نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد 10، شماره 2، تابستان 1397، ص. 579-565

Journal of Agroecology
Vol. 10, No.2, Summer 2018, p. 565-579

تأثیر زئولیت، میکوریزا و سوپرجاذب بر رشد و استقراراولیه گیاه مرتعی دارویی بومادران (*Achillea millefolium* L.) در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین معادن متروکه سیمان (مطالعه موردی: کارخانه سیمان شرق مشهد)

ریحانه عظیمی[1*]، غلامعلی حشمتی [2]، محمد فرزام[3] و مرتضی گلدانی[4]

تاریخ دریافت: 1395/12/24
تاریخ پذیرش: 1396/07/01

عظیمی، ر.، حشمتی، غ.ع.، فرزام، م.، و گلدانی، م. 1397. تاثیر زئولیت، میکوریزا و سوپرجاذب بر رشد و استقراراولیه گیاه مرتعی دارویی بومادران (*Achillea millefolium* L.) در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین معادن متروکه سیمان (مطالعه موردی: کارخانه سیمان شرق مشهد). بوم‌شناسی کشاورزی، 10(2): 579-565.

چکیده

امروزه معدن‌کاوی‌ها تا مساحت زیادی موجب تخریب مراتع می‌گردد، برای عبور از این بحران، نیاز فراوانی به احیاء اراضی تخریب یافته به وسیله استقرار گیاهان در مناطق معدن‌کاوی شده احساس می‌شود. روش‌های جدید اصلاح مراتع مبتنی بر استفاده از رهیافت‌های زیستی و غیرزیستی (زئولیت، سوپرجاذب و میکوریزا) می‌تواند به استقرار گیاهان در این مناطق کمک کند. این تحقیق با هدف بررسی امکان افزایش استقراراولیه و رشد گیاه مرتعی دارویی بومادران (*Achillea millefolium* L.) در اراضی معدن‌کاوی شده آلوده به فلزات سنگین، ابتدا نشاءهای کشت شده در گلخانه با میکوریزا (*Glomus intraradices*) زئولیت و سوپرجاذب تلقیح و سپس در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در منطقه نیمه خشک اراضی معدن‌کاوی کارخانه سیمان شرق مشهد در سال 95- 1394 کشت شد. گیاهان فقط یک‌بار در زمان کشت آبیاری شدند. در این تحقیق درصد استقرار، ارتفاع گیاهان کاشته شده، درصد کلونیزاسیون میکوریزا با ریشه گیاه بومادران در اراضی و برخی از خصوصیات مورفولوژیکی از جمله وزن خشک اندام-هوایی، وزن خشک ریشه و وزن خشک کل گیاه اندازه‌گیری شد. تیمارهای میکوریزا، زئولیت و سوپرجاذب موجب افزایش استقرار اولیه گیاهان (به‌ترتیب 50 ، 33 و 11 درصد) افزایش ارتفاع (14/3، 12/3 و 6/3 سانتی‌متر)، افزایش وزن خشک اندام هوایی (0/73، 0/57 و 0/5 گرم)، افزایش وزن خشک ریشه (0/26، 0/15 و 0/14 گرم) و وزن خشک کل گیاه (1، 0/73 و 0/64 گرم) نسبت به شاهد شدند. نتایج نشان داد که تیمارهای میکوریزا، زئولیت و سوپرجاذب به‌ترتیب بیشترین تأثیر را بر افزایش استقرار اولیه و بهبود خصوصیات رشدی گیاه بومادران داشتند و می‌توان جهت استقرار اولیه گیاهان در اراضی آلوده به فلزات سنگین منطقه معدن‌کاوی شده کارخانه سیمان شرق مشهد در منطقه نیمه‌خشک واقع شده‌اند پیشنهاد کرد.

واژه‌های کلیدی: عرصه، کود بیولوژیک، مراتع، نشاءکاری

مقدمه

یکی از منابع ایجاد آلودگی خاک‌ها به فلزات سنگین فعالیت‌های معدنی انسان جهت استخراج فلزات است. در جهان اغلب روش‌هایی که برای استخراج مواد معدنی که در عمق زمین قرار دارند به همراه حفاری‌های وسیع در حجم های زیاد است که موجب تخریب پوشش گیاهی و ناپایداری خاک می‌شود (Jacob Rossouw, 2016). مشخصه‌های فیزیکی باطله‌های معدن و سایر پسماندهای معدن می‌توانند مانع استقرار پوشش گیاهی شوند، این مشخصه‌ها شامل ناپایداری خاک، فقدان مواد آلی، حساسیت نسبت به خشکسالی، دمای

1، 2، 3 و 4- به‌ترتیب دکتری علوم مرتع، استاد، گروه مدیریت مرتع، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، استاد، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست و دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: Email: Reyhaneazimi36@yahoo.com)
DOI: 10.22067/jag.v10i2.63197

سطحی بالا، تبخیر سطحی می‌باشد. همچنین لغزیدن خاک‌های ناپایدار اراضی معدن‌کاوی شده بر شیب‌های تند سبب حرکت خاک و قطع ریشه گیاهان و در نهایت نابودی گیاه می‌گردد (Adams & Lamoureux, 2005; Mench et al., 2010). استفاده از گیاهان جهت احیای پوشش‌گیاهی توسط شرکت استخراج مواد معدنی آلومینیوم دیاموند در اراضی معدن‌کاوی انجام شده است. در این منطقه گیاهانی از خانواده گندمیان از قبیل *Chloris gayana* Kunth, *Cynodon dactylon* (L.) Pers., *Panicum maximum* L. کشت شدند (Van Rensburg et al., 2003).

بومادران هزار برگ (*Achillea millefolium* L.) از دیگر گونه‌های مهم جنس بومادران متعلق به خانواده مرکبان می‌باشد که از این گونه در برخی مناطق دنیا علاوه بر استفاده‌های دارویی به عنوان گیاه زینتی و پوششی استفاده می‌کنند (Omid Beigi, 2008).

موفقیت استقرار پوشش گیاهی در این اراضی به ترکیب عناصر مهم در بستر آلوده و انتخاب اصلاحات و مواد تلقیحی مناسب بستگی دارد (Azimi et al., 2014). استقرار پوشش‌گیاهی در اراضی معدن‌کاوی شده، نقش حفاظت کننده خاک را به‌منظور جلوگیری از فرسایش ایفا می‌کند (Asiedu, 2013). همچنین اراضی معدن‌کاوی شده واقع در مناطق خشک و نیمه‌خشک به دلیل دسترسی ناکافی به آب موجب کاهش عملکرد کمی و کیفی پوشش گیاهی و استقرار نهال‌های کاشته شده در عرصه‌های منابع طبیعی می‌شود (Barea et al., 2013). بنابراین در عرصه منابع طبیعی تلاش بر این است تا با فراهم نمودن آب مورد نیاز با استفاده از مواد اصلاحی در مراحل اولیه استقرار و رویش نهال‌ها سبب ارتقای مقاومت آن‌ها در برابر تنش‌های مختلف و افزایش میزان موفقیت طرح‌های کشت و احیا منابع طبیعی شوند (Sadravi & Gharacheh, 2013).

زئولیت‌ها مواد معدنی هستند که که مؤلفه اصلی آن‌ها سیلیکات‌های آلومینیوم است (Mohammadi Sani et al., 2011). زئولیت‌ها به‌علت سطح ویژه و ظرفیت تبادل کاتیونی زیاد، هزینه کم و دسترسی فراوان، به عنوان موادی مؤثر جهت کاهش جذب فلزات سنگین در خاک‌های آلوده شناسایی شده‌اند (Ruíz-Baltazar & Pérez, 2015). زئولیت‌ها به طور مؤثری سبب کاهش انتقال فلزات سنگین از از خاک به گیاه می‌شود. زیرا تجمع این فلزات سنگین ممکن است باعث کاهش رشد گیاه و مسمومیت آن شود. به همین دلیل اضافه کردن کلینوپتیلولیت به خاک سبب کاهش مسمومیت و رشد بیشتر گیاهان می‌گردد (Ruíz-Baltazar & Pérez, 2015; Massoudinejad & Ghaderpoori, 2016). زئولیت ها تا 70 درصد وزنی خودشان آب جذب می‌کنند و بدون این‌که وضعیت خاک بهم بخورد یا مرطوب شود، رطوبت خاک را حفظ می‌کنند (Ruíz-Baltazar & Pérez, 2015).

