Archive of SID

نشریه پژوهش های کاربردی زراعی
دوره ۳۱ - شماره ۲- پیاپند ۱۱۹ تابستان ۹۷

تاثیر میکوریزا، زئولیت و سوپرجاذب بر رشد و استقراراولیه گیاهچه *Agropyron elongatum* در اراضی معدنکاوی شده (مطالعه موردی: کارخانه سیمان شرق مشهد)

Effect of Mycorrhiza, Zeolite and Superabsorbent on Early Growth and Seedling Establishment of *Agropyron elongatum* in Mining lands (Case Study: Mashhad Shargh Cement Factory, Iran)

ریحانه عظیمی*[۱]، غلامعلی حشمتی [۲]، محمد فرزام[۳]، مرتضی گلدانی[۴]

۱. دانشجوی دکتری علوم مرتع، گروه مدیریت مرتع، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، (نگارنده مسئول)
۲. استاد گروه مرتع، گروه مدیریت مرتع، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۳. استاد گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه فردوسی مشهد
۴. دانشیار گروه آموزشی زراعت واصلاح نباتات دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۱/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۵/۳۰

چکیده

عظیمی، ر.، حشمتی، غ.، فرزام، م.، گلدانی، م.، تاثیر میکوریزا، زئولیت و سوپرجاذب بر رشد و استقراراولیه گیاهچه *Agropyron elongatum* در اراضی معدنکاوی شده (مطالعه موردی: کارخانه سیمان شرق مشهد)
نشریه پژوهش های کاربردی زراعی دوره ۳۱ - شماره ۲- پیاپند ۱۱۹ تابستان ۹۷: ۲۰-۱

یکی از منابع ایجاد آلودگی خاک‌ها به فلزات سنگین فعالیت‌های معدنی انسان جهت استخراج فلزات است. مهم-ترین مرحله در شرایط نامساعد محیطی اراضی معدنکاوی شده، استقرار اولیه گیاهچه است که بهدلیل کمبود بارش، تبخیر و تعرق بالا، فقر عناصر غذایی خاک، بهمخوردن لایههای مختلف خاک و ناپایداری خاک در اراضی معدنکاوی شده مناطق خشک و نیمهخشک اغلب با شکست مواجه میشود. این تحقیق با هدف بررسی امکان بهبود استقراراولیه و رشد گیاه مرتعی *Agropyron elongatum* در اراضی معدنکاوی شده آلوده به فلزات سنگین انجام شد. ابتدا در گلخانه گیاهچهها از سینیکشت به گلدانهای کاغذی منتقل شدند و پس از گذشت دوماه گلدانها در عرصه نیمه خشک اراضی کارخانه سیمان شرق مشهد با میکوریزا (*Glomus intraradices*)، زئولیت و سوپرجاذب به ترتیب به نسبت ۱۰، ۲ و ۰/٤ درصد با خاک رویشگاه ترکیب و همراه با تیمار شاهد در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با چهار تکرار در سال ۹۵- ۱۳۹٤ کشت شدند. گیاهچه ها پس از انتقال فقط در زمان کاشت آبیاری شدند.در این تحقیق درصد استقرار، ارتفاع گیاهان کاشته شده، درصد کلونیزاسیون میکوریزا با ریشه *A. elongatum* و برخی از خصوصیات مورفولوژیکی از جمله وزن خشک اندامهوایی، وزن خشک ریشه و وزن خشک کل گیاه اندازهگیری شد. تیمارهای زئولیت، میکوریزا و سوپرجاذب موجب استقرار اولیه گیاهچهها (به ترتیب ٤٦ ، ٤٦ و ٨ درصد) افزایش ارتفاع (٦٥، ٥٤ و ٤٨ درصد)، افزایش وزن خشک اندام هوایی (٦٨، ٧٣ و ٤٠ درصد) و وزن خشک کل گیاه (٥٦، ٥٢ و ٢٥ درصد) نسبت به تیمار شاهد شدند. همچنین تیمارهای زئولیت، میکوریزا موجب افرایش وزن خشک ریشه (٣٨ و ٣٦ درصد) نسبت به تیمار شاهد شدند. نتایج نشان داد که تیمارهای میکوریزا و زئولیت بیشترین تاثیر را بر بهبود استقرار اولیه و خصوصیات رشدی *A. elongatum* داشتند و میتوان جهت بهبود استقرار اولیه گیاهان بصورت نشاء کاری در اراضی آلوده به فلزات سنگین منطقه نیمه خشک معدنکاوی شده کارخانه سیمان شرق پیشنهاد کرد.

واژه های کلیدی: عرصه، فلزات سنگین، مراتع، نشاءکاری

آدرس پست الکترونیکی نگارنده مسئول: Reyhaneazimi36@yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

امروزه معادن یکی از ارکان مهم اقتصادی هر کشور محسوب می شوند که زندگی محدودی دارند و پس از استخراج سنگ معدن رها می شوند (Venkateswarlu *et al*., 2016). پس از رها کردن معادن خاک های آلوده به فلزات سنگین با فرسایش آبی و بادی به رودخانه و شهرهای اطراف آن ها منتقل می شود (Kim *et al*., 2016; Yenilmez *et al*., 2011) در صورت عدم بازسازی پوشش گیاهی مناطق معدن کاوی شده و تثبیت خاک های آلوده به فلزات سنگین می توانند موجب آلوده کردن هوا، آب، خاک و هم چنین آلودگی آب های زیرزمینی شده و بر محیط زیست اثر گذارند (Laurence 2011؛ Bacchetta *et al.* 2015). استقرار پوشش گیاهی اولیه، مهم ترین جنبه ی فرآیند احیا است (Azimi *et al*., 2016; Azimi *et al*., 2014b) در طول ۲۰ ساله گذشته، رویکردهای بیولوژیکی، فیزیکی و شیمیایی متعدد به منظور دستیابی به احیای پوشش گیاهی مناطق آلوده به فلزات سنگین استفاده شده اند (Mahar *et al*., 2016; Wuana & Okieimen., 2011; Sheoran *et al*., 2011). گیاه مرتعی *Agropyron elongatum* (Host) P. Beauv). نسبت به خشکی و قلیاییت خاک مقاومت زیادی دارد. به دلیل خنثی بودن ساقه و برگ ها زیاد خوشخوراک نبوده و ارزش غذایی آن نیز کم است. این گونه یک گراس پایای فصل سرد بوده که در مراحل مختلف رشد به تنش خشکی مقاوم می باشد (Azimi *et al*., 2014c). زئولیت ها مواد معدنی بلوری، طبیعی یا مصنوعی هستند که مؤلفه ی اصلی آنها، سیلیکات های آلومینیوم است. این ترکیبات ، دارای سطح وسیع و ویژگی های جذب مایع هستند که به موجب این خواص، در حذف یون های فلزات سنگین از طریق فرآیندهای تبادل یونی، جذب، ته نشینی سطحی و انحلال، به طور گسترده ای مورد استفاده قرار می گیرند (Doula *et al*., 2012؛ Mozgawa *et al*., 2005). زئولیت، به عنوان یک جاذب مؤثر، هم برای آنیون ها و هم برای کاتیون ها پیشنهاد شده (Kumpiene *et al*., 2008) و تا ۷۰ درصد وزنی خودشان آب جذب می کنند و بدون اینکه وضعیت خاک بهم بخورد یا مرطوب شود، رطوبت خاک را حفظ می کنند (Ruíz-Baltazar & Pérez, 2015). زئولیت ها به طور موثری سبب کاهش انتقال فلزات سنگین ا از خاک به گیاه می شود. زیرا تجمع این فلزات سنگین ممکن است باعث کاهش رشد گیاه و مسمومیت آن شود. به همین دلیل اضافه کردن زئولیت به خاک سبب کاهش مسمومیت و رشد بیشتر گیاهان می گردد (Akbar Nakhli *et al*., 2017). 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 نیترات ها ، فسفات ها ، پتاسیم، آهن، روی، و انواع ویتامین ها را در خود نگهداری نموده و

