نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۱ شماره ۱ / سال ۱۴۰۰ صفحات ۱۰۱-۸۷

# بررسی اثر تلقیح قارچ های میکوریز آربوسکولار و شبه میکوریز بر رشد و جذب فسفر گیاه گشنیز

**علی لطف الهی[۱]، صاحبعلی بلندنظر[۲]، ناصر علی اصغرزاد[۳]، بهمن خوشرو[۴*]، آرزو صیامی[۵]**

تاریخ دریافت: ۹۹/۲/٤ تاریخ پذیرش: ۹۹/۷/۱
۱-دانش آموخته کارشناسی ارشد علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
۲-استاد علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
۳- استاد بیولوژی و بیوتکنولوژی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
٤-دانشجوی دکترای بیولوژی و بیوتکنولوژی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
٥- دانشجوی دکترای بیولوژی و بیوتکنولوژی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
*مسئول مکاتبه: Email: bahmankhoshru@yahoo.com

**چکیده**

**اهداف :**استفاده از پتانسیل میکروب‌های خاک مانند قارچ‌های میکوریز در قالب کودهای زیستی، یکی از راه‌های دوستدار محیط زیست است که به کاهش استفاده از نهاده‌های شمیایی وکاهش خسارات وارد شده بر محیط زیست و انسان کمک می‌کند. بر این اساس در این تحقیق تأثیر تلقیح دوگونه قارچ میکوریز (*Diversispora versiformis* و *Rhizophagus irregularis*) و یک گونه قارچ شبه میکوریز *Piriformospora indica* بصورت مجزا و تلفیقی بر عملکرد و میزان جذب فسفر گیاه گشنیز بررسی شد.

**مواد و روش‌ها :**این آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار در شرایط گلخانه‌ای انجام گرفت. تیمارهای آزمایش شامل تیمار قارچ منفرد (*Rhizophagus irregularis*، *Diversispora versiformis*، *Piriformospora indica*)، تیمار قارچی توأم (*Rhizophagus irregularis + Diversispora versiformis*، *Piriformospora indica + Diversispora versiformis*، *Piriformospora indica+ Rhizophagus irregularis*، *Piriformospora indica + Rhizophagus irregularis + Diversispora versiformis*)، تیمار شاهد مثبت (دارای کود اوره و سوپرفسفات تریپل، بدون قارچ) و تیمار شاهد منفی (بدون کود شیمیایی، بدون قارچ) بود.

**یافته‌ها :**نتایج نشان‌داد که اثر هرسه گونه قارچ (میکوریز و شبه‌میکوریز) بر شاخص‌های رشدی (وزن تر وخشک اندام هوایی و ریشه) و غلظت فسفر در مقایسه با تیمار شاهد معنی‌دار می‌باشد ($p<0.01$). در مقایسه با شاهد منفی، میزان افزایش در وزن خشک بخش هوایی در تیمار شاهد مثبت (۳٦/۱۳٪)، در وزن خشک ریشه تیمارهای *R. irregularis*، PC و *D. versiformis* (بترتیب ٤۸/۰٤ ٪، ٤٥/٦٥ ٪ و ٤۲/۹٤ ٪)، در شاخص کلروفیل تیمار قارچ *P. indica* (۳۲/۱۸ ٪) ، در درصد کلنیزاسیون، تیمار تلفیقی *R. irregularis +P. indica* (۹۱/۷٥ ٪) ، در غلظت فسفر بخش هوایی تیمار *P. indica* (۳٤/٥۰ ٪) و غلظت فسفر بخش ریشه نیز در تیمار *P. indica + R. irregularis* (۲٥/۸۸ ٪) بودند.

**نتیجه‌گیری :**طبق نتایج این تحقیق می‌توان در کشت سبزی‌ها به منظور کاهش مصرف کودهای فسفاته از قارچ‌های میکوریزی جهت افزایش عملکرد گیاه استفاده کرد.

**واژه‌های کلیدی**: کود زیستی، شاخص کلروفیل، کلنیزاسیون، زادمایه قارچی، گیاه دارویی

# Effects of Inoculation with Arbuscular Mycorrhiza and Mycorrhiza-Like Fungi on Growth and Phosphorus Uptake of Coriander

**Ali Lotfollahi[1], Sahebali Bolandnazar[2], Nase Aliasgharzad[3], Bahman Khoshru[4*], Arezo Siami[5]**

Received: April 23, 2020 Accepted: September 22, 2020
1-MSc of Horticultural Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran
2-Prof.of Horticultural Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran.
3-Prof., Dept. of Soil Biology and Biotechnology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran.
4-PhD Student of Soil Biology and Biotechnology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran.
5-PhD Student of Soil Biology and Biotechnology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran.
*Corresponding Author Email: bahmankhoshru@yahoo.com

**Abstract**

**Background & Objective:** Using the potential of soil microbes such as mycorrhizal fungi in the form of biofertilizers is an environmental friendly way to help reduce the use of chemical inputs and reduce the damage to the environment and humans. In this study, the effect of inoculation of coriander with two species of mycorrhizal fungi (*Diversispora versiformis* and *Rhizophagus irregularis*) and one species of mycorrhiza-like fungus (*Piriformospora indica*) on the yield and phosphorus uptake was investigated in a pot culture experiment.

**Materials & Methods:** The experiment was conducted in a completely randomized design with four replications under greenhouse conditions. Experimental treatments included single fungal treatments (*Rhizophagus irregularis* ،*Diversispora versiformis* ،*Piriformospora*), combined fungal treatments (*Rhizophagus irregularis + Diversispora versiformis* ،*Piriformospora indica + Diversispora versiformis* ، *Piriformospora indica+ Rhizophagus irregularis* ،*Piriformospora indica + Rhizophagus irregularis + Diversispora versiformis*), positive control (with urea and triple superphosphate, no fungus) and negative control (no chemical fertilizer, no fungus).

**Results:** The results showed that the application of all three species of fungi were significant in terms of the effect on growth indices (shoot and root dry weight) and phosphorus concentration compared to the control treatment ($p < 0.01$). Compared to the negative control, the enhancement of shoot dry weight in PC was 36.13%. Accordingly, the root dry weight in *R. irregularis*, PC and *D. versiformis* treatments (48.04%, 45.65% and 42.94%, respectively), the chlorophyll index in *P. indica* (32.18%), the root colonization in *P. indica* + *R. irregularis* (91.75%), the shoot phosphorus concentration in *P. indica* (34.50%) and root phosphorus concentration in *P. indica* + *R. irregularis* (25.88%) were higher compared to the negative control treatment.

**Conclusion:** According to the results of this study, mycorrhizal fungi can be used in vegetable cultivation to reduce the use of phosphate fertilizers to increase plant yield.

**Keywords:** Biofertilizer, Chlorophyll Index, Colonization, Fungal Inoculum, Medicinal Plant.

**مقدمه**

گشنیز با نام علمی *Coriandrum sativum* L. گیاهی یکساله از خانواده چتریان با طول دوره رشد ۱۰۰ تا ۱۲۰ روز که در بسیاری از کشورها به عنوان گیاهی بهاره و در برخی کشورهای مدیترانه و جنوب شرقی آسیا به عنوان گیاهی زمستانه کشت می‌شود (امید بیگی ۱۹۹۷). برگ‌های گیاه گشنیز بیشتر در تغذیه کاربرد دارد و سرشاخه‌های آن به صورت تازه در سالاد و سوپ، میوه بذر در صنایع غذایی و چاشنی در آشپزخانه، اسانس بذر در صنایع دارویی، آرایشی و بهداشتی و روغن بذر در صنایع غذایی و دارویی کاربرد دارد (سفیدکن ۱۹۹۹). مصرف گشنیز در درمان بیماری‌های عفونی مختلف مانند تب تیفوئید و به طور کلی بیماری‌های مختلف توصیه شده است. شاخساره این گیاه شامل اسانس و مواد موثره است که اجزای اصلی اسانس برگ آن دکانول[1] می‌باشد. خواص درمانی قارچ کشی، ضدسرطان، افزایش حافظه و اثرات درمانی زیادی برای آن عنوان شده است (نادیم ۲۰۱۳).

