روابط خاک و گیاه / سال سیزدهم / شماره چهارم / زمستان ۱۴۰۱ / صفحات ۷۰-۴۱ مقاله پژوهشی
DOI: 10.47176/jspi.13.4.20621 EISSN: 2783-5286 https://jspi.iut.ac.ir

تأثیر کمپوست ضایعات پسته و قارچ میکوریز بر رشد رویشی و وضعیت تغذیه‌ای دانهال‌های پسته در یک خاک شور-سدیمی

عبدالحمید شرافتی[۱]، مهرنوش اسکندری تربقان[۲]* و مژده حیدری صالح‌آباد[۳]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۶/۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۱۲)

چکیده

کودهای آلی و قارچ‌های هم‌زیست به‌علت نقش ویژه آن‌ها به‌عنوان حلقه ارتباطی خاک و گیاه در حیطه کشاورزی اهمیت بسیار دارند. در حال حاضر بخش‌های وسیعی از باغات پسته کشور، با بحران شوری آب و خاک مواجه هستند. در این پژوهش تأثیر کمپوست ضایعات فرآوری شده پسته در سه سطح (صفر، ۱۰ و ۱۵ کیلوگرم به‌ازای هر نهال) و قارچ میکوریز در سه سطح (صفر، ۱۰۰ و ۲۰۰ گرم خاک حاوی اسپور قارچ به‌ازای هر نهال) متعلق به چهارگونه (*Funneliformis mosseae*، *Rhizophahus intraradices*، *Glomus iranicus* و *Rhizophahus irregularis*) بر رشد رویشی و غلظت عناصر غذایی برگ دانهال‌های دو رقم پسته اکبری و بادامی زرند با سه تکرار (هر تکرار شامل چهار دانهال) بررسی شد. این پژوهش به‌صورت آزمایش کرت‌های خردشده-فاکتوریل در قالب بلوک‌های کامل تصادفی به‌مدت دو سال (۱۳۹۶ و ۱۳۹۸) در شرایط شور و سدیمی بودن آب و خاک اجرا شد. نتایج نشان داد که کاربرد ۱۵ کیلوگرم کمپوست ضایعات پسته غلظت عناصر نیتروژن، آهن، روی و منگنز موجود در برگ را به‌ترتیب ۴، ۹/۷، ۸ و ۱۲/۱ درصد در مقایسه با شاهد افزایش داد. همچنین با کاربرد ۱۵ کیلوگرم کمپوست ضایعات پسته ارتفاع، عرض و سطح برگ دانهال نیز به‌ترتیب ۹/۶، ۱۱/۸ و ۲/۸ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت. بیش‌ترین غلظت آهن برگ (۷۰۲/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در تیمار ۲۰۰ گرم قارچ، و در تیمار ۱۰۰ گرم میکوریز غلظت منگنز، سطح برگ و ارتفاع به‌ترتیب با مقادیر ۶۴/۸ میلی‌گرم در کیلوگرم، ۴۱۵/۳ سانتی‌مترمربع و ۴۴/۹ سانتی‌متر بیش‌ترین بود. درصد کلونیزاسیون ریشه در ارقام اکبری و بادامی زرند به‌ترتیب ۳۵/۱ و ۲۷/۲ بود. در مجموع نتایج این پژوهش نشان داد ۱۵ کیلوگرم کمپوست ضایعات پسته به همراه ۱۰۰ گرم قارچ میکوریز در شرایط شوری زیاد آب و خاک می‌تواند موجب رشد رویشی مناسب در دانهال‌های پسته شود.

واژه‌های کلیدی: تنش شوری و قلیائیت، فسفر، آهن، ارتفاع دانهال، کلونیزاسیون ریشه.

۱- بخش علوم زراعی-باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران

۲- بخش خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران

۳- پژوهشکده پسته، مؤسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رفسنجان، ایران

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: mehrnoosh.eskandary@gmail.com

مقدمه

باغ‌های پسته ایران عمدتاً در مناطق خشک و نیمه‌خشک واقع شده‌اند و دارای محدودیت‌هایی مانند شور و سدیمی بودن آب و خاک، تنش خشکی (۴۷) و محدودیت جذب عناصر غذایی هستند (۲۱). با توجه به متحمل بودن پسته (*Pistacia vera* L.) به شوری (۲۵ و ۴۸) و اهمیت اقتصادی آن (۱)، همه ساله بر سطح زیر کشت پسته در ایران افزوده می‌شود (۵۷).

ماده آلی و فعالیت میکروبی کم خاک، از دیگر مشکلات عمده باغات پسته ایران هستند (۳۱). در باغات پسته به دلیل بازگشت کم بقایای گیاهی به خاک و همچنین دمای زیاد و تجزیه مواد آلی موجود، مقدار ماده آلی خاک بسیار کم است (۲۰). به‌علاوه، در مناطق پسته‌کاری به‌علت محدودیت‌های خاک مانند ساختمان نامناسب، pH زیاد، درشت یا ریزبافت بودن برخی خاک‌ها و طولانی بودن دور آبیاری، استفاده از مواد آلی اجتناب‌ناپذیر است (۲۰). استفاده از مواد آلی مختلف به ویژه انواع کمپوست با درصد کربن آلی زیاد در هنگام کشت و همچنین سال‌های پس از کشت، برای پسته‌کاری دارای اهمیت فراوانی است (۲۰). همچنین، پژوهش‌ها نشان داده است افزایش ماده آلی خاک می‌تواند در بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک و افزایش کارایی آبشویی در خاک‌های شور تأثیرگذار باشد (۸). کمپوست پسته کاملاً فرآوری‌شده در برابر سایر مواد آلی (شامل کمپوست زباله شهری، کود دامی پوسیده، کمپوست بقایای پنبه و خرما)، می‌تواند برای حفظ ماده آلی خاک، حاصلخیزی آن، فراهمی عناصر غذایی و حفظ محیط زیست سودمند باشد؛ بنابراین از کمپوست پسته می‌توان به‌عنوان یک کود بسیار مناسب برای تغذیه گیاهی، افزایش حاصلخیزی و پویایی اکوسیستم زنده خاک استفاده کرد (۵۴). افزودن ۱۰ درصد کمپوست ضایعات پسته به عنوان مواد آلی جامد به تیمار ورمی‌کمپوست، درصد جوانه‌زنی بذر، ارتفاع، قطر ساقه، شدت فتوسنتز و وزن خشک اندام هوایی پسته را به‌طور معنی‌داری افزایش داد، ولی وزن خشک ریشه را نسبت به تیمار ورمی‌کمپوست بدون ضایعات پسته کاهش داد (۳۶).

به‌علاوه فراهمی عناصر غذایی پتاسیم، فسفر، نیتروژن، کلسیم و منیزیم و عناصر کم‌مصرف شامل مس، منگنز، روی و آهن در نهال‌های پسته تیمار شده با آن افزایش یافت (۳۵). سرعت تجزیه مواد آلی کمپوست زباله شهری، ورمی‌کمپوست، کود دامی و کمپوست پسته در بافت و شوری‌های متفاوت خاک حاوی نمک کلرید سدیم در سه سطح صفر، ۱۵۰۰ و ۳۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک در شرایط آزمایشگاهی نشان داد که به‌ترتیب کمپوست پسته، کود دامی، کمپوست زباله شهری و ورمی‌کمپوست بیش‌ترین سرعت تجزیه را داشتند (۵۴). هرچه کربن، انرژی و عناصر غذایی مورد نیاز ریزجانداران بهتر و سریع‌تر فراهم شود افزایش جمعیت میکروبی بیش‌تر خواهد بود (۳۹). همراه با افزایش شوری آب و خاک، جذب مواد غذایی برای تأمین رشد بهینه نهال پسته کاهش می‌یابد و بخش عمده این کاهش جذب متأثر از کاهش فعالیت‌های بیولوژیک خاک (کاهش رشد، تکثیر و فعالیت جانداران خاک‌زی به‌ویژه میکروفلور خاک) و کاهش شدید ماده آلی خاک است؛ که این دو عامل می‌تواند بر جذب عناصر غذایی تأثیر فراوانی داشته باشد (۵۲ و ۵۴).

قارچ‌های میکوریز از جمله ریزجانداران همزیست با گیاه هستند که میسیلیوم آن‌ها حدود ۷۰٪ از توده زنده جامعه میکروبی خاک را تشکیل می‌دهد. این ریزجانداران می‌توانند محدودیت‌های ناشی از تنش‌های محیطی را تا حدود زیادی کاهش دهند (۱۷). براساس نتایج پژوهش‌های انجام شده در شرایط تنش‌های زنده و غیرزنده (به‌ویژه خشکی و شوری) همزیستی میکوریز با گیاه سبب افزایش سطح جذب ریشه از طریق ایجاد هیف و در نتیجه افزایش جذب بیش‌تر عناصر غذایی توسط ریشه گیاهان و به‌دنبال آن افزایش رشد و عملکرد گیاهان می‌شود (۷، ۲۶، ۴۳ و ۵۶). عوامل غیرزنده اولیه مختلفی در توزیع و فراوانی قارچ *آربوسکولار میکوریز* تأثیر دارند؛ به‌عنوان مثال با افزایش شوری، جمعیت این قارچ در خاک کاهش می‌یابد. به‌طور کلی بیش‌ترین میانگین درصد کلنیزاسیون، در مقادیر شوری ۳ تا ۶ دسی‌زیمنس بر متر و کم‌ترین آن‌ها در ۹ تا

۱۲ دسی‌زیمنس بر متر حاصل شد (۱۷). براساس نتایج بررسی انجام شده معمولاً گیاهان با سیستم ریشه‌ای غیرگسترده نسبت به گیاهان دارای سیستم ریشه‌ای انبوه و گسترده، وابستگی میکوریزی بیش‌تری دارند (۶). بررسی انجام شده در باغات پسته کرمان نشان داد که کلونیزاسیون میکوریزی ریشه‌ها از ۱۲ تا ۹۰ درصد متغیر بود (۴۶). نظر به این‌که پسته از جمله گیاهانی است که گستردگی ریشه‌های فرعی آن کم است، بنابراین همزیستی ریشه‌های گیاه پسته با قارچ میکوریزا احتمالاً می‌تواند سبب افزایش سطوح جذب‌کننده شده و در نتیجه موجب افزایش تحمل گیاه به تنش خشکی شود (۴۴).

با توجه به این‌که همه ساله در فرآوری پسته، هزاران تن ضایعات تولید می‌شود، چنانچه این مواد قابلیت برگشت به چرخه خاک را داشته باشند، قادر خواهند بود که ضمن جلوگیری از آلودگی‌های زیست‌محیطی، نقش مهمی در تولید پایدار در شرایط خاک و آب شور–سدیمی داشته باشند. با توجه به کمبود پژوهش‌های میدانی چندین ساله در استفاده از کمپوست ضایعات پسته به همراه کود زیستی میکوریز در یک خاک بسیار شور و سدیمی (شرایط غالب در مناطق پسته‌کاری کشور) همراه با مصرف آب با کیفیت نامناسب، این پژوهش اجرا شد. سوال مهم این پژوهش این است که آیا قارچ میکوریز می‌تواند در خاک شور–سدیمی به‌صورت جداگانه و در ترکیب با کمپوست ضایعات حاصل از فرآوری پسته، تأثیری بر غلظت عناصر جذب شده و رشد رویشی دانهال‌های ارقام مختلف پسته از خاک داشته باشد یا خیر؟

مواد و روش‌ها

برنامه‌ریزی و اجرای آزمایش

این پژوهش به‌صورت آزمایش کرت‌های خردشده–فاکتوریل در قالب بلوک‌های کامل تصادفی و به مدت ۲ سال (۱۳۹۶ و ۱۳۹۸) در ایستگاه تحقیقات پسته فیض‌آباد (خراسان رضوی) با ″۱۵ ′۵۴ °۳۴ درجه عرض شمالی و ″۳۷ ′۴۵ °۵۸ درجه طول شرقی، در زمین اصلی اجرا شد. از دو رقم اکبری و بادامی زرند به‌عنوان کرت اصلی، کمپوست ضایعات پسته در سه سطح صفر، ۱۰ و ۱۵ کیلوگرم به‌ازای هر دانهال به‌عنوان کرت فرعی و قارچ میکوریزا (متعلق به چهارگونه، *Funneliformis mosseae*، *Rhizophahus intraradices*، *Glomus iranicus* و *Rhizophahus irregularis* به نسبت مساوی) در سه سطح صفر، ۱۰۰ و ۲۰۰ گرم زادمایه حاوی اسپور قارچ به‌ازای هر دانهال (هر گرم زادمایه محتوی ۱۰۰ تا ۱۲۰ پروپاگول از قارچ میکوریز) تهیه شده از شرکت ریشه گستر ویرا[1] به‌عنوان کرت فرعی ثانویه با سه تکرار (هر تکرار شامل ۴ نهال) استفاده شد. ویژگی‌های کمپوست ضایعات پسته در جدول (۱) ارائه شده است.

آماده‌سازی مکان کشت و افزودن کمپوست ضایعات پسته

اجرای پروژه در فروردین ماه ۱۳۹۵ در باغ تحقیقاتی انجام شد. در ابتدا برای شکستن لایه سخت زیرین از زیرشکن استفاده شد. فاصله بین بلوک‌های آزمایشی، تیمارها و دو دانهال مجاور در هر بلوک به‌ترتیب ۶/۰، ۴/۰ و ۰/۵ متر در نظر گرفته شد (چیدمان تیمارها به‌صورت تصادفی در هر بلوک انجام شد). پس از کرت‌بندی، عملیات آبشویی با آب با EC برابر ۳/۶ دسی‌زیمنس بر متر انجام شد که حجم مورد استفاده دو برابر مقدار هر دور آبیاری در فصل رشد (حدوداً برابر ۱۴۰ متر مکعب) بود. پس از آماده‌شدن مکان کشت، گودال‌هایی به عرض نیم‌متر و عمق یک‌متر در مکان کاشت حفر شد تا فضای مناسبی برای افزودن کمپوست ضایعات پسته فراهم شود (جدول ۱). سپس پیش از انتقال نهال‌ها در کیسه‌های پلاستیکی به داخل باغ تحقیقاتی، کمپوست ضایعات پسته (طبق برنامه اجرایی) به خاک افزوده شد تا از نشست خاک در اثر آبیاری و آسیب به ریشه در زمان کاشت جلوگیری شود. سپس یک نوبت آبیاری انجام شد تا پیش از کاشت دانهال‌ها، نشست خاک درون گودال‌ها انجام شود. ضمناً انتخاب سطوح کمپوست مورد استفاده بر اساس مقدار ماده آلی اولیه خاک (جدول ۱) بود

1. https://rishehgostar.com/

جدول ۱. ویژگی‌های شیمیایی و غلظت عناصر در ضایعات پسته و کمپوست مورد استفاده در آزمایش.

Table 1. Chemical characteristics and nutrients concentration in the pistachio waste and pistachio waste compost used in the experiment.

