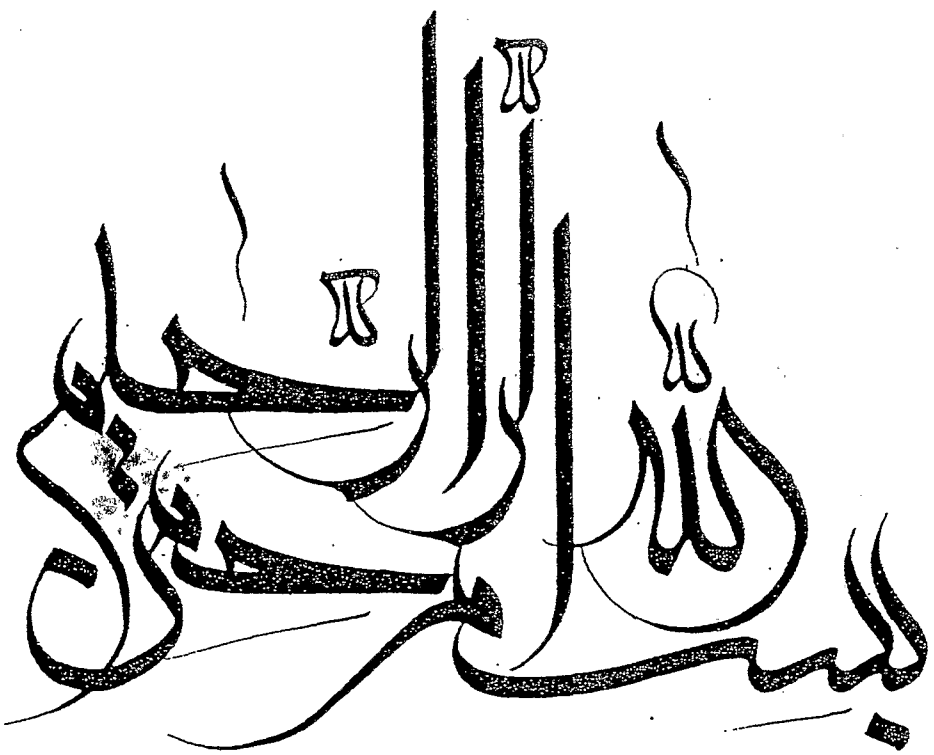

١٠١٨٤١

دانشگاه اصفهان

دانشکده علوم

گروه زیست شناسی

پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی زیست شناسی-علوم گیاهی

گرایش فیزیولوژی گیاهی

بررسی میزان جذب فلزات سنگین توسط گیاهان ناحیه معدنی مس سرچشمه کرمان

۱۳۸۷ /۵/ ۲۸

استاد راهنما:

دکتر سید مجید قادریان

۱۳۸۷ /۵/ ۲۸

استادان مشاور:

دکتر محمد رضا رحیمی نژاد

مهندس سید منصور میرتاج‌الدینی

پژوهشگر:

علی اکبر قطبی راوندی

شهریور ماه ۱۳۸۶

۱۰۱۸۴۱

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتـایج مطالعـات،
ابتکـارات و نـوآوری هـای ناشـی از تحقیـق
موضوع این پایان نامـه متعلـق بـه دانـشگاه
اصفهان است.

شیوه نگارش پایان نامه
رعایت شده است.
تحصیلات تکمیلی دانشگاه اصفهان

دانشگاه اصفهان

دانشکده علوم

گروه زیست شناسی

پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ٔ زیست شناسی گرایش فیزیولوژی گیاهی آقای علی اکبر قطبی راوندی تحت عنوان:

بررسی میزان جذب فلزات سنگین توسط گیاهان ناحیه معدنی مس سرچشمه کرمان

در تاریخ ۱۳۸۵/۶/۲۷ توسط هیأت داوران زیر بررسی و با درجه .....عالی..... به تصویب نهایی رسید.

۱- استاد راهنمای پایان نامه دکتر سید مجید قادریان با مرتبه ی علمی استادیار امضاء

۲ – استادان مشاور پایان نامه دکتر محمد رضا رحیمی نژاد با مرتبه علمی استاد امضاء

مهندس سید منصور میرتاج‌الدینی با مرتبه علمی مربی امضاء

۳- استاد داور داخل گروه دکتر علی‌اکبر احسانپور با مرتبه ی علمی دانشیار امضاء

۴- استاد داور خارج از گروه دکتر علی‌اکبر رامین با مرتبه ی علمی دانشیار امضاء

امضای مدیر گروه

سپاسگذاری

منت خدای را عزوجل که طاعتش موجب قربتست و به شکر اندرش مزید نعمت. حمد و سپاس ایزد منان را که با الطاف بیکران خود همه و همه را از مهر و لطف آفرید و نور ایمان و دانش را در دل بندگان خود روشنی بخشید. به نام و ستایش آنکه همیشه بوده و همیشه هست و همیشه خواهد بود، خدای بزرگ دانا و بخشاینده پاک که دادگری نیک و تواناست، آفریدگار بزرگی که آدمی را با دهش نیروی هوش و دانش بر دیگر آفریدگان شهریاری بخشید.

