دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکدهٔ مهندسی عمران

ارزیابی عوامل موثر بر بالا بردن کارائی گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده به فلزات سنگین

پایان‌نامهٔ کارشناسی‌ارشد عمران

گرایش مهندسی محیط زیست

جعفر فخارمنش

استاد راهنما

دکتر امیر تائبی

۱۳۸۶

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات،
ابتکارات و نوآوریهای ناشی ازتحقیق موضوع
این پایان نامه (رساله) متعلق به دانشگاه صنعتی
اصفهان است.

تقدیم به:

روان پاک پدرم که برایم یک دنیا بود و
مادرم اسوه صبر وگذشت و
برادر وخواهران عزیزم

تقدیر و تشکر

با حمد و ستایش خدای متعال وظیفه خود می‌دانم از استاد فرزانه جناب آقای دکتر امیر تائبی که با صبر و حوصله و نگاه موشکافانه هدایت این پایان‌نامه را به عهده داشتند سپاسگذاری می‌نمایم. همچنین از آقای دکتر مجید افیونی استاد مشاور این پایان‌نامه که از مشاوره‌های سودمند ایشان در این تحقیق استفاده نمودم، کمال تشکر را دارم. از آقایان دکتر صفوی و دکتر سرتاج که زحمت داوری این پایان‌نامه را قبول نمودند تشکر می‌کنم.از همکاری کارکنان آزمایشگاه خاکشناسی آقای مهندس صدر ارحامی، مهندس عربزادگان و سرکار خانم مهندس قلمی تشکر می‌کنم. همچنین از همکاری طیبه و آزاده فخارمنش، احمدرضا غفوری، ابراهیم ذاکری و داوود فخارمنش در انجام آزمایشات صمیمانه سپاسگذارم.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

چکیده ۱

فصل اول: مقدمه و کلیات

۱-۱ مقدمه ۲

۱-۲ آلودگی خاک ۲

۱-۳ روشهای پاکسازی خاک ۳

۱-۴ اهداف تحقیق ۶

۱-۵ سازماندهی پایان نامه ۶

فصل دوم: پیشینه علمی موضوع

۲-۱ فلزات سنگین در خاک ۸

۲-۲ خواص فلزات سنگین ۱۰

۲-۲-۱ خواص سرب ۱۰

۲-۲-۲ مصارف صنعتی سرب ۱۰

۲-۲-۳ سرب در خاک و گیاهان ۱۱

۲-۲-۴ تاثیرات زیست محیطی سرب ۱۱

۲-۲-۵ خواص کادمیوم ۱۲

۲-۳ پاکسازی خاکهای آلوده به فلزات سنگین ۱۲

۲-۴ گیاه پالایی فلزات سنگین ۱۳

۲-۴-۱ تاریخچه ۱۳

۲-۴-۲ مزیتها و محدودیت‌های گیاه پالایی ۱۳

۲-۵ مکانیسمهای مختلف گیاه پالایی ۱۴

۲-۵-۱ تثبیت گیاهی ۱۴

۲-۵-۲ گیاه تبدیلی ۱۴

۲-۵-۳ فلیتراسیون ریشه‌ای ۱۵

۲-۵-۴ استخراج گیاهی ۱۵

۲-۶ استخراج گیاهی فلزات سنگین ۲۱

۲-۶-۱ شکل قابل دسترسی زیستی و شکل کل فلزات در خاک ۲۱

۲-۶-۲ انواع گیاهان تجمع دهنده فلزات ۲۱

۲-۶-۳ جذب فلز توسط ریشه‌ها ۲۲

۲-۶-۴ انتقال فلز از ریشه‌ها به اندامهای هوایی ۲۳

۲-۷ بالا بردن استخراج گیاهی توسط کلات ۲۳
۲-۷-۱ EDTA به عنوان معرف کلاتی برای بالا بردن استخراج گیاهی ۲۵
۲-۷-۲ EDTA وسرب ۲۵
۲-۷-۳ EDTA و دیگر فلزات ۲۷

فصل سوم: مواد و روشها

۳-۱ مشخصات خاک ۲۹
۳-۱-۱ طبقه‌بندی بافت خاک با استفاده از مثلث بافت خاک ۲۹
۳-۲ آماده سازی خاک گلدانها ۳۱
۳-۳ کشت و نگهداری گیاه ۳۲
۳-۴ جمع آوری و تجزیه نمونه ها ۳۲
۳-۴-۱ تجزیه خاک ۳۶
۳-۴-۲ تجزیه گیاه ۳۶
۳-۴-۳ آنالیز عصاره نمونه‌ها ۳۶
۳-۵ طرحهای آزمایشی ۳۷
۳-۵-۱ آزمایشهای چند عاملی (فاکتوریل) ۳۸
۳-۵-۲ مدل آماری در آزمایشهای فاکتوریل ۳۹
۳-۵-۲ روش مقایسه میانگینها ۴۰
۳-۶ طرح آماری آزمایشات انجام شده ۴۱
۳-۷ آنالیز آماری آزمایشات ۴۱

فصل چهارم: نتایج و بحث

۴-۱ مقدمه ۷۰
۴-۲ ارائه داده‌های بدست آمده ۷۱
۴-۳ نتایج آنالیز واریانس داده‌ها ۵۰
۴-۳ اثر متغیرها بر وزن خشک ریشه و اندامهای هوایی ۵۶
۴-۳-۱ اثر گونه‌های گیاهی بر وزن خشک ریشه و اندامهای هوایی ۵۶
۴-۳-۲ اثرآلودگی اولیه بر وزن خشک ریشه و اندامهای هوایی ۵۷
۴-۳-۳ اثر اصلاح‌کننده‌های خاک بر وزن خشک ریشه و اندام‌های هوایی ۵۹
۴-۳-۴ اثر متقابل گونه‌های گیاهی در سطح آلودگی اولیه ۶۱
۴-۵ اثر متغیرها بر غلظت سرب در ریشه و اندام‌های هوایی ۶۳
۴-۵-۱ اثر گونه‌های گیاهی ۶۳
۴-۵-۱۲ اثرآلودگی اولیه ۶۴