ویژگی Property	پی‌اچ pH	رسانایی الکتریکی Electrical conductivity (EC)	نیتروژن N	فسفر P	پتاسیم K	کلسیم Ca	منیزیم Mg	سدیم Na	آهن Fe	روی Zn	منگنز Mn	مس Cu	ماده آلی Organic matter	نسبت کربن به نیتروژن C/N ratio
واحد Unit	-	$dS\ m^{-1}$	٪						$mg\ kg^{-1}$				%	-
ضایعات Waste	6.3	7.8	1.2	0.33	2.4	0.8	0.32	0.33	250	12.0	29	33.0	44.8	21.6
کمپوست ضایعات Waste compost	7.1	3.6	1.0	0.20	1.1	2.8	1.20	0.50	2215	24.5	385	11.9	9.2	5.33

جدول ۲. ویژگی‌های آب مورد استفاده برای آبیاری، پیش از شروع پروژه (۱۳۹۵).

Table 2. The properties of the water used for irrigation, before the start of the project (2016).

رسانایی الکتریکی Electrical conductivity (EC)	پی‌اچ pH	کربنات CO_3^{2-}	بی‌کربنات HCO_3^-	کلرید Cl^-	مجموع کلسیم و منیزیم $(Ca+Mg)^{2+}$	کلسیم Ca^{2+}	منیزیم Mg^{2+}	سدیم Na^+	نسبت جذب سدیم Sodium adsorption ratio (SAR)
dS m^{-1}		meq L^{-1}							
12.2	7.3	0.0	3.2	91.5	40	25.6	14.4	78.6	17.6

به‌طوری که در ناحیه رشد ریشه، ماده آلی خاک به ۰/۵ درصد برسد. گودال‌ها با مقادیر مختلف کمپوست (۰، ۱۰ و ۱۵ کیلوگرم به‌ازای هر نهال) و باقی‌مانده خاک، پر شدند.

به‌طور میانگین حدود ۴۰ درصد وزن پسته تازه برداشت شده را پوست سبز و چوب خوشه تشکیل می‌دهد (۵۱) که قابلیت فرآوری و تبدیل به کمپوست را دارد (۳۵). براساس بررسی انجام شده، پوست سبز پسته دارای بیش از ۱۱ درصد پروتئین، ۱۵ درصد فیبر، ۱۲ درصد خاکستر و ۳۳ درصد ماده خشک است (۱۵). سایر ویژگی‌های شیمیایی و غلظت عناصر غذایی در ضایعات پسته مورد استفاده در تهیه کمپوست ضایعات پسته در جدول (۱) نشان داده شده است (۱۹).

ویژگی‌های شیمیایی و عناصر غذایی ضایعات پسته و کمپوست مورد استفاده در جدول (۱) ذکر شده است (۱۹). این کمپوست شامل حدود ۱۵–۱۰ درصد خاک با بافت لوم، ۴۰ درصد کود گاوی و ۴۵ درصد ضایعات پسته شامل ۳۶ درصد پوسته، ۷ درصد چوب خوشه پسته و ۲/۷ درصد برگ بود. پس از اختلاط کامل، این ترکیبات به ارتفاع تقریبی ۱۷۰ سانتی‌متر انباشته شدند. هوادهی کمپوست زمانی انجام شد که دمای کف بستر به حدود ۷۰ درجه سلسیوس رسید. هوادهی سه بار انجام شد تا دمای بستر در حدود ۲۵ درجه سلسیوس ثابت بماند. سپس کمپوست آماده استفاده شد.

تلقیح میکوریز و کاشت دانهال‌ها

پس از آماده‌سازی مکان کشت و افزودن کمپوست، دوباره گودال‌هایی به عمق ۳۰ سانتی‌متر حفر شد. سپس سطوح قارچ میکوریز در عمق ۳۰ سانتی‌متری خاک تلقیح شد (۵۳). مقادیر انتخاب شده به پیشنهاد شرکت تولیدکننده آن و بر اساس آزمون‌های اولیه و تعیین کلونیزاسیون مؤثر بذر و نهال بوده است. این مقدار شامل ۱۰۰–۷۰ گرم زادمایه محتوی ۱۰۰ عدد زادمایه قارچ میکوریز (شامل اسپورها، قطعات میسیلیومی، و قطعات ریشه حاوی اندام‌های قارچی) در هر گرم به‌دست آمده بود، که در این پژوهش علاوه بر شاهد از مقدار ۱۰۰ گرم به‌عنوان سطح مناسب و دو برابر آن (۲۰۰ گرم) به‌علت شرایط نامناسب محیط (شور و سدیمی بودن آب و خاک) استفاده شد. سپس نهال‌های دوماهه با ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر از هر دو رقم از خزانه انتخاب شده و کاشت در اواسط اردیبهشت ماه ۱۳۹۵ انجام شد. با توجه به شوری زیاد آب (۱۲/۲ دسی‌زیمنس بر متر) در سال اول آزمایش (جدول ۲)، نهال‌ها با آب دارای شوری کم (۳/۶ دسی‌زیمنس بر متر) و توسط یک تشتک اولیه آبیاری شدند. آبیاری با آب با شوری کم برای استقرار نهال و جلوگیری از آسیب برگ‌های دانهال از شوری زیاد آب انجام شد، زیرا نهال‌ها در ابتدای آزمایش بسیار کوچک و حساس بودند. افزودن کمپوست و تلقیح میکوریز به‌طور یک‌سال در میان با حفر گودال‌هایی به عمق ۶۰ سانتی‌متر و عرض ۵۰ سانتی‌متر در یک طرف نهال در سال ۱۳۹۷ دوباره تکرار شد.

مدیریت زراعی

پس از استقرار دانهال‌ها از سال دوم (۱۳۹۶)، برنامه آبیاری به روش کرتی با فاصله آبیاری ۱۵ روزه در طول فصل رشد با آب شور و سدیمی (جدول ۲) انجام شد. میزان نیاز آبی برای هر

جدول ۳. داده‌های هواشناسی در چهار سال اجرای پروژه (۱۳۹۸-۱۳۹۵).

Table 3. Meteorological data in the four years of project implementation (2016-2019).

سال Year	میانگین دمای سالانه Average annual temperature (°C)	میانگین دمای سه‌ماهه اول فصل رشد Average temperature of the first three months of the growing season (°C)	بارندگی سالانه Annual rainfall (mm)
2016	20.0	24.1	91.0
2017	20.2	25.7	100.4
2018	19.1	24.6	67.3
2019	19.5	21.9	214.1

دانهال بر اساس منابع (۲۲) ۳۰۰۰ تا ۳۵۰۰ مترمکعب در سال تا سن سه سالگی در نظر گرفته شد. سمپاشی علیه پسیل پسته (*Agonoscena pistaciae*) بر حسب نیاز در طول فصل رشد انجام شد. سمپاشی توسط دستگاه سمپاش هیدرولیک موتوری با ترکیب گیاهی (عصاره روغن نباتی نارگیل) با نام تجاری پالیزین (شرکت کیمیاسبزآور[1]) به میزان ۰/۲ درصد حجمی انجام شد. کنترل علف‌های هرز بر حسب ضرورت و به‌صورت مکانیکی در دوره رشد انجام شد. هیچ کود شیمیایی یا کود آلی برای جلوگیری از تداخل آثار تیمارهای کود زیستی میکوریز و کود آلی کمپوست ضایعات پسته در طول آزمایش استفاده نشد.

ارزیابی داده‌های اقلیمی در چهار سال آزمایش

داده‌های هواشناسی مورد نظر در سال ۱۳۹۶ و سپس در سال ۱۳۹۸ ثبت شدند. بر اساس داده‌های جدول (۳)، دو پارامتر مهم اقلیمی شامل بارندگی و دما در سال‌های این آزمایش کاملاً متغیر بود. میزان بارندگی در سال‌های دوم (۱۳۹۶) و چهارم (۱۳۹۸) به‌ترتیب برابر با ۱۰۰/۴ و ۲۱۴/۱ میلی‌متر بوده است (میزان بارندگی در سال ۱۳۹۸ نسبت به سال ۱۳۹۶ بیش از ۱۱۴ درصد افزایش یافت). میانگین دمای سالانه برای سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۳۹۸ به‌ترتیب برابر ۲۰/۱۵ و ۱۹/۴۶ درجه سلسیوس بود. همچنین میانگین دما در سه ماه اول سال (فصل رشد و دوره جذب بیش‌تر عناصر غذایی) در سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۳۹۸، به‌ترتیب برابر با ۲۵/۷۱ و ۲۱/۸۶ درجه سلسیوس بود (جدول ۳).

اندازه‌گیری پارامترهای رویشی

این پژوهش در سال ۱۳۹۵ در زمین اصلی اجرا شد. به دلیل کوچک و ضعیف بودن دانهال‌ها امکان نمونه‌برداری از برگ‌ها و اندازه‌گیری سایر صفات در سال اول اجرای آزمایش (۱۳۹۵) وجود نداشت. همچنین به‌منظور اثربخشی بیش‌تر تیمارها (کمپوست و قارچ میکوریزا) و استقرار بیش‌تر دانهال‌ها در خاک، نمونه‌برداری در سال دوم کاشت (۱۳۹۶) صورت گرفت و با یک فرصت یک ساله، دوباره در سال ۱۳۹۸ انجام شد.

در اواسط مرداد تعداد ۳۰ برگ از وسط شاخه‌های انتهایی رشد سال جاری برای اندازه‌گیری سطح برگ با دستگاه meter Leaf area (با مدل Li31003) بر حسب سانتی‌متر مربع، برداشت شد. در فصل زمستان و در سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۳۹۸ اجرای آزمایش، قطر دانهال در ۱۰ سانتی‌متری بالای سطح خاک (میلی‌متر)، ارتفاع دانهال و عرض تاج دانهال (سانتی‌متر) اندازه‌گیری و ثبت شد.

تعیین عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف در خاک و گیاهان

با توجه به ریشه عمیق پسته، نمونه‌برداری خاک از لایه‌های ۰ تا ۵۰ و ۵۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متری به ترتیب به‌عنوان لایه‌های رویین زیرین در ابتدا و انتهای آزمایش انجام شد. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در جداول (۴) و (۵) ارائه شده است.

نمونه‌برداری از برگ درختان در مرداد ماه سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۳۹۸ آزمایش انجام شد. نمونه‌های برگ برای اندازه‌گیری

1. http://www.kimiasabzavar.com/

جدول ۴. نتایج تجزیه خاک مکان اجرای آزمایش، پیش از شروع پروژه (۱۳۹۵).

Table 4. The results of the soil analysis of the experimental site, before the start of the project (2016).

S.AR	Na^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	Cl^-	Cu	Zn	Mn	Fe	K_{ave}	P_{ave}	N_T	Clay	Silt	Sand	OC	CCE	EC dS m^{-1}	pH	Depth (cm)
	meq L^{-1}				mg kg^{-1}						%								
14.5	72.9	19.0	27.0	176.4	1.39	0.44	5.64	2.23	172	12	0.040	21	56	23	0.20	16.7	8.9	8.0	0-50
20.8	84.1	10.0	20.0	235.1	1.20	0.48	1.90	2.20	238	14	0.023	27	32	41	0.08	16.2	9.1	8.0	50-100

عمق: Depth (cm)، رسانایی الکتریکی: EC(dS m^{-1})، کربنات کلسیم معادل: CCE، کربن آلی: OC، شن: Sand، سیلت: Silt، رس: Clay، نیتروژن کل: N_T، فسفر فراهم: P_{ave}، پتاسیم فراهم: K_{ave}، آهن: Fe، منگنز: Mn، روی: Zn، مس: Cu، کلرید: Cl^-، کلسیم: Ca^{2+}، منیزیم: Mg^{2+}، سدیم: Na+، نسبت جذب سدیم: S.A.R

EC: Electrical conductivity, CCE: Calcium carbonate equivalent, OC: Organic carbon, TN: Total nitrogen, P_{ave}: Available phosphorus, K_{ave}: Available potassium, Fe: Iron, Mn: Manganese, Zn: Zinc, Cu: Copper, Cl^-: Chloride, Ca^{2+}: Calcium, Mg^{2+}: Magnesium, Na^+: Sodium, SAR: Sodium adsorption ratio

جدول ۵. نتایج تجزیه خاک مکان اجرای آزمایش، پس از پایان پروژه (۱۳۹۸).

Table 5. The results of the soil analysis of the experimental site, after the end of the project (2019).

S.A.R	Na^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	Cl^-	Cu	Zn	Mn	Fe	K_{ave}	P_{ave}	N_T	Clay	Silt	Sand	OC	CCE	EC dS m^{-1}	pH	Depth (cm)
	meq L^{-1}								mg kg^{-1}		%								
34.7	242.9	38.0	60.0	255.0	1.32	1.90	1.66	0.32	321	4.4	0.023	27	54	19	0.26	17.4	36.0	7.7	0-50
24.8	192.4	48.0	72.0	260.0	0.74	2.96	1.16	0.32	212	17.6	0.025	23	36	41	0.20	17.6	32.7	7.6	50-100

عمق: Depth (cm)، رسانایی الکتریکی: EC(dS m^{-1})، کربنات کلسیم معادل: CCE، کربن آلی: O.C، شن: Sand، سیلت: Silt، رس: Clay، نیتروژن کل: N_T، فسفر فراهم: P_{ave}، پتاسیم فراهم: K_{ave}، آهن: Fe، منگنز: Mn، روی: Zn، مس: Cu، کلرید: Cl^-، کلسیم: Ca^{2+}، منیزیم: Mg^{2+}، سدیم: Na+، نسبت جذب سدیم: S.A.R

EC: Electrical conductivity, CCE: Calcium carbonate equivalent, OC: Organic carbon, TN: Total nitrogen, P_{ave}: Available phosphorus, K_{ave}: Available potassium, Fe: Iron, Mn: Manganese, Zn: Zinc, Cu: Copper, Cl^-: Chloride, Ca^{2+}: Calcium, Mg^{2+}: Magnesium, Na^+: Sodium, SAR: Sodium adsorption ratio

غلظت عناصر غذایی پرمصرف شامل نیتروژن (N)، فسفر (P)، پتاسیم (K)، کلسیم (Ca) و عناصر کم‌مصرف منگنز (Mn)، آهن (Fe) و روی (Zn) به آزمایشگاه تجزیه خاک و گیاه در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی منتقل شدند. اندازه‌گیری غلظت عناصر غذایی در برگ به روش‌های زیر انجام شد. نیتروژن برگ با روش کجلدال اندازه-گیری شد (۲۴). نمونه‌های برگ برای اندازه‌گیری فسفر، پتاسیم، منگنز، آهن و روی در کوره الکتریکی سوزانده شدند و سپس به روش هضم مرطوب با اسید هیدروکلریک برای اندازه‌گیری غلظت عناصر غذایی آماده شدند (۴۲). فسفر به روش مولیبدات آمونیوم با استفاده از اسپکتروفتومتر (اسپکتروفتومتر UV/VIS مدل WPA-S2000) تعیین شد (۴۲). برای تعیین غلظت پتاسیم از نورسنج شعله (PFP7–Jenway) استفاده شد (۴۰). غلظت سایر عناصر غذایی شامل کلسیم، منگنز، آهن و روی توسط طیف‌سنجی جذب اتمی (Perkin Elmer، مدل ۲۳۸۰) اندازه-گیری شدند.

