دانشکده مهندسی کشاورزی

گروه زراعت

بررسی پتانسیل گیاه پالایی سرب در سه گیاه مختلف تحت تاثیر اسید سیتریک و EDTA

فائزه کریم‌پوری

استاد راهنما:

دکتر محمد رضا عامریان

استاد مشاور:

مهندس مهدی رحیمی

پایان‌نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

خرداد ۹۵

تشکر وقدردانی:

منت خدای را عزوجل که طاعتش موجب رضایت و رحمتش دلیل توجه‌اش به بنده‌ی محتاج کرامت و بخشندگیش است.

سپاس برای تو که عزیزترینی برایم یاورم هستی و کوه استوارم، برای تمامی صبوریت و حمایت‌های بی‌پایانت قدردان تمام زحماتت هستم و بوسه می‌زنم بر دستان رنجیده در گذر زمانت که تا امروز مرا در آغوش گرفته است تا سرانجام رهایی یابم از جهل و نادانی ای عزیزترینم ای مادرم تقدیم به تو .

و تقدیم به نگاه نگرانت که بودی و نبودی ای پدر مهربانم.

تقدیر و تشکر

با سپاس از زحمات فراوان و خستگی ناپذیر استاد گرامیم جناب آقای دکتر محمدرضا عامریان که با صبر و حوصله مرا راهنمایی و هدایت نمودند تا به سرانجام برسانم کاری را که آغاز نمودم تا دریچه‌ای بگشایم و ذره‌ای بر جامعه علمی بیفزایم . همچنین قدردان زحمات بی دریغ جناب آقای مهندس مهدی رحیمی جهت مشاوره‌های بی دریغشان در پیشبرد اهداف این مجموعه علمی می‌باشم.

از زحمات هیئت داوران عزیزم جناب آقایان دکتر قلی‌پور و حیدری صمیمانه سپاس‌گذاری می کنم.

لازم می‌دانم از زحما ت خستگی ناپذیر و دلسوزانه جناب آقای دکتر حمیدرضا اصغری که در اجرای این پایان نامه همراه و حامی دلسوزی بودند و صبرشان امید بخش فردایی بهتر بود بسیار سپاس‌گذاری نمایم.

سرانجام از مساعدت و همکاری کارشناسان محترم آزمایشگاه مهندسان شاکری، مطهری، آموزگار و حسین‌پور و از زحمات مسئولانه و خستگی‌ناپذیر سرپرست محترم گلخانه جناب آقای علی حسین‌پور و از زحمات جناب آقای بیاری تشکر و قدردانی می‌نمایم و در نهایت از زحمات دوستانی که در اجرای این پایان‌نامه تاثیرگذار بودند خانم‌ها باطنی، میردال، حکمت‌زاده، سالمی نسب، شریفی و آقایان محروقیان ، جباری ، صیدالی تشکر و قدردانی نمایم.

تعهد نامه

اینجانب **فائزه کریم‌پوری** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته **زراعت گرایش آگرواکولوژیک** دانشکده **کشاورزی** دانشگاه **صنعتی شاهرود** نویسنده پایان نامه **بررسی پتانسیل گیاه پالایی سرب در سه گیاه مختلف تحت تاثیر اسید سیتریک و کلات EDTA** تحت راهنمائی **دکتر محمد رضا عامریان** متعهد می شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

بررسی پتانسیل گیاه پالایی سرب در سه گیاه مختلف تحت تاثیر اسید سیتریک و EDTA

چکیده

پیشرفت صنعت و کشاورزی به طور فزآینده‌ای دارای پیامدهایی برای حفظ محیط است از مهمترین این پیامدها می‌توان به ورود بی‌رویه‌ی عناصر سنگین به چرخه‌ی زیستی اشاره کرد فلزاتی مانند سرب، نیکل و روی که خسارات جبران ناپذیری از خود باقی می‌گذارند. گیاه پالایی یکی از راههای خارج کردن این عناصر از محیط است. در این راستا آزمایش به صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با چهار تکرار در گلخانه دانشگاه شاهرود اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل سرب در سه سطح (۰) شاهد، ۱۰۰ و ۲۰۰ (میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) ،کلات EDTA در دو سطح(۰) شاهد ، ۵ (میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) و اسید سیتریک محلول در دو سطح (۰) شاهد و ۱ (گرم بر کیلوگرم خاک) بودند که بر روی سه گیاه سورگوم، تاج‌خروس و آفتابگردان مورد بررسی قرار گرفتند.

نتایج نشان داد که تیمار سرب سیب کاهش معنی‌داری در وزن تر اندام هوایی و وزن خشک ریشه و اندام هوایی، کاهش ارتفاع و میزان کلروفیل کل در گیاه سورگوم گردید و حضور اسید سیتریک و کلات EDTA سبب افزایش میزان این صفات شد. در گیاه تاج‌خروس سرب سبب کاهش کلروفیل کل وزن تر اندام هوایی در گیاه شد نتایج در مورد گیاه آفتابگردان مشابه گیاه سورگوم بود و در این بین اسید سیتریک سبب کاهش بیوماس خشک کل در این گیاه شد. همچنین در سایر صفات کلاتEDTA سبب افزایش میزان غلظت سرب ریشه ، سرب در اندام هوایی ، فاکتور انتقال و ضریب تغلیظ زیستی در گیاه تاج‌خروس شد و در گیاه آفتابگردان سبب افزایش میزان غلظت سرب ریشه، محتوای سرب، فاکتور انتقال و ضریب تغلیظ زیستی شد درحالی‌که در گیاه سورگوم تنها سبب افزایش فاکتور انتقال در گیاه شد. حضور اسید سیتریک نیز سبب کاهش غلظت سرب در ریشه گیاه تاج‌خروس و افزایش محتوای سرب در این گیاه و کاهش محتوای سرب در گیاه آفتابگردان شد و

باعث کاهش شاخص تحمل در گیاه تاج‌خروس و آفتابگردان گردید. در استفاده توام اسید سیتریک و کلات EDTA افزایش غلظت سرب در ریشه گیاه تاج‌خروس و آفتابگردان و افزایش شاخص تحمل در گیاه سورگوم مشاهده شد.

کلمات کلیدی: سرب، کلات EDTA ،تاج‌خروس، سورگوم، آفتابگردان

فهرست : Table of contents

فصل اول: مقدمه و کلیات ۱

۱-۱- گیاهشناسی آفتابگردان ۳

۱-۲- گیاهشناسی سورگوم ۴

۱-۳- گیاهشناسی تاج خروس ۴

۱-۴- فلزات سنگین و اثرات مخرب آنها ۵

۱-۵- سرب ۹

۱-۱-۵- منابع آلودگی سرب در محیط ۱۱

۱-۱-۵- تاثیرات ناشی از سرب بر سلامتی ۱۲

۱-۶- سازگاری گیاهان به غلظت بالای فلزات در محیط ۱۳

۱-۷- گیاه پالایی ۱۴

۱-۷-۱- انواع روش‌های گیاه پالایی ۱۵

۱-۸- مواد اصلاحی برای رفع آلودگی خاک‌ها ۱۶

اهداف تحقیق ۱۸

فصل دوم: بررسی منابع

۲-۱- تاثیر عناصر سنگین بالاخص سرب بر محیط زیست ۲۰

۲-۲- تاثیر عناصر سنگین بر گیاهان ۲۰

۲-۳- تاثیر عناصر سنگین بر صفات مورفولوژیکی ۲۲

۲-۴- تاثیر عناصر سنگین بر صفات کیفی ۲۲

۲-۵- بررسی پتانسیل گیاه پالایی در گیاهان مختلف ۲۳

۲-۶- تاثیر کلات کننده‌ها در گیاه پالایی ۲۵

۲-۶-۱- نقش کلات‌ها در فراهمی عناصر سنگین در گیاهان ۲۷

۲-۶-۲- نقش اسید سیتریک در فراهمی عناصر سنگین در گیاهان ۲۸

فصل سوم: مواد و روش‌ها

۳-۱- زمان و محل اجرای آزمایش ۳۲

۳-۲- مشخصات مکانی گلخانه و نوع خاک آزمایش ۳۳

۳-۳- عملیات اجرایی ۳۳

۳-۳-۱- آماده‌سازی خاک گلدان‌ها ۳۳

۳-۳-۲- نوع و قالب طرح آزمایشی ۳۳

۳-۳-۳- آماده‌سازی گلدان‌ها ۳۵

۳-۳-۴- عملیات داشت ۳۵

۳-۳-۵- برداشت نهایی ۳۶

۳-۴- صفات اندازه‌گیری شده و روش‌های اندازه‌گیری ۳۶

۳-۴-۱- وزن خشک ریشه و اندام هوایی ۳۶

۳-۴-۲- ارتفاع بوته ۳۶

۳-۴-۳- کلروفیل کل ۳۷

۳-۴-۳-۱-اندازه‌گیری کلروفیل a,bو کارتنوئید ۳۷

۳-۴-۴- اسیدیته و شوری خاک ۳۷

۳-۴-۵- عنصر سرب ۳۸

۳-۵- تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها ۳۹

-۴-۶- شاخص‌های گیاه پالایی ۴۰

۳-۴-۶- شاخص‌های گیاه پالایی ۴۰

فصل چهارم: بحث و نتیجه‌گیری

۴-۱- صفات زراعی و مورفولوژیک ۴۲

۴-۱-۱- وزن خشک ریشه ۴۲

۴-۱-۲- وزن تر اندام هوایی ۴۷

۴-۱-۳- وزن خشک اندام هوایی ۴۹

۴-۱-۴- ارتفاع ۵۳

۴-۲- کلروفیل اسپد ۵۴

۴-۲-۱- کلروفیل a	۵۴
۴-۲-۲- کلروفیل b	۵۸
۴-۲-۳- کارتنوئید	۶۱
۴-۳- اسیدیته خاک	۶۴
۴-۴- شوری خاک	۶۷
۴-۵- غلظت سرب بافت‌های گیاهی	۷۰
۴-۵-۱- غلطت سرب ریشه	۷۰
۴-۵-۲- غلظت سرب در اندام هوایی	۷۴
۴-۶- محتوای سرب در گیاه	۷۶
۴-۷- شاخص‌های گیاه پالایی	۷۹
۴-۷-۱- شاخص تحمل	۷۹
۴-۷-۲- فاکتور انتقال	۸۲
۴-۷-۳- ضریب تغلیظ زیستی	۸۶
پیوست	۸۹
نتیجه‌گیری	۱۰۲
پیشنهادها	۱۰۵
منابع	۱۰۶

فهرست اشکال

عنوان اشکال **صفحه**

فصل چهارم: نتایج و بحث

۴-۱- الف- تاثیر بر همکنش سرب و کلات بر وزن خشک ریشه گیاه سورگوم ب- تاثیر کلات EDTA و اسید سیتریک بر وزن خشک ریشه گیاه سورگوم ۴۴

۴-۲- تاثیر بر همکنش سرب و کلات بر وزن خشک ریشه گیاه تاج‌خروس ۴۵

۴-۳-تاثیر بر همکنش سرب و اسید سیتریک بر وزن خشک ریشه گیاه آفتابگردان ۴۷

۴-۴- تاثیر بر همکنش سرب و اسید سیتریک بر وزن تر اندام هوایی گیاه سورگوم ۴۸

۴-۵- تاثیر بر همکنش سرب و کلات بر وزن تر اندام هوایی گیاه تاج خروس ۴۸

۴-۶- تاثیر اسید سیتریک بر وزن تر اندام هوایی گیاه آفتابگردان ۴۹

۴-۷- تاثیر بر همکنش سرب و اسید سیتریک بر وزن خشک اندام هوایی گیاه سورگوم ۵۰

۴-۸- تاثیر اسید سیتریک بر وزن خشک اندام هوایی گیاه تاج خروس ۵۱

۴-۹- تاثیر بر همکنش سرب و کلات بر وزن خشک اندام هوایی گیاه آفتابگردان ۵۲

۴-۱۰-تاثیر اسید سیتریک بر وزن خشک اندام هوایی گیاه آفتابگردان ۵۲

۴-۱۱- تاثیر سرب بر ارتفاع در گیاه سورگوم ۵۳

۴-۱۳- الف- تاثیر سرب بر کلروفیل(اسپد) گیاه سورگوم ب- تاثیر کلات بر کلروفیل(اسپد) گیاه سورگوم ۵۴

۴-۱۴- تاثیر برهمکنش سرب و کلات بر کلروفیل (اسپد) گیاه آفتابگردان ۵۵

۴-۱۵- تاثیر برهمکنش سرب و کلات بر کلروفیل a گیاه سورگوم ۵۶

۴-۱۶ تاثیر برهمکنش سرب و اسید سیتریک بر کلروفیل a گیاه سورگوم ۵۶

۴-۱۷- تاثیر برهمکنش سرب و کلات بر کلروفیل a گیاه تاج خروس ۵۷

۴-۱۸- تاثیر برهمکنش سرب، کلات و اسید سیتریک بر کلروفیل a گیاه تاج خروس ۵۷

۴-۱۹- تاثیر برهمکنش سرب و اسید سیتریک بر کلروفیل a گیاه آفتابگردان ۵۸

۴-۲۰- الف- تاثیر برهمکنش سرب، کلات و اسید سیتریک بر کلروفیل b گیاه سورگوم ۵۹

۴-۲۱-تاثیر بر همکنش سرب، کلات و اسید سیتریک بر کلروفیل b گیاه تاج خروس ۶۰

۴-۲۲-الف- تاثیر کلات بر کلروفیل b گیاه آفتابگردان ب- تاثیر بر همکنش سرب و اسید سیتریک بر کلروفیل b گیاه آفتابگردان ۶۱

۴-۲۳-الف- تاثیر برهمکنش سرب و کلات بر کارتنوئید گیاه سورگوم ب- تاثیر برهمکنش سرب و اسید سیتریک بر کارتنوئید گیاه سورگوم ۶۲

۴-۲۴- تاثیر برهمکنش سرب، کلات و اسید سیتریک بر کارتنوئید گیاه تاج خروس ۶۳

۴-۲۵-تاثیر برهمکنش سرب، کلات و اسید سیتریک بر کارتنوئید گیاه آفتابگردان ۶۴

۴-۲۶-تاثیر برهمکنش کلات و اسید سیتریک بر اسیدیته گیاه سورگوم ۶۵

۴-۲۷-تاثیر برهمکنش سرب و کلات، اسید سیتریک بر اسیدیته خاک در گیاه تاج خروس ۶۶

۴-۲۸- تاثیر برهمکنش سرب و کلات، اسید سیتریک بر اسیدیته خاک در گیاه آفتابگردان ۶۷

۴-۲۹- تاثیر برهمکنش سرب و اسید سیتریک بر شوری گیاه سورگوم ۶۸

۴-۳۰-تاثیر اسید سیتریک بر شوری خاک در گیاه تاج خروس ۶۸

۴-۳۱- تاثیر سرب، کلات و اسید سیتریک بر شوری خاک(ds/m) در گیاه آفتابگردان ۶۹

۴-۳۲- تاثیر بر همکنش سرب، کلات و اسید سیتریک بر غلظت سرب در ریشه(میلی‌گرم بر گرم وزن خشک گیاه) گیاه سورگوم ۷۱

۴-۳۳-تاثیر برهمکنش کلات و اسید سیتریک بر غلظت سرب در ریشه گیاه تاج خروس ۷۱

۴-۳۴- الف- تاثیر برهمکنش سرب و کلات بر غلظت سرب در ریشه گیاه آفتابگردان ب- تاثیر برهمکنش کلات و اسید سیتریک بر غلظت سرب در ریشه گیاه آفتابگردان ۷۴

۴-۳۵-تاثیر برهمکنش سرب و اسید سیتریک بر غلظت سرب در ریشه گیاه آفتابگردان ۷۴

۴-۳۶- تاثیر کلات بر غلظت سرب در اندام هوایی گیاه تاج خروس ۷۵

۴-۳۷- تاثیر اسید سیتریک بر غلظت سرب در اندام هوایی گیاه آفتابگردان ۷۶

۴-۳۸- الف- تاثیر کلات بر محتوای سرب در گیاه سورگوم ۷۷

۴-۳۹- تاثیر برهمکنش سرب و کلات بر محتوای سرب در گیاه تاج خروس ۷۷

۴-۴۰-الف- تاثیر اسید سیتریک بر محتوای سرب در گیاه آفتابگردان ب- تاثیر بر همکنش سرب و کلات EDTA بر محتوای سرب در گیاه آفتابگردان ۷۹

۴-۴۱- تاثیر برهمکنش سرب و اسید سیتریک بر شاخص تحمل در گیاه سورگوم ۸۰

۴-۴۲- تاثیربرهمکنش سرب، کلات و اسید سیتریک بر شاخص تحمل در گیاه تاج خروس ۸۱

۴-۴۳- تاثیر اسید سیتریک بر شاخص تحمل در گیاه آفتابگردان ۸۲

۴-۴۴- الف- تاثیر برهمکنش سرب و کلات بر شاخص تحمل در گیاه آفتابگردان ۸۲

۴-۴۵- الف- تاثیر برهمکنش کلات و اسید سیتریک بر فاکتور انتقال در گیاه سورگوم ب- تاثیر برهمکنش سرب و اسید سیتریک بر فاکتور انتقال در گیاه سورگوم ۸۳

۴-۴۶- الف- تاثیر برهمکنش سرب و کلات بر فاکتور انتقال در گیاه سورگوم ۸۴

۴-۴۷- تاثیر برهمکنش سرب، کلات و اسید سیتریک بر فاکتور انتقال در گیاه تاج خروس ۸۴

۴-۴۸- الف- تاثیر بر همکنش سرب و اسید سیتریک بر فاکتور انتقال در گیاه آفتابگردان **ب** تاثیر برهمکنش سرب و کلات بر فاکتور انتقال در گیاه آفتابگردان ۸۵

۴-۴۹- الف- تاثیربرهمکنش سرب و کلات بر ضریب تغلیظ زیستی در گیاه سورگوم ب- تاثیر برهمکنش کلات و اسید سیتریک بر ضریب تغلیظ زیستی در گیاه سورگوم ۸۷

۴-۵۰-الف- تاثیر برهمکنش سرب و کلات بر ضریب تغلیظ زیستی در گیاه تاج خروس ۸۷

۴-۵۱- الف- تاثیرسرب و کلات بر ضریب تغلیظ زیستی در گیاه آفتابگردان ۸۸

فهرست جداول

عنوان جداول **صفحه**

فصل سوم: مواد و روش‌ها

۳-۱- جدول تجزیه شیمیایی و فیزیکی خاک مزرعه ۳۲

۳-۲- جدول نقشه اجرای طرح ۳۴

فصل اول

مقدمه و کلیات

از سی سال پیش تاکنون بسیاری از کشورهای جهان توجه خود را به حفظ محیط زیست طبیعی و انسانی و تنوع فرهنگی موجود و معطوف کرده‌اند . این تلاش‌ها در راستای سازگاری دو مقوله توسعه و حفاظت صورت گرفته و در نهایت به تدوین اصول توسعه پایدار و پیشنهاد انواع گزینه‌های جدید انجامیده است (ذوالفقاری و همکاران،۱۳۹۰). در مقیاس جهانی امروزه توجه زیادی به تاثیرات روان‌شناختی مخاطرات طبیعی و ابعاد انسانی آن می‌شود (اخلاقی،۱۳۹۰). از انقلاب صنعتی تا به حال، آلودگی خاک به وسیله فلزات سنگین به طور شگفت‌انگیزی در حال پیشروی بوده است . حدود ۹۰ درصد انتشار فلزات سنگین از منابع مصنوعی و از سال ۱۹۰۰ میلادی اتفاق افتاده است (ایکوریا و ایکمن، ۲۰۰۰).

گیاهان به عنوان یکی از مهمترین عوامل انتقال فلزات سنگین از خاک به انسان‌ها هستند و این عناصر در وضعیت شیمیایی گیاهان و سلامتی انسان نقش مهمی را ایفا می‌کنند. با توجه به اهمیت موضوع آلودگی خاک به عناصر سنگین و خطرات آنها در محیط زیست تحقیقات بسیار زیادی در زمینه‌های مختلف مانند شناسایی زمین‌های آلوده، بررسی رفتار عناصر در خاک و نحوه جذب آنها توسط گیاه، تاثیر آنها بر سلامت انسان و سایر موجودات، نحوه اصلاح زمین‌های آلوده و جنبه‌های دیگر صورت گرفته و می‌گیرد (چانیو ،۱۹۹۹).

فرآیندهای زیستی در طبیعت قابل تجزیه نبوده، در نتیجه پس از ورود به بدن موجودات زنده، در بافت‌ها ذخیره شده و می‌توانند در طول زنجیره غذایی در اعضای بالاتر زنجیره به مقادیر بسیار بیشتری تجمع یابند. به علاوه آنها می‌توانند جایگزین املاح و مواد معدنی مورد نیاز بدن جانوران شده و از این طریق موجب به مخاطره افتادن سلامتی آنها شوند (محمدی و همکاران ۱۳۸۵). به علاوه، بالا بودن غلظت فلزات در خاک‌های آلوده باعث کاهش فعالیت میکروبی، کاهش حاصلخیزی خاک و کاهش عملکرد می‌شود (پاندی و همکاران، ۲۰۰۷). میزان سمیت به عناصر در گیاهان مختلف متفاوت بوده و بسیار پیچیده می‌باشد و بستگی به گونه گیاهی، نوع عنصر و غلظت آن، ترکیب، PH خاک، و ترکیبات خاک دارد. بسیاری از عناصر برای رشد گیاه ضروری هستند. با این وجود، مقدار

بیش از حد نیاز یک عنصر ضروری یا غیرضروری می‌تواند اثر مخربی روی رشد و نمو گیاه داشته باشد. (اورکات و نیلسون، ۲۰۰۰)

۱-۱-گیاه شناسی آفتابگردان

آفتابگردان از گیاهان بومی نواحی مرکزی قاره امریکاست و ظاهرا منشا آن پرو یا مکزیک می‌باشد. این گیاه در قرن شانزدهم میلادی توسط اسپانیایی‌ها به اروپا برده شد. آفتابگردان با نام علمی *Helianthus annuus* گیاهی است یکساله از خانواده *Asteraceae* که بصورت بوته‌ای استوار رشد می‌کند. طول دوره رشد آفتابگردان بسته به رقم و کلیه عوامل محیطی از ۹۰ تا ۱۵۰ روز می‌باشد.

تفاوت اصلی انواع اهلی شده و زراعی آفتابگردان با انواع وحشی آن وجود طبق‌های بزرگتر و تعداد کمتری ساقه‌های جانبی در انواع اهلی شده است. آفتابگردان ریشه مستقیم و توسعه یافته‌ای دارد که پتانسیل نفوذ آن در خاک به ۳ متر می‌رسد. طول ساقه بلند، خشن و تاردار آفتابگردان به رقم و شرایط محیط رشد بستگی داشته و از ۶ تا ۱۰ متر متغییر است. اما ارتفاع ساقه در بسیاری از ارقام کمتر از ۳ متر می‌باشد. برگ‌های بزرگ، قلبی شکل و تاردار آفتابگردان ۲۰ تا۳۰ سانتی‌متر طول داشته و به طور متناوب روی ساقه قرار گرفته است و برگ‌ها خورشیدگرائی نشان می‌دهند. پهنک برگ‌هائی که در معرض نور است همراه با خورشید تغییر جهت داده و همواره به حالت تقریبا عمود بر اشعه آفتاب قرار می‌گیرند. گل‌آذین آفتابگردان و میوه آن فندقه است طول هر دانه ۱۰تا۱۵ میلی‌متر می‌باشد. وزن هزار دانه از ۵۰ تا ۱۵۰ گرم متغییر است و رنگ دانه از سفید تا سیاه و خاکستری خط دار و بسته به رقم تغییر می‌کند(خواجه پور،۱۳۷۰).

۱-۲-گیاه شناسی سورگوم

سورگوم گیاهی است از تیره گندمیان (*Poaceae*) و از جنس (*Sorghum*) که شامل تیپ‌های متعددی می‌باشد. تمام انواع سورگوم‌ها یکساله را که دارای **۲n=۲۰** کروموزوم می‌باشند به گونه *Sorghum vulgare* نسبت می‌دهند (مظاهری، ۱۳۸۷). سورگوم علوفه‌ای که به نام Sorgo معروف است، دارای ساقه‌های بلند شیرین و آبدار است. ارقام علوفه‌ای سورگوم دارای قدرت پنجه‌زنی زیادی بوده و همین امر سبب تولید علوفه نسبتاً زیادی توسط این گیاه می‌شود ولی ارقام دانه‌ای آن تک ساقه می‌باشند.

سورگوم پنجمین غله مهم دنیا بوده که خواستگاه آن قاره آفریقا می‌باشد همچنین سورگوم مانند گیاه ذرت دارای تنوع بیولوژیکی زیادی می‌باشد. قدرت تحمل به خشکی در گیاه سورگوم بیشتر از سایر غلات بوده و به همین خاطر به عنوان شتر گیاهان زراعی معروف گردیده است (امام، ۱۳۸۶).

سورگوم به علت داشتن ریشه‌ای گسترده و زیست توده بالا، می‌تواند در خاک‌های آلوده به عنوان گزینه‌ای مناسب در امر گیاه پالایی باشد. طی سال‌های اخیر در جهان تحقیقات گسترده‌ای در زمینه گیاه پالایی بر روی این گیاه صورت گرفته است (ژانگ و همکاران،۲۰۰۹؛تولر و همکاران، ۲۰۰۵).

۱-۳-گیاه شناسی تاج خروس

تاج خروس یکی از مهمترین و اصلی‌ترین علف‌های هرز جهان است. این علف هرز به تیره تاج خروس (*Amaranthaceae*) تعلق دارد و در اکثر مناطق معتدله و گرمسیری دنیا یافت می‌شود. *Amaranthus* یک اصطلاح یونانی است که از کلمه amarino به معنی پژمرده نشدن و anthos به معنی گل گرفته شده است. این نام‌گذاری به این دلیل است که یونانی‌ها اعتقاد داشتند گل‌ها در بعضی از گونه‌های تاج خروس دائمی بوده و هرگز پژمرده نمی‌شود (بلاچی، ۱۹۳۰).

گونه‌ای یکساله است که به وسیله بذر تکثیر می‌یابد. ریشه اصلی آن گوشتی و سطحی و اغلب به رنگ صورتی یا مایل به قرمز یا سفید هستند. ساقه‌های آن افراشته (عمودی)، ساده یا منشعب، شیاردار، به رنگ سبز و بندرت مایل به قرمز است که ۰/۱ تا ۲ متر ارتفاع داشته، قسمت تحتانی آن ضخیم و صاف و قسمت فوقانی آن اغلب پوشیده از کرک می‌باشد. برگ‌ها متناوب، واجد دمبرگ بلند، بندرت کرکدار و تخم مرغی شکل تا لوزی مایل به بیضی که به رنگ سبز تیره به نظر می‌رسند، دارای حاشیه صاف و در سطح زیرین آن رگبرگ‌های سفید برجسته قابل رویت می‌باشد.

گل آذین‌های لبه‌دار ضخیم، یک پانیکول انتهایی راست به طول ۵ تا ۲۰ سانتی‌متر و ضخامت ۱/۵ سانتی‌متر یا بیشتر تشکیل می‌دهند که از بالا به پایین گل‌آذین‌ها کوچکتر می‌گردند. میوه آن شکوفا بوده و قسمت فوقانی آن به صورت یک سرپوش جدا می‌گردد. بذور آن صاف، براق، به رنگ قهوه‌ای تیره، به ضخامت ۱ تا۱/۲ میلی‌متر که تا اندازه‌ای پهن بوده و از پهنا تخم‌مرغی شکل به نظر می‌رسند. قوه نامیه آنها بسیار زیاد است. تعداد کروموزوم‌های این گونه ۳۴ عدد($2n=34$) برآورد شده است (مورای،۱۹۴؛گرانت،۱۹۵۹؛مولیگان،۱۹۶۱؛ویور و همکاران،۱۹۸۰).

۱-۴-فلزات سنگین و اثرات مخرب آنها

در دهه‌های گذشته، ورود طبیعی چندین فلز سنگین به خاک از حد استاندارد تجاوز کرده است و آلودگی خاک به یک موضوع مهم زیست محیطی تبدیل شده است. از میان آلاینده‌های مختلف خاک ، فلزات سنگین به خاطر سمیت و ماندگاریشان در محیط زیست و نگرانی‌های حاصل از وجود آنها بر سلامت عمومی به طور ویژه‌ای حائز اهمیت قرار گرفته‌اند (مایکو و همکاران،۲۰۰۶).

از دیدگاه زیست محیطی، فلزات سنگین به آن عناصری اطلاق می‌شود که به شدت جذب بافت‌های زنده شده، در آن انباشت می‌کنند و خروج آن از بافت‌ها به سختی صورت می‌گیرد (دالزل و همکاران،

۱۹۸۷). بشر به منظور تامین نیازهای روز افزون خود ناچار به استفاده از مواد و ترکیبات مختلف و نیز زمین‌های زراعی قابل کشت با سرعت بی‌رویه می‌باشد. و همچنین با هدف ارتقاء کمیت و کیفیت محصولات تولیدی خود موادی را وارد خاک می‌کند که در طولانی مدت ممکن است سلامت خاک و محیط زیست را تهدید نمایند (نیکلسون و همکاران، ۲۰۰۳).

انباشت عناصر سنگین در خاک بخصوص در زمین‌های کشاورزی باعث جذب مقادیر زیاد آنها توسط گیاهان شده و لذا بیشتر از حد طبیعی وارد زنجیره غذایی انسان‌ها و حیوانات می‌شوند. تجمع فلزات سنگین جذب شده در اندام گیاه در غلظت‌هایی بیش از حد استاندارد، ضمن فراهم آوردن موجبات کاهش رشد و عملکرد محصولات کشاورزی، آلوده شدن زنجیره غذایی و به خطر افتادن سلامت جوامع انسانی را به همراه دارد برای مثال بسیاری از محققان گزارش کردند که کاربرد کودهای فسفره باعث کاهش مقدار روی در گیاهان می‌شود در نتیجه با اضافه کردن فسفر به خاک جذب روی کاهش می‌یابد (بادی بوردی،۱۳۷۷ ؛طباطبایی،۱۳۸۴؛عرفان و همکاران،۱۳۷۹؛عرفان و همکاران، ۱۳۸۴).

فلزات سنگین به دلیل خصوصیات منحصر به فردشان و به خاطر عدم تخریب توسط عوامل زیستی، عدم تخریب بوسیله حرارت و به طور عمومی عدم آبشویی آنها از خاک سطحی، در آلودگی محیطی شرکت می‌کنند و می‌توانند بدون جلب توجه تا غلظت‌های سمی در خاک تجمع یابند و زندگی گیاهان و جانوری را تحت تاثیر قرار دهند (بوهن و همکاران،۱۹۸۵). استمرار آلودگی توسط فلزات سنگین ممکن است برای صدها یا هزاران سال حتی بعد از افزایش آنها به خاک تداوم یابد به عنوان مثال زمان نگهداری سرب برای رسیدن به نیمه غلظت اولیه در خاک بسته به نوع خاک و پارامترهای فیزیکی ۷۴۰-۵۹۰۰ سال است (الووای و ایرس،۱۹۹۳). زمان ماندگاری عناصر در خاک‌های نواحی معتدل برای کادمیم ۷۵ تا ۳۸۰ و برای سرب و مس ۱۰۰۰-۳۰۰۰ سال را نشان می‌دهد (بوون، ۱۹۷۹). فلزات سنگین در خاک، حتی در غلظت‌های بالا ممکن است به شکل‌های غیر خطرناک حضور داشته باشند، اما ممکن است که آنها در نتیجه تغییر شرایط محیطی (استفاده از زمین، ورودی‌های کشاورزی، تغییرات آب و هوایی) و یا به واسطه اشباع ظرفیت بافری خاک متحرک شوند.

این وضعیت به عنوان یک بمب شیمیایی زمان محسوب می‌شود (استیگلاینی، ۱۹۹۳). گیاهان واسطه‌ی ورود و ذخیره‌ی فلزات سنگین از خاک به بدن انسان و حیوانات محسوب می‌شوند و تا حدی نیز فلزات از طریق هوا و آب به بدن انسان و حیوانات وارد می‌شوند. خاک‌های آلوده شده با فلزات سنگین سبب رشد و تولید گیاهانی می‌گردد که می‌تواند برای مصرف حیوانات و انسان‌ها خطرناک باشد (کاباتا پندیاس و همکاران، ۲۰۰۱).

اخیراً غلظت زیاد فلزات سنگین مانند آرسنیک، کادمیم، مس، روی و سرب در خاک‌های بیشتر کشورها گزارش شده است. به عنوان مثال غلظت‌های زیاد آرسنیک و اثرات منفی آن بر سلامتی انسان در بنگلادش، هند و چین که در نتیجه آن میلیون‌ها نفر از انسان‌ها در خطر مسمومیت به وسیله آرسنیک هستند گزارش شده است (بولان و همکاران،۲۰۰۳). وقتی فلزات سنگین در مقادیر بیشتر از حد مجاز وجود داشته باشند می‌توانند رشد گیاهان را کاهش دهند همچنین حضور آنها سبب کاهش فعالیت میکروارگانیسم‌ها می‌گردند، و باعث اثر منفی بر پروسه‌های بیولوژیکی مهم از قبیل تثبیت نیتروژن، تولید ATP[1]، فعالیت آنزیم خاک و تولید بیوماس میکروبی می‌گردند (لای و همکاران،۲۰۰۴) و حضور عناصر سنگین مانند سرب، آرسنیک و دیگر فلزات سبب تشکیل پیوندهای بیولوژیک با عناصر مختلف در محیط مثل کربن و تشکیل کمپلکس‌های متیل‌دار می‌گردند (احمد و همکاران،۲۰۰۵).

امروزه نیز جهان، صنعت و تکنولوژی با سرعتی روزافزون در حال پیشرفت است، اما در این راستا مشکلات و مسائلی ایجاد می‌شوند که مستقیم و یا غیر مستقیم، حاصل این پیشرفت‌ها هستند. از جمله دفع مواد باقیمانده از محصولات مصرفی، مواد مضر و خطرناک خارج شده از کارخانجات و صنایع تولیدی را برای مثال می‌توان نام برد.

