Archive of SID

نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار
جلد هشتم، شماره چهارم، ۱۳۹۷
http://ejsms.gau.ac.ir

ارزیابی خطر فلزات سنگین در خاک‌های اطراف شرکت فولاد خوزستان

محبوبه لجمیر اورک نجاتی[۱]، *نفیسه رنگزن[۲]، حبیب‌الله نادیان قمشه[۳] و بیژن خلیلی‌مقدم[۴]

[۱]دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان،
[۲]استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان،
[۳]استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان،
[۴]دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان

تاریخ دریافت: ۹۷/۷/۲۹؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۰/۱۶

چکیده

سابقه و هدف: فلزات سنگین جزء آلاینده‌هایی هستند که با توجه به پایداری و دوام آن در محیط زیست، امروزه به یک معضل جهانی تبدیل شده‌اند. ورود این عناصر به زنجیره غذایی از روش‌های مختلف، تهدیدی جدی برای انسان و سایر موجودات می‌باشد. در اراضی کشاورزی واقع در اطراف مناطق صنعتی این تهدید جدی‌تر به‌نظر می‌رسد. بنابراین این پژوهش، با هدف ارزیابی خطر فلزات سنگین در خاک‌های اطراف شرکت صنایع فولاد خوزستان صورت گرفت.

مواد و روش‌ها: به‌منظور بررسی اثر کودهای آلی بر غلظت عناصر سنگین در گیاه اسفناج و گشنیز در خاک‌های آلوده طبیعی اطراف کارخانه صنایع فولاد خوزستان و محاسبه نسبت خطر (HQ) جهت ارزیابی سلامت غذایی این محصولات، آزمایشی فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با سه تیمار فاصله از کارخانه صنایع فولاد (در سه سطح ۱۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ متر)، کود پیت (در دو سطح ۰ و ۳ درصد وزنی) و کود ورمی‌کمپوست (در دو سطح ۰ و ۳ درصد وزنی) با کشت دو گیاه آزمایشی اسفناج و گشنیز در سه تکرار انجام شد. مقدار عناصر روی، مس، نیکل، کادمیوم و سرب در نمونه‌های خاک به روش هضم با اسید (جهت برآورد مقدار کل)، عصاره‌گیری با DTPA و EDTA (جهت برآورد مقدار قابل‌دسترس) و در گیاه به روش خاکسترگیری تر انجام و با استفاده از دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد. نتایج مربوط به خاک و گیاه به‌ترتیب برای محاسبه شاخص آلودگی خاک و نسبت خطر مورد استفاده و ارزیابی قرار گرفتند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد با افزایش فاصله از ۱۰۰ متر به ۱۰۰۰۰ متر، مجموع مقدار کل فلزات سنگین در خاک حدود ۷۵ درصد کاهش می‌یابد که بیانگر نقش مستقیم کارخانه صنایع فولاد در آلودگی زمین‌های اطراف است. کودهای آلی با تأثیر بر تثبیت فلزات، خطر رهاسازی آن‌ها به محیط زیست را کاهش می‌دهند. با مقایسه اثرات دو کود نتایج بیانگر آن است که اثر کود پیت نسبت به کود ورمی‌کمپوست در جذب سطحی عناصر و در نتیجه کاهش انتقال فلزات

* مسئول مکاتبه: n.rangzan@ramin.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

سنگین به گیاه بیش‌تر بوده، اما ورمی‌کمپوست در افزایش وزن تر و خشک گیاه مؤثرتر عمل کرده است. نسبت خطر محاسبه شده برای عناصر سرب و کادمیوم بیش‌تر از حد مجاز بود، اما در مورد سایر عناصر در شرایط فعلی خطری وجود ندارد که علت آن را می‌توان اثر ویژگی‌های خاک بر عدم انحلال‌پذیری ترکیبات حاوی فلزات سنگین دانست.

نتیجه‌گیری: با توجه به ارزش غذایی سبزیجات و اهمیت سلامت محصولات ارائه شده، استفاده از کودهای آلی جهت غنی‌سازی خاک‌ها علاوه بر افزایش کمیت، می‌تواند بر سلامت محصولات به‌ویژه در مناطق با تهدید آلودگی‌های زیست‌محیطی کمک نماید.

واژه‌های کلیدی: اسفناج، شاخص آلودگی، کود آلی، گشنیز، نسبت خطر

مقدمه

استان خوزستان از دیرباز در بخش کشاورزی دارای استعدادهای فراوان بوده است. امکانات جغرافیایی (داشتن خاک حاصلخیز، وجود رودخانه‌های دائمی و فصلی فراوان، وجود راه‌های آبی و خشکی و غیره) همگی باعث شده تا این استان به یکی از قطب‌های کشاورزی ایران تبدیل شود. علاوه بر قابلیت‌های ویژه جهت پیشبرد اهداف کلان کشور در بخش کشاورزی، ظرفیتی منحصربه‌فرد از لحاظ فعالیت‌های صنعتی در این استان وجود دارد که گاهاً سودآوری این صنایع بر دغدغه‌های زیست‌محیطی پیشی گرفته و موجبات آلودگی را فراهم ساخته است. افزایش فعالیت‌های صنعتی توأم با تولید آلاینده‌ها از جمله فلزات سنگین یکی از مشکلات جدی و در حال گسترش پیش‌روی انسان عصر حاضر است (۳۲). مقاومت و پایداری عناصر سنگین در خاک نسبت به سایر آلاینده‌ها بسیار طولانی‌تر بوده و آلودگی خاک توسط فلزات سنگین تقریباً دائمی است (٦). صنایع آهن و فولاد، استخراج از معادن، حمل و نقل جاده‌ای، نیروگاه‌ها و سوزاندن پسماند از عوامل ورود فلزات سنگین به خاک و آب در اکوسیستم‌های سطحی محسوب می‌شوند (٢٤). خاک مناطق صنعتی به‌ویژه نواحی اطراف کارخانجات ذوب فلز و تولید فولاد با توجه به خروج گازهای حاوی فلزات سنگین بیش‌تر در معرض آلوده شدن قرار می‌گیرند که با توجه به خصوصیات فلز سنگین و همچنین خصوصیات خاک در صورت کشت گیاه، اثرات سمی متفاوتی مشاهده خواهد شد. شارما و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند فرونهشت‌های جوی تأثیر به‌سزایی در افزایش غلظت آلاینده‌های فلزی در سبزیجات عرضه شده برای فروش در واراناسی هندوستان دارند. عموماً هرچه غلظت فلزات سنگین در خاک افزایش یابد بر مقدار قابلیت دسترسی زیستی این عناصر افزوده می‌شود (۲۳). با افزایش قابلیت دسترسی زیستی، جذب این عناصر توسط گیاه بیش‌تر شده و بنابراین فرآیندهای فیزیولوژیکی مانند تنفس، فتوسنتز، رشد سلولی، تعادل آب در گیاه، متابولیسم نیتروژن و تغذیه معدنی گیاه تحت‌تأثیر قرار می‌گیرند که نتیجه آن کاهش رشد گیاه خواهد بود. جذب بیش از حد این عناصر توسط گیاهان و ورود به زنجیره غذایی، سلامتی انسان را مورد تهدید قرار می‌دهد (٤). این فلزات در مقادیر بالا می‌توانند باعث اختلالات مورفولوژیکی، کاهش رشد، افزایش مرگ و میر و اثرات ژنتیکی در انسان شوند (۷). در کشور ایران ۵۰ درصد از سرطان‌های شایع کشور مربوط به دستگاه گوارش است که از این میان سرطان معده

