بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
دانشکده علوم زراعی
گروه علوم خاک

عنوان:

تأثیر کاربرد آب آبیاری آلوده به کادمیوم و نیکل بر میزان تجمع این عناصر در خاک های با بافت مختلف و انتقال آنها به اندام های گیاهی اسفناج

استاد راهنما:
دکتر محمدعلی بهمنیار

استاد مشاور:
دکتر مهدی قاجار سپانلو

نگارنده:
فاطمه کفاش محمدی

زمستان ۱۳۹۱

سپاسنامه

سپاس و ستایش پروردگار بی‌همتا را که خویشتن را به ما شناساند و درهای علم را بر ما گشود و عمری و فرصتی عطا فرمود تابدان، بنده ضعیف خویش را در طریق علم و معرفت بیازماید، و

سپاس نعمتهای عزیزش مادرم را که اسطوره‌ی مهربانی و فداکاری‌ست و خواهرانم که شادابی زندگی‌اند. به خاطر فراهم نمودن آرامش روحی و آسایش فکری در محیطی مطلوب، که توانسته‌ام مراتب تحصیلی را به نحو احسن به اتمام برسانم، از حضورشان سپاسگزاری می‌نمایم، و

و سپاس بزرگوارانی را که خدا بر سر راهم قرار داد که درهای علم و پیشرفت را بر من بگشایند و راه را بر من هموار نمایند.

از استاد راهنمای بزرگوارم جناب دکتر محمدعلی بهمنیار که همواره راهنما، پشتیبان و مشوقم بودند و به تلاش‌هایم ارزش بخشیدند نهایت تشکر و قدردانی را دارم.

از استاد مشاور گرانقدرم جناب دکتر مهدی قاجار سپانلو به‌خاطر تمام راهنمایی‌های عالمانه و حمایتهایش در اتمام پایان‌نامه‌ام صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نمایم.

از اساتید محترمی که داوری پایان‌نامه‌ام را بر عهده گرفتند جناب دکتر پیردشتی و جناب دکتر عمادی سپاسگزارم.

از مسئولان محترم آزمایشگاه خاکشناسی جهت همکاری ایشان در پیشبرد این پایان‌نامه، نهایت تقدیر و تشکر را دارم.

در پایان از تمامی همکلاسی‌ها و دوستان خوبم به خاطر همراهی‌هایشان صمیمانه تشکر می‌نمایم.

چکیده

به منظور بررسی وضعیت فلزات سنگین کادمیوم و نیکل در دو خاک با بافت لوم رسی و لوم شنی و گیاه اسفناج در اثر افزودن آب آبیاری آلوده به این عناصر، تحقیقی به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در گلخانه دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری در سال ۱۳۹۰ به اجرا درآمد. فاکتور اول چهار سطح کادمیوم (۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۴۰۰ میلی‌گرم کادمیوم در لیتر از منبع نیترات کادمیوم)، فاکتور دوم چهار سطح نیکل (۰، ۲۰۰، ۴۰۰، ۸۰۰ میلی‌گرم نیکل در لیتر از منبع نیترات نیکل) و فاکتور سوم عمق خاک (۳-۰ و ۱۲-۷ سانتی متر) در نظر گرفته شد. این تحقیق روی خاک‌های با بافت لوم رسی و لوم شنی بطور جداگانه صورت پذیرفت. نتایج نشان داد کاربرد آب آبیاری آلوده، باعث افزایش میزان کادمیوم و نیکل کل و قابل جذب و تجمع این عناصر در اندام‌های گیاهی اسفناج نسبت به تیمار شاهد گردید. با افزایش غلظت کادمیوم در آب آبیاری، غلظت کل و تبادلی کادمیوم در خاک و تجمع آن در گیاه اسفناج افزایش یافت. همچنین با افزایش غلظت نیکل در آب آبیاری، غلظت این عنصر نیز در خاک و تجمع آن در اسفناج افزایش یافت. اثر متقابل تیمارهای آبیاری نشان داد که با افزایش نیکل در غلظت‌های ثابت کادمیوم، میزان کادمیوم تبادلی و کل کاهش یافت. در تیمار ۴۰۰ میلی گرم کادمیوم در لیتر بدون مصرف نیکل، کادمیوم تبادلی و کل در هر دو خاک حداکثر بود. بیشترین غلظت نیکل تبادلی و کل خاک، به تیمار ۸۰۰ میلی‌گرم نیکل در لیتر بدون مصرف کادمیوم تعلق داشت. میزان کادمیوم و نیکل تبادلی در خاک سبک بیشتر از خاک سنگین بود و میزان کادمیوم و نیکل کل در خاک لوم رسی بیشتر از خاک لوم شنی بود. میزان کادمیوم قابل تبادل و کل، نیکل تبادلی و کل در هر دو خاک در لایه سطحی خاک بیشتر از لایه زیرین بوده است. در خاک لوم رسی کادمیوم تجمع یافته در ریشه (۴۲/۵۵ میلی‌گرم در کیلوگرم) و اندام هوایی (۷۶/۱۴ میلی‌گرم در کیلوگرم) اسفناج، در تیمار ۴۰۰ میلی‌گرم کادمیوم در لیتر بدون کاربرد نیکل حداکثر بود. در خاک لوم شنی بیشترین مقدار کادمیوم در اندام هوایی (۸۳/۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) و ریشه (۴۹/۴۴ میلی‌گرم در کیلوگرم) اسفناج مربوط به تیمار ۴۰۰ میلی‌گرم کادمیوم در لیتر بدون مصرف نیکل بود. در دو خاک لوم رسی و لوم شنی، حداکثر میزان نیکل اندام هوایی (به ترتیب ۲۰۰/۵۱ و ۲۲۷/۳۹ میلی‌گرم در کیلوگرم) و ریشه (به ترتیب ۱۷۷/۰۹ و ۲۰۶/۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) در تیمار ۸۰۰ میلی‌گرم نیکل در لیتر و ۱۰۰ میلی‌گرم کادمیوم در لیتر مشاهده شد. میزان تجمع کادمیوم و نیکل در اندام‌های گیاهی اسفناج در خاک لوم شنی بیشتر از خاک لوم رسی بود. فاکتور تجمع زیستی کادمیوم و نیکل در اندام هوایی بیشتر از ریشه بود و میزان این فاکتور در خاک لوم شنی بیشتر از خاک لوم رسی بود. همچنین فاکتور انتقال کادمیوم و نیکل نیز در تمام تیمارها بیشتر از یک بود.

