مقاله پژوهشی

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و چهارم، شماره دوازده، اسفند ماه ۱۴۰۱ (۱۶-۱)

بررسی ترافیک شهری بر تجمع عناصر سنگین سرب و کادمیوم در گیاه رزماری.*Rosmarinus officinalis* L) و تاثیر همزیستی قارچ مایکوریزا گونه (*Glomus mossea*) بر آن

زهرا علی نژاد[۱]

سید علی ابطحی[۲*]

seyedaliabtahi@yahoo.com

مجتبی جعفری نیا[۳]

جعفر یثربی[٤]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۳/۲ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۷**

چکیده

زمینه و هدف: امروزه آلودگی به فلزات سنگین به یک مشکل جدی زیست محیطی تبدیل شده است. به منظور حفظ محیط زیست، یکی از روش‌های رو به گسترش و کم هزینه، پالایش در محیط به کمک گیاه پالایی یعنی بهره‌گیری از گیاهان برای حذف، کاهش و تثبیت آلاینده-هاست. در این راستا استفاده از قارچ‌های همزیست با گیاه، می تواند سبب افزایش کارایی گیاه پالایی، کاهش مدت زمان لازم برای زدودن آلودگی و توسعهٔ کاربرد آن شود .

روش بررسی: به منظور بررسی تاثیر ترافیک بر تجمع سرب و کادمیوم در گیاه دارویی رزماری (*Rosmarinus officinalis* L.) و همزیستی قارچ گونه (*Glomus mossea*) بر آن، آزمایش بصورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک کامل تصادفی با سه تکرار و سه فاکتور انجام گردید. عامل اول شامل همزیستی مایکوریزا (شاهد و تلقیح)، عامل دوم ترافیک (شاهد، ۱۲۰، ۳۰۰، ۶۰۰، ۹۵۰، ۱۲۰۰، ۱۸۰۰، ۲۴۰۰، ۳۰۰۰ ، ۳۶۰۰ و ۴۲۰۰ اتومبیل در ساعت) و عامل سوم نوع گلدان (شاهد و گلدان‌هایی که سطح خاک جز در محل نشاءها پوشیده شده‌اند) بود که با سه تکرار در سال ۱۳۹۹-۱۳۹۸ و در کلان شهر شیراز انجام شد. در این آزمایش صفات وزن ریشه، کادمیوم خاک، کادمیوم اندام هوایی، کادمیوم ریشه، طول ساقه، طول ریشه اصلی، وزن خشک گیاه، سرب ریشه، اندام هوایی و خاک و فاکتور انتقال کادمیوم و سرب مورد بررسی قرار گرفتند.

۱- دانشجوی دکتری، مدیریت حاصلخیزی و زیست فناوری خاک-بیولوژی و بیوتکنولوژی خاک ، واحد مرودشت، دانشگاه آزاد اسلامی، مرودشت، ایران.

۲- استاد ،گروه علوم خاک، واحد مرودشت، دانشگاه آزاد اسلامی، مرودشت ایران . * (مسوول مکاتبات)

۳- استادیار، گروه بیولوژی، واحد مرودشت، دانشگاه آزاد اسلامی، مرودشت، ایران.

۴- استادیار، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.

یافته‌ها: نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تلقیح گیاهان با قارچ مایکوریزا حاکی از بالاتر بودن سرب بافت ریشه نسبت به اندام هوایی و خاک درترافیک ۴۲۰۰ اتومبیل در ساعت نسبت به شاهد بود. همزیستی با قارچ مایکوریزا سبب افزایش وزن ریشه و وزن خشک گیاه، طول ساقه، طول ریشه اصلی در مقایسه با شاهد به ترتیب به میزان ۲۳/۹۳، ۱۸/۹۷، ۰/۸۲ و ۳۰/۸۷ درصد در ترافیک ۴۲۰۰ اتومبیل در ساعت گردید. همچنین نتایج نشان داد که تیمار گلدان‌های سربسته و تلقیح قارچ مایکوریزا سبب افزایش پارامترهای رشدی و کاهش کادمیوم و سرب شد.

بحث و نتیجه‌گیری: کاهش غلظت کادمیوم و سرب در گیاه رزماری تلقیح شده با مایکوریزا نشان می دهد که گیاه رزماری می‌تواند در خاک‌های آلوده به کادمیوم و سرب رشدکند و توانایی پالایش عناصر سنگین بخصوص عنصر سرب با توجه به TF بزرگتر از ۱را دارد و در این راستا همزیستی مایکوریزا به این توانایی کمک می کند.

واژه‌های کلیدی: همزیستی، فلزات سنگین، قارچ مایکوریزا. فاکتور انتقال، گیاه پالایی.

J. Env. Sci. Tech., Vol 24, No.12, March, 2023

Investigation of urban traffic on the accumulation of heavy elements of lead and cadmium in rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) and the effect of mycorrhiza (*Glomus mossea*) symbiosis on it

Zahra Alinejad[1]
Seyed Ali Abtahi [2*]
seyedaliabtahi@yahoo.com
Mojtaba Jafarinia[3]
Jafar Yasrebi[4]

Admission Date:December 28, 2022 Date Received: May 23, 2021

Abstract

Background and Objective: Nowadays, heavy metal pollution has become a serious environmental problem. To protect the environment, one of the effective and low-cost methods is phytoremediation. Phytoremediation is the use of plants to remove, reduce and stabilize pollutants. In this regard, the use of fungi that symbiosis with plants, can increase the efficiency of phytoremediation, reduce the time required to remove contamination, and develop its application.

Material and Methodology: This experiment was performed in order to investigate the traffic and symbiosis interaction's effects on lead and cadmium accumulation in rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.). The experiment donen in a randomized complete block design (RCBD) with three replications and three factors as factorial. The first factor includes mycorrhiza symbiosis (control and inoculation), the second factor was traffic (Control, 120, 300, 600, 950, 1200, 1800, 2400, 3000, 3600, and 4200 cars per hour) and the third factor was the type of pot (Controls and pots where the soil surface is covered except at the place of seedlings) with three replications in 2019-2020 in Shiraz metropolis. In the experiment some properties were investigated such as root weight, soil cadmium, shoot cadmium, root cadmium, stem length, main root length, plant dry weight, root lead, cadmium, and lead transfer factors.

Findings: The results of mean comparisons showed that inoculation of plants with mycorrhizal fungi (*Glomus mossea*) had higher lead content of root tissue than shoots and soil in 4200 cars per hour compared to the control. Symbiosis with mycorrhiza fungi increased root weight and plant dry weight, stem length, and main root length compared to the control by 23.93, 18.97, 0.82 and 30.87% in 4200 car traffic per hour, respectively. The results also showed that the treatment of closed pots and inoculation of mycorrhizal fungi increased the growth parameters and decreased cadmium and lead.

1- PhD Studen of Soil Fertility and Biotechnology Management_ Soil Biology and Biotechnology, Department of Soil Sciences, Marvdasht Branch, Islamic Azad University, Marvdasht, Iran
2- Professor, Department of Soil Sciences, Marvdasht Branch, Islamic Azad University, Marvdasht, Iran.*(*Corresponding Author*)
3- Assistant Professor, Department of Biology, Marvdasht Branch, Islamic Azad University, Marvdasht, Iran.
4- Assistant Professor, Department of Soil Sciences, School of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran.