1-Adenosine Triposphata

منابع اصلی ورود غیر طبیعی فلزات سنگین به جو بیشتر شامل کارخانه‌های ذوب و تصفیه فلزات، کوره‌های احتراق زغال سنگ و زباله‌هاست که منجر به آلودگی منابع خاک و آب در منطقه تاثیرپذیر از وجود این کارخانه‌ها می‌گردند (تایلر، ۱۹۸۹؛ پاگ و همکاران، ۱۹۸۷؛ هوانگ و همکاران، ۲۰۰۰). عناصر سنگین به روش‌های متفاوتی وارد چرخه‌ی زیستی حیات می‌شوند با توجه به اینکه اغلب عناصر سنگین به صورت ناخالصی و با مقادیر متفاوت در کودهای شیمیایی یافت می‌شوند، بنابراین هر چند استفاده از این کودها از یک سو باعث بهبود حاصلخیزی خاک می‌شود، ولی از سوی دیگر باعث ورود عناصر سنگین به خاک می گردند (مرتوادت، ۱۹۹۶). در گذشته نیز آفت‌کش‌های شیمیایی که مورد استفاده قرار می‌گرفتند حاوی سرب، آرسنیک، جیوه، مس، آهن و منگنز بودند (هی و همکاران،۲۰۰۵؛سینگ و همکاران،۱۹۹۴). جذب فلزات سنگین از اراضی آلوده به وسیله گیاهان و بخصوص محصولات کشاورزی یکی از مهمترین راه‌های ورود این عناصر به زنجیره غذایی است (جانی، ۱۹۹۰). در نهایت این عناصر راه خود را به چرخه‌ی شریان حیات می‌گشایند. در مطالعات صورت گرفته بر استفاده از آب‌های آلوده در آبیاری اراضی کشاورزی به این نتایج دست یافته‌اند که استفاده طولانی مدت از آب آبیاری آلوده می‌تواند غلظت عناصر سنگین فلزی را تا سطح سمیت در خاک افزایش دهد و خاک‌هایی که به وسیله آب‌های کثیف آبیاری می‌شوند غلظت عناصر سنگین فلزی از جمله منگنز، سرب، روی و کادمیم در سطح خاک افزایش می‌یابد و زمانی که ظرفیت خاک در نگهداری عناصر سنگین به علت استفاده مکرر از آب‌های زائد کاهش می‌یابد خاک می‌تواند عناصر سنگین فلزی را به آب‌های زیرزمینی و یا محلول خاک و به صورت قابل دسترس برای جذب گیاه رها سازد (فیگین و همکاران،۱۹۹۱). از آنجا که فلزات سنگین از لحاظ بهداشتی، جزء مواد خطرناک دسته‌بندی شده اند. هنگامی که امکان ورود آنها از طرق مختلف به بدن انسان وجود داشته باشد، لزوم بررسی نوع فلز سنگین و نیز مقدار آن اجتناب ناپذیر خواهد بود. برای مثال سالانه حدود ۳۸۰۰۰ تن کادمیم و تقریباً یک میلیون تن سرب به خاک‌های جهان اضافه می‌شود که مقادیر زیادی از آنها مربوط به غبارهای جوی، پراکنش خاکسترها و ضایعات شهری است و غلظت‌های کم آن مربوط

به مصرف کودهای شیمیایی و لجن فاضلاب است (نیاگو و همکاران، ۱۹۸۸). شهرنشینی و تمرکز جمعیت در یک منطقه سبب ورود آلاینده‌ها به محیط زیست شده است جوامع صنعتی امروزه هزاران نوع مصنوعات آلی و معدنی مختلفی را برای مصارف خود تولید کرده و پیامد آن سالانه ورود مقدار عظیم مواد شیمیایی و صنعتی به چرخه محیط زیست است.

ورود آلاینده‌های صنعتی توسط فرونشت‌های صنعتی بسته به موقعیت جغرافیایی محل، غلظت آلاینده‌های اتمسفر، عوامل اقلیمی و برخی پارامترهای دیگر متفاوت می‌باشد. برای مثال گاهی حتی باد نیز سبب انتقال ذرات معلق حاوی عناصر سنگین، دود و گاز حاصل از فعالیت‌های صنعتی به مسافت‌های مختلف اطراف مناطق صنعتی می‌گردد (دودکا و همکاران، ۱۹۹۷).

در نتیجه به طور کلی اهمیت ارزیابی میزان فلزات سنگین در خاک به دلایل زیر می‌باشد:

الف) امکان تجمع فلزات سنگین در خاک و بیوسفر به دلیل پایداری آنها.

ب) اثرات زیان‌آور فلزات سنگین حتی در غلظت‌های کمتر از حد استاندارد (کیانفر،۱۳۸۷).

ج) امکان تبدیل آنها به مواد سمی در اثر پاره‌ای فعل و انفعالات شیمیایی (خنافری و همکاران، ۱۳۸۶).

۱-۵-سرب

اصطلاح فلزات سنگین برای گروهی از عناصر به کار می‌رود که عموما دارای واکنش پذیری کم و چگالی بیشتر از ۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب می‌باشند (کابتاپندیاس و همکاران،۲۰۰۱). به صورت قراردادی فلزات سنگین به عناصری با خصوصیات فلزی (انعطاف‌پذیر، هادی و پایدار مانند کاتیون‌ها، لیگلاندهای اختصاصی و غیره) گفته می‌شود که عدد اتمی آنها بیشتر از ۲۰ باشد (پاندی، ۲۰۰۷). سرب از عناصر شیمیایی واسطه در جدول تناوبی بوده و همچنین در رده‌بندی فلزها قرار می‌گیرد . این عنصر در جدول تناوبی با نشان Pb و عدد اتمی ۸۲ وجود دارد .

سرب پرکاربردترین فلز سنگین است و بسیار سنگین، نرم و چکش خوار و به رنگ خاکستری مایل به آبی است. این فلز دارای جرم اتمی ۲۰۷/۲۱، نقطه ذوب برابر با ۳۲۷ درجه سانتی‌گراد و نقطه جوش معادل ۶۲۰ درجه سانتی‌گراد است (پایس و همکاران،۲۰۰۰). این عنصر در لحیم‌کاری ، آلیاژها ، مواد شیمیایی ، کابل‌ها ، وزنه‌های سربی ، پشم سربی و بنزین کاربرد دارد (کاباپندیاس و موخرجی،۲۰۰۷). این عنصر در لیست اولویت‌بندی سازمان حفاظت از محیط زیست آمریکا (EPA[1]) بین مضرترین فلزات جهان در رده دوم جای گرفته است (لیو و همکاران، ۲۰۰۶). سرب یکی از مهمترین آلوده‌کننده‌های زیست محیطی در بسیاری از کشورها است که باعث بروز خطرات جدی برای انسان و محیط زیست می‌شود آلودگی بیش از حد سرب منجر به بیماری‌های صعب‌العلاج برای انسان می‌گردد زیان سرب بیشتر از توان جابجایی کم آن در محیط زیست و رسوب‌پذیری بالای آن می‌باشد (گاربیو،۲۰۰۱، رکرس و همکاران، ۱۹۹۹). در خاک‌های قلیایی کمپلکس‌های خنثی و در خاک‌های شور ترکیبات کلره سرب غالب می‌باشد (الووای،۱۹۹۰). اغلب مقدار کل سرب در خاک‌ها به طور متوسط ۱۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش شده در حالیکه این مقدار در خاک‌های آلوده به سرب بیش از ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌رسد (هاتزینگر ،۱۹۸۰). در گیاهان آثار سمیت با سرب معمولا در غلظت‌های بالاتر از ۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم در برگ ظاهر می‌شود که در نهایت باعث کاهش سنتز کلروفیل و رشد رویشی می‌شود (هاتگینز ،۱۹۸۰،شائو،۱۹۸۹). سرب ارتباط زیادی با هیدروکسیدهای آهن و منگنز برقرار می‌کند. غلظت آن در کلوخه‌ها و سخت‌دانه‌های آهن و منگنز ممکن است بسیار بالا و تا بیش از ۲۰۰۰۰ میلی‌گرم برسد (کاپاتاپندیاس و سادروسکی، ۲۰۰۴). میزان طبیعی سرب در خاک‌ها ریشه در سنگ‌های مادری دارد. فراوانی آن در رسوبات تابعی از میزان بخش رسی است و بنابراین رسوبات رسی نسبت به شن‌ها، ماسه سنگ‌ها و سنگ‌های آهکی میزان بیشتری سرب دارند (کاباتاپندیاس و همکاران، ۲۰۰۷).

1-Environmental Protection Agency

سرب به طور یکنواخت در افق‌های خاک توزیع نمی‌شود. برخی عوامل کلیت کننده و لیگاندهای مواد آلی می‌توانند رفتار سرب در خاک‌ها را تغییر دهند (کونینگام و همکاران،۲۰۰۰).

اساساً سرب به خاطر ظرفیت جذب سطحی بالا مواد آلی، در خاک سطحی تجمع می‌کند. از این رو، باتلاق‌های پیت، ظرفیت زیادی برای جذب سرب آشکار می‌کنند. برخی دانشمندان نشان داده‌اند که تثبیت سرب توسط مواد آلی اهمیت بسیار بالایی برخوردار است (لی و شومن، ۱۹۹۶).

همچنین سرب یکی از آلاینده‌های عمده محیط بوده و برای انسان بسیار سمی و خطرناک است. گرچه سرب را به عنوان یکی از عناصر کم تحرک شناخته اند، اما در صورت وجود فرم‌های محلول در محیط، ریشه گیاه قادر خواهد بود مقادیر زیادی از آن را جذب نماید (کاپاتاپندیاس و همکاران،۲۰۰۰).

۱-۱-۵-منابع آلودگی سرب در محیط

تمام منابع آلوده کننده سرب به خاک‌ها را می‌توان به چند گروه بزرگ دسته‌بندی کرد: که شامل فعالیت‌های صنعتی مانند معادن و تصفیه‌خانه‌ها، فعالیت‌های کشاورزی مانند کاربرد آفت‌کش‌ها و لجن فاضلاب و فعالیت‌های شهری مانند کاربرد سرب در بنزین و رنگ‌ها می‌باشد. یکی از منابع اصلی تولید فلزات سنگین در شهرها خودروها هستند که با تولید آلاینده‌ها و وارد کردن آنها به محیط و به خصوص هوا، باعث آلودگی محیط می‌شوند. در بین عناصر سنگین، فلزات کادمیم و سرب به دلیل نیمه عمر بالا در بدن انسان و دیگر حیوانات و سمی بودن زیاد از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند.

سرب عموماً در نتیجه استفاده از سوخت‌های بنزینی سرب‌دار وارد محیط می‌شود. در دهه ۱۹۷۰-۱۹۸۰ بیشترین آلودگی سرب از استفاده بنزین سرب‌دار منتشر می‌شد و انتشار سرب از مواد افزودنی به سوخت که احتمال انفجار را کم می‌کرد در بنزین نسبت به منابع نقطه‌ای آلودگی بسیار بیشتر بود. در سال ۱۹۹۰، قوانین شدید منطقه‌ای استفاده از سرب در بنزین را در کشورهای توسعه یافته حذف

کرد. با این حال در چندین کشور آفریقایی مثل نیجریه هنوز مورد استفاده قرار می‌گیردکه غلظت سرب در بنزین معادل g/l ۰/۶ می‌باشد که بیشترین غلظت سرب در جهان است (کاباتا پندیاس و همکاران،۲۰۰۷). سرب از منابع طبیعی و صنعتی مختلفی شامل احتراق زغال سنگ و نفت، گیاهان با مصارف صنعتی و تولید گرما، احتراق بنزین، فرآیندهای ذوب‌کاری و سرخ کردن در کوره، سوزاندن پسماند و تولید سیمان وارد اتمسفر می‌شود. ورودی‌های سرب از طریق فعالیت‌های انسانی بیش از منابع طبیعی و در حدود ۹۶٪ از کل انتشار سرب را شامل می‌شود. برآورد شده است که سرعت بارگیری سرب در خاک ۲۰ برابر بیش از برداشت طبیعی آن می‌باشد (نریاگوو همکاران، ۱۹۸۸).

۲-۱-۵-تاثیرات ناشی از سرب بر سلامتی

با توجه به این که سرب خاصیت تجمعی دارد، تماس دراز مدت با مقادیر کم آن می‌تواند برای بدن خطراتی را به همراه داشته باشد. با توجه به اینکه مصرف سوخت‌های حاوی سرب سبب ورود تترااتیل سرب به هوا می‌شود، این منبع به همراه سایر منابع آلاینده سرب مانند کارخانجات نیرو، چاپخانه‌ها، مواد غذایی گوشتی کنسرو شده و سبزیجات سبب ورود این ماده به بدن افراد و تجمع آن در بافت‌های سخت بدن به ویژه استخوان‌ها می‌شود. در خصوص تاثیر سرب بر خون مطالعات متعددی صورت گرفته که نشان می‌دهد که در افرادی که تماس شغلی با سرب دارند سبب افزایش فشار خون می‌شود همچنین در خصوص رابطه‌ی بین میزان سرب خون و هیپروتروفی بطن چپ قلب رابطه‌ی مثبت ثبت شده است (اسکوارتز،۱۹۹۱). عنصر سرب با ایجاد آثار سمی شدید در انسان و دیگر جانداران، در آلودگی محیط زیست نقش مهمی دارد. مصرف این عنصر در صنایع مختلف موجب بالا رفتن میزان آلودگی در اکوسیستم‌های مختلف شده است. آلودگی خاک‌ها به سرب یکی از مشکلات بزرگی است که کشورهای در حال توسعه و صنعتی با آن روبرو هستند.

۱-۶-سازگاری گیاهان به غلظت بالای فلزات در محیط

مفهوم تنش فلزات سنگین را حساسیت بـه غلظت‌هـای بـالای فلـزات کـه باعـث صدمه به گیاه یا مرگ آن می‌شود تعریف می‌کنند. مقاومت به این مفهوم است کـه بـا وجـود حضـور عناصر سنگین در محیط رشد، گیاه قابلیت حیات و تولید نسل بعـدی خـود را داشـته باشـد. دو نـوع مقاومت در برابر تنش فلزات تشریح شده است که شامل اجتناب، که توصیف سازوکار حفاظت خارجی گیاه از تنش فلزات است، و تحمل، که گیاه قادر به زنـده مانـدن در شـرایطی کـه در معـرض تجمـع غلظت‌های بالایی از فلزات سنگین در درون خود قرار دارد گیاهان برای رشد و نمو طبیعی خود نیاز به عناصر ضروری دارند. گیاهان می‌توانند به صورت فوق تجمع دهنده فلزات سنگین باشند، حتی تجمع غلظت بالای این عناصر برای رشد طبیعی این گیاهان ضروری و مفید می‌باشـد. عناصـر می‌تواننـد در بافت‌های گیاهی چندین برابر مقادیر آنها در خاک تجمع یابند. از این رو تحمل و حساسیت به فلـزات سنگین به طو ژنتیکی کنترل می‌شود. توانایی گیاهان در تجمع فلزات می‌تواند راهکـار مفیـدی بـرای پاکسازی زیستی خاک‌های آلوده ارائه دهد (اورکات و نیلسون، ۲۰۰۰).

گیاهان متحمل به خاک‌های فلزدار به سه گروه دسته‌بندی می‌شوند. این تقسیم‌بندی براساس غلظت فلزات در اندام‌های هوایی گیاه در برابر افزایش غلظت در خاک می‌باشد. دسـته اول، تجمـع دهنـده‌ها هستند، که اجازه جذب سطوح بالایی از فلزات تا حد بالاتر از مقدار موجود در خاک را می‌دهند. دسته دوم شاخص‌ها هستند که جذب فلزات در آنها به صورت خطی با افزایش غلظت در خاک زیاد می‌شود. دسته سوم، دفع کننده‌ها هستند، که تا آستانه خاصی از جذب فلزات سنگین جلوگیری کرده ولی پس از این آستانه فلزات را جذب می‌کنند اما با افزایش غلظت در اندام‌های هوایی تا حد بحرانـی در برابـر سمیت آنها مقاومت می‌کنند (اورکات و نیلسون، ۲۰۰۰؛ گوش و سینگ،۲۰۰۵).

۱-۷-گیاه پالایی

گیاه پالایی یکی از روش‌های زیست پالایی خاک‌ها است که در دهه‌های اخیر به آن توجه زیادی شده است در این روش از گیاهان مقاوم جهت پالایش خاک‌های آلوده به ترکیبات معدنی و آلی استفاده می‌گردد. مزیت‌هایی که این روش نسبت به سایر روش‌ها دارد عبارتند از سادگی ، ارزان بودن و امکان بهره‌برداری در سطح وسیع می‌باشد. در این روش انتخاب گیاه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد (کلوت،۱۹۸۶،متینا،۲۰۰۳). در واقع گیاه پالایی نوعی تکنولوژی بر پایه‌ی استفاده از گیاهان است که کم هزینه و با محیط زیست سازگار است (لیپادزی و همکاران، ۲۰۰۶) و جزء روش‌های اصلاحی در محل محسوب می‌گردد. در این روش، ترمیم خاک بدون حفاری محل آلوده انجام می‌شود (گوش و همکاران، ۲۰۰۵). از سوی دیگر، کاربرد گیاه پالایی باعث احیای مکان، حفاظت از فعالیت بیولوژیکی، ساختار فیزیکی و خصوصیات شیمیایی خاک می‌شود (گلومنت و همکاران،۲۰۰۶وموراو همکاران، ۲۰۰۵). این تکنولوژی یک تکنولوژی نوپدید است (اویانگ و همکاران،۲۰۰۲) و پتانسیل بالایی در پاکسازی مکان‌های آلوده دارد (مارچیول و همکاران، ۲۰۰۷).

این تکنولوژی با استفاده از نور خورشید و گیاهان و میکروارگانیسم‌های ریزوسفریک مربوط به آن‌ها، فلزات و آلاینده‌های موجود درخاک، رسوبات، آب‌های زیرزمینی یا آب‌های سطحی و حتی آلاینده‌های موجود در اتمسفر را حذف یا تجزیه می‌کند (اویانگ و همکاران، ۲۰۰۲ و پیوتز و همکاران،۲۰۰۱).

گیاه پالایی شیمیایی عبارت است از استفاده ترکیبات شیمیایی نظیر کلات‌ها و اسیدها برای بهبود راندمان پالایش عناصر فلزی توسط گیاهان که به منظور افزایش حلالیت این عناصر در داخل خاک‌ها به کار گرفته می‌شود (کاسیر و همکاران، ۲۰۰۰). از سوی دیگر استفاده از روش‌های شیمیایی می‌تواند سبب از بین رفتن ساختمان خاک و اختلال در فعالیت‌های بیولوژیکی خاک و آلودگی بخش دیگری از محیط زیست شود (دل ریو سلستینو و همکاران،۲۰۰۶). عصاره‌کشی گیاهی یکی از روش‌های گیاه پالایی عناصر سنگین است که در این روش جذب و جمع‌آوری آلاینده‌ها در بافت‌های

قابل برداشت گیاهی مدنظر می‌باشد. در این روش با برداشت گیاهان از خاک، آلاینده‌ها از خاک زدوده می‌شوند (کلوت،۱۹۸۶ ومتین و همکاران ،۲۰۰۳).

در این روش دو عامل بسیار مهم باید مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرد یکی دامنه تحمل پذیری گیاه نسبت به عنصر (TI[1]) و دیگری فاکتور انتقال (TF[2])، عنصر از ریشه به اندام هوایی می‌باشد (لاست،۲۰۰۰). در هر صورت گیاه پالایی یکی از روش‌های نوین و کاربردی در امر پاکسازی محیط زیست محسوب می‌شود.

۱-۱-۷-انواع روش‌های گیاه پالایی

انواع گیاه پالایی شامل ۵ روش عمده به شرح زیر می‌باشد

۱- گیاه استخراجی[1] : جذب عناصر و انتقال آن‌ها به اندام های قابل برداشت در گیاهان

۲- تجزیه گیاهی[2] : تحزیه آلودگی خاک‌ها توسط گیاه و میکروارگانیسم‌ها

۳- تصفیه ریشه‌ای[3] : جذب عناصر از آب‌های آلوده و تصفیه آنها در ریشه

۴- گیاه تثبیتی[4] : کاهش تحرک آلودگی در خاک با استفاده از ریشه گیاهان و جوامع میکروبی

۵- گیاه تبخیری[5]: نجزیه آلودگی در اتمسفر با استفاده از بخش هوایی گیاهان (خان، ۲۰۰۵)

در بین روش‌های گیاه پالایی دو روش گیاه استخراجی و گیاه تثبیتی بیش از سایرین مورد توجه قرار گرفته است (حسن وآرتس، ۲۰۱۱). گیاه استخراجی بهترین روش در جهت کاهش آلاینده‌های خاک و جداسازی آن‌ها بدون تخریب ساختمان و حاصلخیزی خاک می‌باشد (تستر و لی، ۲۰۰۱).

فرایندهای طبیعی گیاه در حین پروسه‌ی گیاه پالایی شامل موارد زیر می‌باشد :

۱-جذب فلزات و ترکیبات آلی از خاک

1- Tolerance Index

2- Translocation factor

۲-انباشتن یا متابولیزه کردن مواد شیمیایی از طریق فرایندهایی مانند تولید چوب و تبخیر و معدنی کردن عناصر

۳-استفاده از آنزیم‌ها جهت تجزیه مولکول‌های موجود در کمپلکس‌های آلی به مولکول‌های ساده‌تر (سرانجام تبدیل به دی‌اکسیدکربن و آب)

۴-افزایش میزان کربن و اکسیژن در اطراف ریشه گیاهان (تسریع فعالیت‌های قارچی یا میکروبی)

۵-ذخیره آب‌های زیرزمینی و بهره برداری برای انجام فرایندهای گیاهی (ونس، ۱۹۹۶).

۱-۸-مواد اصلاحی برای رفع آلودگی خاک‌ها

کلات‌های مصنوعی و اسید سیتریک از متداول‌ترین مواد اصلاحی هستند که در فرآیند گیاه جذبی به کمک مواد شیمیایی استفاده می‌شوند. چنین موادی قادر به تشکیل کمپلکس با یون‌های فلزی هستند. بنابراین قابلیت زیست فراهمی فلزات را در خاک‌ها تحت تاثیر قرار می‌دهند (نستیمو و همکاران،۲۰۰۶). بهره‌وری گیاه پالایی به قدرت تحمل گیاه در تجمع عنصر آلوده و همچنین قابلیت استفاده آن در خاک مربوط می‌شود. ویژگی‌های متعددی بر قابلیت استفاده و جذب عناصر توسط گیاه تاثیر می‌گذارد که از آن جمله می‌توان به واکنش خاک، مقدار ماده آلی، شوری خاک ، رقم و گونه گیاهی اشاره نمود که در این میان PH خاک اهمیت بسیار زیادی دارد (گوتورمسن و همکاران،۱۹۹۵ وهامون و همکاران،۱۹۹۷). EDTA این ماده از سال ۱۹۵۰ به کودهای ریز مغذی افزوده شد و در کشاورزی به کار می‌رود (مرز و همکاران، ۲۰۰۸).

1-Phytoextraction	3-Rizofiltration	5-Phytovolatization
2-Phytodegradtion	4-Phytostabilization	

این ترکیب دارای شش مکان بالقوه برای پیوند با یون‌های فلزی می‌باشد که شامل ۴ گروه کربوکسیل و دو گروه آمین است. در نتیجه[1] EDTA یک لیگلاند شش دانه‌ای محسوب می‌شود. تمامی شش گروه لیگلاند درگیر تشکیل پیوند با یون فلزی می‌باشد (شیمی تجزیه ۱۳۸۷). EDTA را به عنوان قوی‌ترین عامل کلات کننده معرفی کرده‌اند (سفاری سینگلانی و خوالیخواه، ۲۰۰۸؛ مارکرو و همکاران، ۲۰۰۹). چندین عامل کلات‌کننده مثل اسید سیتریک ،EDTA ، $DTPA^2$ و NTA^3 را جهت افزایش تحرک عناصر فلزی و تجمع آنها در گیاهان فرانباشت مختلف مورد مطالعه قرار داده‌اند (کوپر و همکاران۱۹۹۹؛ هوانگ و همکاران، ۱۹۹۸).

1-Ethylene Diamine Tetraacetic Acid

2-Diethylene Triamin Penta Aceticacid

2-Nitrilo Tacetic Acid

اهداف تحقیق

۱- بررسی کارآمدی تحمل و پالایش گیاهان سورگوم، تاج‌خروس و آفتابگردان در مناطق آلوده

۲- بررسی تاثیرگذاری کلات‌کننده EDTA بر افزایش میزان پالایش گیاهان از خاک‌های آلوده و همچنین تعیین میزان مناسبی از این کلات‌کننده در امر گیاه پالایی

۳- بررسی تاثیرگذاری کلات‌کننده اسید سیتریک بر افزایش میزان پالایش گیاهان از خاک‌های آلوده و همچنین تعیین میزان مناسبی از این کلات‌کننده در امر گیاه پالایی

۴- بررسی روند افزایش کارایی گیاهان با استفاده از کلات‌کننده‌های شیمیایی در امر گیاه پالایی

۵- معرفی بهترین راهکار زیستی و شیمیایی به منظور پالایش گیاهی خاک‌های آلوده به عنصر سرب

فصل دوم

بررسی منابع

۲-۱- تاثیر عناصر سنگین بالاخص سرب بر سلامت در محیط زیست

فلزات از جمله آلاینده‌های بسیار خطرناک زیست محیطی توصیف می‌شوند چرا که آنها در نتیجه فرآیندهای فیزیکی تجزیه نمی‌شوند و بنابراین برای دوره طولانی در محیط باقی می‌مانند. آنها سیکل‌های بیوژئوشیمیایی را تحت تاثیر قرار می‌دهند و در داخل موجودات زنده تجمع می‌یابند، سرانجام از طریق زنجیره غذایی به بدن انسان وارد می‌شوند. به طوری که فلزات می‌توانند سبب اختلال در واکنش‌های بیولوژیکی، صدمات بلند مدت به اندام‌های حیاتی و حتی منجر به مرگ شوند(تایلر،۱۹۸۹). این فلزات، در غلظت‌های بالا برای انسان سمی بوده و سبب بیماری‌هایی مانند دردهای معده‌ای و روده‌ای، اختلالات کبدی، کلیوی و همچنین سبب کم خونی می‌شود (بیناو همکاران،۱۳۸۲). در پژوهش‌های صورت گرفته توسط محققان در مناطقی که نزدیک گدازکارهای سرب واقع شده‌اند سطوح بالای آلودگی به این ماده در خون گاوهایی که در این مناطق چرا می‌نمودند مشاهده گردید که افزایش فاصله از این مناطق باعث کاهش مقدار آلودگی به این فلز سنگین شد (نیووان و دالپوف، ۱۹۹۳). همچنین در پژوهش صورت گرفته بر تاثیر آلودگی محیط و انتقال آن از طریق دام به انسان بیشترین میزان سرب در شیر گاوها در سوئد ۰/۲۲ میلی‌گرم در کیلوگرم در گاوهایی که در معرض محیط آلوده به سرب به مدت ۱۸ هفته قرار داشتند، مشاهده شد (اتسدر،۱۹۹۹). در استرالیا و نیوزیلند تجمع کادمیم در کلیه وکبد حیوانات علفخوار گزارش شده است که استفاده از تولیدات این حیوانات برای انسان نامناسب گزارش شده است(روبرتز،۱۹۹۴).

۲-۲- تاثیر عناصر سنگین بر گیاهان

عناصر سنگین در غلظت‌های کم مشکلاتی از جمله کاهش عملکرد، تغییر در ساختار پروتین‌ها و آنزیم‌ها، تاثیر بر روی نفوذپذیری و عملکرد اندامک‌های سلولی و در نهایت سبب ایجاد تنش اکسیداتیو در گیاه می‌شوند (شوت زندبل و همکاران،۲۰۰۲).افزایش مقدار فلزات سنگین

در گیاهان سبب بروز مشکلاتی مانند، اختلال در فعالیت آنزیم‌ها، کاهش میزان متابولیسم سلولی، افت فتوسنتز، تعرق و تنفس گیاه، کاهش نیتروزن و فسفر و در نهایت محدود شدن رشد گیاه، تسریع پیری و حتی سبب مرگ گیاه می‌شود (کانتی،۲۰۰۶؛ پاندی و شارما،۲۰۰۲). همچنین اثر سرب در اختلال در فتوسنتزسبب عقب ماندگی رشد در گیاه می‌شود (ایسلام و همکاران، ۲۰۰۸). تاخیر در جوانه‌زنی ممکن است به سبب مداخله سرب با آنزیم‌های پروتئاز و آمیلاز حاصل گردد (سنگارو همکاران، ۲۰۰۹). ریشه‌ها به فلز سرب حساس‌تر از ساقه‌ها می‌باشند و تجمع این فلز رشد ریشه را از طریق محدود کردن تقسیم سلولی و کشیدگی سلول‌ها کاهش می‌دهد (فودور و همکاران، ۱۹۹۶). مسمومیت در ریشه‌ها سبب تولید ریشه‌های کوتاه، کج، متورم وچوبی و تولید ریشه‌های ثانویه می‌شود (کوپتیک و همکاران، ۲۰۰۷). در غلظت‌های بالای آلودگی به سرب سبب بروز علائمی همچون کوچک و شکننده شدن، مهار رشد و تشکیل حواشی سیاه رنگ در اطراف برگ‌ها می‌گردد (گوپتا و همکاران، ۲۰۰۹). اختلال در فتوسنتز یک علامت مشخص در مسمومیت با فلز سرب می‌باشد (سنکسی و همکاران،۲۰۱۰). اثرات غیر مستقیم این آلودگی شامل انسداد سیستم انتقال الکترون (کوفی و همکاران، ۲۰۰۹)مهار سنتز پلاستوکوئینون و کارتنوئیدها (سنکسی و همکاران،۲۰۱۰)کاهش غلظت گاز کربنیک در گیاه از طریق بستن روزنه‌ها (رومانوسکا و همکاران،۲۰۰۸)اختلال در جذب عناصر ضروری مانند منگنز و آهن و جایگزینی سرب با کاتیون‌های دو ظرفیتی (سنکسی و همکاران،۲۰۱۰) و در نهایت مهار چرخه کالوین و افزایش فعالیت کلروفیلاز (لیو و همکاران، ۲۰۰۸) را شاهد خواهیم بود.نیکل، سرب ، جیوه و آرسنیک قادر به تشکیل پیوندهای بیوژنیک با عناصر مختلف در محیط مثل کربن، سبب تشکیل کمپلکس‌های متیل‌دار می گردند (احمد و همکاران، ۲۰۰۵).

۲-۳- تاثیر عناصر سنگین بر صفات مورفولوژیکی

هو و همکاران (۲۰۱۲) در پژوهش صورت گرفته بر گیاه سلمه‌تره و در خاک‌های آلوده به عنصر سرب انجام داده بودند دریافتند که افزایش محتوای سرب خاک سبب کاهش طول ریشه و اندام هوایی در گیاه شد. دسوزکاستا و همکاران (۲۰۱۲)در مطالعه صورت گرفته در گیاه کرچک و در محیط‌های آلوده به فلزات سنگین گزارش کردند که با افزایش سطح سرب خاک تا سطح ۹۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک، در میزان وزن خشک اندام هوایی و ریشه گیاه تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد و درحالیکه با افزایش میزان کادمیم باعث کاهش بیوماس اندام هوایی و ریشه‌ی گیاه شد. سوکساوات و همکاران (۲۰۱۳) در مطالعه بر گیاه *Chara aculeate* و در خاک آلوده به فلزات سنگین شاهد بودند که میزان نرخ نسبی رشد در این گیاه رابطه عکس با محتوای عناصر سرب و روی در خاک دارد و هم‌زمان با افزایش محتوای این عناصر از میزان این صفت در گیاه کاسته شد. مارکزگارسیا و همکاران (۲۰۱۳) در پژوهشی به منظور بررسی صفت جوانه‌زنی در گونه گیاهی *Atriplex halimus* و در حضور آلودگی خاک با عناصر نیکل، مس و روی شاهد کاهش طول ریشه و هیپوکوتیل در این گیاه شده ولی در میزان طول لپه این گیاهان در سطوح مختلف آلودگی تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده نشد. عمویی و همکاران (۱۳۹۱) در بررسی شرایط بهینه عملیاتی در گیاه پالایی خاک‌های آلوده به سرب ، کادمیم توسط گیاهان بومی ایران گیاهان تاج خروس وحشی و ذرت مورد استفاده قرار گرفت که با توجه به افزایش جذب و تجمع سرب و کادمیم در گیاهان رشد یافته در خاک‌های اسیدی و قلیایی و میزان بیوماس گیاهان ذرت و تاج خروس رشد مناسبی مشاهده شد.

۲-۴-تاثیر عناصر سنگین بر صفات کیفی

هو و همکاران (۲۰۱۲) در یک بررسی که بر روی گیاه سلمه تره صورت پذیرفت دریافت که میزان رنگیزه فتوسنتزی این گیاه رابطه عکس با محتوای سرب خاک داشت و کلروفیلb بیشترین حساسیت را در بین رنگیزه‌های فتوسنتزی نسبت به آلاینده از خود نشان داد. ژو و کیو

(۲۰۰۵) در پژوهش‌های انجام داده مشاهده کردند آثار سمیت عناصر سرب و کادمیم بر روی گیاهان به صورت کلروز برگی، کاهش سطح برگ، رنگ پریدگی و بروز نقاط قهوه‌ای رنگ در برگ ظاهر شد. ریبودسوزا و همکاران (۲۰۱۲) در بررسی بر گونه گیاهی *Schizolobium parahyba* در سطوح مختلف آلاینده سرب انجام داده بودند گزارش دادند که این عنصر سبب کاهش محتوای کلروفیل این گونه گیاهی شد. گائو و همکاران (۲۰۱۲) با توجه به پژوهش انجام شده بر روی گیاه تاج‌ریزی بر محیط آلوده به سرب و کادمیم شاهد رابطه مستقیم آنزیم‌های تنظیم کننده تنش با محتوای آلاینده‌ها در خاک بودندکه علت آن نیز نقش مقاوم‌سازی این آنزیم ها در مقابل تنش بود.

۲-۵- بررسی پتانسیل گیاه پالایی در گیاهان مختلف

محمود و همکاران (۲۰۱۳) با مطالعه‌ای که بر روی کاهو و در زمین‌های آلوده به کادمیم صورت پذیرفت مشاهده نمود که با افزایش میزان آلایندگی عناصر در خاک با افزایش میزان جذب توسط گیاه همراه بود. دسوزاکاستا و همکاران (۲۰۱۲) با مطالعه صورت گرفته بر گیاه کرچک و در محیط‌های آلوده به عناصر سرب و کادمیم گزارش نمودند که با افزایش سطوح آلودگی به این عناصر بر میزان تجمع این عناصر در بافت‌های هوایی و ریشه گیاهان افزوده شد.

سوکساوات و همکاران (۲۰۱۳) در مطالعه بر گونه *Chara aculeate* و در خاک‌های آلوده به عناصر سنگین شامل سرب، کادمیم و روی مشاهده نمودند که محتوای این عناصر در بافت‌های گیاهی رابطه مستقیمی با حضور این عناصر در خاک داشت و با افزایش میزان این آلاینده‌ها در خاک بر میزان غلظت آنها در بافت‌های گیاهی افزوده شد. هرناندزاورتگا و همکاران (۲۰۱۲) با بررسی صورت گرفته بر روی گونه گیاهی *Melilotus albus* و در خاک‌های آلوده به هیدروکربن‌های نفتی انجام داده بودند دریافتند که با افزایش سطح آلودگی در این خاک‌ها از محتوای عناصر کلسیم، روی و آهن در گیاه کاسته شد.

پارسادوست و همکاران(۱۳۸۶) با بررسی اثر گیاه پالایی عنصر سرب توسط گیاهان مرتعی و بومی خاک‌های آلوده منطقه ایران کوه (اصفهان) مشاهده گردید که گونه‌های گیاهی *Ebenusestellata*، *Astragalusglaucantus* و *Acantuolimon sp* به ترتیب بیشترین غلظت سرب در اندام هوایی و افزایش ضریب انتقال زیرزمینی به اندام هوایی را دارا بودند در نتیجه این گیاهان برای پالایش خاک‌های آلوده به عنصر سرب توصیه می‌گردند.