۴-۵-۳ اثر اصلاح‌کننده‌های خاک ۶۵
۴-۵-۴ اثر متقابل گونه‌های گیاهی در اصلاح‌کننده‌های خاک ۶۸
۴-۶ اثر متغیرها بر غلظت کادمیوم در ریشه و اندام¬های هوایی ۷۰
۴-۶-۱ اثر گونه‌های گیاهی ۷۰
۴-۶-۱۲ اثر آلودگی اولیه ۷۱
۴-۶-۳ اثر اصلاح‌کننده‌های خاک ۷۳
۴-۶-۴ اثر متقابل گونه‌های گیاهی در سطح آلودگی اولیه ۷۵

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۵-۱ نتیجه‌گیری کلی ۷۷
۴-۶-۱ وزن خشک ریشه و اندام‌های هوایی ۷۷
۴-۶-۲ غلظت سرب و کادمیوم انباشته شده در گیاه ۷۸
۵-۲ پیشنهادات ۷۹

پیوست اول ۸۰

مراجع ۸۸

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول۱-۱- زمان و هزینه مورد نیاز برای پاکسازی خاک آلوده به فلزات سنگین با استفاده از تکنولوژیهای متداول ۵

جدول۲-۱- استانداردهای کشورهای مختلف در مورد حداکثر غلظت قابل قبول(MAC) فلزات سنگین در خاک با توجه به سمیت آنها برای گیاه ،(mg/kg) ۹

جدول۲-۲-حد مجاز ورود سالانه فلزات سنگین به خاک¬های کشاورزی، (kg/ha/year) ۱۰

جدول ۲-۳- دامنه غلظت¬های زمینه و نرمال برای سرب کل و کادمیوم کل در خاک ۱۰

جدول۲-٤- مثالهایی ازکاربرد گیاهان استفاده شده در گیاه پالایی ۱۷

جدول۲-۵- مثال¬هایی از کاربردهای گیاه¬پالایی در فیلد ۱۸

جدول۲-٦- تعدادی از بیش انباشته¬گرهای شناخته شده برای فلزات سنگین ۲۲

جدول۲-۷- حداکثر غلظت سرب در گونه¬های گیاهی پس از اضافه کردن معرف¬های کلاتی ۲۷

جدول ۳-۱) برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک ۳۱

جدول ۳-۲) آنالیز اولیه فلزات سنگین در خاک ۳۱

جدول (۳-۳) سطوح متغیرها برای طرح آزمایش فاکتوریل ۴۲

جدول ۳-٤) ماتریس طراحی استخراج گیاهی خاک آلوده به فلز سنگین(۷×۳×۲) ۴۲

شکل۳-٦) ریشه گیاه ذرت پس از شستشو

شکل۳-۷) ریشه گیاه آفتابگردان پس از شستشو

شکل ۳-۸) نمای کلی از دستگاه جذب اتمی

جدول٤-۱- خلاصه نتایج آماری وزن خشک ریشه و اندام‌های هوایی و غلظت سرب و کادمیوم انباشته شده در گیاه ۴۵

جدول ٤-۲- میانگین غلظت سرب در ریشه واندام هوایی گیاه و خطای استاندارد ترکیب‌های مختلف متغیرها ۴۶

جدول ٤-۳- میانگین غلظت کادمیوم در ریشه واندام هوایی گیاه و خطای استاندارد ترکیب‌های مختلف متغیرها ۴۸

جدول٤-٤- نتایج آماری آنالیز واریانس وزن خشک ریشه در آزمایشات انجام شده ۵۱

جدول٤-۵- نتایج آماری آنالیز واریانس وزن خشک اندام‌های هوایی در آزمایشات انجام شده ۵۲

جدول٤-٦- نتایج آماری آنالیز واریانس غلظت سرب در ریشه در آزمایشات انجام شده ۵۳

جدول٤-۷- نتایج آماری آنالیز واریانس غلظت سرب در اندام‌های هوایی در آزمایشات انجام شده ۵۴

جدول ٤-۸- نتایج آماری آنالیز واریانس غلظت کادمیوم در ریشه در آزمایشات انجام شده ۵۵

جدول ٤-۹- نتایج آماری آنالیز واریانس غلظت کادمیوم در اندام‌های هوایی در آزمایشات انجام شده ۵۶

جدول٤-۱۰- میانگین وزن خشک ریشه و اندام‌های هوایی گونه‌های گیاهی مختلف ۵۷

جدول٤-۱۱- میانگین وزن خشک ریشه و اندام‌های هوایی گیاه در سطوح مختلف آلودگی اولیه ۵۸

جدول٤-۱۲- میانگین وزن خشک ریشه و اندام‌های هوایی گیاه کاربرد اصلاح‌کننده‌های خاک ۶۰

جدول٤-۱۳- اثرات متقابل گونه‌های گیاهی در سطح آلودگی اولیه بر وزن خشک ریشه و اندام‌های هوایی ۶۱

