

## بررسی تاثیر بیوچار و کمپوست زباله شهری بر گیاه پالایی خاک آلوده به سرب

فاطمه محب زاده<sup>۱</sup>، محمد جعفری<sup>۲</sup>، بابک متشروع زاده<sup>۳\*</sup>، مریم صفاری امان<sup>۴</sup>

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی منابع طبیعی (گرایش همزیستی با بیابان محیط زیست)، مرکز تحقیقات بین المللی بیابان، دانشگاه تهران

[moheb.fatima68@gmail.com](mailto:moheb.fatima68@gmail.com)

۲- استاد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران [jafari@ut.ac.ir](mailto:jafari@ut.ac.ir)

۳- دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران- نویسنده مسئول [moteshare@ut.ac.ir](mailto:moteshare@ut.ac.ir)

۴- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی منابع طبیعی، مرکز تحقیقات بین المللی بیابان، دانشگاه تهران [Maryam.saffari@ut.ac.ir](mailto:Maryam.saffari@ut.ac.ir)

### چکیده

هدف از این پژوهش بررسی نهال های درختچه ای در گیاه پالایی به همراه مواد اصلاح کننده بیوچار به منظور بهبود گیاه پالایی از خاک های آلوده به فلزات سنگین انجام شده است. خاک آلوده طبیعی مورد استفاده در این تحقیق از شهرک صنعتی البرز قزوین در ایران تهیه شد. اصلاح کننده کود آلی در پنج سطح (B0C0): فاقد کود آلی، B1: بیوچار یک درصد، B2: بیوچار دو درصد، C2: کمپوست دو درصد، C4: کمپوست دو درصد) به خاک آلوده افزوده شد و کشت گیاهان *Melia azedarach* و *Ailanthus altissima* در این خاک ها انجام شد. این پژوهش در قالب طرح کاملا تصادفی در چهار تکرار انجام شد. نتایج حاصل از بررسی اثر تیمارها بر مقدار عناصر سنگین خاک نشان داد کمترین مقدار سرب در تیمار بیوچار دو درصد تحت گیاه *M. azedarach* بوده که ۵۷ درصد نسبت به شاهد سبب کاهش سرب در خاک شد. نتیجه این شاخص برای سرب نشان داد بیوچار دو درصد تحت کشت *M. azedarach* شامل بیشترین مقدار بود. بر این اساس تیمارهای کمپوست دو درصد و بیوچار دو درصد به عنوان بهترین تیمارها معرفی می شود. با توجه به این که در این پژوهش گیاه *M. azedarach* در جذب سرب موفق بوده لذا می توانند گزینه مناسبی برای گیاه پالایی خاک های آلوده باشند.

**واژه های کلیدی:** گیاه پالایی، فلز سنگین، بیوچار، کمپوست زباله سبز، شهرک صنعتی البرز

## مقدمه

آلودگی خاکها به فلزات سنگین با توجه به اثرات آن در به خطر افتادن سلامتی انسانها، سمیت گیاهان و اثرات طولانی مدت که در حاصلخیزی خاک می گذارند، یک نگرانی جهانی است. فناوریهای پالایشی رایج به طور کلی پر هزینه و غیر اقتصادی هستند. بنابراین نیاز برای به کارگیری روشهای موثرتر که پالایش مکانهای آلوده به فلز را در محل انجام دهند وجود دارد (Kayser و همکاران، ۲۰۰۰). یکی از روشهایی که در طی دو دهه پیش توسعه پیدا کرده گیاهپالایی یا گیاه پالایشی می باشد که در آن از طریق کشت گیاهان مناسب در جهت پاکسازی، جذب و خارج ساختن آلاینده ها از خاک اقدام می شود (Boye و همکاران، ۲۰۰۲). صرف نظر از نوع گیاه مورد استفاده در این روش قابلیت دسترسی فلزات سنگین برای گیاهان به عنوان یک عامل کلیدی محدود کننده در کارایی روش گیاه پالایی مورد توجه است (Kayser و همکاران، ۲۰۰۰). پژوهشهای جدید نیز حاکی از آن است که صرف نظر از نوع گیاه عوامل مختلفی بر میزان کارایی گیاه پالایی موثرند. بکارگیری اصلاح کننده های آلی و معدنی در خاک سبب تغییر در حلالیت فلزات سنگین و تجمع بعدی شان در گیاه می شود که در این حالت میزان گیاه پالایی افزایش می یابد (Kayser و همکاران، ۲۰۰۰).

