بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه اصفهان

دانشکده علوم

گروه زیست شناسی

پایان نامه‌ی دکتری رشته‌ی زیست شناسی- فیزیولوژی گیاهی

بررسی میزان مقاومت به سرب و اثر کلات کننده ها و تنظیم کننده های رشد گیاهی بر جذب و تجمع سرب در گیاه *Matthiola flavida*

استاد راهنما:

دکتر سید مجید قادریان

پژوهشگر:

احمد مهتدی

تیر ماه ۱۳۹۱

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات،
ابتکارات و نوآوری های ناشی از تحقیق
موضوع این پایان نامه متعلق به دانشگاه
اصفهان است.

دانشگاه اصفهان

دانشکده علوم

گروه زیست شناسی

پایان نامه‌ی دکتری رشته‌ی زیست شناسی- فیزیولوژی گیاهی آقای احمد مهتدی تحت عنوان

بررسی میزان مقاومت به سرب و اثر کلات کننده ها و تنظیم کننده های رشد گیاهی بر جذب و تجمع سرب در گیاه *Matthiola flavida*

در تاریخ ۱۳۹۱/۴/۱۹ توسط هیأت داوران زیر بررسی و با درجه عالی به تصویب نهایی رسید.

۱- استاد راهنمای پایان نامه دکتر سید مجید قادریان با مرتبه علمی دانشیار امضا

۲- استاد داور داخل گروه دکتر اکبر مستاجران با مرتبه علمی استاد امضا

۳- استاد داور داخل گروه دکتر علی اکبر احسانپور با مرتبه علمی استاد امضا

۴- استاد داور خارج گروه دکتر فائزه قناتی با مرتبه علمی دانشیار امضا

امضای مدیر گروه

تشکر و قدردانی

حمد و سپاس خدای بزرگ را که به من توفیق فراگیری علم و دانش عطا فرمود و از سر لطف و رحمت بی پایانش این بنده حقیر را توجهی نمود و فهم قطره ای از دریای علم را بر من آسان ساخت. اهل دانش نیک می دانند که پژوهش و تدوین یک اثر علمی بدون کمک اهل فن میسر نیست. در اینجا وظیفه خود می دانم از کلیه کسانی که در این راه یاریم نمودند تشکر و قدر دانی نمایم.

از خانواده عزیزم که با صبر و حوصله آسایش فکریم را فراهم نمودند و دعای خیر آنها بدرقه راهم بوده است سپاسگزاری می کنم. وظیفه خود می دانم از استاد راهنمای ارجمند جناب آقای دکتر قادریان که زحمت راهنمایی این پایان نامه را بعهده داشتند و در طول دوره کارشناسی ارشد و دکتری مشفقانه من را راهنمایی نمودند و تجارب ارزنده خود را در اختیارم گذاشتند کمال تشکر را بنمایم. همچنین از جناب آقای دکتر Henk Schat و گروه ایشان در دانشگاه VU آمستردام هلند که در طول فرصت مطالعاتی اینجانب نهایت مساعدت و همکاری را با بنده داشتند بی نهایت تشکر می کنم. از جناب آقای مهندس شاهنوشی که در آنالیز نمونه ها همیشه یاورم بودند سپاس فراوان دارم. از اساتید محترم بخش علوم گیاهی دانشگاه اصفهان آقای دکتر مستاجران، دکتر احسانپور، دکتر المدرس، دکتر شریعتی، دکتر رحیمی نژاد، دکتر افشارزاده و دکتر صاحبی که در طول دوره کارشناسی ارشد و دکتری از محضرشان کسب علم و تجربه نمودم قدردانی می کنم. از مدیریت محترم گروه زیست شناسی و کارکنان گروه سپاسگزاری می کنم. از همکلاسی های دوره دکتری خانم ها عرب و حاجی هاشمی و آقایان قطبی و عینعلی تشکر می کنم. از تمام دوستان دوران تحصیلم آقایان دکتر قاسمی، آسمانه، حسن شاهیان، کریمی، هاتفی، جمالی حاجیانی، شیخ بیگلو، پریشانی، حسینی، قزلباش، قائم مقامی، زمانی، جعفرنیا، نادری، مبارکی، غلامی و اصغری و کلیه عزیزانی که به نحوی در حق بنده لطف و مساعدت نمودند بی نهایت تشکر می کنم و برای همه آنها آرزوی توفیق و سربلندی دارم.