تعیین همزیستی میکوریزی

بررسی همزیستی میکوریزی و درصد کلونیزاسیون تنها در سال آخر پروژه و با خروج ریشه‌های دانهال‌ها از خاک انجام شد. برای بررسی همزیستی میکوریزی و مشاهده اندام‌های قارچی ریشه‌های پسته، رنگ‌آمیزی ریشه‌ها براساس روش فیلیپس و هیمن (۳۸) انجام گرفت. به‌منظور تعیین درصد کلونیزاسیون ریشه‌ها از روش خطوط متقاطع[1] استفاده شد (۱۶).

تجزیه و تحلیل داده‌ها

تجزیه و تحلیل داده‌های این آزمایش با استفاده از نرم‌افزار MSTAT-C و مقایسه میانگین‌های صفات اندازه‌گیری شده با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

اثر سال بر غلظت عناصر غذایی برگ

براساس داده‌های جدول (۳)، دو پارامتر اقلیمی مهم شامل مقدار بارندگی و دما در دو سال اجرای این پژوهش کاملاً متغیر بود. مقادیر بارندگی در سال‌های اول (۱۳۹۶) و دوم (۱۳۹۸) به‌ترتیب برابر ۱۰۰/۴ و ۲۱۴/۱ میلی‌متر بوده است؛ مقدار بارندگی آن در سال دوم بیش از حدود ۱۱۴ درصد نسبت به سال اول اجرا افزایش نشان می‌دهد. همچنین میانگین مقادیر دمای سالانه در سال‌های اول و دوم به‌ترتیب برابر ۲۰/۱۵ و ۱۹/۴۶ درجه سلسیوس و همچنین میانگین مقادیر دمای سه ماه اول فصل رشد (فروردین، اردیبهشت و خرداد) برای سال‌های اول و دوم به‌ترتیب برابر با ۲۵/۷۱ و ۲۱/۸۶ درجه سلسیوس بود.

نتایج تجزیه واریانس مرکب صفات مورد بررسی تحت تیمارهای مختلف کود آلی، قارچ و ارقام پسته در جدول (۶) عنوان شده است. براساس نتایج جدول (۷)، غلظت نیتروژن برگ در سال ۱۳۹۸ اجرای پروژه بیش‌تر از سال ۱۳۹۶ بود. غلظت زیاد نیتروژن برگ در سال دوم (۱۳۹۸) می‌تواند به دلیل تثبیت جوی نیتروژن (در اثر رعد و برق) و تثبیت زیستی آن توسط دیازوتروف‌های آزادزی به دلیل بارندگی بیش‌تر باشد (۲۳). همزمانی بارندگی با جذب نیتروژن و شروع رشد اولیه (فروردین ماه) احتمالاً دلیلی برای غلظت زیاد نیتروژن است. با افزایش بارندگی و رطوبت خاک، مقدار اسید کربنیک خاک افزایش می‌یابد که با تأثیر بر کلسیم جذب سطحی شده ذرات خاک، مقدار زیادی از کلسیم بدین طریق از خاک رها شده و فعال می‌شود (۳۷). این موضوع می‌تواند دلیل اصلی افزایش غلظت کلسیم برگ در سال دوم (۱/۶۶ درصد) نسبت به سال اول آزمایش (۱/۴۹ درصد) باشد که اختلاف معنی‌داری نیز بین آن‌ها وجود داشت (جدول ۷). کلسیم و فسفر برهم‌کنش‌های آنتاگونیستی در خاک دارند (۳۴) و در نتیجه جذب فسفر توسط ریشه کاهش یافته است. در بین عناصر پرمصرف، تنها پتاسیم بود که غلظت آن در سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۳۹۸ با یکدیگر

1. Gridline intersect method

جدول ۶. تجزیه واریانس طرح مرکب صفات مورد بررسی تحت تیمارهای مختلف کود آلی، قارچ و ارقام پسته.

Table 6. Analysis of variance of the composite design of investigated traits as affected by different treatments of organic manure, fungi and pistachio cultivars.

تیمار Treatment	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مجموع مربعات Mean sum of squares					
		نیتروژن N	فسفر P	پتاسیم K	کلسیم Ca	آهن Fe	روی Zn
سال Year	1	0.18 ^{ns}	0.01^{ns}	0.04^{ns}	0.72^{ns}	164268.00**	11521.67**
رقم Variety	1	0.16 ^{ns}	0.01^{ns}	0.32^{ns}	0.04^{ns}	** 32378.70	0.02^{ns}
خطا Error	4	0.04	0.005	0.37	0.2	65.48	2.47
کمپوست Compost	2	0.06**	0.01^{ns}	0.05^{ns}	0.02^{ns}	3385.18**	36.61**
کمپوست × رقم Compost × Variety	2	0.02^{ns}	0.01^{ns}	0.06^{ns}	0.01^{ns}	3071.73**	42.80**
قارچ Fungi	2	0.01^{ns}	0.01^{ns}	0.05^{ns}	0.03^{ns}	8965.90**	47.60**
رقم × قارچ Variety × Fungi	2	0.01^{ns}	0.01^{ns}	0.03^{ns}	0.09**	1021.84**	104.09**
کمپوست × قارچ Compost × Fungi	4	0.03*	0.01^{ns}	0.04^{ns}	0.06**	1307.45**	21.30**
رقم × کمپوست × قارچ Variety × Compost × Fungi	4	0.02^{ns}	0.01*	0.06^{ns}	0.04*	713.79**	13.03**
خطا Erorr	32	0.01	0.001	0.03	0.01	42.81	2.18
ضریب تغییرات (%) CV		3.90	12.29	9.15	6.16	3.18	8.52

^{ns}، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۵٪ و ۱٪.

^{ns}, * and ** are non-significant and significant, respectively, at the probability levels of 5% and 1%.

ادامه جدول ۶.

Continued Table 6.

تیمار Treatment	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مجموع مربعات Mean sum of squares				
		منگنز Mn	سطح برگ Leaf area	ارتفاع شاخه Branch height	قطر شاخه Branch diameter	عرض دانهال Seedling width
سال Year	1	1748.06**	7528.36**	6589.45**	602.08**	5410.25**
رقم Variety	1	3870.02**	83761.66**	32.01*	0.45ns	33.78**
خطا Error	4	25.64	211.97	3.58	2.35	1.10
کمپوست Compost	2	576.45**	29123.09**	414.01**	9.33**	43.62**
کمپوست × رقم Compost × Variety	2	47.63**	10446.73**	9.77ns	6.70*	104.88**
قارچ Fungi	2	366.25**	7385.53**	60.91**	0.19ns	7.75ns
رقم × قارچ Variety × Fungi	2	422.38**	11884.19**	138.37**	2.90ns	15.29*
کمپوست × قارچ Compost × Fungi	4	142.08**	3938.53**	123.44**	3.78ns	89.74**
رقم × کمپوست × قارچ Variety × Compost × Fungi	4	412.62**	24166.90**	48.47**	0.48ns	25.22**
خطا Erorr	32	9.96	146.30	9.38	1.61	4.35
ضریب تغییرات CV (%)		7.43	3.30	6.88	7.09	9.52

ns، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۵٪ و ۱٪.

ns, * and ** are non-significant and significant, respectively, at the probability levels of 5% and 1%.

جدول ۷. مقایسه میانگین صفات مختلف پسته و غلظت عناصر غذایی در برگ در سال‌های آزمایش.

Table 7. Mean comparison of the pistachio traits and nutrients concentration in the leaf as affected by the experimental years.

تیمار Treatment	نیتروژن N	فسفر P	پتاسیم K	کلسیم Ca	آهن Fe	روی Zn	منگنز Mn	سطح تک برگ Leaf area	ارتفاع شاخه Branch height	قطر شاخه Branch diameter	عرض دانهال Seedling width
	%	%	%	%	mg kg^{-1}	mg kg^{-1}	mg kg^{-1}	cm^2	cm	mm	cm
سال اول Y1	2.0 b	0.12 a	1.2 a	1.4 b	150.9 b	a 31.0	58.2 b	408.8 a	35.6 b	7.7 b	12.0 b
سال دوم Y2	2.1a	0.11 b	1.2 a	1.6 a	228.9 a	10.3 b	66.2 a	392.1 b	51.2 a	12.4 a	26.2 a

Y1 = 2017-2018, Y2 = 2018-2019، سال اول = ۱۳۹۶–۱۳۹۷، سال دوم = ۱۳۹۷–۱۳۹۸

در هر ستون، میانگین‌های با حروف مشابه اختلاف معنی‌داری در سطح ۵٪ بر اساس آزمون LSD ندارند.

In each column, means followed by the same letters are not significantly different (LSD, $p < 0.05$).

اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۷). براساس بررسی‌های انجام شده، آب باران حاوی عناصر غذایی است که می‌تواند تأمین‌کننده بخشی از نیاز غذایی گیاه باشد (۴۵). در این میان، غلظت پتاسیم به مراتب کم‌تر از سایر عناصر از جمله سدیم است (۴۴). همچنین با کاهش pH خاک در شرایط پر باران (۲۷ و ۳۷)، جذب خالص پتاسیم به‌شدت کاهش می‌یابد (۶۰). براساس جدول (۴)، غلظت سدیم و pH خاک زیاد بود و به دلیل پویا بودن سدیم در خاک، این عنصر در اثر بارندگی زیاد، فعال شده و از سطح خاک به لایه‌های زیرین حرکت می‌کند. با توجه به وجود برهم‌کنش منفی بین سدیم و پتاسیم، غلظت زیاد سدیم در خاک، جذب پتاسیم را کاهش می‌دهد (۳۴). در بین عناصر کم‌مصرف، تنها غلظت روی برگ در سال ۱۳۹۸ نسبت به سال ۱۳۹۶ کاهش شدیدی یافت (جدول ۷). این اختلاف می‌تواند به دلیل افزایش ۱۱۴ درصدی بارندگی (جدول ۳) در سال ۱۳۹۸ باشد، که آهک موجود در خاک را تحت تأثیر قرار داده (جداول ۴ و ۵) و غلظت بی‌کربنات (HCO_3^-) خاک را افزایش می‌دهد. جذب روی با افزایش غلظت بی‌کربنات خاک کاهش می‌یابد (۲). افزایش بارندگی احتمالاً موجب تغییرات در شرایط اکسیداسیون و احیای خاک نیز شده است (جدول ۳)؛ در نتیجه آهن و منگنز در خاک به فرم احیا درآمده و بنابراین جذب آن‌ها توسط گیاهان افزایش یافت (جدول ۷) (۵۸). پارامترهای رشد رویشی در سال ۱۳۹۸ افزایش یافت، و تنها سطح برگ به علت افزایش در تعداد برگ (رابطه معکوس بین تعداد برگ و سطح برگ)، کاهش یافته بود (جدول ۷).

اثر رقم بر غلظت عناصر غذایی برگ و پارامترهای رشد

بین دو رقم پسته اکبری و بادامی زرند از نظر غلظت عناصر آهن و منگنز برگ (جدول ۶)، سطح برگ و عرض تاج دانهال در سطح یک درصد و ارتفاع شاخه در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌داری وجود داشت؛ اما در سایر صفات اختلاف معنی‌داری بین آن‌ها مشاهده نشد. از طرفی اثر برهم‌کنش‌های بین ارقام پسته با کمپوست ضایعات پسته و قارچ میکوریز بر غلظت فسفر و کلسیم برگ در سطح پنج درصد و بر غلظت آهن، روی، منگنز، سطح برگ، ارتفاع شاخه و عرض تاج دانهال در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۶). غلظت آهن، سطح برگ، عرض دانهال و درصد کلونیزاسیون در رقم اکبری نسبت به رقم بادامی زرند با اختلاف معنی‌دار بیش‌تر بود (جدول ۸).

جدول ۸. مقایسه میانگین اثر رقم پسته بر صفات مختلف.

Table 8. Mean comparison of the effect of the pistachio cultivar on different traits.

تیمار Treatment	نیتروژن N	فسفر P	پتاسیم K	کلسیم Ca	آهن Fe	روی Zn	منگنز Mn	سطح برگ Leaf area	ارتفاع شاخه Branch height	قطر شاخه Branch diameter	عرض دانهال Seedling width	کلونیزاسیون ریشه* Root colonization
واحد Unit	%	%	%	%	mg kg^{-1}	mg kg^{-1}	mg kg^{-1}	cm^2	cm	mm	cm	%
اکبری Ak	2.0 ^{a}	0.1 ^{a}	1.2 ^{a}	1.6 ^{a}	207.2 ^{a}	20.7 ^{a}	56.2 ^{b}	428.3 ^{a}	42.9 ^{a}	10.1 ^{a}	19.7 ^{a}	35.1 ^{a}
بادامی زرند Ba	2.1 ^{a}	0.1 ^{a}	1.3 ^{a}	1.5 ^{a}	172.6 ^{b}	20.6 ^{a}	68.2 ^{a}	372.6 ^{b}	44.0 ^{a}	10.0 ^{a}	18.6 ^{b}	27.2 ^{b}

AK = Akbari var., Ba = Badami Zarand Var.؛ AK = رقم اکبری، Ba = رقم بادامی زرند

در هر ستون، میانگین‌های با حروف مشابه اختلاف معنی‌داری در سطح ۵٪ بر اساس آزمون LSD ندارند.

In each column, means followed by the same letters are not significantly different (LSD, $p < 0.05$).

درصد کلونیزاسیون ریشه تنها در سال آخر پروژه اندازه‌گیری شد.

* The percentage of root colonization was only measured in the last year of the project.