قارچ‌های میکوریز به عنوان قارچ همزیست اجباری، نقش مهمی درچرخه عناصر غذایی به ویژه فسفر و برخی عناصر کم مصرف در اکوسیستم‌ها و حفاظت گیاهان در مقابل تنش‌های محیطی و کشاورزی ایفا می‌کنند، روابط همزیستی میکوریز نقش اصلی در تجزیه مواد آلی خاک، معدنی شدن عناصر غذایی گیاهان و چرخه عناصر غذایی ایفا می‌کند (امانی‌فر و همکاران ۲۰۱۹؛ بلندنظر و همکاران ۲۰۱۹؛ فنگ و همکاران ۲۰۱۹ ؛ سان و همکاران ۲۰۱۸ ؛ نادیان و همکاران ۱۹۹٦). هیف‌های قارچی می‌توانند به منافذ بسیار ریزی که حتی تارهای کشنده ریشه گیاه قادر به نفوذ در آن‌ها نیستند، وارد و باعث افزایش میزان جذب آب و مواد غذایی گردند (هائو و همکاران ۲۰۱۹ ؛ سهرابی و همکاران ۲۰۱۲). قارچ‌های میکوریزی با فراهم نمودن سطح جذب‌کننده وسیع‌تر برای انتقال عناصر غذایی موجود در خاک به ریشه گیاهان، سبب بهبود رشد گیاه می‌گردند. از دیگر مزایای این ارتباط مفید می‌توان به تولید هورمون‌های محرک رشد گیاه، افزایش عملکرد محصول، افزایش مقاومت گیاه به عوامل بیماری‌زای ریشه، کمک به کاهش تنش‌های محیطی از جمله شوری و خشکی و از همه مهم‌تر کاهش مصرف کودهای شیمیایی اشاره نمود (رونگا و همکاران ۲۰۱۹ ؛ چن و همکاران ۲۰۱۸ ؛ وارما و همکاران ۲۰۱۲ ؛ رای و همکاران ۲۰۰۵).

قارچ شبه میکوریز *Pirifomospora Indica* نیز دارای دامنه وسیعی از گیاهان میزبان است که با کلنیزاسیون ریشه آنها سبب تحریک شدید رشد میزبان‌های خود می‌گردد و همچنین این قارچ با کلنیزه کردن و افزایش رشد ریشه بسیاری از گیاهان، عملکرد آنها را افزایش می‌دهد و رشد محصولات را در خاک‌های فقیر، با کمتر کردن استفاده از آفت‌کش‌ها و کودهای شیمیایی، بهبود می‌بخشد (جیشا و سوبا ۲۰۱۹ ؛ وارما و همکاران ۱۹۹۹). این قارچ از نظر ریخت شناسی، کارکرد، تحریک رشد گیاه و دامنه میزبانی بسیار شبیه قارچ‌های میکوریزی است به همین خاطر قارچ شبه میکوریزی نیز نامیده می‌شود (پراجاپاتی و همکاران ۲۰۰۸). شبه‌میکوریز *P. Indica* سبب افزایش سطح جذب ریشه از طریق تکثیر ریشه‌های موئین، پهنای برگ، میزان کلروفیل، راندمان فتوسنتزی برگ، تعداد جوانه‌های گل، تعداد میوه‌ها، میزان تجمع آب و مواد پرورده میوه، کیفیت بهتر میوه و در نهایت عملکرد گیاهان همزیست، از جمله گیاهان دارویی می‌شود (لیو و همکاران ۲۰۱۹ ؛ قاسم نژاد و همکاران ۲۰۱۳). پژوهش‌ها نشان داده که این قارچ علاوه بر تأثیر مستقیم در رشد گیاه از طریق تحریک سیستم دفاعی گیاه مقاومت آن را در مقابل بیماری‌ها و همچنین کم‌آبی (خشکی) افزایش می‌دهد (والر و همکاران ۲۰۰۵ ؛ دشموخ و همکاران ۲۰۰٦).

[1] Decanol

از آنجا که رویکرد جهانی در تولید گیاهان دارویی به سمت بهبود کمیت و کیفیت و سلامت ماده مؤثره می‌باشد، بنابراین تغذیه سالم این گیاهان از طریق کاربرد کودهای بیولوژیک دارای بیشترین تطابق با اهداف تولید گیاهان دارویی بوده و منجر به بهبود عملکرد کمی و کیفی آنها می‌شود. بر این اساس مطالعه تأثیر قارچ‌های میکوریز بر سبزی‌ها از جمله گشنیز به دلیل موارد استفاده زیاد ازآنها ضروری به نظر می‌رسد. در این مطالعه سعی بر آن شد که تاثیر دو گونه قارچ میکوریزآربوسکولار و یک گونه قارچ شبه میکوریز روی عملکرد گیاه گشنیز و جذب فسفر توسط گیاه و سایر پارامترهای گیاهی بررسی شود.

## مواد و روش‌ها

### زمان و محل اجرای آزمایش

این آزمایش گروه باغبانی و گروه علوم و مهندسی خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز به صورت کشت گلدانی به اجرا درآمد. دو گونه قارچ ( *Rhizophagus irregularis* و *Diversispora versiformis* ) از گروه علوم و مهندسی خاک دانشکده کشاورزی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز تهیه شد. تکثیر و تولید آن در گلخانه این گروه و در بستر حاوی ورمی‌کولایت، کوکوپیت و کمپوست به نسبت های حجمی ۱:۱:۲ و با میانگین تعداد اسپور $10^4$ عدد در یک گرم بستر زادمایه، باگیاه سورگوم به عنوان میزبان صورت گرفت.

قارچ شبه‌میکوریز *P. indica* از آزمایشگاه بیولوژی گروه علوم و مهندسی خاک تهیه شد، ابتدا به تعداد کافی پتری‌دیش حاوی محیط کشت تهیه و سپس قارچ کشت داده شد. این قارچ در محیط کشت PDA[1] (۲۰۰ گرم پوره سیب زمینی، ۲۰ گرم دکستروز، ۲۰ گرم آگار در ۱ لیتر) به مدت دو هفته در دمای ۲۶ درجه سلسیوس تکثیرگردید. سپس با استفاده از تیغ اسپاتول استریل شده لایه نازکی از قارچ روی محیط کشت، برداشته شده و با شن استریل به طور کامل و یکنواخت مخلوط گردید و به عنوان زادمایه قارچی در کشت گلدانی استفاده شد (فام و همکاران ۲۰۰۸). در هر گرم زادمایه علاوه بر هیف‌های قارچ، حدود ۱۰۰ اسپور بود. برای یکسان سازی اثر بسترهای کشت قارچ، در تیمارهای شاهد بدون قارچ نیز از مقادیر مشابه بسترها اضافه شد.

### آماده‌سازی خاک

بعد از هواخشک کردن و عبور از الک دو میلی‌متری، برخی ویژگی‌های خاک، شامل EC با روش عصاره گل اشباع با دستگاه EC متر ، pH با روش عصاره گل‌اشباع با دستگاه pH متر (ریچارد ۱۹۵٤)، بافت خاک به روش هیدرومتر (گی و بادر ۱۹۸٦) ، فسفر قابل جذب با عصاره‌گیری با بی‌کربنات سدیم (اولسن و سامرز ۱۹۸۲)، کربن آلی با روش والکلی بلک (نلسون و سومرز ۱۹۸۲)، پتاسیم قابل جذب با استفاده ازاستات آمونیوم یک نرمال با pH=7 (گوپتا ۲۰۰۰) و رطوبت ظرفیت مزرعه با استفاد از دستگاه صفحات فشار تعیین گردید. خاک مورد نظر برای کشت گلدانی پس از عبور از غربال ٤/۷ میلی‌متری در گونی‌های کنفی پرشد و به مدت دو ساعت در دمای ۱۲۱ درجه سلسیوس و فشار ۱/۲ بار در اتوکلاو استریل گردید.