فتاحی کیا سری و همکاران(۱۳۸۹) در بررسی اثر اسید سولفوریک و EDTA بر گیاه پالایی سرب در خاک توسط سه گیاه آفتابگردان، ذرت و پنبه مشاهده شد که در بین سه گیاه مذکور گیاه ذرت دارای توان گیاه پالایی بیشتری نسبت به دو گیاه دیگر در جذب و انتقال سرب بوده است.

فرزانگان و همکاران(۱۳۹۰) در بررسی تاثیر مواد اصلاحی گوگرد و اسید سیتریک در گیاه جذبی کادمیم و سرب از یک خاک آلوده توسط گیاهان سورگوم و کلزا نتایج تجزیه گیاهی نشان داد که بهترین تیمار مواد اصلاحی در انتقال عناصر از ریشه به اندام هوایی توسط گیاه برای هر دو گونه تحت بررسی گوگرد با مایع تلقیح بوده و گیاه کلزا پتانسیل بیشتری برای جذب سرب و کادمیم نسبت به سورگوم دارا بوده است.

اکبرپور سراسکارود و همکاران (۱۳۹۱) در بررسی گیاه پالایی خاک‌های آلوده به برخی فلزات سنگین(روی و سرب) به وسیله چند گیاه بومی قدومه کوهی، تاج‌خروس وحشی و علف مرغ در منطقه ارسباران نتایج نشان داد که بالاترین غلظت روی در اندام هوایی گیاه علف مرغ و بیشترین غلظت سرب در اندام زیر زمینی گیاه تاج‌خروس وحشی مشاهده شد.

عمویی و همکاران (۱۳۹۱) در بررسی شرایط بهینه عملیاتی گیاه پالایی خاک‌های آلوده به سرب و کادمیم توسط گیاهان ذرت و تاج‌خروس وحشی نشان داد با توجه به افزایش میزان جذب و تجمع سرب و کادمیم در گیاهان رشد یافته در خاک‌های اسیدی و قلیایی و میزان بیوماس گیاهی ذرت و تاج‌خروس وحشی، کاربرد این دسته از گیاهان به منظور پالایش خاک‌های آلوده به فلزات سنگین در

مناطق مختلف کشور مناسب می‌باشد و کاربرد گیاه تاج‌خروس برای امر گیاه پالایی عنصر سرب مناسب‌تر است.

۲-۶- تاثیر کلات کننده‌ها در گیاه پالایی

شیورن و همکاران (۲۰۱۱) در پژوهش انجام داده مشاهده نمودند که دیواره سلول‌های آوند چوبی به دلیل داشتن ظرفیت تبادل کاتیونی بالا سبب تاخیر در حرکت کاتیون‌های فلزی به سمت بافت‌های هوایی گیاه می‌شوند. کایسر و همکاران (۲۰۰۰) افزودن آمینوپلی‌کربوکسیلیک اسیدها به خاک در برهه‌ای از رشد که گیاهان در حداکثر رشد (مرحله پایانی) باشند صورت می‌گیرد. در این مرحله به دلیل تعرق بالای گیاه، مقدار قابل توجهی از کمپلکس‌های فلزی طی جریان توده‌ای از سمت ریشه گیاه حرکت نموده و به شاخساره انتقال می‌یابند. وجود پیوندهای آلی- فلزی در ترکیب کلات و فلز سبب می‌شود که فلزات کمتر در معرض کلوئیدها، هیدروکسیدها واکسیدها قرار گرفته در نتیجه کمتر در خاک رسوب یا تثبیت شوند. از طرفی این ترکیبات توسط ریشه گیاهان قابل جذب بوده و می‌توانند با تبدیل فلزات از فاز جامد و غیر محلول به فازهای تبادلی، جذب آن ها را توسط گیاهان افزایش دهند (فتاحی و همکاران، ۱۳۸۹).

EDTA با فرم آزاد سبب نابودی موانع فیزیولوژیکی موجود در ریشه از طریق حذف کاتیون‌های Fe^{2+} و Ca^{2+} می‌شود که نقش مهمی در خاصیت انتخاب‌پذیری غشای پلاسمای سلول‌های ریشه دارند (نواک و همکاران، ۲۰۰۶). به نظر می‌رسد که مولکول‌های EDTA می‌توانند سلول‌های جدار ریشه و یا ناقلین عناصر را که در روی سلول‌های جدار ریشه قرار دارند تخریب کرده و همراه فلزی که آن را کلاته کرده‌اند به راحتی از این سلول‌ها عبور کنند (لو و همکاران، ۲۰۰۶). در یک بررسی که بر روی گیاه ذرت و در خاک‌های آلوده به سرب صورت گرفت، مشاهده شد که استفاده از کلات EDTA سبب کاهش میزان طول ریشه و اندام هوایی در این گیاه شد (هادی و همکاران، ۲۰۱۰). در تحقیقی که به منظور بررسی نقش عوامل کلات کننده در پاکسازی محیط آلوده به اورانیوم صورت گرفت، گزارش

شد که استفاده از این عوامل در دزهای بالا سبب کاهش میزان وزن تر و خشک و همچنین ارتفاع گیاه شدند (جاگیتا و شارما،۲۰۱۳). در تحقیق صورت گرفته توسط سودوا و همکاران (۲۰۰۷) بر روی گیاه توتون و در شرایط خاکی آلوده به سرب انجام داده بودند، مشاهده کردند که با افزایش سطح مصرف کلات EDDS[1] در خاک، از میزان بیوماس خشک اندام‌های هوایی و زیرین گیاه کاسته شد. درآزمایشی دیگر که به منظور بررسی نقش کلات EDDS در گیاه پالایی خاک‌های آلوده به سرب صورت گرفت، مشاهده شد که در حضور و یا عدم حضور کلات و با افزایش سطح آلودگی خاک از میزان بیوماس خشک بافت‌هایی گیاه و به خصوص از بیوماس ریشه کاسته شد و این در صورتی بود که در گیاهان تیمار شده با کلات این کاهش عملکرد محسوس تر بود (ئانگ و همکاران، ۲۰۰۹).

در تحقیقی که به منظور بررسی تاثیر کلات EDTA بر روی گیاه ذرت و در زمین‌های آلوده به آرسنیک صورت گرفت، مشاهده شد که در صورت استفاده از این کلات از میزان ارتفاع کل، ارتفاع ساقه و وزن خشک اندام‌های هوایی و ریشه گیاه کاسته شد (عباس و ابوالحافظ، ۲۰۱۳). نیوشواتنز و همکاران (۲۰۰۸) در یک مطالعه دو وجهی گلدانی و مزرعه‌ای که بر روی گیاه ذرت و در خاک‌های آلوده به عناصر سرب و کادمیم انجام داده بودند، مشاهده کردند که میزان بیوماس این گیاه رابطه عکس با محتوای EDTA در خاک داشته

و همزمان با افزایش میزان مصرف این کلات در خاک از میزان بیوماس گیاه کاسته شد. در غلظت‌های بالای سرب و آمینوپلی‌کربوکسیلیک اسید، علائم سمیت این فلز به صورت خشکیدگی، نکروز و پیچیدگی حاشیه برگ‌ها مشاهده می‌شود. این علائم به دلیل جذب سریع کمپلکس‌های سرب و فرم آزاد EDTA در شاخساره و اختلال در فتوسنتز و کلروفیل‌سازی برگ روی می‌دهد (ناواری ایزو و کوارتاکسی، ۲۰۰۱).سس و همکاران (۲۰۱۱) در پژوهشی که به منظور بررسی تاثیر کلات EDTA با دزهای مشخص بر روی گیاه آفتابگردان و در محیط آلوده به سرب انجام داده بودند، گزارش کردند که

1-*Ethylene Diamin Dissuccinate*

اثرات متقابل سرب و کلات بر محتوای پروتئین گیاه معنی‌دار بوده و کمترین میزان آن در بالاترین سطح سرب و عدم مصرف کلات به دست آمده است. جاگیتما و شارما (۲۰۱۳) در تحقیقی که به منظور بررسی نقش عامل کلات کننده EDTA در محیط آلوده به اورانیوم و بر روی گیاه خردل هندی[1]انجام داده بودند دریافتند که با افزایش میزان مصرف این کلات در محیط از میزان شاخص تحمل این گیاه کاسته شد. در آزمایشی که به منظور بررسی نقش کلات EDTA در گیاه ذرت و در زمین‌های آلوده به آرسنیک صورت گرفت مشاهده شد که محتوای رنگیزه فتوسنتزی این گیاه رابطه عکس با مصرف کلات در خاک داشت (عباس و ابوالحافظ، ۲۰۱۳).

در پژوهش صورت گرفته در دو گیاه سورگوم و ذرت سطح جذب عامل سرب در تمام سطوحی که از عامل کلات کننده EDTA استفاده نمودند بالاتر از سطح شاهد گردید همچنین استفاده از کلات EDTA مخصوصا در سطح ۱۰ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک، سبب افزایش فاکتور پالایش و ضریب تغلیظ زیستی در هر دو گیاه و فاکتور انتقال سرب در گیاه ذرت شد(مجاهدی و همکاران،۱۳۹۲).

۱-۲-۶-نقش کلات‌ها در فراهمی عناصر سنگین در گیاهان

محمود و همکاران (۲۰۱۳) در پژوهشی که به منظور بررسی تاثیر کلات DTPA بر روی گیاه کاهو و در زمین‌های آلوده به کادمیم انجام داده بودند، گزارش دادند که در حضور و یا عم حضور کلات در خاک با افزایش سطح آلودگی کادمیم، بر میزان غلظت این فلز در گیاه افزوده شد در حالی که در صورت استفاده از این کلات در تمامی سطوح آلاینده، تجمع این آلاینده در گیاه شدت گرفت. عباس و ابوالحافظ (۲۰۱۳) در آزمایشی که در محیط آلوده به فلز آرسنیک انجام داده بودند، گزارش دادند که میزان غلظت این فلز در ریشه و بافت‌های هوایی گیاه رابطه مستقیم با مصرف کلات در خاک داشت. همچنین اعمال کلات در این خاک‌ها سبب افزایش معنی‌دار شاخص انتقال شد.

1-*Brassica juncea*

جاگیتما و شارما (۲۰۱۳) در پژوهشی که به منظور بررسی نقش عوامل کلات کننده در پاکسازی محیط آلوده به اورانیوم انجام داده بودند، مشاهده کردند که با افزایش مصرف کلات در محیط، بر محتوای این عنصر در بافت‌های هوایی و ریشه خردل هندی افزوده شد. ژائو و همکاران (۲۰۱۰) در آزمایشات خود دریافتند که استفاده از کلات EDTA سبب افزایش معنی‌دار میزان جذب عناصر سرب، مس و کادمیم در اندام‌های هوایی ذرت شده و از سوی دیگر، استفاده از این عامل سبب تشدید انتقال سرب از مسیر سیمپلاستی نسبت به مسیرهای غیر سیمپلاستی شد. در آزمایشی که به منظور بررسی نقش عامل کلات کننده EDTA بر روی گونه *Cynara cardunculus* و در خاک‌های آلوده به سرب صورت گرفت مشاهده شد که با اعمال این عامل در خاک، میزان فاکتور انتقال سرب در گیاه افزایش یافت (اپلد و همکاران، ۲۰۰۸). در پژوهشی که نیوشواتنر و همکاران (۲۰۰۸) بر روی گیاه سورگوم انجام داده بودند، گزارش کردند که میزان تجمع فلز سرب در این گیاه رابطه مستقیم با مصرف کلات EDTA در خاک‌های آلوده داشت. هسو و همکاران (۲۰۱۳) در مطالعه‌ای که بر روی گونه گیاهی *Ipomoea aquatic* و در آب‌های آلوده انجام دادند، عنوان کردند که با مصرف کلات EDDS، میزان غلظت و جذب کادمیم در اندام‌های هوایی گیاه را به صورت معنی‌داری افزایش یافت.

۲-۲-۶-نقش اسید سیتریک در فراهمی عناصر سنگین در گیاهان

اشمیت (۱۹۹۶) به تاثیر مثبت مواد اصلاحی در کاهش pH خاک و در نتیجه افزایش تحرک فلزات سنگین پرداخته است.سیف الله و همکاران (۲۰۰۸) اعمال تیمار کلات به خاک مقدار pH خاک را به طور معنی‌داری کاهش داد. طبق اظهار نظر نسیمنتو و همکاران (۲۰۰۶) کلات‌های مصنوعی و اسید سیتریک از متداول‌ترین مواد اصلا حی هستند که در فرآیند گیاه جذبی به کمک مواد شیمیایی استفاده می‌شوند چنین موادی قادر به تشکیل کمپلکس با یون‌های فلزی هستند. بنابراین قابلیت زیست فراهمی را در خاک‌ها تحت تاثیر قرار می‌دهند. مواد اسیدزا با تولید یون هیدروژن می‌توانند سبب کاهش pH خاک و در نتیجه افزایش تحرک فلزات سنگین شوند

(اشمیت،۱۹۹۶) در مطالعه لین (۱۹۹۶) اسید سیتریک توانست سمیت سرب را در برنج بکاهد و جذب آن را توسط ریشه‌ها کاهش دهد. بنا به نظر محققین (۲۰۰۳) این نتایج نشان می‌دهند که اثر اسید سیتریک روی گیاه پالایی کادمیم و سرب اساسا به علت افزایش تحرک ایجاد شده در نتیجه کاهش pH است. در مطالعه صورت گرفته بر آلاینده کادمیم، اسید سیتریک در هر دو سطح مصرف آلاینده موجب کاهش معنی‌دار جذب کادمیم توسط گیاه شده و با توجه به برهمکنش موجود بین سرب و کادمیم در جذب، میزان جذب سرب افزایش یافته است (فرزانگان و همکاران،۱۳۹۰).دایکونو همکاران (۲۰۰۹) اعمال تیمار اسید سیتریک به مقدار ۵ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک نتوانست جذب سرب و کادمیم را در گیاه خردل هندی و علف چاودار بطور معنی‌داری افزایش دهد.

کوارتاسی و همکاران (۲۰۰۶)بیان کردند که هیچ افزایش عملکردی در جذب کادمیم و سرب توسط گیاه خردل هندی بعد از اعمال اسید سیتریک به میزان ۵ میلی‌مول بر کیلوگرم نشان نداد. از طرفی نیمنئو و همکاران (۲۰۰۶) گزارش کردند که اسید سیتریک حذف کادمیم را از خاک‌های آلوده به چند فلز توسط گیاه خردل هندی افزایش داد. بر اساس گزارش چن و همکاران (۲۰۰۳) اعمال تیمار اسید سیتریک در سطوح ۱ و ۳ میلی‌مول بر لیتر به خاک، در حالیکه مقدار جذب و سمیت کادمیم را توسط گیاه تربچه کاهش داد اما انتقال کادمیم را از ریشه به اندام هوایی افزایش داد. در تحقیق محمد و همکاران (۲۰۰۹) تیمار اسید سیتریک در مقادیر ۵ و ۱۰ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک میزان فاکتور انتقال کادمیم را بطور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش داد در حالیکه برای سرب هیچ اثر معنی‌داری نشان نداد.

فصل سوم

مواد و روش‌ها

۳-۱- زمان و محل اجرای آزمایش:

این آزمایش در سال ۱۳۹۳-۱۳۹۴ در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهرود و در منطقه بسطام اجرا گردید .

۳-۲- مشخصات مکانی گلخانه و نوع خاک آزمایش :

گلخانه تحقیقاتی در شهرستان شاهرود و در عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۵ دقیقه شرقی و طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۵۷ دقیقه شمالی از نصف النهار گرینویچ واقع شده است (جدول ۳-۱). قبل از انجام عملیات آماده سازی گلدان ها و اجرای طرح آزمایش ، به منظور تعیین بافت و وضعیت عناصر غذایی خاک از جمله نیتروژن، فسفر و پتاسیم از نقاط مختلف مزرعه از عمق ۳۰ سانتی‌متری خاک نمونه برداری شد و پس از ترکیب نمونه‌های خاک ، یک نمونه مرکب یک کیلوگرمی را که دربرگیرنده‌ی تمامی خصوصیات خاک بود جهت تجزیه به آزمایشگاه انتقال دادیم. نتایج تجزیه شیمیایی و فیزیکی خاک در جدول ۳-۱ نشان داده شده است، ضمناً با توجه به تجزیه‌ی فیزیکی و درصد هر یک از اجزای خاک، بافت خاک از نوع لومی تعیین گردید.

جدول (۳-۱) تجزیه شیمیایی و فیزیکی خاک مزرعه

عوامل مورد تجزیه	نتیجه آزمون
قابلیت هدایت الکتریکی(ds/m)	۰/۷۱
اسیدیته خاک(pH)	۷/۹۱
درصد کربن آلی(٪)	۰/۱۹
کلسیم قابل جذب(meq/l)	۶۳
نیتروژن قابل جذب(ppm)	۰/۰۴
فسفر قابل جذب(ppm)	۱۴/۲

پتاسیم قابل جذب(ppm)	**۲۵۴/۷**
سرب قابل جذب(ppm)	**۸/۴**

۳-۳- عملیات اجرایی

۳-۳-۱-آماده سازی خاک گلدان‌ها

ابتدا خاک مورد نیاز برای اجرای آزمایش را از مزرعه دانشکده کشاورزی بسطام (متناسب با شرایط طبیعی منطقه) از عمق ۳۰ سانتی‌متری سطح زمین برداشت کرده و پس از الک ۲ سانتی‌متر همگن کردن اندازه خاک دانه‌ها ، عنصر سرب را در غلظت‌های صفر ،۱۰۰،۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک، از منبع نیترات سرب به روش افشانه بر روی لایه‌های نازک خاک به ضخامت ۰/۵ سانتی‌متری افزوده شد سپس خاک را وارد گلدان‌هایی به قطر ۲۲ و ارتفاع ۱۸ سانتی‌متر کرده، گلدان‌ها به مدت ۴۰ روز در رطوبت ظرفیت زراعی و شدت نوری ۱۱ کیلولوکس قرار داده شدتا دوره انکوباسیون آنها سپری شود .در طی این مدت به منظور حفظ رطوبت گلدان‌ها در حد ظرفیت مزرعه (FC)، گلدان‌ها به صورت مرتب هر دو روز یکبار آبیاری شدند به منظور تامین نیتروژن مورد نیاز گیاهان در دوره رشد ، مقدار ۲۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک ازت به خاک افزوده شد.

۳-۳-۲-نوع و قالب طرح آزمایشی

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در۴ تکرار اجرا گردید (نقشه اجرای طرح و ترکیب‌های تیماری به ترتیب در جداول ۳-۲) هر بلوک شامل ۱۲ گلدان بوده که با احتساب۴ تکرار در هر گیاه تعداد گلدان‌ها به ۴۸ عدد رسید. فاکتورهای مورد بررسی عبارتند از :

۱- سرب(A)در سه سطح a_1،a_2 وa_3 به ترتیب شامل (۰) شاهد،۱۰۰ و ۲۰۰ (میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک)

۲- کلات EDTA(B) در دو سطح b_1، b_2 به ترتیب شامل (۰) شاهد ، ۵ (میلی‌مول بر کیلوگرم خاک)

۳- اسید سیتریک محلول (C) در دو سطح مصرف و عدم مصرف c_1 و c_2 که به ترتیب شامل (۰) شاهد و ۱ (گرم بر کیلوگرم خاک).

جدول (۳-۲) نقشه اجرای طرح

تکرار اول	a2 b1 c2	a3 b1 c2	a3 b2 c2	a2 b2 c2	a1 b2 c2	a2 b1 c1	a3 b1 c1	a3 b2 c1	a2 b2 c1	a1 b1 c1	a1 b2 c1	a1 b1 c2
تکرار دوم	a1 b1 c2	a1 b2 c2	a2 b2 c1	a3 b1 c1	a1 b2 c1	a2 b2 c2	a3 b2 c1	a1 b1 c1	a3 b1 c2	a2 b1 c1	a3 b2 c2	a2 b1 c2
تکرار سوم	a2 b2 c2	a2 b1 c2	a3 b1 c2	a2 b2 c1	a3 b1 c1	a1 b2 c1	a2 b1 c1	a3 b2 c2	a3 b2 c1	a1 b2 c1	a1 b1 c2	a1 b1 c1
تکرار چهار	a3 b1 c2	a3 b1 c1	a2 b1 c2	a2 b1 c1	a2 b2 c2	a2 b2 c1	a1 b2 c2	a1 b1 c2	a3 b2 c2	a3 b2 c1	a1 b1 c1	a1 b2 c1

۳-۳-۳- آماده‌سازی گلدان‌ها

پس از تهیه بذور سورگوم ، آفتابگردان و تاج خروس زینتی از موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج ، بذور هم اندازه جدا و به منظور پرایمینگ برای مدت ۲۴ ساعت در داخل آب مقطر قرار داده شدند . برای کشت بذور در هر گلدان ۳ حفره ایجاد شد، سپس ۹ عدد بذر آفتابگردان ، ۱۵ عدد بذر سورگوم و در نهایت ۲۰ عدد بذر تاج خروس در گلدان‌های جداگانه کشت گردیدند.

۳-۳-۴-عملیات داشت

الف- آبیاری: در طی مراحل داشت، مقدار رطوبت گلدان ها در حد رطوبت ظرفیت زراعی ثابت نگه داشته شد و به منظور تامین رطوبت مورد نیاز برای گیاهان در بازه ی زمانی ۳۶ ساعت اقدام به آبیاری گلدان‌ها گردید.

ب- تنک کردن : پس از سبز شدن بذور تعداد گیاهچه‌های موجود در هر گلدان در گیاه سورگوم و گیاه تاج خروس به سه گیاهچه و در گیاه آفتابگردان به یک عدد کاهش یافت و بذور مازاد سبز شده در گلدان‌ها برای عدم ایجاد خطا در اندازگیری‌های بعدی مانند وزن ریشه‌ها در همان مراحل ابتدایی رشد گیاهان از خاک خارج شدند.

ج-اعمال تیمارها: شش هفته پس از کاشت بذور ، کلات EDTA (با فرمول شیمیایی $C_{10}H_{18}N_2O_8$ و تهیه شده از شرکت مرک آلمان) در سطوح صفر ، ۵ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک به صورت محلول با آب مقطر بر اساس نقشه طرح ودر حدود یک هفته بعد اسید سیتریک (تهیه شده از شرکت مرک آلمان)در دو سطح مصرف و عدم مصرف با دو مقدار مشخص صفر و یک گرم بر کیلوگرم خاک به روش محلول‌پاشی عنصر به خاک افزوده شد.

د-مبارزه با علف‌های هرز: علف‌های هرز سبز شده در گلدان‌ها به منظور عدم ایجاد خطـا در طـرح، از همان ابتدا توسط دست وجین شد.

۳-۳-۵- برداشت نهایی

در پایان هفته هشتم گیاهان آفتابگردان، سوررگوم و تاج خروس از یک سانتی‌متری سطح خـاک و بـا دقت قطع شدند. برای جدا کردن ریشه‌ها از خاک پس از اشباع کردن گلدان‌ها، خاک آنها به آرامی بـا آب شسته شد و در نهایت اقدام به جداسازی ریشه‌ها از خاک اطراف ریشـه نمـودیم. ریشـه‌ها و انـدام هوایی پس از برداشت به صورت جداگانه در پاکت‌های نمونه برداری قرار داده شـدند و بـه آزمایشـگاه انتقال یافتند.

۳-۴- صفات اندازه گیری شده و روش‌های اندازه گیری

۳-۴-۱-وزن خشک ریشه و اندام هوایی

نمونه‌های منتقل شده به آزمایشگاه را به دو بخش ریشه و اندام هوایی تفکیک کرده و توسط دسـتگاه آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت خشـک نمـودیم . سـپس نمونـه‌ها بـا تـرازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین شدند . مقادیر به دست آمده برحسب گرم در هر گلدان محاسـبه شد.

۳-۴-۲-ارتفاع بوته

در هر بوته ارتفاع گیاه از سطح خاک بر حسب سانتی‌متر اندازه گیری شده و میانگین ارتفاع بوته‌ها در هر گلدان محاسبه شد.

۳-۴-۳-کلروفیل کل

به منظور اندازه‌گیری شاخص کلروفیل ، در هفته هشتم تعداد سه عدد از برگ هر گیاه را به ترتیب از قسمت‌های پایینی، میانی و فوقانی گیاه انتخاب کرده و توسط دستگاه کلروفیل سنج اسپد (Spad-502) عدد کلروفیل آن قرائت شد

۳-۴-۳-۱-اندازه گیری کلروفیل a، b و کارتنوئید

به منظور اندازه‌گیری صفت مربوطه از روش (Arnon ،۱۹۶۷) ابتدا مقدار یک گرم از برگ تر را در داخل یخ خشک به ازمایشگاه انتقال دادیم، سپس نمونه گیاهی را در استون ۸۰٪ توسط هاون رقیق نمودیم و عصاره حاصل را به فالکوم‌های ۱۵ میلی‌لیتری انتقال داده و در سانتریفوژ(Jenway 6305)به مدت ده دقیقه و در ۴۰۰۰ دور در ثانیه قرار داده شدند در نهایت پس از سپری شدن زمان مربوطه نمونه‌ها توسط دستگاه اسپکتوفتومتر در سه طول موج ۶۶۳،۶۴۵،۴۷۰ مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت با استفاده از فرمول‌های ذکر شده اقدام به اندازه‌گیری میزان کلروفیل a، b و کارتنوئید در نمونه‌های حاصل نمودیم

Chlorophyll a = (19.3 * A663 - 0.86 * A645) V/100W

Chlorophyll b = (19.3 * A645 - 3.6 * A663) V/100W

Carotenoides = 100(A470) - 3.27(mg chl. a) - 104(mg chl. b)/227

۳-۴-۴- اسیدیته و شوری خاک

به منظور بررسی تغییرات اسیدیته و شوری خاک در گلدان‌ها ، یک نمونه ۱۰۰ گرمی از خاک هر گلدان را پس از برداشت گیاهان تهیه و به روش گل اشباع در نسبت ۲:۱با آب مقطر تهیه نمودیم و در نهایت pH خاک توسط دستگاه pH متر و همچنین میزان شوری خاک توسط دستگاه EC متر مورد بررسی و قرائت گردید.

۳-۴-۵-عنصر سرب

برای اندازه‌گیری عنصر سرب از روش هضم تر تک اسیدی استفاده شد که به منظور بررسی عناصر B،Ca،Cd،K،Mg،Mn،Mo،Na،Ni،P،Pb،S،Se،Zn کارآمد می باشد صورت پذیرفت(واشوا، ۲۰۱۰). در آغاز قطعات گیاهی خشک شده (شامل اندام هوایی و ریشه گیاه) را توسط دست با استفاده از هاون خرد و یکنواخت کردیم و پس از توزین ۰/۴ گرم از نمونه‌های گیاهی ، همراه با ۶ میلی لیتر اسید نیتریک ۶۵٪ (تهیه شده از شرکت مرک آلمان) در داخل لوله‌های ۱۰۰ میلی‌لیتری دستگاه هضم قرار داده شدند . نمونه‌ها در طول یک شب به مدت تقریبی ۱۶ ساعت در آزمایشگاه قرار داده شدند .

میزان دما و زمان مورد نیاز برای انجام هضم وابسته به نوع بافت گیاهی (چوبی ، علفی) متفاوت می‌باشد و برای این آزمایش زمان و حداکثر دمای لازم به ترتیب ۶ ساعت و ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد تعیین شد . در مراحل پایانی هضم ، گاز ابر مانند سفید رنگی از لوله‌ها خارج و ۳ تا ۴ میلی‌لیتر محلول شفاف رنگ و هضم شده در انتهای لوله‌ها باقی ماند . محلول حاصله را پس از سرد شدن توسط آب مقطر ۲ بار تقطیر به حجم ۵۰ سی سی رسانده و پس از عبور آن از کاغذ صافی و نمونه‌گیری از محلول، غلظت عنصر سرب در ریشه و اندام هوایی توسط دستگاه جذب اتمی (شرکت VARIAN و مدل SPECTRAA220) در دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا اندازه گیری شد.

۳-۵- تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

برای تجزیه و تحلیل آماری داده‌های آزمایش از نرم افزارهـای SAS9.2 وMSTATC اسـتفاده شـد و برای رسم نمودارها از نرم افزارExcel بهره بردیم. کلیه مقایسات میانگین بـا آزمـون LSD و درسـطح احتمال۵٪ صورت گرفت .

۳-۴-۶-شاخص‌های گیاه پالایی

با استفاده از روابط زیر ، شاخص‌های مورد نظر در پروسه گیاه پالایی محاسبه شدند .

فرمول (۳-۱)

$$\text{شاخص تحمل(TI)}^{1} = \frac{\text{بیوماس خشک گیاهان در هر گلدان(گرم در گیاه گلدان)}}{\text{بیوماس خشک گیاهان در گلدان شاهد(گرم در گیاه گلدان)}}$$

(شی و همکاران،۲۰۱۱)

$$\text{ضریب تغلیظ زیستی (BF)}^{2} = \frac{\text{غلظت سرب گیاهان در هر گلدان (میکروگرم در گرم گیاه)}}{\text{غلظت سرب خاک در هر گلدان(میکروگرم در گرم خاک)}}$$

(تان هان و همکاران،۲۰۰۷)

$$\text{فاکتور انتقال(TF)}^{3} = \frac{\text{غلظت سرب زیست توده هوایی در هر گلدان(میکروگرم در گرم گیاه)}}{\text{غلظت سرب ریشه در هر گلدان(میکروگرم در گرم خاک)}}$$

(پادماواتیاماولی،۲۰۰۷)

1-Tolerance Index

2-Bioaccumulation Coefficient

3-Translocation Fact

فصل چهارم

نتایج و بحث

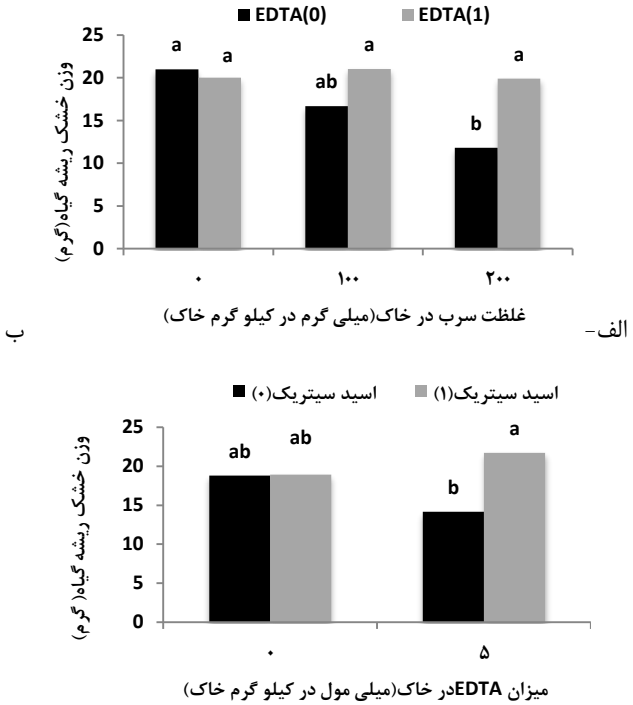
۴-۱- صفات زراعی و مورفولوژیک

۴-۱-۱- وزن خشک ریشه

الف- سورگوم

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول پیوست ۹) نشان داد، که تاثیر اثر ات اصلی سرب ($P<۰/۰۱$) و کلات EDTA بر وزن خشک ریشه سورگوم در سطح احتمال ($P<۰/۰۵$) و همچنین اثر متقابل بین سرب و کلات ($P<۰/۰۵$) و کلات و اسید سیتریک ($P<۰/۰۱$) بر وزن خشک ریشه گیاه سورگوم معنی‌دار شدند درحالی‌که سایر اثرات ساده و متقابل تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده نشد. با توجه به نتایج حاصله یر وزن خشک ریشه گیاه سورگوم، در بررسی اثر متقابل سرب و کلات EDTA بین دو تیمار سرب (۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) و EDTA (۰میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) نسبت به تیمار سرب (۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) و EDTA (۰میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده شد در حالی‌که در سایر سطوح تفاوت آماری معنی‌داری دیده نشد، کاهش حاصله در این سطح معادل ۴۴/۷۴ درصد بوده است(شکل۴-۱ الف). در بررسی اثر متقابل اسید سیتریک و EDTA دیده شد که وزن خشک ریشه در گیاه سورگوم در تیمار EDTA (۵ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) و اسید سیتریک(۱ گرم بر کیلوگرم خاک) نسبت به تیمار EDTA (۵ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) و اسید سیتریک صفر اختلاف آماری معنی‌داری داشته است درصورتی که در سایر تیمارها تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده نشد(شکل۴-۱ ب) در صفت وزن خشک ریشه گیاه سورگوم تاثیر همزمان کلات و اسید سیتریک نسبت به تاثیر اسید سیتریک به تنهایی بر این صفت مورد توجه بیشتری قرار گرفت و تیمار مناسب‌تری در این صفت تشخیص داده شد البته تفاوت‌های موجود در الگوی عادت ریشه‌زنی گرچه ارثی است ولی تا حد زیادی، به طور مستقیم و غیر مستقیم، تحت تاثیر

محیط خاک نیز می‌باشد. عوامل روی زمینی که رشد شاخ و برگ و به خصوص نقل و انتقال کربوهیدرات‌ها را متاثر می‌سازند قادرند همانند محیط (برای مثال رطوبت ، دما و میزان عناصر غذایی، مواد سمی، استحکام خاک و عوامل بیولوژیکی) اثرات مهمی را بر روی رشد ریشه اعمال کنند. در کلات‌ها با تغییراتی که در اسیدیته خاک حاصل می‌نمایند قادر به تغییر در قدرت رشد ریشه‌ها دارند به طوری که برای مثال در PH کمتر از ۶ قابلیت انحلال آلمینیوم، منگنز و آهن خاک را، که می‌توانند سمی بوده و رشد را محدود کنند، افزایش می‌دهد. کلات‌ها توسط ریشه گیاهان قابل جذب بوده و می‌توانند فلزات را از فاز جامد و غیر محلول به فازهای تبادلی تغییر داده و در نهایت میزان جذب فلزات توسط گیاهان را افزایش می‌دهند. استفاده از عامل کلات کننده EDTA در غلظت ۵ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک، سبب تحریک بالای سرب در خاک شده و میزان غلظت آنرا در ریشه افزایش می‌دهد در نهایت باعث کاهش وزن ریشه در گیاه می‌شود در تحقیق صورت گرفته بر روی گیاه ذرت و در خاک‌های آلوده به سرب مشاهده شد که استفاده از عامل کلات‌کننده در خاک سبب تشدید تجمع سرب در ریشه این گیاه شد(هادی و همکاران، ۲۰۱۰). EDTA با فرم آزاد سبب نابودی موانع فیزیولوژیکی موجود در ریشه از طریق حذف کاتیون‌های Fe^{2+} وCa^{2+} می‌شود که نقش مهمی در خاصیت انتخاب‌پذیری غشای پلاسمای سلول‌های ریشه دارند (نواک و همکاران، ۲۰۰۶).