فرایند پالایش آلاینده های فلزی با استفاده از این فناوری نسبت به سایر روشهای موجود برای پالایش خاک های آلوده، نسبتاً آهسته بوده و از کارایی کمتری نیز برخوردار است و از جمله این کاستیها زیست فراهمی اندک فلزات سنگین برای گیاهان و تولید زیست توده کم گیاهان بیش اندوز است. از این رو، استفاده از یکسری تکنیک های پالایشی دیگر، که به صورت موازی یا سری با فناوری گیاه پالایی سبب افزایش کارایی فرایند اصلاح و ترمیم خاک آلوده به فلز می شوند، توصیه شده است. ضایعات آلی مانند کود حیوانی کمپوست زباله و لجن فاضلاب، دارای ترکیب و خصوصیات مختلفی هستند. تاثیر این گونه مواد آلی بر پویایی فلزات خاک چند سویه است، از یک سو ترکیبات آلی این مواد همانند تله ای برای یونهای فلزی عمل می کنند و از سوی دیگر با تشکیل هم تافت های آلی- فلزی قابل حل در محلول خاک موجب افزایش حلالیت و حرکت فلزات می شوند (Zhou و همکاران، ۲۰۰۷) و (Alloway، ۲۰۰۴). نتایج بسیاری از مطالعات نشان داده که مصرف کودهای آلی یا شیمیایی به همراه بیوجار به خاک، عملکرد گیاه را افزایش می دهند (Steiner و همکاران، ۲۰۰۷). (Yamato و همکاران، ۲۰۰۶). مطالعات متعدد (گالاردو و همکاران، ۲۰۰۳) نشان داده کاربرد کمپوست علاوه بر بهبود برخی خصوصیات فیزیکی و زیستی خاک می تواند منبع ارزشمندی از فسفر (P)، گوگرد (S)، کلسیم (Ca) و منیزیم (Mg) برای گیاهان بوده، علاوه بر آن پتاسیم (K) و برخی عناصر میکرو از جمله بر (B) و روی (Zn) را نیز تامین کند. کاربرد کمپوست و ورمی کمپوست در خاک های آلوده، موجب بهبود حاصلخیزی و صفات فیزیکی خاک شده و فرایند گیاه پالایی فلزات سنگین را تسهیل می کند (Zheljazkov و همکاران، ۲۰۰۴). افزودن این مواد به خاک، کیفیت و تولید زیست توده گیاهان در حال رشد را افزایش می دهد و در نتیجه منجر به جذب مقادیر بیشتری از فلزات توسط گیاهان و افزایش تحمل آنها نسبت به سمیت فلزی می شود (Tang و همکاران، ۲۰۰۳).

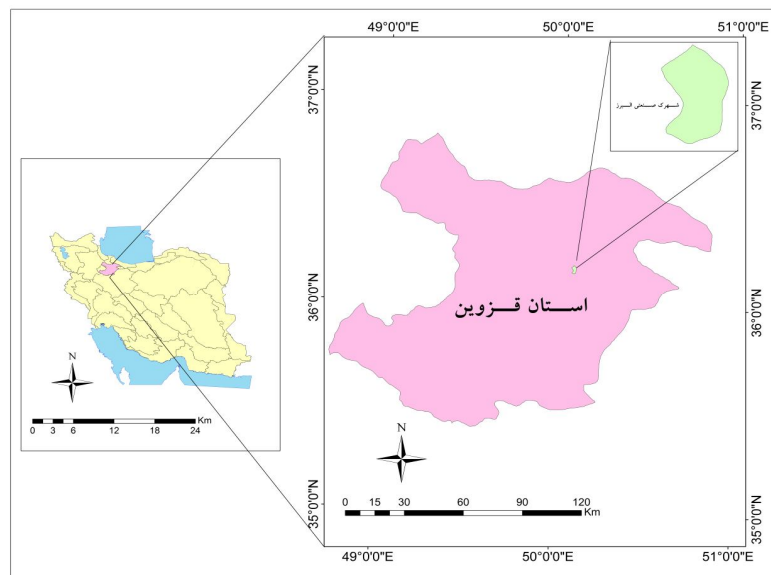
استفاده از بیوجار به عنوان اصلاح کننده خاک توجه بسیاری از متخصصان را به خود معطوف ساخته است، چرا که مصرف آن منجر به وقوع طیف وسیعی از فعل و انفعالات فیزیکی، شیمیایی و زیستی در خاک شده که در نهایت پاسخ خاک و گیاه را دستخوش تغییراتی مثبت قرار داده که مهمترین آنها بهبود وضعیت تغذیه ای خاک است. (Beesley و همکاران، ۲۰۱۰) گزارش کردند که بیوجار دارای ظرفیت کاهش آلودگی های آلی و معدنی در خاکهای آلوده است.

گیاهان مورد استفاده در گیاه پالایی باید قادر به انباشت مقدار زیادی از فلز سنگین بوده، بردبار به حضور فلز سنگین در خاک باشند و همچنین توانایی تولید زی توده بالا در خاک آلوده را داشته باشند. مطالعات گیاه پالایی بیشتر روی گونه های علفی به دلیل تکثیر سریع آنها متمرکز شده است و کمتر بر روی گونه های درختی مطالعه شده است. در مقیاس بزرگ، جذب فلز توسط درختان، عمدتاً به دلیل سامانه ریشه عمیق تر و تولید زیست توده بیشتر مؤثرتر خواهد بود (Granel و همکاران، ۲۰۰۳). از آنجایی که گونه های درختی برای ایجاد فضای سبز در خاکهای آلوده و گیاه استخراجی به دلیل زیتوده بالا مناسبتر است، تحقیق در خصوص این گونه ها ضروری به نظر می رسد. با توجه به ضرورت بررسی توانمندی گونه های مختلف گیاهان بومی و غیر بومی در پالایش آلودگی خاکها، این تحقیق با هدف ارزیابی تاثیر کاربرد بیوجار و کمپوست زباله شهری بر جذب فلزات آلاینده از خاک و همچنین بررسی پتانسیل برخی گونه های درختچه ای برای گیاه پالایی خاکهای آلوده به سرب ناشی از آبیاری با فاضلاب صنعتی انجام شد.

