تاریخ چاپ: زمستان ۱۳۹۰

تأثیر اکتومیکوریز بر غلظت عناصر غذایی کلسیم، منیزیم، پتاسیم، فسفر، آهن، سدیم، روی، منگنز و مس پسته رقم بادامی در غلظت‌های متفاوت منیزیم

*سکینه بهرامی سیرمندی، علی احمدی مقدم: دانشگاه شهید باهنرکرمان، دانشکدهٔ علوم
سید جواد حسینی‌فرد: مرکز بین المللی تحقیقات پسته، رفسنجان

چکیده

تحقیقات متعددی برای ایجاد همزیستی اکتومیکوریز در شرایط آزمایشگاهی روی محتوای عناصر غذایی گیاهان انجام شده است. با وجود این در مورد آثار اکتومیکوریز روی محتوای عناصر غذایی گیاه پسته رقم بادامی هنگامی که گیاهان میکوریزی و بدون میکوریز در معرض تیمارهای متفاوت منیزیم قرار می‌گیرند، تحقیقاتی انجام نشده است. برای بررسی نقش اکتومیکوریز در مقاومت به زیادی منیزیم، گیاهان پسته رقم بادامی میکوریزی شده و بدون میکوریز در شرایط آزمایشگاهی رشد کردند و با تیمارهای متفاوت منیزیمی (سولفات منیزیم) که در محلول غذایی هوگلند با غلظت۱/۲ آماده شده بودند، تیمار شدند. درصد آغشتگی به قارچ *آگاریکوس بیس‌پروس*[1] و محتوای عناصر غذایی در ریشه و اندام هوایی اندازه‌گیری و از لحاظ آماری با هم مقایسه شدند. نتایج نشان داد که آغشتگی ریشه به قارچ‌های اکتومیکوریزی با افزایش منیزیم، افزایش یافت. محتوای کلسیم، فسفر، پتاسیم، آهن، سدیم، منگنز، روی و مس در گیاه میکوریزی نسبت به بدون میکوریزی افزایش داشت. در تیمارهای با غلظت پایین‌تر منیزیم، محتوای پتاسیم، آهن، منگنز، روی و مس در گروه میکوریزی نسبت به گروه بدون میکوریزی کاهش نشان داد.

مقدمه

۶۰۰۰ گونه از قارچ‌های شرکت کننده در همزیستی اکتومیکوریزی وجود دارد که با ریشه همزیست می‌شوند و غلاف قارچی و شبکه هارتیگ را در ریشه ایجاد می‌کنند و در همزیستی با گیاه در جذب آب و مواد غذایی نقش دارند [۱۹]. آزمایش‌های متعددی برای القا میکوریز و بررسی آثار آن روی رشد گیاهان مختلف انجام شده است و درجه‌های متعدد و متنوعی از رشد و آغشتگی و جذب مواد و انتقال آن به گیاه میزبان مشاهده شده است [۹]. تنوع آغشتگی قارچ اکتومیکوریز به ریشه، نوع میزبان و قارچ همزیست مرتبط است [۶] همزیستی اکتومیکوریزی از طریق ترشح کلات‌ها و حرکت مواد غذایی به طرف گیاه یعنی جذب عناصری مثل ازت، فسفر، پتاسیم و آهن در شرایط تنش‌زا رشد و مقاومت گیاه میزبان را فراهم می‌کند. دربارهٔ جذب منیزیم و کلسیم

واژه‌های کلیدی: همزیستی، پسته بادامی، زیادی منیزیم، عناصر غذایی.
دریافت ۸۹/۳/۳۱ پذیرش ۹۰/۵/۲۵
*نویسنده مسئول

۱. *Agaricus bisporus*

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

با هیف‌های خارجی اکتومیکوریز اطلاعات محدودی وجود دارد و تحقیقات نشان داده است که همزیستی اکتومیکوریز می‌تواند غلظت منیزیم را در بافت گیاهی افزایش و یا کاهش دهد و یا تحت تأثیر قرار ندهد [۷]. بررسی‌های محدودی نشان داده است که هیف‌های خارجی در جذب منیزیم و کلسیم نقش مهمی دارد ولی هنوز مکانیسم‌های جزئی آن شناخته نشده است [۱۳]. از آن‌جا که به‌طور کلی جذب موادغذایی به‌وسیلهٔ سیستم اکتومیکوریزی به ژنتیک هر دو قارچ و گیاه بستگی دارد و هر کدام، ویژگی‌های فیزیولوژیکی مخصوص به خود را دارند؛ در این بررسی پستهٔ رقم بادامی با قارچ *آگاریکوس بیس‌پروس* همزیست شدند و اثر این همزیستی روی رشد و جذب برخی از عناصر غذایی تحت غلظت‌های متفاوت منیزیم در گیاهان میکوریزی و بدون میکوریزی اندازه‌گیری شد.

