

## تأثیر کاربرد باکتری‌های محرک رشد گیاه و ورمی‌کمپوست بر رشد و ترکیب شیمیایی

### دانهال‌های پسته (*Pistacia vera*)

وحید خسروی<sup>۱</sup>، عبدالرضا اخگر<sup>۲\*</sup>، پیمان عباس زاده دهجی<sup>۲</sup>

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۳/۰۷

تاریخ ارسال: ۱۳۹۷/۰۷/۲۷

#### چکیده

مدیریت حاصل‌خیزی خاک از طریق استفاده از کودهای زیستی یکی از اجزای حیاتی کشاورزی پایدار می‌باشد. امروزه استفاده از کودهای زیستی به‌عنوان جایگزین کودهای شیمیایی با هدف کاهش یا حذف مصرف آن‌ها با توجه به اثرات مخرب زیست‌محیطی کودهای شیمیایی در راستای نیل به کشاورزی پایدار افزایش یافته است. این تحقیق با هدف بررسی تأثیر کاربرد توام جدایه‌هایی از باکتری‌های سودوموناس فلورسنت و ورمی‌کمپوست بر رشد و ترکیب شیمیایی دانهال‌های پسته رقم قزوینی (*Pistacia vera* L. var. Qazvini) انجام گرفت. آزمون در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه ولی‌عصر رفسنجان و به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل ورمی‌کمپوست در سه سطح (صفر، دو و چهار درصد وزنی)، و باکتری در سه سطح (تلقیح با دو جدایه سودوموناس فلورسنت محرک رشد و بدون باکتری) بودند. نتایج نشان داد که کاربرد جدایه‌های باکتری باعث افزایش معنادار وزن خشک بخش هوایی، جذب فسفر، پتاسیم، کلسیم، و عناصر غذایی کم‌مصرف آهن، روی، منگنز و مس نسبت به شاهد شد. کاربرد جدایه D12 جذب فسفر و کلسیم بخش هوایی را به ترتیب ۱۸ و ۲۳ درصد نسبت به شاهد افزایش داد. همچنین کاربرد ورمی‌کمپوست سبب افزایش معنی‌دار جذب فسفر، پتاسیم، منیزیم و روی بخش هوایی در مقایسه با شاهد گردید. کاربرد تیمار چهار درصد وزنی ورمی‌کمپوست باعث افزایش ۲۰ درصدی جذب پتاسیم و همچنین افزایش ۲۸ درصدی منیزیم بخش هوایی شد. کاربرد توأم جدایه D12 و چهار درصد ورمی‌کمپوست باعث افزایش معنادار جذب آهن به میزان ۸۵ درصد گردید. در مجموع نتایج این پژوهش نشان داد که باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه و کود زیستی ورمی‌کمپوست و همچنین کاربرد توام آنها توانستند نقش مؤثرتری در رشد و تغذیه نهال‌های پسته داشته باشند.

**کلمات کلیدی:** سودوموناس فلورسنت، کشاورزی پایدار، کود زیستی، کود آلی

<sup>۱</sup> - دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان، ایران

<sup>۲</sup> - عضو هیات علمی گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان، ایران

\*نویسنده مسئول: akhgar@vru.ac.ir

## مقدمه

با توجه به جمعیت رو به رشد جهان و افزایش نیاز غذایی مردم، افزایش میزان تولید محصولات کشاورزی در واحد سطح امری ضروری و حیاتی محسوب می‌شود. به منظور افزایش میزان تولید و عملکرد در واحد سطح، اکثر کشاورزان به مصرف کودهای شیمیایی روی آورده‌اند. مشکلات زیست‌محیطی ناشی از کاربرد بی‌رویه کودهای شیمیایی، انرژی و هزینه‌های تولید و مصرف آن‌ها و اثرات سوئی که بر چرخه‌های زیستی و پایداری نظام‌های زراعی دارند، باعث شده که توجه به کاربرد کودهای زیستی معطوف گردد (۱۹).

کاربرد کودهای زیستی به‌ویژه باکتری‌های محرک رشد گیاه به‌جای مصرف کودهای شیمیایی از مهم‌ترین راهبردهای تغذیه‌ای در مدیریت پایدار بوم‌نظام‌های کشاورزی می‌باشد (۲۰). امروزه اهمیت کودهای زیستی نه به دلیل تأمین نیازهای گیاه، بلکه کاربرد آن‌ها از آن جهت که به محیط‌زیست آسیب نمی‌رساند و به بهبود کیفیت محصولات کشاورزی و در نتیجه سلامت مصرف‌کنندگان کمک می‌کند، از توجه ویژه‌ای برخوردار است (۲۵).

از جمله مهم‌ترین باکتری‌های محرک رشد که امروزه در کشاورزی مورد توجه قرار گرفته‌اند، می‌توان به باکتری‌های جنس سودوموناس با صفات محرک رشدی متفاوت اشاره کرد (۱۰). سودوموناس‌ها از مهم‌ترین باکتری‌های ریزوسفری هستند که به دلیل توانایی بالای آن‌ها در رقابت با سایر ریزجانداران برای عناصر غذایی و سازگاری سریع با شرایط محیطی مختلف، در بیش‌تر محیط‌ها مشاهده می‌شوند (۳۲). این باکتری‌ها توانایی استفاده از منابع متنوع کربنی را دارا هستند. مؤثرترین گروه از سودوموناس‌ها، سودوموناس‌های فلوروسنت هستند که به دلیل خصوصیات متابولیکی و عملکردی متنوع، نقش بارزی در بهبود حاصل‌خیزی و سلامت خاک ایفا می‌کنند (۲۶). این باکتری‌ها با تولید هورمون‌های گیاهی مانند اکسین، آنزیم ACC (aminocyclopropane-1-carboxylate) دامیناز، سیدروفور، اسیدهای آلی و سیانید هیدروژن موجب افزایش انحلال و فراهمی عناصر غذایی از جمله فسفر، آهن و روی در خاک می‌شوند (۱۰).

