Iranian Journal of Soil and Water Research ISNN: 2423-7833
Homepage: http://ijswr.ut.ac.ir

Effect of Phosphate-Solubilizing Bacteria, Mycorrhizae and Phosphorus Sources on the Growth and Phosphorus Uptake of Pistachio Seedlings

Ghazaleh Sadat Zorriyeh[1], Ahmad Tajabadi Pour[2]✉, Ebrahim Adhami[3], Peyman Abbaszadeh Dahaji[4]

1. Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan, Iran, Email: gh_zorriyeh@yahoo.com
2. Corresponding Author, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan, Iran, Email: tajabadi@vru.ac.ir
3. Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran, Email: eadhami@gmail.com
4. Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan, Iran, Email: p.abbaszadeh@vru.ac.ir

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: July. 17, 2022

Revised: Sep. 8, 2022

Accepted: Sep. 19, 2022

Published online: Oct. 23, 2022

Keywords:
Pistachio,
Phosphorus,
Ceratia,
Pseudomonas,
Mycorrhizae.

ABSTRACT

The most common method to supply phosphorus for plants is the use of phosphate chemical fertilizers that have low efficiency, high cost and harmful environmental effects. If the availability of phosphorus can be increased by using phosphorus-soluble bacteria and mycorrhiza, the phosphorus concentration and plant growth parameters may also increase and make a major change in the phosphorus nutrition of plants. The aim of this study was to investigate the possibility of using superior strains of phosphate-solubilizing bacteria isolated from rhizosphere of pistachio trees, mycorrhiza and phosphate sources on the growth and phosphorus uptake of pistachio seedlings in greenhouse conditions. The experiment was performed as a factorial experiment in a completely randomized design with three replications in 2019. Treatments included four sources of phosphorus (control, monocalcium phosphate, tricalcium phosphate, and soil phosphate), four levels of bacteria (control, Serratia odorifera, Pseudomonas fluorescens and Pseudomonas brassicacearum) and two levels of mycorrhiza (control and mycorrhiza (Funneliformis mosseae, Rhizophagus intradices, Rhizophagus irregularis and Glomus caledonium)). Analysis of variance of the data showed significant interactions between phosphorus-soluble bacteria, phosphate sources and mycorrhiza on pistachio growth indices. All three bacterial isolates had positive effects on increasing vegetative indices. Also, mycorrhiza inoculation along with bacterial inoculation showed a significant increase of 44% in root dry weight. The highest shoot to root ratio was observed with application of soil phosphate and tricalcium phosphate which increased by 19% and 37% compared to control respectively. Inoculation of pistachio seedlings by mycorrhiza increased root, stem and leaf P concentration by 90%, 104% and 122% respectively. Therefore, phosphate-solubilizing bacteria especially Pseudomonas SP and mycorrhizal fungi played an important role in increasing the efficiency of phosphorus fertilizers and reducing fertilizer use, increasing growth and phosphorus uptake of pistachio seedlings.

Cite this article: Zorriyeh, Gh. S., Tajabadi Pour, A., Adhami, E., & Abbaszadeh Dahaji, P. (2022) Effect of phosphate-solubilizing bacteria, mycorrhizae and phosphorus sources on the growth and phosphorus uptake of pistachio seedlings. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 53 (8), 1757-1772.

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: http//doi.org/ 10.22059/ijswr.2022.345687.669319

Iranian Journal of Soil and Water Research ISNN: 2423-7833
Homepage: http://ijswr.ut.ac.ir

نشان باکتری‌های گشاینده فسفات، قارچ میکوریز و منابع فسفر بر رشد و جذب فسفر نهال‌های پسته

غزاله سادات ذریه[۱]، احمد تاج‌آبادی‌پور[۲]✉، ابراهیم ادهمی[۳]، پیمان عباس‌زاده دهجی[۴]

۱. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان، رفسنجان، ایران، ایمیل: gh_zorriyeh@yahoo.com

۲. نویسنده مسئول، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان، رفسنجان، ایران، ایمیل: tajabadi@vru.ac.ir

۳. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران، ایمیل: eadhami@gmail.com

۴. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان، رفسنجان، ایران، ایمیل: p.abbaszadeh@vru.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۴/۲۶
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۶/۱۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۶/۲۸
تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۸/۱

واژه‌های کلیدی:
پسته،
فسفر،
سراتیا،
سودوموناس،
قارچ میکوریز.

چکیده

پرکاربردترین روش برآورد نیاز فسفری گیاهان، کاربرد کود¬های شیمیایی فسفری است؛ ولی کارایی پایین، هزینه بالا و پیامدهای زیانبار زیست محیطی دارد. هنگامی‌که بتوان با بهره‌گیری از باکتری‌های گشاینده فسفر و قارچ میکوریز فراهمی منابع فسفر را افزایش داد، غلظت فسفر و پارامترهای رشد گیاه نیز ممکن است افزایش یافته و تحول بزرگی در تغذیه فسفری گیاهان ایجاد نماید. هدف پژوهش کنونی، بررسی امکان بهره‌گیری از سویه‌های برتر باکتری‌های گشاینده فسفات جداسازی شده از ریزوسفر درختان پسته، قارچ میکوریز و منابع فسفاته بر رشد و جذب فسفر نهال‌های پسته در شرایط گلخانه‌ای بود. آزمایش به‌گونه فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۸ انجام شد. تیمارها شامل چهار منبع فسفر (شاهد، منوکلسیم فسفات، تری‌کلسیم فسفات، خاک فسفات)، چهار سطح باکتری (شاهد، Serratia odorifera، Pseudomonas fluorescens و Pseudomonas brassicacearum) و دو سطح قارچ میکوریز (شاهد و قارچ میکوریز شامل ترکیب Funneliformis mosseae، Rhizophagus intradices، Rhizophagus irregularis و Glomus caledonium) بود. تجزیه واریانس داده‌ها برهمکنش باکتری‌های گشاینده فسفر، منابع فسفاتی و قارچ میکوریز بر شاخص‌های رویشی پسته را معنی‌دار نشان داد. هر سه جدایه باکتری پیامدهای مثبتی در افزایش شاخص‌های رویشی داشتند. همچنین مایه‌زنی قارچ میکوریز همراه با مایه‌زنی باکتری افزایش معنی‌دار ۴۴ درصدی وزن خشک ریشه را نشان داد. بیشترین نسبت اندام هوایی به ریشه با کاربرد خاک فسفات و تری‌کلسیم فسفات دیده شد که نسبت به شاهد به‌ترتیب ۱۹ و ۳۷ درصد افزایش یافت. مایه‌زنی نهال‌های پسته با قارچ میکوریز غلظت فسفر ریشه، ساقه و برگ را به‌ترتیب ۹۰، ۱۰۴ و ۱۲۲ درصد افزایش داد. بنابراین باکتری‌های گشاینده فسفات به‌ویژه سودوموناس‌ها و قارچ میکوریز نقش بسزایی در افزایش کارایی کود فسفر مورد استفاده و کاهش مصرف کود، افزایش رشد و جذب فسفر نهال‌های پسته را داشتند.

استناد: ذریه، غزاله سادات؛ تاج‌آبادی‌پور، احمد؛ ادهمی، ابراهیم؛ عباس‌زاده دهجی، پیمان. (۱۴۰۱). نشان باکتری‌های گشاینده فسفات، قارچ میکوریز و منابع فسفر بر رشد و جذب فسفر نهال‌های پسته. *مجله تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۳ (۸)، ۱۷۷۲-۱۷۵۷.