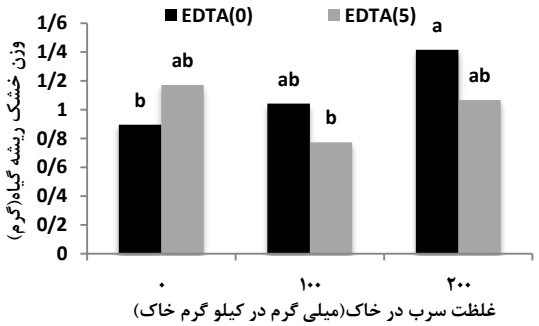


شکل(۴-۱) الف- تاثیر بر همکنش سرب و کلات بر وزن خشک ریشه گیاه سورگوم ب- تاثیر کلات EDTA و اسید سیتریک بر وزن خشک ریشه گیاه سورگوم

ب- تاج خروس

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها(جدول پیوست۹) نشان داد که اثرات اصلی سرب ($P<۰/۰۵$)و همچنین اثرات متقابل کلات EDTA و سرب ($P<۰/۰۵$) بر میزان وزن خشک ریشه تاج خروس معنی‌دار شد درحالی‌که سایر اثرات در هیچ یک از سطوح آماری معنی‌دار نشدند. در گیاه تاج‌خروس با بررسی صفت وزن خشک ریشه گیاه و اثرمتقابل سرب و کلات EDTA بر وزن خشک ریشه مشخص شد بین دو تیمار سرب (۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و EDTA صفر نسبت به تیمار سرب (۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)و کلات EDTA(۰میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده شد همچنین بین تیمارهای سرب (۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و EDTA صفر نسبت به تیمار سرب (۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)و کلات EDTA(۵میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده شد. در صورتی‌که در سایر تیمارها تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده نگردید. وجود

یون‌های آزاد کلات کننده در گیاه به دلیل عدم یکنواختی در جذب مواد معدنی سبب بروز سمیت در گیاه شده که در نهایت منجر به تخریب متابولیسم سلول‌ها و عدم پایداری در غشای پلاسمایی می‌شود (توماس رولی و همکاران،۲۰۰۴). البته مسمومیت در ریشه سبب ایجاد ریشه‌های کوتاه، کج، متورم و کنده مانند می‌گردد که دلیل آن می‌تواند ناشی از کاهش تولید ریشه‌های ثانویه در گیاه باشد (کوپتیک و همکاران، ۲۰۰۷). طبق بررسی‌های صورت گرفته ریشه‌ها به تنش سرب حساس‌تر از بخش هوایی گیاهان می‌باشند و فلز سرب رشد ریشه را از طریق محدود کردن تقسیم سلولی و کشیدگی سلول‌ها کاهش می‌دهد (فودور و همکاران،۱۹۹۶).



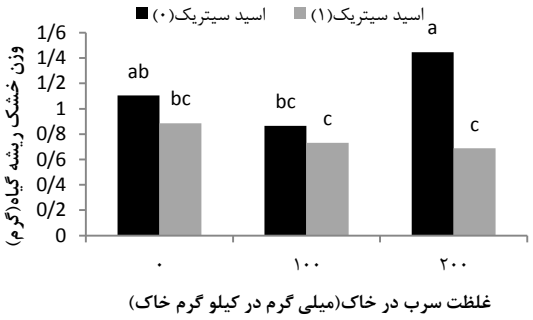
شکل (۴-۲) تاثیر بر همکنش سرب و کلات بر وزن خشک ریشه گیاه تاج‌خروس

ج- آفتابگردان

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول پیوست۹) نشان داد که اثرات اصلی سرب ($P<۰/۰۱$) و اسید سیتریک ($P<۰/۰۱$) و همچنین اثر متقابل بین سرب و اسید سیتریک در سطح احتمال ($P<۰/۰۱$) بر میزان وزن خشک ریشه گیاه آفتابگردان معنی‌دار شد، در حالی‌که سایر فاکتورها و اثرت متقابل تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده نشد. در بررسی وزن خشک ریشه گیاه آفتابگردان اثر متقابل سرب و اسید سیتریک بین تیمارهای سرب(۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) و اسید سیتریک(صفر) و هچنین تیمار سرب(۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک)و اسید سیتریک (۱ گرم بر کیلوگرم خاک)تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده شد همچنین بین تیمار سرب(۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) و اسید

سیتریک(صفر) و همچنین تیمار سرب(۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک)و اسید سیتریک (۱ گرم بر کیلوگرم خاک) نیز تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده شد (شکل ۴-۳)، در حالی‌که در سایر تیمارها تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده نگردید گاهی کلات و مصرف آن باعث تخریب و آسیب به غشای سلول‌های ریشه می‌شود و در نهایت سبب کاهش بیوماس این اندام‌ها می‌شوند.

تجمع فلزات سنگین در گیاه سبب بروز علائمی ظاهری در گیاه و همچنین قادر به تاثیرگذاری بر صفات فیزیولوژیکی گیاه می‌باشد این عناصر در گیاه می‌توانند سبب بروز اختلال در فعالیت‌های آنزیم‌ها، کاهش میزان متابولیسم سلولی، کاهش فتوسنتز، افت تعرق، فقدان نیتروژن و فسفر و در نتیجه محدود شدن رشد، تسریع پیری و حتی مرگ گیاه شود (پاندی و شارما،۲۰۰۲). فرآیند جذب عناصر سنگین در گیاهان از سلول‌های ریشه آغاز شده و این سلول‌ها اولین و اصلی‌ترین نقطه در فرآیند گیاه جذبی می‌باشند (ایکن،۲۰۰۸). در مطالعه بر پتانسیل گیاه پالایی چند گونه گیاهی شامل *Schizolobium parahyba* و *Erythrina speciosa* صورت پذیرفت شاهد کاهش وزن خشک ریشه‌ی گیاهان با افزایش میزان سطح سرب تا مقدار ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک محیط بودیم (ریبرودسوزا و همکاران، ۲۰۱۲). سان و همکاران (۲۰۰۹) در مطالعه‌ای که بر گیاه گل ناز و در خاک‌های آلوده به پسماندهای صنعتی صورت پذیرفت شاهد کاهش میزان وزن خشک ریشه گیاه با کاربرد کلات بودند. کلات‌هایی مانند EDTA و EDDS و غیره در غلظت‌های آستانه ۵ میلی‌مول و افزایش غشای سلول‌های ریشه را که در شرایط طبیعی جذب و انتقال نمک‌ها را به عهده دارند تخریب کرده و سبب آسیب به این اندام‌ها و کاهش بیوماس آن می‌شوند(واسیل و همکاران،۱۹۹۸).ریشه‌ها حساس‌ترین قسمت در گیاهان محسوب می‌شوند و فلز سرب رشد ریشه را از طریق محدود کردن تقسیم سلولی و کشیدگی سلول‌ها کاهش می‌دهد(فودور و همکاران، ۱۹۹۶) . همچنین با تحقیق صورت گرفته بر چند گونه گیاهی و محیط آلوده به سرب مشاهده شد که افزایش فلز باعث کاهش حجم ریشه در گیاه می‌شود (دسوزا و همکاران، ۲۰۱۲).

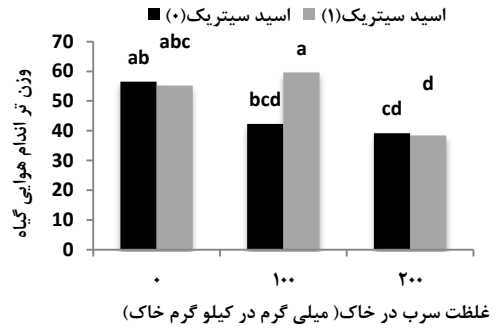


شکل (۴-۳) تاثیر بر همکنش سرب و اسید سیتریک بر وزن خشک ریشه گیاه آفتابگردان

۴-۱-۲- وزن تر اندام هوایی

الف- سورگوم

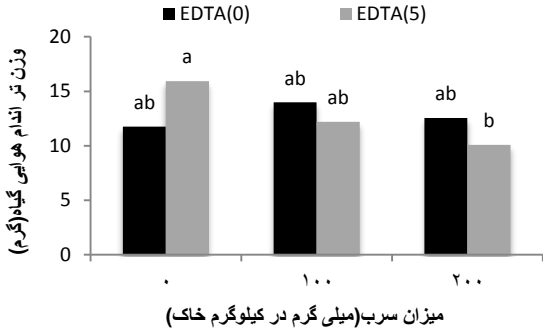
نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده (جدول پیوست ۱) نشان داد، اثر متقابل فاکتور سرب و اسید سیتریک بر میزان وزن‌تر اندام هوایی در گیاه سورگوم در سطح احتمال ($P<۰/۰۵$) معنی‌دار شد در صورتی که در سایر اثرات تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده نشد. در بررسی اثر متقابل بین فاکتورهای سرب و اسید سیتریک مشاهده شد که در تیمار اسید سیتریک (۱ گرم در کیلوگرم خاک) و سرب (۲۰۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک) و تیمار سرب (۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) و اسیدسیتریک (۱ گرم بر کیلوگرم خاک) اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده شد. همچنین بین تیمار اسید سیتریک (۰ گرم در کیلوگرم خاک) و سرب (۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک) و تیمار سرب (۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) و اسیدسیتریک (۰ گرم بر کیلوگرم خاک) اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده شد(شکل۴-۴).



شکل(۴-۴) تاثیر بر همکنش سرب و اسید سیتریک بر وزن تر اندام هوایی گیاه سورگوم

ب- تاج خروس

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول پیوست۱) نشان داد که اثر متقابل بین فاکتورهای سرب و کلات EDTA در سطح احتمال ($P<۰/۰۵$) معنی‌دار شد در حالی که در سایر اثرات تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده نشد. در بررسی تیمار اثر متقابل سرب و کلات EDTA مشاهده شد که در تیمار سرب (۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و EDTA (۵ میلی‌مول در کیلوگرم خاک) نسبت به تیمار سرب (۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و EDTA (۵ میلی‌مول در کیلوگرم خاک) تفاوت آماری معنی‌داری حاصل شد در حالیکه در سایر تیمارها تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده نشد(شکل۴-۵).

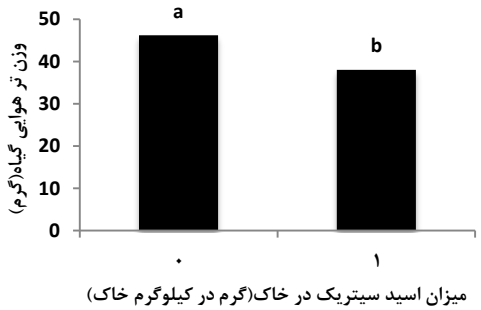


شکل(۴-۵) تاثیر بر همکنش سرب و کلات بر وزن تر اندام هوایی گیاه تاج خروس

ج- آفتابگردان

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول پیوست۱) نشان داد در بررسی صفت وزن‌تر اندام هوایی گیاه آفتابگردان، اثر اصلی اسید سیتریک در سطح احتمال ($P<۰/۰۱$) معنی‌دار شد (جدول پیوست۱) درحالی‌که در سایر تیمارها اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده نگردید . با مقایسه دو تیمار موجود در فاکتور اسید سیتریک اختلاف آماری معنی‌داری بین تیمار اسید سیتریک (۱ گرم در کیلوگرم خاک) و تیمار شاهد(۰ گرم بر کیلوگرم خاک) مشاهده شد (شکل۴-۶).

در مطالعه صورت گرفته بر گیاه سلمه تره توسط هو و همکاران (۲۰۱۲) مشاهده شد که افزایش سطح آلودگی خاک به عنصر سرب سبب کاهش اندام هوایی این گیاه شد. در تحقیقی که محمود و همکاران (۲۰۱۳) بر روی گیاه کاهو و در خاک‌های آلوده به کادمیم انجام دادند شاهد کاهش میزان بیوماس اندام هوایی گیاه بودند.



شکل(۴-۶) تاثیر اسید سیتریک بر وزن تر اندام هوایی گیاه آفتابگردان

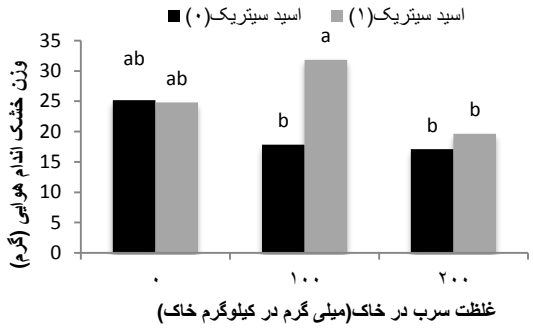
۴-۱-۳- وزن خشک اندام هوایی

الف- سورگوم

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول پیوست۱) نشان داد، اثر فاکتورهای اصلی سرب و اسید سیتریک در سطح احتمال ($P<۰/۰۱$) و همچنین اثر متقابل بین سرب و اسید سیتریک در سطح احتمال ($P<۰/۰۱$) بر وزن خشک اندام هوایی گیاه معنی‌دار شد و درحالی‌که سایر اثرات تفاوت آماری

معنی‌داری مشاهده نشد. در بررسی بین اثر متقابل سرب و اسید سیتریک بین تیمارهای اثر متقابل اسید سیتریک (۱گرم در کیلوگرم خاک) و سرب (۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) نسبت به تیمار اسید سیتریک (۱گرم در کیلوگرم خاک) و سرب (۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده شد در صورتی که در بین سایر سطوح موجود تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده نشد(شکل ۴-۷).

تجمع بیش از اندازه فلزات سنگین در اکثر گیاهان سبب بروز مسمومیت در گیاهان می‌شود و زمانی که میزان یون‌های فلزی در محیط بیش از حد معمول باشد گیاهان از طریق ریشه‌ها اقدام به جذب و انتقال آنها به اندام هوایی گیاه می‌نمایند که این امر منجر به صدمات شدید متابولیسمی و کاهش رشد در گیاهان می‌شود (هه و یانگ،۲۰۰۷). همچنین در تحقیق صورت گرفته توسط سودواو واساتکا (۲۰۰۷) بر روی گیاه توتون و در شرایط محیطی آلوده به سرب گزارش دادند که میزان بیوماس اندام هوایی و ریشه این گیاه با محتوای سرب رابطه عکس دارد و افزایش سطح این آلاینده سبب کاهش میزان بیوماس گیاه می‌شود.

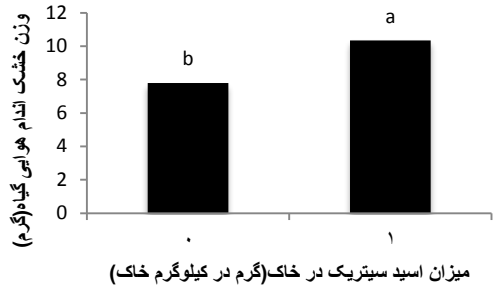


شکل(۴-۷) تاثیر بر همکنش سرب و اسید سیتریک بر وزن خشک اندام هوایی گیاه سورگوم

ب- تاج خروس

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول پیوست۱) نشان داد در بررسی وزن خشک اندام هوایی گیاه تاج خروس اثر اصلی اسید سیتریک در سطح احتمال ($P<۰/۰۱$) معنی‌دار شد و در سایر فاکتورها تفاوت

آماری معنی‌داری مشاهده نشد. با توجه به وزن خشک اندام هوایی گیاه تحت تاثیر اسید سیتریک مشاهده شد که این متغییر در سطح (۱ گرم در کیلوگرم خاک) نسبت به شاهد دارای تفاوت آماری معنی‌داری است(شکل۴-۸). وجود یون‌های آزاد کلات کننده در گیاه به دلیل عدم یکنواختی در جذب مواد معدنی نظیر روی، مس، آهن و کلسیم سبب بروز سمیت در گیاه شده که در نهایت منجر به تخریب متابولیسم سلول‌ها و عدم پایداری در غشای پلاسمایی می‌شود (توماس رولی و همکاران،۲۰۰۴). در تحقیق صورت گرفته بر گیاه گل ناز شاهد کاهش بیوماس گیاه تحت تاثیر کلات بودند که این کاهش در بالاترین سطح مصرف کلات محسوس‌تر بود (سان و همکاران،۲۰۰۹).

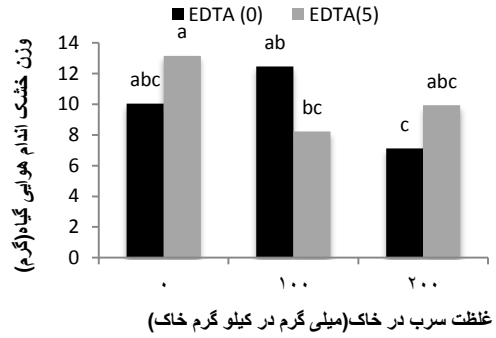


شکل(۴-۸) تاثیر اسید سیتریک بر وزن خشک اندام هوایی گیاه تاج خروس

ج- آفتابگردان

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول پیوست۱) نشان داد در بررسی وزن خشک اندام هوایی گیاه آفتابگردان فاکتور سرب ($P<۰/۰۱$)، اسید سیتریک و اثر متقابل بین سرب و کلات EDTA در سطح ($P<۰/۰۵$) معنی‌دار شد و همچنین در سایر فاکتورها تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده نگردید. در بررسی وزن خشک اندام هوایی گیاه آفتابگردان تحت تاثیر اسید سیتریک در سطح (۱ گرم در کیلوگرم خاک) نسبت به شاهد تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده شد(شکل۴-۱۰)، همچنین با بررسی صورت گرفته بر اثر متقابل سرب و کلات EDTA بر وزن خشک اندام هوایی گیاه بین تیمارهای سرب

(۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) و کلات EDTA (۵ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) نسبت به تیمار سرب (۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) و کلات EDTA (۰ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده شد در صورتی که در سایر تیمارها تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۴-۹). با تاثیری که فلزات سنگین و حضور آنها بر میزان جذب آهن و گوگرد در گیاهان از خود باقی می‌گذارند و با توجه به نقش این عناصر در فعالیت بسیاری از آنزیم‌ها و یا به عنوان کوفاکتور در ساختارهای مولکولی ترکیبات مختلف می‌توانند سبب کاهش بیوماس در گیاهان شوند (آکینسی و همکاران، ۲۰۱۰).



شکل(۴-۹) تاثیر بر همکنش سرب و کلات بر وزن خشک اندام هوایی گیاه آفتابگردان

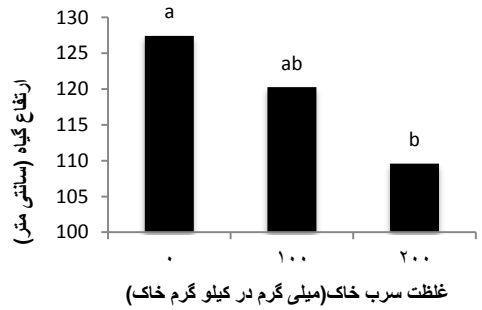
شکل(۴-۱۰) تاثیر اسید سیتریک بر وزن خشک اندام هوایی گیاه آفتابگردان

۴-۱-۴- ارتفاع

الف- سورگوم

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول پیوست۲) نشان داد که ارتفاع گیاه سورگوم تحت تاثیر فاکتور سرب در سطح احتمال ($P<۰/۰۵$) معنی‌دار شد، درحالی‌که در سایر اثرات اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده نشد. مقایسه میانگن‌های ارتفاع سورگوم تحت تاثیر سطوح مختلف سرب (شکل۴-۱۱) نشان داد که با افزایش سطح این آلاینده در خاک از میزان ارتفاع گیاه سورگوم به صورت معنی‌داری کاسته شد، به طوری که در تیمار سرب (۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) نسبت به تیمار سرب (۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) اختلاف آماری معنی‌داری دیده شد.

در مطالعه صورت گرفته بر گیاه *Schizolobium parhyba* و در سطوح متغییر سرب مشاهده شد که با افزایش سطح این فلز از میزان ارتفاع گیاه کاسته شد (دسوزا و همکاران،۲۰۱۲).



شکل(۴-۱۱) تاثیر سرب بر ارتفاع در گیاه سورگوم

ب- تاج خروس

مطابق جدول تجزیه واریانس (جدول پیوست۲) در هیچ یک از عوامل مورد مطالعه در ارتفاع گیاه تاج‌خروس، اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده نشد.

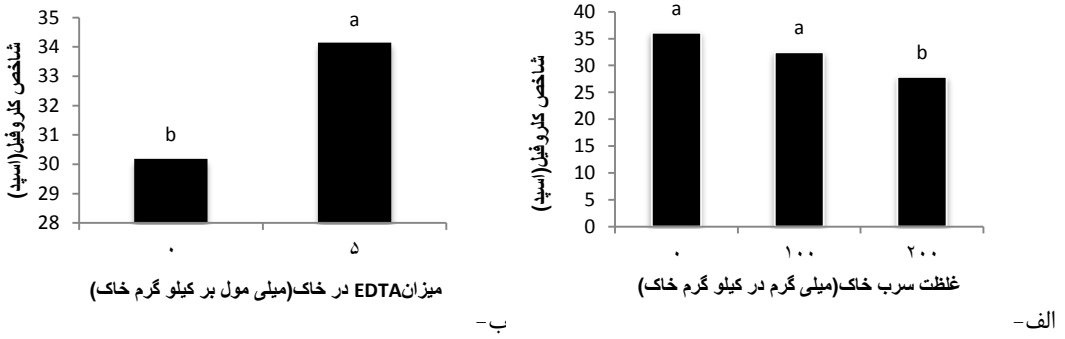
ج- آفتابگردان

مطابق جدول تجزیه واریانس (جدول پیوست۲) در هیچ یک از عوامل مورد مطالعه در ارتفاع گیاه آفتابگردان، اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده نشد.

۴-۲- کلروفیل اسپد

الف- سورگوم

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (پیوست۲) نشان داد، فاکتور سرب در سطح احتمال ($P<۰/۰۱$) و کلات EDTA ($P<۰/۰۵$) بر شاخص کلروفیل کل در گیاه سورگوم معنی‌دار شد. همچنین در بررسی عامل سرب بین تیمارهای سرب (۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و تیمار سرب (۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده شد (شکل ۴-۱۳ الف). با بررسی تاثیر فاکتور کلات بین تیمارهای کلاتEDTA (۵ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) کلاتEDTA (۰ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده شد(شکل ۴-۱۳ ب).



الف- ب-

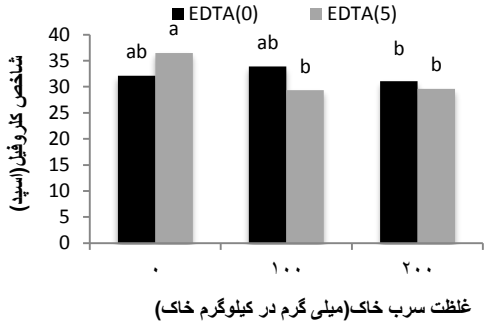
شکل(۴-۱۳) الف- تاثیر سرب بر کلروفیل(اسپد) گیاه سورگوم ب- تاثیر کلات بر کلروفیل(اسپد) گیاه سورگوم

ب- تاج خروس

با توجه به جدول تجزیه واریانس (جدول پیوست۲)، در هیچ یک از عوامل مورد مطالعه بر شاخص کلروفیل گیاه سورگوم، اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده نشد.

ج- آفتابگردان

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول پیوست۲) نشان داد فاکتور سرب ($P<۰/۰۵$) و همچنین اثر متقابل سرب و کلات EDTA در سطح احتمال ($P<۰/۰۱$) بر شاخص کلروفیل کل گیاه آفتابگردان معنی‌دار شد. با بررسی اثر متقابل بین عامل‌های سرب و کلات EDTA بین تیمارهای سرب (۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و کلات EDTA (۵ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) و سرب (۲۰۰میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و کلات EDTA (۵ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده شد درحالی‌که بین سایر تیمارها تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده نشد(شکل ۴-۱۴).



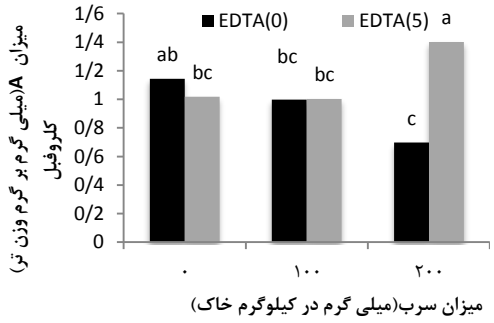
شکل(۴-۱۴) تاثیر برهمکنش سرب و کلات بر کلروفیل (اسپد) گیاه آفتابگردان

۴-۲-۱- کلروفیل a

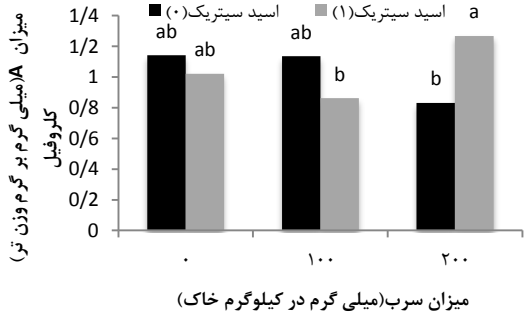
الف- سورگوم

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول پیوست۴) نشان داد که فاکتور کلات EDTA ($P<۰/۰۵$) و اثر متقابل سرب و کلات EDTA ($P<۰/۰۱$) و همچنین اثر متقابل سرب و اسید سیتریک ($P<۰/۰۱$) بر

شاخص کلروفیل a در گیاه سورگوم معنی‌دار گردید با بررسی اثر متقابل بین عامل سرب و کلات EDTA بین تیمار سرب (۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و کلات EDTA (۰ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) و همچنین بین تیمار سرب (۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و کلات EDTA (۵ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده شد درحالی‌که در سایر تیمارها اختلاف آماری معنی داری مشاهده نشد(شکل ۴-۱۵). همچنین با بررسی فاکتور سرب و اسید سیتریک بین تیمار سرب (۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) و اسید سیتریک (ا گرم بر کیلو گرم خاک) و همچنین بین تیمار سرب (۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) و اسید سیتریک (ا گرم بر کیلو گرم خاک) اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده شد و در سایر تیمارها تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده نشد(شکل ۴-۱۶).



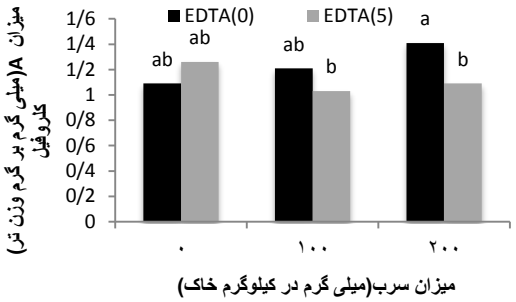
شکل(۴-۱۵) تاثیر برهمکنش سرب و کلات بر کلروفیل a گیاه سورگوم



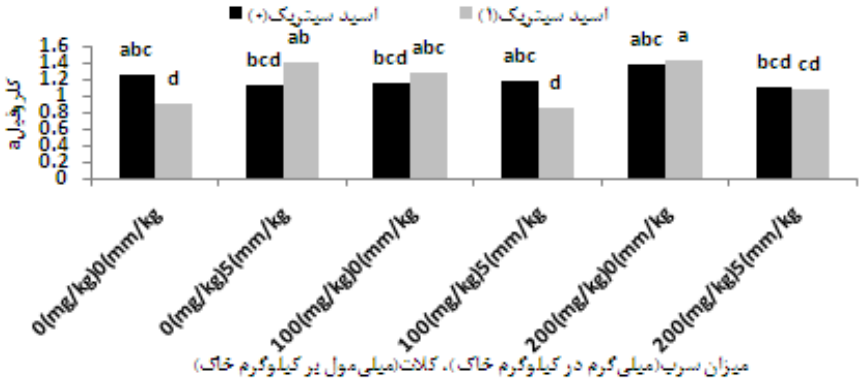
شکل(۴-۱۶) تاثیر برهمکنش سرب و اسید سیتریک بر کلروفیل a گیاه سورگوم

ب- تاج خروس

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول پیوست ۴) نشان داد اثر متقابل بین سرب و کلات EDTA در سطح احتمال (P<۰/۰۵) و همچنین اثر متقابل بین سرب، کلات و اسید سیتریک در سطح احتمال (P<۰/۰۱) بر شاخص کلروفیل a در گیاه تاج خروس معنی‌دار شد درحالی‌که سایر اثرات تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده نشد. با بررسی تیمار اثر متقابل بین سرب، کلات EDTA و اسید سیتریک بین تیمار سرب(۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)، کلات EDTA (۰ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) و اسید سیتریک (۱ گرم در کیلوگرم خاک)و تیمار سرب(۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)، کلات EDTA (۰ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) و اسید سیتریک (۱ گرم در کیلوگرم خاک) اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده شد(شکل ۴-۱۸).



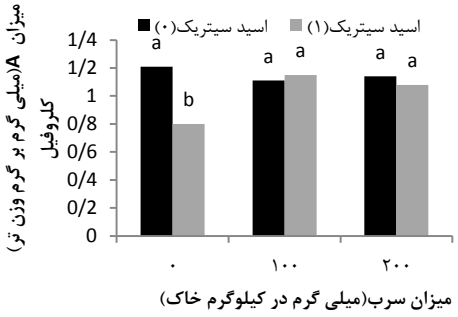
شکل(۴-۱۷) تاثیر برهمکنش سرب و کلات بر کلروفیل a گیاه تاج خروس



شکل(۴-۱۸) تاثیر برهمکنش سرب، کلات و اسید سیتریک بر کلروفیل a گیاه تاج خروس

ج- آفتابگردان

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول پیوست۴) نشان داد که فاکتور اسید سیتریک (P<۰/۰۱) و همچنین اثر متقابل بین سرب و اسید سیتریک (P<۰/۰۱) بر شاخص کلروفیل a در گیاه آفتابگردان معنی‌دار شد. درحالی‌که در سایر اثرات تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده نشد. در بررسی اثر متقابل بین تیمارهای سرب و اسید سیتریک، تیمار سرب (۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و اسید سیتریک (۱ گرم بر کیلوگرم خاک) نسبت به تیمار سرب (۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و اسید سیتریک (۱ گرم بر کیلوگرم خاک) اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده شد درحالی‌که در سایر تیمارها تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده نشد(شکل۴-۱۹). (محمدی و همکاران، ۱۳۹۰) طی پژوهشی که بر گیاه تیره شب بو انجام دادند به این نتیجه رسیدند که افزایش کادمیم در محیط رشد گیاه میزان کلروفیل a و کلروفیل کل را کاهش داد که این کاهش در سطوح بالاتر بسیار چشم‌گیرتر است.



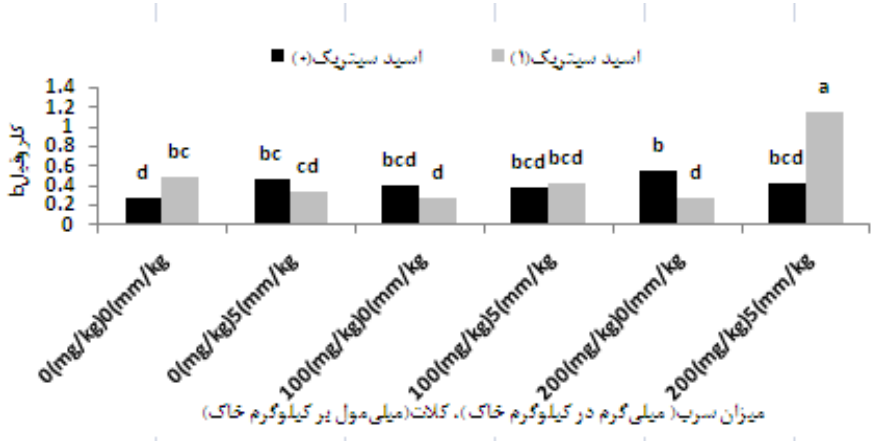
شکل(۴-۱۹) تاثیر برهمکنش سرب و اسید سیتریک بر کلروفیل a گیاه آفتابگردان

۴-۲-۲- کلروفیلb

الف- سورگوم

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول پیوست۴) نشان داد که فاکتورهای اصلی سرب و کلات EDTA (P<۰/۰۱) و اسید سیتریک (P<۰/۰۵) و همچنین اثرات متقابل بین سرب و کلات (P<۰/۰۱) ، سرب و اسید سیتریک (P<۰/۰۵) ، کلات و اسید سیتریک (P<۰/۰۱) و همچنین اثر متقابل بین

سرب، کلات و اسید سیتریک (P<۰/۰۱) بر شاخص کلروفیل b در گیاه سورگوم معنی‌دار شد. با بررسی نتایج حاصل از داده‌ها بین اثر متقابل فاکتورهای سرب ، کلات EDTA و اسید سیتریک در تیمار سرب (۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)، کلات EDTA (۵ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) و اسید سیتریک (۱ گرم در کیلوگرم خاک)و تیمار سرب (۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)، کلات EDTA (۰ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) و اسید سیتریک (۰ گرم در کیلوگرم خاک) اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده شد درحالی‌که در سایر تیمارها تفاوت چندانی مشاهده نشد(شکل ۴-۲۰).

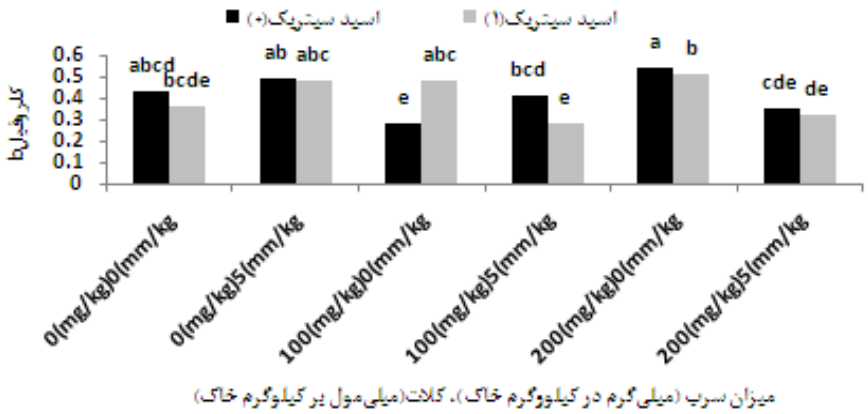


شکل(۴-۲۰) الف- تاثیر برهمکنش سرب، کلات و اسید سیتریک بر کلروفیل b گیاه سورگوم

ب- تاج خروس

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول پیوست۴) نشان داد اثرات متقابل بین سرب، کلات EDTA (P<۰/۰۱) و همچنین اثر متقابل بین سرب، کلات EDTA و اسید سیتریک (P<۰/۰۵) بر شاخص کلروفیل b در گیاه تاج خروس معنی‌دار شد. در بررسی اثر متقابل بین سرب، کلات EDTA و اسید سیتریک، تیمار سرب (۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)، کلات EDTA (۰ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) و اسید سیتریک (۰ گرم در کیلوگرم خاک) نسبت به تیمار سرب (۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم

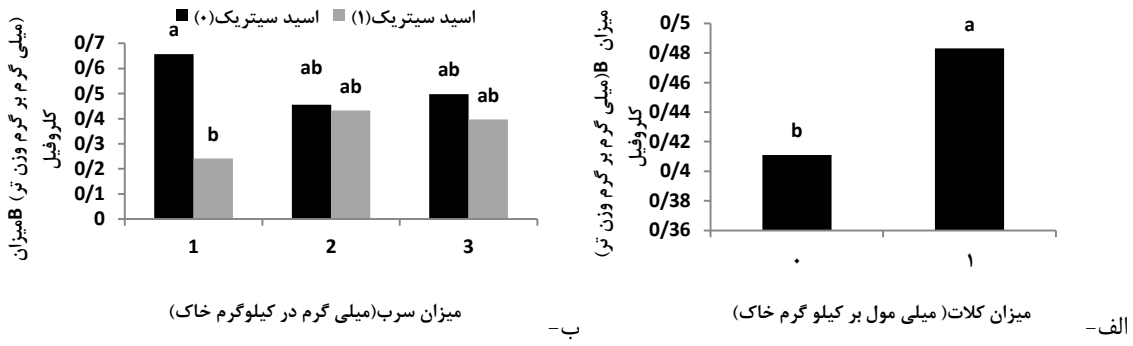
خاک)، کلات EDTA (۰ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) و اسید سیتریک (۰ گرم در کیلوگرم خاک) اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده شد(شکل ۴-۲۱).