www.SID.ir

Archive of SID

از هدر رفتن آنها جلوگیری می کنند (Kabiri, 2005; Sharma & Sharma, 2013). در آزمایشی که روی گیاه تاغ در بیرجند انجام شد، نتیجه گرفتند که افزودن هیدروژل به خاک سبب افزایش ارتفاع نهال، افزایش تولید ماده خشک ریشه آن می‌شود (Zangooei Nasab *et al*., 2012). در تحقیق کاربرد مصرف ۰/۳ درصد پلیمر برای استفاده توسط وی توصیه می‌شود. از مواد اصلاحی دیگر می توان کودهای زیستی میکوریزا را نام برد که به استقرار اولیه گیاهان در شرایط سخت محیطی کمک می کند (Azimi *et al*., 2014a; Azimi *et al*., 2016). احیای پوشش گیاهی زمین های معدن کاوی شده با استفاده از میکوریزا به عنوان ابزار مؤثر معرفی شده است (Kumar *et al*., 2010). در واقع احیای پوشش گیاهی با استفاده از میکوریزا (Sprocati *et al*., 2014). می‌تواند یکی از رویکردهای مناسب برای احیای پوشش گیاهی زمین های معدن کاری رها شده باشد. با این حال، مطالعات کامل و جامعی در این زمینه موجود نمی باشد. کمبود آب در مناطق خشک و نیمه خشک عملکرد کمی و کیفی پوشش گیاهی و موفقیت استقرار گیاهچه های کشت شده در عرصه‌های منابع طبیعی را کاهش می دهد. همچنین به علت سطح بسیار بالای فلزات رشد گیاه محدود می شود و کمبود مواد آلی و محتویات ریز مغذی این خاک ها، استقرار گیاهان را با شکست مواجه می کند (Ginocchio *et al*., 2004؛ Mench *et al*., 2010). بنابراین اگر به طریقی بتوان درصد موفقیت پروژه‌های نشاء کاری را با استفاده از تکنیک‌های نوین (زئولیت، میکوریزا و سوپرجاذب) افزایش داد، گام مهمی در احیاء اراضی خشک و نیمه‌خشک و صرفه جویی در هزینه های آبیاری اولیه می‌شود.

مواد و روش ها

در این آزمایش تأثیر تیمارهای میکوریزا (*Glomus intraradices*)، سوپرجاذب (A200) و زئولیت (*Clinoptilolite*) بر استقرار و تولید گونه مرتعی *Agropyron elongatum* در منطقه نیمه خشک اراضی معدن کاوی شده کارخانه سیمان شرق مشهد به عرض جغرافیایی "۲۹/۹۶ '۲۸ °۳۶ و طول جغرافیایی "۴۶/۹۹ '۴۴ °۵۹ بررسی شدند. منطقه مورد مطالعه با میانگین بارندگی ۲۲۵ میلی متر دارای اقلیم نیمه خشک است. بارش در فصل سرد سال با توزیع غیر نرمال است. بارش های سیل آسا، کوتاه مدت و رگباری قسمت عمده بارندگیهای سالیانه را تشکیل می دهد. این منطقه در ارتفاع ۱۱۲۰ تا ۱۱۳۰متر از سطح دریا قرار دارد. طرح آزمایشی بر اساس بلوک کامل تصادفی با چهار تکرار شامل تیمارهای اصلی میکوریزا، زئولیت، سوپرجاذب و شاهد در منطقه معدن کاوی شده کارخانه سیمان مشهد به مساحت ۷۲۰ متر مربع اجرا شد. قبل از کشت گیاهچه ها در منطقه مورد مطالعه برای تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه، چهار نمونه خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی متری نمونه برداری انجام شد 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 اندازه گیری شد (جدول۱).

www.SID.ir

Archive of SID

جدول۱- برخی مشخصات شیمیایی و فیزیکی خاک عرصه معدن‌کاوی شده کارخانه سیمان شرق مشهد

Table 1. Some chemical and physical properties of soil of mined area around Mashhad Shargh cement factory

هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر) EC ($dS.m^{-1}$)	2. 6	
اسیدیته خاک pH	8.16	
بافت خاک Soil texture	سیلتی لومی	
کادمیوم (میلی گرم بر کیلوگرم) Cd ($mg.kg^{-1}$)	1.1	
کبالت (میلی گرم بر کیلوگرم) Co ($mg.kg^{-1}$)	18.46	
نیکل (میلی گرم بر کیلوگرم) Ni ($mg.kg^{-1}$)	58	
روی (میلی گرم بر کیلوگرم) Zn ($mg.kg^{-1}$)	88.23	
مس (میلی گرم بر کیلوگرم) Cu ($mg.kg^{-1}$)	45	
کروم (میلی گرم بر کیلوگرم) Cr ($mg.kg^{-1}$)	45.7	
منگنز (میلی گرم بر کیلوگرم) Mn ($mg.kg^{-1}$)	287.5	
آرسنیک (میلی گرم بر کیلوگرم) Ar ($mg.kg^{-1}$)	6.7	
سرب (میلی گرم بر کیلوگرم) Pb ($mg.kg^{-1}$)	12	
محدوده مجاز فلزات سنگین در خاک (میلی گرم بر کیلو گرم) Allowable range of heavy metals in soil ($mg.kg^{-1}$) (Raisi, 2013; Vodyanitskii, 2016)	0-0.7	0.5-5
	1-10	0-4.5
	2-50	15-150
	3-50	2-50
	1-20	2-50

