



## Effects of Root Microbial Inoculation on Growth Indices of Almond (*Prunus dulcis*) Cuttings

Somayeh Ghasemi Pirbaloti<sup>1</sup>, Saheb Soodaie Mashaei<sup>1\*</sup> and  
Abdolrahman Mohammad-Khani<sup>2</sup>

1- Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Iran

2- Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Iran

\* Corresponding author, Email: [soodaie@sku.ac.ir](mailto:soodaie@sku.ac.ir)

(Received: 23 December 2024; Revised: 22 February 2025; Accepted: 1 March 2025)

### Abstract

**Background and Objective:** The depletion of soil organic matter coupled with environmental contamination resulting from the excessive application of chemical fertilizers has, in recent years, amplified interest in biofertilizers within the framework of sustainable soil management. Soil health and biological performance constitute among the most critical components of sustainable management in densely planted orchard systems. This study aimed to evaluate the efficacy of plant growth-promoting bacteria (PGPB) in enhancing the growth of almond (*Prunus dulcis*) cuttings under greenhouse conditions.

**Methods:** A randomized complete block design was employed, with ten treatments: inoculation with (T1: inoculation with *Paenibacillus* sp. bacteria; T2: inoculation with *Paenibacillus tundrae*; T3: inoculation with *Pseudomonas fluorescens*; T4: inoculation with *Pseudomonas baetica*; T5: inoculation with *Pseudomonas monteilii*; T6: inoculation with *Azotobacter chroococcum*; T7: inoculation with all bacterial isolates T1 to T6; T8: inoculation with all bacterial isolates T1 to T6 + 50% conventionally used chemical fertilizer; T9: application of 100% conventionally used chemical fertilizer and T10: control without bacterial inoculation). Plant growth indices and nutrient concentrations were assessed.

**Results:** The findings indicated that inoculation with *P. tundrae* (T2) increased leaf fresh weight by 34%, *P. fluorescens* (T3) boosted stem fresh weight by 33%, and a combination of all effective strains (T7) enhanced seedling height by 38% compared to the control. Moreover, *P. monteilii* (T5) significantly increased the number of leaves per seedling by 116%.

**Conclusion:** Overall, the study demonstrates the potential of the investigated PGPB, particularly *P. tundrae*, *P. fluorescens*, and *P. monteilii* are the most effective bacteria isolated from the almond rhizosphere regarding its ability to stimulate and enhance plant growth, suggesting its potential use in the formulation of biofertilizers.

**Keywords:** Almond, Bacterial inoculation, Soil microbial community, Plant growth promoter.

**How to Cite:** Ghasemi Pirbaloti, S., Soodaie Mashaei, S., Mohammad-Khani, A., 2025. Effects of root microbial inoculation on growth indices of almond (*Prunus dulcis*) cuttings. J. Soil Plant Interact. 16(1), 1–18 (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.47176/jspi.16.1.20822>





## اثر تلقیح میکروبی ریشه بر شاخص‌های رشد قلمه‌های بادام (*Prunus dulcis*)

سمیه قاسمی پیربلوطی<sup>۱</sup>، صاحب سودائی مشائی<sup>۱\*</sup> و عبدالرحمن محمدخانی<sup>۲</sup>

۱- گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، ایران

۲- گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، ایران

\* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: [soodaie@sku.ac.ir](mailto:soodaie@sku.ac.ir)

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۳؛ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۲/۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۱۱)

### چکیده

**پیشینه پژوهش و هدف:** کاهش ماده آلی خاک و آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از مصرف زیاد کودهای شیمیایی باعث شده تا در سال‌های اخیر در راستای مدیریت پایدار خاک، توجه به کودهای زیستی همواره افزایش یابد. سلامت و کارکرد زیستی خاک یکی از مهم‌ترین مؤلفه‌های مدیریت پایدار باغات متراکم است. این پژوهش به منظور ارزیابی توانایی باکتری‌های محرک رشد گیاه (PGPB) برای بهبود رشد قلمه‌های ریشه‌دار شده بادام (*Prunus dulcis*) در شرایط گلخانه انجام شد.

**روش‌ها:** آزمایش در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با ۱۰ تیمار آزمایشی (T1: تلقیح باکتری *Paenibacillus sp.*؛ T2: تلقیح *Paenibacillus tundrae*؛ T3: تلقیح *Pseudomonas fluorescens*؛ T4: تلقیح *Pseudomonas baetica*؛ T5: تلقیح *Pseudomonas monteilii*؛ T6: تلقیح *Azotobacter chroococcum*؛ T7: تلقیح همه سویه‌های باکتری T1 تا T6؛ T8: تلقیح همه سویه باکتری T1 تا T6 + ۵۰ درصد کود شیمیایی مورد استفاده به صورت مرسوم؛ T9: مصرف ۱۰۰ درصد کود شیمیایی مورد استفاده به صورت مرسوم و T10: شاهد بدون تلقیح باکتری) در چهار تکرار در شرایط گلخانه انجام شده و برخی شاخص‌های رشد و غلظت عناصر غذایی گیاه اندازه‌گیری شد.

**نتایج:** یافته‌ها نشان داد که تلقیح باکتری *P. tundrae* (T2) وزن تازه برگ را نسبت به شاهد (T10) ۳۴ درصد، تلقیح باکتری *P. fluorescens* (T3) وزن تازه ساقه را نسبت به شاهد (T10) ۳۳ درصد، و تلقیح ترکیب همه باکتری‌های کارآمد (T7) ارتفاع نهال را ۳۸ درصد نسبت به شاهد (T10) افزایش داد. همچنین تلقیح باکتری *P. monteilii* (T5) تعداد برگ در نهال را ۱۱۶ درصد نسبت به شاهد افزایش داد.

**نتیجه‌گیری کلی:** به‌طورکلی نتایج این پژوهش نشان داد که باکتری‌های مورد بررسی به‌ویژه باکتری‌های *P. tundrae*، *P. fluorescens* و *P. monteilii* از توانایی خوبی برای استفاده به‌عنوان کود زیستی برخوردار بوده و تلقیح این باکتری‌ها در بستر گیاه بادام منجر به افزایش رشد نهال‌های بادام شد.

**واژه‌های کلیدی:** بادام درختی، تلقیح باکتریایی، جامعه میکروبی خاک، محرک رشد گیاه.



## مقدمه

بادام (*Prunus amygdalus* L.) یکی از قدیمی‌ترین و مهم‌ترین میوه‌های خشک جهان است که تولید آن در سال‌های اخیر رو به افزایش است. در حال حاضر ۱۶۰ هزار هکتار از باغات ایران به تولید بادام اختصاص دارد (Eskandari Torbaghan and Khalili Torghabe, 2023). پایه گارنم (GN15) که ترکیبی از گونه‌های هلو و بادام است، به دلیل تحمل شوری و خشکی یکی از پایه‌های توصیه‌شده برای گیاه بادام درختی است (گنجی مقدم و زمانی پور، ۱۳۹۹). در ایران، استان چهارمحال و بختیاری در رتبه نخست تولید بادام قرار دارد. بادام دارای ارزش غذایی فراوانی بوده و حتی پوست بادام دارای ترکیبات ارزشمندی مانند لیگنین و پلی‌ساکاریدها است (Barreca et al., 2020). مصرف بادام موجب بهبود سطح کلسترول و قند خون می‌شود (Berryman et al., 2015).

خاک‌ها نقش عمده‌ای در چرخه عناصر غذایی داشته و مخزن تنوع زیستی هستند (Almagro et al., 2021). میکروب‌های خاک (به‌ویژه باکتری‌ها و قارچ‌های خاک) در تأمین کارکردهای چندگانه مانند تولید زیست‌توده، ذخیره‌سازی و چرخه عناصر غذایی، تصفیه و تبدیل آلاینده‌ها، ذخیره‌سازی کربن، حفظ و نفوذ آب، و تهویه خاک ضروری هستند (Torsvik and Ovreas, 2002). بنابراین، انتخاب روش‌های مدیریتی مناسب برای افزایش فراوانی باکتری‌ها و تنوع زیستی و بهبود ویژگی‌های خاک مانند میزان کربن آلی، غلظت عناصر غذایی، و ذخیره و فراهمی آب ضروری است و می‌تواند به پایداری درازمدت اکوسیستم کشاورزی منجر شود (Lujan Soto et al., 2021).

باکتری‌های محرک رشد گیاه گروهی از باکتری‌ها هستند که از راه مکانیسم‌های مستقیم و غیرمستقیم باعث تحرک رشد گیاه می‌شوند. مکانیسم‌های مستقیم شامل انحلال فسفات معدنی و معدنی کردن فسفات آلی به شکل قابل جذب برای گیاه، فراهم نمودن آهن با تولید سیدروفور، تثبیت نیتروژن مولکولی، تولید هورمون‌هایی مانند اکسین، جبرلیک اسید و سیتوکینین است (Nejati-Sini et al., 2024). از جمله مکانیسم‌های غیرمستقیم

باکتری‌های ریزوسفری و افزایش رشد گیاه می‌توان به رقابت با عوامل بیماری‌زای گیاهی، کنترل زیستی عوامل بیماری‌زای گیاهی و نیز راه‌اندازی مسیر مقاومت القایی سیستمیک اشاره کرد. این گروه از باکتری‌ها با تولید ترکیباتی مانند سیانیدیدروژن، کیتیناز، لیپاز و پروتئاز از رشد و گسترش بیمارگرهای گیاهی جلوگیری می‌کنند. همچنین باکتری‌های محرک رشد با تولید سیدروفورها آهن را از دسترس عوامل بیماری‌زای گیاهی خارج می‌کنند (Igihun and Babalola, 2018). آزمایش‌ها با باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن و حل‌کننده فسفات در ریزوسفر نشان‌دهنده افزایش رشد و عملکرد در زردآلو (Esitken et al., 2003)، بادام زمینی (Day et al., 2004)، سیب (Aslantaz et al., 2006)، بلوط و کاج (Garcia et al., 2004) هستند. از طرفی، در میان طیف متنوع باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه (PGPRs)، گونه‌های سودوموناس و باسیلوس پراکندگی گسترده‌ای داشته و بیشتر مورد بررسی قرار گرفته‌اند. پژوهش‌های مختلف نشان دادند که PGPR می‌تواند رشد گیاهان را تحریک کرده و عملکرد سیب، مرکبات، زغال اخته، توت، زردآلو و توت فرنگی را افزایش دهد (Ipak et al., 2014; Stickin et al., 2011; Arikan et al., 2016).

