium: Effects on physicochemical properties and plant growth Biores.Technol. 78:

11–20.
7. Azarmi, R., Z. Sharifi, and M. R. Satari. 2008. Effect of vermicompost on growth, yield and nutrition status of tomato (*Lycopersicum esculentum).* Pak. J. Biol. Sci. 11(14): 1797−1802.
8. Bachman, G. and J. Metzger. 2007 . Growth of bedding plants in commercial potting substrate amended with vermicompost. Biores.Technol. 99: 91−98.
9. Beketov, E. V., V. P. Pakhomov and O. V. Nesterova. 2005. Improved method of flavonoid extraction from bird cherry fruits. Pharma. Chem. J. 39(6): 316−318
10. Chakraborty, U., B. N. Chakraborty, A. P. Chakraborty, K. Sunar and P. L. Dey. 2013. Plant growth promoting rhizobacteria mediated improvement of health status of tea plants. Ind. J. Biotech. 12: 20−31.
11. Chamangasht, S., M. R. Ardakani, K. Khavazi, B. Abbaszadeh and S. Mafakheri. 2012. Improving lettuce (*Lactuca sativa* L.) growth and yield by the application of biofertilizers. Ann. Biol. Res. 3(4): 1876−1879.
12. Citak, S. and S. Sonmez. 2010. Influence of organic and conventional growing conditions on the nutrient contents of white head cabbage (*Brassica oleracea* var. capitata) during two successive seasons. J. Agri. Food Chem. 58(3): 1788–1793.
13. Danai, O., H. Cohen, N. Ezov, N. Yehieli and D. Levanon. 2011. Recycling of spent mushroom substate (SMS) in avocado orchards. Proceedings of the 7th International Conference on Mushroom Biology and Mushroom Products (ICMBMP7) 2: 1165−1170.
14. Ekinci, M., A. Dursun, M. F. Dönmez and H. Eminaaolu. 2009. Effects of different inoculation bacteria on yield and growth in cauliflower (*Brassica oleracea* var. botrytis). International Rural Development Symposium, İspir–Erzurum, Turkey. 88–91.
15. El-Naggar, A. H. and A. B. El-Nasharty. 2009. Effect of growing media and mineral fertilization on growth, flowering, and bulbs productivity and chemical constituents of *Hippeastrum vittatum*, Herb. *Amer-Euras.* J. Agri. Envir. Sci. 6(3): 360−371.
16. Esmaielpour, B. and N. Amani. 2014. Investigating the effect of mycorrhizal inoculation on growth and uptake of nutrients in *Lactuca sativa* cv Syaho. J. Soil Manag. Sust. Prod. 4(2): 49−69. (In Farsi)
17. European Union. 2002. Commission Regulation (EC) No563/2002of 2 April 2002 amending regulation (EC)No466/2001 setting maximum levels for certain contaminants in food stuffs. Official Journal. 77: 1−13.
18. Farag A.A., M.S.M. Ahmed, F. A. Hashem, M. A. A. Abdrabbo, M. A. Abul-Soud, and H. A. Radwan. 2015. Utilization of rice straw and vermicompost in vegetable production via soilless culture. Glo. J. Adv. Res. 2(5): 800−813.
19. Gardner, W.H. 1986. Water content. Pp. 493-544. In: Klute, A. (ed). Methods of Soil Analysis. Part 1. 2nd ed. Agronomy. Monograph. 9. ASA, Madison, WI.
20. Goberna, M., Podmirseg, S.M., Waldhuber, S., Knapp, B.A., García, C., Insam, H., 2011. Pathogenic bacteria and mineral N in soils following the land spreading of biogas digestates and fresh manure. Appl. Soil Ecol. 49: 18–25.
21. Goli Kalanpa., E. N. Amani and B. Esmaielpour. 2015. Effect of spent mushroom compost application on growth parameters and macroelement uptake in lettuce (*Lactuca sativa* L.cv Syaho). J. Soil Manag. Sust. 5(2): 113−129. (In Farsi)
22. Gómez-Brandón, M., Domínguez, J., 2013. Recycling of solid organic wastes through vermicomposting: microbial community changes throughout the process and use of vermicompost as a soil amendment. Crit. Rev. Envir Sci. Technol. 44: 1289–1312.
23. Gonani, Z., H. Riahy and K. Sharifi. 2011. Impact of using leached spent mushroom compost as a partial growing media for horticultural plants. J. Plant Nutr. 34: 337−344 .
24. Hassandokht, M. R. 2005. Greenhouse Management (Technology of Greenhouse Crops Production). Marze Danesh Publication. pp. 145. (In Farsi)
25. Herman, M. A. B., B. A. Nault, and C. D. Smart. 2008. Effects of plant growth promoting rhizobacteria on bell pepper production and green peach aphid infestations in New York. Crop Prot. 27: 4363−4370.
26. Hormozinejad, E., M. Zolfaghari, M. Mahmoodi Sourestani and N. EnayatiZamir. 2018 Effects of plant growth promoting rhizobactria and chemical fertilizer on growth, yield, flowering, physiological properties, and total phenolic content of *Calendula officinalis* L. Iran. J. Medici. Arom. Plants 34(4): 684−696. (In Farsi)
27. Hullin, R. P., M. Kapel and A. Brinkall. 2007. The lithium contentsof some consumable items. Intern. J. Food Sci. Technol. 4 (3): 235−240.
28. Jonathan, S. G., M. L. Muritala and J. O. Olusola. 2011. Effect of spent mushroom compost of *Pleurotus pulmonarius* on growth performance of four Nigerian vegetables. Mycobiol. 393: 164−169.
29. Jones, J.B. 2001. Laboratory Guaide for Conducting Soil Tests and Plant Analysis. RC. Press. Ju, X., Xing, G., Chen, X., Zhang, S., Zhang, L., Liu, X., Cui, Z., Yin, B., Christie, P., Zhu, Z., 2009. Reducing environmental risk by improving N management in intensive Chinese agricultural systems. Proc. Nati Acad. Sci. 106: 3041–3046

