Archive of SID

بررسی چالش‌های زیست محیطی عرصه کشاورزی و امنیت غذایی
اصفهان- نیمسال دوم ۱۳۹۰ و نیمسال اول ۱۳۹۱
مدیریت محیط زیست و توسعه پایدار کشاورزی سازمان جهادکشاورزی استان اصفهان

به خطر افتادن سلامتی انسان از طریق جذب فلزات سنگین از گیاهان در اثر آبیاری با پساب تصفیه نشده

راضیه ملایی: دانشجوی سابق کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی دانشگاه صنعتی اصفهان
جهانگیر عابدی کوپائی:استاد گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان،
koupai@cc.iut.ac.ir
سید سعید اسلامیان:دانشیار گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان

چکیده

سمیت فلزات سنگین یکی از مشکلات زیست محیطی مهم می‌باشد که با تجمع در گیاهان و ورود به زنجیره غذایی، سلامت بشر را تهدید می‌کند. افزایش نیاز آبی و تقاضای بیشتر آب به منظور آبیاری در بخش کشاورزی، سبب افزایش روزافزون استفاده مجدد از پساب‌های تصفیه شده یا خام شهری و صنعتی در بسیاری از کشورهای جهان شده است. فلزات سنگین موجود در این-گونه آب‌های نامتعارف یکی از منابع آلودگی آب و خاک می‌باشد. سمیت فلزات سنگین در گیاهان سبب بروز اختلالاتی در گیاه می‌شود که در نهایت ممکن است سبب کاهش رشد گیاه شوند. تجمع فلزات سنگین در بدن انسان، سبب ایجاد مشکلاتی برای سلامتی از جمله ایجاد اختلال در اعصاب، خون، قلب و عروق، کلیه و اندام تولیدمثل می‌شوند. هدف از این مطالعه بررسی اثرات فلزات سنگین بر سلامت انسان و همچنین مروری بر مطالعات انجام شده بر تجمع این عناصر در گیاهان مختلف ناشی از آبیاری با پساب و همچنین رشد گیاهان در مناطق آلوده، می‌باشد. نتایج نشان داد که استفاده از پساب در بسیاری از نقاط جهان سبب تجمع فلزات سنگین در خاک و گیاه و در نتیجه سبب خطرات زیست محیطی و به خطر افتادن سلامت می-شود. بنابراین در کاربرد پسابها در کشاورزی، احتمال تجمع فلزات سنگین در خاک و حضور پاتوژون‌ها نیاز به مدیریت دقیق این منابع دارد. از راه‌حل‌های ممکن کاربرد پساب تصفیه شده و گندزدائی شده در دوره محدود می‌باشد.

۱- مقدمه

آلودگی محیط زیست با فلزات سنگین به عنوان یک مشکل جهانی در حال گسترش، مطرح می-باشد. فلزات سنگین به دلیل غیر قابل تجزیه بودن و آثار زیان‌بار فیزیولوژیک بر جانداران در غلظت‌های کم، اهمیت ویژه‌ای در آلودگی محیط زیست دارند [۳۱ و ۳۲]. آلودگی محیط زیست به وسیله فلزات سنگین از دیرباز آغاز شده و با توسعه صنعت و نیز استفاده از معادن تشدید

www.SID.ir

Archive of SID

گردیده است [۲۷]. فعالیت‌های انسانی مانند فعالیت‌های کشاورزی، صنعتی و زندگی شهری مقادیر فلزات سنگین در خاک و آب را افزایش داده و از این‌رو بر مقدار فلزات در گیاهان نیز اثر می‌گذارند [۴۳]. یک راه مهم آلوده شدن خاک، رسوب فلزات از طریق اتمسفر از منابع نقطه‌ای (متمرکز) مانند معادن فلزدار، فعالیت‌های صنعتی و ذوب فلزات، روی خاک می-باشد. دیگر منابع غیر نقطه‌ای آلودگی خاک‌های کشاورزی، منابع مختلف مانند کودها، آفت‌کش-ها، لجن حاصل از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری [۵۶] مصرف پساب‌های شهری و صنعتی [۲۶]، کود آلی و کمپوست می‌باشد[۵۶]. اکثر فلزات سنگین در لایه سطحی خاک رسوب نموده و تجمع می‌یابند. تجمع فلزات سنگین در خاک تدریجی بوده و در دراز مدت منجر به افزایش غلظت آن‌ها می‌شود؛ این غلظت می‌تواند به حدی برسد که امنیت غذایی بشر را تهدید نماید [۴]. خاک محیط طبیعی برای رشد گیاهان است و از آن‌جا که گیاهان منبع تغذیه برای موجودات به طور مستقیم و غیرمستقیم هستند، هر نوع تغییری در کیفیت و خواص فیزیکی و شیمیایی آن بر موجودات دیگر تأثیرگذار است [۴۴ و ۵۲]. بنابراین فلزات سنگین به هر نحو که به خاک‌های کشاورزی وارد می‌شوند باید در سطوحی نگهداری شوند که حداقل زیان را به گیاهان وارد نموده وکمترین خطر مصرف را از طریق ورودبه زنجیره غذایی داشته باشند[۲۵]. با توجه به اینکه استفاده روز افزون فلزات سنگین در تولیدات بشری، سبب ایجاد معضل آلودگی ناشی از آنها شده است، که ورود این عناصر به زنجیره غذایی سلامت بشر و محیط زیست را تهدید می‌کند، مطالعات در زمینه ورود این عناصر به گیاهان به عنوان ورودی زنجیره غذایی ضروری به نظر می‌رسد. هدف از این مطالعه مروری بر مطالعات انجام شده بر تجمع فلزات سنگین در گیاهان، بویژه گیاهان تحت آبیاری با پساب و اثرات آن بر سلامت انسان و گیاه در مناطق مختلف می‌باشد.

۲- منابع آلودگی خاک و آب با فلزات سنگین

به دلیل تنوع زیاد در استفاده از فلزات سنگین، آلودگی خاک به وسیله این عناصر نیز ممکن است از راه‌های بسیار متنوعی صورت پذیرد. از نظر تاریخی آلودگی خاک به وسیله معادن استخراج و کارخانه‌های ذوب این گونه فلزات شروع شده، و باعث بروز مشکلات زیست محیطی بسیار جدی در مناطق مجاور این معادن گردیده است. علاوه بر این رسوب این مواد در حفره‌ها و گودال‌ها و به دنبال آن جمع شدن رواناب سطحی در این گودال‌ها باعث آلودگی آب‌های زیرزمینی شده است. همچنین غبار حاصل از توفان در این مناطق باعث گستردگی دامنه آلودگی و در معرض قرار گرفتن ساکنین حاشیه این معادن می‌گردد [۱۶]. از دیگر منابع آلودگی، فلزات موجود در بارش‌های اتمسفری است که به منابع آب و خاک راه می‌یابند. برخی از منابع برجسته

www.SID.ir

Archive of SID

آلودگی اتمسفر به فلزات عبارتند از: احتراق سوخت‌های فسیلی به منظور تولید انرژی (وانادیم، نیکل، جیوه، سلنیم و قلع)، دود خودروها (سرب)، حشره‌کش‌ها (آرسنیک)، صنایع فولادسازی (کروم و منگنز) و کارخانه‌های ذوب و استخراج فلزات [۱۰ و۵۰] خاک و آب ممکن است در نتیجه فعالیت‌های صنعتی و یا کشاورزی با غلظت‌های بالایی از مواد، آلوده شده باشند. وجود فلزات سنگین در فراورده‌های صنعتی که در کشاورزی کاربرد دارند، خطرهای بیشماری برای موجودات زنده به وجود می‌آورند. وجود فلزات سنگین در کودهای شیمیایی، آفت‌کش‌ها، علف‌کش‌ها و حشره‌کش‌ها، پساب‌های صنعتی و خانگی و لجن فاضلاب‌ها که برای افزایش تولید محصولات کشاورزی به خاک افزوده می‌شوند، نگرانی‌های زیادی از نظر ذخیره‌ی آن‌ها در خاک به وجود آورده است. افزون بر این با افزایش نیاز به آب آبیاری و همچنین کمبود منابع آبی، پساب‌های صنعتی و خانگی به عنوان منابعی عمده اهمیت یافته‌اند. همچنین ارزش لجن فاضلاب به عنوان کود در پژوهش‌های زیادی مشخص شده است که یکی از منابع ورود فلزات سنگین به محیط آب و خاک به حساب می‌آیند [۲۹ و ۳۶]. مقدار برخی از فلزات سنگین در پوسته زمین و هم‌چنین غلظت طبیعی (غیرآلوده) و غیرمعمول (آلوده) فلزات در خاک به ترتیب در جدول‌های (۲-۱) و (۲-۲) ارائه شده‌اند.

فلز سنگین	نیکل	روی	مس	سرب	کادمیم	آهن	جیوه
فراوانی (mg/kg)	۷۵	۷۰	۵۵	۱۲/۵	۰/۲	۵۰۰۰۰	۰/۰۸

جدول ۲-۱ فراوانی بعضی از فلزات سنگین در پوسته زمین[۱۱]

عنصر	طبیعی(mg/Kg)	غیر معمول(mg/Kg)
آرسنیک	۴۰-۵>	تا ۲۵۰۰
کادمیم	۲-۱>	۳۰- ۵
مس	۶۰-۲>	۲۰۰۰
مولیبدن	۵-۱>	۱۰۰-۰ ۱
نیکل	۱۰۰-۲	تا ۸۰۰۰
سرب	۱۵۰-۱۰	۱۰۰۰۰ یا بیشتر
سلنیم	۲-۱>	تا ۵۰۰
روی	۲۰۰-۲۵	۱۰۰۰۰ یا بیشتر

جدول ۲-۲ غلظت طبیعی و غیر معمول برخی عناصر کمیاب در خاک [۵۹]

www.SID.ir

Archive of SID

جدول‌های (۲-۳) و (۲-۴) استانداردهای فلزات سنگین را در خاک و آب برای برخی کشورها نشان می‌دهند.