در طول دوران تحصیل از الطاف و راهنمایی ها و محبتهای بی دریغ اساتید بزرگواری بهره مند بودم و شاگردی این عزیزان برای من مایه افتخار است. از استاد راهنمای گرامیم جناب آقای دکتر سید مجید قادریان که با صبر و بزرگواری تمام بنده را راهنمایی و تحمل نموده اند، کمال تشکر و قدردانی را دارم. همچنین از آقایان دکتر محمد رضا رحیمی نژاد و مهندس سید منصور میر تاج الدینی ، اساتید مشاور پایان نامه صمیمانه تشکر می نمایم.

از اساتید ارجمند آقایان دکتر شریعتی، دکتر احسان پور، دکتر مستاجران، دکتر المدرس، دکتر افشار زاده، و دکتر صاحبی که در طی تحصیل در دوره کارشناسی ارشد از وجود پربرکت آنها در تعلیم و تربیت خود بهره مند شدم کمال امتنان و تشکر را دارم.

از جناب آقایان دکتر علی اکبر احسان پور علی اکبر رامین که به عنوان داوران داخل و خارج گروه زحمت مطالعه و ارزیابی این پایان نامه را تقبل فرمودند و از راهنمایی های ارزنده آنها بهره مند شدم نهایت تقدیر و تشکر را می نمایم.

همچنین از پرسنل تحقیق و توسعه مجتمع مس سرچشمه به ویژه خانم مهندس اسماعیل زاده و آقای مهندس شکرچیان جهت همکاری در زمینه پایان نامه صمیمانه تشکر و قدردانی می نمایم.

از کلیه دوستان دوران تحصیلم آقایان رحیمی، حسامی، شریعتی، چهارده چریک، رونقی، قاسمی، کریمی و جعفرنیا و خانمها امینی، رضوی زاده، علمی، بهرامی و موحدی که نهایت لطف و همکاری و صمیمت را با من داشتند کمال قدردانی و تشکر را می نمایم. از کلیه کارکنان گروه زیست شناسی نیز قدردانی و تشکر می نمایم. از کلیه عزیزانی که به نحوی در به ثمر رسیدن این پژوهش مرا یاری نموده و درحق من لطف و مساعدت نمودند بی نهایت تشکر و قدردانی نموده و برای همهٔ آنها آرزوی توفیق و سربلندی داشته و برای آنها دعای خیر می نمایم

تقدیم به:

مادر عزیزم
که یار و همراه و بهترین مشوق من در طی سالهای تحصیلم بود.

و پدر عزیزم
که در همه مراحل زندگی همواره حامی و پشتیبان من بود.

و خواهر و برادران عزیزم

چکیده

برخی خاکها به طور طبیعی یا در اثر فعالیت های انسان نظیر معدن کاوی به مقادیر بالایی از فلزات سنگین آلوده انـد. در چنین خاکهایی برخی از جمعیت های گیاهی مقاوم به فلزات سنگین می توانند رشد کنند که استراتژی غالب در اکثر آنها ممانعت در جذب فلز و محدودیت در انتقال آن می باشد. در حالی کـه برخـی از آنهـا براسـاس جـذب و تجمـع فلـز در بخشهای مختلف خود عمل می کنند. معدن مس سرچشمه در جنوب غربی استان کرمان طی فعالیـت خـود در سـالهای متمادی باعث آلودگی خاکهای سطحی با فلزات سنگین گردیده است. در این تحقیق به بررسی مقدار فلـزات سـنگین در خاک و گیاهان این منطقه و تعیین ارتباط بین مقدار این عناصر در خاک با مقدار آنها در گیـاه و بررسـی احتمـال وجـود گیاهان بیش تجمع دهنده پرداخته شده است.

در این پروژه گیاهان موجود در این منطقه همراه با خاک اطراف ریشه آنها جمع آوری گردید و پس از شناسایی گیاهـان، عناصر مس، آرسنیک ، کادمیوم ، کبالت ، کروم ، مولیبدن ، نیکل ، سلنیوم ، سرب و روی مدر برگهـای گیاهـان انـدازه گیری شد. همچنین آنالیز خاک به صورت کل و قابل تبادل برای عناصر فلزی انجام گرفت و توسط دستگاه جذب اتمی اندازه گیری گردید. نمونه های گیاه و خاک از ۴ منطقه معدنی سرچشمه، دره زار، سریدون و سد رسوبگیر و یک منطقـه کوهپایه کرمان (به عنوان شاهد) جمع آوری گردیده بود.