مواد و روش‌ها

ابتدا قارچ *آگاریکوس بیس‌پروس* از باغ‌های پسته در منطقه رفسنجان جمع‌آوری شد و سپس در محیط کشت ملین- نورکرانس آگار (MMN) شامل: $CaCl_2$ (۰/۰۵g)، NaCl (۰/۰۲۵g)، KH_2PO_4 (۰/۵g)، $MgSO_4$ (۰/۱۵g)، FeCl3 (۱/۲mL)، $(NH_4)_2HPO_4$ (۰/۲۵ g)، تیامین کلرید (۱۰۰ mg)، عصاره مالت (۳ g) و گلوکز (۱۰ g) رشد کرد. محیط کشت در ۱۰۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر تهیه شد و پس از اضافه کردن ۱۵ گرم آگار، اسیدیته محیط در حد ۵/۵ تنظیم شد. ظرف‌های محیط کشت پس از کشت قارچ در شرایط استریل به مدت چهار هفته در دمای معمولی اتاق قرار داده شدند تا قارچ رشد کند [۴]، [۱۴]. جوانه‌زنی پسته‌ها در شرایط استریل صورت گرفت، به این ترتیب که بذرها پس از خیس شدن در آب، به مدت ۲ هفته در دمای ۴ درجه گذاشته شدند. بذرها با محلول ۰/۵% هیپوکلرید کلسیم آغشته شدند و سپس در محلول توین یک درصد گذاشته شد و در نهایت چهار بار با آب مقطر استریل شستشه شدند. این کار دو بار تکرار شد [۴]، سپس بذرهای داخل پتری دیش استریل در دمای آزمایشگاه در تاریکی قرار داده شدند تا جوانه بزنند. پیت و پرلیت‌های استفاده شده چهار بار با آب شستشه و خشک شدند و سپس در ارلن‌های ۵۰۰ میلی‌لیتری ریخته و در دمای ۱۲۱ درجه و به مدت ۲۰ دقیقه استریل شدند. سه هفته بعد از جوانه‌زنی، گیاهک‌ها در شرایط استریل به ارلن‌های ۵۰۰ میلی‌لیتری، که حاوی پیت به مقدار ۵۴ گرم و پرلیت به مقدار ۶/۵ گرم [۹] و ۸۰ میلی‌لیتر محلول هوگلند با غلظت ۲:۱ بود، منتقل شدند. در کنار ریشهٔ گیاهک‌های موجود در نیمی از ارلن‌ها، قطعات قارچ یک اندازه (۱۰ دیسک) قرار داده شد. بعد از ۴ هفته از رشد گیاهک‌ها، تیماردهی آن‌ها، با محتوای متفاوت منیزیمی انجام شد. محتوای سولفات منیزیم مورد نظر به‌ترتیب عبارت است از :۰/۴۰، ۱/۶۱، ۳/۲۲ و ۶/۲۲ گرم در لیتر. هر دو گروه ارلن‌های که حاوی گیاهان میکوریزی و یا بدون میکوریزی هستنند به ۴ گروه با حداقل۳ تکرار تقسیم شدند. هر گروه سه‌تایی، از گیاهان میکوریزی و یا بدون میکوریز، که در محلول هوگلند با غلظت۱/۲ در آب مقطر استریل، تهیه شده است، با ۸۰ میلی‌لیتر محلول سولفات منیزیم با محتوای مذکور، هر هفته تیماردهی

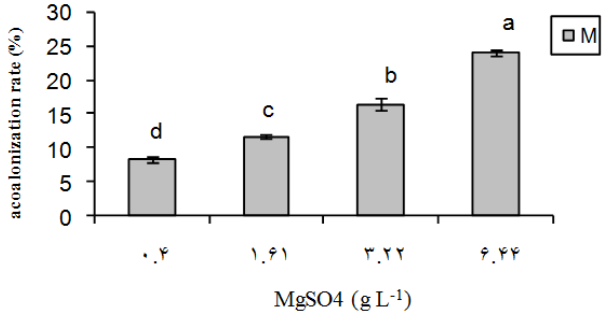
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

شدند. محلول هوگلند با غلظت ۱:۲ شامل: $CaNO_3)_2$ (۷/۳۸ mg)، $MgSO_4$ (۱/۹۷mg)، KH_2PO_4 (mg ۵۴/۵)، KNO_3 (۲۰۲mg)، سیترات آهن (۳ mg)، $CuSO_4$ (۱mg و ۰)، $ZnSO_4$ (۱mg/.)، مولیبدیک اسید (۱mg و ۰)، Na_2-EDTA (۴ mg) است [۲]. ارلن‌های محتوی گیاهان به مدت ۹ هفته در شرایط آزمایشگاهی و در زیر نور کامل قرار داده شدند. بعد از ۹ هفته رشد، درصد آغشته شدن ریشه به اکتومیکوریز و محتوای برخی از عناصر اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری درصد آغشتگی ریشه از کاغذ میلی‌متری در زیر استریوسکوپ استفاده شد. مقدار عناصر از عصارهٔ خاکستر خشک که از ریشه و اندام هوایی به‌دست آمد، اندازه‌گیری شد. بعد از این‌که نمونه‌ها (ریشه و اندام هوایی) جداگانه در کوره در دمای ۵۵۰ درجه به مدت ۶ ساعت گذاشته شد، با HCl غلیظ هضم شدند و از این عصاره به روش زرد- وانادات و با استفاده از اسپکتوفتومتر (مدل (Cecil 3041) ساخت کشور انگلستان) مقدار فسفر، منیزیم و کلسیم به روش تیتراسیون با EDTA، مقدار سدیم و پتاسیم با استفاده از فلیم فتومتر (مدل (Corning 410) ساخت کشور انگلستان) و مقدار آهن، مس، روی و منگنز با استفاده از جذب اتمی (مدل (GBC932AA) ساخت کشوراسترالیا) اندازه‌گیری شد [۱].

طراحی آزمایش به‌صورت آزمایش فاکتوریل ۲×۴ که در آن دو سطح میکوریزی و بدون میکوریزی و چهارسطح غلظت منیزیمی وجود دارد و در قالب طرح کامل تصادفی انجام و آنالیز آماری شد. آنالیز واریانس میانگین‌ها همراه با آزمون دانکن در سطح ۵ درصد صورت گرفت.

نتایج

نتایج نشان می‌دهد بیش‌ترین درصد آغشتگی ریشه به قارچ اکتومیکوریز در تیمارهای ۶/۴۴ و ۳/۲۲ گرم در لیتر سولفات منیزیم (محتوای بالای منیزیم) و کم‌ترین درصد آغشتگی در تیمارهای ۱/۶۱ و ۴/. گرم در لیتر سولفات منیزیم (کم‌ترین محتوای منیزیم) صورت گرفته است (شکل ۱).



