مجله تحقیقات آب و خاک ایران (۴۰) ۱، ۱۳۸۸ (۸۴-۷۵)

بررسی تنوع مورفولوژیک قارچ‌های میکوریز آربوسکولار در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین (روی و سرب) در منطقه معدن انگوران، استان زنجان

مهدی زارعی*[۱]، غلامرضا ثواقبی[۲]، ناهید صالح راستین [۲]، غلامرضا صالحی جوزانی[۳]و سید مجتبی خیام نکویی[۳]

[۱] دانشجوی سابق دکتری دانشگاه تهران و استادیار بخش علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز. [۲] دانشیار و استاد گروه مهندسی علوم خاک، دانشکده مهندسی آب و خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران. [۳] استادیار و دانشیار بخش ریز سازواره ها و ایمنی زیستی، پژوهشکده بیوتکنولوژی کشاورزی

چکیده

تنوع مورفولوژیک قارچ‌های میکوریز آربوسکولار در منطقه معدن روی و سرب انگوران (استان زنجان، ایران) در طول یک ترانسکت تا فاصله ۴۵۰۰ متری از معدن ، مطالعه گردید. بدین منظور یک نمونه مرکب خاک ریزوسفری از گیاه بومی غالب در داخل هر پلات جمع آوری و ابتدا ویژگی‌های مهم فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های خاک اندازه‌گیری شدند. اسپور قارچ ها استخراج، شمارش و بعد از انجام کشت تله گلدانی تا سطح گونه شناسایی شدند. در گروه خاکهای با آلودگی زیاد، متوسط و کم فلزات سنگین روی و سرب و نیز در خاک‌های غیر آلوده همجوار، تعداد مشاهدات، تراکم اسپور و فراوانی نسبی گونه‌های قارچ میکوریز آربوسکولار محاسبه گردید. ده گونه مورفولوژیک شامل *گلوموس موسه‌ای*، *گلوموس اینترارادیسز*، *گلوموس ورسیفورم*، *گلوموس آمبیسپوروم*، *گلوموس کانستریکتوم*، *گلوموس فاسیکولاتوم*، *گلوموس ژئوسپوروم*، *گلوموس سینوزوم*، یک گونه شناسایی نشده *گلوموس* و *آکالوسپورا* در کل منطقه مورد مطالعه از لحاظ مورفولوژیک شناسایی شدند. در تمام پلات‌های آزمایشی، جنس *گلوموس* غالب بود. تعداد مشاهدات، تراکم اسپورها و فراوانی نسبی گونه‌ها در سطوح مختلف آلودگی و در خاک‌های غیر آلوده با یکدیگر تفاوت داشتند. گونه *گلوموس موسه‌ای* در خاک‌های با آلودگی زیاد، در اکثر پلات‌ها با بالاترین تراکم اسپور و فراوانی نسبی مشاهده گردید. در خاک‌های با آلودگی متوسط و کم روی و سرب، *گلوموس موسه‌ای* ، *گلوموس اینترارادیسز* و *گلوموس ورسیفورم* نسبت به سایر گونه‌های قارچ میکوریز آربوسکولار فراوانی نسبی بیشتری داشته و در اکثر پلات‌ها وجود داشتند. در خاک‌های غیر آلوده همجوار، کثرت مشاهدات، تراکم اسپور و فراوانی نسبی گلوموس اینترارادیسز نسبت به بقیه گونه‌ها بالاتر بود. با افزایش آلودگی روی و سرب، شاخص تنوع شانن-وینر از ۱/۵۵ به ۰/۵۲ کاهش یافت اما یکنواختی (توزیع افراد یک گونه در مقایسه با افراد گونه‌های دیگر) تغییرات قابل ملاحظه‌ای نداشته است. شاخص شباهت سورنسون برای قارچ‌های میکوریز آربوسکولار و جامعه گیاهی بین منطقه غیر آلوده با مناطق دیگر با افزایش آلودگی خاک کاهش یافته و مقدار آن برای ترکیب جامعه قارچ‌های میکوریز آربوسکولار نسبت به جامعه گیاهی بالاتر بوده است.

واژه های کلیدی: قارچ‌های میکوریز آربوسکولار، خاک‌های آلوده به روی و سرب، تنوع مورفولوژیک.

مقدمه

در مورد اثرات تغذیه‌ای و فیزیولوژیک قارچ‌های میکوریز آربوسکولار بر جوامع گیاهی و میکروبی اکوسیستم‌های کشاورزی و منابع طبیعی تحقیقات زیادی انجام شده، ولی در مورد اهمیت این قارچ‌ها در خاک‌های آلوده، مکانیسم‌های قارچی و نقش آن‌ها در تحمل‌پذیری این موجودات نسبت به فلزات بالقوه سمی اطلاعات کمتری در دسترس است و اکثراً محدود به دو دهه گذشته می‌باشد. فلزات بالقوه سمی بر فراوانی، غنای گونه‌ای و تنوع گیاهی و میکروبی خاک‌ها اثر می‌گذارند. بطور کلی همه موجودات خاکزی بطور یکسان و یکنواخت از آلودگی فلزات سنگین متاثر نمی‌شوند. فلزات سنگین می‌توانند به عنوان عامل انتخابی قوی، در ظهور سویه‌های قارچ میکوریز آربوسکولار متحمل یا مقاوم، نقش مهمی داشته باشند. از این رو، حضور اکوتیپ‌های مختلف قارچ میکوریز آربوسکولار در خاک‌هایی با آلودگی شدید به فلزات سنگین امکان پذیر است همچنانکه مطالعات محققین، حضور قارچ‌های میکوریز آربوسکولار و کلنیزه شدن ریشه‌های گیاهان بوسیله آن‌ها را در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین گزارش داده‌اند (Diaz and Honrubia,1994; Gaur and Adholeya,2004; Griffioen,1994، Pawlowska et al.,1996، Raman and Sambandan,1998، Shetty et al.,1995). در این مطالعات گونه‌های متفاوت شناسایی شده و نشده متعلق به یک یا بیشتر از جنس‌های قارچ های میکوریز آربوسکولار توصیف

* پست الکترونیک مکاتبه کننده Mehdizarei20@yahoo.ca

شده‌اند. *گلوموس*، به عنوان جنس متداول در خاک‌های آلوده گزارش شده است که در ادامه به برخی از آنها اشاره شده است.