چکیده:

سرب یکی از فلزات سنگین و آلاینده محیط زیست می باشد که برای گیاهان سمی است. منابع آلودگی سرب در خاک را می توان در سه گروه عمده تقسیم بندی کرد: آلودگی صنعتی ازجمله معدن کاوی و فرایندهای ذوب فلزی، آلودگی کشاورزی شامل افزایش استفاده از حشره کش ها و فاضلاب های شهری و آلودگی های شهری که حاصل استفاده از سرب در مواد سوختی، رنگ ها و دیگر مواد می باشد. سرب برای گیاهان در خاک و همچنین به صورت ذرات معلق در هوا قابل دسترس می باشد. علائم سمیت سرب در گیاه شامل مهار رشد، کلروز و سیاه شدن سیستم ریشه می‌باشد. وقتی سرب حتی در مقادیر کم وارد سلول می شود گستره وسیعی از اثرات مضر را روی فرایند های فیزیولوژیکی گیاه ایجاد می کند از جمله باعث ممانعت از فعالیت آنزیم ها، اختلال در تغذیه معدنی و تعادل آب گیاه می شود. همچنین باعث تغییر وضعیت هورمون ها شده و ساختار و نفوذ پذیری غشاء را تحت تاثیر قرار می دهد. علی رغم وجود اثرات مضر فلزات سمی گیاهان با دو مکانیسم اجتناب و تحمل در برابر سمیت یون های فلزی مقاومت می کنند. تعداد کمی از گیاهان قادر به تحمل غلظت های بالای فلزات سنگین در خاک می‌باشند. چنین گیاهانی که فلزات را در غلظت های بالا در اندام های هوایی نسبت به ریشه خود و بدون بروز هر گونه علائم سمیت تجمع می دهند، گیاهان بیش تجمع دهنده نامیده می شوند. گیاهانی که بتوانند بیش از ۰/۱٪ در وزن خشک سرب را در اندام های هوایی خود تجمع دهند به عنوان بیش تجمع دهنده آن محسوب می شوند. میزان تنوع درون گونه ای و بین گونه ای تحمل سرب و ظرفیت تجمع سرب در میان بیش تجمع دهندگان تا کنون بندرت بررسی شده است. همچنین مطالعات آزمایشگاهی تحت شرایط کنترل شده کمتر صورت گرفته است. لذا تحقیق حاضر با هدف بررسی میزان مقاومت به سرب و اثر کلات کننده ها و تنظیم کننده های رشد گیاهی بر جذب و تجمع سرب در گیاه *Matthiola flavida* صورت گرفت. در بخش اول این پژوهش نمونه‌های گیاهی و بذر گونه گیاهی *M. flavida* روییده شده بر روی خاک های معدن سرب و روی منطقه ایرانکوه و همچنین خاک اطراف ریشه جمع‌آوری گردید و غلظت عناصر در نمونه های جمع آوری شده اندازه گیری شد. براساس نتایج بدست آمده، خاک منطقه معدنی ایرانکوه به میزان زیادی آلوده به فلزات سنگین سرب، روی و کادمیوم می باشد. همچنین بیشترین میزان سرب در نمونه های برگ و ریشه گیاه *M. flavida* جمع آوری شده به ترتیب ۷۶۰۰ و ۲۶۳۰ میکرو گرم بر گرم بود. در بخش دوم این پژوهش مقاومت و تجمع سرب، روی و کادمیوم در دو جمعیت گیاه *M. flavida* در قیاس با گونه های تجمع دهنده و مقاوم به سرب در شرایط هیدروپونیک مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از اثر غلظت های مختلف سرب در محیط هیدروپونیک بر روی دو جمعیت فلز دوست (منطقه ایرانکوه) و غیر فلز دوست (منطقه صفه) گیاه *M. flavida* و چهار جمعیت مختلف گیاه تجمع دهنده *Noccaea caerulescens* و دو جمعیت گیاه مقاوم *Silene vulgaris* نشان داد که افزایش غلظت سرب در محلول غذایی باعث کاهش وزن خشک گیاهان می شود و بین دو جمعیت گیاه *M. flavida* تفاوت معنی داری وجود ندارد. همچنین میزان مقاومت به سرب بر اساس اندازه گیری طول ریشه نشان داد که بیشترین مقاومت در جمعیت فلز دوست گیاه *S. vulgaris* وجود دارد و جمعیت های فلز دوست *N. caerulescens* و *M. flavida* مقاومت کمتری به سرب نسبت به جمعیت غیر فلز دوست گونه *S. vulgaris* دارند. بر اساس نتایج حاصل از اثر غلظت های