ورمی‌کمپوست یک کود آلی زیستی است که در اثر عبور مداوم و آرام مواد آلی در حال پوسیدگی از دستگاه گوارش گونه‌هایی از کرم‌های خاکی و دفع این مواد از بدن کرم، حاصل می‌شود (۲۰). این کود علاوه بر عناصر ماکرو مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم که در فعالیت‌های حیاتی گیاه نقش اساسی دارند، حاوی عناصر غذایی کم‌مصرف مانند آهن، مس، روی و منگنز نیز می‌باشد. استفاده از ورمی‌کمپوست در کشاورزی پایدار علاوه بر افزایش حمایت و فعالیت ریزجانداران مفید خاک مانند قارچ‌های میکوریز و ریزجانداران حل‌کننده فسفات در جهت فراهمی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم محلول عمل نموده و سبب بهبود رشد و عملکرد گیاهان زراعی می‌گردد (۱۱).

پسته (*Pistacia vera* L.) گیاهی نیمه‌گرمسیری از خانواده Anacardiaceae و جنس *Pistacia*، یکی از مهم‌ترین محصولات کشاورزی و سومین کالای صادراتی ایران است که از اهمیت اقتصادی ویژه‌ای برخوردار می‌باشد (۲۴). علاوه بر ارزش اقتصادی، پسته از نظر تغذیه‌ای نیز اهمیت ویژه‌ای در جهان دارد. تولید جهانی پسته در سال ۲۰۱۱، ۹۴۳ هزار تن گزارش شده که سهم ایران از این تولید بالغ بر ۴۷۲ هزار تن بوده است (۱۴). ایران در تولید و صادرات پسته مقام دوم را در جهان پس از آمریکا دارد (۱۴). درخت پسته مانند سایر گیاهان عالی برای رشد نرمال رویشی و زایشی به عناصر غذایی ضروری نیاز دارد. تعادل بین عناصر مختلف می‌تواند سلامت گیاه پسته و تولید محصول آن را تحت تأثیر قرار دهد (۳۰). بنابراین در این تحقیق سعی شده تا تأثیر کاربرد هم‌زمان کود زیستی میکروبی (جدایه‌هایی از سودوموناس فلورسنت محرک رشد گیاه) و کود آلی (ورمی‌کمپوست) بر بهبود تغذیه و در نتیجه رشد و نمو دانه‌های پسته مورد بررسی قرار گیرد.

## مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تأثیر کاربرد ورمی‌کمپوست و باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه و برهم‌کنش آن‌ها بر رشد و ترکیب شیمیایی دانه‌های پسته (*P. vera* L. var. Qazvini)، آزمایشی گلخانه‌ای به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارها شامل ورمی‌کمپوست در سه سطح (صفر، دو و چهار درصد وزنی) و باکتری در سه سطح (بدون باکتری (D0)، تلقیح با باکتری‌های سودوموناس فلورسنت، جدایه‌های D6 و D12) بودند. بذره‌های پسته رقم قزوینی از مؤسسه تحقیقات پسته کشور واقع در شهرستان رفسنجان و جدایه‌های باکتری جداسازی شده از ریزوسفر گیاهان پسته، از بانک باکتریایی گروه علوم خاک دانشگاه ولی‌عصر رفسنجان تهیه گردیدند. برخی ویژگی‌های محرک رشدی جدایه‌ها در جدول ۱، برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی ورمی‌کمپوست در جدول ۲ و برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمون گلخانه‌ای در جدول ۳ آمده است. خاک مورد استفاده در این پژوهش هوا خشک و از الک دو میلی‌متری عبور داده شد. بذره‌های پسته پس از جداسازی پوست سخت و ضدعفونی سطحی، برای جوانه‌دار شدن بر روی آب-آگار و درون انکوباتور نگهداری شدند. جدایه‌ها به مدت ۴۸ ساعت درون محیط کشت مایع King B بر روی دستگاه تکان‌دهنده در دمای ۲۸ درجه سلسیوس تکان داده شدند و پس از یکسان‌سازی جمعیت به عنوان مایه تلقیح مورد استفاده قرار گرفتند. در آزمون گلخانه‌ای از گلدان‌های پلاستیکی ۴ کیلوگرمی استفاده شد. قبل از پر کردن گلدان‌ها از خاک، ابتدا مقادیر ورمی‌کمپوست مربوط به هر تیمار کاملاً با خاک گلدان مخلوط گردید. قبل از کشت، رطوبت خاک گلدان‌ها با آب مقطر به ۷۰ درصد ظرفیت زراعی رسانده شد. در هر

جدول ۱- توان انحلال فسفر (تری‌کلسیم‌فسفات)، تولید سیدروفور و اکسین جدایه‌های سودوموناس فلور سنت مورد مطالعه (۲).

