

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و یکم، شماره دو، اردیبهشت ماه ۹۸

بررسی اثر آبیاری با فاضلاب بر انباشت فلزات کادمیوم و سرب در خاک و سبزیجات کشت شده (مطالعه موردی: شهر همدان)

عیسی سلگی*

e.solgi@yahoo.com

سید علی وقار^۲

تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۹/۱۷

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۷/۰۸

چکیده

زمینه و هدف: به دلیل برخورداری شهر همدان از پتانسیل بالا برای تولیدات کشاورزی و متعاقباً تأثیر فاضلاب‌های شهری و فعالیت‌های کشاورزی، نظیر استفاده از کودها و سموم شیمیایی مختلف روی کیفیت خاک، گیاه و نهایتاً سلامت انسان، لزوم انجام پژوهش را آشکار می‌سازد. این پژوهش با هدف بررسی اثر فاضلاب بر تجمع فلزات سرب و کادمیوم در خاک و سبزیجات صورت گرفت.

روش بررسی: برای این منظور نمونه‌برداری به صورت تصادفی از خاک و سبزیجات در محدوده شهر همدان صورت گرفت. نمونه‌برداری از یک منطقه آبیاری شده با آب چاه و یک منطقه آبیاری شده با آب فاضلاب صورت گرفت. نمونه‌های گیاه پس از شسته شدن و خشک شدن، آسیاب شده و آماده انجام آزمایش گردیدند. نمونه‌های خاک نیز پس از هوا خشک شدن، الک شده و آماده انجام آزمایش گردیدند. سپس نمونه‌ها با ترکیبی از اسیدها هضم شدند و فلزات سنگین با استفاده از دستگاه جذب اتمی مورد سنجش قرار گرفتند. در نهایت داده‌های به دست آمده با نرم افزار SPSS ۲۰ تجزیه و تحلیل شدند.

یافته‌ها: نتایج حاصل نشان داد که فاضلاب اثر قابل توجهی بر میزان تجمع فلزات سرب و کادمیوم در خاک و سبزیجات دارد بطوری که میانگین غلظت این فلزات در خاک و سبزیجات مناطق آبیاری شده با فاضلاب بیش‌تر از مناطق آبیاری شده با آب چاه بود. همچنین مشخص شد که مقادیر فلزات سرب و کادمیوم در سبزیجات مطالعه شده برابر یا بیشتر از حد استاندارد بوده است و فلز کادمیوم در خاک هر دو منطقه شاهد و تیمار برابر با حد استاندارد و فلز سرب در خاک هر دو منطقه شاهد و تیمار کم‌تر از حد استاندارد قرار دارد. **نتیجه‌گیری:** از آنجایی که در منطقه تیمار متوسط غلظت فلز کادمیوم در سبزی‌پیازچه و متوسط غلظت فلز سرب در سبزی‌تره بالاتر از حد استاندارد قرار دارد. بنابراین به منظور جلوگیری از بروز مشکلاتی توسط آنها برای سلامتی شهروندان از آبیاری مزارع کشاورزی می‌بایست خودداری شود.

واژه‌های کلیدی: فلزات سرب و کادمیوم، سبزیجات، خاک، فاضلاب، شهر همدان.

۲- دانشیار گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران. * (مسئول مکاتبات)
۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آلودگی‌ها محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران.

Investigation of the Effect of Irrigation with Wastewater on Accumulation of Cadmium and Lead in the Soil and Cultivated Vegetables (Case study: Hamedan city)

Eisa Solgi ^{1*}

e.solgi@yahoo.com

Seyed Ali Vaghar ²

Admission Date: December 7, 2016

Date Received: September 29, 2016

Abstract

Background and Objective: Due to the high potential of Hamedan city for agricultural products and subsequently effects of urban wastewaters and agricultural activities such as the use of fertilizers and chemical pesticides on soil quality, plant, and human health, performing this research was necessary. This research was done by purpose of investigating the effect of wastewater on accumulation of metals Pb and Cd in soil and vegetables.

Method: For this purpose, sampling from soil and vegetables was performed randomly in the city of Hamedan. Sampling was done in an area irrigated with well water and in an area irrigated with wastewater. Vegetable Samples were prepared after washing and drying, powdered and prepared for experiment. Also soil samples after air-drying, sieve, and prepared for experiment. Then samples digested with acid mixture and heavy metals measured by Atomic Adsorption Spectroscopy (AAS). Finally obtained data were analyzed by SPSS 20.

Findings: Results showed that wastewater had important effect on accumulation of Pb and Cd in soil and vegetables which means concentration of these metals in the soil and vegetables that was irrigated with wastewater was higher than those irrigated with well water. Also this is identified that the concentrations of Pb and Cd in studied vegetables was higher or equal to standards and Cd in the soil of both control and treatment were or equal to standards but Pb were lower than standards.

Discussion and Conclusion: Since, in the treatment area, the mean concentration of Cd in scallion vegetable and mean concentration of Pb in leek vegetable is higher than standard. Therefore, in order to prevent creating problems for citizens' health, irrigation of fields by wastewater must be prevented.

Keywords: Heavy metals Pb and Cd, Vegetables, Soil, Wastewater, Hamedan.