مختلف سرب در شرایط هیدروپونیک، مشخص شد که در هر سه گونه مورد بررسی در این تحقیق، میزان سرب در ریشه با افزایش غلظت تیمار سرب در محلول غذایی افزایش می یابد. همچنین غلظت سرب در ریشه نیز بیشتر از بخش هوایی است. بیشترین غلظت سرب در تیمار ۲۵ میکرو مولار سرب در ریشه جمعیت فلز دوست گیاه *M. flavida* مشاهد شد. بر اساس نتایج حاصل از کشت هیدروپونیک مشخص شد که بیش تجمع دهندگی سرب (غلظت بالاتر از ۱۰۰۰ میکروگرم بر گرم وزن خشک برگ) اختصاصاً در جمعیت فلز دوست گیاه *S. vulgaris* و جمعیت فلز دوست CMA گیاه *N. caerulescens* دیده می شود. همچنین بررسی میزان مقاومت و تجمع روی و کادمیوم نیز در دو جمعیت گیاه *M. flavida* در شرایط هیدروپونیک تفاوت معنی داری را بین دو جمعیت این گیاه نشان نمی داد. در بخش دیگری از این پژوهش میزان رشد گیاه *M. flavida* بر روی خاک های آلوده به سرب ایرانکوه و پلمبیر در شرایط آزمایشگاه در مقایسه با گونه های تجمع دهنده و مقاوم به سرب بررسی شد. بر اساس نتایج حاصل از کشت گلدانی گیاهان در شرایط آزمایشگاه بر روی خاک ایرانکوه، از میان گیاهان مورد بررسی، بیشترین غلظت سرب در بخش هوایی جمعیت فلز دوست گیاه *M. flavida* با میانگین غلظت بیش از ۲۰۰۰ میکروگرم بر گرم مشاهده شد که بیش تجمع دهندگی را در این گیاه ثابت می کند. در بخش بعدی این پژوهش اثر متقابل سرب و کلسیم در شرایط هیدروپونیک در گیاه *M. flavida* بررسی شد. نتایج نشان داد که با افزایش غلظت کلسیم در محلول غذایی ، میزان جذب و تجمع سرب در ریشه کاهش و میزان سرب در بخش هوایی افزایش می یابد. در بخش بعدی این پژوهش اثر کلات کنندگی EDDS و سیترات بر جذب و تجمع سرب در گیاه *M. flavida* در شرایط هیدروپونیک مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از اضافه کردن سیترات و EDDS نشان داد که وقتی همه سرب به فرم کلاته شده در آمده باشد و غلظت کمپلکس سرب-کلاتور هم کم باشد گیاه *M. flavida* به سختی سرب را از محلول جذب می کند. اما وقتی غلظت کل سرب در محلول غذایی بالا باشد تجمع قابل توجه سرب و یا حتی بیش تجمع دهندگی سرب صورت می گیرد. در بخش انتهایی این پژوهش اثر هورمون های گیاهی IAA و کینتین بر جذب و تجمع سرب در گیاه *M. flavida* بررسی شد. بر اساس نتایج بدست آمده تیمار کینتین و IAA اثر مثبت مشخصی بر میزان بیوماس در گیاه *M. flavida* نداشت. با افزایش غلظت کینتین در محیط میزان سرب در ریشه و بخش هوایی کاهش نشان می-داد. نتایج نشان داد که در غلظت ۱ و ۱۰ میکرو مولار IAA نسبت به کنترل به ترتیب بیش از ۴۸ و ۱۱۰ درصد افزایش غلظت سرب در بخش هوایی مشاهده می شد ولی میزان سرب در ریشه در پی تیمار IAA کاهش معنی داری پیدا می کرد.

کلید واژه ها: سرب، جذب، مقاومت، کلات کننده ها، *Matthiola flavida*

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه و بررسی منابع

۱-۱- آلودگی فلزات سنگین ۱

۱-۱-۱- ویژگی های عمومی سرب ۱

۱-۱-۲- منابع آلودگی سرب ۲

۱-۲- قابلیت دسترسی زیستی فلزات سنگین در خاک ۳

۱-۳- عوامل موثر بر جذب فلزات سنگین ۴

۱-۳-۱ ظرفیت تبادل کاتیونی ۴

۱-۳-۲- اسیدیته خاک ۵

۱-۳-۳- ساختمان خاک و رقابت کاتیون ها با یکدیگر ۵

۱-۳-۴- میکرو ارگانیسم های خاک ۶

۱-۳-۵- تراوشات ریشه ۶

۱-۳-۶- کلات کننده ها ۶

۱-۴- انتقال فلزات سنگین در گیاهان ۷

۱-۵- جذب و انتقال سرب در گیاهان ۸

۱-۶- سمیت فلزات سنگین ۹

۱-۷- اثرات فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و فراساختاری سرب بر گیاهان ۱۰

۱-۷-۱- فعالیت آنزیم ها ۱۱

۱-۷-۲- فتوسنتز ۱۲

۱-۷-۳- جذب مواد غذایی و وضعیت آب گیاه ۱۲

۱-۷-۴- متابولیسم اکسیداتیو ۱۳

۱-۸- مقاومت به فلزات سنگین ۱۴

۱-۸-۱- مکانیسم های مقاومت در برابر فلزات سنگین ۱۵

۱-۸-۱-۱- دیواره سلولی و تراوشات ریشه ای ۱۶

۱-۸-۱-۲- غشای پلاسمایی ۱۸

۱-۸-۱-۳- متالوتیونین ها و فیتوکلاتین ها ۱۸

عنوان **صفحه**

۱-۸-۱-۴- اسیدهای آلی و آمینواسیدها..... ۱۹
۱-۸-۱-۵- حجره بندی سلولی و درون سلولی..... ۲۰
۱-۹- گیاهان بیش تجمع دهنده..... ۲۰
۱-۹-۱- بیش تجمع دهندگی سرب..... ۲۱
۱-۹-۲- مزیت بیش تجمع دهندگی فلزات سنگین..... ۲۲
۱-۱۰- گیاه پالایی..... ۲۳
۱-۱۰-۱- انواع Phytoextraction..... ۲۴
۱-۱۰-۱-۱- استفاده از کلات کننده ها..... ۲۴
۱-۱۰-۱-۲- استفاده از هورمون های گیاهی..... ۲۶
۱-۱۱- خصوصیات گیاه شناسی خانواده شب بو..... ۲۸
۱-۱۱-۱- معرفی جنس *Matthiola*..... ۲۹
۱-۱۱-۱-۱- مشخصات گیاه شناسی گونه *Matthiola falavida* Boiss..... ۳۰
۱-۱۲- اهداف پژوهش..... ۳۰

فصل دوم: مواد و روشها

۲-۱- مواد و روشهای مرتبط با آنالیز عناصر موجود در خاک و گیاه *M. flavida* منطقه معدنی ایرانکوه... ۳۲
۲-۱-۱- معرفی منطقه مورد مطالعه..... ۳۲
۲-۱-۲- جمع آوری نمونه های خاک و گیاه..... ۳۳
۲-۱-۳- اندازه گیری مقدار عناصر در حالت کل خاک..... ۳۴
۲-۱-۴- اندازه گیری مقدار عناصر در حالت قابل تبادل..... ۳۵
۲-۱-۵- اندازه گیری pH خاک..... ۳۵
۲-۱-۶- اندازه گیری غلظت عناصر موجود در نمونه های گیاهی..... ۳۵
۲-۲- مواد و روشهای مرتبط با بررسی مقاومت و تجمع سرب، روی و کادمیوم در دو جمعیت گیاه *M. flavida* در قیاس با گونه های تجمع دهنده و مقاوم به سرب در شرایط هیدروپونیک..... ۳۶
۲-۲-۱- مواد گیاهی..... ۳۶
۲-۲-۲- کشت گیاهان در شرایط هیدروپونیک..... ۳۷
۲-۲-۳- آزمایش مقاومت به سرب..... ۳۷

عنوان **صفحه**

۲-۲-۴- اندازه گیری غلظت سرب..... ۳۸

۲-۲-۵- بررسی مقاومت و تجمع روی و کادمیوم در دو جمعیت گیاه *M. flavida*..... ۳۹

۲-۲-۶- آنالیز آماری داده ها ۳۹

۲-۳- مواد و روشهای مرتبط با بررسی رشد گیاه *M. flavida* بر روی خاک های آلوده به سرب در شرایط آزمایشگاه در مقایسه با گونه های تجمع دهنده و مقاوم به سرب..... ۴۰

۲-۳-۱- کاشت گیاهان در محیط خاک در شرایط آزمایشگاه..... ۴۰

۲-۴- مواد و روشهای مرتبط با بررسی اثر متقابل سرب و کلسیم بر میزان جذب، تجمع و مقاومت به سرب در گیاه *M. flavida*..... ۴۱

۲-۴-۱- کشت هیدروپونیک..... ۴۲

۲-۴-۲- آزمایش مقاومت و تجمع سرب..... ۴۲

۲-۵- مواد و روشهای مرتبط با بررسی اثر کلات کننده ها بر جذب و تجمع سرب در گیاه *M. flavida*..... ۴۴

۲-۵-۱- بررسی اثر غلظت های مختلف EDDS و سیترات بر جذب سرب توسط گیاه *M. flavida* در محیط هیدروپونیک..... ۴۴

۲-۵-۲- طراحی آزمایش..... ۴۴

۲-۵-۳- اندازه گیری غلظت سرب..... ۴۵

۲-۶- مواد و روشهای مرتبط با بررسی تاثیر هورمون های گیاهی اکسین (IAA) و کینتین بر جذب و تجمع سرب در گیاه *M. flavida*..... ۴۶

۲-۶-۱- شرایط رشد گیاهان..... ۴۷

۲-۶-۲- بررسی اثر IAA و کینتین و اندازه گیری مقدار سرب جذب شده..... ۴۷

۲-۶-۳- اندازه گیری میزان کلروفیل..... ۴۸

فصل سوم: نتایج

۳-۱- نتایج مربوط به آنالیز عناصر موجود در خاک و گیاه *M. flavida* منطقه معدنی ایرانکوه..... ۴۹

۳-۲- نتایج مربوط به بررسی مقاومت و تجمع سرب، روی و کادمیوم در دو جمعیت گیاه *M. flavida* در قیاس با گونه های تجمع دهنده و مقاوم به سرب در شرایط هیدروپونیک..... ۵۱

۳-۲-۱- اثر غلظت های مختلف سرب بر وزن خشک دو جمعیت گیاه *M. flavida* ۵۱

عنوان **صفحه**

۳-۲-۲- اثر غلظت های مختلف سرب بر رشد ریشه.....۵۴
۳-۲-۳- اثر غلظت های مختلف سرب در محیط کشت بر تجمع سرب در بافت های گیاه.....۵۶
۳-۲-۴ مقاومت و تجمع روی و کادمیوم در دو جمعیت گیاه *M. flavida* در شرایط هیدروپونیک.....۶۲
۳-۳- نتایج مربوط به رشد گیاه *M. flavida* بر روی خاک های آلوده به سرب در شرایط آزمایشگاه در مقایسه با گونه های تجمع دهنده و مقاوم به سرب.....۶۵
۳-۳-۱ تجمع فلز و عملکرد رشد گیاهان در خاک پلمبیر ۶۶
۳-۳-۲ تجمع فلز و عملکرد رشد گیاهان در خاک معدنی ایرانکوه ۶۷
۳-۴- نتایج مربوط به بررسی اثر متقابل سرب و کلسیم بر میزان جذب، تجمع و مقاومت به سرب در گیاه *M. flavida*.....۶۹
۳-۵- نتایج مربوط به بررسی اثر کلات کننده ها بر جذب و تجمع سرب در گیاه *M. flavida*.....۷۲
۳-۵-۱- بررسی اثر غلظت های مختلف سیترات بر جذب و تجمع سرب توسط گیاه *M. flavida* در محیط هیدروپونیک.....۷۲
۳-۵-۲- بررسی اثر غلظت های مختلف EDDS بر جذب و تجمع سرب در گیاه *M. flavida* در شرایط هیدروپونیک و خاک.....۷۴
۳-۶- نتایج مربوط به بررسی تاثیر هورمون های گیاهی IAA و کینتین بر جذب و تجمع سرب در گیاه *M. flavida*.....۷۷

فصل چهارم: بحث و نتیجه گیری

۴-۱- بحث مربوط به نتایج آنالیز عناصر موجود در خاک و گیاه *M. flavida* منطقه معدنی ایرانکوه.....۸۲
۴-۲- بحث مربوط به نتایج بررسی مقاومت و تجمع سرب، روی و کادمیوم در دو جمعیت گیاه *M. flavida* در قیاس با گونه های تجمع دهنده و مقاوم به سرب در شرایط هیدروپونیک.....۸۷
۴-۳- بحث مربوط به نتایج بررسی رشد گیاه *M. flavida* بر روی خاک های آلوده به سرب در شرایط آزمایشگاه در مقایسه با گونه های تجمع دهنده و مقاوم به سرب.....۹۲
۴-۴- بحث مربوط به نتایج بررسی اثر متقابل سرب و کلسیم بر میزان جذب، تجمع و مقاومت به سرب در گیاه *M. flavida*.....۹۸
۴-۵- بحث مربوط به نتایج بررسی اثر کلات کننده ها بر جذب و تجمع سرب در گیاه *M. flavida* ۱۰۰

عنوان **صفحه**

۴-۶- بحث مربوط به نتایج بررسی تاثیر هورمون های گیاهی IAA و کینتین بر جذب و تجمع سرب در گیاه *M. flavida* ۱۰۳

پیشنهادات..... ۱۰۸

پیوست ها ۱۰۹

منابع..... ۱۱۳

فهرست شکل ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱ منابع عمده آلودگی سرب در محیط..... ۳
شکل ۱-۲ شمای کلی اثرات سمیت سرب بر فرایندهای مهم فیزیولوژیکی در گیاهان..... ۱۱
شکل ۱-۳ اثر سرب بر روی فتوسنتز، تنفس، جذب مواد غذایی و رژیم آبی گیاه..... ۱۳
شکل ۱-۴ مکانیسم های مولکولی پیشنهادی که در تجمع فلزات در گیاه موثر می باشند..... ۱۷
شکل ۲-۱ گیاه *Matthiola flavida* روییده بر خاک های معدن سرب و روی ایرانکوه..... ۳۴
شکل ۲-۲ رشد گیاه *Matthiola flavida* در شرایط هیدروپونیک در غلظت های مختلف سرب..... ۴۶
شکل ۳-۱ رابطه بین غلظت سرب در بخش هوایی گیاه *M. flavida* و غلظت سرب کل در نمونه های خاک منطقه معدنی ایرانکوه..... ۵۱
شکل ۳-۲ اثر غلظت های مختلف سرب بر وزن خشک بخش هوایی (a) و ریشه (b) در دو جمعیت ایرانکوه و صفه گیاه *M. flavida* پس از دو هفته تیمار..... ۵۳
شکل ۳-۳ ممانعت از رشد ریشه در اثر تیمار سرب در (a) دو جمعیت گیاه *M. flavida* (b) دو جمعیت گیاه *S. vulgaris* (c) چهار جمعیت گیاه *N. caerulescens*..... ۵۵
شکل ۳-۴ غلظت سرب در ریشه در (a) دو جمعیت گیاه *M. flavida* (b) دو جمعیت گیاه *S. vulgaris* (c) چهار جمعیت گیاه *N. caerulescens*..... ۵۷
شکل ۳-۵ غلظت سرب در بخش های هوایی در (a) دو جمعیت گیاه *M. flavida* (b) دو جمعیت گیاه *S. vulgaris* (c) چهار جمعیت گیاه *N. caerulescens*..... ۵۹
شکل ۳-۶ نسبت غلظت سرب بخش هوایی به ریشه در (a) دو جمعیت گیاه *M. flavida* (b) دو جمعیت گیاه *S. vulgaris* (c) چهار جمعیت گیاه *N. caerulescens*..... ۶۱
شکل ۳-۷ ممانعت از رشد ریشه در اثر تیمار روی (a) و کادمیوم (b) در دو جمعیت گیاه *M. flavida*..... ۶۲
شکل ۳-۸ غلظت روی در بخش هوایی و ریشه در دو جمعیت گیاه *M. flavida*..... ۶۳
شکل ۳-۹ غلظت کادمیوم در بخش هوایی و ریشه در دو جمعیت گیاه *M. flavida*..... ۶۴
شکل ۳-۱۰ تاثیر کلسیم محیط کشت بر طول ریشه در جمعیت معدن ایرانکوه گیاه *M. flavida*..... ۶۹
شکل ۳-۱۱ تاثیر کلسیم محیط کشت بر جذب و تجمع سرب در ریشه و بخش های هوایی جمعیت معدن ایرانکوه گیاه *M. flavida*..... ۷۱
شکل ۳-۱۲ تاثیر غلظت های مختلف سیترات بر غلظت سرب در بخش هوایی و ریشه در دو جمعیت ایرانکوه و صفه گیاه *M. flavida*..... ۷۳

عنوان **صفحه**

شکل ۳-۱۳ تاثیر غلظت های مختلف EDDS بر غلظت سرب در بخش هوایی و ریشه در دو جمعیت ایرانکوه و صفه گیاه *M. flavida*.....۷۵
شکل ۳-۱۴ تاثیر غلظت های مختلف IAA و کینتین بر وزن خشک بخش هوایی در جمعیت ایرانکوه گیاه *M. flavida* ۷۸
شکل ۳-۱۵ تاثیر غلظت های مختلف IAA و کینتین بر غلظت سرب بخش هوایی در جمعیت ایرانکوه گیاه *M. flavida* ۷۹
شکل ۳-۱۶ تاثیر غلظت های مختلف IAA و کینتین بر غلظت سرب ریشه در جمعیت ایرانکوه گیاه *M. flavida* ۸۰
شکل ۳-۱۷ تغییرات غلظت کلروفیل a، b و کل در گیاهان *M. flavida* در پاسخ به تیمار ترکیب غلظت ۱ میکرو مولار سرب و غلظت های مختلف IAA و کینتین در محیط هیدروپونیک.....۸۱

فهرست جدول ها

عنوان **صفحه**

جدول ۱-۱ برخی از عوامل کلات کننده که در مطالعات گیاه پالایی مورد استفاده قرار گرفته است.....۲۵
جدول ۲-۱ تیمار ترکیب غلظتی سرب و کلسیم.....۴۳
جدول ۳-۱ مقدار کل و قابل تبادل عناصر سرب، روی، کادمیوم و کلسیم در نمونه های خاک جمع آوری شده از منطقه معدنی سرب و روی ایرانکوه.....۵۰
جدول ۳-۲ غلظت سرب، روی و کادمیوم در گیاه *M. flavida* جمع آوری شده از منطقه معدنی ایرانکوه.....۵۰
جدول ۳-۳ مقدار عناصر سرب، روی، کادمیوم و کلسیم در حالت کل و قابل تبادل در خاک آلوده به سرب و روی پلمبیر.....۶۵
جدول ۳-۴ غلظت سرب، روی و کادمیوم در بخش های هوایی گیاهان رشد کرده در خاک آلوده به سرب و روی پلمبیر به مدت ۴۰ روز در شرایط اتاق رشد.....۶۸
جدول ۳-۵ غلظت سرب، روی و کادمیوم در بخش های هوایی گیاهان رشد کرده در خاک معدن سرب و روی ایرانکوه به مدت ۴۰ روز در شرایط اتاق رشد.....۶۸
جدول ۳-۶ غلظت سرب در دو جمعیت ایرانکوه و صفه گیاه *M. flavida* پس از تیمار با غلظت های مختلف سرب و غلظت ۱ میلی مولار EDDS به مدت یک هفته.....۷۶
جدول ۳-۷ میانگین غلظت سرب در بخش هوایی دو جمعیت ایرانکوه و صفه گیاه *M. flavida* پس از ۴۰ روز رشد در خاک ایرانکوه و تیمار با غلظت ۱ و ۲ میلی مولار EDDS به مدت یک هفته.....۷۷

فصل اول

مقدمه و بررسی منابع

۱-۱ آلودگی فلزات سنگین

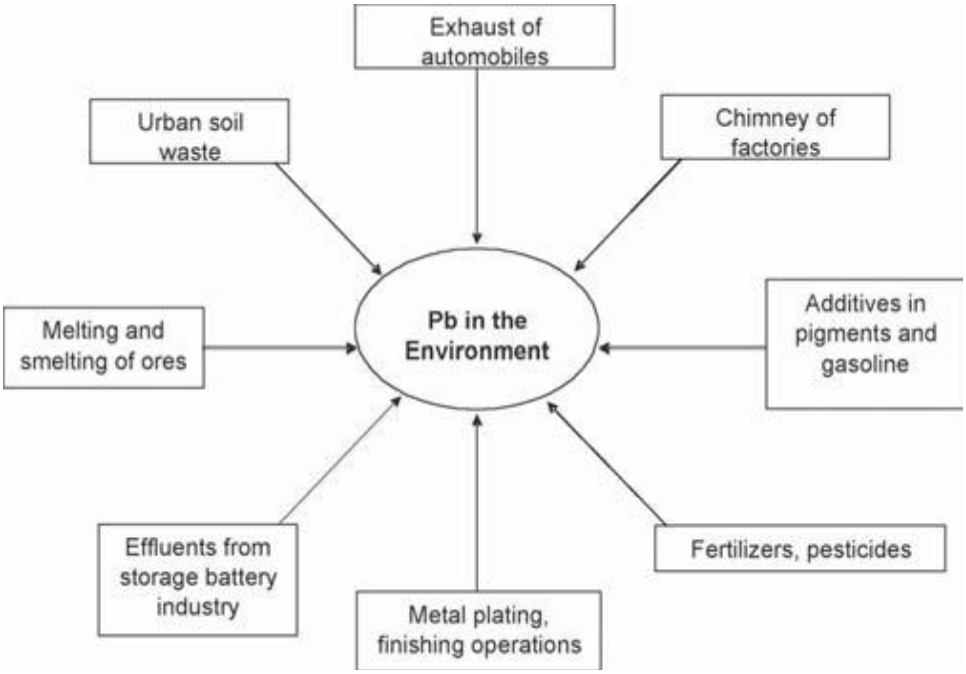
۱-۱-۱ ویژگی های عمومی سرب

سرب یکی از فلزات سنگین و آلاینده محیط زیست می باشد که برای گیاهان و دیگر موجودات زنده از جمله انسان به شدت سمی است. نام سرب یا Lead از واژه لاتین (Plumbum) گرفته شده است. این عنصر با نماد Pb، عدد اتمی ۸۲، جرم اتمی ۲۰۷/۲، وزن مخصوص ۱۱/۳۵ گرم بر سانتی متر مکعب، سختی ۱/۵ در مقیاس موس، نقطه جوش ۱۷۴۹ درجه سانتی گراد و نقطه ذوب ۳۲۷/۴۶ درجه سانتی گراد می باشد. سرب به عنوان یک فلز در گروه ۱۴ (IVA) و دوره ۶ جدول تناوبی قرار دارد. سرب زمانی که در معرض هوا قرار می گیرد، ظاهر خاکستری تیره رنگ و ماتی می یابد اما به صورت سطوح سالم و تازه شکسته به رنگ سفید مایل به آبی است. درطبیعت دو عنصر سرب و روی، اغلب با هم همراه هستند. از نظر فراوانی در پوسته زمین سرب به عنوان سی و یکمین عنصر فراوان در پوسته زمین با فراوانی ۰/۰۰۲ ٪ می باشد (WHO, 1989). سرب در طبیعت به

صورت سولفید، سولفات، کربنات و نمک های سرب یافت می شود. سرب و دی اکسید سرب به مقدار زیاد برای ذخیره سازی باتری ها کاربرد دارد. فلز سرب عامل موثری برای جذب امواج است که به علت این قابلیت از سرب برای پوشش تجهیزات اشعه ایکس و راکتورهای نوترونی برای جذب ارتعاش استفاده می شود. از اکسید سرب برای تولید شیشه های کریستالی ظریف و ظروف بلور با خاصیت انعکاس نور بالا برای لنزهای اکروماتیک استفاده می شود. نیترات و استات سرب نمکهای محلولی هستند. نمکهای سرب مثل آرسنات سرب برای حشره کش ها استفاده می شود. سرب فلزی استراتژیک است زیرا عمده فعالیت‌های شهری و نظامی به انرژی ذخیره شده در باطری‌های اسیدی ـ سربی متکی است.

۱-۱-۲ منابع آلودگی سرب

سرب یکی از آلاینده های اصلی اکوسیستم های آبی و خشکی است. منابع متعددی برای تجمع فلزات سنگین در خاک وجود دارد.مهمترین عاملی که غلظت فلزات سنگین در خاک را تعیین می کند ترکیب سنگ بستر و میزان هوازدگی آن می باشد. دخالت انسان در اکوسیستم ها و بهره برداری از منابع طبیعی نیز منجر به افزایش غلظت فلزات سنگین در منابع آب و خاک شده است. به طور کلی منابع آلودگی سرب در خاک را می توان در سه گروه عمده تقسیم بندی کرد: آلودگی صنعتی ازجمله معدن کاوی و فرایندهای ذوب فلزی، آلودگی کشاورزی شامل افزایش استفاده از حشره کش ها و فاضلاب های شهری و آلودگی های شهری که حاصل استفاده از سرب در مواد سوختی، رنگ ها و دیگر مواد می باشد (Shen et al., 2002). یکی از خطرناک ترین آلاینده های زیست محیطی وجود مقادیر اضافی فلزات سنگین در خاک است که اثرات زیانباری به ویژه بر سلامت انسان و دام بر جای می گذارد. خاک های آلوده به سرب کاهش قابل توجهی را در محصول گیاهی نشان می دهند که در نتیجه یک مشکل جدی برای کشاورزی می باشد. شکل ۱-۱ شمای کلی از منابع آلودگی سرب در محیط را نشان می دهد.



شکل ۱-۱ منابع عمده آلودگی سرب در محیط (Sharma and Dubey, 2005)

۱-۲ قابلیت دسترسی زیستی[1] فلزات سنگین در خاک

فلزات سنگین در خاک به طور کلی به صورت های زیر وجود دارند (Lasat, 2000):

۱- یون های آزاد و کمپلکس های فلزی در محلول خاک (محلول در آب)

۲- پیوندشده با بارهای منفی ترکیبات غیرآلی خاک در محل های تبادل یونی (قابل تبادل)

۳- پیوند شده با مواد آلی خاک (جذب و کلات شده)

۴- رسوب با اکسیدها، هیدروکسیدها و کربنات ها

۵- حضور در ساختمان کانی های سیلیکاتی

فلزات فقط در حالت محلول در آب و قابل تبادل به سرعت توسط ریشه گیاهان جذب می شوند

[1] Bioavailability

۱-۳ عوامل موثر بر جذب فلزات سنگین

اصلی ترین عامل موثر بر جذب فلزات سنگین میزان در دسترس بودن فلز جهت جذب توسط گیاه می باشد. میزان در دسترس بودن فلزات سنگین در خاک توسط فرایندهای زیستی، شیمیایی ، فیزیکی و کنش متقابل بین این فرایندها تنظیم می شود (Ernst, 1996).

از جنبه های زیستی اثر گذار بر مقادیر در دسترس فلزات سنگین در خاک می توان به میکرو ارگانیسم ها و تراوشات ریشه ای گیاهان اشاره کرد.

ویژگی های شیمیایی خاک از قبیل اسیدیته خاک، پتانسیل اکسید و احیا، تجزیه پذیری ترکیبات معدنی حاوی فلزات سنگین و اجزای شیمیایی حاصل از آنها نیز بر مقادیر در دسترس فلزات سنگین برای جذب توسط گیاهان اثر می گذارد.

از جمله شرایط فیزیکی اثر گذار می توان ظرفیت نگهداری آب، نوع بافت خاک، مقاومت فیزیکی ذرات خاک در مقابل نفوذ ریشه و میزان مواد معدنی باقیمانده از فعالیت های معدن کاوی را برشمرد.

بنابراین اثر یک عنصر بر روی گیاه نه تنها به خواص آن عنصر بلکه به غلظت آن، وجود سایر عناصر و سایر عوامل محیطی بستگی دارد (Shaw,1989; Gadd, 1993).

مهمترین عواملی که بر میزان در دسترس بودن فلزات سنگین اثر می گذارند به قرار زیر می باشد:

۱-۳-۱ ظرفیت تبادل کاتیونی[1]

ظرفیت تبادل کاتیونی مهمترین فاکتور تنظیم کننده میزان در دسترس بودن فلز خاک می باشد. ذرات رس خاک دارای بار منفی هستند و به طور برگشت پذیر با بارهای مثبت (کاتیونها) پیوند می شوند. کاتیون های جذب شده توسط ذرات خاک برای جذب گیاه مستقیماً قابل دسترس نیستند (Moore and Ramamoorthy, 1995).

[1] Cation Exchange Capacity