## مواد و روش‌ها

### محدوده‌ی مورد مطالعه

شهرک صنعتی البرز به علت گستردگی منطقه، آلاینده‌ی فلزات سنگین ناشی از رها سازی پسماندهای صنعتی به اراضی مرتعی و کشاورزی مجاور، به منظور مطالعه گیاه‌پالایی در این تحقیق انتخاب شد. منطقه مورد مطالعه در شهرک صنعتی البرز در ایران واقع در ۱۴۰ کیلومتری شمال غربی تهران و ۱۵ کیلومتری جنوب شرقی شهر قزوین جاده ترانزیتی تهران - قزوین که از فاصله ۳/۵ کیلومتری شمال شهر عبور می‌کند قرار دارد و دارای مختصات جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۱ دقیقه و ۴ ثانیه شمالی و ۵۰ درجه و ۴ دقیقه و ۵۸ ثانیه شرقی است. ارتفاع از سطح دریا ۱۲۳۴ متر، میانگین کمینه و بیشینه دما به ترتیب ۷/۲ و ۲۱/۷ درجه سانتی‌گراد با متوسط بارندگی ۳۲۱/۵ میلی‌متر گزارش شده است. پوشش گیاهی غالب منطقه *Phragmites australis- Scirpus martimus* است (محمدی، ۱۳۸۴).



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه

برای انجام این پژوهش دو نوع کود آلی (کمپوست زباله شهری و بیوجار) در نظر گرفته شد. کشت گلخانه‌ای با هدف بررسی توانمندی گیاهان *Melia azedarach* و *Ailanthus altissima* تحت تیمارهای مختلف بر جذب سرب انجام شد. برای این منظور نهال‌های *M. azedarach* و *A. altissima* دارای ویژگی‌های یکسان از نظر قطر، ارتفاع، و سن انتخاب و برای کاشت به گلخانه انتقال داده شد. تیمارها شامل پنج سطح (B0C0: فاقد کود آلی، B1: بیوجار ۱ درصد، B2: بیوجار ۲ درصد، C2: کمپوست ۲ درصد، C4: کمپوست ۴ درصد) و دو گونه گیاهی با ۴ تکرار بود. دمای گلخانه در روز  $C \pm 25$  و در شب  $C \pm 17$ ، با رطوبت نسبی ۶۰ درصد و نور طبیعی تنظیم شد. تیمارهای مورد نظر به هر گلدان اعمال، و کاملاً مخلوط شدند. این گلدان‌ها به مدت یک ماه و در دمای ۲۵ درجه و رطوبت ظرفیت مزرعه نگهداری شدند. در پایان این مدت و قبل از کشت نهال‌ها، از تیمارهای مختلف نمونه برداری گردید. نمونه‌های گیاهی در پایان دوره داشت شش ماهه به تفکیک ریشه و اندام هوایی برداشت و صفات مختلف نظیر وزن تر و خشک و غلظت فلزات سنگین اندازه‌گیری شد. در طی هفت ماه عملیات داشت، دما و نور گلخانه کنترل شد و آبیاری گلدان‌ها به صورت وزنی با آب مقطر صورت گرفت و رطوبت در حد ظرفیت مزرعه برای گلدان‌ها اعمال شد. با توجه به نتایج آزمون اولیه خاک، مقدار ۲/۲۵ گرم کود کامل NPK با فرمول ۱۸-۱۱-۱۲ به خاک هر گلدان اضافه شد. پس از دوره کشت شش ماهه برخی از خصوصیات مهم خاک و ویژگی‌های مورفولوژیکی خاک اندازه‌گیری شد. غلظت سرب در خاک و گیاهان با استفاده از دستگاه جذب اتمی تجزیه شد.

## تجزیه و تحلیل داده‌ها

تجزیه و تحلیل داده با استفاده از تجزیه واریانس چند عاملی و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد استفاده شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزار آماری SPSS و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. نمودارها نیز با 2010 Excel رسم شد.

## نتایج و بحث

نتایج تجزیه برخی خصوصیات مهم فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در کشت گلخانه‌ای در جدول ۱ ارائه شده است. بر این اساس خاک مورد نظر دارای بافت مناسب از طبقه لوم رسی،  $pH=7/3$  و بدون مشکل شوری است. از نظر آلودگی به فلزات سنگین نیز دارای میزان بالایی سرب، روی و نیکل است که متناسب با اهداف پژوهش حاضر بوده و دارای آلودگی طبیعی به عناصر سنگین است. در جدول ۲ و ۳ برخی مشخصات مهم فیزیکی و شیمیایی کمپوست زباله شهری و بیوچار حاصل از آن ارائه شده است.

جدول ۱: برخی مشخصات مهم فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در کشت گلخانه‌ای قبل از اعمال تیمارها

مقدار	ویژگی	مقدار	ویژگی
۰	$CO_3$ (meq $l^{-1}$ )	Clay Loam	کلاس بافت خاک
۰/۹۲	%OC	۴۰	رس (درصد)
۱/۵۸	%OM	۲۴/۵۲	سیلت (درصد)
۰/۰۴	نیتروژن کل (درصد)	۳۵/۴۸	شن (درصد)
۹/۸	فسفر قابل جذب (mgkg $^{-1}$ )	۷/۳	pH
۴۱۵/۹	پتاسیم قابل جذب (mgkg $^{-1}$ )	۰/۸	EC(dSm $^{-1}$ )
		۱۸/۴۴	FC (درصد)
۸۱/۴	Pb(mgkg $^{-1}$ )*	۲/۱۶	HCO $_3$
		۲۳/۴	CEC(CmolKg $^{-1}$ )