فلز	استرالیا	کانادا	لهستان	ژاپن	انگلستان	آلمان
آرسنیک	۵۰	۲۵	۳۰	۱۵	۲۰	۴۰
کادمیم	۵	۸	۳	–	۱	۲۰
جیوه	۵	–	۵	–	–	۱
کبالت	۵۰	۲۵	۵۰	۵۰	–	–
مس	۱۰۰	۲۰۰	۱۰۰	۱۲۵	۱۰۰	۵۰
سرب	۱۰۰	۲۰۰۰	۱۰۰	۴۰۰	۱۰۰	۵۰۰
نیکل	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۴۰۰	۵۰	۲۰۰

جدول ۲-۳ حداکثر مقدار مجاز فلزات سنگین در خاک‌های کشاورزی بر حسب میلی‌گرم در کیلوگرم خاک در کشورهای مختلف [۵۷]

عنصر	EPA[۱](۲۰۰۴)	EPD[۲] (۲۰۰۴)	PCD[۳](۲۰۰۴)
کروم	۰/۱	۰/۰۵-۰/۱	۰/۲۵
کادمیم	۰/۰۱	۰/۰۰۱-۰/۰۵	۰/۰۳
نیکل	۰/۲	۰/۱-۰/۲	۱
روی	۱	۰/۶-۱	۵
مس	۰/۲۵	۰/۰۵-۰/۱	۲

جدول ۲-۴ حداکثر غلظت قابل قبول برای فلزات سنگین در آب سطحی [۲۸]

اندازه گیری آلاینده های مختلف شیمیایی در آب و رسوبات رودخانه کر در استان فارس در سالهای گذشته بیانگر نقش اصلی صنایع در آلوده سازی رودخانه است [۱۹]. بررسی های انجام شده در مخازن و منابع آب آشامیدنی در پایین دست مناطق استخراج معدن در ایتالیا، حاکی از وجود مقادیر بسیار زیادی کادمیم ، سرب و مس در شاخه های مختلف رودخانه های منطقه بر اثر ورود زهکش معدن است علاوه بر آن در رسوب رودخانه ها نیز مقادیر بالایی از فلزات فوق مشاهده شده است [۵۲]. مطالعاتی که در امریکا بر رودخانه می سی سی پی در مورد روند

۱- Environmental Protection Agency (EPA), USA
۲- Environmental Protection Department (EPD), Hong Kong Special Administrative Region (HKSAR)
۳- Pollution Control Department (PCD), The Ministry of Natural Resource and Environment. Thailand

www.SID.ir

Archive of SID

گسترش آلودگی و ردیابی به فلزات سنگین در جانداران انجام گرفت، نشان داد که غلظت آلودگی به کادمیم در جانداران بالادست رودخانه، حداقل ۷ نانوگرم بر گرم و در جانداران پایین دست، حداقل ۱۵۰ نانوگرم برگرم وزن خشک جاندار بوده است [۱۹]. بررسی های انجام شده در مناطق آلوده لوئیزیانای جنوبی ایالات متحده آمریکا روی تغییرات محیطی روی، مس، نیکل، آهن، سرب، کرم، آلومینیم، کادمیم و نقره مشخص کرد که میزان فلزات فوق در رسوبات سطحی رودخانه های منطقه، بیش از مقادیر همین عناصر در رسوبات عمیق است این بررسی ها نشان داد که فاضلاب های شهری بیشترین تأثیر را در افزایش با فلزات تخلیه شده در محیط دارند[۵۱]. تحقیقات روی رودخانه زرجوب در استان گیلان نشان داد که به دلیل ورود فاضلابهای صنعتی، شهری و کشاورزی منطقه رشت و به دلیل عدم تجزیه طبیعی عناصر فلزی، آلودگی فلزات سنگین در این رودخانه بسیار افزایش یافته و به حد بحرانی رسیده است [۴]. اندازه گیری جیوه، کادمیم و سرب در آب ، رسوب و ماهیان رودخانه های کارون و دز نشان داد که مقدار جیوه بین ۱۱-۳۰۰ در ایستگاه های مختلف تغییر کرده است [۲۱].

۳- جذب و تجمع عناصر سنگین در بافت‌های گیاهی

در میان عناصری که برای گیاهان سمی هستند و آن‌ها که اثر سودمند دارند و یا حتی ضروری به شمار می‌آیند، تمایز روشنی وجود ندارد[۶]. بعضی از فلزات سنگین از جمله Co، Cr، Cu، Fe، Mn، Mo، Ni و Zn در مقادیر کم برای رشد و حیات گیاهان یا جانوران ضروری می‌باشند اما برخی دیگر مانند Cd، Pb و Hg برای موجودات زنده سمی هستند [۳۷]. اثر یک عنصر روی گیاه نه تنها به خواص شیمیایی آن عنصر بلکه به غلظت آن و هم‌چنین غلظت سایر عناصر بستگی دارد. اثر سمی عناصری مثل سرب و کادمیم ناشی از رقابت آن‌ها با عناصر ضروری سبکتر در رفتار بیوشیمیایی و جذب به وسیله گیاه است، که در نتیجه جای آن‌ها را در وظایف بیوشیمیایی می‌گیرند. به عنوان مثال کادمیم می‌تواند جذب و وظایف متابولیسمی شبیه روی داشته باشد. افزایش غلظت فلزات سنگین در محلول خاک می‌تواند باعث کاهش رشد گیاهان و تجمع در بافت‌های گیاهی گردد [۶]. وجود مقادیر کافی عناصر آهن، مس، روی، منگنز و مولیبدن قابل جذب در خاک جهت رشد و نمو گیاهان ضروری می‌باشد. ولی چنانچه غلظت فرم قابل جذب این عناصر در خاک بالا رود گیاه مقادیر زیادی از آن‌ها را جذب و در بافت‌های خود ذخیره می-کند و باعث صدمه به گیاهان و دیگر جانداران می‌شود [۲۲]، از سوی دیگر غلظت بیش از حد عناصری مانند کادمیم و سرب بر محصولات زراعی اثرات نامطلوبی دارد [۱۷] کادمیم در مقایسه با دیگر فلزات سنگین دارای تحرک بالاتر، جذب بیشتر و سمیت قابل توجهی می‌باشد [۵۸]. فلزات سنگین دارای دو نوع سمیت بر گیاهان هستند. تأثیر اولیه سمیت فلزات سنگین، تغییر

www.SID.ir

Archive of SID

نقش کاتالیزوری آنزیم‌ها، تخریب غشاهای سلولی و ممانعت از رشد ریشه می-باشد. این تغییرات باعث ایجاد چند تأثیر ثانویه نظیر ممانعت فتوسنتز و جذب عناصر غذایی، عدم توازن هورمونی، ایجاد تنش آبی، تغییر در تجمع مواد فتوسنتزی و تغییرات ساختمان می-گردند [۶]. سبزی‌ها در برابر عناصر سنگین بیش از گندمیان و چمن‌ها از خود حساسیت نشان می‌دهند. برخی از گیاهان می‌توانند غلظت‌های بالای برخی از عناصر سنگین مانند آرسنیک، مس و کادمیم را تحمل کنند (۵۰ تا ۵۰۰ برابر بیشتر از میانگین جذب گیاه) و در بافت‌های خود ذخیره کنند [۴۵ و ۵۴].حدود غلظت‌های بحرانی و سمیت عناصر سنگین به عوامل متعددی از جمله ویژگی‌های گیاهی (گونه و اندام گیاه) و اثرهای متقابل فلزات سنگین بستگی دارد.گیاهان مختلف و حتی گیاهان یک گونه و بخش‌های مختلف یک گیاه رفتار متفاوتی در مقابل جذب عناصر سنگین نشان می‌دهند. جدول (۱-۸) غلظت‌های کمبود، معمول و سمیت برخی عناصر سنگین در برگ گونه‌های مختلف گیاه را نشان می‌دهد. مطالعه روی سه محصول چغندرقند، ذرت و گندم بهاره نشان داد که افزایش غلظت بیش از حد آستانه مس در خاک سبب کاهش ۱۰ درصدی عملکرد نسبی محصولات شده است [۱۶]. نتایج خداوردیلو (۱۳۸۵) در یک پژوهش گلخانه‌ای نشان داد که با افزایش غلظت سرب و کادمیم در خاک به بیش از غلظت مجاز آن، عملکرد نسبی گیاهان اسفناج و شاهی کاهش پیدا می‌کند [۱۰]. اثر سمیت فلزات بر گیاه و سایر موجودات زنده از جمله انسان به خاطر تمایل آن‌ها به گروه‌های سولفیدریل موجود در ساختمان پروتئین‌ها و آنزیم‌ها می‌باشد [۱۰]هم‌چنین بررسی‌های دیگر نشان داده سمیت فلزات می‌تواند به دلیل القاء تنش اکسیداتیوی باشد که سبب تشکیل گونه‌های آزاد اکسیژن می‌شود [۵۴].