رقم گشنیز مورد استفاده در این بررسی توده محلی تبریز بود. برای کشت از گلدان‌های استریل شده‌ی هفت کیلویی با قطر دهانه ۲٤ سانتی‌متر و ارتفاع ۱۷ سانتی‌متر استفاده شد. بذور مورد استفاده ۲٤ ساعت خیسانده و به مدت ۱۵ دقیقه با هیپو کلریت سدیم ضد عفونی شده و سپس با آب مقطر استریل، شسته شدند (شعبانی و همکاران ۲۰۱۳).

### کشت گیاه و اعمال تیمارها

خاک استریل و دردو سوم حجم گلدان‌ها ریخته شد. سپس بر اساس تیمارهای تعریف شده، مقدار ۵۰ سانتی متر مکعب زاد مایه در عمق پنج

1 Potato Dextrose Agar

سانتی‌متری خاک درگلدان‌ها پخش و بذور در سطح خاک قرار گرفت و حدود یک سانتی‌متر ماسه بادی استریل روی آن ریخته شد. تیمارهای توام این قارچ‌ها و تیمارشاهد منفی(بدون قارچ وکود) و شاهد مثبت (بدون قارچ ولی با کود) با اعمال کودی ۰/۲ گرم سوپر فسفات و ۰/۵ گرم اوره برای هر گلدان بر اساس نتایج آزمون خاک و توصیه کودی (ملکوتی ۲۰۰۰) با شرایط بستر یکسان صورت گرفت. گلدان‌ها در دمای ۳±۲۵ سلسیوس (روز) و ۳±۱۸ سلسیوس (شب) قرار گرفتند و آبیاری ابتدا به صورت روزانه و پس از جوانه زنی، یک‌روز درمیان در طول رشد، بارعایت رطوبت خاک گلدان‌ها در محدوده ظرفیت زراعی (۰/۷-۰/۸ FC) انجام گرفت و در هر گلدان به تعداد ۱۲ بوته پرورش داده شد.

**رنگ آمیزی و تعیین درصد کلنیزاسیون ریشه توسط قارچها**

بخشی از ریشه‌های ظریف و ریز از هر نمونه ریشه گیاه جدا شده و پس از شستشوی کامل با آب به روش کورمانیک و مک گراو ( ۱۹۸۲) رنگ آمیزی شدند. برای تعیین درصد کلنیزاسیون ریشه از روش تقاطع خطوط شبکه استفاده شد (نوریف و همکاران ۱۹۹۲، شنک و پرز ۱۹۸۸).

**شاخص کلروفیل برگ (SPAD)**

در این آزمایش پس از رشد کامل برگ‌ها و رسیدن گیاه به مرحله گلدهی میزان کلروفیل موجود در برگ‌ها با استفاده از دستگاه کلروفیل سنج (SPAD) پس از اعمال تیمارها اندازه‌گیری شد. این دستگاه بدون تخریب برگ، معیاری از میزان کلروفیل برگ را به صورت یک عدد نشان می‌دهد. برای این منظور از چند برگ تازه توسعه یافته در هر تیمار، به طور تصادفی ۱۰ عدد خوانش شده و نهایتاً میانگین این‌ها به عنوان شاخص کلروفیل برای آن تیمار در نظر گرفته شد. (طباطبایی ۲۰۱۳).

**اندازه‌گیری وزن خشک بخش هوایی و ریشه**

برای اندازه‌گیری وزن تر اندام هوایی، بوته‌ها از طوقه قطع شده و وزن ترآن یادداشت شد. سپس نمونه‌ها دراتاق تاریک به مدت ۷ روز قرارگرفته و سپس وزن هوا خشک آنها اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری وزن تر ریشه در پایان آزمایش ریشه‌ها به آرامی از خاک جدا و پس از شتشو با آب روی پارچه پهن و پس از مدتی توزین شد و پس از ٤٨ ساعت نگهداری در دمای ۷۰ درجه سلسیوس داخل آون وزن خشک هم اندازه‌گیری شد.

**اندازه‌گیری غلظت عناصر در گیاه**

**هضم نمونه‌های گیاهی به‌روش خشک‌سوزانی**

نمونه‌ها بعد از خشک شدن، خرد شده و برای ایجاد نمونه‌ای یکنواخت از الک ۰/۵ میلی‌متری عبور داده شدند. برای اندازه‌گیری عناصر ، هضم نمونه‌های گیاهی به روش خشک سوزانی انجام گرفت (وسترمن ۱۹۹۰). برای اندازه‌گیری غلظت فسفر (کاتینه ۱۹۸۰) از دستگاه اسپکتروفتومتر (Hack DR/2000) استفاده شد.

**طرح آزمایشی و تحلیل آماری**

این تحقیق در قالب طرح کاملا تصادفی و در چهار تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل دوگونه قارچ میکوریز آربوسکولار(*Rhizophagus irregularis* و *Diversispora versiformis* ) و یک گونه قارچ شبه میکوریز(*Piriformospora indica* ) و تیمارهای توام این قارچ‌ها و تیمارشاهد منفی(بدون قارچ وکود) و شاهد مثبت (بدون قارچ ولی با کود) بود در مجموع کل واحدهای آزمایش ۳٦ گلدان شد. تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS و برای رسم شکل‌ها از نرم افزار EXCEL استفاده گردید. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام گردید.

**نتایج و بحث**

برخی از ویژگیهای خاک مورد آزمایش در جدول ۱ آورده شده است.

**جدول۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده**

| بافت | FC % | pH | EC ($dS.m^{-1}$) | OC % | CCE % | نیتروژن کل (%) | P ($mg.kg^{-1}$) | K ($mg.kg^{-1}$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| شن لومی | ۲٤ | ۷/۱۵ | ۲/۷ | ۰/٦٤ | ۱۰/۲۵ | ۰/۰۲ | ۳/٤ | ۲۲٤ |

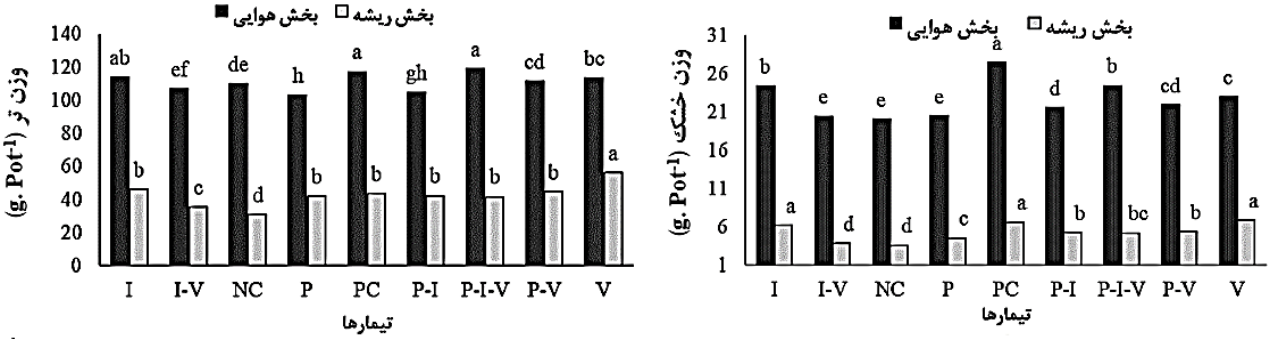
**وزن تر و خشک بخش هوایی و ریشه**

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) مشخص کرد که بین تیمارهای مختلف قارچی از نظر تاثیر بر وزن تر و خشک بخش هوایی و ریشه گیاه گشنیز اختلاف معنی‌داری وجود دارد ($p<0.01$).