DTPA-Extractable \*

جدول ۲: نتایج تجزیه کمپوست زباله شهری

مقدار	مشخصه	مقدار	مشخصه
۱/۹۸	نیتروژن کل (درصد)	۱۶/۷۷	کربن آلی (درصد)
۳۳۶	منگنز (mgkg $^{-1}$ )	۶/۸۹	pH
۱۰۶۶۷	اهن (mgkg $^{-1}$ )	۳/۶۶	EC(dSm $^{-1}$ )
۱۷۴	روی (mgkg $^{-1}$ )	۸/۴۶	C/N
۱۸۵	سرب کل (mgkg $^{-1}$ )	۹/۵	رطوبت (درصد)
۱۵/۳	سرب قابل جذب (mgkg $^{-1}$ )	۱۸/۲	پتاسیم (درصد)
		۰/۳۵	فسفر (درصد)
		۵/۵۳	کلسیم (درصد)
		۱/۴۰	منیزیم (درصد)

جدول ۳: نتایج تجزیه بیوجار حاصل از کمپوست زباله شهری

مقدار	مشخصه	مقدار	مشخصه
۰/۹۲	جرم مخصوص ظاهری (gr/cm <sup>3</sup> )	۱۰/۸۱	کربن (%)
۸/۲۵	ECe (dS/m) (عصاره ۱:۵)	۰/۱۹	هیدروژن (%)
۱۸۰	سرب کل (mgkg <sup>-1</sup> )	۰/۷۵	نیتروژن (%)
۷/۱	سرب قابل جذب (mgkg <sup>-1</sup> )	۱۴/۴۱	C/N
		۸/۲۵	Ec (dS.m <sup>-1</sup> )
		۷۲	عملکرد
		۹	pH

### برخی از خصوصیات خاک پس از اعمال تیمار کود آلی به خاک آلوده

پس از پایان یک ماه دوره انکوباسیون، از خاک گلدان‌های حاوی تیمارهای کمپوست و بیوجار، نمونه برداری انجام شد و از نظر برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی شامل مقدار سرب، فسفر، پتاسیم، pH و EC مورد بررسی قرار گرفتند. جدول ۴ مقدار این عناصر را در خاک گلدان‌ها پس از اتمام دوره انکوباسیون نشان می‌دهد.

جدول ۴: مقدار میانگین غلظت سرب، نیکل و روی خاک پس از دوره انکوباسیون

pH	EC (ds/m)	مقدار سرب (mg/kg)	مقدار فسفر (mg/kg)	مقدار پتاسیم (mg/kg)	تیمارها
۷/۳۷	۰/۹	۸۲	۸	۴۳۰	شاهد (B0C0)
۷/۴۷	۱/۶	۸۴	۹/۳	۴۵۵	بیوجار یک درصد (B1C0)
۷/۵۸	۲/۲	۸۶	۱۰	۵۴۱	بیوجار دو درصد (B2C0)
۷/۴۰	۱/۲	۸۹	۱۰/۸	۵۰۸	کمپوست دو درصد (B0C2)
۷/۴۵	۱/۴	۹۲	۱۲	۶۰۹	کمپوست چهار درصد (B0C4)

: کمپوست ۴ درصد C4: کمپوست ۲ درصد، C2: بیوجار ۲ درصد، B2: بیوجار ۱ درصد، B1: فاقد کود آلی، B0C0

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی دار در سطح پنج درصدند.

بررسی تاثیر کود آلی بر غلظت فلز سنگین سرب پس از برداشت گیاه تجزیه واریانس اثر متقابل کود آلی بر سرب ریشه، سرب شاخساره و سرب قابل جذب خاک (جدول ۵) نشان داد، اثر گیاه، تیمار و اثر متقابل گیاه و تیمار در سطح یک درصد بر غلظت سرب تأثیر معنی دار داشته است.

مقایسه میانگین نشان می‌دهد بیشترین مقدار جذب سرب در ریشه مربوط به بیوجار دو درصد و در گیاه زیتون تلخ (۴۵/۳۳ میلی گرم بر کیلوگرم)، و کمترین مقدار جذب سرب در تیمار شاهد تحت کشت گیاه عرعر (۱۲/۱۳ میلی گرم بر کیلوگرم) بوده است و اختلاف بین دو گیاه در جذب سرب ریشه معنی دار بوده و زیتون تلخ (۲۸ میلی گرم بر کیلوگرم) دارای مقدار بیشتری سرب در ریشه نسبت به عرعر (۱۶/۷۳ میلی گرم بر کیلوگرم) بوده است. بیشترین غلظت سرب ریشه در تیمار بیوجار دو درصد (۳۱/۹۳ میلی گرم بر کیلوگرم) و کمترین آن در تیمار شاهد (۱۴/۲۳ میلی گرم بر کیلوگرم) مشاهده شد (شکل ۲).