Thomas et al. (2022) تأثیر محرک‌های زیستی و کودهای زیستی بر ویژگی‌های بیوشیمیایی خاک و رشد نهال سیب را بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که با کاربرد ترکیبی محرک زیستی رشد خطی، رشد شعاعی پیوندک (۶/۶۶ میلی‌متر)، تعداد برگ در نهال، سطح برگ، طول ریشه، وزن تازه و خشک شاخساره، وزن تازه و خشک ریشه و کل زیست‌توده نهال‌های سیب به‌طور قابل توجهی افزایش یافت. همچنین این تیمار وضعیت عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم خاک و جمعیت قارچ‌ها، باکتری‌ها و اکتینومیسیت‌های ریزوسفر را به‌طور قابل توجهی بهبود بخشید (Thomas et al., 2022). Przybilko et al. (2021) اثر قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا (AMF) همراه با باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه (*Bacillus subtilis* BA41 و *Streptomyces spp.* SB19) را بر رشد و وضعیت تغذیه درختان

تلقیح شده، افزایش یافت. (Arikan and Pirlak (2016) با بررسی تأثیر باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه بر رشد، عملکرد و کیفیت آلبالو (*Prunus cerasus*) نشان دادند که باکتری-های *Bacillus mycoides* و *Bacillus subtilis* باعث افزایش عملکرد میوه، طول ساقه و سطح برگ نسبت به شاهد شد. آنها نتیجه گرفتند که این دو باکتری به تنهایی و یا به صورت ترکیبی پتانسیل بالایی برای افزایش عملکرد و رشد گیاه آلبالو دارد و از این رو، برای تقویت رشد در کشت گیلان نیز این باکتری‌ها را پیشنهاد دادند.

پرورش دهندگان بادام به این نتیجه رسیدند که اگرچه آبیاری فشرده، کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها باعث افزایش قابل توجهی در عملکرد در دهه‌های گذشته شده است، اما چنین اقداماتی اغلب منابع طبیعی را تخریب کرده و ممکن است توانایی اکوسیستم‌های کشاورزی را برای حفظ تولید مختل کند (Bobojonov et al., 2024; Lopus et al., 2010). با توجه به نیاز روزافزون به توسعه راهبردهای مدیریتی به منظور بهبود عملکرد اکولوژیکی خاک و تنوع زیستی، حفظ عملکردهای زیست محیطی، اجتماعی و اقتصادی سیستم‌های تولید بادام ضروری است. به طور خاص، بهره‌برداری بهینه از برهمکنش‌های مفید گیاه-میکروب مانند استفاده از کودهای زیستی حاوی باکتری-های محرک رشد گیاه می‌تواند فرصت‌هایی را برای افزایش بهره‌وری و در عین حال ترویج فرایندهای اکولوژیکی خاک طبیعی ارائه دهد (Thirkell et al. 2017). به همین منظور، هدف از این پژوهش، بررسی تأثیر باکتری‌های محرک رشد گیاه و مصرف کود شیمیایی (روش مرسوم پرورش قلمه بادام) بر شاخص‌های رشد قلمه بادام در شرایط گلخانه‌ای است.

### مواد و روش‌ها

آزمایش گلخانه‌ای در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با ۱۰ تیمار آزمایشی ( $T=10$ ) در چهار تکرار ( $n=4$ ) انجام شد. تیمارها شامل T1: تلقیح باکتری *Paenibacillus sp.*؛ T2: تلقیح *Paenibacillus tundrae*؛ T3: تلقیح *Pseudomonas*

سیب بررسی کردند. پس از ۴ سال تلقیح AMF + PGPR، سطح مقطع تنه درخت ۲۴ درصد بیشتر از شاهد شد و غلظت نیتروژن ( $7/8\%$ ) و منیزیم ( $64/2\%$ ) در برگ‌ها افزایش یافته و غلظت فسفر و پتاسیم کاهش یافت. از این رو آن‌ها نتیجه گرفتند که وضعیت تغذیه بهتر نیتروژن باعث رشد شدید درختان و جذب کارآمدتر منیزیم از توده خاک می‌شود، و از سوی دیگر این پژوهشگران غلظت کم‌تر فسفر در برگ درختان تلقیح شده را با اثر رقت توضیح دادند. (Izhar et al. (2018) نشان دادند که باکتری‌های ریزوسفری تلقیح شده به ریشه گیاه آلو، تعداد برگ در ساقه، قطر ساقه، طول ساقه، ارتفاع بوته، میزان کلروفیل برگ، غلظت عناصر پرمصرف و کم مصرف را به طور معنی دار نسبت به شاهد افزایش دادند. (Arikan et al. (2018) با بررسی تأثیر باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد بر جذب آهن در هلو (*Prunus persica*) در خاک‌های آهکی نشان دادند که باکتری‌های *Staphylococcus*، *Agrobacterium*، *Alcaligenes* و *Bacillus pantoaea* سبب افزایش میزان اسیدهای آلی برگ، فعالیت آنزیم فریک رداکتاز ریشه و برگ، و میزان آهن فعال در برگ هلو شدند. این باکتری‌ها پتانسیل زیادی در بهبود فراهمی آهن برای گیاهان دارند. همچنین نتایج این بررسی نشان داد که باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه مورد بررسی، می‌توانند با افزایش مکانیسم‌های بیوشیمیایی کنترل کننده دسترسی و حرکت آهن در ریزوسفر، انتقال آهن در ریشه و آوند چوبی، و دسترسی آهن در ریشه و برگ گیاهان، بر تغذیه آهن تأثیر بگذارند. (Eskandari et al. (2023) با بررسی ارزیابی سه گروه از باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه بر تحمل شوری پایه‌های GN15 بادام (*Prunus amygdalus* L) نشان دادند که استفاده از باکتری‌های افراطی دوست (اکستریموفیل) بومی محرک رشد گیاه به مقابله با تنش‌های زیستی و غیرزیستی کمک می‌کند. همچنین گیاهان تلقیح شده با باکتری‌های نمک دوست (هالوفیل) در مقایسه با سایر گیاهان تلقیح شده رشد بهتری داشتند. علاوه بر این، گیاهان مورد بررسی کلروفیل، قند و پروتئین بیشتری را انباشته کردند و وزن تازه و خشک شاخساره و ریشه در گیاهان

در پایان آزمایش و پس از گذشت شش ماه از زمان کاشت نهال بادام، ابتدا شاخساره نهال‌ها از محل طوقه قطع و وزن تازه شاخساره (برگ و ساقه) اندازه‌گیری شد. قطر طوقه، ارتفاع گیاه، تعداد برگ و سطح برگ‌ها در هر گلدان اندازه‌گیری شد. پس از آن ریشه‌ها از خاک خارج شده و پس از بررسی مورفولوژی ریشه‌ها، طول ریشه اصلی و هم چنین وزن تازه ریشه‌ها اندازه‌گیری شد. پس از شستشو (بخش هوایی و ریشه‌ها به‌طور جداگانه) در آون در دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شدند و پس از توزین جداگانه برگ، ساقه و ریشه‌های خشک شده، درصد ماده خشک نیز محاسبه شد. به‌منظور بررسی تأثیر باکتری‌های محرک رشد بر جذب عناصر غذایی توسط نهال بادام، تجزیه برگ گیاه انجام شد، برای این منظور نمونه‌ها توسط آسیاب برقی پودر شد. به منظور تهیه عصاره، یک گرم از نمونه‌های پودر شده ریشه و شاخساره در دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس به‌روش خشک‌سوزانی خاکستر شده و با استفاده از اسید کلریدریک دو نرمال عصاره‌گیری شد. عنصر نیتروژن به روش هضم تر با استفاده از روش کجلدال (۱/۰ گرم از نمونه آزمایشی توزین و به همراه اسید سولفوریک غلیظ در دمای ۳۶۰ درجه سلسیوس به همراه کاتالیزور هضم شده و سپس درصد نیتروژن به کمک دستگاه کجلدال اتوماتیک ۳۲۰۰ اندازه‌گیری شد (Goos, 1995). مقدار آهن، منگنز، مس و روی به وسیله دستگاه جذب اتمی (Kalra, 1997)، پتاسیم به وسیله فلیم فتومتر (Kalra, 1997) و فسفر به وسیله اسپکتروفتومتر (Kalra, 1997) اندازه‌گیری شد. همچنین شاخص کیفیت نهال (Seedling Quality Index) با رابطه (۱) محاسبه شد (Dickson et al., 1960).

$$SQI = \frac{\text{وزن خشک گیاه (g)}}{\frac{\text{وزن خشک شاخساره (g)} + \frac{\text{ارتفاع (cm)}}{\text{وزن خشک ریشه (g)}} \times \text{قطر طوقه (mm)}} \quad (1)$$

به‌منظور بررسی آماری نتایج حاصل از داده‌های پژوهش، ابتدا پیش شرط‌های تجزیه واریانس شامل همگن بودن واریانس خطا و توزیع نرمال باقی‌مانده‌ها بررسی و در صورت لزوم، تبدیل

*T4: fluorescens*؛ تلقیح *Pseudomonas baetica*؛ *T5*؛ تلقیح *Pseudomonas monteilii*؛ *T6*؛ تلقیح *Azotobacter chroococcum*؛ *T7*؛ تلقیح همه سویه‌های باکتری  $T_1$  تا  $T_6$ ؛ *T8*؛ تلقیح همه سویه باکتری  $T_1$  تا  $T_6$  + ۵۰ درصد کود شیمیایی مورد استفاده به‌صورت مرسوم؛ *T9*؛ مصرف ۱۰۰ درصد کود شیمیایی مورد استفاده به‌صورت مرسوم و *T10*؛ شاهد بدون تلقیح باکتری بودند. باکتری‌های محرک رشد از خاک محیط اطراف ریشه (ریزوسفر) درختان بادام از ارقام مامایی، سنگی و ربیع در استان چهارمحال و بختیاری جمع‌آوری، جداسازی و شناسایی شدند و برخی ویژگی‌های محرک رشد گیاه اندازه‌گیری شده این باکتری‌ها در جدول ۱ نشان داده شد (قاسمی پیربلوطی، ۱۴۰۳).