DOI: http//doi.org/ 10.22059/ijswr.2022.345687.669319

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

مقدمه

پسته (*Pistacia vera* L.) گیاهی با ارزش اقتصادی بالا در کشورهای دارای آب و هوای خشک و نیمه خشک است (Goharrizi *et al*., 2020). بیش از ۵۰۰ هزار هکتار باغ پسته بارور و نابارور با عملکرد ۵۵۱۳۰۷ تن در ایران وجود دارد (Food & Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2018). منطقه رفسنجان در استان کرمان به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مناطق برای کشت پسته در سراسر جهان شناخته شده است (Sadr *et al*., 2019; Salehi & Hosseinifard, 2012). گیاه پسته نیز مانند دیگر گیاهان برای رشد و تولید شایسته به عناصر غذایی پرنیاز و کـم نیاز احتیاج دارد (Hosseinifard *et al*., 2017). فسفر عنصر پرنیاز اصلی و ضروری برای گیاه است که در دسترس نبودن آن برای گیاهان باعث کاهش شدید عملکرد محصول می‌شود (Lun *et al*., 2018). روش متداول در کشور برای برآورد نیاز فسفری گیاهان، کاربرد کودهای شیمیایی فسفری است (Azarmi- & Sayyari-Zahan, 2019 Atajan). ولی به‌دلیل آهکی بودن و pH بالای خاک، تنش خشکی، وجود بی‌کربنات در آب آبیاری و کمبود مواد آلی خاک در پیامد آمیختن با یون‌ها در خاک به‌گونه ته نشست در می‌آید و از دسترس گیاه خارج می‌گردد (Penn & Camberato, 2019). بنابراین در برابر وجود مقادیر متنابهی فسفر به شکل‌های گوناگون، درختان پسته کمبود فسفر را نشان می‌دهند که باید به دنبال راهکار شایسته بود و از افزودن مقادیر بیشتر فسفر به خاک به دلایل اقتصادی و زیست‌محیطی جلوگیری کرد (Shahriaripour, 2018). روش‌های مدیریتی گوناگون، از جمله بهره‌گیری از کودهای فسفری کارآمد، بهسازهای آلی، گیاهان با نیازهای بحرانی پایین فسفر و سیستم‌های کشاورزی بهبودیافته، برای افزایش کارایی کاربرد فسفر در سیستم‌های خاک پیشنهاد شده‌اند (Qaswar *et al*., 2021; Ahmed Du *et al*., 2022 ;*et al*., 2021). به هر گونه، محدودیت‌های چگونگی بهبود کارایی بهره‌گیری از فسفر، به‌ویژه درخاک‌های آهکی ایران وجود دارد (Jazaeri *et al*., 2015). از جمله روش‌های کارا برای افزایش زیست فراهمی فسفر در خاک، بهره‌گیری از ریزجانداران سودمند خاکزی است که توانایی گشایش فسفات‌های نامحلول آلی و کانی و دگرش آن به فسفر محلول را دارند (Billah *et al*., 2019;Zorriyeh & Adhami, 2017)/ که افزون بر کمک به جذب فسفر، می‌توانند باعث جذب دیگر عناصر، کاهش بیماری‌ها، بهبود ساختمان خاک، تحریک بیشتر رشد گیاه و افزایش محصول شوند (Khan *et al*., 2022). بسیاری از مطالعات نشان می‌دهد که بهره‌گیری مستقیم از خاک فسفات به عنوان منبع برآورد فسفر برای گیاهان چندان کارایی لازم را ندارد. بنابراین مایه زنی خاک فسفات با باکتری‌های حل‌کننده فسفر (PSB) و دیگر ریزجانداران حل‌کننده فسفات می‌تواند سبب افزایش فراهمی فسفر از خاک فسفات شود (Malakouti *et al*., 2008). در این راستا، باکتری‌های گشاینده فسفات که معمولاً در ریزوسفر اکثر گیاهان یافت می‌شوند، به دلیل مزایای گزارش‌شده‌شان برای خاک‌های آهکی قلیایی، توجه ویژه‌ای را به خود جلب می‌کنند (Elhaissoufi *et al*., 2021; Jilani *et al*., 2021). افزون بر آن بهره‌گیری از قارچ میکوریز (Khorramdel *et al*., 2010) و باکتری‌های حل‌کننده فسفر (Adnan *et al*., 2020) که می‌توانند حلالیت فسفر، کارایی بهره‌وری محصول را افزایش دهند، پیشنهاد شده است. نتایج یافته‌ها نشان می‌دهد که باکتری‌های حل‌کننده فسفر مایه زنی شده مایه بهبود عملکرد و تغذیه فسفر محصولاتی مانند برنج، ذرت، ماش (Khan *et al*., 2022) و سیب درختی (Aslantas *et al*., 2007) شده است. در پژوهشی پیامد مایه زنی سویه‌های *Pseudomonas fluorescens* بر شاخص‌های رشدی نهال پسته نشان داد که مایه زنی این باکتری‌ها سبب افزایش رویه برگ، تعداد برگ، وزن تر و خشک نهال پسته گردید (Azarmi-Atajan & Sayyari-Zahan, 2019). (Sarcheshme *et al*. 2015) بیان کردند کاربرد باکتری‌های گشاینده فسفات بومی باغ‌های پسته همراه با خاک فسفات و گوگرد، باعث افزایش رشد و جذب عناصر غذایی مانند فسفر شد. تاثیر باکتری‌های *Pseudomonas* در افزایش جذب عناصر غذایی فسفر، آهن، روی در نهال‌های پسته نیز گزارش شده است (Azarmi-Atajan & Sayyari-Zahan, 2019). گمان بر این است که جداسازی و مطالعه جدایه‌های بومی که با محیط سازگار شده‌اند می‌تواند مایه تولید زادمایه‌هایی شود که برای گیاهان آن منطقه کارآیی بیشتری نسبت به جدایه‌های غیربومی داشته باشند (Fisher *et al*,. 2007). بنابراین، باکتری‌های گشاینده فسفات می‌تواند جایگزینی کارآمد، سازگار با محیط زیست و از دیدگاه اقتصادی سودمند به جای کودهای فسفر گران بها باشد. بیشتر مناطق پسته‌کاری در ایران در مناطق خشک و گرم با خاک‌های آهکی قرار دارند، بنابراین بررسی توانایی جدایه‌های باکتری‌های گشاینده فسفات سازگار جداسازی شده بومی و قارچ میکوریز کارا که بتواند زیست فراهمی فسفر خاک فسفات و تری‌کلسیم فسفات را افزایش و به تغذیه فسفری گیاه پسته کمک نماید، بسیار دارای اهمیت است. دانش ما در مورد توانایی جدایه‌های باکتری‌های گشاینده فسفات بومی و نشان آن‌ها بر رشد و ویژگی‌های فیزیولوژیکی گیاهان پسته و سنجش آن با توانایی قارچ میکوریز همراه با کاربرد منابع فسفاته بسیار اندک است. از این رو، در این پژوهش، نشان جدایه های باکتری‌های گشاینده فسفات بومی، قارچ میکوریز و منابع فسفری منوکلسیم فسفات، تری کلسیم فسفات و خاک فسفات و پیامدهای

برهمکنش آن‌ها بر روی برخی از پارامترهای رویشی و جذب فسفر توسط نهال‌های پسته بررسی شد.

مواد و روش‌ها

آزمایش به‌گونه فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی شامل ۴ سطح باکتری، ۴ سطح کود فسفر و دو سطح قارچ میکوریز با ۳ تکرار در شرایط گلخانه در سال ۱۳۹۸ انجام شد. تیمارهای مایه زنی جدایه‌ها و سطوح فسفر به گونه زیر بکار رفت.

جدایه‌ها

در پژوهش مقدماتی جداسازی باکتری‌ها از ریزوسفر درختان پسته منطقه رفسنجان انجام شد. باکتری‌های برتر از دیدگاه توان گشایش فسفات آمیزه های آلی و کانی بررسی شده و در مایه زنی ذرت در شرایط گلخانه‌ای کشت گردید. سپس از میان آن‌ها سه جدایه برتر از دیدگاه دیگر صفات محرک رشدی انتخاب شدند و در این پژوهش بکار رفتند. تیمارها شامل چهار سطح باکتری (شاهد B0 و سه جدایه برتر حاصل از کشت قبل *Serratia odorifera* B1، *Pseudomonas fluorescens* B2 و *Pseudomonas brassicacearum* B3)، چهار نوع کود فسفره (شاهد، منوکلسیم فسفات (۵۰ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک)، تری‌کلسیم فسفات (۱۵۰ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک)، خاک فسفات (۱۵۰ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک)) و دو سطح قارچ میکوریز (شاهد و قارچ میکوریز) بود. قارچ میکوریز از شرکت ویرا گستر تهیه گردید. محتویات قارچ میکوریز ترکیبی از قارچ‌های میکوریز *Funneliformis mosseae*، *Rhizophagus intradices*، *Rhizophagus irregularis* و *Glomus caledonium* بود.

آماده سازی رایزوباکس

در این آزمایش برای کشت از رایزوباکس بهره‌گیری شد. طرح کلی رایزوباکس به‌گونه استوانه‌ای از جنس لوله پلیکا با قطر ۱۵ سانتی‌متر و فضای ریزوسفری در مرکز استوانه‌ای با قطر ۵ سانتی‌متر با بهره‌گیری از صفحات مشبک نایلونی ۳۲۵ مش محدود شد و خاک به دو بخش ریزوسفری و غیر ریزوسفری تقسیم گردید (شکل ۱).

شکل ۱- نمایی از رایزوباکس و محل استقرار نهال‌های پسته

غشای نایلونی (خریداری شده از شرکت طب الصادق اصفهان)، پارچه نایلونی متخلخلی است که منافذی به قطر ۴۴ میکرومتر داشت. این منافذ اجازه گذر سلول‌های ریشه را نداده ولی مولکول‌های آب، مواد غذایی و آمیزه های آلی به آسانی می‌توانند گذر کنند. خاک بکاررفته در این پژوهش از یکی از مناطق پسته‌کاری استان کرمان با مقدار فسفر کم و غیر شور گزینش و به آزمایشگاه منتقل شد. پس از هوا خشک

کردن نمونه‌های خاک و گذر آن‌ها از الک دو میلی‌متری، با بهره‌گیری از روش‌های استاندارد، ویژگی‌های خاک اندازه‌گیری شد (جدول ۱).

پس از آماده‌سازی پنج کیلوگرم خاک برای هر ریزوباکس، خاک مورد نیاز هر رایزوباکس به دو قسمت ریزوسفری و غیرریزوسفری به نسبت یک به سه تقسیم شده و کودهای فسفره به گونه جامد با خاک آمیخته شد و با توجه به نتایج آزمون خاک، نیتروژن به‌مقدار ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم از منبع اوره، آهن، منگنز، مس و روی به‌مقدار ۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک به‌ترتیب از منابع سکوسترین آهن ۱۳۸، سولفات منگنز، سولفات مس و سولفات روی به‌گونه محلول به تمام پلاستیک‌ها اضافه و پس از رساندن رطوبت خاک به حد ظرفیت زراعی، خاک هر کیسه به خوبی مخلوط و به ریزوباکس‌های مربوط به هر تیمار منتقل گردید (Tajabadi Pour *et al*., 2005).