شکل ۱. درصد آغشتگی ریشه به اکتومیکوریز در پستهٔ بادامی میکوریزی شده (M) در غلظت‌های متفاوت منیزیم. هر ستون میانگین حداقل سه تکرار و خطوط عمودی نشان دهندهٔ میانگین خطای معیار است. حروف غیریکسان نشان دهندهٔ تفاوت معنی‌دار در سطح P<۰/۰۵

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

نتایج حاصل از اندازه‌گیری عناصر غذایی پسته‌های میکوریزی و بدون میکوریز، در تیمارهای متفاوت منیزیم نشان داد که دو تیمار ۱/۶۱ و ۰/۴ گرم در لیتر سولفات منیزیم، در محتوای کلسیم (شکل‌های (a, b)۲)، منیزیم (شکل‌های (a, b)۳) و فسفر (شکل‌های (c, d)۳) هم در ریشه و هم در اندام هوایی، و سدیم در ریشه (شکل ۵b)، تفاوت معنی‌داری وجود ندارد.

در تیمار ۰/۴ گرم درلیتر سولفات منیزیم، افزایش محتوای عناصر آهن (شکل‌های (c, d)۴)، منگنز (شکل‌های (c, d)۶) و پتاسیم (شکل‌های (a, b) ۴) هم در ریشه و هم در اندام هوایی و همچنین افزایش محتوای عناصر مس (شکل ۶b) و روی (شکل ۵d) در ریشه، در پسته‌های بدون میکوریز مشاهده شده است. به‌طوری‌که میکوریزی شدن در این تیمار (۴/. گرم در لیتر سولفات منیزیم) باعث کاهش عناصر آهن، منگنز، پتاسیم هم در ریشه و هم در اندام هوایی و نیز کاهش عناصر مس و روی در ریشه شد. اما تفاوتی در محتوای عناصر مس (شکل ۶a) و روی (شکل ۵c) اندام هوایی در این تیمار (۴/. گرم در لیتر سولفات منیزیم) بین دو گروه پسته‌های میکوریزی و بدون میکوریز مشاهده نشده است.

در تیمار ۱/۶۱ گرم درلیتر سولفات منیزیم، کاهش محتوای عناصر منگنز (شکل‌های (c, d)۶) هم در ریشه و هم در اندام هوایی و کاهش پتاسیم در اندام هوایی (شکل ۴a) و همچنین کاهش روی در ریشه (شکلd ۵) در پسته‌های میکوریزی شده، مشاهده شد.

در این تیمار (۱/۶۱ گرم در لیتر سولفات منیزیم) محتوای عناصر مس (شکل‌های (a, b)۶) هم در ریشه و هم در اندام هوایی و نیز محتوای آهن (شکل ۴c) در اندام هوایی در پسته‌های میکوریزی شده، افزایش و در پسته‌های بدون میکوریز کاهش را نشان می‌دهد. اما محتوای آهن (شکل ۴d) ریشه در این تیمار (۱/۶۱ گرم در لیتر سولفات منیزیم) تفاوتی را بین دو گروه میکوریزی و بدون میکوریز نشان نداده است.

در هر دو تیمار ۴/۶۶ و ۳/۲۲ گرم در لیتر سولفات منیزیم، هم در ریشه و هم در اندام هوایی محتوای کلسیم (شکل‌های (a, b)۲)، فسفر(شکل‌های (c, d)۳)، مس (شکل‌های (a, b)۶)، روی (شکل‌های (c, d)۵) و منگنز (شکل‌های (c, d)۶) در پسته‌های میکوریزی نسبت به پسته‌های بدون میکوریز افزایش را نشان می‌دهد.

محتوای سدیم (شکل ۵a) اندام هوایی در تیمار ۶/۴۴ گرم در لیتر سولفات منیزیم، تفاوت معنی‌داری را بین گروه میکوریزی و بدون میکوریز به‌وجود آورد که افزایش این عنصر در گروه میکوریزی در اندام هوایی است ولی در ریشه (شکل ۵b)، این تیمار (۶/۴۴ گرم در لیتر سولفات منیزیم) تفاوت معنی‌داری را بین دو گروه میکوریزی و بدون میکوریز نشان نداده است.

در تیمار ۳/۲۲ گرم در لیتر سولفات منیزیم، محتوای سدیم هم در ریشه (شکل ۵b) و هم در اندام هوایی (شکل ۵a) تفاوت معنی‌داری را بین دو گروه میکوریزی و بدون میکوریز نشان نداده است.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

در هر دو تیمار ۶/۴۴ و ۳/۲۲ گرم در لیتر سولفات منیزیم، محتوای منیزیم (شکل‌های ۳(a, b)) در پسته‌های بدون میکوریز افزایش داشت و در پسته‌های میکوریزی شده هم در ریشه و هم در اندام هوایی کاهش را نشان داد.