براساس نتایج حاصله مقدار مس در محدوده ۳۰ تا ۱۳۳۰ میکروگرم در گرم برای حالت کل و ۰/۲۸ تا ۱۱/۲۵ میکروگرم در گرم برای حالت قابل تبادل ثبت گردید . بیشترین مقدار عناصر آرسنیک ، کادمیوم ، کبالت ، کروم ، مولیبدن ، نیکل ، سلنیوم ، سرب و روی در حالت کل به ترتیب برابر بـا ۳۹۰ ، ۹ ، ۱۰۶ ، ۷۳ ، ۲۸ ، ۳۸ ، ۸۶ ، ۷۷ و ۱۵۰۰ میکروگـرم در گرم و برای حالت قابل تبادل برابر با ۲/۵ ، ۰/۳۲ ، ۰/۷۲ ، ۰/۲ ، ۰/۱۴ ، ۰/۲۸ ، ۰/۷ ، ۵ ، ۸/۶۵ میکـرو گـرم در گـرم اندازه گیری گردید.

۱۴۸ گونه گیاهی نیز از اطراف معادن جمع آوری و شناسایی گردید که متعلق به ۱۰۲ جنس و ۴۰ خـانواده بودنـد. مقـدار فلزات سنگین موجود در قسمتهای هوایی این گیاهان ، با روش تهیه خاکستر خشک و تجزیه اسیدی آن و آنـالیز توسـط دستگاه جذب اتمی انجام پذیرفت.

براین اساس در بین گیاهان این منطقه ۲۴ گونه مقادیر بالاتر از ۱۰۰ میکروگرم در گرم مس را در خود تجمع داده بودند. اکثر گیاهان با مقادیر بالای عناصر فلزی از دو منطقه معدن سرچشمه و دره زار جمع آوری گردیدند. لازم به ذکر اسـت که مقدار این عناصر در خاک این مناطق نیز بالاتر از سایر نواحی بود. مقدار مس در گیاهان از حداقل ۱ تا حداکثر ۴۰۱۲ میکروگرم در گرم بود که بیشترین مقدار در گیاه *Polypogan fugax* اندازه گیـری شـد. بیـشترین مقـادیر عناصـر آرسنیک ، کادمیوم ، کبالت ، کروم و مولیبدن ، نیکل ، سلنیوم ، سرب و روی در گیاهان به ترتیـب ۸۳ ، ۷ ، ۴ ، ۵ ، ۷۰ ، ۲۲، ۷۷ ، ۷۶ و ۱۰۷۴ میکروگرم درگرم ثبت گردید. همچنین ارتباط مثبت معنی داری بین میزان عنصر مس در گیاه بـا مقدار مس در خاک به صورت کل ($r=0.864 , p < 0.05$) و قابل تبادل ($r=0.840 , p < 0.05$) مشخص گردید.

مقدار فلزات سنگین در آب چشمه ها و کانال های زه کشی معادن نیز تعیین گردید و براساس نتایج آلـودگی آب بـا ایـن عناصر نسبت به مناطق غیر معدنی بسیار بیشتر است.

دوگونه *Polypogan fugax* و *Epilobium Hirstum*، با مقادیر مس به ترتیب برابر با ۴۰۱۲، ۱۵۸۰ میکروگرم در گرم به عنوان گیاهان بیش تجمع دهنده مس شناخته شدند که می توان از این گیاهان جهت زدودن آلودگی از خاک در آب استفاده نمود.