2- Associate Professor, Department of Environment, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, Hamedan, Iran. **(Corresponding Author)*

1- MSc, Environmental Pollution, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, Iran.

مقدمه

شود. از نظر سازمان غذا و کشاورزی سازمان ملل متحد (FAO) مقدار مجاز کادمیوم به طور هفتگی ۰/۶-۰/۴ میلی-گرم برای هر فرد می‌باشد. سرب از طریق فعالیت‌هایی نظیر ریخته‌گری و بنزین سرب دار وارد محیط‌زیست می‌شود. مقادیر بیش از ۴۰۰ میکروگرم در لیتر، سرب در خون کودکان، ایجاد عقب ماندگی ذهنی خواهد نمود. سرب نیز اثرات سویی مثل خستگی شدید، ناراحتی شکمی، کم خونی، اختلال در تنفس سلولی و اثر بر سیستم اعصاب را به دنبال خواهد داشت (۶). یکی از عوامل مؤثر بر سلامت انسان، مصرف مواد غذایی سالم با کیفیت و کمیت مناسب است. سبزیجات یکی از غذاهای اصلی برای اغلب افراد هستند و نقش مهمی را در رژیم غذایی انسان بازی می‌کنند (۷). سبزیجات علاوه بر دارا بودن موادی مانند پروتئین، ویتامین، آهن، کلسیم و سایر عناصر غذایی به عنوان یک عامل بافرکننده (خنثی کننده) برای مواد اسیدی که در طول فرآیندهای گوارش تولید می‌شوند عمل می‌کنند (۸). پس سلامت این ماده غذایی به دلیل مصرف بالای آن از اهمیت زیادی برخوردار است. امروزه آلودگی روبه افزایش فاضلاب‌های شهری و یون‌های سمی یک مسأله نگران کننده محیط‌زیستی می‌باشد. فلزات سنگین به بدن انسان از راه‌های گوناگون وارد می‌شوند. یکی از آن راه‌ها بلع آنها همراه با مواد غذایی می‌باشد. مصرف زیاد سبزیجات لزوم دقت کافی در خصوص سلامت این ماده غذایی مهم را ایجاب می‌نماید. در حال حاضر مزارع سبزی-کاری شهر همدان توسط نهرهایی آبیاری می‌شوند که دارای انواع آلودگی‌ها از جمله فاضلاب‌های شهری می‌باشند. آبیاری این گونه مزارع با آب‌های آلوده احتمال جذب فلزات سنگین توسط خاک و سبزیجات را ایجاد می‌کند. مطالعه حاضر با هدف بررسی اثر فاضلاب بر غلظت فلزات سنگین سرب و کادمیوم در خاک و سبزیجات اراضی سبزی‌کاری واقع در شهر همدان صورت گرفته است.

روش تحقیق

این مطالعه کاربردی در خصوص ارزیابی مقادیر فلزات سرب و کادمیوم در خاک، آب چاه و فاضلاب شهری تصفیه نشده و دو

محدودیت در مزارع حاصل خیز انسان را مجبور کرده است که مقدار تولید را در واحد سطح افزایش دهد. این عمل منجر به استفاده از سوخت‌های فسیلی، آفت کش‌ها و کودهای شیمیایی شده است. در دهه‌های اخیر به دلیل گران شدن قیمت کودهای شیمیایی باعث شده کشاورزان روی به استفاده از فاضلاب بیاورند. فاضلاب به عنوان یک کود ارزان قیمت در نظر گرفته شده است که یک منبع غنی از عناصر مغذی مانند فسفر، نیتروژن و عناصر کم مصرف مانند آهن، مس و روی و غیره برای گیاهان شمرده می‌شود (۱). آلودگی خاک و محصولات کشاورزی توسط فلزات سنگین که از پیشرفت سریع صنعت ناشی می‌شوند سبب ایجاد نگرانی‌های زیادی شده‌اند (۲). ورود فلزات سنگین به زنجیره غذایی و رسیدن به غلظت‌های بحرانی، اثرات سوء متابولیکی و فیزیولوژیکی در موجودات زنده به جای می‌گذارد. علاوه بر این فلزات سنگین تحت تأثیر فرآیندهای کاهش و تنزل قرار نمی‌گیرند و تقریباً به طور کامل در محیط‌زیست باقی می‌مانند اگر چه دسترسی زیستی این مواد شیمیایی به طور قابل توجهی بستگی به واکنش آن‌ها با اجزای مختلف خاک دارد (۳). منابع ورود فلزات سنگین در خاک عمدتاً، فعالیت‌های انسانی و وقایع طبیعی هستند که از مواد مادری ناشی می‌شوند. منابع انسانی مرتبط با صنعتی شدن و فعالیت‌های کشاورزی مانند رسوبات اتمسفری، تخلیه پسماندها، فاضلاب‌های شهری، دود خروجی از خودروها، کاربرد کودهای شیمیایی و استفاده بلندمدت از لجن فاضلاب در زمین‌های کشاورزی می‌باشد (۴). تجمع بیش از حد فلزات سنگین در خاک‌های کشاورزی نه تنها منجر به آلودگی محیط زیست می‌شود بلکه منجر به افزایش جذب فلزات سنگین توسط گیاهان شده که در نتیجه آن کیفیت و امنیت غذایی تحت تأثیر قرار می‌گیرد (۵). کادمیوم عنصری با وزن اتمی ۱۱۲/۴، نقطه ذوب ۳۲۱ و نقطه جوش ۷۶۷ می‌باشد. این فلز از طریق حفاری، صنایع فلزی و شیمیایی، آبکاری و کودهای شیمیایی و آفت-کش‌ها وارد محیط‌زیست می‌شود. کادمیوم ممکن است موجب ضایعات کلیوی، افزایش فشار خون، جهش زایی و سرطان‌زایی