www.SID.ir

Archive of SID

مراحل تولید نشاء در گلخانه، انتقال آن ها به گلدان و کشت در عرصه بذر گونه مرتعی *A. elongatum* در سینی های کشت۱۶۰ تایی در اواخر دی ماه سال ۱۳۹۴ در شرایط گلخانه کشت شد. پس از گذشت یک ماه نشاءها به گلدان های کاغذی (ابعاد ۷×۹ سانتی متر) محتوی خاک منطقه معدن کاوی شده کارخانه سیمان مشهد با گنجایش حدود ۱۶۰ گرم خاک منتقل شدند. در این زمان برای بررسی درصد کلونیزه شدن ریشه *A. elongatum* (قبل از انتقال به عرصه) و مقایسه آن با زمان تلقیح در عرصه در چهار گلدان کاغذی به طور جداگانه نشاء ها با میکوریزا در گلخانه تلقیح و تا آخر اسفندماه در آنجا نگهداری و سپس درصد کلونیزه شدن آن با ریشه گیاهان اندازه گیری شد. زمانی که ارتفاع گیاهچه ها حدود سه الی پنج سانتی متر رسید گلدان ها به بیرون گلخانه منتقل و در آنجا نگهداری شدند. مقدار و نوع تیمارهای انتخاب شده بر مبنای توصیه شرکت های تهیه کننده، تجربیات قبلی و تحقیقات محققان دیگر انتخاب شد. در زمان انتقال گلدان های کاغذی به عرصه معدن کاوی شده (۲۹ اسفندماه) در تیمارهای جداگانه، گونه میکوریزا *Glomus intraradices* به نسبت یک به ده (به صورت لایه لایه به دو کیلوگرم خاک اضافه شد) (Azimi *et al.,* 2014b*;* Azimi *et al.,* 2016*;* Sharma & Sharma, 2013)، تیمارهای زئولیت به مقدار دو درصد (۴۰ گرم برای دو کیلوگرم خاک) (Bagherifam *et al.,* 2014*;* Yari *et al.,* 2013) و سوپرجاذب ۰/۴ درصد (۸ گرم برای دو کیلوگرم خاک) (Al Humaid & Moftah, 2007*;* Abedi Koupai & Mesforoush, 2009*;* Banedj Schafie, 2015) در چاله هایی که حدود دو کیلوگرم خاک گنجایش داشت اضافه شدند. خاک میکوریزایی از شرکت زیست فناورتوران تهیه شد. بر طبق کاتالوگ این شرکت، داخل هر گرم از خاک میکوریزایی حداقل ۵۰ عدد اسپور زنده وجود داشت. همچنین ماده تلقیح شامل خاک، اسپور، ریشه گیاهان، هیف های قارچ میکوریزا بود. زئولیت از شرکت توسعه کشاورزی الوند سنگسر سمنان و پلیمر مورد استفاده از پژوهشگاه پلیمر ایران تهیه شد.کاشت گلدان ها در عرصه بر اساس طرح آزمایشی بلوک کامل تصادفی با چهار تکرار در آخر اسفند ماه سال ۱۳۹۴ انجام و در اواخر تیرماه سال ۱۳۹۵، قبل از زرد شدن و ریزش برگ ها (زیرا زرد شدن و ریزش برگ‌ها، سبب کاهش کلونیزاسیون می گردد) ارتفاع و استقرار گیاهچه ها کشت شده ارزیابی و نمونه برداری انجام شد. آبیاری گیاهچه ها فقط یک بار در زمان کاشت انجام شد. بدین منظور از هر تیمار در هربلوک دو پایه گیاهی بصورت تصادفی انتخاب و بصورت کامل از خاک خارج شدند. برای هر گیاهچه علاوه بر درصد استقرار ، ارتفاع گیاه، وزن خشک برگ، ریشه، ساقه و وزن خشک کل گیاه اندازه گیری شد. نمونه ها بصورت جداگانه در پاکت کاغذی قرار داده و به مدت ۴۸ ساعت در دمای۷۰ درجه سانتی گراد در آون خشک گردید. وزن خشک ساقه، ریشه و برگ با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه گیری و ثبت شد (Azimi *et al*., 2013). درصد کلونیزه شدن ریشه *A.elongatum* با میکوریزا

www.SID.ir

www.SID.ir

جدول ۲- تجزیه واریانس تاثیر تیمارهای زئولیت، میکوریزا و سوپرجاذب بر استقرار اولیه، خصوصیات مورفولوژیک و رشد اندام‌های گیاهچه آگروپایرون

Table 2.Analysis of variance for the effects of mycorrhiza, zeolite and superabsorbent on morphological and organ growth characteristics of *Agropyron elongatum*

		میانگین مربعات Mean squares				
منابع تغییر Sources of variation	درجه آزادی Degrees of freedom	وزن خشک ریشه Root dry weight	وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight	وزن خشک کل Total dry weight	ارتفاع Height	استقرار Establishment
تکرار Replication	3	0.1	0.06	0.03	3.42	0.15
تیمار Treatment	3	0.15*	0.47**	1.13**	131.78**	0.55**
خطا Error	9	0.03	0.001	0.02	5.15	0.04
ضریب تغییرات CV	-	30.46	44.93	31.10	35.86	53.88

**، * و ns: به ترتیب معنی دار در سطح ۰/۰۱، ۰/۰۵ و عدم معنی‌داری

**, * and ns: significant at the 0.01 and 0.05 probability levels and non-significant, respectively.

Archive of SID

Archive of SID

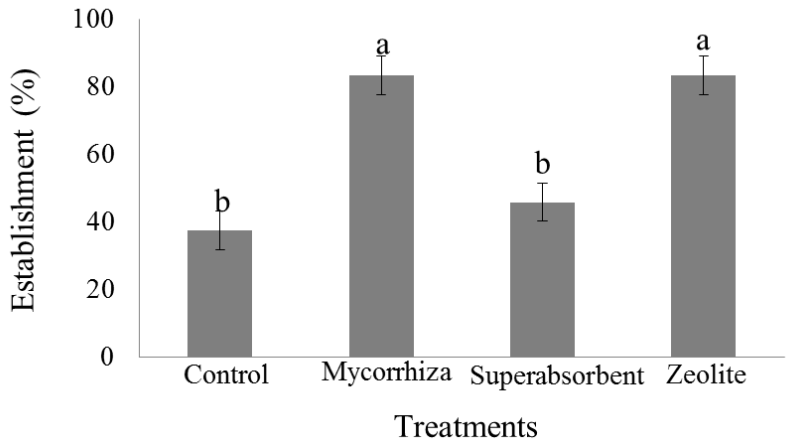
در اواخر تیرماه (در مرحله برداشت گیاهان از عرصه) اندازه گیری شد. برای تعیین درصد کلونیزه شدن ریشه گیاهان با میکوریزا، قسمتی از ریشه تازه گیاهان (حدود ۰/۲گرم) به صورت تصادفی انتخاب شده و پس از شستشوی کامل با آب به اندازه های یک سانتیمتری قطع و جهت رنگ آمیزی به داخل شیشه های حاوی محلول ۱۰درصد KOH منتقل و به مدت ۶۰ ساعت در دمای اتاق نگهداری شدند. در مرحله بعد ریشه ها شسته شده و جهت خنثی کردن محیط قلیایی به مدت دو دقیقه در محلول یک دهم مولار HCl قرار داده شدند. جهت رنگ آمیزی ریشه ها از روش تغییر یافته فیلیپس و هایمن (Phillips *et al.*, 1970) استفاده گردید. پس از رنگ آمیزی ریشه ها، برای تعیین میزان همزیستی قارچ میکوریز با ریشه ها از روش جیوانتی (Giovannetti *et al.*, 1980) استفاده شد. داده های آزمایش با استفاده از نرم افزار پایگاه اطلاعاتی *Excel* دسته بندی و شکل های مربوط تهیه شد. برای انجام آنالیز واریانس و مقایسه میانگین ها از نرم افزار آماری *SPSS*18و *Minitab*16 استفاده شد. در مورد داده های درصدی تبدیل زاویه ای انجام شد. مقایسه میانگین ها به روش دانکن و در سطح احتمال ۹۹ و ۹۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

بر اساس تحلیل واریانس انجام شده مشخص شد که تیمارهای زئولیت، میکوریزا و سوپرجاذب اثر معنی داری بر روی وزن خشک کل گیاه، وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، ارتفاع و درصد استقرار گیاهچه مرتعی آگروپایرون در عرصه داشتند (جدول ۲).

درصد استقرار گیاهچه ها

اثر زئولیت، میکوریزا و سوپرجاذب بر استقرار اولیه گیاهچه های *A. elongatum* در اراضی معدن کاوی شده کارخانه سیمان معنی دار ($p\leq$۰/۰۱) بود (جدول۲). مقایسات میانگین تیمارهای مختلف زئولیت، میکوریزا و سوپرجاذب نشان داد که میکوریزا



شکل ۵- مقایسه میانگین تأثیر تیمارهای زئولیت، میکوریزا و سوپرجاذب بر درصد گیاهچه‌های زنده *A. elongatum*

Fig 5. Comparison of the average effect of zeolite, mycorrhiza and superabsorbent treatments on the percentage of alive *A. elongatum* seedlings

میانگین‌های دارای حروف مشترک تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means with similar letters do not differ significantly according to the Duncan multi-domain test at the 5% probability level.

www.SID.ir

Archive of SID

G.intraradices و زئولیت تأثیر بیشتری را نسبت به سایر تیمارها بر استقرار اولیه گیاهچه های *A. elongatum* در عرصه داشتند (شکل۵).