کلمات کلیدی : گیاهان بیش تجمع دهنده ، پاکسازی خاک توسط گیاه، مس ، معدن مس سرچشمه

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فصل اول: بررسی منابع ۱

۱-۱ فلزات سنگین ۱

۱-۱-۱ تعریف و طبقه‌بندی ۱

۱-۱-۲ فلزات سنگین در خاک ۲

۱-۱-۳ مس ۳

۱-۱-۳-۱ ویژگی های شیمیایی و خواص کلی مس ۳

۱-۱-۳-۲ عملکردهای بیولوژیک و سمیت مس ۳

۱-۱-۴ روی ۴

۱-۱-۴-۱ ویژگیهای شیمیایی و خواص کلی روی ۴

۱-۱-۴-۲ عملکرد های بیولوژیک و سمیت روی ۵

۱-۱-۵ سرب ۵

۱-۱-۵-۱ ویژگی های شیمیایی و خواص کلی سرب ۵

۱-۱-۵-۲ عملکرد بیولوژیک و سمیت سرب ۶

۱-۱-۶ کادمیوم ۷

۱-۱-۶-۱ خواص شیمیایی و ویژگی های کلی کادمیوم ۷

۱-۱-۶-۲ عملکردهای بیولوژیک و سمیت کادمیوم ۷

۱-۱-۷ کروم ۸

۱-۱-۷-۱ ویژگی های شیمیایی و خواص کلی کروم ۸

۱-۱-۷-۲ عملکردهای بیولوژیک و سمیت کروم ۸

۱-۱-۸ آرسنیک ۹

۱-۱-۸-۱ خواص شیمیایی و ویژگی های کلی آرسنیک ۹

۱-۱-۸-۲ عملکردهای بیولوژیک و سمیت آرسنیک ۱۰

۱-۱-۹ سلنیوم ۱۰

۱-۱-۹-۱ ویژگیهای شیمیایی و خواص کلی سلنیوم ۱۰

۱-۱-۹-۲ عملکردهای بیولوژیک و سمیت سلنیوم ۱۱

۱-۱-۱۰ نیکل ۱۱

۱-۱-۱۰-۱ خواص شیمیایی و ویژگیهای کلی نیکل ۱۱

عنوان | صفحه

۱-۱-۱۰-۲ عملکردهای بیولوژیک سمیت نیکل ۱۲
۱-۱-۱۱ مولیبدن ۱۲
۱-۱-۱۱-۱ خواص شیمیایی و ویژگی های کلی مولیبدن ۱۲
۱-۱-۱۱-۲ عملکرد های بیولوژیک و سمیت مولیبدن ۱۳
۱-۲ گیاهان و فلزات سنگین ۱۳
۱-۲-۱ سمیت فلزات سنگین در گیاهان ۱۳
۱-۲-۲ عوامل موثر بر جذب فلزات سنگین ۱۴
۱-۲-۴ جذب فلزات به ریشه و انتقال به قسمت‌های هوائی گیاه ۱۵
۱-۲-۵ مقاومت به فلزات سنگین ۱۷
۱-۲-۶ پاسخ‌های گیاهان به فلزات سنگین ۱۸
۱-۲-۷ مکانیسم‌های مقاومت به فلزات سنگین و سمیت‌زدائی ۱۹
۱-۲-۷-۱ ترشحات ریشه ۲۱
۱-۲-۷-۲ غشاء پلاسمائی ۲۲
۱-۲-۷-۳ فیتوکلاتین‌ها (PCs) ۲۳
۱-۲-۷-۴ متالوتیونئین‌ها (MTs) ۲۳
۱-۲-۷-۵ اسیدهای آلی ۲۳
۱-۲-۷-۶ آمینواسیدها ۲۴
۱-۲-۷-۷ حجره‌بندی واکوئل ۲۴
۱-۳ گیاهان بیش‌تجمع‌دهنده ۲۵
۱-۳-۱ مزیت تجمع فلزات سنگین در بافت‌های گیاهان ۲۶
۱-۳-۲ کاربرد گیاهان بیش‌تجمع‌دهنده ۲۷
۱-۳-۳ پاک‌سازی مناطق آلوده توسط گیاهان بیش‌تجمع‌دهنده ۳۰
۱-۴ اهداف تحقیق ۳۳

فصل دوم: مواد و روشها ۳۴
۲-۱ معرفی مناطق نمونه برداری ۳۴
۲-۱-۱ تاریخچه اکتشاف و بهره برداری در معدن مس سرچشمه کرمان ۳۴
۲-۱-۲ معدن مس سرچشمه ۳۵

عنوان | صفحه

۲-۱-۳ کانسار سریدون ۳۶
۲-۱-۴ سد رسوبگیر ۳۶
۲-۱-۵ کانسار دره زار ۳۶
۲-۲ اندازه گیری عناصر در آب های ناحیه معدنی مس سرچشمه کرمان ۳۹
۲-۲-۱ تعریف زهاب اسیدی معدن ۳۹
۲-۲-۲ تعیین نقاط نمونه برداری آب در معدن مس سرچشمه ۳۹
۲-۲-۴ روش تجزیه شیمایی نمونه ها ۳۹
۲-۳ اندازه‌گیری میزان فلزات سنگین در خاک ۴۰
۲-۳-۱ اندازه‌گیری مقدار سرب و روی در حالت کل خاک ۴۰
۲-۳-۲ اندازه‌گیری مقادیر قابل تبادل عناصر ۴۰
۲-۴ جمع آوری نمونه های گیاهی ۴۱
۲-۴-۱ اندازه‌گیری مقدار فلزات سنگین موجود در نمونه‌های گیاهی ۴۱

فصل سوم: نتایج ۴۲

۳-۱ مقدار فلزات سنگین در آب های منطقه مس سرچشمه ۴۲
۳- ۲ مقدار فلزات سنگین درخاک ۴۴
۳-۲- ۱ مقدار فلزات سنگین در خاک در حالت کل ۴۴
۳-۳-۲ مقدار فلزات سنگین درخاک در حالت قابل تبادل ۴۶
۳-۳ بررسی گیاهان منطقه و اندازه گیری مقدار فلزات سنگین در آنها ۴۸
۳-۳-۱ شناسایی گیاهان جمع آوری شده ۴۸
۳-۳-۲ مقدار فلزات سنگین در گیاهان ناحیه معدنی سرچشمه به تفکیک هر منطقه معدنی ۵۸
۳-۳-۲-۲-۱ مقدار فلزات سنگین در گیاهان منطقه معدن سرچشمه ۵۹
۳-۳-۲- ۲ مقدار فلزات سنگین درگیاهان منطقه دره زار ۶۹
۳-۳-۲-۳ مقدار فلزات سنگین درگیاهان معدن سریدون ۷۷
۳-۳-۲-۴ مقدار فلزات سنگین در گیاهان حاشیه سد رسوبگیر ۷۷
۳-۴ مقدار فلزات سنگین در گیاهان خارج از منطقه معدنی سرچشمه ۸۶
۳-۵ بررسی مقدار مس در گیاهان تجمع دهنده جمع آوری شده در منطقه معدنی سرچشمه کرمان ۸۶
۳- ۶ بررسی ارتباط بین مقدار مس در خاک با مقدار آن در گیاه ۸۹