Discussion and Conclusion: The reduction of cadmium and lead concentrations in the inoculated rosemary with *Glomus mosses* indicates that *Rosmarinus officinalis* L. can grow in soils contaminated with cadmium and lead. Also, the symbiosis of mycorrhizae increases th ability of rosemary.

Key words: Symbiosis, Heavy Metals, Mycorrhiza Fungi. Transfer Factor, Phytoremediation.

مقدمه

امروزه آلودگی‌های ناشی از فلزات سنگین از جمله مسائل مهمی است که در مناطق شهری و صنعتی در حال گسترش است و عوارض زیست محیطی قابل توجهی را به دنبال دارد (۱). در کشور ما نیز با توجه به توسعه صنعتی در نیمه دوم قرون اخیر و برنامه ریزی‌های آتی و روند رو به رشد تعداد وسایل نقلیه بنزین سوز بررسی و بحث روی آلاینده ها و آثار آن‌ها در چرخه زیست محیطی به صورت امری ضروری درآمده است (۲). سرب و کادمیوم از دسته آلاینده‌های خودرویی هستند که به دلیل سمیت زیاد برای طبیعت و انسان و ایجاد عوارض متعددی همچون بیماری‌های خونی، عصبی و استخوانی مورد توجه محققان بسیاری قرار گرفته‌اند (۲) .

انتخاب شاخص‌های زنده مناسب برای به دست آوردن اطلاعات تحلیلی مهم از آلودگی با فلزات سنگین بسیار مهم است (۳). ظرفیت فلزات سنگین برای ایجاد آسیب به مرحله قرار گرفتن در معرض استرس، طول مدت قرار گرفتن در معرض، غلظت فلزات سنگین و فراهمی زیستی آن‌ها در اندام‌های گیاهی بستگی دارد (۳). در همین حال، ثابت شده است که رویکردهای بیولوژیکی (با استفاده از گیاهان و میکروب‌ها) یک رویکرد مؤثر است ، زیرا از نظر اقتصادی مقرون به صرفه، اجرای آن‌ها ساده است و خصوصیات طبیعی محیط را حفظ می‌کنند (۴).

از طرفی گیاهان زینتی و دارویی به واسطه دارا بودن تعداد و تنوع گیاهی خیلی زیاد، تحمل غلظت‌های بسیار بالای آلاینده‌ها و قابلیت رشد در انواع خاک‌ها و محیط‌های آلوده، از پتانسیل بالایی برای گیاه پالایی انواع آلاینده‌ها و احیاء محیط های آلوده برخوردارند (۵). رزماری با نام علمی *Rosmarinus officinalis L.* گیاهی است چند ساله، همیشه سبز، پایا ، بسیار معطر، مقاوم به سرما و شرایط خشکی و شوری خاک. این خصوصیت گیاه رزماری سبب شده است که در اکثر مناطق قابل کشت باشد (۶).

گیاه‌پالایی به عنوان یک روش قابل قبول، کم هزینه و دو ستدار محیط زیست در مقایسه با روشهای شیمیایی جهت از بین بردن آلودگی فلزات سنگین می باشد (۷). به منظور افزایش کارایی گیاه پالایی می‌توان شرایط لازم برای این امر را بهبود بخشید .به تغییر شرایط، به منظور ارتقای کارایی گیاه پالایی، گیاه پالایی فعال (Active phytoremediation) گفته می‌شود که در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است. (۸). قارچ های مایکوریزا آربوسکولار با ریشه های گیاه رابطه همزیستی ایجاد می‌کنند که در آن قارچ محصولات فتوسنتزی تولید شده توسط گیاهان را دریافت می‌کند و به نوبه خود با افزایش جذب مواد مغذی، محافظت از گیاه در برابر سمیت فلزات سنگین، افزایش تجمع زیست توده، و بهبود فتوسنتز در گیاه کمک می‌کنند (۹). در این تحقیق میزان پتانسیل گیاه‌پالایی گیاه رزماری با استفاده از قارچ آربو سکولار میکوریز جهت جذب فلزات سنگین هوا بررسی گردید. در نتیجه، هدف اصلی این مطالعه بررسی تأثیرترافیک بر تجمع عناصر سنگین در خاک و گیاه رزماری کاشته شده در ترافیک و ارزیابی پتانسیل گیاه پالایی گیاه رزماری و بررسی نقش قارچ مایکوریزا براین توانایی بود.

روش تحقیق

این مطالعه در سال ۱۳۹۸-۱۳۹۹ و در خیابانهای کلان شهر شیراز انجام شد. این تحقیق بصورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک کامل تصادفی با سه تکرار و سه فاکتور انجام گردید . عامل اول شامل همزیستی مایکوریزا (شاهد و تلقیح)، عامل دوم ترافیک (شاهد، ۱۲۰، ۳۰۰، ۶۰۰، ۹۵۰، ۱۲۰۰، ۱۸۰۰، ۲۴۰۰، ۳۰۰۰ ، ۳۶۰۰ و ۴۲۰۰ اتومبیل در ساعت) و عامل سوم نوع

گلدان (شاهد و گلدان‌هایی که سطح خاک جز در محل نشاءها پوشیده شده‌اند) بود.

تهیه قلمه رزماری

در ابتدا از پایه‌های مادری گیاه رزماری که همگی در شرایط یکسان رشد کرده‌اند، قلمه‌هایی بطول ۱۵-۲۰ سانتی‌متر و قطر ۰/۵ سانتی‌متر تهیه و در گلخانه در بستر ماسه، ریشه‌زایی گردید. پس از اتمام دوره گرماگذاری و انکوباسیون (حدود ۱۰۰روز) قلمه‌ها ریشه‌دار شده و سپس قلمه‌های ریشه‌دار شده رزماری تا حد امکان یکنواخت انتخاب شدند.

خصوصیات خاک مورد آزمایش

پس از انتخاب نمونه خاک و خشک کردن در هوا و عبور از الک ۲ میلی‌متری برخی از ویژگی های فیزیکی و شـــیمیایی نظیر بافت خاک به روش هیدرومتر (۱۰)، کربن آلی به روش واکی و بلاک (۱۱)، pH خاک در خمیر ا شباع و میزان کربنات کلسیم معادل به روش خنثی کردن با اســید کلریدریک (۱۲) ،ظرفیت تبادل کاتیونی به روش جانشــینی کاتیون‌ها با اســتات ســدیم (۱۳)، مقدار فسـفر عصـاره‌گیری شـده به روش اولسـن (۱۴) و غل ظت مس، آهن و منگنز وروی و کادمیوم و ســرب پس از عصـاره‌گیری با DTPA (۱۵) به وسـیله دسـتگاه جذب اتمی (۱۶) طبق (جدول ۱) تعیین شد.