این تحقیق نشان داد که *A. elongatum* مناسب جهت احیای پوشش گیاهی منطقه معدن کاوی شده است. گراس ها برخلاف تصور محققین برای احیای پوشش گیاهی مناطق آلوده به فلزات سنگین و خاک های بی ثبات مناسب تر می باشد چون گراس ها روی خاکریز به سرعت رشد می کنند(Petrov *et al*., 2016). در برخی تحقیقات از گیاهان علفی مقاوم به خشکی و سریع الرشد برای احیای پوشش گیاهی خاک های با مواد مغذی کم و آلوده به فلزات سنگین استفاده شده است در تحقیقی احیاء پوشش گیاهی موفق روی باطله های معدنی سرب در غرب ایرلند با استفاده از گراس های مقاوم به شوری *Agrostis stolonifera* انجام شد (Wong *et al*. 2003; Brady *et al*. 1993). در میان تیمارهای مختلف درصد استقرار گونه های تلقیح شده با میکوریزا و زئولیت نسبت به تیمار سوپرجاذب و شاهد بیشتر بود زیرا اکثر میکوریزاها مقاومت گیاه میزبان را افزایش می دهند (Jones *et al*., 1988). استفاده از میکوریزای مناسب به عنوان یک ماده تلقیحی در نواحی آلوده به فلزات سنگین می تواند اثرات فلزات سمی را کاهش دهد (Azimi *et al*. 2016; Bano *et al*. 2013). در تحقیقی میکوریزا به استقرار گونه های گندمی کمک کرده و موجب احیاء مناطق معدن کاوی شده بود (Noyd *et al*., 1996). روابط میکوریزایی آرباسکولار نقش مهمی در محافظت از گیاهان در محل‌های آلوده به فلزات سنگین ایفاء می کنند. گیاهان دارای رابطه میکوریزا در حال رشد در نواحی آلوده به فلزات سنگین، نسبت به گیاهان غیرمیکوریزایی مقاوم تر هستند. هیف قارچی می تواند به خاکی دسترسی پیدا کند که خارج از دسترس ریشه های گیاه است، از اینرو جذب آب و مواد مغذی معدنی بواسطه افزایش محدوده جذبی در دسترس افزایش می یابد (Bano *et al*., 2013). در تحقیقی تلقیح گیاه شبدر که پوشش گیاهی مناسب جهت احیای پوشش اطراف معدن ذغال سنگ بود با میکوریزا خانواده گلوموس تلقیح کردند که میکوریزای آربوسکولار مجب تقویت رشد ریشه‌های گیاهان و تبدیل عناصر مغذی نامحلول به حالت قابل دسترس، افزایش جذب عناصر مغذی گیاهان و محتوای مواد آلی در این بسترها شد و به حاصلخیزی بسترهای پیچیده معدن ذغال سنگ برای احیای پوشش گیاهی معدن ذغال سنگ کمک کرد. همین امر موجب شد که این گیاهان از طریق تلقیح با میکوریزا برای احیای پوشش گیاهی معدن ذغال سنگ مناسب باشد (Li-ping *et al*., 2009). در تحقیقی در آلمان از زئولیت های طبیعی جهت حذف فلزات سنگین از آب معادن استفاده شد. زئولیت ها در کاهش آهن، سرب، کادمیوم و روی تاثیر به سزایی دارند (Wingenfelder *et al*., 2005). استفاده از زئولیت می‌تواند رطوبت خاک را برای مدت بیشتری حفظ و در اختیار گیاه قرار دهد. در تحقیقی مشاهده شد که گیاه *Gerebera jamesonii* در بستر زئولیت و افزایش ده درصدی کلینوپتیلولیت به خاک مورد استفاده موجب افزایش محصول و استقرار

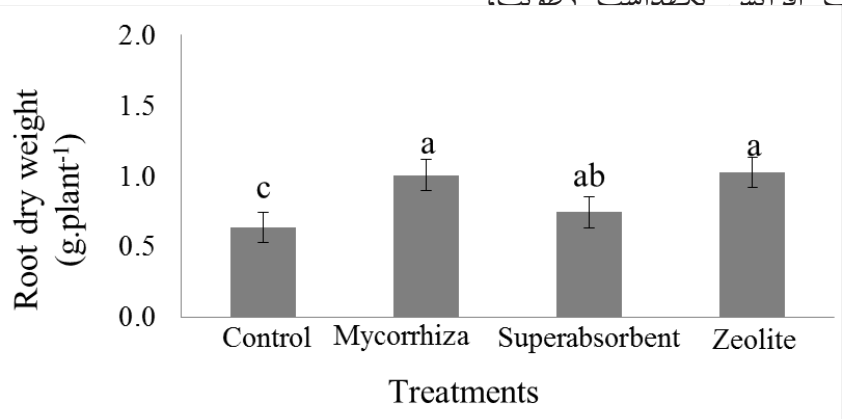
www.SID.ir

Archive of SID

گیاه در زمین های گلف ژاپن شد(Ercisli *et al*., 2003). در تحقیقی با عنوان مقایسه تأثیر کمپوست و هیدروژل بر استقرار ویژگی‌های رویشی سیاه‌تاغ نشان داد که سوپرجاذب موجب افزایش در ظهور نهال‌های سیاه‌تاغ و استقرار آن‌ها و بهبود صفات اندازه‌گیری شده در مقایسه با شاهدگردیده است (Rafiee *et al*., 2009). در تحقیقی مشاهده شد که که با استفاده از سوپرجاذب در منطقه خشک چه خشک رطوبت مورد نیاز گیاه آتریپلکس کانسنس تأمین شده و باعث استقرار و زنده‌مانی نهال‌ها شده است. در این تحقیق کاربرد سوپرجاذب اثرات مثبتی را در افزایش شاخص‌های مورفولوژیکی داشت. زیرا با نگهداشت رطوبت مناسب در خاک، جابجایی و توزیع اندازه حفرات و کاهش تبخیر فیزیکی بطور قابل ملاحظه‌ای میزان آب در دسترس گیاه را افزایش داده و باعث بهبود صفات مورد اندازه‌گیری شده است. استفاده از سوپرجاذب‌های بکار رفته در این تحقیق در مجموع موجب افزایش نگهداشت رطوبت، استقرار و زنده‌مانی نهال‌های آتریپلکس کانسنس و بهبود صفات اندازه‌گیری شد Jafari (*et al*., 2012).

وزن خشک ریشه

اثر تیمارهای آزمایش بر وزن خشک ریشه معنی دار ($p\leq ۰/۰۵$) بود (جدول۲). تلقیح گیاهچه *A. elongatum* با میکوریزا *G. intraradices* و زئولیت باعث افزایش وزن خشک ریشه شدند، اما بین تیمارهای مورد مطالعه تفاوت معنی داری مشاهده نشد. (شکل ۱).



