مجله علوم و فنون باغبانی ایران جلد ۲۵ شماره ۲ صفحه‌های ۱۶۳ تا ۱۷۸ (۱۴۰۳)
مقاله پژوهشی

برهمکنش قارچ میکوریز آربوسکولار و زئولیت طبیعی بر رشد، عملکرد و عناصر معدنی توت‌فرنگی رقم آروماس

Interaction of Mycorrhizal Fungi and Natural Zeolite on Growth, Yield and Mineral Elements of Strawberry (Aromas Cultivar)

سعید عشقی*، مینا اسفندیاری، سجاد میرمقدم، زهرا عفیفی‌پور
گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.
* نویسنده مسئول، پست الکترونیک: (Eshghi@shirazu.ac.ir)
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۴/۸، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۹/۱۶

چکیده

خاک‌هایی که دارای حاصلخیزی پایین و آهکی هستند، رشد رویشی و زایشی گیاهان و از جمله توت فرنگی در این خاک‌ها محدود می‌شود. از این جهت مواد معدنی طبیعی همچون زئولیت برای بهبود خواص فیزیکی و شیمیایی خاک به کار می‌روند. برای بررسی تأثیر قارچ میکوریز و زئولیت بر رشد، عملکرد و مقدار عناصر معدنی گیاهان توت‌فرنگی رقم آروماس آزمایشی گلدانی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با ۴ تکرار در سال ۱۳۹۱ در گلخانه اجرا شد. فاکتور اول شامل سه سطح قارچ میکوریز (*Glomus intraradices* و *Glomus etunicatum* و بدون قارچ (۵۰ گرم)) و فاکتور دوم شامل ۴ سطح زئولیت (۰ ، ۴ ، ۸ ، ۱۲ گرم در کیلوگرم خاک) بود. نتایج نشان داد که بیش‌ترین سطح برگ مربوط به تیمار بدون زئولیت و قارچ گلوموس اتونیکاتوم با ۸/۳ درصد افزایش نسبت به شاهد بود. همچنین بیش‌ترین وزن تر ریشه (۱۲/۸۳ گرم)، درصد مواد جامد محلول (۷/۰۵درصد) مربوط به تیمار ۸ گرم در کیلوگرم زئولیت در خاک و قارچ گلوموس اینترارادیسز بود. بیش‌ترین وزن میوه (۱۳/۴۴ گرم) مربوط به تیمار برهمکنش قارچ گلوموس اتونیکاتوم و ۱۲ گرم در کیلوگرم زئولیت در خاک بود. قارچ گلوموس اتونیکاتوم باعث افزایش معنی‌دار ۲۰/۲ درصدی عملکرد تک بوته و قارچ گلوموس اینترارادیسز باعث افزایش ۱۵/۷ درصدی عملکرد نسبت به تیمار شاهد بدون قارچ شده است. بیش‌ترین جذب کل پتاسیم مربوط به تیمار ۴ گرم در کیلوگرم زئولیت و قارچ گلوموس اینترارادیسز بود. بیش‌ترین میزان کلنیزاسیون ریشه مربوط به تیمار ۸ گرم در کیلوگرم زئولیت در خاک و قارچ گلوموس اتونیکاتوم است. به‌طور کلی کاربرد ۴ گرم در کیلوگرم زئولیت در خاک و قارچ گلوموس اتونیکاتوم به میزان ۵۰ گرم بیشترین تأثیر را بر عملکرد توت‌فرنگی و دیگر ویژگی‌های اندازه‌گیری شده داشتند.

واژه‌های کلیدی: توت فرنگی، جذب عناصر غذایی، خاک‌های آهکی، زئولیت، گلوموس اتونیکاتوم.

مقدمه

به‌دنبال رشد بی‌رویه جمعیت جهان در سال‌های اخیر تولید هرچه بیش‌تر فرآورده‌های کشاورزی اجتناب‌ناپذیر است. یکی از راهکارهای تولید بیشتر این فرآورده‌ها افزایش عملکرد در واحد سطح در میان‌مدت و بلندمدت با مصرف نهاده‌هایی مانند انواع کودهای شیمیایی و زیستی است (Abbas *et al*., 2012; Chiomento *et al*., 2021). از بین کودهای مختلف، کودهای شیمیایی به دلیل مصرف راحت‌تر و اثربخشی مناسب بیش از سایر کودها در گذشته مصرف شده‌اند، غافل از اینکه مصرف بیش از حد آن‌ها آلودگی‌های زیست‌محیطی را به‌دنبال داشته است (Hagin *et al*., 1996).

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-11]

استفاده از منابع گیاهی و حیوانی قابل تجدید و منابع زیستی به جای منابع شیمیایی می‌تواند نقش مهمی در باروری و حفظ فعالیت‌های زیستی خاک، افزایش کیفیت محصولات کشاورزی و سلامت زیست‌بوم داشته باشد (Zaidi *et al*., 2003). کودهای زیستی حاوی مواد نگه‌دارنده‌ای با جمعیت متراکم از یک یا چند نوع موجود زنده مفید خاکزی و با هدف عرضه مناسب عناصر غذایی گیاه در یک سیستم کشاورزی پایدار به کار می‌روند (Darzi *et al*., 2008).

اغلب پژوهشگران بر این باورند که با یک مدیریت مناسب، با استفاده از کودهای زیستی و ریزجانداران می‌توان شرایط تغذیه‌ای بهتری را برای گیاه فراهم کرد (Lopes *et al*., 2022). برخی از ریزجاداران خاک قادرند از طریق اشغال قسمتی از ریشه گیاهان با میزبان رابطه همزیستی برقرار نمایند. در این میان همزیستی قارچ با گیاه شاید یکی از مهم‌ترین پدیده‌های جالب و قابل‌توجه در اکوسیستم‌های طبیعی و کشاورزی به‌شمار آید (Jeffries *et al*., 2003).

قارچ‌های میکوریز آربوسکولار یکی از انواع کودهای زیستی بوده که دارای رابطه همزیستی با ریشه بیشتر گیاهان می‌باشند و از طریق افزایش جذب عناصر غذایی (مانند فسفر، نیتروژن و برخی عناصر کم‌مصرف مثل روی و آهن)، افزایش جذب آب، افزایش مقاومت در برابر تنش‌های زیستی (عوامل بیماریزا) و غیرزیستی (خشکی، شوری و ...) سبب بهبود رشد و نمو و عملکرد گیاهان میزبان در سیستم‌های کشاورزی پایدار می‌شوند (Lopes *et al*., 2022).

میکوریز با ایجاد همزیستی با ریشه گیاهان خشکی‌زی، جذب و انتقال عناصر غذایی به داخل گیاه را تسهیل می‌نماید (Parada *et al*., 2019; Begum *et al*., 2021). افزون بر این، تشکیل کلنی با قارچ‌های میکوریز کارایی فتوسنتزی را در گیاهان افزایش می‌دهد (Rasouli *et al*., 2022). تأثیر مثبت قارچ میکوریز بر رشد و نمو گیاهان چند ساله در آزمایش‌های گلدانی و گلخانه ای توسط بسیاری از نویسندگان در مطالعات خود گزارش شده است (Vosnjak *et al*., 2021).

به دلیل اینکه در سال‌های اخیر توجه زیادی به توسعه کشاورزی پایدار شده است، از این جهت علاوه بر همزیستی قارچ‌های میکوریز، مواد معدنی طبیعی همچون اصلاح‌کننده‌های خاک برای بهبود خواص فیزیکی و شیمیایی خاک به کار می‌روند. استفاده از این مواد سبب افزایش نگهداری آب و مصرف بهتر کودها در طی دوره رشد می‌شود. اخیراً گروه کانی‌های زئولیت مورد توجه قرارگرفته‌اند. زئولیت کلینوپتیلولیت یک ماده معدنی زئولیت هیدراته طبیعی است که در کشاورزی برای اهداف مختلف استفاده می‌شود. یکی از دلایل استفاده از زئولیت در فعالیت‌های کشاورزی، بهره‌وری بیشتر از خاک، خاصیت جذب رطوبت و نگهداری آن برای مدت طولانی و صرفه‌جویی در مصرف کود شیمیایی و جلوگیری از آلودگی‌های زیست‌محیطی است. زئولیت با دانه‌بندی مطلوب می‌تواند سبب بهبود ویژگی‌های هیدرو- فیزیکی خاک گردد (Eprikashvili *et al*., 2016; Choo *et al*., 2020). گزارش شده‌است که اصلاح خاک با زئولیت باعث افزایش عملکرد محصول برای جو، ذرت، برنج، سیب زمینی، گندم، توت فرنگی، و آفتابگردان شده‌است (Choo *et al*., 2020). کارایی زئولیت در بهبود بهره وری خاک و محصول را می توان به ساختار آن نسبت داد که از واحدهای چهار وجهی سیلیس و آلومینا با منافذ به هم پیوسته به هم مرتبط شده توسط اتم های اکسیژن مشترک تشکیل شده است. این ساختار منحصربه‌فرد زئولیت سطح ریز متخلخل داخلی بزرگی را برای جذب مواد مغذی (جذب و دفع) از طریق تبادل کاتیونی و گیر افتادن مواد مغذی در حفره‌های زئولیت فراهم می‌کند. این ویژگی‌های زئولیت آن را قادر می‌سازد تا مواد مغذی را جذب کند (Choo *et al*., 2020) که از بارزترین اثرات زئولیت‌ها انتقال عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم و بالا بردن توانایی جذب آن‌ها گزارش شده است (Koljajic *et al*., 2003). علاوه بر این، زئولیت ها رشد و نمو گیاهان را بهبود می‌بخشد و کاربرد آنها باعث افزایش عملکرد می‌شود (Milošević & Milošević, 2012). زئولیت و کاربرد آن در کشاورزی، مبحثی نوین و رو به رشد است که با توجه به مشکلات کمبود آب و شوری اراضی از یک سو و وجود معادن غنی زئولیت در ایران و هزینه کم تأمین آن از سوی دیگر، استفاده از آن مورد توجه زیادی قرار گرفته است.