30. Khalil, M.Y., A. A. Moustafa and N. Y. Naguib. 2007. Growth, phenolic compounds an antioxidant activity of some medicinal plants grown under organic farming condition. World J. Agri. Sci. 3(4): 451−457.
31. Kholdbarin, B. and Eslamzadeh, T. 2001. Mineral Nutrition of Higher Plants. First Issue. Shiraz University Publisher. (In Farsi).
32. Kubilay Onal, M. and B. Topcuoglu. 2007. The effect of spent mushroom compost on the dry matter mineral content of pipper (*Piper Nigrum*) grown in greenhouse, Akdeniz University Vocational High School of Technical Sciences. Turkey 222: 555−565.
33. Lazcano, C. and J. Dominguez. 2011. The use of vermicompost in sustainable agriculture: Impact on plant growth and soil fertility. Soil Nutr. 10: 1-23.
34. Leon, A.P., J.P. Martin and A. Chiesa. 2012. Vermicompost application and growth patterns of lettuce (*Lactuca sativa* L.). Agri. Trop. Et Subtrop. 45 (3): 134−139.
35. Lin, M., M. Tsai and K. Wen. 1999. Supercritical fluid extraction of flavonoids from *Scutellaria radix*. Chroma. 830: 387−395.
36. Marinova, D., F. Ribarova and M. Atanassova. 2005. Total phenolics and total flavonoids in Bulgarian fruits and vegetables. J. Univer. Chem. Technol. Metal. 40(3): 255−260.
37. Medany, M. A. 2011. Vermiculture in Egypt: Current development and future potential. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO/UN) Regional Office for the Near East Cairo., Egypt.
38. Migahed H. A., A. F. Ahmed and B. F. Abdel Ghany. 2004. Effect of different bacterial strains as biofertilizer agents on growth, production and oil of *Apium graveolens* under calcareous soil. *Arab Universities* J. Agri. Sci.12(2): 511−525.
39. Munees, A. 2015. Enhancing phytoremediation of chromium-stressed soils through plant-growth-promoting bacteria. J.Genetic Eng. Biotech. 13(1): 51−58.
40. Ongley, E.D., Xiaolan, Z., Tao, Y., 2010. Current status of agricultural and rural nonpoint source pollution assessment in China. Envir. Pollu. 158: 1159–1168.
41. Papathanasiou, F., I. Papadopoulos, I. Tsakiris and E. Tamoutsidis. 2012 Vermicompost as a soil supplement to improve growth, yield and quality of lettuce (*Lactuca sativa* L.). J. Food Agri. Envir.10: 677–682
42. Parsa-Motlagh., B. S. Mahmoodi M. H. Sayyari-Zahanand M. Naghizadeh. 2011. Effect of mycorrhizal fungi and phosphorus fertilizer on concentration of leaf nutrients and photosynthetic pigments of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under salinity stress condition. Agrecol. 3(2): 233−244. (In Farsi)
43. Pearson, D. 1970. Analysis. Determination of l-ascorbic acid. Inter. Feder. Fruit Juice Prod. (No: 17).
44. Podsędek, A. 2007. Natural antioxidants and antioxidant capacity of Brassica vegetables: a review. Food Sci. and Technol.40(1): 1−11.
45. Polat, E., and Uzun, H.I., Topçuo_glu, B., Önal, K., Onus, A.N., Karaca, M., 2009. Effects of spent mushroom compost on quality and productivity of cucumber (*Cucumis sativus* L.) grown in greenhouses. Afric. J. Biotech. 8: 176−180.
46. Raval, A. A. and P. B. Desai. 2012. Rhizobacteria from rhizosphere of sunflower (*Helianthus annuus* L.) and their effect on plant growth. Res. J. Rec. Sci. 1(6): 58−61.
47. Riahi, H., andAzizi, A. 2006. Leached SMC as a component and replacement for peat in casing soil and increasing dry matter in mushroom. In: Proceedings of 2nd International Spent Mushroom Substrate Symposium, University Park, PA: The Penen. State. Univ., cd. K. Paley, pp. 41−46.
48. Ribas, L. C. C., M. de Mendonça., C. M. Camelini and C. H. L. Soares. 2009. Use of spent mushroom substrates from *Agaricus subrufescens* (syn. A. blazei, A. brasiliensis) and *Lentinula edodes* productions in the enrichment of a soil-based potting media for lettuce (*Lactuca sativa*) cultivation: Growth. Promotion and soil bioremediation. Biores. Technol. 20: 4750–4757.
49. Rodrigues, E. P., L. S. Rodrigues, A. L. M. de Oliveira, V. L. D. Baldani, K. R. S. Teixeira, S. Urquiaga and V.M. Reis. 2008. *Azospirillum amazonense* inoculation: effects on growth, yield and $N_2$ fixation of rice *(Oryza sativa* L.). Plant and Soil 302: 249–261.
50. Rokhzadi, A. and V. Toashih. 2011. Nutrient uptake and yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) inoculated with plant growth promoting rhizobacteria. Aust. J.Crop Sci. 5(1): 44−48.
51. Senthilkumar, S., C. Srirama, M. V. drasekharam and K. Haripriya. 2004. Effect of vermicompost and fertizer on the growth and yield of rose. J. Interacd. 8(2): 207−210.
52. Seyed sharifi, R. and K. Khavazi. 2011. Effect of seed inoculation with plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on germination components and seedling growth of corn (*Zea mays* L.). Agrecol. 3(4): 506-513. (In Farsi)
53. Shaharoona B. M., Z. Arshad A. Zahir and A. Khalid. 2006. Performance of *Pseudomonas* spp. containing ACC-deaminase for improving growth and yield of maize (*Zea mays* L.) in the presence of nitrogenous fertilizer. Soil Biol. Biochem. 38: 2971–2975.