جدول٤-۱٤- غلظت سرب در ریشه و اندام‌های هوایی گونه‌های گیاهی مختلف ۶۳

جدول٤-۱۵- غلظت سرب در ریشه و اندام‌های هوایی گیاه در سطوح مختلف آلودگی اولیه ۶۵

جدول٤-١٦- غلظت سرب در ریشه و اندام‌های هوایی گیاه با کاربرد اصلاح‌کننده‌های خاک ۶۶
جدول٤-١٧- اثرات متقابل گونه‌های گیاهی در اصلاح‌کننده‌های خاک بر میانگین غلظت سرب در ریشه و انـدام-های هوایی ۶۹
جدول٤-١٨- غلظت کادمیوم در ریشه و اندام‌های هوایی گونه‌های گیاهی مختلف ۷۰
جدول٤-١٩- غلظت کادمیوم در ریشه و اندام‌های هوایی گیاه در سطوح مختلف آلودگی اولیه ۷۲
جدول٤-٢٠- غلظت کادمیوم در ریشه و اندام‌های هوایی گیاه با کاربرد اصلاح‌کننده‌های خاک ۷۴
جدول٤-٢١- اثرات متقابل گونه‌های گیاهی در سطح آلودگی اولیه بر میانگین غلظـت کـادمیوم در ریشـه و انـدام-های هوایی ۷۵

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱) راههای انتقال آلودگی¬های خاک به زنجیره غذایی انسان ۴
شکل ۱-۲) منابع مختلف ورود فلزات سنگین به آب وخاک ۹
شکل ۲-۲) استخراج گیاهی فلزات سنگین ۱۶
شکل ۲-۳- ساختار مولکولی EDTAبا فلز ۲۶
شکل ۳-۱) مثلث بافت خاک ۳۰
شکل ۳-۲) گیاه ذرت پس از ٤۰ روز رشد ۳۳
شکل ۳-۳) گیاه آفتابگردان ٤۰ روز پس از رشد ۳۳
شکل ۳-۴) گیاه ذرت پس از ۷۰ روز رشد ۳۴
شکل ۳-۵) گیاه آفتابگردان ۷۰ روز پس از رشد ۳۴
شکل ۳-٦) ریشه گیاه ذرت پس از شستشو ۳۵
شکل ۳-۷) ریشه گیاه آفتابگردان پس از شستشو ۳۵
شکل ۳-۸) نمای کلی از دستگاه جذب اتمی ۳۷
شکل ۴-۱)میانگین وزن خشک ریشه و اندام‌های هوایی گونه‌های گیاهی مختلف ۵۷
شکل ٤-۲) میانگین وزن خشک ریشه و اندام‌های هوایی گیاه در سطوح مختلف آلودگی اولیه ۵۹
شکل ٤-۳) میانگین وزن خشک ریشه و اندام‌های هوایی گیاه با کاربرد اصلاح‌کننده‌های خاک ۶۱
شکل ٤-٤) مقایسه اثرات متقابل گونه‌های گیاهی در سطح آلودگی اولیه بر وزن خشک ریشه و اندام‌های هوایی ۶۲
شکل ٤-۵) میانگین غلظت سرب در ریشه و اندام‌های هوایی گونه‌های گیاهی مختلف ۶۴
شکل ٤-٦) میانگین غلظت سرب در ریشه و اندام‌های هوایی گیاه در سطوح مختلف آلودگی اولیه ۶۵
شکل ٤-۷) میانگین غلظت سرب در ریشه و اندام‌های هوایی گیاه با کاربرد اصلاح‌کننده‌های خاک ۶۷
شکل ٤-۸) مقایسه اثرات متقابل گونه‌های گیاهی در اصلاح‌کننده‌های خاک بر میانگین غلظت سرب در ریشه و اندام‌های هوایی ۶۹
شکل ٤-۹) میانگین غلظت کادمیوم در ریشه و اندام‌های هوایی گونه‌های گیاهی مختلف ۷۱
شکل ٤-۱۰) میانگین غلظت کادمیوم در ریشه و اندام‌های هوایی گیاه در سطوح مختلف آلودگی اولیه ۷۲
شکل ٤-۱۱) میانگین غلظت کادمیوم در ریشه و اندام‌های هوایی گیاه با کاربرد اصلاح‌کننده‌های خاک ۷۴
شکل ٤-۱۲) مقایسه اثرات متقابل گونه‌های گیاهی در سطح آلودگی اولیه بر میانگین غلظت کادمیوم در ریشه و اندام‌های هوایی ۷۶