پلیمرهای سوپرجاذب که در کشاورزی استفاده می‌شوند شبکه پلیمری آبدوستی هستند که از طریق افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک کاهش شستشوی آب و مواد غذایی موجود در خاک، کاهش میزان تبخیر از سطح خاک و افزایش تهویه خاک موجب رشد و نمو بهتر گیاهان و در نتیجه افزایش عملکرد در شرایط معمولی و تنش می‌شوند (Abedi Koupai & Mesforoush, 2009). هیدروژل عناصری نظیر نیترات‌ها، فسفات‌ها، پتاسیم، آهن، روی و انواع ویتامین‌ها را در خود نگهداری نموده و از هدر رفتن آن‌ها جلوگیری می‌کنند (Kabiri, 2005; Sharma & Sharma, 2013). در پژوهشی در معدن زغال سنگ چین با استفاده از ترکیب گیاهان ذرت (*Zea mays* L.) و سویا (*Glycine max* L.) با سوپرجاذب‌ها در زمان کشت موفق به استقرار گیاه سویا و احیای منطقه معدن‌کاوی شدند (Huang et al., 2015). از مواد اصلاحی دیگر می‌توان کودهای زیستی میکوریزا را نام برد که به استقرار اولیه گیاهان در شرایط سخت محیطی کمک می‌کند. تشکیل سیستم میکوریزایی یک استراتژی سازگاری توسط گیاهان در این مناطق می‌باشد، که توانایی آن‌ها را برای جذب مواد غذایی و آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک افزایش می‌دهد (Azimi, 2013). تحقیقات نشان داده که میکوریزا در جذب عناصر فلزی از خاک تأثیر دارند و اغلب منجر به افزایش جذب عناصر می‌شوند. در فناوری استفاده از گیاهان سبز و ارتباط آن‌ها با میکروارگانیسم‌های خاک برای کاهش آلودگی خاک و آب‌های زیرزمینی استفاده می‌شود (Subodh Kumar Maiti, 2015). در تحقیقی مشاهده شد که گیاه علفی رودز (*Choris gayana* Kunth.) تلقیح شده با میکوریزا از عملکرد و زنده‌مانی بالاتری نسبت به شاهد در اراضی معدن‌کاوی منطقه نیمه‌خشک بزرگترین معدن مس آفریقا داشت (Jacob Rossouw., 2016). در حال حاضر بسیاری از تحقیقات به مطالعه در مقیاس آزمایشگاهی و گلخانه‌ای محدود شده است و تحقیقات اندکی در خصوص احیای پوشش گیاهی اراضی معدن‌کاوی در شرایط طبیعی عرصه‌های خشک و نیمه‌خشک وجود دارد (Adams & Lamoureux, 2005)، درحالی که نتایج واقعی

می‌توانند با نتایج آزمایشگاهی یا گلخانه‌ای متفاوت باشند (Azimi et al., 2014). لذا این امر لزوم تحقیقات بیشتر در شرایط عرصه طبیعی به منظور بررسی تأثیر رهیافت‌های زیستی و غیرزیستی بر افزایش تولید و امکان استقرار اولیه گیاه مرتعی دارویی بومادران در شرایط خاک‌های آلوده به فلزات سنگین در حوالی معادن متروکه کارخانه سیمان شرق مشهد نشان می‌دهد.

مواد و روش‌ها

در این آزمایش تأثیر تیمارهای میکوریزا *گلوموس اینترارادیس*[1]، سوپرجاذب (A_{200}) و زئولیت کلینوپتیلولیت[2] بر استقرار و تولید گونه مرتعی دارویی بومادران در منطقه نیمه‌خشک اراضی معدن‌کاوی شده کارخانه سیمان شرق مشهد به عرض جغرافیایی "29/96 '28 °36 و طول جغرافیایی "46/99 '44 °59 بررسی شدند. منطقه مورد مطالعه با میانگین بارندگی 225 میلی‌متر دارای اقلیم نیمه‌خشک است. بارش در فصل سرد سال با توزیع غیر نرمال است. بارش‌های سیل آسا، کوتاه‌مدت و رگباری قسمت عمده بارندگی‌های سالیانه را تشکیل می‌دهد. این منطقه در ارتفاع 1120 تا 1130متر از سطح دریا قرار دارد. طرح آزمایشی بر اساس بلوک کامل تصادفی با چهار تکرار شامل تیمارهای اصلی یک گونه گیاهی، تیمار میکوریزا، زئولیت و سوپرجاذب در منطقه معدن‌کاوی شده کارخانه سیمان مشهد به مساحت 720 متر مربع اجرا شد. قبل از کشت گیاهان در منطقه مورد مطالعه برای تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه، چهار نمونه خاک از عمق صفر تا 30 سانتی‌متری نمونه‌برداری انجام و با ارسال نمونه خاک به آزمایشگاه مرکزی دانشگاه فردوسی مشهد خصوصیات آن تعیین شد. در آزمایشگاه فلزات سنگین خاک، اسیدیته خاک، هدایت الکتریکی و بافت خاک اندازه‌گیری شد (جدول 1).

مراحل کشت در گلخانه و عرصه

ابتدا بذر گونه مرتعی دارویی بومادران در سینی‌های کشت 160 تایی در تاریخ اول دی ماه سال 1394کشت شد. پس از گذشت یک ماه نشاءها به گلدان‌های کاغذی (ابعاد 7×9 سانتی‌متر) که هر گلدان حدود 160 گرم گنجایش خاک داشت منتقل شد. خاک گلدان‌های کاغذی همان خاک منطقه معدن‌کاوی شده کارخانه سیمان مشهد بود که به گلخانه انتقال داده شده بود. زمانی که ارتفاع گیاهان حدود سه الی پنج سانتی‌متر شد، گلدان‌ها را به بیرون گلخانه منتقل و در آنجا نگهداری شد. مقدار و نوع تیمارهای انتخاب شده بر مبنای توصیه شرکت‌های تهیه‌کننده، تجربیات قبلی و تحقیقات محققان دیگر انتخاب شد. در زمان انتقال نشاءها به عرصه در تیمارهای جداگانه، گونه میکوریزا *گلوموس اینترارادیس* (Azimi et al., 2014; Azimi et al., 2016; Sharma & Sharma, 2013) و زئولیت به مقدار دو درصد (40 گرم برای دو کیلوگرم خاک) (Bagherifam et al., 2014; Yari et al., 2013) و سوپرجاذب 0/4 درصد (8 گرم برای دو کیلوگرم خاک) (Al Humaid & Moftah, 2007; Abedi Koupai & Mesforoush, 2009; Banedj Schafie, 2015) در چاله‌هایی که حدود دو کیلوگرم خاک گنجایش داشت اضافه شدند. مقدار ماده تلقیح میکوریزا به خاک نسبت یک به ده (1/10) بود، که ماده تلقیح به‌صورت لایه لایه به خاک اضافه شد (Maestre et al., 2002). خاک میکوریزایی از شرکت زیست فناورتوران تهیه شد. بر طبق کاتالوگ این شرکت، داخل هر گرم از خاک میکوریزایی حداقل 50 عدد اسپور زنده وجود داشت. همچنین ماده تلقیح شامل خاک، اسپور، ریشه گیاهان، هیف‌های قارچ میکوریزا بود. زئولیت از شرکت توسعه کشاورزی الوند سنگسر سمنان و پلیمر مورد استفاده از پژوهشگاه پلیمر ایران تهیه شد. کاشت گلدان‌ها در عرصه بر اساس طرح آزمایشی بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در آخر اسفند ماه سال 1394 انجام و در اواخر تیرماه سال 1395 در مرحله بذردهی، قبل از ریزش برگ‌ها (زیرا ریزش برگ‌ها، سبب کاهش کلونیزاسیون می‌گردد)، از گیاه مرتعی دارویی بومادران نمونه‌برداری شد. به‌منظور پوشش شیب‌های طولی و عرضی موجود در اراضی معدن‌کاوی شده، از طرح بلوک استفاده شد. آبیاری گیاهچه‌ها فقط یک بار در زمان کاشت انجام شد و بعد از آن اصلا آبیاری نشدند.