عنصر	علائم مسمومیت در گیاه
روی	کلروز و نکروز در برگ‌های انتهایی، کلروز بین آوندها در برگ‌های جوان، عقب ماندن رشد، ریشه‌های زخمی و شبیه سیم خاردار.
مس	وجود برگ‌های سبز تیره همراه با کلروز آهن و ریشه‌هایی به شکل سیم خاردار، در علف‌ها و چمن‌ها کاهش طول ساقه جانبی
منگنز	ایجاد لکه‌های قهوه‌ای مایل به سیاه یا لکه‌های نکروز قرمز، تجمع ذرات اکسید منگنز در سلول‌های اپیدرمی، خشک شدن انتهای برگ‌ها و عدم رشد ریشه‌ها و گیاه، ایجاد کلروز و نکروز در برگ‌های مسن.
کادمیم	قهوه‌ای شدن اطراف برگ‌ها، کلروز، قرمز شدن برگ‌ها و دمبرگ‌ها، برگ‌های پیچیده، قهوه‌ای شدن ریشه‌ها و کاهش رشد.
نیکل	کلروز داخل آوندی در برگ‌های جوان (به سبب کمبود آهن)، برگ‌های سبز خاکستری و قهوه‌ای، کاهش رشد ریشه و گیاه.
سرب	برگ‌های سبز تیره، پژمرده شدن برگ‌های سبز جوان، عدم رشد شاخ و برگ و ریشه‌های کوتاه قهوه‌ای رنگ

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳-۱ علائم مسمومیت گیاه در اثر مقادیر زیاد و سمی عناصر سنگین در خاک [۱۵]

فلزات سنگین بصورت خالص در خاک ممکن است هیچ گونه تأثیر مستقیمی بر رشد و نمو گیاهی نداشته باشد ولی شکل‌هایی از این عناصر که در دسترس گیاه می‌باشد و از طریق محلول خاک جذب گیاه می‌شود بر رشد و نمو گیاه تأثیر می‌گذارد [۱۷]. بر طبق نظریه کلارکسون (۱۹۸۶) تجمع فلزات سنگین در بافت‌های گیاهی الزاماً به صورت سمی نیست بلکه آن‌ها ممکن است غیرفعال یا به شکل ذخیره در گیاه یافت شوند، بطوری‌که در مطالعه‌ای جذب اولیه سرب و کادمیم در گراس تأثیرات مسمومیت را نشان نداد ولی با افزایش نسبت جذب سرب و کادمیم سمیت این عناصر آشکار شد [۳۸]در تحقیق سیلانپا و جانسون (۱۹۹۲) بین غلظت سلنیوم، کادمیم، کبالت و سرب در خاک و اندام هوایی ذرت و گندم رابطه نزدیکی بدست آمد. در این تحقیق، نمونه‌های خاک و اندام هوایی ذرت و گندم از ۳۰ کشور مختلف جمع آوری و ارزیابی شد. نتایج نشان دهنده وجود ارتباط نزدیک بین غلظت فلزات سنگین در خاک با غلظت این عناصر در گیاه بود. هم‌چنین اثر نوع گیاه را بر مقدار جذب فلزات مورد تأیید قرار داده است. در مطالعه‌ای دیگر پساب را با تیمارهای مختلف شامل پساب معمولی، پساب با غلظت فلزات سنگین ۵ برابر و غلظت ۱۰ برابر بر روی چند گونه گیاهی بررسی نمودند و نتایج این تحقیق نشان داد که بیومس کل گیاه با افزایش غلظت عناصر در پساب کاهش می‌یابد بطوری‌که غلظت بالای فلزات سنگین تولید گیاهی را بویژه در برگ‌ها و ساقه‌ها کاهش می‌دهد. سی دلکا (۱۹۹۵) گزارش کرد که فلزات سنگین مانند کادمیم که با عناصر غذایی دیگر جذب می‌شوند تنفس ریشه را کاهش و تولید ریشه را باز می‌دارند [به نقل از ۱۷]. برخی تحقیقات نشان داده‌اند که مقدار تجمع فلزات سنگین بسته به نوع فلز، شرایط خاک و گونه گیاهی متفاوت بوده ولی عمدتاً مقدار تجمع در اندام‌های هوایی به‌ویژه برگ و ساقه بیشتر از سایر اندام‌ها بوده و در دانه بسیار کمتر از برگ و ساقه می‌باشد [۲۶]. اما برخی نیز گزارش کرده‌اند که اغلب فلزات تمایل دارند که در قسمت ریشه گیاهان، باقی بمانند [۵۵]. به طور کلی غلظت فلزات سنگین در گیاهان برگی نسبت به دیگر گیاهان غذایی بیشتر است [۳].

۴- اثر فلزات سنگین بر سلامت انسان

تجمع بیش از حد فلزات سنگین در خاک سبب مسمومیت گیاه می‌شود. فلزات سنگین در بافت-های گیاهی تجمع یافته و وارد زنجیره غذایی انسان می‌شوند [۶]. انسان از طریق زنجیره غذایی در معرض فلزات سنگین قرار می‌گیرد. در مورد اثر مستقیم فلزات سنگین مدارک ثبت شده‌ای برای انسان وجود ندارد یا بسیار کم است اما در مورد اثرغیر مستقیم این عناصر بر سلامتی انسان

www.SID.ir

Archive of SID

مدارک زیادی در دست است که نشان می‌دهد این عناصر از طریق زنجیره غذایی وارد بدن شده و بدین ترتیب سلامت انسان را مورد تهدید قرار می‌دهند [۱۶ و۶]. انسان به دلیل نیمه عمر طولانی برخی فلزات تمایل زیادی به ذخیره سازی اینگونه عناصر دارد که این مسئله سلامت انسان ها را به شد ت تهدید می کند [۱۳].

حد معمول و آستانه سمیت فلزات بر حسب مقدار جذب آن‌ها در جدول (۱-۸) آورده شده است [۶]. عناصر کادمیم، سرب و استرانسیم در غلظت‌های پایین ایجاد سمیت می‌کنند. در حالی که آستانه سمیت فلزات روی، مولیبدن و کبالت در انسان نسبتاً بالا است. خوشبختانه بخش اعظم فلزات سنگین پس از ورود به بدن انسان دفع شده و به این ترتیب از اثرات منفی آن‌ها کاسته می‌شود [۳۲]. در مطالعه‌ای که چنی (۱۹۸۰) بر احتمال بروز خطر در مورد سلامتی انسان به وسیله عناصر سنگین انجام داد، این فلزات را در چهار گروه طبقه‌بندی کرد. گروه اول شامل کروم، استرانسیم، تیتانیم، وانادیم و زیرکونیم بوده که قابلیت انحلال کمی داشته و بنابراین مقدار جذب آن توسط گیاه ناچیز است. گروه دوم شامل سرب و جیوه است که به شدت توسط کلوئیدهای خاک جذب شده و ممکن است به وسیله ریشه گیاهان جذب شوند. این عناصر به سادگی از ریشه به اندام هوایی گیاه منتقل نشده و خطر کمی برای سلامتی انسان دارند. گروه سوم شامل مس، منگنز، مولیبدن، نیکل، روی و بر می‌باشد که به آسانی جذب گیاه شده، اما غلظت آن‌ها در محدوده‌ای است که خطر کمی برای سلامتی انسان دارد. گروه چهارم شامل کبالت، سلنیوم و کادمیم است که غلظت آن‌ها در گیاه به حدی است که علائم سمیت در گیاه دیده نمی‌شود ولی سلامتی انسان و حیوان را تهدید می‌کنند [۱۳].

ورود عناصر سنگین به بدن در غلظت‌های بالا موجب اختلال در اعصاب، خون، قلب و عروق، کلیه و سیستم تناسلی در انسان می‌شود [۱۶] و برخی از فلزات مانند مس و روی در غلظت‌های پایین اثرات سمی کمتری دارند اما برخی دیگر مانند سرب، آرسنیک جیوه و کادمیم حتی در غلظت‌های پایین بسیار سمی بوده و موجب ایجاد بیماری و سرطان در انسان می‌شوند [۱۶]مصرف غذاهای آلوده به فلزات سنگین ممکن است سبب کمبود برخی از عناصر غذایی ضروری برای بدن شود، در نتیجه سبب کاهش پدافندهای ایمنی، تأخیر رشد جنین، اختلالات رفتارهای روانی-اجتماعی، ناتوانی‌های مربوط به سوء تغذیه و شیوع بالای سرطان معده و روده شود[۶].

در میان فلزات سنگین، کادمیم به دلیل تحرک نسبتاً بالا در خاک و پتانسیل سمیت برای جانداران در غلظت‌های پائین، دارای نگرانی ویژه‌ای است. کادمیم فلز سنگین غیرضروری است که هیچ‌گونه مصرف متابولیکی ندارد و اگرچه به طورطبیعی کادمیم در غلظت‌های پایین در

www.SID.ir

Archive of SID

خاک تجمع می‌یابد، مقادیر بالای کادمیم در برخی از خاک‌ها گزارش شده است [۷]. از آن‌جایی که نیمه عمر بیولوژیکی این فلز در بدن انسان بین ۱ تا ۳۰ سال می‌باشد، و اینکه در بدن قابل تبدیل به ترکیب دیگر نیست، لازم است که تا آن‌جا که ممکن است مقدار ورود این عنصر به زنجیره غذایی کاهش داده شود [۱۶و۴۵].