ابتدا قلمه‌هایی تک‌برگ با طول و قطر یکسان از پایه GN (شکل ۱) در گلخانه‌ای در روستای شوراب صغیر شهرستان سامان در شرایط استریل در بستر پرلیت به مدت ۲۱ روز قرار داده شد تا ریشه‌زایی انجام شود. پس از آماده‌سازی گلدان‌ها (استریل شده با الکل ۷۰ درصد)، مقدار پنج کیلوگرم خاک استریل شده (دو بار استریل در اتوکلاو با دمای ۱۲۱ درجه سلسیوس به مدت ۲۰ دقیقه) به ازای هر گلدان توزین و به گلدان اضافه شد. خاک مورد استفاده دارای بافت لومی، قابلیت هدایت الکتریکی ۰/۲۰ دسی‌زیمنس بر متر، pH برابر ۷/۰۳، کربن آلی ۰/۹۲ درصد، نیتروژن کل ۰/۰۷ درصد، فسفر و پتاسیم قابل دسترس به‌ترتیب ۱۱/۲ و ۲۷۲/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. برای اعمال تیمارهای آزمایش، یک قلمه ریشه‌دار شده پایه GN بادام به مدت ۲۰ دقیقه در ۱۵ میلی‌لیتر از محیط کشت تازه باکتریایی مایع با جمعیتی در حدود  $10^7$  تا  $10^8$  سلول در هر میلی‌لیتر (رشیدی و همکاران، ۱۳۹۳) قرار داده شدند و سپس در داخل گلدان مربوط به تیمار کشت شدند. برای اعمال تیمار کود شیمیایی، مقدار ۶ گرم از کود ۲۰-۲۰-۲۰ (NPK) به خاک داخل گلدان اضافه و مخلوط شد که در طول دوره رشد دو مرتبه استفاده گردید. تعداد آبیاری در تیمارهای فوق بر اساس نیاز آبی گیاه بادام با آب استریل شده برای مدت شش ماه در شرایط گلدانی اعمال شد.

جدول ۱. ویژگی‌های محرک رشد باکتری‌های تلقیح شده به قلمه‌های بادام در شرایط گلخانه

Table 1. Growth-promoting properties of bacteria inoculated into almond cuttings under greenhouse conditions

| تولید سیانید هیدروژن<br>براساس رنگ معرف<br>HCN production<br>based on reagent color | حل‌کنندگی کمی<br>فسفر<br>Quantitative P-<br>solubilizing<br>(mg L <sup>-1</sup> ) | حل‌کنندگی کیفی فسفر نسبت<br>قطر هاله به قطر کلنی<br>Qualitative P-solubilizing<br>by halo to colony diameter | تولید ایندول استیک<br>اسید<br>IAA production<br>(mg L <sup>-1</sup> ) | تثبیت<br>نیتروژن<br>N fixation<br>(μgN g <sup>-1</sup> ) | باکتری‌ها<br>Bacteria              |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|------------------------------------|
| Cream کرم                                                                           | –                                                                                 | 1.96                                                                                                         | 41.6                                                                  | 406                                                      | <i>Paenibacillus sp.</i>           |
| Cream کرم                                                                           | 50.5                                                                              | 3.16                                                                                                         | 66.1                                                                  | 157                                                      | <i>Paenibacillum tundrae</i>       |
| بدون تغییر<br>No change                                                             | 14.8                                                                              | 1.96                                                                                                         | 1863                                                                  | 94                                                       | <i>Pseudomonas<br/>fluorescens</i> |
| Cream کرم                                                                           | 12.5                                                                              | 1.53                                                                                                         | 276                                                                   | 282                                                      | <i>Pseudomonas baetica</i>         |
| آجری<br>Brick                                                                       | 59.7                                                                              | 1.85                                                                                                         | 28.2                                                                  | -                                                        | <i>Pseudomonas monteilii</i>       |
| بدون تغییر<br>No change                                                             | 99.6                                                                              | 1.84                                                                                                         | 34.8                                                                  | 251                                                      | <i>Azotobacter<br/>chroococcum</i> |

\* از تغییر رنگ اولیه زرد به کرم، نارنجی، قهوه‌ای روشن و آجری، شدت تولید HCN افزایش می‌یابد.

\* The intensity of HCN production increases as the initial yellow color changes to cream, orange, light brown, and brick.



شکل ۱. قلمه ریشه‌دار شده بادام و انتقال آن به گلدان بزرگ‌تر پس از اعمال تیمارها و تلقیح میکروبی

Fig. 1. Rooted almond cutting and its transfer to a larger pot after treatments and microbial inoculation.

## نتایج و بحث

### وزن تازه و خشک برگ

نتایج تجزیه واریانس صفات وزن تازه و خشک برگ نهال بادام در جدول ۲ نشان داده شده است. نتایج تجزیه واریانس نشان

داده‌ها با روش‌های معمول انجام گرفت. تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS (ver. 24) و در پایان مقایسه میانگین تیمارها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات اندازه‌گیری شده گیاه در تیمارهای مختلف آزمایش

Table 2. Variance analysis (mean square) of measured plant traits in different experimental treatments

| صفات                               | تیمار     | خطا آزمایش | ضریب تغییرات |
|------------------------------------|-----------|------------|--------------|
| Traits                             | Treatment | Error      | CV (%)       |
| Df                                 | 9         | 30         | -            |
| وزن تازه برگ Leaf fresh weight     | 0.801**   | 0.206      | 19.1         |
| وزن خشک برگ Leaf dry weight        | 0.194*    | 0.076      | 15.5         |
| وزن تازه شاخساره Stem fresh weight | 0.121     | 0.139      | 20.0         |
| وزن خشک شاخساره Stem dry weight    | 0.072     | 0.039      | 12.6         |
| وزن تازه ریشه Root fresh weight    | 1.03      | 0.611      | 23.6         |
| وزن خشک ریشه Root dry weight       | 0.161     | 0.113      | 19.3         |
| ارتفاع گیاه Plant height           | 29.9**    | 7.78       | 18.4         |
| تعداد برگ‌ها Leaves number         | 23.6**    | 3.94       | 20.5         |
| قطر طوقه Crown diameter            | 0.341     | 0.195      | 11.9         |
| کیفیت نهال Seedling quality        | 0.014     | 0.023      | 18.0         |
| غلظت نیتروژن N concentration       | 4.40**    | 0.317      | 26.6         |
| غلظت فسفر P concentration          | 0.002**   | 0.0001     | 10.01        |
| غلظت پتاسیم K concentration        | 0.046*    | 0.021      | 11.6         |
| غلظت آهن Fe concentration          | 6085**    | 2092       | 20.4         |
| غلظت روی Zn concentration          | 7.03**    | 2.03       | 9.65         |

\*\* و \* به ترتیب به مفهوم آثار معنی‌دار در سطوح احتمال ۱ و ۵ درصد است.

\*\* and \* denote significant effects at the 1 and 5 % probability levels, respectively.

افزایش ۲۰ درصدی نسبت به شاهد (T10) شد و کم‌ترین میزان آن مربوط به تیمار T1 (تلقیح باکتری *Paenibacillus sp.*) بود (جدول ۳). نتایج نشان داد که بین تیمار T1 (تلقیح *Paenibacillus sp.*) و تیمار T3 (تلقیح *P. fluorescens*) از نظر وزن خشک برگ تفاوت معنی‌داری مشاهده شد. همچنین بین تیمار T4 (تلقیح *P. baetica*) و T5 (تلقیح *P. monteilii*)، بین تیمار T1 (تلقیح *Paenibacillus sp.*) و T5 (تلقیح *P. monteilii*) و تیمار T5 (تلقیح *P. monteilii*) با تیمار T7 (تلقیح سویه همه باکتری‌های T1 تا T6) از نظر وزن خشک برگ تفاوت معنی‌داری مشاهده شد. تیمار T9 (مصرف ۱۰۰ درصد کود شیمیایی)، وزن تازه و خشک برگ کم‌تری نسبت به برخی تیمارها نشان داد که با توجه به بررسی وضعیت گیاه در طول دوره رشد، ب به نظر می‌رسد به دلیل ریزش برگ‌های نهال بادام در

داد اثر تیمار آزمایش بر وزن تازه و خشک برگ به ترتیب در سطوح احتمال ۱٪ ( $p < 0.01$ ) و ۵٪ ( $p < 0.05$ ) از نظر آماری معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین وزن تازه و خشک برگ در جدول ۳ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که بیشترین وزن تازه برگ (۳/۰۷ گرم) مربوط به تیمار T2 (تلقیح *Paenibacillus tundrae*) است، که باعث افزایش ۳۴ درصدی نسبت به شاهد (T10) شد و کم‌ترین وزن تازه برگ مربوط به تیمار T1 (تلقیح باکتری *Paenibacillus sp.*) بود. نتایج نشان داد که بین تیمار T1 (تلقیح *Paenibacillus sp.*) و تیمار T5 (تلقیح *P. monteilii*) و همچنین بین تیمار T2 (تلقیح *P. tundrae*) و تیمار T4 (تلقیح *P. baetica*) از نظر وزن تازه برگ تفاوت معنی‌داری وجود داشت. بیشترین وزن خشک برگ (۲/۱۴ گرم) مربوط به تیمار T5 (تلقیح *P. monteilii*) بود که باعث