ارزیابی گیاهان استقرار یافته در عرصه

شمارش پایه‌های استقرار یافته و تعیین ارتفاع گیاهان کشت شده در عرصه در اواخر تیرماه قبل از مرحله بذردهی و ریزش برگ‌ها صورت گرفت. بدین‌منظور از هر تیمار در هر کرت دو پایه گیاهی به‌صورت تصادفی انتخاب و به‌صورت کامل از خاک خارج شد. پس از اندازه‌گیری ارتفاع نمونه‌ها، به‌صورت جداگانه در پاکت کاغذی قرار داده شد.

1- *Glomus intraradices*
2- Clinoptilolite

جدول1- برخی مشخصات شیمیایی و فیزیکی خاک عرصه معدن‌کاوی شده کارخانه سیمان شرق مشهد

Table 1- Some chemical and physical properties of soil, cement factory mining area of East Mashhad

هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC ($dS.m^{-1}$)	اسیدیته خاک pH	بافت Texture	کادمیوم (میلی گرم بر کیلوگرم) Cd ($mg.kg^{-1}$)	کبالت (میلی گرم بر کیلوگرم) Co ($mg.kg^{-1}$)	نیکل (میلی گرم بر کیلوگرم) Ni ($mg.kg^{-1}$)	روی (میلی گرم بر کیلوگرم) Zn ($mg.kg^{-1}$)	مس (میلی گرم بر کیلوگرم) Cu ($mg.kg^{-1}$)	کروم (میلی گرم بر کیلوگرم) Cr ($mg.kg^{-1}$)	منگنز (میلی گرم بر کیلوگرم) Mn ($mg.kg^{-1}$)	آرسنیک (میلی گرم بر کیلوگرم) Ar ($mg.kg^{-1}$)	سرب (میلی گرم بر کیلوگرم) Pb($mg.kg^{-1}$)
2.6	**8.16**	**سیلتی لومی Silty loam**	**1.1**	**18.46**	**58**	**88.23**	**45**	**45.7**	**287.5**	**6.7**	**12**
محدوده مجاز فلزات سنگین در خاک (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Allowable level of Heavy metals in soil ($mg.kg^{-1}$) (Raisi, 2013; Vodyanitskii, 2016)			0-0.7	1-10	2-50	3-50	1-20	2-50	15-150	0-4.5	0.5-5

برای هر گیاهچه علاوه بر درصد استقرار و درصد کلونیزاسیون، ارتفاع گیاه، وزن خشک برگ، وزن خشک ریشه، وزن خشک ساقه و وزن خشک کل گیاه اندازه‌گیری شد. همچنین ارتفاع گیاه از یقه تا قسمت انتهای ساقه با استفاده از خط‌کش میلی‌متری اندازه‌گیری و اعداد به‌دست آمده بر حسب واحد سانتی‌متر گزارش شد. پس از اندازه-گیری طول ساقه، نمونه‌ها به‌صورت جداگانه در پاکت کاغذی قرار داده و به‌مدت 48 ساعت در دمای 70 درجه سانتی‌گراد در آون خشک گردید. وزن خشک ساقه، ریشه و برگ با ترازوی دیجیتال با دقت 0/01 گرم اندازه‌گیری و ثبت شد (Saghari et al., 2009).

تعیین درصد کلونیزه شدن ریشه گیاهان با میکوریزا

درصد کلونیزه شدن ریشه گیاه بومادران با میکوریزا در دو مرحله اواخر اسفندماه (در مرحله گلخانه و قبل از انتقال به عرصه) و اوایل تیرماه (در مرحله نمونه‌برداری گیاهان در عرصه) اندازه‌گیری شد. قبل از انتقال نهال‌ها به عرصه درصد کلونیزه شدن ریشه گیاهان با میکوریزا اندازه‌گیری شد، زیرا برای افزایش درصد موفقیت تیمارهای مختلف میکوریزایی در برنامه‌های احیا مراتع مناطق نیمه‌خشک بهتر است اول در گلخانه درصد کلونیزه شدن ریشه گیاهان با تیمارهای میکوریزا در گیاهان میزبان بررسی و سپس از پتانسیل قارچ‌های میکوریزا جهت بهبود و بهره‌برداری استفاده شود (Maestre et al., 2002). برای تعیین درصد کلونیزه شدن ریشه گیاهان با میکوریزا، قسمتی از ریشه تازه گیاهان (حدود 0/2گرم) به‌صورت تصادفی انتخاب شده و پس از شستشوی کامل با آب به اندازه‌های یک سانتی-متری قطع و جهت رنگ‌آمیزی به داخل شیشه‌های حاوی محلول 10 درصد KOH منتقل و به‌مدت 60 ساعت در دمای اتاق نگهداری شدند. در مرحله بعد ریشه‌ها شسته شده و جهت خنثی کردن محیط قلیایی به‌مدت دو دقیقه در محلول یک دهم مولار HCl قرار داده شدند. جهت رنگ‌آمیزی ریشه‌ها از روش تغییریافته فیلیپس و هایمن (Phillips et al., 1970) استفاده گردید. پس از رنگ‌آمیزی ریشه‌ها، برای تعیین میزان همزیستی قارچ میکوریز با ریشه‌ها از روش جیوانتی (Giovannetti et al., 1980) استفاده شد. داده‌های آزمایش با استفاده از نرم‌افزار پایگاه اطلاعاتی Excel دسته‌بندی و شکل‌های مربوط تهیه شد. برای انجام آنالیز واریانس و مقایسه میانگین‌ها از نرم‌افزار آماری SPSS18 و Minitab16 استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها به‌روش دانکن و در سطح احتمال 99 و 95 درصد انجام شد.

نتایج و بحث

تأثیر تیمارهای زئولیت، میکوریزا و سوپرجاذب بر خصوصیات مورفولوژیک و رشد اندام‌های گیاه بومادران بر اساس تحلیل واریانس

انجام شده مشخص شد که تیمارهای زئولیت، میکوریزا و سوپرجاذب اثر معنی‌داری بر روی وزن خشک کل گیاه، وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، ارتفاع و درصد استقرار گیاه مرتعی و دارویی بومادران در عرصه داشتند (جدول 2).