Sambandan et al. (۱۹۹۲) ۱۵ گونه قارچ میکوریز آربوسکولار متعلق به جنس‌های *گلوموس* (۱۰ گونه)، *جایگوسپورا* (۲ گونه)، *آکالوسپورا* (۲ گونه) و *اسکلروسیستیس* (۱ گونه) را در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین هندوستان شناسایی کردند. آنها تعداد اسپورها را ۶۲۲ در هر ۱۰۰ گرم خاک شمارش نمودند. درصد کلنیزاسیون ریشه از ۲۲ تا ۷۱ درصد متغیر بود و در بین گونه های قارچی، *گلوموس ژئوسپوروم* در همه مناطق مشاهده است. قارچهای میکوریز آربوسکولار متعلق به جنس‌های *گلوموس* و *جایگوسپورا* در همزیستی با ۱۴ گونه گیاهی رشد یافته در خاک‌های اطراف یک معدن کربنات منیزیم، بوسیله Raman et al. (۱۹۹۳) شناسایی شده‌اند. Raman and Sambandan (۱۹۹۸) همزیستی میکوریز آربوسکولار را در ۲۲ گونه گیاهی در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین در سه منطقه تمیل ندو هندوستان مورد مطالعه قرار دادند. در بین ۲۲ گونه گیاهی، در ریشه‌های ۱۹ گونه اندام‌های میکوریز آربوسکولار شامل آربوسکول و هیف‌ها مشاهده شدند. ریشه‌های جوانتر بیشتر حاوی آربوسکول و بالغ‌ترها بیشتر حاوی وزیکول و شبکه‌های پیچیده هیفی بودند. اسپورهای ۱۵ گونه قارچ میکوریز آربوسکولار متعلق به چهار جنس *گلوموس*، *اسکیوتلوسپورا*، *اسکلروسیستیس* و *جایگوسپورا* در آنالیز ریزوسفری خاک‌های این مناطق آشکار شدند. بسیاری از گونه‌های قارچ میکوریز آربوسکولار در ریزوسفر بیش از یک گونه گیاهی مشاهده شدند و در بین آن‌ها *گلوموس فاسیکولاتوم*، *گلوموس ژئوسپوروم* و *جایگوسپورا گیگانتئا* با بیشتر گونه‌های گیاهی همراه بودند و اندوفیت مشترک در مناطق آلوده مورد مطالعه معرفی شدند. Chaudhry et al. (۱۹۹۹) گونه‌های قارچی متعلق به جنس‌های *گلوموس* و *جایگوسپورا* همزیست با بیشتر گیاهان رشد یافته در خاک‌های آلوده با مواد زائد حاوی روی و آهن را گزارش دادند. Pawlowska et al. (۲۰۰۰) *گلوموس کانستریکتوم*، *گلوموس موسه‌ای* و یک گونه شناسایی نشده *گلوموس* را از خاک‌هایی با آلودگی متوسط به فلزات سنگین در اطراف مینسوتا گزارش دادند. Turnau et al. (۲۰۰۱) جامعه قارچهای میکوریز آربوسکولار را در ریزوسفر و ریشه‌های *فراگاریا وسکا* (توت فرنگی) رشد یافته در یک خاک شنی در منطقه چرزانو واقع در جنوب لهستان و آلوده به روی، سرب، کادمیوم، ارسنیک و مس به ترتیب با ۱۵۰۰۰، ۷۰۰۰، ۸۰، ۵۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آنها نشان داده است که بیشترین اشغال کننده ریشه (۵۴ درصد) به *گلوموس گردمانی* نزدیک است. فراوانی *گلوموس کلارویدوم* و *گلوموس اوکولتوم* به ترتیب ۳۲ درصد و ۳۴ درصد و فراوانی *گلوموس موسه‌ای* و *گلوموس اینترارادیسز* در ریشه‌ها ۷-۵ درصد گزارش شدند. *گلوموس موسه‌ای* همیشه حداقل با یکی از قارچهای دیگر همراه بوده است. Vallino et al. (۲۰۰۶) تنوع قارچهای میکوریز آربوسکولار در ریزوسفر *سولیداگو گیگانتا* در یک منطقه آلوده به فلزات سنگین در شمال ایتالیا مطالعه کردند.

در داخل کشور، نیز تحقیقاتی در مورد شناسایی و تنوع قارچهای میکوریز آربوسکولار بومی خاک‌های ایران بر اساس ویژگی‌های مورفولوژیک این قارچها در خاکهای شور و زمین‌های زیر کشت گندم، جو، ذرت ، سورگوم و نیشکر (Sadravi,2000; Kariman et al,2005 ;Aliasgharzad,2001) و همچنین تکثیر این قارچها به روش درون شیشه‌ای (Rejali,2003) انجام شده، ولی تاکنون درمورد تنوع مورفولوژیک این قارچها در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین تحقیقی صورت نگرفته است. معدن انگوران واقع در جنوب غرب شهرستان زنجان (استان زنجان) بزرگترین منبع تولید کننده روی و سرب در ایران است. فعالیت‌ها در معدن انگوران بعد از جنگ جهانی دوم شروع شده و با توسعه استخراج معدن به صورت روباز در سال ۱۹۶۳، تولیدات آن بطور قابل توجهی افزایش داشته است. فعالیت‌های انجام شده برای اکتشاف و استخراج این معدن نقش مهمی در آلودگی محیط و افزایش مقادیر متفاوتی از فلزات سنگین روی و سرب در خاک‌های اطراف معدن، به واسطه دفن مواد زائد و انتشار گرد و غبارهای آلوده داشته‌اند. هدف از انجام این تحقیق، شناسایی مورفولوژیک، اطلاع از تنوع و ارائه شاخص تنوع مورفولوژیک قارچهای میکوریز آربوسکولار در خاک‌های آلوده و غیر آلوده همجوار در منطقه معدن کاری انگوران می باشد. بررسی تنوع مورفولوژیک قارچهای میکوریز آربوسکولار در اکوسیستم‌هایی مانند اطراف معادن فلزات سنگین که خاک‌ها به طور طبیعی و به تدریج به این عناصر آلوده شده و اثرات متقابل بین فلزات سنگین و اکوتیپ‌های قارچ در طی مدت زمان طولانی به تعادل رسیده‌اند، می‌تواند از نظر امکان جداسازی سویه‌های متحمل به این آلاینده‌ها و تهیه زادمایه از آن‌ها، بسیار مفید باشد

مواد و روش‌ها

مشخصات منطقه مورد مطالعه

منطقه تکاب در شمال غرب ایران، در برگیرنده معادن بسیار زیادی می‌باشد (Asadi,2001). در این منطقه، معدن روی و

سرب انگوران بر اساس موقعیت ژئومورفولوژی و خاک‌های حاوی فلزات سنگین اشتقاق یافته از این معدن، برای انجام این تحقیق انتخاب گردید. این معدن به عنوان بزرگترین معدن روی و سرب ایران، در ۱۲۰ کیلومتری جنوب غرب شهرستان زنجان واقع در استان زنجان با مختصات E ۲۰ ' ۴۷ ° و N ۴۰ ' ۳۶ ° قرارگرفته است. ارتفاع آن از سطح دریا ۲۹۵۰ متر و میانگین بارندگی آن ۴۵۰ میلیمتر است. به لحاظ رده‌بندی، خاک‌های منطقه مورد مطالعه مزیک کلسی زرپت می‌باشند (Anonymous,1999).

روش نمونه برداری

نمونه برداری بر اساس عمق ریشه گیاه(۰ تا ۲۵ سانتیمتری) در اواخر دوره رشد رویشی گیاهان بومی منطقه در اردیبهشت-خرداد ماه سال ۱۳۸۵ انجام شد. بر اساس مطالعات مزرعه‌ای و آنالیزهای مقدماتی خاک، در طول یک ترانسکت طولی، ۳۵ پلات (۱۰۰ در ۲۰ متر) با فواصل ۱۰۰ متری تا شعاع ۳۰۰۰ متری و بعد ازآن با فواصل ۳۰۰ متری تا شعاع ۴۵۰۰ متری از معدن انتخاب گردید. هر پلات به ۱۰ پلات فرعی (۲۰ در ۱۰ متر) تقسیم و از هر پلات فرعی بطور تصادفی یک نمونه شامل گیاه غالب، همراه با ریشه‌ها و خاک ریزوسفری آن برداشت گردید. نمونه برداری از عمق ۰ تا ۲۵ سانتیمتری انجام شد. گیاه بومی غالب بر اساس فراوانی و تکرار در هر پلات انتخاب و یک نمونه مرکب خاک ریزوسفری و ریشه آن تهیه و به آزمایشگاه منتقل شد. مقدار کافی از ریشه‌های ریز موجود در هر نمونه بوسیله قیچی جدا و با آب شستشو داده شدند. برای رنگ آمیزی و اندازه‌گیری پارامترهای کلنیزاسیون ریشه، مقدار کافی از ریشه‌ها در لوله‌های فالکون ۱۵ میلی لیتری حاوی محلول تثبیت کننده فرمالین-اسیداستیک-الکل۵۰ درصد (به نسبت حجمی ۹۰:۵:۵) قرار داده گرفتند. مقداری از نمونه‌های مرکب خاک (۲ کیلوگرمی) در سایه و دمای آزمایشگاه هوا خشک و از الک ۲ میلیمتری عبور داده و برای تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی استفاده شدند و مقداری به صورت مرطوب در یخچال نگهداری و برای استخراج و شمارش اسپور، کشت تله گلدانی و شمارش گونه قارچ‌های میکوریز آربوسکولار مورد استفاده قرار گرفتند.