**Table 3.** Effect of bacterial inoculates and chemical fertilizers on growth indices of almond cuttings under greenhouse conditions

| تیمارها   | وزن تازه برگ          | وزن خشک برگ         | وزن تازه ساقه         | وزن خشک ساقه        | وزن تازه ریشه         | وزن خشک ریشه        | ارتفاع گیاه       | تعداد برگ     | قطر طوقه            | کیفیت نهال       |
|-----------|-----------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|-------------------|---------------|---------------------|------------------|
| Treatment | Leaf fresh weight (g) | Leaf dry weight (g) | Stem fresh weight (g) | Stem dry weight (g) | Root fresh weight (g) | Root dry weight (g) | Plant height (cm) | Leaves number | Crown diameter (mm) | Seedling quality |
| T1        | 1.5±0.081e            | 1.3±0.054c          | 1.7±0.072ab           | 1.4±0.043ab         | 2.3±0.168b            | 1.4±0.038b          | 11±0.707d         | 4.7±0.47d     | 3.3±0.13b           | 0.81±0.02b       |
| T2        | 3.0±0.139a            | 1.6±0.161bc         | 1.8±0.165ab           | 1.5±0.061abc        | 3.1±0.239ab           | 1.7±0.104ab         | 13±1.1bed         | 9.5±0.95bc    | 3.7±0.16ab          | 0.88±0.03ab      |
| T3        | 2.7±0.084abc          | 1.9±0.093ab         | 2.1±0.102a            | 1.5±0.047ab         | 3.2±0.321ab           | 1.8±0.218ab         | 18±1.2ab          | 10±0.85bc     | 3.7±0.15ab          | 0.79±0.05b       |
| T4        | 1.7±0.223de           | 1.5±0.184bc         | 1.8±0.127ab           | 1.6±0.127ab         | 3.6±0.291ab           | 1.6±0.098ab         | 12±1.03cd         | 8±0.81bc      | 3.4±0.14b           | 0.85±0.03ab      |
| T5        | 2.8±0.431ab           | 2.1±0.127a          | 1.9±0.250ab           | 1.5±0.156ab         | 3.5±0.456ab           | 1.7±0.184ab         | 17±1.6ab          | 16±1.4a       | 4.2±0.34a           | 0.85±0.08ab      |
| T6        | 2.2±0.176bcde         | 1.7±0.098abc        | 1.5±0.031b            | 1.4±0.134ab         | 2.4±0.143b            | 1.4±0.052b          | 12±1.1cd          | 10±1.1b       | 3.4±0.14b           | 0.81±0.04b       |
| T7        | 2.3±0.179abcd         | 1.6±0.106bc         | 1.9±0.061ab           | 1.6±0.085b          | 3.9±0.336ab           | 2.1±0.198a          | 19±1.5a           | 10±1.1bc      | 4.2±0.31a           | 0.87±0.04ab      |
| T8        | 2.5±0.229abc          | 1.9±0.14ab          | 2.0±0.126ab           | 1.7±0.072a          | 4.0±0.631a            | 1.9±0.131ab         | 18±1.5a           | 10±0.85bc     | 3.7±0.27ab          | 0.84±0.08b       |
| T9        | 2.05±0.153cde         | 1.6±0.151bc         | 1.7±0.095ab           | 1.6±0.049ab         | 3.2±0.417ab           | 1.6±0.141ab         | 16±1.4ab          | 7.2±1.1cd     | 3.4±0.14b           | 0.73±0.03b       |
| T10       | 2.2±0.3bed            | 1.7±0.185abc        | 1.5±0.257b            | 1.3±0.099c          | 3.7±0.198ab           | 1.8±1.71ab          | 13±1.3bcd         | 7.7±0.85bcd   | 3.5±0.27ab          | 0.92±0.11a       |

در هر ستون میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک فاقد تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵ درصد می‌باشند. (n=۴)

Means with the same letters in each column and each group indicate no significant difference based on Duncan's test at 5% level (n=4).

تلقیح باکتری : *Paenibacillus tundrae*؛ T2: تلقیح  
*Pseudomonas fluorescens*؛ T3: تلقیح  
*Pseudomonas baetica*؛ T4: تلقیح  
*Pseudomonas monteilii*؛ T5: تلقیح  
*Azotobacter chroococcum*؛ T6: تلقیح  
 همهمه؛ T7: تلقیح

سوپه‌های باکتری T1 تا T8؛ تلقیح همه سوپه باکتری T<sub>۱</sub> تا T<sub>۶</sub> + ۵۰ درصد کرد شیمیایی مورد استفاده به‌صورت مرسوم؛ T9: مصرف ۱۰۰ درصد کرد شیمیایی مورد استفاده بدون تلقیح باکتری؛ T10: شاهد بدون تلقیح باکتری

(T1: *Paenibacillus* sp., T2: *Paenibacillus tundræ*, T3: *Pseudomonas fluorescens*, T4: *Pseudomonas baetica*, T5: *Pseudomonas monteilii*, T6: *Azotobacter chroococcum*, T7: all bacterial inoculates T1 to T6, T8: all bacterial inoculates T1 to T6 + 50% conventionally used chemical fertilizer, T9: application of 100% conventionally used chemical fertilizer and T10: control without inoculation).

طول دوره رشد به سبب بیماری باشد. هم راستا با نتایج این پژوهش، در پژوهش توماس و همکاران (۲۰۲۱) نیز کاربرد همزمان ترکیبات محرک زیستی گیاه بر صفاتی مانند رشد خطی، رشد شعاعی پیوندک (۶/۶۶ میلی‌متر)، تعداد برگ در نهال، سطح برگ، طول ریشه، وزن تازه و خشک شاخساره، وزن تازه و خشک ریشه و کل زیست‌توده نهال‌های سیب تأثیر قابل توجهی داشت. همچنین استفاده از این تیمارها وضعیت عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم خاک و جمعیت قارچ‌ها، باکتری‌ها و اکتینومیسست‌های ریزوسفر را به‌طور قابل توجهی بهبود بخشید (Thomas et al., 2022).

### وزن تازه و خشک ساقه

نتایج مقایسه میانگین وزن تازه و خشک ساقه در جدول (۳) نشان داده شده است. با توجه به جدول (۳) بیشترین وزن تازه ساقه (۲/۱۱ گرم) مربوط به تیمار T3 (تلقیح *P. fluorescens*) بود که باعث افزایش ۳۳ درصدی نسبت به شاهد (T10) شد و از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با تیمار T9 (مصرف ۱۰۰ درصد کود شیمیایی) نشان نداد و کم‌ترین مقدار آن مربوط به تیمار شاهد (T10) بود. نتایج نشان داد که بین T3 (تلقیح *P. fluorescens*) با تیمار T6 (تلقیح *A. chroococcum*) تفاوت معنی‌دار وجود داشت. بیشترین وزن خشک ساقه (۱/۷۵ گرم) مربوط به تیمار T8 (تلقیح سویه همه باکتری‌ها + ۵۰ درصد کود شیمیایی) که باعث افزایش ۲۴ درصدی نسبت به شاهد (T10) شد و کم‌ترین مقدار آن مربوط به تیمار شاهد (T10) بود. نتایج نشان داد تفاوت معنی‌داری بین همه تیمارها با شاهد (T10) وجود داشت (جدول ۳).

### وزن تازه و خشک ریشه

نتایج مقایسه میانگین وزن تازه و خشک ریشه در جدول (۳) نشان داده شده است. نتایج نشان داد که بیشترین وزن تازه ریشه (۴/۰ گرم) مربوط به تیمار T8 (تلقیح سویه همه باکتری‌ها + ۵۰ درصد کود شیمیایی) بود که باعث افزایش ۶/۳۸ درصدی نسبت به شاهد (T10) شد و از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با تیمار

T9 (مصرف ۱۰۰ درصد کود شیمیایی) نشان نداد و کم‌ترین مقدار آن مربوط به تیمار T1 (تلقیح باکتری *Paenibacillus sp.*) بود. با توجه به جدول (۳) بین تیمار T7 (تلقیح سویه همه باکتری‌های T1 تا T6) با تیمار T1 (تلقیح باکتری *Paenibacillus sp.*) تفاوت معنی‌دار وجود داشت. بیشترین وزن خشک ریشه (۲/۱۳ گرم) در تیمار T7 (تلقیح سویه همه باکتری‌های T1 تا T6) بود که باعث افزایش ۱۴/۵۱ درصد نسبت به تیمار شاهد (T10) شد. همچنین کم‌ترین مقدار وزن خشک ریشه (۱/۴ گرم) مربوط به تیمار T6 (تلقیح *A. chroococcum*) بود (جدول ۳). نتایج نشان داد که بین تیمار T6 (تلقیح *A. chroococcum*) با تیمار T7 (تلقیح سویه همه باکتری‌های T1 تا T6) تفاوت معنی‌دار وجود داشت. اکسین یک فیتوهورمون است که در بزرگ شدن سلول، شروع رشد ریشه و تقسیم سلولی نقش دارد. بنابراین، فعالیت‌های تولید اکسین ریزجاندانان برای رشد گیاه بسیار مهم است. علاوه بر این، ریزجاندانان تولیدکننده اکسین می‌توانند رشد ریشه و همچنین طول ریشه گیاهان را بهبود بخشند، که سطح ریشه بیشتری را تشکیل می‌دهد و گیاه را قادر می‌سازد تا عناصر غذایی بیشتری از خاک دریافت کند (Kudoyarova et al., 2019).

### ارتفاع گیاه

با توجه به نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) اثر تیمار آزمایش بر صفت ارتفاع گیاه معنی‌دار شد ( $p < 0/01$ ). نتایج مقایسه میانگین نشان داد (جدول ۳) که بیشترین ارتفاع گیاه (۱۹ سانتی‌متر) در تیمار T7 (تلقیح سویه همه باکتری‌های T1 تا T6) بود که باعث افزایش ۳۸ درصد نسبت به تیمار شاهد (T10) شد و از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با تیمار T9 (مصرف ۱۰۰ درصد کود شیمیایی) نشان نداد (شکل ۲). همچنین کم‌ترین مقدار ارتفاع گیاه (۱۱ سانتی‌متر) مربوط به تیمار T1 (تلقیح *P. sp.*) بود. نتایج نشان داد که بین تیمار T1 (تلقیح *Paenibacillus sp.*) و تیمار T3 (تلقیح *P. fluorescens*) تفاوت معنی‌داری وجود داشت. همچنین بین تیمار T3 (تلقیح *P. fluorescens*) و T4 (تلقیح *P. baetica*),



شکل ۲. نمایی از ارتفاع نهال‌های بادام تحت تأثیر تیمار T7 (تلقیح همه سویه‌های باکتری T1 تا T6) و T8 (تلقیح همه سویه باکتری T1 تا T6 + ۵۰ درصد کود شیمیایی مورد استفاده به صورت مرسوم) در شرایط گلدانی

Fig. 2. View of almond seedlings height affected by T7 (inoculation of all bacterial strains T1 to T6) and T8 (inoculation of all bacterial strains T1 to T6 + 50% conventionally used chemical fertilizer) treatments in pot conditions.