کلمات کلیدی: کادمیوم، نیکل، لوم رسی، لوم شنی و اسفناج

فهرست مطالب

فصل ۱: مقدمه **۱**
۱-۱- مقدمه ۲
۱-۲- اهداف پژوهش ۵

فصل ۲: کلیات **۶**
۲-۱- فلزات سنگین ۷
۲-۱-۱- کادمیوم ۹
۲-۱-۲- نیکل ۱۰
۲-۲- اسفناج ۱۲
۲-۲-۱- نیاز اکولوژیکی ۱۳
۲-۲-۲- آماده سازی خاک ۱۳
۲-۲-۳- تاریخ و فواصل کاشت ۱۴

فصل ۳: سابقه پژوهش **۱۵**
۳-۱- عناصر سنگین ۱۶
۳-۱-۱- کادمیوم ۱۹
۳-۱-۲- نیکل ۲۴
۳-۲- غلظت فلزات سنگین در گیاه ۲۶

فصل ۴: **۳۱**

مواد و روشها **۳۱**
۴-۱- محل مورد آزمایش ۳۲
۴-۲- تعیین خواص و مشخصات خاک تحت آزمایش ۳۲
۴-۲-۱- بافت خاک ۳۲
۴-۲-۲- اسیدیته و هدایت الکتریکی ۳۳
۴-۲-۳- کربن آلی خاک ۳۳
۴-۲-۴- آهک کل خاک ۳۴
۴-۳- فلزات سنگین خاک ۳۴
۴-۴- طرح آماری و تیمارها ۳۶
۴-۵- چگونگی انجام عملیات زراعی ۳۷
۴-۶- فلزات سنگین گیاه ۳۷
۴-۷- تجزیه آماری داده ها ۳۸

فصل ۵: نتایج و بحث **۳۹**
۵-۱- فلزات سنگین خاک ۴۰
۵-۱-۱- کادمیوم قابل جذب ۴۱
۵-۱-۲- کادمیوم کل ۴۶
۵-۱-۳- نیکل قابل جذب ۴۹
۵-۱-۴- نیکل کل ۵۳
۵-۱-۵- همبستگی ساده میان فلزات سنگین در دو خاک لوم رسی و لوم شنی ۵۴
۵-۲- کادمیوم و نیکل گیاه ۵۶
۵-۲-۱- کادمیوم ۵۷
۵-۲-۲- نیکل ۶۰
۵-۲-۳- همبستگی ساده میان فلزات سنگین اندامهای گیاهی اسفناج در دو خاک ۶۳
۵-۳- فاکتور غلظت ۶۴
۵-۴- نتیجه گیری کلی ۶۷
۵-۵- پیشنهادات ۷۰