`چکیده

امروزه آلودگی محیط زیست از مسائل مهمی است که جوامع بشری با آن روبه رو هستند. افزایش جمعیت، توسعه شهرها، گسترش صنایع و دخالت بی رویه بشر در طبیعت، آلودگی منابع آب،خاک و هوا را به دنبال داشته است. مهمترین آلاینده‌های خاک شامل فلزات سنگین و مواد آلی هستند. سرب و کادمیوم مهمترین فلزات سنگین آلاینده هستند. در سال‌های اخیر گیاه پالایی به صورت یک استراتژی مفید و مقرون به صرفه برای کاهش آلودگی خاک به فلزات سنگین پیشنهاد شده است. تاکنون بیش از ۴۰۰ گونه گیاهی در جهان به عنوان گیاهان بیش تجمع دهنده‌های فلزات سنگین شناخته شده‌اند. ولی متأسفانه این گیاهان زیست توده کمی تولید کرده و رشد کندی دارند و برای کاربرد تجاری مناسب نیستند. گیاهان دیگری شناسایی شده اند که زیست توده زیاد و رشد سریع دارند، ولی دو محدویت اصلی دارند: یکی دسترسی زیستی کم آنها به فلزات سنگین در خاک و دیگری انتقال محدود فلزات سنگین از ریشه‌ها به اندام‌های هوائی. استفاده از اصلاح کننده‌های خاک می تواند مقدار فلز قابل جذب خاک و همچنین انتقال فلزات از ریشه ها به اندام‌های هوائی این گیاهان را افزایش دهد. هدف این مطالعه بررسی فاکتورهای مؤثر در بالا بردن کارائی روش گیاه پالایی خاک‌های آلوده به سرب وکادمیوم است که بدین منظور میزان تجمع این فلزات سنگین در ریشه‌ها و اندام‌های هوایی گیاهان دارای رشد سریع و زیست توده زیاد و اثر اصلاح کننده های خاک در سطوح مختلف آلودگی بررسی می شوند. آزمایش های این تحقیق در قالب فاکتوریل و با سه تکرار انجام شدند. فلزات سرب در سه سطح به مقدار ۴۰۰ و ۷۰۰ و ۱۰۰۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک خشک و کادمیوم در سه سطح به مقادیر ۵ و ۱۰ و ۲۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک خشک به خاک اضافه شدند. دو گیاه ذرت و آفتابگردان برای کشت انتخاب شدند. پرورش گیاهان به مدت ده هفته در گلخانه‌های تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان صورت گرفت. اصلاح کننده های اسید سیتریک و EDTA (اتیلن دی آمین ترا استیک) هر کدام در سه سطح ۲/۵ و ۵ و ۱۰ میلی مول در کیلوگرم خاک خشک یک هفته قبل از برداشت گیاهان به سطح خاک اضافه شدند. تجزیه و تحلیل داده‌های به دست آمده با استفاده از نرم افزارهای آماری SAS وSPSS انجام گرفت. بر اساس تحلیل آماری آنالیز واریانس داده‌های جمع‌آوری شده، مشخص شد که در اثر متغیرهای گیاه، سطح آلودگی اولیه و اصلاح‌کننده‌های خاک، بین میانگین وزن خشک ریشه و نیز غلظت سرب و کادمیوم انباشته شده در ریشه و اندام‌های هوایی گیاه در سطح ۵معنی‌داری درصد اختلاف معنی‌دار وجود دارد ولی بیشترین تاثیر مربوط به نوع گیاه است. نتایج تحقیق حاکی از این بود که میانگین وزن خشک ریشه و اندام‌های هوایی با افزایش سطح آلودگی اولیه کاهش می‌یابد وبکارگیری EDTA و اسید سیتریک موجب کاهش وزن خشک ریشه و اندام‌های هوایی می‌شود. بر اساس نتایج این تحقیق نشان داده شد که در گیاه آفتابگردان غلظت‌های بالاتری از سرب وکادمیوم نسبت به گیاه ذرت انباشته می‌شود. میانگین غلظت سرب و کادمیوم در ریشه و اندام‌های هوایی با افزایش سطح آلودگی اولیه افزایش می‌یابد. بکارگیری EDTA در افزایش غلظت سرب و کادمیوم در ریشه و اندام‌های هوایی بسیار مؤثر است ولی تاثیر اضافه کردن EDTA به خاک در افزایش غلظت کادمیوم در ریشه و اندام‌های هوایی کمتر از فلز سرب است. کاربرد اسید سیتریک اثر زیادی بر بالا بردن غلظت سرب و کادمیوم در ریشه و اندام‌های هوایی ندارد و فقط مقادیر زیاد اسید سیتریک می‌تواند کمی غلظت سرب را در ریشه و اندام‌های هوایی را بالا ببرد. در مورد اثرات متقابل متغیرها هم نیز می‌توان گفت معنی‌داری اثر متقابل متغیرها، عمدتا مربوط به اختلاف در شدت اثرات متغیرهای مورد نظر (نه در اثرات متقاطع آنها) بوده است.

فصل اول
مقدمه

۱-۱ مقدمه

امروزه آلودگی محیط زیست از مسائل مهمی است که جوامع مختلف با آن روبه رو هستند و باعث شده تا حفاظت از محیط زیست به موضوع اصلی در سیاستگذاریها تبدیل شود[۱]. انسان در اثر فعالیت‌های روزمره خود, مقادیر قابل توجهی از آلاینده‌های مختلف را به منابع آب, خاک و هوا وارد می‌کند. ورود این مواد آلاینده - اعم از گازی، مایع، یا جامد- به داخل اکوسیستم‌های آبی و خشکی ممکن است برای محیط‌زیست غیر زنده و نیز کلیه اجتماعات زیستی بسیار مخاطره‌آمیز باشد[۲]. افزایش جمعیت, توسعه شهرها, گسترش صنایع و دخالت بی‌رویه بشر در طبیعت منجر به تخریب محیط‌زیست گردیده, به طوری که طی سال‌های گذشته تغییرات قابل ملاحظه‌ای در آن بوجود آمده است. به همین دلیل در زمینه روش‌های حفاظت از محیط‌زیست، نگرانی جدی وجود دارد و باید به نحو مطلوبی اقدامات کنترل آلودگی انجام شود. مهندسین محیط‌زیست تعهد دارند که انسان‌ها را در برابر تهدیدهای محیط‌زیست آلوده،که ممکن است برای سلامت بشر، زیبایی طبیعت، فرهنگ انسانی و موقعیت اقتصادی مخاطره‌آمیز باشد، حفظ نمایند[۳].