دمای اولیه ۱۰۰ درجه سلسیوس گذاشته شد و به تدریج دمای کوره با سرعت تغییر دمای ۵۰ درجه سلسیوس در هر ساعت، تا دمای حداکثر ۵۰۰ درجه سلسیوس افزایش داده شد و نمونه‌ها حداقل به مدت ۸ ساعت در این دما قرار داده شد. بعد از تبدیل کامل نمونه به خاکستر، مقدار ۵ میلی لیتر اسید کلریدریک به نمونه اضافه شد، به طوری که تمام محتویات خاکستر داخل کروزه، به اسید اضافه شده آغشته شد. با قرار دادن کروزه روی هیتر، اسید اضافه شده تبخیر گردید. به منظور حل نمودن محتویات باقی مانده داخل کروزه، مقدار ۵ میلی لیتر اسید نیتریک به داخل کروزه اضافه شد، به طوری که تمام محتویات به اسید آغشته شد. حال با قرار دادن یک عدد شیشه ساعت، روی کروزه پوشانیده شد و اجازه داده شد تا مدت ۱ الی ۲ ساعت به این حالت باقی بماند. سپس با وسیله‌ای نظیر میله شیشه‌ای، محلول داخل کروزه را به هم زده شد تا محتویات داخل کروزه کاملا در اسید حل شوند. به منظور انحلال بهتر محتویات داخل کروزه در اسید، بعد از اضافه نمودن اسید نیتریک ۰/۱ مولار به داخل کروزه، به مدت چند دقیقه کروزه روی هیتر حرارت قرار داده شد و بعد از انحلال کامل محتویات مربوطه، کروزه را از روی هیتر برداشته تا خنک گردد. بعد از انجام مراحل مذکور به منظور گرفتن ذرات نامحلول در کروزه، محتویات کروزه با کاغذ صافی واتمن در یک بالن حجمی صاف گردید و محلول صاف شده توسط محلول اسیدی به حجم ۱۰ میلی لیتر رسانده شد. سپس محلول هضم شده به کوره تریق شد و جذب آن توسط دستگاه ثبت گردید (۱۲). برای اندازه گیری غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های سبزیجات از روش جذب اتمی به روش کوره گرافیت استفاده شد. برای این منظور از دستگاه Younglin AA8020 استفاده شد. غلظت فلزات سنگین (سرب و کادمیوم) نمونه‌های آب با استفاده از روش تیزاب سلطانی Jackson همراه با اندازه گیری غلظت با استفاده از دستگاه جذب اتمی تعیین شد (۱۳). در نهایت داده‌های بدست آمده با استفاده از نرم افزار SPSS 20 با سطح معنی داری ۰/۰۵ توسط آزمون‌های آماری مورد آنالیز قرار گرفت. برای اطمینان از روش استخراج فلزات سنگین از نمونه‌های خاک و سبزیجات مقدار صحیح آن‌ها از روش افزایش

گونه از سبزیجات غده‌ای (ترپچه و پیازچه) و دو گونه از سبزیجات برگی (تره و نعناع) از محل انتخابی در مکان‌های آبیاری شده با فاضلاب تصفیه نشده به عنوان منطقه تیمار و مکان‌های آبیاری شده با آب چاه به عنوان منطقه شاهد، در شهر همدان انجام شد. برای این منظور تعداد ۴ مزرعه سبزی-کاری انتخاب شد و از هر مزرعه به صورت کاملا تصادفی از ابتدا، انتها و وسط آن ۳ نمونه برداشته شد. در کل در این بررسی، تعداد ۲۴ نمونه خاک و ۲۴ نمونه سبزی از هر دو منطقه شاهد و تیمار جمع آوری گردید. نمونه‌برداری در اوایل مهرماه ۱۳۹۳ صورت گرفت. شکل ۱ نقشه نقاط نمونه برداری شده را نشان می‌دهد. نمونه‌های سبزی پس از انتقال به آزمایشگاه با آب تصفیه شده و سپس با آب مقطر شستشو و وزن شدند، سپس به قطعات نازک بریده شده و در هوای آزاد خشک شدند. نمونه‌های خاک نیز چندین روز در دمای اتاق هوا خشک شدند. سپس از الک ۲ میلی متری و در انتها از الک ۰/۱۴۹ میلی متری عبور داده شد (۹). برای هضم نمونه‌های خاک از روش هضم خشک استفاده شد، ۲ گرم از نمونه‌های خاک در درون ظرف‌های پلی اتیلنی درب دار ریخته شد، سپس به آن مخلوط ۱۵ میلی لیتر از چهار اسید کلریدریک، اسید نیتریک، اسید پرکلریک و اسید هیدروفلوریدریک به نسبت مساوی اضافه شد (۹). فلاسک‌ها به مدت ۱۲ ساعت در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد در حمام بن ماری قرار داده شد، بعد از گذشت زمان فوق، نمونه‌ها با کاغذ صافی واتمن، صاف شدند و غلظت فلزات سنگین در آن‌ها به وسیله دستگاه جذب اتمی به روش کوره گرافیتی اندازه گیری شد. همچنین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک شامل: pH، EC، مواد آلی و بافت خاک نیز اندازه گیری شدند. جهت اندازه گیری درصد کربن آلی به روش بلاک (۱۰)، تعیین بافت خاک به روش هیدرومتری، تعیین pH خاک با استفاده از pH متر، تعیین EC خاک با استفاده از EC متر در عصاره ۱ به ۵ خاک به آب انجام گرفت (۱۱). به منظور هضم نمونه‌های سبزی از روش استاندارد ملی ایران استفاده شد، برای این منظور مقدار ۲ گرم از هر نمونه سبزی داخل یک کروزه وزن شد. برای انجام عمل خاکستر سازی با استفاده از کوره الکتریکی نمونه داخل کوره با

$R = \text{درصد بازیابی}$

$A1 = \text{غلظت نمونه بدون استاندارد (mg/l)}$

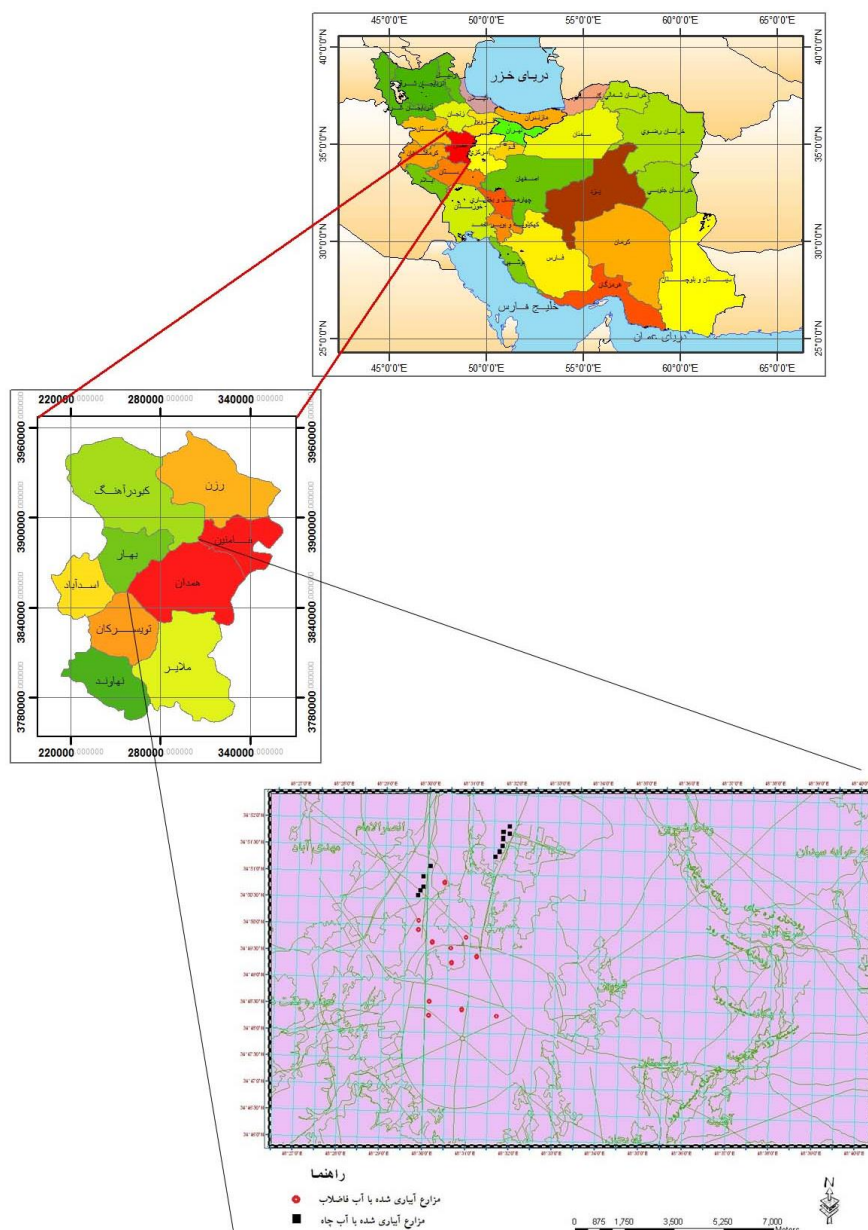
$A2 = \text{غلظت نمونه حاوی استاندارد (mg/l)}$

$As = \text{غلظت محلول استاندارد (mg/l)}$

در این آزمایش درصد بازیابی برای فلز سرب ۹۷/۷ درصد و برای فلز کادمیوم ۹۷/۹ درصد بدست آمد. همچنین حد تشخیص دستگاه ۰/۰۵ میکروگرم در لیتر برای فلز سرب و ۰/۰۵ میکروگرم در لیتر برای فلز کادمیوم اندازه گیری شد.