توت‌فرنگی یکی از مهم‌ترین و خوش‌طعم‌ترین میوه‌ها در دنیا است و سرشار از ویتامین‌ها و املاح معدنی است و ارزش غذایی بالایی دارد. این میوه دارای فعالیت‌های بیولوژیکی مهمی مانند فعالیت آنتی‌اکسیدانی و اثر ضد التهابی است که همگی مربوط به حضور متابولیت‌های ثانویه، عمدتاً آنتوسیانین‌ها هستند (Chiomento *et al*., 2021). از لحاظ آب و هوا در شرایط مرطوب و نسبتا گرم محصول‌دهی مناسبی خواهد داشت و باید آب کافی در اختیار گیاه توت فرنگی قرار گیرد. آروماس یک رقم روز خنثی است و دارای میوه درشت و مخروطی شکل، سفت و بسیار براق و خوش نما می‌باشد. طعم آن بسیار خوب

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-11]

است. این رقم دارای عملکرد بالایی می‌باشد و میزان برداشت بیشتری نسبت به رقم سلوا را دارا می‌باشد (Chiomento *et al*., 2021). بر اساس آمار فائو (FAO, 2019) کشور چین بزرگترین تولید کننده توت فرنگی در دنیاست و کشورهای آمریکا، مکزیک، ترکیه، مصر و اسپانیا به ترتیب در جایگاه‌های بعدی قرار دارند. آمریکا با میانگین تولید بیش از ۶۵ تن در هکتار،بیش‌ترین عملکرد در واحد سطح را دارد و پس از آن کشورهای اسپانیا (۴۹ تن در هکتار) و مکزیک (۴۷/۸ تن در هکتار)، بیش ترین عملکرد در واحد سطح را دارند. ایران از لحاظ سطح زیرکشت توت فرنگی در رتبه ۱۸ اما از نظر عملکرد در واحد سطح، در رتبه سی و نهم دنیا قرار دارد. گزارش شده‌است که در کشت توت فرنگی، همزیستی میکوریز سبب می‌شود که از مورفولوژی سیستم ریشه گیاه سود برده و کیفیت فیتوشیمیایی میوه‌ها را بهبود بخشند (Berruti *et al*., 2016; Chiomento *et al*., 2019; Parada *et al*., 2019).

ایران به‌دلیل دارا بودن شرایط اقلیمی منحصربه‌فرد که همزمان هر چهار اقلیم را دارد، در آینده‌ای نزدیک می‌تواند به‌عنوان یکی از تولیدکنندگان عمده توت‌فرنگی مطرح شود. کمبود عناصر غذایی روی رشد رویشی و زایشی توت‌فرنگی می‌توانند مؤثر باشند و همچنین روی طعم و کیفیت میوه تغییرات نامطلوبی را ایجاد می‌کنند. با توجه به این که بیشتر خاک‌های ایران کم‌حاصلخیز و آهکی هستند، گیاه توت‌فرنگی در جذب برخی از عناصر غذایی به ویژه فسفر، آهن، روی، مس و منگنز دچار مشکل می‌شود، بنابراین کاربرد کانی‌های زئولیت و همچنین همزیست کردن قارچ‌های میکوریز با ریشه آن‌ها می‌تواند نقش به سزایی در کاهش این مشکل و افزایش کمی و کیفی تولید میوه را به دنبال داشته باشد. همچنین با توجه به مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی و مشکلات ناشی از آن، گرسنگی نهان عناصر کم مصرف و همچنین نظر به اهمیت اقتصادی توت‌فرنگی که سطح زیر کشت این محصول در کشور رو به افزایش است. این مطالعه با هدف بررسی کاربرد قارچ‌های میکوریز آربوسکولار (*Glomus etunicatum* و *Glomus intraradices*) و مقادیر مختلف کانی زئولیت از نوع کلینوپتیلولیت پتاسیمی در محیط ریشه روی رشد، گلدهی و عملکرد توت‌فرنگی و افزایش کارایی جذب عناصر غذایی به منظور بهبود خصوصیات رشدی و کمی میوه توت فرنگی انجام شد.

مواد و روش‌ها

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی در چهار تکرار و با دو گلدان در هر تکرار و با دو عامل شامل کانی زئولیت کلینوپتیلولیت پتاسیمی در چهار سطح ۰، ۴، ۸، ۱۲ گرم در کیلوگرم خاک و دو گونه قارچ میکوریز (*G. intraradices* و *G. etunicatum*) برای هر گلدان ۳ کیلوگرمی ۵۰ گرم و یک سطح بدون قارچ در گلخانه به اجرا در آمد. به طور کلی ۱۲ تیمار آزمایش شد که اثر هر کدام از عوامل به صورت جداگانه و تلفیقی مورد بررسی قرار گرفت و در مجموع ۹۶(۱۲×۴×۲) گلدان ماده آزمایشی را تشکیل می‌داد.

در ابتدا نمونه‌های سه کیلوگرمی از خاک را درون کیسه‌های پلاستیکی ریخته و پس از نتایج آزمون خاک (جدول ۱) عناصر غذایی مورد نیاز شامل فسفر از منبع $CaH_4(PO_4)_2.H_2O$ به میزان ۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک، روی از منبع $ZnSO_4.7H_2O$ به میزان ۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک، منگنز از منبع $MnSO_4.H_2O$ به میزان ۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک، مس از منبع$CuSO_4.5H_2O$ به میزان ۲/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک و آهن از منبع سکوسترن آهن به میزان ۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک و نیتروژن از منبع اوره به میزان ۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک اضافه گردید و اجازه داده شد تا خاک خشک شود. سپس خاک درون این کیسه‌ها به خوبی مخلوط شده و به گلدان‌های سه کیلوگرمی انتقال داده شد. قبل از انتقال خاک به گلدان‌ها، کف گلدان‌ها با یک لایه سنگ‌ریزه جهت زهکشی پوشانده شدند. قارچ‌های میکوریز در زمان کاشت بوته‌ها در گلدان در اطراف ریشه‌های گیاه ریخته شدند. مقادیر مختلف زئولیت نیز قبل از کشت بوته‌ها، به خاک گلدان اضافه شده و به خوبی با خاک مخلوط گردیدند. نشاهای ریشه‌دار شده توت‌فرنگی رقم آروماس از نهالستانی تجاری واقع در خفر جهرم تهیه و در گلخانه بخش علوم باغبانی که دارای سیستم خنک‌کننده‌ی پوشال و پنکه بود، در گلدان‌های پلاستیکی سه کیلوگرمی کاشته شدند. در هر گلدان یک بوته کاشته شد. در حین کاشت تیمارهای زئولیت و قارچ میکوریز نیز به گلدان‌ها اضافه شدند. در گلخانه دمای روز و شب به ترتیب ۳ ± ۲۵ و ۳ ± ۱۵ درجه سلسیوس، شرایط نور طبیعی و رطوبت نسبی ۵ ± ۶۰ درصد بود. در طول دوره رشد، بوته‌های توت‌فرنگی در حدود ظرفیت مزرعه به طور مساوی آبیاری می‌شدند. همچنین به منظور تهویه بهتر خاک و جلوگیری

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-11]

از سله بستن، عمل سله شکنی به طور مرتب در طول دوره رشد انجام می‌گرفت. از زمان اعمال تیمارها تا زمانی که گیاهان وارد مرحله گلدهی شدند، حدود ۸۰ روز طول کشید و از آغاز گلدهی تا پایان دوره میوه دهی که حدود ۳ ماه بود، ویژگی‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاهان در پایان آزمایش مورد ارزیابی قرار گرفت.

جدول۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش

Table 1. Some physico-chemical peroperties of the experimental soil.

ویژگی Characteristics	میزان Content
شن (درصد) Sand (%)	30
سیلت (درصد) Silt (%)	34
رس (درصد) Clay (%)	36
بافت Texture	Clay Loam
پ- هاش pH	7.42
قابلیت هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) Electrical conductivity (ds/m)	1.1
ماده آلی (درصد) Organic matter (%)	1.48
ظرفیت تبادل کاتیونی (سانتی‌مول بار در کیلوگرم) Cation exchange capacity (cmol Kg^{-1})	26
فسفر قابل حل در بیکربنات سدیم (میلی‌گرم در کیلوگرم) Soluble phosphorus in sodium bicarbonate (mg kg^{-1})	6.4
پتاسیم (میلی‌گرم در کیلوگرم) K (mg kg^{-1})	225
روی قابل‌استخراج با دی تی پی ا (میلی‌گرم در کیلوگرم) Zn extractable with DTPA (mg kg^{-1})	0.59
آهن قابل‌استخراج با دی تی پی ا (میلی‌گرم در کیلوگرم) Fe extractable with DTPA (mg kg^{-1})	2.09
منگنز قابل‌استخراج با دی تی پی ا (میلی‌گرم در کیلوگرم) Mn extractable with DTPA (mg kg^{-1})	2.05
مس قابل‌استخراج با دی تی پی ا (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Cu extractable with DTPA (mg kg^{-1})	0.78

سطح برگ

۹۰ روز پس از کاشت بوته‌ها، برای اندازه‌گیری سطح برگ از هر بوته سه برگ چیده شده و توسط دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ مدل DELTA-T DEVICES LTD ساخت انگلیس سطح کل آن محاسبه شد و سپس میانگین آن‌ها به دست آمد و مورد بررسی قرار گرفت.

وزن ویژه برگ

ابتدا ۱۰ دیسک برگی، هر یک به مساحت ۱ سانتی مترمربع، از هر تکرار تهیه شد. آن گاه دیسک ها در آون 70^{o} C به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شدند تا اینکه کاملاً آب خود را از دست دادند و از فرمول زیر برای محاسبه‌ی وزن ویژه استفاده شد (۲۰):

وزن ویژه برگ (g/cm^2) = وزن خشک دیسک برگی / ۱۰

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-11]

وزن تر و خشک ریشه و شاخساره

در پایان آزمایش، گیاهان از گلدان خارج شده و ریشه‌های آن‌ها برای جداسازی محیط کشت به طور کامل با آب شستشو داده شدند. سپس قسمت ریشه از شاخساره جدا شده و توزین هر دو قسمت به طور جداگانه انجام گرفت. آن گاه به مدت ۴۸ ساعت در آون ۸۰ درجه سلسیوس قرارگرفته و وزن خشک ریشه و شاخساره اندازه‌گیری شد.

شاخص سبزینگی

برای شاخص سبزینگی، ابتدا از هر گلدان پنج برگ کاملاً توسعه یافته به صورت تصادفی انتخاب و سپس با دستگاه SPAD-502 میزان سبزینگی آن‌ها خوانده شد و میانگین این پنج عدد ثبت گردید.

عملکرد تک بوته

در مدت ۹۰ روز، به تدریج با رسیدن میوه‌ها، آن‌ها را جمع‌آوری کرده و وزن شدند. در پایان آزمایش نیز، تمام میوه‌های باقی‌مانده روی بوته جمع‌آوری شده و وزن گردیدند. سپس وزن تمامی میوه‌ها از آغاز تا پایان آزمایش با هم جمع گردید و به عنوان میزان محصول کل هر بوته در این مدت در نظر گرفته شد.

میانگین وزن میوه

در طول دوره آزمایش و پس از رسیدن میوه‌های اول و دوم (رنگ گیری ۷۵ درصد میوه)، این میوه‌ها توزین شدند و میانگین آن‌ها به دست آمد.

میزان مواد جامد محلول (TSS)

یک قطره آب میوه را روی قندسنج دستی قرار داده و درصد مواد جامد محلول در آن اندازه‌گیری شد.

میزان اسیدیته کل

اسید غالب در میوه توت‌فرنگی اسیدسیتریک می‌باشد که مقدار اسید غالب از روش تیتراسیون با سود ۰/۳ نرمال اندازه‌گیری شد. بدین طریق که ۵ سی‌سی عصاره برداشته و سپس قطره‌قطره سود هیدروکسید سدیم ۰/۳ نرمال افزوده می‌شود تا اولین تغییر رنگ ظاهر گشته و این تغییر رنگ ثابت بماند و سپس مقدار سود مصرفی یادداشت می‌شود و در فرمول قرار می‌گیرد.

$$\text{گرم اسیدسیتریک در ۱۰۰ میلی‌لیتر آبمیوه} = \frac{\text{والانس گرم اسید غالب} \times \text{نرمالیته سود} \times \text{میزان سود مصرفی}}{1000 \times \text{وزن نمونه}} \times ۱۰۰$$

ویتامین C

میزان ویتامین C به روش اسپکتوفتومتری (۲۴) اندازه‌گیری شد. ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره میوه با ۱۰ میلی‌لیتر متافسفریک ۱٪ مخلوط شده و ا میلی‌لیتر از محلول حاصله را با ۹ میلی‌لیتر ۶ و ۲- دی کلرو ایندوفنول ۵۰ میکرومولار مخلوط کرده و چند ثانیه با ورتکس تکان داده شد، سپس در طول موج ۵۱۵ توسط دستگاه اسپکتوفتومتر (T60 UV visible, Japan) خوانده شد. واحد اعداد به دست آمده میلی‌گرم آسکوربیک اسید در ۱۰۰ گرم بافت میوه است.

آنتوسیانین

اندازه‌گیری آنتوسیانین به روش تغییر pH، (۴) انجام شد. به این صورت که با ساختن دو بافر با pH های ۱ و ۴/۵ بعد با اضافه کردن آب میوه (۱ میلی‌لیتر آب میوه – ۴ میلی‌لیتر بافر) و سپس با استفاده از اسپکتروفتومتر (T60 UV visible, Japan) در طول موج‌های ۵۲۰ و ۷۰۰ نانومتر قرائت گردید. بلانک آب مقطر می‌باشد. سپس اعداد قرائت‌شده را در فرمول گذاشته و میزان آنتوسیانین محاسبه می‌گردد.

$$\text{Anthocyanin pigment (cyaniding-3-glucoside equivalents, mg/L)} = \frac{A \times MW \times DF \times 1000}{26900 \times 1}$$

A= (A520nm-A 700nm) pH1.0 - (A520nm-A700nm) pH405
MW(molecular weight) = 449.2 g/mol for cyaniding-3-glucoside.
DF = dilution factor established in D; 1 = pathlenght in cm; e = 26900 molar extinction coefficient, in L ′ mol-1, for cyd-3-glu; and
103 = factor for conversion from g to mg.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-11]

اندازه‌گیری عناصر معدنی در بافت برگ

در پایان آزمایش و پس از جداسازی اندام هوایی گیاه و میوه‌های توت‌فرنگی تمامی نمونه‌ها با آب مقطر شست و شو داده شدند تا عاری از هر گونه آلودگی گردند. نمونه‌های برگ در آون و در دمای ۷۰ درجه سلسیوس خشک و سپس توزین و در آسیاب برقی پودر شدند. سپس ۱ گرم ماده خشک گیاهی در کوره الکتریکی با دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس خاکستر شد و از پودر حاصل جهت تجزیه‌های آزمایشگاهی استفاده شد. اندازه‌گیری نیتروژن کل به روش میکرو کجلدال (Bremner, 1996) انجام شد که البته برای اندازه‌گیری نیتروژن نیازی به خاکستر کردن نیست. بخشی از نمونه برگی قبل از خاکستر کردن استفاده می‌شود. آهن و روی به وسیله دستگاه جذب اتمی شیماتزو مدل AA-670c و پتاسیم با روش شعله سنجی و فسفر به روش آبی و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (Watanabe & Olsen, 1965) اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری درصد کلنیزاسیون ریشه

۹۰ روز پس از کاشت بوته‌ها، به‌منظور رنگ آمیزی ریشه، ابتدا ۲ گرم از ریشه‌های نگه‌داری شده در فرمالین- اسید استیک- الکل (FAA)، ۳-۴ مرتبه با آب شستشو داده شدند و لوله‌های فالکون حاوی محلول KOH ۱۰ درصد، برای ۲۴ ساعت در دمای اتاق قرار داده شدند. در طی این مدت محلول یاد شده با لیز کردن دیواره سلولی سبب خروج اجزای سیتوپلاسمی و هسته‌ها از سلول می‌شود و در مراحل بعدی نفوذ رنگ به درون بافت ریشه را تسهیل می‌کند. در پایان این مرحله، محلول به رنگ تقریباً زرد یا زرد کم رنگ در می‌آید. بعد از این مدت محلول بیرون ریخته شده و ریشه‌ها ۴-۳ مرتبه با آب شستشو گردید. نمونه‌ها دست‌کم به مدت ۱۵ دقیقه در محلول اسیدکلریدریک ۲ درصد قرار داده شده تا آماده رنگ‌پذیری شوند. در ادامه اسید را خالی کرده و بدون شستشو با آب و به همان حالت اسیدی، روی ریشه‌ها محلول رنگی به شرح زیر اضافه و ۲۴ ساعت در دمای اتاق نگهداری می‌گردد. در این پژوهش از جوهر آبی پلیکان برای رنگ‌آمیزی استفاده شد. محلول رنگی جوهر آبی شامل نسبت حجمی ۱:۱ از جوهر ۵ بار رقیق شده و محلول رنگ بر است که در این حالت محلول رنگ بر، نسبت حجمی ۱۴:۱:۱ از اسیدلاکتیک: گلیسیرین: آب را شامل می‌شود. در ادامه محلول رنگ را خارج نموده و به منظور حذف رنگ‌های اضافی، محلول رنگ بر روی ریشه‌ها ریخته شد. بعد از ۶ الی ۱۲ ساعت در ظرف پتری دیش که زیر آن کاغذ شبکه‌بندی شده با ابعاد 1cm x 1cm قرار گرفته بود (روش تقاطع خطوط شبکه)، ریشه‌های رنگ‌آمیزی شده به طور تصادفی پخش و اندام‌های قارچی شامل آربسکول، هیف و وزیکول در زیر میکروسکوپ نوری شمارش شدند (Kormanik, 1982).

واکاوی داده‌ها

واکاوی آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹) انجام گرفته و مقایسه میانگین‌ها به وسیله آزمون دانکن و در سطح ۵٪ انجام شد.

نتایج

سطح برگ، وزن ویژه برگ

با توجه به جدول ۲ در برهمکنش عامل‌ها، بیش‌ترین سطح برگ (۱۵۳/۸۶ سانتی‌متر مربع) مربوط به تیمار بدون زئولیت و قارچ گلوموس اتونیکاتوم با ۸/۳ درصد افزایش نسبت به شاهد می‌باشد و کمترین (۹۱/۶۸ سانتی‌متر مربع) آن مربوط به تیمار ۱۲ گرم در کیلوگرم زئولیت در خاک و بدون قارچ با ۳۵/۴ درصد کاهش نسبت به شاهد می‌باشد.

با توجه به جدول ۲ در برهمکنش عامل‌ها، بیش‌ترین میزان وزن ویژه برگ (۹ میلی‌گرم در سانتی‌متر مربع) مربوط به تیمار ۱۲ گرم در کیلوگرم زئولیت در خاک و بدون قارچ می‌باشد که نسبت به شاهد دارای افزایش ۷/۴ درصدی می‌باشد و کمترین (۶/۳ میلی‌گرم درسانتی‌متر مربع) آن مربوط به تیمار ۱۲ گرم در کیلوگرم زئولیت در خاک و قارچ گلوموس اینترارادیسز است که دارای کاهش معنی‌دار ۲۴ درصدی نسبت به شاهد می‌باشد.

وزن تر و خشک ریشه

با توجه به جدول ۲ در برهمکنش عامل‌ها، بیش‌ترین وزن تر ریشه (۱۲/۸۳ گرم) مربوط به تیمار ۸ گرم در کیلوگرم زئولیت در خاک و قارچ گلوموس اینترارادیسز می‌باشد و کمترین (۷/۰۸گرم) آن مربوط به تیمار ۸ گرم در کیلوگرم خاک زئولیت و قارچ گلوموس اتونیکاتوم می‌باشد. با توجه به جدول ۲ در برهمکنش عامل‌ها، بیش‌ترین وزن خشک ریشه مربوط به تیمار ۴ گرم

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-11]

در کیلوگرم زئولیت در خاک و قارچ گلوموس اتونیکاتوم می‌باشد و کمترین آن نیز مربوط به تیمار ۸ گرم در کیلوگرم زئولیت در خاک و بدون قارچ (شاهد) است.

وزن تر و خشک شاخساره

با توجه به جدول ۲ در برهمکنش عامل‌ها، بیش‌ترین میزان وزن تر شاخساره (۱۶/۳۷ گرم) مربوط به کاربرد قارچ گلوموس اتونیکاتوم و میزان ۴ گرم در کیلوگرم زئولیت در خاک و کم‌ترین (۶/۸۰ گرم) آن مربوط به کاربرد ۱۲ گرم در کیلوگرم زئولیت در خاک و قارچ شاهد می‌باشد. مقایسه اثر عامل‌های اصلی (جدول ۳) نشان می‌دهد که اثر قارچ بر وزن خشک شاخساره معنی‌دار می‌باشد. کاربرد هردو گونه قارچ باعث افزایش وزن خشک شاخساره گشته است که قارچ گلوموس اتونیکاتوم باعث افزایش ۶۳ درصدی و قارچ گلوموس اینترارادیسز موجب افزایش ۲۴/۳ درصدی وزن تر شاخساره نسبت به عدم کاربرد قارچ گشته است. با افزایش میزان زئولیت از ۰ به ۴ گرم در کیلوگرم خاک افزایشی معنی‌دار در میزان وزن خشک شاخساره و با افزایش آن از ۰ به ۸ و ۱۲ گرم در کیلوگرم خاک کاهشی در میزان وزن خشک شاخساره مشاهده می‌شود که این کاهش معنی‌دار نمی‌باشد.

جدول ۲- اثر برهمکنش قارچ میکوریز و زئولیت بر برخی خصوصیات رویشی توت فرنگی رقم آروماس.

Table 2. The interaction effect of mycorrhizal fungus and zeolite on some vegetative characteristics of Aromas strawberry cultivar.

قارچ Fungus	زئولیت Zeolite (g/Kg)	سطح برگ Leaf area (cm^{-2})	وزن ویژه برگ Leaf specific weight (mg/cm^2)	وزن تر شاخساره Shoot fresh weight (g)	وزن تر ریشه Root fresh weight (g)	وزن خشک ریشه Root dry weight (g)
شاهد Control	0	142.02a-c†	8.3a-c	12.19cd	10.13c	3.68ab
	4	122.90c	7.6c-e	10.23ef	9.83c	3.40a-d
	8	97.97d	7.0f	6.88g	7.70de	2.16f
	12	91.68d	9.0a	6.80g	8.39d	2.87de
گلوموس اینترارادیسز G. intraradices	0	142.26a-c	7.3de	13.30bc	11.91b	3.38a-d
	4	127.40b-c	8.6ab	14.01b	9.98c	3.21a-d
	8	93.58d	8.0b-d	11.72d	12.83a	3.76ab
	12	127.38bc	6.3f	9.49f	8.35d	2.42ef
گلوموس اتونیکاتوم G. etunicatum	0	153.86a	7.6c-e	13.06bc	11.95b	3.60a-c
	4	141.60a-c	8.0b-d	16.37a	11.19b	3.82a
	8	145.77ab	7.6c-e	11.15de	7.08e	3.09b-e
	12	138.38a-c	7.6c-e	13.09bc	8.60d	2.95c-e
معنی‌داری Signification						
قارچ Funji		**	ns	**	**	**
زئولیت Zeolite		**	ns	**	**	**
قارچ*زئولیت Funji*zeolite		**	**	**	**	**

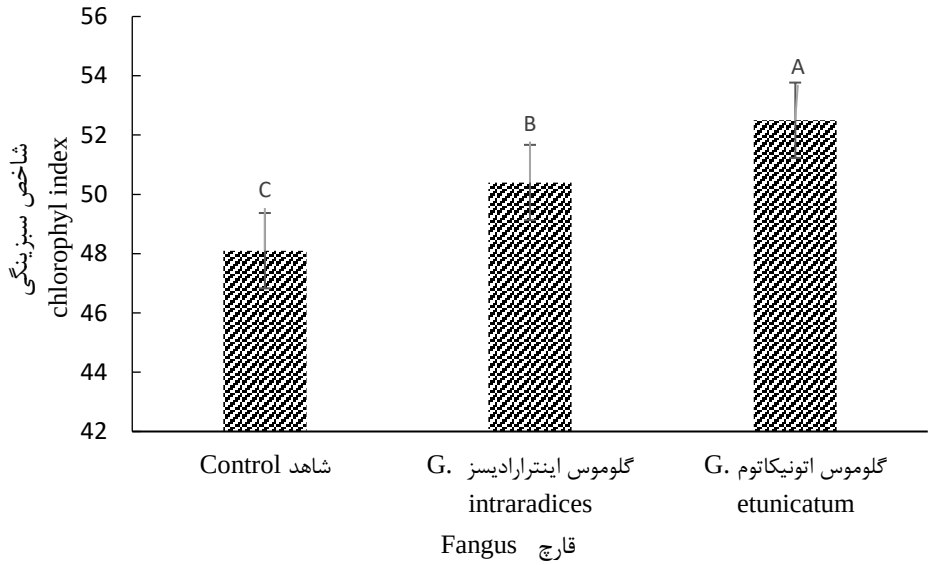
† میانگین‌های هر ستون که دارای حرفهای مشابه هستند، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ ٪ ندارند (آزمون چند دامنه‌ای دانکن) . *، **، به ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪، ۱٪ و ns معنی‌دار نمی‌باشد.

†Mean values followed by the same letters in a column are not significantly different at the 5% level of ns: non–significant probability (Duncan's multiple range test). Significant differences** $P < 0.01$, * $P < 0.05$, and

شاخص سبزینگی

مقایسه اثر قارچ میکوریز نشان می‌دهد که کاربرد قارچ‌های گلوموس اتونیکاتوم و گلوموس اینترارادیسز در مقایسه با شاهد سبب افزایش معنی‌دار به‌ترتیب ۴ درصدی و ۴/۵ درصدی شاخص سبزینگی توت‌فرنگی شده است (شکل ۱).

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-11]



شکل ۱- اثر قارچ میکروریز بر شاخص سبزینگی برگ توت فرنگی رقم آروماس.

Fig.1. The main effect of mycorrhiza fangus on leaf chlorophpyl index in Aromas strawberry cultivar.

معنی‌داری Signification	
قارچ Funji	**
زئولیت Zeolite	ns
قارچ*زئولیت Funji*zeolite	ns

*، ** به ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪، ۱٪ و ns معنی‌دار نمی‌باشد.

Significant differences** $P < 0.01$, * $P < 0.05$, and ns: non–significant

عملکرد تک بوته

مقایسه اثر عامل‌های اصلی (جدول ۳) نشان می‌دهد که کاربرد قارچ گلوموس اتونیکاتوم باعث افزایش معنی‌دار ۲۰/۲ درصدی و قارچ گلوموس اینترارادیسز باعث افزایش ۱۵/۷ درصدی عملکرد نسبت به تیمار شاهد بدون قارچ شده است. کاربرد سطوح چهار و هشت گرم در کیلوگرم زئولیت در خاک نسبت به عدم کاربرد زئولیت، موجب کاهش معنی‌دار عملکرد تک بوته شده و کاربرد ۱۲ گرم در کیلوگرم زئولیت در خاک موجب افزایش عملکرد تک بوته گشته هرچند که این افزایش معنی‌دار نبوده است.

میانگین وزن میوه

با توجه به جدول ۴ بیش‌ترین وزن میوه مربوط به تیمار برهمکنش قارچ گلوموس اتونیکاتوم و ۱۲ گرم در کیلوگرم زئولیت در خاک (۱۳/۴۴ گرم) و کمترین وزن میوه (۹/۷۶ گرم) مربوط به تیمار بدون قارچ و هشت گرم در کیلوگرم زئولیت در خاک می‌باشد.

درصد مواد جامد محلول

با توجه به جدول ۴ در برهمکنش عامل‌ها، بیش‌ترین درصد مواد جامد محلول مربوط به تیمار ۸ گرم در کیلوگرم زئولیت در خاک و قارچ گلوموس اینترارادیسز (۷/۰۵ درصد) می‌باشد و کمترین (۵/۲۵ درصد) آن مربوط به تیمار ۱۲ گرم در کیلوگرم خاک زئولیت و قارچ گلوموس اینترارادیسز می‌باشد.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-11]

جدول ۳- اثر اصلی قارچ میکوریز و زئولیت بر وزن خشک شاخساره، عملکرد تک بوته، جذب نیتروژن، فسفر و روی در توت فرنگی رقم آروماس.

Table 3. The main effect of mycorrhiza and zeolite on shoot dry weight, plant yield, nitrogen, phosphorus and zinc uptake in Aromas strawberry cultivar.

قارچ Fungus	وزن خشک شاخساره (گرم) Shoot dry weight (g)	عملکرد (گرم) Yield (g)	نیتروژن(میلی‌گرم در گرم وزن خشک) N (mg/gdw)	فسفر(میلی‌گرم در گرم وزن خشک) P (mg/gdw)	روی (میکروگرم در گرم وزن خشک) Zn(µg/gdw)
شاهد Control	2.58C†	116.12B	31.9C	4.21C	131.97B
گلوموس اینترارادیسز *G. intraradices*	3.21B	134.20A	34.9B	5.11B	145.25B
گلوموس اتونیکاتوم *G. etunicatum*	4.22A	139.63A	73.1A	5.96A	207.50A
		زئولیت Zeolite (g/Kg)			
0	3.57B	140.33A	51.1AB	5.34A	157.33B
4	4.05A	125.73B	65.1A	5.71A	211.66A
8	2.82C	110.63C	43.0B	4.04B	140.30B
12	2.92C	143.24A	45.1B	5.28A	137.00B
معنی‌داری Signification					
قارچ Funji	**	**	**	**	**
زئولیت Zeolite	**	**	ns	**	**
قارچ*زئولیت Funji*zeolite	ns	ns	ns	ns	ns

† میانگین‌های هر ستون که دارای حرفهای مشابه هستند، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ ٪ ندارند (آزمون چند دامنه‌ای دانکن). *، ** به ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪، ۱٪ و ns معنی‌دار نمی‌باشد.

†Mean values followed by the same letters in a column are not significantly different at the 5% level of probability (Duncan's multiple range test). Significant differences** $P < 0.01$, * $P < 0.05$, and ns: non–significant.

اسیدیته کل

با توجه به جدول ۴ در برهمکنش عامل‌ها، بیش‌ترین مقدار اسیدیته کل (۱/۲۷درصد) مربوط به تیمار بدون قارچ و ۱۲ گرم در کیلوگرم زئولیت در خاک می‌باشد و کمترین (۰/۹۰ درصد) آن مربوط به تیمار شاهد می‌باشد. در تیمارهای دارای قارچ گلوموس اتونیکاتوم و بدون قارچ با افزایش سطح زئولیت، اسیدیته کل توت‌فرنگی افزایش یافته است هر چند این افزایش برای قارچ گلوموس اتونیکاتوم معنی‌دار نمی‌باشد.

ویتامین C

با توجه به جدول ۴ در برهمکنش عامل‌ها، بیش‌ترین میزان ویتامین C (۸۴/۷۴ میلی‌گرم آسکوربیک اسید در ۱۰۰ گرم بافت میوه) مربوط به تیمار بدون زئولیت و قارچ گلوموس اتونیکاتوم می‌باشد و کمترین آن مربوط به تیمار بدون زئولیت و بدون قارچ (۲۲/۱۶۸ میلی‌گرم آسکوربیک اسید در ۱۰۰ گرم بافت میوه) است.