54. Shahzad, S.M., Khalid, A., Arif, M.S., Riaz, M., Ashraf, M., Iqbal, Z., Yasmeen, T., 2014. Co-inoculation integrated with P-enriched compost improved nodulation and growth of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under irrigated and rainfed farming systems. Biol. Fertil. Soil. 50: 1–12.
55. Singh, B. K., T. Pathak Boopathi and B. C. Deka. 2010. Vermicompost and NPK fertilizer effects on morpho-physiological traits of plants, yield and quality of tomato fruits. Hortsci. 73: 77−86.
56. Singh, R., Divya, S., Awasthi, A., Kalra, A., 2012. Technology for efficient and successful delivery of vermicompost colonized bioinoculants in *Pogostemon cablin* (patchouli) Benth. World J. Microbiol. Biotech. 28: 323–333.
57. Soltani Toolarood, A. A., S. R. Ziatabar, B. Esmaeilpour., K. Khavazi and S. Fathololomi. 2015. Effect of plant growth promoting rhizobacteria and spent mushroom compost on growth and yield of tomato (*Lycopersicon esculentum*). Iran. J. Soil. Res. 29(3): 286−296. (In Farsi)
58. Song, X., Liu, M., Wu, D., Qi, L., Ye, C., Jiao, J., Hu, F., 2014. Heavy metal and nutrient changes during vermicomposting animal manure spiked with mushroom residues. Waste Manage. 34: 1977–1983.
59. Tilman, D., Cassman, K.G., Matson, P.A., Naylor, R., Polasky, S., 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. Nature. 418: 671–677.
60. Turan, M., M. Ekinci, E. Yildirim, A. Güneş, K. Karagöz, R. Kotan and A. Dursun. 2014. Plant growth-promoting rhizobacteria improved growth, nutrient, and hormone content of cabbage (*Brassica oleracea*) seedlings. Turk. J. Agri. For. 38: 327−333.
61. Vahabi, F., Mirhoseini, H, Shrafa, M. 2010. Investigation of mushroom compost on some chemical properties of sandy loam soil. Iran. J. Soil. Res. 25(1): 49−60. (In Farsi)
62. Velicković, J. M., D. S. Dimitrijević, S. S. Mitić, M. N. Mitić and D. D. Kostić. 2014. The determination of the phenolic composition, antioxidative activity and heavy metals in the extracts of *Calendula officinalis* L. Advan. Technol. 3(2): 46−51.
63. Wang, D., Q. Shi, X. Wang, M. Wei, J. Hu, J. Liu and F. Yang. 2010. Influence of cow manure vermicompost on the growth, metabolite contents, and antioxidant activities of Chinese cabbage (*Brassica campestris* ssp. Chinensis). Biol. Fertil. Soil. 46: 689−696.
64. Wever, G., B. Vander and A. M. M. Straatsma. 2005. Potential of adapted mushroom compost as a growing medium in horticulture. Intern. Sym. Soilless Cult. Hydropo. (ISHS) 697: 171−177.
65. Wu, F., Wan, J.H.C., Wu, S., Wong, M., 2012. Effects of earthworms and plant growth–promoting rhizobacteria (PGPR) on availability of nitrogen, phosphorus, and potassium in soil. J. Plant Nutr. Soil Sci. 175: 423–433.
66. Zaller, J. G. 2007. Vermicomposts as a substitute for peat in potting media: Effects on germination, biomass allocation, yields and fruit quality of three tomato varieties. Sci. Hort. 112: 191−199.
67. Zuo, Y., J. Zhang, R. Zhao, H. Dai and Z. Zhang. 2018. Application of vermicompost improves strawberry growth and quality through increased photosynthesis rate, free radical scavenging and soil enzymatic activity. Sci. Hort. 233: 132−140.