جدول 2- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تأثیر تیمارهای زئولیت، میکوریزا و سوپرجاذب بر خصوصیات مورفولوژیک و رشد اندام‌های گیاه بومادران

Table 2- Analysis of variance analysis (mean of squares) for the effect of two mycorrhiza species on *Achillea millefolium* L.morphological and growth characteristics

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	وزن خشک ریشه (گرم) Root dry weight ($g.plant^{-1}$)	وزن خشک اندام هوایی (گرم) Shoot dry weight ($g.plant^{-1}$)	وزن خشک کل گیاه (گرم) Total dry weight ($g.plant^{-1}$)	ارتفاع (سانتی-متر) Height ($cm.plant^{-1}$)	استقرار (درصد) Establishment (%)
تکرار Replication	3	0.001	0.06	0.07	3.9	156.25
تیمار Treatment	3	0.15^{**}	0.4^{**}	0.7^{**}	165.14^{*}	1776.62^{**}
خطا Error	9	0.001	0.03	0.03	1.42	63.66
ضریب تغییرات (درصد) C.V (%)	-	56.39	43.79	45.36	57.72	59.96

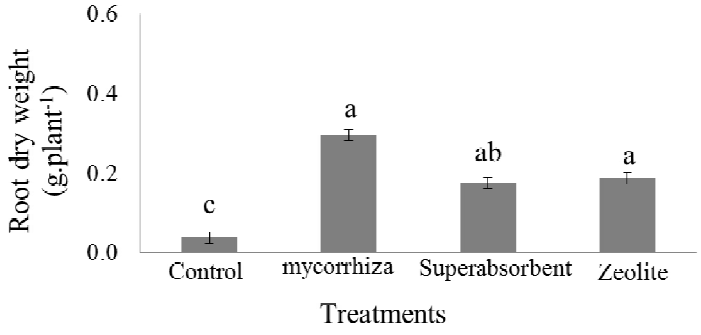
**، * و ns: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال 0/01، 0/05 و عدم معنی‌داری

**, * and ns: significant in level 0.01, 0.05 and insignificance, respectively.

نتایج آزمایش نشان داد که تیمارهای زئولیت، میکوریزا و سوپرجاذب بر برخی از خصوصیات مرفولوژیک و رشد اندام‌های گیاه مرتعی دارویی بومادران چند ساله تأثیر مطلوبی داشت.

وزن خشک ریشه

اثر زئولیت، میکوریزا و سوپرجاذب بر وزن خشک ریشه در شرایط عرصه معنی‌دار بود (جدول2) تلقیح گیاه بومادران با میکوریزا و زئولیت باعث افزایش وزن خشک ریشه در عرصه شد، اما وزن خشک ریشه در تیمار سوپرجاذب حدواسط بین نتایج مشاهده شده بود و با میانگین‌های دو تیمار میکوریزا و زئولیت تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل 1).



شکل 1- اثر تیمارهای مختلف تیمارهای زئولیت، میکوریزا و سوپرجاذب بر وزن خشک ریشه گیاه بومادران

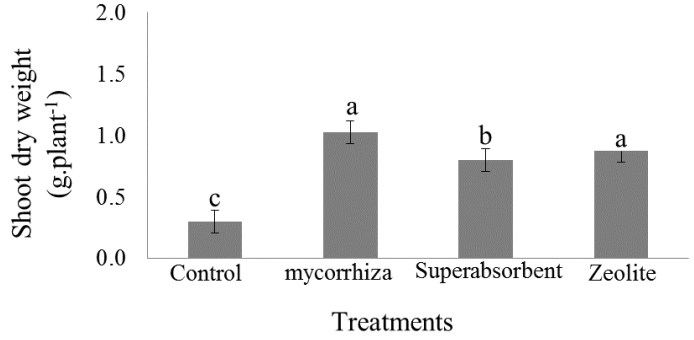
Fig. 1- The effect of zeolite, mycorrhizae and superabsorbent treatments on root dry weight of *Achillea millefolium* L.

در هر ستون و برای هر فاکتور میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

In each column and for each factor, averages that have common letters, according to Duncan's multiple range test haven't significant difference in 0.05% level.

وزن خشک اندام هوایی

با توجه به نتایج مشخص شد که اثرات زئولیت، میکوریزا و سوپرجاذب بر افزایش وزن اندام هوایی نسبت به شاهد در شرایط عرصه معنی‌دار ($p\leq0/01$) شد (جدول 2). مقایسه میانگین‌های این تیمارها نشان داد که گیاهان تلقیح شده با میکوریزا و زئولیت بیشترین وزن خشک اندام هوایی را داشتند (شکل 2).



شکل 2- اثر تیمارهای مختلف تیمارهای زئولیت، میکوریزا و سوپرجاذب بر وزن خشک اندام هوایی گیاه بومادران

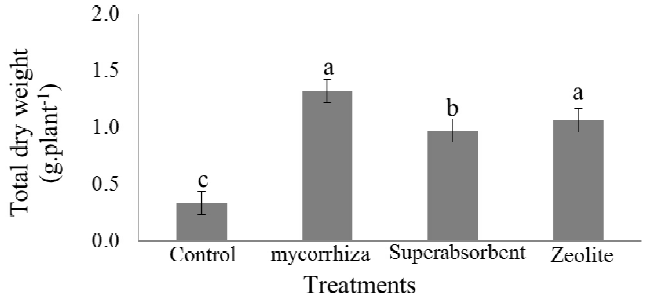
Fig. 2- The effect of zeolite, mycorrhizae and superabsorbent treatments on shoot dry weight of *Achillea millefolium* L.

در هر ستون و برای هر فاکتور میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

In each column and for each factor, averages that have common letters, according to Duncan's multiple range test haven't significant difference in 0.05% level.

وزن خشک کل گیاه

با توجه به نتایج مشخص شد که تیمارهای زئولیت، میکوریزا و سوپرجاذب اثر معنی‌داری بر روی وزن خشک کل داشتند (جدول 2). با توجه به مقایسات میانگین بین تیمارها مشخص شد که میکوریزا و زئولیت بیشترین تأثیر را بر افزایش زیست توده کل گیاه داشتند (شکل 3).



شکل 3- اثر تیمارهای مختلف تیمارهای زئولیت، میکوریزا و سوپرجاذب بر وزن خشک کل گیاه بومادران

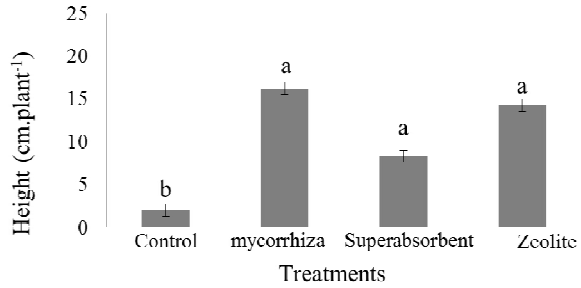
Fig. 3- The effect of zeolite, mycorrhizae and superabsorbent treatments on total dry weight of *Achillea millefolium* L.

در هر ستون و برای هر فاکتور میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

In each column and for each factor, averages that have common letters, according to Duncan's multiple range test haven't significant difference in 0.05% level.

ارتفاع

با توجه به نتایج اثرات زئولیت، میکوریزا و سوپرجاذب بر ارتفاع گیاه بومادران معنی‌دار ($p\leq0/01$) شد (جدول 2). گیاهان تلقیح شده تحت تیمارهای مختلف زئولیت، میکوریزا و سوپرجاذب ارتفاع بیشتری نسبت به شاهد داشتند (شکل 4).



شکل 4- اثر تیمارهای مختلف تیمارهای زئولیت، میکوریزا و سوپرجاذب بر ارتفاع گیاه بومادران

Fig. 4- The effect of zeolite, mycorrhizae and superabsorbent treatments on height of *Achillea millefolium*

در هر ستون و برای هر فاکتور میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

In each column and for each factor, averages that have common letters, according to Duncan's multiple range test haven't significant difference in 0.05% level.