| تولید اکسین             | تولید سیدروفور      |           |         | فسفر انحلال توان |                         |                     | جدایه                   |
|-------------------------|---------------------|-----------|---------|------------------|-------------------------|---------------------|-------------------------|
|                         | (قطر هاله به کلونی) |           |         | pH               | (میکروگرم در میلی‌لیتر) |                     |                         |
| (میکروگرم در میلی‌لیتر) | روز ششم             | روز چهارم | روز دوم |                  |                         | (قطر هاله به کلونی) | (میکروگرم در میلی‌لیتر) |
| ۲/۹۹                    | ۲/۰۹                | ۲/۳۲      | ۲/۱۴    | ۴/۰۱             | ۷۰۵                     | ۱/۷۸                | D6                      |
| ۲/۳۸                    | ۲/۴۱                | ۲/۷۱      | ۲/۶۰    | ۳/۲۸             | ۶۵۶                     | ۱/۵۷                | D12                     |

گلدان تعداد هشت بذر جوانه‌دار شده کشت شد و هنگام کشت، به‌منظور اعمال تیمار باکتری، مقدار یک میلی‌لیتر از جدایه‌های کشت داده شده با جمعیت  $10^8$  CFU ml<sup>-1</sup> (۲۹) به عنوان مایه تلقیح به سطح هر بذر اضافه و برای گلدان‌های تیمار شاهد یک میلی‌لیتر محیط کشت بدون باکتری استفاده گردید. چهار هفته پس از کاشت، تعداد بوته‌ها به شش عدد در هر گلدان کاهش داده شد. گلدان‌ها با آب مقطر و به روش وزنی در حد ظرفیت زراعی آبیاری و به مدت چهار ماه در گلخانه نگهداری شدند.

برای برداشت ابتدا بخش هوایی گیاهان از محل طوقه قطع شد. نمونه‌ها پس از شست‌وشوی با آب مقطر به مدت ۴۸ ساعت در آون با درجه حرارت ۷۰ درجه سلسیوس قرار داده شدند تا وزن آن‌ها به حد ثابتی برسد. پس از توزین وزن خشک بخش هوایی، نمونه‌ها با آسیاب پودر شدند. برای تهیه عصاره، یک گرم از نمونه‌های پودر شده در دمای ۵۰۰ درجه سلسیوس به روش خشک سوزانی خاکستر شده و پس از هضم با اسید کلریدریک ۲ نرمال عصاره‌گیری انجام و عناصر غذایی در عصاره اندازه‌گیری شدند (۱۸).

تجزیه واریانس تمامی داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS صورت گرفت و مقایسه میانگین‌ها بر مبنای آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

## نتایج و بحث

### وزن خشک بخش هوایی

تجزیه واریانس اثر تیمار باکتری بر وزن خشک بخش هوایی در سطح پنج درصد معنادار شد (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین تأثیر جدایه‌ها بر وزن خشک بخش هوایی نشان داد که کاربرد جدایه‌های D6 و D12 باعث افزایش

جدول ۲- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی ورمی کمپوست مورد مطالعه.

| ویژگی                                    | مقدار |
|--|-------|
| pH                                       | ۷/۲۳  |
| قابلیت هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) | ۴/۵۰  |
| نیتروژن (درصد)                           | ۰/۵۶  |
| فسفر (درصد)                              | ۰/۳۸  |
| پتاسیم (درصد)                            | ۰/۲۶  |
| آهن (میلی‌گرم در کیلوگرم)                | ۲۲۱۸  |
| روی (میلی‌گرم در کیلوگرم)                | ۲۳۴   |
| منگنز (میلی‌گرم در کیلوگرم)              | ۲۴۹   |
| مس (میلی‌گرم در کیلوگرم)                 | ۳۸/۷۰ |

جدول ۳- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه.

| ویژگی  | مقدار |
|--|-------|
| رس (درصد)  | ۱۰    |
| سیلت (درصد)  | ۴۱    |
| شن (درصد)  | ۴۹    |
| بافت   | لوم   |
| pH   | ۷/۵۱  |
| قابلیت هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)                     | ۱/۹۷  |
| ماده آلی (درصد)  | ۰/۱۷  |
| نیتروژن (درصد)   | ۰/۰۴۹ |
| فسفر به روش اولسن (میلی‌گرم در کیلوگرم)                      | ۵/۲۳  |
| پتاسیم عصاره‌گیری شده با استات آمونیوم (میلی‌گرم در کیلوگرم) | ۳۵۰   |
| آهن عصاره‌گیری شده با DTPA (میلی‌گرم در کیلوگرم)             | ۳/۵۴  |
| مس عصاره‌گیری شده با DTPA (میلی‌گرم در کیلوگرم)              | ۳/۶۱  |
| روی عصاره‌گیری شده با DTPA (میلی‌گرم در کیلوگرم)             | ۳/۷۲  |
| منگنز عصاره‌گیری شده با DTPA (میلی‌گرم در کیلوگرم)           | ۳/۵۰  |
| کلسیم در عصاره اشباع (میلی‌اکی‌والان در لیتر)                | ۲۶    |
| منیزیم در عصاره اشباع (میلی‌اکی‌والان در لیتر)               | ۱۶/۴۰ |