تجزیه های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک خاک

خصوصیات مختلف خاک شامل بافت (روش هیدرومتر)، پ هاش، قابلیت هدایت الکتریکی، مواد آلی، فسفر قابل دسترس گیاه (روش اولسن)، درصد کربنات کلسیم معادل، نیتروژن (کلدال) و پتاسیم(استات آمونیوم با پ هاش ۷) اندازه‌گیری شدند (Page et al.,1982). غلظت‌های کل و قابل استخراج با DTPA به ترتیب بر اساس روش‌های .Chang et al (۱۹۸۴) و Lindsay and Norvell (۱۹۷۸) اندازه‌گیری گردید. هر اندازه-گیری برای هر نمونه سه مرتبه تکرار شده است. از هر نمونه خاک مزرعه‌ای سه نمونه ۲۰۰ گرمی انتخاب و با استفاده از روش‌های Gerdemann and Nicolson (۱۹۶۳) و Jenkis (۱۹۶۴) اسپور قارچ‌های میکوریز آربوسکولار جداسازی شدند. تعداد کل اسپورها در یک نمونه ۲۰۰ گرمی از مجموع تعداد اسپورهای شمارش شده از الک‌های ۲۵، ۸۰ و ۴۰۰ مش تخمین زده شد. اسپورهای شمارش شده بر اساس مشخصات مورفولوژیک آن‌ها شامل رنگ اسپور، نحوه اتصال ریسه به اسپور و مشخصات سطحی اسپور و... بطور مقدماتی به صورت مورفوتایپ‌های متمایز تفکیک و شمارش شدند و از هر مورفوتایپ چند اسلاید دائمی تهیه گردید تا در مرحله بعدی در مقایسه با اسپورهای حاصل از کشت تله گلدانی شناسایی آن‌ها تأیید و تکمیل گردد.

شناسایی مورفولوژیک قارچ‌های میکوریز آربوسکولار و بررسی تنوع آن‌ها

از کشت تله گلدانی برای تهیه تعداد زیادی اسپور سالم جهت شناسایی انجام گردید. اسپورها در دو تکرار استخراج و در زیر بینوکولر(۳۰X) از آن‌ها اسلایدهای دائمی تهیه شد و با استفاده از میکروسکپ نوری جهت شناسایی دقیق گونه‌ها مورد استفاده قرار گرفتند. اسلایدهای میکروسکپی دائمی از اسپورها و اسپورکارپ‌های مزرعه‌ای و کشت تله گلدانی با استفاده از مخلوط حجمی ۱:۱ پلی وینیل الکل لاکتوگلیسرول و معرف ملزر تهیه شد (Blaszkowski,2008). خانواده و جنس قارچ‌های میکوریز آربوسکولار عمدتاً بر اساس نحوه اتصال هیف (ریسه) به اسپور و چگونگی تشکیل اسپور قابل تشخیص‌اند، در حالیکه ریزساختارهای دیواره اسپورها نقش مهمی در تشخیص گونه‌ها ایفا می‌کنند. در این مطالعه، برای تشخیص قارچ‌های میکوریز آربوسکولار تا سطح گونه از خصوصیات زیر استفاده شد: ۱- رنگ اسپور و لایه‌های دیواره آن ۲- شکل اسپور ۳- تعداد و ضخامت لایه‌های دیواره اسپور ۴- نحوه اتصال هیف به اسپور ۵- شکل ایجاد شده در محل اتصال هیف به اسپور ۶- تشکیل یا عدم تشکیل اسپور در ریشه‌ها ۷- وجود یا عدم وجود لایه‌های قابل ارتجاع تندشی ۸- باز یا بسته بودن روزنه هیف در محل اتصال به اسپور و نحوه انسداد در صورت بسته بودن ۹- نحوه اتصال و پیوستگی دیواره‌های اسپور و هیف ۱۰- مشخصات اسپورکارپ و پریدیوم در صورت وجود آن‌ها. برای بررسی خصوصیات مورفولوژیک و مورفومتری اسپورها از میکروسکپ نوری Nikon Eclipse E800 در موسسه تحقیقات بیوتکنولوژی کشاورزی و از میکروسکپ نوری Zeiss مجهز به دوربین AxioCam MRC5 و برنامه نرم افزاری Axiovision در بخش

اکولوژی خاک موسسه تحقیقات زیست محیطی آلمان استفاده گردید. برای انجام کارهای مورفومتری از ۶۰-۳۰ اسپور هر گونه استفاده شد. شناسایی دقیق گونه‌ها با استفاده از اطلاعات ارائه شده در سایت‌های اینترنتیINVAM (۲۰۰۸) و Blaszkowski (۲۰۰۸)، کتاب راهنمای شناسایی قارچ‌های میکوریز آربوسکولار (Schenck and Perez,1990)، مقالات کلیدی و جدید و تجربیات محققین بخش اکولوژی خاک موسسه تحقیقات زیست محیطی آلمان انجام گردید. تمایز در ترکیب جامعه قارچ‌های میکوریز آربوسکولار در سطوح مختلف آلودگی روی و سرب بر اساس تعداد اسپور، فراوانی نسبی گونه‌ها، تعداد مشاهده گونه‌ها و غنای گونه‌ای در خاک‌های مزرعه‌ای ارزیابی شد. تعداد اسپور به صورت شمارش آن‌ها در ۲۰۰ گرم خاک خشک و فراوانی نسبی به صورت درصد اسپورهای متعلق به یک گونه خاص قارچ میکوریز آربوسکولار تعیین گردید. تعداد مشاهده گونه‌ها به صورت درصد تعداد نمونه‌هایی که اسپورهای یک گونه خاص قارچ میکوریز آربوسکولار در آن‌ها یافت شدند، محاسبه گردید. برای ارزیابی تنوع مورفولوژیک قارچ‌های میکوریز آربوسکولار در سطوح مختلف آلودگی از شاخص شانن- وینر و یکنواختی استفاده گردید (Maguran,1988). H=-∑pi × ln pi :H شاخص شانن- وینر؛ ni/N=Pi: تعداد افراد یک گونه (ni) به تعداد کل افراد گونه‌های (N) قارچ میکوریز آربوسکولار). Eh=H/Hmax=H/lnS (Eh: شاخص یکنواختی گونه‌ها (توزیع افراد یک گونه در مقایسه با افراد گونه‌های دیگر)؛ S: تعداد کل گونه‌ها در منطقه و Hmax: حداکثر شاخص تنوع). شباهت ترکیب گونه‌ای قارچ و یا گیاه در سطوح مختلف آلودگی خاک بوسیله شاخص سورنسون (S) ارزیابی گردید (S=2j/a+b). در این فرمول: j تعداد گونه‌های گیاه یا قارچ مشابه در دو سطح آلودگی مورد مقایسه مثلاً سطح زیاد و متوسط، a تعداد کل گونه های قارچ یا گیاه در سطح آلودگی زیاد و b تعداد کل گونه‌های قارچ یا گیاه در سطح آلودگی متوسط.

نتایج

خصوصیات خاک و پوشش گیاهی غالب منطقه

نتایج بررسی خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک خاک‌های مورد مطالعه در منطقه معدن روی و سرب انگوران نشان داد که بافت خاک‌های نزدیک به معدن بیشتر شنی و خاک‌های با فواصل دور از معدن لوم شنی می باشد. ماده آلی این خاک‌ها بین ۰/۵ تا ۳ درصد، پ هاش بین ۸ – ۷/۴، قابلیت هدایت الکتریکی بین dSm^{-1} ۲/۱- ۱/۳ و کربنات کلسیم بین ۷- ۴ درصد متغیر بوده است. فسفر قابل دسترس گیاه (اولسن) بین ۶۳/۲ – ۱۸ میلی‌گرم در کیلوگرم، نیتروژن کل بین ۲۷۶۰ – ۱۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم و پتاسیم قابل دسترس بین ۲۰۱ – ۱۰۸ میلی‌گرم در کیلوگرم تغییر نشان داده‌اند. در پلات‌های مطالعه شده، ۱۸ گونه گیاهی به عنوان گیاهان بومی غالب شناسایی شده‌اند که اسم علمی و شماره پلات آن‌ها در جدول۱ ارائه شده است. هر یک از این گونه‌های گیاهی معمولاً در ۸۰- ۴۰ درصد ناحیه‌ها، مشاهده گردیده است. گونه‌های گیاهی غالب منطقه عمدتاً متعلق به خانواده های پلانتاگیناسه، لمیاسه، آلیاسه و فاباسه بوده‌اند (Anonymous,2003). بعضی پلات‌ها به رغم داشتن مقادیر متفاوت فلزات سنگین روی و سرب، دارای گونه‌های گیاهی مشابه بوده‌اند.