نتایج آزمایش نشان داد در بین تیمارها (زئولیت، میکوریزا و سوپرجاذب) تیمارهای زئولیت و میکوریزا بهترین نتایج را در عرصه داشتند. در این تحقیق میکوریزا سبب افزایش ارتفاع، وزن خشک ریشه و وزن خشک اندام هوایی شد. احتمالاً قارچ به کمک شبکه ریسه‌های خارج ریشه‌ای خود آب و عناصر غذایی را جذب کرده و در اختیار گیاه قرار می‌دهد و گیاه نیز کربوهیدرات‌های مورد نیاز قارچ را تأمین می‌کند (Azimi et al., 2014). همچنین قارچ‌های میکوریزایی با تولید هورمون‌های گیاهی می‌توانند رشد گیاه و یا رشد ریشه را تشدید کنند، در نتیجه ظرفیت جذب عناصرغذایی را بالا برده و شانس گیاه را در اجتناب از خشکی افزایش می‌دهند (Barea et al., 2005). در پژوهشی همزیستی میکوریزا *G. intraradices* گیاه سورگوم (*Sorghum bicolor* L.) در خاک‌های آلوده به فلز سرب نشان داد که همزیستی قارچ *G. intraradices* سبب افزایش وزن خشک بخش هوایی و افزایش وزن خشک ریشه در مقایسه با بوته‌های غیرهمزیست گردید، ولی اثر معنی‌داری بر ارتفاع نداشت (Amanifar et al., 2010). در تحقیقی دیگر بیان شده است که کاربرد زئولیت، pH خاک و احتباس نیتروژن، جذب Pb، Cd، Zn و سایر فلزات سنگین را از طریق تبادل کاتیونی و فراهم نمودن مواد مغذی معدنی برای گیاهان و میکروارگانیسم‌ها کنترل می‌کند (Fenn et al., 2006; Fenglian et al., 2011). در آزمایشی با تلقیح گیاهان ذرت با زئولیت به مقدار 2/5 درصد موفق به استقرار آن‌ها در خاک‌های آلوده کشاورزی اطراف معدن مس یونان شدند (Shaheen et al., 2015). پس از میکوریزا و زئولیت، تیمار سوپرجاذب موجب افزایش وزن خشک کل گیاه، ارتفاع و وزن خشک اندام هوایی گیاه نسبت به شاهد شد. این ممکن است به‌علت افزایش کارایی مصرف آب، موادغذایی و عدم شستشوی عناصرغذایی خاک باشد (Fallahi et al., 2016). اثر پلیمر سوپرجاذب A200 را بر شاخص‌های رشد یک گونه درختچه‌ای زینتی در فضای سبز (سرونقره‌ای) مورد بررسی قرار دادند. نتایج این پژوهش نشان داد که مخلوط کردن 4 یا 6 گرم پلیمر با یک کیلوگرم با خاک گیاهان، آب مورد نیاز برای گیاه را حداقل یک سوم، کاهش می‌دهد که علت آن به افزایش آب قابل استفاده نسبت داده شده است (Abedi Koupai & Asadkazemi, 2006). در پژوهشی اثر سوپرآب A200 در کاهش تنش خشکی درختان میوه زیتون (*Olea europaea* L.) را مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش سه رقم زیتون (زرد، دزفول و مانزنیا) با سوپرجاذب‌ها به نسبت‌های صفر (شاهد)، 0/2 و 0/3 درصد وزنی در خاک گلدان‌ها آمیخته شده بود کشت شدند. نتیجه نشان داد که گیاهان ترکیب شده با سوپرجاذب به نسبت 0/3 درصد وزنی وزن خشک و ارتفاع بالاتری داشتند و تنش‌های خشکی تأثیر کمتری بر روی زنده‌مانی و خصوصیات مورفولوژیکی گیاهان گذاشته است (Talaii & Asadzadeh, 2005).

تأثیر کلونیزه شدن ریشه گیاه بومادران بر میزان درصد استقرار

درصد کلونیزه شدن ریشه گیاه بومادران با تیمار میکوریزا :

کلونیزه شدن ریشه گیاه بومادران با گونه میکوریزا *Glomus intraradices* در مرحله قبل (در گلخانه) و بعد از انتقال و کشت در

عرصه معنی‌دار (p≤0/01) بود (جدول3).

جدول3- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) درصد کلونیزه شدن ریشه گیاه بومادران با میکوریزا در محل کشت (گلخانه، عرصه)

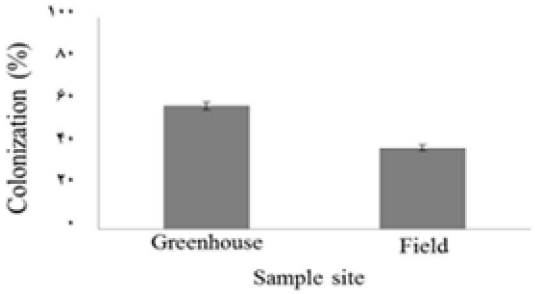
Table 3- Analysis of variance (mean of squares) of planting site impact of on root colonization percentage of *Achillea millefolium* with mycorrhizal Culture location (field, greenhouse)

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	درصد کلونیزاسیون Colonization percentage
تکرار Replication	3	3.7^{ns}
محل نمونه (گلخانه و عرصه) Sample site (field, greenhouse)	1	800^{**}
خطا Error	3	18.52
ضریب تغییرات (درصد) C.V (%)	-	23.02

** و ns: به‌ترتیب معنی دار در سطح 0/05 و عدم معنی‌داری

** and ns: significant in level 0.01 and insignificance, respectively.

در مقایسه میانگین درصد کلونیزه شدن ریشه گیاه بومادران با میکوریزا *G. intraradices* در محل‌های کشت (عرصه و گلخانه) مشاهده شد که درصد کلونیزاسیون در شرایط گلخانه به‌طور معنی‌داری بیشتر از درصد کلونیزه شدن ریشه این گیاه با میکوریزا در شرایط عرصه بود (شکل 5).



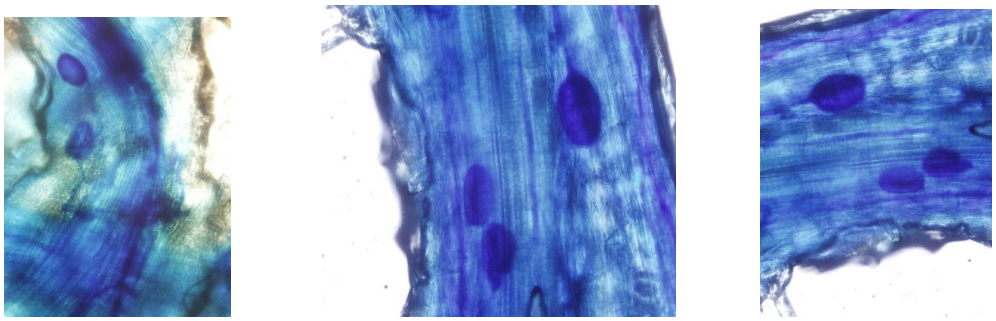
شکل 5- مقایسه میانگین درصد کلونیزاسیون گیاه بومادران

Fig. 5- Comparison the mean of colonization percentage *Achillea millefolium*

موفقیت رابطه میکوریزای آرباسکولار را می‌توان به‌وسیله کلونیزاسیون قارچی (آرباسکول، وزیکول و هیف) در ریشه‌های گیاه توضیح داد (شکل 6)

در این تحقیق مشخص شد که گیاه بومادران قادر به همزیستی با میکوریزا است. درصد کلونیزه شدن ریشه گیاه بومادران در مرحله قبل از کشت (مرحله گلخانه) بیشتر از بعد از کشت در عرصه بود. زیرا میکوریزا در در مرحله قبل از کشت (مرحله گلخانه) به‌علت وجود شرایط میزبان مناسب و نبود تنش‌های محیطی نظیر خشکی و برهم‌خوردگی خاک به سرعت افزایش یافت (Jonson, 1998) ولی پس از کشت در عرصه به‌دلیل تغییرات آب و هوایی و شرایط نامساعد از طرف محیط به میکوریزا، سبب عدم حمایت گیاه از قارچ و کاهش جمعیت میکوریزا شد (Azimi, 2013). در تحقیقی درصد کلونیزاسیون ریشه گیاهان کاکوتی کوهی (*Ziziphora clinopodioides* Lam.) و بروموس کپه‌داغی (*Bromus kopetdaghensis* Drobov) تلقیح شده با میکوریزا *Glomus mosseae* و *Glomus intraradices* در گلخانه بیشتر از شرایط عرصه بود. در این تحقیق پس از انتقال گیاهان به عرصه نیمه‌خشک بهارکیش قوچان، درصد کلونیزه شدن ریشه گیاهان با میکوریزا به‌

دلیل تغییرات آب و هوایی و شرایط نامساعد محیطی کـاهش یافـت (Azimi, 2013).