www.SID.ir

Archive of SID

شایع‌تر است و پژوهش‌ها نشان داده است که آلودگی‌های زیست‌محیطی (از مناطق صنعتی و یا کودهای کشاورزی) و وجود فلزات سنگین در محیط و چرخه غذایی می‌تواند از عوامل مؤثر و مهم در ایجاد این نوع سرطان به‌شمار آیند (۱۸ و ۲۰). عوامل متعددی از جمله نوع و مقدار کلوئیدهای خاک، پ- هاش، غلظت یونی محلول، غلظت کاتیونی فلز، حضور کاتیون‌های فلزی رقابت‌کننده و وجود لیگاندهای آلی و معدنی بر جذب فلزات مؤثر می‌باشند (۲۳). مواد آلی در خاک می‌توانند علاوه بر افزایش عملکرد، تحت شرایط آلودگی با کنترل آلاینده‌ها اثرات زیست‌محیطی آنها را تحت‌تأثیر قرار دهند (۱۹). از سال ۱۹۷۰ حوزه ارزیابی ریسک توسط سازمان‌های زیست‌محیطی و مراجع علمی به‌طور گسترده مورد توجه قرار گرفت (۲٦). ارزیابی ریسک یک چارچوب مفهومی است که مکانیسمی را برای بررسی اطلاعات مرتبط با تخمین پیامدهای بهداشتی و زیست‌محیطی فراهم می‌کند (۱۷). ارزیابی خطر فلزات سنگین در چهار مرحله انجام می‌شود: ۱- تشخیص خطر، ۲- ارزیابی مقدار مبنا، ۳- ارزیابی راه‌های تماس و ٤- توصیف خطر. در مرحله اول اثرات زیانبار مواد شیمیایی برای سلامت انسان، تشخیص داده می‌شود. در مرحله دوم سطح مبنا برای بیماریزا بودن عناصر تعیین می‌شود. در مرحله سوم راه‌های مختلف تماس با مواد شیمیایی یعنی جذب از مسیر خوردن، جذب از مسیر پوست و استنشاق ذرات معلق بررسی می‌شود و در مرحله چهارم ضریب خطرپذیری ناشی از این سه مسیر با روابط مربوطه محاسبه می‌گردد (۲۹). نسبت خطر[1] برای نشان دادن خطرات غیرسرطان‌زایی ترکیبات موجود در محیط بر سلامت انسان اولین بار توسط سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا جهت ارزیابی خطرات تهدیدکننده سلامت انسان در اثر وجود آلاینده‌های سمی موجود در اتمسفر مورد استفاده قرار گرفت. برین و چاوشی (۲۰۱۷) با محاسبه نسبت خطر گزارش کردند احتمال ابتلا به بیماری‌های غیرسرطانی از طریق مصرف خوراکی گندم و برنج کشت شده در خاک‌های اطراف معدن ایرانکوه اصفهان، وجود ندارد (۲). سانگ و همکاران (۲۰۱۵) با بررسی سبزیجات کشت شده در منطقه ساکسیان (واقع در جنوب چین) و برآورد شاخص خطر (مجموع نسبت‌های خطر محاسبه شده برای عناصر آرسنیک، سرب و کادمیوم) گزارش کردند مقدار این شاخص بیش‌تر از یک و یا بسیار نزدیک به حد آستانه می‌باشد و بنابراین مصرف سبزیجات کشت شده در این منطقه را توصیه نکردند (۲۷). با توجه به این‌که بسیاری از منابع آلودگی‌های زیست‌محیطی در استان خوزستان شناخته شده هستند و پراکندگی زیادی در سطح استان دارند و همچنین عدم تفکیک و مرزبندی زمین‌های کشاورزی و مناطق صنعتی بر اساس استانداردهای زیست‌محیطی (به‌علت توسعه غیراصولی شهری، روستایی و صنعتی) پرداختن به این موضوع که آیا محصولات کشاورزی با کیفیتِ مطلوب از زمین‌های کشاورزی به‌ویژه زمین‌های اطراف مناطق صنعتی به بازار عرضه می‌شوند یا خیر، ضروری به‌نظر می‌رسد. بنابراین پژوهش حاضر با هدف بررسی سطح آلودگی خاک در نواحی اطراف کارخانه صنایع فولاد اهواز و ارزیابی نسبت خطر گیاهان کشت شده در این خاک‌ها با مقایسه اثر دو نوع کود آلی مدنظر قرار گرفت. با توجه به نسبت خطر محاسبه شده در گیاهان، کیفیت آن‌ها از لحاظ سلامت مصرف، ارزیابی شد.

مواد و روش‌ها

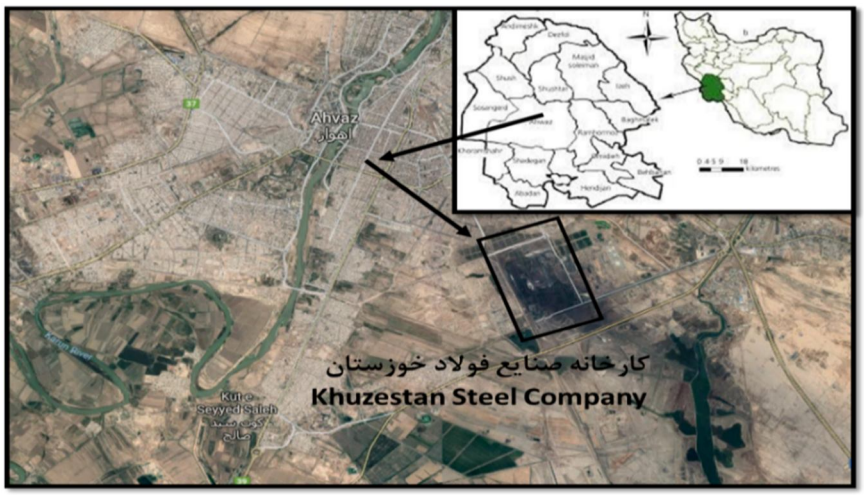
منطقه مورد مطالعه، نمونه برداری و تجزیه خاک: شهر اهواز، مرکز استان خوزستان به‌دلیل دارا بودن

1- Hazard Quotient

www.SID.ir

Archive of SID

منابع معدنی و طبیعی ارزشمند مانند نفت و گاز به یکی از قطب‌های صنعتی کشور تبدیل شده است. یکی از صنایعی که معیاری برای صنعتی بودن هر کشوری در جهان محسوب می‌شود، صنایع فولاد و ذوب فلزات می‌باشد. از لحاظ موقعیت جغرافیایی شرکت فولاد خوزستان در محدوده ۳۱ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۱۷ دقیقه طول جغرافیایی و ٤۸ درجه و ٤۳ دقیقه و ٤۸ درجه و ٤٤ دقیقه عرض جغرافیایی قرار دارد. سه نمونه مرکب از عمق ۱۵-۰ سانتی‌متری از فواصل ۱۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ متری (با استفاده از دستگاه GPS فاصله دقیق مشخص گردید) از منطقه اطراف شرکت فولاد و در جهت باد غالب منطقه (غربی- شرقی) تهیه شد (شکل ۱). این پژوهش به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با سه تیمار فاصله از شرکت صنایع فولاد در سه سطح ۱۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ متر، کود پیت در دو سطح ۰ و ۳ درصد وزنی و کود ورمی‌کمپوست در دو سطح ۰ و ۳ درصد وزنی با کشت دو گیاه آزمایشی اسفناج و گشنیز در سه تکرار (در مجموع ٤۸ گلدان آزمایشی) انجام شد. این دو گیاه به‌علت اقبال نسبت به کشت و مصرف آن‌ها در منطقه مورد مطالعه، انتخاب شدند. پس از تهیه نمونه‌های آزمایشگاهی (هواخشک شدن و عبور از الک ۲ میلی‌متر) برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی شامل بافت، شوری، پ- هاش، درصد آهک و مواد آلی خاک با روش‌های استاندارد مورد آزمون قرار گرفت (١٤). جهت تعیین مقدار کل فلزات سنگین، مقادیر محلول + تبادلی و مقدار محلول در خاک (با قابلیت دسترسی زیستی زیاد) به‌ترتیب از روش‌های هضم با دو اسید (شامل اسید نیتریک و اسید هیدروکلریک به نسبت ۳:۱ مطابق با روش کواویلر، ۱۹۹۸)، عصاره‌گیری با استفاده از استخراجگر EDTA (۲۱) و عصاره‌گیری با DTPA (١٦) استفاده شد و عصاره‌ها با استفاده از دستگاه جذب اتمی (مدل ContraAA-300) جهت اندازه‌گیری عناصر سنگین شامل روی (Zn)، مس (Cu)، نیکل (Ni)، کادمیوم (Cd) و سرب (Pb) مورد آزمایش قرار گرفتند.



شکل ۱- منطقه نمونه‌برداری. با توجه به تصویر ارائه شده شرکت فولاد خوزستان با رنگی متمایز نسبت به مناطق مجاور رؤیت می‌شود که جهت باد غالب نیز به خوبی در تصویر با توجه به پراکنش غبارات، قابل تشخیص می‌باشد.

Figure 1. Khuzestan Steel Company.

www.SID.ir

Archive of SID

کشت گیاه و انجام تجزیه شیمیایی بافت گیاهی: قبل از قرار دادن خاک در گلدان‌ها، کودهای آلی در دو سطح ۰ و ۳ درصد وزنی (به‌صورت جداگانه در تیمار اثرات مستقل و به‌صورت هم‌زمان در تیمار اثر متقابل (۳ درصد پیت + ۳ درصد ورمی‌کمپوست)) به خاک اضافه و مخلوط گردید. خاک‌ها به‌مدت دو هفته در رطوبت ۷۰ درصد ظرفیت زراعی نگهداری شدند. جهت کشت گلخانه‌ای از گلدان‌های پلاستیکی ۳ کیلوگرمی استفاده شد. گلدان‌های شاهد بدون اضافه کردن کود ورمی‌کمپوست و پیت آماده شدند. بذرهای اسفناج و گشنیز جهت جوانه‌زنی درون حفره‌های ایجاد شده در خاک گلدان‌ها قرار داده شدند. با توجه به شرایط خاک و وضعیت گیاه، آبیاری صورت گرفت و در انتهای هفته هشتم رشد (با توجه به این‌که اسفناج یک محصول ٤٠ تا ٦٠ روزه است و در مرحله ۵ تا ۷ برگه شدن برداشت می‌شود؛ گیاه گشنیز ٦٠ تا ٨٠ روز پس از کاشت وارد مرحله گلدهی می‌شود، بنابراین قبل از رسیدن به این مرحله برداشت صورت گرفت)، اندام هوایی گیاه از سطح خاک به‌وسیله قیچی باغبانی قطع و پس از توزین وزن تر گیاهان جهت اندازه‌گیری وزن خشک، گیاهان در پاکت‌های مقوایی در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد در آون به‌مدت ٤٨ ساعت خشک گردیدند. جهت اندازه‌گیری عناصر سنگین شامل روی، مس، نیکل، کادمیوم و سرب از روش خاکسترگیری تر استفاده شد (۲۳) و در نهایت غلظت فلزات در گیاه توسط دستگاه جذب اتمی قرائت گردید. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها به روش LSD در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت. رسم نمودارها به کمک نرم‌افزار Excel انجام شد.