شکل(۴-۲۱) تاثیر بر همکنش سرب، کلات و اسید سیتریک بر کلروفیل b گیاه تاج خروس

ج- آفتابگردان

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول پیوست۴) نشان داد فاکتور کلات EDTA ($P<۰/۰۵$)، اسید سیتریک ($P<۰/۰۱$) و همچنین اثر متقابل بین (سرب ، اسید سیتریک) ($P<۰/۰۱$) بر شاخص کلروفیل b در گیاه آفتابگردان معنی‌دار شد درحالی‌که در سایر فاکتورها تفاوت آماری معنی‌داری دیده نشد. در بررسی عامل کلات EDTA بین تیمار (۰میلی‌مول در کیلوگرم خاک) و تیمار(۵ میلی‌مول در کیلوگرم خاک) اختلاف آماری معنی‌داری دیده شد(شکل ۴-۲۲ الف). همچنین با بررسی عامل سرب و اسید سیتریک بین تیمار سرب (۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و اسید سیتریک (۱ گرم در کیلوگرم خاک)و همچنین بین تیمارسرب (۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و اسید سیتریک (۱ گرم در کیلوگرم خاک) اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده شد درحالی‌که در سایر تیمارها اختلاف آماری معنی‌داری دیده نشد(شکل ۴-۲۲ ب).

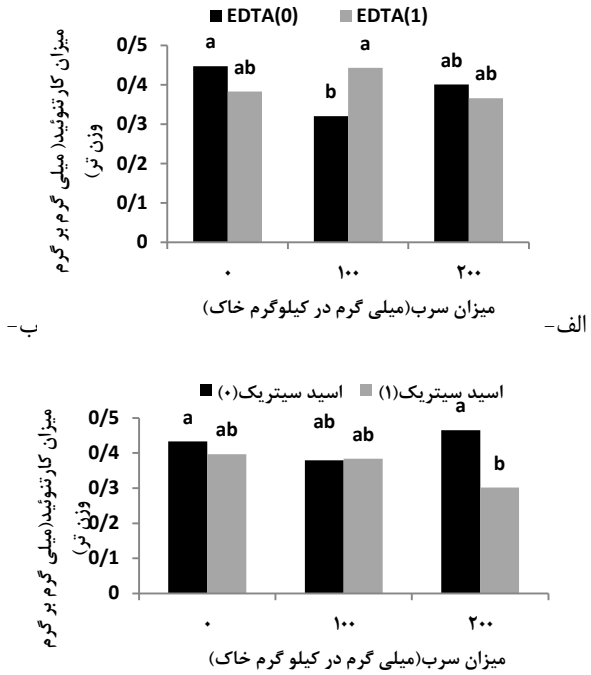


شکل(۴-۲۲) الف- تاثیر کلات بر کلروفیل b گیاه آفتابگردان ب- تاثیر بر همکنش سرب و اسید سیتریک بر کلروفیل b گیاه آفتابگردان

۴-۲-۳- کارتنوئید

الف- سورگوم

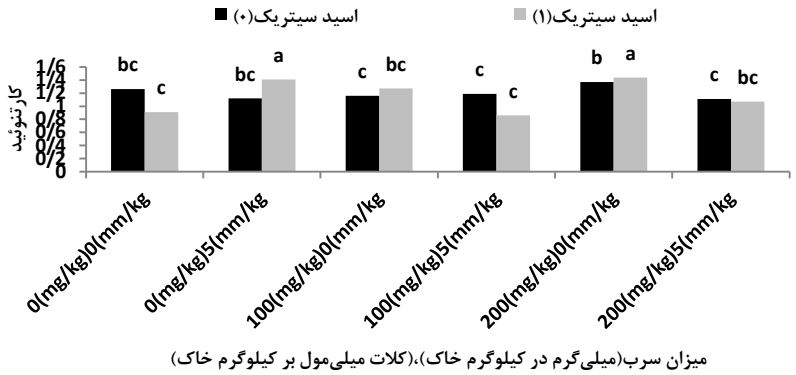
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول پیوست۸) نشان داد، فاکتور اسید سیتریک در سطح احتمال ($P<۰/۰۱$) و همچنین اثر متقابل بین فاکتور (سرب، کلات EDTA) ($P<۰/۰۵$) و (سرب، اسید سیتریک) ($P<۰/۰۱$) معنی‌دار شدند. (شکل۴- ۲۳ الف) در بررسی اثر متقابل فاکتور سرب و کلات EDTA، بین تیمار سرب (۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و کلات EDTA (۰ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) و تیمار سرب (۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و کلات EDTA (۰ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده شد درحالی‌که در سایر تیمارها تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده نشد. همچنین در بررسی اثر متقابل فاکتور سرب و اسید سیتریک، بین تیمار سرب (۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و اسید سیتریک (۰ گرم بر کیلوگرم خاک) و تیمار سرب (۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و اسید سیتریک (۱ گرم بر کیلوگرم خاک) اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده شد و در سایر تیمارهای تحت تاثیر این دو متغییر تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۴-۲۳ ب).



شکل(۴-۲۳) الف- تاثیر برهمکنش سرب و کلات بر کارتنوئید گیاه سورگوم ب- تاثیر برهمکنش سرب و اسید سیتریک بر کارتنوئید گیاه سورگوم

ب- تاج خروس

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول پیوست۸) نشان داد که فاکتورهای اصلی سرب ($P<۰/۰۵$) و اسید سیتریک ($P<۰/۰۱$) و اثر متقابل بین فاکتور سرب، کلات EDTA ($P<۰/۰۵$) و همچنین اثر متقابل سرب، کلات و اسید سیتریک ($P<۰/۰۵$) بر میزان کارتنوئید در گیاه تاج خروس معنی‌دار شدند درحالی‌که سایر اثرات در هیچ سطح احتمالی معنی‌دار نشدند. در بررسی اثر متقابل بین فاکتورهای سرب، کلات EDTA و اسید سیتریک، بین تیمار سرب (۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و کلات (۰ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) و اسید سیتریک(۱گرم بر کیلوگرم خاک) و تیمار سرب (۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک)، کلات EDTA (۰ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) و اسیدسیتریک (۱ گرم بر کیلوگرم خاک) اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده شد (شکل ۴-۲۴).



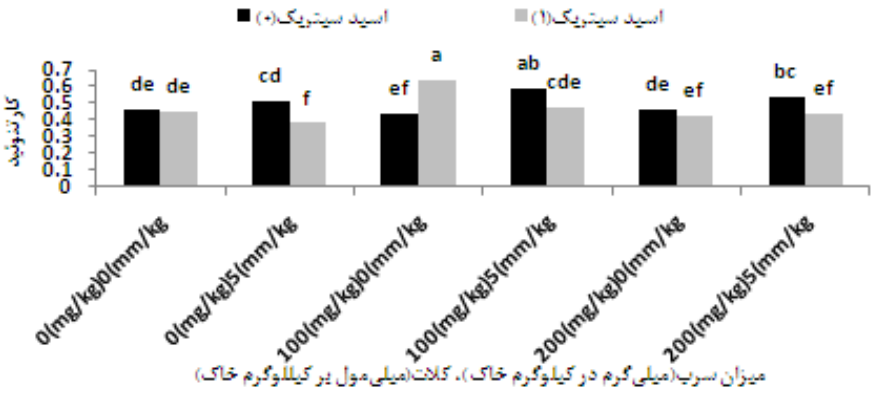
شکل(۴-۲۴) تاثیر برهمکنش سرب، کلات و اسید سیتریک بر کارتنوئید گیاه تاج خروس

ج- آفتابگردان

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول پیوست۸) نشان داد، فاکتور سرب ($P<۰/۰۱$) و اسید سیتریک ($P<۰/۰۵$) و همچنین اثرات متقابل بین سرب و اسید سیتریک ($P<۰/۰۱$)، کلات EDTA و اسید سیتریک ($P<۰/۰۱$)و اثر متقابل بین سرب، کلات EDTA و اسید سیتریک ($P<۰/۰۱$) بر شاخص کارتنوئید در گیاه آفتابگردان معنی‌دار شد. در بررسی عامل سرب، کلات EDTA و اسید سیتریک بین تیمار سرب (۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)، کلات EDTA (۰ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) و اسید سیتریک (۱ گرم در کیلوگرم خاک) و تیمار سرب (۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)، کلات EDTA (۵ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) و اسید سیتریک (۱ گرم در کیلوگرم خاک)اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده شد و در سایر تیمارها اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده نشد(شکل ۴-۲۵).

گوش وهمکاران (۲۰۰۵) عنوان کردند که فلزات سنگین جانشین فلزات ضروری در گیاهان شده و از آنجا که برخی از این عناصر نقش اساسی در تشکیل رنگیزه‌های فتوسنتزی دارند سبب کاهش پیگمان‌های فتوسنتزی نظیر کلروفیل‌ها و کارتنوئیدها شده و در نهایت از میزان فتوسنتز و رشد گیاه کاسته می‌شود. در مطالعه‌ای که بر روی چند گونه گیاهی و در محیط آلوده به سرب صورت گرفت، عنوان گردید که همزمان با افزایش محتوای سرب در محیط، از محتوای کلروفیل a، b و کلروفیل کل در این گیاهان کاسته شد (دسوزا و همکاران،۲۰۱۲).در غلظت‌های بالای سرب

وآمینوپلی‌کربوکسیلیک اسیدها، علائم سمیت به صورت خشکیدگی، نکروز و پیچیدگی حاشیه برگ‌ها مشاهده می‌گردد، این علائم به دلیل جذب سریع کمپلکس‌های سرب و فرم آزاد EDTA در شاخساره و اختلال در فتوسنتز و کلروفیل‌سازی برگ روی می‌دهد (ناوری ایزو و کوارتاچی، ۲۰۰۱).

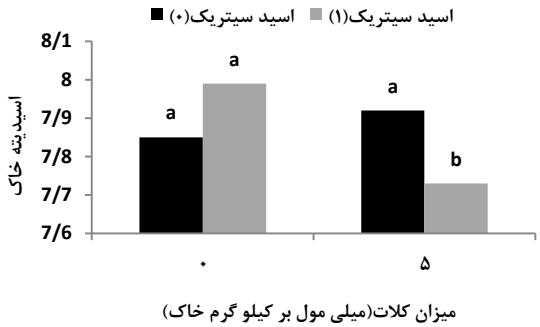


شکل(۴-۲۵)- تاثیر برهمکنش سرب، کلات و اسید سیتریک بر کارتنوئید گیاه آفتابگردان

۴-۳- اسیدیته خاک (PH)

الف- سورگوم

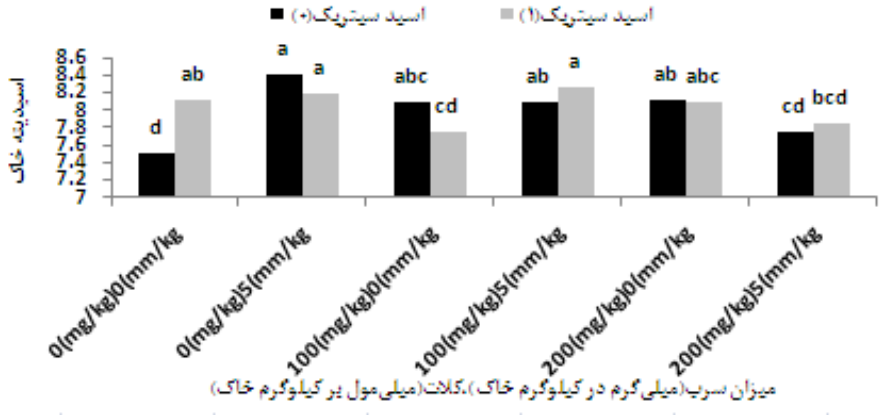
نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها(جدول پیوست ۳) نشان داد ، اسیدیته‌ی خاک در گیاه سورگوم در اثر متقابل بین فاکتورهای کلات EDTA و اسید سیتریک ($P<۰/۰۵$) معنی‌دار شد و در سایر فاکتورها تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده نشد. بررسی نتایج بین تیمار کلات (۰ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) و اسید سیتریک (۰ گرم بر کیلوگرم خاک) و تیمار کلات (۵ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) و اسید سیتریک (۱ گرم بر کیلوگرم خاک) تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده شد در حالی‌که در سایر تیمارها تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۴-۲۶).



شکل(۴-۲۶) تاثیر برهمکنش کلات و اسید سیتریک بر اسیدیته گیاه سورگوم

ب- تاج خروس

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول پیوست۳) نشان داد، اسیدیته خاک در تیمار کلات EDTA ($P<۰/۰۵$)، تیمار اثر متقابل سرب و کلات ($P<۰/۰۱$) و در اثر متقابل سرب، کلات EDTA و اسید سیتریک ($P<۰/۰۱$) معنی‌دار شد. در بررسی اثر متقابل عامل سرب، کلات و اسید سیتریک بین تیمار سرب (۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)، کلات(۰ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) و اسید سیتریک(۰ گرم بر کیلوگرم خاک) و تیمار سرب (۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)، کلات(۵ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) و اسید سیتریک(۱ گرم بر کیلوگرم خاک) اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده شد همچنین بین تیمار سرب (۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) ،کلات(۵ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) و اسید سیتریک(۰ گرم بر کیلو گرم خاک) و تیمار سرب (۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)، کلات(۵ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) و اسید سیتریک(۱ گرم بر کیلو گرم خاک) اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده شد و در سایر تیمارها اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده نشد(شکل ۴-۲۷).

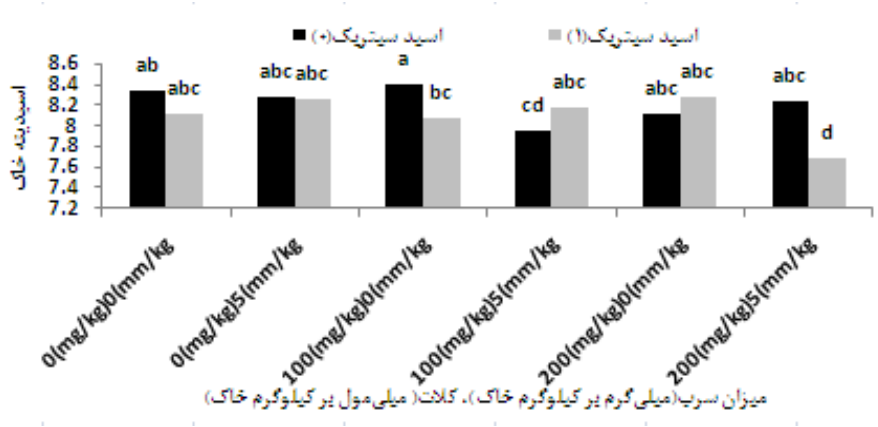


شکل(۴-۲۷) تاثیر برهمکنش سرب و کلات، اسید سیتریک بر اسیدیته خاک در گیاه تاج خروس

ج- آفتابگردان

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول پیوست۳) نشان داد، اسیدیته خاک در گیاه آفتابگردان در تیمار اثر متقابل بین سرب، کلات EDTA و اسید سیتریک در سطح احتمال ($P<۰/۰۱$) معنی‌دار شده است. در بررسی اثر متقابل بین فاکتور سرب، کلات EDTA و اسید سیتریک میزان این فاکتور در تیمار سرب (۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)، کلات EDTA (۵ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) و اسید سیتریک (۱ گرم بر کیلوگرم خاک) نسبت به تیمار سرب (۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)، کلات EDTA (۰ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) و اسید سیتریک (۰ گرم بر کیلوگرم خاک) اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده شد(شکل ۴-۲۸).

اشمیت (۱۹۹۶) به تاثیر مثبت مواد اصلاحی در کاهش PH خاک و در نتیجه افزایش تحرک فلزات سنگین پرداخته است. سیف الله و همکاران (۲۰۰۸) اعمال تیمار کلات به خاک مقدار PH خاک را به طور معنی‌داری کاهش داد. طبق اظهار نظر ستمئو و همکاران (۲۰۰۶) کلات‌های مصنوعی و اسید سیتریک از متداول‌ترین مواد اصلا حی هستند که در فرآیند گیاه جذبی به کمک مواد شیمیایی استفاده می‌شوند چنین موادی قادر به تشکیل کمپلکس با یون‌های فلزی هستند. بنابراین قابلیت زیست فراهمی را در خاک‌ها تحت تاثیر قرار می‌دهند. مواد اسیدزا با تولید یون هیدروژن می‌توانند سبب کاهش PH خاک و در نتیجه افزایش تحرک فلزات سنگین شوند (اشمیت۱۹۹۶)

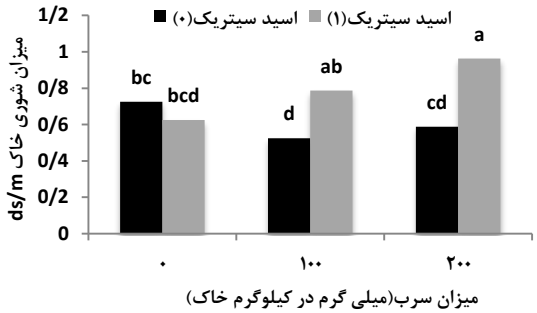


شکل(۴-۲۸) تاثیر برهمکنش سرب و کلات، اسید سیتریک بر اسیدیته خاک در گیاه آفتابگردان

۴-۴- شوری خاکEC

الف- سورگوم

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول پیوست۳) نشان داد، شوری خاک در گیاه سورگوم درفاکتورهای اصلی سرب ($P<۰/۰۵$)، اسید سیتریک ($P<۰/۰۱$)و همچنین اثر متقابل بین فاکتور سرب و اسید سیتریک ($P<۰/۰۱$) معنی‌دار شد و در سایر اثرات تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده نشد. با توجه به نمودار شکل (۴-۲۹)، مشاهده شد بین تیمار سرب (۲۰۰ میلی‌گرم برکیلوگرم خاک) و اسید سیتریک (۱گرم در کیلوگرم خاک) و تیمار سرب (۰ میلی‌گرم برکیلوگرم خاک) و اسید سیتریک (۰گرم در کیلوگرم خاک) اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده شد. همچنین بین تیمار سرب (۱۰۰ میلی‌گرم برکیلوگرم خاک) و اسید سیتریک (۰گرم در کیلوگرم خاک) و تیمار سرب (۲۰۰ میلی‌گرم برکیلوگرم خاک) و اسید سیتریک (۱گرم در کیلوگرم خاک) نیز اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده شد .



شکل(۴-۲۹) تاثیر برهمکنش سرب و اسید سیتریک بر شوری گیاه سورگوم

ب- تاج خروس

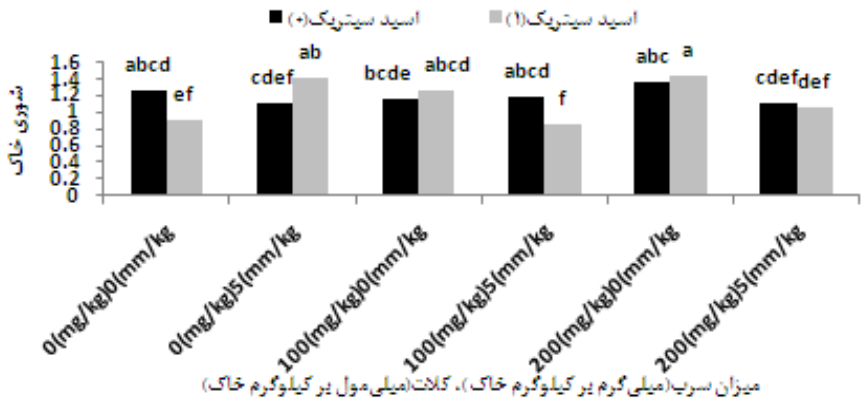
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول پیوست۳) نشان داد، شوری خاک در گلدان‌های حاوی گیاه تاج خروس در تیمار اسید سیتریک ($P<۰/۰۱$) معنی‌دار شد. با توجه به نمودار شکل (۴-۳۰)، در فاکتور اسید سیتریک بین دو تیمار اسید سیتریک (۱گرم بر کیلوگرم خاک)و تیمار اسید سیتریک(۰ گرم بر کیلوگرم خاک) تفاوت آماری معنی‌داری دیده شد .

شکل(۴-۳۰) تاثیر اسید سیتریک بر شوری خاک در گیاه تاج خروس

ج- آفتابگردان

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول پیوست۳) نشان داد، شوری خاک در گلدان‌های حاوی گیاه آفتابگردان در تیمار اصلی اسید سیتریک ($P<۰/۰۱$) و در تیمار اثر متقابل سرب، کلات EDTA و اسید سیتریک ($P<۰/۰۵$) معنی‌دار شد. با توجه به نمودار شکل (۴-۳۱)، دربررسی اثر متقابل بین

فاکتور سرب، کلات EDTA و اسید سیتریک بین تیمار سرب (۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)، کلات EDTA (۰ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) و اسید سیتریک (۱ گرم بر کیلوگرم خاک) و تیمار سرب (۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)، کلات EDTA (۰ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) و اسید سیتریک (۱ گرم بر کیلوگرم خاک) اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده شد. همچنین در تیمار سرب (۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)، کلات EDTA (۰ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) و اسید سیتریک (۱ گرم بر کیلوگرم خاک) و تیمار سرب (۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)، کلات EDTA (۵ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) و اسید سیتریک (۱ گرم بر کیلوگرم خاک) اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده شد بین تیمارهای سرب (۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)، کلات EDTA (۵ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) و اسید سیتریک (۱ گرم بر کیلوگرم خاک) و تیمار سرب (۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)، کلات EDTA (۵ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) و اسید سیتریک (۱ گرم بر کیلوگرم خاک) نیز اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده شد در حالی‌که در سایر تیمارها اختلاف آماری معنی‌داری دیده نشد.



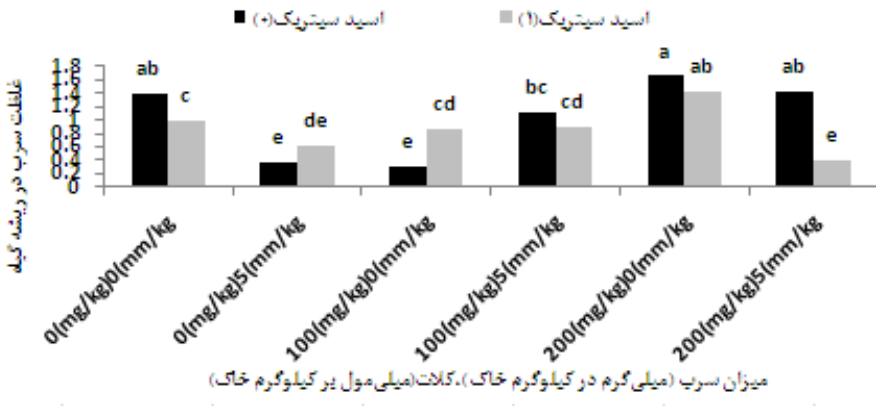
شکل(۴-۳۱) تاثیر سرب، کلات و اسید سیتریک بر شوری خاک(ds/m) در گیاه آفتابگردان

۴-۵- غلظت سرب بافت‌های گیاهی

۴-۵-۱- غلظت سرب ریشه

الف- سورگوم

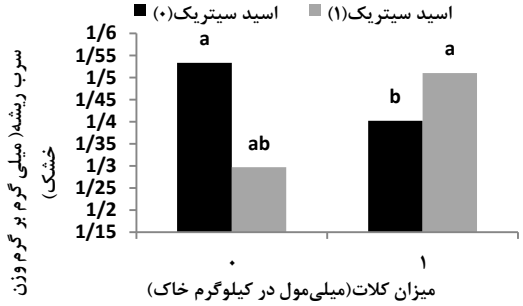
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول پیوست۵) نشان داد، اثرات اصلی سرب ($P<۰/۰۱$)، کلات EDTA ($P<۰/۰۵$) و اسید سیتریک ($P<۰/۰۱$) همچنین اثرات متقابل بین سرب و کلات EDTA ($P<۰/۰۱$)، سرب و اسیدسیتریک ($P<۰/۰۱$) و اثر متقابل بین فاکتورهای سرب، کلات EDTA و اسید سیتریک ($P<۰/۰۱$) بر میزان غلظت سرب در ریشه گیاه سورگوم معنی‌دار شدند. در بررسی اثر متقابل بین فاکتورهای سرب کلات و اسید سیتریک مشاهده شد که بین تیمار سرب (۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)، کلات EDTA (۰ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) و اسید سیتریک(۱ گرم بر کیلوگرم خاک) و تیمار سرب (۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)، کلات EDTA (۰ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) و اسید سیتریک(۱ گرم بر کیلوگرم خاک) اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده شد همچنین بین تیمار سرب (۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)، کلات EDTA (۰ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) و اسید سیتریک (۱ گرم بر کیلو گرم خاک) و تیمار سرب (۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)، کلات EDTA (۰ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) و اسید سیتریک(۱ گرم بر کیلوگرم خاک) اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده شد همچنین بین تیمار سرب (۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)، کلات EDTA (۰ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) و اسید سیتریک(۱ گرم بر کیلوگرم خاک) و تیمار سرب (۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)، کلات EDTA (۵ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) و اسید سیتریک(۱ گرم بر کیلوگرم خاک) نیز اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده شد(شکل ۴-۳۲).



شکل(۴-۳۲) تاثیر بر همکنش سرب، کلات و اسید سیتریک بر غلظت سرب در ریشه(میلی‌گرم بر گرم وزن خشک گیاه) گیاه سورگوم

ب- تاج خروس

نتایج حاصل از این تحقیق(جدول پیوست ۵) نشان داد، اثر متقابل کلات EDTA و اسید سیتریک در سطح احتمال ($P<۰/۰۱$) معنی‌دار شد و در نهایت تفاوت آماری معنی‌داری بین تیمار اسید سیتریک (۰ گرم بر کیلوگرم خاک) و کلات (۰ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) و تیمار اسید سیتریک (۰ گرم بر کیلوگرم خاک) و کلات (۵ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) مشاهده شد و در سایر تیمارها تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده نشد(شکل ۴-۳۳).



شکل(۴-۳۳) تاثیر برهمکنش کلات و اسید سیتریک بر غلظت سرب در ریشه گیاه تاج خروس

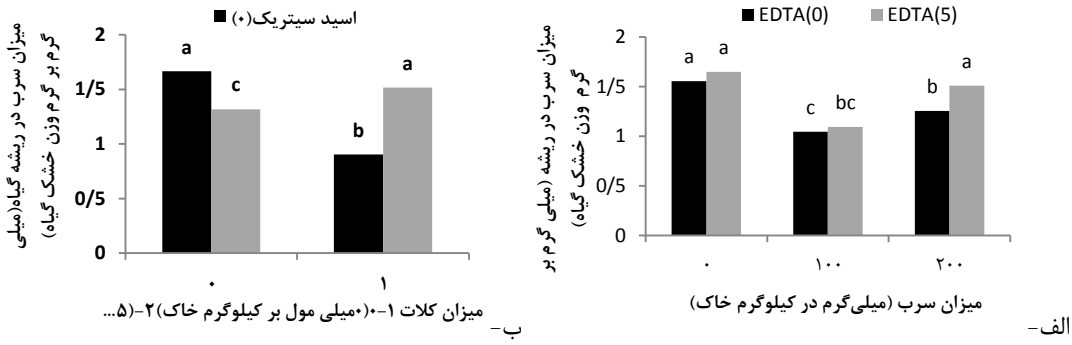
ج- آفتابگردان

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول پیوست۵) نشان داد، اثرات اصلی سرب، کلات EDTA و اسید سیتریک در سطح احتمال (P<۰/۰۱) و همچنین اثر متقابل بین سرب و کلات EDTA (P<۰/۰۵)، سرب و اسیدسیتریک (P<۰/۰۱) و کلات EDTA و اسید سیتریک (P<۰/۰۱) بر میزان غلظت سرب در ریشه گیاه آفتابگردان معنی‌دار شد. درحالی‌که در سایر اثرات تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده نشد. در تیمار اثر متقابل استفاده از سرب و کلات EDTA ، بین تیمار سرب (۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و کلات EDTA (۰ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) و تیمار سرب (۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و کلات EDTA (۰ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده شد همچنین بین تیمار سرب (۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) و کلات (۰ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) و تیمار سرب(۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) و کلات (۰ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده شد(شکل ۴-۳۴ الف). در بررسی فاکتور اثر متقابل سرب و اسید سیتریک بین تیمار سرب (۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)و اسید سیتریک(۰ گرم بر کیلوگرم خاک) و تیمار سرب (۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و اسید سیتریک (۰ گرم در کیلوگرم خاک) اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده شد . همچنین بین تیمار سرب (۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و اسید سیتریک(۰ گرم بر کیلوگرم خاک) و تیمار سرب (۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و اسید سیتریک (۱ گرم در کیلوگرم خاک) نیز اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده شد. در نهایت بین تیمارهای سرب (۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و اسید سیتریک(۱ گرم بر کیلوگرم خاک) و تیمار سرب (۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و اسید سیتریک (۰ گرم در کیلوگرم خاک) اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده شد درحالی‌که در سایر تیمارها اختلاف آماری معنی‌داری دیده نشد(شکل ۴-۳۵). همچنین در تیمار کلات EDTA و اسید سیتریک بین متغیر کلات EDTA (۰ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) و اسید سیتریک (۰ گرم در کیلوگرم خاک) و کلات EDTA (۰ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) و اسید سیتریک (۱ گرم در کیلوگرم خاک) اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده شد همچنین در تیمار کلات EDTA

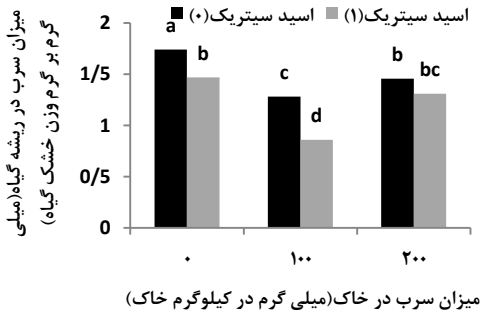
(۰ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) و اسید سیتریک (۰ گرم در کیلوگرم خاک) و تیمار کلات EDTA (۵ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) و اسید سیتریک (۰ گرم در کیلوگرم خاک) نیز اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده شد . در نهایت بین دو تیمار کلات EDTA (۵ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) و اسید سیتریک (۱ گرم در کیلوگرم خاک) و تیمار کلات EDTA (۰ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) و اسید سیتریک (۱ گرم در کیلوگرم خاک) اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده شد درحالی‌که در تیمار کلات(۰ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) و اسید سیتریک(۰ گرم بر کیلوگرم خاک) و تیمار کلات (۵ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک)و اسید سیتریک(۱ گرم بر کیلوگرم خاک) تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۴-۳۴ ب).

EDTA با فرم آزاد سبب نابودی موانع فیزیولوژیکی موجود در ریشه از طریق حذف کاتیون‌های Fe^{2+} و Ca^{2+} می‌شود که نقش مهمی در خاصیت انتخاب‌پذیری غشای پلاسمایی سلول‌های ریشه دارند و سبب تسهیل انتقال عناصر به داخل گیاه می‌شود (نواک و همکاران، ۲۰۰۶). در پژوهشی که بابائیان و همکاران (۱۳۸۹) در خاک‌های آلوده به سرب و بر روی گیاه هویج انجام داده بودند بیان کردند که برهمکنش کلات و سرب بر میزان غلظت سرب در ریشه و اندام‌های هوایی این گیاه معنی‌دار بوده و با حضور کلات در این خاک‌ها، میزان غلظت سرب در بافت‌های این گیاه به مراتب بیش از شرایط عدم حضور کلات در خاک بود. در مطالعه لین و همکاران (۱۹۹۶) اسید سیتریک توانست سمیت سرب را در برنج و گندم بکاهد و جذب آن را توسط ریشه‌ها کاهش دهد. دایکون و همکاران (۲۰۰۹) اعمال تیمار اسیدسیتریک به مقدار ۵ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک نتوانست جذب سرب و کادمیم را در گیاه خردل هندی و علف چاودار بطور معنی‌داری افزایش دهد که نتایج آنها موید نتایج کسب شده توسط کوارتاسی وهمکاران (۲۰۰۶) بود. نیمنئو و همکاران (۲۰۰۶) گزارش کردند که اسید سیتریک حذف کادمیم را از خاک‌های آلوده به چند فلز توسط گیاه خردل هندی افزایش داد. به عقیده پالس و همکاران (۱۹۹۱) تفاوت حاصل در نتایج می‌تواند مربوط به تفاوت گونه‌های گیاهی استفاده شده در

تحقیقات باشد و تا حدی رفتار متفاوت فلزات سنگین را در جذب و دفع سطحی از خاک‌های با خصوصیات مختلف که غلظت‌های متفاوتی از فلز را دارا می‌باشد، انعکاس می‌دهد.



شکل(۴-۳۴) الف- تاثیر برهمکنش سرب و کلات بر غلظت سرب در ریشه گیاه آفتابگردان ب- تاثیر برهمکنش کلات و اسید سیتریک بر غلظت سرب در ریشه گیاه آفتابگردان



شکل(۴-۳۵) تاثیر برهمکنش سرب و اسید سیتریک بر غلظت سرب در ریشه گیاه آفتابگردان

۴-۵-۲- غلظت سرب در اندام هوایی گیاه

الف- سورگوم

مطابق جدول تجزیه واریانس(جدول پیوست۵) در هیچ یک از عوامل مورد مطالعه در غلظت سرب در اندام هوایی گیاه سورگوم، اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده نشد.

ب- تاج خروس

نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها(جدول پیوست ۵)نشان داد، اثر اصلی کلات EDTA ($P<۰/۰۱$) بر میزان غلظت سرب در اندام هوایی گیاه تاج‌خروس معنی‌دار شد درحالی‌که در سایر تیمارها اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده نشد. همچنین بین تیمار کلات EDTA (۰ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) و تیمار کلات EDTA (۵ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) نیز اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده شد(شکل ۴-۳۶).