شکل ۱- اثر تیمارهای مختلف تیمارهای زئولیت، میکوریزا و سوپرجاذب بر وزن خشک ریشه *A. elongatum*

Fig 1. Effect of different treatments of zeolite, mycorrhiza and superabsorbent on root dry weight of A. *elongatum*

میانگین‌های دارای حروف مشترک تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means with similar letters do not differ significantly according to the Duncan multi-domain test at the 5% probability level.

www.SID.ir

Archive of SID

وزن خشک اندام هوایی

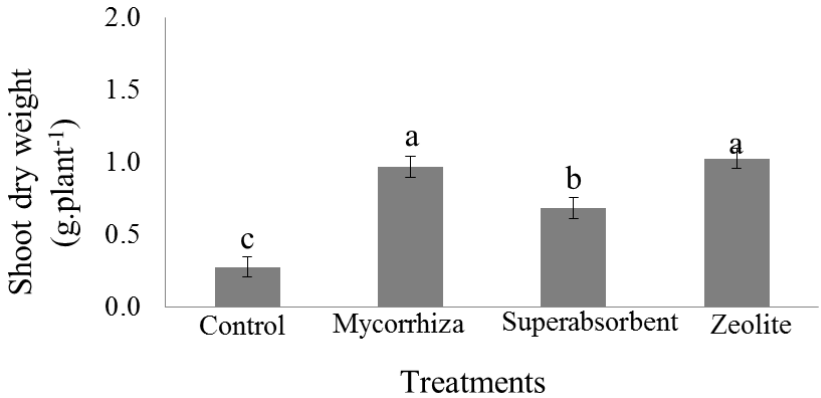
با توجه به نتایج مشخص شد که اثرات زئولیت، میکوریزا و سوپرجاذب بر افزایش وزن اندام هوایی نسبت به تیمار شاهد معنی دار ($p\leq$۰/۰۱) بود (جدول ۲). مقایسه میانگین های این تیمارها نشان داد که گیاهچه های تلقیح شده با میکوریزا گونه ی *G. intraradices* و زئولیت بیشترین وزن خشک اندام هوایی را داشتند (شکل ۲).

وزن خشک کل

با توجه به نتایج مشخص شد که تیمارهای زئولیت، میکوریزا و سوپرجاذب اثر معنی داری بر روی وزن خشک کل (۰$p\leq$۰۱) داشتند (جدول ۲). با توجه به مقایسات میانگین بین تیمارها مشخص شد که میکوریزا *G. intraradices* و زئولیت تأثیر بیشتری بر افزایش وزن خشک کل گیاه داشت (شکل ۳).

ارتفاع

توجه به نتایج مشخص شد که تیمارهای زئولیت، میکوریزا و سوپرجاذب اثر معنی داری بر روی ارتفاع (۰$p\leq$۰۱) داشتند (جدول ۲). گیاهچه های تلقیح شده تحت تیمارهای مختلف زئولیت، میکوریزا و سوپرجاذب ارتفاع بیشتری نسبت به تیمار شاهد داشتند (شکل ۴). نتایج آزمایش نشان داد که تیمارهای زئولیت، میکوریزا و سوپرجاذب بر برخی از خصوصیات مورفولوژیک و رشد اندام های گیاه مرتعی *A. elongatum* چند ساله تأثیر مطلوبی داشتند. این نتایج با نتایج تحقیقات گذشته که نشان داده است تلقیح میکوریزایی در افزایش صفات رویشی گیاهان نقش دارد مطابقت می کند (Bano *et al*., 2013؛ Neago *et al*., 2013). در تحقیقات محققان دیگر تلقیح میکوریزا به ویژه در خاک های آلوده مورد آزمایش قرار گرفته و مشاهدات، حاکی از بهبود رشد گیاه و جذب محدود فلزات سنگین نسبت به تیمار شاهد بوده است (Neago *et al*.,؛ Madejon *et al*., 2012 2009, 2013).این رشد بیشتر گیاهان میکوریزایی



شکل ۲- اثر تیمارهای مختلف تیمارهای زئولیت، میکوریزا و سوپرجاذب بر وزن خشک اندام هوایی *A. elongatum*

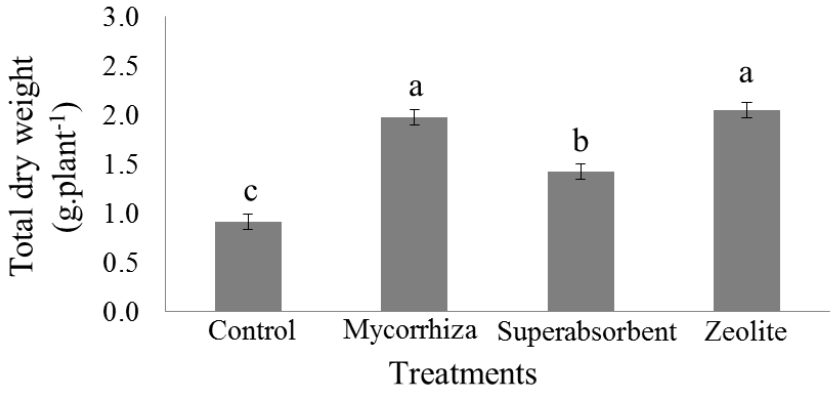
Fig 2. Effect of different treatments of zeolite, mycorrhiza and superabsorbent on shoot dry weight of *A. elongatum*

میانگین‌های دارای حروف مشترک تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means with similar letters do not differ significantly according to the Duncan multi-domain test at the 5% probability level.

www.SID.ir

Archive of SID

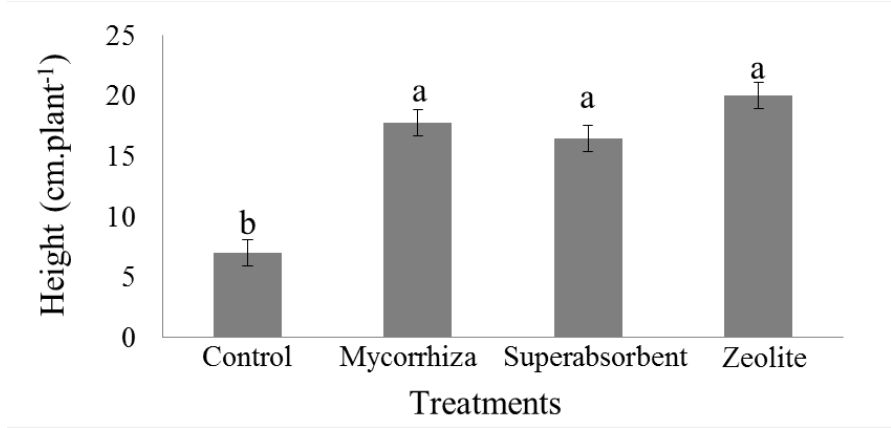


شکل ۳- اثر تیمارهای مختلف تیمارهای زئولیت، میکوریزا و سوپرجاذب بر وزن خشک کل *A. elongatum*

Fig 3. Effect of different treatments of zeolite, mycorrhiza and superabsorbent on total dry weight of *A. elongatum*

میانگین‌های دارای حروف مشترک تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means with similar letters do not differ significantly according to the Duncan multi-domain test at the 5% probability level.



شکل ۴- اثر تیمارهای مختلف تیمارهای زئولیت، میکوریزا و سوپرجاذب بر ارتفاع *A. elongatum*

Fig 4. Effect of different treatments of zeolite, mycorrhiza and superabsorbent on height of *A. elongatum*

میانگین‌های دارای حروف مشترک تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means with similar letters do not differ significantly according to the Duncan multi-domain test at the 5% probability level.