شاخص آلودگی خاک: ارزیابی آلودگی خاک نمونه‌های جمع‌آوری‌شده از مناطق اطراف شرکت صنایع فولاد با توجه به غلظت اندازه‌گیری‌شده، با استفاده از رابطه‌های زیر صورت گرفت (۱۱):

$$Pi = \frac{Ci}{Xa} \dots\dots\dots \text{if} \quad Ci \le Xa \qquad (۱)$$

$$Pi = 1 + \frac{Ci-Xa}{Xb-Xa} \dots\dots \text{if} \quad Xa < Ci \le Xb \qquad (۲)$$

$$Pi = 2 + \frac{Ci-Xb}{Xc-Xb} \dots\dots \text{if} \quad Xb < Ci \le Xc \qquad (۳)$$

$$Pi = 3 + \frac{Ci-Xc}{Xc-Xb} \dots\dots\dots \text{if} \quad Ci > Xc \qquad (٤)$$

که در آن، P_i شاخص آلودگی[1]، C_i غلظت فلز سنگین در نمونه خاک، X_a غلظت فلز در شرایط عدم آلودگی، X_b غلظت فلز در شرایط آلودگی کم، X_c غلظت فلز در شرایط آلودگی زیاد. با استفاده از حدود تعریف شده در جدول ۱ برای هر عنصر با سطوح آلایندگی متفاوت و همچنین شروط غلظتی ارائه شده در رابطه‌ها شاخص آلودگی محاسبه و با در نظر گرفتن حدود تعریف شده برای این شاخص (کم‌تر یا مساوی با ۱: عدم آلودگی؛ بیش‌تر از ۱ و کم‌تر یا مساوی با ۲: آلودگی کم؛ بیش‌تر از ۲ و کم‌تر یا مساوی با ۳: آلودگی متوسط؛ بیش‌تر از ۳: آلودگی زیاد (حاد)) آلودگی خاک نقاط نمونه‌برداری‌شده در خصوص هر کدام از فلزات ارزیابی شد (۲۵).

1- Contamination Index

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱- مقدار حد آستانه فلزات بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم جهت محاسبه شاخص آلودگی (SEPAC، ۱۹۹۵).

Table 1. Threshold values (mg kg^{-1}) for contamination index (SEPAC, 1995).

سرب *Pb*	کادمیوم *Cd*	نیکل *Ni*	مس *Cu*	روی *Zn*	غلظت آستانه Threshold Concentration
35	0.2	40	35	100	X_a
250	0.3	60	50	200	X_b
500	1.0	200	400	500	X_c

شاخص آلودگی تلفیقی: پس از محاسبه شاخص آلودگی برای هر عنصر جهت تصمیم‌گیری در مورد سطح آلودگی منطقه مورد مطالعه (به تفکیک ۱۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ متر)، از شاخص آلودگی تلفیقی استفاده شد که از طریق رابطه زیر محاسبه می‌گردد (۱۱):

$$Pc = \sum_{n}^{i=1}(Pi - 1) \qquad (۵)$$

که در آن، P_c شاخص آلودگی تلفیقی[1] برای هر منطقه، P_i شاخص آلودگی برای هر عنصر فلز سنگین. این شاخص برای ارزیابی کلی هر منطقه در زمینه سطح آلودگی با توجه به اثرات تلفیقی عناصر سنگین موجود در خاک استفاده می‌شود. در صورتی که مقدار این شاخص کم‌تر یا مساوی صفر باشد خاک منطقه فاقد آلودگی است. اگر مقدار عددی شاخص از صفر بیش‌تر و مساوی و یا کم‌تر از ۷ باشد خاک در سطح آلودگی کم قرار دارد. اگر مقدار آن از ۷ بیش‌تر و مساوی یا کم‌تر از ۲۱ باشد خاک از لحاظ آلودگی سطح متوسطی دارد. بیش‌تر شدن این شاخص از ۲۱ بیانگر آلودگی حاد یا شدید به فلزات سنگین است (۲۵).

ارزیابی نسبت خطر: نسبت خطر (HQ) در گیاه اسفناج و گشنیز با استفاده از رابطه زیر که توسط سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا ارائه گردیده، محاسبه شد (۱۲):

$$HQ = \frac{Mplant * W * F}{RFD * 70} \qquad (۶)$$

که در آن، Mplant مقدار فلز سنگین در گیاه (از اندازه‌گیری در عصاره گیاهی توسط دستگاه جذب اتمی بر حسب میلی‌گرم در وزن خشک گیاه به‌دست می‌آید)، W میزان متوسط مصرف روزانه سبزیجات (به‌طور متوسط عدد ۰/۲ کیلوگرم در روز (۹)، F فاکتور تبدیل وزن تر به وزن خشک، RFD دوز مرجع بر حسب میلی‌گرم در کیلوگرم در روز برای هر یک از فلزات (به‌ترتیب برای روی، مس، نیکل، کادمیوم و سرب ۰/۳، ۰/۵، ۰/۰۲، ۰/۰۰۱ و ۰/۰۰۰۳۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم در روز در نظر گرفته شد (۱۰)، ۷۰: میانگین وزن بدن فرد بالغ (کیلوگرم).

بر اساس مقادیر نسبت خطر در مورد مناسب بودن سبزیجات کشت شده در این خاک‌ها از لحاظ سلامت غذایی تصمیم‌گیری می‌شود. در صورتی که مقدار به‌دست آمده کم‌تر از یک باشد تهدیدی از لحاظ مصرف محصول غذایی وجود نداشته و مصرف آن بلامانع است. در صورت بیش‌تر بودن مقدار عددی از یک، عدم مصرف آن توصیه می‌گردد. با توجه به این‌که سبزیجات تنها منبع غذایی مصرفی نیست و سایر مواد غذایی و همچنین آب و هوای آلوده نیز باعث ورود این فلزات به بدن انسان می‌گردد بنابراین عدد ۰/۵ را می‌توان مبنای واقعی‌تری در نظر گرفت (۵).

1- Integrated Contamination Index

www.SID.ir

Archive of SID

نتایج و بحث

با بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های نمونه‌برداری‌شده از سه نقطه (جدول ۲)، مشخص گردید بافت خاک هر سه نقطه از نوع رسی بوده و با توجه به درصد بالای آهک (حدود ۳۸ درصد)، از نوع خاک‌های آهکی می‌باشند. با توجه به بهره‌برداری متفاوت از خاک‌ها، خاک در فاصله ۱۰۰۰۰ متری با توجه به سابقه کشت و آبشویی بیش‌تر، دارای شوری کم‌تری نسبت به دو نقطه دیگر می‌باشد که البته این موضوع در کشت آزمایشی گلخانه‌ای مدنظر قرار گرفته و قبل از کشت، خاک‌ها جهت دستیابی به شوری یکسان، با استفاده از حجم مشخص آب با شوری بسیار پایین (با اختلاط آب طبیعی و آب مقطر)، آبشویی شدند. به‌طورکلی مقدار پ- هاش، درصد رس، ماده آلی و همچنین مقدار آهک موجود در خاک از جمله عوامل بسیار تأثیرگذار بر حلالیت فلزات در خاک بوده که با تغییر مقدار این عناصر در فاز محلول خاک، قابلیت دسترسی زیستی و مقدار جذب آن‌ها را توسط گیاهان تحت‌تأثیر قرار می‌دهند (۵). حلالیت بسیاری از فلزات سنگین با افزایش پ- هاش، کاهش می‌یابد و این موضوع باعث می‌شود حتی با وجود مقادیر قابل‌توجه فلزات در خاک اثرات آلودگی به‌صورت بالفعل مشاهده نگردد. در جدول ۲ مقدار فلزات سنگین به تفکیک عنصر، روش عصاره‌گیری و فاصله از کارخانه نیز نشان داده شده است. بر این اساس بیش‌ترین مقدار مس، کادمیوم، نیکل و سرب در هر سه روش عصاره‌گیری در نمونه مربوط به نزدیک‌ترین فاصله از کارخانه مشاهده شد. وجود مکان‌های تخلیه سرباره و انبار قراضه به همراه غبارهای حاصل می‌تواند موجب تجمع ویژه مس، نیکل، کادمیم و سرب در نمونه خاک با فاصله ۱۰۰ متری از کارخانه گردد. با افزایش مقدار کل فلزات در خاک همان‌گونه که انتظار می‌رود مقادیر قابل‌دسترس این فلزات نیز (بر مبنای مقدار قابل‌استخراج توسط DTPA) افزایش می‌یابد. در مورد این عناصر با افزایش فاصله از کارخانه مقدار کل و به تبع آن مقادیر محلول و تبادلی روند کاهشی را نشان می‌دهند. در مورد فلز روی بر خلاف عناصر دیگر افزایش فاصله از ۱۰۰ متر به ۱۰۰۰ متر باعث افزایش غلظت این فلز در خاک گردیده و سپس تا فاصله ۱۰۰۰۰ متر روند به‌صورت کاهشی مشاهده می‌شود. این افزایش با توجه به‌شدت باد غالب که باعث فرونهشت ترکیبات حاوی روی می‌گردد و همچنین استفاده از زه‌آب خروجی کارخانه دور از انتظار نیست.

جدول ۲- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی سه نمونه خاک قبل از شروع آزمایش.

Table 2. Initial physicochemical properties of experimental soils.

خصوصیات properties	شن Sand (٪)	سیلت Silt (٪)	رس Clay (٪)	بافت خاک Soil Texture	pH	شوری EC ($dS\ m^{-1}$)	مواد آلی OM (٪)	آهک $CaCO_3$ (٪)
	3	27	70	Clay	7.4	15.7	0.9	38.6
	عنصر فلزی (Metal) ($mg\ kg^{-1}$)			روی Zn	مس Cu	نیکل Ni	کادمیوم Cd	سرب Pb
خاک ۱۰۰ متر از عمق ۱۵-۰ Soil Sample (100 m) 0-15 cm	مقدار کل (Total)			293	104	91	10.8	81
	EDTA			192	54.6	38	5.63	57
	DTPA			58	27.3	11.4	3.48	5.17

www.SID.ir

Archive of SID

ادامه جدول ۲-

Continue Table 2.