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک بکاررفته در پژوهش

خصوصیت	مقدار
رس (درصد)	۱۶
سیلت (درصد)	۲۶
ماده آلی (درصد)	۰/۵۳
بافت	لوم شنی
ظرفیت زراعی (درصد وزنی)	۲۰
نقطه پژمردگی دائم (درصد وزنی)	۷
کربنات کلسیم معادل (درصد)	۲۲
ظرفیت تبادل کاتیونی (سانتی‌مول در کیلوگرم)	۱۱/۷
پ‌هاش	۷/۳۱
قابلیت هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	۰/۷۱
فسفر به روش اولسن (میلی‌گرم در کیلوگرم)	۸/۱۴
نیتروژن کل (درصد)	۰/۰۳۵
پتاسیم عصاره‌گیری شده با استات آمونیوم (میلی‌گرم در کیلوگرم)	۱۶۵
مس عصاره‌گیری شده با DTPA (میکروگرم در گرم خاک)	۱/۵۸
روی عصاره‌گیری شده با DTPA (میکروگرم در گرم خاک)	۱/۲۵
آهن عصاره‌گیری شده با DTPA (میکروگرم در گرم خاک)	۲/۸۴
منگنز عصاره‌گیری شده با DTPA (میکروگرم در گرم خاک)	۳/۲۵

آماده سازی دانه‌ها و مایه‌زنی باکتری‌ها و قارچ میکوریز

برای آماده سازی دانه‌ها و مایه زنی باکتری‌ها، دانه‌های پسته رقم بادامی ریز زرند از مؤسسه تحقیقات پسته کشور تهیه گردید و پس از جداسازی پوست سخت به مدت ۱۰ دقیقه در محلول وایتکس ده درصد قرار داده شد و سه بار با آب مقطر استریل شسته شد. سپس به‌مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر استریل در یک ظرف دربسته نگهداری شد تا آبگیری انجام شود. سپس برای جوانه‌زنی میان پارچه مرطوب به‌مدت چند روز در دمای ۲۵ درجه سلسیوس نگهداری گردید.

کاشت و اجرا

در آغاز شش دانه جوانه زده پسته در خاک ریزوسفری کشت شد و به هر دانه تیمار باکتری به مقدار ۱۰۰۰ میکرولیتر باکتری با جمعیت 10^8 تعداد سلول در هر میلی‌لیتر، به گلدان‌های شاهد ۱۰۰۰ میکرولیتر از محیط کشت مایع nutrient broth و به تیمارهای قارچ میکوریز مقدار ۵۰ گرم قارچ میکوریز در هر ریزوباکس زیر دانه مایه‌زنی شد. پس از پاگرفتن نهال‌ها، شمار نهال در هر ریزوباکس به چهار تا کاهش یافت.

در پایان دوره رشد (شش ماه) رویه برگ با بهره‌گیری از دستگاه اندازه‌گیری رویه برگ (Leaf Area Meter-C1-202, USA) اندازه گیری شد. پس از آن گیاهان از محل طوقه قطع و برگ و ساقه از هم جدا شد و ریشه‌ها نیز از خاک خارج شد. پس از شستشو با آب مقطر پارامترهای رویشی (تعداد برگ، رویه برگ، حجم ریشه، قطر و بلندی گیاه) اندازه‌گیری شد. ریشه، برگ و ساقه در دمای ۶۵ درجه سلسیوس خشک شد. وزن خشک بخش هوایی و ریشه گیاهان اندازه‌گیری شد. بلندی گیاه با خط کش اندازه‌گیری شد. پس از توزین، نمونه‌های گیاهی توسط آسیاب برقی پودر شد. جهت اندازه‌گیری غلظت فسفر اندام هوایی و ریشه‌های گیاه از روش هضم خشک بهره‌گیری شد. نمونه پودر شده در دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس خاکستر و با اسید کلریدریک دو نرمال عصاره‌گیری گردید. در عصاره به‌دست آمده

غلظت فسفر به روش زرد وانادات در طول موج ۴۷۰ نانومتر اندازه‌گیری شد (Olsen & Sommers,1982).

تجزیه‌های آماری

تجزیه‌های آماری با بهره‌گیری از نرم‌افزار SAS انجام و برای آزمون میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد بهره‌گیری شد. نمودارهای مربوط با بهره‌گیری از برنامه Excel ترسیم گردید.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که پیامد اصلی قارچ میکوریز بر وزن خشک برگ، وزن خشک ساقه، وزن خشک ریشه، وزن خشک اندام هوایی، نسبت اندام هوایی به ریشه، غلظت فسفر برگ، غلظت فسفر ریشه و غلظت فسفر ساقه نهال‌های پسته در سطح ۰/۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). پیامد اصلی نوع باکتری بر غلظت فسفر برگ در سطح ۰/۱ درصد معنی‌دار بود. همچنین پیامد اصلی منابع فسفر بر وزن خشک برگ، وزن خشک ساقه، وزن خشک اندام هوایی، غلظت فسفر برگ، غلظت فسفر ریشه، غلظت فسفر ساقه، رویه برگ، بلندی گیاه تاثیر معنی‌داری را در سطح ۰/۱ درصد و بر نسبت اندام هوایی به ریشه در سطح ۵ درصد نشان داد. پیامد برهمکنش تیمارهای آزمایشی نوع باکتری و قارچ میکوریز در سطح ۵ درصد بر وزن خشک ریشه و غلظت فسفر برگ و پیامد برهمکنش نوع باکتری و منابع فسفر در سطح ۵ درصد بر غلظت فسفر برگ معنی‌دار بود. همچنین پیامد برهمکنش تیمارهای قارچ میکوریز و منابع فسفر در سطح احتمال ۰/۱ درصد وزن خشک برگ، وزن خشک ساقه، وزن خشک اندام هوایی، غلظت فسفر برگ، غلظت فسفر ریشه و رویه برگ و به‌ترتیب در سطح احتمال یک درصد و ۵ درصد بر نسبت اندام هوایی به ریشه و غلظت فسفر ساقه تاثیر معنی‌داری را نشان داد. نشان برهمکنش سه گانه تیمارهای آزمایشی باکتری، قارچ میکوریز و منابع فسفر بر وزن خشک برگ در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲).

جدول ۲- تجزیه واریانس برخی صفات رویشی و غلظت فسفر نهال‌های پسته تحت تاثیر نوع باکتری، قارچ میکوریز و منابع فسفر

منابع تغییرات	درجه‌آزادی	میانگین مربعات								
		وزن خشک برگ	وزن خشک ریشه	وزن خشک ساقه	وزن خشک اندام هوایی	غلظت فسفر برگ	غلظت فسفر ریشه	غلظت فسفر ساقه	بلندی گیاه	نسبت اندام هوایی به ریشه	رویه برگ
G	۱	۳/۵۹***	۶۸/۱***	۱۱/۸***	۸/۲۶***	۰/۱۴۷***	۰/۱۵***	۰/۰۹۷***	۰/۰۱۸ ns	۷/۳۱***	۸۸۵ ns
B	۳	۰/۰۷۴ ns	۱/۰۶ ns	۰/۲۵۷ ns	۰/۲۸۲ ns	۰/۰۰۳***	۰ ns	۰ ns	۳/۹۶ ns	۰/۰۶۷ ns	۱۶۱ ns
P	۳	۲/۵۳***	۰/۷۵۹ ns	۰/۹۶۵***	۶/۲۳***	۰/۰۰۸***	۰/۰۱***	۰/۰۰۷***	۴۴/۲***	۰/۱۸۵*	۶۸۸۱***
G*B	۳	۰/۱۵۳ns	۱/۵۵*	۰/۳۸۱ ns	۱/۰۲ ns	۰/۰۰۲*	۰/۰۰۴ ns	۰ ns	۹/۴۳ ns	۰/۰۹۵ ns	۹۴۷ ns
G*P	۳	۳/۶۵***	۰/۸۴۴ ns	۱/۰۴***	۸/۳۲***	۰/۰۰۷***	۰/۰۰۹***	۰/۰۰۲ *	۱۱/۲ ns	۰/۲۲۷**	۱۰۲۳۲***
B*P	۹	۰/۲۴۸ns	۰/۵۹ ns	۰/۰۹۹ ns	۰/۵۴۹ ns	۰/۰۰۱*	۰/۰۰۲ ns	۰ ns	۴/۳۱ ns	۰/۰۵۳ ns	۱۵۳۱ ns
G*B*P	۹	۰/۵۷۶*	۱/۰۵ ns	۰/۱۸۱ ns	۱/۱۹ ns	۰ ns	۰/۰۰۲ ns	۰ ns	۶/۵۴ ns	۰/۰۵۸ ns	۱۷۲۴ ns
خطا	۶۴	۰/۲۵۵	۰/۵۶۱	۰/۱۹۶	۰/۷۲۶	۰	۰/۰۰۱	۰	۵/۶۱	۰/۰۵۱	۹۳۲
ضریب تغییرات		۲۴/۹	۱۵/۴	۲۴/۱	۲۲	۲۵/۷	۳۴/۴	۲۵/۳	۱۲/۷	۲۶/۳	۲۴

ns، *، **، *** به ترتیب نشانگر عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال ۵، ۱ و ۰/۱ درصد

G قارچ میکوریز، B باکتری و P منابع فسفر

وزن خشک برگ

آزمون میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین میانگین وزن خشک برگ با کاربرد تری کلسیم فسفات به‌عنوان منبع فسفر و بدون مایه زنی قارچ میکوریز و باکتری به دست آمد (جدول۳). در تیمارهای بدون منبع فسفر پیامد باکتری *Pseudomonas brassicacearum* در مقایسه با دیگر باکتری‌ها هم در تیمار بدون مایه زنی قارچ میکوریز و هم در مایه زنی با قارچ میکوریز معنی‌دار بود؛ به‌طوری‌که در تیمار بدون مایه زنی قارچ میکوریز ۵۰ درصد و در تیمار مایه زنی با قارچ میکوریز ۱۹/۵ درصد نسبت به شاهد، میانگین وزن خشک برگ را افزایش داد. در تیمارهای مایه زنی شده با قارچ میکوریز و بهره‌گیری از خاک فسفات باکتری *Serratia odorifera* ۳۶ درصد و باکتری *Pseudomonas fluorescens* ۲۹ درصد نسبت به شاهد افزایش وزن خشک برگ گیاه را سبب شدند. در حالی‌که در تیمارهای مایه زنی شده با قارچ میکوریز و بهره‌گیری از تری کلسیم فسفات، افزایش وزن خشک برگ در باکتری *Pseudomonas fluorescens* دیده شد.