فصل ۶: منابع **۷۱**

فهرست جداول

عناوین صفحه

جدول ۲-۱- حداکثر مقدار مجاز عناصر در خاک ۹

جدول ۲-۲- حدود استاندارد برخی از عناصر در برگهای جوان گیاهان.....۹

جدول ۴-۱- برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک‌های مورد آزمایش.....۳۵

جدول۵-۱- نتایج تجزیه واریانس تجمع عناصر سنگین در خاک لوم رسی تحت تیمارهای آبیاری و عمق متفاوت.....۴۰

جدول۵-۲- نتایج تجزیه واریانس تجمع عناصر سنگین در خاک لوم شنی تحت تیمارهای آبیاری و عمق متفاوت.....۴۱

جدول۵-۳- مقایسه میانگین اثر متقابل کادمیوم و نیکل بر غلظت کادمیوم کل و قابل جذب در دو خاک لوم رسی و لوم شنی.....۴۲

جدول۵-۴- مقایسه میانگین بر همکنش کادمیوم و عمق بر کادمیوم کل و قابل جذب در دو خاک لوم رسی و لوم شنی.....۴۴

جدول۵-۵- مقایسه میانگین بر همکنش کادمیوم و نیکل و عمق بر کادمیوم کل و قابل جذب در خاک لوم رسی.....۴۵

جدول۵-۶- مقایسه میانگین بر همکنش کادمیوم و نیکل و عمق بر کادمیوم کل و قابل جذب در خاک لوم شنی.....۴۵

جدول۵-۷- مقایسه میانگین بر همکنش نیکل و عمق بر کادمیوم کل در دو خاک لوم رسی و لوم شنی.....۴۷

جدول۵-۸- مقایسه میانگین اثر متقابل کادمیوم و نیکل بر غلظت نیکل کل و قابل جذب در دو خاک لوم رسی و لوم شنی.....۴۹

جدول۵-۹- مقایسه میانگین بر همکنش کادمیوم و عمق بر نیکل کل و قابل جذب در دو خاک لوم رسی و لوم شنی.....۵۰

جدول۵-۱۰- مقایسه میانگین بر همکنش نیکل و عمق بر نیکل کل و قابل جذب در دو خاک لوم رسی و لوم شنی.....۵۱

جدول۵-۱۱- مقایسه میانگین بر همکنش کادمیوم و نیکل و عمق بر نیکل کل و قابل جذب در خاک لوم رسی.....۵۲

جدول۵-۱۲- مقایسه میانگین بر همکنش کادمیوم و نیکل و عمق بر نیکل کل و قابل جذب در خاک لوم شنی.....۵۲

جدول ۵-۱۳- همبستگی ساده میان فلزات سنگین خاک لوم رسی.....۵۴
جدول ۵-۱۴- همبستگی ساده میان فلزات سنگین خاک لوم شنی.....۵۵
جدول ۵-۱۵- تجزیه واریانس میزان تجمع کادمیوم و نیکل در گیاه اسفناج در خاک لوم‌رسی ۵۶
جدول ۵-۱۶- تجزیه واریانس میزان تجمع کادمیوم و نیکل در گیاه اسفناج در خاک لوم‌شنی ۵۶
جدول۵-۱۷- مقایسه میانگین اثر متقابل کادمیوم و نیکل بر غلظت کادمیوم اندام هوایی و ریشه اسفناج در دو خاک لوم رسی و لوم شنی.....۵۷
جدول۵-۱۸- مقایسه میانگین اثر متقابل کادمیوم و نیکل بر غلظت نیکل اندام هوایی و ریشه اسفناج در دو خاک لوم رسی و لوم شنی.....۶۱
جدول ۵-۱۹- همبستگی ساده میان فلزات سنگین در اندام‌های گیاهی اسفناج در خاک لوم رسی.....۶۴
جدول ۵-۲۰- همبستگی ساده میان فلزات سنگین در اندام‌های گیاهی اسفناج در خاک لوم شنی.....۶۴
جدول ۵-۲۱- فاکتورهای انتقال و تجمع زیستی کادمیوم توسط اسفناج در خاک لوم رسی تحت تیمارهای مختلف کادمیوم و نیکل.....۶۵
جدول ۵-۲۲- فاکتورهای انتقال و تجمع زیستی کادمیوم توسط اسفناج در خاک لوم شنی تحت تیمارهای مختلف کادمیوم و نیکل.....۶۵
جدول ۵-۲۳- فاکتورهای انتقال و تجمع زیستی نیکل توسط اسفناج در خاک لوم رسی تحت تیمارهای مختلف کادمیوم و نیکل.....۶۶
جدول ۵-۲۴- فاکتورهای انتقال و تجمع زیستی نیکل توسط اسفناج در خاک لوم شنی تحت تیمارهای مختلف کادمیوم و نیکل.....۶۶