بحث

با توجه به نتایج مشاهده شده از تأثیر اکتومیکوریز روی تغذیهٔ برخی از عناصر غذایی باید گفت که مقدار کلسیم پسته‌های میکوریزی شده در محتوای‌های زیاد منیزیم، افزایش نشان داد ولی محتوای منیزیم در اندام هوایی گیاهان میکوریزی کاهش یافته و تجمع منیزیم در ریشهٔ میکوریزی مشاهده شد. افزایش منیزیم در ریشه‌های میکوریزی نشان دهندهٔ این است که میکوریز توانسته از حرکت مقادیر زیاد منیزیم به اندام هوایی جلوگیری کند و مقدار آن را در اندام هوایی گیاه میکوریزی کاهش دهد و منیزیم را در ریسه‌های اطراف ریشه گیاه نگه‌داری کند چنان‌که افزایش منیزیم در درصد آغشتگی ریشه به اکتومیکوریز انعکاس دارد و می‌توان افزایش آغشتگی را واکنش سیستم میکوریزی برای رفع مشکل زیادی منیزیم دانست. در حالی‌که افزایش منیزیم در ریشه نسبت به اندام هوایی به‌ویژه در تیمارهای زیاد منیزیم نشان‌دهندهٔ نقش نگاه‌دارنده منیزیم به‌وسیلهٔ سیستم میکوریزی و در نتیجه مقابله گیاه با استرس افزایش منیزیم است. افزایش منیزیم باعث کاهش عناصری مانند کلسیم و پتاسیم در گیاهان غیراکتومیکوریزی می‌شود. کایاما و همکارانشان در سال ۲۰۰۵ نیز نشان دادند که منیزیم زیاد باعث کاهش رشد می‌شود و از جذب عناصری مثل کلسیم و پتاسیم جلوگیری می‌کند. منیزیم زیاد منجر به افزایش جای‌گزینی خارج سلولی کلسیم با منیزیم نیز می‌شود که پایداری دیوارهٔ سلولی و نفوذپذیری غشای سلولی را تغییر می‌دهد و همچنین از رشد ریشه جلوگیری می‌کند و در نتیجه منیزیم زیادی در میتوکندری ریشه جمع‌آوری می‌شود و مانع فعالیت آنزیم‌های مختلف می‌شود [۱۲]. میزان کم این عناصر در گیاه غیرمیکوریزی می‌تواند دلیل رقابتی باشد که این سه عنصر (کلسیم، منیزیم و پتاسیم) با هم دارند و این سه عنصر می‌توانند جای‌گاه‌های یک‌سانی از مواضع را اشغال کنند و درنتیجه افزایش منیزیم می‌تواند کمبود این عناصر را شدت بخشد [۵]. لجت و همکارانشان در سال ۱۹۹۹ در تحقیقی که روی لوبیا انجام دادند نتایجی به‌دست آوردند که با نتایج حاصل در این پژوهش هم‌خوانی دارد. آن‌ها نشان دادند که محتوای منیزیم ریشه لوبیا هنگامی که با نمک کلرید منیزیم زیاد تیمار شده بود افزایش یافت و برعکس محتوای کلسیم و پتاسیم در گیاه کاهش یافت [۱۶]. کایاما و همکارانشان در سال ۲۰۰۵ مکانیسم‌هایی پیشنهاد کردند که اکتومیکوریز برای جلوگیری از زیادی منیزم به گیاه، آن را اعمال می‌کند، و عبارتند از:۱- باند شدن به غلاف قارچی ۲- کاهش تحرک آپوپلاستی به‌عنوان نتیجه‌ای از اثر هیدروفوبیکی غلاف قارچی ۳- کلاته شدن به‌وسیلهٔ اسیدهای آلی ۴- باند شدن به مسیلیوم‌های خارجی. از طرفی این محققان نشان دادند که ریشه‌ای که ضعیف‌ترین درصد آغشتگی را داشته باشد میزان منیزیم در گیاه میزبان را افزایش می‌دهد [۱۲]. در تحقیق حاضر مشخص شد که محتوای

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

کلسیم در اندام هوایی و ریشه گیاهان میکوریزی نسبت به گیاهان بدون میکوریزی افزایش یافته است. این وضعیت احتمالاً نتیجهٔ دخالت اکتومیکوریز در افزایش مواد غذایی در گیاه میزبان در شرایط استرس‌زا است. جنت چک و همکارانشان در سال۲۰۰۰ نشان دادند که اکتومیکوریز هیف خارجی را تولید می‌کند و این هیف خارجی باعث انتقال کلسیم به گیاه میزبان می‌شود [۱۰]. به هر حال باید گفت اطلاعاتی که نشان دهندهٔ مکانیسم اثر ریشهٔ میکوریزی شده روی محتوای منیزیم، پتاسیم و کلسیم باشد محدود است [۱۲]. در این تحقیق *آگاریکوس بیس‌پروس* سویه صورتی محتوای کلسیم را در محتوای زیاد منیزیم افزایش داده است. بدیهی است که کلسیم برای بسیاری از واکنش‌ها لازم است و در تقسیم سلولی و رشد و ساخته شدن غشا و دیوارهٔ سلولی نقش مهمی را بازی می‌کند. اکتومیکوریز جذب کلسیم را بالا می‌برد در حالی‌که کمبود کلسیم با تغییر در نفوذپذیری غشای پلاسمایی توانایی آن برای نفوذ یون‌ها را کم می‌کند. در گیاه بدون میکوریزی به‌دلیل اثر رقابتی پتاسیم با منیزیم به‌ویژه در غلظت‌های زیاد منیزیم، میزان جذب پتاسیم کاهش می‌یابد. چون غلظت منیزیم در محیط ریشه زیاد است بر جذب پتاسیم به‌وسیلهٔ گیاه اثر می‌گذارد و باعث نزول پتاسیم در گیاه می‌شود در حالی‌که گیاه میکوریزی می‌تواند با کمک سیستم میکوریزی از نفوذ منیزیم زیاد به اندام هوایی جلوگیری کند این وضعیت در نتایج حاصل از این تحقیق منعکس است. اکتومیکوریز پتاسیم گیاه را افزایش داده و این امر می‌تواند از سویی، باعث افزایش تولید ATP و احتمالاً باعث افزایش فتوسنتز شود زیرا کمبود پتاسیم می‌تواند ظرفیت فتوسنتز را کاهش دهد [۵]، [۳]. کایاما و همکارانشان در سال ۲۰۰۵ نشان دادند که وقتی درصد آغشتگی گیاه ضعیف باشد محتوای کلسیم و پتاسیم و فسفر آن کاهش می‌یابد و همچنین نشان دادند که جذب پتاسیم به‌وسیلهٔ گیاه *پیسهٔ ژزوئنیس*[۱] در شرایطی که منیزیم زیاد باشد محدود می‌شود. در تحقیقی که آن‌ها انجام دادند غلظت پتاسیم در ریشه گیاه *پیسهٔ گلنی*[۲] خیلی بیش‌تر بود زیرا درصد آغشتگی بالاتری را نسبت به *پیسهٔ ژزوئنیس* نشان داده بود [۱۲]. نتایج تحقیق مذکور با دست‌آوردهای تحقیق حاضر مطابقت دارد. در این آزمایش میزان فسفر نیز در گیاهان میکوریزی نسبت به گیاهان بدون میکوریزی افزایش نشان داده است. جنت چک و همکارانشان در سال ۲۰۰۰ نشان دادند که اکتومیکوریز به‌واسطهٔ میسیلیوم‌های خارجی‌اش جذب و انتقال عناصری مثل پتاسیم و فسفر را به میزبان انتقال می‌دهد [۱۰]. کایاما و همکارانشان در سال ۲۰۰۵ نشان دادند که گیاهان اکتومیکوریزی که درصد آغشتگی کم و یا ضعیفی دارند در شرایطی که محتوای منیزیم زیاد باشد مقدار فسفر و پتاسیم در ریشه آن‌ها کم می‌شود. این محققان نقش اکتومیکوریز را با افزایش میزان مواد غذایی به میزبان نشان دادند [۱۲] و این نتایج نیز تأییدی است بر نتایجی که در این تحقیق به‌دست آمده است. در تحقیق حاضر، مقدار فسفر و پتاسیم بالا در گیاه میکوریزی نشان دهندهٔ این است که میکوریز رشد و متابولیسم را افزایش داده تا به مقاومت گیاه کمک کند. مارتین و همکارانشان در سال ۱۹۹۷ نشان دادند که اکتومیکوریز به‌وسیلهٔ افزایش فسفر در گیاه *کاستانیا ساتیوا*[۳] فتوسنتز را بالا برده است [۱۷]. والاندر در سال ۲۰۰۰ نشان داد اکتومیکوریز تغییرات شیمیایی در