استاندارد و درصد بازیابی فلزات استفاده گردید. این روش در کنترل معرفها، وسایل، دستگاهها و روش کار نیز کاربرد دارد. در این تحقیق ۱۰ میلی لیتر از محلول استاندارد (فلزات کادمیوم و سرب) با غلظت ۱ ppm به نمونه مورد آزمایش اضافه شد. لازم به ذکر است که دو نمونه به صورت مشابه و در شرایط یکسان تهیه و تنها به یکی از آنها محلول استاندارد اضافه گردید، آن گاه غلظت هر کدام جداگانه تعیین و درصد بازیابی فلزات از طریق فرمول زیر محاسبه شد (۱۴).

$$R = 100(A2 - A1) / As$$



شکل ۱- نقشه نقاط نمونه برداری شده

Figure 1- Map of sampled points

نتایج

طبق آنالیز آماری تی مستقل انجام شده بر روی مقادیر فلزات سنگین در سبزیجات، نتایج نشان داد که میانگین غلظت فلز سرب در سبزی‌های مورد بررسی بیش‌تر از متوسط فلز کادمیوم است ($Cd < Pb$). نتایج مقایسه میانگین غلظت فلزات سرب و کادمیوم با استانداردهای بین‌المللی (FAO/WHO) mg/kg ۵ و ۵۰ به ترتیب برای فلزات کادمیوم و سرب (۱۵) در خاک کشاورزی مناطق شاهد و تیمار با استفاده از آزمون تی تک نمونه‌ای نشان داد که متوسط غلظت فلز کادمیوم در خاک هر دو مناطق شاهد و تیمار برابر با حد استاندارد قرار دارد و متوسط غلظت فلز سرب در خاک هر دو مناطق شاهد و تیمار کم‌تر از حد استاندارد قرار دارد. نتایج مقایسه میانگین غلظت فلزات کادمیوم و سرب با استانداردهای بین‌المللی (FAO/WHO) mg/kg ۰/۲ و ۰/۳ به ترتیب برای فلزات کادمیوم و سرب (۱۵) در سبزیجات منطقه شاهد با استفاده از آزمون تی تک نمونه‌ای نشان داد که متوسط غلظت فلز کادمیوم در سبزی تره بالاتر از حد استاندارد و در سبزیجات نعنای، تربچه و پیازچه برابر با حد استاندارد قرار دارد. همچنین متوسط غلظت فلز سرب در سبزیجات تره و تربچه بالاتر از حد استاندارد و در سبزیجات نعنای و پیازچه برابر با حد استاندارد قرار دارد. نتایج مقایسه میانگین غلظت فلزات کادمیوم و سرب با استانداردهای بین‌المللی در سبزیجات منطقه تیمار نشان داد متوسط غلظت فلز کادمیوم در سبزی پیازچه بالاتر از حد استاندارد و در سبزیجات نعنای، تربچه و پیازچه برابر با حد استاندارد قرار دارد. همچنین متوسط غلظت فلز سرب در سبزی تره بالاتر از حد استاندارد و در سبزیجات نعنای، تربچه و پیازچه برابر با حد استاندارد قرار دارد. نتایج مقایسه میانگین فلز کادمیوم در خاک مناطق شاهد و تیمار با استفاده از آزمون تی مستقل نشان داد که بین دو منطقه شاهد و تیمار از نظر غلظت فلز کادمیوم تفاوت معنی‌داری وجود ندارد ($Sig > 0/05$). بالعکس نتایج مقایسه میانگین فلز سرب در خاک مناطق شاهد و تیمار نشان داد که بین هر دو منطقه شاهد و تیمار از نظر غلظت فلز سرب تفاوت معنی‌داری وجود دارد ($Sig < 0/05$). نتایج مقایسه میانگین فلزات کادمیوم و سرب در سبزیجات