جدول ۱- گونه‌های گیاهی غالب و شماره پلات یا پلات‌های محل نمونه برداری آن‌ها در منطقه مورد مطالعه. از شماره پلات ۱ تا ۳۰ هر واحد برابر ۱۰۰ متر و از ۳۱ تا ۳۵ هر واحد برابر با ۳۰۰ متر می باشد.

خانواده	نام علمی	شماره پلات
Alliaceae	*Allium* sp.1	۱۴، ۱۶ ،۲۳
	Allium sp.2	۲۵ ،۲۹
Asteraceae	*Achillea* sp.	۱۰
Boraginaceae	*Nonnea persica*	۹ ،۲۶
Brassicaceae	*Alyssum* sp.	۱ ،۵
Colchicaceae	*Colchicum* sp.	۱۹
Fabaceae	*Medicago sativa*	۳۱
	Trifolium incornatum	۳۳
	Onobrychis vicifolia	۳۰
Hypericaceae	*Hypericum* sp.	۶
Lamiaceae	*Salvia nemorosa*	۲ ،۸ ،۱۸
	Salvia officinalis	۳ ،۱۱ ،۲۴
Plantaginaceae	*Veronica rechingeri*	۴ ،۱۵ ،۲۱ ،۲۷
	Veronica orientalis	۱۷ ،۲۲ ،۲۸ ،۳۴
	Plantago ovata	۱۳ ،۲۰
Poaceae	*Triticum aestivum*	۳۲ ،۳۵
Ranunculaceae	*Ranunculus repens*	۱۲
Rubiaceae	*Cruciata coronata*	۷

غلظت روی و سرب در خاک‌های منطقه و تفکیک سطوح آلودگی

غلظت‌های کل و قابل استخراج با DTPA روی و سرب با افزایش فاصله از معدن کاهش یافته است. بالاترین غلظت کل و قابل استخراج با DTPA روی به ترتیب ۶۴۷۲ و ۷۵ میلی‌گرم در کیلو گرم خاک و سرب به ترتیب ۵۲۰۳ و ۳۲ میلی‌گرم در کیلو گرم خاک بوده است. حداقل غلظت‌های هر دو عنصر در فواصل بیش از ۲۶۰۰ متر از معدن اندازه‌گیری شده است. تفکیک خاک‌های آلوده و غیر آلوده بر اساس محدوده تعیین شده برای اتحادیه کشورهای اروپایی که خاک‌های با مقدار روی کل بیش از ۳۰۰-۱۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم و سرب بیش از ۱۰۰-۵۰

میلی‌گرم در کیلوگرم را به عنوان خاک آلوده محسوب داشته‌اند، انجام گرفت (Vallino et al.,2006 ;Anonymous,1986). با توجه به مقادیر مذکور، پلات‌های ۱ تا ۲۶، شرایط خاک‌های آلوده و بقیه پلات‌ها، شرایط خاک‌های غیر آلوده را دارند. سپس خاک‌های آلوده بر اساس گزارش منابعی که به مقادیر آلودگی زیاد اشاره داشته‌اند (Brown et al.,2004; Cao et al.,2004; Long et al.,2003) و نیز با توجه به دامنه تغییرات این عناصر در منطقه مورد بررسی و اثرات آن‌ها بر پارامترهای میکوریزی تفکیک گردیدند(Zarei et al.,2008). در جدول ۲، محدوده غلظت فلزات سنگین روی وسرب در سطوح مختلف آلودگی (زیاد، متوسط، کم و بدون آلودگی) ارائه شده است. این تفکیک به منظور مقایسه تنوع مورفولوژیک قارچهای میکوریز آربوسکولار در سطوح مختلف آلودگی فلزات سنگین روی و سرب، انجام گرفت.

جدول۲- محدوده غلظت‌های فلزات سنگین روی و سرب در سطوح مختلف آلودگی خاک‌های مورد مطالعه در منطقه معدن انگوران زنجان

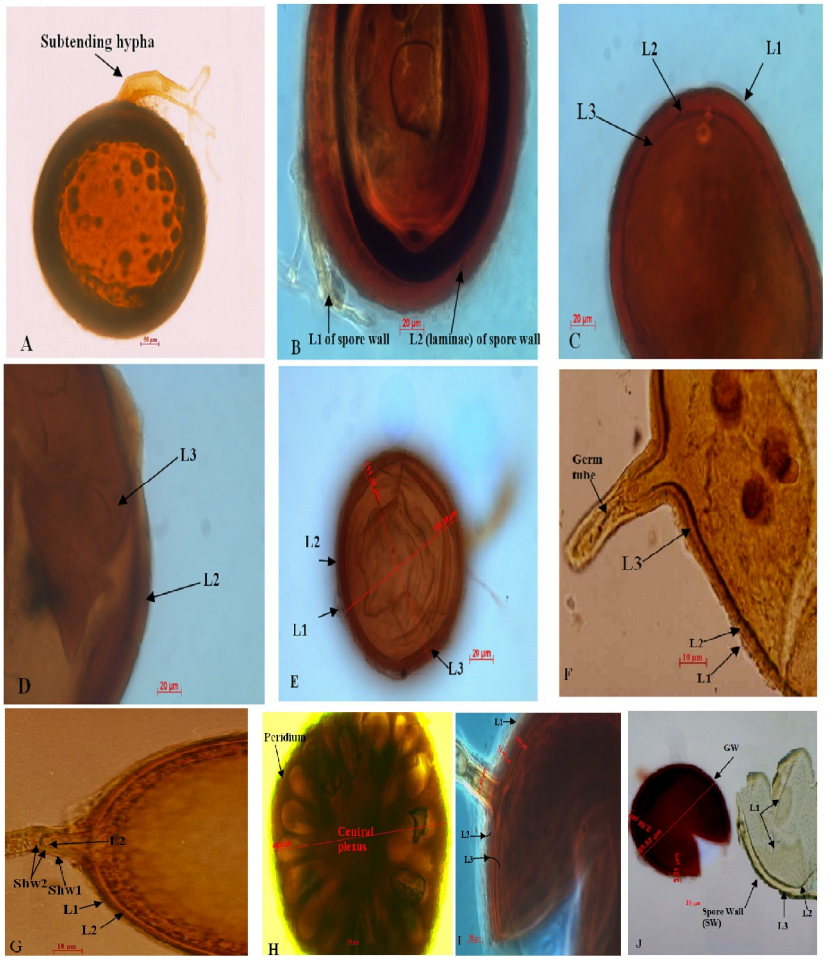
		بدون آلودگی	آلودگی کم	آلودگی متوسط	آلودگی زیاد
شماره پلات		۲۷-۳۵	۲۰-۲۶	۱۱-۱۹	۱-۱۰
فاصله از معدن	(m)	۲۷۰۰-۴۵۰۰	۲۰۰۰-۲۶۰۰	۱۱۰۰-۱۹۰۰	۱۰۰۰
روی کل	($mg\ kg^{-1}$)	<۳۰۰	۳۰۰-۲۰۰۰	۲۰۰۰-۳۰۰۰	۳۰۰۰-۶۴۷۰
روی قابل استخراج با DTPA	($mg\ kg^{-1}$)	<۱۵	۱۵-۳۰	۳۰-۵۰	۵۰-۷۵
سرب کل	($mg\ kg^{-1}$)	<۵۰	۵۰-۱۰۰۰	۱۰۰۰-۳۰۰۰	۳۰۰۰-۵۲۰۰
سرب قابل استخراج با DTPA	($mg\ kg^{-1}$)	<۰/۱	۰/۱-۵	۵-۲۰	۲۰-۳۲

شناسایی مورفولوژیک قارچ‌های میکوریز آربوسکولار و تنوع آن‌ها در خاک‌های مورد مطالعه