آنتوسیانین

با توجه به جدول ۴ در برهمکنش عامل‌ها، بیش‌ترین مقدار آنتوسیانین مربوط به تیمار ۴ گرم در کیلوگرم زئولیت و بدون قارچ (۹۸/۸ میلی‌گرم در لیتر سیانیدین تری گلیکوزاید) می‌باشد و کمترین (میلی‌گرم در لیتر سیانیدین تری گلیکوزاید ۴۸) آن مربوط به تیمار شاهد می‌باشد.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-11]

جدول ۴- اثر برهمکنش قارچ میکوریز و زئولیت بر برخی خصوصیات میوه توت فرنگی رقم آروماس.

Table 4. The interaction effect of mycorrhizal fungus and zeolite on some fruit characteristics of Aromas strawberry cultivar.

قارچ Fungus	زئولیت Zeolite (g/Kg)	میانگین وزن fruit weight mean (g)	مواد جامد محلول TSS(%)	اسیدیته کل Total acidity (%)	آنتوسیانین Anthocyanin (mg/Lcyanidin 3- glycosid)	ویتامین ث Vit c (mg ascorbic acid/100g fruit tissue
شاهد Control	0	10.22de	5.75b-d	0.90d	47.3d	22.16f
	4	10.97b-e	5.75b-d	1.00cd	98.8a	26.27f
	8	9.76e	5.35cd	1.08bc	54.8cd	44.66c
	12	11.32b-d	6.25a-c	1.27a	60.4cd	45.31c
گلوموس اینترارادیسز G. intraradices	0	12.23ab	5.62b-d	1.09bc	83.2ab	43.32e
	4	13.35a	6.55ab	1.20ab	71.1bc	53.61b
	8	11.74bc	7.05a	1.09bc	83.6ab	53.74b
	12	10.58c-e	5.25d	0.93d	48.00d	24.33f
گلوموس اتونیکاتوم G. etunicatum	0	11.38b-d	5.87b-d	1.07bc	66.10b-d	84.74a
	4	10.78c-e	6.55ab	1.04cd	85.8ab	33.41e
	8	13.03a	6.47ab	1.14bc	62.4cd	35.26de
	12	13.44a	6.10b-d	1.10bc	50.9cd	41.22cd
معنی‌داری Signification						
قارچ Funji		**	ns	ns	ns	**
زئولیت Zeolite		ns	ns	ns	**	**
قارچ*زئولیت Funji*zeolite		**	**	**	**	**

† میانگین‌های هر ستون که دارای حرفهای مشابه هستند، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ ٪ ندارند (آزمون چند دامنه‌ای دانکن) . *، **، به ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪، ۱٪ و ns معنی‌دار نمی‌باشد.

†Mean values followed by the same letters in a column are not significantly different at the 5% level of probability (Duncan's multiple range test) Significant differences** $P < 0.01$, * $P < 0.05$, and ns: non–significant.

نیتروژن

مقایسه اثر عامل‌های اصلی (جدول ۳) نشان می‌دهد که اثر قارچ بر میزان نیتروژن معنی‌دار بوده است و گلوموس اینترارادیسز دارای افزایش معنی‌دار ۲۰/۶ درصدی نسبت به تیمار شاهد بدون قارچ و گلوموس اتونیکاتوم دارای افزایش معنی‌دار ۴۰ درصدی نسبت به تیمار شاهد بدون قارچ می‌باشد. با افزایش سطح زئولیت میزان نیتروژن شاخساره افزایش یافته است. بیش‌ترین میزان آن مربوط به تیمار ۴ گرم در کیلوگرم زئولیت که نسبت به تیمار شاهد بدون زئولیت دارای افزایش معنی‌دار ۱۰/۷ درصدی است ولی در سطح ۸ و ۱۲ گرم در کیلوگرم زئولیت در خاک این افزایش معنی‌دار نمی‌باشد.

فسفر

مقایسه اثر عامل‌های اصلی (جدول ۳) نشان می‌دهد که اثر قارچ بر جذب کل فسفر معنی‌دار می‌باشد. بین گونه‌های قارچ مورد استفاده نیز اختلاف معنی‌دار ملاحظه می‌شود. به طوری که گلوموس اتونیکاتوم در مقایسه با گلوموس اینترارادیسز باعث افزایش ۴۱/۵ درصدی جذب کل فسفر شده است. کاربرد ۸ گرم در کیلوگرم زئولیت در مقایسه با سه سطح دیگر سبب کاهش معنی‌دار جذب کل فسفر گشته است.

روی

مقایسه اثر عامل‌های اصلی (جدول ۳) نشان می‌دهد که اثر قارچ بر جذب کل روی معنی‌دار می‌باشد. بین گونه‌های قارچ مورد استفاده نیز اختلاف معنی‌داری ملاحظه می‌شود. کاربرد قارچ گلوموس اتونیکاتوم در مقایسه با گلوموس اینترارادیسز باعث

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-11]

افزایش جذب کل روی شده است. کاربرد ۴ گرم در کیلوگرم زئولیت در مقایسه با سه سطح دیگر سبب افزایش معنی‌دار جذب کل روی گشته است.

پتاسیم

با توجه به جدول ۵ در برهمکنش عامل‌ها، بیش‌ترین جذب کل پتاسیم مربوط به تیمار ۴ گرم در کیلوگرم زئولیت و قارچ گلوموس اینترارادیسز می‌باشد و کمترین آن مربوط به تیمار ۸ گرم در کیلوگرم خاک زئولیت و بدون قارچ (شاهد) می‌باشد.

آهن

با توجه به جدول ۵ در برهمکنش عامل‌ها، بیش‌ترین جذب کل آهن مربوط به تیمار ۴ گرم در کیلوگرم زئولیت و قارچ گلوموس اتونیکاتوم با ۷۷/۸ درصد افزایش نسبت به تیمار شاهد می‌باشد و کمترین آن مربوط به تیمار ۱۲ گرم در کیلوگرم خاک زئولیت و قارچ گلوموس اینترارادیسز با ۴۷/۳ درصد کاهش نسبت به شاهد می‌باشد.

کلنیزاسیون ریشه

با توجه به جدول ۵ در برهمکنش عامل‌ها، کمترین میزان کلنیزاسیون ریشه مربوط به تیمار شاهد بدون زئولیت و قارچ بوده است و بیش‌ترین آن مربوط به تیمار ۸ گرم در کیلوگرم زئولیت در خاک و قارچ گلوموس اتونیکاتوم است.

جدول ۵- اثر برهمکنش قارچ میکوریز و زئولیت بر جذب پتاسیم، آهن و میزان کلنیزاسیون ریشه توت فرنگی رقم آروماس.

Table 5- The effect of mycorrhizal fungus and zeolite on K, Fe uptakes and root colonization of Aromas strawberry cultivar.

قارچ Fungus	زئولیت Zeolite (g/Kg)	پتاسیم (میلی‌گرم در گرم وزن خشک) K(mg/gDW)	آهن(میکروگرم در گرم وزن خشک) Fe (µg/g DW)	کلنیزاسیون ریشه (درصد) Root colonization (%)
شاهد Control	0	150.00bc†	145.00b-c	9.47e
	4	192.00ab	166.00b	9.73e
	8	123.00c	87.70ed	9.81e
	12	148.00bc	128.00b-d	10.40e
گلوموس اینترارادیسز G. intraradices	0	179.00ab	113.00c-e	56.18d
	4	227.00a	161.00b	81.01ab
	8	209.00a	161.00b	77.33b
	12	124.00c	78.40e	89.00a
گلوموس اتونیکاتوم G. etunicatum	0	201.00a	151.00bc	66.23c
	4	215.00a	265.00a	85.80a
	8	181.00ab	123.00b-d	89.18a
	12	193.00ab	239.00a	84.21ab
معنی‌داری Signification				
قارچ Funji		**	**	**
زئولیت Zeolite		**	**	**
قارچ*زئولیت Funji*zeolite		**	**	**

† میانگین‌های هر ستون که دارای حرفهای مشابه هستند، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ ٪ ندارند (آزمون چند دامنه‌ای دانکن) . *، ** به ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪، ۱٪ و ns معنی‌دار نمی‌باشد.

†Mean values followed by the same letters in a column are not significantly different at the 5% level of probability (Duncan's multiple range test. Significant differences** $P < 0.01$, * $P < 0.05$, and ns: non–significant

بحث

در این پژوهش همزیستی با قارچ‌های میکوریز به تنهایی سبب افزایش نسبی در سطح برگ شد. عنوان شده است که افزایش در سطح برگ در گیاهان همزیست با قارچ میکوریز به دلیل جذب بیشتر عناصر غذایی به ویژه عنصر نیتروژن توسط

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-11]

گیاه میزبان است (Tobar *et al*., 1994). همچنین قارچ‌های میکوریز می‌توانند باعث افزایش وزن گیاه و سطح برگ شوند. این افزایش می‌تواند به بهبود جذب آب توسط هیف‌های قارچ و افزایش جذب فسفر نسبت داده شود. در این بررسی با افزایش میزان زئولیت از صفر به ۱۲ گرم در کیلوگرم زئولیت در خاک کاهش معنی داری در سطح برگ مشاهده شد. در پژوهشی، Qolizadeh و همکاران (Qolizadeh *et al*., 2006) در آزمایشی روی گیاه دارویی بادرشبی تحت تنش آبی به این نتیجه رسیدند که استفاده از ۲۵ گرم زئولیت در ۱۲ کیلوگرم خاک باعث افزایش سطح برگ می‌شود.