فصل ۱:

مقدمه

۱-۱- مقدمه

پس از آب و هوا، خاک مهم‌ترین جزء محیط زیست انسان تلقی می‌شود. مهمترین وظیفه خاک در قالب بستری جهت پرورش گیاهان تعریف می‌شود که نتیجه آن تولید مواد غذایی موردنیاز، جهت بقای نسل انسان‌ها و موجودات زنده است. ارتباط مداوم و مستقیم خاک با گیاهان نیاز توجه ویژه به سلامت خاک را تشدید می‌کند. هر گونه تغییر منفی در محیط خاک اثرات زیان آوری بر کیفیت گیاهان و به تبع آن بر سلامت غذای جوامع بشری خواهد داشت. با افزایش جمعیت در قرن اخیر، گسترش صنعت و دخالت‌ها و برنامه‌ریزی‌های نادرست انسان، روز به روز بر آلودگی‌های محیط زیست افزوده می‌شود (محمدی و عابدی، ۱۳۸۶). یکی از نیازهای اولیه گیاهان جهت رشد و تولید محصول، دسترسی به آب کافی می باشد. در اغلب مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیا از جمله اراضی وسیعی از ایران، مسئله بحران آب به عنوان یکی از اصلی‌ترین معضلات در مسیر ایجاد کشاورزی پایدار، مطرح است. با توجه به محدودیت آب کشور و روند رو به رشد مصرف آب در سال‌های اخیر به خصوص در بخش کشاورزی، که بیشترین سهم مصرف آب را به خود اختصاص داده، استفاده از منابع آبی با کیفیت پایین به عنوان راه حلی جهت رفع نیاز آبی بخش کشاورزی مورد توجه قرار گرفته است. ازجمله آب های کم‌کیفیت پساب‌ها می‌باشند. متأسفانه در بسیاری از نقاط کشور عدم تصفیه کامل پساب‌ها قبل از ورودشان به رودخانه سبب کاهش کیفیت و افزایش آلودگی آب رودخانه‌ها و به تبع آن آلودگی خاک‌های تحت آبیاری با اینگونه آب‌ها گشته است. ازجمله مسائلی که اخیراً توجه بسیاری از محققین را به خود جلب کرده حضور فلزات سنگین در پساب‌ها و ورود آن‌ها به خاک و در نهایت، به زنجیره غذایی است.

آلودگی خاک با فلزات سنگین یکی از مشکلات زیست محیطی عمده در جوامع بشری است که علاوه بر اثرات زیان آور بر فون و فلور خاک و آلودگی آب‌های زیرزمینی از طریق آبشویی، موجب کاهش عملکرد و کیفیت محصول و در نهایت با ورود به زنجیره غذایی سبب به خطر افتادن سلامتی افراد جامعه و دیگر

موجودات زنده می‌شود. آلودگی خاک به وسیله عناصر سنگین معمولاً پدیده‌ای مصنوعی بوده و حاصل فعالیت‌های انسان است که بخصوص در مناطق صنعتی به چشم می‌خورد. فعالیت‌های انسانی از جمله احداث کارخانجات صنعتی، استخراج معادن، سوخت‌های فسیلی، مصرف کودهای شیمیایی و آلی، فاضلاب‌های صنعتی و لجن فاضلاب منابع آلودگی عناصر سنگین می‌باشند (خسروی و همکاران، ۱۳۸۸). فلزات سنگین از جمله آلوده‌کننده‌های محیط زیست هستند. بدین مفهوم که می توانند تغییرات نامطلوب و پیش بینی نشده‌ای را در محیط زیست بوجود آورند و باعث اختلال در روند عادی چرخه‌ی حیات می‌شوند. این عناصر با ورود به زنجیره‌ی غذایی، در بدن انسان و حیوانات تجمع یافته و ممکن است سبب ایجاد خسارت به DNA و اثرات سرطان‌زایی به وسیله‌ی توانایی ایجاد جهش شوند (کاسمولر و همکاران[1]، ۱۹۹۸). فلزات سنگین عمدتاً از طریق دفع نادرست و غیربهداشتی فاضلاب شهری و پساب صنعتی وارد محیط زیست می‌گردند. در بین فلزات سنگین، فلز کادمیوم به دلیل تحرک و پویایی زیاد در خاک و جذب توسط گیاه، سمیت قابل توجهی را ایجاد می‌کند. نیمه عمر متوسط بیولوژیک کادمیوم ۱۸ سال در محیط زیست و ۱۰ سال در بدن انسان گزارش شده است (سالت[2] و همکاران، ۱۹۹۵). نیکل نیز یکی از فلزات سنگین است که در غلظت‌های پایین اثر سمی بر گیاه ندارد ولی در غلظت‌های بالا برای گیاهان سمی است. نیکل خاک به میزان بسیار زیادی به طبیعت مواد مادری بستگی دارد. برای مثال خاک‌های تشکیل یافته از مواد مادری سرپانتین می‌تواند حاوی ۱۰۰ تا ۷۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم نیکل باشد (حسینی، ۱۳۷۳).