### تعداد برگ

براساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲)، اثر تیمار آزمایش بر صفت تعداد برگ معنی دار شد ( $p < 0.01$ ). نتایج مقایسه میانگین نشان داد (جدول ۳) که بیشترین تعداد برگ (۱۶/۷) در تیمار T5 (تلقیح *P. monteilii*) بود که باعث افزایش ۱۱۶ درصد نسبت به تیمار شاهد (T10) شد. همچنین کمترین مقدار تعداد برگ (۴/۷) مربوط به تیمار T1 (تلقیح *Paenibacillus sp.*) بود. بین تیمار T5 (تلقیح *P. monteilii*) با همه تیمارها تفاوت معنی دار وجود داشت (جدول ۳). باتوجه به اینکه در تیمار T5 از باکتری *P. monteilii* استفاده شد که بیشترین تولید سیانید هیدروژن را داشته است بنابراین می‌توان گفت سیانید هیدروژن در ریزوسفر آثار مختلفی در گیاهان دارد. سیانید هیدروژن از یک سو برای قارچ‌ها

تفاوت معنی دار مشاهده شد (جدول ۳). کاربرد همه سویه‌های باکتری با سازوکارهایی مانند تولید هورمون‌های افزایش‌دهنده رشد (از جمله اکسین، جیبرلین و سیتوکنین) باعث افزایش تقسیم سلول‌های ساقه شده و ارتفاع گیاه بادام را افزایش داده است. در یک بررسی، ایزهار و همکاران (Izhar et al., 2018) نشان دادند باکتری‌های ریزوسفری تلقیح شده به ریشه گیاه آلو، تعداد برگ در ساقه، قطر ساقه، طول ساقه، ارتفاع بوته، میزان کلروفیل برگ، غلظت عناصر پرمصرف و کم‌مصرف را به طور معنی دار نسبت به شاهد افزایش داد. پژوهشگران بیان کرده‌اند از آنجایی که باکتری‌های محرک رشد سبب افزایش طول و سطح ریشه گیاه می‌شوند، در نتیجه به دلیل دسترسی بیشتر به آب و عناصر غذایی، رشد گیاه افزایش می‌یابد.

## غلظت عناصر غذایی در برگ نهال‌ها

### ۱- غلظت نیتروژن

نتایج تجزیه واریانس غلظت نیتروژن در جدول (۲) نشان داده شده است. نتایج نشان داد که تیمارهای آزمایش تأثیر معنی‌داری بر غلظت نیتروژن داشتند ( $p < 0.01$ ). نتایج مقایسه میانگین غلظت نیتروژن در شکل (۳) نشان داده شده است. با توجه به شکل (۳) بیشترین غلظت نیتروژن (۳/۶۹ درصد) در تیمار T2 (تلقیح *P. tundrae*) بود که باعث افزایش ۳۱۴ درصد نسبت به شاهد (T10) شد و کم‌ترین مقدار آن (۰/۸۹ درصد) در تیمار T9 (مصرف ۱۰۰ درصد کود شیمیایی، شاهد مثبت) وجود داشت. همچنین تفاوت معنی‌دار بین T5 (تلقیح *P. monteilii*) با همه تیمارها به جز تیمار T1 (تلقیح سویه *Paenibacillus sp.*، T2 (تلقیح *P. tundrae*)، T3 (تلقیح *P. fluorescens*)، و T4 (تلقیح *P. baetica*)، وجود داشت (شکل ۳). پژوهش‌های مختلف نشان دادند که باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن می‌توانند عملکرد را به‌طور قابل توجهی افزایش داده، حاصلخیزی خاک و ساختار جامعه میکروبی خاک را بهبود بخشیده، و همچنین به‌طور قابل توجهی بر میزان پروتئین گیاه تأثیر بگذارند (Guoxing et al., 2020). افزایش غلظت نیتروژن و عملکرد زیاد گیاه به وضعیت نیتروژن خاک و توانایی تثبیت نیتروژن باکتری‌ها وابسته است (Rubio et al., 2013). در پژوهشی پس از گذشت چهار سال از زمان تلقیح باکتری‌های محرک رشد و قارچ میکوریز آربسکولار (AMF + PGPR)، سطح مقطع تنه درخت ۲۴ درصد بیشتر از شاهد مشاهده شد و غلظت نیتروژن (۷/۸٪) و منیزیم (۶۴/۲٪) در برگ‌ها افزایش و میزان فسفر و پتاسیم کاهش یافت. از این‌رو پژوهشگران نتیجه گرفتند که تغذیه بهینه نیتروژن باعث رشد شدید درختان و جذب کارآمدتر منیزیم از توده خاک می‌شود (Przybilko et al., 2021). پژوهشگران اثبات کردند که باکتری‌های آزادی تثبیت‌کننده نیتروژن، نقش مهمی در افزایش فراهمی نیتروژن برای گیاه دارند و با تولید متابولیت‌های ثانویه، به‌ویژه هورمون‌های گیاهی و اکزوپلی‌ساکاریدهایی که در کودهای شیمیایی وجود ندارد، می‌توانند مکمل کودهای شیمیایی باشند

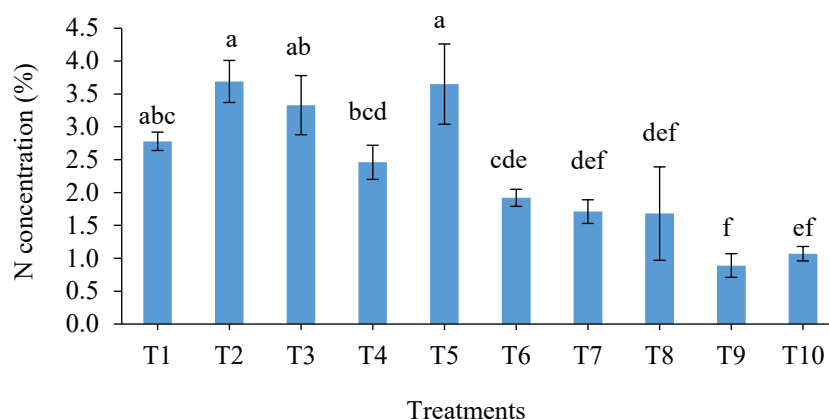
ماده‌ای سمی است و از سوی دیگر متابولیسم گیاه را تحت تأثیر قرار داده و باعث ایجاد ریشه‌های موین می‌شوند (O'Sullivan and O'Gara, 1992) و در نتیجه با بهبود جذب آب و عناصر غذایی بر تعداد برگ گیاه می‌تواند مؤثر باشد.

### قطر طوقه

نتایج مقایسه میانگین قطر طوقه در جدول (۳) نشان داده شده است. نتایج نشان داد که بیشترین قطر طوقه (۴/۲۷ میلی‌متر) در تیمار T7 (تلقیح سویه همه باکتری‌های T1 تا T6) بود که باعث افزایش ۲۰/۲ درصد نسبت به تیمار شاهد (T10) شد. کم‌ترین قطر طوقه (۳/۳۲ میلی‌متر) مربوط به تیمار T1 (تلقیح *P. sp.*) بود. علاوه بر این، بین تیمار T5 (تلقیح *P. monteilii*) با تیمار T1 (تلقیح *Paenibacillus sp.*) تفاوت معنی‌دار وجود داشت (جدول ۳). بین تیمار T7 (تلقیح سویه همه باکتری‌های T1 تا T6) با تیمار T1 (تلقیح *Paenibacillus sp.*) نیز تفاوت معنی‌دار وجود داشت (جدول ۳).

### کیفیت نهال

نتایج نشان داد (جدول ۳) که کیفیت نهال (۰/۹۲۸) در تیمار شاهد (T10) نسبت به برخی تیمارها بهتر بوده که از لحاظ آماری با تیمار T2 (تلقیح *Paenibacillus tundrae*)، T4 (تلقیح *Pseudomonas baetica*)، T5 (تلقیح *Pseudomonas monteilii*) و T7 (تلقیح همه سویه‌های باکتری T1 تا T6) تفاوت معنی‌داری نداشت. کم‌ترین مقدار کیفیت نهال (۰/۷۳۶) در تیمار T9 با مصرف ۱۰۰ درصد کود شیمیایی (شاهد مثبت) حاصل شد. همچنین بین تیمار T5 (تلقیح *P. monteilii*) با تیمار T1 (تلقیح *Paenibacillus sp.*) تفاوت معنی‌دار مشاهده شد (جدول ۳). نیتروژن، فسفر و پتاسیم از عناصر غذایی ضروری برای رشد و نمو گیاهان عالی هستند. در پژوهشی نشان داده شد که پس از تلقیح سویه‌های باکتریایی تثبیت‌کننده نیتروژن، افزایش جذب نیتروژن توسط گیاه می‌تواند جذب همزمان فسفر و پتاسیم را افزایش دهد و در نتیجه رشد نهال را بهبود بخشد (Wei et al., 2024).



شکل ۳. اثر تیمارهای تلقیح باکتریایی بر غلظت نیتروژن (N) در برگ نهال بادام در شرایط گلخانه‌ای

**Fig. 3.** Effect of bacterial inoculation treatments on nitrogen (N) concentration of almond seedling leaves under greenhouse conditions.

میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد براساس آزمون دانکن می‌باشند.

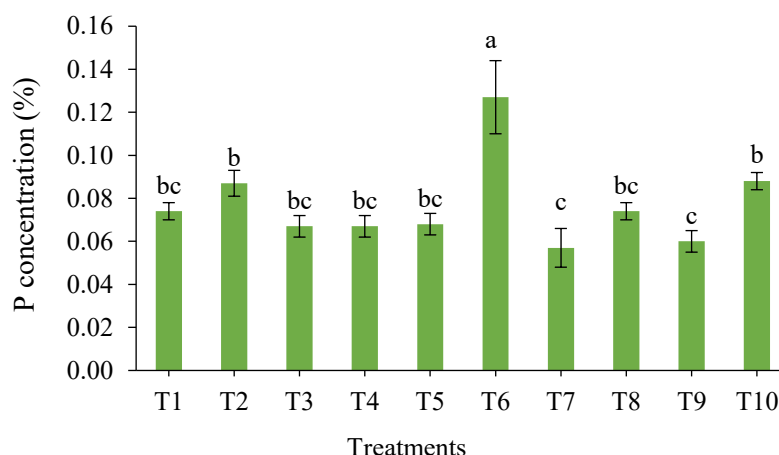
Means with the same letters in each column and each group indicate no significant difference based on Duncan's test at 5% level (n=4). (T1: *Paenibacillus* sp.; T2: *Paenibacillus tundrae*; T3: *Pseudomonas fluorescens*; T4: *Pseudomonas baetica*; T5: *Pseudomonas monteilii*; T6: *Azotobacter chroococcum*; T7: all bacterial inoculates T1 to T6; T8: all bacterial inoculates T1 to T6 + 50% conventionally used chemical fertilizer; T9: application of 100% conventionally used chemical fertilizer and T10: control without inoculation).