۱-۲ آلودگی خاک

سطح کل خاک کره زمین در حدود ۱۴۴۷۷ میلیون هکتار تخمین زده می‌شود که بیش از ۳۰۰۰ میلیون هکتار آن در معرض آلودگی با مواد شیمیایی قرار گرفته است. خاک‌های کره زمین بر حسب خصوصیات زمین‌شناسی، آب‌شناسی، آب و هوا، حاصلخیزی و سایر خواص فیزیکی، بیولوژیکی و شیمیایی به مقدار زیادی با هم تفاوت دارند. این مشخصات در تعیین سرنوشت آلاینده بسیار مؤثر است.آلودگی عبارت است

از هر گونه تغییر در ویژگی‌های اجزای متشکله محیط، به طوری که استفاده پیشین از آنها ناممکن گردد و به طور مستقیم یا غیر مستقیم منافع و حیات موجودات را به مخاطره اندازد[۴].

خاک به همراه آب و هوا اجزاء عمده محیط‌زیست تلقی می شوند. خاک به عنوان یکی از منابع دیر تجدید شونده نقش مهمی در چرخه عناصر آلی و معدنی ایفا می‌کند و به عنوان یک زیست بوم پایا، حیات موجودات ریز و درشت را میسر می‌سازد. مهمترین آلاینده‌های خاک شامل فلزات سنگین و مواد آلی هستند. ورود هر آلاینده به خاک باعث کاهش کیفیت و در نتیجه کاهش کارکرد مطلوب خاک می شود. لذا مدیریت منابع خاک از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

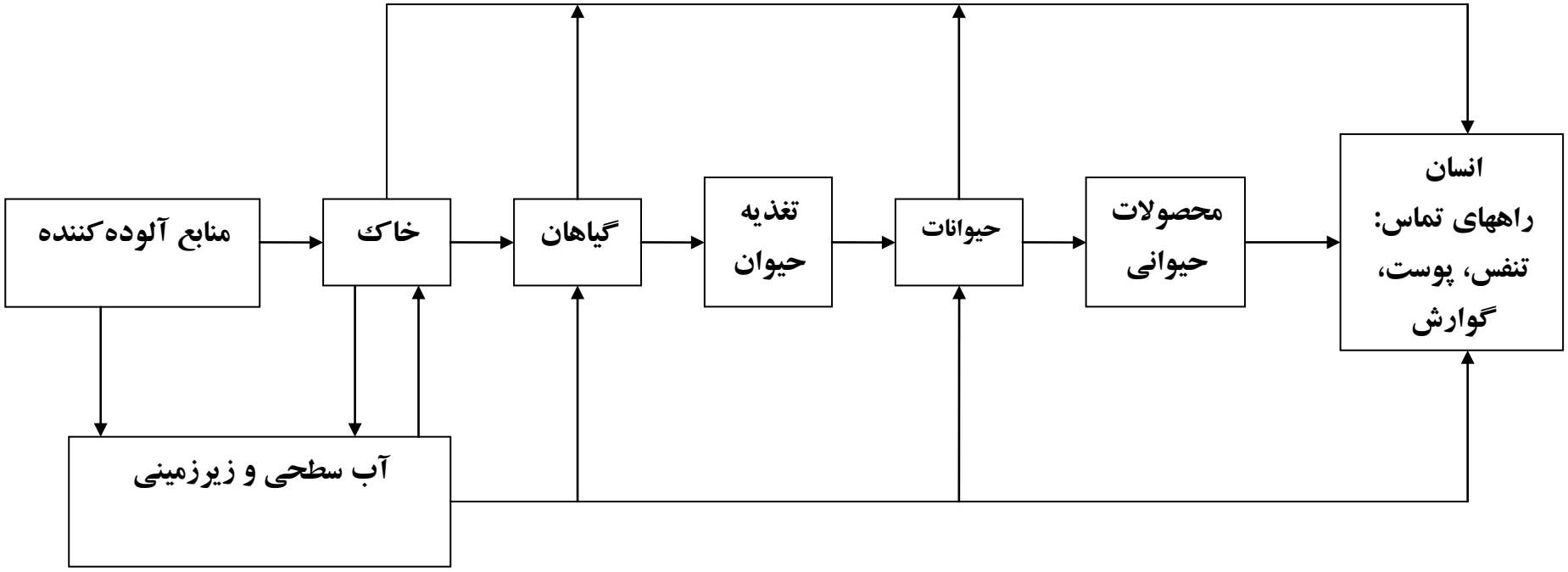
در میان آلاینده‌های شیمیایی، فلزات سنگین موجود در خاک ممکن است منشأ متفاوتی داشته باشند. عناصر لیتوژنیک[1] عناصری هستند که مستقیماً از سنگ کره(مواد مادری) به خاک رسیده‌اند و عناصر پدوژنیک[2] عناصری هستند که منشأ لیتوژنیک دارند ولی تجمع و توزیع آن در خاک به دلیل فرایندهای خاکسازی اتفاق افتاده است. عناصر آنتروپوژنیک[3] نیز عناصری هستند که به طور مستقیم یا غیر مستقیم به دلیل فعالیت بشر به خاک وارد شده‌اند. قابلیت جذب فلزات سنگین بسته به منشأ آنها متفاوت است. در یافته‌های اخیر گزارش شده است عناصری که منشأ آنها آنتروپوژنیکی دارند، قابلیت جذب گیاهی آنها به شدت بیشتر از فرم‌های پدوژنیکی است[۵].

در بین فلزات سنگین، سرب و کادمیوم به دلیل نیمه عمر طولانی در بدن انسان و دیگر حیوانات، از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. آلودگی سرب در خاک‌ها می‌تواند موجب بسیاری از مسائل زیست محیطی همچون از بین رفتن پوشش گیاهی، آلودگی آب‌های زیرزمینی و سمیت در گیاهان، حیوانات و انسان بشود[۶ و۷]. در شکل (۱-۱) راه‌های انتقال آلودگی خاک به زنجیره غذایی انسان به صورت شماتیک نمایش داده شده است[۸].

۱-۳ روش‌های پاکسازی خاک

پالایش خاک‌های آلوده به فلزات کار دشواری است. بر خلاف آلاینده‌های آلی, فلزات نمی‌توانند از طریق شیمیایی یا فرایندهای زیستی طبیعی تجزیه شوند و معمولاً, پاکسازی خاک‌های آلوده به آنها نیاز به جداسازی فلزات از این محیط‌ها دارد[۹]. تکنولوژی‌های فعلی مورد استفاده مانند حفاری خاک و یا شستشوی خاک بر پایه جداسازی فیزیکی و شیمیایی آلاینده‌ها استوار است. استفاده از این روش‌های

[1] Lithogenic
[2] Pathogenic
[3] Anthropogenic



شکل ۱-۱) راههای انتقال آلودگی‌های خاک به زنجیره غذایی انسان[۸]

مهندسی متداول بسیار پر هزینه است[۱۰و۱۱]. در حال حاضر بـه تکنولـوژی‌هـای پاکسـازی ارزان قیمـت نیـاز است. در سال‌های اخیر گیاه پالایی[4] به صورت یک استراتژی مفید و مقرون به صـرفه بـرای کـاهش آلـودگی خاک به فلزات سنگین پیشنهاد شده است[۱۲].گیاه پالایی بـه اسـتفاده از گیاهـان سـبز بـرای پاکسـازی محـیط زیست از آلاینده‌ها گفتـه مـی شـود[۱۳]. مهمتـرین مزیـت گیـاه پـالایی داشـتن هزینـه کمتـر نسـبت بـه دیگـر روش‌های پاکسازی متداول است. مهمترین محدودیت گیاه پالایی نیاز به دوره زمانی طـولانی (معمولاچنـدین سال) و محدودیت عمق ریشه‌های گیاه می باشد[۱۴]. در جـدول (۱-۱) مقایسـه بـین زمـان و هزینـه مـورد نیـاز برای پاکسازی خاک‌های آلوده به فلزات سنگین با استفاده از روش گیـاه پـالایی و دیگـر روش‌هـای متـداول آمده است[۱۵].

جدول۱-۱- زمان و هزینه مورد نیاز برای پاکسازی خاک آلوده به فلزات سنگین با استفاده از تکنولوژیهای متداول

نوع تصفیه	هزینه($/m^3)	زمان مورد نیاز(ماه)
تثبیت	۹۰-۲۰۰	۶-۹
لندفیل	۱۰۰-۴۰۰	۶-۹
حفاری	۲۵۰-۵۰۰	۸-۱۲
گیاه‌پالایی	۱۵-۴۰	۱۸-۶۰

مکانیسم‌های مهم گیاه پالایی فلزات سنگین عبارتند از:

- استخراج گیاهی[5]
- فیلتراسیون ریشه ای[6]
- تثبیت گیاهی[7]
- فراریت گیاهی[8]

در مورد هر کدام از مکانیسم‌های نامبرده شده در فصل دوم توضیحات بیشتری داده خواهد شد.

[4] Phytoremediation
[5] Phytoextraction
[6] Rhizofiltration
[7] Stabilization
[8] Phytovolatilization

۱-۴ اهداف تحقیق

در این تحقیق پاکسازی خاک‌های آلوده به فلزات سنگین سر ب و کادمیوم بررسی می‌شود. همانطور که اشاره شد، گیاه پالایی یکی از روش‌های نوین پاکسازی خاک‌های آلوده به فلزات سنگین می‌باشد. از مهمترین مکانیسم‌های گیاه پالایی فلزات سنگین، روش استخراج گیاهی است.

استخراج گیاهی به جذب آلاینده توسط ریشه‌های گیاه و انتقال به اندام‌های هوایی گیاه اطلاق می‌شود. پارامترهای مؤثر در کارآیی روش استخراج گیاهی شامل غلظت اولیه آلودگی خاک، نوع گیاه، غلظت آلاینده انباشته شده در ریشه و اندام هوایی گیاه و مقدار زیست توده گیاه است. اخیرا برای بالا بردن کارآیی این روش، از اصلاح‌کننده‌های خاک استفاده می‌شود. اصلاح کننده‌های خاک میزان جذب فلز توسط ریشه‌های گیاه و همچنین انتقال فلزات را از ریشه‌ها به اندام‌های گیاه افزایش می‌دهند. لذا در این تحقیق، بهینه‌کردن پارامترهای مؤثر بر بالا بردن کارآیی فرایند استخراج گیاهی بررسی می‌شود و اهداف مورد انتظار این تحقیق به صورت زیر معرفی می‌شود:

- ارزیابی توانایی گیاهان ذرت و آفتابگردان برای رشد در خاک آلوده شده به فلزات سرب و کادمیوم و میزان جذب فلزات سرب و کادمیوم در ریشه و اندام هوایی این گیاهان
- ارزیابی اثر سطوح مختلف آلودگی اولیه‌ی خاک بر میزان جذب فلزات سرب و کادمیوم در ریشه و اندام هوایی گیاه
- ارزیابی کاربرد اصلاح‌کننده‌های طبیعی (اسید سیتریک) و مصنوعی کلات EDTA (اتیلن دی آمین ترا استیک اسید) بر افزایش میزان جذب سرب و کادمیوم در ریشه و اندام هوایی گیاه
- ارزیابی اثر سطوح مختلف آلودگی اولیه خاک و کاربرد اصلاح‌کننده‌های خاک بر میزان زیست توده ریشه و اندام هوایی گیاه
- بهینه کردن متغیرهای گونه‌های گیاه، سطح آلودگی اولیه خاک، و اصلاح‌کننده‌های خاک برای دستیابی به حداکثر میزان جذب فلزات سنگین از خاک‌های آلوده

انتظار می‌رود با نتایج بدست آمده از این تحقیق، بتوان از روش گیاه پالایی در پاکسازی سایت‌های آلوده به فلزات سنگین استفاده نمود.

۱-۵ سازماندهی پایان نامه

بر اساس تحقیقات انجام شده، پایان نامه در قالب ساختار زیر ارائه می‌گردد.

فصل اول با نام مقدمه به بیان کلیاتی در مورد تحقیق می‌پردازد و اهداف و دورنمایی از نتایج مورد انتظار از اجرای تحقیق را ارائه می‌دهد. در فصل دوم نتایج مطالعات انجام شده توسط دیگر محققین در زمینه پاکسازی خاک‌های آلوده با استفاده از روش گیاه پالایی ارائه می‌گردد. مکانیسم‌های مختلف گیاه پالایی فلزات سنگین و همچنین پارامترهای مؤثر بر بالا بردن راندمان روش گیاه پالایی در این فصل معرفی می‌گردد. فصل سوم به معرفی خاک آزمایش شده در این تحقیق، کشت گونه‌های گیاهی در خاک آلوده و روش انجام آزمایشات خاک و گیاه ارائه می‌شود. اصول روش آماری انجام تحقیق و نحوه انجام آزمایشات نیز در این فصل ارائه می‌شود. در فصل چهارم توصیف آماری داده‌های مختلف بدست آمده در مورد میزان سرب وکادمیوم وهمچنین میزان وزن خشک ریشه و اندام‌های هوایی گونه‌های گیاهی ارائه می‌شود. نتایج آنالیز واریانس داده‌ها و تجزیه آماری داده‌ها برای بررسی متغیرها در این فصل بحث می‌شود. در پایان در فصل پنجم نتیجه گیری کلی از تحقیق انجام شده و پیشنهادات مربوط به ادامه تحقیق در این زمینه ارائه می‌شود.

فصل دوم
پیشینه علمی موضوع

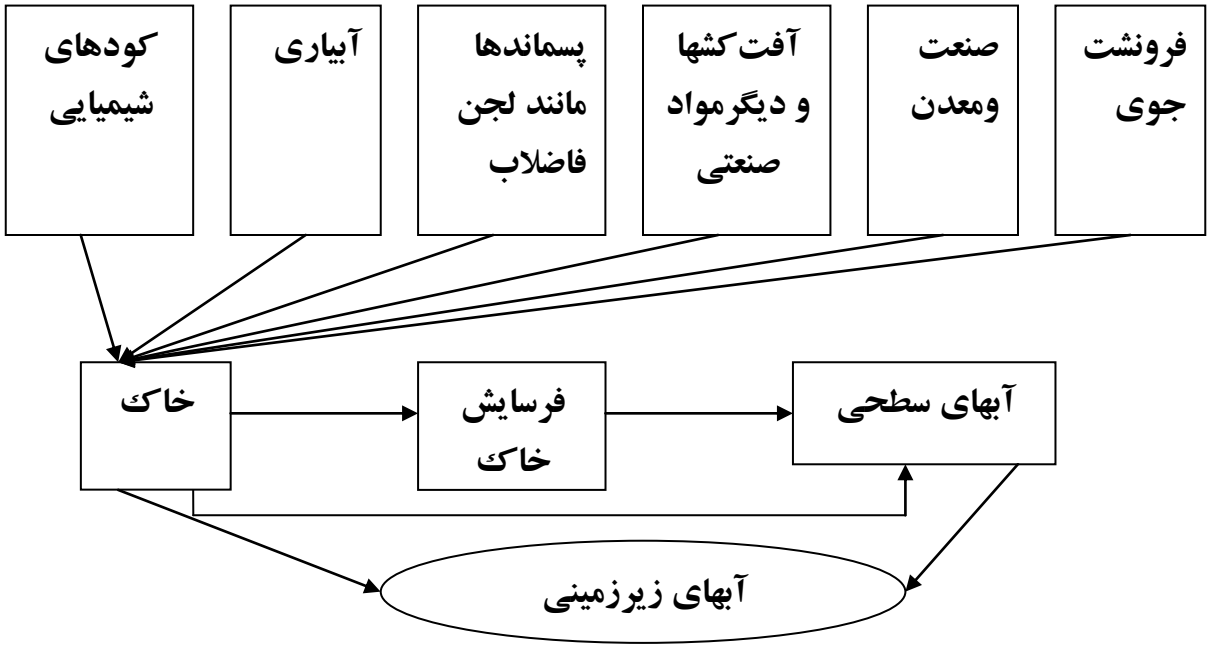
۲-۱ فلزات سنگین در خاک

فلزات سنگین به عناصری اطلاق می‌شود که جرم اتمی بین ۶/۵۴۶ و ۲۰۰/۵۹ و وزن مخصوص بیشتر از ۵۰ گرم بر سانتیمتر مکعب دارند. عناصری از قبیل سرب، کادمیوم، کروم، کبالت، جیوه، روی، مس، نیکل، آرسنیک، بریلیم جزء فلزات سنگین به شمار می روند[۱۲]. مقادیر جزئی بعضی از فلزات سنگین برای موجودات زنده ضروری هستند، اما مقادیر بیش از حد آنها می‌تواند برای موجودات خطرناک باشد. فلزات سنگین غیر ضروری شامل آرسنیک، کادمیوم، کروم، جیوه و سرب هستند و این فلزات مشکل عمده آلودگی خاک و آب هستند.

فلزات سنگین موجود در خاک از طریق هوازدگی مواد مادری و منابع آلوده کننده خارجی وارد محیط خاک می‌شوند. منابع اصلی آلوده کننده خارجی خاک به فلزات سنگین به دو دسته صنعتی و کشاورزی تقسیم می‌شوند. شکل (۲-۱) منابع مختلف ورود فلزات سنگین به آب و خاک را به صورت شماتیک نشان می‌دهد. در طول پنج دهه اخیر، رهایی فلزات سنگین به محیط در سرتاسر جهان به ۲۲۰۰۰ تن کادمیوم، ۹۳۹۰۰۰ تن مس، ۷۸۶۳۰۰۰ تن سرب و ۱۳۵۰۰۰۰ تن روی رسیده است. فلزات سنگین سمی موجب صدمه زدن به DNA و اثرات سرطان‌زایی درحیوانات و انسانها می‌شود[۱۷]. سرب وکادمیوم مهمترین فلزات سنگین تهدید کننده زنجیره غذایی انسان هستند[۹۰].

با توجه به منابع خارجی ورود فلزات سنگین به خاک و سمی و خطرناک بودن آنها برای محیط، جهت پیش‌گیری از ورود مقادیر بالای فلزات سنگین به خاک‌های کشاورزی، در برخی از کشورها حداکثر غلظت قابل قبول از فلزات سنگین در خاک کشاورزی با توجه به اثرات سمی آنها بر گیاهان تعیین شده‌اند. مقادیر این غلظت‌ها برای فلزات سرب و کادمیوم در جدول (۲-۱) آمده است. علاوه بر این مقادیر، استانداردهایی

نیز ارائه شده است که تعیین‌کننده حداکثر مجاز ورود سالانه فلزات سنگین به خاک، از راههای مختلف می‌باشد. جدول (۲-۲) حد مجاز ورود سالانه فلزات سنگین به خاک‌های زراعی را نشان می‌دهد. در جدول (۲-۳) دامنه غلظت‌های زمینه و نرمال برای سرب و کادمیوم کل در خاک آمده است؛ البته تعیین غلظت زمینه یا طبیعی فلزات در خاک مشکل است ولی می‌توان غلظت فلزات در خاک‌هایی که از مناطق صنعتی و شهری دور هستند را به عنوان غلظت زمینه به کار برد[۸].



شکل ۱-۲- منابع مختلف ورود فلزات سنگین به آب وخاک[۸]

جدول۲-۱- استانداردهای کشورهای مختلف در مورد حداکثر غلظت قابل قبول(MAC) فلزات سنگین در خاک با توجه به سمیت آنها برای گیاه ،(mg/kg) [۸]

فلز	استرالیا	کانادا	لهستان	ژاپن	انگلستان	آلمان
Pb	۱۰۰	۲۰۰	۱۰۰	۴۰۰	۱۰۰	۵۰۰
Cd	۵	۸	۳	-	۱	۲

جدول۲-۲-حد مجاز ورود سالانه فلزات سنگین به خاک‌های کشاورزی، (kg/ha/year) [۸]

فلز	لهستان	اروپا	انگلستان
Pb	۱۰	۱۵	۱۵
Cd	۰/۲۰	۰/۱۵	۰/۱۵

جدول ۲-۳- دامنه غلظت‌های زمینه و نرمال برای سرب کل و کادمیوم کل در خاک، (mg/kg) [۸]

فلز	غلظت زمینه	غلظت نرمال
Pb	۱۲-۲۰	۲-۳۰۰
Cd	۰/۰۱-۰/۲	۰/۰۱-۲/۴

۲-۲ خواص فلزات سنگین

۲-۲-۱خواص سرب

سرب عنصری خاکستری رنگ و نرم است و علیرغم کمیابی نسبی آن در پوسته زمین به دلیل تنوع گسترده ای که از لحاظ استفاده و کاربرد برای فلز سرب وجود دارد، یکی از شناخته‌ترین عناصر است. خواص سرب که باعث سودمندی آن می گردد، عبارتند از:

۱- دارای نقطه ذوب پایینی است که اجازه استفاده ساده، و به کارگیری روش‌های ارزان قیمت را زمانی که به عنوان مایع مورد استفاده قرار می گیرد، می‌دهد.

۲- فلزی نرم و چکش خوار است که به راحتی به اشکال گوناگون تبدیل می‌شود.

۳- فعالیت شیمیایی آن باعث می شود زمانی که در معرض هوای نمناک قرار می گیرد، یک پوشش محافظ روی آن تشکیل گردد.

۴- با بسیاری از فلزات دیگر تشکیل آلیاژ می‌دهد؛ آلیاژهای نتیجه شده، دارای خواص متفاوتی از سرب خالص هستند.

۵- دانسیته سرب بیشتر از فلزات دیگر به جز طلا و جیوه می باشد[۴].

۲-۲-۲ مصارف صنعتی سرب

باطری‌های سربی مورد استفاده در خودروها، حاوی مقادیر زیاد سرب است. در این کاربرد هر دو شکل سرب فلزی و ترکیباتش استفاده می شوند. الکترودهای یک باتری شامل یک ساختمان غیر فعال محافظ به نام شبکه‌اند که این ساختمان از یک آلیاژ سرب شامل ۹۳ درصد سرب و ۷ درصد آنتیموان تشکیل یافته، که