بیشترین وزن خشک بخش هوایی مربوط به تیمار PC (شاهد مثبت) با مقدار ۲۷/٤٦ گرم در گلدان بود که افزایش ۲٦/۹۲ درصدی نسبت به شاهد منفی داشت. تیمار منفرد I و تیمار تلفیقی PIV در رتبه دوم و در یک گروه آماری قرار داشتند و نسبت به شاهد منفی به ترتیب ۱۷/۹٤ و ۱۷/۸۸ درصد بالاتر بودند. پایین‌ترین عملکرد در بین قارچ‌ها مربوط به تیمار تلفیقی IV بود که عملکردی کمی بیشتر از تیمار شاهد منفی داشت. در بخش وزن خشک ریشه نیز تیمار شیمیایی شاهد مثبت دارای بالاترین عملکرد بود و دو تیمار قارچ میکوریز I و V نیز از نظر آماری با تیمار شاهد مثبت اختلاف معنی‌داری نداشتند و به ترتیب منجربه افزایش وزن خشک ریشه به میزان ٤۸/۰٤ و ٤۲/۹٤ درصد در مقایسه با تیمار شاهد منفی (NC) شده بودند. قارچ شبه‌میکوریز *P. indica* با وجود اینکه دارای عملکرد ضعیفی نسبت به تیمارهای میکوریزی داشت ولی در مقایسه باشاهد منفی باعث افزایش ۱٦/۱۲ درصدی وزن خشک ریشه شده بود. تیمارهای میکوریزی منفرد I و V باوجود داشتن عملکرد بالا در افزایش وزن خشک ریشه گشنیز، درصورت تلفیق این دو قارچ عملکردشان بشدت کاهش یافته که می‌توان به اثر متقابل منفی این دو قارچ بر یکدیگر نسبت داد (شکل ۱).

در قسمت وزن تر بخش هوایی، بیشترین عملکرد مربوط به تیمار تلفیقی PIV با مقدار ۱۱۸/۹۲ گرم بر گلدان بود که با تیمار PC (شاهد مثبت) تفاوت معنی‌داری نداشت. در بین تیمار قارچ‌های منفرد میکوریزی، تیمار I (*Rhizophagus irregularis*) بیشترین عملکرد را داشت و این در حالی بود که قارچ شبه میکوریز *P. indica* (تیمار P) با میزان ۱۰۳/۳۹ گرم دارای کمترین وزن خشک بخش هوایی در گلدان بود که حتی ۵/۸۷ درصد کمتر از تیمار شاهد منفی (NC) بود. در قسمت وزن خشک بخش هوایی قارچ میکوریز *D. versiformis* (تیمار V) دارای بالاترین عملکرد بود (٥٦/۲٥ گرم بر گلدان) که افزایش ۲۲/٦٦ درصدی نسبت به شاهد مثبت (PC) و ٤٥/۳۳ درصدی نسبت به شاهد منفی (NC) از خود نشان داد. در رتبه بعدی هم قارچ میکوریز *R. irregularis* (تیمار I) قرار داشت. قارچ شبه میکوریز با عملکرد ٤۲/۱۲ گرم بر گلدان، نسبت به تیمار شاهد مثبت (PC) ۳/٤٤ درصد کاهش و نسبت به شاهد منفی (NC) ۲٦/۷۸ درصد افزایش نشان داد (شکل ۱).

قارچ میکوریز از طریق بهبود جذب و انتقال آب و فراهمی مواد غذایی به خصوص فسفر که نقش مهمی در انتقال انرژی در طی فتوسنتز دارد و باعث افزایش رشد و عملکرد گیاه می‌شود (بلندنظر و همکاران ۲۰۱۹؛ امانی فر و همکاران ۲۰۱۹). علی آبادی و همکاران، ۲۰۰۸ در گیاه گشنیز نتیجه گرفتند که اثر استفاده از قارچ میکوریز بر زیتوده گیاه و عملکرد بذر معنی‌دار بود. دلیل کم بودن عملکرد ریشه در شاهد مثبت نسبت به سایر تیمارها را می‌توان به سهولت دست‌یابی ریشه به مواد غذایی و در نتیجه عدم توسعه آن نسبت داد (پارادی و همکاران ۲۰۰۳). افزایش وزن تر و خشک شاخساره ریحان و شیرین بیان تحت همزیستی با قارچ میکوریز گزارش شده است (لیو و همکاران ۲۰۰۷).




**شکل۱- مقایسه میانگین اثر قارچ‌ها بر وزن تر و خشک اندام‌هوایی و ریشه گیاه گشنیز (*I: Rhizophagus irregularis*، V: *Diversispora versiformis*، P: *Piriformospora indica*، I V: *Rhizophagus irregularis* + *Diversispora versiformis*، P V: *Piriformospora indica* + *Diversispora versiformis*، P I: *Piriformospora indica*+ *Rhizophagus irregularis*، P I V: *Piriformospora indica* + *Rhizophagus irregularis* + *Diversispora versiformis*، PC: شاهد مثبت و NC: شاهد منفی)**

**جدول۲- تجزیه واریانس اثر تیمارهای قارچی بر وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی گیاه گشنیز**

| منابع تغییر | درجه آزادی | میانگین مربعات | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | وزن تر اندام‌هوایی | وزن خشک اندام‌هوایی | وزن تر ریشه | وزن خشک ریشه |
| تیمار | ۸ | ٤٦٥٢٨/٣** | ٢٠٧١/٨٣** | ٤٧١٠/١** | ١١١** |
| خطا | ٢٤ | ١٥/٧٦٨ | ٥/٠٧٣ | ٨١/٣٢٤ | ١/٠١٥ |
| ضریب تغییرات(%) | | ١١/٥٠ | ٩/٩٤ | ٢١/٢٠ | ١٩/٤٧ |

** معنی دار در سطح ۱٪ می‌باشد.

قارچ *P. indica* با افزایش سطح جذب در خاک از طریق گسترش میسیلیوم‌های خود، فراهمی آب و عناصر غذایی را برای گیاه افزایش می‌دهد و این افزایش به نوبه خود سبب می‌گردد که میزان فتوسنتز و تولید قندها و مواد ذخیره‌ای افزایش یابد و در نتیجه رشد اندام هوایی و ریشه‌ها افزایش یابد. به نظر می‌رسد میسیلیوم‌های قارچ سطح جذب بالاتری را برای گیاه گشنیز فراهم آورده و از طرفی به نگهداری آب در اطراف آن کمک کرده‌اند و همین مسئله سبب شده است تا در شرایط یکسان گیاهان تلقیح شده نسبت به گیاهان شاهد آب بیشتری در اختیار داشته باشند. تلقیح گیاه رازیانه با قارچ *P. indica* باعث افزایش معنی‌داری در رشد و زیتوده گیاهان تلقیح شده می‌شود (لیو و همکاران ۲۰۰۷).

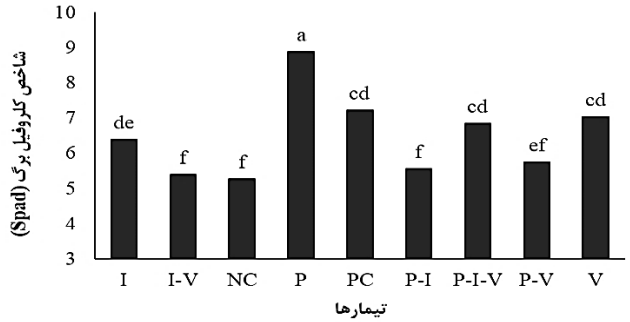
**شاخص کلروفیل برگ**

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) داده‌های این بخش مشخص کرد که بین تیمارهای قارچی از نظر شاخص کلروفیل برگ تفاوت معنی‌دار وجود دارد ($P<0.01$). نتایج مقایسه میانگین تیمارها مشخص کرد بیشترین شاخص کلروفیل برگ مربوط به تیمار P (قارچ شبه میکوریز *P. indica*) بود (۸/٦۳) که دارای افزایش ۱۸/۷۹درصدی نسبت به تیمار شاهد مثبت (PC) و ۳۲/۱۸ درصد نسبت به شاهد منفی بود. در رتبه‌های بعدی تیمارهای شاهد مثبت (PC)، تیمار تلفیقی PIV و تیمار منفرد V قرار داشتند که در یک سطح آماری بودند. بقیه تیمارهای منفرد و تلفیقی قارچی دارای عملکرد پایین‌تری نسبت به شاهد مثبت بودند. کمترین شاخص در بین تیمارهای قارچی متعلق به تیمار قارچی توام (IV) به میزان ٥/٤ بوده که با شاهد منفی در یک سطح آماری قرار داشت (شکل ۲).