شیراکارا و ردی (۲۰۱۵)، پژوهشی به منظور مطالعه اثر تیمارهای بیوجار و کمپوست، بر گیاه پالایی خاک آلوده، با استفاده از گیاهان

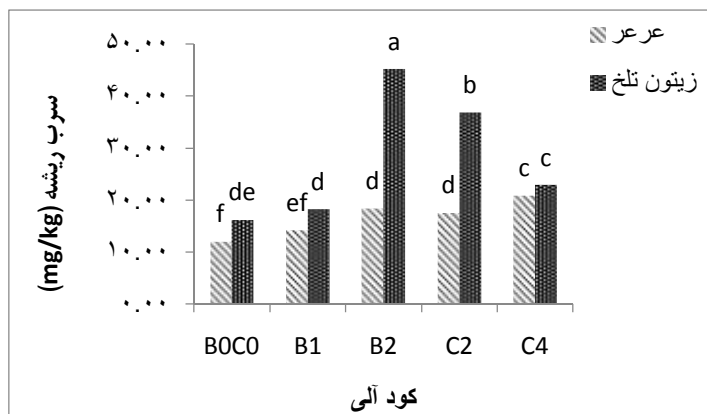
آفتابگردان، جو دوسر و علف چاودار انجام دادند. مخلوط خاک آلوده با ۵۰ (mg/kg) نفتالین، ۱۰۰ (mg/kg) فنانترن، ۵۰۰ (mg/kg) سرب، ۵۰ (mg/kg) کادمیم و ۲۰۰ (mg/kg) کروم تهیه شد. به مقدار ۵۰ گرم بر کیلوگرم بیوجار و ۲۰۰ گرم بر کیلوگرم کمپوست به خاک گلدانها افزوده شد و گلدانهایی نیز به عنوان شاهد، بدون آلودگی و تیمار آماده شد. گلدانها از خاک مورد نظر پر شدند و به مدت ۶۱ روز رشد گیاهان طول کشید. تغییرات در رشد گیاه جو دو سر و علف چاودار در خاک حاوی تیمارها معنی دار نبود. آفتابگردان در خاک حاوی تیمارها، خصوصیات رشدی و جوانه زنی بهتری نسبت به شاهد نشان داد. خصوصیات رشدی و جوانه زنی و بیومس آفتابگردان در خاک حاوی کمپوست در مقایسه با بیوجار بهتر بود. برداشت سرب و کادمیم از خاک در حضور تیمارها برای همه گیاهان بهتر بود اما برداشت کروم با اضافه کردن تیمارها بی اثر بود. نتایج نشان داد که اصلاح کننده های بیوجار و کمپوست می تواند خصوصیات رشد گیاه و گیاه پالایی خاک های آلوده را بهبود دهد

شکل ۳ نشان می دهد بیشترین مقدار سرب شاخساره تحت تیمار بیوجار دو درصد در عرعر (۲۳/۵۳ میلی گرم بر کیلوگرم) و کمترین آن در در تیمار شاهد گیاه زیتون تلخ (۹/۵ میلی گرم بر کیلوگرم) مشاهده شد. بیشترین مقدار سرب شاخساره در گیاه عرعر (۱۸ میلی گرم بر کیلوگرم) مشاهده شد. نتایج نشان می دهد بیشترین غلظت سرب شاخساره در گیاه تحت تیمار کمپوست چهار درصد (۲۳/۵۳ میلی گرم بر کیلوگرم) و کمترین آن در شاخساره تحت تیمار شاهد (۹/۵ میلی گرم بر کیلوگرم) مشاهده شد (شکل ۳). مقایسه میانگین اثر متقابل گونه و تیمار بر سرب خاک در شکل ۴ نشان می دهد که بیشترین غلظت سرب در خاک تحت کشت عرعر با تیمار شاهد (۵۸/۲ میلی گرم بر کیلوگرم) و کمترین مقدار سرب در گیاه زیتون تلخ و تحت تیمار بیوجار دو درصد (۲۵ میلی گرم بر کیلوگرم) مشاهده شد. نتایج مقایسه میانگین نشان می دهد غلظت سرب در گیاه عرعر (۴۹/۲۳ میلی گرم بر کیلوگرم) بیشتر از زیتون تلخ بوده است. نتایج نشان می دهد مقدار سرب بعد از برداشت در تیمار بیوجار دو درصد کمترین مقدار و در تیمار شاهد بیشترین مقدار است (شکل ۴). (Uchimiya و همکاران، ۲۰۱۲) اثرات کاربرد ده بیوجار تهیه شده از پنج مواد خام در دو دمای متفاوت را بر روی غلظت عناصر سنگین خاک بررسی کردند. آنها مشاهده کردند که کودهای با مقدار بالا و یا پایین خاکستر در تجمع فلزات سنگین کمتر موثر بودند. در مقابل، بیوجارهایی که در دمای ۷۰۰ درجه سانتی گراد تهیه شدند موثرتر بودند، که می توان این امر را به تغییر در پیوندها و ترکیب مواد نسبت داد. آنها دریافتند مس و سرب نسبتاً آسان در خاک تثبیت می گردند، در حالی که عملکرد کادمیم و نیکل به شدت وابسته به نوع بیوجار اضافه شده به خاک بوده است.