جدول ۱ نتایج متوسط پارامترهای فیزیکی- شیمیایی خاک مناطق شاهد و تیمار را نشان می‌دهد. بر طبق نتایج بدست آمده فاضلاب باعث افزایش غلظت مواد آلی و پارامتر EC خاک، کاهش pH خاک و تغییر بافت خاک شده است. جدول ۲ نتایج متوسط غلظت فلزات سرب و کادمیوم در آب چاه و فاضلاب را نشان می‌دهد. بر طبق نتایج بدست آمده مقدار فلزات سرب و کادمیوم در فاضلاب بیش‌تر از آب چاه می‌باشد. نتایج متوسط غلظت فلزات سرب و کادمیوم در خاک مناطق شاهد و تیمار در جدول ۳ ارائه شده است. بر طبق نتایج آزمون تی مستقل مشخص شد که متوسط غلظت فلزات سرب و کادمیوم در خاک منطقه تیمار بیش‌تر از منطقه شاهد قرار دارد. نتایج متوسط غلظت فلزات کادمیوم و سرب در سبزیجات برداشت شده از منطقه شاهد در محدوده شهر همدان در جدول ۴ ارائه شده است. بر طبق نتایج بدست آمده در منطقه شاهد، بیش‌ترین غلظت فلز کادمیوم با متوسط غلظت mg/kg $1/2 \pm 7/05$ مربوط به سبزی تربچه و کم‌ترین آن با متوسط غلظت mg/kg $0/0 \pm 5/43$ مربوط به سبزی نعنای می‌باشد. همچنین در منطقه شاهد، بیش‌ترین غلظت فلز سرب با متوسط غلظت mg/kg $2/0 \pm 52/55$ مربوط به سبزی تربچه و کم‌ترین آن با متوسط غلظت mg/kg $0/1 \pm 63/77$ مربوط به سبزی نعنای می‌باشد. نتایج متوسط غلظت فلزات کادمیوم و سرب در سبزیجات برداشت شده از منطقه تیمار در محدوده شهر همدان در جدول ۵ ارائه شده است. بر طبق نتایج بدست آمده در منطقه تیمار، بیش‌ترین غلظت فلز کادمیوم با متوسط mg/kg $2/0 \pm 1/86$ مربوط به سبزی تره و کم‌ترین آن با متوسط mg/kg $0/0 \pm 85/39$ مربوط به سبزی نعنای می‌باشد. همچنین در منطقه تیمار، بیش‌ترین غلظت فلز سرب با متوسط غلظت mg/kg $29/26 \pm 63/2$ مربوط به سبزی نعنای و کم‌ترین آن با متوسط غلظت mg/kg $2/0 \pm 26/2$ مربوط به سبزی تره می‌باشد. نتایج آزمون تجزیه واریانس ارائه شده در جدول‌های ۵ و ۴ همچنین نشان می‌دهد که غلظت‌های سرب و کادمیوم در سبزی‌های مورد مطالعه با هم متفاوت هستند که نشان دهنده تفاوت در تجمع سرب و کادمیوم در این گونه سبزی هاست. بر

سایر پارامترهای فیزیکی-شیمیایی در منطقه تیمار نشان می-دهد که بین پارامتر سرب با شن همبستگی معنی دار مثبتی وجود دارد ($\text{Sig} < 0.05$).

مناطق شاهد و تیمار با استفاده از آزمون تی مستقل نشان داد که بین هر دو منطقه شاهد و تیمار از نظر غلظت فلزات کادمیوم و سرب تفاوت معنی داری وجود ندارد ($\text{Sig} > 0.05$). نتایج ضرایب همبستگی پیرسون بین فلزات موجود در خاک با

جدول ۱ - خلاصه‌ای از وضعیت آماری پارامترهای فیزیکی-شیمیایی خاک مناطق شاهد و تیمار ($n=12$)

Table 1- A summary of statistical status of the physical-chemical parameters in the soil of control and treatment areas ($n=12$)

انحراف معیار \pm میانگین پارامترهای خاک در منطقه تیمار	انحراف معیار \pm میانگین پارامترهای خاک در منطقه شاهد	واحد	پارامترهای خاک
۶/۰ \pm ۲/۸۹	۶/۱ \pm ۹۹/۱۴	-	pH
۹/۲ \pm ۶۷/۰۷	۷/۴ \pm ۵۶/۵۷	دسی زیمنس بر متر	EC
۱/۰ \pm ۴۷/۲۶	۱/۰ \pm ۴۲/۴	درصد	ماده آلی
۳۶/۹ \pm ۲۹/۹۵	۵۱/۶ \pm ۷۸/۱۶	درصد	رس
۳۲/۱۱ \pm ۸۵/۴	۳۲/۷ \pm ۳۷/۹۷	درصد	شن
۳۰/۱۵ \pm ۸۵/۲	۱۶/۸ \pm ۷۸/۷۷	درصد	سیلت

جدول ۲ - متوسط غلظت کل فلزات سنگین در آب چاه و فاضلاب مناطق شاهد و تیمار ($n=12$)

Table 2- The average of total concentration of heavy metals in well water and wastewater of control and treatment areas ($n=12$)

انحراف معیار \pm میانگین فلزات در فاضلاب	انحراف معیار \pm میانگین فلزات در آب چاه	فلزات بر حسب (mg/l)
۱۴/۷ \pm ۰۸/۳۶	۰/۰۱۴ \pm ۰۰۶۵	کادمیوم
۳۹/۲۶ \pm ۷۱/۳۸	۰/۰ \pm ۰۱۵/۰۳۱	سرب

جدول ۳ - متوسط غلظت کل فلزات سنگین در خاک مناطق شاهد و تیمار ($n=12$)

Table 3- The average of total concentration of heavy metals in soil of control and treatment areas ($n=12$)

انحراف معیار \pm میانگین فلزات در خاک منطقه تیمار	انحراف معیار \pm میانگین فلزات در خاک منطقه شاهد	فلزات بر حسب (mg/kg)
۴/۲ \pm ۳/۵۳	۴/۳ \pm ۱۶/۴۷	کادمیوم
۲۴/۱۹ \pm ۴۱/۶۱	۳/۴ \pm ۷/۰۷	سرب

جدول ۴ - متوسط غلظت کل فلزات سرب و کادمیوم در سبزیجات منطقه شاهد (n=۱۲)

Table 4- The average of total concentration of heavy metals Pb and Cd in vegetables of control area (n=12)