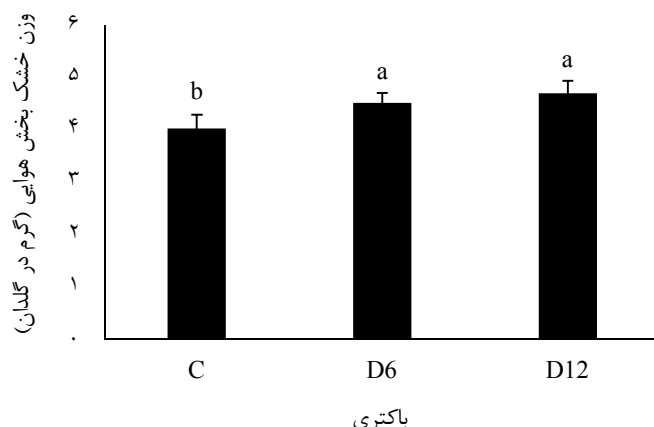
جدول ۴- تجزیه واریانس اثر باکتری و ورمی‌کمپوست بر وزن خشک و جذب عناصر پرمصرف و کم‌مصرف بخش هوایی پسته  
رقم قزوینی.

| منابع تغییر          | درجه آزادی | میانگین مربعات      |                   |                    |                    |                     |                    |                    |                   |                   |                    |
|----------------------|------------|---------------------|-------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
|                      |            | وزن خشک بخش هوایی   | نیترژن            | فسفر               | پتاسیم             | کلسیم               | منیزیم             | آهن                | روی               | منگنز             | مس                 |
| باکتری               | ۲          | ۱/۰۴*               | ۱۵۷ <sup>ns</sup> | ۴/۱۷*              | ۴۰۵*               | ۱۰/۹*               | ۴/۵۹ <sup>ns</sup> | ۵۴۳۰۵**            | ۳۱۸۳*             | ۱۹۵۸**            | ۱۳۵**              |
| ورمی‌کمپوست          | ۲          | ۰/۱۶۰ <sup>ns</sup> | ۱۹۳ <sup>ns</sup> | ۲۰/۱**             | ۲۹۰*               | ۰/۱۶۱ <sup>ns</sup> | ۱۹/۵*              | ۴۳۳۶ <sup>ns</sup> | ۳۳۴۱*             | ۲۸۲ <sup>ns</sup> | ۱/۴۶ <sup>ns</sup> |
| باکتری و ورمی‌کمپوست | ۴          | ۰/۲۵۰ <sup>ns</sup> | ۲۰۱ <sup>ns</sup> | ۲/۱۰ <sup>ns</sup> | ۶۴/۳ <sup>ns</sup> | ۳/۲۵ <sup>ns</sup>  | ۶/۰۳ <sup>ns</sup> | ۱۵۴۶۰*             | ۲۷۵ <sup>ns</sup> | ۳۶۳ <sup>ns</sup> | ۱۴/۵ <sup>ns</sup> |
| خطا                  | ۱۸         | ۰/۱۷۵               | ۱۹۲               | ۱/۱۳               | ۶۹/۷               | ۲/۸۵                | ۴/۶۹               | ۴۳۱۲               | ۹۰۹               | ۱۵۱               | ۱۲/۰               |
| CV                   | -          | ۹/۵                 | ۱۷/۵              | ۱۳/۱               | ۱۳/۴               | ۱۶/۱                | ۱۹/۲               | ۱۳/۰               | ۱۶/۳              | ۱۱/۴              | ۱۵/۸               |

\*، \*\* و <sup>ns</sup> به ترتیب معنادار بودن در سطح احتمال یک و پنج درصد و غیرمعنادار بودن

معنادار این شاخص زراعی به میزان ۱۲ و ۱۶ درصد نسبت به شاهد شد. البته بین دو تیمار باکتری اختلاف معناداری از لحاظ آماری مشاهده نشد (شکل ۱).

پژوهشگران افزایش وزن خشک گیاهان تلقیح شده با باکتری‌های PGPR ( Plant Growth Promoting Rhizobacteria) را به افزایش جذب عناصر ضروری مانند نیترژن و فسفر از طریق افزایش توسعه ریشه و در نتیجه رشد بهتر ربط داده‌اند. باکتری‌های PGPR از طریق تولید هورمون‌های گیاهی مانند اکسین، جیبرلین و سیتوکینین می‌توانند باعث بهبود رشد گیاه شوند (۱۳). محققان با بررسی تأثیر باکتری‌های محرک رشد بر میزان رشد و عملکرد گیاهچه‌های موز دریافتند که تلقیح با این باکتری‌ها باعث افزایش رشد رویشی و وزن خشک بخش هوایی گیاه شد (۲۲). پژوهشگران افزایش وزن خشک بخش هوایی دانه‌های گردو را در اثر تلقیح با باکتری سودوموناس گزارش کردند (۳۴). فریدیان و همکاران (۸) نشان دادند وزن خشک بخش هوایی گیاه گوجه فرنگی تلقیح شده با باکتری سودوموناس فلورسنت تفاوت مثبت و معناداری نسبت به شاهد بدون تلقیح داشت. همچنین گزارش شده است که تلقیح با دو جدایه برتر سودوموناس فلورسنت جدا شده از ریزوسفر گیاه پسته، وزن خشک بخش هوایی این گیاه را نسبت به شاهد به‌طور معناداری افزایش داد (۲).



شکل ۱- تأثیر کاربرد جدایه‌های باکتری بر وزن خشک بخش هوایی پسته رقم قزوینی.