*A. chroococcum* (۹۹/۶ میلی‌گرم بر لیتر) همخوانی دارد. همچنین بین تیمار T2 (تلقیح *P. tundrae*) با تیمار T7 (تلقیح سویه همه باکتری‌های T1 تا T6) و تیمار T9 (مصرف ۱۰۰ درصد کود شیمیایی (شاهد مثبت) تفاوت معنی‌دار وجود داشت. افزایش جذب عناصر غذایی در ریزوسفر با تولید اسیدهای آلی همراه بوده که باعث کاهش pH محلول خاک شده و در نتیجه باعث افزایش دسترسی گیاه به عناصری مانند آهن، منگنز، کلسیم و فسفر می‌شود (Gaird and Gaur, 1989). (Li et al. (2022). آثار باکتری‌های ریزوسفری سودوموناس بر جذب و استفاده از فسفر و بهبود ساختار ریشه نهال‌های سیب را تحت تنش خشکی بررسی کرده و نشان دادند که تحت تنش خشکی، تلقیح باکتری سودوموناس، رشد و فعالیت ریشه را تا ۶ درصد افزایش داد و جذب فسفر را بهبود بخشید. در نتیجه رشد نهال سیب در تنش - های آبی ملایم و متوسط افزایش یافت. علاوه بر این، تلقیح این باکتری میزان فسفر کل را در گیاهان تحت تنش خشکی ملایم و متوسط، افزایش داد. به‌طور کلی، استفاده از سودوموناس یک رویکرد امیدوارکننده برای افزایش تولید سیب در سیستم‌های

(Hindersah et al., 2020). برخی از گونه‌های باکتری *Paenibacillus* به‌عنوان باکتری‌های محرک رشد گیاه شناخته شده است که با بهبود تثبیت نیتروژن اتمسفری، حل‌کنندگی فسفر و جذب آهن توسط گیاه در خاک و همچنین تولید هورمون گیاهی به‌طور مستقیم به رشد گیاهان کمک می‌کند (Liakas et al., 2025).

## ۲- غلظت فسفر

براساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) تیمارهای آزمایش تأثیر معنی‌داری ( $p < 0.01$ ) بر غلظت فسفر داشتند. نتایج مقایسه میانگین غلظت فسفر در شکل ۴ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که بیشترین غلظت فسفر (۰/۱۲۷ درصد) در تیمار T6 (تلقیح *A. chroococcum*) بود که باعث افزایش ۴۴/۳ درصد نسبت به شاهد (T10) و کم‌ترین مقدار آن (۰/۰۸۸ درصد) در تیمار شاهد (T10) وجود داشت. نتایج نشان داد تفاوت معنی‌دار بین تیمار T6 (تلقیح *A. chroococcum*) با همه تیمارها وجود داشت، که این با بیشترین میزان تولید کمی فسفر در سویه



شکل ۴. اثر تیمارهای تلقیح باکتریایی بر غلظت فسفر (P) در برگ نهال بادام در شرایط گلخانه‌ای

**Fig. 4.** Effect of bacterial inoculation treatments on phosphorus (P) concentration in almond seedling leaves under greenhouse conditions.

میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد براساس آزمون دانکن می‌باشند.

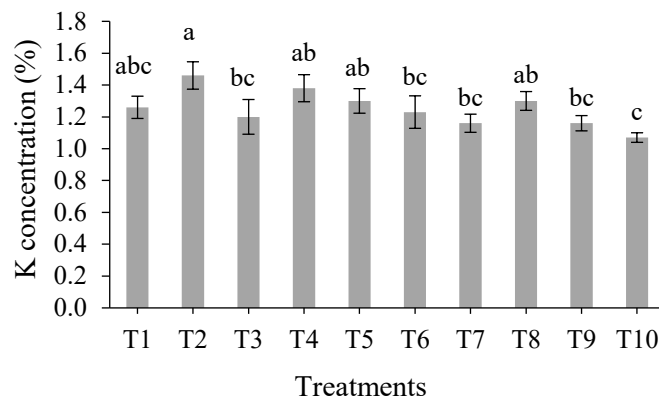
Means with the same letters in each column and each group indicate no significant difference based on Duncan's test at 5% level (n=4). (T1: *Paenibacillus* sp.; T2: *Paenibacillus tundrae*; T3: *Pseudomonas fluorescens*; T4: *Pseudomonas baetica*; T5: *Pseudomonas monteilii*; T6: *Azotobacter chroococcum*; T7: all bacterial inoculates T1 to T6; T8: all bacterial inoculates T1 to T6 + 50% conventionally used chemical fertilizer; T9: application of 100% conventionally used chemical fertilizer and T10: control without inoculation).

درصد) در تیمار شاهد (T10) وجود داشت. نتایج نشان داد بین تیمار T2 (تلقیح *P. tundrae*) با تیمار T3 (تلقیح *P. fluorescens*)، تیمار T6 (تلقیح *A. chroococcum*)، تیمار T7 (تلقیح سویه همه باکتری‌های T1 تا T6)، تیمار T9 (مصرف ۱۰۰ درصد کود شیمیایی (شاهد مثبت) و شاهد (T10) تفاوت معنی‌دار وجود داشت (شکل ۵). (Izhar et al., 2018) باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد ریزوسفر آلو را جداسازی و شناسایی کردند. آن‌ها در مجموع ۹۵ باکتری ریزوسفری جداسازی و از بین آن‌ها ۴۰ سویه براساس ویژگی‌های مورفولوژیک و بیوشیمیایی جداسازی نمودند. سویه‌های انتخاب‌شده دارای فعالیت آنزیمی لیتیک قوی بودند و قادر به تولید آمونیاک، سیدروفور، هیدروژن سیانید همراه با قابلیت انحلال فسفات بودند. باکتری‌های ریزوسفری تلقیح‌شده غلظت عناصر پرمصرف و کم‌مصرف را به‌طور معنی‌دار نسبت به شاهد افزایش دادند. نتایج این پژوهشگران با نتایج پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد.

کشاورزی است (Li et al., 2022). جنس‌های باسیلوس و سودوموناس به همراه ازتوباکترها به‌عنوان شناخته‌شده‌ترین باکتری‌های حل‌کننده فسفات‌های نامحلول محسوب می‌شوند (علیخانی و همکاران، ۱۴۰۱). در پژوهش حافظ و همکاران (۲۰۱۶)، سویه *A. vinelandii* توانست ۴۳ درصد فسفر خاک فسفات در کشور مصر را حل نماید. در پژوهش دیگری مشخص شد که تولید پلی‌ساکاریدهای برون‌سلولی توسط ازتوباکتر، عامل اصلی انحلال تری‌کلسیم فسفات بود (Yi et al., 2008).

### ۳- غلظت پتاسیم

نتایج تجزیه واریانس غلظت پتاسیم در جدول (۲) نشان داده شده است. نتایج نشان داد که اثر تیمار آزمایش بر غلظت پتاسیم تأثیر معنی‌دار داشت ( $p < 0.05$ ). براساس نتایج مقایسه میانگین غلظت پتاسیم در شکل ۵، بیشترین غلظت پتاسیم (۱/۴۶ درصد) در تیمار T2 (تلقیح *P. tundrae*) بود که باعث افزایش ۳۶/۴ درصدی نسبت به شاهد (T10) شد و کم‌ترین مقدار آن (۱/۷

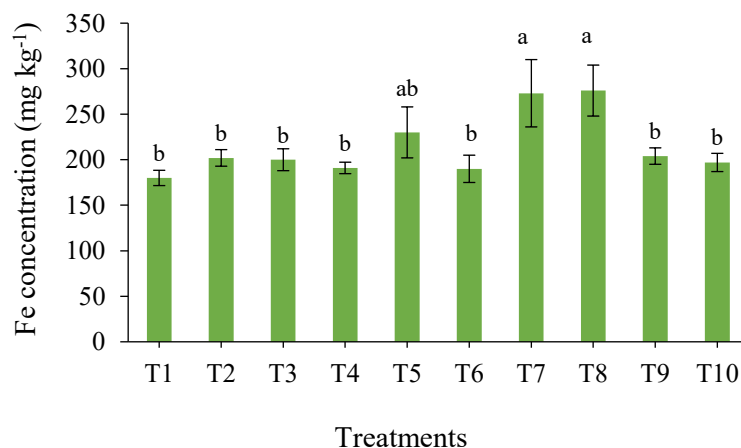


شکل ۵. اثر تیمارهای تلقیح باکتریایی بر غلظت پتاسیم (K) در برگ نهال بادام در شرایط گلخانه‌ای

**Fig. 5.** Effect of bacterial inoculation treatments on potassium (K) concentration in almond seedling leaves under greenhouse conditions.

میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد براساس آزمون دانکن می‌باشند.

Means with the same letters in each column and each group indicate no significant difference based on Duncan's test at 5% level (n=4). (T1: *Paenibacillus* sp.; T2: *Paenibacillus tundrae*; T3: *Pseudomonas fluorescens*; T4: *Pseudomonas baetica*; T5: *Pseudomonas monteilii*; T6: *Azotobacter chroococcum*; T7: all bacterial inoculates T1 to T6; T8: all bacterial inoculates T1 to T6 + 50% conventionally used chemical fertilizer; T9: application of 100% conventionally used chemical fertilizer and T10: control without inoculation).



شکل ۶. اثر تیمارهای تلقیح باکتریایی بر غلظت آهن (Fe) در برگ نهال بادام در شرایط گلخانه‌ای

**Fig. 6.** Effect of bacterial inoculation treatments on iron (Fe) concentration in almond seedling leaves under greenhouse conditions.

میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد براساس آزمون دانکن می‌باشند.

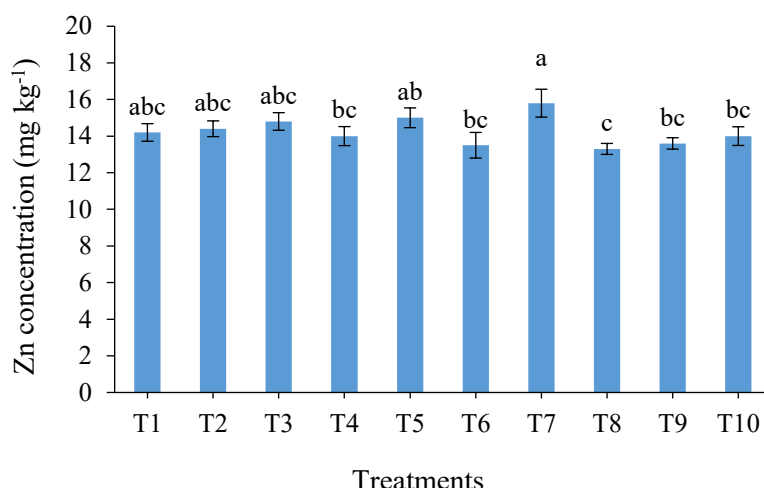
Means with the same letters in each column and each group indicate no significant difference based on Duncan's test at 5% level (n=4). (T1: *Paenibacillus* sp.; T2: *Paenibacillus tundrae*; T3: *Pseudomonas fluorescens*; T4: *Pseudomonas baetica*; T5: *Pseudomonas monteilii*; T6: *Azotobacter chroococcum*; T7: all bacterial inoculates T1 to T6; T8: all bacterial inoculates T1 to T6 + 50% conventionally used chemical fertilizer; T9: application of 100% conventionally used chemical fertilizer and T10: control without inoculation).