شکل(۴-۳۶) تاثیر کلات بر غلظت سرب در اندام هوایی گیاه تاج خروس

ج- آفتابگردان

نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها(جدول پیوست ۵)نشان داد، اثر اصلی اسید سیتریک ($P<۰/۰۵$) بر میزان غلظت سرب در اندام هوایی گیاه آفتابگردان معنی‌دار شد درحالی‌که در سایر تیمارها اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده نشد. همچنین بین تیمار اسید سیتریک (۰ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) و تیمار اسید سیتریک (۱ گرم بر کیلوگرم خاک) اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده شد (شکل ۴-۳۷). در مطالعه‌ای که به منظور بررسی نقش کلات‌کننده‌ها در فرآیند گیاه پالایی خاک‌های آلوده به لجن فاضلاب‌ها صورت گرفت، بیان شد که با افزایش میزان لجن در خاک بر غلظت عناصر سنگین روی، منیزیم و سرب در اندام‌های هوایی گیاه افزوده شده و ضمناً در گیاهان تیمار شده با کلات، میزان غلظت این عناصر به صورت معنی‌داری بیش از گیاهان شاهد بود (زئیر و همکاران، ۲۰۱۰).

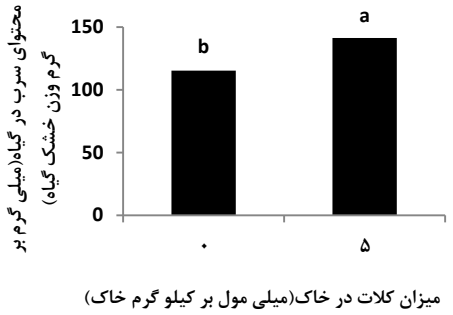
شکل(۴-۳۷) تاثیر اسید سیتریک بر غلظت سرب در اندام هوایی گیاه آفتابگردان

۴-۶- محتوای سرب در گیاه

از شاخص‌های بسیار موثر در امر گیاه پالایی محتوای عنصر در بافت‌های گیاه می‌باشد که از حاصل ضرب غلظت عنصر در بیوماس خشک گیاه بدست می‌آید، بنابراین کم بودن غلظت عنصر در گیاه نشان از ناکارایی پالایش گیاهی نبوده کما اینکه گیاهانی با غلظت پایین عنصر و بیوماس بالاتر، کارآمدتر از گیاهانی با غلظت بالاتر و حجم زیست توده کمتر می‌باشد.

الف-سورگوم

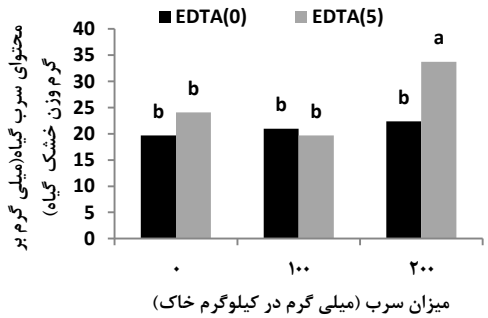
نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها (جدول پیوست ۶) نشان داد، اثر اصلی کلات EDTA ($P<۰/۰۱$) بر محتوای سرب در گیاه سورگوم معنی‌دار شد در حالی‌که در سایر تیمارها اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده نشد. همچنین بین تیمار کلات EDTA (۰ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) و تیمار کلات EDTA (۵ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده شد(شکل ۴-۳۸).



شکل(۴-۳۸) الف- تاثیر کلات بر محتوای سرب در گیاه سورگوم

ب- تاج خروس

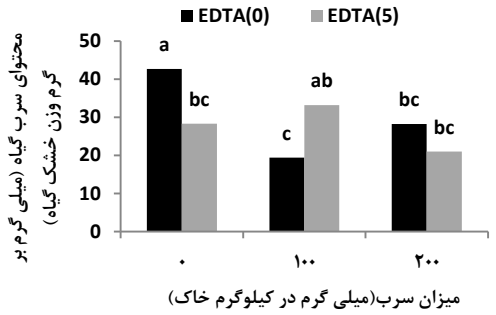
نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول پیوست۶) نشان داد، اثرات اصلی سرب ($P<۰/۰۱$) ، کلات EDTA ($P<۰/۰۱$) و اثر متقابل بین سرب، کلات EDTA ($P<۰/۰۵$) بر میزان محتوای سرب در گیاه تاج خروس معنی‌دار شدند درحالی‌که در سایر تیمارها اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده نشد. در تیمار اثر متقابل سرب و کلات EDTA، بین تیمار سرب(۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) و کلات EDTA (۵ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) و تیمار سرب (۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و کلات EDTA (۵ میلی‌مول در کیلوگرم خاک) اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده شد و در سایر تیمارها تفاوت آماری دیده نشد(شکل ۴-۳۹).



شکل(۴-۳۹) تاثیر برهمکنش سرب و کلات بر محتوای سرب در گیاه تاج خروس

ج- آفتابگردان

نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها (جدول پیوست۶) نشان داد، اثر اصلی سرب ($P<۰/۰۱$) ، اثر متقابل بین سرب، کلات EDTA ($P<۰/۰۱$) بر میزان محتوای سرب در گیاه آفتابگردان معنی‌دار شدند درحالی‌که در سایر تیمارها تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده نشد. در بررسی شاخص محتوای سرب در گیاه آفتابگردان تحت تاثیر اسید سیتریک بین تیمار اسید سیتریک (۰ گرم بر کیلوگرم خاک) و اسید سیتریک(۱ گرم بر کیلوگرم خاک) اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده شد(شکل ۴-۴۰ الف). میزان محتوای سرب در اثر متقابل بین فاکتورهای سرب و کلات EDTA در تیمار سرب (۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و کلات (۰ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) و تیمار سرب (۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) و کلات EDTA (۰ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده شد. همچنین بین تیمار سرب (۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و کلات (۰ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) و تیمار سرب (۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) و کلات EDTA (۵ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) هم تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده شد در نهایت بین تیمار سرب (۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و کلات (۰ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) و تیمار سرب (۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) و کلات EDTA (۰ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده شد درحالی‌که در سایر تیمارها تفاوت آماری معنی‌داری دیده نشد(شکل ۴-۴۰ ب).



الف-

ب-

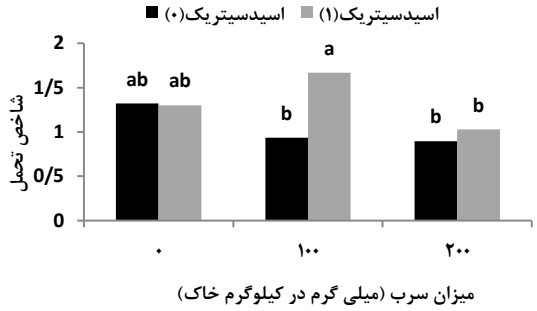
شکل(۴-۴۰)الف- تاثیر اسید سیتریک بر محتوای سرب در گیاه آفتابگردان ب- تاثیر بر همکنش سرب و کلات EDTA بر محتوای سرب در گیاه آفتابگردان

۴-۷- شاخص‌های گیاه پالایی

۴-۷-۱- شاخص تحمل

الف- سورگوم

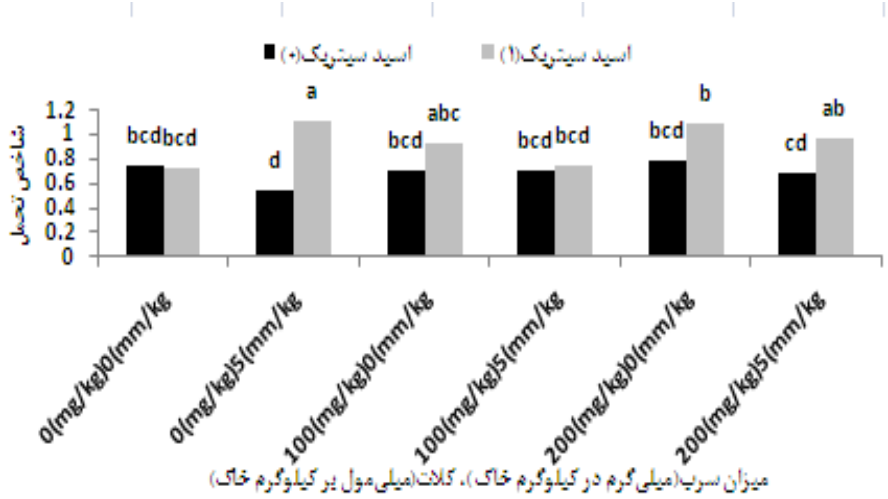
طبق نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول پیوست۷)نشان داد، اثر متقابل سرب و اسید سیتریک ($P<۰/۰۱$) در میزان شاخص تحمل گیاه سورگوم معنی‌دار شدند درحالی‌که در سایر تیمارها تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده نشد. در تیمار اثر متقابل سرب و اسید سیتریک بین تیمار سرب (۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و اسید سیتریک (۱گرم در کیلوگرم خاک) و تیمار سرب (۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و اسیدسیتریک (۱گرم در کیلوگرم خاک) اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده شد و در نهایت در سایر تیمارها تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده نگردید(شکل ۴-۴۱).



شکل(۴-۴۱) تاثیر برهمکنش سرب و اسید سیتریک بر شاخص تحمل در گیاه سورگوم

ب- تاج خروس

طبق نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول پیوست۷)نشان داد، اثر اصلی اسیدسیتریک ($P<۰/۰۱$) و اثرمتقابل سرب، کلات EDTA و اسید سیتریک در سطح احتمال ($P<۰/۰۵$) معنی‌دار شدند درحالی‌که در سایر اثرات تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده نشد. در بررسی اثر متقابل سرب، کلات EDTA و اسید سیتریک بر میزان شاخص تحمل در گیاه تاج‌خروس بین تیمار سرب (۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)، کلات (۵ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) و اسید سیتریک (۰ گرم در کیلوگرم خاک) و تیمار سرب (۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک)، کلات(۵ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) و اسیدسیتریک(۱ گرم بر کیلوگرم خاک) اختلاف آماری معنی‌داری دیده شد همچنین بین تیمار سرب (۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک)، کلات(۵ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) و اسیدسیتریک(۱ گرم بر کیلوگرم خاک) و تیمار سرب (۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک)، کلات(۰ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) و اسیدسیتریک(۱ گرم بر کیلوگرم خاک)اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده شد و در سایر تیمارها تفاوت آماری معنی‌داری دیده نشد(شکل ۴-۴۲).



شکل(۴-۴۲) تاثیربرهمکنش سرب، کلات و اسید سیتریک بر شاخص تحمل در گیاه تاج خروس

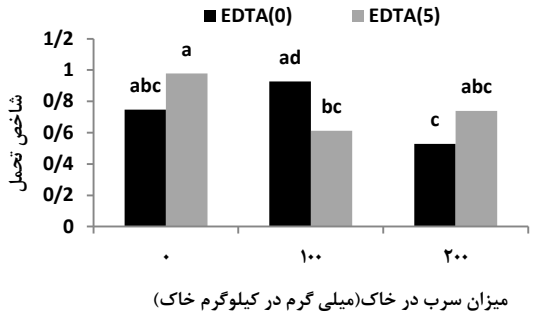
ج- آفتابگردان

طبق نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول پیوست۷)نشان داد، اثرات اصلی سرب ($P<۰/۰۵$) ، اسیدسیتریک ($P<۰/۰۵$) و اثر متقابل سرب، کلات EDTA در سطح احتمال ($P<۰/۰۱$) معنی‌دار شدند درحالی‌که در سایر اثرات تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده نشد. در بررسی تاثیر اسید سیتریک بر شاخص تحمل در گیاه آفتابگردان بین تیمار اسید سیتریک(۰ گرم بر کیلو گرم خاک) و تیمار اسید سیتریک(۱ گرم بر کیلوگرم خاک) تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده شد (شکل ۴-۴۳). همچنین در بررسی اثر متقابل سرب و کلاتEDTA بین تیمار سرب (۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)، کلات EDTA (۵ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) و تیمار سرب (۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)، کلات EDTA (۰ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده شد همچنین بین تیمار سرب (۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و کلات EDTA (۵ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) و تیمار سرب (۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و کلات EDTA (۵ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) نیز تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده شد در حالی‌که بین سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد(شکل ۴-۴۴).

فلز سرب باعث از بین رفتن حاصلخیزی خاک و همچنین سبب تغییر شاخص‌های فیزیولوژیکی رشد گیاهان و در نهایت کاهش عملکرد آنها می‌شود (ماجر و همکاران،۲۰۰۲). ریبرودسوزا و همکاران

(۲۰۱۲) با تحقیق بر پتانسیل گیاه پالایی دو گونه گیاهی مشاهده کردند که با افزایش محتوای سرب خاک از میزان شاخص تحمل در این گونه‌های گیاهی کاسته شد.

شکل(۴-۴۳) تاثیر اسید سیتریک بر شاخص تحمل در گیاه آفتابگردان



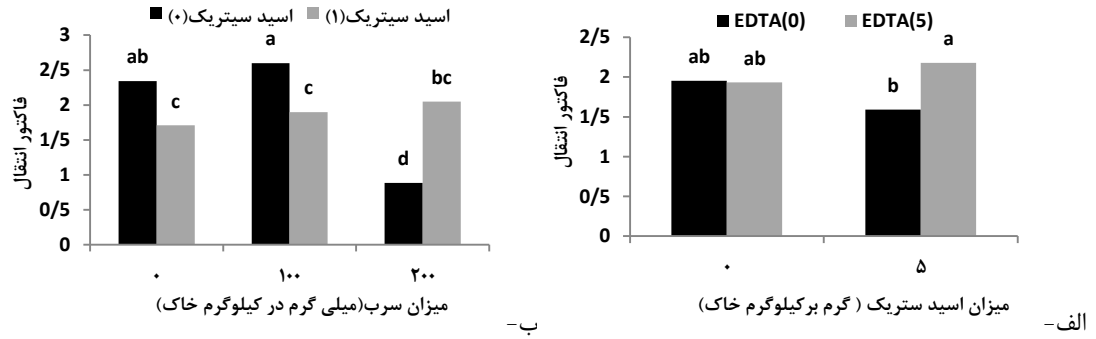
شکل(۴-۴۴) الف- تاثیر برهمکنش سرب و کلات بر شاخص تحمل در گیاه آفتابگردان

۴-۷-۲- فاکتور انتقال

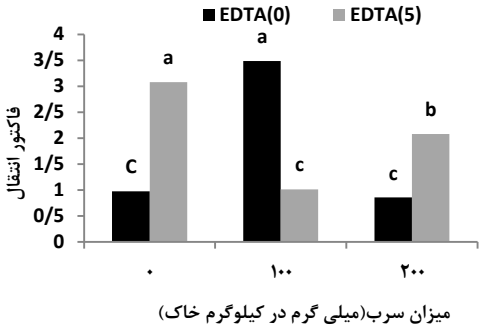
الف- سورگوم

طبق نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول پیوست۷) نشان داد، تمام اثرات اصلی و متقابل به جز اثر اصلی اسید سیتریک و اثر متقابل سرب،کلات و اسید سیتریک در سطح احتمال($P<0/01$) معنی‌دار شده‌اند. در بررسی اثر متقابل سرب و کلاتEDTA بین تیمار سرب (۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و کلات EDTA (۰ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) و تیمار سرب (۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و کلات EDTA (۵ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده شد و همچنین بین

تیمار سرب (۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و کلات EDTA (۰ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) و تیمار سرب (۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و کلات EDTA (۰ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) نیز اختلاف معنی‌داری مشاهده شد و در سایر تیمارها تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده نشد(شکل ۴-۴۶). همچنین در بررسی اثر متقابل سرب و اسید سیتریک بین تیمارهای سرب (۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)، اسید سیتریک(۰گرم بر کیلوگرم خاک)و تیمار سرب (۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)، اسید سیتریک(۱گرم بر کیلوگرم خاک) و همچنین بین تیمارهای سرب (۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)، اسید سیتریک(۰گرم بر کیلوگرم خاک)و تیمار سرب (۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)، اسید سیتریک(۱گرم بر کیلوگرم خاک) اختلاف معنی‌داری مشاهده شد (شکل ۴-۴۵ ب). همینطور در بررسی اثر متقابل کلات EDTA ، اسید سیتریک در بین تیمار اسید سیتریک(۱ گرم بر کیلوگرم خاک) و کلات(۰ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) و تیمار اسید سیتریک(۱ گرم بر کیلوگرم خاک) و کلات(۵ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) نیز تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده شد در حالی‌که در سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری دیده نشد (شکل ۴-۴۵ الف).



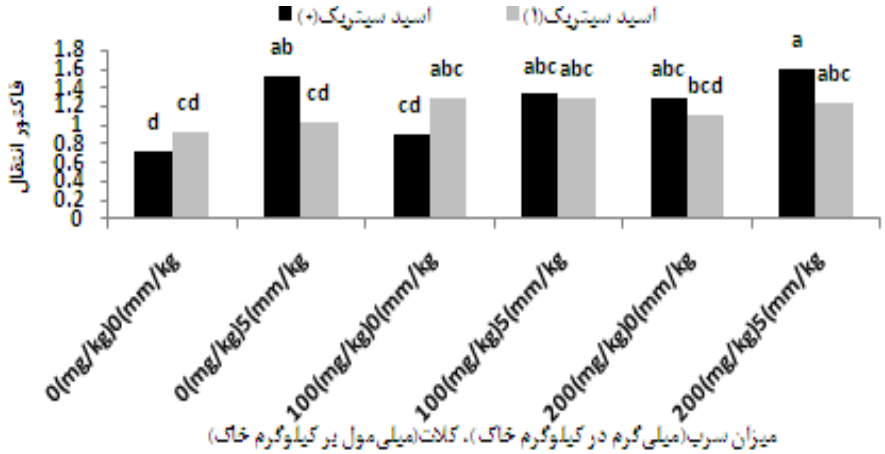
شکل(۴-۴۵) الف- تاثیر برهمکنش کلات و اسید سیتریک بر فاکتور انتقال در گیاه سورگوم ب- تاثیر برهمکنش سرب و اسید سیتریک بر فاکتور انتقال در گیاه سورگوم



شکل(۴-۴۶) الف- تاثیر برهمکنش سرب و کلات بر فاکتور انتقال در گیاه سورگوم

ب- تاج خروس

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده ها(جدول پیوست ۷) نشان داد که اثر اصلی کلات EDTA ($P<۰/۰۱$) و همچنین اثرمتقابل سرب، کلات EDTA و اسید سیتریک در سطح احتمال ($P<۰/۰۵$) معنی‌دار شدند درحالی‌که در سایر اثرات تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده نشد. در استفاده توام سرب، کلات EDTA و اسید سیتریک بر میزان فاکتور انتقال در گیاه تاج‌خروس در تیمار سرب (۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)، کلات EDTA (۵ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) و اسید سیتریک (۰ گرم در کیلوگرم خاک) نسبت به تیمار سرب (۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)، کلات EDTA (۰ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) و اسید سیتریک (۰ گرم در کیلوگرم خاک) اختلاف معنی‌داری مشاهده شد (شکل ۴-۴۷).



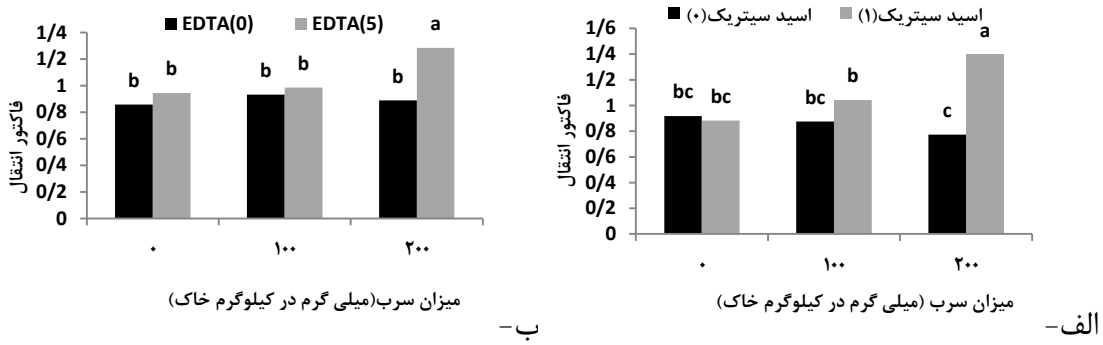
شکل(۴-۴۷) تاثیر برهمکنش سرب، کلات و اسید سیتریک بر فاکتور انتقال در گیاه تاج خروس

ج- آفتابگردان

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها(جدول پیوست۷) نشان داد، اثرات اصلی سرب، کلات EDTA و اسیدسیتریک و اثر متقابل (سرب، کلات EDTA) و (سرب، اسید سیتریک) در سطح احتمال ($P<۰/۰۱$) بر فاکتور انتقال در گیاه آفتابگردان معنی‌دار شده است درحالی‌که در سایر اثرات متقابل تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده نشد. در بررسی اثر متقابل سرب و کلات EDTA بین تیمار سرب (۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و کلات EDTA (۵ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) و تیمار سرب (۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و کلات EDTA (۵ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) اختلاف معنی‌داری مشاهده شد درحالی‌که در سایر سطوح تفاوت آماری معنی‌داری دیده نشد(شکل ۴-۴۸ ب). همچنین در بررسی اثر متقابل سرب، اسید سیتریک بر میزان فاکتور انتقال در گیاه، تیمارهای سرب (۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)، اسید سیتریک (۱گرم بر کیلوگرم خاک) و تیمار سرب (۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و اسید سیتریک (۱ گرم در کیلوگرم خاک)اختلاف معنی‌داری مشاهده شد (شکل ۴-۴۸ الف).

آنچه واضح است مولکول‌های فلزات سنگین ظرفیت محدودی در اتصال به سلول‌های ریشه و در نهایت انتقال به اندام هوایی گیاه دارند (اوانجلو و همکاران،۲۰۰۴) بنابراین با افزایش سطح آلودگی خاک از ظرفیت جایگاه‌های اتصال این عناصر در گیاه کاسته می‌شود. در تحقیقات صورت گرفته شاهد کاهش میزان فاکتور انتقال در گیاه با افزایش سطح آلودگی خاک بودند (دسوزا و همکاران،۲۰۱۲). تحقیقات حاکی از آن است که ترکیبات کلات کننده از جمله EDTA و همچنین اسید سیتریک سبب تسهیل در انتقال فلز در آوند چوبی و انتقال به شاخساره می‌شوند (بلیلوک و همکاران،۱۹۹۷). در نهایت توجه به این مطلب که سرب دارای فاکتور انتقال پایین‌تری نسبت به سایر فلزات سنگین می‌باشد ضروری است (کریمی، ۱۳۸۷). در تحقیقی محمد و همکاران(۲۰۰۹) تیمار اسید سیتریک بر میزان فاکتور انتقال کادمیم را بطور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش داد در حالی‌که برای سرب هیچ اثر معنی‌داری نشان نداد. براساس گزارش چن و همکاران (۲۰۰۳) اعمال تیمار اسید سیتریک

مقدار و سمیت کادمیم را توسط گیاه تربچه کاهش داد اما انتقال عنصر را از ریشه به اندام هوایی افزایش داد.

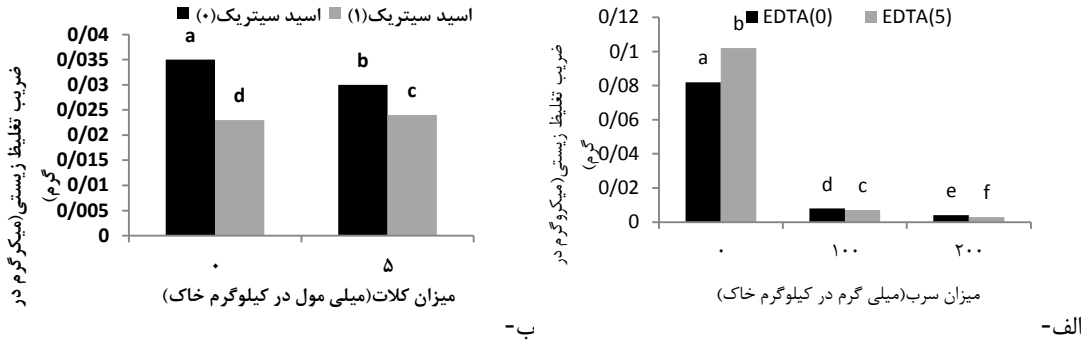


شکل(۴-۴۸) الف- تاثیر بر همکنش سرب و اسید سیتریک بر فاکتور انتقال در گیاه آفتابگردان ب تاثیر برهمکنش سرب و کلات بر فاکتور انتقال در گیاه آفتابگردان

۴-۶-۳- ضریب تغلیظ زیستی

الف- سورگوم

نتایج حاصل تجزیه واریانس داده‌ها (جدول پیوست۶) نشان داد، اثرات اصلی سرب و کلات EDTA و همچنین اثرات متقابل (سرب و کلات EDTA) و (کلات EDTA و اسید سیتریک) بر میزان تغلیظ زیستی در گیاه سورگوم در سطح احتمال ($P<۰/۰۱$) معنی‌دار شدند. در بررسی اثر متقابل بین سرب و کلات EDTA در گیاه سورگوم بین تیمار سرب (۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و کلات EDTA (۵ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) و تیمار سرب (۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و کلات EDTA (۰ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده شد(شکل ۴-۴۹ الف). همچنین در بررسی صورت گرفته بر اثر متقابل بین کلات EDTA و اسید سیتریک بین تیمار کلات EDTA (۵ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) و اسید سیتریک (۱ گرم در کیلوگرم خاک) و تیمار کلات EDTA (۰ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) و اسید سیتریک (۰ گرم در کیلوگرم خاک) نیز اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده شد درحالی‌که در سایر تیمارها تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده نشد(شکل ۴-۴۹ ب).

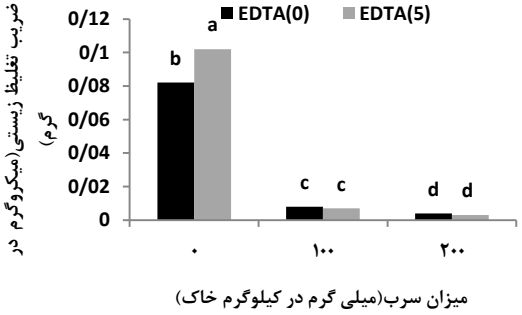


ب- الف-

شکل(۴-۴۹) الف- تاثیربرهمکنش سرب و کلات بر ضریب تغلیظ زیستی در گیاه سورگوم ب- تاثیر برهمکنش کلات و اسید سیتریک بر ضریب تغلیظ زیستی در گیاه سورگوم

ب- تاج خروس

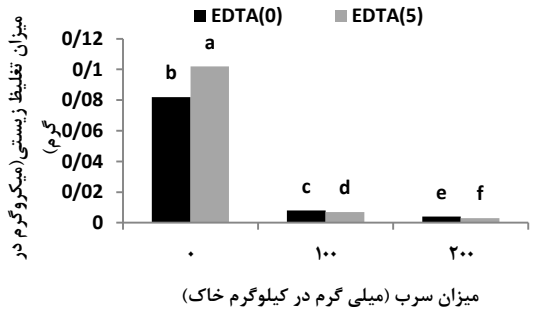
نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول پیوست۶) نشان داد، اثرات اصلی سرب ($P<۰/۰۱$) و کلاتEDTA ($P<۰/۰۱$) و همچنین اثر متقابل سرب و کلات ($P<۰/۰۱$) بر میزان تغلیظ زیستی در گیاه تاج خروس معنی‌دار شدند درحالی‌که سایر اثرات در هیچ سطح احتمالی معنی‌دار نشدند. در بررسی اثر متقابل بین سرب و کلات EDTA در گیاه تاج خروس مشاهده شد که بین تیمارهای سرب (۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و کلات EDTA (۵ میلی‌مول در کیلوگرم خاک) و تیمار سرب (۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و کلات EDTA (۵ میلی‌مول در کیلوگرم خاک) اختلاف معنی‌داری مشاهده شد(شکل ۴-۵۰).



شکل(۴-۵۰) الف- تاثیر برهمکنش سرب و کلات بر ضریب تغلیظ زیستی در گیاه تاج خروس

ج- آفتابگردان

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول پیوست۶) نشان داد، اثرات اصلی سرب ($P<0/01$)و کلات EDTA ($P<0/01$)و همچنین اثرات متقابل سرب و کلات EDTA ($P<0/01$) بر میزان تغلیظ زیستی در گیاه آفتابگردان معنی‌دار شدند. در بررسی اثر متقابل بین سرب و کلات EDTA در گیاه آفتابگردان مشاهده شد که بین تیمار سرب (۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و کلات EDTA (۵ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) و تیمار سرب (۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و کلات EDTA (۵ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده شد(شکل ۴-۵۱).



شکل(۴-۵۱) الف- تاثیرسرب و کلات بر ضریب تغلیظ زیستی در گیاه آفتابگردان

پیوست

جدول پیوست ۱:تجزیه واریانس صفات مورد بررسی در گیاهان سورگوم، تاج خروس و آفتابگردان

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات وزن تر اندام هوایی			میانگین مربعات وزن خشک اندام هوایی		
		سورگوم	تاج خروس	آفتابگردان	سورگوم	تاج خروس	آفتابگردان
بلوک	۳	۸۳۳/۲۶**	۲/۲۱	۱۰۹/۴۳	۹۴/۱۴	۳۶/۴۰	۹/۳۴ *
سرب(A)	۲	۱۲۲۸/۱۵	۲۶/۹۵	۲۸۷/۳۶	۲۳۰/۵۹ **	۷/۳۸	۳۸/۲۷**
کلات(B)	۱	۸۰/۸۶	۰/۰۰۴	۷/۱۳	۱۰/۶۸	۱/۸۰	۳/۳۹
اسیدسیتریک(C)	۱	۳۱۵/۱۸	۱/۴۴	۸۰۴/۹۱**	۳۴۶/۹۵ **	۷۷/۵۹**	۶۷/۴۰ *
A×B	۲	۱۸۷/۱۹	۵۳/۳۸ *	۱۴۷/۷۴	۵/۷۰	۶/۶۰	۶۹/۰۲ *
A×C	۲	۴۴۹/۱۸ *	۲۲/۹۸	۹۶/۳۸	۲۲۹/۲۶ **	۳/۵۳	۱۴/۵۳
B×C	۱	۱۱۸/۸۱	۹/۳۸	۳۷/۶۶	۱۸/۵۸	۶/۹۵	۰/۴۴
A×B×C	۲	۱۰۸/۶۲	۳۲/۳۰	۲۹۳/۸۲	۲۰/۳۴	۱۹/۱۶	۱۵/۰۶
خطای آزمایش	۳۳	۱۳۲/۱۳	۱۲/۴۱	۱۰۷/۲۰	۴۰/۹۸	۴/۷۱	۹/۱۴
ضریب تغییرات		۲۳/۶۸	۲۷/۶۳	۲۴/۶۰	۲۸/۱۵	۲۳/۹۳	۲۹/۷۸

* , ** به ترتیب بیان گر معنی داری در سطح ۵ و ۱ درصد می باشد

جدول پیوست ۲:تجزیه واریانس صفات مورد بررسی در گیاهان سورگوم، تاج خروس و آفتابگردان

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات کلروفیل کل			میانگین مربعـات ارتفاع		
		سورگوم	تاج خروس	آفتابگردان	سورگوم	تاج خروس	آفتابگردان
بلوک	۳	۵۴/۹۴	۸/۰۲	۲۸/۰۹*	۴۲۷/۱۶	۱۳/۵۸	۳۱۲/۰۷
سرب(A)	۲	۲۹۶/۸۳ **	۱۸/۷۲	۶۵/۵۱	۱۲۹۴/۳۹ *	۳/۲۷	۸۲/۰۲
کلات(B)	۱	۱۸۸/۸۱ *	۲۸/۶۷	۳/۸۵	۱۳۳/۳۳	۳/۰۰	۲۸۵/۱۸
اسیدسیتریک(C)	۱	۰/۱۴	۱۲/۹۱	۹/۳۶	۲۳۴/۰۸	۱۰۲/۰۸	۱۵/۱۸
A×B	۲	۶۱/۹۹	۱۷/۰۵	۸۲/۱۱ **	۲۵۴/۷۷	۷۰/۱۸	۱۲۶/۱۸
A×C	۲	۴۲/۸۹	۹۲/۸۹	۱۳/۴۲	۲۱۳/۰۲	۱۴۱/۱۴	۱۵۶/۸۱
B×C	۱	۰/۳۶	۰/۰۲	۴/۳۲	۰/۰۸	۵/۳۳	۱۱/۰۲
A×B×C	۲	۴۹/۴۱	۱۳۵/۸۸	۸/۵۵	۳۰۴/۶۴	۳۳/۱۴	۸۰/۶۴
خطای آزمایش	۳۳	۳۶/۰۱	۴۸/۷۰	۱۲/۷۴	۲۶۴/۶۳	۳۹/۲۵	۱۰۰/۰۰
ضریب تغییرات		۱۸/ ۶۶	۲۱/۸۴	۱۱/۱۳	۱۳/۶۶	۱۶/۹۶	۱۳/۱۵

* , ** به ترتیب بیان‌گر معنی داری در سطح ۵ و ۱ درصد می باشد

جدول پیوست ۳:تجزیه واریانس صفات مورد بررسی در گیاهان سورگوم، تاج خروس و آفتابگردان

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات اسیدیته			میانگین مربعات شوری خاک		
		سورگوم	تاج خروس	آفتابگردان	سورگوم	تاج خروس	آفتابگردان
بلوک	۳	۰/۰۳۹	۰/۰۲۱	۰/۱۱۷	۰/۰۲۴	۰/۰۱	۰/۰۲۲
سرب(A)	۲	۰/۱۱۶	۰/۰۶۰	۰/۱۱۹	۰/۰۶۵ *	۰/۰۱	۰/۰۳۶
کلات(B)	۱	۰/۰۰۶	۰/۲۳۸ *	۰/۱۸۰	۰/۰۴۷	۰/۰۲۳	۰/۰۱۱
اسیدسیتریک(C)	۱	۰/۰۸۶	۰/۶۵۷	۰/۰۷۵	۰/۰۰۴ **	۰/۰۰۵ **	۰/۰۲۹ **
A×B	۲	۰/۱۰۸	۰/۰۲۳ **	۰/۱۹۳	۰/۳۸۵	۰/۷۱۵	۰/۶۶۷
A×C	۲	۰/۰۷۳	۰/۰۷۵	۰/۰۱۸	۰/۲۴۶ **	۰/۲۲۲	۰/۰۷۷
B×C	۱	۰/۳۲۳ *	۰/۰۰۶	۰/۰۰۱	۰/۰۰۵	۰/۰۵۳	۰/۰۱۷
A×B×C	۲	۰/۰۶۹	۰/۴۴۳ **	۰/۴۶۳ **	۰/۱۰۶	۰/۳۷۷	۰/۱۳۳ *
خطای آزمایش	۳۳	۰/۰۵۲	۰/۰۵۷	۰/۰۵۴	۰/۰۱۶	۰/۰۷۸	۰/۰۳۵
ضریب تغییرات		۲/۹۰	۲/۹۸	۲/۸۴	۱۸/۱۴	۲۸/۷۹	۲۱/۶۶

* , ** به ترتیب بیان گر معنی داری در سطح ۵ و ۱ درصد می باشد

جدول پیوست ۴:تجزیه واریانس صفات مورد بررسی در گیاهان سورگوم، تاج خروس و آفتابگردان