انحراف معیار \pm میانگین فلز سرب (mg/kg)	انحراف معیار \pm میانگین فلز کادمیوم (mg/kg)	نوع سبزی
۱/۰ \pm ۸۸/۳۶	۱/۰ \pm ۶۲/۴۴	تره
۰/۱ \pm ۶۳/۷۷	۰/۰ \pm ۵/۴۳	نعناع
۲/۰ \pm ۵۲/۵۵	۱/۲ \pm ۷/۰۵	تربچه
۱/۱ \pm ۹۱/۰۴	۱/۰ \pm ۰۳/۳۱	پیازچه

جدول ۵ - متوسط غلظت کل فلزات سرب و کادمیوم در سبزیجات منطقه تیمار (n=۱۲)

Table 5- The average of total concentration of heavy metals Pb and Cd in vegetables of treatment area (n=12)

انحراف معیار \pm میانگین فلز سرب	انحراف معیار \pm میانگین فلز کادمیوم	نوع سبزی
۲/۰ \pm ۲۶/۲	۲/۰ \pm ۱۱/۸۶	تره
۲۹/۲۶ \pm ۶۳/۲	۰/۰ \pm ۸۵/۳۹	نعناع
۷/۴ \pm ۷۳/۶۶	۱/۲ \pm ۷۵/۰۸	تربچه
۵/۳ \pm ۶۹/۳۲	۱/۰ \pm ۳۷/۳۹	پیازچه

بحث و نتیجه گیری

همچنین استفاده از آب چاه، حداقل تجمع فلزات سنگین را در خاک و سبزیجات داشت که دلیل آن احتمال ورود فاضلاب‌های صنعتی به پساب‌های شهری شناخته شد. به دلیل استفاده از این پساب‌ها در مزارع، فلزات موجود در آن‌ها تمایل به تجمع در خاک را داشته و بنابراین منجر به افزایش آن‌ها در محلول خاک شده و در نهایت منجر به تجمع در قسمت‌های مختلف بافت‌های گیاهی می‌گردند (۱۶). تحقیقات در سال ۱۹۹۶ در شهر مکزیکو نشان می‌دهد که آبیاری با استفاده از فاضلاب در مدت بالغ بر ۸۰ سال باعث افزایش غلظت فلزات سنگین خاک به حدود سه تا شش برابر شده است (۱۷). منبع اصلی فلزات سنگین خاک، مصرف پساب‌های شهری و صنعتی، کودهای شیمیایی، لجن حاصل از تصفیه خانه‌های فاضلاب و معادن استخراج فلزات است. مهم‌ترین فلزات سنگین موجود در

وجود فلزات سنگین در دنیای صنعتی، امروزه به یک معضل تبدیل شده است که از راه‌های مختلف در حال وارد شدن به زنجیره غذایی انسان می‌باشد. در این مطالعه نتایج نشان داد که فاضلاب بر میانگین غلظت فلزات سرب و کادمیوم خاک و سبزیجات کشت شده (پیازچه، تربچه، نعناع و تره) و سایر پارامترهای فیزیکی- شیمیایی خاک نظیر pH، EC، ماده آلی و بافت خاک تأثیر دارد. به طوری که متوسط غلظت هر دو فلز سرب و کادمیوم در خاک و سبزی‌های منطقه تیمار (آبیاری شده با فاضلاب تصفیه نشده) بیش‌تر از منطقه شاهد (آبیاری شده با آب چاه) قرار داشت. نتایج بدست آمده در این مطالعه با نتایج گرفته شده توسط Lone (۲۰۰۳) هم خوانی زیادی دارد. بر اساس نتایج Lone استفاده از فاضلاب عموماً باعث افزایش مقدار تجمع فلزات سنگین در خاک و مواد گیاهی شده و

فاضلاب‌ها شامل سرب، کادمیوم، نیکل، کروم، قلع و آرسنیک می‌باشند. اکثر فلزات در لایه سطحی خاک رسوب نموده و تجمع تدریجی آن‌ها در درازمدت منجر به انتقال به محصولات زراعی، در حدی فراتر از استانداردهای مجاز مصارف انسانی می‌شود (۱۹ و ۱۸). نتایج همچنین نشان داد که متوسط غلظت‌های سرب و کادمیوم در سبزی‌های مورد مطالعه با هم متفاوت هستند که نشان دهنده تفاوت در تجمع سرب و کادمیوم در این گونه سبزی‌هاست. تحقیقات *and Simmons* Pongsakul (۲۰۰۲) نشان داده که تجمع فلزات سنگین در محصولات زراعی فقط به غلظت فلزات در آب بستگی نداشته، بلکه به نوع و گونه گیاه نیز مربوط است (۲۰). بر اساس نتایج جدول‌های ۴ و ۵ ترتیب مقدار فلز سرب در سبزیجات منطقه شاهد از بیش‌ترین به کم‌ترین به صورت تریچه < پيازچه < تره < نعناع و در سبزیجات منطقه تیمار به ترتیب نعناع < تریچه < پيازچه < تره و ترتیب مقدار فلز کادمیوم در سبزیجات منطقه شاهد از بیش‌ترین به کم‌ترین به صورت تریچه < تره < پيازچه < نعناع و در سبزیجات منطقه تیمار به ترتیب تره < تریچه < پيازچه < نعناع می‌باشد. نتایج بررسی‌های انجام شده روی مقادیر فلزات سنگین خاک و سبزیجات نشان داد که میانگین غلظت فلز سرب در خاک و سبزی‌های مورد بررسی بیش‌تر از متوسط غلظت فلز کادمیوم است. *Tsafe* و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند که غلظت فلزات سرب و کادمیوم در خاک به ترتیب $29/66 \text{ mg/kg}$ و $0/965$ و در سبزیجات به ترتیب $5/93 \text{ mg/kg}$ و $0/5$ قرار دارد (۲۱). در این مطالعه متوسط فلز سرب در خاک و در تمامی سبزیجات منطقه شاهد و سبزی تره در منطقه تیمار بیش‌تر از مطالعه حاضر قرار داشت. همچنین در این مطالعه متوسط فلز کادمیوم در خاک و سبزیجات (به جزء سبزی نعناع در منطقه شاهد) کم‌تر از مطالعه حاضر بود. *Wu* و همکاران (۲۰۱۰)، گزارش کردند متوسط غلظت فلزات سرب و کادمیوم در خاک به ترتیب $216/93 \text{ mg/kg}$ و $0/55$ قرار دارد (۲۲) که غلظت فلز سرب خیلی بیش‌تر و فلز کادمیوم خیلی کم‌تر از مطالعه حاضر می‌باشد. *Anthony* (۲۰۰۵)، متوسط غلظت فلزات سرب و