روش‌های متعدد فیزیکی و شیمیایی برای پالایش خاک وجود دارد. گیاه پالایی یک روش آلودگی زدایی درجا و مستقیم برای خاک‌های آلوده به آلاینده‌های آلی و معدنی است. اساس این روش در واقع استفاده

---

[1] Knasmuller et al

[2] Salt

از گونه‌های گیاهی با توان بسیار بالای جذب و انباشت عناصر کمیاب است. سبزیجات از جمله این گیاهان می‌باشد و جذب متفاوت عناصر به وسیله سبزیجات برگی به تفاوت گیاهان در تحمل عناصر سنگین نسبت داده می‌شود. وجود غلظت بالای عناصر ازت، سرب، کادمیوم و مس در سبزیجات برگی بدلیل استفاده از فاضلاب‌های شهری، صنعتی و همچنین مصرف کنترل نشده کودهای شیمیایی و دامی، می تواند عوارض ناگواری برای سلامتی انسان ایجاد کند. سبزیجات برگی قابلیت جذب و ذخیره بالایی در خصوص این عناصر دارند. لذا با توجه به مصرف بالای این دسته از سبزیجات، کنترل غلظت این عناصر جهت حفظ سلامتی مصرف کننده حائز اهمیت می‌باشد (نعمت اله ثانی و همکاران، ۱۳۸۵). با توجه به اینکه گیاهان نقش مهمی را در انتقال فلزات سنگین در خاک‌های کشت شده به عهده دارند، در نتیجه می‌توانند راهی برای ورود سموم و آلاینده‌ها به چرخه غذایی باشند.

سبزیجات برگی امروزه در دنیا به صورت گسترده‌ای کشت می‌شوند و به سبب ارزش غذایی فراوانی که دارند، جزو محصولات پر اهمیت به شمار می‌آیند. سبزیجاتی مانند کاهو، نعناع، ریحان، مرزه، جعفری، شوید، شاهی، اسفناج و تره به لحاظ دارا بودن انواع ویتامین‌ها، مواد معدنی، مواد پروتئینی و مواد سلولزی نقش بسیار مهمی در تغذیه و سلامتی انسان ایفا می‌کنند. این دسته از سبزیجات به طور عمده قسمت قابل توجهی از سبد روزانه خواربار خانواده را تشکیل می‌دهند (پیوست، ۱۳۸۱و دانشور ۱۳۸۳). با توجه به مصرف بالای این سبزیجات، تولید محصولاتی سالم حائز اهمیت می‌باشد. یکی از فاکتورهای مهم و مؤثر جهت تشخیص میزان سلامت این محصولات، غلظت عناصر سنگین آن می‌باشد زیرا که سبزیجات برگی قابلیت بالایی در جذب و ذخیره فلزات سنگینی چون سرب، کادمیوم و مس دارند (آنونیمس[1]، ۱۹۹۰) و تجمع این مواد در بدن انسان سبب ایجاد عوارض ناگوار و سوئی می‌شود (ملکوتی