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات کلروفیلa			میانگین مربعات کلروفیلb		
		سورگوم	تاج خروس	آفتابگردان	سورگوم	تاج خروس	آفتابگردان
بلوک	۳	۰/۰۸۷	۰/۱۱۴	۰/۱۵۲	۰/۰۲	۰/۰۰۸	۰/۰۸۴
سرب(A)	۲	۰/۰۲۸	۰/۰۶۴	۰/۰۷۰	۰/۲۴۸ **	۰/۰۲۷	۰۰/۰۰
کلات(B)	۱	۰/۴۵۴ *	۰/۱۳۹	۰/۰۱۱	۰/۲۸۴ **	۰/۰۲۷	۰/۰۶۱ *
اسیدسیتریک(C)	۱	۰/۰۰۲	۰/۰۱۹	۰/۲۳۳ **	۰/۰۷ *	۰/۰۰۱	۰/۳۸۷ **
A×B	۲	۰/۷۹۷**	۰/۲۵۸ *	۰/۰۲۵	۰/۱۴۹ **	۰/۰۷۸ **	۰/۰۰۵
A×C	۲	۰/۵۶۰ **	۰/۰۱۶	۰/۲۱۵ **	۰/۰۷۴ *	۰/۰۰۶	۰/۱۷۳ **
B×C	۱	۰/۱۴۷	۰/۰۰۴	۰/۰۰۹	۰/۲۲۹ **	۰/۰۲۳	۰/۰۱۶
A×B×C	۲	۰/۱۲۴	۰/۳۱۱**	۰/۰۴۰	۰/۴۶۳ **	۰/۰۴۴ *	۰/۰۰۳
خطای آزمایش	۳۳	۰/۰۷۲	۰/۰۵۱	۰/۰۲۹	۰/۰۱۵	۰/۰۰۹	۰/۰۰۸
ضریب تغییرات		۲۵/۷۳	۱۹/۱۱	۱۵/۶۰	۲۷/۰۳	۲۲/۵۷	۲۰/۴۹

* , ** به ترتیب بیان گر معنی داری در سطح ۵ و ۱ درصد می باشد

جدول پیوست۵:تجزیه واریانس صفات مورد بررسی در گیاهان سورگوم، تاج خروس و آفتابگردان

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات غلظت سرب در اندام هوایی			میانگین مربعات غلظت سرب در ریشه		
		سورگوم	تاج خروس	آفتابگردان	سورگوم	تاج خروس	آفتابگردان
بلوک	۳	۰/۰۶۴	۰/۲۵۲	۰/۰۰۹	۰/۱۱۴	۰/۰۲۲	۰/۰۲۵
سرب(A)	۲	۰/۰۱۴	۰/۵۹۵	۰/۲۹۶	۰/۸۲۷**	۰/۰۴۶	۱/۱۵۱**
کلات(B)	۱	۰/۰۰۱	۱/۰۱۵**	۰/۰۱۳	۱/۱۶۳*	۰/۰۵۰	۰/۲۰۹ **
اسیدسیتریک(C)	۱	۰/۰۱۲	۰/۰۷۲	۰/۰۳۴ *	۰/۴۷۰**	۰/۰۲۰	۰/۹۴۴ **
A×B	۲	۰/۰۲۳	۰/۱۳۱	۰/۰۵۴	۱/۵۶۴**	۰/۰۶۴	۰/۰۴۶ *
A×C	۲	۰/۰۳۳	۰/۲۲۵	۰/۱۴۷	۰/۶۲۵**	۰/۱۰۱	۰/۰۷۵ **
B×C	۱	۰/۰۰۱	۰/۰۴۴	۰/۰۲۳	۰/۲۸۱	۰/۳۵۵ **	۲/۷۶۰ **
A×B×C	۲	۰/۰۱۶	۰/۲۸۳	۰/۰۴۰	۰/۶۵۵**	۰/۰۴۰	۰/۱۱۳
خطای آزمایش	۳۳	۰/۰۱۶	۰/۱۳۳	۰/۰۴۱	۰/۰۷۸	۰/۰۴۳	۰/۰۱۳
ضریب تغییرات		۹/۴	۲۱/۲۱	۱۷/۵۷	۲۸/۹۲	۱۴/۴۶	۸/۵۲

* , ** به ترتیب بیان گر معنی داری در سطح ۵ و ۱ درصد می باشد

جدول پیوست ۶:تجزیه واریانس صفات مورد بررسی در گیاهان سورگوم، تاج خروس و آفتابگردان

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات محتوای سرب در گیاه			میانگین مربعات ضریب تغلیظ زیستی		
		سورگوم	تاج خروس	آفتابگردان	سورگوم	تاج خروس	آفتابگردان
بلوک	۳	۱۱۴۱/۶۸	۲۳۲/۲۸۷	۱۲۵/۸۸۲	۰/۰۳۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱
سرب(A)	۲	۲۶۶۶/۷۸	۲۶۸/۱۱۶**	۵۴۷/۹۴۶**	۰/۰۲۶**	۰/۰۴۲**	۰/۰۷۹**
کلات(B)	۱	۸۱۲۷/ ۳**	۲۸۲/۰۵۲**	۸۲/۱۶۱	۰/۰۰۱**	۰/۰۰۱**	۰/۰۲۰**
اسیدسیتریک(C)	۱	۲۵۸۱/۴۹	۱۶۴/۳۲۸	۷۷۰/۴۹۵**	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱
A×B	۲	۹۳/۱۹	۱۵۹/۸۸۳*	۸۵۱/۴۱۵**	۰/۰۰۱**	۰/۰۰۱**	۰/۰۰۱**
A×C	۲	۱۷۱۰/۱۷	۱۰/۸۰۱	۱۰۴/۷۴۵	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱
B×C	۱	۹۴۲/۷۹	۸/۰۶۶	۱۷۱/۴۶۹	۰/۰۰۱**	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱
A×B×C	۲	۲۹۴/۸۰	۳۴۶/۹۴۹	۱۵۹/۷۶۷	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱
خطای آزمایش	۳۳	۱۰۲۵/۶۹	۳۰/۷۶۵	۷۳/۵۱۶	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱
ضریب تغییرات		۲۴/۹۲	۲۳/۶۷	۲۹/۷۶	۱۶/۲۱	۱۷/۰۳	۱۷/۰۳

* , ** به ترتیب بیان گر معنی داری در سطح ۵ و ۱ درصد می باشد

جدول پیوست ۷: تجزیه واریانس صفات مورد بررسی در گیاهان سورگوم، تاج خروس و آفتابگردان

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات فاکتورانتقال			میانگین مربعات شاخص تحمل		
		سورگوم	تاج خروس	آفتابگردان	سورگوم	تاج خروس	آفتابگردان
بلوک	۳	۰/۱۵۱	۰/۱۴۹	۰/۰۱۱	۰/۲۵۹	۰/۲۹۶	۰/۰۵۲
سرب(A)	۲	۴/۴۶۰**	۰/۲۹۴	۰/۱۴۴ **	۰/۶۳۳ **	۰/۰۶۰	۰/۲۱۲ *
کلات(B)	۱	۰/۰۰۶ **	۱/۰۷۱ **	۰/۳۸۶ **	۰/۰۲۹	۰/۰۱۵	۰/۰۲۲
اسیدسیتریک(C)	۱	۱۸/۲۳۵	۰/۰۹۸	۰/۷۶۱ **	۰/۹۵۳ **	۰/۶۳۱ **	۰/۳۷۳ *
A×B	۲	۰/۲۹۳ **	۰/۰۶۴	۰/۲۸۷ **	۰/۰۳۱	۰/۰۵۴	۰/۳۸۲ **
A×C	۲	۴/۵۶۷**	۰/۲۲۰	۰/۴۵۷ **	۱/۲۶۰ **	۰/۰۲۹	۰/۰۸۰
B×C	۱	۰/۰۸۱ **	۰/۶۰۶	۰/۰۲۵	۰/۰۵۱	۰/۰۵۷	۰/۰۰۲
A×B×C	۲	۶/۹۵۶	۰/۰۶۲ *	۰/۳۵۲	۰/۱۱۲	۰/۱۵۶ *	۰/۰۸۳
خطای آزمایش	۳۳	۰/۱۲۵	۰/۰۹۱	۰/۰۲۲	۳/۷۱۵	۰/۰۳۸	۰/۰۵۱
ضریب تغییرات		۱۷/۱۸	۲۳/۳۰	۱۵/۱۵	۲۸/۱۶	۲۳/۹۳	۲۹/۷۸

* , ** به ترتیب بیان گر معنی داری در سطح ۵ و ۱ درصد می باشد

جدول پیوست ۸:تجزیه واریانس صفات مورد بررسی در گیاهان سورگوم، تاج خروس و آفتابگردان

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات کارتنوئید		
		سورگوم	تاج خروس	آفتابگردان
بلوک	۳	۰/۰۰۹	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰
سرب(A)	۲	۰/۰۰۶	۰/۰۲۵ *	۰/۰۳۸ **
کلات(B)	۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۵	۰/۰۰۲
اسیدسیتریک(C)	۱	۰/۰۵ **	۰/۰۳۳ **	۰/۰۱ *
A×B	۲	۰/۰۴۱ *	۰/۰۵۲ *	۰/۰۰۵
A×C	۲	۰/۰۳ **	۰/۰۰۱	۰/۰۱۷ **
B×C	۱	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲	۰/۰۷۸ **
A×B×C	۲	۰/۰۳۳	۰/۰۲۷ *	۰/۰۲۰ **
خطای آزمایش	۳۳	۰/۰۰۶	۰/۰۰۵	۰/۰۰۲
ضریب تغییرات		۱۹/۷۴	۱۶/۳۸	۸/۷۶

* , ** به ترتیب بیان گر معنی داری در سطح ۵ و ۱ درصد می باشد

جدول پیوست ۹:تجزیه واریانس صفات مورد بررسی در گیاهان سورگوم، تاج خروس و آفتابگردان

		میانگین مربعات وزن‌خشک‌ریشه		
منابع تغییر	درجه آزادی	سورگوم	تاج خروس	آفتابگردان
بلوک	۳	۳۳/۳۰	۰/۰۲ *	۰/۰۳
سرب(A)	۲	۸۹/۲۴ **	۰/۴۵ **	۰/۳۰ **
کلات(B)	۱	۷۵/۰۷ **	۰/۱۵	۰/۰۱
اسیدسیتریک(C)	۱	۱۰/۳۷	۱/۶	۱/۶۴ **
A×B	۲	۸۲/۹۲ *	۰/۴۶ *	۰/۰۴
A×C	۲	۲۶/۰۲	۰/۲۳	۰/۴۵ **
B×C	۱	۱۶۶/۳۲ **	۰/۰۹	۰/۱۶
A×B×C	۲	۷۲/۵۷	۰/۶۰	۰/۰۴
خطای آزمایش	۳۳	۱۸/۸۹	۰/۰۹	۰/۰۶
ضریب تغییرات		۲۳/۶۱	۲۸/۶۴	۲۶/۶۴

* , ** به ترتیب بیان گر معنی داری در سطح ۵ و ۱ درصد می باشد

جدول۱۰- مقلیسه میانگین سرب،کلات در صفات کلروفیل کل، وزن خشک اندام هوایی، غلظت سرب ریشه، محتوای سرب، شاخص تحمل، فاکتور انتقال و ضریب تغلیظ زیستی در گیاه آفتابگردان

سرب(میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)	کلات EDTA(میلی‌مول بر کیلوگرم خاک)	وزن خشک اندام هوایی(میلی‌گرم)	کلروفیل اسپد (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)	غلظت سرب ریشه(میلی‌گرم برگرم‌وزن خشک)	محتوای سرب (میلی‌گرم در گرم وزن خشک)	شاخص تحمل (میلی‌گرم در گرم وزن خشک)	فاکتور انتقال(میلی‌گرم در گرم وزن خشک)	ضریب تغلیظ زیستی(میلی‌گرم در گرم وزن خشک)
۰	۰	۱۰/۰٤^{abc}	۳۲/۱۱^{ab}	۱/۵۵^{a}	۲۸/۳۲^{a}	۰/۷۵^{abc}	۰/۸۵b	۰/۰۸۲^{b}
	۵	۱۳/۱۵^{a}	۳٦/٤۷^{a}	۱/٦۵^{a}	٤۲/٦۷^{bc}	۰/۹٦^{a}	۰/۹٤^{b}	۰/۱۰۲^{a}
۱۰۰	۰	۱۲/٤۵^{ab}	۳۳/۸۷^{ab}	۱/۰٤^{c}	۳۳/۱٦^{c}	۰/۹۱^{ab}	۰/۹۳^{b}	۰/۰۰۸^{c}
	۵	۸/۲۳^{bc}	۲۹/۳۲^{b}	۱/۰۹^{bc}	۱۹/٤٤^{ab}	۰/۵۲^{bc}	۰/۹۸^{b}	۰/۰۰۷^{d}
۲۰۰	۰	۷/۱۱^{c}	۳۱/۰۸^{b}	۱/۲۵^{b}	۲۱/۰۲^{bc}	۰/۳۹^{c}	۰/۸۸^{b}	۰/۰۰٤^{e}
	۵	۹/۹۳^{abc}	۲۹/۵۷^{b}	۱/۵۱^{a}	۲۸/۲۳^{bc}	۰/٦۷^{abc}	۱/۲۸^{a}	۰/۰۰۳^{f}

اختلاف میانگین هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک می باشند، معنی دار نمی باشد.

جدول۱۱- مقلیسه میانگین سرب،کلات در صفات وزن خشک ریشه، کلروفیل a، کارتنوئید، فاکتور انتقال و ضریب تغلیظ زیستی در گیاه سورگوم

سرب(میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)	کلات EDTA(میلی‌مول بر کیلوگرم خاک)	وزن خشک ریشه گیاه (گرم)	کلروفیلa (میلی‌گرم بر گرم)	کارتنئید (میلی‌گرم بر گرم)	فاکتور انتقال (میلی‌گرم در گرم وزن خشک)	ضریب تغلیظ زیستی(میلی‌گرم در گرم وزن خشک)
۰	۰	۲۱/۰۶^{a}	۱/۱۴^{ab}	۰/۴۴^{a}	۱/۸۷^{c}	۰/۰۸۸^{a}
	۵	۲۰/۰۳^{a}	۱/۰۱^{bc}	۰/۳۸^{ab}	۳/۰۷^{a}	۰/۰۶۱^{b}
۱۰۰	۰	۱۶/۶۹^{ab}	۰/۹۹^{bc}	۰/۳۲^{b}	۳/۴۸^{a}	۰/۰۰۶^{d}
	۵	۲۱/۰۳^{a}	۱^{bc}	۰/۴۴^{a}	۰/۹۹^{c}	۰/۰۰۷^{c}
۲۰۰	۰	۱۱/۸۱^{b}	۰/۶۹^{c}	۰/۴۰^{ab}	۰/۸۵^{c}	۰/۰۰۵^{e}
	۵	۱۹/۹۱^{a}	۱/۴۱^{a}	۰/۳۶^{ab}	۲/۰۷^{b}	۰/۰۰۴^{f}

اختلاف میانگین هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک می باشند، معنی دار نمی باشد

جدول۱۲- مقلیسه میانگین سرب،کلات در صفات وزن خشک ریشه، وزن تر اندام هوایی، کلروفیل a، محتوای سرب و ضریب تغلیظ زیستی در گیاه تاج‌خروس

سرب(میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)	کلاتEDTA(میلی‌مول بر کیلوگرم خاک)	وزن خشک ریشه(گرم)	وزن تر اندام هوایی(گرم)	کلروفیل a (میلی‌گرم)	محتوای سرب گیاه(میلی‌گرم در گرم وزن خشک)	ضریب تغلیظ زیستی(میلی‌گرم در گرم وزن خشک)
۰	۰	۰/۸۹^{b}	۱۱/۷^{ab}	۱/۰۹^{ab}	۲۴/۰۹^{b}	۰/۰۸۷^{b}
	۵	۱/۱۷^{ab}	۱۵/۹۳^{a}	۱/۲۶^{ab}	۱۹/۶۶^{b}	۰/۱۰۶^{a}
۱۰۰	۰	۱/۰۴^{ab}	۱۳/۹۸^{ab}	۱/۲۱^{ab}	۱۹/۷۱^{b}	۰/۰۱۱^{c}
	۵	۰/۷۷^{b}	۱۲/۲۱^{ab}	۱/۰۳^{b}	۲۰/۹۶^{b}	۰/۰۱۱^{c}
۲۰۰	۰	۱/۴۱^{a}	۱۲/۰۴^{ab}	۱/۰۴^{a}	۳۳/۷۵^{b}	۰/۰۰۵^{d}
	۵	۱/۰۶^{ab}	۱۰/۰۸^{b}	۱/۰۹^{b}	۲۲/۳۸^{a}	۰/۰۰۵^{d}

اختلاف میانگین هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک می باشند، معنی دار نمی باشد

جدول۱۳- مقلیسه میانگین سرب و اسید سیتریک بر وزن تر و خشک اندام هوایی، کلروفیل a، کارتنوئید، شوری خاک، شاخص تحمل و فاکتور انتقال در سورگوم

سرب(میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)	اسیدسیتریک(گرم در کیلوگرم خاک)	وزن تر اندام هوایی(گرم)	وزن خشک اندام هوایی (گرم)	کلروفیل a (میلی‌گرم)	کارتنوئید (میلی‌گرم)	EC خاک	شاخص تحمل (میلی‌گرم در گرم وزن خشک)	فاکتور انتقال (میلی‌گرم در گرم وزن خشک)
۰	۰	۵۶/۴۷^{ab}	۲۵/۱۹^{ab}	۱/۱۴^{ab}	۰/۴۳^{a}	۰/۷۲^{bc}	۱/۳۹^{ab}	۲/۳۴^{ab}
	۱	۵۵/۲۲^{abc}	۲۴/۸۲^{ab}	۱/۰۲^{ab}	۰/۳۹^{ab}	۰/۶۲^{bcd}	۱/۳۸^{ab}	۲/۶۱^{c}
۱۰۰	۰	۴۲/۲۷^{bcd}	۱۷/۸۵^{b}	۱/۱۳^{ab}	۰/۳۷^{ab}	۰/۵۲^{d}	۰/۹۸^{b}	۲/۷۲^{a}
	۱	۵۹/۶۳^{a}	۳۱/۸۱^{a}	۰/۸۶^{b}	۰/۳۸^{ab}	۰/۷۸^{ab}	۱/۷۲^{a}	۱/۷۶^{c}
۲۰۰	۰	۳۹/۱۹^{cd}	۱۷/۰۷^{b}	۰/۸۳^{b}	۰/۴۱^{a}	۰/۵۸^{cd}	۰/۹۸^{b}	۰/۸۸^{d}
	۱	۳۸/۴۷^{d}	۱۹/۰۶^{b}	۱/۲۶^{a}	۰/۷۹^{b}	۰/۹۶^{a}	۱/۰۱^{b}	۲/۰۵^{bc}

اختلاف میانگین هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک می باشند، معنی دار نمی‌باشد

جدول۱۴- مقلیسه میانگین سرب و اسید سیتریک بر میزان وزن خشک ریشه، کلروفیلaوb ، غلظت سرب ریشه و فاکتور انتقال درآفتابگردان

سرب(میلی گرم در کیلوگرم خاک)	اسیدسیتریک(گرم در کیلوگرم خاک)	وزن‌خشک‌ریشه آفتابگردان (گرم)	کلروفیل a آفتابگردان(میلی گرم بر گرم وزن خشک)	کلروفیل b آفتابگردان(میلی گرم بر گرم وزن خشک)	غلظت‌سرب ریشه‌آفتابگردان(میلی گرم بر گرم وزن خشک)	فاکتور انتقال آفتابگردان(میلی گرم بر گرم وزن خشک)
۰	۰	۱/۱۱^{ab}	۱/۲۱^{a}	۰/۶۵^{a}	۱/۷۳^{a}	۰/۹۱^{bc}
	۱	۰/۸۸^{bc}	۰/۸^{b}	۰/۲۴^{b}	۱/۴۶^{b}	۰/۸۸^{bc}
۱۰۰	۰	۰/۸۶^{bc}	۱/۱۱^{a}	۰/۴۵^{ab}	۱/۲۸^{c}	۰/۸۷^{bc}
	۱	۰/۷۳^{c}	۱/۱۵^{a}	۰/۴۳^{ab}	۰/۸۵^{d}	۱/۰۴^{b}
۲۰۰	۰	۱/۴۴^{a}	۱/۱۴^{a}	۰/۴۹^{ab}	۱/۴۵^{b}	۰/۷۷^{c}
	۱	۰/۶۸^{c}	۱/۰۸^{a}	۰/۳۹^{ab}	۱/۳۱^{bc}	۱/۳۹^{a}

اختلاف میانگین هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک می باشند، معنی دار نمی باشد

جدول۱۵- مقلیسه میانگین کلات و اسید سیتریک بر اسیدیته ، فاکتور انتقال، وزن خشک ریشه و فاکتور انتقال در سورگوم‌و غلظت سرب ریشه‌درتاج‌خروس‌و آفتابگردان

کلات EDTA(میلی‌مول بر کیلوگرم خاک)	اسید سیتریک (گرم در کیلوگرم خاک)	اسیدیته خاک سورگوم	غلظت سرب ریشه تاج‌خروس(میلی‌گرم در گرم وزن خشک)	غلظت سرب ریشه آفتابگردان(میلی‌گرم در گرم وزن خشک)	فاکتور انتقال سورگوم(میلی‌گرم در گرم وزن خشک)	ضریب تغلیظ زیستی سورگوم (میلی‌گرم در گرم وزن‌خشک)	وزن خشک ریشه سورگوم(گرم)
۰	۰	۷/۸۵^{a}	۱/۵۳^{a}	۱/٦٦^{a}	۲/۰۳^{ab}	۰/۰۳۵^{a}	۱۸/۸۳^{ab}
	۱	۷/۹۹^{a}	۱/٤۱^{ab}	۰/۹۱^{c}	۲/۱۱^{ab}	۰/۰۳۱^{d}	۱٤/۱۷^{ab}
۵	۰	۷/۹۲^{a}	۱/۲۹^{b}	۱/۳۱^{b}	۱/۹۳^{b}	۰/۰۲٤^{b}	۱۸/۹۲^{b}
	۱	۷/۷۳^{b}	۱/۵۱^{a}	۱/۵۱^{a}	۲/۱۷^{a}	۰/۰۲٤^{c}	۲۱/۷۲^{a}

اختلاف میانگین هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک می باشند، معنی دار نمی باشد

جدول۱۶- مقلیسه میانگین سرب،کلات و اسید سیتریک در صفات PH و EC و غلظت سرب ریشه و کلروفیلb در سه گیاه سورگوم، تاج خروس و آفتابگردان

سرب(میلی گرم در کیلوگرم خاک)	کلات EDTA(میلی‌مول بر کیلوگرم خاک)	اسیدسیتریک(گرم بر کیلوگرم خاک)	اسیدیته‌خاک تاج‌خروس	اسیدیته‌خاک آفتابگردان	شوری خاک آفتابگردان(دسیزیمنس بر متر)	غلظت‌سرب ریشه‌سورگوم(میلی گرم در گرم وزن خشک گیاه)	کلروفیل bسورگوم(میلی گرم بر گرم وزن تر)
۰	۰	۰	۷/۵۴^{d}	۸/۳۵^{ab}	۱/۲۶^{abcd}	۱/۴۱^{ab}	۰/۲۸۶^{d}
		۱	۸/۱۲^{ab}	۸/۱۱^{abc}	۰/۹۱^{ef}	۱^{c}	۰/۴۹۷^{bc}
	۵	۰	۸/۴۱^{a}	۸/۲۷^{abc}	۱/۱۲^{cdef}	۰/۳۸^{e}	۰/۴۶۶^{bc}
		۱	۸/۱۹^{a}	۸/۲۶^{abc}	۱/۴۱^{ab}	۰/۶۱^{de}	۰/۳۴۵^{cd}
۱۰۰	۰	۰	۸/۰۸^{abc}	۸/۴۱^{a}	۱/۱۶^{bcde}	۰/۳۵^{e}	۰/۴۰۱^{bcd}
		۱	۷/۷۴^{cd}	۸/۰۷^{bc}	۱/۲۷^{abcd}	۰/۸۶^{cd}	۰/۲۸۴^{d}
	۵	۰	۸/۰۹^{ab}	۷/۹۵^{cd}	۱/۱۹^{abcd}	۱/۱۳^{bc}	۰/۳۹۸^{bcd}
		۱	۸/۲۶^{a}	۸/۱۸^{abc}	۰/۸۶^{f}	۰/۹۱^{cd}	۰/۴۳۳^{bcd}
۲۰۰	۰	۰	۸/۱۲^{ab}	۸/۱۱^{abc}	۱/۳۷^{abc}	۱/۶۶^{a}	۰//۵۵۷^{b}
		۱	۸/۰۸^{abc}	۸/۲۷^{abc}	۱/۴۴^{a}	۱/۴۳^{ab}	۰/۲۷۶^{d}
	۵	۰	۷/۷۴^{cd}	۸/۲۴^{abc}	۱/۱۱^{cdef}	۱/۴۴^{ab}	۰/۴۲۶^{bcd}
		۱	۷/۸۴^{bcd}	۷/۶۸^{d}	۱/۰۷^{def}	۰/۴۱^{e}	۱/۱۵۵^{a}

اختلاف میانگین هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک می باشند، معنی دار نمی باشد

جدول۱۷- مقلیسه میانگین سرب،کلات و اسید سیتریک در صفات شاخص تحمل، فاکتور انتقال و کلروفیلa و b ،کارتنوئید در تاج‌خروس و کارتنوئید در آفتابگردان

سرب(میلی گرم در کیلوگرم خاک)	کلات EDTA(میلی مول بر کیلوگرم خاک)	اسیدسیتریک(گرم در کیلوگرم خاک)	کلروفیل a تاج‌خروس (میلی‌گرم بر گرم)	کارتنویدتاج‌خروس (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)	کارتنویدآفتابگردان (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)	شاخص تحمل تاج‌خروس (میلی‌گرم در گرم وزن خشک)	فاکتورانتقال تاج‌خروس (میلی‌گرم در گرم وزن خشک)	کلروفیل b تاج‌خروس (میلی‌گرم در گرم)
۰	۰	۰	۱/۲۶^{abc}	۰/۴۲^{bc}	۰/۴۶^{de}	۰/۷۵ ^{bcd}	۰/۷۳^{d}	۴۳۹^{abcd}
		۱	۰/۹۱^{d}	۰/۳۹^{c}	۰/۴۵^{def}	۰/۷۲ ^{bcd}	۰/۹۳^{cd}	۰/ ۳۶۳^{bcde}
	۵	۰	۱/۱۲^{bcd}	۰/۴۲^{bc}	۰/۵۱^{cd}	۰/۵۵ ^{d}	۱/۵۲^{ab}	۰/۴۹۳^{ab}
		۱	۱/۴۱^{ab}	۰/۵۶^{a}	۰/۳۸^{f}	۱/۱۱ ^{a}	۱/۰۲^{cd}	/۴۸۳^{abc} ۰
۱۰۰	۰	۰	۱/۱۶^{bcd}	۰/۳۵^{c}	۰/۴۴^{def}	۰/۷۱ ^{bcd}	۰/۹۱^{cd}	۰/۲۸۷^{e}
		۱	۱/۲۷^{abc}	۰/۴۵^{bc}	۰/۶۴^{a}	۰/۹۳ ^{abc}	۱/۲۹^{abc}	/۴۸۵^{abc} ۰
	۵	۰	/۱۹^{abcd} ۱	۰/۴۱^{c}	۰/۵۹^{b}	۰/۷۰ ^{bcd}	۱/۳۳^{abc}	۴۱۵^{bcde} ۰/
		۱	۰/۸۶^{d}	۰/۳۶^{c}	۰/۴۸c^{de}	۰/۷۵ ^{bcd}	۱/۲۸^{abc}	۰/۲۸۵^{e}
۲۰۰	۰	۰	۱/۳۷^{abc}	۰/۵۲^{ab}	۰/۴۶^{de}	۰/۷۹ ^{bcd}	۱/۲۹^{abc}	۰/۵۴۲^{a}
		۱	۱/۴۴^{a}	۰/۵۶^{a}	۰/۴۲^{ef}	۱/۰۹ ^{b}	۱/۱۱^{bcd}	۰//۵۱۸^{b}
	۵	۰	۱/۱۱^{bcd}	۰/۳۵^{c}	۰/۵۴^{bc}	۰/۶۹ ^{cd}	۱/۶۴^{a}	/۳۵۱^{cde} ۰
		۱	۱/۰۷^{cd}	۰/۴۵^{bc}	۰/۴۴^{def}	۰/۹۷ ^{ab}	۱/۲۵^{abc}	۰/۳۲۶^{de}

اختلاف میانگین هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک می باشند، معنی دار نمی باشد

جدول۱۸- مقلیسه میانگین سرب در صفات کلروفیل کل اسپد، ارتفاع در سورگوم

صفات	کلروفیل کل اسپد سورگوم(میلی‌گرم بر گرم وزن تر)	ارتفاع سورگوم (سانتی‌متر)
سرب		
۰	۳۶/۱۰ a	۱۲۷/۴۳ a
۱۰۰	۳۲/۴۹ a	۱۲۰/۲۵ ab
۲۰۰	۲۷/۹۰ b	۱۰۹/۵۶ b

اختلاف میانگین هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک می باشند، معنی دار نمی باشد

جدول ۱۹- مقلیسه میانگین کلات در صفات کلروفیل کل اسپد و محتوای سرب در سورگوم، غلظت سرب در اندام هوایی تاج‌خروس و کلروفیلb آفتابگردان

صفات	کلروفیل کل اسپد سورگوم(میلی‌گرم بر گرم وزن تر)	غلظت سرب در اندام هوایی تاج‌خروس (میلی‌گرم بر گرم وزن خشک)	محتوای سرب سورگوم(میلی‌گرم در گرم وزن خشک)	کلروفیل b آفتابگردان(میلی‌گرم بر گرم وزن تر)
کلات				
۰	۳۰/۱۸ a	۱/۵۷۲ a	۱۱۵/۵۰۰b	۰/۴۱۱ b
۵	۳۴/۱۵ b	۱/۸۶۳۰ b	۱۴۱/۵۲۵a	۰/۴۸۳ a

اختلاف میانگین هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک می باشند، معنی دار نمی باشد

جدول۲۰- مقلیسه میانگین اسید سیتریک در صفات وزن تر اندام هوایی، محتوای سرب، شاخص تحمل و غلظت سرب در اندام هوایی آفتابگردان و EC ، وزن خشک اندام هوایی و ریشه تاج‌خروس

صفات	EC خاک تاج خروس(دسیزیمنس بر متر)	وزن تر اندام هوایی آفتابگردان(گرم)	وزن خشک اندام هوایی تاج خروس(گرم)	محتوای سرب در آفتابگردان(میلی‌گرم در گرم وزن خشک)	شاخص تحمل آفتابگردان(میلی‌گرم در گرم وزن خشک)	غلظت سرب در اندام‌هوایی‌آفتابگردان (میلی‌گرم بر گرم وزن خشک)
اسید سیتریک						
C1	۱/۰۹ a	۴۶/۱۸ a	۷/۸۰ a	۳۲/۸۱ a	۰/۸۴ a	۱/۱۸ a
C2	۰/۸۵ b	۴۲/۶۸ b	۱۰/۳۴ b	۲۴/۸۱ b	۰/۶۶ b	۱/۱۳ b

اختلاف میانگین هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک می باشند، معنی دار نمی باشد

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش، تنش سرب در گیاهان سورگوم، تاج خروس و آفتابگردان سبب کاهش میزان صفات مرفولوژیکی گیاه از قبیل، وزن‌تر اندام هوایی، وزن خشک ریشه و اندام هوایی، کاهش ارتفاع و همچنین کاهش میزان کلروفیل کل (اسپد) در گیاه سورگوم شده است در حالی که حضور کلات به همراه فاکتور سرب در گیاه سورگوم سبب افزایش میزان تمامی صفات قید شده گردید اما تاثیری که حضور اسید سیتریک به همراه تنش سرب از خود باقی گذاشت در تمامی صفات به جز وزن خشک ریشه سورگوم با نتایج حاصله از فاکتور کلات هم‌خوانی داشت و سبب افزایش تمامی صفات شد. همچنین تاثیری که تنش سرب در گیاه تاج خروس بر صفات مذکور از خود باقی گذاشت شامل کاهش میزان کلروفیل کل (اسپد) و وزن تر اندام هوایی در گیاه بود، درحالی‌که بر سایر صفات تاثیر چندانی از خود باقی نگذاشت اما نکته‌ی حائز اهمیت حضور اسید سیتریک است که وجود این کلات کننده سبب افزایش میزان تمامی صفات به غیر از وزن‌تر اندام هوایی در گیاه تاج خروس شد. بررسی‌های صورت گرفته بر گیاه آفتابگردان نیز موید نتایج حاصله در گیاه سورگوم می‌باشد تنها تفاوتی که در این بین می‌توان یافت تاثیر اندکی است که کلات بر صفات موجود باقی می‌گذارد که تغییر حاصله چندان محسوس نمی‌باشد. درحالی‌که اسید سیتریک در تمامی صفات تاثیر محسوسی بر گیاه باقی نگذاشت در نهایت در صفت بیوماس خشک کل گیاه سبب کاهش میزان این صفت در گیاه شده است. اما آنچه که نادیده نباید گرفته شود تاثیری است که افزایش میزان آلودگی به آلاینده بر صفات مذکور باقی گذاشته است که افزایش میزان آلاینده در بالاترین سطح مصرف (۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) سبب کاهش میزان صفات مرفولوژیکی در گیاه می‌شود که این امر حاصل تاثیرات فیزیولوژیکی است که عامل سرب بر گیاه باقی می‌گذارد.