بر اساس مطالعه مورفولوژی و مورفومتری اسپورها ، ۱۰ آرایه متعلق به سه جنس، سه خانواده و دو راسته شناسایی شدند. ۸ آرایه تا سطح گونه و ۲ آرایه تا سطح جنس شناسایی گردیدند. ۹۰ درصد گونه‌ها متعلق به جنس *گلوموس* و *Diversispora*-related و ۱۰ درصد بقیه متعلق به جنس *آکالوسپورا* می‌باشند که به ترتیب به خانواده‌های گلومراسه (راسته گلومرال)، دایورسیسپوراسه (راسته دایورسیسپورال) و آکولوسپوراسه (راسته دایورسیسپورال) تعلق دارند. در شکل ۱ برخی از عکسهای گونه‌های قارچی شناسایی شده ارائه گردیده است. گونه‌های جنس گلوموس در همه پلات‌ها حضور داشتند، در حالی‌که گونه شناسایی نشده جنس *آکالوسپورا* تنها در برخی پلات‌های با آلودگی کم فلزات سنگین روی و سرب و یا غیر آلوده پیدا شده است. در هر سطح آلودگی، تعداد مشاهده، تراکم اسپور، فراوانی نسبی، غنای گونه‌ای، شاخص تنوع و سورنسون محاسبه شد(جدول۳). *گلوموس موسه‌ای* در خاک‌های با آلودگی زیاد و متوسط در اکثر پلات‌ها (۹۰ درصد در آلودگی زیاد و ۶۶/۷ درصد در سطح متوسط) وجود داشت و بالاترین تراکم اسپور و فراوانی نسبی را نشان داد. همچنین در سطح آلودگی زیاد، در ۳۰ درصد پلات‌ها یک گونه ناشناخته *گلوموس* با تراکم ۲۰ اسپور در ۲۰۰ گرم خاک خشک و فراوانی نسبی ۲۱/۳ درصد مشاهده گردید. در خاک‌های با آلودگی متوسط، علاوه بر *گلوموس موسه‌ای*، گونه‌های *گلوموس اینترارادیسز*، *گلوموس ورسیفورم* و *گلوموس آمبیسپوروم* به ترتیب در ۳۳/۳، ۵۵/۶ و ۲۲/۲ درصد پلات‌ها با تراکم اسپور به ترتیب ۱۰۰، ۸۹/۴ و ۲۶/۵ در ۲۰۰ گرم خاک خشک و فراوانی نسبی به ترتیب ۲۶/۷، ۲۳/۹ و ۷/۱ درصد وجود داشتند. در خاک‌های با آلودگی کم، *گلوموس موسه‌ای* و *گلوموس اینترارادیسز* بالاترین تعداد مشاهده را نسبت به سایر گونه‌ها داشتند ولی به لحاظ تراکم اسپور و فراوانی نسبی، گونه *گلوموس ورسیفورم* نسبت به این دو گونه برتری داشت. گونه *گلوموس فاسیکولاتوم* تنها در سطح کم آلودگی مشاهده گردید ولی در این خاک‌ها نیز کمترین فراوانی نسبی را داشت (۴/۳۰ درصد). یک گونه ناشناخته *آکالوسپورا* در سطح آلودگی کم و همین‌طور در خاک‌های غیر آلوده حضور داشت و تراکم اسپور آن در خاک‌های بدون آلودگی بیشتر بود. در خاک‌های غیر آلوده تعداد مشاهده، تراکم اسپور و فراوانی نسبی *گلوموس اینترارادیسز* نسبت به بقیه گونه‌ها بالاتر بود و *گلوموس ورسیفورم* و *گلوموس موسه‌ای* تقریباً بطور مشابهی در مرتبه دوم قرار داشتند(جدول۳). همچنین، بیشترین تنوع گونه-ای در خاک‌های بدون آلودگی مشاهده گردید، به طوریکه از ۱۰ گونه قارچی شناسایی شده در کل منطقه مورد بررسی، تعداد ۷ گونه در خاک‌های غیر آلوده حضور داشتند، در حالیکه تعداد گونه‌های شناسایی شده در سطوح آلودگی کم، متوسط و زیاد به ترتیب ۵، ۴ و ۲ گونه بود(جدول۴). جدول۴ همچنین نشان می‌دهد که با افزایش سطح آلودگی فلزات سنگین روی و سرب در خاک، شاخص تنوع شانن- وینر به شدت کاهش می‌یابد، به طوری‌که از ۱/۵۵ در خاک‌های غیر آلوده به ۰/۵۲ در سطح آلودگی زیاد تقلیل پیدا می‌کند، اما در مقدار یکنواختی،

جدول۳– تعداد مشاهده گونه ها، متوسط تراکم اسپور و فراوانی نسبی گونه‌های قارچ میکوریز آربوسکولار در سطوح مختلف آلودگی خاک

Fungal Species	تعداد مشاهده گونه ها (٪)				تراکم اسپور g /۲۰۰				فراوانی نسبی (٪)			
	آلودگی زیاد	آلودگی متوسط	آلودگی کم	بدون آلودگی	آلودگی زیاد	آلودگی متوسط	آلودگی کم	بدون آلودگی	آلودگی زیاد	آلودگی متوسط	آلودگی کم	بدو ن آلودگی
Acaulospora sp.	–	–	۲۸/۶	۲۲/۲	–	–	۶۹	۸۰	–	–	۱۱/۹	۹/۷
Glomus ambisporum	–	۲۲/۲	–	–	–	۲۶/۵	–	–	–	۷/۱	–	–
G. constrictum	–	–	–	۲۲/۲	–	–	–	۱۱۰/۵	–	–	–	۱۳/۵
G. fasciculatum	–	–	۲۸/۶	–	–	–	۲۵	–	–	–	۴/۳	–
G. geosporum	–	–	–	۱۱/۱	–	–	–	۱۳۳	–	–	–	۱۶/۲
G. intraradices	–	۳۳/۳	۷۱/۴	۷۷/۸	–	۱۰۰	۶۰	۱۶۷/۱	–	۲۶/۷	۱۰/۴	۲۰/۴
G. mosseae	۹۰	۶۶/۷	۷۱/۴	۶۶/۷	۷۳/۹	۱۵۸/۳	۱۹۷/۶	۱۶۱/۳	۷۸/۷	۴۲/۳	۳۴/۱	۱۹/۶
G. sinuosum	–	–	–	۱۱/۱	–	–	–	۳	–	–	–	۰/۴
Glomus sp.	۳۰	–	–	–	۲۰	–	–	–	۲۱/۳	–	–	–
G. versiforme	–	۵۵/۶	۵۷/۱	۶۶/۷	–	۸۹/۴	۲۲۸	۱۶۶/۲	–	۲۳/۹	۳۹/۳	۲۰/۲



شکل۱– گونه‌های قارچ های میکوریز آربوسکولار شناسایی شده در منطقه معدن انگوران. عکس ها به ترتیب متعلق به گونه های قارچی *گلوموس آمبیسپوروم* (A)، *گلوموس کانستریکتوم*(B)، *گلوموس فاسیکولاتوم*(C)، *گلوموس ژئوسپوروم*(D)، *گلوموس اینترارادیسز*(E)، *گلوموس موسه‌ای*(F)، *گلوموس ورسیفورم*(G)، *گلوموس سینوروم* (H)، یک گونه شناسایی نشده *گلوموس*(I) و *آکالوسپورا* (J) می باشد.

تغییرات قابل ملاحظه‌ای مشاهده نمی‌شود. بالاترین شاخص شباهت بین گونه‌های گیاهی رویش یافته در سطوح مختلف آلودگی خاک برابر ۶۶/۷ درصد، بین سطوح آلودگی متوسط و کم و کمترین مقدار آن (۱۲/۵ درصد) بین نواحی بدون آلودگی و آلودگی زیاد بوده است. برای قارچ‌های میکوریز آربوسکولار، نیز کمترین میزان شباهت (۲۵ درصد) بین سطوح آلودگی زیاد

و شرایط بدون آلودگی و بالاترین مقدار شباهت (۷۲/۷ درصد) بین سطح آلودگی کم و بدون آلودگی، بدست آمد(جدول ۵).