[1] Anonymous

و همکاران، ۱۳۸۳و فرگوسن[1]، ۱۹۹۰). استفاده از فاضلاب‌های شهری و صنعتی و کاربرد بی رویه کودهای شیمیایی از عوامل مؤثر در بالا رفتن غلظت و ایجاد حالت سمیت عناصر ذکر شده در مصرف کننده می‌باشند که بروز مسمومیت‌های حاد و مزمن و انواع مختلف سرطان‌ها و بیماری‌های خونی نمونه‌هایی از عوارض آن هستند (رباطی و همکاران، ۱۳۷۷. آلوی وی[2]، ۱۹۹۵). به طور معمول مصرف فاضلاب‌های شهری و پساب‌های صنعتی جهت تولید سبزیجات خوراکی در حاشیه شهرهای بزرگ و یا کارخانجات صورت می‌گیرد که در این فاضلاب‌ها فلزات سنگین نیز وجود دارند. قابل ذکر است که این عناصر عموماً برای خود گیاه حالت سمی ندارند و به راحتی جذب می‌شوند ولی ذخیره آنها در گیاه و مصرف توسط انسان باعث به خطر افتادن سلامتی او می‌شود (صلحی وهمکاران، ۱۳۸۴). این مسأله محققان ایران و کشورهای دیگر را بر آن داشته است تا در زمینه‌ی مصرف آب‌های آلوده و معضلات ناشی از آن، تحقیقات گسترده‌ای را انجام دهند که تحقیق حاضر نیز نمونه‌ای از آن محسوب می‌شود.

۱-۲- اهداف پژوهش

۱. تعیین مقدار نیکل و کادمیوم تجمع یافته در خاک تحت آبیاری با آب آلوده به نیکل و کادمیوم
۲. تعیین اثر بافت خاک بر میزان تجمع نیکل و کادمیوم در خاک و انتقال آنها به ریشه و اندام هوایی گیاه اسفناج

[1] Fergusson

[2] Alloway

فصل ۲:

کلیات

۲-۱- فلزات سنگین

فلزات سنگین یک واژه عمومی است که برای گروهی از فلزات و شبه فلزات با چگالی اتمی بالاتر از ۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب یا بیشتر از چگالی آب به کار می‌رود (نریاگو[1] ۱۹۸۹، گاربراینو و همکاران[2] ۲۰۰۳، هوتون و جین[3] ۲۰۰۸). بعضی از آنها مانند روی، مس و مولیبدن در کشاورزی عناصر کم مصرف نامیده می‌شوند. وجود بعضی از این عناصر مانند کبالت و وانادیم برای رشد گیاه مفید تشخیص داده شده‌اند و دسته دیگر نظیر نیکل، کروم و سلنیوم دارای اثرات سمی بیشتری می‌باشند (رضایی زنگنه، ۱۳۷۷). فلزات سنگین از جمله آلوده کننده‌های محیط زیست هستند، بدین مفهوم که می‌توانند تغییرات نامطلوب و پیش بینی نشده‌ای را در محیط زیست بوجود آورند که باعث اختلال در روند عادی چرخه‌ی حیات می‌شود (لیندسی[4]، ۱۹۷۳). این عناصر با ورود به زنجیره‌ی غذایی، در بدن انسان و حیوانات تجمع یافته و ممکن است سبب ایجاد خسارت به DNA و اثرات سرطان زایی به وسیله‌ی توانایی ایجاد جهش شوند (کاسمولر و همکاران، ۱۹۹۸).

بعضی از عناصر کمیاب برای متابولیسم طبیعی انسان لازم هستند ولی مقادیر بیشتر از حد مورد نیاز آنها برای بدن، ایجاد سمیت می‌کند. وضعیت آسیب شناسی ناشی از فلزات مربوط به یکی از ناهنجاری‌های فیزیولوژیکی (ژنتیکی) و یا بیوشیمیایی (محیطی) می‌باشد. افزایش این فلزات در بدن و بهم ریختن توازن آن ناشی از یکی از موارد زیر می‌باشد:

۱. استفاده بیش از اندازه از مواد غذایی

---

[1] Nriagu
[2] Garbarino et al
[3] Hutton & Jin
[4] Lindsay

۲. جذب بیش از اندازه
۳. کاهش تلفات و دفع از بدن
۴. کاهش متابولیسم مواد غذایی به دلیل رقابت یا توقیف متابولیسم

همانطور که گفته شد ناهنجاری‌های فیزیولوژیکی یا بیوشیمیایی ممکن است به خاطر یکی از دلایل فوق برای موجودات زنده بخصوص انسان اتفاق افتد (گوپتا[1]، ۱۹۹۸).