**جدول۳- تجزیه واریانس اثر تیمارهای قارچی بر پارامترهای شاخص کلروفیل، درصد کلنیزاسیون و غلظت و جذب فسفر ریشه و اندام هوایی گشنیز**

| منابع تغییر | درجه آزادی | میانگین مربعات | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | شاخص کلروفیل | درصدکلنیزاسیون | غلظت فسفر ریشه | غلظت فسفر هوایی | جذب فسفر ریشه | جذب فسفر هوایی |
| تیمار | ۸ | ۱۸٤/۰٦$^{**}$ | ۱۹٦۰٤/۳$^{**}$ | ۳٤/۲٤$^{**}$ | ۱۵۲/۹۸$^{**}$ | ۲٤۵/۰۹$^{**}$ | ۷۹۵/۲۷$^{**}$ |
| خطا | ۲٤ | ۲/٤۷۲ | ۲۵٦ | ۰/۲۳۷ | ۷/۰۷۵ | ۱۱/۹٤۳ | ۲٤/۷۲۵ |
| ضریب تغییرات(%) | | ۲۳/٤٤ | ۹/۱۳ | ۱۷/۲۲ | ۱۸/۸۵ | ۱۹/۷٤ | ۱۳/۵۱ |

$^{**}$ معنی دار در سطح ۱ درصد می‌باشد.

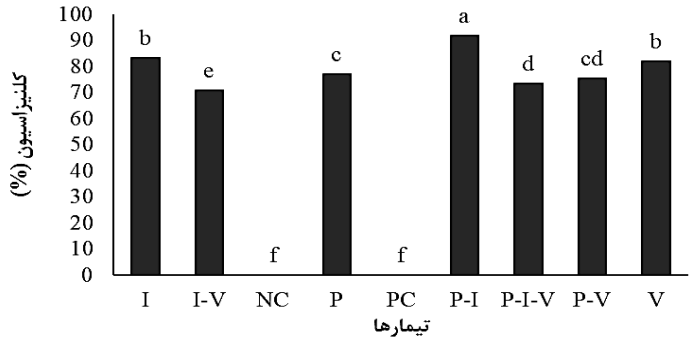



**شکل۲- مقایسه میانگین اثر قارچ‌ها بر شاخص کلروفیل گیاه گشنیز(I: *Rhizophagus irregularis*، V: *Diversispora versiformis*، P: *Piriformospora indica*، I V: *Rhizophagus irregularis* + *Diversispora versiformis*، P V: *Piriformospora indica* + *Diversispora versiformis*، P I: *Piriformospora indica*+ *Rhizophagus irregularis*، P I V: *Piriformospora indica* + *Rhizophagus irregularis* + *Diversispora versiformis*، PC: شاهد مثبت و NC: شاهد منفی)**

قارچ‌های میکوریز پس از همزیست شدن با گیاهان میزبان بر جنبه‌های مختلف فیزیولوژی و بیوشیمیایی گیاه تأثیر می‌گذارد و موجب رشد و بهبود آن می‌شود که یکی از این فرآیندها فتوسنتز و افزایش کلروفیل در برگ می‌باشد. برخی از محققین گزارش کرده‌اند که قارچ میکوریز باعث افزایش سرعت فتوسنتز در واحد سطح برگ گیاه میزبان می‌شود. نتایج به‌دست آمده نشان داد تلقیح قارچ باعث افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی و میزان SPAD نسبت به شاهد شده بود که با نتایج کریمی و همکاران (۲۰۱۵) و حاجی نیا و زارع (۲۰۱٤) مطابقت داشت.

**درصد کلنیزاسیون ریشه**

بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳)، کاربرد قارچ‌های میکوریزا تاثیر معنی‌داری بر میزان کلنیزاسیون ریشه گشنیز داشته است ($P<0.01$). نتیجه مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تیمار قارچی تلفیقی PI با ۹۱/۷۵ درصد و تیمار میکوریزی توام (IV) با ۷۰/۷۵ درصد کمترین میزان کلنیزاسیون را نسبت به شاهد منفی و مثبت داشت (شکل ۳).



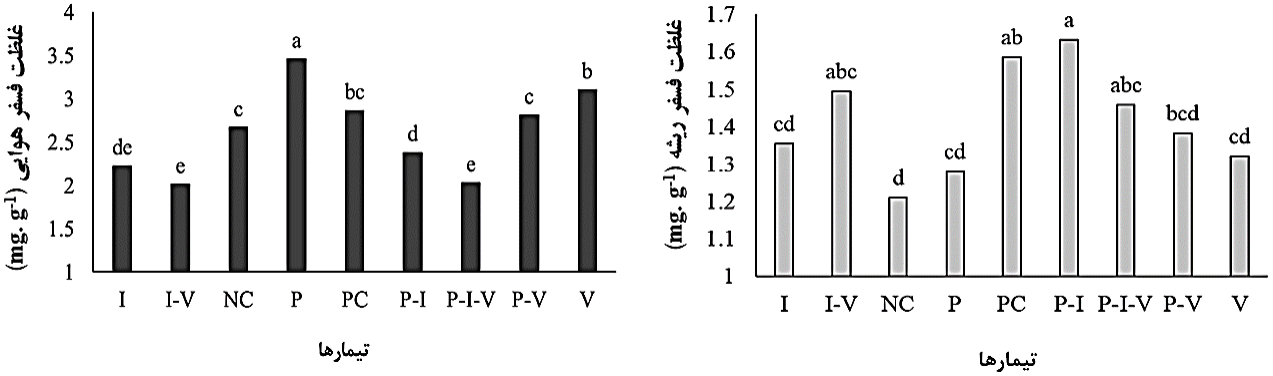

**شکل۳- مقایسه میانگین اثر قارچ‌ها بر درصد کلنیزاسیون گیاه گشنیز(I: *Rhizophagus irregularis*، V: *Diversispora versiformis*، P: *Piriformospora indica*، I V: *Rhizophagus irregularis + Diversispora versiformis*، P V: *Piriformospora indica + Diversispora versiformis*، P I: *Piriformospora indica+ Rhizophagus irregularis*، P I V: *Piriformospora indica + Rhizophagus irregularis + Diversispora versiformis*، PC: شاهد مثبت و NC: شاهد منفی)**

در برخی گیاهان از جمله گشنیز، معمولا درصد همزیستی بالا است. در شرایط خاک استریل که سایر قارچ‌ها و باکتری‌ها حضور ندارند، درصد کلنیزاسیون ریشه بالا می‌رود که در خاک طبیعی و غیر استریل معمولا چنین درصدهایی مشاهده نمی‌شود. همچنین با توجه به پایین بودن فسفر قابل جذب خاک، کلنیزاسیون میکوریزی تشدید می‌گردد. افزایش درصد کلنیزاسیون در یک گونه قارچی نسبت به گونه دیگر، به گونه گیاهی و سازگاری آن قارچ بستگی دارد حتی جدایه قارچ یک گونه که از مناطق مختلف جمع آوری شده باشند از نظر درصد کلنیزاسیون اختلاف داشته هرچند شاید از نظر مورفولوژی با هم شبیه باشند ولی ازنظر فیزیولوژی باهم تفاوت دارند (غلامی و کوچکی ۲۰۰۱). قارچ های میکوریز آربوسکولار در کورتکس ریشه وارد شده و اندامهای وزیکول، آربوسکول و هیف تولید می‌کنند ولی قارچ ایندیکا در کورتکس ریشه فقط با گسترش هیف‌های خود اقدام به تولید تعداد زیادی اسپورهای گلابی شکل می‌کند. بنابراین در این همزیستی پس از رنگ آمیزی ریشه، اندامهای قارچ شامل هیف‌ها و اسپورها بصورت رنگی در بافت ریشه بی رنگ شده دیده می‌شوند. تعیین درصد کلنیزاسیون ریشه در هر دو همزیستی شبیه هم است. افزایش جذب فسفر با زیاد شدن درصد کلنیزاسیون، گزارش شده است (باقری و همکاران ۲۰۱۱ ؛ کاپور و همکاران ۲۰۰۷).