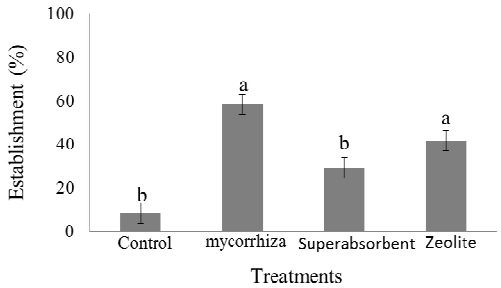
شکل 6- ریشه آلوده گیاه بومادران با وزیکول‌ها و میسلیوم‌های فراوان

Fig. 6- The contaminated roots of *Achillea millefolium* by numerous vesicules and hypha

بعضی قارچ‌های میکوریزا نیز بدلیل وجود فلزات سنگین در خاک تحت تأثیر قرار می‌گیرند. بعضی گزارشات نشان می‌دهند که توسعه میسلیومی و هاگزایی به‌دلیل وجود فلزات سنگین در خاک تحت تأثیر قرار گرفتند (Boyd, 2007). بعضی از گونه‌های میکوریزا می‌توانند تنش فلزات سنگین را تحمل کنند که از میان آن‌ها، *Glomus intraradices*، *Glomus mosseae* مهم‌ترین گونه‌های *Glomus* هستند (Sharma & Sharma, 2013). بنابراین، انتخاب سویه‌های میکوریزا مقاوم به تنش فلزات سنگین یک مرحله مهم برای حصول گیاهان سالم در زمین‌های آلوده به فلزات است. فلزات سنگین عمدتاً در هیف و همین‌طور آرباسکول قارچ انباشته می‌شوند. جذب قابل توجه روی به میسلیوم قارچ میکوریزایی آرباسکولار با استفاده از چندین گونه *Glomus* دارای رابطه همزیستی با شبدر (*Trifolium subterraneum* L.) و گیاه چچم (*Lolium perenne* L.) مشاهده شد (Sharma & Sharma, 2013). افزایش همزیستی زوائد هیفی، هاگزایی و رویش هاگ تحت غلظت بالای کادمیوم و روی در قارچ *G. intraradices* مشاهده شد (Boyd, 2007).

درصد استقرار اولیه نشـاءهـای بومـادران در عرصـه معدن کاوی شده:

اثر زئولیت و میکوریزا بر درصد استقرار نشـاءهـای بومـادران در اراضی معدن‌کاوی شـده کارخانـه سـیمان معنـی‌دار ($p\leq 0/01$) بـود (جدول3). مقایسات میانگین تیمارهای مختلف زئولیـت، میکـوریزا و سوپرجاذب نشان داد که میکوریزا *G. intraradices* و زئولیت تـأثیر بیشتری را نسبت به تیمار سوپرجاذب و شاهد بر افزایش استقرار اولیه نشاءهای بومادران در عرصه داشتند (شکل 7).



شکل 7- مقایسه میانگین تأثیر تیمارهای زئولیت، میکوریزا و سوپرجاذب بر درصد نهال‌های زنده گیاه بومادران

Fig. 7- Interaction impacts between zeolite, mycorrhizae and superabsorbent treatments on live seedlings of *Achillea millefolium*

در هر ستون و برای هر فاکتور میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

In each column and for each factor, averages that have common letters, according to Duncan's multiple range test haven't significant difference in 0.05% level.

در تحقیقی مشخص شد که گیاه بومادران مقاومت و استقرار بسیار بالایی نسبت به خاک‌های آلوده به فلزات سنگین سرب و مولبیدن دارد. نکته مثبت این پژوهش کار در شرایط عرصه بود (Mianji et al., 2012). در میان تیمارهای مختلف درصد استقرار گیاهان تلقیح شده با میکوریزا و زئولیت نسبت به تیمار سوپرجاذب و شاهد در شرایط عرصه بیشتر بود. در تحقیقی در آلمان از زئولیت‌های طبیعی جهت حذف فلزات سنگین از آب معادن انجام گرفت. زئولیت در کاهش آهن و سرب تأثیرگذارتر از دو فلز کادمیوم و روی بود (Wingenfelder et al., 2005). در تحقیق ارنست و همکاران (Ernest et al., 2008) مشاهده شد که گیاهان *Sielene vulgaris*, *Agrostis capillaries* که همراه با زئولیت کشت شده بودند بسیار مقاوم به فلزات سنگین خاک از قبیل مس و روی بودند. کلونیزاسیون میکوریزایی در خاک‌های آلوده به عناصر سنگین باعث افزایش سطح مؤثر ریشه برای جذب عناصر غذایی می‌شود. ریسه‌های قارچی می‌تواند تا عمق زیادی از خاک نفوذ کرده و مقدار زیادی از موادغذایی شامل عناصر سنگین را جذب کند. همچنین در خاک‌هایی که به شدت توسط فلزات آلوده شده‌اند، قارچ آرباسکولار میکوریزا (VAM) می‌تواند از گیاهان در مقابل اثرات مضر این فلزات محافظت کند و پاسخ آن‌ها را به کاهش آب در سطوح سلولی، آناتومیکی و مورفولوژیکی بهبود بخشد (Bano et al. 2013). میکوریزا مانند فیلتری مانع وارد شدن فلزات معینی (فلزات سنگین مانند آرسنیک و کامیوم و غیره) به سلول‌های گیاه می‌شوند و بدین‌وسیله باعث کاهش آسیب گیاهان در اثر فلزات سمی گردند و احتمال موقیت استقرار گیاهان را در عرصه افزایش می‌دهد (Sharma & Sharma, 2013). قارچ‌های همزیست ریشه آرباسکولار *Glomus versiforme* و *G. intraradices* به استقرار و رشد بهینه و جذب بیشتر عناصر غذایی در گیاهان ذرت (*Zea mays* L.)، سویا (*Glycine max* L.)، شبدر زیرزمینی (*Trifolium subterraneum* L.)، گوجه‌فرنگی (*Lycopersicon esculentum* Mill.) و اکالیپتوس (*Eucalyptus camadulensis* Dehnh.) در در خاک‌های آلوده به کادمیوم، سرب، روی، آرسنیک و مواد نفتی کمک کردند. این قارچ‌ها با تثبیت این عناصر و مواد آلاینده در شبکه ریسه‌ای خارج ریشه‌ای خود باعث غیرفعال شدن آن‌ها می‌شوند. بنابراین، قارچ‌های همزیست ریشه می‌توانند کمک زیادی در احیای زیستی زمین‌های آلوده بنمایند (Sadravi & Gharacheh, 2013).

نتیجه‌گیری

در این تحقیق تیمارهای زئولیت و میکوریزا اثر مثبت‌تری بر روی افزایش عملکرد و استقرار گیاه بومادران در اراضی معدن‌کاوی کارخانه سیمان شد. لذا با توجه به وجود میلیون‌ها تن زئولیت در ایران، می‌توان با قیمت بسیار ارزان آن‌ها را تهیه و در کشاورزی و منابع طبیعی مورد استفاده قرار داد. این موضوع خصوصاً در عرصه‌های منابع طبیعی در مناطق خشک و نیمه‌خشک که میزان بارش و رطوبت خاک کم بوده و استقرار گیاهان به بارندگی وابسته است بسیار اهمیت داشته و می‌تواند مورد توجه محققان و دست اندرکاران اجرائی قرار گیرد. همچنین میکوریزا *G. intraradices* را نیز می‌توان به عنوان یک کود بیولوژیک جهت افزایش عملکرد، استقرار اولیه گیاه بومادران و احیای پوشش گیاهی اراضی آلوده به فلزات سنگین منطقه معدن‌کاوی شده در کارخانه سیمان شرق مشهد پیشنهاد کرد.