۱. *Picea jezoenesis* ۲. *Picea glehni* ۳. *Castanea sativa*

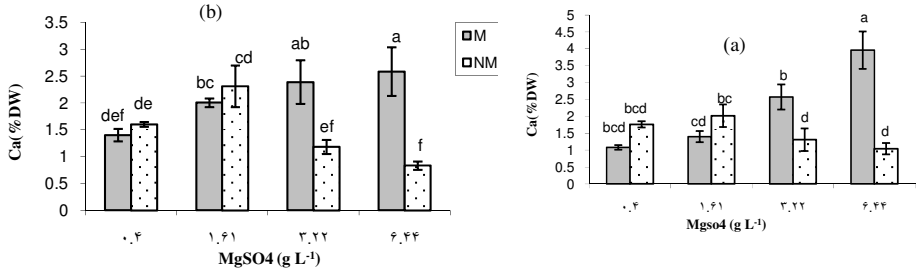
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

ریزوسفر ایجاد می‌کند که شامل اسیدی شدن و تولید شلاته‌های فلزی به‌وسیلهٔ ریشه‌های اکتومیکوریزی است، و باعث افزایش حلالیت فسفر غیرآلی و در نتیجه جذب و انتقال آن به گیاه میزبان می‌شود [۲۰]. در این تحقیق مقدار فسفر در گیاه بدون میکوریزی کاهش یافت و این امر ممکن است ناشی از تشکیل ترکیب فسفات منیزیم باشد که در محیط پرلیت رسوب کرده است و از جذب فسفر به گیاه جلوگیری می‌کند. با اندازه‌گیری آهن در گیاه بدون میکوریزی نشان داده شد که مقدار این عنصر در اندام هوایی و ریشه کاهش یافته است [۵]. در این باره که، با وجود آهن در محیط رشد، گیاهان بدون میکوریزی نتوانستند آهن لازم را برای خود تأمین کنند احتمال‌های متعددی مطرح است که از آن جمله شاید غیرمحلول شدن آهن و یا ترکیب شدن با بنیان‌های شیمیایی و غیرمتحرک شدن و یا رقابت با سایر عناصر باشد، این از جمله مواردی است که نیاز به تحقیقات بیش‌تری دارد. مارس چنر و دل در سال ۱۹۹۴ نشان دادند که اکتومیکوریزها سیدرفورهایی تولید می‌کنند که تمایل ریشه را برای جذب آهن در شرایط استرس‌زا فراهم می‌کنند [۱۸]. با افزایش منیزیم اثر رقابتی پتاسیم می‌تواند کاهش یابد و سدیم در گیاه زیاد شود؛ ولی میزان سدیم در اندام هوایی میکوریزی شده در تیمارهای کم‌تر منیزیم کاهش، و در ریشه افزایش نشان داد. به نظر می‌رسد که اکتومیکوریز قادر است سدیم را در هیف‌ها و میسیلیوم‌های خود نگه‌داری کند. این وضعیت یعنی تجمع سدیم در ریشه‌های پسته با همزیستی میکوریزی وزیکولار- آربوسکول نیز نشان داده شده است [۲]. با این حال باید در تحقیقات بیش‌تر این مطلب روشن شود که آیا سدیم مازاد بر نیاز در میسیلیوم قارچ جمع می‌شود و یا در بافت‌های ریشه؟ در تحقیق حاضر محتوای منگنز در گیاه میکوریزی نسبت به گیاهان بدون میکوریزی افزایش چشم‌گیری نشان می‌دهد. در گیاه بدون میکوریزی میزان این عنصر در محتوای‌های زیادتر منیزیم کاهش بیش‌تری نشان داده است. در واقع این امر می‌تواند به‌علت اثر رقابتی منیزیم و منگنز و این که جذب منگنز تحت تأثیر منیزیم است، باشد. در گیاهان بدون میکوریزی مقدار منگنز کاهش پیدا کرد. باید گفت که بافت‌های مریستمی به این عنصر نیاز دارند و نیز منگنز در فتولیز آب یک قسمت اصلی از دهندهٔ الکترون در فتوسیستم Π است [۳]. افزایش منگنز در گیاه میکوریزی شده گویای تأثیر زیاد و نقش مثبت آن در گیاه است که با نتایج به‌دست آمده به‌وسیلهٔ میلر و ردلف در سال ۱۹۸۶ مطابقت می‌کند. آن‌ها نشان دادند که در همزیستی گیاه پینوس ویرجینیانا[۱] با اکتومیکوریز محتوای منگنز و روی در ریشه و اندام هوایی گیاهان میکوریزی افزایش می‌یابد [۱۱]. غلظت عنصر روی در گیاهان میکوریزی نسبت به گیاهان بدون میکوریزی در محتوای‌های بالاتر منیزیم افزایش یافته است. این امر می‌تواند در اثر رقابتی که بین منیزیم و عنصر روی رخ داده به وجود آید. در مورد مس هم به همین منوال است که اثر رقابتی بین دو عنصر باعث می‌شود که منیزیم بالا باعث کاهش مس در گیاه غیرمیکوریزی شود این امر به‌وسیلهٔ محققان دیگر نیز تایید شده است [۶]. همچنین اثرات مثبت القا قارچ‌های *پیسو لیتوس تنکتوریس*[۲] و *سولیوس بوینس*[۳] با گیاه سپروس[۴] بر روی جذب میکروالمنت‌هایی مثل مس و روی نشان داده شده است [۷]. به‌طور کلی همزیستی قارچ آگاریکوس بیسپورس[۵] با