زمانی که کادمیم وارد بدن می شود در در کلیه و کبد، اندام‌های تولید مثل، سیستم عصبی، تنفسی، گوارش و ماهیچه‌های قلب تجمع یافته و هنگامی که مقدار آن از حد معینی تجاوز پیدا کند ، به واسطه اثرات درازمدت، عوارض ناشی از ان به صورت بیماری های گوناگون نمایان می شود و باعث اثرات تخریب و ایجاد اختلال در عملکرد اعضاء می شود. این اثرات در کودکان از شدت بیشتر و عوارض حادتری برخوردار است[۱۶ ، ۵۷و۶۱] کادمیم اغلب با متالوتنین ترکیب می‌شود و در کرتکس کلیه انباشته می‌شود. بد کار کردن کلیه نخستین علائم سمیت کادمیم است. تجمع بیش از ۲۰۰ mg/g (وزن تر) کادمیم در کرتکس کلیه، سمی و خطرناک است [۹]. اثرات بیوشیمیایی کادمیم شامل شکسته شدن اکسیدهای فسفر، تداخل در فعالیت آنزیم ها و همچنین توانایی در واکنش با اسیدهای نوکلئیک [۲۰] و بروز ناهنجاری‌های کروموزومی و سرطان‌زائی در ریه [۱۶ و۳۰] می‌باشد. خوردن سبزیجات حاوی کادمیم توسط انسان‌ها و حیوانات سبب بروز برخی بیماری‌ها مانند نفخ ریه، نفخ نایژه، سرطان، فشار خون بالا، تخریب بافت بیضه و سلول‌های خون قرمز می‌شود [۱۱ و۱۲]. جذب مداوم کادمیم ممکن است با کاهش جذب یون توسط روده، سبب کم‌خونی شود. به علاوه جذب کادمیم ممکن است باعث بروز بیماری ایتایی-ایتایی شود [۹]. طبق سازمان سلامت جهانی[1]، مقدار مجاز جذب هفتگی کادمیم ۷ mg/g از وزن بدن می‌باشد. مقدار مجاز کادمیم در لجن فاضلاب برای استفاده‌ی کشاورزی ۸۵ mg/kg خاک، و حداکثر ۳۹ mg/kg متوسط ماهانه (EPA part 503) می‌باشد. همچنین مقدارکل کادمیم در هر ایکر نباید از ۱/۹ کیلوگرم تجاوز کند (EPA, 1995). متوسط جذب روزانه کادمیم در رژیم غذایی، ۳۰-۱۵میلی‌گرم در انگلستان و بیشترین مقدار برابر ۹۲ میلی‌گرم در امریکا تخمین زده شده است [۱۸]. مقدار مجاز کادمیم در پساب برای استفاده در کشاورزی، توسط آژانس حفاظت محیط زیست ایران، برابر ppm ۰/۰۱ اعلام شده است [۴۴]. مقدار مجاز کادمیم در گیاه برای مصرف انسان حدود ppm ۰/۵ [۴۰] و برای مصرف حیوانات ppm ۱۰ تا ۲۰ گزارش شده است [۵۳].

[1]World Health Organization

www.SID.ir

Archive of SID

سرب به طور طبیعی در محیط وجود دارد ولی در اکثر موارد حاصل فعالیت‌های بشر از قبیل کاربرد در تولید بنزین می‌باشد. نمکهای سرب از راه اتومبیل ها وارد محیط زیست شده و خاک و آب و هوا را آلوده می کند. سرب همانند کادمیم در متابولیسم بسیاری از آنزیم ها اثر می گذارد و نیز با اسیدهای نوکلئیک کمپلکس تشکیل می دهد و در واکنش های آن ها اثر می گذارد. در ضمن این عنصر تأثیر قابل توجهی درمکانیزم های ایجادکننده سرطان در بدن دارد. همچنین اختلال در بیوسنتز هموگلوبین و کم خونی، افزایش فشار خون، آسیب به کلیه، سقط جنین، اختلال سیستم عصبی، کاهش قدرت یادگیری و اختلالات رفتاری در کودکان از عوارض ناشی از افزایش غلظت سرب در بدن است [۴۶]. در شهر تبریز طی سالهای ۷۶ و ۷۸ احتمال مرگ و میر تعدادی از شهروندان به علت آبیاری مزارع صیفی جات و سبزیجات توسط فاضلاب خام شهری، داده شد[۲۳]. ظهور بیماری ایتائی-ایتائی[1] در ژاپن به علت ورود فاضلاب های حاوی کادمیم به کشتزارهای برنج [۶ و ۵۳] و ایجاد بیماری میناماتا[2] در همین کشور بر اثر آلودگی آب خلیج مینامات به فاضلاب حاوی جیوه که باعث مرگ افراد زیادی شد. میلیون‌ها آبزی در رودخانه زرجوب گیلان به دلیل آلوده شدن به فاضلاب حاوی سیانور ناشی از صنایع الکترونیکی از بین رفتند [۷]. مطالعات به عمل آمده در حوادث خلیج کیوشو در ژاپن ۹۷۰ و جاکارتا در اندونزی ۱۹۸۶ نشان داد که، علت اصلی مرگ و میر بیش از ۲ هزار نفر در ژاپن و ۲۰ کودک روستایی اندونزیایی، مصرف ماهی های آلوده به جیوه حاصل از تخلیه فاضلاب صنایع به دریا بوده است [۳۹].

۵- اثرات کاربرد پساب بر خاک و گیاه

با افزایش شهرنشینی و رشد روز افزون جمعیت در کشورهای در حال توسعه، مسئله کمبود آب مخصوصاً در مناطق خشک و نیمه خشک همچون ایران جدی‌تر و مشکل سازتر شده است. افزایش جمعیت سبب مصرف آب بیشتر در مصارف خانگی، تجاری و بخش‌های صنعتی و در نتیجه تولید حجم بیشتری از پساب شده است. به همین دلیل استفاده مجدد از پساب به عنوان یکی از راه‌حل‌های اصلی رفع تنگناهای کمبود آب، جهت افزایش سطح زیر کشت و افزایش تأمین غذا در کشورهای در حال توسعه، مطرح می‌باشد [۹، ۲۸، ۳۶، ۶۹ و ۷۴]، تقریباً در اغلب کشورهای در حال توسعه، گزینه‌ی دیگری جز استفاده از پساب در آبیاری وجود ندارد. به طوری که حتی ممکن است، جهت تأمین مواد مغذی در خاک و هم‌چنین ارزان‌تر بودن آب مصرفی، از پساب رقیق نشده در آبیاری استفاده‌کنند [۴۲]. پساب‌های صنعتی اغلب حاوی مقادیر زیادی

2.Etai-Etai
3-Minamata

www.SID.ir

Archive of SID

فلزات، شبه فلزات و ترکیبات فرار و یا نیمه فرار هستند، در حالی‌که پساب خانگی اغلب به دلیل وجود پاتوژن‌ها مضر هستند [۴۲]. مهم‌ترین فلزات سنگین موجود در فاضلاب‌ها شامل کادمیم، روی، مس، سرب، نیکل، کروم، قلع وآرسنیک می‌باشند [۵]. استفاده بدون برنامه‌ریزی از پساب‌ها ممکن است مشکلات زیست محیطی زیادی را به بار آورد. شور شدن خاک‌ها، تخریب ساختمان خاک، تجمع فلزات سنگین در خاک و گیاه، مسمومیت گیاه و کاهش عملکرد آن‌ها، شیوع بیماری‌ها، آلودگی منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی نمونه‌هایی از این‌گونه پیامدها می‌باشد [۲۰]. استفاده از این منابع در مناطق مختلف، آلودگی خاک و تجمع فلزات سنگین را در خاک و محصولات به همراه داشته است (جدول۵-۱). در مطالعه انجام شده در ایالت راجاستان هند مقادیر جذب روزانه فلزات (DIM[۱]) در سبزیجات تحت آبیاری با پساب بالا و نزدیک به مقدار بحرانی بود، به همین دلیل محققان شدیداً توصیه کردند که مردمی که در این ناحیه زندگی می‌کنند به منظور جلوگیری از ورود بیش از حد فلزات سنگین به بدن، از مصرف مقادیر زیادی از اسفناج خودداری کنند [۶]. مطالعات نشان می‌دهد که به طور میانگین بیش از ۶ مترمکعب در ثانیه فاضلاب و رواناب سطحی تهران، از طریق مسیل‌ها و کانال‌های فاضلاب با دریافت آلاینده‌های مختلف شهری و صنعتی، صرف آبیاری اراضی جنوب تهران می‌شوند. استفاده از فاضلاب در اراضی زراعی قزوین باعث افزایش غلظت سرب، مس، کادمیم و روی به مقدار چندین برابر حد مجاز شده است. این حالت برای بخش مهمی از اراضی کشور، به‌ویژه اراضی حاشیه‌ای شهرهای بزرگ بوجود آمده و در حال گسترش می‌باشد. بررسی آلودگی اراضی زراعی کشور نشان می‌دهد که مقدار کادمیم و سرب در بخشی از اراضی آلوده استان‌های گیلان، زنجان، اصفهان و چهارمحال بختیاری به ترتیب معادل ۱/۹ تا ۱۸۰/۵ و ۸۹/۴ تا ۲۶۱/۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک است[۲۶]. نتایج پژوهش‌های ترابیان و مهجوری (۱۳۸۱)، نشان می‌دهد که دامنه آلودگی اراضی زراعی جنوب تهران به کادمیم ۰/۱۰۱ تا ۷/۵۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک و در گونه‌های زراعی در محدوده ۱/۴۳-۰/۳۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک محصول می‌باشد که بیش از حد مجاز برای مصارف انسانی است[۵]. بر اساس مطالعات بغوری (۱۳۷۶)، در خاک-های تحت آبیاری با فاضلاب‌های شهری و صنعتی اصفهان، آلودگی شدیدی از نظر عناصر کادمیوم و سرب در مقایسه با آب معمولی مشاهده شده است. بقری و همکاران (۱۳۷۹) در تحقیقات خود دریافتند که در اثر آبیاری با پساب مقدار منگنز و کروم و سرب در خاک‌های تحت کشت در منطقه اصفهان افزایش یافته است [به نقل از **۲۱**]

٤- Daily intake of metals (DIM)

www.SID.ir

Archive of SID

کیفیت فاضلاب کارخانجات نساجی استان یزد و اثر استفاده از آن بر خاک، گیاه و آب زیرزمینی برای یک دوره دو ساله مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که تخلیه پساب صنعتی به آب سطحی از نظر pH، TDS[۱]، TSS[۲]، سولفات، کلراید، روی و کادمیم، برای تخلیه فاضلاب به چاه‌های جاذب از نظر TDS، سولفات، کلراید، روی و کادمیم و برای آبیاری در اراضی کشاورزی از نظر pH فاضلاب، شوری، TDS، TSS، سولفات، کلراید، بیکربنات، مس، روی، و کادمیم فاضلاب محدود کننده بود. علاوه‌براین، مقدار روی و کادمیم در نمونه‌های خاک در محدوده بحرانی بود و مواد آلی، نیتروژن کل، فسفر در دسترس و پتاسیم خاک به مقدار قابل توجهی بالا بود. هم‌چنین نتایج نشان داد که گیاهان به فلزات روی و مس آلوده بودند. در تمام مطالعات فلزات سنگین در خاک از حدودی که قابل کنترل باشد، بالاتر و غلظت برخی فلزات سنگین در خاک و گیاه فراتر از حد مجاز بود [۴۸].