همچنین مشخص شد که همزیستی با قارچ‌های میکوریز سبب افزایش وزن تر و خشک ریشه می‌شود که به علت تحریک به رشد ریشه و همچنین ذخیره کربوهیدرات‌ها در ریشه می‌باشد. در این زمینه گزارش‌های متعددی وجود دارد که قارچ‌های میکوریز سبب افزایش وزن ریشه می‌گردند (Abbaspour & Phalahian, 2008; Neripendra *et al*., 2012). در گیاهان تلقیح شده با قارچ میکوریز، مقداری از هیف‌های قارچی وارد سیستم ریشه گیاه می‌شود و سطح اسید آبسیزیک را کاهش می‌دهد و سیتوکینین ها را افزایش داده که باعث گسترش سیستم ریشه و افزایش جذب آب و همچنین ترشح اسیدهای آلی مانند اسید مالیک می‌شود. هیف های خارج از ریشه باعث افزایش جذب فسفر و در نتیجه بهبود رشد ریشه و در نهایت رشد اندام های هوایی گیاه می شود (Rasouli *et al*., 2022). عنوان شده است که در خاک‌های فشرده قارچ‌های میکوریز از فشردگی خاک کاسته و این منجر به بهبود ساختار خاک می‌شود، به دنبال آن رشد ریشه‌ها بیشتر شده و در سطح بیشتری خود را می‌گسترانند که نهایتاً منجر به افزایش وزن تر و خشک ریشه می‌شود (Elena *et al*., 2011). در مورد وزن تر و خشک شاخساره نیز همزیستی با قارچ‌های میکوریز سبب افزایش میزان آن‌ها گشت که در اینجا نیز کاربرد قارچ گلوموس اتونیکاتوم نسبت به گونه قارچ دیگر تأثیر بیشتری داشت. این موضوع نشان می‌دهد که گلوموس اتونیکاتوم در جذب آب و مواد غذایی به ویژه فسفر به گیاه کمک بیشتری کرده و سبب تجمع ماده خشک بیشتری شده است و از کارایی بیشتری در تولید زیست توده اندام هوایی توت‌فرنگی برخوردار است. در پژوهشی، Abbaspour و Phalahian (Abbaspour & Phalahian, 2008) اعلام کردند وزن خشک و تر اندام هوایی و ریشه در گیاهان پسته تلقیح شده با قارچ میکوریز آربوسکولار از گیاهان غیر تلقیح شده بالاتر بود. کاربرد ۴ گرم در کیلوگرم زئولیت در خاک نیز سبب افزایش وزن تر و خشک شاخساره گردید که احتمال می‌رود به دلیل همان نقش زئولیت در جذب آب و مواد غذایی از جمله فسفر باشد که نتایج ما نیز همین امر را نشان داد. در مورد وزن تر وخشک ریشه نیز، افزایش مقادیر زئولیت نسبت به تیمار شاهد سبب کاهش میزان آن‌ها گشت.

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که کاربرد قارچ و زئولیت هر دو باعث افزایش وزن میوه شد. از آن جایی که رشد میوه توت‌فرنگی به شدت وابسته به هورمون اکسینی است که از فندقه ها ترشح شده و باعث رشد نهنج زیرین آن‌ها می‌گردد، بنابراین روشن است که با افزایش تعداد فندقه، وزن میوه و اندازه آن افزایش می‌یابد. یا شاید همین افزایش جذب عناصر از جمله نیتروژن و فسفر به وسیله این تیمارها سبب این افزایش وزن شده باشد (Ledesma *et al*., 2008). به‌نظر می‌رسد که که افزایش همزیستی قارچ‌ها با ریشه گیاه سبب می‌شود که مواد غذایی بیشتری در اختیار گیاه قرار گیرد که به نوبه‌خود سبب افزایش گل‌انگیزی، تعداد گل، تعداد میوه و وزن میوه و سرانجام عملکرد میوه می‌شود.

در این پژوهش میزان عملکرد نیز از طریق کاربرد قارچ‌های گلوموس اینترارادیس و گلوموس اتونیکاتوم و میزان ۱۲ گرم در کیلوگرم زئولیت در خاک افزایش یافت. کاهش عملکرد در دو تیمار ۴ و ۸ گرم در کیلوگرم زئولیت می‌تولند به‌دلیل دیرتر واردشدن به مرحله گلدهی و میوه قابل برداشت باشد (با توجه به تاریخ شروع گلدهی و تاریخ شروع میوه‌دهی). کل عملکرد میوه در بوته‌های توت‌فرنگی به رشد و توسعه اندام‌های هوایی بستگی دارد (Jalili Marandi, 2005). کاربرد هر دو گونه قارچ و ۴ گرم در کیلوگرم زئولیت سبب افزایش وزن تر و خشک شاخساره گردید که این خود می‌تواند دلیلی بر افزایش میزان عملکرد توسط تیمارهای فوق باشد. به عبارت دیگر، کاربرد قارچ و زئولیت سبب بهبود جذب عناصر غذایی شده در نتیجه گیاه رشد بیشتری کرده و تولید ریشه و شاخساره بالاتری نموده و میزان فتوسنتز افزایش یافته و مواد غذایی بیشتری تولید شده و به میوه‌ها منتقل گشته در نتیجه این‌ها عملکرد بهتر شده است .

نتایج این پژوهش نشان داد که کاربرد قارچ‌های گلوموس اتونیکاتوم باعث افزایش معنی‌دار شاخص سبزینگی گردید. جذب عناصر غذایی تأثیر مثبتی بر تغذیه گیاه، فتوسنتز، مقدار کلروفیل برگ‌ها و بهبود مقدار عناصر غذایی در بخش‌های مختلف

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-11]

گیاه از جمله ریشه‌ها، برگ‌ها و میوه‌ها دارد و از آنجائیکه قارچ‌های میکوریز به واسطه همزیستی با ریشه گیاهان سبب افزایش جذب عناصر غذایی (مانند فسفر، نیتروژن و برخی از عناصر کم مصرف) می‌شوند، این خود می‌تواند دلیلی بر افزایش شاخص سبزینگی توسط کاربرد قارچ باشد. همچنین غلظت کلروفیل در گیاه به طور معمول بازتابی از میزان عنصر آهن در گیاه می‌باشد. در صورتی که میزان آهن در گیاه به حد کافی نباشد سنتز پیش سازهای آزاد کلروفیل مختل می‌شود (Wang *et al*., 2008). در این پژوهش به دلیل تجمع بیشتر عناصر دخیل در ساخت کلروفیل از جمله آهن، میزان کلروفیل در گیاهان همزیست نسبت به گیاهان شاهد افزایش پیدا کرد. همچنان که مشخص شده است، قارچ‌های میکوریز آربوسکولار می‌توانند با بهبود صفات رشدی و با افزایش جذب عناصر منیزیم، آهن و نیتروژن سبب ساخت بیشتر کلروفیل شوند (Wang *et al*., 2008; Hoda *et al*., 2011) که نتایج این پژوهش با چنین پژوهش‌هایی همسویی دارد.

کاربرد کودهای زیستی پتانسیل فتوسنتزی، جذب نیتروژن و فسفر را بهبود می بخشند و در نهایت منجر به بهبود میزان ویتامین ث می شوند. علاوه بر این، مقادیر بالای ویتامین ث را می توان به بهبود محتوای کلروفیل در پاسخ به اثرات محرک همزیستی با قارچ میکوریز نسبت داد (Rasouli *et al*., 2022). در این پژوهش مشخص شد که کاربرد هر دو گونه قارچ گلوموس اتونیکاتوم و گلوموس اینترارادیسز سبب افزایش معنی‌داری در میزان ویتامین ث گردید. شاید یکی از دلایل افزایش ویتامین ث در گیاهان تیمار شده با این دو گونه قارچ این باشد که در اثر همزیستی با قارچ‌های میکوریز آربوسکولار جذب عناصر غذایی از جمله نیتروژن افزایش‌یافته، در نتیجه آن دسترسی به ذخیره‌های کربوهیدراتی و رشد و نمو میوه بهتر شده که باعث تجمع مقادیر بیشتری از ویتامین ث در میوه می‌گردد؛ اما در مورد مواد جامد محلول نیز کاربرد قارچ و یا زئولیت به تنهایی تأثیر چندانی بر مواد جامد محلول نگذاشت که نشان می‌داد که جذب نیتروژن توسط قارچ و زئولیت نتوانسته بود مواد جامد محلول را تحت تأثیر قرار دهد که مطابق با گفته‌های Miner و همکارانش (Miner *et al*., 1997) بود و تنها کاربرد قارچ گلوموس اینترارادیسز و ۸ گرم در کیلوگرم زئولیت در خاک توانست بیش‌ترین میزان مواد جامد محلول را تولید کند که در مورد اسیدیته کل نیز مانند مواد جامد محلول همین امر مشاهده شد و تنها کاربرد ۱۲ گرم در کیلوگرم زئولیت در خاک و عدم استفاده از قارچ توانست بیش‌ترین میزان اسیدیته را تولید کند.

مزایای همزیستی با قارچ میکوریز بر کیفیت فتوشیمیایی توت فرنگی با افزایش سطح کل آنتوسیانین ها، فلاونوئیدها و پلی فنل ها در پژوهش‌های قبلی گزارش شده است که در تایید با نتایج این پژوهش می‌باشد (Chiomento *et al*., 2019). پویایی این میکروارگانیسم ها در متابولیسم ثانویه گیاه منجر به افزایش بیوسنتز فیتوکمیکال‌ها می‌شود که در طول برقراری همزیستی بین میکوریز و گیاه، کلونیزاسیون میکوریز باعث استرس میزبان می‌شود که به عنوان یک پاسخ دفاعی به کلونیزاسیون میکوریزا، گیاه متابولیسم ثانویه خود را فعال می‌کند که مسئول تولید بیومولکول های محافظ مانند آنتوسیانین ها، فلاونوئیدها و پلی فنول‌ها است (Chiomento *et al*., 2019).

در این پژوهش اثرات مثبت قارچ‌های میکوریز روی تجمع برگی عناصر غذایی همچون نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن و روی در گیاهان همزیست نسبت به گیاهان غیر همزیست مشاهده شد. همان طور که در نتایج بیان شد، تیمارهای میکوریزی میزان عنصر فسفر را در گیاهان همزیست نسبت به گیاهان غیر همزیست افزایش دادند و مشخص شد که قارچ میکوریزی گلوموس اتونیکاتوم نسبت به قارچ شاهد و قارچ گلوموس اینترارادیسز به طور معنی‌داری بهتر ظاهر شد. به نظر می‌رسد که افزایش جذب عناصر غذایی مانند فسفر به دلیل انتشار از طریق میسلیوم‌های میکوریزایی مرتبط با بافت‌های درونی ریشه و تشکیل یک سیستم جذب اضافی مکمل سیستم ریشه‌ای گیاه باشد که بهره‌برداری از حجم بیشتر خاک را ممکن می‌سازد که ریشه‌های تغذیه‌کننده به آن دسترسی ندارند (Alizadeh, 2007) . آنزیم فسفاتاز می‌تواند استرها و انهیدریدهای فسفریک اسید را کاتالیز کند. این آنزیم همچنین به صورت مستقیم در جذب فسفر به وسیله گیاه دخیل است. پیشنهاد شده است که آنزیم فسفاتاز ممکن است با رشد و توسعه قارچ در درون بافت میزبان همراه باشد (Begum *et al*., 2021). بهبود جذب فسفر توسط قارچ‌های میکوریز معمولاً به عنوان مهم‌ترین سودمندی این میکروارگانیزم در جذب عناصر غذایی عنوان شده است و وضعیت فسفر گیاه اغلب به عنوان عامل کنترل‌کننده اصلی ارتباط قارچ و گیاه عنوان شده است (Koide & Kabir, 2000).