مقایسه میانگین صفات در سطوح مختلف تیمارهای کمپوست ضایعات فرآوری‌شده پسته در دو رقم پسته

براساس نتایج ارائه شده در جدول (۶)، اثر کمپوست پسته بر غلظت عناصر غذایی نیتروژن، آهن، روی و منگنز برگ و صفات رویشی ارتفاع، عرض و قطر و سطح برگ دانهال با شاهد در سطح یک درصد اختلاف معنی‌داری وجود داشت. نتایج مقایسه میانگین تیمارهای مختلف کمپوست نشان داد که بیش‌ترین غلظت نیتروژن و روی و نیز عرض تاج دانهال مربوط به تیمار کاربرد ۱۵ کیلوگرم کمپوست بود که با سطوح ۰ و ۱۰ کیلوگرم کمپوست اختلاف معنی‌داری داشت؛ ولی بین تیمارهای ۰ و ۱۰ کیلوگرم کمپوست اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۹). غلظت آهن در سطوح ۱۰ و ۱۵ کیلوگرم کمپوست دارای بیش‌ترین مقدار بود که با یکدیگر اختلاف معنی‌دار نشان ندادند، ولی با شاهد اختلاف معنی‌دار داشتند. غلظت منگنز در سطح ۱۰ کیلوگرم کمپوست بیش‌ترین مقدار بود که با سطوح ۰ و ۱۵ کیلوگرم اختلاف معنی‌دار داشت (جدول ۹). صفات رویشی سطح برگ و ارتفاع شاخه در سطح ۱۵ کیلوگرم بیش‌ترین مقدار و در سطح ۱۰ کیلوگرم کمپوست کم‌ترین مقدار را نشان دادند و بین هر سه سطح اختلاف معنی-دار مشاهده شد. غلظت عناصر فسفر، پتاسیم و کلسیم بین سطوح مختلف تیمارها اختلاف معنی‌دار نداشت (جدول ۹). همچنین جدول مقایسه میانگین‌ها (جدول ۹) نشان داد که اثر تیمار مصرف ۱۵ کیلوگرم کمپوست ضایعات پسته برای هر دانهال، بر تمامی صفات و عناصر غذایی مورد بررسی به استثنای غلظت منگنز بیش‌تر از شاهد بوده است. در مورد منگنز نیز سطح دوم تیمار (۱۰ کیلوگرم کمپوست) بیش‌تر از شاهد قرار داشت. بیش‌ترین درصد کلونیزاسیون ریشه در سطح ۱۰ کیلوگرم کمپوست مشاهده شد (شکل ۱)، که شاید یکی از علل کاهش آن با افزایش مقدار کمپوست، افزایش ترکیبات فنلی (۳۳) موجود در کمپوست ۱۵ کیلوگرم و در نتیجه کاهش همبستگی میکوریزی و درصد کلونیزاسیون ریشه در این تیمار بود.

مقایسه صفات مختلف در سطوح مختلف قارچ میکوریز در دو رقم پسته

مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف قارچ میکوریز بر صفات مورد بررسی (جدول ۱۰) نشان داد که اختلاف غلظت عناصر غذایی نیتروژن، فسفر، پتاسیم و کلسیم در برگ و صفات رویشی قطر شاخه و عرض تاج دانهال در هر سه سطح تیمار قارچ میکوریز، غیرمعنی‌دار بود. ولی غلظت آهن برگ در تیمار ۲۰۰ گرم، بیش‌تر از شاهد، و شاهد بیش‌تر از تیمار ۱۰۰ گرم بود و اختلاف بین تیمارها معنی‌دار بود. همچنین غلظت عنصر روی در سطح ۱۰۰ گرم کم‌ترین، و دارای اختلاف معنی‌دار با دو سطح دیگر بود. در مورد سطح برگ، تیمار ۱۰۰ گرم بیش‌تر از شاهد و شاهد بیش‌تر از سطح تیمار ۲۰۰ گرم قارچ میکوریز بود و بین هر سه تیمار اختلاف معنی‌دار وجود داشت (شکل ۲). از طرفی تفاوت مقادیر ارتفاع شاخه بین شاهد و ۲۰۰ گرم غیرمعنی‌دار و بیش‌تر از سطح ۱۰۰ گرم بود و با آن اختلاف معنی‌دار داشت (جدول ۱۰). براساس نتایج به‌دست آمده، اثر قارچ میکوریز بر غلظت عناصر پرمصرف (نیتروژن، فسفر، پتاسیم و کلسیم) در برگ معنی‌دار نبود؛ اما اثر آن بر مقدار عناصر کم‌مصرف (آهن، منگنز و روی) در برگ و همچنین بر ارتفاع و سطح برگ دانهال در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۶). مقایسه میانگین‌ها (جدول ۱۰) نشان داد که سطح۲۰۰ گرم قارچ میکوریز، توانسته بود غلظت آهن برگ را در مقایسه با شاهد به طور معنی‌داری افزایش دهد. در ارتباط با غلظت منگنز در برگ، تیمار ۱۰۰ گرم قارچ، در مقایسه با شاهد بیش‌ترین سطح آن را به طور معنی‌دار ایجاد کرد. بیش‌ترین درصد کلونیزاسیون ریشه در سطح ۱۰۰ گرم قارچ، و سپس در شاهد و کم‌ترین مقدار آن در ۲۰۰ گرم قارچ مشاهده شد (شکل ۳). افزایش غلظت قارچ در یک حجم مشخص (ریزوسفر) احتمالاً موجب افزایش رقابت ریزجانداران و در نتیجه کاهش همبستگی میکوریزی با ریشه‌ها شده است.

جدول ۹. مقایسه میانگین صفات مختلف در تیمارهای کمپوست ضایعات فرآوری‌شده پسته.

Table 9. Mean comparison of the different traits as affected by the different treatments of pistachio waste compost.

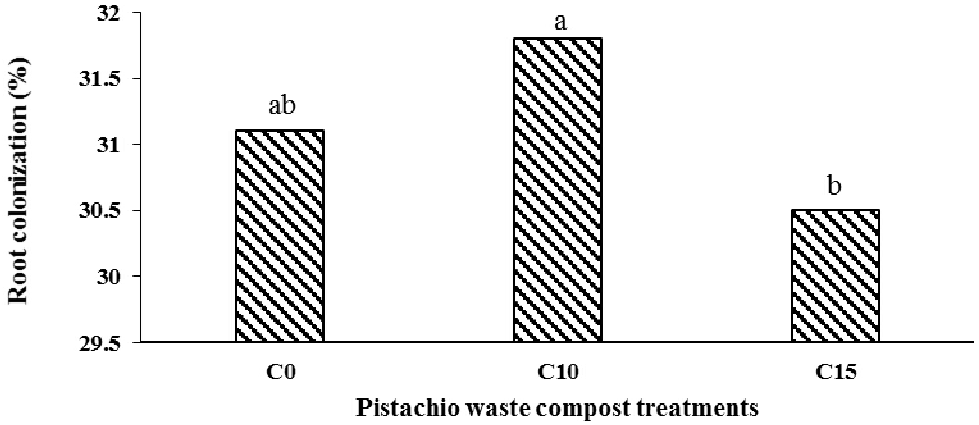
عرض دانهال Seedling width	قطر شاخه Branch diameter	ارتفاع شاخه Branch height	سطح برگ Leaf area	منگنز Mn	روی Zn	آهن Fe	کلسیم Ca	پتاسیم K	فسفر P	نیتروژن N	تیمار Treatment
cm	mm	cm	cm^2	$mg\ kg^{-1}$	$mg\ kg^{-1}$	$mg\ kg^{-1}$	%	%	%	%	واحد Unit
18.2 b	10.1 a	42.9 b	410.7 b	59.6 b	20.2 b	178.8 b	1.5 a	1.2 a	0.1 a	2.0 b	شاهد C0
18.9 b	9.52 b	40.3 c	386.4 c	66.8 a	20.0 b	195.0 a	1.6 a	1.2 a	0.1 a	2.0 b	کمپوست ۱۰ C10
20.3 a	10.5 a	47.0 a	422.5 a	60.2 b	21.8 a	196.2 a	1.5 a	1.3 a	0.1 a	2.1 a	کمپوست ۱۵ C15

C0 = شاهد، C10 = ۱۰ کیلوگرم کمپوست ضایعات پسته، C15 = ۱۵ کیلوگرم کمپوست ضایعات پسته،

C0 = control, C10 = 10 kg pistachio waste compost, C15 = 15 kg pistachio waste compost

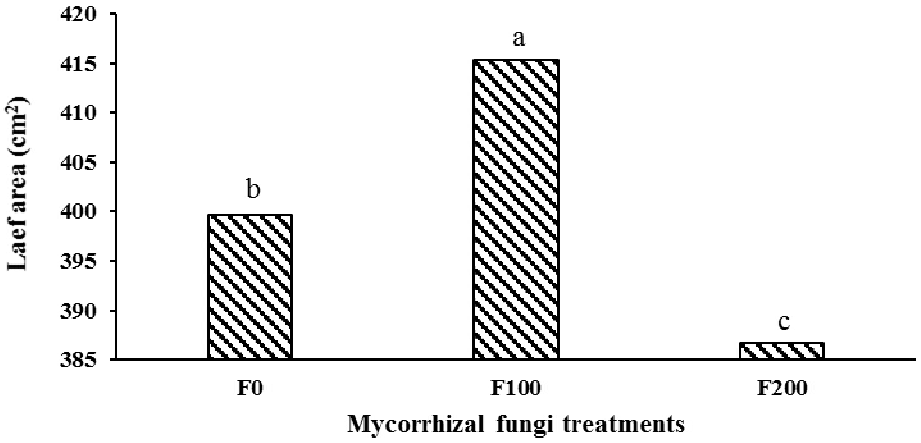
در هر ستون، میانگین‌های با حروف مشابه اختلاف معنی‌داری در سطح ۵٪ بر اساس آزمون LSD ندارند.

In each column, means followed by the same letters are not significantly different (LSD, $p < 0.05$).



شکل ۱. مقایسه میانگین درصد کلونیزاسیون ریشه (٪) تحت تأثیر سطوح مختلف کمپوست صفر، ۱۰ و ۱۵ کیلوگرم؛ میانگین‌های با حروف غیرمشابه دارای اختلاف معنی‌داری در سطح ۵٪ بر اساس آزمون LSD هستند.

Fig. 1. Mean comparison of root colonization percentage as affected by different levels (0 10 and 15 kg) of compost (%); means with the different letters are significantly different (LSD, $p < 0.05$).



شکل ۲. مقایسه میانگین سطح برگ (cm^2) تحت تأثیر سطوح مختلف صفر، ۱۰۰ و ۲۰۰ گرم قارچ؛ میانگین‌های با حروف غیرمشابه دارای اختلاف معنی‌داری در سطح ۵٪ بر اساس آزمون LSD هستند.

Fig. 2. Mean comparison of leaf area (cm^2) as affected by different levels (0, 100, 200 g) of fungus; means with the different letters are significantly different (LSD, $p < 0.05$).

مقایسه صفات مختلف در سطوح مختلف کمپوست در دو رقم پسته

با افزایش سطح کمپوست در هر دو رقم اکبری و بادامی زرند، غلظت آهن برگ افزایش قابل توجهی یافته بود. بیش‌ترین غلظت آهن برگ (۲۲۱/۸ میلی‌گرم در کیلوگرم) برای رقم اکبری و در سطح سه کمپوست (۱۵ کیلوگرم) به‌دست آمده بود. اما بیش‌ترین غلظت روی (۲۲/۹ میلی‌گرم در کیلوگرم) در رقم بادانی زرند و سطح سه کمپوست و بیش‌ترین غلظت منگنز (۷۳/۸ میلی‌گرم در کیلوگرم) در رقم بادامی زرند و سطح دو کمپوست به‌دست آمد (جدول ۱۱). بیش‌ترین درصد کلونی-شدن ریشه (۳۷/۸ درصد) در رقم اکبری و ۱۰ کیلوگرم کمپوست به‌دست آمد (جدول ۱۱). به‌طور کلی پایه اکبری نسبت به پایه بادامی زرند در هر سه سطح کمپوست، تأثیر بیش‌تری بر صفات مورد بررسی داشت. همچنین پایه اکبری در

جدول ۱۰. مقایسه میانگین صفات مختلف پسته در سطوح مختلف قارچ میکوریز.

Table 10. Mean comparison of the pistachio different traits as affected by different levels of mycorrhizal fungus.

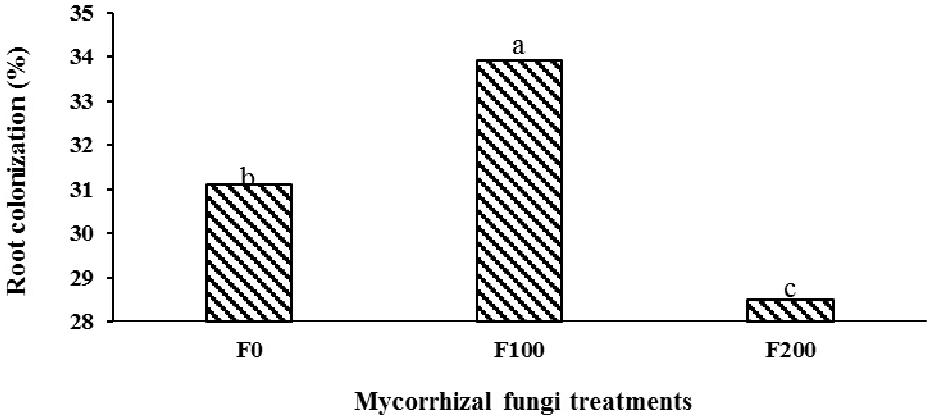
عرض دانهال Seedling width	قطر شاخه Branch diameter	ارتفاع شاخه Branch height	منگنز Mn	روی Zn	آهن Fe	کلسیم Ca	پتاسیم K	فسفر P	نیتروژن N	تیمار Treatment
cm	mm	cm	mg kg^{-1}	mg kg^{-1}	mg kg^{-1}	%	%	%	%	Unit
19.7 a	10.0 a	43.0 b	58.6 c	21.6 a	186.6 b	1.5 a	1.3 a	0.1 a	2.0 a	شاهد F0
18.8 a	10.0 a	44.9 a	64.8 a	19.4 b	176.2 c	1.6 a	1.2 a	0.1 a	2.0 a	میکوریز ۱۰۰ F100
18.9 a	10.1 a	42.4 b	63.1 b	21.0 a	207.2 a	1.5 a	1.2 a	0.1 a	2.0 a	میکوریز ۲۰۰ F200

F0 = شاهد، F100 =۱۰۰ گرم قارچ، F200 = ۲۰۰ گرم قارچ

F0 = control, F100 = 100 g fungus, F200 = 200 g fungus

در هر ستون، میانگین‌های با حروف مشابه اختلاف معنی‌داری در سطح ۵٪ بر اساس آزمون LSD ندارند.

In each column, means followed by the same letters are not significantly different (LSD, $p < 0.05$).



شکل ۳. مقایسه میانگین درصد کلونیزاسیون ریشه (٪) تحت تأثیر سطوح مختلف قارچ (صفر، ۱۰۰ و ۲۰۰ گرم)؛ میانگین‌های با حروف غیرمشابه دارای اختلاف معنی‌داری در سطح ۵٪ بر اساس آزمون LSD هستند.

Fig. 3. Mean comparison of root colonization percentage as influenced by different levels (0, 100 and 200 g) of fungus; means with the different letters are significantly different (LSD, $p < 0.05$).

سطح سه کمپوست (۱۵ کیلوگرم) بیش‌ترین تأثیر را بر جذب عناصر غذایی و صفات رویشی مورد بررسی نشان داد (جدول ۱۱).