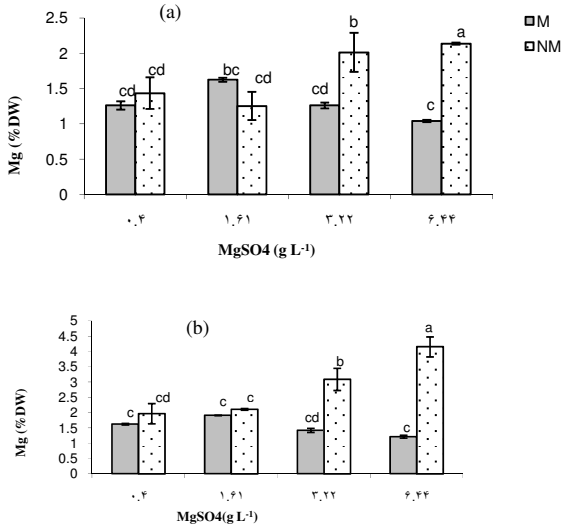
۱. *Pinus virginiana* ۲. *Pisolithus tinctorius* ۳. *Sullius bovines* ۴. Spruce
۵. *Agaricus bisporus*

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

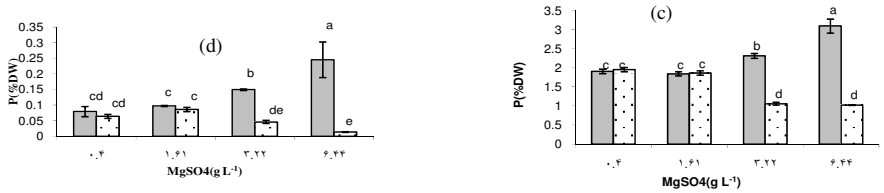
پسته بادامی در محتوای پایین منیزیم اکثراً باعث کاهش محتوای برخی عناصر در پسته‌های میکوریزی نسبت به پسته‌های بدون میکوریز شده است. احتمالاً به این دلیل است کـه در پسته‌های بدون میکوریـز این مقدار منیزیم تا حـدودی نیاز گیاه را برطرف کرده و شرایط تنش‌زایی را موجب نشده است. ولی در پسته‌های بادامی میکوریزی محتوای پایین منیزیم، اگر چه نیاز کافی را برای گیاه فراهم کرده است ولی چون گیاه انرژی زیادی را برای این همزیستی هزینه کرده است به همین دلیل، گیاه باید ۱۰ تا ۲۰ درصد فتوسنتز خالص خود را صرف تشکیل این همزیستی کند. قارچ نیاز بالایی به کربوهیدرات دارد و در نهایت باعث کاهش عناصر در گیاه شده است. با توجه به مطالب بالا می‌توان توضیح داد که ایجاد همزیستی اکتومیکوریزی مستلزم صرف انرژی است اما از آن‌جا که ایـن رابطه به سود دو طرف است دوام می‌یابـد و بـه‌ویژه گیاه تا حـد زیادی از حالت تنش خارج مـی‌شود. اگر چه آغشتگی اکتومیکوریزعمدتاً رشد میزبان را افزایش می‌دهد ولی پاسخ میزبان به جذب مواد غذایی به نوع قارچ میکوریزی و فاکتورهایی مثل شرایط تغذیه‌ای، محیط زندگی میزبان و کیفیت همزیستی میکوریز و نوع گیاه میزبان بستگی دارد [۱۹]، [۷].