جدول۴- شاخص تنوع شانن-وینر، یکنواختی و غنای گونه‌ای قارچ‌های میکوریز آربوسکولار در سطوح مختلف آلودگی فلزات سنگین روی و سرب

	غنای گونه‌ای	یکنواختی	شاخص شانن- وینر×
آلودگی زیاد	۲	۰/۷۵	۰/۵۲
آلودگی متوسط	۴	۰/۹۰	۱/۲۵
آلودگی کم	۵	۰/۸۴	۱/۳۶
بدون آلودگی	۷	۰/۸۰	۱/۵۵

× شاخص شانن- وینر : $H=-\sum pi \times \ln pi$ (H: شاخص شانن- وینر؛ $Pi=ni/N$: تعداد افراد یک گونه (ni) به تعداد کل افراد گونه‌های (N) قارچ میکوریز آربوسکولار)

جدول۵- شاخص شباهت جامعه گیاهی و گونه‌های قارچ میکوریز آربوسکولار در سطوح مختلف آلودگی فلزات سنگین روی و سرب

	بدون آلودگی		آلودگی کم		آلودگی متوسط		آلودگی زیاد
	قارچ	گیاه	قارچ	گیاه	قارچ	گیاه	
آلودگی زیاد	۲۵	۱۲/۵	۲۸/۶	۳۷/۵	۳۳/۴	۳۵/۳	۱۰۰
آلودگی متوسط	۶۰	۵۰	۶۶/۷	۶۶/۷	۱۰۰		
آلودگی کم	۷۲/۷	۴۳	۱۰۰				
بدون آلودگی	۱۰۰						

بحث

در بررسی‌های مورفولوژیک، گونه‌های جنس *گلوموس* بطور فراوان و غالب در همه پلات‌ها در ریزوسفر گیاهان مختلف و جنس *آکولوسپورا* در برخی پلات‌های مناطق با آلودگی کم و یا غیرآلوده (به ترتیب غلظت‌های کل روی وسرب کمتر از ۲۰۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) شناسایی شده‌اند. محققین دیگر نیز *گلوموس* را به عنوان جنس غالب قارچ‌های میکوریز آربوسکولار در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین گزارش نموده‌اند(Tonin et Ortega-Larrocea et al.,2001 and ;2007 al.,2001 ;Vallino et al.,2006 ;Whitfield et al.,2004). Tonin et al. (۲۰۰۱) در ریزوسفر گیاه *ویولا کالامینا‌ریا*، بر اساس مورفولوژی اسپورها حداقل ۴ گونه متفاوت جنس *گلوموس* را گزارش و با تکثیر توالی‌های ناحیه زیر واحد کوچک ریبوزومی، حضور این قارچ‌ها را در ریشه‌ها نشان دادند. Whitfield et al. (۲۰۰۴) گزارش دادند که گونه‌های *گلوموس* در ریزوسفر گیاه *تیموس پلی تریکوس*، در همه مناطق آلوده به فلزات سنگین غالب بوده‌اند و همچنین حضور جنس *آکولوسپورا* را در خاک‌های دارای آلودگی متوسط و یا شدید به فلزات سنگین، نشان داده‌اند. Ortega-Larrocea et al. (۲۰۰۱) اسپورهای متعلق به جنس‌های *گلوموس* و *آکولوسپورا* را در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین در مکزیک شناسایی نمودند و *گلوموس* را به عنوان جنس غالب قارچ‌های میکوریز آربوسکولار گزارش نمودند. گونه‌های جنس *گلوموس* و *آکولوسپورا* در مقایسه با جنس‌های دیگر در طیف وسیعتری از شرایط مختلف محیطی ازجمله شوری و خشکی نیز شناسایی شده‌اند (Stutz et al.,2000 ;Aliasgharzad,2001). Aliasgharzad (۲۰۰۱) در مطالعه پراکنش و تراکم جمعیت قارچ‌های میکوریز آربوسکولار در خاک های شور دشت تبریز، در سطوح شوری پایین، جمعیت غالب قارچ‌های میکوریز آربوسکولار را از جنس *گلوموس* و تعداد کمتری را از جنس *آکولوسپورا* و در خاک‌های بسیار شور تنها حضور قارچ‌های متعلق به جنس *گلوموس* را گزارش داده است. Stutz et al. (۲۰۰۰) ترکیب و توزیع گونه‌ای قارچ‌های میکوریز آربوسکولار را در مناطق خشک و نیمه خشک شمال آمریکا مطالعه کردند. در مناطق مورد مطالعه آنها فقط گونه هایی از جنس‌های *گلوموس* و *آکولوسپورا* مشاهده شدند و گونه‌های متعلق به گلوموس بیشترین بوده‌اند. Renker et al. (۲۰۰۵) در خاک‌های آلوده به فسفات فقط گونه‌های جنس *گلوموس* را گزارش داده‌اند. از دلایل غالب بودن گونه‌های یک جنس یا محدود بودن گونه‌های جنس دیگر، می‌توان به میزان اسپورزایی گونه‌های قارچی و توانایی آن‌ها در کلنیزه کردن گیاه و همچنین به روش‌های مورد استفاده برای آشکارسازی این قارچ‌ها اشاره کرد. بطور مثال، گونه‌های *گلوموس* توانایی کلنیزه کردن گیاه را از طریق اسپور و نیز قطعات ریشه‌های میکوریزی یا میسلیوم‌ها دارند، در حالیکه اعضای خانواده جایگوسپوراسه فقط بواسطه اسپورها گیاه را کلنیزه می‌کنند (Daniell et al.,2001 ;Vallino et al.,2006).

در منطقه مورد مطالعه، ۱۰ گونه از قارچ‌های میکوریز آربوسکولار بر اساس روش‌های مورفولوژیک شناسایی شده اند که شامل گلوموس موسه‌ای، گلوموس اینترارادیسز، گلوموس ورسیفورم، گلوموس آمبیسپوروم، گلوموس کانستریکتوم، گلوموس فاسیکولاتوم، گلوموس ژئوسپوروم، گلوموس سینوزوم، یک گونه شناسایی نشده گلوموس و آکالوسپورا می باشد. قارچ‌های شناسایی شده در کشت تله گلدانی و نمونه‌های مزرعه‌ای مشابه بودند. تعداد گونه های قارچ میکوریز آربوسکولار از ۷ گونه در منطقه غیرآلوده به ۵، ۴ و ۲ نوع گونه به ترتیب در مناطق با آلودگی کم، متوسط و زیاد کاهش یافته است (جدول۴). با افزایش غلظت فلزات سنگین تنوع مورفولوژیک قارچ‌های میکوریز آربوسکولار نیز کاهش پیدا کرده است ولی یکنواختی تغییرات قابل ملاحظه ای نداشته است (جدول۴). بر اساس گزارش‌های محققین، فلزات سنگین ممکن است رشد و تکثیر قارچ‌های میکوریز آربوسکولار را در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین کاهش دهند، به تأخیر بیاندازند و یا به طور کامل حذف کنند (Weissenhorn and ;Gildon and Tinker,1981 Leyval,1996). الگوی تغییرات تنوع مورفولوژیک مشاهده شده

در این تحقیق، مشابه با یافته‌های Pawlowska et al. (۱۹۹۶) است که ۶ گونه متفاوت قارچ میکوریز آربوسکولار را در مناطق دست نخورده و غیر آلوده و ۲ گونه از این قارچها را در مناطق شدیداً آلوده حاوی فلزات سنگین روی، سرب و کادمیوم گزارش داده‌اند.