C، D6 و D12 به ترتیب سطح بدون باکتری و تلقیح با جدایه‌های سودوموناس فلورسنت D6 و D12

### جذب عناصر غذایی در بخش هوایی

تجزیه واریانس تأثیر جدایه‌های باکتری، ورمی‌کمپوست و برهم‌کنش این دو تیمار بر جذب عناصر غذایی بخش هوایی در جدول ۴ آمده است. اثر جدایه‌های باکتری بر جذب فسفر، پتاسیم، کلسیم و روی در سطح پنج درصد و بر جذب آهن، منگنز و مس در سطح یک درصد، همچنین تأثیر ورمی‌کمپوست بر جذب فسفر در سطح یک درصد و بر جذب پتاسیم، منیزیم و روی در سطح پنج درصد معنادار شد. برهم‌کنش جدایه‌های باکتری و ورمی‌کمپوست نیز بر جذب آهن در سطح پنج درصد معنادار گردید.

نتایج مقایسه میانگین اثر تیمار باکتری و ورمی‌کمپوست بر جذب عناصر غذایی بخش هوایی به ترتیب در جدول‌های ۵ و ۶ ارائه شده است. نتایج مقایسه میانگین اثر تیمار باکتری نشان داد که بیشترین میزان جذب عناصر پرمصرف و کم‌مصرف مربوط به کاربرد جدایه D12 مربوط می‌شد. همچنین در مورد جذب این عناصر بین دو جدایه از لحاظ آماری اختلاف معناداری مشاهده نگردید. نتایج مقایسه میانگین اثر تیمار ورمی‌کمپوست نشان داد که کاربرد سطح چهار درصد وزنی باعث بیشترین جذب عناصر پرمصرف (به جز فسفر) و کم‌مصرف بخش هوایی نسبت به شاهد شد. همچنین بین سطوح چهار و دو درصد وزنی ورمی‌کمپوست در جذب عناصر تفاوت معناداری به لحاظ آماری مشاهده نگردید.

جدول ۵- مقایسه میانگین‌های وزن خشک و جذب عناصر پرمصرف و کم‌مصرف بخش هوایی پسته رقم قزوینی برای اثر تیمار باکتری.

| سطوح | وزن خشک<br>بخش هوایی | نیترژن | فسفر   | پتاسیم | کلسیم  | منیزیم | آهن  | روی  | منگنز | مس    | بakteri           |                   |
|------|----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|------|------|-------|-------|-------------------|-------------------|
|      |                      |        |        |        |        |        |      |      |       |       | میلی گرم در گلدان | میکروگرم در گلدان |
| D0   | ۴/۰۲b                | ۷۶/۹a  | ۷/۳۱b  | ۵۴/۶b  | ۹/۲۱b  | ۱۰/۴a  | ۴۱۹b | ۱۶۳b | ۹۰/۳b | ۱۷/۴b |                   |                   |
| D6   | ۴/۵۰a                | ۷۶/۲a  | ۸/۲۵ab | ۶۴/۳a  | ۱۰/۸ab | ۱۱/۵a  | ۵۲۱a | ۱۹۵a | ۱۱۳a  | ۲۴/۰a |                   |                   |
| D12  | ۴/۶۸a                | ۸۳/۸a  | ۸/۶۳a  | ۶۷/۵a  | ۱۱/۳a  | ۱۱/۸a  | ۵۷۱a | ۱۹۵a | ۱۱۷a  | ۲۴/۲a |                   |                   |

D0، D6 و D12 به ترتیب سطح بدون باکتری و تلقیح با جدایه‌های D6 و D12 میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک فاقد اختلاف معنادار در سطح پنج درصد به روش دانکن می‌باشند.

جدول ۶- مقایسه میانگین‌های وزن خشک و جذب عناصر پرمصرف و کم‌مصرف بخش هوایی پسته رقم قزوینی برای اثر تیمار ورمی‌کمپوست.

| سطوح | وزن خشک<br>بخش هوایی | نیترژن | فسفر  | پتاسیم | کلسیم | منیزیم | آهن  | روی  | منگنز | مس    | ورمی‌کمپوست |                   |
|------|----------------------|--------|-------|--------|-------|--------|------|------|-------|-------|-------------|-------------------|
|      |                      |        |       |        |       |        |      |      |       |       | (/)         | میلی گرم در گلدان |
| ۰    | ۴/۲۶a                | ۷۴/۰a  | ۶/۳۴b | ۵۵/۸b  | ۱۰/۳a | ۹/۹۹b  | ۴۷۸a | ۱۶۲b | ۱۰۲a  | ۲۱/۵a |             |                   |
| ۲    | ۴/۵۲a                | ۷۹/۵a  | ۸/۹۵a | ۶۳/۷ab | ۱۰/۳a | ۱۰/۹ab | ۵۱۳a | ۱۹۴a | ۱۰۵a  | ۲۱/۷a |             |                   |
| ۴    | ۴/۴۲a                | ۸۳/۳a  | ۸/۹۱a | ۶۶/۸a  | ۱۰/۶a | ۱۲/۸a  | ۵۱۹a | ۱۹۷a | ۱۱۳a  | ۲۲/۳a |             |                   |

۰، ۲ و ۴ به ترتیب سطح صفر، دو و چهار درصد وزنی ورمی‌کمپوست

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک فاقد اختلاف معنادار در سطح پنج درصد به روش دانکن می‌باشند.

نتایج مقایسه میانگین برهم‌کنش باکتری و ورمی‌کمپوست نشان داد بیشترین جذب آهن از کاربرد توأم چهار درصد وزنی ورمی‌کمپوست و جدایه D12 و به میزان ۸۵ درصد به‌دست آمد (شکل ۲). به‌نظر می‌رسد کاربرد باکتری در افزایش تأثیر سطوح ورمی‌کمپوست بر جذب آهن مؤثر بوده است.