مقایسه صفات مختلف در سطوح مختلف قارچ میکوریز در دو رقم پسته

برهم‌کنش رقم بادامی زرند در سطوح مختلف قارچ میکوریز بیش‌ترین تأثیر را بر غلظت نیتروژن، پتاسیم، منگنز و روی برگ داشت. اما برهم‌کنش رقم اکبری و سطوح مختلف قارچ میکوریز بیش‌ترین تأثیر را بر غلظت دو عنصر کلسیم و آهن برگ داشت (جدول ۱۲). بیش‌ترین ارتفاع و قطر دانهال متعلق به تأثیر رقم بادامی زرند و سطوح مختلف قارچ میکوریز بود (جدول ۱۲). در مجموع اثر برهم‌کنش رقم اکبری و سطوح قارچ میکوریز بر صفات مورد بررسی بیش‌تر از رقم بادامی زرند و سطوح قارچ میکوریز بود. همچنین ۱۰۰ گرم قارچ میکوریز در مجموع بیش‌ترین تأثیر را بر صفات مورد بررسی داشت (جدول ۱۲). بیش‌ترین کلونیزاسیون ریشه در رقم اکبری و تیمارهای شاهد و ۱۰۰ گرم قارچ بدون اختلاف معنی‌دار به‌دست آمد (جدول ۱۲).

اثر برهم‌کنش کمپوست ضایعات فرآوری‌شده پسته و قارچ میکوریز بر صفات مورد بررسی

اثر برهم‌کنش کمپوست ضایعات فرآوری‌شده پسته و قارچ میکوریز (جدول ۶) بر غلظت نیتروژن برگ در سطح پنج درصد، و بر غلظت‌های کلسیم، آهن، روی و منگنز برگ و همچنین بر صفات رشد رویشی مانند ارتفاع، قطر و عرض دانهال و اندازه برگ در سطح یک درصد با شاهد اختلاف معنی‌داری را ایجاد کرده بود (جدول ۶). ۱۵ کیلوگرم کمپوست ضایعات پسته به همراه سطح ۲۰۰ گرم قارچ میکوریز بیش‌ترین تأثیر را بر صفات رشد رویشی شامل ارتفاع، قطر و تاج دانهال داشتند و سطوح ۱۰ و ۱۵ کیلوگرم تیمار کمپوست و ۱۰۰ و ۲۰۰ گرم قارچ میکوریز بیش‌ترین تأثیر را بر غلظت عناصر غذایی نیتروژن، کلسیم، آهن، روی و منگنز برگ نشان دادند (جدول ۱۳). بیشینه درصد کلونیزاسیون ریشه در تیمار کمپوست ۱۰ کیلوگرم و شاهد قارچ، و کمپوست ۱۵ کیلوگرم و قارچ ۱۰۰ گرم به‌ترتیب با ۳۸/۸ و ۳۸/۱ درصد بدون اختلاف معنی‌دار با یکدیگر مشاهده شد (شکل ۴).

نتایج همچنین نشان داد که دو تیمار بادامی زرند در ۱۵ کیلوگرم کمپوست و ۱۰۰ گرم قارچ با حداکثر ۴۳٪ کلونیزاسیون ریشه، و تیمار اکبری با ۱۰ کیلوگرم کمپوست و

جدول ۱۱. مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش رقم و سطوح مختلف کمپوست ضایعات فرآوری‌شده پسته بر صفات مورد بررسی پسته.

Table 11. Mean comparison of the interaction effect of pistachio cultivar and pistachio waste compost on the studied traits of pistachio.

کلونیزاسیون ریشه* Root colonization	عرض دانهال Seedling width	قطر شاخه Branch diameter	ارتفاع شاخه Branch height	سطح برگ Leaf area	منگنز Mn	روی Zn	آهن Fe	کلسیم Ca	پتاسیم K	فسفر P	نیتروژن N	تیمار Treatment
%	cm	mm	Cm	cm^2	mg kg^{-1}	mg kg^{-1}	mg kg^{-1}	%	%	%	%	Unit
33.8 b	19.6 bc	10.6 ab	42.7 c	423.0 b	53.3 d	21.3 b	197.8 c	1.6 ab	1.1 c	0.1 a	1.9 b	اکبری × شاهد Ak × C0
37.8 a	17.5 de	9.1 c	40.0 d	414.5 c	59.8 c	20.0 cd	202.3 b	1.6 a	1.17 bc	0.1 a	1.9 b	اکبری × کمپوست ۱۰ Ak × C10
33.6 b	22.0 a	10.7 a	45.9 b	447.6 a	55.5 d	20.7 bc	221.8 a	1.5 ab	1.3 ab	0.1 a	2.0 a	اکبری × کمپوست ۱۵ Ak × C15
28.3 c	16.7 e	9.7 bc	43.1 c	398.3 d	65.8 b	19.1 d	159.8 f	1.5 ab	1.3 a	0.1 a	2.0 ab	بادامی × شاهد Ba × C0
25.8 d	20.3 b	9.94 abc	40.6 d	322.3 e	73.8 a	20.0 cd	187.6 d	1.5 ab	1.3 ab	0.1 a	2.1 a	بادامی × کمپوست ۱۰ Ba × C10
27.3 cd	18.7 cd	10.3 ab	48.2 a	397.5 d	64.9 b	22.9 a	170.6 e	1.5 b	1.3 a	0.1 a	2.1 a	بادامی × کمپوست ۱۵ Ba × C15

AK = رقم اکبری، Ba = رقم بادامی زرند، C0 = شاهد، C10 = ۱۰ کیلوگرم کمپوست ضایعات پسته، C15 = ۱۵ کیلوگرم کمپوست ضایعات پسته

AK = Akbari variety, Ba = Badami Zarand variety, C0 = control, C10 = 10 kg pistachio waste compost, C15 = 15 kg pistachio waste compost

در هر ستون، میانگین‌های با حروف مشابه اختلاف معنی‌داری در سطح ۵٪ بر اساس آزمون LSD ندارند.

In each column, means followed by the same letters are not significantly different (LSD, $p < 0.05$).

درصد کلونیزاسیون ریشه تنها در سال آخر پروژه اندازه‌گیری شد.

The percentage of root colonization was only measured in the last year of the project.

جدول ۱۲. مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش قارچ میکوریز و رقم پسته بر صفات مورد بررسی پسته.

Table 12. Mean comparison of the interaction effect of pistachio cultivar and mycorrhizal fungus on the studied traits of pistachio.

کلونیزاسیون ریشه* Root colonization	عرض دانهال Seedling width	قطر شاخه Branch diameter	ارتفاع شاخه Branch height	سطح برگ Leaf area	منگنز Mn	روی Zn	آهن Fe	کلسیم Ca	پتاسیم K	فسفر P	نیتروژن N	تیمار Treatment
%	cm	mm	cm	cm^2	mg kg^{-1}	mg kg^{-1}	mg kg^{-1}	%	%	%	%	Unit
36.3 a	20.98 a	10.00 a	42.95 bc	432.9 b	54.28 d	19.72 c	198.7 b	1.514 b	1.268 ab	0.1117 a	2.038 bc	شاهد × اکبری Ak × F0
35.2 ab	18.86 b	9.889 a	42.24 bc	458.0 a	61.22 c	20.17 c	199.0 b	1.657 a	1.144 b	0.1128 a	2.016 c	میکوریز ۱۰۰ × اکبری Ak × F100
33.8 bc	19.35 b	10.56 a	43.59 b	394.3 c	53.22 d	22.22 b	224.2 a	1.631 a	1.243 ab	0.1161 a	2.041 bc	میکوریز ۲۰۰ × اکبری Ak × F200
25.8 d	18.42 b	10.11 a	43.12 bc	366.4 e	63.08 c	23.58 a	174.4 d	1.588 ab	1.349 a	0.1133 a	2.126 a	شاهد × بادامی Ba × F0
32. 6 c	18.82 b	10.17 a	47.63 a	372.6 de	68.50 b	18.67 d	153.4 e	1.551 b	1.316 a	0.1183 a	2.099 ab	میکوریز ۱۰۰ × بادامی Ba × F100
23.1 e	18.60 b	9.778 a	41.30 c	379.1 d	73.06 a	19.78 c	190.2 c	1.643 b	1.318 a	0.1161 a	2.098 a	میکوریز ۲۰۰ × بادامی Ba × F200

AK= رقم اکبری، Ba = رقم بادامی زرند، F0 = شاهد، F100 =۱۰۰ گرم قارچ، F200 = ۲۰۰ گرم قارچ

AK = Akbari variety, Ba = Badami Zarand variety, F0 = control, F100 = 100 g fungus, F200 = 200 g fungus

در هر ستون، میانگین‌های با حروف مشابه اختلاف معنی‌داری در سطح ۵٪ بر اساس آزمون LSD ندارند.

In each column, means followed by the same letters are not significantly different (LSD, $p < 0.05$).

درصد کلونیزاسیون ریشه تنها در سال آخر پروژه اندازه‌گیری شد.

The percentage of root colonization was only measured in the last year of the project.

جدول ۱۳. مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش قارچ میکوریز و کمپوست ضایعات فرآوری‌شده پسته بر صفات مورد بررسی پسته.

Table 13. Mean comparison of the interaction effect of pistachio waste compost and mycorrhizal fungus on the studied traits of pistachio.

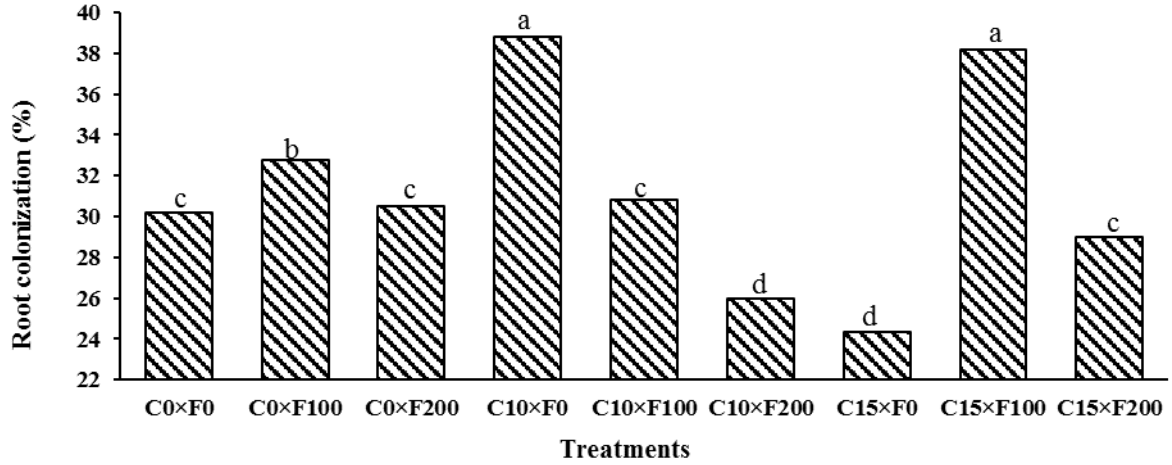
تیمار Treatment	نیتروژن N	فسفر P	پتاسیم K	کلسیم Ca	آهن Fe	روی Zn	منگنز Mn	سطح برگ Leaf area	ارتفاع شاخه Branch height	قطر شاخه Branch diameter	عرض دانهال Seedling width
Unit	%	%	%	%	mg kg^{-1}	mg kg^{-1}	mg kg^{-1}	cm^2	cm	mm	cm
میکوریز ۰ × کمپوست ۰ C0 × F0	2.058 bc	01083 b	1.278 ab	1.582 abc	184.1 d	20.83 bc	56.42 e	394.1 de	41.83 b	10.33 abc	21.19 ab
میکوریز ۱۰۰ × کمپوست ۰ C0 × F100	1.980 c	0.1183 ab	1.262 ab	1.617 abc	165.8 f	18.83 d	58.50 de	439.9 a	48.27 a	10.25 abcd	15.68 d
میکوریز ۲۰۰ × کمپوست ۰ C0 × F200	2.063 abc	0.1158 ab	1.257 ab	1.538 cd	186.5 cd	21.00 bc	63.92 b	397.9 cd	38.75 c	10.00 bcd	17.74 c
میکوریز ۰ × کمپوست ۱۰ C10 × F0	2.041 bc	0.1092 ab	1.244 b	1.596 abc	184.1 d	19.83 cd	62.67 bc	386.6 e	41.13 bc	10.00 bcd	20.13 b
میکوریز ۱۰۰ × کمپوست ۱۰ C10 × F100	2.113 ab	0.1158 ab	1.227 b	1.553 bcd	176.1 e	18.83 d	73.00 a	362.4 f	39.93 bc	9.250 d	19.58 b
میکوریز ۲۰۰ × کمپوست ۱۰ C10 × F200	2.030 bc	0.1133 ab	1.250 ab	1.664 a	224.8 a	21.33 b	64.83 b	356.3 f	40.04 bc	9.333 cd	17.09 cd
میکوریز ۰ × کمپوست ۱۵ C15 × F0	2.146 a	0.1200 a	1.403 a	1.475 d	191.5 c	24.29 a	56.96 e	418.2 b	46.13 a	9.833 bcd	17.77 c
میکوریز ۱۰۰ × کمپوست ۱۵ C15 × F100	2.080 ab	0.1125 ab	1.200 e	1.461 ab	186.7 cd	20.58 bc	63.08 bc	443.5 a	46.60 a	10.58 ab	21.24 ab
میکوریز ۲۰۰ × کمپوست ۱۵ C15 × F200	2.116 ab	0.1192 ab	1.336 ab	1.558 bcd	210.3 b	20.67 bc	60.67 cd	405.9 c	48.54 a	11.17 a	22.09 a

C0 = شاهد، C10 = ۱۰ کیلوگرم کمپوست ضایعات پسته، C15 = ۱۵ کیلوگرم کمپوست ضایعات پسته، F0 = شاهد، F100 = ۱۰۰ گرم قارچ، F200 = ۲۰۰ گرم قارچ

C0 = control, C10 = 10 kg pistachio waste compost, C15 = 15 kg pistachio waste compost, F0 = control, F100 = 100 g fungus, F200 = 200 g fungus

در هر ستون، میانگین‌های با حروف مشابه اختلاف معنی‌داری در سطح ۵٪ بر اساس آزمون LSD ندارند.

In each column, means followed by the same letters are not significantly different (LSD, $p < 0.05$).



شکل ۴. مقایسه میانگین کلونیزاسیون ریشه (٪) تحت تأثیر توام سطوح مختلف کمپوست ضایعات پسته (صفر، ۱۰ و ۱۵ کیلوگرم) و قارچ (صفر، ۱۰۰ و ۲۰۰ گرم)؛ میانگین‌های با حروف غیرمشابه دارای اختلاف معنی‌داری در سطح ۵٪ بر اساس آزمون LSD هستند.

Fig. 4. Mean comparison of root colonization (٪) as affected by the interaction of pistachio waste compost (0, 10 and 15 kg) and fungus (0,100 1nd 200 g); means with the different letters are significantly different (LSD, $p < 0.05$).