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-11]

پیشنهاد شده است که میسیلیوم های خارجی قارچ میکوریز در شرایط کمبود می‌توانند کمک قابل‌توجهی به میزان ۶۰٪ در تغذیه روی به گیاه میزبان بدهند که این نکته در شرایط خاک‌های آهکی که با مشکل جذب عناصر غیر متحرکی مثل روی مواجه است، حائز اهمیت است. همچنین قارچ‌های میکوریز همان گونه که جذب فسفر را بهتر می‌کنند از طریق مکانیسم دیگری باعث بهبود جذب روی می‌شوند (Liu *et al*., 2000).

گونه‌های مختلف قارچ میکوریز توانایی متفاوتی در جذب عنصر آهن نشان می‌دهند، به نظر می‌رسد قارچ‌های میکوریز از طریق ترشح انواعی از سیدروفورها و کلات کردن آهن جذب و انتقال آهن را افزایش می‌دهند (Caris & Hordt, 1998). نتایج این بررسی نیز نشان داد که قارچ گلوموس اتونیکاتوم سبب افزایش معنی دار و قارچ گلوموس اینترارادیسز سبب کاهش غیر معنی دار جذب کل آهن گشته است.

نتایج این پژوهش نشان داد دیگر عناصر پر مصرف مانند نیتروژن و پتاسیم در تیمارهای میکوریزی به طور معنی‌داری بالاتر از گیاهان شاهد بودند. بیان شده است که گسترش هیف های خارجی قارچ‌های میکوریز بر روی سطح ریشه گیاه میزبان درون خاک منجر به افزایش سطح ریشه و در نهایت افزایش جذب عناصر پر مصرف در اطراف ناحیه جذب می‌شود (Baghaie *et al*., 2019). افزایش میزان جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم توسط دیگر پژوهشگران گزارش شده‌است (Begum *et al*., 2021).

نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که مقدار عناصر معدنی شامل نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن و روی به طور قابل‌توجهی از طریق کاربرد زئولیت افزایش یافت و با کاربرد ۴ گرم در کیلوگرم زئولیت در خاک افزایش معنی‌داری در همه عناصر غذایی مورد نظر ایجاد شد. این موضوع نشان می‌دهد که نگهداری ظرفیت کاتیون‌هایی مانند آمونیوم و عناصر غذایی گیاهی از طریق زئولیت به وسیله جذب در محل خلل و فرج‌های خود و از طریق ظرفیت تبادل کاتیونی انجام می‌شود (Choo *et al*., 2020).

پیشنهاد شده است که زئولیت ها توانایی جذب سطحی یون پتاسیم از کودهای شیمیایی و کاهش آبشویی را همچون کودهای پتاسیمی کند رها شونده را دارا می‌باشند. بهبود در بسیاری از ویژگی‌ها در این مطالعه ممکن است به افزایش مقدار پتاسیم خاک نسبت داده شود. همچنان نشان داده شده است که پتاسیم نقش‌های مهمی در پایداریpH ، تنظیم اسمزی، فعالیت آنزیم ها، فتوسنتز، سنتز پروتئین، طویل شدن سلولی، باز شدن روزنه‌ها و انتقال آوندی دارد (Marschner & Dell, 1994). همچنین با توجه به این که زئولیت مورد استفاده از نوع پتاسیم‌دار بود و بخش قابل‌توجهی از آن را پتاسیم تشکیل می‌دهد (حدود ۳ درصد) بنابراین مصرف زئولیت در خاک علاوه بر افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی، جذب رطوبت و جلوگیری از آبشویی نیتروژن می‌تواند نقش قابل‌توجهی در تأمین بخشی از پتاسیم مورد نیاز گیاه داشته باشد (Kosmidis *et al*., 2018; Assimakopoulou *et al*., 2020).

نتایج این پژوهش نشان داد که کلنیزاسیون ریشه در تمام گیاهان همزیست انجام شد. درصد بالای کلنیزاسیون میکوریزی به طور مستقیم وابسته به جذب بهتر عناصر غذایی، افزایش میزان کلروفیل کل، افزایش در نرخ فتوسنتزی و تعرق می‌باشد (Rajasekaran & Nagarajan, 2005). در پژوهشی، Hosseini (Hosseini, 2013) گزارش کرد که در تلقیح پایه‌های مختلف رویشی سیب، *G. versiform* بیشتر از گونه‌های قارچی دیگر میسیلیوم خارجی تولید کرد و بهتر از دو قارچ *G. intraradices* و *G. etunicatum* با پایه‌ها همزیست شد. در بین قارچ‌های میکوریزی بیش‌ترین کلنیزاسیون به قارچ گلوموس اتونیکاتوم اختصاص یافت. در گیاهان شاهد درصد ناچیزی از همزیستی مشاهده شد که ممکن است به دلیل قارچ‌های احتمالی موجود در خاک باشد، همچنین کلنیزاسیون کمتر گیاهان شاهد می‌تواند تأییدی بر کمتر بودن قارچ‌های بومی در خاک مورد آزمایش باشد.

نتیجه‌گیری

به عنوان نتیجه‌گیری کلی ثابت شد که همزیستی گیاهان توت‌فرنگی با قارچ‌های میکوریز آربوسکولار، سبب بهبود بیشتر صفت‌های اندازه‌گیری شده در گیاهان همزیست با این قارچ شد. قارچ‌های میکوریز با افزایش جذب عناصر غذایی سبب بهبود ویژگی‌های فوق شدند. بنابراین همان‌گونه که در نتایج نیز نشان داده شد استفاده از قارچ‌های میکوریز می‌تواند کمک فراوانی به رشد توت‌فرنگی در خاکهایی با pH بالا بکند. کاربرد زئولیت تا حدودی توانست سبب بهبود ویژگی‌های اندازه‌گیری شده شود اما در مقایسه با کاربرد قارچ‌های میکوریز تأثیر آن کم بود. مشخص شد که واکنش گیاهان توت‌فرنگی نسبت به قارچ‌های

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-11]

همزیســـت در رابطه با پارامترهای ذکرشـــده متفاوت بود و به طور کلی قارچ گلوموس اتونیکاتوم بیشـــتر از قارچ گلوموس اینترارادیسز مؤثر واقع شد. در رابطه با زئولیت نیز، کاربرد ۴ گرم در کیلوگرم زئولیت در خاک نسبت به ۳ سطح دیگر آن تأثیر بیشتری داشت؛ بنابراین انتخاب بهترین سطوح زئولیت کاربردی و همزیست کردن آن‌ها با گونه مناسبی از قارچ‌های میکوریز می‌تواند سبب به حداقل رساندن استفاده از کودهای شیمیایی و افزایش کیفی و کمی محصولاتی همچون توت‌فرنگی شود و مشکلات ناشی از کشت این گیاهان را در خاک‌های آهکی کاهش دهد، مشکلاتی از جمله کم تحرک بودن عناصر غذایی به ویژه عناصر کم مصرف که منجر به کاهش کمی و کیفی محصولات باغی در کشور شده است. به‌طور کلی کاربرد ۴ گرم در کیلوگرم زئولیت در خاک و قارچ گلوموس اتونیکاتوم می‌تواند سبب افزایش ویژگی‌های کمی و کیفی توت فرنگی رقم آروماس شود.

منابع References

Abbas, T., Rizwan, M., Ali, S., Adrees, M., Mahmood, A., Zia-ur-Rehman, M. and Qayyum, M. F. (2018). Biochar application increased the growth and yield and reduced cadmium in drought stressed wheat grown in an aged contaminated soil. Ecotox. *Ecotoxicology and Environmental Safety, 148*, 825-833.

Abbaspour, H., Phalahian, M.R. (2008). The effect of endomycorhiza on the immune system, antioxidants and pigments of pistachio under salinity stress. *Iranian Journal of Biological Science*, *3*(2), 54-47. (In Persian).

Alizadeh, A. 2007. The effect of mycorrhizal in moisture different condition on uptake nutrition elements in Maize. *Journal of Research Agriculture, 3*(1), 101-108.

AOAC Officioal Method. (2005). Total Monomeric Anthocyanin Pigment Content of Fruit Juices, Beverages, Natural Colorants, and Wines. *pH Differential Method*, *37*, 1- 68.

Assimakopoulou, Dimitroulia, A., D., Kosmidis, S. and Doula, M. K. (2020). Growth, yield and nutrient status of pepper plants grown on a soil substrate with olive mill waste sludge and natural zeolite addition. *Journal of Plant Nutrition, 43*(5), 629-640.

Baghaie, A. H., Aghili, F. and Jafarinia, R. (2019). Soil-indigenous arbuscular mycorrhizal fungi and zeolite addition to soil synergistically increase grain yield and reduce cadmium uptake of bread wheat (through improved nitrogen and phosphorus nutrition and immobilization of Cd in roots). *Environmental Science and Pollution Research, 26*(30), 30794-30807.

Begum, N., Akhtar, K., Ahanger, M. A., Iqbal, M., Wang, P., Mustafa, N. S. and Zhang, L. (2021). Arbuscular mycorrhizal fungi improve growth, essential oil, secondary metabolism, and yield of tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) under drought stress conditions. *Environmental Science and Pollution Research*, *28*(33), 45276-45295.

Berruti, A., Lumini, E., Balestrini, R., and Bianciotto. V. (2016). Arbuscular mycorrhizal fungi as natural biofertilizers: let's benefit from past successes. *Frontiers in Microbiology*, *6*, 1559.

Bremner, J. M. 1996. Nitrogen-Total. In: Methods of Soil Analysis. 1085-1121. Part 3. Sparks, D.L. (ed.). SSSA Book Ser. 5. ASA and SSSA, Madison, WI.

Caris, C. and Hordt, W. (1998). Studies of iron transport by arbuscular mycorrhizal hyphae from soil to peanut and sorghum plant. *Mycorrhiza, 8*(1), 35-39.

Chiomento, J. L. T., Da Costa, R. C., De Nardi, F. S., Trentin, N. D. S., Nienow, A. A. and Calvete, E. O. (2019). Arbuscular mycorrhizal fungi communities improve the phytochemical quality of strawberry. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 94*(5), 653-663.