جدول۱-نتایج حاصل از تجزیه خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

Table 1. Results of analysis of physical and chemical properties of soil

تست	Unit	نتایج
هدایت الکتریکی (EC)	dS/m	۱/۷۹
اسیدیته (pH)	-	۷/۵۱
کلسیم (Ca)	meq/l	۹/۰
منیزیم (Mg)	meq/l	۳/۵
سدیم (Na)	meq/l	۴/۰
نسبت جذب سدیم (SAR)	-	۱/۶
پتاسیم (K)	mg/kg	۲۰۰
فسفر (P)	mg/kg	۱۵
رس (Clay)	%	۳۰
سیلت (Silt)	%	۳۰
شن (Sand)	%	۴۰
کلسیم به منیزیم (Ca/Mg)	-	۲/۵۷
آهن (Fe)	mg/kg	۲/۵۷
روی (Zn)	mg/kg	۰/۴۱
مس (Cu)	mg/kg	۰/۲۲
منگنز (Mn)	mg/kg	۱/۷۸
کادمیم (Cd)	mg/kg	۰/۰۰۵
سرب (Pb)	mg/kg	۰/۰۳۷

تهیه زادمایه قارچ مایکوریزا

زادمایه قارچ مایکوریزا آربوسکولار سویه *Glomus mossea* که درآزمایشگاه بیولوژی مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور واقع در کرج تهیه می شود (با شمارش 10^8 (CFU/gr) تا 10^7) استفاده گردید .

کاشت گیاه و اعمال تیمار قارچ مایکوریزا آربوسکولار

در هر گلدان تعداد ۳ قلمه نشاء رزماری کشت گردید. مقدار ۳۰ گرم زادمایه برای هر نشاء در هر گلدان در اطراف ریشه نشاها به منظور قرارگرفتن زادمایه در نزدیکی ریشه گیاه قرار گرفت و روی آن‌ها با خاک پوشانیده شد. آبیاری گلدان‌ها تا ۷۰ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه انجام شد.

انتخاب نقاط در سطح شهر شیراز

نقاطی که از نظر ترافیکی وضعیت‌های متفاوتی را دارند در سطح شیراز انتخاب گردید. مختصات جغرافیایی نقاط مورد نظر با استفاده از دستگاه GPS برداشت شد (جدول ۲). سپس گلدان‌های مورد نظر به نقاط انتخاب شده انتقال داده شدند.

برآورد میزان ترافیک :

میزان ترافیک در نقاط انتخاب گردیده بوسیله فرمول زیر محاسبه گردید:

متوسط سالیانه حجم ترافیک روزانه وسایل نقلیه موتوری=AADT

حجم کل ترافیک عبوری از قطعه یا نقطه معین یک راه در یکسال تقسیم بر ۳۶۵ روز که برای نقاط انتخاب شده.

متوسط حجم ترافیک روزانه وسایل نقلیه موتوری=ADT

متوسط تعداد وسایل نقلیه موتوری است که از یک نقطه معین در مدت ۲۴ ساعت از دو طرف جاده عبور می کنند و معمولاً برای یکسال محاسبه می شوند. جدول ۲متوسط سالیانه حجم ترافیک روزانه در نقاط انتخاب شده را نشان می دهد.

جدول ۲-مشخصات جغرافیایی نقاط انتخاب شده

Table 2. Geographical characteristics of selected points

ردیف	نقاط	Y	X	میزان ترافیک (Vichle/H)
۱	پارک آزادی (شاهد)	۳۲۷۸۷۲۸	۶۴۸۹۹۴	۰
۲	خیابان شهید مرادی (نقطه ۱)	۳۲۷۸۴۷۴	۶۴۹۸۷۶	۱۲۰
۳	خیابان ابریشمی (نقطه ۲)	۳۲۷۹۵۰۴	۶۴۹۱۷۸	۳۰۰
۴	خیابان ساحلی شرقی (نقطه ۳)	۳۲۷۸۱۶۰	۶۴۹۶۲۵	۶۰۰
۵	بلوار جمهوری (نقطه ۴)	۳۲۷۹۶۸۴	۶۴۹۴۱۷	۹۵۰
۶	خیابان سمیه (نقطه ۵)	۳۲۷۸۳۹۹	۶۴۹۲۶۳	۱۲۰۰
۷	بلوار آزادی (نقطه ۶)	۳۲۷۸۹۶۵	۶۴۹۱۹۷	۱۸۰۰
۸	پل باغ صفا (نقطه ۷)	۳۲۷۸۵۱۰	۶۴۸۵۸۶	۲۴۰۰
۹	خیابان هجرت (نقطه ۸)	۳۲۷۷۷۵۶	۶۴۹۶۶۳	۳۰۰۰
۱۰	خیابان توحید (نقطه ۹)	۳۲۷۷۳۹۰	۶۴۹۰۴۳	۳۶۰۰
۱۱	بلوار کریمخان زند (نقطه ۱۰)	۳۲۷۷۷۹۳۸	۶۴۸۶۶۰	۴۲۰۰

اندازه‌گیری صفات مورفولوژیک

پس از پایان دوره‌ی ۹ماهه کشت رزماری نمونه‌های گیاهی برداشت گردید و پس از انتقال به آزمایشگاه، وزن تر، وزن خشک گیاه، طول ساقه، طول ریشه اصلی، اندازه‌گیری گردید.

تجزیه نمونه های گیاهی

یک گرم نمونه‌های ماده خشک گیاهی ریشه و اندام هوایی به صورت جداگانه پودر و آسیاب شد. پس از خاکستر کردن نمونه‌ها در کوره الکترونیکی در دمای ۵۰۰ درجه سلسیوس مقدار ۵ میلی‌لیتر اسید کلریدریک ۲ نرمال اضافه و نمونه‌ها صاف گردید و پس از آن به حجم نهایی ۵۰ میلی لیتر رسانده و عصاره گیاهی اندازه گیری عناصر سنگین آن آماده گردید (۱۶).

اندازه‌گیری سرب و کادمیوم نمونه‌های گیاهی و خاک

فلزات سنگین سرب و کادمیوم موجود در عصاره‌های گیاهی تهیه شده، توسط دستگاه جذب اتمی اندازه گیری شدند (۱۶). فاکتور انتقال[1] فلزات سنگین گیاه نیز با استفاده از فرمول زیر محاسبه گردید.

غلظت عنصر در ریشه / غلظت عنصر در اندام هوایی = فاکتور انتقال

غلظت سرب و کادمیوم در خاک نیز پس از عصاره‌گیری با دی تی پی ا با دستگاه جذب انمی شعله مدلP Avanta از کمپانی GBC،ساخت کشور استرالیا) اندازه‌گیری گردید (۱۶).