Hasani *et al*. (2012) نیز بیان کردند که مایه زنی سویه‌های *Pseudomonas fluorescens* با خصوصیات محرک رشد نهال‌های پسته موجب افزایش رویه برگ، تعداد برگ، وزن تر و خشک نهال‌های پسته شد. همچنین افزایش وزن تر و خشک گیاهان در پیامد مایه زنی با باکتری‌های جنس *Pseudomonas* گزارش شده است (Zahir *et al*,. 2008).

وزن خشک اندام هوایی

آزمون میانگین تاثیر منابع فسفر بر وزن خشک اندام هوایی به تنهایی و بدون حضور قارچ میکوریز مشخص کرد که کاربرد منابع فسفر، پیامد معنی‌داری بر این شاخص رشدی نسبت به شاهد داشت به‌طوری‌که تری‌کلسیم فسفات بیشتر از خاک فسفات و منوکلسیم فسفات وزن خشک اندام هوایی را افزایش داد (جدول۴). بیشترین وزن خشک اندام هوایی در تیمارهای بدون قارچ میکوریز به ترتیب همراه با کاربرد تری‌کلسیم فسفات ۵/۸۵ گرم و با کاربرد خاک فسفات ۴/۳۲ گرم به دست آمد که نسبت به شاهد به ترتیب افزایش ۶۴/۷ و ۲۱/۶ درصدی داشت. گزارش شده است که کاربرد کود فسفر وزن خشک اندام هوایی کنجد (Nikmehr & Akhgar, 2015)، گندم (Afzal & Bano, 2008) و پسته (Noroozi *et al*,. 2010) را افزایش داده است. Nikmehr & Akhgar (2015) همچنین گزارش کردند که کاربرد خاک فسفات، وزن خشک اندام هوایی کنجد را ۱۰ درصد نسبت به شاهد افزایش داد.

جدول ۳. پیامد سطوح برهمکنش قارچ میکوریز، باکتری و فسفر بر وزن خشک برگ (گرم بر گلدان)

منابع فسفر				باکتری	
P3	P2	P1	P0		
۲/۳۷ a-d	۳/۲۷ a	۲/۱۲ b-d	۱/۳۹ d	B0	G0
۱/۹۵ cd	۳/۱۳ a-c	۱/۹۶ cd	۱/۳۵ d	B1	
۱/۷۱ d	۳/۰۹ a-c	۱/۸۱ d	۱/۸۸ d	B2	
۲/۱۴ b-d	۳/۲۴ ab	۱/۸۶ d	۲/۰۸ Cd	B3	
۱/۶۴ d	۱/۸۰ d	۲/۰۹ b-d	۱/۶۹ d	B0	G1
۲/۲۳ a-d	۱/۷۳ d	۱/۸۵ d	۱/۸۹ d	B1	
۲/۱۱ b-d	۱/۹۴ cd	۱/۷۳ d	۱/۸۲ d	B2	
۱/۴۱ d	۱/۸۸ d	۱/۶۸ d	۲/۰۲ cd	B3	

B0 شاهد، B1 *Serratia odorifera*، B2 *Pseudomonas fluorescens* و B3 *Pseudomonas brassicacearum*، P0 عدم کاربرد منبع فسفر، P1 منوکلسیم فسفات (۵۰ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک)، P2 تری‌کلسیم فسفات (۱۵۰ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک) و P3 خاک فسفات (۱۵۰ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک)

G0 بدون قارچ میکوریز و G1 قارچ میکوریز (۵۰ گرم)

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

جدول ٤. پیامد سطوح برهمکنش فسفر و قارچ میکوریز بر وزن خشک اندام هوایی (گرم بر گلدان)

منابع فسفر				قارچ میکوریز
P3	P2	P1	P0	
۴/۳۲ b	۵/۸۵ a	۳/ ۸۸ bc	۳/ ۵۵ c	G0
۳/۲۵c	۳/ ۴۱ c	۳/۱۸ c	۳/۵۱ c	G1

P0 عدم کاربرد منبع فسفر، P1 منوکلسیم فسفات (۵۰ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک)، P2 تری‌کلسیم فسفات (۱۵۰ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک) و P3 خاک فسفات (۱۵۰ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک)

G0 بدون قارچ میکوریز و G1 قارچ میکوریز (۵۰ گرم)

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

آزمون میانگین وزن خشک اندام هوایی نشان داد در تیمارهای بدون قارچ میکوریز در تمامی منابع فسفری بکاررفته، وزن خشک اندام هوایی بیشتر از تیمارهای مایه زنی با قارچ میکوریز بود. Javadi Nezhad *et al*. (2019) نیز گزارش کردند تیمارهای حاوی مقادیر زیاد فسفر به دلیل به هم خوردن تعادل تغذیه‌ای سبب کاهش وزن خشک اندام هوایی نسبت به تیمارهای بدون فسفر شد. پیامد مایه زنی با باکتری سودوموناس و افزایش وزن خشک بخش هوایی در گردو (Yu *et al*., 2012) و پسته (Khosravi *et al*., 2019) نسبت به شاهد بدون مایه زنی گزارش شده است.

پژوهشگران افزایش وزن خشک گیاهان مایه زنی شده با باکتری‌ها را به افزایش جذب عناصر ضروری مانند نیتروژن و فسفر از طریق افزایش توسعه ریشه و در نتیجه رشد بهتر ربط داده‌اند.باکتری‌ها از طریق تولید هورمون‌های گیاهی مانند اکسین، جیبرلین و سیتوکنین می‌توانند باعث بهبود رشد گیاه شوند (Çakmakçi *et al*., 2006).

وزن خشک ریشه

تاثیر سطوح برهمکنش قارچ میکوریز و باکتری بر وزن خشک ریشه در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد. مایه زنی قارچ میکوریز سبب افزایش وزن خشک ریشه نهال‌های پسته گردید. به‌طوری‌که تنها مایه زنی قارچ میکوریز (بدون مایه زنی باکتری)، ۲۷/۵ درصد وزن خشک ریشه را نسبت به شاهد افزایش داد. میانگین وزن خشک ریشه در تیمارهای مایه زنی توام قارچ میکوریز با باکتری نسبت به تیمار بدون قارچ میکوریز بیشتر بود (جدول۵) به‌طوری‌که مایه زنی قارچ میکوریز با باکتری‌های *Serratia odorifera*، *Pseudomonas brassicacearum* و *Pseudomonas fluorescens* به ترتیب ۵۴/۸، ۴۱/۷ و ۳۵/۲ درصد افزایش معنی‌داری را نسبت به مایه زنی تنها باکتری (بدون مایه زنی قارچ میکوریز) نشان داد.

جدول ۵. پیامد سطوح برهمکنش قارچ میکوریز و باکتری بر وزن خشک ریشه (گرم بر گلدان)

قارچ میکوریز	باکتری			
	B0	B1	B2	B3
G0	۴/۱۴ b	۳/۶۱ b	۴/۳۴ b	۴/۱۰ b
G1	۵/۲۸ a	۵/۵۹ a	۵/۸۷ a	۵/۸۱ a

B0 شاهد، B1 Serratia odorifera، B2 Pseudomonas fluorescens و B3 Pseudomonas brassicacearum

G0 بدون قارچ میکوریز و G1 قارچ میکوریز (۵۰ گرم)

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

Hasani *et al*. (2012) گزارش دادند که هرچند مایه زنی باکتری *Pseudomonas fluorescens* پیامد معنی‌داری بر وزن خشک ریشه پسته نداشت لیکن بررسی مورفولوژی ریشه نهال پسته نشان داد که طول ریشه اصلی و تراکم ریشه‌های جانبی افزایش یافت. همزیستی قارچ با ریشه پایه‌های پسته باعث افزایش ریزوسفر آنها شده و دسترسی گیاه به بخش‌های بیشتری از خاک را میسر می‌کند که باعث جذب آب و مواد معدنی بیشتراز سطح بیشتری از خاک می‌گردد و باعث بهبود رشد رویشی گیاهان نسبت به گیاهان مایه زنی نشده می‌شوند. همچنین گیاهان مایه زنی شده با قارچ میکوریز وزن خشک بیشتری نسبت به مایه زنی نشده داشتند (Fattahi *et al*., 2020).

نسبت اندام هوایی به ریشه

پیامد سطوح برهمکنش قارچ میکوریز و منابع فسفر بر میانگین نسبت اندام هوایی به ریشه در سطح یک درصد معنی‌دار شد. میانگین نسبت اندام هوایی به ریشه در تیمارهای مایه زنی شده با قارچ میکوریز کمتر از تیمارهای بدون مایه زنی قارچ میکوریز بود (جدول ۶)، که به نظر می‌رسد قارچ میکوریز بیشتر بر ریشه گیاه کارا است. بیشترین مقدار میانگین نسبت اندام هوایی به ریشه در تیمار عدم مایه زنی با قارچ میکوریز و با کاربرد تری کلسیم فسفات و خاک فسفات به دست آمد که به‌ترتیب نسبت به شاهد ۳۷ و ۱۹ درصد نسبت اندام هوایی به ریشه را افزایش دادند. منابع فسفر تاثیر معنی‌داری بر روی تیمارهای مایه زنی شده با قارچ میکوریز نشان نداد.