#### ۴- غلظت آهن

( $p < 0.01$ ) بوده است. نتایج مقایسه میانگین غلظت آهن در شکل

۶ نشان داد که بیشترین غلظت آهن (۲۷۶ میلی گرم در کیلوگرم) در تیمار T8 (تلقیح سویه همه باکتری‌ها + ۵۰ درصد کود

نتایج تجزیه واریانس غلظت آهن در جدول (۲) نشان داده شده است. نتایج نشان داد که اثر تیمارها بر غلظت آهن معنی‌دار



شکل ۷. اثر تیمارهای تلقیح باکتریایی بر غلظت روی (Zn) برگ نهال بادام در شرایط گلخانه‌ای

**Fig. 7.** Effect of bacterial inoculation treatments on zinc (Zn) concentration on almond seedling leaves under greenhouse conditions. میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد براساس آزمون دانکن می‌باشند.

Means with the same letters in each column and each group indicate no significant difference based on Duncan's test at 5% level (n=4). (T1: *Paenibacillus* sp.; T2: *Paenibacillus tundrae*; T3: *Pseudomonas fluorescens*; T4: *Pseudomonas baetica*; T5: *Pseudomonas monteilii*; T6: *Azotobacter chroococcum*; T7: all bacterial inoculates T1 to T6; T8: all bacterial inoculates T1 to T6 + 50% conventionally used chemical fertilizer; T9: application of 100% conventionally used chemical fertilizer and T10: control without inoculation).

دسترسی آهن در ریشه و برگ گیاهان بر تغذیه آهن تأثیر بگذارد. همچنین باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه می‌تواند بر جذب آهن در خاک، ریشه و برگ گیاهان اثر بگذارد (Arikan et al., 2018).

#### ۵- غلظت روی

نتایج تجزیه واریانس غلظت روی در جدول (۲) نشان داده شده است. نتایج نشان داد که اثر تیمارها بر غلظت روی معنی‌دار ( $p < 0.01$ ) بوده است. نتایج مقایسه میانگین غلظت روی در شکل ۷ نشان داد که بیشترین غلظت روی (۱۵/۸ میلی گرم در کیلوگرم) در تیمار T7 (تلقیح سویه همه باکتری‌های T1 تا T6) بود که باعث افزایش ۱۲/۸ درصد نسبت به شاهد (T10) شد و کم‌ترین مقدار آن (۱۳/۳ میلی گرم در کیلوگرم) در T8 (تلقیح سویه همه باکتری‌ها + ۵۰ درصد کود شیمیایی) وجود داشت. همچنین بین تیمار T7 (تلقیح سویه همه باکتری‌های T1 تا T6) با تیمار T8 (تلقیح سویه همه باکتری‌ها + ۵۰ درصد کود شیمیایی) تفاوت معنی‌دار وجود داشت. نتایج Sitken et al. (2010) نشان داد که

شیمیایی) باعث افزایش ۴۰/۱ درصد نسبت به شاهد (T10) شد و کم‌ترین مقدار آن (۱۸۰ میلی گرم در کیلوگرم) در تیمار T1 (تلقیح *Paenibacillus* sp.) بود. نتایج نشان داد که بین تیمار T7 (تلقیح سویه همه باکتری‌های T1 تا T6) و تیمار T8 (تلقیح سویه همه باکتری‌ها + ۵۰ درصد کود شیمیایی) تفاوت معنی‌دار با شاهد (T10) وجود داشت. همچنین بین تیمار T8 (تلقیح سویه همه باکتری‌ها + ۵۰ درصد کود شیمیایی) با تیمار T1 (تلقیح *Paenibacillus* sp.) و تیمار T4 (تلقیح *P. baetica*) تفاوت معنی‌دار وجود داشت (شکل ۶). (Arikan et al. (2018) نشان دادند باکتری‌های *Agrobacterium*، *Alcaligenes*، *Bacillus*، *Pantoea* میزان اسیدهای آلی برگ، فعالیت آنزیم فریک رداکتاز ریشه و برگ، و میزان آهن فعال در برگ هلو را افزایش داده و پتانسیل زیادی در بهبود دسترسی آهن برای گیاهان دارند. نتایج این پژوهش نشان داد که باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه مورد استفاده می‌توانند با افزایش مکانیسم‌های بیوشیمیایی کنترل‌کننده‌ی فراهمی و حرکت آهن در ریزوسفر، انتقال آهن در ریشه و آوند چوبی و

### نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش حاکی است افزودن و تلقیح باکتری‌های محرک رشد بر گیاه بادام، منجر به افزایش نسبی رشد نهال آن از راه بهبود تغذیه گیاه، افزایش جذب عناصر غذایی مانند فسفر، آهن و نیتروژن و تولید هورمون اکسین در شرایط گلخانه شد. با این وجود اثر باکتری بر رشد بادام به گونه آن بستگی داشت. بر این اساس، استفاده از پتانسیل باکتری‌های محرک رشد در باغات بادام نه تنها به کاهش مصرف کودهای شیمیایی و هزینه تولید کمک خواهد کرد بلکه در تولید پایدار بادام و خاک نیز می‌تواند مؤثر واقع شود. در نهایت، با توجه به آثار متفاوت باکتری‌های استفاده شده در این پژوهش، به نظر می‌رسد اثر افزایشی تلقیح ترکیبی باکتری‌ها در افزایش شاخص‌های رشدی نهال بادام بیشتر بوده است، هرچند تلقیح هر باکتری به‌طور جداگانه هم روی غلظت عناصر غذایی برگ تأثیر داشته است. درک چگونگی کارکرد، تنوع و توزیع اکولوژیک و برهمکنش باکتری‌ها با محیط، به‌منظور بررسی سازگاری این عوامل و موفقیت آن‌ها در افزایش رشد درخت بادام در مناطق بادام‌خیز استان چهارمحال و بختیاری برای تولید محصول سالم اهمیت دارد.

### تشکر و سپاسگزاری

در انجام این پژوهش، حمایت مالی خاصی از مؤسسات عمومی، صنعتی و غیرانتفاعی دریافت نشده است.

### تضاد منافع

نویسندگان مقاله اذعان دارند هیچ‌گونه تضاد منافی با شخص، شرکت یا سازمانی برای این پژوهش ندارند.

استفاده از باکتری‌های محرک رشد باعث افزایش معنی‌دار عملکرد میوه، رشد گیاه و غلظت فسفر و روی برگ شد که با نتایج پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد. افزایش جذب عناصر کم-مصرف در اثر تلقیح با باکتری‌های محرک رشد به‌دلیل توسعه ریشه و گسترش تارهای کشنده توسط هورمون‌های تولیدشده توسط باکتری‌ها است (Stamenov et al., 2021).

پژوهش‌های زیادی در مورد اثربخشی تلقیح ترکیبی باکتری‌ها در افزایش رشد رویشی و جذب عناصر غذایی برگ در گونه‌های مختلف گیاهی گزارش شده است که با نتایج پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد. تلقیح ترکیبی باکتری سودوموناس و باسیلوس در مقایسه با کاربرد مجزای آن‌ها افزایش بیشتری در غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم به‌ترتیب با ۲/۰۰، ۰/۱۷ و ۰/۴۳ درصد در مقایسه با تیمار شاهد داشتند (Rostamikia et al., 2024). در نهایت استفاده از باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه را، به‌عنوان یکی از بهترین راهکارها برای افزایش حاصلخیزی در خاک‌های قلیایی پیشنهاد کردند. بنابراین سویه‌های جداسازی شده از ریزوسفر بادام در این پژوهش را می‌توان به‌عنوان کودهای زیستی بالقوه و نیز به‌عنوان عوامل کنترل زیستی به‌دلیل تولید سیانید هیدروژن و ترکیبات دیگر مورد استفاده قرار داد. عوامل غیرزیستی مانند ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و عوامل زیستی مانند وجود رقابت بین باکتری‌ها و رشد ریشه گیاه در محیط می‌تواند فعالیت باکتری‌ها را محدود کند. همچنین برخی پژوهشگران با بررسی جمعیت باکتری‌ها در زمان‌های مختلف پس از تلقیح، نشان دادند که جمعیت برخی گونه‌های باکتری‌های محرک رشد گیاه در فاصله پنج تا ۱۰ هفته پس از تلقیح ثابت بوده و یا به‌کندی افزایش می‌یابد (El-hawary et al., 2002).

### منابع مورد استفاده

### References

1. Alikhani, H. A., Shariati, S., Etesami, H., Fallah Nosrat Abad, A., 2022. *Azotobacter* as a rice plant (*Oryza sativa* L.) growth promoting biofertilizer. Iranian J. Soil Water Res. 53(3), 633–661. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2022.337184.669182>.
2. Almagro, M., Ruiz-Navarro, A., Díaz-Pereira, E., Albaladejo, J., Martínez-Mena, M., 2021. Plant residue chemical quality modulates the soil microbial response related to decomposition and soil organic carbon and nitrogen stabilization in a rainfed Mediterranean agroecosystem. Soil Biol. Biochem. 156, 108198. <https://doi.org/10.1016/J.SOILBIO.2021.108198>.