طرح آماری

این پژوهش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک کامل تصادفی با سه تکرار و سه فاکتور انجام گردید. فاکتورهای اول شامل قارچ مایکوریزا با دو سطح (عدم تلقیح و تلقیح مایکوریزا) و فاکتور دوم شامل گلدان‌های سرپوشیده و گلدان‌های سرباز و فاکتور سوم شامل ۱۰ نقطه با متوسط حجم ترافیک روزانه وسایل نقلیه موتوری و یک نقطه به عنوان شاهد بودند. گلدان‌ها به مدت ۹ ماه در مکان‌های انتخاب شده باقی ماندند. داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و مقایسه میانگین با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

یافته‌ها

محتوای کادمیوم و سرب خاک

با توجه به تجزیه و تحلیل واریانس، مشخص شد که مایه‌زنی، ترافیک و عوامل پوششی در سطح احتمال یک درصد برغلظت سرب خاک معنی دار و برغلظت کادمیوم خاک معنی‌دارنبود (جداول ۵و۳). تیمارهای تلقیح باعث کاهش ۲۲/۷۸ درصدی کادمیوم و ۱۵/۱۶ سرب خاک در مقایسه با شاهد (عدم تلقیح) شدند، اما با افزایش ترافیک، محتوای سرب و کادمیوم در خاک افزایش یافت به طوری که بیشترین میزان درتردد ۴۲۰۰ اتومبیل در ساعت نسبت به شاهد مشاهده گردید. علاوه بر این، نتایج مقایسه میانگین نشان داد که در مقایسه با گلدان‌های سربسته، محتوای سرب و کادمیوم خاک به ترتیب۵۵/۹۸ و ۳۷/۱۸ درصد نسبت به گلدان‌های سرباز کاهش یافت (جداول ۶و۴).

محتوای کادمیوم و سرب اندام هوایی

بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، تاثیر مایه زنی، ترافیک و نیز عوامل پوششی بر سرب اندام هوایی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار و بر کادمیوم اندام هوایی دار نبود (جداول ۵و۳). تیمارهای تلقیح باعث کاهش ۳۱/۲۴ درصدی محتوای کادمیوم و ۳۹/۷۹درصدی سرب اندام هوایی در مقایسه با شاهد (عدم تلقیح) شدند، اما با افزایش ترافیک، محتوای کادمیوم و سرب اندام هوایی افزایش یافت، به طوری که بیشترین میزان در تردد ۴۲۰۰ اتومبیل در ساعت نسبت به شاهد مشاهده گردید. علاوه بر این، نتایج مقایسه میانگین نشان داد که در مقایسه با گلدان‌های سربسته، محتوای سرب و کادمیوم اندام هوایی به ترتیب۲۲/۹۶ و ۴۲/۹۰ درصد نسبت به گلدان‌های سرباز کاهش داشت (جدول ۶و۴).

1- Transfer factor

جدول ۳- تجزیه واریانس اثرات تیمارها بر تجمع کادمیوم خاک، اندام هوایی ، ریشه و پارامترهای رشدی گیاه رزماری

Table 3. Variance analysis of effects of treatments on the accumulation of cadmium in soil, shoots, roots and growth parameters of rosemary

منابع تغییرات	میانگین مربعات						
	درجه آزادی	وزن ریشه	کادمیوم خاک	کادمیوم اندام هوایی	کادمیوم ریشه	طول ساقه	طول ریشه اصلی
بلوک	۲	۰/۴۶۵	۰/۰۰۱ **	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۱ *	۱ /۰۹۱	۱/۱۴
تلقیح قارچ	۱	۲۲۰/۷۴ **	۰/۰۰۷ **	۰/۰۱۹ **	۰/۰۷۷ **=	۷/۷۵ *	۴۴۷/۳۴ **
تردد	۱۰	۶۰/۷۹ **	۰/۰۲۱ **	۰/۰۳۹ **	۰/۰۳۱۹ **	۵۹۵/۷۴ **	۱۰۷/۹۹ **
تلقیح قارچ × تردد	۱۰	۱/۱۳ *	۰/۰۰۰۲ **	۰/۰۰۱ **	۰/۰۰۱ **	۱/۱۰۸	۲/۲۵ *
پوشش	۱	۳۵۹/۵۰ **	۰/۰۲۳ **	۰/۰۴۲ **	۰/۲۲۸ **	۱۳۶۱/۹۳ **	۱۶۸/۱۸ **
تلقیح قارچ × پوشش	۱	۰/۸۰	۰/۰۰۱ **	۰/۰۰۳ **	۰/۰۰۴**	۱۴۹۳/۴۵**	۱/۷۰
تردد × پوشش	۱۰	۰/۱۰	۰/۰۰۰۴ **	۰/۰۰۲ **	۰/۰۳۱**	۶/۴۲**	۰/۲۰
تلقیح قارچ × تردد × پوشش	۱۰	۰/۱۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۲ **	۸/۸۳**	۰/۷۲
خطا	۸۶	۰/۵۹	۰/۰۰۰۰۸	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱۸۹	۱/۶۶	۱/۰۹
ضریب تغییرات		۶/۳۹	۱۵/۴	۱۶/۷۵	۱۰/۴۷	۱۲/۱۹	۷/۶۱

**، * به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪

محتوای کادمیوم و سرب ریشه

بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، تاثیر مایه‌زنی، ترافیک و نیز عوامل پوششی بر محتوای کادمیوم و سرب ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جداول ۵و۳). تیمارهای تلقیح باعث افزایش ۴۳/۷۹ و ۶۰/۹۲ درصدی محتوای کادمیوم و سرب ریشه در مقایسه با شاهد (عدم تلقیح) شد، اما با افزایش ترافیک، محتوای کادمیوم و سرب ریشه افزایش یافت به طوری که بیشترین میزان در ترددهای ۳۶۰۰ و ۴۲۰۰ اتومبیل در ساعت نسبت به شاهد مشاهده گردید. علاوه بر این، نتایج مقایسه میانگین نشان داد که در مقایسه با گلدان‌های سربسته، محتوای کادمیوم و سرب ریشه به ترتیب ۴۷/۲۳ و ۳۷/۸۵ درصد نسبت به گلدان‌های سرباز کاهش یافت (جداول ۶و۴).

طول ساقه و ریشه اصلی

بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، تاثیر مایه‌زنی، ترافیک و نیز عوامل پوششی بر طول ساقه و ریشه اصلی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). تیمارهای تلقیح باعث افزایش ۰/۸۲ درصدی طول ساقه و افزایش ۳۰/۸۷ درصدی طول ریشه اصلی در مقایسه با شاهد (عدم تلقیح) گردید، اما با افزایش ترافیک، طول ساقه و ریشه اصلی کاهش یافت به طوری که کمترین میزان در تردد ۴۲۰۰ اتومبیل در ساعت نسبت به شاهد مشاهده گردید. علاوه بر این، نتایج مقایسه میانگین نشان داد که در مقایسه با گلدان‌های سربسته، طول ساقه و ریشه اصلی به ترتیب ۱۱/۵۵ و ۱۷/۸۶ درصد نسبت به این پارامترها درگلدان‌های سرباز افزایش یافت (جدول ۴).