منابع

Abedi Koupai, J., and Asadkazemi, J. 2006. Effects of a hydrophilic polymer on the field performance of an ornamental plant (*Cupressus arizonica*) under reduced irrigation regimes. Iranian Journal of Polymer 15(9): 715-225. (In Persian with English Summary)

Abedi Koupai, J., and Mesforoush, M. 2009. Evaluation of superabsorbent polymer application on yield, water and fertilizer use efficiency in cucumber (*Cucumis sativus* L.). Iranian Journal of Irrigation and Drainage 2(3): 100-111. (In Persian with English Summary)

Adams, P.W., and Lamoureux, S. 2005. A literature review of the use of native northern plants for the re-vegetation of Arctic mine tailings and mine waste. Northwest Territories Environment and Natural Resources, Canada 67 pp.

Al Humaid, A., and Moftah, A.E. 2007. Effects of hydrophilic polymer on the survival of Buttonwood seedlings grown under drought stress. Journal of Plant Nutrition 30(1): 53-66.

Amanifar, S., Aliasgharzad N., Najafi, N., Oustan, S., and Bolandnazar, S. 2010. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on lead phytoremediation by Sorghum (*Sorghum bicolor* L.). Journal of Water and Soil Science 22(1): 155-168. (In Persian with English Summary)

Asiedu, J.B. 2013. Technical report on reclamation of small scale surface mined lands in Ghana: a landscape perspective. American Journal of Environmental Protection 1(2): 28-33.

Azimi, R. 2013. The effect of mycorrhiza on the establishment and morphological characteristics species *Bromus kopetdaghensis, Medicago sativa, Thymus vulgaris* and *Ziziphora clinopodioides* in Baharkish Ghoochan rangelands. Msc Dissertation, Faculty of Natural Resources and Environment, Mashhad Ferdowsi University, Iran. (In Persian with English Summary)

Azimi, R., Jankju, M., and Asghari, H. 2014. Effect of mycorrhiza inoculation on seedlings establishment and morphological parameters of *Medicago sativa* L. under field conditions. Journal of Agroecology 5(4): 424-432. (In Persian with English Summary)

Azimi, R., Hossein Jafari, S., Kianian, M.K., Khaksarzade, V., and Amini, A. 2016. Studying arbuscular mycorrhiza symbiotic effects on establishment and morphological characteristics of *Bromus kopetdaghensis* in cadmium contaminated soil. Taiwan Water Conservanc 64(3): 82-91.

Bagherifam, S., Lakziyan, A., Fotovat, A., Khorasani, R., Akbarzadeh, S., and Motedayen, A. 2014. Immobilization of arsenic in a calcareous soil using an iron, manganese and aluminum-modified zeoilite. Journal of Environmental Science and Technology 16(61): 39-54. (In Persian with English Summary)

Bano, S.A., and Ashfaq, D. 2013. Role of mycorrhiza to reduce heavy metal stress. Natural Science 5(12): 16-20.

Barea, J.M., Pozo, M.J., Azcon, R., and Azcon, C. 2005. Microbial co-operation in the rhizosphere. Journal of Experimental Botany 56(417): 1761-1778.

Barea, J.M., Palenzuela, J., Cornejo, P., Sánchez-Castro, I., Navarro-Fernández, C., Lopéz-García, A., Estrada, B., Azcón, R., Ferrol, N., and Azcón-Aguilar, C. 2013. Ecological and functional roles of mycorrhizas in semi-arid ecosystems of Southeast Spain. Journal of Arid Environments 75: 1292-1301.

Banedj Schafie, S. 2015. Effect of a superabsorbent polymer on the growth of Panicum antidotale and nitrogen leaching. Iranian Journal of Range and Desert Research 22(3): 595-605.

Boyd, R.S. 2007. The defense hypothesis of elemental hyper accumulation status, challenges and new directions. Plant and Soil 293: 153-176.

Bradley, R., Burt, A.J., and Read, D.J. 1981. Mycorrhizal infection and resistance to heavy metal toxicity in *Calluna vulgaris*. Nature 292: 335-337.

Ernest, W., Joachimkarauss, J., Verkleij, J., and Wesenbfrg, D. 2008. Interaction of heavy metals with the sulphur metabolism in angiosperms from an ecological point of view. Plant, Cell and Environment 31: 123-143.

Fallahi, H.R., Aghhavani Shajari, M., Taherpour Kalantari, R., and Soltanzadeh, M.G. 2016. Evaluation of superabsorbent efficiency in response to dehydration frequencies, salinity and temperature and its effect on yield and quality of cotton under deficit irrigation. Journal of Agroecology 7(4): 513-527. (In Persian with English Summary)

Fenn, M.E., Perea-Estrada, V.M., De Bauer, L.I., Perez-Suarez, M., Parker, D.R., and Centina-Alcala, V.M. 2006. Nutrient status and plant growth effects of forest soils in the basin of Mexico. Environmental Pollution 140: 187-199.

Fenglian, F., and Wan, Q. 2011. Removal of heavy metal ions from wastewaters: a review. Journal of Environmental Management 92(3): 407-418.

Giovannetti, M., and Mosse, B. 1980. An evaluation of techniques for measuring vesicular-arbuscular mycorrhizal infection in roots. Journal of New Physiologist 84: 489-500

Hesam, M., and Kaloee, M. 2014. Moisture retention of the soil by superabsorbent and its effect on yield and water use efficiency of tomato. Journal of Water and Soil Conservation 21(2): 245-259. (In Persian with English Summary)

Huang, Z., Xiang, W., Ma, Y., Ma, P., Tian, D., and Deng, X. 2015. Growth and heavy metal accumulation of koelreuteria paniculata seedlings and their potential for restoring manganese mine wastelands in Hunan, China. International Journal of Environmental Research and Public Health 12: 1726-1744.

Jacob Rossouw, M. 2016. Application of plant growth promoting substances and arbuscular mycorrhizal fungi for phytostabilisation of mine tailings. Msc Dissertation, Plant Biotechnology at the University of Stellenbosch.

Jalili, K., Jalili, J., and Sohrabi, H. 2010. Effect of super absorbent polymer (Tarawat A_{200}) and irrigation interval on growth of almond sapling. Journal of Water and Soil Science 21(2): 121-134. (In Persian with English Summary)

Johnson, N.C. 1998. Responses of *Salsola kali* and *Panicum virgatum* to mycorrhizal fungi, phosphorus and soil

organic matter: implications for reclamation. Journal of Applied Ecology 35: 86-94.

Kabiri, A. 2005. Superabsorbent, Introduction to Applied. The Third Workshop and Seminar Application of Super Absorbent in Agriculture: Iran Polymer and Petrochemical Institute.

Khan, A. 2005. Role of soil microbes in the rhizospheres of plants growing on trace metal contaminated soils in phytoremediation. Journal of Trace Elements in Medicine and Biology 18: 355-364.

Keikhani, F. 2005. Effect of Super Absorbent Efficiency in Plants. Proceedings of the Third Period Educational and Seminars Specialized Agricultural use of Superabsorbent Hydrogels, Karaj. (In Persian)

Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants, London.

Maestre, F., Bautista, S., Cortina, J., and Dıaz, G. 2002. Microsite and mycorrhizal inoculum effects on the establishment of *Quercus coccifera* in a semi-arid degraded steppe. Ecological Engineering 19: 289-295.

Mench, M., Lepp N., Bert, V., Schwitzguebel, J.P., Gawronski, S.W., Schröder P., and Vangronsveld J. 2010. Successes and limitations of phytotechnologies at field scale: outcomes, assessment and outlook from COST Action 859. Journal Soils Sediments 10: 1039-1070.