باکتری‌های PGPR به‌صورت مستقیم در افزایش جذب نیترژن، ساختن هورمون‌های گیاهی، حل کردن عناصر معدنی مانند فسفر و تولید سیدروفورهای که آهن را کلاته می‌کنند و آن را به‌صورت قابل جذب درمی‌آورند، مؤثر



هستند (۱۲ و ۳۱). ریزجانداران خاک در شرایط کمبود آهن با ترشح سیدروفور که کمپلکس پایداری با آهن (III) تشکیل می‌دهد، آن را به صورت محلول و قابل دسترس درمی‌آورند (۲۱). افزایش مقدار جذب پتاسیم و کلسیم گیاه را می‌توان به تولید اکسین توسط جدایه‌های مورد آزمایش و نقش این هورمون در توسعه سیستم ریشه‌ای و به تبع آن افزایش جذب عناصر از خاک نسبت داد. توسعه سریع ریشه‌ها چه از طریق افزایش طول ریشه‌های ابتدایی و چه با ازدیاد ریشه‌های جانبی و نابجا، راه مناسبی برای گیاهچه‌های جوان است که توانایی خود را برای استقرار در خاک و جذب عناصر غذایی افزایش دهند (۲۳). پژوهشگران گزارش کردند باکتری‌های حل‌کننده فسفات، pH خاک را از طریق تولید انواع اسیدهای آلی کاهش می‌دهند و از این طریق سبب دسترسی بیشتر گیاه به فسفر و در نتیجه افزایش جذب این عنصر می‌شوند (۲۸). تلقیح دانه‌های گردو با باکتری *Pseudomonas chlororaphis* باعث افزایش جذب کل عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم بخش هوایی این گیاه گردید (۳۴). یانگ و همکاران (۳۳) افزایش فعالیت آنزیم فسفاتاز و به دنبال آن افزایش جذب فسفر در نتیجه تلقیح ذرت با یک باکتری حل‌کننده فسفات را گزارش کردند. بر اساس نتایج به دست آمده، غلظت فسفر، آهن، روی، منگنز و مس نهال‌های پسته تلقیح شده با جدایه‌های برتر سودوموناس فلورسنت نسبت به شاهد افزایش یافت (۲). نیکمهر و همکاران (۹) نیز در بررسی تأثیر سودوموناس‌های فلورسنت حل‌کننده فسفات بر جذب عناصر غذایی کنجد، به افزایش جذب فسفر، آهن، روی، منگنز و مس توسط این گیاه پی بردند. عباس‌زاده دهجی و همکاران (۶) در آزمایشی بر روی کلزا، افزایش جذب معنادر فسفر، پتاسیم، آهن، روی، منگنز و مس را در گیاهان تلقیح شده با سودوموناس‌های فلورسنت نسبت به شاهد گزارش کردند.

عناصر غذایی در ورمی‌کمپوست مانند پتاسیم محلول اغلب به شکلی هستند که معمولاً برای گیاه قابل استفاده می‌باشند (۳). هم‌چنین گزارش شده است درصد نیتروژن، فسفر و پتاسیم در فرآیند ورمی‌کمپوست‌شدن ضایعات افزایش می‌یابد (۱۵). در تحقیقی که روی گیاه نخود انجام شد، مشخص گردید مصرف سه تن در هکتار ورمی‌کمپوست باعث افزایش رشد، عملکرد بیولوژیک و جذب عناصر غذایی مانند فسفر نسبت به شاهد شد (۱۷). هم‌چنین گزارش شده است مصرف ورمی‌کمپوست باعث افزایش عملکرد و جذب فسفر در گوجه‌فرنگی نسبت به شاهد شد (۳۵). پژوهشگران گزارش کردند کاربرد ورمی‌کمپوست باعث افزایش رشد، میزان و کیفیت میوه و جذب عناصر غذایی از جمله پتاسیم در گیاه توت‌فرنگی شد (۲۵). شیخی و رونقی (۵) با مطالعه اثر ورمی‌کمپوست بر غلظت عناصر غذایی اسفناج متوجه شدند تیمارهای دو و ده درصد وزنی ورمی‌کمپوست به ترتیب باعث افزایش ۲۴/۵ و ۳۹/۲ درصدی غلظت منیزیم در مقایسه با تیمار شاهد شدند. دهدشتی زاده و همکاران (۴) با مطالعه سطوح مختلف ورمی‌کمپوست بر جذب عناصر غذایی گوجه‌فرنگی بیان کردند تیمار ۱۰۰ درصد حجمی ورمی‌کمپوست باعث افزایش معنادار جذب

جدول ۷- مقایسه میانگین‌های جذب آهن بخش هوایی پسته رقم قزوینی برای اثر تیمار باکتری و ورمی‌کمپوست (میلی‌گرم در گلدان).

| میانگین | سطوح ورمی‌کمپوست (درصد وزنی) |        |        | باکتری  |
|---------|------------------------------|--------|--------|---------|
|         | ۴                            | ۲      | ۰      |         |
| ۴۱۹ B   | ۳۹۹ dc                       | ۵۰۳ bc | ۳۵۴ d  | D0      |
| ۵۲۱ A   | ۵۰۳ bc                       | ۵۲۴ b  | ۵۳۷ b  | D6      |
| ۵۷۱ A   | ۶۵۵ a                        | ۵۱۲ bc | ۵۴۵ ab | D12     |
|         | ۵۱۹ A                        | ۵۱۳ A  | ۴۷۸ A  | میانگین |

D0، D6 و D12 به ترتیب سطح بدون باکتری و تلقیح با جدایه‌های سودوموناس فلورسنت D6 و D12 میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک فاقد اختلاف معنادار در سطح پنج درصد به روش دانکن می‌باشند.