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر تیمارها بر تجمع کادمیوم در خاک، اندام هوایی، ریشه و پارامترهای رشدی گیاه رزماری

Table 4. Comparison of mean effect of the treatments on cadmium accumulation in soil, shoots, roots and growth parameters of rosemary

		میانگین مربعات									
		وزن ریشه		کادمیوم خاک		کادمیوم اندام هوایی		کادمیوم ریشه		طول ساقه		طول ریشه اصلی
تلقیح نشده	b	۱۰/۸۲	a	۰/۰۶	a	۰/۰۷	b	۰/۱۱	b	۵۸/۵۷	b	۱۱/۹۲
تلقیح شده	a	۱۳/۴۱	b	۰/۰۵	b	۰/۰۵	a	۰/۱۵	a	۵۹/۰۶	a	۱۵/۶۰
شاهد	a	۱۶/۸۵	h	۰/۰۰۲	f	۰/۰۱	g	۰/۰۰۷	a	۷۳	a	۲۱
120	b	۱۴/۴۳	g	۰/۰۱۷	f	۰/۰۱۵	fg	۰/۰۱۶	b	۶۵/۱۷	b	۱۶/۰۸
300	c	۱۳/۶۸	g	۰/۰۲۴	ef	۰/۰۱۷	fg	۰/۰۱۹	c	۶۲/۲۵	c	۱۴/۸۳
600	c	۱۳/۰۸	f	۰/۰۳۶	ef	۰/۰۲۱	ef	۰/۰۲	d	۶۱/۰۸	cd	۱۴/۴۲
950	d	۱۲/۱۸	e	۰/۰۴۴	e	۰/۰۲۵	f	۰/۰۲	e	۵۹/۹۲	de	۱۳/۷۵
1200	de	۱۱/۷۵	e	۰/۰۴۹	d	۰/۰۴۶	e	۰/۰۳	f	۵۸/۸۳	e	۱۳/۵
1800	e	۱۱/۲۸	d	۰/۰۵۷	d	۰/۰۵	d	۰/۰۷۶	f	۵۸/۰۸	ef	۱۳/۱۷
2400	f	۱۰/۵۹	d	۰/۰۶	c	۰/۱۰	c	۰/۱۴	f	۵۸	f	۱۲/۵
3000	f	۱۰/۱۳	c	۰/۰۸۴	c	۰/۱۰	b	۰/۳۱	g	۵۲/۳۳	g	۱۱/۳۳
3600	fg	۹/۹۵	b	۰/۱۱	b	۰/۱۳	a	۰/۴۱	h	۵۱/۰۸	gh	۱۰/۸۳
4200	g	۹/۳۳	a	۰/۱۴	a	۰/۱۸	a	۰/۴۰	i	۴۷/۲۵	h	۱۰
گلدان‌های سرباز	b	۱۱/۰۸	a	۰/۰۷۱	a	۰/۰۸۳	a	۰/۱۷	b	۵۵/۶۰	b	۱۲/۶۳
سر بسته	a	۱۳/۱۴	b	۰/۰۴	b	۰/۰۴۷	b	۰/۰۹۲	a	۶۲/۰۳	a	۱۴/۸۹

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

وزن خشک گیاه

بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، تأثیر مایه‌زنی، ترافیک و نیز عوامل پوششی بر وزن خشک گیاه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). تیمار تلقیح باعث افزایش ۱۸/۹۷ درصدی وزن خشک گیاه در مقایسه با شاهد (تلقیح نشده) شد، با افزایش ترافیک، وزن خشک گیاه کاهش یافت، به طوری که کمترین میزان، در تردد ۴۲۰۰ اتومبیل در ساعت نسبت به شاهد مشاهده گردید. علاوه بر این، نتایج مقایسه میانگین وزن خشک گیاه نشان داد که در مقایسه با گلدان‌های سربسته، وزن خشک گیاه ۱۷/۹۰ درصد نسبت به گلدان‌های سرباز افزایش یافت (جدول ۶).

جدول ۵- تجزیه واریانس اثر تیمارها بر تجمع سرب در خاک ، اندام هوایی ، ریشه و پارامترهای رشدی گیاه رزماری

Table 5. Variance analysis of effects of treatments on the accumulation of lead in soil, shoots, roots and growth parameters of rosemary

میانگین مربعات					
منابع تغییرات	آزادی	وزن خشک گیاه	سرب ریشه	سرب اندام هوایی	سرب خاک
بلوک	۲	۱/۶۴	۰/۰۰۳ *	۰/۰۰۲ *	۰/۰۰۱ **
تلقیح قارچ	۱	۳۱۳۲/۱۸ **	۰/۰۸۲ **	۱/۵۰ **	۰/۰۰۲۱ **
تردد	۱۰	۱۰۹۷/۴۶ **	۰/۰۶۹ **	۰/۵۳ **	۰/۰۴۶ **
تلقیح قارچ × تردد	۱۰	۵۳/۲۳ **	۰/۰۲ **	۰/۰۵۷ **	۰/۰۰۲**
پوشش	۱	۲۸۱۷/۰۹ **	۰/۸۲ **	۰/۴۱ **	۰/۴۶۸ **
تلقیح قارچ × پوشش	۱	۹۱/۰۰ **	۰/۰۱ **	۰/۰۰۵ **	۰/۱۶۲ **
تردد × پوشش	۱۰	۳۱/۶۵ **	۰/۰۲ **	۰/۰۰۵ **	۰/۰۰۸ **
تلقیح قارچ × تردد × پوشش	۱۰	۲۶/۷۹ **	۰/۰۰۷ **	۰/۰۰۷ **	۰/۰۰۵ **
خطا	۸۶	۹/۸۶	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۰۹
ضریب تغییرات		۵/۵۹	۹/۸۷	۵/۶۳	۶/۴۳

**، * به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر تیمارها بر تجمع سرب در خاک، اندام هوایی، ریشه و پارامترهای رشدی گیاه رزماری

Table 6. Comparison of mean effect of the treatments on lead accumulation in soil, shoots, roots and growth parameters of rosemary

میانگین مربعات								
تیمار		وزن خشک		سرب ریشه		سرب اندام هوایی		سرب خاک
تلقیح نشده	b	۵۱/۳۵۶۳۶	b	۰/۲۶۰۱۵۱	a	۰/۵۳۷۲۷۳	a	۰/۱۶۵۷۵۵
تلقیح شده	a	۶۱/۰۹۹۰۹	a	۰/۴۱۸۶۴۷	b	۰/۳۲۳۴۸۶	b	۰/۱۴۰۶۱۲
شاهد	a	۷۱/۵۷	j	۰/۰۰۸۳۳	i	۰/۰۴۷۵	j	۰/۰۱۷۵
120	b	۶۷/۰۸	j	۰//۰۱۵۸۳	h	۰/۲۳۹۲	i	۰/۰۹۹۱۷
300	c	۶۳/۱۳	i	۰/۱	g	۰/۳۱۲۵	h	۰/۱۱
600	cd	۶۱/۲۷	h	۰/۲۳۱۷	g	۰/۳۰۳۳	g	۰/۱۳۸۳
950	d	۵۹/۸۶	g	۰/۲۹۶۷	f	۰/۳۴۶۷	g	۰/۱۴۴۲
1200	e	۵۵/۹۱	f	۰/۳۲۹۲	e	۰/۳۷۵	f	۰/۱۶۲۵
1800	e	۵۳/۸۵	e	۰/۴	d	۰/۴۸۹۲	e	۰/۱۷۳۳
2400	e	۵۳/۳۴	d	۰/۴۳۵۸	c	۰/۵۶۲۵	d	۰/۱۸۲۵
3000	f	۴۸/۱۸	c	۰/۵۷	b	۰/۶۴۳۳	c	۰/۲۰۸۳

f	۰/۲۱۹۲	b	۰/۶۶۳۳	b	۰/۶۴۵	b	۴۲/۵	g	3600
ef	۰/۲۳	a	۰/۷۵۱۷	a	۰/۷۰۰۸	a	۸۱۴۱	g	4200
a	۰/۲۱۲۷۷۳۳۵	a	۰/۴۸۶۲۱۴	a	۰/۴۱۸۶۴۴	a	۵۱/۶۰۸۱۶	b	سرباز
a	۰/۰۹۳۶۳۲	b	۰/۳۷۴۵۴۵	b	۰/۲۶۰۱۵۵	b	۶۰/۸۴۷۲۷	a	سربسته