Mianji, K., Haj Seyed Hadi, S., Riazi, H.R., and Saber Haghighatnia, G.H. 2012. Studying phytoremediation potential of *Salvia officinalis* and *Achillea millefolium* in remediation of heavy metal polluted soils. The 12th Iranian Agriculture and Plant Breeding Science Congress, Karaj, Islamic Azad University, Karaj branch, 4-6 September p. 91-96. (In Persian)

Mohammadi Sani, M., Astaraei, A., Fotovat, A., Lakziyan, A., and Taheri, M. 2011. The effect of zeolite and TSP on Speciation of Pb, Zn and Cd in Mine Waste. Journal of Water and Soil 25(1): 42-50. (In Persian with English Summary)

Omid Beigi, R. 2008. Production and Processing of Medicinal Plants, Iran. (In Persian)

Phillips, J.M., and Hayman, D.S. 1970. Improved procedure for clearing roots and staining parasites and vesicular–arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. Journal of Transactions of the British Mycological Society 55: 158-161.

Pfleger, F.L., and Linderman, R.G. 1994. Mycorrhizae and Plant Health. American Phytopathological Society, United States of America.

Raisi, T. 2013. Studying environmental effects of heavy elements on agricultural soils. Ariculture and Natural Recourses Engineering Organization 12(46): 34-37.

Ruíz-Baltazar, A., and Pérez, R. 2015. Kinetic adsorption study of silver nanoparticles on natural zeolite: experimental and theoretical models. Journal of Applied Sciences 5: 1869-1881.

Sadravi, M., and Gharacheh, N. 2013. The role of mycorrhizal fungi in restoring lands contaminated with toxic substance. Plant Pathology Science 2(2): 45-60. (In Persian with English Summary)

Saghari, M., Barani, H., Mesdagi, M., and Sadroi, M. 2009. Inoculation effect of mycorrhiza and Phosphorus fertilize on growth and yield of two annual *Medicago* sp. Journal of Iranian Range Management Society 15: 291-301. (In Persian with English Summary)

Shaheen, S.M., Tsadilas, C.D., and Rinklebe, J. 2015. Immobilization of soil copper using organic and inorganic amendments. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 178(1): 112-117.

Sharma, A., and Sharma, A. 2013. Role of vesicular arbuscular mycorrhiza in the mycorrhiza in the mycoremediation of heavy toxic metals from soil. International Journal of Life science and Pharma Reviews (IJLPR) 2(3): 418-431.

Shomali, R., and Khodaverdiloo, A. 2012. Contamination of soils and plants along urmia-salmas highway (Iran) to some heavy metals. Journal of Water and Soil Science 22(3): 157-171. (In Persian with English Summary)

Sudova, R., and Vosatka, M. 2007. Differences in the effects of three arbuscular mycorrhizal fungal strains on P and Pb accumulation by maize plants. Plant and Soil 296(1-2): 77-83.

Talaii, A., and Asadzadeh, A. 2005. Scrutiny of the effect of superabsorbent in reducing dryness olive trees. The third seminar courses and agricultural applications superabsorbent. Iranian Institute of Polymer and Petrochemical Institute. (In Persian with English Summary)

Van Rensburg, L., Maboeta, M., and Morgenthal, T. 2003. Rehabilitation of co-disposed diamond tailings: Growth medium rectification procedures and indigenous grass establishment. Water, Air and Soil Pollution 154: 101-113.

Vodyanitskii, Y. 2016. Standards for the contents of heavy metals in soils of some states. Annals of Agrarian Science 14: 257-263.

Wingenfelder, U., Hansen, C., Farrer, G., and Schulin, R. 2005. Removal of heavy metals from mine waters by natural zeolites. Environmental Science Technology 39: 4606-4613.

Yari, S., Khalighi-Sigaroodi, F., and Moradi, P. 2013. Effects of different levels of zeolite on plant growth and amount of gel production in *Aloe vera* L. under different irrigation. Journal of Aromatic and Medicinal Plants 4(48): 72-81. (In Persian with English Summary)

Journal of Agroecology
Vol. 10, No.2, Summer 2018, p. 565-579

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد 10، شماره 2، تابستان 1397، ص. 579-565

Effect of Mycorrhiza, Zeolite and Superabsorbent on Growth and Initial Establishment of Medicinal Rangeland Species of *Achillea millefolium* L. in Abandoned Cement Mines Soils (Case Study: Mashhad′ Shargh Cement Factory, Iran)

R. Azimi[1*], G.A. Heshmati[2], M. Farzam[3] and M. Goldani[4]
Submitted: 14-03-2017
Accepted: 23-09-2017

Azimi, R., Heshmati, G.A., Farzam, M., and Goldani, M. 2018. The effect of mycorrhiza, zeolite and superabsorbent on growth and initial establishment of medicinal rangeland species *Achillea millefolium* L. in abandoned cement mines soils (Case study: Mashhad′ Shargh Cement Factory, Iran). Journal of Agroecology. 10(2): 565-579.

Introduction

Today, mining led to severe degradation of natural and agricultural lands in a relatively large scale. Establishment of vegetation cover around the mining areas is a practical and enviromental sound strategy. However due to poor soil condition and presere of heavy metals this process is risky and establishment of plant cover is not an easy task. *Achillea millefolium* L. is one of the important species that is used as rangeland and medicinal plant and also as ornamental and cover plant. However, technical issues such as soil amendments type of plant and method of planting need to be considered for a successful establishment. Some soil amendments materials are zeolite, superabsorbent or hydrogel and also mycorrhiza. However initial establishment of proper plant species under field condition is required for feasibility of such studies. The purpose of the present study was to investigate suitability of *Achillea millefolium* L. for reclamation of contaminated soils around abandoned mines of Mashhad′ Shargh Cement Factory with inclusion of soil amendents.

Materials and Methods

The effect of mycorrhiza (*Glomus intraradices*), superabsorbent (A_{200}) and zeolite (Clinoptilolite) on the establishment and production of *Achillea millefolium* L. species in soils of abondened mines (Mashhad′ Shargh Cement Factory) was studied in 2015-2017. The experiment was based on a randomized complete block design with four replications consisting of four treatment (a plant species, mycorrhiza, zeolite and superabsorbent) criteria such as establishment percent, plant height, mycorrhizal colonization on roots, aerial and root dry weight and total dry matter was measured. Method of Giovannetti was used for colonization measurement of roots. The experimental data were categorized using the Excel database software and the charts were drawn. Analysis of variance was carried out by SPSS18 and Minitab16.

Results and Discussion

Analysis of variance showed that zeolite, mycorrhiza and superabsorbent had significant effects on total dry weight, plant height, aerial and root dry weight of *Achillea millefolium* L. and also on establishment percent of the plant. Use of Mycorrhiza, zeolite and absorbent increased plant establishment by 50, 33 and 11 percent respectively. Zeolite and mycorrhiza increased plant height, aerial and root dry weight and also total dry weight compared with superabsorbent and control. When compared with the control zeolites, mycorrhiza and superabsorbent increased plant height by 14.3, 12.3 and 6.3 cm, dry aerial weight by 0.73, 0.57 and 0.5 g, dry root weight by 0.26, 0.15 and 0.14 gand total dry weight by 1, 0.73 and 0.64 g, respectively. Using suitable mycorrhizal fungi as an inoculum material in contaminated areas with heavy metals can reduce the effects of these toxic metals. Using suitable mycorrhizae fungi as an inoculum material in contaminated areas with heavy

1, 2, 3 and 4- PhD Rangeland Sciences, Professor, Rangeland Department, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Professor, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Environment and Associated Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran, respectively.
(*- Corresponding author Email: Reyhaneazimi36@yahoo.com)
DOI: 10.22067/jag.v10i2.63197

metals can reduce the effects of these toxic metals. In a study that was carried out in Germany, natural zeolite was used to remove heavy metals from mine water. Zeolite in reducing iron, lead was more effective than cadmium and zinc.

Conclusions

According to the obtained results, the use of effective and affordable G. intraradices mycorrhiza and zeolite fertilizers as bio-fertilizers to increase yield and initial establishment *Achillea millefolium* L. plant and vegetation recovery of lands contaminated with heavy metals in mining area of Mashhad Shargh cement factory is recommended.

Keywords: Field, Mycorrhiza, Rangelands, Seedling transplantation