عنوان	صفحه
فصل چهارم: بحث و نتیجه گیری	**۹۲**

۴- بحث ۹۲
پیشنهادات ۱۰۱
منابع و مآخذ ۱۰۲

فهرست شکل ها

عنوان صفحه

شکل ۱-۱: جذب و تجمع فلـزات در گیـاهان ۱۷

شکل ۱-۲: تقسیم‌بندی گیاهان به سه گروه تجمع دهندگان، نشانگرها و ممانعت کننده‌ها بر اساس میزان تجمع فلز در بخش‌های هوائی..... ۱۹

شکل ۱-۳- خلاصه‌ای از مکانیسم‌های سلولی موثر در سمیت‌زدائی و افزایش مقاومت در گیاهان عالی. ۲۰

شکل ۱-۴: شمائی از Phytoremediation..... ۲۹

شکل ۲-۱: شمایی از معدن مس سرچشمه..... ۳۷

شکل ۲-۲ شمایی از معدن دره زار..... ۳۷

شکل ۲-۳: شمایی از اطراف معدن سریدون..... ۳۸

شکل ۲-۴: شمایی از دریاچه سد رسوبگیر..... ۳۸

شکل ۳-۱: نمودار نحوه پراکنش گونه های جمع آوری شده در خانواده های گیاهی در منطقه سرچشمه..... ۵۸

شکل ۳-۲: نمودارگیاهان منطقه معدن سرچشمه با بالاترین مقادیر مس دربرگ..... ۶۷

شکل ۳-۳: نمودار گیاهان منطقه معدن سرچشمه با بالاترین مقادیر روی دربرگ..... ۶۷

شکل ۳-۴: نمودارگیاهان منطقه معدن سرچشمه با بالاترین مقادیر سرب دربرگ..... ۶۸

شکل ۳-۵: نمودارگیاهان منطقه معدن سرچشمه با بالاترین مقادیر سلنیوم دربرگ..... ۶۸

شکل ۳-۶: نمودارگیاهان منطقه معدن سرچشمه با بالاترین مقادیر آرسنیک دربرگ..... ۶۹

شکل ۳-۷: نمودارگیاهان منطقه دره زار با بالاترین مقادیر مس در برگ..... ۷۵

شکل ۳-۸: نمودارگیاهان منطقه دره زار با بالاترین مقادیر روی در برگ..... ۷۵

شکل ۳-۹: نمودارگیاهان منطقه دره زار با بالاترین مقادیر سرب در برگ..... ۷۶

شکل ۳-۱۰: نمودارگیاهان منطقه دره زار با بالاترین مقادیر سلنیوم در برگ..... ۷۶

شکل ۳-۱۱: نمودارگیاهان منطقه معدن سریدون با بالاترین مقادیر مس در برگ..... ۸۰

شکل ۳-۱۲: نمودارگیاهان منطقه معدن سریدون با بالاترین مقادیر روی در برگ..... ۸۰

شکل ۳-۱۳: نمودارگیاهان منطقه معدن سریدون با بالاترین مقادیر سرب در برگ..... ۸۱

شکل ۳-۱۴: نمودارگیاهان منطقه معدن سریدون با بالاترین مقادیر سلنیوم در برگ..... ۸۱

شکل ۳-۱۵: نمودارگیاهان منطقه سد رسوبگیر با بالاترین مقادیر مس در برگ..... ۸۴

شکل ۳-۱۶: نمودارگیاهان منطقه سد رسوبگیر با بالاترین مقادیر روی در برگ..... ۸۴

عنوان صفحه

شکل ۳-۱۷: نمودارگیاهان منطقه سد رسوبگیر با بالاترین مقادیر سرب در برگ.....۸۵
شکل ۳-۱۸: نمودارگیاهان منطقه سد رسوبگیر با بالاترین مقادیر مولیبدن در برگ.....۸۵
شکل ۳-۱۹: نمودار توزیع گونه های حاوی مقادیر زیاد مس در خانواده های گیاهی درمنطقه سرچشمه.....۸۹
شکل ۳-۲۰ :نمودار ارتباط بین مقدار مس در کل خاک با غلظت مس در گیاه.....۹۰
شکل ۳-۲۱: نمودار ارتباط بین مقدار مس در حالت قابل تبادل با غلظت مس در گیاه.....۹۰
شکل ۳-۲۲: تصویری ازگونه *Polypogon fugax* با مقدار مس برابر با۴۰۱۲ میکروگرم در گرم.....۹۱
شکل ۳-۲۳: تصویری ازگونه *Epilobium hirsutum* با مقدار مس برابر با۱۵۸۰ میکروگرم در گرم.....۹۱
شکل ۳-۲۴: تصویری ازگونه *Onosma stenosiphon*با مقدار مس برابر با۶۵۷ میکروگرم در گرم ۹۱
شکل ۳-۲۵: تصویری از گونه *Hyoscyamus senecionis* با مقدار مس برابر با ۳۳۱ میکروگرم در گرم ۹۱

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۳-۱ مقادیر فلزات سنگین در آب های مورد مطالعه ناحیه مس سرچشمه..... ۴۳

جدول ۳-۲ مقادیر فلزات سنگین در خاک درحالت کل..... ۴۵

جدول ۳-۳ مقادیر فلزات سنگین درخاک در حالت قابل تبادل ۴۷

جدول ۳-۴ گونه های شناسایی شده از منطقه معدنی سرچشمه کرمان..... ۴۹

جدول ۳-۵ مقدار فلزات سنگین در برگ گیاهان اطراف معدن سرچشمه..... ۶۰

جدول ۳-۶ مقدار فلزات سنگین در برگ گیاهان اطراف معدن دره زار ۷۰

جدول ۳-۷ مقدار فلزات سنگین در برگ گیاهان اطراف معدن سریدون ۷۸

جدول ۳-۸ مقدار فلزات سنگین در برگ گیاهان اطراف سد رسوبگیر..... ۸۲

جدول ۳-۹میزان فلزات سنگین درگیاهان خارج از معادن برحسب میکروگرم در گرم ۸۷

جدول ۳-۱۰ گیاهان شناسایی شده از مناطق معدنی سرچشمه با مقدار مس بالاتر از ۱۰۰ میکروگرم در گرم در وزن خشک..... ۸۸

فصل اول

مقدمه

۱-۱ فلزات سنگین

۱-۱-۱ تعریف و طبقه‌بندی

فلزات سنگین[1] به عناصر فلزی با وزن مخصوص بالاتر از ۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب گفته می‌شود. این فلزات در طبیعت به صورت کاتیون‌ها و آنیون‌های اکسید شده وجود دارند. عناصری نظیر نیکل، کروم، کبالت، جیوه، روی، کادمیوم، مس و منگنز به صورت کاتیون در خاک می‌باشند، در حالی که عناصری نظیر مولیبدن، سلنیوم، آرسنیک و بور به صورت ترکیب با اکسیژن در خاک بوده و دارای بار منفی می‌باشند (Shaw, 1989; Gadd, 1993). هم‌چنین فلزات سنگین به عنوان عناصری با خصوصیات فلزی (انعطاف پذیری،

---

[1] Heavy Metals

رسانائی، پایداری مانند کاتیون‌ها، لیگاند اختصاصی و غیره) و عدد اتمی بزرگ‌تر از ۲۰ تعریف می‌شوند (Kabata-Pendias and Pendias, 1992).

به طور کلی یون‌های فلزات سنگین را بر اساس اسیدیته‌ی لوئیس[1] و تمایل آن‌ها به لیگاندهای مختلف در دو گروه مجزا قرار می‌دهند. گروه اول شامل یون‌های فلزی نرم از قبیل Hg، Cd، Ag، Cu و Pt است که ترجیحاً از طریق پیوندهای کوالانسی با لیگاندهای قطبی پیوند می‌شوند. گروه دوم شامل یون‌های فلزی Fe، Zn، Ni، Co، Pb می‌باشد که بیشتر تمایل دارند با لیگاندهای واسطه از قبیل آمین‌ها، آمیدها و ایمین‌ها پیوند شوند (Nieboer and Richardson, 1980). همه یون‌های فلزی صرف نظر از این‌که در کدام گروه قرار می‌گیرند در غلظت‌های بالاتر از حد بحرانی خود در خاک برای گیاهان سمی می‌باشند.

۱-۱-۲ فلزات سنگین در خاک

فلزات سنگین در خاک ترکیباتی طبیعی یا نتیجه‌ای از فعالیت انسان می‌باشند. مناطق معدنی غنی از فلزات، گداختن فلزات، آب فلز دادن، گاز حاصل از اگزوز، استفاده از سوخت‌های فسیلی، به کار بردن کودها و حشره‌کش ها و تولید فاضلاب شهری از مهم‌ترین فعالیت‌های انسان است که خاک را با مقادیر زیادی از فلزات سمی آلوده می‌کند (Bradshaw *et al.*, 1978; Shaw, 1989; Seward and Richardson, 1990; Archambault and Winterhalder, 1995). مقادیر بیش از حد طبیعی فلزات در خاک به دلیل جذب توسط گیاهان و ورود به زنجیره‌های غذائی به عنوان منابع آلاینده محیط محسوب می‌شوند و می‌توانند باعث نابودی گیاهان شوند (Shaw, 1989).

فلزات در خاک به صورت‌های زیر وجود دارند (Tessier *et al.*, 1979):

الف) یون‌های فلزی آزاد و کمپلکس‌های فلزی محلول در محلول خاک.

ب) پیوند شده با بارهای منفی ترکیبات غیرآلی خاک در محل‌های تبادل یونی.

پ) باند شده به موادآلی خاک.

ت) رسوب با اکسیدها، هیدروکسیدها و کربنات‌ها.

ث) حضور در ساختمان کانی‌های سیلیکاتی.

فلزات فقط در حالت‌های الف و ب سریعاً توسط ریشه گیاهان جذب می‌شوند(Lasat, 2000).

---

[1] Lewis acidity

۱-۱-۳ مس

۱-۱-۳-۱ ویژگی های شیمیایی و خواص کلی مس

مس دارای عدد اتمی ۲۹ و عدد جرمی برابر با ۶۳/۵۶ و در گروه I-B جدول تناوبی قرار دارد. این عنصر در حالت طبیعی دارای دو ایزوتوپ ^{63}Cu، ^{65}Cu با فراوانی به ترتیب ۶۹٪ و ۳۱٪ می باشد. در طبیعت، مس در کانیهایی چون کوپریت، مالاکیت، آزوریت و کالکوپیریت یافت می شود. عنصر مس از نظر فراوانی بیست و ششمین عنصر موجود در پوسته زمین می باشد (Adriano, 1986) عوامل موثر در قابلیت تحرک[1] و در دسترس بودن[2] مس عبارتند از:(Adriano , 1986).

۱) pH خاک

۲) مواد آلی خاک

۳) اکسیدهای آهن، منگنز و آلومینیوم

۴) نوع و بافت خاک

۵) تقابل مس با سایر عناصر

۱-۱-۳-۲ عملکردهای بیولوژیک و سمیت مس

نقش مس به عنوان عنصر غذایی کم مصرف و ضروری برای گیاه، نخستین بار در سال ۱۹۳۱ توسط Lipman و همکاران شناخته شد (Adriano, 1986). مس یک عنصر واسطه با قابلیت احیا کنندگی بالا می باشد که در بسیاری از روندهای فیزیولوژیکی گیاه نقش دارد. از جمله آنها می توانبه نقش آن در انتقال الکترون فتوسنتزی، تنفس میتوکندریای، پاسخ به استرس اکسیداتیو، متابولیسم دیواره سلولی و انتقال پیام توسط هورمون ها اشاره کرد (Raven *et al.*, 1999). یون های مس به عنوان کوفاکتور در بسیاری از آنزیم ها مثل Cu/Zn سوپر اکسید دسموتاز (SOD)، سیتوکروم C اکسیداز، لاکاز، پلاستوسیانین، پلی فنول اکسیداز و آمینو اکسیداز عمل می کنند (Maksymiec *et al.*, 1999). در سطح سلولی مس در انتقال پیام و رونویسی ژنها، کنترل نقل و انتقال پروتئین ها، فسفریلاسیون اکسیداتیو و تحرک آهن نقش کلیدی دارد (Wang *et al.*, 2004). غلظتهای بالای مس در گیاهان از رشد ممانعت به عمل آورده و روندهای مهم سلولی مانند فتوسنتز و تنفس را مختل می کند

---

[1] mobility
[2] bioavailability

(Prasad and Strzalka , 1999). از اثرات سمیت مس می توان به کاهش درصد کلروفیل، تغییر در ساختار کلروپلاست و غشای تیلاکوئید، تخریب توده های گرانا و لاملای استروما اشاره کرد (Quartacci *et al.*, 2000). مس ترکیب پیگمان ها و پروتئین های غشاهای فتوسنتزی را تغییر می دهد (Maksymiec *et al.*, 1999) همچنین باعث پراکسیداسیون لیپیدها، کاهش درصد لیپیدها و ایجاد تغییرات در ترکیب اسیدهای چرب غشای تیلاکوئید می گردد (Luna *et al.*, 1994) که در نتیجه سبب تغییر در سیالیت، ساختار و ترکیب غشای تیلاکوئید می شود که خود می تواند ساختار فضایی و عملکرد فتوسیستم II را تحت تأثیر قرار دهد. حضور مقادیر بالای مس باعث القاء تنش اکسیداتیو در گیاهان می گردد که به علت تولید رادیکالهای آزاد اکسیژن می باشد و باعث ایجاد تغییراتی در فعالیت و میزان برخی از اجزای مسیرهای آنتی اکسیداتیو مثل آسکوربات پراکسیداز، منودهیدرو اسکوربات ردوکتاز، دهیدرو آسکوربات ردوکتاز، گلوتاتیون ردوکتاز و سوپراکسید دسموتاز می گردد (Luna *et al.*, 1996 ; Wang *et al.*, 2004).