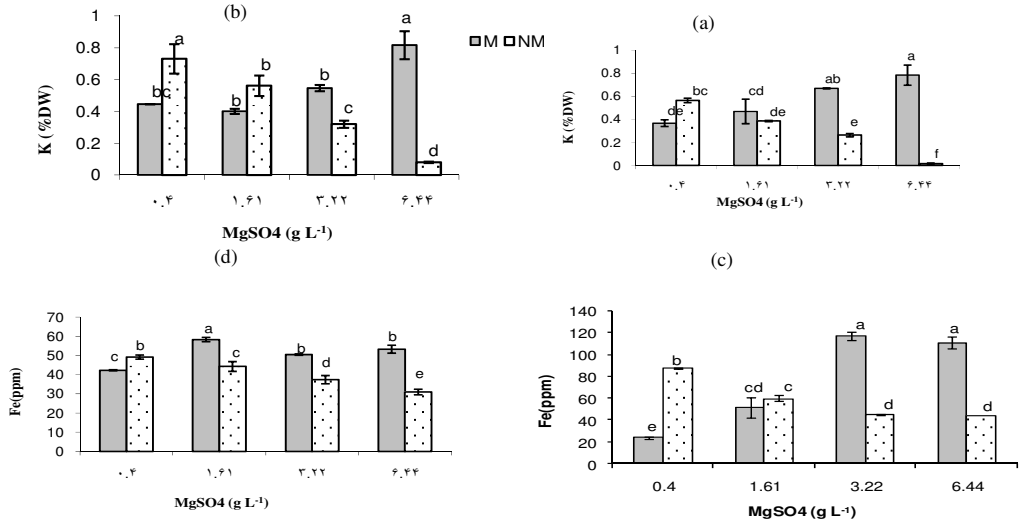
شکل ۲. تغییرات محتوای کلسیم در اندام هوایی (a) و ریشه (b) پسته بادامی در غلظت‌های متفاوت منیزیم در حضور میکوریز (M) و بدون میکوریز (NM). هر ستون میانگین سه تکرار و خطوط عمودی نشان دهندهٔ خطای معیار است. حروف غیریک‌سان نشان دهندهٔ تفاوت معنی‌دار در سطح P<۰/۰۵.



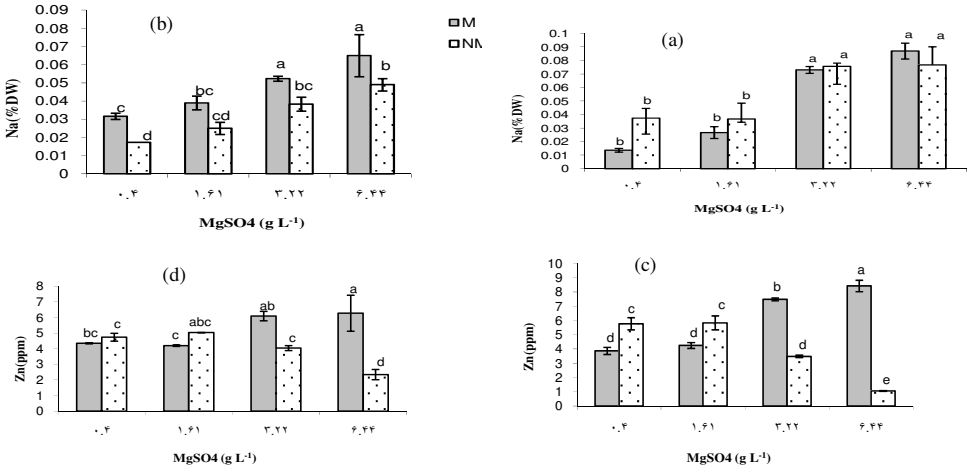
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]



شکل ۳. تغییرات محتوای منیزیم در اندام هوایی (a) و ریشه (b) و فسفر در اندام هوایی (c) و ریشه (d) پسته بادامی در غلظت‌های متفاوت منیزیم در حضور میکوریز (M) و بدون میکوریز (NM). هر ستون میانگین سه تکرار و خطوط عمودی نشان‌دهندهٔ خطای معیار است. حروف غیریک‌سان نشان‌دهندهٔ تفاوت معنی‌دار در سطح P<۰/۰۵.

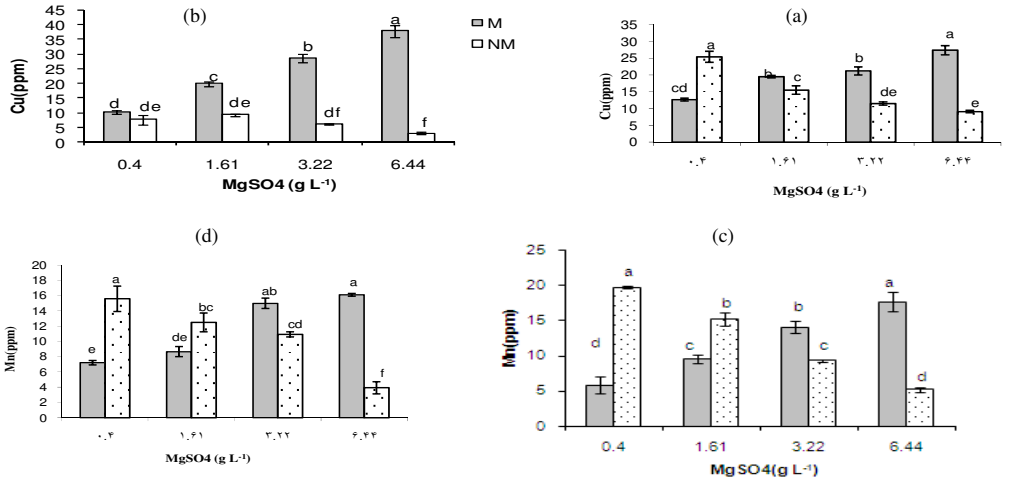


شکل ۴. تغییرات محتوای پتاسیم در اندام هوایی (a) و ریشه (b) و آهن در اندام هوایی (c) و ریشه (d) پسته بادامی در غلظت‌های متفاوت منیزیم در حضور میکوریز (M) و بدون میکوریز (NM). هر ستون میانگین سه تکرار و خطوط عمودی نشان‌دهندهٔ خطای معیار است. حروف غیریک‌سان نشان‌دهندهٔ تفاوت معنی دار در سطح P<۰/۰۵.