خصوصیات properties	شن Sand (٪)	سیلت Silt (٪)	رس Clay (٪)	بافت خاک Soil Texture	pH	شوری EC ($dS\ m^{-1}$)	مواد آلی OM (٪)	آهک $CaCO_3$ (٪)
	1	26	73	Clay	7.9	11.6	0.7	38.5
خاک ۱۰۰۰ متر از عمق ۱۵-۰ Soil Sample (1000 m) 0-15 cm	عنصر فلزی (Metal) ($mg\ kg^{-1}$)			روی Zn	مس Cu	نیکل Ni	کادمیوم Cd	سرب Pb
	مقدار کل (Total)			388	65	44	4.53	21
	EDTA			202	36.2	11.5	4.08	7.51
	DTPA			83	15.2	5.15	1.02	3.48

خصوصیات properties	شن Sand (٪)	سیلت Silt (٪)	رس Clay (٪)	بافت خاک Soil Texture	pH	شوری EC ($dS\ m^{-1}$)	مواد آلی OM (٪)	آهک $CaCO_3$ (٪)
	5	34	61	Clay	7.8	8.5	0.54	32.2
خاک ۱۰۰۰۰ متر از عمق ۱۵-۰ Soil Sample (10000 m) 0-15 cm	عنصر فلزی (Metal) ($mg\ kg^{-1}$)			روی Zn	مس Cu	نیکل Ni	کادمیوم Cd	سرب Pb
	مقدار کل (Total)			62	38.1	35	0.95	7
	EDTA			34.2	8.11	3.66	0.67	2.83
	DTPA			24.3	3.14	1.87	0.51	1.22

بر اساس نتایج به‌دست آمده از این مطالعه، باد غالب در انتشار فلزات از خروجی دودکش به اطراف (به‌سمت شرق) مؤثر بوده است که البته روند فرونهشت ترکیبات حاوی عناصر مورد نظر و ترتیب جدا شدن آن‌ها از جریانات باد غالب با توجه به شدت باد و همچنین خصوصیات فلزات (مانند چگالی) متفاوت خواهد بود. در مقایسه با استاندارد جهانی که مقادیر مجاز را بر مبنای مقدار کل هر یک از این فلزات در خاک در نظر می‌گیرد (به‌عنوان مثال استانداردهای ارائه شده توسط مجمع اروپایی که برای عنصر روی ۳۰۰-۱۵۰، مس ۱٤۰-۵۰، نیکل ۷۵-۳۰، کادمیوم ۳-۱ و سرب ۳۰۰-۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم را به‌عنوان حدود مجاز در نظر می‌گیرد (۱۵))، مقدار بعضی از این فلزات از مقادیر استاندار بیش‌تر بوده و بنابراین جهت ارزیابی و تصمیم‌گیری دقیق‌تر در مورد سطح آلودگی این خاک‌ها، شاخص آلودگی برای هر یک از فلزات محاسبه گردید که نتایج آن در جدول ۳ نشان داده شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳- شاخص آلودگی عناصر، سطح آلودگی و شاخص آلودگی تلفیقی در خاک‌های منطقه مورد مطالعه.

Table 3. Contamination indices, levels of contamination and integrated contamination index in experimental soils.

شاخص آلودگی تلفیقی (Pc) Integrated contamination index	سرب Pb	کادمیوم Cd	نیکل Ni	مس Cu	روی Zn	عنصر فلزی (Metal)
19.68**	1.21*	17***	2.01**	2.15**	2.31**	خاک ۱۰۰ متر از عمق ۱۵-۰ Soil Sample (100 m)0-15 cm
9.9**	0.6^{nc}	8.04***	1.2*	2.04**	2.62**	خاک ۱۰۰۰ متر از عمق ۱۵-۰ Soil Sample (1000 m)0-15 cm
1.8*	0.2^{nc}	2.65**	0.87^{nc}	1.20*	0.62^{nc}	خاک ۱۰۰۰۰ متر از عمق ۱۵-۰ Soil Sample (10000 m)0-15 cm

*، ** و *** به‌ترتیب نشان‌دهنده سطح آلودگی کم، متوسط و زیاد می‌باشند. nc، نشان‌دهنده عدم آلودگی است.

*, ** and *** indicate the contamination at low, moderate and high levels. nc, stand for Non-contaminated.

با توجه به نتایج شاخص آلودگی (جدول ۳)، در منطقه ۱۰۰ متر، غلظت کادمیوم در وضعیت حاد، عناصر روی، مس و نیکل در وضعیت آلودگی متوسط و عنصر سرب در شرایط آلودگی کم می‌باشد. با محاسبه شاخص آلودگی تلفیقی که به‌صورت هم‌زمان وضعیت آلودگی به چند فلز را در برآورد سطح آلودگی مدنظر قرار می‌دهد، خاک منطقه ۱۰۰ متر فاصله از شرکت فولاد در وضعیت آلودگی متوسط قرار دارد که البته با توجه به حد بالای این سطح (عدد ۲۱) و نزدیکی مقدار محاسبه شده شاخص آلودگی تلفیقی (عدد ۱۹/٦۸) با آن، توجه به وضعیت موجود ضروری به‌نظر می‌رسد. با توجه به مسکونی بودن این منطقه و استفاده افراد از خاک این منطقه برای سبزیکاری، اهمیت و ضرورت بررسی‌های بیش‌تر در جهت متوقف کردن فعالیت‌های کشاورزی برای جلوگیری از آسیب‌های احتمالی باید در اولویت تصمیم‌گیری قرار گیرد. عنصر کادمیوم در خاک منطقه ۱۰۰۰ متر هم‌چنان در وضعیت آلودگی حاد قرار دارد. عناصر روی و مس در وضعیت آلودگی متوسط بوده و عنصر نیکل وضعیت آلودگی کم را نشان می‌دهد. شاخص آلودگی تلفیقی در این منطقه سطح آلودگی متوسط را نشان می‌دهد که نسبت به حداقل آلودگی این سطح (عدد ۷) ۲/۹ واحد اختلاف دارد. با توجه به اعداد محاسبه شده شاخص آلودگی تلفیقی، مقدار آلودگی از فاصله ۱۰۰ به ۱۰۰۰ متر حدود ۵۰ درصد و از فاصله ۱۰۰ به ۱۰۰۰۰ متر حدود ۹۱ درصد کاهش را نشان می‌دهد که بیانگر کاهش اثرات کارخانه با افزایش فاصله از آن می‌باشد. خاک منطقه ۱۰۰۰۰ متر در سطح آلودگی کم قرار دارد که بیانگر آن است که با وجود افزایش فاصله به ۱۰ کیلومتر، آلودگی به‌ویژه در مورد عنصر کادمیوم هم‌چنان وجود داشته که می‌تواند به آلودگی منابع آب تحت‌تأثیر کارخانه و استفاده از این منابع برای آبیاری، مربوط باشد.

اثر تیمارها بر وزن تر و خشک اندام هوایی گیاه اسفناج و گشنیز: بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس اثر تیمارها بر وزن تر و خشک گیاهان (جدول ٤)، اثر مستقل تیمارهای فاصله، ورمی‌کمپوست و پیت در هر دو گیاه در سطح یک درصد معنی‌دار و اثر متقابل پیت و ورمی‌کمپوست، فاصله و ورمی‌کمپوست و فاصله و پیت بر وزن تر و خشک اسفناج غیرمعنی‌دار و بر وزن تر و خشک گیاه گشنیز معنی‌دار بود. برهمکنش سه‌گانه فاصله، پیت و ورمی‌کمپوست بر وزن تر و خشک هر دو گیاه در سطح یک درصد معنی‌دار بود. بیش‌ترین وزن تر اندام هوایی گیاه اسفناج با میانگین ۱۳/٤۹ گرم (وزن خشک ۷/۷۰) و گیاه گشنیز با میانگین ٤/٦۰ گرم (وزن خشک ۱/۵۵) مربوط به فاصله ۱۰۰۰۰ متری و کاربرد مقادیر سه درصد کود ورمی‌کمپوست به همراه

www.SID.ir

Archive of SID

سه درصد کود گیاهی پیت است و کم‌ترین آن‌ها به‌صورت مشابه در هر دو گیاه به فاصله ۱۰۰ متری و عدم کاربرد کودهای آلی مربوط می‌باشد. کویی و همکاران (۲۰۰۵) گزارش کردند ورمی‌کمپوست نسبت به سایر کودهای باعث فراهمی بیش‌تر عناصر نیتروژن، کربن، فسفر، کلسیم و منیزیم می‌شود. همچنین مواد آلی تهویه خاک، نفوذ آب، ظرفیت نگهداری آب و مواد غذایی در خاک را افزایش می‌دهند. حضور مواد آلی در خاک آلوده به فلزات سنگین با جذب و کلاته کردن فلزات محلول در خاک، می‌تواند باعث رشد بهتر گیاه گردد (۳). یکی از علل افزایش رشد و فعالیت گیاهان در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین بر اثر افزودن مواد آلی، افزایش کربن آلی کل و کربن آلی محلول است که سبب ایجاد محیطی مناسب جهت رشد گیاه می‌شود (۸). ورمی‌کمپوست و پیت از محصولات جانبی کشاورزی بوده و به‌علت دارا بودن گروه‌های عاملی مانند هیدروکسیل، کربوکسیل و فنل و میل ترکیبی بالا و قوی با فلزات سنگین از بین جاذب‌های مختلف برای حذف فلزات سنگین و رشد گیاهان در خاک‌های آلوده مناسب‌اند (۱۳). در مقایسه دو گیاه، گیاه اسفناج تحت شرایط آلودگی حاد با ورود سه درصد ماده آلی (با اثربخشی بیش‌تر ورمی‌کمپوست نسبت به پیت) جوانه‌زنی داشته و حداقل وزن خشک را تولید می‌نماید و این در حالیست که در مورد گیاه گشنیز حساسیت به فلزات سنگین بیش‌تر بوده و جوانه‌زنی و تولید حداقل ماده خشک تنها در شرایط حضور هم‌زمان سه درصد پیت و سه درصد ورمی‌کمپوست صورت می‌گیرد که نشان‌دهنده اثر تجمعی مواد آلی بر کاهش اثرات آلودگی و همچنین تأمین عناصر غذایی است. فلزات سنگین با تجمع در دیواره سلولی، ورود به سیتوپلاسم و ایجاد اختلال در متابولیسم طبیعی سلول منجر به کاهش رشد گیاه می‌شوند (۳۱).