عناصر سنگین در خاک تحرک بسیار کمی دارند به نحوی که با افزایش این عناصر تقریباً تمامی آنها در لایه سطحی خاک و حداکثر تا عمق ۳۰ سانتی‌متری باقی می‌مانند. اثر متقابل فلزات سنگین مانند کادمیوم، کروم، نیکل و سرب با مقدار رس خاک ارتباط دارد. غلظت عناصر سنگین در خاک‌های آلوده نشده با چندین فاکتور ارتباط دارد که از جمله این فاکتورها سیکل‌های بیوژئوشیمیایی، مواد مادری، توزیع اندازه اجزاء، سن خاک، مینرالوژی، میزان مواد آلی و زهکشی خاک می‌باشد (لاوادا[2]، ۱۹۹۸). با آنکه در کشورهای صنعتی برای غلظت فلزات سنگین حدودی تعیین شده است لیکن این امر برای همه جا یکسان نیست، زیرا اولاً غلظت مجاز این عناصر در کشورهای مختلف متفاوت بوده و ثانیاً دامنه تغییرات بین کمترین و بیشترین غلظت مجاز، گاهی به صد برابر بالغ می‌شود (سالاردینی، ۱۳۷۱). در جدول ۲-۱ و ۲-۲ حدود استاندارد بعضی عناصر در خاک و برگ‌های جوان گیاه توسط برخی کشورها و سازمان‌ها به اختصار ذکر شده است (اسلوان و دوولی[3]، ۱۹۹۸).

[1] Gupta
[2] Lavado
[3] Sloan & Doweley

جدول ۲-۱: حداکثر مقدار مجاز عناصر در خاک (میلی‌گرم در کیلوگرم)

عنصر	کمیته اقتصادی اروپا	اونتاریو	آلمان	شمال شرقی آمریکا
کادمیوم	۰/۵	۰/۸	۳	۲/۵
کبالت	-	۱۵	-	-
کروم	۲۵	۱۰۵	۱۰۰	۵۰
مولیبدن	-	۲	-	-
نیکل	۱۵	۱۶	۵۰	۲۵
سرب	۲۵	۴۵	۱۰۰	۲۵۰
روی	۷۵	۱۶۵	۳۰۰	۱۲۵
مس	۲۵	۷۵	۱۰۰	۶۲/۵

جدول ۲-۲: حدود استاندارد برخی از عناصر در برگ‌های جوان گیاهان (میلی‌گرم در کیلوگرم)

عنصر	غلظت در گیاهان حساس	حد سمیت	حد طبیعی	حد کمبود
کادمیوم	۳	۵-۳۰	۰/۰۵-۰/۲	-
کبالت	۵	۱۵-۲۰	۰/۰۲-۱	-
کروم	۲	۵-۳۰	۰/۱-۰/۵	-
مولیبدن	-	۱۰-۵۰	۳۰-۳۰۰	۰/۱-۰/۳
نیکل	۵۰	۱۰-۱۰۰	۰/۱-۵	-
سرب	۱۰	۳۰-۳۰۰	۵-۱۰	-
روی	۳۰۰	۱۰۰-۴۰۰	۲۷-۱۵۰	۵-۲۰
مس	۵۰	۲۰-۱۰۰	۵-۳۰	۲-۵

۲-۱-۱- کادمیوم

کادمیوم عنصر شیمیایی است که در جدول تناوبی با عدد اتمی ۴۸ قرار گرفته است. عنصری است نسبتاً کمیاب، نرم، رنگ سفید مایل به آبی و سمی می‌باشد که در سنگ معدن روی وجود دارد. فلزی است دو ظرفیتی و از بسیاری جهات شبیه به روی است، اما ترکیبات پیچیده بیشتری بوجود می‌آورد. معمولی-ترین حالت اکسیداسیون کادمیوم $^{+2}$ می‌باشد، گرچه نمونه‌های کمیابی از $^{+1}$ را نیز می‌توان پیدا کرد

(کوک و بیی[1]، ۱۹۹۸). عنصر کادمیوم در صنایع رنگ و پلاستیک مصرف دارد و در سموم قارچ‌کش، باطری‌سازی و عکاسی نیز به کار رفته و همچنین در کودهای شیمیایی نیز یافت می‌شود. کادمیوم یک فلز سنگین با اهمیت زیاد است زیرا تجمع آن در گیاه ممکن است به سلامتی انسان آسیب برساند (مورتوت[2]، ۱۹۹۶). اثرات منفی این عنصر بر فعالیت‌های بیولوژیکی خاک، متابولیسم گیاه و سلامت انسان و حیوانات شناخته شده است (استوپلر[3] ۱۹۹۱، کاباتا پندیاس و پندیاس[4] ۱۹۹۹). غلظت کادمیوم در کودهای فسفاتی از صفر تا ۱۷۰ میلی‌گرم در کیلوگرم متفاوت است. این عنصر در خاک‌های اسیدی به وسیله گیاه جذب می‌گردد و غلظت‌های غیرمجاز آن عوارض نامطلوبی را در پیش می‌آورد و سبب کاهش رشد و عملکرد گیاهان می‌شوند. در صورتیکه کادمیوم توسط گیاهان مرتعی جذب شود، چرای دام از این گیاهان سبب ورود این فلزات به زنجیره غذایی انسان و حیوانات شده و منجربه بروز بیماری‌های متعدد در آنها می‌شود. غلظت کادمیوم در خاک‌های زراعی معمولی نزدیک به یک و در اطراف کارخانه‌های ذوب فلزات و مصرف کننده این عنصر تا ۱۷۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک دیده شده است (ملکوتی و همایی، ۱۳۸۲).