عدم مصرف قارچ با ۴۱٪ کلونیزاسیون بدون اختلاف معنی‌دار با یکدیگر بیش‌ترین همبستگی میکوریزی ریشه را داشتند (جدول ۱۴). با توجه به پژوهش‌های پیشین (۵۰) رقم بادامی زرند مقاومت کم‌تری در برابر شوری نشان داده است، در نتیجه با درنظر گرفتن نقش مثبت و هم‌افزای کمپوست و میکوریز و ایجاد محیط مناسب برای کلونیزاسیون در رقم ضعیف‌تر (بادامی زرند) درصد کلونیزاسیون ریشه با قارچ میکوریز در این تیمار بیش‌ترین بود. پژوهشگران عنوان کردند که تنش شوری موجب افزایش متفاوت غلظت ساکارز در ریشه و برگ‌های پسته ارقام بادامی زرند، قزوینی، سرخسی و UCB1 شد که احتمالاً این امر از تجزیه بیش‌تر قندهای نامحلول (نشاسته) و تبدیل آن‌ها به قندهای محلول بود که موجب افزایش ترشحات ریشه‌ای متفاوت شد (۵۱). بیشینه کلونیزاسیون ریشه در تیمار عدم مصرف قارچ در مجاورت رقم اکبری (رقم مقاوم‌تر به شوری)، شاید به دلیل تداخل گونه‌های قارچ مورد استفاده در ترکیب تجاری با توجه به ترشحات ریشه‌ای متفاوت رقم اکبری بود.

بحث

شور و سدیمی بودن بسیار زیاد آب و خاک در بخش زیادی از باغ‌های پسته ایران (۵۲) از یک طرف و ماده آلی کم (۴ و۶۱) و فعالیت زیستی اندک (۶۲) خاک از طرف دیگر، موجب شده است که جذب عناصر غذایی از خاک و در نتیجه استقرار دانهال‌های پسته، به‌ویژه در سال‌های اولیه کاشت، با مشکل جدی روبرو باشد. باغداران برای دستیابی به جذب بهینه عناصر غذایی و رشد دانهال‌ها، علاوه بر کودهای شیمیایی از کودهای آلی حیوانی (مانند کودهای گاوی، گوسفندی و مرغی) استفاده می‌کنند. نقش موآد آلی به ویژه در خاک‌های مسئله‌دار با مشکلاتی مانند شوری و قلیائیت ناشی از سدیم برجسته و بسیار با اهمیت است (۶۱). رضوی‌نسب و همکاران (۴۱) نشان دادند که با کاربرد دو درصد ماده آلی از منبع کود گاوی در شرایط شوری خاک و آثار مطلوب آن بر ویژگی‌های فیزیکی و تغذیه‌ای خاک، وزن خشک برگ و ریشه پسته، ارتفاع ساقه و چگالی ریشه به‌ترتیب به‌میزان ۱۲، ۳۳، ۱۰ و ۴۵ درصد نسبت به شاهد، افزایش یافت. اگرچه تاکنون پژوهش‌های متعدد و متنوعی در مورد تأثیر انواع مواد آلی بر بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و تغذیه پسته انجام شده است (۲۰ و ۲۱)، اما بررسی در مورد استفاده از فرآوردهای زیستی سابقه چندانی ندارد. نکته قابل تأمل اینکه عمده پژوهش‌ها در حوزه

جدول ۱۴. مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش رقم، قارچ میکوریز و کمپوست ضایعات پسته بر صفات مورد بررسی پسته.

Table 14. Mean comparison of the interaction effect of pistachio cultivar, pistachio waste compost and mycorrhizal fungus on the studied traits of pistachio.

تیمار Treatment	نیتروژن N	فسفر P	پتاسیم K	کلسیم Ca	آهن Fe	روی Zn	منگنز Mn	سطح برگ Leaf area	ارتفاع شاخه Branch height	قطر شاخه Branch diameter	عرض دانهال Seedling width	کلونیزاسیون ریشه* Root colonization
Unit	%	%	%	%	ppm	ppm	Ppm	cm^2	cm	mm	cm	%
اکبری × کمپوست ۰ × میکوریز ۰ Ak × C0 × F0	2.032 abcd	0.1017 d	1.163 cde	1.568 bcdefg	193.2 e	20.33 cd	55.17 i	368.1 g	43.50 de	10.67 ab	25.28 a	33.0 cd
اکبری × کمپوست ۰ × میکوریز ۱۰۰ Ak × C0 × F100	1.945 e	0.1150 abcd	1.173 cde	1.627 abcd	193.7 e	20.00 cde	56.33 hi	490.5 b	43.47 de	10.67 ab	15.48 k	35.0 bc
اکبری × کمپوست ۰ × میکوریز ۲۰۰ Ak × C0 × F200	2.018 bcde	0.1233 a	1.182 bcde	1.620 abcd	206.5 d	23.67 b	48.67 j	410.4 e	41.33 def	10.50 ab	18.18 fghij	33.6 c
اکبری × کمپوست ۱۰ × میکوریز ۰ Ak × C10 × F0	1.937 e	0.1133 abcd	1.235 abcde	1.498 defg	196.3 e	18.67 def	60.00 fgh	424.7 d	41.15 def	9.500 bc	18.42 fghi	41.0 a
اکبری × کمپوست ۱۰ × میکوریز ۱۰۰ Ak × C10 × F100	2.093 abc	0.1167 abcd	1.168 cde	1.645 abc	182.0 fg	19.83 cde	63.17 cdef	429.6 d	39.03 fg	8.500 c	18.27 fghij	37.3 b
اکبری × کمپوست ۱۰ × میکوریز ۲۰۰ Ak × C10 × F200	1.965 de	0.1067 bcd	1.133 de	1.732 a	228.7 b	21.50 c	56.33 hi	389.2 f	40.00 ef	9.333 bc	15.90 jk	35.3 bc
اکبری × کمپوست ۱۵ × میکوریز ۰ Ak × C15 × F0	2.145 a	0.1200 abc	1.405 a	1.475 efg	206.7 d	20.17 cd	47.67 j	505.9 a	44.20 cd	9.833 bc	19.25 efgh	35.0 bc
اکبری × کمپوست ۱۵ × میکوریز ۱۰۰ Ak × C15 × F100	2.010 cde	0.1067 bcd	1.090 e	1.698 ab	221.3 bc	20.67 c	64.17 cde	453.8 c	44.22 cd	10.50 ab	22.82 bc	33.3 c
اکبری × کمپوست ۱۵ × میکوریز ۲۰۰ Ak × C15 × F200	2.138 ab	0.1183 abc	1.415 a	1.540 cdefg	237.3 a	21.50 c	54.67 i	383.2 f	49.43 b	11.83 a	23.97 ab	32.6 cd

AK= رقم اکبری، Ba = رقم بادامی زرند، C0= شاهد، C10 = ۱۰ کیلوگرم کمپوست ضایعات پسته، C15 = ۱۵ کیلوگرم کمپوست ضایعات پسته، F0 = شاهد، F100 =۱۰۰ گرم قارچ، F200 = ۲۰۰ گرم قارچ

AK = Akbari variety, Ba = Badami Zarand variety, C0 = control, C10 = 10 kg pistachio waste compost, C15 = 15 kg pistachio waste compost, F0 = control, F100 = 100 g fungus, F200 = 200 g fungus

در هر ستون، میانگین‌های با حروف مشابه اختلاف معنی‌داری در سطح ۵٪ بر اساس آزمون LSD ندارند.

In each column, means followed by the same letters are not significantly different (LSD, $p < 0.05$).

درصد کلونیزاسیون ریشه تنها در سال آخر پروژه اندازه‌گیری شد.

* The percentage of root colonization was only measured in the last year of the project.

ادامه جدول ۱۴.

Continued Table 14.

تیمار Treatment	نیتروژن N	فسفر P	پتاسیم K	کلسیم Ca	آهن Fe	روی Zn	منگنز Mn	سطح برگ Leaf area	ارتفاع شاخه Branch height	قطر شاخه Branch diameter	عرض دانهال Seedling width	کلونیزاسیون ریشه* Root colonization
Unit	%	%	%	%	ppm	ppm	Ppm	cm2	cm	mm	cm	%
بادامی × کمپوست ۰ × میکوریز ۰ Ba × C0 × F0	2.085 abcd	0.1150 abcd	1.393 ab	1.595 bcdef	175.0 gh	21.33 c	57.67 ghi	420.1 de	40.17 ef	10.00 b	17.10 hijk	27.3 e
بادامی × کمپوست۰ × میکوریز ۱۰۰ Ba × C0 × F100	2.015 bcde	0.1217 ab	1.350 abcd	1.607 abcde	138.0 k	17.67 f	60.67 efg	389.3 f	53.07 a	9.833 bc	15.88 jk	30.5 d
بادامی × کمپوست ۰ × میکوریز ۲۰۰ Ba × C0 × F200	2.107 abc	0.1083 abcd	1.332 abcd	1.457 g	166.5 i	18.33 ef	79.17 a	385.4 f	36.17 g	9.500 bc	17.30 ghijk	27.3 e
بادامی × کمپوست ۱۰ × میکوریز ۰ Ba × C10 × F0	2.145 a	0.1050 cd	1.253 abcde	1.693 ab	171.8 hi	21.00 c	65.33 cd	348.5 h	41.12 def	10.50 ab	21.85 bcd	36.6 b
بادامی × کمپوست ۱۰ × میکوریز ۱۰۰ Ba × C10 × F100	2.133 abc	0.1150 abcd	1.287 abcde	1.462 fg	170.2 hi	17.83 f	82.83 a	295.3 j	40.83 def	10.00 b	20.90 cde	24.3 f
بادامی × کمپوست ۱۰ × میکوریز ۲۰۰ Ba × C10 × F200	2.095 abc	0.1200 abc	1.367 abc	1.597 bcde	220.8 c	21.17 c	73.33 b	323.3 i	40.08 ef	9.333 bc	18.28 fghij	16.6 g
بادامی × کمپوست ۱۵ × میکوریز ۰ Ba × C15 × F0	2.147 a	0.1200 abc	1.400 a	1.475 efg	176.3 fgh	28.42 a	66.25 c	330.5 i	48.7 b	9.833 bc	16.30 ijk	13.6 h
بادامی × کمپوست ۱۵ × میکوریز ۱۰۰ Ba × C15 × F100	2.150 a	0.1183 abc	1.310 abcd	1.583 bcdefg	152.0 j	20.50 c	62.00 def	433.2 d	48.98 b	10.67 ab	19.67 defg	43.0 a
بادامی × کمپوست ۱۵ × میکوریز ۲۰۰ Ba × C15 × F200	2.093 abc	0.1200 abc	1.257 abcde	1.575 bcdefg	183.3 f	19.83 cde	66.67 c	428.6 d	47.65 bc	10.50 ab	20.22 def	25.3 f

AK= رقم اکبری، Ba = رقم بادامی زرند، C0= شاهد، C10 = ۱۰ کیلوگرم کمپوست ضایعات پسته، C15 = ۱۵ کیلوگرم کمپوست ضایعات پسته، F0 = شاهد، F100 =۱۰۰ گرم قارچ، F200 = ۲۰۰ گرم قارچ

AK = Akbari variety, Ba = Badami Zarand variety, C0 = control, C10 = 10 kg pistachio waste compost, C15 = 15 kg pistachio waste compost, F0 = control, F100 = 100 g fungus, F200 = 200 g fungus

در هر ستون، میانگین‌های با حروف مشابه اختلاف معنی‌داری در سطح ۵٪ بر اساس آزمون LSD ندارند.

In each column, means followed by the same letters are not significantly different (LSD, $p < 0.05$).

درصد کلونیزاسیون ریشه تنها در سال آخر پروژه اندازه‌گیری شد.

* The percentage of root colonization was only measured in the last year of the project.

مواد آلی و ترکیبات زیستی، در شرایط کنترل‌شده (گلخانه) و در یک دوره کوتاه اجرا شده است؛ حال آن‌که در شرایط طبیعی، باغ‌های پسته کشور با انواع تنش‌های غیرزیستی و زیستی مواجه هستند. به همین دلیل در مواردی نتایج به‌دست آمده از این پژوهش که در شرایط باغ و به مدت ۴ سال اجرا شده است همانند تأثیر قارچ میکوریز بر جذب فسفر، ممکن است با پژوهش‌های پیشین هم‌خوانی نداشته باشد.

نتایج به‌دست آمده نشان داد که کمپوست حاصل از ضایعات فرآوری پسته در هر دو سطح ۱۰ و ۱۵ کیلوگرم، در میان عناصر پرمصرف، تنها بر غلظت نیتروژن برگ تأثیرگذار بود (جدول ۹). در بررسی غلظت عناصر غذایی کمپوست پسته (جدول ۱)، مشخص شد که به استثنای نیتروژن، غلظت سایر عناصر غذایی، بسیار ناچیز و کم‌تر از کودهای آلی شناخته‌شده و پرکاربرد شامل گاوی، گوسفندی و مرغی بود (۵۴). باوجود غلظت کم عناصر غذایی در کمپوست ضایعات پسته، به استثنای عناصر فسفر و پتاسیم، غلظت عناصر غذایی پرمصرف نیتروژن و کلسیم و عناصر کم‌مصرف آهن، منگز و روی در هر دو تیمار ۱۰ و ۱۵ کیلوگرم، بیش‌تر از دامنه پیشنهادی برای برگ درختان پسته بود (۴۷). براساس بررسی انجام‌شده توسط میری و همکاران (۲۰۱۳)، اثر چهار ماده آلی شامل کمپوست ضایعات فرآوری شده ترمینال‌های ضبط پسته، کمپوست زباله‌های شهری، کود گاوی فرآوری‌شده و ورمی‌کمپوست بر دانهال‌های گلدانی یک‌ساله دو رقم پسته اکبری و بادامی سفید فیض‌آباد در شرایط گلخانه نشان داد که کمپوست ضایعات پسته بیش‌ترین تأثیر را بر غلظت عناصر فسفر، پتاسیم و آهن در برگ داشت و در غلظت عناصر روی و نیتروژن در دو کود آلی کمپوست ضایعات پسته و کمپوست ضایعات شهری اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. از طرفی کمپوست ضایعات پسته بیش‌ترین تأثیر را بر ارتفاع و قطر دانهال داشت و همچنین بیش‌ترین سطح برگ مربوط به همین تیمار بود؛ که با نتایج این پژوهش در ارتباط با غلظت عناصر آهن، روی، نیتروژن، ارتفاع، قطر دانهال و سطح برگ هم‌خوانی داشت. یکی از نکات قابل توجه در مورد کمپوست ضایعات پسته، رسانایی الکتریکی (EC) و pH کم آن (جدول ۱) نسبت به کودهای آلی حیوانی (۵۴) است، که می‌تواند در آزمایش‌های کوتاه‌مدت، سرعت و میزان جذب عناصر غذایی را نسبت به کودهای آلی حیوانی تسریع دهد. همچنان که در بررسی انجام‌شده (۱۳) مشخص شد که افزودن ضایعات پسته طی دو سال متوالی موجب غنی‌شدن خاک از عناصری شد که مستقیماً توسط درختان پسته قابل جذب بودند. افزودن آن‌ها به خاک به‌طور معنی‌داری موجب کاهش EC و pH خاک شد و غلظت عناصر روی، فسفر و پتاسیم را نسبت به شاهد به‌ترتیب ۲۷۰، ۱۹۵ و ۸۹/۵ درصد افزایش داد (۱۳).

قارچ‌های میکوریز به‌عنوان کود زیستی با کلونیزه‌کردن سلول‌های پوست ریشه گیاهان و با ایجاد یک شبکه گسترده و پیچیده از ریسه‌ها و اندام‌های قارچی، جذب فسفر و عناصر ریزمغذی را بهبود می‌بخشند (۴۹ و ۵۶). آثار مثبت ضایعات پسته در ترکیب با کود زیستی میکوریزا با نتایج این پژوهش هم‌خوانی داشت. همچنین در این آزمایش مشخص شد که کاربرد همزمان تیمارهای مختلف رقم × کمپوست × قارچ موجب افزایش ارتفاع و قطر شاخه، سطح برگ و درصد کلونیزاسیون (به‌ویژه در رقم بادامی زرند) شد (جدول ۱۴). در پژوهش انجام شده توسط انصاری جوینی و همکاران (۵) مشخص شد که در اثر تلقیح قارچ میکوریز، ماده خشک اندام‌های هوایی و زیرزمینی در مقایسه با عدم تلقیح افزایش یافت؛ که به احتمال زیاد به دلیل افزایش جذب آب و مواد غذایی و انتقال بهتر این مواد در اندام گیاهی بوده است. نتایج مشابه توسط جمشیدی و همکاران (۲۲) در ارتباط با آفتابگردان و سیمن و همکاران (۱۱) در ارتباط با تلقیح گیاه کاهو با قارچ میکوریز *G. intaradices*، به‌دست آمد.

علاوه بر این، اثر برهمکنش سه‌گانه رقم × کمپوست × قارچ، بر غلظت فسفر و کلسیم و عناصر کم‌مصرف آهن، روی و منگنز معنی‌دار شد. این پژوهش‌گران دریافتند که افزودن تفاله زیتون به بستر کشت گیاهان کاهو تلقیح‌شده با قارچ میکوریزا نشان داد که تفاله زیتون موجب کاهش رشد این گیاهان شد

(۲۹). آنان علت این کاهش را به ترکیبات فنلی تفاله زیتون و افزایش سطح جذب ریشه به دلیل قارچ میکوریز و در نتیجه افزایش جذب مقادیر بیش‌تری از این ترکیبات ارتباط دادند (۲۹). باسلام و همکاران (۱۰) نشان دادند که گیاهان کاهوی تلقیح‌شده با میکوریز *G. fasiculatum* مقادیر زیادی از کلسیم و عناصر کم‌مصرف و همچنین کاروتنوئیدها و ترکیبات فنلی دارند که سبب افزایش کیفیت غذایی این گیاه می‌شود. فرشیان و ملک‌زاده (۱۴) نتیجه گرفتند که تلقیح گیاهان کاهو با قارچ میکوریز *G. mosseae* در کاهش سمّیت عنصر روی در این گیاهان موثر بوده است. در حقیقت پژوهشگران آثار مثبت و منفی کاربرد قارچ میکوریز توام با کودهای آلی گوناگون بر محصولات مختلف را گزارش کرده‌اند (۱۰، ۱۴ و ۲۹).

بررسی منابع مختلف نشان داده است که قارچ‌های میکوریز در خاک‌هایی که غلظت عناصر غذایی به ویژه فسفر کم تا متوسط باشد، قادرند نیاز گیاه به فسفر و عناصر دیگر مانند نیتروژن، پتاسیم، مس و روی را تأمین کنند و در مقابل، گلوکز مورد نیاز خود را از گیاه دریافت کنند (۳ و ۲۸). پژوهش‌ها نشان داده است که گیاهان میکوریزی علاوه بر فسفر، جذب نیتروژن را نیز افزایش می‌دهند (۵۵). پژوهشگران مختلف (۱۸، ۲۸، ۳۰ و ۵۹) تأکید دارند که در اکثر موارد تلقیح ریشه گیاهان با این قارچ‌ها منجر به افزایش رشد گیاه می‌شود؛ ولی با نتایج این آزمایش هم‌خوانی نداشت. شاید یکی از دلایل این تفاوت به شرایط شور و سدیمی بودن زیاد خاک و آب در پژوهش حاضر مربوط باشد که موجب کاهش فعالیت میکوریز و کاهش تولید آنزیم‌هایی مانند فسفاتاز قلیایی (۱۲ و ۶۳) در شرایط شور خواهد شد. افزایش این آنزیم در خاک شاخصی از افزایش تعداد و تنوع ریزجانداران، افزایش معدنی‌شدن مواد آلی و ازدیاد عناصر غذایی می‌تواند باشد (۶۳).

با توجه به نتایج به‌دست آمده مشخص شد که غلظت عناصر ریزمغذی در سال دوم اجرای آزمایش (۱۳۹۸) بیش‌تر از سال اول (۱۳۹۶) بوده و می‌توان دلیل اصلی آن را اختلاف میزان بارندگی در دو سال دانست. براساس آمار هواشناسی (جدول ۳) میزان بارندگی بین دو سال اجرای پروژه اختلاف بسیار زیادی داشت به‌طوری که در سال اول اجرای پروژه (۱۳۹۶) مقدار بارندگی ۱۰۰ میلی‌متر و در سال دوم (۱۳۹۸) ۲۱۵ میلی‌متر و معادل ۲۱۵۰ مترمکعب آب باران برای هر هکتار بوده است (جدول ۳). باتوجه به این‌که با افزایش بارندگی، هیدروژن تبادلی خاک افزایش یافته و بازهای تبادلی کاهش می‌یابند، این امر احتمالاً توانسته است موجب کاهش شوری و pH خاک شود. از آن‌جا که بیش‌ترین حجم ریشه‌های پسته حدوداً در لایه ۵۰ تا ۷۰ سانتی‌متری خاک قرار داشته و مطابق با نتایج جداول (۴) و (۵)؛ مقایسه مقدار pH خاک در ابتدا و انتهای پروژه در لایه ۵۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متری خاک ۰/۳ واحد کاهش نشان داد؛ بنابراین با کاهش نسبی pH خاک، جذب عناصر کم‌مصرف نسبت به جذب عناصر پرمصرف افزایش یافته است. پژوهش‌های دیگر نیز نشان می‌دهد جذب عناصر کم‌مصرف همانند آهن، روی و منگنز بیش‌تر به pH خاک وابسته است (۲۷).

نتیجه‌گیری کلی

در شرایط آب و خاک شور، به دلایل متعدد از جمله مقدار ماده آلی کم و فعالیت ضعیف ریزجانداران خاک، جذب عناصر غذایی و رشد دانهال‌های پسته کاهش می‌یابد. برای تأمین نیاز غذایی دانهال‌های پسته در مدت اجرای آزمایش به دلیل جلوگیری از آثار تداخل کود، از هیچ کود شیمیایی و آلی به غیر از کمپوست ضایعات پسته و قارچ میکوریز استفاده نشد. نتایج نشان داد که تیمار ۱۵ کیلوگرم کمپوست ضایعات پسته به‌ازای هر نهال توانسته بود تأثیر معنی‌داری بر غلظت نیتروژن برگ داشته باشد؛ البته تأثیر آن بر غلظت عناصر کم‌مصرف شامل آهن، روی و منگنز بیش‌تر از عناصر پرمصرف بود. جذب بیش‌تر عناصر غذایی منجر به رشد رویشی بیش‌تر دانهال‌ها شده بود. برخلاف کمپوست ضایعات پسته، استفاده از تیمار قارچ میکوریز نتوانسته بود تأثیر قابل‌توجه و معنی‌داری بر غلظت عناصر غذایی برگ داشته باشد. نتایج این پژوهش با سایر

پژوهش‌های انجام‌شده در مورد تأثیر قارچ میکوریز بر جذب عناصر غذایی (به‌ویژه فسفر) در گیاهان مختلف متفاوت بود. این‌گونه استنباط می‌شود که شرایط نامساعد موجب شده است که قارچ میکوریز در شرایط نامساعد محیطی نتواند به‌خوبی رشد کند و رابطه میکوریزی مناسبی با ریشه پسته برقرار کند؛ که نتایج کلونیزاسیون ریشه نیز در سطح بالای کاربرد قارچ (۲۰۰ گرم به‌ازای هر نهال) نیز تأییدی بر آن است. بنابراین پیشنهاد می‌شود در شرایط آب و خاک شور و ارقام حساس به شوری، باغداران قارچ میکوریز را توأم با کمپوست ضایعات پسته استفاده کنند که در این صورت زمینه رشد بهتر میسیلیوم قارچ فراهم خواهد شد.

منابع مورد استفاده

1. Abdollahi Ezzatabadi, M., Sedaghat, R., Farbod. F., 2010. Economic and Social. In: Mehrnejad, M.R., Javanshah, A. (Eds.), The Strategic Framework for Developing and Promoting Pistachio Research in Iran. First Edition, Iranian Pistachio Research Institute. Rafsanjan, Iran, pp. 179–239.
2. Acton, Q.A., 2012. Carbonates—Advances in Research and Application: Scholarly Editions, https://books.google.com/books?id=G48ykKK1Ms0C
3. Adsemoye, A.O., Kloeppe, J.W., 2009. Plant-microbes interactions in enhanced fertilizer-use efficiency. *Applied Microbiology and Biotechnology* 85: 1–12.
4. Ali-Asgharzadeh, N., 1997. Soil Microbiology and Biochemistry. Tabriz University Press, Iran, 425 p. (In Persian)
5. Ansari Jovini, M., Chaichi, M.R., Keshavarz Afshar, R., Ehteshami, M.R., 2011. Effect of biological and chemical phosphorous fertilizers on grain yield of two grain Sorghum (*Sorghum bicolor* L.) cultivars under deficit irrigation conditions. *Seed and plant Production* 27(4): 471–490.
6. Balys, G., 1975. The magnolioid mycorrhiza and mycotrophy in root systems derived from it. In: Sanders, F.E., Moss, B., Tinker, P.B. (Eds.), Endomycorrhiza. Academic Press London, pp. 373–389.
7. Barea, J.M., Pozo, M.J., Azcòn, R., Azcon-Aguilar, C., 2005. Microbial cooperation in the rhizosphere. *Journal of Experimental Botany*. 56: 1761–1778.
8. Barzgar, A., 2008. Saline and Sodium Soils: Recognition and Productivity. Shahid Chamran University of Ahvaz Press. (In Persian)
9. Hosseinifard, J., Basirat, M., Sedaghati, N., Akhyani, A. 2017. Integrated management of soil fertility and plant nutrition in pistachio trees. Soil and Water Institute Press. (In Persian)
10. Baslam, M., Garmendia, I., Goicoechea, N., 2011. Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) improved growth and nutritional quality of greenhouse-grown lettuce. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 59: 5504–5515.
11. Cimen, I., Turgay, B., Pirinç, V., 2010. Effect of solarization and vesicular arbuscular mychorrizal on weed density and yield of lettuce (*Lactuca sativa* L.) in autumn season. *African Journal of Biotechno*logy. 9(24): 3520–3526.
12. Cao, Y., Wu, X., Zhukova, A., Tang, Z., Weng, Y., Li, Z. , Yang, Y., 2020. Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) species and abundance exhibit different effects on saline-alkaline tolerance in *Leymus chinensis*. *Journal of Plant Interaction*. 15(1): 266–279. https://doi.org/10.1080/17429145.2020.1802524.
13. Daneshmandi, M.S., 2017. Application of pistachio waste as organic manure in sustainable agriculture. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production* 27(1): 217–226.
14. Farshian, S., Malekzadeh, P., 2007. Effect of arbuscular mycorrhizal (*G. etunicatum*) fungus on antioxidant enzymes activity under zinc toxicity in lettuce plants. *Pakistan Journal of Biological Sciences*. 10(11): 1856–1869.
15. Forough Amery, N., 1997. Determination of Nutritional Value and Digestibility of Soft Hull of Dried Pistachio and Silage. MSc Thesis, Animal Sciences, Isfahan University of Technology.
16. Giovannetti, M., Mosse, B., 1980. An evaluation of techniques for measuring *vesicular-arbuscular mycorrhiza* infection in roots. *New Phytologist* 84: 489–500.
17. Haghighatnia, H., Nadian Ghomsheh, H., Tavakoli, A.R., 2012. Effect of two species of arbuscular-mycorrhizal fungi on vegetative growth and phosphorous uptake of Mexican lime rootstock (*Citrus aurantifolia*) under drought stress conditions. *Seed and Plant Production* 28(4): 403–417.
18. Harinikumar, K.M., Bagyaraj, D.J., 1996. Persistence of introduced *Glomus intraradices* in the field as influenced by repeated inoculation and cropping system. *Biology and Fertility of Soils* 21: 184–188.
19. Haydari, M., 2014. Investigating the possibility of converting soft pistachio skin into compost and vermicompost. Final Report of The Research Project, National Pistachio Research Institute, Rafsanjan, Iran.
20. Hosseinifard, J., 2007. The use of organic fertilizers in the pistachio farming areas of the country. Pistachio