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

فاکتور انتقال کادمیوم و سرب

بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، تأثیر مایه زنی، ترافیک و نیز عوامل پوششی بر فاکتور انتقال کادمیوم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار و بر فاکتور انتقال سرب معنی‌دار نبود (جدول ۷). تیمار تلقیح باعث کاهش ۶۶/۳۶ درصدی فاکتور انتقال کادمیوم وکاهش ۵۹/۴۷ درصدی فاکتور انتقال سرب در مقایسه با شاهد (تلقیح نشده) شد، با افزایش ترافیک، فاکتور انتقال کادمیوم و سرب کاهش یافت، به طوری که کمترین میزان در تردد ۴۲۰۰ اتومبیل در ساعت نسبت به شاهد و بیشترین در تردد ۱۲۰ و ۳۰۰ اتومبیل در ساعت مشاهده گردید. علاوه بر این، نتایج مقایسه میانگین نشان داد که در مقایسه با گلدان‌های سربسته، فاکتور انتقال کادمیوم و سرب به ترتیب ۸/۰۷ و۶۱/۶۴ درصد نسبت به گلدان‌های سرباز کاهش نشان داد (جدول ۸).

جدول ۷- تجزیه واریانس اثر تیمارها بر فاکتور انتقال سرب و کادمیوم

Table 7. Variance analysis of effects of treatments on the transfer factor of lead and cadmium

میانگین مربعات			
منابع تغییرات	**آزادی**	**فاکتور انتقال کادمیوم**	**فاکتور انتقال سرب**
بلوک	۲	۰/۰۱۳	۱۴۷/۱۱ *
تلقیح قارچ	۱	۳۷/۴۶ **	۸۱۹/۶۵ **
تردد	۱۰	۴/۲۳ **	۱۳۶۲/۳۵ **
تلقیح قارچ × تردد	۱۰	۱/۶۹ **	۱۳۷۴/۸۳ **
پوشش	۱	۰/۲۶	۲۵۴/۹۵ *
تلقیح قارچ × پوشش	۱	۰/۵۷ *	۱۷/۳۳
تردد × پوشش	۱۰	۰/۵۷ **	۱۶۲/۹۶ **
تلقیح قارچ × تردد × پوشش	۱۰	۰/۹۴ **	۶۸/۳۲
خطا	۸۶	۰/۱۴	۴۷/۶۷
ضریب تغییرات		۱۳/۵	۱۱/۷

**، * به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪

جدول ۸- مقایسه میانگین اثر تیمارها بر فاکتور انتقال سرب و کادمیوم

Table 8. Comparison of mean effect of the treatments on the transfer factor of lead and cadmium

میانگین مربعات				
تیمار		فاکتور انتقال کادمیوم		فاکتور انتقال سرب
تلقیح نشده	a	۱/۶۰۵۲۷۳	a	۸/۳۹
تلقیح شده	b	۰/۵۳۹۸۶۸	b	۳/۴۰
شاهد	a	۱/۹۷۷	c	۲/۸۶
120	b	۱/۴۶۶	a	۳۵/۴۹
300	bc	۱/۱۵۹	a	۱۵/۳۰
600	cd	۰/۹۱۹۲	c	۱/۶۹
950	b	۱/۴۶۱	c	۱/۴۴
1200	a	۲/۰۰۷	c	۱/۳۹
1800	cd	۰/۸۵۵۸	c	۱/۴۷
2400	de	۰/۷۳۴۲	c	۱/۵۴
3000	f	۰/۳۹۵	c	۱/۳۴
3600	f	۰/۳۵۹۲	c	۱/۱۹
4200	ef	۰/۴۶۵	c	۱/۱۶
سرباز	a	۱/۱۱۷	b	۴/۵۱
سربسته	a	۱/۰۲۷	a	۷/۲۹

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

اثر متقابل فاکتورها:

تلقیح قارچ میکوریزا × تردد × پوشش بر میزان کادمیوم ریشه، طول ساقه، وزن خشک گیاه، میزان سرب ریشه و اندام هوایی، میزان سرب خاک و فاکتور انتقال کادمیوم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود و بر وزن ریشه، میزان کادمیوم خاک، میزان کادمیوم اندام هوایی، طول ریشه اصلی و فاکتور انتقال سرب تأثیر معنی‌داری نداشت (جداول ۵ و۷).بیشترین میزان وزن خشک گیاه در گلدانهای پوشش دار و در مسیرهای کم تردد و تلقیح شده با مایکوریزا مشاهده گردید .بیشترین میزان کادمیوم ریشه در گیاهان تلقیح شده و قرار گرفته در مسیر های پرتردد و در گلدانهای سرباز ، بیشترین میزان کادمیوم خاک و سرب اندام هوایی در مسیرهای پرتردد و بدون تلقیح و گلدانهای سرباز بود.کادمیوم اندام هوایی و سرب خاک در گیاهان قرارگرفته در مسیر پر تردد، تلقیح نشده و گلدانهای سرباز بیشترین بود. سرب ریشه در مسیرهای پرتردد، گلدانهای سرباز و تلقیح شده با قارچ مایکوریزا بیشترین میزان بود .

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج تحقیق نشان داد که تلقیح قارچ مایکوریزا باعث کاهش کادمیوم در خاک و اندام هوایی و افزایش کادمیوم در ریشه شده است با افزایش ترافیک کادمیوم افزایش یافت و مشخص گردید در تیمار گلدان‌های سربسته و تلقیح شده با قارچ مایکوریزا کادمیوم در خاک، اندام هوایی و ریشه کاهش یافت. به نظر می‌رسد که توانایی همزیستی قارچ‌های مایکوریزا در جذب فلزات سنگین در خاک‌های آلوده به نوع فلزات سنگین، نوع گونه قارچی و نوع گیاه وابسته است. به عنوان مثال همزیستی صنوبر

(*Populus canadensis*) با قارچ مایکوریزا قابلیت این گیاه را برای گیاهپالایی کادمیوم افزایش داده است اما قارچ اثری در جذب کادمیوم در بید (*Salix viminalic*) نداشته است (۱۶). کادمیوم با تولید شکل‌های مختلفی از انواع اکسیژن فعال (ROS) واکنش سمی ایجاد کرده، موجب آسیب پروتئین‌ها، کربوهیدارت‌ها و DNA شده و در نهایت منجر به ایجاد تنش اکسیداتیو می‌شود (۱۷). این قارچ‌ها هم گیاه و هم جامعه میکروبی خاک را تحت تاثیر قرار می‌دهند و این امر بر توانایی ریزوسفر در اصلاح خاک‌های آلوده اثر می‌گذارد (۱۸).