قارچ میکوریز قادر است با بهره‌گیری از گسترش ریسه‌های خارجی و تغییر مورفولوژی ریشه گیاهان و در نتیجه افزایش سطح جذب ریشه، جذب و انتقال مواد غذایی به ریشه را افزایش دهد (Bagheri *et al*., 2008). همچنین تولید و ترشح آنزیم فسفاتاز از ریسه‌های قارچ میکوریز، فسفات غیرمحلول را به فرم محلول دگرش کرده و برای ریشه قابل جذب می‌گردد و منجر به جذب سریع فسفات توسط قارچ میکوریز می‌شود (Song, 2005). تجمع سریع پلی فسفات در داخل سلول قارچ میکوریز باعث کاربرد سریع منبع خارجی فسفات گزارش شده است. در قارچ میکوریز تشکیل پلی فسفات، همراه با افزایش غلظت فسفات در ریشه بوده به‌طوری‌که پلی فسفات هیف با جریان سیتوپلاسمی حرکت و در ریشه منتقل می‌گردد (Selvaraj & Chellappan, 2006).

جدول ٦. پیامد سطوح برهمکنش قارچ میکوریز، نوع باکتری و منابع فسفر بر میانگین نسبت اندام هوایی به ریشه

قارچ میکوریز	منابع فسفر			
	P0	P1	P2	P3
G0	۰/ ۹۹۸ b	۰/ ۹۷۸ b	۱/۳۷ a	۱/۱۹a
G1	۰/۶۹۲ c	۰/۵۳۴ c	۰/ ۵۹۵ c	۰/۵۷۷ c

P0 عدم کاربرد منبع فسفر، P1 منوکلسیم فسفات (۵۰ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک)، P2 تری‌کلسیم فسفات (۱۵۰ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک) و P3 خاک فسفات (۱۵۰ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک)

G0 بدون قارچ میکوریز و G1 قارچ میکوریز (۵۰ گرم)

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

رویه برگ

جدول آزمون میانگین پیامد برهمکنش قارچ میکوریز و منبع فسفر بر رویه برگ نشان داد که کمترین رویه برگ گیاه در شاهد (عدم بهره‌گیری از منبع فسفر و قارچ میکوریز) به دست آمد (جدول ۷). بیشترین رویه برگ با کاربرد تری کلسیم فسفات و عدم مایه زنی قارچ میکوریز نشان داده شد که نسبت به شاهد ۸۲ درصد رویه برگ را افزایش داد. پس از آن بیشترین رویه برگ با کاربرد خاک فسفات و مایه زنی قارچ میکوریز مشاهده شد که ۴۰ درصد افزایش رویه برگ را نسبت به تیمار عدم کاربرد فسفر و قارچ میکوریز داشت.

جدول ۷. آزمون میانگین پیامد برهمکنش قارچ میکوریز و منبع فسفر بر رویه برگ (سانتی‌متر مربع در گلدان)

قارچ میکوریز	منابع فسفر			
	P0	P1	P2	P3
G0	۱۰۰ c	۱۲۱ bc	۱۸۲ a	۱۱۴ bc
G1	۱۲۰ bc	۱۱۶ bc	۱۱۷ bc	۱۴۰ b

P0 عدم کاربرد منبع فسفر، P1 منوکلسیم فسفات (۵۰ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک)، P2 تری‌کلسیم فسفات (۱۵۰ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک) و P3 خاک فسفات (۱۵۰ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک)

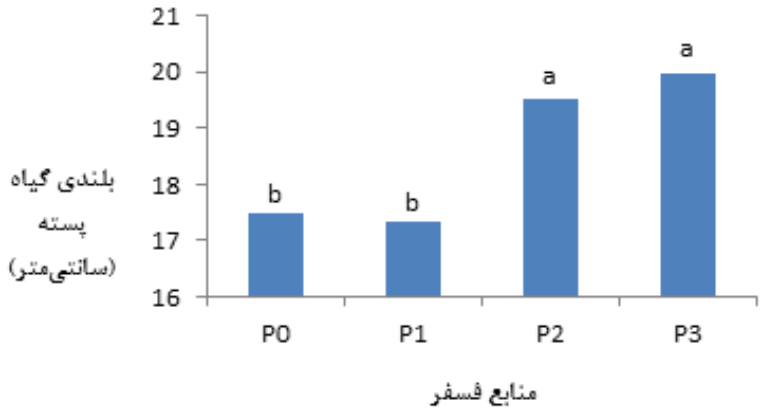
G0 بدون قارچ میکوریز و G1 قارچ میکوریز (۵۰ گرم)

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

James *et al*., (2008) گزارش کرد کاربرد قارچ میکوریز موجب افزایش قابل ملاحظه رشد پسته در مقایسه با شاهد شد به‌طوری‌که در اکثر موارد تیمارهای مایه زنی قارچ میکوریز بدون تنش خشکی، در تنش خشکی ملایم و متوسط رشد گیاه بیشتر از شاهد بود و در رقم پسته بادامی در سطح شایسته آبیاری رویه برگ افزایش معنی‌دار داشت.

بلندی گیاه

پیامد سطوح فسفر بر بلندی گیاه در سطح یک دهم درصد معنی‌دار شد. نمودار ۱ تاثیر منابع فسفر بر متوسط بلندی نهال‌های پسته را نشان می‌دهد. بهره‌گیری از تری‌کلسیم فسفات و خاک فسفات باعث افزایش معنی‌دار بلندی نهال پسته شدند که این افزایش بلندی نسبت به شاهد به ترتیب ۱۱/۵ و ۱۴/۱ درصد بود. Nikmehr & Akhgar, (2015) بیان داشتند کاربرد ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپر فسفات تریپل بلندی ساقه کنجد را به ترتیب ۶/۵ و ۱۰/۴۵ درصد نسبت به شاهد افزایش داد. بلندی گیاه صفتی است که معمولا تحت تاثیر عوامل ژنتیکی بوده و گاهی نیز تحت تاثیر محیط قرار دارد. بلندی گیاه از اجزا مهم در تعیین عملکرد نمی‌باشد، ولی احتمالا بلندی بلندتر می‌تواند عملکرد ماده خشک را بیشتر کند (Javadi Nezhad *et al*,. 2018).



نمودار ۱. پیامد سطوح فسفر بر بلندی گیاه (سانتی‌متر)

P0 عدم کاربرد منبع فسفر، P1 منوکلسیم فسفات (۵۰ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک)، P2 تری‌کلسیم فسفات (۱۵۰ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک) و P3 خاک فسفات (۱۵۰ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک)

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

غلظت فسفر ریشه

تاثیر سطوح برهمکنش قارچ میکوریز و منبع فسفر بر غلظت فسفر ریشه گیاه در سطح یک دهم درصد معنی‌دار شد. غلظت فسفر ریشه در تمامی تیمارهای مایه زنی شده با قارچ میکوریز نسبت به تیمارهای مایه زنی نشده، بیشتر بود به‌طوری‌که مقایسه میان تیمارهای مایه زنی شده با قارچ میکوریز و بدون مایه زنی آن به ترتیب در بدون بهره‌گیری از منبع فسفر ۲۵ درصد، بهره‌گیری از منو کلسیم فسفات ۱۶۵ درصد، تری‌کلسیم فسفات ۶۱/۸ درصد و خاک فسفات ۱۲۳ درصد غلظت فسفر ریشه را افزایش داد (جدول ۸). در تیمارهای مایه زنی شده با قارچ میکوریز، کارایی بهره‌گیری از منو کلسیم فسفات بیشتر از تری‌کلسیم فسفات و خاک فسفات بود که در مقایسه با شاهد به ترتیب منو کلسیم فسفات ۸۳ درصد، تری‌کلسیم فسفات ۴۴ درصد و خاک فسفات ۳۰ درصد غلظت فسفر ریشه را افزایش داد.

هیف‌های توسعه یافته قارچ‌های قارچ میکوریز قادر به رشد در منافذ خاک بوده و سبب افزایش دسترسی گیاه به عناصر غیر متحرک مانند فسفر می‌گردد (Grant *et al*,. 2002). که علت افزایش جذب فسفر در همزیستی قارچ میکوریز را می‌توان به سرعت گسترش هیف‌های خارج ریشه‌ای قارچ میکوریز مرتبط دانست (Rajali, 2009). بهره‌گیری از قارچ میکوریز در این پژوهش سبب افزایش وزن خشک ریشه، افزایش مقدار فسفر ریشه و برگ گردید. Moradi & Sarikhani (2016) در پژوهشی انحلال فسفات از منابع خاک فسفات و تری‌کلسیم فسفات توسط برخی از باکتری‌های گشاینده فسفات را مورد مقایسه قرار دادند و دریافتند که میزان انحلال فسفراز منبع فسفری تری‌کلسیم فسفات بیشتر از خاک فسفات بود (میانگین بیش از ۱/۶۷ برابر) که با یافته‌های این پژوهش مطابقت داشت.