جدول ٤- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای مورد مطالعه بر وزن تر و وزن خشک اندام هوایی گیاه اسفناج و گشنیز.

Table 4. Analysis of variance of the effects of treatments on fresh and dry weight of aboveground parts of spinach and coriander.

میانگین مربعات (Mean Squares)					
گشنیز Coriander		اسفناج Spinach		درجه آزادی Degree of freedom	منابع تغییر Sources of variations
وزن خشک Dry Weight (g)	وزن تر Fresh Weight (g)	وزن خشک Dry Weight (g)	وزن تر Fresh Weight (g)		
3.80**	28.10**	71.44**	188.27**	2	فاصله (d) (Distance)
0.92**	5.28**	22.77**	70.84**	1	ورمی‌کمپوست (v) (Vermicompost)
0.40**	4.83**	9.63**	36.08**	1	پیت (p) (Peat)
0.078**	1.52**	1.12^{ns}	0.117^{ns}	1	پیت * ورمی‌کمپوست (p*v)
0.35**	1.39**	0.85^{ns}	1.17^{ns}	1	فاصله * ورمی‌کمپوست (d*v)
0.43**	1.42**	0.92^{ns}	1.21^{ns}	1	فاصله * پیت (d*p)
0.27**	1.79**	2.82**	5.78**	2	فاصله * ورمی‌کمپوست * پیت (d*v*p)
0.024	0.15	0.28	0.78	4	خطا (Error)
17.39	16.75	19.35	15.31	24	ضریب تغییرات CV (٪)

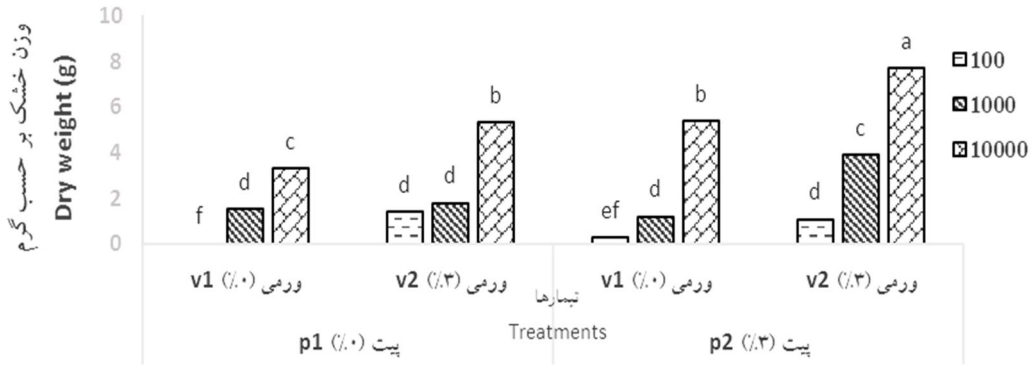
** و ^{ns} به‌ترتیب معنی‌داری در سطح ۱ درصد و عدم وجود اختلاف معنی‌دار.

** and ^{ns} indicate that variances are significant at the level of 1% and non-significant, respectively.

www.SID.ir

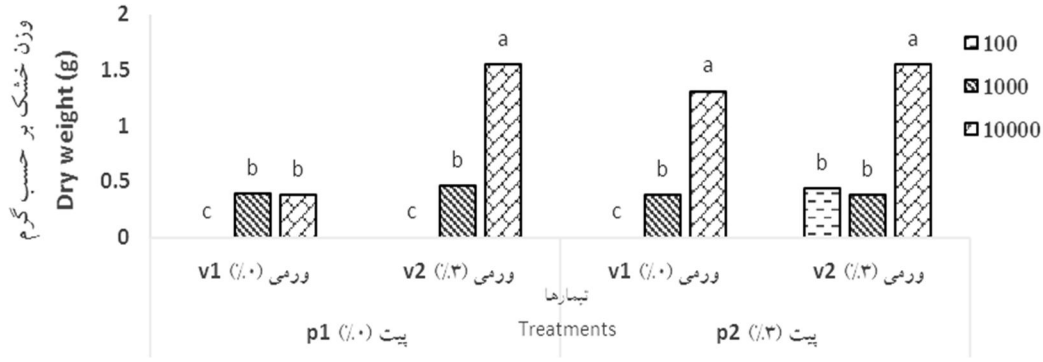
Archive of SID

اثر تیمارها بر غلظت فلزات سنگین در اندام هوایی گیاه اسفناج و گشنیز: برهمکنش سه‌گانه تیمارهای فاصله، پیت و ورمی‌کمپوست بر غلظت عناصر روی، مس، نیکل، کادمیوم و سرب در اندام هوایی اسفناج و گشنیز در سطح ۱ درصد معنی‌دار است. بیش‌ترین غلظت فلزات در گیاه که مانع از جوانه‌زنی و رشد هر دو گیاه گردید در بالاترین سطح غلظت فلزات (خاک ۱۰۰ متر) بدون کاربرد کودهای آلی می‌باشد (جدول ۵). گیاه اسفناج با مقاومت بیش‌تر نسبت به شرایط خاک آلوده بهتر رشد کرده و بنابراین با جذب عناصر سنگین تهدید بیش‌تری به تولید ماده خشک آلوده خواهد داشت.



شکل ۲- برهمکنش سه‌گانه سطوح مختلف فاصله (۱۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ متر)، پیت (۰ و ۳ درصد وزنی) و ورمی‌کمپوست (۰ و ۳ درصد وزنی) بر وزن خشک اندام هوایی گیاه اسفناج. میانگین‌های با حروف مشترک فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح آماری ۵ درصد می‌باشند.

Figure 2. Triple interaction of treatments consist of distance (d_1=100 m, d_2=1000 m, d_3=10000 m), peat (p_1=0%, p_2=3%) and vermicompost (v_1=0%, v_2=3%) on dry weight of aboveground part of spinach. For all variables with the same letter, the difference between the means is not statistically significant at the level of 5%.



شکل ۳- برهمکنش سه‌گانه سطوح مختلف فاصله (۱۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ متر)، پیت (۰ و ۳ درصد وزنی) و ورمی‌کمپوست (۰ و ۳ درصد وزنی) بر وزن خشک اندام هوایی گیاه گشنیز. میانگین‌های با حروف مشترک فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح آماری ۵ درصد می‌باشند.

Figure 3. Triple interaction of treatments consist of distance (d_1=100 m, d_2=1000 m, d_3=10000 m), peat (p_1=0%, p_2=3%) and vermicompost (v_1=0%, v_2=3%) on dry weight of aboveground part of coriander. For all variables with the same letter, the difference between the means is not statistically significant at the level of 5%.

با ثابت در نظر گرفتن متغیر فاصله (غلظت اولیه یکسان) در خاک با حداکثر آلودگی با افزودن سه درصد کود پیت و ورمی‌کمپوست به‌صورت جداگانه اثرات سمی فلزات سنگین کاهش یافته و گیاه اسفناج رشد کرده است. بر اساس پژوهش‌های انجام شده محتوای مواد آلی در خاک اثر معنی‌داری بر جذب و