### غلظت فسفر بخش هوایی و ریشه

نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ٤) نشان داد که بین تیمارهای قارچی از نظر تاثیر بر غلظت فسفر ریشه و بخش هوایی گیاه اختلاف معنی‌دار وجود دارد ($P<0.01$). بر اساس مقایسه میانگین‌ها (شکل ٤) بیشترین غلظت فسفر بخش هوایی مربوط به تیمارP (قارچ شبه میکوریز) به میزان ۳/٤٥ mg/g بود که منجربه افزایش غلظت فسفر گیاه به میزان ۱۷/۱۷ درصد نسبت به تیمار شاهد مثبت (PC) و ۳٤/٥۰ درصد نسبت به شاهد منفی شد. تیمار میکوریزی V (قارچ *Diversispora versiformis*) در رتبه بعد و بالاتر از شاهد مثبت قرار داشت. کمترین میزان غلظت فسفر بخش هوایی مربوط به تیمارهای قارچی تلفیقی IV و PIV بود که با کاهش ۱۱ درصدی نسبت به تیمار شاهد منفی همراه بودند. بنظر میرسد که قارچ میکوریز *Diversispora versiformis* در اثر تلفیق با قارچ‌های دیگر (هم میکوریز و هم شبه میکوریز) دچار اثر متقابل قارچی شده و از توانایی‌اش برای فراهمی عنصر فسفر برای گیاه کاهش می‌یابد (شکل ٤). در بخش غلظت فسفر ریشه نیز نتایج مقایسه میانگین‌ها مشخص

کرد بیشترین غلظت فسفر مربوط به تیمار PI (تلفیق قارچ میکوریز و شبه میکوریز) به میزان۱/۷۹ mg/g بود که منجربه افزایش۲۵/۸۸ درصدی نسبت به شاهد منفی و ۲/۸۷ درصدی نسبت به تیمار شاهد مثبت بود. تیمار شیمیایی شاهد مثبت (PC) در رتبه بعد قرار داشت (با مقدار۱/۷٤ mg/g). تیمار تلفیقی میکوریزی IV در بین تیمارهای میکوریزی بالاترین غلظت فسفر ریشه را برای گیاه فراهم کرده بود که هرچند نسبت به تیمار شیمیایی عملکرد پایینی داشت ولی در مقایسه با تیمار شاهد منفی (NC) باعث افزایش غلظت فسفر ریشه به میزان ۱۹/۰٤ درصدی شده بود (شکل ٤). تیمار شبه میکوریزی P هر چند که در بخش هوایی دارای بالاترین مقدار فسفر بود ولی در بخش ریشه دارای کمترین عملکرد بود و با شاهد منفی تقریبا در یک گروه آماری قرار داشت (شکل ٤). بنظر می‌رسد این قارچ روی فاکتور انتقال گیاه برای فسفر از ریشه به اندام هوایی تاثیر گذاشته است.



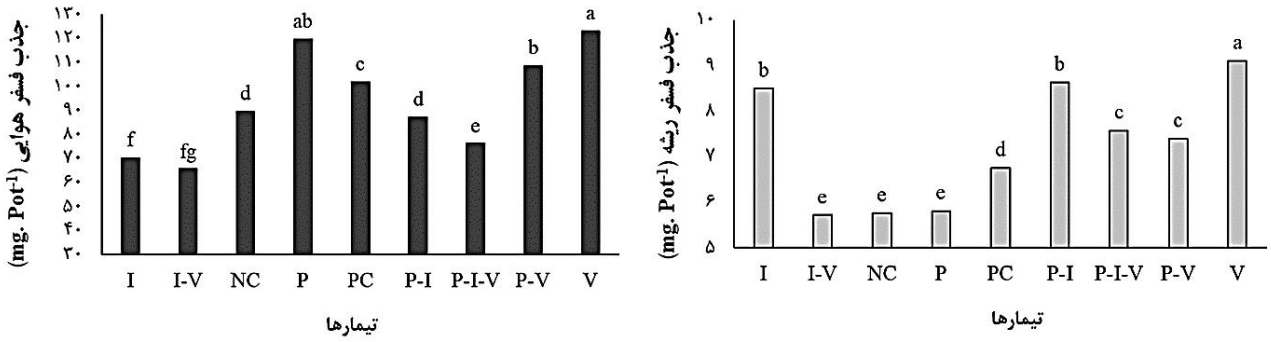

**شکل۴- مقایسه میانگین اثر تیمارها بر غلظت فسفر ریشه و بخش هوایی گیاه گشنیز(I: *Rhizophagus irregularis*، V: *Diversispora versiformis*، P: *Piriformospora indica*، I V: *Rhizophagus irregularis + Diversispora versiformis*، P V: *Piriformospora indica + Diversispora versiformis*، P I V: *Piriformospora indica + Rhizophagus irregularis + Diversispora versiformis*، PC: شاهد مثبت و NC: شاهد منفی)**

افزایش غلظت فسفر گیاه گشنیز توسط قارچ شبه میکوریز *P. indica* را در این آزمایش می‌توان به افزایش سطح جذب، توسعه ریشه و تولید هورمون‌های محرک رشد نسبت داد (لیو و همکاران ۲۰۱۹ ؛ وارما و همکاران ۱۹۹۹، سینگ و همکاران ۲۰۰۰). گوسال و همکاران (۲۰۱۰) نشان دادند که تلقیح گیاهچه‌های *Chlorophytum borivilianum* با قارچ *P. indica* جذب عناصر غذایی از جمله فسفر را بهبود داد. یاداو و همکاران (۲۰۱۰ ) اثر افزایشی این قارچ بر جذب و انتقال فسفر توسط گیاه را گزارش کردند.

### جذب فسفر بخش هوایی و ریشه

نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد که بین تیمارهای قارچی از نظر تاثیر بر جذب فسفر ریشه و بخش هوایی گیاه گشنیز اختلاف معنی‌دار وجود دارد ($P<0.01$). بیشترین جذب فسفر بخش هوایی مربوط به تیمارمیکوریز V به میزان ۱۲۲/۸٤ mg/plant بود که در مقایسه با تیمار شاهد مثبت (PC) و منفی (NC)، به‌ترتیب ۲۰/۰۷ و ۳٤/۱۹ درصد افزایش جذب نشان داد که با تیمار شبه میکوریز P با عملکرد ۱۱۹/٦۳ mg/plant در یک گروه آماری قرار گرفت. تیمار تلفیقی این دو قارچ (P-V) با ۱۰۸/٤۹ mg/plant در رتبه بعدی قرار داشت (شکل ٥). در بخش ریشه نیز از نظر آماری بین تیمارها اختلاف معنی‌دار ($P<0.01$) دیده شد (جدول ٤). در این بخش نیز

تیمار میکوریزی V بیشترین جذب را برای ریشه گیاه نشان داد (۹/۱۱ mg/plant) و تیمار های I و P-I به ترتیب با ۸/۶۳ و ۸/۴۹ mg/plant در رتبه بعد قرار داشتند (شکل ۵).