# Effect of Bio-Priming with Plant Growth Promoting Bacteria on Growth and Biochemical Characteristics, Phenol, Flavonoid, Vitamin C and Nitrate in Lettuce (*Lactuca sativa* L.) Rabicon Cultivar in Different Growth Substrates

**N. Ahmadi[1], H. Fatemi[1*], B. Esmaielpour[1] and A. Ashraf Soultani-Tolarood[2]**

(Received: 19 May 2019; Accepted: 11 May 2020)

## Abstract

Organic amendments not only promote soil quality but also indirectly facilitate the establishment of bacteria. A greenhouse experiment was conducted to investigate the effects of organic substrates and plant growth promoting rhizobacteria inoculation on morphological characteristics of lettuce (*Lactuca sativa* L. Cv Rabicon.) in a factorial arrangement based on completely randomized design with four replications. Experimental treatments included organic fertilizers (vermicompost 20% v/v, spent mushroom 10% v/v and soil) and seed priming with promoting growth regulating bacteria (*Pseudomonas putida* P10, *Pseudomonas fluorescence* R159 and R150 and non-inoculated). At the end of growth stage, morphological traits (plant height, leaf number, crown diameter, leaf area, root length and volume, shoot fresh and dry weight), photosynthesis pigments (chlorophyll a, b, total and carotenoid), vitamin C, phenol, flavonoid and nitrate concentration were measured. The results indicated that the simple effects of substrate and bacterial strains inoculation were significant on traits including plant height, crown diameter, leaf area, root length and volume, shoot dry and fresh weights, chlorophyll a, b, total and carotenoid, vitamin C, phenol and flavonoid. Interaction of both factors had significant effects on leaf area, root length and volume, chlorophyll a and phenol. However, plants treated with vermicompost and *Pseudomonas fluorescence* R159 had higher values for both fresh and dry weight, phenol content and chlorophyll. Although some traits were higher in plants treated with compost and *Pseudomonas putida* P10 or vermicompost and *Pseudomonas putida* P10, but finally it seems that *Pseudomonas fluorescence* R159 has played a higher role in the final quantity and quality of lettuce.

**Keywords:** Chlorophyll, Vermicompost, Vitamin C, Spent mushroom, *Pseudomonas*.

1. Dept. of Hort. Sci., Univ. of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
1. Dept. of Soil. Sci., Univ. of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
* Corresponding Author, Email: Ha.fatemi@yahoo.com