www.SID.ir

Archive of SID

جابه‌جایی فلزات سنگین در خاک و در نتیجه میزان جذب آن‌ها توسط گیاه دارد (۳). مطابق با نتایج پژوهش حاضر، اضافه کردن کودهای آلی باعث جوانه‌زنی و رشد گیاه در مقایسه با تیمار شاهد گردید. آنجلوا و همکاران (۲۰۱۰) دریافتند مقادیر جذب‌شده عناصر سرب، روی، مس و کادمیوم توسط گیاه سیب‌زمینی تحت‌تأثیر نوع و مقدار کود آلی مصرفی، متفاوت خواهد بود و حتی نوع عنصر فلز سنگین نیز در رفتار و اثرگذاری کود آلی در خاک مؤثر است (۱) که با نتایج پژوهش حاضر همخوانی دارد. در مورد گیاه اسفناج، در خاک با فاصله ۱۰۰ متر از کارخانه، غلظت عناصر روی و سرب در بافت گیاهی با تغییر نوع کود آلی مصرفی (پیت، ورمی‌کمپوست) اختلاف معنی‌داری را در سطح ۵ درصد نشان می‌دهند در حالی‌که عناصر مس، کادمیوم و نیکل تحت‌تأثیر نوع کود آلی کاربردی نبوده و اثر نوع کود بر تغییر مقادیر جذب‌شده این عناصر توسط گیاه اسفناج، از لحاظ آماری معنی‌دار نیست (جدول ۵). اثر تجمعی استفاده هم‌زمان از دو نوع کود آلی (در مجموع ٦ درصد ماده آلی اصلاحی) در مورد عنصر روی و سرب در مقایسه با تیمار حاوی کود ورمی‌کمپوست معنی‌دار اما در مورد عناصر مس، کادمیوم و نیکل در مقایسه با تیمار حاوی پیت و ورمی‌کمپوست به تنهایی، غیرمعنی‌دار است. این نتایج بیانگر نقش پررنگ‌تر پیت در کاهش جذب عناصر روی و سرب در خاک مورد مطالعه می‌باشد. در مورد عنصر روی و سرب کاربرد پیت باعث کاهش غلظت این عناصر در گیاه به‌ترتیب به‌میزان ۲۵ و ۲٦ درصد شده است. در فاصله ۱۰۰۰ متر، غلظت همه عناصر به‌جز روی در خاک کاهش یافته (جدول ۳) و بر طبق انتظار مقادیر جذب‌شده نیز در مقایسه با نمونه خاک آلوده‌تر، کاهش می‌یابد. در مورد عنصر روی غلظت در فاصله ۱۰۰۰ متری بیش‌تر از ۱۰۰ متر است با این‌حال مقدار روی جذب‌شده توسط گیاه در همه تیمارها کم‌تر از نمونه خاک ۱۰۰ متری است که علت آن را می‌توان به تفاوت مقدار پ- هاش در این دو خاک نسبت داد. افزایش پ- هاش با کاهش قابلیت دسترسی عناصر در خاک‌های با آلودگی بالقوه، تهدید به آلودگی بالفعل را کاهش می‌دهد. در فاصله ۱۰۰۰ متری استفاده از کود در مورد عناصر نیکل، کادمیوم و سرب باعث کاهش معنی‌دار نسبت به تیمار شاهد شده است که البته اثر نوع کود آلی بر غلظت هیچ‌کدام از عناصر معنی‌دار نیست. اثر تجمعی کودها تنها بر مقدار عنصر کادمیوم در اندام گیاهی اسفناج در مقایسه با تیمار شاهد و هرکدام از کودها به تنهایی، معنی‌دار شد. در فاصله ۱۰۰۰۰ متری، تغییر نوع ماده آلی در مورد عناصر روی، مس، کادمیوم و نیکل معنی‌دار نبوده اما بر روی میزان جذب سرب معنی‌دار است به این ترتیب که استفاده از پیت به‌میزان ۲۳ درصد بیش‌تر از کاربرد ورمی‌کمپوست، غلظت سرب درون گیاه را کاهش داده است. اثر کاربرد هم‌زمان پیت و ورمی‌کمپوست در مورد عناصر روی و سرب به‌ویژه در مقایسه با تیمار ورمی‌کمپوست به تنهایی کاهش معنی‌داری را در غلظت این عناصر در گیاه نشان می‌دهد. در این فاصله کاربرد ورمی‌کمپوست در مورد عنصر سرب باعث اختلاف معنی‌دار با تیمار شاهد نشد اما اثر پیت به تنهایی و اثر تجمعی این کود توانست باعث کاهش معنی‌دار جذب این عنصر توسط گیاه اسفناج گردد. کاربرد هم‌زمان پیت و ورمی‌کمپوست باعث کاهش بیش‌تر جذب عناصر آلاینده توسط گیاه اسفناج می‌گردد. این موضوع نشان می‌دهد که در تیمارهای کودی اثر هم‌زمان کودهای آلی به خوبی توانسته‌اند با فلزات سنگین کمپلکس تشکیل داده و از جذب آن توسط گیاه بکاهند. درصد بالای رس، ماده آلی و آهک با اثرگذاری بر فراهمی سطوح جاذب تحت شرایط

www.SID.ir

Archive of SID

آلودگی خاک، جذب فلزات توسط گیاه را محدود کرده بنابراین خطر ورود این عناصر به زنجیره غذایی موجودات را کاهش می‌دهد (۵). اثر هم‌زمان دو کود آلی ورمی‌کمپوست و پیت در سطح سه درصد بیش‌ترین اثر را بر روی جذب عناصر سنگین در خاک داشته‌اند و از جذب این عناصر سنگین توسط گیاه جلوگیری کرده‌اند. تشکیل کمپلکس بین عناصر سنگین و اصلاح‌کننده‌های خاک (مواد آلی خاک)، اهمیت فوق‌العاده‌ای در نگهداری و قابلیت تحرک آلاینده‌های خاک و آب دارد. تشکیل کمپلکس‌های سطحی درون‌کره‌ای و برون‌کره‌ای، مهم‌ترین مکانیزم جذب سطحی عناصر به‌وسیله مواد آلی است. جذب غیراختصاصی کاتیون‌ها توسط مکان‌های با بار منفی سطوح جامد (معدنی و آلی) از طریق جذب الکترواستاتیکی که به تبادل کاتیونی معروف است، منجر به تشکیل کمپلکس‌های برون‌کره‌ای می‌شود. درجات بالای ترجیح‌پذیری مواد آلی در مورد برخی فلزات باعث احاطه عنصر توسط گروه‌های عاملی اسیدی و در نتیجه تشکیل کمپلکس‌های درون‌کره‌ای می‌گردد (۲۸).

جدول ۵- مقایسه میانگین‌های ترکیبات تیماری فاصله (d_1=100 m، d_2=1000 m، d_3=10000 m)، پیت (p_1=0%، p_2=3%) و ورمی‌کمپوست (v_1=0%، v_2=3%) بر غلظت عناصر در اندام هوایی گیاه اسفناج و گشنیز.

Table 5. Mean comparison of treatments consist of distance (d_1=100 m, d_2=1000 m, d_3=10000 m), peat (p_1=0%, p_2=3%) and vermicompost (v_1=0%, v_2=3%) on concentration of heavy metals in aboveground parts of spinach and coriander.

میانگین (Mean)						
سرب Pb (mg kg^{-1})	کادمیوم Cd (mg kg^{-1})	نیکل Ni (mg kg^{-1})	مس Cu (mg kg^{-1})	روی Zn (mg kg^{-1})	تیمار (Treatment)	
ng	ng	ng	ng	ng	$d_1p_1v_1$	اسفناج Spinach
0.79^{a}	2.14^{a}	22.66^{a}	8.48^{a}	58.89^{a}	$d_1p_1v_2$	
0.58^{b}	2.13^{a}	21.66^{a}	7.98^{ab}	44.17^{b}	$d_1p_2v_1$	
0.58^{b}	2.11^{a}	20.46^{a}	7.69^{bac}	38.49^{cb}	$d_1p_2v_2$	
0.51^{c}	0.80^{b}	12.82^{b}	7.16^{bdc}	36.38^{cb}	$d_2p_1v_1$	
0.42^{d}	0.76^{b}	8.72^{c}	6.84^{edc}	35.617^{c}	$d_2p_1v_2$	
0.41^{d}	0.70^{cb}	8.52^{c}	6.47^{edf}	34.130^{cd}	$d_2p_2v_1$	
0.40^{d}	0.56^{c}	6.46^{c}	6.33^{edf}	33.44^{cd}	$d_2p_2v_2$	
0.39^{d}	0.18^{d}	3.03^{d}	6.27^{edf}	33.18^{cd}	$d_3p_1v_1$	
0.38^{d}	0.17^{d}	2.49^{d}	6.016^{ef}	30.31^{cd}	$d_3p_1v_2$	
0.27^{e}	0.17^{d}	2.203^{d}	5.92^{ef}	25.823^{ed}	$d_3p_2v_1$	
0.19^{f}	0.15^{d}	1.070^{d}	5.47^{f}	19.470^{e}	$d_3p_2v_2$	
ng	ng	ng	ng	ng	$d_1p_1v_1$	گشنیز Coriander
ng	ng	ng	ng	ng	$d_1p_1v_2$	
ng	ng	ng	ng	ng	$d_1p_2v_1$	
0.40^{a}	2.22^{a}	2.72^{a}	8.40^{a}	40.18^{a}	$d_1p_2v_2$	
0.38^{a}	0.80^{b}	1.34^{b}	5.86^{b}	37.35^{a}	$d_2p_1v_1$	
0.37^{a}	0.76^{b}	1.34 ^{b}	5.03^{b}	22.88^{b}	$d_2p_1v_2$	
0.36^{a}	0.73^{cb}	1.32^{b}	4.63^{cbd}	18.06^{c}	$d_2p_2v_1$	
0.34^{b}	0.60^{c}	1.29 ^{b}	3.93^{ced}	15.63^{dc}	$d_2p_2v_2$	
0.17^{c}	0.18^{d}	1.11^{c}	3.46^{ced}	11.95^{de}	$d_3p_1v_1$	
0.13^{dc}	0.17^{d}	1.10^{c}	3.36^{ed}	11.07^{e}	$d_3p_1v_2$	
0.11^{d}	0.17^{d}	1.10^{c}	3.30^{ed}	10.62^{e}	$d_3p_2v_1$	
0.09^{d}	0.15^{d}	1.06^{c}	2.40^{e}	3.76^{f}	$d_3p_2v_2$	

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حرف مشترک می‌باشند فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح آماری ۵ درصد می‌باشد.