در این مطالعه تأثیر قارچ مایکوریزا بر رشد و عملکرد گیاه دارویی رزماری (*Rosmarinus officinalis* L.) نشان داد که با افزایش تردد وسایل موتوری و افزایش غلظت فلزات سنگین سرب و کادمیوم در خاک میزان رشد و عملکرد در گیاه رزماری کاهش یافت. اما تلقیح گیاهان با قارچ مایکوریزا باعث افزایش رشد و عملکرد گیاه در تردد ۴۲۰۰ اتومبیل در ساعت شد و رشد و عملکرد را در چنین شرایطی بهبود بخشید. بیشترین میزان وزن تر و خشک اندام هوایی در گیاهان تلقیح شده و در تردد ۱۲۰ اتومبیل در ساعت و کمترین این صفات در گیاهان غیر تلقیح شده و در تردد ۴۲۰۰ اتومبیل در ساعت حاصل شد که نسبت به گیاهان مایکوریزا و عدم اتومبیل (شاهد) کاهش یافت. تبریزی و همکاران (۱۹) مشاهده کردند که گرچه در سطوح بالای فلزات سنگین افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدان‌ها و محتوای فنل، موجب کاهش وزن خشک اندام هوایی شدند ولی قارچ مایکوریزا نه تنها موجب افزایش عملکرد شاخه و ریشه گیاه تحت استرس عناصر سنگین گردید بلکه شانس گیاه‌پالایی را با افزایش تجمع عناصر سنگین در اندام‌های گیاه بالا می‌برند.

بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش، تلقیح گیاهان رزماری توسط قارچ مایکوریزا باعث افزایش میزان کادمیوم و سرب در ریشه گیاه شد ولی تلقیح گیاهان توسط قارچ مایکوریزا باعث گردید میزان کادمیوم در اندام هوایی و خاک کاهش یابد. در خاک و اندام هوایی، میزان کادمیوم به طور معنی‌داری در گیاهانی که توسط قارچ مایکوریزا تیمار نشده بودند، بیشتر بود. پیوند یافتن فلزات به دیواره سلولی، سکوستره شدن فلزات توسط پروتئین‌ها و یا پلی پپتیدها و یا تشکیل کمپلکس در واکوئل‌های میسیلوم‌های قارچی باعث کاهش غلظت یون‌های آزاد در سیتوپلاسم قارچ‌ها و لذا کاهش انتقال فلزات به ریشه گیاه و کاهش اثرات سمی این یون‌ها می‌گردد (۱۹). علاوه بر توان تحریک کنندگی رشد گیاه رزماری توسط این قارچ، نتایج حاضر به خوبی بر نقش موثر این قارچ در افزایش مقاومت گیاه رزماری نسبت به سرب در شرایط ترافیک اشاره دارد، و نشان داد در تردد ۴۲۰۰ اتومبیل در ساعت، تلقیح قارچ باعث کاهش تجمع سرب در گیاه رزماری شده است. قارچ‌های مایکوریزا با فراهم کردن منیزیم بیشتر می‌توانند سبب افزایش غظت کلروفیل شوند و از این طریق متضمن انجام فتوسنتز گیاهی و تولید زیست توده بیشتری گردند (۲۰). پیوند فلزات با دیواره سلول‌های گیاهی یکی از استراتژی‌های پیشنهاد شده است که به موجب آن گیاهان می‌توانند غلظت فلزات سنگین را تا سطوح سازگار فیزیولوزیکی در بافت‌ها کاهش دهند. راهکار دیگری که گیاهان در افزایش مقاومت به فلزات سنگین اتخاذ می‌نمایند، به دام انداختن عناصر فلزات سنگین در واکوئل سلول توسط مولکول‌هایی مانند متالوتیونین‌ها و فیتوکلاتین‌ها است (۲۱).

در این آزمایش، فاکتور انتقال کادمیوم و سرب در گیاهان تلقیح شده توسط قارچ مایکوریزا به طور معنی‌داری کمتر از گیاهانی بود که توسط قارچ مایکوریزا تلقیح نشدند. نسبت فلز انباشت یافته در ریشه به میزان آن در اندام هوایی تحت عنوان فاکتور انتقال نام برده می‌شود که بیانگر قدرت گیاه پالاینده در انتقال فلز و یا آلاینده‌های دیگر از اندام‌های زیرزمینی به اندام‌های قابل برداشت هوایی است (۲۲). بر این اساس، میزان کادمیومی که در ریشه‌های رزماری (۰/۱۱ میلی گرم بر کیلوگرم) انباشت یافته است به اندام‌های هوایی (۰/۰۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) آن انتقال پیدا کرده و یا اینکه ۱۰ برابر غلظت آنچه در ساقه بود در ریشه‌ها انباشته شده است. این گونه گیاهان را تثبیت کننده می‌نامند و از آنها در تثبیت ریشه‌ای آلاینده‌ها که در اینجا کادمیوم است استفاده می‌کنند (۲۳). همچنین بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش، فاکتور انتقال کادمیوم در گیاهان رزماری که در مسیر

بدون تردد (شاهد) بودند و یا در مسیر تردد ۱۲۰۰ وسیله در ساعت قرار داشتند بیشتر از سایر تیمارها بود.

فاکتور انتقال پایین برای فلز سرب ،توسط محققانی مانند رابی (۲۴) برای گندم و لوبیا قرمز، نیز گزارش شده است. جونزالز چاوز و همکاران (۲۵) این فرضیه را داشتند که مایکوریزا با تبدیل فلز به یک ترکیب فسفات‌دار با میل ترکیبی بالا مانع انتقال آن به اندام‌های هوایی می‌شود.

در این پژوهش در مسیرهای کم تردد (۱۲۰ وسیله در ساعت) فاکتور انتقال سرب نیز به طور معنی‌داری بیشتر از سایر تیمارها بود. فاکتور انتقال از ریشه به اندام هوایی برای سرب در همه مسیرها (بدون تردد، کم تردد و پُرتردد) بالاتر از یک بود که بیشترین مقدار آن ۳۵/۴۹ مربوط به مسیر ۱۲۰ وسیله در ساعت می‌باشد. مقدار زیاد سرب در مسیر کم تردد (۱۲۰ وسیله در ساعت) بیانگر وجود غلظت بسیار بالای این فلز در این نقطه از شهر (خیابان شهید مرادی) می‌باشد. فاکتور انتقال بیشتر از یک ،گونه‌های تجمع دهنده‌ی فلزات و فاکتور انتقال کوچکتر از یک، گونه‌های دفع کننده فلزات را نشان می‌دهد (۲۶).

آلن و همکاران (۲۷) نشان دادند که نوع گونه گیاهی و مدت زمان قرارگیری گیاه در معرض فلزات سنگین بر غلظت آلاینده‌ها در گیاه اثرگذار می‌باشد و در نتیجه بر شاخص انتقال گیاهی این فلزات اثر می‌گذارد. در این آزمایش، فاکتور انتقال سرب بیشتر از یک و فاکتور انتقال کادمیوم کمتر و یا مساوی با یک بود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که گیاه رزماری توانایی تجمع فلز سرب را در اندام هوایی خود دارد ولی کادمیوم را نمی‌تواند در اندام هوایی انباشته کند. فاکتور انتقال بالاتر از یک نشان می دهد که گیاه انتخاب شده مناسب برای گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده به سرب از طریق فرآیند گیاه تثبیتی است (۲۸).