**شکل۵- مقایسه میانگین اثر تیمارها بر جذب فسفر ریشه و بخش هوایی گیاه گشنیز(*I: Rhizophagus irregularis*، *V: Diversispora versiformis*، *P: Piriformospora indica*، *I V: Rhizophagus irregularis + Diversispora versiformis*، *P V: Piriformospora indica + Diversispora versiformis*، *P I: Piriformospora indica+ Rhizophagus irregularis*، *P I V: Piriformospora indica + Rhizophagus irregularis + Diversispora versiformis*، PC: شاهد مثبت و NC: شاهد منفی)**

بنظر می‌رسد دو قارچ میکوریزی *D. versiformis* و *R. irregularis* عملکرد خوبی در فراهمی فسفر برای ریشه گیاه داشته‌اند ولی تنها قارچ *D. versiformis* بوده است که در جذب فسفر بخش هوایی نیز عملکرد خوبی نشان داده است. احتمالاً این قارچ روی فاکتور انتقال فسفر از ریشه به بخش هوایی گیاه تاثیر گذاشته است. قارچ شبه میکوریز *P. indica* نیز در جذب فسفر بخش هوایی عملکرد خوبی داشته است درحالیکه جذب فسفر برای ریشه در این قارچ کارایی خوبی نشان نمی‌دهد. بنظر می‌رسد مکانیسم تامین فسفر برای ریشه گیاه توسط این دو قارچ متفاوت باشد. گزارش‌های متعددی نشان داده که قارچ میکوریز جذب فسفر را بهبود می-بخشد (سان و همکاران ۲۰۱۸ ؛ ژوهانسون وهمکاران ۱۹۹۲؛ فنگ و همکاران ۲۰۱۹ ؛ هائو و همکاران ۲۰۱۹ ؛ امانی‌فر و همکاران ۲۰۱۹). سرعت جریان فسفر به هیف-های قارچ میکوریز می‌تواند تا ٦ برابر بیشتر از سرعت جریان فسفر به ریشه‌های مویین باشد و در اثر فعالیت قارچ میکوریز، غلظت فسفر در منطقه ریشه می‌تواند افزایش یابد (بانولس و همکاران ۲۰۱۵). ثابت شده است که مواد بیوشیمیایی مانند گلومالین و گسترش شبکه هیفی موجب بهبود ساختار خاک، فتوسنتز در گیاه میزبان، افزایش جذب آب و عناصر غذایی و انتقال عناصر به ویژه فسفر به گیاه می‌شود (چن و همکاران ۲۰۱۸). مشخص شده که غلظت فسفر در محلول خاک مجاور ریشه در طی جذب مستقیم، کاهش یافته و سبب تخلیه فسفر از محلول خاک می‌شود (لیو ۲۰۰۲). توانایی هیف‌های قارچ میکوریز آربوسکولار برای رشد فراتر از منطقه تخلیه ریشه و تحویل فسفر به ریشه، اصلی‌ترین اثر مثبت آنها برای جذب فسفر و رشد گیاه تصور می‌شود (اسمیت و راید ۲۰۰۸).

## نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش اثر تیمارهای قارچی میکوریز و شبه میکوریز بصورت منفرد و تلفیقی بر روی پارامترهای وزن تر و خشک ریشه و بخش هوایی، شاخص کلروفیل، درصد کلنیزاسیون و غلظت فسفر گیاه گشنیز در مقایسه با شاهد مثبت (تیمار شیمیایی) و شاهد منفی ارزیابی شد. نتایج بررسی پارامترهای فوق حاکی از مثبت بودن اثرات استفاده از قارچ‌های مورد

آزمایش بود وزن تر وخشک بخش هوایی گشنیز، تیمار تلفیقی قارچ‌های میکوریز- شبه میکوریز (تیمار PIV) دارای عملکردی مشابه نسبت به تیمار شیمیایی شاهد مثبت (PC) ارزیابی شد و تیمار منفرد قارچ میکوریز *Rhizophagus irregularis* دارای بهترین عملکرد در بین قارچ‌های میکوریز بود. تیمار قارچ شبه میکوریز دارای عملکرد ضعیف‌تری بر این پارامتر بود. نتایج مشابهی برای وزن خشک ریشه دیده شد. در پارامتر شاخص کلروفیل قارچ شبه میکوریز *P. indica* دارای بالاترین عملکرد (حتی بالاتر از شاهد مثبت) بود. تیمار تلفیقی PIV و تیمار میکوریزی منفرد V ( *Diversispora versiformis*) با تیمار شیمیایی شاهد مثبت در یک گروه قرار گرفتند. در پارامتر درصد کلنیزاسیون مشخص گردید که قارچ‌های میکوریز *R. irregularis* و *D. versiformis* دارای بالاترین عملکرد بودند و نتایج نشان داد که تلفیق قارچ شبه میکوریز *P. indica* با قارچ *R. irregularis*، توانایی کلنیزاسیون ریشه گیاه را افزایش داده است. در فراهمی فسفر برای ریشه گیاه گشنیز، تیمار PI (تلفیق قارچ میکوریز و شبه میکوریز) دارای عملکرد بالاتری نسبت به سایر تیمارهای قارچی و شیمیایی بود ولی در بخش فسفر هوایی، بالاترین عملکرد مربوط به تیمار قارچ *P. indica* بود که بنظر می‌رسد که این قارچ هرچند که در فراهمی فسفر برای ریشه گشنیز نسبت به قارچ‌های میکوریز دارای عملکرد پایین‌تری می‌باشد ولی از نظر تاثیر بر فاکتور انتقال فسفر از ریشه به بخش هوایی گیاه نسبت به قارچهای میکوریز توان‌مندتر عمل کرده است. در جمع‌بندی نتایج این آزمایش می‌توان گفت که استفاده از قارچ‌های مورد استفاده در این آزمایش برای گیاه گشنیز بصورت مثبت ارزیابی گردید. طبق نتایج این تحقیق می‌توان در کشت سبزی‌ها به منظور کاهش مصرف کودهای فسفاته از قارچ‌های میکوریزی جهت افزایش عملکرد گیاه استفاده کرد.

## سپاسگزاری

مقاله حاضر بخشی از پایان نامه مقطع کارشناسی ارشد بوده که در آزمایشگاههای باغبانی و بیولوژی خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز انجام شده است که بدینوسیله نویسندگان مقاله از حمایتهای آنان قدردانی می نمایند.

## منابع مورد استفاده

Amanifar S, Aliasgharzad N, Najafi N, Esteki M, Oustan Sh, Bolandnazar S. 2019, Evaluation of the effects of mycorrhizal inoculation on lead (Pb) uptake and growth of alfalfa in Pb-contaminated soil. Iran Agricultural Research, 38(1) 75-86.

Bagheri V, Shamshiri MH, Shirani H, Roosta HR. 2011. Effect of mycorrhizal inoculation on ecophysiological responses of pistachio plants grown under different water regimes. Photosynthetica, 49(4): 531-538.

Banuelos J, Alarcon A, Larsen J, Cruz-Sánchez S, Trejo D. 2014. Interactions between arbuscular mycorrhizal fungi and meloidogyne incognita in the ornamental plant impatiens balsamina. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 14(1): 63-74.

Bolandnazar S, Karimi K, Sarikhani MR. 2019. The effect of plant growth-promoting bacteria and arbuscular mycorrhizal fungi on the physiological traits of Iranian leeks (*Allium ampeloprasum* L.). Agricultural Science and Sustainable Production, 29 (1): 121-136. (In Persian).

Chen EC, Morin E, Beaudet D, Noel J, Yildirir G, Ndikumana S, Charron P, St- Onge C, Giorgi J, Krüger M, Marton T. 2018. High intraspecific genome diversity in the model arbuscular mycorrhizal symbiont *Rhizophagus irregularis*. New Phytologist, 220(4):1161-1171.

Cottenie A. 1980. Soil and Pant Testing. FAO Soils Bulletion, 38 (2): 94-100.

Deshmukh S, Hückelhoven R, Schäfer P, Imani J, Sharma M, Weiss M, Waller F, Kogel KH. 2006. The root endophytic fungus *Piriformospora indica* requires host cell death for proliferation during mutualistic symbiosis with barley. Proceedings of the National Academy of Sciences, 103(49):18450-18457.

Feng F, Sun J, Radhakrishnan GV, Lee T, Bozsóki Z, Fort S, Gavrin A, Gysel K, Thygesen MB, Andersen KR, Radutoiu S. 2019. A combination of chitooligosaccharide and lipochitooligosaccharide recognition promotes arbuscular mycorrhizal associations in *Medicago truncatula*. Nature Communications, 10(1):1-12.

Gee GW, Bauder JW. 1986. Partical-size analysis. pp 383- 411. In: Klute A (ed.). Methods of Soil Analysis: Physical and Mineralogical Methods. Part 1,2nd (ed.) Soil Sience Society of America, Madison, Wisconsin, United States of America.

Gholami A, Kochaki A. 2001. Mycorrhiza in Sustainable Agriculture (translation). Shahroud University Press.