For all variables with the same letter, the difference between the means is not statistically significant at the level of 5%.

www.SID.ir

Archive of SID

در گیاه گشنیز (جدول ۵) در نمونه خاک ۱۰۰ متر هیچ‌کدام از مواد اصلاحی آلی به تنهایی نتوانستند شدت اثر فلزات سنگین را کاهش دهند. اثر تجمعی سه درصد پیت و سه درصد ورمی‌کمپوست باعث جوانه‌زنی و تولید ماده خشک در این گیاه گردید. در نمونه خاک ۱۰۰۰ متری، اثر نوع کود بر کاهش غلظت فلز در اندام هوایی گیاه در مورد عنصر روی معنی‌دار شد (در سطح ۵ درصد)؛ در حالی‌که اثر تجمعی استفاده از کودهای آلی در مورد عناصر روی، مس، کادمیوم و سرب از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با کاربرد ورمی‌کمپوست به تنهایی، نشان داد. در مورد عنصر روی کاربرد کود ورمی‌کمپوست، پیت و استفاده هم‌زمان از دو کود به‌ترتیب باعث کاهش غلظت به‌میزان ۳۸/۷، ٥۱/٦ و ٦۸/۱ درصد گردید. استفاده از سه درصد کود پیت و سه درصد ورمی‌کمپوست به‌صورت جداگانه اثر معنی‌داری بر کاهش غلظت مس در اندام هوایی گیاه نشان نمی‌دهد. اما در تیمار حاوی ٦ درصد ماده اصلاحی نسبت به تیمار شاهد غلظت مس حدود ۳۳ درصد کاهش را نشان می‌دهد. در مورد عناصر کادمیوم و سرب مقدار کاهش نسبت به تیمار شاهد در به‌کارگیری هم‌زمان پیت و ورمی‌کمپوست به‌ترتیب ۲۵ و ۱۰/۵ درصد می‌باشد که همان‌گونه که اشاره شد نسبت به استفاده هر کدام از کودها به تنهایی، مؤثرتر عمل کرده است. در مورد عنصر نیکل با توجه به غلظت اولیه، کاربرد کود آلی باعث تغییر معنی‌دار در میزان این عنصر نمی‌گردد. در فاصله ۱۰۰۰۰ متری اثر نوع و میزان کود کاربردی در مقدار عناصر مس، نیکل و کادمیوم در مقایسه با تیمار شاهد معنی‌دار نبوده است. همچنین اثر نوع کود کاربردی بر میزان کاهش غلظت عناصر سرب و روی معنی‌دار نبوده اما اثر تجمعی استفاده هم‌زمان سه درصد پیت به همراه سه درصد ورمی‌کمپوست نسبت به تیمار شاهد غلظت این عناصر را به‌صورت معنی‌دار کاهش داده است. در مورد عنصر روی این کاهش ٦۸ درصد و در مورد سرب، ٤۷ درصد می‌باشد. بنابراین، بر اساس نتایج به‌دست آمده در بیش‌تر موارد اثر پیت در کاهش غلظت عناصر سنگین در گیاه مؤثرتر از کود ورمی‌کمپوست بوده و این اثرگذاری بیش‌تر، چه در تیمار مستقل و چه در تیمار اثر تجمعی (استفاده هم‌زمان دو کود هر کدام در سطح ۳ درصد وزنی) قابل مشاهده است. بر اساس یافته‌های واکر و همکاران (۲۰۰٤) اثر مواد آلی اصلاحی بر قابلیت جذب فلزات سنگین به ماهیت مواد آلی، درجه پوسیدگی میکروبی، میزان نمک موجود در کود آلی و تأثیرات کودهای آلی بر پ- هاش خاک و تغییرات پتانسیل اکسیداسیون و احیا، بستگی دارد. نوع خاک، نوع فلز سنگین و سطوح غلظتی آن‌ها بر تأثیرگذاری مواد آلی بر وضعیت فلزات در خاک و ارتباط آن‌ها با گیاه مؤثر است (۳۰).

اثر تیمارها بر نسبت خطر مصرف گیاه اسفناج و گشنیز: دامنه تغییرات نسبت خطر برای عناصر روی، مس، نیکل، کادمیوم و سرب در گیاه اسفناج به‌ترتیب ۰/۰۱۷ تا ۰/۰٦۷، ۰/۰۰۳ تا ۰/۰۰٦، ۰/۰۱ تا ۰/۳۹، ۰/۰٤ تا ۰/۷۳ و ۰/۱٤ تا ۰/۷۷ محاسبه شد. در مورد عنصر روی و مس در هیچ‌کدام از تیمارها مقدار نسبت خطر از ۰/۵ بیش‌تر نبوده و روند کاهشی با افزایش فاصله از ۱۰۰ متر به ۱۰۰۰۰ متر مشاهده می‌شود. نسبت خطر در مورد عنصر نیکل مقادیر بیش‌تری را نسبت به روی و مس نشان می‌دهد؛ اما هم‌چنان در حد خطرآفرینی قرار نمی‌گیرد. مقادیر تجمع‌یافته کادمیوم و سرب در گیاه کشت شده در خاک فاصله ۱۰۰ متر باعث افزایش مقدار نسبت خطر از حد مجاز شد. با توجه به مقادیر نسبت خطر و محاسبه شاخص خطر (مجموع نسبت‌های خطر) در گیاه کشت شده در خاک فاصله ۱۰۰ متر مقدار این شاخص از ۱ بیش‌تر بوده و بنابراین مصرف این گیاه

www.SID.ir

Archive of SID

توصیه نمی‌گردد. کم‌ترین نسبت خطر در اسفناج کشت شده در خاک با فاصله ۱۰۰۰۰ متری با کاربرد هم‌زمان پیت و ورمی‌کمپوست (٦ درصد ماده آلی) مشاهده می‌شود که بیانگر تأثیر مواد آلی در کاهش خطرآفرینی فلزات سنگین و جلوگیری از انتقال آن‌ها به زنجیره غذایی است. از لحاظ اثرگذاری کودها در کاهش نسبت خطر، کود پیت در مقایسه با ورمی‌کمپوست مؤثرتر عمل کرده است.

مقادیر محاسبه شده نسبت خطر برای عناصر روی، مس، نیکل، کادمیوم و سرب در گیاه گشنیز به‌ترتیب ۰/۰۰٤ تا ۰/۳٤٤، ۰ تا ۰/۰٤، ۰/۰۲ تا ۰/۳۵، ۰/۰٤ تا ۵/۷۱ و ۰/۰۷ تا ۲/۹٤ به‌دست آمد. با توجه به دامنه محاسبه شده در مورد عناصر روی، مس و نیکل تهدیدی جهت مصرف گیاه کشت شده وجود ندارد. اما غلظت بالای عناصر کادمیوم و سرب و کم‌بودن حد مجاز آن‌ها (به‌واسطه سمیت زیاد) موجب تولید ماده خشک غیرسالم در گیاه گشنیز شده است. به‌صورت مشابه در مورد هر دو فلز سنگین، بیش‌ترین مقدار نسبت خطر در خاک با فاصله ۱۰۰ متر بدون استفاده از کود و کم‌ترین آن در خاک با فاصله ۱۰۰۰۰ متر و حاوی سه درصد ورمی‌کمپوست به همراه سه درصد پیت مشاهده شد. مواد آلی علاوه بر تقویت رشد گیاه، با اثرگذاری بر غلظت بیش از حد فلزات سنگین در خاک، مانع جذب آن‌ها شده و از این دو مسیر می‌توانند باعث کاهش مقادیر نسبت خطر در گیاه و افزایش امنیت مصرف گیاهان کشت شده در خاک آلوده گردند. در مورد عنصر سرب در تمامی تیمارها به‌جز تیمار خاک ۱۰۰۰۰ متر حاوی سه درصد ورمی‌کمپوست به همراه سه درصد پیت، مقادیر بیش از حد مجاز (۰/۵) را نشان می‌دهند و بنابراین این گیاه از لحاظ سلامت ماده غذایی مورد تأیید نیست و کشت آن تحت این شرایط توصیه نمی‌گردد. آلودگی سرب علاوه بر اطراف نواحی صنعتی، در خاک مزارع حاشیه جاده‌ها نیز گزارش شده است (۲۲) که در بسیاری از مناطق کشور به‌علت سهولت در عرضه محصولات تولیدی، کشت سبزیجات به این مزارع اختصاص یافته است. بنابراین غنی‌سازی خاک این مناطق با کودهای آلی می‌تواند در تولید محصولات سالم دارای اهمیت باشد.

نتیجه‌گیری کلی

در افزایش وزن تر و خشک گیاه، کود ورمی‌کمپوست نسبت به پیت مؤثرتر بوده و برعکس در جذب فلزات سنگین و کاهش انتقال فلزات از خاک به گیاه، کود پیت مؤثرتر عمل کرده است. کودهای آلی با توجه به ماهیت و ساختار خود در تعدیل اثرات منفی فلزات سنگین بر گیاه از دو جنبه می‌توانند تأثیرگذار باشند. از یک طرف باعث جذب فلزات سنگین محلول در خاک شده و محدودیت موجود را برطرف می‌کنند و رشد گیاه را به شرایط طبیعی باز می‌گردانند؛ از طرف دیگر با قابلیت تجزیه‌پذیری بیش‌تر و با تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه می‌توانند بر رشد بیش‌تر گیاه تأثیرگذار باشند. اثر هم‌زمان دو کود آلی ورمی‌کمپوست و پیت در سطح سه درصد در کاهش مقدار نسبت خطر محاسبه شده، بیش‌ترین تأثیر را داشته است. نسبت خطر برای عناصر کادمیوم و سرب در شرایط نزدیک‌ترین فاصله به کارخانه و عدم کاربرد کودهای آلی در هر دو گیاه از حد مجاز فراتر رفته و بنابراین کشت این سبزیجات تحت این شرایط توصیه نمی‌گردد. در مورد سایر عناصر در شرایط فعلی خطری وجود ندارد که می‌تواند به ویژگی‌های خاک و عدم انحلال‌پذیری ترکیبات حاوی فلزات سنگین ارتباط داد؛ اما نباید اثرات تجمعی این فلزات در خاکی که به‌صورت هم‌زمان به این فلزات آلوده شده است را نادیده گرفت.