وجود آلاینده‌ی سرب در سه گیاه مورد استفاده در این طرح پژوهشی بر سایر صفات مورد آزمایش نیز قابل تامل می‌باشد از جمله افزیش میزان این آلاینده و تاثیری که بر میزان غلظت و محتوای سرب در گیاهان از خود باقی گذاشته است درحالی‌که افزایش میزان آلاینده سبب تفاوت آنچنانی در میزان

غلظت سرب در ریشه گیاهان نشده است اما افزایش میزان عنصر در غلظت سرب اندام هوایی در گیاهان سورگوم و آفتابگردان سبب افزایش میزان جذب سرب در ریشه این دو گیاه شده است درحالی‌که در گیاه تاج خروس تفاوت معنی‌داری با افزایش میزان آلاینده مشاهده نشد. همچنین تاثیر عامل کلات (۵ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) بر غلظت سرب در ریشه‌ی گیاهان تاج خروس و آفتابگردان سبب افزایش میزان این صفت در این دو گیاه شد درحالی‌که در گیاه دیگر تاثیر چندانی از خود باقی نگذاشت البته نتایج ذکر شده در غلظت سرب در اندام هوایی نیز در گیاه تاج خروس تکرار شدند که نشان دهنده‌ی تاثیری است که عامل کلات کننده از خود بر این گیاه باقی می‌گذارد. مصرف اسید سیتریک در گیاه سورگوم سبب کاهش غلظت عنصر سرب در ریشه گیاه شد درحالی‌که استفاده توام کلات و اسید سیتریک سبب افزایش میزان غلظت سرب در ریشه گیاه تاج خروس شد. در گیاه آفتابگردان نیز حضور همزمان کلات و اسید سیتریک سبب افزایش میزان غلظت سرب در ریشه این گیاه شد و بالاترین میزان این صفت در تیمار سرب (۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)، کلات (۵ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) و اسیدسیتریک (۱ گرم در کیلوگرم خاک) حاصل شد. در صفت محتوای سرب در گیاهان سورگوم، تاج خروس و آفتابگردان شاهد بودیم که حضور کلات در گیاهان سورگوم و آفتابگردان سبب افزایش میزان محتوای سرب در این گیاهان داشت در حالیکه در گیاه تاج خروس نتیجه حاصله عکس نتایج دو گیاه قبلی بود همچنین اسید سیتریک و حضور آن در گیاه تاج خروس سبب افزایش صفت مورد بررسی در این گیاه شد در صورتی که حضور این ماده در گیاه آفتابگردان سبب کاهش میزان محتوای سرب در گیاه شد. در بررسی‌های صورت گرفته بر صفات شاخص تحمل و فاکتور انتقال در ابتدا در گیاه سورگوم بالاترین میزان شاخص تحمل در تیمار شاهد مشاهده شد البته حضور کلات و اسید سیتریک سبب افزایش میزان این مقاومت در گیاه شد. در گیاه تاج خروس حضور اسید سیتریک باعث افزایش شاخص تحمل در گیاه شد درحالی‌که نتایج در گیاه آفتابگردان کاملا با نتایج حاصل در گیاه تاج خروس متفاوت است و حضور اسید سیتریک سبب کاهش این صفت در گیاه شد. در صفت فاکتور انتقال بیشترین تاثیر بر در حضور کلات مشاهده شد و کلات سبب

افزایش میزان فاکتور انتقال در هر سه گیاه مورد بررسی شد، همچنین در صفت ضریب تغلیظ زیستی مشاهده شد که در هر سه گیاه مورد مطالعه بیشرین میزان ضریب تغلیظ زیستی در تیمار سرب ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک مشاهده شد البته در گیاهان تاج خروس و آفتابگردان حضور کلات میزان این صفت را در این گیاهان افزایش داد در حالی که در گیاه سورگوم حضور کلات تاثیر چندانی از خود باقی نگداشت.

پیشنهادها

با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق، پیشنهاد می‌شود:

۱- انجام این پژوهش با هدف بررسی سایر عناصر مخرب و تاثیر گذار بر روند زندگی انسان که از طرق مختلف از جمله کشاورزی وارد چرخه حیات بشر می‌شوند مانند روی، آرسنیک، کادمییم و غیره

۲- بررسی سایر گیاهان که توانایی گیاه پالایی بالایی دارند و اجرای پروژه با هدف مقایسه و انتخاب بهترین گیاه در این زمینه

۳- بررسی استفاده از سایر کلات‌کننده‌ها از جمله کلات‌کننده‌های آلی و سازگار با کشاورزی ارگانیک

۴- در پایان پیشنهاد می‌شود که کار تلفیقی از تاثیر مواد اصلاحی شیمیایی مانند آنچه در کار ما مورد استفاده قرار گرفت و همچنین کلات‌کننده‌های آلی و سازگار با محیط زیست از جمله ورمی کمپوست و سویه‌های مختلف قارچ مایکوریزا صورت پذیرد تا تاثیر متقابل این مواد در امر گیاه پالایی و تاثیر کلات‌کننده‌ها بر فعالیت میکروارگانیسم‌ها مورد بررسی قرار گیرد.

منابع:

اخلاقی ،ج .۱۳۹۰. تحلیلی بر شاخص‌های انسانی و جمعیتی مناطق متاثر از ریزگردها در کشور فصلنامه علمی ،اقتصادی،اجتماعی– سازمان جنگل‌ها ، مراتع و آبخیزداری کشور ، ۸۹،صفحه۵۹-۶۳

اکبر پور سراسکانرود،ف،صدری،ف،گل علیزاده،د.۱۳۹۱. گیاه پالایی خاک‌های آلوده به برخی فلزات سنگین به وسیله چند گیاه بومی منطقه حفاظت شده ارسباران ، نشریه حفاظت منابع آب و خاک ، سال اول (۴)

امام، ی. ۱۳۸۶. زراعت غلات. انتشارات دانشگاه شیراز. ۳۶۳ صفحه

بابائیان، ا.، همایی، م؛ و راهنمایی، ر. ۱۳۸۹. افزایش کارایی استخراج گیاهی سرب به وسیله هویج با کاربردکیلیت‌های طبیعی و سنتزی. نشریه آب و خاک.۲۶(۳):صفحه ۶۱۸-۶۰۷

بادی‌بوردی، م. ۱۳۷۷. فیزیک خاک، انتشارات دانشگاه تهران. ۶۰۰ صفحه.

پارسا دوست ،ف،بحرینی‌نژاد ،.ب.صفری سنجانی،ع ، کابلی، م. ۱۳۸۶. گیاه پالایی عنصر سرب توسط گیاهان مرتعی و بومی در خاک‌های آلوده منطقه ایران کوه (اصفهان)،پژوهش وسازندگی در منابع طبیعی ،شماره ۷۵،صحفه ۵۴-۶۳

تتابی،ا،جیرانی ،کم.میرلوحی،الف،زاده بافقی،ع. ۱۳۸۶.گیاه پالایی خاک آلوده به سیانور توسط گیاهان غیر چوبی،مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی: شماره ۴۲(ب)، صحفه ۵۱۵-۵۲۰

توسلی،و،خلیلی،ه،ومعصومی،ع.۱۳۸۷. شیمی تجزیه ،مرکز دانشگاه تهران،صحفه ۳۹۰

ذوالفقاری ،ف، پهلوانروی،ا ، شهریاری،ع.۱۳۹۰. بررسی مشکلات ناشی از خشکسالی و ارایه راهکارهای توسعه پایدار مناطق بحران‌زده فصلنامه علمی ، اقتصادی ، اجتماعی – سازمان جنگل‌ها ، مراتع و آبخیزداری کشور ، شماره ۸۹ ، صفحه ۵۳-۵۸

رنگ‌زن، ن.، خ. پاینده و ا. لندی .۱۳۸۵ . بررسی کیفیت پساب بر انباشت عناصر سنگین در دو گیاه سورگوم و شبدر . مجموعه مقالات همایش خاک، محیط زیست و توسعه پایدار . کرج .صفحه ۱۶۲-۱۶۱

سعادتمند،م، انتشاری،ش،آقامحمدرفیع،ن.۱۳۹۰. اثر سلسیم بر گیاه پالایی سرب در گل گاوزبان دارویی ، اولین همایش ملی گیاه پالایی مرکز بین المللی علوم و تکنولوژی پیشرفت و علوم محیطی

طاهری،ف،یوسفی راد،م،ارادتمند اصلی،د،احتشامی،م.۱۳۹۰. توانایی گیاه لوبیا در گیاه پالایی سرب در حضور قارچ مایکوریزا ، اولین همایش ملی مباحث نوین در کشاورزی

عسکری،م،نوری،م،بیگی،ف.۱۳۹۰.ارزیابی گیاه پالایی اقاقیا در خاک‌های آلوده به نفت خام با تاکید بر برخی از فلزات سنگین ، مجله سلول و بافت (علمی پژوهشی) جلد۲،(۴) ،ص۴۳۵-۴۴۲

عمویی،ع،محوی،ا،ندافی،ک،فهیمی،ح،مصداقی نیا،ع،ناصری،س.۱۳۹۱. بررسی شرایط بهینه عملیاتی در گیاه پالایی خاک‌های آلوده به سرب و کادمیم توسط گیاهان بومی ایران ، مجله علمی دانشگاه علوم پزشکی کردستان ، دوره هفدهم،ص ۹۳-۱۰۲

فتاحی، ا.، آستارایی، ع. ر؛ و حق‌نیا، غ. ح. ۱۳۸۹. بررسی اثر اسید سولفوریک و EDTA بر گیاه پالایی سه گیاه ذرت، آفتابگردان و پنبه. علوم و فنون کشاورزی. ۵۷: ۶۸-۵۷

فتاحی کیاسری ،ا، آستارایی،ع،حق نیا،غ.۱۳۸۹. اثر اسید سولفوریک و EDTA بر گیاه پالایی سرب در خاک توسط سه گیاه آفتابگردان ،ذرت،پنبه،علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ،علوم آب و خاک ، شماره ۵۱(۴)

فرزانگان،ز،ثواقبی ،ع، میرحسین ،ح. ۱۳۹۰ . بررسی تاثیر مواد اصلاحی گوگرد و اسید سیتریک در گیاه جذبی کادمیم و سرب از یک خاک آلوده ، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی) ، جلد ۲۵(۴)،ص ۷۳۶-۷۴۵

کرمی م. رضایی‌نژاد ی. افیونی م. و شریعتمداری ح .۱۳۸۷. آثار تجمعی و باقیمانده لجن فاضلاب شهری بر غلظت سرب و کادمیم در خاک و گیاه گندم مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، شماره ۶۵۳، صفحه ۴۶-۶۳۹.

کیانفر، ش. ۱۳۸۵. جذب بیولوژیکی فلزات سنگین با کاربرد بیوپلیمر تولید شده از باکتری MGL پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشکده شیمی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

محمدی، م .، شیرانی ماهانی .، س.، حق‌نیا، غ. ۱۳۸۵. مقادیر جذب روی و کادمیم در تربچه و شاهی و بررسی اثرات متقابل آنها، همایش خاک زیست و توسعه.

مجاهدی، ه .، عامریان .، م.، رحیمی .، م.۱۳۹۲. بررسی پتانسیل گیاه پالایی سرب توسط ذرت و سورگوم تحت تاثیر قارچ میکوریزا و کلات کننده EDTA ، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه صنعتی شاهرود

مصلحی،ا، فکری،م،محمودآبادی ،م.۱۳۹۰. اثرات EDTA و کمپوست زباله شهری بر سطوح مختلف سرب و کادمیم در خاک و گیاه پالایی این عناصر توسط آفتابگردان ، اولین همایش ملی گیاه پالایی ، مرکز بین المللی علوم و تکنولوژی پیشرفت و علوم محیطی

میرخانی،ر. ۱۳۹۲ . بررسی گزینش‌پذیری جذب عناص سنگین (سرب و کادمیم) توسط گندم و کلزا ، موسسه تحقیقات خاک و آب ، شماره ثبت ۴۲۷۶۶

Abbas, M. H. Abdelhafz, A. A.(2013). Role of EDTA in arsenic mobilization and its uptake by maize grown on an As-polluted soil. Journal of Mycorrhiza Chemosphere. 90: 588-594

Ahmad, I .Hayat S. and pichtel J. (2005), Heavy Metal Contamination of Soil: problems and Remedies , Science Publishers, Inc, United Statcs of A mcrica.

Alumaa P, Kirso U, Peterscll V, Stcinnes E (2002) Sorption of toxic heavy metals to soil: short communication. Int Hyg Environ Health 204: 375-376

ATSDR (Agency for Toxic Substanccs and Disease Registry) (1999) Toxicological profile for lead .U.S. Department of Health and Human Services, Agency for Toxic Substances and Diseasc Registry, Atlanta, GA.

Blatchley, W. S. 1930. The Indiana Weed Book. Indianapolis: Nature publishing. 191p.

Blaylock, M. J., and Huang, J. W.(2000). Phytoextraction of metals. Phytoremediation of toxic metals: using plants to clean-up the environment. New York, John Wiley and Sons, Inc. 53-70.

Bolan N. S. and Duraisamy V. P. (2003). Roll of inorganic and organic soil amendment an ammobilisation and phytoavailability of heavy metals: a review involving specific case studies, Australian Journal of Soil Research, 41, pp: 533-555.

Bolan N. S. Adriano D.C and curtin D.(2003). Soil acidification and liming interaction with nutrient and heavy metal transformation and bioavailability , Advanced in Agronomy , pp:216-272.

Bowen, H . J. M. (1979). Environmental Chemistry of the Elements , Acadcmic Press, London.

Cenkci, S., Cigerci, I.H., Ozay, C., Bozdag, A. and Terzi, H.(2010). Lead contamination raduces chlorophyll biosynthesis and genomic template stability in Brassica rapa L. Journal of Experimental Botany. 67(3): 467-473.

chen .Y.X,lin.Q,lue.Y.M,he.Y.F,zheu .S.J.Yu.Y.L,tian. G.M,wong.M.H,Therole of citric acid on the phytoremedation of heavy metal contaminated soil journal of chemosphere phere (2003):807-811

Chan, W. F., Li,H., Wu, F. Y., Wu, S.C. and Wong, M. H. (2013). Arsenic uptake in upland rice inoculated with a combination or single arbuscular mycorrhizal fungi. Journal of Hazardous Materials.

Cooper E.M., Smis J., Cunningham S.D., Huang J.W. and Berti W.R. 1999. Chelate. Assisted phytoextraction of lead from contaminated soils J. Environment Qual, 28: 1709-1719. of SI

Cunningham SD, Berti WR (2000), Phtoextrection and phytoremediation: technical, economic, and regulatory consideration of the soil-lead issue. In Terry N, Banuelos G(eds) Phytoremediation of conminated soils and water . CRC Press, Boca Raton, FL, pp 359-376

County, N. (2006). Influence of cadmium on growth of root vegetable and accumulation of cadmum in the edible root. International Journal of Applied Science and Engineering. 3: 243-252

Dalzell, H.W., Biddleston, A. J.,Gray, K. P. and Thurairaj management: compost prodaction and use in tropical and suenvironments. FAO Soils Bulletin. No. 56. 179 pages. Ertiliz 117-126.

Del Rio-Celetino,M.,fout.R.,Moreno-Rojas,R.and Deltaro-Bailon,A.(2006).Uptake of lead and zinc by wild plants growing on cataminated soils. Journal of Industrial crops and products.24(3):230-37

De Souza Casta, E. T., Guilherme, L. R. G., de Melo, E. E. C., Ribeiro, B. T., Euzelina dos santos, B. I., da Costa Severiano, E. and Hale, B. A. (2012). Assessing the Tolerance of Castor Bean to Cd and pb for phytoremediation purposes. Journal of Biological Trace Element Researh. 145(1): 93-100

De Souza,L.A.,de Andrade,S.A.L.,de Ssouza,S.C.R. and Schiavinato,M.A.(2012). Arbuscular mycorrhizal confers Pb tolerance in *Calopogonium mucuncoidea.* Journal of Acta physiologiae Plantarum.24(2):523-531.

Dudka S. and Adriano D.C.(1997), J. Environ. Qual., 26, pp 590-602.

Enhance ment of phytoextraction of zinc , cd and cu from calcareous soil : the use of NTA and sulfur amendments,Journal of environmental science and technology.34(9):1778-1783

Epelde,L.Hernandes.Allica,J.,Becerril,J.M.,Blanco,F.and Garbisu,C.(2008).Effects of chelates on plant and soil micro bial community :comparison of EDTA and EDDS for lead phytoextraction . journal of science of the total environment 401(1):21-28

Feigin, A., Ravina, I. and Shaihevet, J. (1991). Irrigation with treated sewage effluent. Springer, Berlin.

Gao, Y., Miao, C., Xio, J., Luo, C., Mao, L., Zhou, P. and Shi. W. (2012). Effect of citric acid on phytoextraction and antioxidative defense in Solanum nigrum L. as ahyperaccumulator under Cd and pb combined pollution. Environmental Earth Sciences. 65(7): 1923-1932.

Garbisu ، C، and I ، alkorta ، 2001 ، phtoxtraction: acost effective plant based technology for the removal of metals from the environment . Bior source tehnology ، 779(2001): pp229-236

Ghosh, M., S. P. Singh. 2005. A Review on phytoremediation of heavy meatals and utilization of its by products. Applied Ecology and Environmental Research. 3:1-18.

Gupta, D.K., Nicolose, F. T., Schetinger, M. R. C., Rossato, L. V., Pereira, L. B., Castro, G. Y. and Tripathi, R. D. (2009). Antioxidantdefence mechanism in hydoponically grown zea mays seedlings under moderate lead stress. Journal of hazardous materials. 172(1):479-484.

Hadi, F., Bano, A and Fuller, N. P. (2010). The improved phytoextraction of lead (pb) and the grown of maize (zea mays L.): the role of plant growth regulatous (GA_3 and IAA) and EDTA alone and in combinations. Journal of Chemosphere. 80(4): 457-462.

Han, Y. L., Haung, S, Z., Gu, J, G., Qiu, S, and Chan, J, M. (2008). Tolerance and accumulation of lead by species of Iran L. Journal of Ecotoxicology. 17(8): 853-859.

Hassan, Z. and Aarts, M. G. (2011). Opportunities and feasibilities for biotechnological improvement of Zn, Cd or Ni tolerance and accumulation in plants. Environmental and Experimental Botany. 72(1): 53-63.

He, Z. L., & Yang, X. E. (2007). Role of soil rhizobacteria in phytoremediation of heavy meatal contaminated soils. Journal of Zhejing University Science B, 8(3): 192-207.

He, Z. L., Yang, X. C. and Stoffella, P. J. (2005). Trace elements in agroecosystems and impacts on the environment. J. Trace Elem. Med. Bio. 19: 125-140.

Hernandez L. Probst J.L. and Ulrich E.(2003), Heavy metal distribytion in some French forest soils: evidence for atmospheric contamination , The Science of The Total Environment, 312, (1-3), pp 195-219

Hernandez-Orrtega, H. A., Alarcon, A., Ferrera-Cerrato, R., Zavaleta-Mancera, H. A., Lopez-Delgado, H. A. and Mendoza-Lopez, M. R. (2012). Arbuscular mycorrhizal fungi on growth, nutrient status, and total antioxidant activity of Melilotus aibum during phytoremediation of a diesel-contaminated substrate. Journal of Environmental Management. 95: S319-S324.

Huang J.W., Blaylock M.J., Kapulnik Y. and Ensley B.D. 1998. Phytoremediation of Uranium-contaminated soils: Role of organic acids in triggering uranium hyperaccumulation in plants. Environ. Sci. Technol, 32: 2004-2008.

Huang, P. M. and Iskandar, I. K. (2000). Soils and Ground water pollution and Remediation: Asi, Africa and Oceania. Lewis Publishers, Boc Raton, London, New York, Washington, D. C.

Hu, R., Sun, K., Su, X., Pan, Y. X., Zhang, Y. F. and Wang, X. P. (2012). Physiological responses and tolerance mechanisms to pb in two xerophils Salsola passerine Bunge and chenopodium album L. Journal of Hazardous Materials. 205: 131-138

Ikhaoria،E.U.and okiemen,F.E.(2000),Seavenging cadmium،copper،Lead،Nickel and Zinc ions from a queous solution by modificed cellulosic sorbent. International journal of Environment studies.54(4):401-40by products. Journal of Asian Energy Environ.6(4):18-9

Kabata-pendias, A. and Pendias H.(2000). Trace Elements in soils and plants 3rd ed., CRC Press, Bocaraton, New York.

Kabata-pendias, A. and Pendias H. (2001), Trace metals in soils and plants , 2nd ed., Wyd Nauk PWN, Warszawa (in Polish).

Kabata-pendias, A.(2004). Soil- plant transfer of trace elements – an environmental issue. Journalof Geoder ma 122(2): 143-149

kabata-pendias,A. and Mukherjee,A.B.(2007)Trace elements from soil to human . spriger.p550

Khan, A, G. (2006). Mycorrhizoremediation-an enhanced from of phytoemedation. Journal of Zhejiang University Science B. 7(7): 503-514.

Khan, S., Hesham, A. E. L., Qiao, M., Rehman, S. and He, J. Z. (2010). Effects of Cd and Pb on soil microbial community structure and activities. Journal of Environmental Science and Pollution Research. 17(2): 288-296.

Kopittke, P. M., Asher, C. J., Kopittke, R. A. and Menzies, N. W. (2007). Toxic effects of pb^{2+} on groeth of cowpea (Vigna unguiculata). Journal f Environmental Pollution. 150(2): 280-287.

Kuyser,A,Wenger,K.,KELLER,A.,Attingerr,W.,felix,H.R.,G upta ,s.k. and schuline ,R.(2000).Enhancement of phytoextraction of Zn, Cd, and Cu from calcareous soil: the use on NTA and sulfur amendments. Journal of Environmental Science and Technology. 34(9): 1778-1783.

Klute. A.، 1986 . Method of soil analysis . part 1 : physical method . soil .scisoc. Ameri.j.pp:432-449

Lenkci,S.,Cigerci,I.H.,Yildiz,M.Ozay, C., Bozdag,A.and Terzi,H.(2010).Lead contamination reduces chlorophyll biosynthesis and genomic template stability in Brassica rape L. journal of environmental and experimental Botany .67(3):467-473

Lai H-Y. and Chen Z-S. (2004), Effect of EDTA on solubility of cadmium, zinc, and lead and their uptake by rainbow pink and vetiver grass , Chemsphere, 55, pp 421-430.

Liu,Y.G.,wang.X.H.,zeng.G.M,Li,X.,Zhou,.C.H.,Fan,T.and Yuan,X.Z.(2006). Redistribution of pb ,zn and cu fractions Intailing soils treated with different extractants . journal of pedosphera .16(3):312-318

Luo, C., Shen, Z., Li, X. and Baker, A. J. (2006). Enhanced phytoextraction of Pb and other metals from artificially contaminated soils through the combined application of EDTA and EDDS. Journall of Chemosphere. 63(10): 1773-1784.

Majer, B. J., Tscherko, D., Paschke, A., Wennrich, R., Kundi, M., Kandeler, E., and Knasmuller, S.(2002). Effects of heavy metal contamination of soils on micronucleus induction in Tradescantia and on microbial enzyme activation: a comparativeinvestigation. Journal of Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagencsis. 515(1), 111-124.

Marques, A. P., Oliveira, R. S., Samardjieva, K. A., Pissarra, J., Rangel, A. O. and Castro, P. M. (2007). Solanum nigrum grown in contaminated soil: Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on zinc accumulation and histolocalisation. Journal of Environmental Pollution. 145(3): 691-699

Marques,A.P.,Rangel,A.O.and castro , P.M.(2009) Remedition of heavy metal contaminated soils: phytoredition as a potentially prosising clean .up technology . journal of critical Reviews in environmental science and technology . 39(8):622-654

Marquez-Garcia, B., Marquez, C., Sanjose, I., Nieva, F. J. J., Rodriguez-Rubio, P. and Munoz-Rodriguez, A. F. (2013). The effects of heavy metals on germination and scedling characteristics in two halophyte species in Mediterranean marshes. Journal of Marine Pollution Bullution. 70(1-2): 119-24

Mattina,M,J.I,Lannucci – Berger , W.,Musante.C,White,J.C,2003:Concurrent plant uptake of havey metal and persistent organic pollu tants from soil . environmental pollution 124,375-378

Meers ,E.Tack,F.M.Gand verloo,M.G.(2008).Deegradability of ethylene ediaminedi succinic acid (EDDS) in metal contaminated soils : Implications for its use soil remediation . Journal of chemosphere.70(3):358-363

Mehmood. F., Rashid, A., Mahmood, T. and Dawson, L. (2013), Effect of DTPA on Cd solubility in soil-Accumulation and subsequent toxicity to lettuce. Journal of Chemosphere. 90: 1805-1810.

Mertens, J., Luyssaert, S., and Verheyen, K. (2005). Use and abuse of trace metal concentrations in plant tissue for biomonitoring and phytoextraction. Journal of Environmental Pollution. 138(1): 1-4.

Mullingan, G. A. 1961. Chromosome numbers of Canadian weeds III. Can.J. Bot. 39:1057-1066

Muray. M. J. 1940. The genetics of sex determination in the family Amaranthaceae. Genetics 25: 409-431.

Mortvedt, J. J. (1996). Heavy metal contamination in inorganic and organic fertilizer. *Fretil Res* 43: 55-61.

Nacimento, C. W. A., Amarasiriwardena, D. and Xing, B. S. (2006). Comparison of natural organic acids and synthetic chelates at enhancing phytoextraction of metals from a multi-metal contaminated soil. Environ.Pollut. 140: 114-123.

Nascimento, C. W. A. D. and Xing, B. (2006). Phytoextraction: a review on enhanced metal availability and plant accumulation. Scientia Agricola. 63(3): 299-311.

Navari-Izzo, F. and Quartacci, M. F. (2001). Phytoremedition of metals-Tolerance mechanisms gainst oxidative stress. Journal of Minerva Biotecnologica. 13(2):73-83

Neugschwandtner, R. W., Tlustos, P., Komarek, M. and Szakova, J. (2008). Phytoextraction of Pb and Cd from a contaminated agricultural soil using different

EDTA application regimes: Laboratory versus field scale measures of efficiency. Journal of Geoderma. 144(3): 446-454

Nicholson FA, Smith SR, Alloway BJ, Carlton-Smith C, Chambers BJ (2003) An inventory of heavy metals inputs to agricultural soils in England and Wales . Sci Total Environ 311: 205-219

Niagu J.O. (1988), Environ. Pollut. 50, pp 139-161

Niagu J.O, Pacyna JM (1988) Quantiative assessment of worldwide contmiantion of air, water and soils by trace metals . Nature 1669: 14-139.

Nowack B. (2002). Environmental chemistry of aminopolycarboxylic chelating agents. Journal of Environmental Science and Technology. 36: 40094016.

Nowack B., Schulin, R. and Robinson, B. H. (2006). Critical assessment of chelantenhanced metal phytoextraction. Journal of Enviromental science and technology. 40(17): 5225-5232.

Nriagu, J. O. and Pacyna, J. M. (1988). Quantitative assessment of world-wide contamination of air, water and soils by trace metals. Nature. 333: 134-139.

Padmavathiamma, P. K., and Li, L. Y. (2007). Phytoremediation technology: hyper-accumulation metals in plants. Journal of Water, Air, and soil Pollution. 184(1-4): 105-126.

Pandey, N., and Sharma, C. P. (2002). Effect of heavy metals Co2+, Ni2+ and Cd2+ on growth and metabolism of cabbage. Journal of Plant Science. 163(4): 753-758

Page A. L. Miller R. H. and Keeney D. R. (1982) Methods of soil Analysis,. Part 2, chemical and Microbiological, Wisconsin, USA.

Pais I.J. and Benton Jones Jr. (1997), The handbook of trace elements , St. Lucie press Boca Raton pub, Florida.

Pais I.J. and Benton Jones Jr. (2000), The handbook of trace elements , St. Lucie press New York, 2000.

Piotrowska,A.,Bajguz,A.,Godlewska- zylkiewicz , B.,Czerpak,R.and kawiuska ,M.(2009).J as mouic acid as modulator of lead toxicity in aquatic plant wolffia arvhiza (LEMNACEAE). Journal of environmental and experimental Botany .66(3):507-513

Pivetz, B. E. (2001). Phytoremediation of contaminated soil and ground water at hazardous waste sites. United States Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Office of Solid Waste and Emergency Response: Superfund Technology Support Center for Ground Water. National Risk Management Research Laboratory. Subsurface Protection and Remediation Division, Robert S. Kerr Environmental Research Center.

Qufei, L. and Fashui. H. (2009). Effects of Pb2+ on the Structure and Function of phtosystem II of Spirodela polytrhiza. Biiological Trace Element Research. 129(1): 251-260.

Rangsaytorn.N,E.S.upatham,M.kraatrachue,p.pokethityook,G.R.lanze,2002,phytoremed iation potential of spirulina (Arthrospira) Plantensis:biosoption and toxi city studies of cadmium ,joarnal of environmental pollation 119:45-53

Rceres ، R.D ، and A.J.M Baker، 1999 ، metal – accumlation plant in phytorememcdiation of toxicmetals : using plants to clcan up the Environm ent ، eds. I.Raskin and B.D. Ensley pp 1930 ، john WILCY a sons INC، NEWYORK . NndustrialY.

Romanowska, E., Wrobleska, B., Drozak, A., Zienkiewicz, M. and Siedlecka, M. (2008). Effect of Pb ions on superoxide dismutase and catalase activities in leaves of pea plant grown in high and low irradiance. Journal of Biologia Plantarum. 52(1): 80-86.

Schutzendubel, A. and Polle, A. (2002). Plant responses to abiotic stresses: heavy metal induced oxidative stress and protection by mycorrhization . Journal of Experimental Botany. 53(372): 1351-1365.

Shi, X., Zhang, X., Chen, G., Chen, Y., Wang, L., Shang, X., 2011. Seedlinng growth and metal accumulation of selected woody species in copper and lead/zinc mine tailings. J. Environ. Sci 23, 266-274.

Singh, B. R. and Steinnes, E.(19940. Soil and water contamination by heavy metals. Pp 233-271. In: R. LAI AND b. a. Stewart (Eds), Soil Processes and water Quality. Lewis PUB., PUB., Boca Raton, Fla. 398 pages.

Sooksawat, N.,Meetam:M, Kruatrachue, M., Pokethityook, P. and Nathalany, k, (2013). phytoremediation potential of charophytes:bioa ccumulation and toxicity studies of cadmium ,lead and zinc. Journal of environmental sciences 25(3):596-604

Smith S.R. (1996), Agricultural Rccycling of sewage sludge and the environment , ISBN- 0851989802, CAB International, Wallingfrrd.

Stigliani W. M. (1993), Overview of the Chmical Time Bomb problem in Europe In: Mculen, G.R.B., Stigliani, W.M., Salomons, W., Bridges, E. M., Imeson, A.C., (Eds) Chemical time bombs. Proceedings of the European State-of-the-art Conference on Delayed Effects of Chemicals in Soils and Sediments. Veldhoven, the Netherlands, Hoofddorp, the Netherlands, pp 13-29.

Sudova,R.,Pavlikova,D.,Macek,T.and Vosatka,M.(2007).The effect of EDDS chelate and inoculatin with the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intradices* on the efficacy of lead phytoextraction by two tobacco clones. Journal of Applied soil Ecology.35(1):163-173

Sudova, N. R., Ramos, M. A.., Marques, A. P. and Castro, p. m. (2012). The effect of ectomycorrhizal fungi forming symbiosis with pinus pinaster seedling exposed to cadmium. Journal of Science of the Total Environment. 414L: 63-67.

Sun, Y. B., Zhou, Q. X., An, J., Liu, W. T. and Liu, R. (2009). Chelator - enhanced phytoextraction of heavy metals from contaminated soil irrigatednby industrial wastewater with the hyperaccumulator plant (Sedum alfredii Hance). Journal of Geoderama. 150(1): 1528-1537.

Garbisu‹C‹and I‹alkorta,2001, phtoxtraction: acost effective plant based technology for the removal of metals from the environment . Bior source tehnology ، 779(2001):pp229-236

Ghsh,M.and Singh,S.P.(2005).A review on phytoremediation of heavy metals and utilization of it is by products. Journal of Asian Energy Environ.6(4):18.

Grant W. F. 1959. Cytogenetic studies in Amaranthus. III. Chromosome numbers and phytogenetic aspecis. Can. J. Genet. Cytol. 1: 313-328.

Tester, M. and Leigh, R. A.(2001). Partitioning of nutrient transport processes in roots. Journal of Experimental Botany. 52(1): 445-457.

Thimas Ruley, A., Sharama, N. C. and Sahi, S. V. (2004). Antioxidant defense in a lead accumulating plant, Sesbania drummondii. Journal of plant Physiology and Biochemistry. 42(11): 899-906.

Tiller K.G. (1989), Advances in soil Science , Springer-Verlag, New YORK,9, PP 113-142.

Toler, H. D., Morton, J. B. and Cumming, J. R. (2005). Growth and metal accumulation of mycorrhizal sorghum exposed to elevated copper and zinc. Journal of Water, Air, and Soil Pollution. 164(1-4): 155-172.

Vance, D. B. (1996). Phytoremedition: Enhancing Natural Attenuation Processes. The national Environmental Journal. January/February. PP. 30-31.

WASUA (Waite Analytical Services University of Adelaide). WWW. Adelide.edu.au/was/methods/2009_03-was_overall_methods.

Weaver, S.E.and Mc Williams, E. L. 1980.The biology of Canadian Weeds. 44. Amaranthus retroflexus L., A.Powellii S. Wats. And A. hybridus L. Can. J. plant Sci. 60: 1215-1234.

Zaier, H., Ghnaya, T., Ben Rejeb, K., Lakhdar, A., Rejeb, S. and Jemal, F. (2010). Effects of EDTA on phytoextraction of heavy metal (Zn, Mn and Pb) from sludgeamended soil with Brassica napus. Journal of Hazardos Materials. 181(1):455-459.

Zhao, Z., XI, M., Jiang, G.,Liu, X., Bai, Z. and Huang, Y. (2010). Effects of IDSA, EDDS nd EDTA on heavy metalsaccumulation in hydroponically grown maize (Zea mays L.). Journal of Hazardous Materials. 181(1): 455-459.

Zhou, W. and Qiu, B. (2005). Effects of cadmium hyper-accumulation on physiological characteristics of sedum alfredii Hance (Crassulaceae). Journal of plant Science. 169(4): 737-745.

Zhuang, P., Shu, W., Li, Z., Liao, B., Li, J. and Shao, J.(2009). Removal of metals by sorghum plants from contaminated lead. Journal of Environmental Sciences. 21(10): 1432-1437.

Shahrood University of Technology

Faculty of Agriculture engineering

M.Sc. Thesis

Title of thesis: Check potential plant purification lead a door three plant different under the impact acid citric and EDTA

Faeze karimpoori

Supervisor:

Dr. M.R. Amerian

Advisor:

Msc. M. Rahimi

June 2016

Check Potential Plant Purification Lead a door Three Plant Different Under the impact
acid Citric And EDTA

Abstract

The development of industry and agriculture increasingly has implications for conservation is the most important effects of uncontrolled entrance of heavy metals can be noted in the life cycle of metals such as lead, nickel and zinc, which leave their irreparable damage. Phytoremediation is one way to bring out these elements of the environment. In this regard factorial experiment in a randomized complete block design with four replications was performed University anymore. Factors examined include the lead in the three-level (0) control, 100 and 200 (mg per kg of soil), EDTA chelates at two levels (0) control, 5 (mmol per kg of soil) and citric acid solution at two levels (0) control and 1 (g per kg of soil) that on Tuesday sorghum, pigweed and sunflower were studied.

The results showed that lead treatment resulted in significant reduction in shoot fresh weight and dry weight of roots and shoots, reduced height and chlorophyll content of sorghum was in the presence of citric acid and EDTA The increase in these traits. Lead pigweed plant fresh weight decreased total chlorophyll in plants results in similar sorghum and sunflower in between citric acid reduced total dry biomass at the plant. As well as other traits in Kalat EDTA Increased the lead concentration roots, lead in soil, transfer factor and concentration factor in plant biology and weed seeds increased the lead concentration in the plant root, lead content, transfer factor and environmental factor was condensed while only an increase in sorghum transfer factor in the plant. The presence of citric acid also decreases the concentration of lead in root pigweed and increased lead content in the plant and reduce lead content in the sunflower plant and reduce plant stress tolerance in weed and sunflower. The combination of citric acid and EDTA Lead concentrations in the root pigweed and sunflower and tolerance index were observed in sorghum. With results in factors related to the phytoremediation plant and weed, sunflower, sorghum Nest to have achieved the best results.

Keywords: Lead, Kalat EDTA , Pigweed, sorghum, sunflower