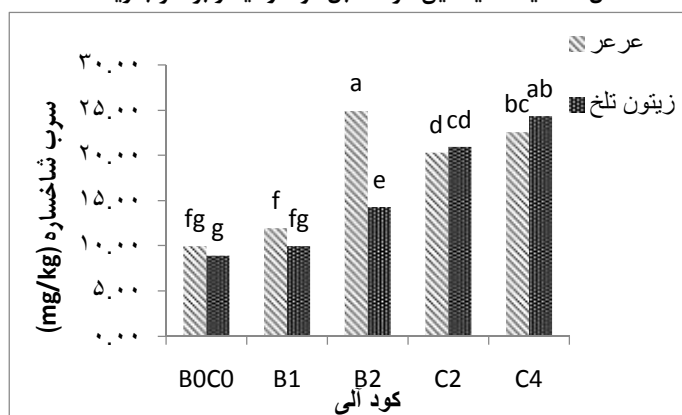
جدول ۵: نتایج تجزیه واریانس اثر متقابل کود آلی بر سرب ریشه، سرب شاخساره و سرب قابل جذب خاک

میانگین مربعات				
منابع تغییرات	درجه آزادی	سرب ریشه	سرب شاخساره	سرب قابل جذب خاک
گیاه (P)	۱	۹۵۲/۰۳**	۳۸/۰۸**	۵۳۸/۴۸**
کود آلی (OM)	۴	۳۲۸/۳**	۲۳۳/۱**	۷۰۲/۶۲**
P * OM	۴	۱۸۵/۶**	۳۶/۳**	۶۹/۲**
خطا	۳۰	۲/۲۶	۱/۳	۴/۷۲
ضریب تغییرات(%)		۶/۷۲	۶/۸۳	۴/۸۳

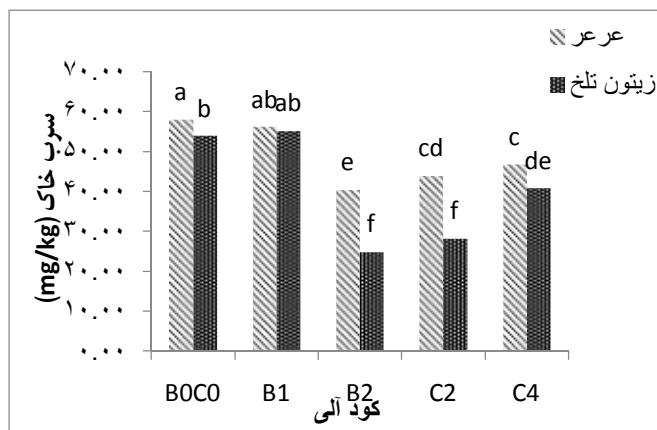
علامت \*\*، \* به ترتیب بیانگر معنی داری تیمارها در سطوح ۱ درصد و ۵ درصد و ns بیانگر عدم وجود اختلاف معنی دار بین تیمارهاست



شکل ۲: مقایسه میانگین اثر متقابل گونه و تیمار بر سرب ریشه



شکل ۳: مقایسه میانگین اثر متقابل گونه و تیمار بر سرب شاخساره



شکل ۴: مقایسه میانگین اثر متقابل گونه و تیمار بر سرب خاک

### اثر تیمارهای مورد بررسی بر شاخص های ارزیابی گیاه پالایی سرب

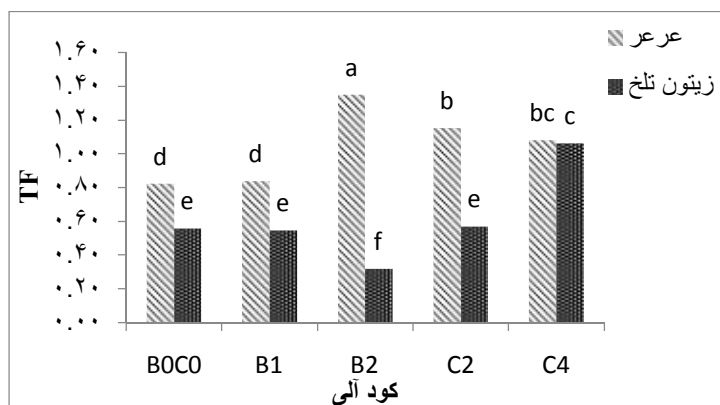
نتایج تجزیه واریانس اثر متقابل گونه و تیمار بر عوامل  $RF$ ،  $BCF_{shoot}$ ،  $BCF_{root}$ ،  $TF$  سرب نشان می دهد اثر اصلی گیاه و تیمار و اثرات متقابل گیاه و تیمار بر مقدار شاخص های  $RF$  و  $BCF_{root}$  در سطح یک درصد تأثیر معنی دار داشته است (جدول ۶).

جدول ۶: نتایج تجزیه واریانس اثر متقابل گونه و تیمار بر عوامل TF، BCF<sub>root</sub>، BCF<sub>shoot</sub>، RF سرب

میانگین مربعات					
منابع تغییرات	درجه آزادی	TF	BCF <sub>root</sub>	BCF <sub>shoot</sub>	RF
گیاه (P)	۱	۱/۴۴**	۱/۹۵**	۰/۰۳**	۳/۱**
کود آلی (OM)	۴	۰/۱۵**	۰/۸۶**	۰/۲۸۷**	۱۹۲/۳**
P * OM	۴	۰/۲۳**	۰/۵۲**	۰/۰۲۸**	۲۸/۹**
خطا	۳۰	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۲/۳
ضریب تغییرات(%)		۵/۹	۷/۱	۱۰/۲	۷/۱