احتمالا به این دلیل است که میسلیوم میکوریزایی سطح وسیع‌تری برای جذب آب و مواد معدنی فراهم می کند، بنابراین می تواند حجم بیشتری از خاک را کاوش و مقدار آب بیشتری برای گیاهان فراهم کنند. همچنین این موضوع موجب جذب بیشتر موادغذایی به گیاهان شوند که در تحقیقی نقش میکوریزا در کسب مواد مغذی معدنی، بویژه فسفر اثبات شده است (Smith *et al*., 2008). گونه میکوریزایی که دارای توانایی زیادی در ایجاد همزیستی با گیاهان باشند، می توانند سبب افزایش تولید ماده خشک ریشه و اندام هوایی گیاهان (Azimi *et al*., 2014b) و جذب بیشتر فسفر در آن ها شوند (Daei *et al*., 2009). در بررسی تاثیر تلقیح گیاه *Agrostis*

www.SID.ir

Archive of SID

capillaris با میکوریز آربوسکولار در بستر به شدت آلوده و فقیر از لحاظ مواد مغذی منطقه معدن کاوی شده، بهبود تغذیه ی فسفر و کاهش انتقال عنصر سمّی به گیاهان و در نتیجه افزایش رشد گیاه را مشاهده کردند (Neagoe *et al*., 2009). تأثیر دو گونه میکوریزا بر گیاه *Mimosa pudica* L. در خاک هایی با آلودگی کادمیوم را بررسی کردند. آنها دریافتند که هر دو نوع میکوریزا باعث افزایش درصد کلونیزاسیون ریشه و افزایش بیوماس اندام هوایی شد. همچنین گونه های میکوریزا موجب افزایش تجمع فسفر در ریشه گردید (Hu *et al*., 2014). گیاهان همزیست با میکوریزا مکانیسم های متنوعی برای سم زدایی فلزات سنگین دارند که شامل جداسازی فلزات توسط میسیلیوم و گلومالین (پروتئین تولید شده توسط قارچ AM) (Joner *et al*., 2001؛ Gonzalez *et al*., 2004) که باعث جذب کم فلزات توسط میکوریزا می شود. ریشه های گیاهان همزیست با میکوریزا ممکن است به دلیل سیستم ریشه ای بزرگتر، جذب آب و مواد غذایی بیشتر سبب افزایش مواد ترشحی بیشتر از ریشه گیاهان می شود. به همین دلیل تلقیح میکوریزا موجب افزایش فسفر در دسترس خاک بوسیله بالا بردن فعالیت فسفاتاز اسیدی باشد (Wong *et al*., 2007). در تحقیقی تأثیر دو نوع میکوریزا (*G. caedonlum* و *G. mossaea*) را بر جذب و تثبیت کادمیم در دو گیاه *Sedum alfredii Hance* و *Lolium perenne* بررسی نموده و دریافتند که هر دو نوع میکوریزا باعث افزایش میزان درصد کلونیزاسیون ریشه، فعالیت فسفاتاز اسیدی خاک، تجمع فسفر قابل دسترس، افزایش جذب فسفر توسط گیاه و در نتیجه موجب افزایش بیوماس اندام زیرزمینی می شود. (Hu *et al*., 2013). در آزمایشی همزیستی سورگوم (*Sorghum bicolor* L.) با دو قارچ آربوسکولار *Glomus. mosseae* , *Glomus intraradics* بر جذب و انتقال سرب در گیاه بررسی کردند که همزیستی با قارچ *G. intraradices* سبب افزایش وزن خشک بخش هوایی و وزن خشک ریشه در مقایسه با بوته‌های غیرهمزیست گردید (Amanifar *et al*., 2010). 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. سازوکارهایی که این قارچ‌ها برای کاهش تنش فلزات سنگین برای گیاهان به کار می‌برند، شامل غیرپویایی فلزات سنگین در ریسه‌های خارج ریشه‌ای، بهبود تغذیه معدنی به ویژه فسفر برای گیاه که باعث تسریع رشد آن می‌گردد و تغییر pH اطراف ریشه می‌باشند (Gonzalez *et al*., 2005). بعضی از گونه های میکوریزا می توانند تنش فلزات سنگین را تحمل کنند که از میان آنها، *Glomus intraradices*, *Glomus mosseae* مهمترین گونه‌های *Glomus* هستند (Sharma & Sharma, 2013) در این تحقیق تیمار زئولیت موجب افزایش وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، ارتفاع و وزن خشک کل گیاه نسبت به تیمار شاهد شد. احتمالا زئولیت ها با تنظیم pH خاک، احتباس نیتروژن، جذب فلزات سنگین از طریق تبادل کاتیونی، جذب

www.SID.ir

Archive of SID

مواد مغذی در خاک، افزایش جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم و همچنین فراهم نمودن مواد مغذی معدنی برای گیاهان و میکروارگانیسم ها (Ahmed *et al*.,؛ Akbar Nakhli *et al*., 2017 2010) موجب بهبود خصوصیات مورفولوژیکی گیاه آگروپایرون شده است. در تحقیقی کاربرد زئولیت موجب افزایش وزن خشک ساقه و ریشه گیاه ریحان (*Malva sylvestris*) نسبت به تیمار شاهد شد (Ahmadi Azar *et al*., 2015). در تحقیقی اثر هیدروژل را بر رشد و عملکرد گونه‌های صنوبر تحت تنش خشکی بررسی کرده و نشان دادند که هیدروژل قادر به افزایش آب در دسترس گیاه با تنظیم اسمزی و تجمع مولکول‌های کوچک کربوهیدرات بوده و رشد صنوبر را تحریک می‌کند (Zhi Bin *et al*., 2009). در تحقیقی مشاهده شد که پلیمر سوپرجاذب A200 موجب افزایش ارتفاع و عملکرد ذرت شد (Moazzen Ghasemi *et al*., 2009). پلیمرهای سوپرجاذب 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. در توسعه سیستم ریشه‌ای و در نتیجه افزایش سطح جذب گیاه باشد که خود عاملی مهم در جذب عناصر می‌باشد. هم‌چنین کاربرد پلیمر سوپرجاذب به دلیل تأمین آب مورد نیاز گیاه می‌تواند عاملی مهم در جهت افزایش مقاومت گیاه نسبت به تنش فلز سنگین باشد (Akhter *et al*.,؛ Orzeszyna *et al*., 2006 2004).

درصد کلونیزه شدن ریشه *A. elongatum* با تیمار میکوریزا

کلونیزه شدن ریشه گیاهچه *A. elongatum* با گونه میکوریزا *Glomus intraradices* معنی دار ($p\leq$۰/۰۱) بود (جدول۳). زمان اندازه گیری کلونیزه شدن ریشه *A. elongatum* با

جدول۳- تجزیه واریانس درصد کلونیزه شدن ریشه گیاهچه آگروپایرون با میکوریزا در محل کشت (گلخانه، عرصه)

Table 3. Analysis of variance for root colonization percentage of *Agropyron elongatum* with mycorrhiza at planting site (greenhouse, field)

میانگین مربعات Mean squares		
منابع تغییرات Sources of variation	درجه آزادی Degrees of freedom	کلونیزاسیون Colonization
تکرار Replication	3	16.67^{ns}
محل نمونه (گلخانه و عرصه) Treatment	1	272.22**
خطا Error	3	16.67
ضریب تغییرات CV	-	11.36

** و ns: به ترتیب معنی دار در سطح ۰/۰۱ و عدم معنی‌داری

** and ns: significant at the 0.01 probability level and non-significant, respectively.

www.SID.ir

Archive of SID

تیمار میکوریزا در عرصه و گلخانه معنی دار ($p\leq$۰/۰۱) بود (جدول۳).

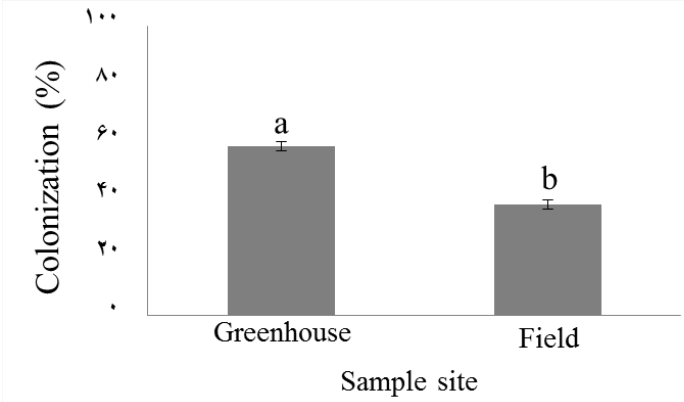
در مقایسه میانگین درصد کلونیزه شدن ریشه *A. elongatum* با تیمار میکوریزا *G. intraradices* در محل های کشت متفاوت مشاهده شد که درصد کلونیزاسیون در شرایط گلخانه به طور معنی داری بیشتر از درصد کلونیزه شدن ریشه این گیاهچه با میکوریزا در شرایط عرصه بود (شکل۶).