[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

شکل ۵. تغییرات محتوای سدیم در اندام هوایی(a) و ریشه (b) و روی در اندام هوایی (c) و ریشه (d) پسته بادامی در غلظت‌های متفاوت منیزیم در حضور میکوریز (M) و بدون میکوریز (NM). هر ستون میانگیین سه تکرار و خطوط عمودی نشان‌دهندهٔ خطای معیار است. حروف غیریک‌سان نشان‌دهندهٔ تفاوت معنی دار در سطح P<۰/۰۵.



شکل ۶. تغییرات محتوای مس در اندام هوایی (a) و ریشه (b) و منگنز در اندام هوایی (c) و ریشه (d) پسته بادامی در غلظت‌های متفاوت منیزیم در حضور میکوریز(M) و بدون میکوریز (NM). هر ستون میانگیین سه تکرار و خطوط عمودی نشان‌دهندهٔ خطای معیار است. حروف غیریک‌سان نشان‌دهندهٔ تفاوت معنی دار در سطح P<۰/۰۵.

منابع

۱. علی امامی، *روش‌های تجزیه گیاه*، جلد اول، نشریه فنی شماره ۹۸۲، موسسه تحقیقات خاک و آب، انتشارات دانشگاه تهران (۱۳۷۵).

۲. مینو بهرام پور، *اثر منیزیم و کلسیم روی نهال‌های پسته رقم بادامی با توجه به روابط متقابل بین منیزیم و موقعیت میکوریزی گیاه*، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشکده علوم دانشگاه شهید باهنر کرمان (۱۳۸۵).

۳. بهمن خلدبرین، طاهره اسلام زاده، *تغذیه معدنی گیاهان عالی*، جلد دوم، انتشارات دانشگاه شیراز (۱۳۸۴) ص ۶۹۶-۲۸۱.

۴. حسن خواجه زاده، حمید فهیمی، *اثر همزیستی میکوریزی در مقاومت به شوری در پسته*، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشکده علوم دانشگاه تهران (۱۳۷۷).

۵. علی اکبر سالاردینی، مسعود مجتهدی، *اصول تغذیه گیاه*، جلد دوم، انتشارات دانشگاه تهران،(۱۳۷۲)،ص ۱۹۷-۹۹.

6. J. W. Baxer and J. Dighton "Ectomycorrhiza diversity alters growth and nutrient acquisition seedlings in host-symbiotic culture condition", New Phytologist, 153 (2001)139-199.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

7. .H. K. Buking, A. J. Schroder, W. H. and W. Heyser "The Fungal sheath of ectomycorrhizal Pine roots: an apoplectic barrier for the entry of calcium", magnesium, and potassium into root cortex? , Journal of Experimental Botany (2002)1659-1669.

8.T. Ducic, J. Parlade, A. Polle, "The Influence of the ectomycorrhizal fungus Rhizopogon subareo latus on growth and nutrient element localization in two varieties of Douglas fir (Pseudit suga. Mehziesii var. Menziesii and Var. glauca) in response to manganess stress. Mycorrhizal", 98 (2008) 227-239.

9. B. Gellier, R. Letouze and D. G. Steullu "Micropropagation of Brich and mycorrhizal formation in Vitro, New Phytol", 97 (1984) 591-599.

10. G. Jentschke, B. Brandes, A. J. Kuhn, W. H. Schroder, J. S. Becher and D. L. Godblod "The Mycorrhizal fungus Panillus involutous transports magnesium to Norway Sprace seedling. evidence from stable isotope labeling", Plant and Soil, 220 (2000) 243-245.

11. F. A. Miller and E. D. Rudolph "Uptake and distribution of manganese and zinc in Pinus virginiana seedlings infected with Pisolithus tinctorius", OHIOJ. SCI, 86 (4) (1986) 22-25.

12. M. Kayama, A. M. Quoreshi, S. Uemura, and T. Koike "Difference in growth characteristics and dynamics of elements absorbed in seedlings of three Spruce species raised on Serpentine soil in Northern Japan", Trees, 20 (2006) 430-440.

13. J. Karst, M. D. Jones, R. Turkington, "Ectomycorrhizal colonization and intraspecific variation in growth response of Lodge pole pine", Plant Ecol (2008).

14. Q. U. Laiye, A. M. Quoreshi, K. Iwase, Y. Tamai, R. Funada and T. Koike "In Vitro ectomycorrhizal formation on two larch species of seedlings with six different fungal species", Eurasiana.For.Res, 6 (2003) 65-73.

15. M. S. Lamhamedi, H. H. Kope, B. R. Kropp and J. A. Fortin "Genetic variation in ectomycorrhiza formation by Pisolithus arhizus on Pinus pinaster and Pinus banksiana", New Phytol, 115 (1990) 689-697.

16. J. E. Legget and W. A. Gilbert "Magnesium uptake by Soybean, Plant Physiology", 44(1999)1182-1186.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

17. A. Martin, A. Casimiro and M. S. Pais "Influence of Mycorrhization on physiological parameters of micro propagated Castahea sativa. Mill plants, Mycorrhizal", 7 (1997) 161-165.

18. H. Marschener and B. Dell "Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis, Plant and Soil", 159 (1994) 89-102.

19. K. G. Mukerji and B. P. Chamola "Compendium of mycorrhizal research mycorrhizal research, Kluwer Academic Publisher", London (2003) 373.

20. H. Wallander "Up takes of P from apatite by Pinus sylvestris seeding colonization by different ectomycorrhizal fungi, Plant and Soil", 218 (2000) 249-256.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]