3. Arian, Ş., Pirlak, L., 2016. Effects of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on growth, yield and fruit quality of sour cherry (*Prunus cerasus* L.). *Erwerbs-obstbau*. 58(4), 221–226. <https://doi.org/10.1007/s10341-016-0278-6>.
4. Arian, Ş., Eşitken, A., İpek, M., Aras, S., Şahin, M., Pirlak, L., Turan, M., 2018. Effect of plant growth promoting rhizobacteria on Fe acquisition in peach (*Prunus persica* L.) under calcareous soil conditions. *J. Plant Nutr.* 41(17), 2141–2150. <https://doi.org/10.1080/01904167.2018.1482910>.
5. Aslantaş, R., Çakmakçı, R., Şahin, F., 2007. Effect of plant growth promoting rhizobacteria on young apple tree growth and fruit yield under orchard conditions. *Sci. Hortic.* 111(4), 371–377.
6. Barreca, D., Nabavi, S.M., Sureda, A., Rasekhian, M., Raciti, R., Silva, A.S., Annunziata, G., Arnone, A., Tenore, G.C., Süntar, İ., Mandalari, G., 2020. Almonds (*Prunus Dulcis* Mill. D. A. Webb): A source of nutrients and health-promoting compounds. *Nutrients*. 12(3), 672. <https://doi.org/10.3390/nu12030672>.
7. Berryman, C. E., West, S. G., Fleming, J. A., Bordi, P. L., Kris-Etherton, P. M., 2015. Effects of daily almond consumption on cardiometabolic risk and abdominal adiposity in healthy adults with elevated LDL-cholesterol: a randomized controlled trial. *J. Am. Heart Assoc.* 4(1), e000993.
8. Bobojonov, O., Hussein, A. R., Hajray, A. O., Hani, M. M., Ahjel, S., Lawas, A. M., Kadhim, A. J., Al- Musawi, S. G., Kamalova, M., Hamroev, H.F., Khabiba, J., Ugli, A. K. M., 2024. Alleviating salinity stress in almond plants through *Rhizophagus irregularis* inoculation: A greenhouse study. *J. Nuts*. 4(15), 367–376.
9. Dey, R. K. K. P., Pal, K. K., Bhatt, D. M., Chauhan, S. M., 2004. Growth promotion and yield enhancement of peanut (*Arachis hypogaea* L.) by application of plant growth-promoting rhizobacteria. *Microb. Res.* 159(4), 371–394.
10. Dickson, A., Leaf, A. L., Hosner, J. F., 1960. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. *Forest. Chronicle*. 36(1), 10–13. <https://doi.org/10.3389/fmichb.2017.01268>.
11. El-Hawary, M.I., El-hawary, I.F., El-Ghamry, A.M., El-Naggar, E. 2002. Effect of application of biofertilizer on the yield and NPK uptake of some wheat genotypes as affected by the biological properties of soil. *Pakistan J. Biol. Sci.* 5(11), 1181–1185.
12. Esitken, A., Karlidag, H., Ercisli, S., Turan, M., Sahin, F., 2003. The effect of spray a growth promoting bacterium on the yield, growth and nutrient element composition of leaves of apricot (*Prunus armeniaca* L. cv. Hacıhaliloglu). *Aust. J. Agric. Res.* 54, 377–380.
13. Eskandari Torbaghan, M., Khalili Torghabe, G. H., 2023. Evaluation of three groups of plant growth-promoting extremophilic rhizospheric bacteria on induction of salinity and alkalinity tolerance in GN15 almond (*Prunus amygdalus* L.) rootstocks. *J. Plant Proc. Func.* 12(55), 1–14.
14. Ganji Moghadam, A., Zamanipour, M., 2021. Guide to Stone Fruit Tree Rootstocks (Peach, Apricot, Cherry and Plum). Agricultural Education and Extension Publications. Tehran, Iran. pp. 174. (In Persian)
15. García de Salamone, I. E., Hynes, R. K., Nelson, L. M., 2001. Cytokinin production by plant growth promoting rhizobacteria and selected mutants. *Can. J. Microb.* 47(5), 404–411.
16. Ghasemi-Pirbaloti, S., 2024. Isolation and Identification of Plant Growth Promoting-Bacteria from Almond (*Prunus dulcis*) Rhizosphere and Evaluation of Their Ability to Improve the Growth of Rooted Cuttings under Greenhouse Conditions. MSc Thesis, Shahrekord University, Iran. (In Persian with English abstract)
17. Goos, R. J., 1995. A laboratory exercise to demonstrate nitrogen mineralization and immobilization. *J. Natur. Res. Life Sci. Edu.* 24(1), 68–70.
18. Guo-xing, H., Cai-ting, L., Juan, Q., Jian-chao, S., Ya-jie, W., 2020. Effects of different *Rhizobium* fertilizers on alfalfa productivity and soil fertility. *Acta Pratacul. Sinica*. 29 (5), 109–20. <https://doi.org/10.11686/cyxb2019344>.
19. Hafez, M., Elbarbary, T. A., Ibrahim, I., Abdel- Fatah, Y., 2016. *Azotobacter vinelandii* evaluation and optimization of Abu Tartur Egyptian phosphate ore dissolution. *Saudi J. Path. Microbiol.* 1, 80–93.
20. Hindersah, R., Kamaluddin, N.N., Samanta, S., Banerjee, S., Sarkar, S., 2020. Role and perspective of *Azotobacter* in crops production. *STJSSA*, 21, 170–179.
21. Igiehon, N. O., Babalola, O. O., 2018. Rhizosphere microbiome modulators: contributions of nitrogen fixing bacteria towards sustainable agriculture. *Intern. J. Environ. Res. Public Health*. 15(4), 574.
22. İpek, M., Pirlak, L., Esitken, A., Figen Dönmez, M., Turan, M., Sahin, F., 2014. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) increase yield, growth and nutrition of strawberry under high-calcareous soil conditions. *J. Plant Nutr.* 37(7), 990–1001.
23. Izhar, A., Tariq, S., Fazli, S., Kashif, S. H., Nighat, S., Isfahan, T., 2018. PGPRs of plum (*Prunus domestica*) rhizosphere enhance plant growth and antagonise fungal activity in vitro. *Acta Agric. Scand. B. Soil Plant Sci.* 68(4), 367–378, <https://doi.org/10.1080/09064710.2017.1410565>.
24. Kalra, Y. (Ed.), 1997. Handbook of Reference Methods for Plant Analysis. CRC Press. pp. 320. <https://doi.org/10.1201/9780367802233>.
25. Li, B., Zhang, C., Qi, M., Zheng, X., Mustafad, N. S., Ahmed, N., Lixin, Z., 2022. Effects of plant growth-promoting rhizobacteria on uptake and utilization of phosphorus and root architecture in apple seedlings under water limited regimes. *Intern. J. Appl. Exp. Biol.* 1(1), 1–8.

26. Liakas, V., Marcinkevičienė, A., Rudinskienė, A., Steponavičienė, V., 2025. Effects of different rates of nitrogen fertilisation and biological preparations to increase nitrogen use efficiency on yield structure elements in maize. *Agronomy* 15(2), 289. <https://doi.org/10.3390/agronomy15020289>.
27. Lopus, S. E., Santibanez, M. P., Beede, R. H., Duncan, R. A., Edstrom, J., Niederholzer, F. J. A., Trexler, C. J., Brown, P. H., 2010. Survey examines the adoption of perceived best management practices for almond nutrition. *Calif. Agric.* 64 (3), 1689–1699. <https://doi.org/10.3733/ca.v064n03p149>.
28. Lujan Soto, R., Martínez-Mena, M., Cuéllar Padilla, M., de Vente, J., 2021. Restoring soil quality of woody agroecosystems in Mediterranean drylands through regenerative agriculture. *Agric. Ecosyst. Environ.* 306. 107191. <https://doi.org/10.1016/J.AGEE.2020.107191>.
29. Nejati-Sini, H., Barzegar, R., Soodae-Mashae, S., Ghasemi-Ghahsare, M., Mousavi-Fard, S., Mozafarian, M., 2024. Effects of biofertilizer on the production of bell pepper (*Capsicum annuum* L.) in greenhouse. *J. Agric. Food Res.* 16. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101060>.
30. Przybyłko, S., Kowalczyk, W., Wrona, D., 2021. The effect of mycorrhizal fungi and PGPR on tree nutritional status and growth in organic apple production. *Agronomy* 11(7), 1402.
31. Rashidi, Z., Kharestani, H., Pezeppour, P., 2014. Biofertilizer Manual. Agricultural Education Research Publications, (TAK), Tehran, Iran.
32. Rostamikia, Y., Rahmani, A., Teimouri, M., 2024. The effect of inoculation of growth-stimulating bacteria on some leaf growth traits and nutritional elements of hazelnut seedlings under field conditions. *J. Soil Plant Interact.* 15 (1), 1–15. <https://doi.org/10.47176/jspi.15.1.21131>.
33. Rubio, E. J., Montecchia, M. S., Tosi, M., Cassán, F. D., Peticari, A., Correa, O. S. 2013. Genotypic characterization of Azotobacteria isolated from Argentinean soils and plant-growth-promoting traits of selected strains with prospects for biofertilizer production. *Sci. World J.* 10, 1–12.
34. Stamenov, D., Djuric, S., Hajnal-Jafari, T., Andjelković, S., 2021. Autochthonous plant growth-promoting rhizobacteria enhance *Thymus vulgaris* growth in well-watered and drought-stressed conditions. *Zemdirbyste-Agri.* 108(4).
35. Sticken, A., 2011. Use of plant growth promoting rhizobacteria in horticultural crops. In: Maheshwari, D. K. (Ed.), *Bacteria in Agrobiolgy: Crop Ecosystems*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, pp. 189–235.
36. Thirkell, T.J., Charters, M.D., Elliott, A.J., Sait, S.M., Field, K.J., 2017. Are mycorrhizal fungi our sustainable saviours? Considerations for achieving food security. *J. Ecol.* 105(4), 921–929. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12788>.
37. Thomas, J., Sharma, N. C., Kumar, P., Chauhan, A., Chauhan, P., 2022. Effect of biostimulant and biofertilizers on soil biochemical properties and plant growth of apple (*Malus x domestica* Borkh.) nursery. *J. Environ. Biol.* 43(2), 276–283.
38. Torsvik, V., Ovreas, L., 2002. Microbial diversity and function in soil: From genes to ecosystems. *Current Opin. Microb.* [https://doi.org/10.1016/S1369-5274\(02\)00324-7](https://doi.org/10.1016/S1369-5274(02)00324-7).
39. Wei, X., Xie, B., Wan, C., Song, R., Zhong, W., Xin, S., Song, K., 2024. Enhancing Soil Health and Plant Growth through Microbial Fertilizers: Mechanisms, Benefits, and Sustainable Agricultural Practices. *Agronomy* 14(3), 609. <https://doi.org/10.3390/agronomy14030609>.
40. Yi, Y., Huang, W., Ge, Y., 2008. Exopolysaccharide: a novel important factor in the microbial dissolution of tricalcium phosphate. *World J. Microb. Biotech.* 24, 1059–1065.