در تحقیقی کاربرد و تأثیر پساب صنعتی ذوب آهن اصفهان بر اراضی کشاورزی و گیاه مو از نظر زیست محیطی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که پساب واحد مورد بررسی از نظر برخی پارامترها شامل کلراید، سولفات و غلظت کبالت، کروم و کادمیم برای تخلیه به آب سطحی، چاه جاذب و آب آبیاری محدود کننده بود. همچنین غلظت قابل جذب (عصاره‌کشی توسط DTPA[۳]) عناصر سنگین در خاک‌های تحت آبیاری با پساب صنعتی بیش از خاک شاهد بود که این اختلاف از نظر آماری معنی‌دار نبود. غلظت کل مس، منگنز، روی و کادمیم در دامنه غلظت بحرانی این عناصر قرار داشت. در برگ درخت مو غلظت منگنز فراتر از حد معمول این عنصر در گیاه بود اما در میوه انگور کلیه عناصر دارای غلظت معمول بودند. در کلیه نمونه‌های گیاهی مورد مطالعه در اراضی کشاورزی اطراف واحدهای صنعتی مورد بررسی غلظت عنصر آهن در نمونه‌های شسته نشده بالاتر از نمونه‌های شسته شده بود **[۱۲]**. بررسی های انجام شده روی محصولات کشاورزی رودخانه خشک شیراز نشان داد که مقدار فلزاتی نظیر منگنز، آرسنک و کرم ۶ ظرفیتی در محصولات مختلف آبیاری شده با پسابهای جاری در مسیر رودخانه بالاست [۸]. در مطالعه کفیل‌زاده و همکاران (۱۳۸۵)، آب رودخانه خشک شیراز در برخی ایستگاه‌ها جهت مصارف آشامیدنی، آبیاری و حیات آبزیان مناسب نبود، همچنین برخی از محصولات کشاورزی اطراف رودخانه حاوی مقادیر فلزات سنگین بودند که مقدار مس در کلیه گیاهان و در برخی موارد آهن بیش از حد مجاز بود [۱۸].

۱- اثر کاربرد پساب در برخی مناطق مختلف جهان

۱- Total Disolve solid
۲- Total suspended solid
1- Dietylen Triamine Panta Acetic Acid (DTPA).

www.SID.ir

Archive of SID

منطقه مورد مطالعه	محققان	موضوع مورد بررسی	نتایج حاصله
پاکستان	حسین و همکاران (۲۰۱۰)	کاربرد طولانی مدت از پساب	- افزایش ۲۴۸ و ۲۶۰ درصدی کادمیم در عمق ۱۵-۰ سانتی متری خاک - تجمع کادمیم در گیاهان: دانه نخود>ذرت>لوبیا>گندم
هند (درگاپور)	گوپتا و همکاران (۲۰۱۰)	کاربرد فاضلاب و پساب صنعتی در آبیاری سبزیجات	- تجمع فلزات سنگین در خاک و گیاه - فاکتور انتقال بالای کادمیم در گیاهان
هند (راجاستان)	آرورا و همکاران (۲۰۰۸)	آبیاری سبزیجات با آب حاصل از منابع مختلف	- تجمع مقادیر قابل توجهی از فلزات در سبزیجات - تجمع بیشترین مقدار آهن در نعناع و اسفناج، تجمع بیشترین مقدار مس و روی در هویج
چین (بجینگ)	رتنبرگ و همکاران (۲۰۰۷)	آبیاری با فاضلاب	- تجمع جیوه در ریشه و ساقه گیاه ذرت - همبستگی منفی بین جیوه ریشه و ساقه - همبستگی مثبت جیوه در ریشه با جیوه خاک
مکزیک	مایرلس (۲۰۰۴)	۵۰ سال آبیاری با پساب در دو مزرعه	- غلظت بالای عناصری مانند کروم، کبالت و مس در گیاهان - گیاهان در مزرعه۱: سبزیجات (کاهو، چغندر ریشه ای، تربچه)؛ گیاهان غده‌ای (چغندرریشه ای، تربچه)؛ میوه (گلابی، فلفل، به)؛ غلظت بیش از حد مجاز برای مس در تمام گیاهان و روی و سرب در گیاهان غده‌ای - مزرعه۲: یونجه و جو؛ غلظت سمی عناصر نیکل، مس و روی در برخی نمونه‌ها
پاکستان (پشاور)	اکبرجان و همکاران (۲۰۱۰)	اثر فاضلاب صنعتی بر خاک وگیاه	- افزایش غلظت فلزات در خاک - غلظت روی در گیاهان بیش از حد مجاز FAO وWHO بود. - روند ضریب انتقال فلزات در گیاهان خوراکی: Zn > Cu > Ni > Mn > Cr > Pb > Cd - ضریب انتقال بالا برای روی، مس، نیکل و منگنز در سبزیجات برگی از جمله اسفناج و کاهو
صربستان (بلگراد)	سوردیک وهمکاران (۲۰۱۰)	آبیاری با آب سطحی با کیفیت پائین، حاوی مقادیر قابل توجهی فاضلاب شهری، در طول ۳ سال	- اثر معنی‌داری بر ترکیبات معدنی خاک و کیفیت سیب-زمینی به جز مقدار شکر در طول هر سه سال مشاهده نشد
زیمباوه (هراره)	مپندا و همکاران (۲۰۰۵)	آبیاری سبزیجات	- محدوده غلظت کل فلزات (mg/kg) در خاک: ۷ تا ۱۴۵

www.SID.ir

Archive of SID

		با پساب به مدت کمتر از ۱۰ سال	برای مس، ۱۴ تا ۲۲۸ برای روی، ۰/۵ تا ۳/۴ برای کادمیم، ۰/۰۱> تا ۲۱ برای نیکل، ۳۳ تا ۲۲۵ برای کروم و ۴ تا ۵۹ برای سرب. - سرعت بارگذاری سالانه فلزات سنگین در خاک: ۶۰-۵ سال - استفاده دراز مدت از پساب در خاک‌های غنی از فلز سنگین، سبب خطرات زیست محیطی و به خطر افتادن سلامت می‌شود
مزارع شمال اصفهان	فیضی (۲۰۰۱)	آبیاری با فاضلاب و پساب به مدت ۸ سال	افزایش مقادیر عناصر روی، منیزیم، مس وآهن در خاک‌های این مزارع
ساری و قائم‌شهر	بهمنیار (۱۳۸۶)	آبیاری با فاضلاب شهری قسمتی از غرب ساری و قسمت مرکزی قائم شهر	- افزایش مقدار کادمیم، نیکل، سرب و کروم در خاک - بیشتر بودن تجمع کادمیم، نیکل، کروم و سرب در ریشه نسبت به اندام هوایی و دانه برنج - بیشتر بودن تجمع کادمیم، نیکل و سرب در اندام هوایی اسفناج نسبت به ریشه - مقدار سرب در اندام هوایی اسفناج و دانه‌ی برنج نسبت به شاهد بیش از ۲ برابر بود. - ضریب انتقال به دانه ی برنج: سرب> کادمیم> نیکل > کروم - مقدار انتقال در اندام هوایی اسفناج: کروم> نیکل > سرب > کادمیم
روستای طالب آباد (تهران)	اکبری و همکاران (۱۳۸۷)	آبیاری با غلظت-های مختلف فاضلاب	- تجمع بیش از حد استاندارد طبیعی و مجاز برخی فلزات در برگ و اندام هوایی در گیاهان - ایجاد مشکل برای مصرف کنندگان بخصوص انسان
اصفهان	کدخدائی (۱۳۸۵)	اثر پسابکارخانه ذوب آهن اصفهان	- افزایش عناصر سنگین در خاک، کاهش مقدار شوری، افزایش مواد آلی - غلظت تمامیعناصر به جز کادمیم در گونه‌های درختی کاج، سرو، توت و اکالیپتوس در محدوده مجاز قرار داشتند
آزمایش گلخانه‌ای (زیمباوه)	مادیوا و همکاران (۲۰۰۴)	کاربرد فاضلاب و لجن به همراه اضافه کردن کادمیم و سرب به خاک بر رشد چمن	- افزایش مقادیر کادمیم و سرب در گیاه با افزایش غلظت‌های اضافه شده به خاک - وجود سرب باعث افزایش فراهمی زیستی کادمیم و جذب بیشتر در گیاه شد. - کادمیم بر جذب سرب در گیاه اثر معنی‌داری نداشت.
آزمایش گلخانه‌ای (ترکیه)	آیسیسک و همکاران (۲۰۰۸)	اثر غلظت‌های مختلف کادمیم در آب آبیاری	- کاهش وزن خشک گیاه گل‌آفتاب‌گردان در هفته سوم مطالعه با اضافه کردن کادمیم در آب آبیاری - افزایش غلظت کادمیم در ساقه و ریشه، با افزایش کادمیم

www.SID.ir

Archive of SID

			در آب آبیاری، - روند مشابه در مقدار کادمیم کل در گیاه با کادمیم ریشه
آزمایش گلخانه‌ای (اصفهان)	عابدی کوپائی و همکاران (۱۳۹۱)	آبیاری با پساب صنعتی حاوی ۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم کادمیم	کاهش معنی‌دار در وزن خشک و تر اندام هوایی گیاه اسفناج
اصفهان	موحدیان و افیونی (۱۳۸۶)	اثر پساب و لجن فاضلاب روی خصوصیات خاک	کاهش pH، افزایش مواد آلی، افزایش EC و افزایش غلظت فلزات سنگین را در عمق ۰ تا ۲۰ سانتی‌متری