تقدیر و تشکر

این تحقیق با همکاری سازمان سیما، منظر و فضای سبز شهری (شهرداری شیراز) انجام گردید. بدینوسیله مراتب قدردانی خود را از معاونت محترم سازمان سیما، منظر و فضاسازی شهرداری شیراز و همچنین آزمایشگاه آب و خاک یوبان واقع در مرکز رشد و فناوری دانشگاه ولیعصر (عج) رفسنجان بدلیل همکاری در اندازه‌گیری پارامترهای مورد نظر اعلام می‌داریم .

Refrences

1. Pescod MB. Wastewater treatment and use in agriculture-FAO irrigation and drainage paper 47. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. 1992.
2. Poor Khabaz A, Shirvani Z, Ghaderi MQ. Biodetection of air pollution in urban areas using sycamore species and sparrow tongue (Shiraz case study). Journal of Environmental Studies. 2015 jan :41(2):360-351. (In Persian)
3. Aazami J, Moradpoure H,Kianimehr N.A Review of Biotic Indices for Heavy Metals in Polluted Environment.Human and Environment journal. 2017 July:15(40):13-24.(In Persian)
4. Miransari M. Arbuscular mycorrhizal fungi and heavy metal tolerance in plants. InArbuscular mycorrhizas and stress tolerance of plants 2017 (pp. 147-161). Springer, Singapore.
5. Rezvani M, Qurban N, Zafarian F. Phytoremediation of Soils, Groundwater and Air by Plants. Journal of Agricultural Sciences. 2010 sep 1: 7-25. (In Persian)
6. Asgari Lagayer H, Najafi NA, Moghiseh A. Cultivation of Medicinal Plants in Soils Contaminated With Heavy Metals: Strategy for Managing Contaminated Land.J of Land Management. 1394 Dec 2(2): 111-123. (In Persian)
7. Clemens S. Toxic metal accumulation, responses to exposure and mechanisms of tolerance in plants. Biochimie. 2006 Nov 1;88(11):1707-19.
8. Ferrarini A, Fracasso A, Spini G, Fornasier F, Taskin E, Fontanella MC, Beone GM, Amaducci S, Puglisi E. Bioaugmented phytoremediation of

metal-contaminated soils and sediments by hemp and giant reed. Frontiers in microbiology. 2021 Apr 20;12:645893.

9. Chen S, Zhao H, Zou C, Li Y, Chen Y, Wang Z, Jiang Y, Liu A, Zhao P, Wang M, Ahammed GJ. Combined inoculation with multiple arbuscular mycorrhizal fungi improves growth, nutrient uptake and photosynthesis in cucumber seedlings. Frontiers in Microbiology. 2017 Dec 19;8:2516.
10. Bouyoucos GJ. Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils 1. Agronomy journal. 1962 Sep;54(5):464-5.
11. Walkley A, Black TA. An estimation of Degtya raff method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Sci. 1934;37:23-38.
12. Allison LE, Moodie CD. Carbonate. Methods of Soil Analysis: Part 2 Chemical and Microbiological Properties. 1965 Jan 1;9:1379-96.
13. Chapman HD. Cation-exchange capacity. Methods of soil analysis: Part 2 Chemical and microbiological properties. 1965 Jan 1;9:891-901.
14. Olsen SR. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. US Department of Agriculture; 1954.
15. Lindsay WL, Norvell W. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. Soil science society of America journal. 1978 May;42(3):421-8.
16. Chapman HD, Pratt PF. Methods of analysis for soils, plants and waters. Soil Science. 1962 Jan 1;93(1):68.
17. Rahman MF, Ghosal A, Alam MF, Kabir AH. Remediation of cadmium toxicity in field peas (Pisum sativum L.) through exogenous silicon. Ecotoxicology and Environmental Safety. 2017 Jan 1;135:165-72.
18. Garg N, Singh S. Arbuscular mycorrhiza Rhizophagus irregularis and silicon modulate growth, proline biosynthesis and yield in Cajanus cajan L. Millsp.(pigeonpea) genotypes under cadmium and zinc stress. Journal of plant growth regulation. 2018 Mar;37(1):46-63.
19. Tabrizi L, Mohammadi S, Delshad M, Moteshare Zadeh B. The effect of arbuscular mycorrhizal fungi on growth and yield of rosemary (Rosmarinus officinalis L.) under lead and cadmium stress. Environmental Sciences. 2015 Jun 22;13(2):37-48.
20. Augé RM, Schekel KA, Wample RL. Osmotic adjustment in leaves of VA mycorrhizal and nonmycorrhizal rose plants in response to drought stress. Plant Physiology. 1986 Nov;82(3):765-70.
21. Sheng XF, Xia JJ, Jiang CY, He LY, Qian M. Characterization of heavy metal-resistant endophytic bacteria from rape (Brassica napus) roots and their potential in promoting the growth and lead accumulation of rape. Environmental pollution. 2008 Dec 1;156(3):1164-70.
22. Singh PC, Srivastava S, Shukla D, Bist V, Tripathi P, Anand V, Arkvanshi SK, Kaur J, Srivastava S. Mycoremediation mechanisms for heavy metal resistance/tolerance in plants. InMycoremediation and environmental sustainability 2018 (pp. 351-381). Springer, Cham.

23. Waranusantigul P. Phytoremediation potential of lead by Buddleja sp. and effects of its rhizobacteria on metal uptake (Doctoral dissertation, Mahidol University).
24. Rabie GH. Contribution of arbuscular mycorrhizal fungus to red kidney and wheat plants tolerance grown in heavy metal-polluted soil. African Journal of Biotechnology. 2005 Aug 16;4(4):332-45.
25. Gonzalez-Chavez C, Harris PJ, Dodd J, Meharg AA. Arbuscular mycorrhizal fungi confer enhanced arsenate resistance on Holcus lanatus. New Phytologist. 2002 Jul 1:163-71.
26. ZU YQ. Hyperaccumulator of Pb, Zn, and Cd in herbaceous grown on lead-zinc mining area in Yunnan, China. Environ. Int.. 2005;31(5):755-62.
27. Allen HE, Huang CP, Bailey GW, Bowers AR. Metal speciation and contamination of soil. Crc Press; 1994 Nov 29.
28. Jafari M, Jahantab E, Moameri M. Investigation of Remediation of Contaminated Soils with Heavy Metals Using Helianthus Annuus L. Plant. Journal of Environmental Science and Technology. 2020 Sep 22;22(7):1-4.
29. Tronczynski, J., Albinis, T.A., Cofino, W.P. (1999). Ecological risk assessment of agrochemicals in European estuaries. Environ. Toxicol. Chem, 18 (7), 1574–1581.
30. Smit, HTJ., & Trigeorgis L. (2006). Strategic Planning: Valuing and Managing Portfolios of Real Options. R&D Management, 36(4):403-419.
31. Hatefi, M., & Tamosaitienė, J. (2019). An integrated fuzzy DEMATEL-fuzzy ANP model for evaluating construction projects by considering interrelationships among risk factors. Journal of Civil Engineering and Management, 25 (2), 114-131.