عنصر روی نسبت به شاهد شد. در آزمایشی که بر روی گل‌گاوزبان انجام شد، مشخص گردید کاربرد تیمار کودی ۴۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست باعث بیشترین جذب عنصر روی در این گیاه نسبت به سایر تیمارها شد (۱).

### نتیجه‌گیری کلی

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که رشد رویشی دانه‌های پسته در اثر تلقیح با جدایه‌های سودوموناس فلورسنت دارای صفات محرک رشد افزایش یافت و سبب بهبود وضعیت تغذیه‌ای این گیاه شد. همچنین کاربرد ورمی‌کمپوست اثرات مثبت و قابل‌ملاحظه‌ای بر جذب عناصر غذایی توسط دانه‌های پسته داشت. تأثیر برهم‌کنش ورمی‌کمپوست و باکتری محرک رشد فقط بر جذب آهن معنادار بود، به طوری که باعث افزایش جذب این عنصر شد. به نظر می‌رسد این افزایش حاصل اثر هم‌افزایی بین باکتری محرک رشد و ورمی‌کمپوست باشد. به طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که کاربرد باکتری‌های محرک رشد و کود زیستی ورمی‌کمپوست هر یک به تنهایی می‌توانند نقش مؤثرتری در رشد و تغذیه نهال‌های پسته داشته باشند.

### منابع

۱- احمدآبادی، ز.، قاجار سپانلو، م. و بهمنیار، م. ع. ۱۳۹۰. تأثیر کاربرد ورمی‌کمپوست بر میزان عناصر غذایی کم‌مصرف در خاک و غلظت آن‌ها در گیاه گاوزبان (*Borago officinalis*). مجله به‌زراعی کشاورزی، دوره ۱۳ (۲)،

۱-۱۲.

- ۲- آذرمی، ف.، مظفری، و.، عباسزاده دهجی، پ. و حمیدپور، م. ۱۳۹۳. جداسازی باکتری‌های سودوموناس فلورسنس از ریزوسفر درختان پسته و تعیین برخی خصوصیات محرک رشدی آن‌ها. نشریه زیست‌شناسی خاک، جلد ۲ (۲)، ۱۸۶-۱۷۳.
- ۳- جهانی، م.، بشارتی، ح. و گلچین، ا. ۱۳۹۰. تأثیر کاربرد ورمی‌کمپوست‌های غنی شده بر درصد ظهور گیاهچه و وزن خشک بوته ذرت هیبرید سینگل کراس ۷۰۴. مجله پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب)، جلد ۲۵ الف (۱)، ۳۳-۳۸.
- ۴- دهدشتی زاده، ب.، آرویی، ح.، عزیزی، م. و داوری نژاد، غ. ۱۳۸۸. بررسی اثر سطوح مختلف ورمی‌کمپوست و عنصر معدنی فسفر بر رشد و نمو و جذب برخی از عناصر غذایی در نشاء گوجه‌فرنگی. مجله علوم باغبانی ایران، دوره ۴۰ (۳)، ۵۸-۴۹.
- ۵- شیخی، ج. و رونقی، ع. ۱۳۹۲. اثر شوری و کاربرد ورمی‌کمپوست بر غلظت عناصر غذایی و عملکرد اسفناج (رقم ویروفلی) در یک خاک آهکی. علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای، سال ۴ (۱۳)، ۹۲-۸۱.
- ۶- عباسزاده دهجی، پ.، اسدی رحمانی، ه.، خاوازی، ک.، سلطانی طولارود، ع.، اخگر، ع. و امیدواری، م. ۱۳۹۳. تأثیر سودوموناس‌های فلورسنت محرک رشد گیاه بر رشد و نمو کلزا. نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار. ۴ (۱): ۲۰۱-۲۱۷.
- ۷- علیخانی، ح. ع. ۱۳۸۵. پرورش کرم‌های مولد ورمی‌کمپوست و کشاورزی پایدار. انتشارات آبیژ، تهران.
- ۸- فریدیان، ل.، خسروی، ه.، فلاح، ع. ر. و لطف‌الهی، م. ۱۳۹۴. بررسی تأثیر تلقیح باکتری‌های محرک رشد بر شاخص‌های رشد گوجه‌فرنگی. نشریه زیست‌شناسی خاک، جلد ۳ (۱)، ۷۱-۵۹.
- ۹- نیک‌مهر، س.، اخگر، ع.، مداح‌حسینی، ش. و مظفری، و. ۱۳۹۳. تأثیر کاربرد سودوموناس‌های فلورسنت حل‌کننده فسفات و کود فسفوری بر رشد و جذب عناصر غذایی در گیاه کنجد. نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار، جلد ۴ (۳)، ۸۶-۶۱.
- 10- Abbas-Zadeh, P., Saleh-Rastin, N., Asadi-Rahmani, H., Khavazi, K., Soltani, A., Shoary-Nejati, A. and Miransari, M. 2010. Plant growth-promoting activities of fluorescent pseudomonads, isolated from the Iranian soils. *Acta physiologiae plantarum*, 32: 281-288.
- 11- Arancon, N. Q., Edwards, C. A., Atiyeh, R. and Metzger, J. D. 2004. Effects of vermicomposts produced from food waste on the growth and yields of greenhouse peppers. *Bioresource Technology*, 93: 139-144.