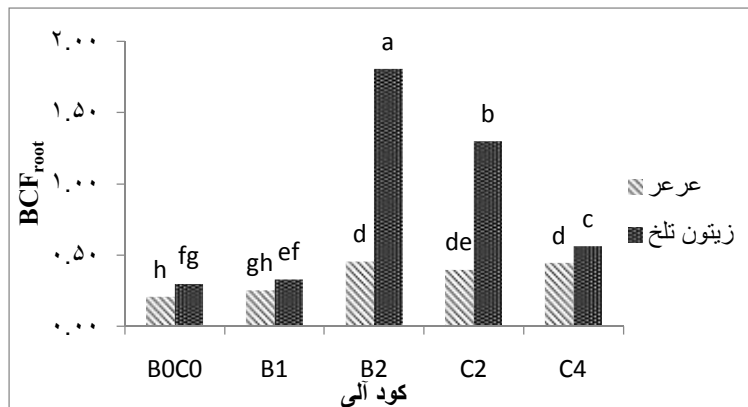
علائم \*\*، \* به ترتیب بیانگر معنی داری تیمارها در سطوح ۱ درصد و ۵ درصد و ns بیانگر عدم وجود اختلاف معنی دار بین تیمارهاست

مقایسه میانگین اثر متقابل نشان می دهد مقدار TF در گیاه عرعر و بیوچار دو درصد (۱/۳۵) بیشترین مقدار و در بیوچار یک درصد زیتون تلخ (۰/۵۵) دارای کمترین مقدار است. مقدار TF در گیاه عرعر (۱/۱) به طور معنی داری بیشتر از زیتون تلخ (۰/۶۱) می باشد. نتایج نشان می دهد مقدار TF در تیمار کمپوست چهار درصد (۱/۱) بیشترین مقدار بوده و در تیمار بیوچار یک درصد و شاهد (۰/۶۹) کمترین مقدار TF مشاهده شد (شکل ۵). با توجه به نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل گونه و تیمار بر مقدار شاخص BCF<sub>root</sub> نشان می دهد در گیاه تیمار بیوچار دو درصد زیتون تلخ (۱/۱۳) بیشترین مقدار و کمترین مقدار در شاهد عرعر (۰/۲۱) مشاهده شد. مقدار BCF<sub>root</sub> در گیاه زیتون تلخ (۰/۸۶) به طور معنی داری بیشتر از عرعر (۰/۳۵) بوده است. تیمار بیوچار دو درصد (۱/۱۳) دارای بیشترین مقدار BCF<sub>root</sub> و تیمار شاهد (۰/۲۶) کمترین مقدار را دارا بود (شکل ۶). نتایج مقایسه میانگین نشان می دهد گیاه زیتون تلخ با تیمار کمپوست دو درصد (۰/۷۴) دارای بیشترین مقدار شاخص BCF<sub>shoot</sub> بوده و در تیمار شاهد عرعر و زیتون تلخ (۰/۱۷) کمترین مقدار آن مشاهده شد. گیاه زیتون تلخ (۰/۴۵) دارای BCF<sub>shoot</sub> بیشتری نسبت به عرعر (۰/۳۹) است. مقایسه میانگین اثر تیمار بر شاخص BCF<sub>shoot</sub> نشان می دهد مقدار آن در تیمارهای بیوچار دو درصد و کمپوست دو درصد (۰/۶) بیشترین مقدار و در تیمار شاهد (۰/۱۷) درای کمترین مقدار است (شکل ۷). نتایج نشان می دهد بیشترین مقدار شاخص RF در گیاه زیتون تلخ تحت تیمار بیوچار دو درصد (۱/۸) و کمترین مقدار RF در گونه عرعر و تیمار شاهد (۰/۶۸) مشاهده شد. نتایج نشان می دهد مقدار RF در گیاه زیتون تلخ (۱/۲۸) بیشتر از عرعر (۱) است بیشترین مقدار RF در تیمار بیوچار دو درصد (۱/۵۸) و کمترین مقدار آن در تیمار شاهد (۰/۷۵) مشاهده شد (شکل ۸).