Research Institute, Technical Report No. 50.
21. Hosseinifard, J., 2010. Soil and Nutrition. In: Mehrnejad, M.R., Javanshah, A. (Eds.), The Strategic Framework for Developing and Promoting Pistachio Research in Iran. First Edition, Iranian Pistachio Research Institute, Rafsanjan, Iran, pp. 420–495.
22. Jamshidi, E., Ghalavand, A., Salehi, A., Zare, M.J., Jamshidi, A.R., 2009. Effect of arbuscular mycorrhiza on yield, yield components and plant characteristics of sunflower (*Helianthus annuus* L.) under drought stress conditions. *Iranian Journal of Crop Sciences* 11(1): 136–150.
23. Kafi, M., Kamkar, B., Mahdavi-e-damghani, A., Jameol Ahmadi, M., 2015. Physiology and Plant Development. Jahade Daneshgahi Mashhad Publication, Mashhad, Iran.
24. Kalra, Y.P., 1998. Handbook of Reference Methods for Plant Analysis. CRC Press, 320 p. https://books.google.com/books?id=wLggXPmhY18C
25. Karimi, H.R., Ebadi, A., Zamani, Z., Fatahi, R., 2009. Effects of water salinity on growth indices and physiological parameters in some pistachio rootstocks. In: Proceeding of The Fifth International Symposium on Pistachios and Almonds, Turkey.
26. Lakzian, A., 2010. Microbial Activity in the Rhizosphere (Translation). Ferdowsi University of Mashhad Publications, 381 p.
27. Mahmoudi, S., Hakimian, M., 1995. Fundamentals of Soil Science (Translation). Tehran University Publication, Tehran, Iran.
28. Marschner, H., Dell, B., 1994. Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. *Plant and Soil* 159: 89–102.
29. Martın, J., Sampedro, I., Garcıa-Romera, I., Garcıa-Garrido, J.M., Ocampo, J.A., 2002. Arbuscular mycorrhizal colonization and growth of soybean (*Glycine max*) and lettuce (*Lactuca sativa*) and phytotoxic effects of olive mill residues. *Soil Biology and Biochemistry* 34: 1769–1775.
30. Medina, O.A., Sylvia, D.M., Kreschmer, A.E., 1998. Response of siratro to vesicular-arbuscular mycorrhizae fungi: II. Efficacy of selected vesicular-arbuscular fungi at different phosphorus levels. *Soil Science Society of America Journal* 52: 420–423.
31. Mehrnejad, M.R., Javanshah A., 2010. The Strategic Framework for Developing and Promoting Pistachio Research in Iran. Jomhori Publication, Tehran, Iran. http://fipak.areeo.ac.ir/site/catalogue/18474855
32. Miri Dysfani, M., Sherafati, A., 2013. The effect of organic fertilizers on vegetative growth and nutrient uptake in two cultivars of pistachio Akbari and Badami Sefid Feyzabad. In: Abstract Book of The 13th Iranian Soil Science Congress. Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran.
33. Mohajeryfar, S., Khorasany, S., Pakkish, Z., 2020. Investigation on the effect of preserving epi-carp during drying on physico-chemical and organoleptic properties of pistachio kernel (Ohadi cultivar). *Journal of Food Science and Technology*. 96(16): 75–90. DOI 10.29252/fsct.16.11.07.
34. Mulder, D., 1954. Les elements mineurs en culture fruitiere. Convegno Nazionale Fruitticoltura, 118–98. French Montana de Saint Vincent.
35. Nadi, M., Moradi Ghahdarijani, M., Sedaghati, E., Pakdaman, N., Javanshah, A., Farajpour, A., 2020. The effect of several chemical compounds on the concentration of compost elements of pistachio soft hull. *Pistachio Science and Technology* 5(9): 202–221.
36. Nadi, M., Golchin, A., Mozaffari, V., Saeidi, T., Sedaghati, E., 2011. The effect of different vermicomposts on the growth and chemical composition of the pistachio seedling. *Journal of Research in Agricultural Science* 7(12): 59–66.
37. Naghshineh-Pour, B., 1989. Fundamentals of Soil Science (Soil Fertility Aspects). Shahid Chamran University Publication, Ahwaz, Iran.
38. Phillips, J.M., Hayman, D., 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society*. 55: 158–161.
39. Probert, M.E., Delve, R.J., Kimani, S.K., Dimes, J.P., 2005. Modelling nitrogen mineralization from manures: representing quality aspects by varying C:N ratio of sub-pools. *Soil Biology and Biochemistry* 37: 279–287.
40. Rahi, A.R., 2013. Effect of nitroxin biofertilizer on morphological and physiological traits of Amaranthus retroflexus. *Iranian Journal of Plant Physiology*. 4(1): 899–905. https://www.sid.ir/en/journal/ViewPaper.aspx?id=378192
41. Razavinasab, A., Tajabadi, A., SHirani,V., Dashti, H., 2009. Effect of nitrogen, salinity and organic matter on growth and root morphology of pistachio. *Journal of Crop Production and Processing* 13(47): 321–333.
42. Ryan, J., Estefan, G, Rashid, A., 2001. Soil and Plant Analysis Laboratory Manual. (2nd Edition), ICARDA, Syria. https://books.google.com/books?id=uYnZ2623GQ8C
43. Sainz, M.J., Taboada-Castro, M.T., Vilarino, A., 1998. Growth, mineral nutrition and mycorrhizal colonization of red clover and cucumber plants grown in a soil amended with composted urban wastes. *Plant and Soil* 205: 85–92.
44. Salagegheh Tazerji, F., Sarcheshmehpour, M., Mohammadi, H., 2014. Investigation of mycorrhizal colonization of

pistachio (*Pistacia vera* L.) seedlings in Kerman province and evaluation of some isolates via greenhouse experiment. *Journal of Soil Management and Sustainable Production* 4(3): 113–133.
45. Salardini, A.A., Mojtahedi, M., 1984. Principle of Plant Nutrition. Tehran University Publication, Tehran, Iran.
46. Sanjarinia, M., Sarcheshmeh pour, M., Khezri, M., 2013. Study of colonization percentage of arbuscular mycorrhizal fungi in Pistachio orchards suburban areas of Kerman. In: Proceeding of The 8th Iranian horticultural Sciences congress. Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.
47. Sedaghati, N., Mohammadi Mohammadabadi, A., 2010. Water. In: Mehrnejad, M.R., Javanshah, A. (Eds.), The Strategic Framework for Developing and Promoting Pistachio Research in Iran. First Edition, Iranian Pistachio Research Institute, Rafsangan, Iran, pp. 71–111.
48. Sepaskhah, A.R., Maftoun, M., 1982. Growth and chemical composition of pistachio cultivars as influenced by irrigation regimes and salinity levels of irrigation water. *Journal of Horticultural Science*. 56: 227–282.
49. Sharma, A.K., 2002. Biofertilizers for Sustainable Agriculture. Agrobios, India.
50. Sherafati, A., Hokmabadi, H., 2015. Effect of some pistachio rootstocks on nutrients element uptake of two pistachio cultivars (Akbari and Bargsiyah). *Pistachio Science and Technology*. 1(1): 32–43. http://pistachio.vru.ac.ir/article_62725_7bec5dc805115bd6d27aff9518c3f0ac.pdf
51. Sherafati, A., Arzani, K., Ramzani Moghadam, M.R., 2013. Assessment of flowering and bearing of twelve pistachio (*Pistacia vera* L.) cultivars under Khorasan environmental conditions. *Seed and Plant Improvement Journal*. 29(1): 243–256.
52. Sherafati, A., 2010. Practical Pistachio Farming (Challenges and Solutions). Education and Agricultural Promotion Press.
53. Shool, A., Shamshiri, M.H., Akhgar, A.R., Esmaili Zadeh M., 2014. The effect of arbuscular mycorrhizal fungus (*Glomus mosseae*) and *Pseudomonas fluorescent* on nutrient uptake of pistachio seedlings of Qazvini cultivar in four irrigation regimes. *Journal of Child Psychology and Psychiatry* 4(13): 171–183. https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=262104.
54. Shirani, H., Abolhasani Zeraatkar, M., Lakzian, A., Akhgar, A., 2011. Decomposition rate of municipal wastes compost, vermi compost, manure and pistaco compost in different soil texture and salinity in laboratory condition. *Journal of Water and Soil* 25(1): 84–93.
55. Shnyerva, A.V., Kulaev, I.S., 1994. Effect of vesicular arbuscular mycorrhiza on phosphorus metabolism in agricultural plants. *Mycological Research* 149(2): 139–143.
56. Smith, S.E., Reed, D.J., 2008. Mycorrhizal Symbiosis. Academic Press, London, UK.
57. Statistical Yearbook, 2018. The Third Volume of Horticultural Products; Information and Communication Technology Center. Ministry of Jihad Agriculture, Islamic Republic of Iran, Tehran.
58. Strawn, D.G., Bohn, H.L., O'Connor, G.A., 2015. Soil Chemistry. John Wiley & Sons, 392 p. https://books.google.com/books?id=YBysBwAAQBAJ
59. Subramanian, K.S., Charest, C., 1997. Nutritional, growth and reporductive responses of maize (*Zea mays* L.) to arbuscular mycorrhizal inoculation during and after drought stress at tasselling. *Mycorrhiza* 7: 25–32.
60. Tabatabaei, S.J., 2013. Principles of Mineral Nutrition of Plants. Tabriz University Publication, Tabriz, Iran.
61. Turkmen, O., Dursun, A., Turan, M., Erdinc, C., 2004. Calcium and humic acid affect seed germination, growth and nutrient content of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) seedlings under saline soil conditions. *Acta Horticulture. Scandinavica B*. 54: 168–174.
62. Valzano, F.P., Murphy, B.W., Greene, R.S.B., 2001. The long term effects of lime ($CaCO_3$), gypsum ($CaSO_4.2H_2O$), and tillage on the physical and chemical properties of a sodic red-brown earth. *Australian Journal of Soil Research* 39: 1307–1331.
63. Zhang, H., Wu, X., Li, G., Qin, P., 2011. Interactions between arbuscular mycorrhizal fungi and phosphate-solubilizing fungus (*Mortierella* sp.) and their effects on *Kostelelzkya virginica* growth and enzyme activities of rhizosphere and bulk soils at different salinities. *Biology and Fertility of Soils* 47: 543–554. https://doi.org/10.1007/s00374-011-0563-3.

J. Soil and Plant Interactions, Vol. 13, No. 4, Winter 2023, Isfahan Univ. Technol., Isf., Iran.
https://jspi.iut.ac.ir EISSN: 2783-5286 DOI: 10.47176/jspi.13.4.20621

The Effect of Pistachio Waste Compost and Mycorrhizal Fungi on Vegetative Growth and Nutritional Status of Pistachio Seedlings in a Saline-Sodic Soil

A.H. Sherafati[1], M. Eskandari Torbaghan[2*] and M. Heidari Salehabadi[3]

(Received: 29 August 2022; Accepted: 2 January 2023)

Abstract

Organic fertilizers and symbiotic fungi are very important in agriculture because of their special role as a link between soil and plant. Currently, large parts of the country's pistachio orchards are facing water and soil salinity crisis. In this study, the effect of processed pistachio waste compost at three levels (0, 10 and 15 kg per seedling) and mycorrhizal fungi at three levels (0, 100 and 200 g soil containing fungal spores per seedling) belonging to four species (*Funneliformis mosseae*, *Rhizophahus intraradices*, *Glomus iranicus*, *Rhizophahus irregularis*) on vegetative growth and leaf nutrients concentration of two pistachio cultivars of Akbari and Badami Zarand, with three replications (each replicate consisting of four seedlings) were investigated. This experiment was carried out as a factorial split-plot in randomized complete block design (RCBD) for two years (2017 and 2019) in the saline-sodic soil and water condition. The results showed that 15 kg of pistachio waste compost increased the concentrations of nitrogen, iron, zinc and manganese elements in the leaves by 4, 9.7, 8 and 12.1% compared to control, respectively. Also, the height, width and leaf area of seedling leaves increased by 9.6%, 11.8% and 2.8%, respectively, by applying of 15 kg of pistachio waste compost compared to the control. The maximum concentration of leaf iron (702.2 mg kg^{-1}) was observed in the treatment of 200 g of fungi. In the treatment of 100 g of mycorrhiza, the concentrations of manganese, leaf area and height were the highest with 64.8 mg kg^{-1}, 415.3 cm^2 and 44.9 cm, respectively. The root colonization percentages were 35.1 and 27.2 in Akbari and Badami Zarand cultivars, respectively. Overall, 15 kg of pistachio waste compost along with 100 grams of mycorrhizal fungi can result in proper vegetative growth of pistachio seedlings the saline water and soil conditions.

Key words: Salinity and alkalinity stress, Phosphorous, Iron, Seedling height, Root colonization.

Background and Objective: One of the important problems in the world pistachio industry is the waste produced by pistachio processing. Mycorrhizal fungi is among the most important microorganisms present in most soils and mycorrhizal symbiosis is also one of the most well-known, widespread, and at the same time the most important symbiosis relationship (4). Fertile pistachio cultivated area in Iran is 405691 ha and the total

1- Horticulture Crops Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran.
2- Soil and Water Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran.
3- Horticultural Science Research Institute, Pistachio Research Center, Rafsanjan, Iran.
* Corresponding author, Email: mehrnoosh.eskandary@gmail.com

yield was 337381 tons (1). Almost all pistachio orchards in Iran are mainly located in arid and semi-arid regions and have serious limitations (2, 3 and 5). The aim of this study was to determine whether compost of pistachio waste along with mycorrhizal fungus can be effective in improving the nutrient uptake from the soil and the vegetative growth of pistachio seedlings under saline-sodic conditions of soil and water.

Methods: A field experiment was conducted on two seedlings pistachio (*Pistacia vera* L.) cultivars (Akbari and Badami zarand) in three replications (each replication consisted of four seedlings). The experiment was laid out in the factorial split-plot arrangement based on a randomized complete block design (RCBD) for four years (2016-2017 and 2018-2019) in the Feyzabad pistachio research station of Khorasan Razavi, Iran. Experimental factors including, pistachio waste compost in three levels of zero, 10 and, 15 kg seedling^{-1}; mycorrhizal fungi (belonging to four species, *Funneliformis mosseae*, *Rhizophahus intraradices*, *Glomus iranicus*, and *Rhizophahus irregularis*) in three levels of zero, 100 and, 200 g of soil containing fungal spores per seedling (one gram of soil containing 100 to 120 propagule of mycorrhizal fungi) were applied in the first and third years of experiment. The investigated traits were recorded and measured in the second and fourth years of the experiment.

Results: The year had a significant effect on nutrient uptake especially calcium, iron and manganese, and biological nitrogen fixation due to a significant increase in rainfall in 2019. Akbari and Badami zarand cultivars seedlings performed better in the uptake of micro and macronutrients, respectively. The relationship between leaf size and nutrients concentrations, especially iron concentration was very clear and significant. Thus, the Akbari cultivar had the highest leaf area and nutrients concentrations. The pistachio waste compost had a greater effect on the concentrations of nitrogen, iron, zinc, and manganese compared to the other nutrients. The low salinity and pH of pistachio waste compost resulted in suitable micronutrient uptake which was appropriate for saline-sodic soil and water condition. The consumption levels of mycorrhiza were not adequate for macroelements' requirements, but the highest level of mycorrhiza was enough for iron and zinc supply in the saline-sodic condition.

Conclusions: In this study, it was found that, contrary to expectations, the mycorrhizal fungus could not significantly increase the availability of nutrients, especially phosphorus for the pistachio seedlings. These results seem to confirm previous findings that fungi are less active in saline and sodic environments with high pH. Another interesting result was that with an increase in pistachio waste compost, the efficiency of mycorrhizal fungus in the availability of elements was significantly increased. It was also found that the use of pistachio waste compost as an organic fertilizer - previously dubious - could now be a viable alternative to organic fertilizers; because it significantly increased the uptake of macro and microelements for pistachio seedlings. In general, due to the fact that most of the pistachio orchards are located in unfavorable areas of water and soil (high salinity and pH), and pistachios also have a small extension of lateral roots, the combined use of mycorrhizal fungi and pistachio waste compost can significantly improve the soil physical and chemical conditions and plant growth.

References

1. Agricultural Statistics Yearbook, 2019. Volume III. Horticultural Products. Information and Communication Technology Center, Ministry of Jihad Agriculture, Iran.
2. Hosseinifard, J., 2010. Soil and Nutrition. In: Mehrnejad, M.R., Javanshah, A. (Eds.), The Strategic Framework for Developing and Promoting Pistachio Research in Iran. First Edition, Iranian Pistachio Research Institute, Rafsanjan, Iran, pp. 420–495.
3. Mehrnejad, M., Javanshah, A., 2010. Strategic Document of Iranian Pistachio Research. Pistachio Research Center, Rafsanjan.
4. Muchovej, R.M., 2009. Importance of mycorrhizae for agricultural crops. *Food and Agricultural Sciences*. http://edis.ifas.ufl.edu.
5. Sedaghati, N., Mohammadi Mohammadabadi, A., 2010. Water. In: Mehrnejad, M.R., Javanshah, A. (Eds.), The Strategic Framework for Developing and Promoting Pistachio Research in Iran. First Edition, Iranian Pistachio Research Institute, Rafsanjan, Iran, pp. 71–111.