در بررسیهای مورفولوژیک قارچهای میکوریز آربوسکولار، *گلوموس موسه‌ای* در همه مناطق مورد مطالعه مشاهده شده است که این موضوع پیشنهاد دهنده سازگاری خاص اکوتیپ‌های خاص این گونه به طیف وسیعی از آلودگی فلزات سنگین است. این نتیجه به خوبی با یافته‌های سایر محققین مطابقت دارد. Turnau et al. (۲۰۰۱) در مطالعات مورفولوژیک و مولکولی نشان داده‌اند که گونه *گلوموس موسه‌ای* تنها قارچ کلنیزه کننده قطعات ریشه گیاهان در مناطق حاوی مواد زائد روی (۱۵۰۰۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم) در جنوب لهستان می‌باشد. Vallino et al. (۲۰۰۶) نیز گزارش دادند که *گلوموس موسه‌ای* فراوانترین قارچ میکوریز آربوسکولار در مناطق آلوده به فلزات سنگین در شمال ایتالیا می‌باشد. در این مطالعه، *گلوموس اینترارادیسز* در مناطق با آلودگی زیاد مشاهده نگردیده ولی در خاک‌های با آلودگی کمتر آشکار شده است که این نحوه انتشار می‌تواند نشانه سازش پذیری محدودتر این گونه نسبت به *گلوموس موسه‌ای* در برابر تنش فلزات سنگین باشد. حضور *گلوموس اینترارادیسز* در مناطق آلوده به فلزات سنگین توسط Sambandan et al. (۱۹۹۲)، Ortega-Larrocea (۲۰۰۱)، Gonzalez-Chavez et al.(۲۰۰۲) و Khade and Adholeya (۲۰۰۷) گزارش شده است. *گلوموس ورسیفورم* در خاک‌های مناطق با آلودگی متوسط، کم و غیرآلوده همجوار آشکار گردیده است و فراوانی آن نسبت به *گلوموس موسه‌ای* و *گلوموس اینترارادیسز* کمتر بوده است. یک گونه جنس *آکالوسپورا* در مناطق با آلودگی کم و خاک‌های غیرآلوده همجوار وجود داشته است که نشان دهنده حساسیت بالای این نوع فیلوتیپ‌ها نسبت به تنش فلزات سنگین می‌باشد. حضور این گونه توسط Ortega-Larrocea et al.(۲۰۰۱) و Whitfield et al. (۲۰۰۴) در مناطق آلوده به فلزات سنگین نیز گزارش شده است. *گلوموس آمبیسپورم* و *گلوموس فاسیکولاتوم* بر اساس مورفولوژی اسپورها در ریزوسفر برخی گیاهان به ترتیب در مناطق با آلودگی متوسط و کم یافت شده‌اند. اسپورهای متعلق به *گلوموس فاسیکولاتوم* در مناطق آلوده به فلزات سنگین بوسیله Khade and Adholeya (۲۰۰۷) نیز گزارش شده است. Whitfield et al. (۲۰۰۴) با آنالیز توالی‌های زیر واحد کوچک DNA-ریبوزومی، حضور این گونه را در خاک‌های با غلظت کل روی و سرب به ترتیب ۳۶۴۰ و ۱۳۵۸ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش داده‌اند. در خاک‌های منطقه غیر آلوده، گونه‌های *گلوموس کانستریکتوم*، *گلوموس ژئوسپوروم* و *گلوموس سینوزوم* بر اساس مورفولوژی اسپورها شناسایی شده‌اند که در تناقض با نتایج سایر محققین می باشد. حضور *گلوموس کانستریکتم* در خاک‌های آلوده به روی توسط Pawlowska et al. (۲۰۰۰) و Shetty et al. (۱۹۹۵) گزارش شده است. در مطالعات Sambandan et al. (۱۹۹۲) در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین در هندوستان، قارچ *گلوموس ژئوسپوروم* در همه مناطق مورد مطالعه مشاهده گردیده است.

بعضی گونه‌های قارچ میکوریز آربوسکولار مثل گلوموس گروه A شامل *گلوموس موسه ای* و *گلوموس اینترارادیسز* در مناطق مختلف جهان و در طیف وسیعی از اکوسیستم‌های محیطی یافت شده‌اند، که نشان دهنده ترجیح میزبانی کم و وفور آن‌ها می‌باشد (Opike et al.,2006 ;Borstler et al.,2006). نتایج این تحقیق نیز می‌تواند حاکی از اختصاصی نبودن گیاه میزبان خاص برای *گلوموس* گروه A، خصوصاً در خاک‌های با آلودگی زیاد باشد زیراکه در ریزوسفرگونه‌های گیاهی مختلف در پلات‌های متفاوت در منطقه مورد مطالعه این گروه از قارچ‌های میکوریز آربوسکولار، مشاهده شده‌اند.

با توجه به اینکه در منطقه مورد مطالعه فاکتورهای خاک به جز مقادیر فلزات سنگین تغییرات جزئی نشان داده‌اند و اثر گونه‌های گیاهی بومی بر فراوانی قارچ‌های میکوریز آربوسکولار در مقایسه با اثرات فلزات سنگین خصوصاً در مقادیر بالای آلودگی، قابل ملاحظه نبوده است (Zarei et al.,2008)، بنابراین اختلاف در فراوانی و تنوع مورفولوژیک قارچ‌های میکوریز آربوسکولار در خاک‌های این منطقه را باید عمدتاً به دلیل تفاوت مقادیر فلزات سنگین روی و سرب در این خاک‌ها، محسوب داشت. فلزات سنگین می‌توانند به عنوان عامل انتخابی قوی، در ظهور سویه‌های قارچ میکوریز آربوسکولار متحمل یا مقاوم، نقش مهمی داشته باشند. از این رو، حضور اکوتیپ‌های مختلف قارچ میکوریز آربوسکولار در خاک‌هایی با آلودگی شدید به فلزات سنگین می‌تواند نشان دهنده سازگاری بلند مدت اکوتیپ‌های خاص قارچ میکوریز آربوسکولار با شرایط این خاک‌ها باشد .در ادامه کار پیشنهاد می گردد که فراوانی و تنوع مورفولوژیک قارچ‌های میکوریز آربوسکولار همزیست با گیاهان بومی، در فصول و سال‌های مختلف نیز بررسی و مقایسه گردد و با توجه به اینکه قارچ‌های میکوریز آربوسکولار فعالیت مستقل از گیاه ندارند و تفکیک اثرات خصوصیات خاک بر تک تک سمبیونت‌ها (گیاه و قارچ) مشکل است، توصیه می‌شود که برای فهم و درک بهتر روابط و مکانیسم‌ها از کشت‌های درون شیشه‌ای استفاده شود.

سپاسگزاری

بدینوسیله از قطب علمی بهبود کیفیت خاک برای تغذیه گیاه گروه مهندسی علوم خاک دانشکده مهندسی آب و خاک دانشگاه تهران و معاونت محترم پژوهشی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران جهت حمایت مالی از این تحقیق در قالب طرح نوع ششم به شماره ۷۱۰۴۰۰۴/۶/۰۳ تشکر و قدردانی می شود. از پژوهشکده بیوتکنولوژی کشاورزی کرج، که کارهای مقدماتی تحقیق در آن مجموعه انجام گردید و از موسسه تحقیقات زیست محیطی آلمان (UFZ) خصوصاً آقای دکتر رنکر و خانم دکتر شافر که شناسایی گونه های قارچی بوسیله راهنمایی و کمک های آنها انجام گرفت، صمیمانه متشکرم.

REFERENCES

Aliasgharzad, N. (2001) The abundance and distribution of arbuscular mycorrhizal fungi in saline soils of Tabriz plain and their inoculation effects on the improvement of salt tolerance in onion and barely. Ph.D. dissertation in Soil Science, Agricultural Faculty, University of Tehran, Tehran, Iran,197pp (In Farsi).

Anonymous. (1999) *Soil Survey Staff, Soil taxonomy: a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys*. Vol. 436(2nd ed.). US Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, Agric. Handbook, USA, Govt. Print. Office, Washington, DC.

Anonymous. (2003) An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG II. *Botanical Journal of the Linnaean Society*, 141, 399–436.

Anonymous. (1986) Council directive of 12 June 1986 on the protection of the environment, and in particular of the soil, when sewage sludge is used in agriculture. *Official Journal of the European Community*, No L181, 6-12.

Asadi, H. H. and Hale, M. A. (2001) Predictive GIS model for mapping potential gold and base metal mineralization in Takab area, Iran. *Computer Geoscience*, 27, 901–912.

Blaszkowski J. (2008) http://www.agro.ar.szczecin.pl/ w jblaszkowski.

Borstler, B., Renker, C., Kahmen, A. and Buscot, F. (2006) Species composition of arbuscular mycorrhizal fungi in two mountain meadows with differing management types and levels of plant biodiversity. *Biology and Fertility of Soils*, 42, 286-298.

Brown, S., Chaney, R., Hallfrisch, J., Ryan, J. A and Berti, W. R. (2004) In situ soil treatments to reduce the phyto- and bioavailability of lead, zinc and cadmium. *Journal of Environmental Quality*, 33, 522-531.

Cao, A., Cappai, G., Carucci, A. and Muntoni, A. (2004) Selection of plant for zinc and lead phytoremediation. *Journal of Environmental Science and Health*, part A, 39, 1011-1024.

Chang, A. C., Warneke, J. E., Page, A. L. and Lund, L. J. (1984) Accumulation of heavy metals in sewage sludge-treated soils. *Journal of Environmental Quality*, 13, 87-91.