Gosal S, Karlupia A, Gosal S, Chhibba I and Varma A. 2010. Biotization with *Piriformospora indica* and *Pseudomonas fluorescens* improves survival rate, nutrient acquisition, field performance and saponin content of micropropagated *Chlorophytum sp.* India Journal of Biotechnology, 9: 289-297.

Gupta PK. 2000. Soil, Plant Water and Fertilizer Analysis. Agrobios, New Delhi, India.

Hajinia S, Zare MJ. 2014. The effect of insemination of two *Piriformospora indica* fungi and *Azospirillum* spp bacteria on some physiological traits, soil uptake and grain yield of wheat under salinity stress. Plant Production Technology. 2: 149-161. (In Persian).

Hao Z, Xie W, Chen B. 2019. Arbuscular mycorrhizal symbiosis affects plant immunity to viral infection and accumulation. Viruses, 11(6): 534-542.

Jisha S, Sabu KK. 2019. Multifunctional aspects of *Piriformospora indica* in plant endosymbiosis. Mycology, 10(3), p.182.

Johansen A, Jakobsen I, Jensen ES. 1992. Hyphal transport of 15N.labelled nitrogen by a vesicular arbuscular mycorrhizal fungus and its effect on depletion of inorganic soil N. New Phytologist, 122(2): 281-288.

Kapoor R, Chaudhary V, Bhatnagar AK. 2007. Effects of arbuscular mycorrhiza and phosphorus application on artemisinin concentration in *Artemisia annua L*. Mycorrhiza, 17(7): 581-587.

Kormanik P, McGraw A. 1982. Quantification of vesicular-arbuscular mycorrhizae in plant roots, P 37-45. In: Schenck, N.C. (Ed.), Methods and Principles of Mycorrhizal Research. The American Phytopathological Society, St Paul, Minnesota.

Liu A, Hamel C, Elmi A, Costa C, Ma B, Smith DL. 2002. Concentrations of K, Ca and Mg in maize colonized by arbuscular mycorrhizal fungi under field conditions. Canadian Journal of Soil Science, 82(3): 272-278.

Liu H, Senthilkumar R, Ma G, Zou Q, Zhu K, Shen X, Tian D, Hua MS, Oelmüller R, Yeh KW. 2019. *Piriformospora indica*-induced phytohormone changes and root colonization strategies are highly host-specific. Plant Signaling and Behavior, 14(9): 1632688.

Malakoti M J. 2000. Optimum use of fertilizers recommendation for crops and horticulture. Technical Publication No. 200, Soil and Water Research Institute, Publication of Agricultural Education.

Nadeem M, Muhammad Anjum F, Issa Khan M, Tehseen S, El-Ghorab A, Iqbal Sultan J. 2013. Nutritional and medicinal aspects of coriander (*Coriandrum sativum L*.) A review. British Food Journal, 115(5): 743-755.

Nadian H, Smith SE, Alston AM, Murray RS. 1997. Effects of soil compaction on plant growth, phosphorus uptake and morphological characteristics of vesicular–arbuscular mycorrhizal colonization of *Trifolium subterraneum*. The New Phytologist, 135(2): 303-311.

Nelson DW, Sommers LE. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. Pp. 539–579. In: Page AL, Miller RH and Keeney DR (eds). Methods of Soil Analysis, part 2. American Society of Agronomy, Soil Sience Society of America. Madison, Wisconsin.

Norrif IR, Read DJ, Varma AK. 1992. Methods in Microbiology Techniques for Study of Mycorrhiza. Academic press, London.

Olsen SR, Sommers LE. 1982. Phosphorus. pp: 403-430. In: Page AL, (ed.) Methods of Soil Analysis, Chemical and Microbiological Properties. Part 2. American Society of Agronomy, Soil Sience Society of America. Madison, Wisconsin.

Omid Beygi R. 1997. Approaches to The Production and Processing of Medicinal Plants. Design Publishing Press. 1: 16-40.

Paradi I, Bratek Z, Lang F. 2003. Influence of arbuscular mycorrhiza and phosphorus supply on polyamine content, growth and photosynthesis of *Plantago lanceolata*. Biologia Plantarum, 46(4): 563-576

Pham GH, Singh A, Malla R, Kumari R, Prasad R, Sachdev M, Rexer KH, Kost G, Luis P, Kaldorf M, Buscot F. 2008. Interaction of *Piriformospora indica* with diverse microorganisms and plants. In Plant surface microbiology (Pp. 237-265). Springer, Berlin, Heidelberg.

Prajapati K, Yami KD, Singh A. 2008. Plant growth promotional effect of *Azotobacter chroococcum*, *Piriformospora indica* and vermicompost on rice plant. Nepal Journal of Science and Technology, 9: 85-90.

Rai M, Varma A. 2005. Arbuscular mycorrhiza-like biotechnological potential of Piriformospora indica, which promotes the growth of *Adhatoda vasica* Nees. Electronic Journal of Biotechnology, 8(1): 1-6.

Richardes LA. 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. United States Salinity Laboratory Staff. Agriculture Handbook 60. United States Department of Agriculture, 160p.

Ronga D, Caradonia F, Francia E, Morcia C, Rizza F, Badeck FW, Ghizzoni R, Terzi V. 2019. Interaction of tomato genotypes and arbuscular mycorrhizal fungi under reduced irrigation. Horticulturae, 5(4): 79-88.

Schenck NC, Y perez. 1988. Mannual for the Identification of VA Mycorrhizal Fungi. INVAM, 1453 Fifield Hall, University of Florid, Gainesville, Flo, USA. 241p.

Sefidcan F. 1999. Evaluation of essential oils of aerial parts and coriander fruit. Medicinal and Aromatic Plant Research, 13: 32-38. (In Persian).

Shaabani V, Aliasgharzad N, Oustan S. 2013. Glomalin production by two glomeral fungi in symbiosis with corn plant under different Pb levels. International Journal of Agriculture: Research and Review, 3: 854-863.

Singh A, Sharma J, Rexer KH, Varma A. 2000. Plant productivity determinants beyond minerals, water and light: *Piriformospora indica*–A revolutionary plant growth promoting fungus. Current Science, 47:1548-1554.

Smith SE, Read D. 2008. Mycorrhizas in Agriculture, Horticulture and Forestry. Mycorrhizal Symbiosis (Third Edition). 611-636

Sohrabi Y, Heidari G, Weisany W, Ghasemi-Golezani K, Mohammadi K. 2012. Some physiological responses of chickpea cultivars to arbuscular mycorrhiza under drought stress. Russian Journal of Plant Physiology, 59(6): 708-716.

Sun Z, Song J, Xin XA, Xie X, Zhao B. 2018. Arbuscular mycorrhizal fungal 14-3-3 proteins are involved in arbuscule formation and responses to abiotic stresses during AM symbiosis. Frontiers in Microbiology, 9: 91-103.

Tabatabaei SJ. 2013. Principles of Mineral Nutrition of Plants. Tabriz University Press.

Varma A, Bakshi M, Lou B, Hartmann A, Oelmueller R. 2012. *Piriformospora indica*: a novel plant growth-promoting mycorrhizal fungus. Agricultural Research, 1(2):117-131.

Varma A, Verma S, Sahay N, Bütehorn B, Franken P. 1999. *Piriformospora indica*, Acultivable plant-growth-promoting root endophyte. Applied and Environmental Microbiology, 65(6): 2741-2744.

Waller F, Achatz B, Baltruschat H, Fodor J, Becker K, Fischer M, Heier T, Hückelhoven R, Neumann C, Von Wettstein D, Franken P. 2005. The endophytic fungus *Piriformospora indica* reprograms barley to salt-stress tolerance, disease resistance, and higher yield. Proceedings of the National Academy of Sciences, 102(38): 13386-13391.

Westerm RL. 1990. Soil testing and plant analysis. Soil Science Society of American. Madison Wisconisn, United States of America.

Yadav V, Kumar M, Deep DK, Kumar H, Sharma R, Tripathi T, Tuteja N, Saxena AK, Johri AK. 2010. A phosphate transporter from the root endophytic fungus *Piriformospora indica* plays a role in phosphate transport to the host plant. Journal Biological Chemistry, 285: 26532-26544.