www.SID.ir

Archive of SID

منابع

1. Angelova, V., Ivanona, R., Pevicharova, G., and Ivanov, K. 2010. Effect of organic amendments on heavy metals uptake by potato plants. 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World1 – 6 August 2010, Brisbane, Australia.
2. Barin, M., and Chavoshi, E. 2017. Risk assessment of zinc and copper exposure in rice, wheat and soil around Irankooh mine in Isfahan. Soil Management and Sustainable Production. 7: 2. 211-222.
3. Clark, G.J., Dodgshun, N.P.W., Sale, G., and Tang, C. 2007. Changes in chemical and biological properties of a sodic clay subsoil with addition of organic amendments. Soil Biological Biochemistry. 39: 2806-2817.
4. Cui, Y., Zhu, Y.G., Zhai, R., Huang, Y., Qin, Y., and Liang, J. 2005. Exposure to metal mixtures and human health impacts in a contaminated area in Nanning, China. Environment International. 31: 784-790.
5. Datta, S.P., and Young, S.D. 2005. Predicting metal uptake and risk to the human food chain from leaf vegetables grown on soils amended by long-term application of sewage sludge. Water, Air and Soil Pollution. 163: 119-136.
6. Ferri, R., Donna, F., and Smith, D.R. 2012. Heavy metals in soil and salad in the proximity of historical ferroalloy emission. J. Environ. Prot. 3: 5. 374-384.
7. Fiket, Z., Roje, V., Mikac, N., and Kniewald, G. 2007. Determination of arsenic and other trace elements on bottle waters by high resolution inductivity coupled plasma mass spectrometry. Croatica Chemica Acta. 80: 1. 91-100.
8. Hanc, A.P., Tlustos, J., and Szakova, J. 2009. Changes in cadmium mobility during composting and after soil application. Waste Management. 9: 2282-2288.
9. Hassan, N., and Ahmed, K. 2000. Intra familiar distribution of food in rural Bangladesh. Institute of Food Science, University of Dhaka. http://unu.edu.
10. Hough, R.L., Young, S.D., Crout, N.M.J., and Tye, A.M. 2004. Assessment potential risk of heavy metal exposure from consumption of home produced vegetable by urban population. Environmental Health Perspectives. 112: 215-221.
11. Huang, R. 1987. Environmental pedology. Higher education press, Beijing. 102p.
12. IRIS. 2016. Integrated Risk Information System Database. US Environmental Protection Agency.
13. Jadia, C.D., and Fulekar, M.H. 2008. Phytoremediation: The application of vermin-compost to remove zinc, cadmium, copper, nickel and lead by sunflower plant. J. Environ. Engin. Manage. 7: 5. 547-558.
14. Jakson, M.L. 1973. Soil Chemical Analysis. Department of Agronomy. Iowa State University press.
15. Kabata-Pendias. 2000. Trace elements in soils and plants. Third edition. Baton Raton. 59p.
16. Lindsay, W.L., and Norvell, W.A. 1978. Development of DTPA test for zinc, iron, manganese, and copper. Soil Sci. Soc. Amer. J. 42: 421-428.
17. Mesdaghniya, A., Naseri, N., and Hadi, M. 2016. Evaluation HQ (non-carcinogenic effects) and ELCR (carcinogenic effects) of chrome in bottled water. Iran. J. Health Environ. 9: 3. 347-358. (In Persian)
18. Noori, A. 2001. Effect of zinc sulphate and potassium fertilizers on potato production and nitrate and cadmium concentration in Zanjan region, M.Sc. Thesis. Azad University. Tehran. (Translated in Persian)
19. Padmavathiamma, P.K., Li, L.Y., and Kumari, U.R. 2008. An experimental study of vermin-biowaste composting for agriculture soil improvement. Bioresource Technology. 99: 1672-1681.
20. Paustenbach, D.J. 2003. Human and ecological risk assessment: Theory and practice. Human and Ecological Risk Assessment. 9: 4. 1089-1090.
21. Quevauviller, P. 1998. Operationally defined extraction procedures for soil and sediment analysis. Trends in Analytical Chemistry. 17: 5. 289-298.
22. Rahmani, H., Kalbasi, M., and Hajrasooliha, Sh. 2000. Lead contamination in soils. J. Sci. Technol. Agric. Natur. Resour. 4: 31-41. (In Persian)

www.SID.ir

Archive of SID

23. Rang Zan, N., Datta, S.P., Rattan, R.K., Dwivedi, B.S., and Meena, M.C. 2013. Prediction of the solubility of zinc, copper, nickel, cadmium and lead in metal contaminated soils. Environmental Monitoring and Assessment. 185: 10015-10025.
24. Schwarz, K., Pouyat, R.V., and Yesilonis, L. 2016. Legacies of lead in charm city's soil: lesson from the Baltimore ecosystem study. Inter. J. Environ. Res. Public Health. Pp: 209-223.
25. SEPAC. 1995. State Environmental Protection Administration of China, Beijing. Chinese environmental quality standards for soils.
26. Sharma, R.K., Agrawal, M., and Marshall, F.M. 2008. Atmospheric depositions of heavy metals (Cd, Pb, Zn, and Cu) in Varanasi city, India. Environmental Monitoring and Assessment. 142: 1-3. 269-278.
27. Song, D., Zhuang, D., Jiang, D., Fu, J., and Wang, Q. 2015. Integrated Health Risk Assessment of Heavy Metals in Suxian County, South China. Inter. J. Environ. Res. Public Health. 12: 7100-7117.
28. Sparks, D.L. 2003. Environmental soil chemistry. Academic Press. San Diego.
29. USEPA (US Environmental Protection Agency). 2002. Child Specific Exposure Factors Handbook. Risk Assessment Guidance for Superfund. Volume 1: Human Health Evaluation Manual (Part A). Office of Emergency and Remedial Response, Washington, DC.
30. Walker, D.J., Clemente, R., and Bernal, M.P. 2004. Contrasting effects of manure and compost on soil pH, heavy metal availability and growth of *Chenopodium album* L. in a soil contaminated by pyritic mine waste. Chemosphere. 57: 215-224.
31. Yadav, S.K. 2010. Heavy metals toxicity in plants: An overview on the role of glutathione and phytochelatins in heavy metals stress tolerance of plants. South Afric. J. Bot. 76: 167-179.
32. Yalcin, M.G., Battaloglu, R., and Ilhan, S. 2007. Heavy metal sources in Sultan Marsh and its neighborhood, Kayseri, Turkey. Environmental Geology. 53: 399-415.

www.SID.ir

Archive of SID

J. of Soil Management and Sustainable Production, Vol. 8(4), 2019
http://ejsms.gau.ac.ir

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Risk Assessment of Heavy Metals in Soils around Khuzestan Steel Company

M. Lajmir Orak Nejati[1], *N. Rang Zan[2], H. Nadian Ghomsheh[3] and B. Khalilimoghadam[4]

[1]M.Sc. Graduate, Dept. of Soil Science and Engineering, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, [2]Assistant Prof., Dept. of Soil Science and Engineering, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, [3]Professor, Dept. of Soil Science and Engineering, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, [4]Associate Prof., Dept. of Soil Science and Engineering, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan

Received: 10.21.2018; Accepted: 01.06.2019

Abstract

Background and Objectives: Heavy metals are the pollutants that became a global problem because of their stability in environment. Each year on a global scale thousands of tons of heavy metals are release into the soil system. The most important pathway of exposure to human is daily intake of food. Accumulation of heavy metals in soil and cross the critical limit, make unsafe food which is menacing human health. The human body is adopted with essential elements such as iron, copper, manganese and zinc in special dose but high concentration of iron and manganese cause Parkinson's disease. High concentration of copper causes damage to the liver and high concentration of zinc causes malfunctioning of copper which has effect on immune system. Other metals such as lead and cadmium at any concentrations induced renal tumors, reduced growth and increased blood pressure, therefore, the risk of cardiovascular diseases for adults can be increased.This experiment was conducted to evaluate the non-carcinogenic risk assessment of heavy metals in spinach and coriander grown on metal contaminated soils which were collected from vicinity of Khuzestan Steel Company.

Materials and Methods: For this purpose, topsoil samples (0-15 cm) were collected from around of Khuzestan Steel Company according to prevailing wind direction (east-west). Exact sampling location was determined using GPS. Total metal content was determined using aqua-regia solution digestion method. EDTA and DTPA extractable metal also measured with standard methods. The experiment was laid out in factorial completely randomize designs with three treatments consist of distance (100, 1000 and 10000 meters), vermicompost (0, 3% w/w) and peat in (0, 3% w/w) with three replications. Seeds of spinach and coriander were sown in pots and harvested after 8 weeks. Total metal content in plants analyzed after digestion with di-acid mixture. According to toxic level of Zn, Cu, Cd, Pb and Ni hazard quotient was calculated.

Results: The results showed that organic manures stabilize metals and reduce the risk of their release into the environment. The effect of Peat on adsorption and reducing heavy metals transfer to plant was higher than vermicompost, whiles vermicompost was more effective in increasing fresh and dry weight of both of plants. By and large, heavy metals were reduced in soils as distance from factory increased. This is indicating the role of the factory to contaminate the surrounding land. Hazard quotient value in case of lead and cadmium were more than permissible limit but about others were acceptable which may be related to soil properties which are preventing heavy metals solution.

Conclusion: According to nutrition aspects of vegetables and importance of providing high quality food, application of organic manure in soil can be effective not only in increasing quantity of production but also in quality of them especially in case of polluted area.

Keywords: Contamination index, Coriander, Hazard quotient, Organic manure, Spinach

* Corresponding Author; Email: n.rangzan@ramin.ac.ir

www.SID.ir