۲-۱-۲- نیکل

نیکل عنصر شیمیایی جدول تناوبی با عدد اتمی ۲۸ و یک کاتیون دو ظرفیتی است که قاعدتاً باید توسط خاک به صورت کمپلکس جذب سطحی شود. نیکل از عناصری است که در صنایع فولاد، رنگ، لوازم

[1] Cook & Beyea
[2] Mortvedt
[3] Stoeppler
[4] Kabata- Pendias & Pendias

آرایشی و وسایل برقی مصرف می‌شود. بر اساس مطالعات انجام شده، میزان نیکل مورد نیاز انسان کمتر از ۱۰۰ میکروگرم در هر روز است (خان و همکاران[1]، ۲۰۰۰). نیکل نیز مانند مس و کادمیوم به صورت ترکیبات چنگالی درآمده و در خاک جابه‌جا می‌شود (مک براید[2]، ۱۹۹۵). غلظت معمول نیکل در خاک ۷۵-۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم و حد بحرانی غلظت آن در خاک ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد (حسینی، ۱۳۷۳). طبق بررسی‌های انجام شده تاکنون حدود ۳۱۷ گونه گیاهی به عنوان ابر جاذب نیکل شناسایی شده است (تری و بانوئلس[3]، ۲۰۰۰).

[1] Khan et al
[2] Mc Bride
[3] Terry & Banuelus

۲-۲- اسفناج

اسفناج یا اسپیناج گیاه بومی ایران است و از اوایل قرن اول میلادی کم‌کم به نقاط دیگر دنیا راه یافت. طوری که در تاریخ مسطور است اسفناج در قرن هفتم در چین و در قرن دوازدهم در اسپانیا کشت می شده است . اسفناج گیاهی است یک ساله، دارای ساقه‌ای راست که برگ‌های آن پهن و نرم مثلثی شکل به رنگ سبز می‌باشد. اسفناج نسبت به سرمای زمستان مقاوم است .

دو نوع اسفناج وجود دارد که بنام پاییزه و بهاره نامیده می‌شود. اسفناج بهاره، در فصل بهار کاشته می شود و به اسفناج انگلیسی معروف است. نوع پاییزه آن که به خاک بسیار غنی احتیاج دارد، در پاییز کاشته می‌شود. گل‌های اسفناج به رنگ سبز کمرنگ می‌باشد .

اسفناج چون دارای مواد غذایی فراوانی است کشت آن امروز در تمام نقاط دنیا معمول است. اسفناج گیاهی است روز بلند که پس از سبز شدن تولید برگ‌های طوقه‌ای (Rossete) می‌کند به این ترتیب که در یک سطح در اطراف ساقه کوتاهی به طول چند میلی‌متر نزدیک به سطح خاک قرار می‌گیرند. در طی رشد بعدی این ساقه طویل شده و از آن شاخه‌های جانبی دیگری از محل برگ‌های طوقه‌ای به ساقه اصلی منشعب می‌شوند. ممکن است از ساقه اصلی ساقه‌های فرعی درجه ۱ و ۲ همراه با شاخه‌های جانبی درجه ۱ و ۲ نیز بوجود آیند. اندازه گیاه می‌تواند بین ۸ تا ۱۰ سانتی‌متر متفاوت باشد. ریشه اصلی گیاه عمیق است و می‌تواند تا عمق ۱۴۰ سانتی‌متری در خاک نفوذ کند. از این نظر می‌توان این گیاه را در خاک‌های شور به خوبی کشت نمود. ریشه‌های فرعی این گیاه دوکی شکل و حداکثر تا ۶۰ سانتی-متری خاک پراکنده‌اند. برگ‌ها در ارقام مختلف دارای فرم و رنگ متفاوتی هستند و به شکل‌های تخم مرغی، بیضوی و یا نیزه‌ای وجود دارند. کناره برگ‌ها می‌تواند کاملاً صاف و یا دندانه‌دار باشد. پهنک برگ نیز صاف و یا دارای چین و چروک است. گل‌های نر و ماده می‌توانند روی یک یا دو پایه قرار گیرند. امروزه دو واریته از این گیاه کشت می‌شود: