بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه اصفهان

دانشکده علوم

گروه زیست شناسی

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته زیست شناسی، علوم گیاهی

گرایش فیزیولوژی گیاهی

قابلیت جذب و پالایش فلزات سمی سنگین از پسماند صنعتی مجتمع فولاد مبارکه و خاک های غنی از این فلزات توسط چندین گیاه انباشتگر

استاد راهنما:

دکتر سید مجید قادریان

پژوهشگر:

سمانه نصوحی

آذر ماه ۱۳۹۱

سپاس خدایی راکه زیبایی های آفرینش رابرما برگزید، پاکترین روزی هارابرما نازل فرمود، برتری مان بخشید به مالکیت برهمه موجودات، چنان که جمیع خلق به قدرت او گردن به امرما نهند و به نیروی او سربر فرمان ما سایند.

اهل پژوهش نیک می دانند که تحقیق، مطالعه و تدوین یک اثر علمی بدون کمک اهل فن میسر نیست. وظیفه خود می دانم استاد راهنمای ارجمند جناب آقای دکتر قادریان که در تمام مراحل این پژوهش از آغاز تا انجام بر دیده عنایت حمایت های خود را از من دریغ نکردند کمال تشکر را بنمایم.

از اساتید گروهی زیست شناسی دانشگاه اصفهان که در محضر ایشان بهره ها برده ام، قدردان هستم.

از قطب تش های گیاهی دانشگاه اصفهان کمال تشکر را دارم.

دست پدر و مادر فداکارم راکه همواره دعای خیر آنها بدرقه راهم بوده است می بوسم.

تقدیم به:

پدر

و

مادر مهربانم

چکیده

در کشورهای مختلف آلودگی حاصل از فلزات سنگین ممکن است از طریق معدن کاری یا صنایع ذوب فلزات ایجاد شود که یک مشکل جدی محسوب می‌شود. آلودگی خاک‌ها به فلزات سنگین نه‌تنها روی کیفیت محصولات کشاورزی اثر می‌گذارد بلکه ممکن است به اتمسفر و آب‌های سطحی نیز راه پیدا کند و در نهایت باعث به خطر افتادن سلامت انسان شود. یکی از روش های موثر پاکسازی مکان‌های آلوده به فلزات سنگین تکنولوژی گیاه پالایی است. یکی از مهمترین جنبه‌های این تکنولوژی، فایتواکسترکشن است که از گیاهان انباشگر یا بیش انباشگر برای زدایش فلزات سنگین از مکان‌های آلوده استفاده می‌شود.

در این تحقیق با تهیه نمونه‌های خاک و پسماند از سه منطقه آلوده به فلزات سنگین شامل پسماند مجتمع فولاد مبارکه (سه نوع پسماند)، خاک اطراف معدن سرب و روی ایرانکوه و خاک سرپنتین منطقه انارک قابلیت رشد، میزان وزن خشک و جذب فلزات سنگین توسط چندین گونه گیاهی بر روی آن‌ها بررسی شد. میزان فلزات سنگین در قسمت‌های هوایی گیاهان با تهیه خاکستر خشک و هضم اسیدی توسط دستگاه جذب اتمی انجام گرفت. میزان فلزات سنگین نمونه‌های پسماند و خاک نیز توسط این دستگاه اندازه گیری شد. .

بر اساس نتایج به دست آمده در پسماند صنعتی نوع اول فلزات کادمیوم و نیکل به ترتیب به میزان ۲۸ و ۱۱۸ میکرو گرم در گرم و در پسماند صنعتی نوع دوم به ترتیب به میزان ۱۹ و ۱۱۵ میکرو گرم در گرم در آن حضور داشتند. در پسماند واحد گالوانیزه، قلع اندود و ورق رنگی فلزات روی، کروم، کادمیوم و نیکل به ترتیب به میزان ۳۵۳، ۱۷۶۸، ۲۲ و ۱۱۴ میکرو گرم در گرم در آن بود. در خاک معدنی ایرانکوه دو فلز روی و سرب به میزان زیادی در آن وجود داشتند (به ترتیب به میزان ۴۳۰۷ و ۱۶۴۹ میکرو گرم در گرم). در خاک سرپنتین انارک میزان نیکل و کبالت به میزان ۲۱۷ و ۵۶ میکرو گرم در گرم در آن بود.

از بین هشت گونه کاشته شده بر روی پسماند صنعتی نوع اول، تنها چهار گونه *Zea mays*، *Helianthus annuus*، *Eruca sativa* و *Brassica napus* دارای رشد رویشی مناسب بودند و در جذب فلزات سنگین نیز توانایی داشتند. به همین جهت برای کشت مجدد و اضافه کردن ماده کیلیت کننده Ethylenediamine-N,N-di succinic acis به محیط کشت انتخاب گردیدند. *H. annuus* گونه ای مقاوم بر روی پسماند حتی تحت غلظت-های مختلف EDDS بود، جذب کروم و کادمیوم ($mg\ kg^{-1}$ ۲۵۱/۲ و $mg\ kg^{-1}$ ۲۲/۵) را به میزان زیادی انجام داده است به همین جهت بهترین گونه جهت گیاه پالایی بر روی این نوع پسماند محسوب می‌شود.

از بین گونه‌های کشت داده شده بر روی پسماند صنعتی نوع دوم تنها سه گونه *H. annuus* ، *Z. mays* و *E. sativa* قابلیت رشد و استقرار را بر روی آن داشتند و از بین این گونه‌ها تنها گونه *H. annuus* نسبت به گونه‌های دیگر تحت غلظت‌های EDDS مقاومت نشان داد و با افزایش غلظت این ماده، میزان جذب فلزات سنگین در آن افزایش یافت. همچنین تولید بیوماس بالا از دیگر ویژگی‌های آن بود به همین جهت بهترین گونه جهت گیاه پالایی بر روی این نوع پسماند محسوب می‌شود.

از بین هشت گونه کشت شده بر روی خاک ایرانکوه گونه‌های *Solanum nigrum*، *Thlaspi Caerulescens*، *Matthiola Chenopodiifolia* ، *E.sativa* و *B.napus* به دلیل جذب بالای فلزات

سنگین و تولید بیوماس زیاد گونه‌هایی مناسب جهت گیاه پالایی از این خاک محسوب می‌شوند.
گونه‌های *T.caerulescens* و *Alyssum bracteatum* گونه‌های مناسب جهت گیاه پالایی از خاک سرپنتین انارک معرفی می‌گردند.

کلمات کلیدی: پسماند مجتمع فولاد مبارکه، خاک سرپنتین، خاک معدنی ایرانکوه، فلزات سنگین، گیاهان تجمع دهنده، گیاه پالایی.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه و بررسی منابع

۱-۱ فلزات سنگین..... ۱

۱-۱-۱ تعریف و طبقه بندی..... ۱

۱-۱-۲ مروری بر چند فلز سنگین..... ۲

۱-۱-۲-۱ روی..... ۳

۱-۱-۲-۱-۱ ویژگی‌های شیمیایی و خواص کلی روی..... ۳

۱-۱-۲-۱-۲ وظایف روی در گیاه و عوارض سمیت این فلز..... ۳

۱-۱-۲-۲سرب..... ۴

۱-۱-۲-۲-۱ ویژگی‌های شیمیایی و خواص کلی سرب..... ۴

۱-۱-۲-۲-۲ وظایف سرب در گیاه و عوارض سمیت این فلز..... ۴

۱-۱-۲-۳ کروم..... ۵

۱-۱-۲-۳-۱ ویژگی‌های شیمیایی و خواص کلی کروم..... ۵

۱-۱-۲-۳-۲ وظایف کروم در گیاه و عوارض سمیت این فلز..... ۶

۱-۱-۲-۴ کادمیوم..... ۷

۱-۱-۲-۴-۱ ویژگی‌های شیمیایی و خواص کلی کادمیوم..... ۷

۱-۱-۲-۴-۲ وظایف کادمیوم در گیاه و عوارض سمیت این فلز..... ۷

۱-۱-۲-۵ نیکل..... ۸

۱-۱-۲-۵-۱ ویژگی‌های شیمیایی و خواص کلی نیکل..... ۸

۱-۱-۲-۵-۲ وظایف نیکل در گیاه و عوارض سمیت این فلز..... ۸

۱-۱-۲-۶ کبالت..... ۹

۱-۱-۲-۶-۱ ویژگی‌های شیمیایی و خواص کلی کبالت..... ۹

۱-۱-۲-۶-۲ وظایف کبالت در گیاه و عوارض سمیت این فلز..... ۹

۱-۲ منابع آلوده کننده محیط به فلزات سنگین:..... ۱۰

۱-۲-۱ منابع طبیعی فلزات سنگین..... ۱۰

۱-۲-۲ منابع کشاورزی فلزات سنگین..... ۱۰

عنوان **صفحه**

۱-۲-۳ منابع صنعتی فلزات سنگین ۱۱
۱-۳ گیاهان و فلزات سنگین ۱۲
۱-۳-۱ سمیت فلزات سنگین در گیاهان ۱۲
۱-۳-۲ عوامل مؤثر بر جذب فلزات سنگین ۱۳
۱-۳-۳ پاسخ‌های گیاهان به فلزات سنگین ۱۵
۱-۳-۴ جذب فلزات به ریشه و انتقال به قسمت‌های هوایی گیاه ۱۶
-۳-۵ مکانیسم‌های مقاومت به فلزات سنگین و سمیت زدایی ۱۸
۲۱-۳-۵-۱ کیلیت شدن فلزات در سیتوزول ۲۰
۱-۳-۵-۱-۱ فیتوکلاتین‌ها (PCs) ۲۰
۱-۳-۵-۱-۲ متالوتیونئین‌ها (MTS) ۲۱
۱-۳-۵-۱-۳ اسیدهای آلی ۲۱
۱-۳-۵-۱-۴ آمینواسیدها ۲۱
۱-۳-۵-۲ حجره بندی واکوئل ۲۲
۱-۳-۵-۳ غشاء پلاسمایی ۲۲
۱-۴ گیاهان بیش تجمع دهنده ۲۳
۱-۴-۱ مزیت تجمع فلزات سنگین در بافت‌های گیاهان ۲۴
۱-۴-۲ کاربرد گیاهان بیش تجمع دهنده ۲۵
۱-۴-۳ پاک سازی مناطق آلوده توسط گیاهان بیش تجمع دهنده ۲۶
۱-۵ خصو صیات گیاهشناسی ۲۹
۱-۵-۱ معرفی خانواده شب بو: ۲۹
۱-۵-۲ معرفی خانواده سیب زمینی ۳۰
۱-۵-۳ معرفی خانواده آفتابگردان یا کاسنی ۳۱
۱-۵-۴ معرفی خانواده گندمیان ۳۲
۱-۵ اهداف تحقیق ۳۲

فصل دوم: مواد و روش‌ها

۲-۱معرفی مناطق نمونه برداری پساب و خاک ۳۴
۲-۱-۱ مجتمع صنعتی فولاد مبارکه ۳۴

عنوان ..... صفحه

۲-۱-۱-۱ پسماند صنعتی..... ۳۵

۲-۱-۱-۲ پسماند واحد گالوانیزه، قلع اندود و ورق رنگی..... ۳۵

۲-۱-۲ منطقه معدنی سرب و روی ایرانکوه..... ۳۹

۲-۱-۳ منطقه سرپنتین انارک..... ۳۹

۲-۲ آماده سازی پسماند فولاد مبارکه جهت کشت گونه‌های گیاهی:..... ۳۹

۲-۳ کشت گونه‌های گیاهی:..... ۴۰

۲-۴ اندازه گیری pH خاک و پسماند..... ۴۰

۲-۵ اندازه گیری مقدار عناصر در حالت کل خاک و پسماند..... ۴۱

۲-۶ اندازه گیری مقدار فلزات سنگین در نمونه‌های گیاهی..... ۴۱

فصل سوم: نتایج

۳-۱ مقدار فلزات سنگین و pH در نمونه‌های پسماند و خاک..... ۴۲

۳-۲ میانگین وزن خشک نمونه‌های گیاهی رشد کرده بر روی نمونه‌های پسماند و خاک..... ۴۵

۳-۳ مقدار فلزات سنگین در نمونه‌های گیاهی رشد کرده بر روی نمونه‌های پسماند و خاک..... ۵۲

۳-۳-۱ مقدار فلزات سنگین در نمونه‌های گیاهی رشد کرده بر روی پسماند صنعتی (نوع اول) ۵۲

۳-۳-۲ مقدار فلزات سنگین در نمونه‌های گیاهی رشد کرده بر روی پسماند صنعتی (نوع دوم)..... ۵۵

۳-۳-۳ مقدار فلزات سنگین در نمونه‌های گیاهی رشد کرده بر روی پسماند واحد گالوانیزه، قلع اندود و ورق رنگی..... ۵۸

۳-۳-۴ مقدار فلزات سنگین در نمونه‌های گیاهی رشد کرده بر روی خاک ایرانکوه..... ۵۹

۳-۳-۵ مقدار فلزات سنگین در نمونه‌های گیاهی رشد کرده بر روی خاک سرپنتین..... ۶۱

۳-۴ میانگین وزن خشک نمونه‌های رشد کرده بر روی پسماند صنعتی فولاد مبارکه (نوع اول) و (نوع دوم) تحت تیمار غلظت‌های EDDS..... ۶۳

۳-۵ میزان فلزات سنگین در نمونه‌های گیاهی رشد کرده بر روی پسماند صنعتی فولاد (نوع اول) تحت تیمار EDDS..... ۶۵

۳-۶ میزان فلزات سنگین در نمونه‌های گیاهی رشد کرده بر روی پسماند صنعتی فولاد (نوع دوم) تحت تیمار EDDS..... ۶۹

عنوان **صفحه**

فصل چهارم بحث و نتیجه گیری

۴-۱ بحث ۷۰
۴-۲ پیشنهادات ۷۹
پیوست‌ها ۸۰
منابع و مآخذ ۸۶

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱: تقسیم بندی گیاهان به سه گروه تجمع دهندگان، نشانگرها و ممانعت کننده‌ها بر اساس میزان تجمع فلز در بخش‌های هوایی..... ۱۶
شکل ۱-۲: جذب و تجمع فلزات در گیاهان..... ۱۸
شکل ۱-۳ مکانیسم‌های سلولی مؤثر در سمیت زدایی و افزایش مقاومت در گیاهان عالی..... ۱۹
شکل ۱-۴ .ساختار شیمیایی سیستئین، گلوتاتیون کاهش یافته(GSH)، گلوتاتیون اکسید شده(GSSG) و فیتوکلاتین(PCs)..... ۲۰
شکل ۱-۵ ایجاد تغییرات تأثیر گذار بر روی غشاء پلاسمایی گیاه تحت تأثیر فلزات سنگین..... ۲۳
شکل ۱-۶ شمایی ساده از آلودگی‌های زیست محیطی ایجاد شده توسط فلزات سنگین و راه‌های بازیابی آن از محیط زیست..... ۲۶
شکل ۱-۷ phytoextraction فلزات سنگین از خاک و موارد استفاده آن..... ۲۷
شکل ۲-۱ شمایی از مجتمع صنعتی فولاد مبارکه..... ۳۷
شکل ۲-۲ شمای کلی از تصفیه خانه واحد گالوانیزه، قلع اندود و ورق رنگی..... ۳۷
شکل ۲-۳ لاگون پسماند صنعتی (اول)..... ۳۸
شکل ۲-۴ لاگون پسماند صنعتی (دوم)..... ۳۸
شکل ۳-۱ *Z. mays* ، *H. annuus* ، *T. caerulescens* ،*S. nigrum* ،*E. sativa* ،*B. napus* و *M. chenopodiifolia* رشد کرده بر روی پسماند صنعتی فولاد (نوع اول) به مدت ۴۰ روز..... ۴۸
شکل ۳-۲ *Z. mays* ،*H. annuus* و *E. sativa* رشد کرده بر روی پسماند صنعتی (نوع دوم) به مدت ۴۰ روز. ۴۹
شکل ۳-۳ *Z. mays* رشد کرده بر روی ۵۰٪ پسماند واحد گالوانیزه، قلع اندود و ورق رنگی و ۵۰٪ پرلیت به مدت ۴۰ روز..... ۴۹
شکل ۳-۴ *Z. mays* ، *H. annuus* ،*T. caerulescens* ،*S. nigrum* ،*E. sativa* ،*B. napus* ،*M. chenopodiifolia* و *A. bracteatum* رشد کرده بر روی خاک ایرانکوه به مدت ۴۰ روز..... ۵۰
شکل ۳-۵ *Z. mays* ،*H. annuus* ،*T. caerulescens* ،*S. nigrum* ،*E. sativa* ،*B. napus* ،*M. chenopodiifolia* و *A. bracteatum* رشد کرده بر روی خاک سرپنتین به مدت ۴۰ روز..... ۵۱
شکل۳-۶: مقدار غلظت روی، سرب و کروم انباشت شده در بخش‌های هوایی گیاهان رشد یافته بر روی پسماند صنعتی فولاد (نوع اول) به مدت ۴۰ روز..... ۵۳

عنوان **صفحه**

شکل۳-۷ مقدار غلظت کادمیوم و نیکل انباشت شده در بخش‌های هوایی گیاهان رشد یافته بر روی پسماند صنعتی فولاد (نوع اول) به مدت ۴۰ روز..... ۵۴
شکل۳-۸ مقدار غلظت روی، سرب و کروم انباشت شده در بخش‌های هوایی گیاهان رشد یافته بر روی پسماند صنعتی فولاد (نوع دوم) به مدت ۴۰ روز..... ۵۶
شکل۳-۹ مقدار غلظت کادمیوم و نیکل انباشت شده در بخش‌های هوایی گیاهان رشد یافته بر روی پسماند صنعتی فولاد (نوع دوم) به مدت ۴۰ روز..... ۵۷
شکل۳-۱۰: مقدار فلزات سنگین انباشت شده در گونه گیاهی *Z. mays* رشد کرده بر روی ۵۰٪ پسماند واحد گالوانیزه .. و ۵۰٪ پرلیت به مدت ۴۰ روز..... ۵۸
شکل۳-۱۱ مقدار غلظت روی، سرب و کادمیوم انباشت شده در بخش‌های هوایی گیاهان رشد یافته بر روی خاک ایرانکوه به مدت ۴۰ روز..... ۶۰
شکل۳-۱۲ مقدار غلظت کروم، نیکل و کبالت انباشت شده در بخش‌های هوایی گیاهان رشد یافته بر روی خاک سرپنتین به مدت ۴۰ روز..... ۶۲
شکل۳-۱۳ *Z. mays* رشد کرده بر روی پسماند صنعتی (نوع اول) به مدت ۴۰ روز. شاهد (A)، تیمار ۱ میلی مول در کیلوگرم خاک EDDS (B) و تیمار۵ میلی مول در کیلوگرم خاک EDDS (C). ۶۴
شکل۳-۱۴ *H.annuus* رشد کرده بر روی پسماند صنعتی (نوع اول) به مدت ۴۰ روز. شاهد (A)، تیمار ۱ میلی مول در کیلوگرم خاک EDDS (B) و تیمار۵ میلی مول در کیلوگرم خاک EDDS (C)..... ۶۴
شکل۳-۱۵ *H.annuus* رشد کرده بر روی پسماند صنعتی (نوع دوم) به مدت ۴۰ روز. شاهد (A)، تیمار ۱ میلی مول در کیلوگرم خاک EDDS (B) و تیمار۵ میلی مول در کیلوگرم خاک EDDS (C)..... ۶۴
شکل۳-۱۶ مقدار غلظت روی انباشت شده در بخش‌های هوایی گیاهان رشد یافته بر روی پسماند صنعتی فولاد (نوع اول) تحت غلظت‌های ۰، ۱ و ۵ میلی مول در کیلوگرم خاک EDDS. به مدت ۴۰ روز..... ۶۶
شکل۳-۱۷ مقدار غلظت سرب انباشت شده در بخش‌های هوایی گیاهان رشد یافته بر روی پسماند صنعتی فولاد (نوع اول) تحت غلظت‌های ۰، ۱ و ۵ میلی مول در کیلوگرم خاک EDDS. به مدت ۴۰ روز..... ۶۶
شکل۳-۱۸ مقدار غلظت کروم انباشت شده در بخش‌های هوایی گیاهان رشد یافته بر روی پسماند صنعتی فولاد (نوع اول) تحت غلظت‌های ۰، ۱ و ۵ میلی مول در کیلوگرم خاک EDDS. به مدت ۴۰ روز..... ۶۷
شکل۳-۱۹ مقدار غلظت کادمیوم انباشت شده در بخش‌های هوایی گیاهان رشد یافته بر روی پسماند صنعتی فولاد (نوع اول) تحت غلظت‌های ۰، ۱ و ۵ میلی مول در کیلوگرم خاک EDDS. به مدت ۴۰ روز..... ۶۷
شکل ۳-۲۰ مقدار غلظت نیکل انباشت شده در بخش‌های هوایی گیاهان رشد یافته بر روی پسماند صنعتی فولاد (نوع اول) تحت غلظت‌های ۰، ۱ و ۵ میلی مول در کیلوگرم خاک EDDS. به مدت ۴۰ روز..... ۶۸

عنوان **صفحه**

شکل ۳-۲۱ مقدار غلظت فلزات انباشت شده در بخش‌های هوایی گونه *H. annuus* رشد یافته بر روی پسماند صنعتی فولاد (نوع دوم) تحت غلظت‌های ۰، ۱ و ۵ میلی مول در کیلوگرم خاک EDDS، به مدت ۴۰ روز..... ۶۹

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۱-۱ مقدار مجاز فلزات سنگین در خاک و گیاه..... ۲
جدول ۱-۲ وجود فلزات مختلف در پسماند صنایع مختلف..... ۱۲
جدول۳-۱ مقدار فلزات سنگین (میلی گرم بر کیلو گرم) و pH نمونه‌های خاک و پسماند در مناطق مورد بررسی..... ۴۴
جدول۳-۲ میانگین وزن خشک هشت نمونه گیاهی رشد کرده بر روی نمونه‌های خاک و پسماند به مدت ۴۰ روز ($mg\ plant^{-1}$)..... ۴۷
جدول ۳-۳ میانگین وزن خشک هشت نمونه گیاهی رشد کرده بر روی نمونه‌های خاک و پسماند به مدت ۴۰ روز..... ۶۳

فصل اول

مقدمه

۱-۱ فلزات سنگین

۱-۱-۱ تعریف و طبقه بندی

واژه فلزات سنگین[1] به طور عمومی به گروهی از فلزات و شبه فلزات اشاره دارد که دارای چگالی نسبتاً زیاد هستند و عمدتاً وزن مخصوص[2] ۴ الی ۵ گرم بر سانتی متر مکعب و حتی بیشتر را دارا می‌باشند. (Hawkes, 1997). فلزات سنگین رایج سرب، کادمیوم، نیکل، کبالت، آهن، روی، مس و منگنزاند (Nagajioti *et al*, 2010) و فلزات سنگین غیر رایج تالیوم، آرسنیک، کروم، آنتیموان، سلنیوم، بیسموت و... هستند. فلزات سنگین کمیاب شامل تلوریوم، ژرمانیوم، گالیوم، اسکاندیوم، طلا، تنگستن، اورانیوم و گروه پلاتین (پلاتین، پالادیوم و رودیوم) هستند (Babula *et al*., 2008). طبق طبقه بندی فلزات بر اساس خصوصیات شیمیایی، فلزات سنگین در رده B فلزات دسته بندی شده‌اند که جزء فلزات غیر ضروری و بسیاری سمی محسوب می‌شوند و از جمله آن‌ها جیوه، نقره، سرب و نیکل‌اند (Nieboer and Richardson, 1980).

---

[1] Heavy metals
[2] Atomic density

۱-۱-۲ مروری بر چند فلز سنگین

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

الف) یون‌های فلزی آزاد در محلول خاک.

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

پ) باند شده به مواد آلی خاک.

ت) رسوب با اکسیدها، هیدروکسیدها و کربنات ها.

ث) حضور در ساختمان کانی‌های سیلیکاتی.

فلزات فقط در حالت‌های الف و ب سریعاً توسط ریشه گیاهان جذب می‌شوند (Lasat, 2000) مقدار مجاز فلزات سنگین در خاک و گیاه در جدول ۱-۱ نشان داده شده‌است.

جدول ۱-۱ مقدار مجاز فلزات سنگین در خاک و گیاه (Nagajyoti *et al.*, 2010).

فلزات سنگین	خاک $\mu g\ g^{-1}$ dry wt	گیاه $\mu g\ g^{-1}$ dry wt
Cd	۳	۰/۱-۲/۴
Co	۱-۴۰	۰/۰۵-۰/۵
Cr	۱۵۰	۰/۲-۱
Cu	۱۴۰	۴/۱۵
Fe	۷۰۰۰-۵۵۰۰۰	۱۴۰
Mn	۱۰۰-۴۰۰۰	۱۵-۱۰۰
Mo	۰/۲-۵	۱-۱۰
Ni	۷۵	۱
Pb	۲-۲۰۰	۱-۱۳
Zn	۱۰-۳۰۰	۸-۱۰۰

۱-۱-۲-۱ روی

۱-۱-۲-۱-۱ ویژگی‌های شیمیایی و خواص کلی روی

این عنصر دارای عدد اتمی ۳۰ و عدد جرمی ۶۵/۳۹ است و جزء عناصر واسطه محسوب می‌شود و به گروه IIb جدول تناوبی تعلق دارد. روی از نظر فراوانی بیست و چهارمین عنصر موجود در پوسته زمین می-باشد (Adriano, 1986). از جمله عوامل موثر در قابلیت تحرک و در دسترس بودن روی می‌توان به pH، پتانسیل ردوکس، مواد آلی خاک و عوامل گیاهی اشاره کرد (Adriano, 1986).

۱-۱-۲-۱-۲ وظایف روی در گیاه و عوارض سمیت این فلز

عنصر روی جزء مواد غذایی ضروری ولی کم مصرف برای گیاهان محسوب می‌شود که بر روی بسیاری از فرایندهای متابولیکی گیاهان اثر می‌گذارد (Cakmak and Marshner, 1993). این عنصر دارای نیمه عمر زیستی طولانی است (Nagajyoti *et al*., 2010). بسیاری از آنزیم ها دارای فلز روی هستند مانند کربنیک انیدراز، الکل دهیدرژناز، سوپراکسیددسیموتاز و RNA پلیمراز (Nagajyoti *et al*., 2010). علاوه بر این روی باعث فعال کردن برخی از آنزیم ها نظیر آلدولازها، ایزومرازها، دهیدرژنازها و برخی از آنزیم‌های سیکل کالوین می‌شود (Tiaz and Zeiger, 2002). روی برای حفظ تمامیت ریبوزم، شکل گیری کربوهیدارت‌ها و کاتالیز فرایندهای اکسیداسیونی نیاز است (Nagajyoti *et al*., 2002). هم‌چنین روی در مسیرهای تنظیم متابولیسم ازت، تقسیم سلولی، فتوسنتز، سنتز اکسین، سنتز اسیدهای نوکلئیک، سنتز پروتئین‌ها و استفاده فسفر و نیتروژن در خلال تشکیل بذر نقش کلیدی دارد. (Yang *et al*., 1997). غلظت‌های بالای روی در خاک از بسیاری از فعالیت‌های متابولیکی جلوگیری می‌کند. برای مثال در غلظت‌های بالا رشد ریشه و ساقه به دلیل عدم تقسیم سلولی و طویل شدن سلول‌ها محدود می‌شود (Barcelo *et al*., 1990; Choi *et al*., 1996; Ebbs and kochina, 1997; Fontes and cox, 1998)، اندامک‌های سلولی و غشاء تخریب می‌شوند، کروماتین متراکم می‌شود و تعداد هستک‌ها افزایش می‌یابد (Stresly and Madhava, 1999). سمیت ایجاد شده توسط غلظت‌های بالای روی باعث کلروز برگ‌های جوان می‌شود که در صورت ادامه به برگ‌های پیر نیز سرایت می‌کند (Ebbs and kochina, 1997). از دیگر اثرات ظاهری که توسط سمیت روی ایجاد می‌شود ایجاد رنگ قرمز- ارغوانی به دلیل کمبود فسفر است (Lee *et al*., 1996). غلظت‌های بالای روی

باعث کمبود منگنز و آهن نیز می‌شود. این کمبود به این دلیل ایجاد می‌شود که وجود روی به مقدار زیاد مانع انتقال این ریز مغذی از ریشه به ساقه می‌شود (Ebbs and Kochina, 1997).

۱-۱-۲-۲سرب

۱-۱-۲-۲-۱ ویژگی‌های شیمیایی و خواص کلی سرب

این عنصر دارای عدد اتمی ۹۲ و عدد جرمی ۲۰۷/۲ می باشد و در گروه ششم جدول تناوبی قرار دارد. سرب یکی از مهم ترین مواد آلوده کننده محیط بوده که عمدتاً در اثر احتراق بنزین آزاد می شود. سرب عموماً در لایه‌های سطحی خاک تجمع می یابد و با افزایش عمق خاک غلظت سرب کاهش می یابد (De Abreu *et al.*, 1998). از جمله عوامل موثر در قابلیت تحرک و در دسترس بودن سرب می توان به pH خاک، اندازه ذرات خاک، قابلیت تبادل کاتیونی، عامل ریشه ای مثل سطح ریشه، ترشحات ریشه و میکوریزها اشاره کرد. (Adriano, 1986).

۱-۱-۲-۲-۲ وظایف سرب در گیاه و عوارض سمیت این فلز

این عنصر جزء عناصر غیر غذایی برای گیاهان محسوب می شود که در رشد و نمو گیاه اختلال ایجاد می-کند(Seregin and Ivanov, 2001). سرب از جوانه زنی بذر جلوگیری می کند. عدم جوانه زنی بذر احتمالاً به خاطر اختلالی است که در آنزیم‌های مهم توسط سرب ایجاد شده‌است. برای مثال تیمار ۶۰µM از استات سرب مانع از فعالیت پروتئاز و آمیلاز به میزان ۵۰٪ در اندوسپرم برنج می شود(Nagajyoti *et al.*, 2010). میزان زیاد سرب در خاک باعث ایجاد خصوصیات غیر نرمال مورفولوژی در گونه‌های گیاهی می شود. برای نمونه سرب باعث ضخیم شدن شعاعی و نامنظم ریشه و دیواره سلولی اندوسپرم شده و باعث چوبی شدن پارانشیم غشایی می شود. (Paivoke, 1983). سرب از طویل شدن ریشه، ساقه و برگ ممانعت می کند (Gruenhage and jager, 1985). جلوگیری از رشد ریشه می تواند متأثر از ممانعت تقسیم سلولی در نوک ریشه باشد (Eun *et al.*, 2000). ساختار میکروتوبول‌ها در مناطق مختلف و سیستم ریشه نسبت به سرب حساس می باشد. سرب ساختار میکروتوبول‌های دوک میتوزی را تخریب کرده و میتوز را در مرحله متافاز متوقف می کند (Wierzbicka, 1994). سرب باعث کاهش رشد و میزان بیوماس می شود که در اثر اختلال در فرایندهای متابولیکی ایجاد می شود (Van Assche and Clijsters, 1990). یکی از این اختلالات

اکسید شدن ایندول ۳- استیک اسید (IAA)[1] در حضور سرب است که در نهایت از رشد ممانعت می شود. سرب با ممانعت از فعالیت آنزیم‌های کربوکسیلازی (Stiborova *et al.*, 1987)، تخریب ساختار کلروپلاست، مهار سنتز کلروفیل، پلاستوکوئینون‌ها و کارتنوئیدها، ممانعت از انتقال الکترون و ایجاد کمبود CO_2 در اثر بسته شدن روزنه‌ها بر روی فتوسنتز اثر می گذارد. (Rebechini and Hanzely, 1996). سرب در سطوح سلولی از طریق واکنش با گروه‌های سولفیدریل از فعالیت آنزیم‌ها ممانعت می کند. (Nagajyoti *et al.*, 2010). سطوح بالای سرب باعث عدم تعادل آبی[2]، تغییر در نفوذپذیری غشاء و ایجاد اختلال در جذب عناصر غذایی می شود (Sharma and Dubey, 2005). غلظت‌های بالای سرب باعث تحریک استرس اکسیداتیو از طریق افزایش در میزان ROS[3]می شود (Reddy *et al.*, 2005). از علایم ظاهری ایجاد شده تحت تأثیرسمیت سرب در گیاهان می توان به کلروز در برگ‌ها، ایجاد ریشه‌های فرعی همراه با سیاه شدن سیستم ریشه ای و کاهش رشد اشاره کرد (Sergin *et al.*, 2004).

۱-۱-۲-۳کروم

۱-۱-۲-۳-۱ ویژگی‌های شیمیایی و خواص کلی کروم

کروم دارای عدد اتمی ۱۳ و عدد جرمی ۵۱/۹ می باشد و به گروه VI-B جدول تناویی تعلق دارد (Nriagu and pancyna, 1988). از نظر فراوانی جزء هفتمین عنصر موجود در پوسته زمین محسوب می شود (Katz and Salem, 1994). تنها سنگ معدن حاوی کروم که با اهمیت است کرومیت[4] نام دارد و در خاک‌های سرپنتین یافت می شود. کروم در شرایط اکسیدازی بسیار محلول است و در این شرایط یون های کروم (VI) مانند کرومات (CrO_4^{2-}) و دی کرومات ($Cr_2O_7^{-2}$) شکل می گیرند و بسیار محلول‌اند. در شرایط احیایی کروم (VI) به یون‌های کروم (III) که غیر محلول‌اند تبدیل می شود. این فرم به شدت توسط ذرات خاک جذب می شود. (Babula *et al.*, 2008). منبع مهم تولید و انتشار کروم (III) عموماً برج‌های خنک کننده صنایع و گرد و غبار است. کروم (VI) در تولید استیل‌های مقاوم، تولید مواد رنگی، استفاده از آن به عنوان زیر رنگ به منظور جلوگیری از زنگ زدگی، آبکاری بر روی فلزات و هم‌چنین حفاظت چوب استفاده می شود (Shtiza *et al.*, 2008).

---

[1] Indol acetic acid
[2] Water imbalance
[3] Reactive Oxygen Species
[4] Chromite

۱-۱-۲-۳-۲ وظایف کروم در گیاه و عوارض سمیت این فلز

این عنصر در گیاهان فاقد نقش زیستی است (Panda, 2003). اگرچه برخی از محصولات کشاورزی توسط غلظت‌های پایین کروم ($۳/۱۸\times۱۰^{-۴}$ µM) تأثیر نمی گیرند (Huffman and Allaway, 1973) ولی غلظت بالای کروم ($۱۰۰mg\ kg^{-1}$) برای اکثر گیاهان آلی سمی محسوب می شود (Davies *et al*., 2002). اولین فرایند فیزیولوژیکی که توسط کروم تحت تأثیر قرار می گیرد جوانه زنی بذر است (Peralta *et al*., 2001). در غلظت ppm ۸۰ کروم، جوانه زنی بذرهای نیشکر ۳۲ تا ۵۷ درصد کاهش یافت (Jain *et al*., 2000). کاهش جوانه زنی بذر ممکن است به خاطر کاهش فعالیت آنزیم آمیلاز و کاهش فعالیت زیر واحدهای انتقال دهنده قندها به سمت محور جنین تحت تنش کروم باشد (Zeid, 2001). از دیگر اثرات سمی این فلز کاهش رشد ریشه درختان و محصولات کشاورزی است (Tang *et al*., 2001). هم‌چنین در سلول های ریشه پلاسمولیز ایجاد شده و در نهایت باعث پژمردگی ریشه می شود (McGrath, 1997). سمیت ایجاد شده توسط کروم بر تثبیت CO_2، انتقال الکترون، تنفس نوری و فعالیت آنزیم‌ها اثر می‌گذارد.(Clijsters and Van Assche, 1985). کروم هم‌چنین از انجام فتوسنتز ممانعت می کند. هنوز به طور دقیق مشخص نشده‌است که چرا کروم مانع از فتوسنتز می شود ولی چندین احتمال وجود دارد یکی از آن‌ها متزلزل شدن ساختار کلروپلاست در حضور کروم زیاد است (Vazques *et al*., 1987) دیگری جلوگیری از انتقال الکترون در خلال فتوسنتز است و آخرین احتمال تأثیر کروم بر روی آنزیم‌های سیکل کالوین می باشد (Nagajyoti *et al*., 2010).

تنش کروم می تواند سه نوع تغییر متابولیکی در گیاهان ایجاد کند:

۱) ایجاد تغییر در تولید رنگدانه‌هایی که در غذاسازی گیاه مؤثراند برای مثال کلروفیل و آنتوسیانین (Boonyapookan *et al*., 2002).

۲) افزایش در تولید متابولیت‌هایی مانند گلوتاتیون و آسکوربیک اسید به عنوان پاسخ مستقیم گیاه به تنش ایجاد شده توسط کروم

۳) ایجاد تغییر در مواد متابولیکی مخازن به منظور تولید مواد شیمیایی برای ایجاد مقاومت یا تحمل تنش کروم برای مثال ایجاد فیتوکلاتین‌ها[1] و هیستیدین (Nagajyoti *et al*., 2010).

کروم (III) باعث آسیب‌های شدید اکسیداتیو در سلول‌های گیاهی می‌گردد و رشد، تعادل آب، درصد رنگدانه-

[1] Phytochelatins