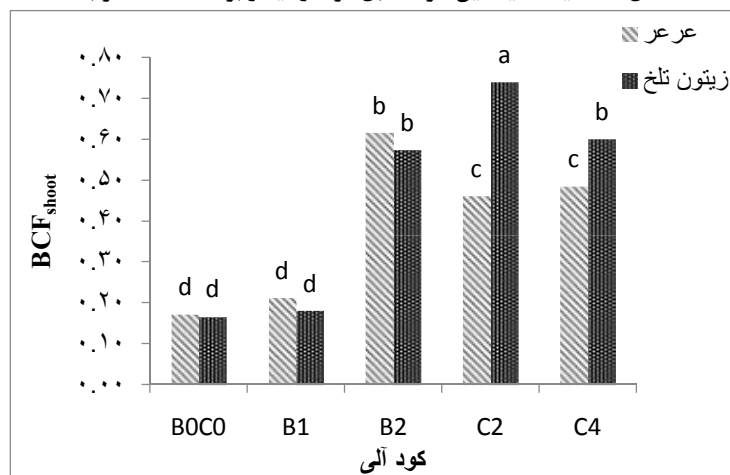


شکل ۵: مقایسه میانگین اثر متقابل گونه و تیمار بر TF سرب

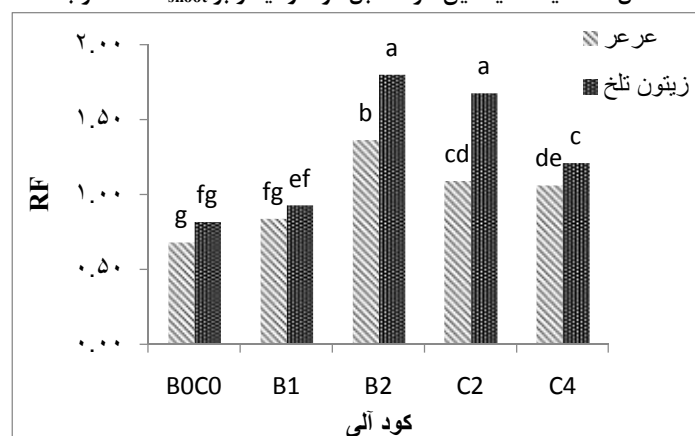




شکل ۶: مقایسه میانگین اثر متقابل گونه و تیمار بر  $BCF_{root}$  سرب



شکل ۷: مقایسه میانگین اثر متقابل گونه و تیمار بر  $BCF_{shoot}$  سرب



شکل ۸: مقایسه میانگین اثر متقابل گونه و تیمار بر RF سرب

### نتیجه گیری

بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش در تیمار بیوچار یک درصد بیشترین رشد و در تیمار کمپوست چهار درصد کمترین میزان رشد مشاهده گردید. مقدار TF روی در زیتون تلخ < عرعر بوده و در هر دو، این مقدار کمتر از یک بود. اما مقدار این شاخص در تیمار کمپوست چهار درصد تحت کشت زیتون تلخ بیشترین مقدار و بزرگتر از یک بوده و در گیاه عرعر و تحت تیمار بیوچار یک و دو درصد کمترین مقدار بوده است. بنابراین گیاه زیتون تلخ تحت تیمار کمپوست چهار درصد می‌تواند با مکانیسم گیاه استخراجی باعث جذب و استخراج فلز سنگین از خاک شود. همچنین نتایج نشان داد مقدار جذب سرب در گیاه عرعر < زیتون تلخ بوده است. اثرات متقابل در

مقدار جذب سرب به شاخساره در تیمارهای بیوچار دو درصد و کمپوست دو و چهار درصد در هر دو گیاه بیشترین مقدار و در تیمارهای شاهد و بیوچار یک درصد در هر دو گیاه کمترین مقدار بوده است. مقدار جذب سرب در ریشه، در گیاه زیتون تلخ-عرعر بود. در گیاه زیتون تلخ تیمار بیوچار دو درصد بیشترین جذب سرب و در گیاه عرعر بیشترین جذب در کمپوست چهار درصد بوده است. مقدار غلظت سرب در خاک، در گیاه عرعر-زیتون تلخ بود. همچنین افزودن تیمار کود آلی سبب افزایش مقدار pH و EC شد که بیشترین مقدار این دو در بیوچار دو درصد و کمترین مقدار در شاهد مشاهده شد.

## منابع

محمدی، ف. ۱۳۸۴، بررسی اجمالی پروژه‌های مضمولی ارزیابی اثرات زیست محیطی استان قزوین. سازمان حفاظت محیط زیست قزوین. ۶۰ ص.

- Alloway, B. J. 2004. Zinc in soils and crop nutrition.
- Beesley L, Moreno-Jiménez E, Gomez-Eyles JL. 2010. Effects of biochar and greenwaste compost amendments on mobility, bioavailability and toxicity of inorganic and organic contaminants in a multi-element polluted soil. *Environ Pollut* 158:2282–2287.
- Boye, K. 2002. Phytoextraction of Cu, Pb, and Zn. A green house study report. Swedish University of Agricultural Sciences. Department of soil sciences.
- Chirakkara, R. A., & Reddy, K. R. 2015. Phytoremediation of mixed contaminated soils. In American Society of Civil Engineers (ASCE).
- Granel T, Robinson BH, Mills TM, Clothier BE, Green SR, Fung L. 2002. Cadmium accumulation by willow clones used for conservation, stock fodder and phytoremediation. *Australian Journal of Soil Research* 40: 1331-1337.
- Kayser, A., K. Wenger, A. Keller, W. Attinger, and R. Schulin. 2000. Enhancement of phytoextraction of Zn, Cd, and Cu from calcareous soil: The use of nta and sulfur amendments. *Environ. Sci. Technol.* 34, 1778-1783.
- Steiner, C., W.G. Teixeira, J. Lehmann, T. Nehls, J.L. Vasconcelos de Macedo, W.E.H Blum and W. Zech. 2007. Long term effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered Central Amazonian upland soil. *Plant and Soil*, 291: 275-290.
- Tang, S., Xi, L., Zheng, J., Li, H. 2003. Response to elevated CO<sub>2</sub> of Indian Mustard and Sunflower growing on copper contaminated soil, *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, vol. 71, pp. 988-997.
- Uchimiya, M., Bannon, D. I., Wartelle, L. H., Lima, I. M., and Klasson, K. T. 2012b. Lead retention by broiler litter biochars in small arms range soil: Impact of pyrolysis temperature, *J. Agr. Food Chem.*, 60, 5035–5044.
- Yamato, M., Y. Okimori, I.F. Wibowo, S. Anshori and M. Ogawa. 2006. Effects of the application of charred bark of *Acacia mangium* on the yield of maize, cowpea and peanut, and soil chemical properties in South Sumatra, Indonesia. *Soil Science and Plant Nutrition*, 52(4):489-495.
- Zheljzakov, V.D., Warman, P.R. 2004. Application of high – Cu compost to Dill and Peppermint, *Journal of Agricultural Food Chemistry*, vol. 52, pp. 2615-2622.
- Zhou, Q. X., Cui, S., Wei, S. H., Zhang, W., Cao, L., and Ren, L. P. 2007. Effects of exogenous chelators on phytoavailability and toxicity of Pb in *Zinnia elegans* Jacq, *J. Hazard. Mater.*, 146, 341–346.