- 12- Bowen, G. and Rovira, A. 1999. The rhizosphere and its management to improve plant growth. *Advances in agronomy*, 66: 1-102.
- 13- Cakmakçi, R., Dönmez, F., Aydın, A. and Şahin, F. 2006. Growth promotion of plants by plant growth-promoting rhizobacteria under greenhouse and two different field soil conditions. *Soil Biology and Biochemistry*, 38: 1482-1487.
- 14- FAO. 2013. FAOSTAT. Retrieved from <http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/E>.
- 15- Garg, P., Gupta, A. and Satya, S. 2006. Vermicomposting of different types of waste using *Eisenia foetida*: A comparative study. *Bioresource Technology*, 97: 391-395.
- 16- Gupta, A. and Samnotra, R. 2004. Effect of biofertilizers and nitrogen on growth, quality and yield of cabbage (*Brassica oleracea* var capitata L.) cv Golden Acre. *Environment and Ecology*, 22: 551-553.
- 17- Jat, R. and Ahlawat, I. 2006. Direct and residual effect of vermicompost, biofertilizers and phosphorus on soil nutrient dynamics and productivity of chickpea-fodder maize sequence. *Journal of sustainable Agriculture*, 28: 41-54.
- 18- Jones, J. J. B. 2001. Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis. Boca Raton, CRC press.
- 19- Kannaiyan, S. 2002. Biofertilizers for sustainable crop production. *Biotechnology of Biofertilizers*. Narosa Publishing House, New Delhi, India: 9-49.
- 20- Kizilkaya, R. 2008. Yield response and nitrogen concentrations of spring wheat (*Triticum aestivum*) inoculated with *Azotobacter chroococcum* strains. *Ecological Engineering*, 33: 150-156.
- 21- Lioni, A., Deneubourg, J. L. and Detrain, C. 2002. Dynamics of aggregation and emergence of cooperation. *The Biological Bulletin*, 202: 262-267.
- 22- Mia, M. A. B., Shamsuddin, Z., Wahab, Z. and Marziah, M. 2010. Effect of plant growth promoting rhizobacterial (PGPR) inoculation on growth and nitrogen incorporation of tissue-cultured *Musa* plantlets under nitrogen-free hydroponics condition. *Australian Journal of Crop Science*, 4: 85.
- 23- Patten, C. L. and Glick, B. R. 2002. Role of *Pseudomonas putida* indoleacetic acid in development of the host plant root system. *Applied and Environmental Microbiology*, 68: 3795-3801.
- 24- Razavi, S. 2005. Pistachio production, Iran vs. the world. IV International Symposium on Pistachios and Almonds 7262005. 689-694.
- 25- Reddy, C. A. and Saravanan, R. S. 2013. Polymicrobial multi-functional approach for enhancement of crop productivity. *Adv Appl Microbiol*, 82: 53-113.
- 26- Saharan, B. S. and Nehra, V. 2011. Plant growth promoting rhizobacteria: a critical review. *Life Sciences and Medicine Research*, 21: 1-30.

- 27- Singh, R., Sharma, R., Kumar, S., Gupta, R. and Patil, R. 2008. Vermicompost substitution influences growth, physiological disorders, fruit yield and quality of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.). *Bioresource Technology*, 99: 8507-8511.
- 28- Sundara, B., Natarajan, V. and Hari, K. 2002. Influence of phosphorus solubilizing bacteria on the changes in soil available phosphorus and sugarcane and sugar yields. *Field Crops Research*, 77: 43-49.
- 29- Toro, M., Azcón, R. and Barea, J. M. 1998. The use of isotopic dilution techniques to evaluate the interactive effects of Rhizobium genotype, mycorrhizal fungi, phosphate-solubilizing rhizobacteria and rock phosphate on nitrogen and phosphorus acquisition by *Medicago sativa*. *New Phytologist*, 138: 265-273.
- 30- Uriu, K. and Pearson, J. 1983. Diagnosis and correction of nutritional problems, including the crinkle leaf disorder. *California Pistachio Industrial Annual Repeat*: 79.
- 31- Vessey, J. K. 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant and soil*, 255: 571-586.
- 32- Vyas, P. and Gulati, A. 2009. Organic acid production in vitro and plant growth promotion in maize under controlled environment by phosphate-solubilizing fluorescent *Pseudomonas*. *BMC microbiology*, 9: 1-15.
- 33- Yang, J., Kloepper, J. W. and Ryu, C.-M. 2009. Rhizosphere bacteria help plants tolerate abiotic stress. *Trends in plant science*, 14: 1-4.
- 34- Yu, X., Liu, X., Zhu, T.-H., Liu, G.-H. and Mao, C. 2012. Co-inoculation with phosphate-solubilizing and nitrogen-fixing bacteria on solubilization of rock phosphate and their effect on growth promotion and nutrient uptake by walnut. *European journal of soil biology*, 50: 112-117.
- 35- Zaller, J. G. 2007. Vermicompost as a substitute for peat in potting media: Effects on germination, biomass allocation, yields and fruit quality of three tomato varieties. *Scientia Horticulturae*, 112: 191-199.