به طور کلی در این تحقیق مشخص شد که *A. elongatum* قادر است با میکوریزا همزیستی برقرار کند. در تحقیقات دیگر نیز با وجود مقدار بالای فلزات سنگین خاک، افزایش همزیستی زوائد هیفی، هاگزایی و رویش هاگ در ریشه کلونیزه شده گیاهان با قارچ *G. intraradices* مشاهده شده است (Pawlowska *et al*., 1999). زوائد هیفی در گونه های Glomus همراه با افزایش مقدار فلز سنگین روی در گیاهان مشاهده شد (Weissenhorn *et al*., 1993). در تحقیقی گونه میکوریزا *G. intraradices* بالاترین درصد کلونیزاسیون با ریشه گیاه *Bromus kopetdaghensis* و مقاومت بالایی به شرایط خاک های آلوده به فلزات سنگین داشت (Azimi *et al*., 2016).

نتیجه گیری

در این تحقیق تیمارهای زئولیت و میکوریزا اثر مثبت تری بر روی افزایش عملکرد و استقرار گیاه آگروپایرون نسبت به تیمار شاهد در اراضی معدن کاوی کارخانه سیمان شرق مشهد شد. لذا با توجه به وجود میلیون ها تن زئولیت در ایران، می توان با قیمت بسیار ارزان آن ها را تهیه و در کشاورزی و منابع طبیعی مورد استفاده قرار داد. این موضوع خصوصاً در عرصه های منابع طبیعی در مناطق خشک و نیمه خشک که میزان بارش و رطوبت خاک کم بوده و استقرار گیاهان به بارندگی وابسته است بسیار اهمیت داشته و می تواند مورد توجه محققان و دست اندرکاران اجرائی قرار گیرد. همچنین میکوریزا *G. intraradices* را نیز می توان به عنوان یک کود بیولوژیک جهت افزایش عملکرد، استقرار اولیه گیاه آگروپایرون و احیای پوشش گیاهی اراضی آلوده به فلزات سنگین منطقه معدن کاوی شده در کارخانه سیمان شرق مشهد پیشنهاد کرد.

References



شکل ۶- مقایسه میانگین درصد کلونیزاسیون ریشه *A. elongatum* در عرصه و گلخانه

Fig 6. Mean comparison of root colonization percentage of *A. elongatum* at field and greenhouse

www.SID.ir

Archive of SID

Abedi Koupai, J., and Mesforoush, M. 2009. Evaluation of Superabsorbent Polymer Application on Yield, Water and Fertilizer Use Efficiency in Cucumber (*Cucumis sativus*). *Iranian Journal of irrigation and drainage*, 2(3): 100-111. (In Persian with English Summary)

Ahmed, O. H., Sumalatha, G., and Nik Muhamad, A. M. 2010. Use of zeolite in maize (*Zea mays*) cultivation on nitrogen, potassium and phosphorus uptake and use efficiency. *International Journal of the Physical Sciences*, 5(15): 2393-2401.

Ahmadi Azar, F., Hasanloo, T., Imani, A, and Feiziasl V. 2015. Water stress and mineral zeolite application on growth and some physiological characteristics of Mallow (*Malva sylvestris*). *Journal of Plant Researchers*, 28(3): 459-474. (In Persian with English Summary)

Akbar Nakhli, S. A., Delkash, M., Ebrazi Bakhshayesh, B., and Kazemian H. 2017. Application of Zeolites for Sustainable Agriculture: a Review on Water and Nutrient Retention. *Water Air Soil Pollution*, 228(464): 1- 34.

Akhter, J., Mahmood, K., Malik, K. A., Marden, A., Ahmad, M. and Iqbal, M. M. 2004. Effects of hydrogel amendment on water storage of sandy loam and loam soils and seedling growth of barley, wheat and chickpea. *Plant soil Environment*, 50:463-469

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, Sh., 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)

Azimi, R., Jangju, M., Asghari, H. 2013. Effect of inoculation of mycorrhizal fungus on initial establishment and morphological characteristics of thyme (*Thymus vulgaris* L.) in natural conditions. *Iranian Journal of Crop Research*, 11 (4): 666-676.

Azimi, R., Jangju, M., Asghari, H. 2014a. Effect of inoculation of mycorrhizal fungus on seedling establishment and morphological characteristics of *Bromus kopetdaghensis* growth under field conditions. *Pasture and Watershed Journal*, 67 (4): 253-261.

Azimi, R., Jankju, M., and Asghari, H. 2014b. 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)

www.SID.ir

Archive of SID

Azimi, R., Jankju, M., Feizi, H., Azimi, A. 2014c. Interaction of SiO2 nanoparticles and seed prechilling on germination and early seedling growth of tall wheatgrass (*Agropyron elongatum* L.). *Polish Journal of Chemical Technology*, 16(3): 25-29.

Azimi, R., Hossein Jafari, S., Kianian, M.K., Khaksarzade, V., Amini, A. 2016. Studying Arbuscular Mycorrhiza Symbiotic Effects on Establishment and Morphological Characteristics of *Bromus kopetdaghensis* on Cadmium Contaminated Soil. *Taiwan Water Conservancy*, 64(3): 82-91.

Bacchetta, G., Cappai, G., Carucci, A., Tamburini, E. 2015. Use of native plants for the remediation of abandoned mine sites in Mediterranean semiarid environments. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 94:326–333.

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).

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.

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

Brady, E. 1993. *Revegetation and environmental management of lead-zinc mine tailings*. M. Phil. Thesis, Department of Environmental and Evolutionary Biology, University of Liverpool, Liverpool, U.K.

Daei, G., Ardekani, M.R., Rejali, F., Teimuri, S., and Miransari, M. 2009. Alleviation of salinity stress on wheat yield, yield components, and nutrient uptake using arbuscular mycorrhizal fungi under field conditions. *Journal of Plant Physiology*, 166: 617-625.

Doula, M.K., Elaiopoulos, K., Kavvadias, VA., and Mavraganis, V. 2012. Use of clinoptilolite to improve and protect soil quality from disposal of oil mills wastes. *Journal Hazard Mater*, 207–208:103–110.

Ercisli, S., Esitken, A., Cangi, R., and Sahin, F. 2003. Adventitious root formation of kiwifruit in relation to sampling date, IBA and Agrobacterium rubi inoculation. *Plant Growth Regulatio*, 4: 133-137.

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

Ginocchio, R., and Baker, A. J. 2004. Metallophytes in Latin America: a remarkable

www.SID.ir

Archive of SID

biological and genetic resource scarcely known and studied in the region. *Revista Chilena de Historia Natural*, 77:185–194.

Gonzalez-Chavez, M. C., Carrillo-Gonzalez, R., Wright, S. F., and Nichols, K. 2004. The role of glomalin, a protein produced by arbuscular mycorrhizal fungi in sequestering potentially toxic elements. *Environmental Pollution*, 130:317-323.

Gonzalez-Guerrero, M., Azcon-Aguilar, C., Mooney, M., Valderas, A., McDiarmid, C.W., Eide, D.J., and Ferrol, N. 2005. Characterization of a *Glomus intraradices* gene encoding a putative Zn transporter of the cation diffusion facilitator family. *Fungal Genetics and Biology*, 42 (2):130-140.

Hu, J., Wang, H., Wu, F., Wu, Sh., Cao, Zh., Lin, X., and Wong, M. 2014. Arbuscular mycorrhizal fungi influence the accumulation and partitioning of Cd and P in bashfulgrass (*Mimosa pudica* L.) grown on a moderately Cd-contaminated soil, *Applied Soil Ecology*, 73: 51-57.