ناطق آلوده به فلزات سنگین

حدود ۱۲۰۰ مکان در USA در فهرست اصلاح خاک‌های آلوده قرار گرفته‌اند، که تقریباً ۶۳٪ از این مکان‌ها به فلزات سنگین آلوده هستند [۲۹]. در تایوان، آلودگی برخی خاک‌های روستایی به کادمیم، سرب، مس و روی توسط EPA تایوان از سال ۱۹۸۰ مشخص شده است. آلودگی کادمیم و سرب در

برخی خاک‌های روستایی تایوان به دلیل تخلیه پساب کارخانجات شیمیایی در مناطق صنعتی می‌باشد [۱۵]. افیونی و همکاران (۱۳۷۷) در مطالعه ای پیرامون وضعیت آلودگی خاک‌های سطحی منطقه مرکزی اصفهان نشان دادند که غلظت کل کادمیم در اطراف مناطقی که فعالیت صنعتی و معادن وجود دارد بیش از حد استاندارد و غلظت کل سرب و مس کمتر از حد استاندارد بود [۲]. در تحقیقی پراکنش فلزات نیکل، منگنز و کادمیم در خاک و محصولات کشاورزی در منطقه اطراف مجتمع فولاد مبارکه اصفهان مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که حداکثر غلظت نیکل ،منگنز و کادمیم قابل استخراج با DTPA در شمال شرق منطقه که در جهت باد غالب منطقه قرار دارد و همچنین در لایه ۵-۰ سانتی‌متری خاک بوده است. غلظت نیکل، منگنز و کادمیم در اندام هوایی محصولات کشاورزی منطقه در حد تشخیص دستگاه جذب اتمی نبود [۲۵].

منطقه مورد مطالعه	محقق	موضوع مورد بررسی	نتایج حاصله
گازیپور بنگلادش	ناصر و همکاران (۲۰۰۹)	خاک‌های نواحی آلوده صنعتی	- غلظت سرب: گوجه فرنگی >اسفناج>گل کلم - غلظت‌های کادمیم و نیکل: اسفناج>گوجه‌فرنگی>گل‌کلم. - مقادیر سرب، کادمیم و نیکل در سبزیجات مورد مطالعه از مقادیر مربوط به سبزیجات در دیگر کشورها بالاتر، اما از مقدار حداکثر مجاز در هند پائین‌تر بودند.

www.SID.ir

Archive of SID

			- فاکتورهای انتقال از خاک به سبزیجات برای کادمیم، سرب و نیکل قابل توجه بود. - همبستگی مثبت اما نسبتاً پائینی بین مقدار فلز کل خاک و سبزیجات - مقدار فاکتور انتقال : کادمیم >سرب > نیکل - مقدار فاکتور انتقال کادمیم در اسفناج، گوجه فرنگی و گل کل : ۰/۵۲۳، ۰/۴۴۷ و ۰/۳۰۹
اصفهان	هودچی و جلالیان (۱۳۸۳)	آلودگی حاصل از مجتمع فولاد مبارکه اصفهان	غلظت منگنز در اندام هوایی برنج ۷۱۶/۶ میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک گیاهی بیش از حد استاندارد آژانس حفاظت محیط زیست آم(حدود ۱۰۰-۱۵ میلی‌گرم درکیلوگرم ماده خشک گیاهی) بود ریکا
آزمایش گلخانه‌ای در زیمباوه	مویو و چیمبرا (۲۰۰۹)	اثر تیمارهای سرب،کادمیم و ترکیبی از این دو عنصر در خاک منطقهٔ تحت آبیاری با پساب تصفیه‌خانه فاضلاب، به همراه استفاده از پساب تصفیه شده (ترکیبی از فاضلاب شهری و صنعتی) به عنوان آب آبیاری	- کاهش بیش از ۸۰٪ در مقدار محصول در تیمار سرب - همبستگی منفی شدید بین زیست فراهمی سرب خاک و مقدار محصول کاهو و هم‌چنین بین جذب سرب در کاهو و مقدار محصول. - همبستگی مثبت شدیدی بین زیست فراهمی کادمیم خاک و جذب توسط کاهودر تیمارهای کادمیم - در تیمارهای ترکیب سرب و کادمیم کاهش معنی‌داری در مقدار محصول مشاهده نشد - آبیاری با پساب تصفیه شده‌ی کارخانه تصفیه فاضلاب دارای پتانسیل خطر برای مصرف کنندگان این سبزیجات می‌باشد

جدول ۶-۱ اثر خاک آلوده به فلزات سنگین بر گیاه

www.SID.ir

Archive of SID

www.SID.ir

Archive of SID

۷- نتیجه گیری: با رشد جمعیت و صنایع و تولید بیشتر فلزات سنگین توسط انسان، سلامت گیاه و انسان توسط این گونه فلزات بیش از پیش در معرض خطر قرار دارد. از طرفی با توجه به مسئله کمبود آب و افزایش تقاضا، در بسیاری از مناطق جهان از آبهای نامتعارف حاوی فلزات سنگین در مصارف کشاورزی استفاده می شودکه شاید بتوان گفت عمده-ترین راه ورود فلزات سنگین به زنجیره غذایی می‌باشد. بنابراین به منظور حفظ کیفیت محیط زیست و سلامت بشر، ضروری است در استفاده از این‌گونه آب‌های نامتعارف در مصارف کشاورزی، احتیاطات لازم رعایت گردد، و راه‌حل‌هایی جهت کاهش ورود فلزات سنگین به زنجیره غذایی اندیشیده شود. با توجه به مطالعات انجام شده، می‌توان نتیجه گرفت که کاربرد پساب‌های تصفیه شده در یک دوره محدود برای آبیاری می‌تواند از اثرات مضر این‌گونه آب‌ها بکاهد.

منابع

[۱] اکبری، غ.،ن. حریری، ب.فوقی، ر. شاه‌نظری،ا. لطفی‌فر و س. متقی. ۱۳۸۷. اثرفاضلاب بر تجمع فلزات سنگین و ارزش غذایی تره، پیازچه و کاهو، *سومین کنگره ملّی بازیافت و استفاده از منابع آلی تجدیدشونده در کشاورزی*، اصفهان،دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان، دانشکده کشاورزی.

[۲] افیونی، م.، ی. رضایی‌نژاد و ب. خیامباشی. ۱۳۷۷. اثر لجن فاضلاب بر عملکرد و جذب فلزات سنگین بوسیله کاهو و اسفناج، *علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی*، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۲(۱): ۱۹-۳۰.

[۳] بهمن‌یار، م. ع. ۱۳۸۶. تأثیر مصرف فاضلاب در آبیاری گیاهان زراعی بر مقدار برخی از عناصر سنگین خاک و گیاهان، *محیط شناسی*، ۴۴: ۲۶-۱۹.

[۴] بینای مطلق، پ. ۱۳۵۹. بررسی زرچوب به فلزات سنگین و تعیین منابع آلودگی، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران

[۵] ترابیان، ع. و م. مهجوری. ۱۳۸۱. بررسی اثر آبیاری با فاضلاب روی جذب فلزات سنگین به وسیله سبزی‌های برگی جنوب تهران، *مجله علوم خاک و آب*، ۱۶(۲): ۴۳-۵۶.

[۶] تقی پور، م. ۱۳۸۸. تغییرات مکانی برخی فلزات سنگین در خاک های سطحی بخشی از استان همدان، پایان نامه کارشناسی ارشد خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

[۷] ثنایی، غ. ۱۳۸۳. *سم شناسی صنعتی*، انتشارات دانشگاه تهران.

www.SID.ir

Archive of SID

[۸] جعفرزاده حقیقی، ن. ۱۳۶۹. ردیابی برخی فلزات سنگین در آب، خاک و محصولات کشاورزی مجاور رودخانه فصلی شیراز. سمینار آب و فاضلاب اهواز، دانشگاه علوم چزشکی تهران، مرکز بهداشت خوزستان.

[۹] خانی، ح. و ط. زویا سماوی. ۱۳۸۹. استفاده از پساب تصفیه خانه همدان جهت توسعه دیمزار، *دومین سمینار ملی: جایگاه آب-های بازیافتی و پساب در مدیریت منابع آب- کاربردها در کشاورزی و فضای سبز*، مشهد.

[۱۰] خداوردیلو، ح. ۱۳۸۴. مدل‌سازی خاک‌های آلوده به کادمیم و سرب، پایان‌نامه دکتری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس تهران.

[۱۱] دبیری، م. ۱۳۸۲. *آلودگی محیط زیست (هوا-آب-خاک-صوت)*، انتشارات اتحاد.