جدول ۸. آزمون میانگین پیامد برهمکنش قارچ میکوریز و منابع فسفر بر غلظت فسفر ریشه (درصد)

قارچ میکوریز	منابع فسفر			
	P0	P1	P2	P3
G0	۰/ ۰۹۴ de	۰/۰۸۲ de	۰/۱۰۵ de	۰/۰۶۸ e
G1	۰/ ۱۱۸ cd	۰/۲۱۷ a	۰/۱۷ b	۰/۱۵۳ bc

P0 عدم کاربرد منبع فسفر، P1 منوکلسیم فسفات (۵۰ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک)، P2 تری‌کلسیم فسفات (۱۵۰ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک) و P3 خاک فسفات (۱۵۰ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک)

G0 بدون قارچ میکوریز و G1 قارچ میکوریز (۵۰ گرم)

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

Javadi Nezhad, (2016) برای بررسی تاثیر قارچ قارچ میکوریز و کود زیستی فسفاته بارور-۲ در سطوح گوناگون کود شیمیایی فسفر بر رشد نهال پسته پژوهشی انجام داد. نتایج نشان داد کاربرد جداگانه و توام قارچ میکوریز وکود بارور-۲ بر برخی ازصفات مورفولوژیک از قبیل بلندی، وزن خشک اندام هوایی و طول ریشه معنی‌دار بود. پیامدهای برهمکنش کود بارور-۲ و قارچ میکوریز بر غلظت عناصری نظیر فسفر، پتاسیم و نیتروژن گیاه معنی‌دار شده است.

غلظت فسفر برگ

پیامد سطوح برهمکنش قارچ میکوریز و نوع باکتری بر غلظت فسفر برگ در سطح یک دهم درصد معنی‌دار شد. جدول آزمون میانگین غلظت فسفر برگ نشان داد که مایه زنی قارچ میکوریز به تنهایی و مایه زنی قارچ میکوریز همراه با باکتری توانست غلظت فسفر برگ را نسبت به مایه زنی مجزا باکتری افزایش دهد. به‌طوری‌که مایه زنی قارچ میکوریز به تنهایی ۱۰۴ درصد و مایه زنی قارچ میکوریز همراه با باکتری‌های *Serratia odorifera*، *Pseudomonas fluorescens* و *Pseudomonas brassicacearum* نسبت به تیمار بدون قارچ میکوریز به ترتیب ۱۳۰، ۱۵۰ و ۱۰۶ درصد افزایش معنی‌دار را نشان داد (جدول ۹).

جدول ۹. پیامد سطوح برهمکنش قارچ میکوریز و باکتری بر غلظت فسفر برگ (درصد)

قارچ میکوریز	باکتری			
	B0	B1	B2	B3
G0	۰/۰۶۵۰ b	۰/۰۶۸۰ b	۰/۰۵۳۹ b	۰/۰۶۷۳ b
G1	۰/۱۳۲a	۰/۱۵۶a	۰/۱۳۵a	۰/۱۳۹a

B0 شاهد، B1 Serratia odorifera، B2 Pseudomonas fluorescens وB3 Pseudomonas brassicacearum

G0 بدون قارچ میکوریز و G1 قارچ میکوریز (۵۰ گرم)

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

پیامد مایه زنی باکتری همراه با منو کلسیم فسفات و خاک فسفات در هر سه باکتری گشاینده فسفات باعث افزایش غلظت فسفر برگ شد (جدول ۱۰). بیشترین غلظت فسفر برگ با بهره‌گیری از باکتری *Serratia odorifera* و کاربرد منو کلسیم فسفات به دست آمد که نسبت به شاهد بدون مایه زنی باکتری و عدم کاربرد فسفر ۷۲ درصد و نسبت به شاهد کاربرد منوکلسیم فسفات ولی بدون مایه زنی باکتری، ۳۰/۵ درصد غلظت فسفر برگ را افزایش داد. همچنین کاربرد تری کلسیم فسفات همراه با مایه زنی *Pseudomonas brassicacearum* و *Serratia odorifera* غلظت فسفر برگ را نسبت به شاهد افزایش دادند.

باکتری‌های گشاینده فسفات نقش کارای در بهبود رشد گیاه و افزایش فسفر قابل جذب از آمیزه های نامحلول فسفر مانند خاک فسفات و تری‌کلسیم فسفات دارند (Zaki *et al*., 2012). مایه زنی باکتری‌های گشاینده فسفات، باعث افزایش فسفر برگ در توت فرنگی (Stefan *et al*., 2013) و ماش (Zaidi & Khan, 2006) شد. همچنین افزایش فسفر اندام هوایی در کنجد (Akhgar, 2015 & Nikmehr)، ذرت (Abou-el-Seoud & Abdel-Megeed, 2012)، سورگوم (Appanna, 2007) در پیامد مایه زنی باکتری‌های گشاینده فسفات گزارش شده است.

Stefan *et al*., (2013) بیان کردند که علت افزایش فسفر برگ به دلیل توان باکتری گشاینده فسفر در حل فسفر نامحلول می‌باشد. گزارش شده است که کاربرد خاک فسفات باعث افزایش فسفر برگ پنبه (Qureshi *et al*., 2012) و فسفر اندام هوایی در کنجد (Nikmehr & Akhgar, 2015) و ذرت (Abou-el-Seoud & Abdel-Megeed , 2012) گردید. همچنین کاربرد خاک فسفات همراه با باکتری گشاینده فسفات بر روی این گیاهان سبب افزایش غلظت فسفر اندام هوایی گردید. باکتری‌های گشاینده فسفات همچنین ممکن است دسترسی فسفر و رشد محصول را با تقویت تثبیت بیولوژیکی نیتروژن (Li *et al*., 2020)، از طریق آزاد کردن محرک‌های رشد مانند اسید ایندول استیک (Pathan *et al*., 2018)، جیبرلین و سیتوکینین‌ها .(Kucey *et al*., 1989) بهبود بخشند. افزون بر باکتری‌های گشاینده فسفات قارچ‌های قارچ میکوریز نیز نقش کارایی در بهبود فسفر خاک دارند.

جدول ۱۰. پیامد سطوح برهمکنش باکتری و منابع فسفر بر غلظت فسفر برگ (درصد)

باکتری	منابع فسفر			
	P0	P1	P2	P3
B0	۰/۰۸۲c	۰/۱۰۸a-d	۰/۱۰۷a-d	۰/۰۶۹e
B1	۰/۱۳۱ a	۰/۱۴۱ a	۰/۱۱۱a-c	۰/۰۸۶ c-e
B2	۰/۰۸۰c-e	۰/a ۱۳۴	۰/۱۹۳b-e	۰/۰۷۹c-e
B3	۰/۰۷۴de	۰/۱۲۴ab	۰/۱۲۳ ab	۰/۰۹۴ b-e

B0 شاهد، B1 Serratia odorifera، B2 Pseudomonas fluorescens وB3 Pseudomonas brassicacearum

P0 عدم کاربرد منبع فسفر، P1 منوکلسیم فسفات (۵۰ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک)، P2 تری‌کلسیم فسفات (۱۵۰ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک) و P3 خاک فسفات

(۱۵۰ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک)
میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد براساس آزمون دانکن می‌باشند.

اخیراً گزارش شده است که قارچ میکوریزها و باکتری‌های گشاینده فسفات باعث افزایش غلظت فسفر و راندمان بهره‌گیری در ارقام گندم کشت شده در خاک‌های دارای کمبود فسفر شده است (Emami *et al*., 2020; Estrada-Bonilla *et al*., 2021). Estrada-Bonilla (2021) گزارش کرد که مایه زنی باکتری‌های گشاینده فسفات باعث افزایش در دسترس بودن و بهره‌وری بهره‌گیری از در سیستم نیشکر–خاک می‌شود. Bargaz *et al*. (2021) اخیراً بررسی کردند که چگونه کاربرد مشترک باکتری‌های گشاینده فسفات و فسفر در خاک می‌تواند بهره‌گیری کارآمد از فسفر را برای سیستم‌های کشت پایدار افزایش دهد و بهره‌گیری عاقلانه از مواد مغذی معدنی را تضمین کند.

در پژوهشی توسط Azarmi-Atajan & Sayyari-Zahan, (2019) پیامد دو گونه باکتری *Pseudomonas* و سطوح کود فسفاته بر روی شاخص‌های رشدی و غلظت فسفر نهال‌های پسته بررسی گردید و بیان گردید کاربرد همزمان سویه باکتری و خاک فسفات باعث افزایش وزن خشک اندام هوایی، غلظت فسفر اندام هوایی و بلندی گیاه شد. Sarcheshmepour *et al*. (2015) بیان کردند کاربرد ریزجانداران بومی باغ‌های پسته همراه با خاک فسفات افزون بر افزایش کارایی خاک فسفات، رشد و عملکرد نهال پسته را افزایش دادند. Javadi Nezhad *et al*. (2018) بهره‌گیری از قارچ میکوریز بومی مناطق پسته‌کاری ایران را کارآمدتر دانستند و بیان کردند تاثیرگذاری‌های گوناگون قارچ میکوریز روی غلظت فسفر اندام هوایی بیانگر توانایی متفاوت آن‌ها در افزایش جذب فسفر توسط ریشه‌ها و انتقال به اندام هوایی نسبت به نهال‌های شاهد می‌باشد و مایه زنی قارچ میکوریز و کود زیستی باعث افزایش فسفر نهال پسته گردید.

غلظت فسفر ساقه

تاثیر سطوح برهمکنش قارچ میکوریز و منبع فسفر بر غلظت فسفر ساقه در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد. کمترین غلظت فسفر ساقه در تیمار شاهد بود. کاربرد منابع فسفر باعث افزایش غلظت فسفر ساقه گردید، به‌طوری‌که در تیمارهای عدم مایه‌زنی قارچ میکوریز نسبت به شاهد، کاربرد تری‌کلسیم فسفات سبب افزایش ۵۵ درصدی شد. همچنین کاربرد قارچ میکوریز به تنهایی باعث افزایش ۷۵ درصدی غلظت فسفر ساقه شد. کاربرد قارچ میکوریز با منابع فسفر نیز سبب افزایش غلظت فسفر ساقه گردید. به‌طوری‌که بیشترین غلظت فسفر ساقه به‌ترتیب با کاربرد قارچ میکوریز همراه با کاربرد منوکلسیم فسفات و تری کلسیم فسفات افزایش ۶۱ و ۵۷ درصدی داشت (جدول ۱۱). Javadi Nezhad, (2016) نیز پیامد مثبت کاربرد توام قارچ میکوریز و کود بارور–۲ بر فسفر اندام‌های هوایی نهال پسته را گزارش کرد.

جدول ۱۱. آزمون میانگین پیامد برهمکنش قارچ میکوریز و منابع فسفر بر غلظت فسفر ساقه (درصد)

قارچ میکوریز	منابع فسفر			
	P0	P1	P2	P3
G0	۵۱۲ d	۵۷۳ d	۷۹۴ c	۵۵۹ d
G1	۸۹۶ c	۱۴۴۱ a	۱۴۰۷ a	۱۲۰۰ b

P0 عدم کاربرد منبع فسفر، P1 منوکلسیم فسفات (۵۰ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک)، P2 تری‌کلسیم فسفات (۱۵۰ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک) و P3 خاک فسفات (۱۵۰ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک)
G0 بدون قارچ میکوریز و G1 قارچ میکوریز (۵۰ گرم)
میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن می‌باشند.

نتیجه‌گیری

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که پیامدهای اصلی و برهمکنش باکتری‌های گشاینده فسفر و منابع فسفر و قارچ میکوریز بر شاخص‌های رویشی پسته معنی‌دار گردید و هر سه جدایه باکتری *Serratia odorifera*، *Pseudomonas brassicacearum* و *Pseudomonas fluorescens* و قارچ میکوریز *پیامدهای* مثبتی در افزایش شاخص‌های رویشی گیاه پسته داشتند و به نظر می‌رسد این اولین گزارش از کارا بودن باکتری *Serratia odorifera* جداسازی شده از ریزوسفر درختان پسته در سطح گونه و کارا بودن آن در مایه زنی با نهال پسته می‌باشد.

پیامد منابع فسفری تری‌کلسیم فسفات بر روی شاخص‌های وزن خشک برگ، وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، نسبت اندام هوایی به ریشه، فسفر ریشه، تعداد برگ و بلندی پسته معنی‌دار بود. خاک فسفات و منوکلسیم فسفات نیز همراه با کاربرد قارچ میکوریز

بر مقدار فسفر ریشه گیاه پیامد بارزتری داشت. همچنین مایه زنی باکتری توام با قارچ میکوریز بر وزن خشک ریشه و غلظت فسفر برگ بسیار کاراتر از کاربرد قارچ میکوریز به تنهایی بود. به نظر می‌رسد کاربرد سیستم‌های تغذیه‌ای تلفیقی از قارچ میکوریز، باکتری‌های گشاینده فسفات به‌ویژه جنس سودوموناس و منابع نامحلول فسفر (تری‌کلسیم فسفات و خاک فسفات) می‌تواند ضمن افزایش غلظت فسفر گیاه و بهبود رشد گیاه، سبب کاهش کاربرد کود شیمیایی و حفظ محیط‌زیست گردد و راهگشای عملکرد شایسته در کشاورزی پایدار باشد.

"هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد"

REFERENCES

Abou-el-Seoud, I. I. & Abdel-Megeed, A. (2012). Impact of rock materials and biofertilizations on P and K availability for maize (*Zea maize*) under calcareous soil conditions. *Saudi Journal of Biological Sciences, 19*(1), 55-63.

Adnan, M., Fahad, S., Zamin, M., Shah, S., Mian, I. A., Danish, S. & Datta, R. (2020). Coupling phosphate-solubilizing bacteria with phosphorus supplements improve maize phosphorus acquisition and growth under lime induced salinity stress. *Plants*, *9*(7), 900-917.

Afzal, A. & Bano, A. (2008). Rhizobium and phosphate solubilizing bacteria improve the yield and phosphorus uptake in wheat (*Triticum aestivum*). *International Journal of Agriculture and Biology, 10*(1), 1560-1566.

Ahmed ,W., Jing ,H., Kailou ,L., Ali ,S., Tianfu ,H., Geng ,S., Jin, C., Qaswar, M., Jiangxue, D., Mahmood, S., Maitlo, A. A., Khan, Z. H., Zhang, H. & Chen, D. Y. (2021). Impacts of long-term inorganic and organic fertilization on phosphorus adsorption and desorption characteristics in red paddies in Southern China. *Plos One*, 16 (1): e0246428. https://doi.org/10.1371/journal. pone. 0246428.

Appanna, V. (2007). Efficacy of phosphate solubilizing bacteria isolated from vertisols on growth and yield parameters of sorghum. *Research Journal of Microbiology*, 2(7): 550-559.

Aslantaş, R., Cakmakçi, R. & Şahin, F. (2007). Effect of plant growth promoting rhizobacteria on young apple tree growth and fruit yield under orchard conditions. *Scientia Horticulturae*, 111(4), 371-377.

Azarmi-Atajan, F. & Sayyari-Zahan, M. H. (2019). The role of phosphate solubilizing bacteria and phosphate fertilizers on some growth parameters and phosphorus content in pistachio seedlings. 16th Iranian Soil Science cogress.- 27-29 August, Zanjan, Iran (In Persian).

Bagheri, V., Shamshiri, M. H., Shirani, H. & Roosta, H. (2008). Effect of arbuscular mycorrhizae and drought stress on growth indexes, water relations and proline as well as soluble carbohydrate content in pistachio (*Pistacia vera* L.) rootstock seedlings. *Iranian Journal of Horticultural Science .4* (42),365-377. (In Persian).

Bargaz, A., Elhaissoufi, W., Khourchi, S., Benmrid, B., Borden, K. A. & Rchiad, Z. (2021). Benefits of phosphate solubilizing bacteria on belowground crop performance for improved crop acquisition of phosphorus. *Microbiological Research*, *252*, 126842.

Billah, M., Khan, M., Bano, A., Hassan, T. U., Munir, A. & Gurmani, A. R. (2019). Phosphorus and phosphate solubilizing bacteria: Keys for sustainable agriculture. *Geomicrobiology Journal*, *36*(10), 904-916.

Çakmakçi, R., Dönmez, F., Aydın, A., & 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*(6), 1482-1487.

Du, J., Liu, K., Huang, J., Han, T., Zhang, L., Anthonio, C. K., Shah, A., Khan, M. N., Qaswar, M., Abbas, M., Huang, Q., Xu, Y. & Zhang, H. (2022). Organic carbon distribution and soil aggregate stability in response to long-term phosphorus addition in different land-use types. *Soil and Tillage Research*, *215*, 105195.

Elhaissoufi, W., Ghoulam, C., Barakat, A., Zeroual, Y. & Bargaz, A. (2021). Phosphate bacterial solubilization: a key rhizosphere driving force enabling higher P use efficiency and crop productivity. *Journal of Advanced Research*,38, 13-28.

Emami, S., Alikhani, H. A., Pourbabaee, A. A., Etesami, H., Motasharezadeh, B.& Sarmadian, F. (2020). Consortium of endophyte and rhizosphere phosphate solubilizing bacteria improves phosphorous use efficiency in wheat cultivars in phosphorus deficient soils. *Rhizosphere*, *14*, 100196.

Estrada-Bonilla, G. A., Durrer, A. & Cardoso, E. J. (2021). Use of compost and phosphate solubilizing bacteria affect sugarcane mineral nutrition, phosphorus availability, and the soil bacterial community. *Applied Soil Ecology*, 157, 103760.

Fattahi, M., Mohammadkhani, A., Shiran, B., Baninasab, B. & Ravash, R. (2020). Influence of arbuscular

mycorrhizal fungi symbiosis with different pistachio rootstocks in salinity stress .*Journal of Plant Process and Function*, 9(38), 309-326. (In Persian).

Food & Agriculture Organization of the United Nations (FAO), (2018). Statistical Book.www.fao.org.

Fischer, S. E., Fischer, S. I., Magris, S. & Mori, G. B. (2007). Isolation and characterization of bacteria from the rhizosphere of wheat. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, *23*(7), 895-903.

Glick, B. R., Cheng, Z., Czarny, J. & Duan, J. (2007). Promotion of plant growth by ACC deaminase-producing soil bacteria. *European Journal of Plant Pathology*,119, 329-339.

Goharrizi, K. J., Baghizadeh, A., Kalantar, M. & Fatehi, F. (2020). Combined effects of salinity and drought on physiological and biochemical characteristics of pistachio rootstocks. *Scientia Horticulturae*, *261*, 108970.

Grant, C. A., Peterson, G. A. & Campbell, C. A. (2002). Nutrient considerations for diversified cropping systems in the northern Great Plains. *Agronomy Journal*, *94*(2), 186-198.

Hasani ,G., Akhgar A. R. & Tajabadipour, A. (2012). Effectiveness of IAA and ACC-deaminase producing fluorescent Pseudomonads on growth of pistachio seedlings .*Irainian Journal of Soil Research*, 26,(1), 89-97 (In Persian).

Hosseini Fard, S. J., Basirat, M., Sedaghati, N. & Akhiani, A. (2017). *Guidelines for integrated management of soil fertility and plant nutrition in pistachio trees.* Research, Education and Promotion Organization of the Ministry of Agricultural Jihad, Tehran, Iran (In Persian).

James, B., Rodel, D., Lorettu, U., Reynaldo, E. & Tariq, H. (2008). Effect of vesicular arbescular mycorrhiza (VAM) fungi inoculation on coppicing ability and drought resistance of *Senna spectabilis*. *Pakistan Journal of Botany*, 40(5), 2217-2224.

Javadi Nezhad, S., Abbaspour, A., Asghari, H. R. & Mirzaei Moghadam, H. (2019) Effects of Triple superphosphate application and biofertilizer on uptake of some nutrients and vegetative properties of pistachio seedlings. *Pistachio Science and Technology*,3 (6),41-56. (In Persian).

Javadi Nezhad, S. (2016).Effects of inoculation with mycorrhizal fungi and phosphate-solubilizing bacteria on seedling growth of pistacia .MS Thesis, Department of Water and Soil, College of Agriculture, Shahrood University of Technology.

Jazaeri, M. S., Akhgar A. R. & Sarcheshmehpour, M. (2015). Comparison of the native phosphate rock and imported triple superphosphate treated with sulfur and *Thiobacillus* in transferring lead and cadmium into pistachio seed. Electronic Journal of *Soil Management and Sustainable Production*, 5(3), 25-44. (In Persian).

Jilani, G., Zhang, D., Chaudhry, A. N., Iqbal, Z., Ikram, M. & Bashir, M. (2021). Role of phosphate-solubilising microorganisms in agricultural development. In *Plant Growth-Promoting Microbes for Sustainable Biotic and Abiotic Stress Management* (pp. 463-483). Springer, Cham.

Khan, H., Akbar, W. A., Shah, Z., Rahim, H. U., Taj, A. & Alatalo, J. M. (2022). Coupling phosphate-solubilizing bacteria (PSB) with inorganic phosphorus fertilizer improves mungbean (*Vigna radiata*) phosphorus acquisition, nitrogen fixation, and yield in alkaline-calcareous soil. *Heliyon*, *8*(3), e09081.

Khorramdel, S., Kouchaki. A., Nasiri Mahallati, M. & Ghorbani, R. (2010). The effect of biological fertilizers on yield and yield components of black seed medicinal plant. *Iranian Agricultural Research*, *8*(5), 768-776 .(In Persian).

Khosravi, V., Akhgar. A., & Abbaszadeh Dahaji, P. (2019). The Effect of plant growth promoting rhizobacteria and vermicompost on growth and chemical composition of pistachio seedlings (*Pistacia vera*). *Pistachio Science and Technology*, 3(6), 1-13. (In Persian).

Kucey, R. M. N., Janzen, H. H. & Leggett, M. E. (1989). Microbially mediated increases in plant-available phosphorus. *Advances in Agronomy*, *42*, 199-228.

Li, Y., Li, Q., Guan, G. & Chen, S. (2020). Phosphate solubilizing bacteria stimulate wheat rhizosphere and endosphere biological nitrogen fixation by improving phosphorus content. *PeerJ*, *8*, e9062.

Lun, F., Liu, J., Ciais, P., Nesme, T., Chang, J., Wang, R., Goll, D., Sardanas, J., Penuelas, J. & Obersteiner, M. (2018). Global and regional phosphorus budgets in agricultural systems and their implications for phosphorus-use efficiency. *Earth System Science Data*, *10*(1), 1-18.

Malakouti, M. J., Keshavarz, P. & Karimian, N. A. (2008) . *A comprehensive method of diagnosing and recommending optimal fertilizers for sustainable agriculture*. Tarbiat Modares Publishing House, Tehran, Iran. (In Persian).

Moradi, S. H. & Sarikhani, M. R. (2016). Comparison of phosphate dissolution from phosphate rock and tricalcium phosphate sources by some phosphate solubilizing bacteria. The Second National Congress on the Development of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

https://civilica.com/doc/512899/. (In Persian).

Nikmehr.,S , & Akhgar A. R. (2015). The effect of combined application of phosphate solubilizing bacteria and phosphorus fertilizer on growth and yield sesame. *Journal of Water and Soil, .29* (4), 991-1003. (In Persian).

Noroozi, H., Tajabadi Pour, A., Akhgar, A. R., Mozaffari, V. & Adhami, E. (2010). Effects of residual phosphorus and phosphate solubilizing bacteria inoculation on growth and phosphorus uptake of pistachio seedlings. 4th international symposium on phosphorus dynamics in the soil- plant- continuum (ISPDSPC). Beijing, China.

Olsen, S.R. & Sommers, L.E. (1982). Phosphorus, pp. 403-430. In: Klute, A. (eds.). *Methods of soil analysis: chemical and microbiological properties*, part2. 2nd edition, Agronomy, Monogr. No. 9, ASA and SSSA, Madison, WI.

Pathan, S. I., Větrovský, T., Giagnoni, L., Datta, R., Baldrian, P., Nannipieri, P. & Renella, G. (2018). Microbial expression profiles in the rhizosphere of two maize lines differing in N use efficiency. *Plant and Soil*, *433*(1), 401-413.

Penn, C. J. & Camberato, J. J. (2019). A critical review on soil chemical processes that control how soil pH affects phosphorus availability to plants. *Agriculture*, *9*(6), 120-137.

Qaswar, M., Ahmes, W., Huang, J., Liu, K. L., Zhang, L., Han, T. F., Du, J. X., Ali, S., Ur-Rahim, H., Huang, Q. H. and Zhang, H. M. (2022). Interaction of soil microbial communities and phosphorus fractions under long-term fertilization in paddy soil. *Journal of Integrative Agriculture*, *21*(7), 2134-2144.

Qureshi, M. A., Ahmad, Z. A., Akhtar, N., Iqbal, A., Mujeeb, F., & Shakir, M. A. (2012). Role of phosphate solubilizing bacteria (PSB) in enhancing P availability and promoting cotton growth. *Journal of Animal and Plant Sciences*, *22*(1), 204-210.

Rejali, F. (2009). Investigation of the effect of different species of arbuscular mycorrhizal fungi on mineral uptake high consumption and low consumption in wheat. Final report of the research plan of the Soil and Water Research Institute. No. 1446. (In Persian).

Sadr, S., Mozafari, V., Shirani, H., Alaei, H. & Tajabadi Pour, A. (2019). Selection of the most important features affecting pistachio endocarp lesion problem using artificial intelligence techniques. *Scientia Horticulturae*, *246*, 797-804.

Salehi, M. H. & Hosseinifard, J. (2012). Soil and groundwater relationships with pistachio yield in the Rafsanjan area, Iran. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, *43*(4), 660-671.

Sarcheshmepour, M., Besharati, H. & Savaghebi, G. (2015). Increasing the efficiency of rock phosphate by some indigenous microorganisms of pistachio orchards to improve growth and nutrition of pistachio seedlings under salt stress .*Iranian Journal of Soil Research*, 29(3), 371-381 (In Persian).

Selvaraj, T. H. & Chellappan, P. (2006). Arbuscular mycorrhizae: A diverse personality. *Journal of Central European Agriculture*, 7, 349-358.

Shahriaripour, R. (2018). Identifying the most important factors affecting the buffering capacity of phosphorus in pistachio cultivated lands of Sirjan region using the decision tree. PhD dissertation, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Vali-e-Asr University, Rafsanjan. .(In Persian).

Song, H. (2005). Effects of VAM on host plant in the condition of drought stress & its mechanisms. *Electronic Journal of Biology*, 1(3), 44-48.

Stefan, M., Munteanu, N., Stoleru, V., Mihasan, M. & Hritcu, L. (2013). Seed inoculation with plant growth promoting rhizobacteria enhances photosynthesis and yield of runner bean (*Phaseolus coccineus* L.). *Scientia Horticulturae*, 151, 22-29.

Tajabadi Pour, A., Sepaskhah, A. R., Maftoun, M. 2005. Plant water relations and seedling growth of three pistachio cultivars as influenced by irrigation frequency and applied potassium. *Journal of Plant Nutrition*. 28(8) :1413–1425.

Yu, X., Liu, X., Zhu, T. H., Liu, G. H., & Mao, C. (2012). Co-inoculation with phosphate-solubilzing 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.

Zahir, Z. A., Munir, A., Asghar, H. N., Shaharoona, B. & Arshad, M. (2008). Effectiveness of rhizobacteria containing ACC deaminase for growth promotion of peas (*Pisum sativum*) under drought conditions. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, *18*(5), 958-963.

Zaidi, A. & Khan, M. S. (2006). Co-inoculation effects of phosphate solubilizing microorganisms and *Glomus fasciculatum* on green gram-Bradyrhizobium symbiosis. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, *30*(3), 223-230.

Zaki, M. F., Fawzy, Z. F., Ahmed, A. A. & Tantawy, A. S. (2012). Application of phosphate dissolving bacteria

for improving growth and productivity of two sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) cultivars under newly reclaimed soil. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, *6*(3), 826-839.

Zorriyeh, G. & Adhami, E. (2017). Evaluation of the use of wheat straw residues, phosphate soil and *Aspergillus niger* as biofertilizer. First National Conference on Agriculture, Natural Resources and Veterinary. .Ardakan,Yazd, Iran Medicine.https://civilica.com/doc/1216944/. (In Persian).