Chaudhry, T.M., Hill, L., Khan, A. G. and Kuek, C. (1999) Colonization of iron and zinc contaminated dumped filter cake waste by microbes, plants and associated mycorrhizae. In Wong M. H., Wong, J.W.C. and Baker, A. J. M. (Ed.), Remediation and management of degraded land. (pp. 275–283). Boca Raton, FL: CRC Press.

Daniell, T.J., Husband, R., Fitter, A. H. and Young, J. P. W. (2001) Molecular diversity of arbuscular mycorrhizal fungi colonizing arable crops. *FEMS Microbiology Ecology*, 36, 203–209.

Diaz, G. and Honrubia, M. (1994) A mycorrhizal survey of plants growing on mine wastes in Southeast Spain. *Arid Soil Research and Rehabilitation*, 8, 59–68.

Gaur, A. and Adholeya A. (2004) Prospects of arbuscular mycorrhizal fungi in phytoremediation of heavy metal contaminated soils. *Current Science*, 86, 528-534.

Gerdemann, J. W. and Nicolson, T. H. (1963) Spores of mycorrhizal *Endogone* species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Transaction of the British Mycological Society*, 46, 235–244.

Gildon, A. and Tinker, P. B. (1981) A heavy metal-tolerant strain of mycorrhizal fungus. *Transaction of the British Mycological Society*, 77, 648 –649.

Gonzalez-Chavez, C., Harris, P. J., Dodd, J. and Meharg, A. A. (2002) Arbuscular mycorrhizal fungi confer enhanced arsenate resistance on *Holcus lanatus*. *New Phytologist*, 155, 163–171.

Griffioen, W. A. J. (1994) Characterization of a heavy metal-tolerant endomycorrhizal fungus from the surroundings of a zinc refinery. *Mycorrhiza*, 4, 197–200.

INVAM (2008) http://invam.caf.wvu.edu/.

Jenkis, W. R. (1964) A rapid centrifugal flotation technique for separating nematodes from soil, *The Plant Disease Reporter*, Washington 48, 692.

Kariman, K. H., Goltapeh, E. M. and Minassian, V. (2005) Arbuscular mycorrhizal fungi from Iran. *Journal of Agricultural Technology*, 1(2), 301-313.

Khade, S. W. and Adholeya, A. (2007) Feasible bioremediation through arbuscular mycorrhizal fungi imparting heavy metal tolerance: a retrospective. *Bioremediation Journal*, 11(1), 33-43.

Lindsay, W. L and Norvell W. A. (1978) Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Science Society of American Journal*, 42, 421–428.

Long, X. X., Yang, X. E., Ni, W. Z., Ye, Z. Q., He, Z. L., Clevert, D. V. and Stoffella, J. P. (2003) Assessing zinc threshold for phytotoxicity and potential dietary toxicity in selected vegetable crops. *Communication Soil Science and Plant Analysis*, 34(9), 1421-1434.

Magurran, A. E. (1988) *Ecological diversity and its*

measurement. Princeton University Press.179p.

?pik, M., Moora, M., Liira, J. and Zobel, M. (2006) Composition of root colonizing arbuscular mycorrhizal fungal communities in different ecosystems around the globe. *Journal of Ecology*, 94, 778-790.

Ortega-Larrocea M. P., Siebe, C., Estrada, A. and Webster, R. (2007) Mycorrhizal inoculum potential of arbuscular mycorrhizal fungi in soils irrigated with wastewater for various lengths of time, as affected by heavy metals and available P. *Applied Soil Ecology*, 37, 129–138.

Ortega-Larrocea M. P., Siebe C., Be´card G., Webster R. and Me´ndez I. (2001) Impact of a century of wastewater irrigation on the abundance of arbuscular mycorrhizal (AM) fungi in the Mezquital Valley of Mexico. *Applied Soil Ecology*, 16, 149–157.

Page, A. L., Mille, H. R. and Keeney, R. D. (1982) Methods of soil analysis, Part. II, *Chemical and microbiological properties* (2nd ed.) Monograph number 9, ASA, Madison, WI.

Pawlowska, T. E., Blaszkowski J. and Rühling A. (1996) The mycorrhizal status of plants colonizing a calamine spoil mound in southern Poland. *Mycorrhiza*, 6, 499-505.

Pawlowska, T.E., Chaney R.L., Chin M. and Charvat I. (2000) Effects of metal phytoextraction practices on the indigenous community of arbuscular mycorrhizal fungi at a metal comtaminated landfill. *Applied and Environmental Microbiology*, 66, 2526–2530.

Raman, N. and Sambandan K. (1998) Distribution of VAM fungi in tannery effluent polluted soils of Tamil Nadu, India. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 60,142-50.

Raman, N., Nagarajan N., Gopinathan S. and Sambandan K. (1993) Mycorrhizal status of plant species colonizing a magnesite mine spoil in India. *Biology and Fertility of Soils*, 16, 76–78.

Rejali, F. (2003) *The in vitro production of arbuscular mycorrhiza inoculant and its effects on nutrient uptake by wheat under drought stress*. Ph.D. dissertation in Soil Science, Agricultural Faculty, University of Tarbiate Modares, Tehran, Iran (In Farsi).

Renker, C., Blanke V. and Buscot F. (2005) Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in grassland spontaneously developed on area polluted by a fertilizer plant. *Environmental Pollution*, 135, 255-266.

Sadravi, M. (2000) Identification of arbuscular mycorrhizal fungi symbiosis with wheat, barley, maize and sorghum in Tehran and Khuzestan provinces and possibility to propagation within in vitro culture. Ph.D. dissertation, Agricultural Faculty, University of Tarbiate Modares, Tehran, Iran (In Farsi).

Sambandan, K., Kannan K. and Raman N. (1992) Distribution of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in heavy metal polluted soils of Tamil-Nadu, Indian. *Journal of Environmental Biology*, 13, 159-67.

Schenck, N. C. and Perez Y. (1990) *Manual for the identification of VA mycorrhizal fungi* .INVAM. Univ of Florida, Gainsville. 286 p.

Shetty, P. K., Hetrick B. A. D., Figge D. A. H. and Schwab A. P. (1995) Effects of mycorrhizae and other soil microbes on revegetation of heavy metal contaminated mine spoil. *Environmental Pollution*, 86, 181–188.

Stutz, J C., Copeman R., Martin C. A. and Morton J. B. (2000) Patterns of species composition and distribution of arbuscular mycorrhizal fungi in arid regions of southwestern North America and Nambia, Africa. *Candian Journal of Botany*, 78, 237-245.

Tonin, C., Vandenkoornhuyse P., Joner E. J., Straczek J. and Leyval C. (2001) Assessment of arbuscular mycorrhizal fungi diversity in the rhizosphere of *Viola calaminaria* and effect of these fungi on heavy metal uptake by clover. *Mycorrhiza*, 10, 161-168.

Turnau, K., Ryszka P., Gianinazzi P. V and van Tuinen D. (2001) Identificaltion of arbucular mycorrhizal fungi in soils and roots of plant colonizing zind wastes in southern Poland. *Mycorrhiza*, 10, 169-174.

Vallino, M., Massa N., Lumini E., Bianciotto V., Berta G. and Bonfante P. (2006) Assessments of arbuscular mycorrhizal fungal diversity in roots of *Solidago gigantea* growing in a polluted soil in Northern Italy. *Environmental Microbiology*, 8, 971-983.

Weissenhorn, I. and Leyval C. (1996) Spore germination of arbuscular mycorrhizal fungi in soils differing in heavy metal content and other parameters. *European Journal of Soil Biology*, 32, 165–172.

Whitfield, L., Richards A. J. and Rimmer D. L. (2004) Relationships between soil heavy metal concentration and mycorrhizal colonization in *Thymus polytrichus* in Northern England. *Mycorrhiza*, 14, 55-62.

Zarei M., Saleh-Rastin N., Salehi Jouzani Gh., Savaghei Gh. and Buscot F. (2008) Arbuscular mycorrhizal abundance in contaminated soils around a zinc and lead deposit. *European Journal of Soil Biology*, 44, 381– 39.

This document was created with Win2PDF available at http://www.daneprairie.com.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.