[۱۲] رحمانی،ح. ۱۳۸۷.کیفیت پساب صنعتی شرکت ذوب آهن اصفهان واثرات آن براراضی تحت کشت مو، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان، *علوم محیطی*، ۴: ۱۳۵-۱۴۴.

[۱۳] رنگ زن، ن.، خ. پاینده، ا. لندی. ۱۳۸۵. بررسی کیفیت پساب بر انباشت عناصر سنگین در دوگیاه سورگوم و شبدر، همایش خاک، محیط زیست و توسعه پایدار.

[۱۴] عابدی کوپائی، ج.، ر. ملایی، س. اسلامیان، ۱۳۹۰، اثر کاربرد زئولیت بر جذب کادمیم توسط گیاه اسفناج تحت تیمار پساب، همایش ملی جریان و آلودگی آب، دانشگاه تهران.

[۱۵] عبادی، ف.، ع. اسماعیلی ساری و ع. ریاحی بختیاری. ۱۳۸۴. نحوه تغییرات فلزات سنگین در اندام‌های گیاهان آبزی و رسوبات تالاب میانکاله، *محیط شناسی*، ۳۷: ۵۳-۵۷.

[۱۶] عرفان‌منش، م. و م. افیونی. ۱۳۸۱. *آلودگی محیط زیست آب، خاک و هوا*، انتشارات ارکان.

[۱۷] کدخدائی، م. ۱۳۸۵. بررسی اثر پساب کارخانه ذوب آهن اصفهان روی برخی خصوصیات خاک‌های تحت کشت چند گونه درختی، پایان نامه کارشناسی ارشد مرتعداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

[۱۸] کفیل‌زاده، ف.، م. کارگر، ا. کدیور، ۱۳۸۵. بررسی غلظت کادمیم، روی، مس، آهن و نیکل در رودخانه خشک شیراز و برخی محصولات کشاورزی مجاور. علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره هشتو، شماره ۴: ۶۷-۷۵.

[۱۹] کریمی، ی. ۱۳۷۳. مطالعه حوزه آبریز رودخانه‌های کر و سیوند، طرح تحقیقاتی اداره کل حفاظت محیط زیست استان فارس

[۲۰] گیویان‌راد، م. ه.، ط. صادقی، ک. لاریجانی، س. ا. حسینی، ۱۳۹۰، تعیین فلزات سنگین کادمیوم و سرب در سبزی‌های خوراکی کاهو، نعناع و تره کشت شده در اراضی مختلف جنوب تهران، علوم غذایی و تغذیه، سال هشتم، شماره ۲: ۳۸-۴۴.

www.SID.ir

Archive of SID

[۲۱] لاهیجان‌زاده، ا. ر. ۱۳۷۶. اندازه‌گیری و تعیین میزان فلزات سنگین جیوه، کادمیم، سرب در آب و ماهیان رودخانه‌های کازرون و دز، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه گچساران.

[۲۲] محمدی‌نیا، غ. ۱۳۷۴. ترکیب شیمیایی شیرابه کمپوست زباله و اثر آن بر خاک و گیاه، پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

[۲۳] مصطفی زاده، ب. س. ع. م. میرمحمدی میبدی و م. یاریان کوپائی. ۱۳۸۴. مقایسه خصوصیات آفتابگردان، ذرت و چغندرقند تحت سیستمهای مختف آبیاری پساب، جلد ۳۶، شماره ۵: ۱۲۲۲-۱۲۱۵.

[۲۴] موحدیان، ف. و م. افیونی. ۱۳۸۶. اثر پساب و لجن صنعتی روی برخی خصوصیات شیمیایی و تجمع عناصر خاک در اصفهان، *مجموعه مقالات دومین کنفرانس مدیریت منابع آب*، اصفهان.

[۲۵] هودچی، م. و ا. جلالیان. ۱۳۸۳. پراکنش نیکل، منگنز و کادمیم در خاک و محصولات کشاورزی در منطقه استقرارمجتمع فولاد مبارکه، *علوم فنون کشاورزی و منابع طبیعی*، ۳: ۵۵-۶۶.

[۲۶] یارقلی، ب. ۱۳۸۹. بررسی مقدار جذب و تجمع کادمیم از خاک آلوده به اندام مختلف چهار گونه زراعی (گندم، اسفناج، خیار و هویج)، *دومین سمینار ملی جایگاه آب‌های بازیافتی و پساب در مدیریت منابع آب-کاربردها در کشاورزی و فضای سبز*، مشهد.

[۲۷] یدوی، ر. ۱۳۸۶. بررسی روش‌های حذف فلزات سنگین از پساب‌ها به کمک فناوری نانو، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

[1] Abedi-Koupai, J., M. Afyuni, B. Mostafazdeh and M. R. Bagheri. 2001. Influence of treated wastewater and irrigation systems on soil physical properties in Isfahan province, *52nd IEC Meeting & 1st Asian regional conference of the international commission on irrigation and drainage (ICID),proceeding of international workshop on wastewater reuse management* R. Ragab, G. Pearce, J. C. Kim, S. Nairizi and A. Hamdy (Eds.) PP.165-173. Seoul, Korea.

[2]Afyuni, M., R. Schulin and J. Abedi koupai. 2003. Effect of sewage sludge on heavy metals and nitrate transport in calcareous soil. *International Conference on soil and Groundwater Contamination and clean up in Arid countries*, Sultan Qaboos University, Oman

[3] Akbar Jan F., M. Ishaq, S. Khan, I. Ihsanullah, I. Ahmad, M. Shakirullah. 2010. A comparative study of human health risks via consumption of food crops grown on wastewater irrigated soil (Peshawar) and relatively clean water irrigated soil (lower Dir). *J. Hazard. Mater*. 179: 612–621.

[4] Alloway, B. J. 1990. *Heavy Metal in Soils*: Lead. Blackie and Glasgow. Ltd. London. PP. 177-196.

www.SID.ir

Archive of SID

[5] Alloway, B. J. 1995. Cadmium. PP. 122-151, In: B. J. Alloway (Eds.), *Heavy Metals in Soils*. 2nd ed. Chapman and Hall, Glasgoe.

[6] Arora, M., B. Kiran, Sh. Rani, A. Rani, B. Kaur and N. Mittal. 2008. Heavy metal accumulation in vegetables irrigated with water from different sources, *Food Chem.* 111: 811–815.

[7]An. Y. J. 2004. Soil ecotoxicity assessment using cadmium sensitive plants, Environmental Pollution. 127: 21–26

[8] Aycicek, M., O. Kaplan and M. Yaman. 2008. Effect of Cadmium on Germination, Seedling Growth and Metal Contents of Sunflower (*Helianthus annus L.*). *Asian J. Chem*. 20 (4): 2663-2672.

[9] Azimi, A. A., T. Navab Daneshmand and A. Pardakhti. 2006. Cadmium absorption and accumulation in different parts of kidneybeans, radishes and pumpkins. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 3(2): 177-184.

[10]Braude, G. L., A. M. Nash, W. J. Wolf, R. L. Carr and R. L. channey. 1980. Cadmium and lead content of soybean products. *J. Food Sci*. 45: 1187-1189.

[11] Bowen HJM 1966. Trace elements in Biochemistry. 1st edition .Academic Press London .

[12] Bryce–Smith D. 1977. Heavy metals as contaminants of humanenviron. Ed. Peter G. Publ Edu. Tech. Subgroup. The ChemicalSociety London pp. 21–23.

[13] Channey, R. L. 1980. Health risks associated with toxic metals in municipal sludge. PP. 59-84. In: G. L. Damron, G. T. Edds. And J. M. Davidson, editors, *Sludge_Health risk of land application*, Ann Arbor, Science Publication, Inc.

[14] Cheng, A. C., J. E.Warknek, A. L. Page, A. J. Land. 1984. Accumulation of Heavy Metal in Sewage Sludge Treated Soils. *J. Environ. Qual.*, 13: 87-90.

[15] Chen, Z.S. 1991. Cadmium and lead contamination of soils near plastic stabilizing materials producing plants in northern Taiwan. *Water Air Soil Pollut*. (57-58): 745–754.

[16] Christoforidis, A. and N. Stamatis. 2009. Heavy metal contamination in street dust and roadside soil along the major national road in Kavalas region, Greece. *Geoderma*. 151: 257-263.

[17] Dalzell, H. W., A. j. Biddlestone, K. P. Gray and K. Thurairajan. 1987. Soil Management: Compost production and use in tropical and subtropical environments, FAO Soils Bulletin. No.56, 179 pages.

[18] Doyle, P. J., 1998. Survey of literature and experience on the disposal of sewage on land. (Accessed 10 February 2005), Available from: http://www.ecobody.com/reports/sludge/dole_report_VpToc.htm

[19]Duker Schein , J.I.(1999) . Cadmium and mercury in emergent Majflies from the upper Mississippi River. Arch. Environ. Contam . Toxicol . Vol . 23, No.109, pp.723-738.

[20] Fatta, D. and N. Kythreotou. 2005. Wastewater as valuable water resource concerns, constraints and requirements related to reclamation, recycling and reuse. *IWA International Conference on Water Economics, Statistics, and Finance*, Greece.