Jafari, M., Tavili, A., and Ali, M. 2012. Application of Superabsorbent on soil moisture retention and establishment of *Atriplex canescens* in arid area. *Renewable Natural Resources Research*, 3(2): 11-18.

Jones, M.D., and Hutchinson, T.C. 1988. Nickel toxicity in mycorrhizal birch seedlings infected with *Lactarius rufus* or *Scleroderma flavidum* Effects on growth, photo- synthesis, respiration and transpiration. *New Phytologist*, 108, 451-459.

Joner, E. J., and Leyval, C. 2001. Time course of heavy metal uptake in maize and clover as affected by root density and different mycorrhizal inoculation regimes. *Biology Fertilization Soils*, 33:351- 357.

Kabiri, A. 2005. Superabsorbent, Introduction to Applied. The third workshop and seminar application of super absorbent in agriculture: Iran Polymer and Petrochemical Institute.

Keiffer, C.H., and Ungar, I.A. 2002. Germination and establishment of halophytes on brine-affected soils. *Journal of Applied Ecology*, 39: 402–415.Kim, SM., Suh, J., Oh, S., Son, J., Hyun, C. U., Park, H. D., Shin, S. H., and Choi, Y. 2016. Assessing and prioritizing environmental hazards associated with abandoned mines in Gangwon-do, South Korea: the Total Mine Hazards Index. *Environmental Earth Sciences*, 75:1–4

Kumar, A., Raghuwanshi, R., and Upadhyay, R.S. 2010. Arbuscular mycorrhizal technology in reclamation and revegetation of coal mine spoils under various revegetation models. *Engineering*, 2: 683–689

Kumpiene, J., Lagerkvist, A., and Maurice, C. 2008. Stabilization of As, Cr, Cu, Pb and Zn in soils using amendments. *A Review Waste Management*, 28:215–

www.SID.ir

Archive of SID

225.

Laurence, D. 2011. Establishing a sustainable mining operation: an overview. *Journal of Cleaner Production*, 9:278–284

Li-ping, W., Kui-mei, Q., Shi-long, H., and Bo, F. 2009. Fertilizing reclamation of arbuscular mycorrhizal fungi on coal mine complex substrate. *Procedia Earth and Planetary Science*, 1: 1101–1106

Madejón, E., Doronila, A.I., Madejón, P., Baker, A.J.M., and Woodrow, I.E. 2012. Biosolids, mycorrhizal fungi and eucalypts for phytostabilization of arsenical sulphidic mine tailings. *Agroforestry Systems*, 84:389–399.

Mahar, A., Wang, P, Ali, A., Kumar Awasthi, M., Lahori, A., Wang, Q, Li, R., and Zhang, Z. 2016. Challenges and opportunities in the phytoremediation of heavy metals contaminated soils: A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 126:111–121.

Marschner H.1995. *Mineral nutrition of higher plants*, 2nd edn. Academic, London.

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.

Moazzen Ghasemi, B., Akbari, G. H., Zohorian, M. J., and Nikniaee, A. B. 2009. An Evaluation of Growth and Yield of Forage Corn with Application of Different Levels of Super Absorbent Polymer (SUPERAB A200) and under Drought Stress. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 40(3): 1- 8.

Mozgawa W., and Bajda T. 2005. Spectroscopic study of heavy metals sorption on clinoptilolite. *Physics and Chemistry of Minerals*, 31:709–713.

Neagoe, A., Merten, D., Iordache, V., and Buechel, G. 2009. The effect of bioremediation methods involving different degrees of soil disturbance on the export of metals by leaching and by plant uptake. *Chemie der Erde / Geochemistry*, 69:57–73.

Neagoe, A., Iordache, V., Bergmann, H., Kothe, E. 2013. Patterns of effects of arbuscular mycorrhizal fungi on plants grown in contaminated soil. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 176(2): 273- 286.

Noyd, R.K., Peger, F.L., and Norland, M.R. 1996. Field responses to added organic matter, arbuscular mycorrhizal fungi, and fertilizer in reclamation of torbonite iron ore tailing. *Plant Soil*, 179: 89 - 97.

Orzeszyna, H., Garlikowski, D. and Pawlowski, A. 2006. Using of geocomposite with superabsorbent synetic polymers as water retention element in vegetative latters. *Polish Academy of Sciences*, 20: 201-206.

Pawlowska, T.E., Douds, D.D., and Charvat, I. 1999. *In vitro* propagation and life

www.SID.ir

Archive of SID

cycle of the arbuscular my- corrhizal fungus *Glomus etunicatum. Mycological Research*, 103: 1549-1556.

Petrov, P., Zheleva, E., and Ivanova, S. 2016. Restoration processes in ecosystems within the rehabilitated mining sites of *Dpminc Chelopech*. *Journal of Environmental Protection and Ecology*, 17(4): 1334–1344

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.

Rafiee, z. 2009. *Comparing effect of hydrogel and compost on establishment and growth properties of Haloxilon aphyllum and (case study: Yazd)*. M.s Dissertation, Faculty of Natural Resources and Environment, University of Tehran, Iran. (In Persian with English Summary)

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.

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.

Smith S.E., and Read D.J. 2008. *Mycorrhizal symbiosis*. Academic Press, London.

Sprocati, A.R., Alisi, C., Pinto, V., Montereali, M.R., Marconi, P., Tasso, F., Turnau, K., De Giudici, G., Goralska, K., Bevilacqua, M., and Marini, F. 2014. Assessment of the applicability of a ‘‘toolbox’’ designed for microbially assisted phytoremediation: the case study at Ingurtosu mining site (Italy). *Environmental Science and Pollution Research*, 21:6939–6951

Sheoran, V., Sheoran,A., and Poonia,P. 2011. Role of hyperaccumulators in phytoextraction of metals from contaminated mining sites: a review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 41: 168–214.

Venkateswarlu, K., Nirola, R., Kuppusamy, S., Thavamani, P., Naidu, R., and Megharaj, M. 2016. Abandoned metalliferous mines: ecological impacts and potential approaches for reclamation. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 15:327–354

Weissenhorn, I., Leyval, C., and Berthelin, J. 1993. Cd- tolerant arbuscular mycorrhizal (AM) fungi from heavy- metal polluted soils. *Plant Soil*, 157: 247-256.

Wingenfelder, U., Hansen, C., Farrer, G., and Schulin, R. 2005. Removal of Heavy Metals from Mine Waters by Natural Zeolites. Environmental Science

www.SID.ir

Archive of SID

Technology, 39:4606-4613.

Wong, M.H. 2003. Ecological restoration of mine degraded soils, with emphasis on metal contaminated soils. *Chemosphere*, 50: 775–780

Wuana, R.A., and Okieimen, F.E. 2011. Heavy metals in contaminated soils: are view of sources, chemistry, risks and best available strategies for remediation. International Scholarly Research Notices Ecology, 1–20.

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 Medicinal Plant*, 4(48): 72-81. (In Persian with English Summary)

Yenilmez, F., Kuter, N., Emil, M. K., and Aksoy, A. 2011. Evaluation of pollution levels at an abandoned coal mine site in Turkey with the aid of GIS. *International Journal of Coal Geology*, 86:12–19.

Zhi Bin, L., Keli, I., Xangning, J., and Poiie, A. 2009. Ectomycorrhizal fungus (*Paxillus involutus*) and hydrogels affect performance of *Populus eufratica* exposed to drouth stress. *Annals of Forest Science*, 66(1): 106-114.

Zangooei Nasab, Sh., Imami, H., Astaraei, A. R., and Yari, A. R. 2012. The effects of Stockosorb hydrogel and irrigation on growth and establishment of *Saxaul* plant. The First National Conference on Farm Water Management, 1-9.

www.SID.ir