در سطح سلولی سمیت می تواند ناشی ازممانعت فعالیت آنزیم یا عملکرد پروتئین ها در اثر باند شدن مس به گروه سولفیدریل،القاء کمبود سایر یونهای ضروری،آسیب زدن به روندهای انتقالی سلول واثرات مخرب اکسیداتیو باشد (Van Assche and Cligsters, 1996).علایم و نشانه های سمیت مس در گیاه عبارتند از کلروزه و نکروز شدن برگ، باز داشته شدن رشد، از دست رفتن کلروفیل برگ ممانعت از رشد ریشه (Marschner , 1995).

۱-۱-۴ روی

۱-۱-۴-۱ ویژگیهای شیمیایی و خواص کلی روی

این عنصر دارای عدد اتمی ۳۰ و عدد جرمی ۶۵/۳۹ است و جز عناصر واسطه محسوب می شود و به گروه IIb جدول تناوبی تعلق دارد. میزان روی در خاک حدود ۱۲۰-۸۰ میکرو گرم در گرم می باشد و. مقادیر بالاتر از این حد نشان دهنده آلودگی خاک با روی است (Alloway, 1995). روی از نظرفراوانی بیست و چهارمین عنصر موجود در پوسته زمین می باشد (Adriano 1986). میزان روی در بیشتر گیاهان بین ۱۰۰-۳۰ میکروگرم در گرم در ماده خشک می باشد و مقادیر بالاتر از ۳۰۰ میکرو گرم در گرم باعث ایجاد مسمومیت در گیاهان به ویژه گونه های حساس می شود (Whiting *et al.*, 2001).

عوامل موثر در قابلیت تحرک در دسترس بودن روی عبارتند از (Adriano , 1986)

۱) pH
۲) پتانسیل ردوکس
۳) مواد آلی خاک

۴) عوامل گیاهی

۱-۱-۴-۲ عملکرد های بیولوژیک و سمیت روی

عنصر روی به عنوان یک ماده غذایی کم مصرف برای گیاهان محسوب می شود. روی در بسیاری از آنزیم ها به عنوان بخش فلزی آنزیم عمل می کند نظیر آنزیم های الکل دهیدروژناز، کربنیک انهیدراز، مس-روی سوپراکسید دسموتاز و RNA پلی مراز. به علاوه روی به عنوان فعال کننده تعدادی از آنزیمها محسوب می شود. نظیر آلدرولازها. ایزومرازها، دهیدروژنازها و برخی از آنزیمهای سیکل کلوین(Tiaz and Zeiger, 2002) همچنین روی در مسیر های تنظیم متابولیسم ازت، تقسیم سلولی، فتوسنتز، سنتز اکسین، سنتز اسیدهای نوکلئیک و پروتئین ها و استفاده از فسفر ونیتروژن در خلال تشکیل بذر نقش کلیدی دارد (Yang *et al.*, 1997). غلظت های بالای روی می تواند باعث ایجاد سمیت در گیاهان گردد اثرات سمیت روی به ویژه در ریشه نمایان می گردد. رشدطولی و قطور شدن ریشه تحت اثر جلوگیری از تقسیم سلولی و طویل شدن سلول ممانعت می شود (Barcelo *et al.*, 1990). به علاوه سمیت روی باعث فروپاشی ارگانل های سلولی، تخریب غشا و متراکم شدن کروماتین و افزایش تعداد هستک ها می گردد (Stresty and Madhava , 1999).

جذب و انتقال برخی از عناصر غذایی مثل آهن بستگی به غلظت روی دارد. غلظت های بالای روی سبب ممانعت از جذب و انتقال این عناصر در گیاه می گردد. روی در محل بارگیری این عناصر در ریشه اختلال ایجاد کرده و سرعت جذب یا انتقال این عناصر را کاهش می دهد و باعث القاء عدم توازن یون ها در گیاه می شود. از این جهت سمیت روی علایمی شبیه به کمبود آهن در گیاه ایجاد می کند (Chaudhry *et al.*, 1997). از علایم سمیت روی می توان به جلوگیری از رشد ریشه، پیچیده شدن برگهای جوان، کلروزه شدن برگها، مرگ برگهای رأسی و ممانعت از رشد ریشه اشاره کرد(Stresty and madhava , 1999).

۱-۱-۵ سرب

۱-۱-۵-۱ ویژگی های شیمیایی و خواص کلی سرب

این عنصر دارای عدد اتمی ۹۲ و عدد جرمی ۲۰۷/۲ می باشد در گروه ششم جدول تناوبی قرار دارد. سرب یکی از مهمترین مواد آلوده کننده محیط بوده که عمدتاً در اثر احتراق بنزین به وجود می آید. مقدار سرب به طور متوسط ۱۵ میکروگرم در گرم در خاک گزارش شده که در خاک های آلوده با سرب به ۱۰۰ میکروگرم در گرم می رسد (Bert *et al.*, 2002). سرب عموماً در لایه های سطحی خاک تجمع می یابد و با افزایش عمق خاک غلظت سرب کاهش می یابد (De Abreu *et al.*, 1998).