[21] Feizi, M. 2001. Effect of treated wastewater on accumulation of heavy metals in plants and soil. *International Workshop on Wastewater Reuse Management. ICID-CIID*. Seoul, Korea. PP.137-146.

www.SID.ir

Archive of SID

[22] Gupta, S., S. Satpati, S. Nayek, D. Garai. 2010. Effect of wastewater irrigation on vegetables in relation to bioaccumulation of heavy metals and biochemical changes. *Environ. Monit Assess*. 165:169–177.
[23] Hussain, A., G. Murtaza, A. Ghafoor, S.M.A. Basra, M. Qadir and M. Sabir. 2010. Cadmium contamination of soils and crops by long term use of raw effluent, ground and canal waters in agricultural lands. *Int.J. Agric. Biol.* 12: 851–856.
[24] Jun-feng, W., W. Gen-xu, W. Hua. 2007. Treated wastewater irrigation effect on soil, crop and environment: Wastewater recycling in the loess area of China, *J. Environ. Sci.* 19: 1093–1099.
[25] Kabata-Pendias, A. and H. Pendias. 2001. *Trace elements in soils and plants*, Third Ed. CRC Press, Botca raton, London, 413 Pages.
[26] Kabata-Pendias, A. and Pendias, H., 1992. Trace elements in soils and plants, 2nd. Ed, CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida.
[27] Kiziloglu, F. M., M. Turan, U. Sahin, Y. Kuslu and A. Dursun. 2008. Effects of untreated and treated wastewater irrigation on some chemical properties of cauliflower (*Brassica olerecea* L. var. *botrytis*) and red cabbage (*Brassica olerecea* L. var. *rubra*) grown on calcareous soil in Turkey. Agric. water manage. 95: 716–724.
[28] Kurniawan, T. A., G. Y. S. Chan, W. Lo, S. Babel. 2006. Review: Comparsons of low-cost adsorbents for treating wastewaters laden with heavy metals. *Science of the Total Environmen.* 366: 409-426.
[29] Lee, T. M., H. Y. Lai and Z. S. Chen. 2004. Effect of chemical amendments on the concentration of cadmium and lead in long-term contaminated soils. *Chemosphere*. 57: 1459–1471.
[30]Lin, J. and M. Achorr. 1997. A challenge for the phosphate industry: Cadmium removal. Phosphorus and Potassium. Bulletin. 208: 27-31.
[31] Lokeshwari H. and G. T. Chandrappa. 2006. Impact of heavy metal contamination of Bellandur Lake on soil and cultivatedvegetation. *Curr. Sci*. 5: 622-627.
[32] Loska, K., D. Wiechula and I. Korus. 2004. Metal contamination of farming soils affected by industry. *Environ. Int.* 30: 159-165.
[33] Madyiwa, S., M. J. Chimbari and F. Schutte. 2004. Lead and cadmium interactions in Cynodon nlemfuensis and sandy soil subjected to treated wastewater application under greenhouse conditions. *Phys. Chem. Earth*. 29: 1043–1048.
[34] Manasa, P., E. Castroa, J. D. Herasa. 2009. Irrigation with treated wastewater: Effects on soil, lettuce (*Lactuca sativa L.*) crop and dynamics of microorganisms, *J. Environ. Sci. Health A*. 44: 1261–1273.
[35] Mapanda, F., E. N. Mangwayana, J. Nyamangara, K. E. Giller. 2005. The effect of longterm irrigation using wastewater on heavy metal contents of soils under vegetables in Harare. *Agric. Ecosystems Environ*. 107: 151–165.
[36] Mathur, S. 2004. Modelling phytoremediation of soil. practice periodical of Hazardous. *Toxic Radioact. Waste Manage*. 8(4): 286-297.
[37] Mclaughlin, M. J., D. R. Parker and J. M. Clarke. 1999. Metals and micronutrients-food safety issues, *Field Crop. Res*. 60: 143-163.
[38] Metcalf, C. and J. R. Eddy. 1979. *Wastewater engineering: Treatment disposal reuse.* Tata Mc Grow-Hill, Publishing Company Limited New Delhi.

39Minamata. 1986. Disease strikes in Jakarta. Association Water Pollution Control NewsLetter. No .23, pp.171-185.

www.SID.ir

Archive of SID

[40] Miller, R. W., Al-Khazraji, M. L., Sisson, D. R. and Gardiner, D. T. 1995. Alfalfa growth and absorption of cadmium and zinc from soils amended with sewage sludge. Agri. Eco. Environ., 53: 179-184.

[41] Mireles, A., C. Solis, E. Andrade, M. Lagunas-Solar, C. Pina, R. G. Flocchini. 2004. Heavy metal accumulation in plants and soil irrigated with wastewater from Mexico city, *Nucl. Instrum. Meth*. *B*. 219–220: 187–190.

[42] Moyo D. Z. and C. Chimbira. 2009. The Effect of single and mixed treatments of lead and cadmium on soil bioavailability, uptake and yield of Lactuca sativa irrigated with Sewage Effluent under Green House Conditions, American-Eurasian. *J. Agric. & Environ. Sci.* 6 (5): 526-531.

[43] Naser H. M., N. C. Shil, N. U. Mahmud, M. H. Rashid, and K. M. Hosain. 2009. Lead, cadmium and nickel contents of vegetables grown in industrially polluted and non-polluted areas of Bangladesh, Bangladesh. *J. Agril. Res*. 34(4): 545-554.

[44] Nourbakhsh, Sh., A. Ghazanfari Moghaddam. 2001. Effect of heavy metals in soil on growth and edible parts of plants, Fourth Environmental Sanitary Congress, Shahid Saddoughi University,Yazd, Iran, 7-15.

[45] Ololade I. A. and A. Ologundudu, 2007, Concentration and bioavailability of cadmium by some plants, African Journal of Biotechnology Vol. 6 (16): pp. 1916-1921, (182)

[46] Pruvot, C. & F. Douay. 2006.Heavymetals in soil, Crops and Grass as a sourceof Human Exposure in the Former MiningAreas. Journal of Soil Sediments, 6: 215-220.

[47] Qadir, M., D. Wichelns, L. Raschid-Sally, P. G. McCornick, P. Drechsel, A. Bahri, P. S. Minhas. 2010. The challenges of wastewater irrigation in developing countries, *Agric.l Water Manage*. 97: 561–568.

[48] Rahmani, H. R. 2009. Study the most important source of industrial pollutant soil, water and plant in yazd province, *J. Environ. Studies*. 35(51): 10-12.

[49] Rothenberg, S. E., X. Du, Y. G. Zhu, J. A. Jay. 2007. The impact of sewage irrigation on the uptake of mercury in corn plants (*Zea mays*) from suburban Beijing, *Environ. Pollut*. 149: 246-251.

[50] Reilley, K., M. K. Banks and A. P. Schwab. 1996. Organic chemicals in the environment: dissipation of polycyclic aromatic hydrocarbons in the rhizosphere. *J. Environ. Qual.* 25: 212-219.

[51] Ramelow, R. 1992. The identification of point sources of heavy metals in industrially impacted water way by periphyton and surface sediment monitoring. Water Air and Soil Pollution. Vol. 65, No. 157, pp.527-641.

[52] Rauret, G. 1998. Determination and specification of copper and lead in sediments of Mediterranean river (River Tenes, Catalonia, Spain) .Water. Res . Vol . 22, No.449, pp.83-96.

[53] Satoa, A., H. Takeda, W. Oyanagi, E. Nishihara, M. Murakami, 2010, Reduction of cadmium uptake in spinach (*Spinacia oleracea L*.) by soil amendment with animal waste compost. *J. Hazard. Mater*. 181: 298–304

[54]schickler, H. and H. Capsi. 1999. Response of the genus Alyssum. *Physiol. Plant*. 105: 39-45.

[55] Singh, A. and M. Agrawal. 2010. Effects of municipal waste water irrigation on availability of heavy metals and morpho-physiological characteristics of *Beta vulgaris*, L. *J. Environ. Biol*. 31(5): 727-736.

www.SID.ir

Archive of SID

[56] Singh, B. 2001. Heavy metal in soils: sources, chemical reactions and forms. In GeoEnvironment. *Proceedings of 2nd Australia and New Zealand Conference on Environmental Geotechnics: Newcastle*, New South Wales'. Eds D. Smith, S. fityus and M. AIlman. 77-93.

[57] Singh, B. R. 1984. *Contamination by heavy metals, Advance in soil Sci*. R. Lal and B. A. Stewart (Eds.), Lewis pub . London.

[58] Singh, B. R. and E. Steinnes. 1994. Soil and water contamination by heavy metals, PP.233-271. In: R. Lai and B. Z. Stewart (Eds), *Soil Processes and Water Quality*, Lewis Pub., London.

[59] Su, d. C., J. W. C. wong and H. Jagadesan. 2004. Implication of rhizospheric heavy metals and nutrients for growth alfalfa in sludge amended soil. *Chemosphere*. 56; 957-965.

[60] Surdyk, N., L. Cary, S. Blagojevic, Z. Jovanovic, R. Stikic, B. Vucelic-Radovic, B. Zarkovic, L. Sandei, M. Pettenati, W. Kloppmann. 2010. Impact of irrigation with treated low quality water on the heavy metal contents of a soil-crop system in Serbia, Agric. Water Manage**.** 98: 451–457.

[61] Staeson J. 2002. A study on how to prevent toxic effect of cadmium in the population at large. KUL, UZ Gasthuisberg, Klinisch Lab. Hypertensie, Inwendige., Geneeskunde-Cardio, Herestratt 49, 3000 Leuven.

[62] Waisberg, M., P. Joseph, B. Hale and D. Beyersmann. 2003. Molecular and cellular mechanisms of cadmium carcinogenesis. *Toxicology*, 192: 95-117.

[63] Xu, J., L. Wu, A. C. Chang and Y. Zhang. 2010. Impact of long-term reclaimed wastewater irrigation on agricultural soils: A preliminary assessment, *J. Hazard. Mater*. 183:780–786.

[64] Yan, F., S. Schubert and K. Mengel. 1996. Soil pH increase due to biological decarboxylation of organic anions. Soil Biol. Biochem. 28: 617– 624

www.SID.ir