Chiomento, J. L. T., De Nardi, F. S., Filippi, D., Dos Santos Trentin, T., Dornelles, A., Fornari G. and Calvete, E.O. (2021). Morpho-horticultural performance of strawberry cultivated on substrate with arbuscular mycorrhizal fungi and biochar. *Scientia Horticulturae, 282*, 110053.

Choo, L. N. L. K., Ahmed, O. H., Talib, S. A. A., Ghani, M. Z. A. and Sekot. S. (2020). Clinoptilolite zeolite on tropical peat soils nutrient, growth, fruit quality, and yield of *Carica papaya* L. CV. Sekaki. *Agronomy, 10*(9), 1320.

Darzi, M., Ghalavand, A. and Rejali, F. (2008). Effect of mycorrhiza, vermicompost and phosphate biofertilizer application on flowering, biological yield and root colonization in fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). *Iranian Journal of Crop Sciences, 1*(10), 88-109. (In Persian).

Elena, D., Chira, A., Chira, L., and Savulescu, E. (2011). *Arbuscular mycorrhizae*: An overview. South-Western *Journal of Horticulture, Biology and Environment, 2*(2), 167-192.

Eprikashvili, L., Zautashvili, M., Kordzakhia, T., Pirtskhalava, N., Dzagania, M., Rubashvili, I., and Tsitsishvili, V. (2016). Intensification of bioproductivity of agricultural cultures by adding natural zeolites and brown coals into soils. *Annals of Agrarian Science, 14*(2), 67-71.

FAO, W.F.P., IFAD. (2019). The State of Food Insecurity in the World 2015. Economic growth is necessary but not sufficient to accelerate reduction of hunger and malnutrition. Rome, FAO.

Hagin, J. and Lowengart, A. (1996). Fertigation for minimizing environmental pollution by fertilizers. *Fertilizer research, 43*, 5-7.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-11]

Hoda, A.K., Ahmad, M.E., Samy, M.E.S. and Amal, M.A.N. (2011). Improved growth of salinity-stressed citrus after inoculation with mycorrhizal fungi. *Scientia Horticulturae, 130*, 624-632.

Hosseini, M. (2013). The effect of arbuscular mycorrhizal fungi on growth indices and nutrient uptake of apple vegetative rootstocks in a calcareous soil. Master Thesis. Shiraz university. 95 p. (In Persian).

Hunt, R. (1990). *Basic growth analysis: Plant Growth Analysis for Beginners*. Unwin Hyman, London, 110p.

Jalili Marandi, R. 2005. Small fruits. Jihad University Press, West Azerbaijan Branch. 297 p. (In Persian).

Jeffries, P., Gianinazzi, S. and Perotto S. (2003). The contribution of arbuscular mycorrhizal fungi in sustainable maintenance of plant health and soil fertility. *Biology and Fertility of Soils, 37*, 1-16.

Klein, B. and Perry, A. (2006). Ascorbic acid and vitamin A activity in selected vegetables from different geographical areas of the United States. *Journal of Food Science, 47,* 941-945

Koide, R.T. and Kabir, Z. (2000). Extraradical hyphae of the mycorrhizal fungus Glomus intraradices can hydrolyse organic phosphate. *New Phytologist, 148*, 511-517.

Koljajic, V., Djordjevic, N., Grubic, G. and Adamovic, M. (2003). The influence of zeolite on the quality of fresh beet pulp silages. *Journal of Agricultural Sciences (Belgrade), 48*, 77-84.

Kormanik, P.P. and McGraw, A.C. (1982). *Quantification of Vesicular arbuscular Mycorrhizae in Plant Roots*. In Methods and Principles of Mycorrhizal Research. Ed. N. C. Schenck. The American Phytopathological Society. pp. 37-36.

Kosmidis, S., Doula, M.K., Assimakopoulou A., Kolovos, C., Troyanos, Y., Papadopoulos, A., and Kostopoulos, P. (2018*). Pepper cultivation on a substrate consisting of soil, natural zeolite and olive mill waste Sludge-Changes in soil properties*. In 6th International Conference on Sustainable Solid Waste Management, Naxos Island, Greece (pp. 13-16).

Ledesma, N. A., Nakata, M., and Sugiyama, N. (2008). Effect of high temperature stress on the reproductive growth of strawberry cvs.'Nyoho'and 'Toyonoka'. *Scientia Horticulturae, 116*(2), 186-193.

Liu, A., Hamel, C., Hamilton, R.I., Ma, B.L., and Smith, D.L. (2000). Acquisition of Cu, Zn, Mn and Fe by mycorrhizal maize (Zea mays L.) grown in soil at different P and micronutrient levels. *Mycorrhizae, 9*, 331-336.

Lopes, J. I., Arrobas, M., Raimundo, S., Gonçalves, A., Brito, C., Martins, S., and Rodrigues, M. Â. (2022). Photosynthesis, Yield, Nutrient Availability and Soil Properties after Biochar, Zeolites or Mycorrhizal Inoculum Application to a Mature Rainfed Olive Orchard. *Agriculture, 12*(2), 171.

Marschner, H. and B. Dell. (1994). Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. *Plant and Soil, 159*(1), 89-102.

Milošević, T., and Milošević, N. (2012). Response of young apricot trees to natural zeolite, organic and inorganic fertilizers. *Plant, Soil and Environment, 59*(1), 44-49.

Miner, G.S., Poling, E.B., Carroll, D.E., Nelson, L.E., and Campbell, C.R. (1997). Influence of fall nitrogen and spring nitrogen- potassium applications on yield and fruit quality of Chandler strawberry. *Journal of the American Society for Horticultural Science, 122*, 290-295.

Neripendra, V.S., K.S. Sanjay, K.S. Anad, T.M. Deodas, S.S. Sachin, and Dweijesh, C.M. (2012). Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) induced hardening of micropropagated pomegranate (*Punica granatum* L.) plantlets. *Scientia Horticulturae, 136*, 122-137.

Parada, J., T. Valenzuela, F. Gómez, G. Tereucán, S. García, P. Cornejo, and Ruiz, A. (2019). Effect of fertilization and arbuscular mycorrhizal fungal inoculation on antioxidant profiles and activities in Fragaria ananassa fruit. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 99*(3), 1397-1404.

Qolizadeh, A., Isfahani, M., and Azizi, M. (2006). Study of the effects of water stress along with the application of natural zeolite on the quantitative and qualitative characteristics of safflower. *Applied Field Crops Research, 73*, 102-96. (In Persian).

Rajasekaran, P. and Nagarajan, S.M. (2005). Effect of dual inoculation (AM fungi and Rhizobium) on chlorophyll content of Vigna unguiculata L. *Mycorrhiza News, 17*, 10-11.

Rasouli, F., Amini, T., Asadi, M., Hassanpouraghdam, M. B., Aazami, M. A, Ercisli, S., and Mlcek, J. (2022). Growth and Antioxidant Responses of Lettuce (*Lactuca sativa* L.) to Arbuscular Mycorrhiza Inoculation and Seaweed Extract Foliar Application. *Agronomy, 12*(2), 401.

Tobar, R., Azcon, R., and Barea, J.M. (1994). The improvement of plant N acquisition from an ammonium-treated, drought-stressed soil by the fungal symbiot in arbuscular mycorrhizae. *Mycorrhizae, 4*, 105-108

Vosnjak, M., Likar, M., and Osterc, G. (2021). The Effect of Mycorrhizal Inoculum and Phosphorus Treatment on Growth and Flowering of Ajania (Ajania pacifica (Nakai) Bremer et Humphries) Plant. *Horticulture, 7*(7), 178.

Wang, M., Christie, P., Xiao, Z., Wang, P., Lio, J., and Xia, R. (2008). Arbuscular mycorrhizal enhancement of iron concentration by Poncirus trifoliate L. Raf and Citrus reticulata Blanco grown on sand medium under different pH. *Biology and Fertility of Soils, 45*, 65-72.

Watanabe, F.S., and Olsen, S.R. (1965). Test of an ascorbic acid method for determining phosphorus in water and NaHCo3 exteracts from soil. *Soil Science Society of America Journal, 29*(6), 677-678.

Zaidi, A., M. Saghir Khan, and M.D. Amil. 2003. Interactive effect of rhizotrophic microorganisms on yield and nutrient uptake of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *European Journal of Agronomy, 19*, 15-21.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-11]

Iranian Journal of Horticultural Science and Technology 25 (1): 163-178 (2024)
Research article

Interaction of Mycorrhizal Fungi and Natural Zeolite on Growth, Yield and Mineral Elements of Strawberry (Aromas Cultivar)

Saeid Eshghi*, Mina Esfandyari, and Sajad Mirmoghadam, Zahra Afifipour
Department of Horticulture, University of Shiraz, Iran
* Corresponding Author, Email: (Eshghi@shirazu.ac.ir)

Soils that have low fertility and calcareous, vegetative and reproductive growth of plants, including strawberries, are limited in these soils. For this reason, natural minerals such as zeolite are used to improve the physical and chemical properties of soil. To investigate the effect of mycorrhiza and zeolite on growth, yield and content of mineral elements of Aromas strawberry plants, a factorial experiment based on a completely randomized design with 4 replications was performrd in greenhouse in 2012. The first factor consisted of three levels of mycorrhizal fungi (Glomus intraradices, Glomus etunicatum and without fungi (50 g) and the second factor included 4 levels of zeolite (0, 4, 8, 12 g kg^{-1} soil). The results showed that the highest leaf area was noticed after inoculation with G. atonicatum without zeolite with increse of 8.3% compared to the control. Additinally, the highest root fresh weight (12.83g) and the percentage of soluble solids (7.05%) related to the treatment of 8 g kg^{-1} zeolite and G. intraradices. The highest fruit weight was related to the interaction of G. atonicatum and 12 g kg^{-1} zeolite in soil (13.44 g). *G. atonicatum* caused a significant increase of 20.2% and *G. intraradicus* increased the yield by 15.7% compared to the control treatment without fungus application. The highest total potassium uptake was found after application of 4 g kg^{-1} zeolite and G. intraradicus. The highest rate of root colonization was recorded in the treatment of 8 g kg^{-1} zeolite and G. atonicatum. In general, 4 g kg^{-1} zeolite in soil and 50 g G. atonicatum had the greatest effect on strawberry yield and the other measured properties.

Keywords: Calcareous soils, Glomus atonicatum, Mineral element uptake, Strawberry, Zeolite.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-11]