کادمیوم در سبزیجات را به ترتیب $4/31$ و $0/36$ گزارش کردند (۲۳). که در مقایسه، متوسط فلز سرب در منطقه شاهد کم‌تر و در منطقه تیمار بیش‌تر و متوسط فلز کادمیوم در هر دو منطقه شاهد و تیمار کم‌تر از مطالعه حاضر قرار داشت. *Cheraghi* و همکاران (۲۰۰۹) در مطالعه‌ای که بر روی سبزیجات انجام دادند، مقدار میانگین فلز سرب را $7/5$ میلی گرم به ازای هر کیلوگرم سبزی به دست آوردند (۸). بررسی نتایج مربوط به تیمارهای مختلف غلظت کادمیوم و مقایسه آن با نتایج تحقیقات قبلی نشان می‌دهد که مطابق نتایج اکثر محققان، میزان جذب و تجمع کادمیوم در تمام گونه‌های مورد مطالعه، نسبت مستقیم با غلظت کادمیوم در محیط ریشه داشته و با افزایش غلظت، میزان جذب و تجمع در گونه‌های مورد بررسی افزایش می‌یابد (۲۴-۲۶). *Demirezen and Aksoy* (۲۰۰۶) در مطالعه‌ای که بر روی مقدار فلزات سنگین در سبزیجات در منطقه کایسری ترکیه انجام دادند به این نتیجه دست یافتند که متوسط غلظت کادمیوم و سرب از حدود مجاز بالاتر است. بالا بودن غلظت فلزات سنگین در برخی از گونه‌های سبزیجات در این مطالعه می‌تواند به بالا بودن غلظت عناصر در خاک مربوط به آن‌ها ارتباط داشته باشد (۲۷). *Muchuweti* و همکاران (۲۰۰۶) در مطالعه‌ای با عنوان مقدار فلزات سنگین سبزیجات آبیاری شده با مخلوط فاضلاب و لجن که در زیمبابوه انجام شد، نتایج نشان داد که سبزیجات آزمایش شده در این مطالعه به شدت به چهار عنصر کادمیوم، مس، سرب و روی آلوده‌اند (۵). نتایج گرفته شده با نتایج مطالعه حاضر مطابقت دارد. مطالعات *Golovaty and Savchenk* (۲۰۰۲) نشان داده است، در اراضی آبیاری شده با فاضلاب شهری، میزان غلظت کل املاح تا ۲ برابر افزایش یافته و تا عمق ۱۵ سانتی متری خاک میزان عناصر سنگین، افزایش عمده‌ای یافته و برخی عناصر نظیر کادمیوم حتی تا ۲۳ برابر افزایش نشان داده است (۲۸). در مطالعه‌ای که توسط *Gupta* و همکاران در سال ۲۰۱۲ صورت گرفت، نتایج نشان داد، غلظت سرب، روی و کادمیوم در سبزی اسفناج و تریچه در بالاترین سطح است که منجر به تجمع این فلزات در سبزیجات می‌شود (۲۹).

تیمار متوسط غلظت فلز کادمیوم در سبزی پیازچه بالاتر از حد استاندارد و در سبزیجات نعناع، تربچه و تره برابر با حد استاندارد قرار دارد. همچنین متوسط غلظت فلز سرب در سبزی تره بالاتر از حد استاندارد و در سبزیجات نعناع، تربچه و پیازچه برابر با حد استاندارد قرار دارد. در این مطالعه کاربرد فاضلاب برای آبیاری مزارع سبزی کاری منجر به افزایش غلظت فلزات سرب و کادمیوم در برخی از سبزیجات در شهر همدان شده است. بنابراین به منظور جلوگیری از بروز مشکلاتی برای سلامتی شهروندان از آبیاری مزارع کشاورزی می‌بایست خودداری شود.

Reference

1. Chaw,R., Reves,A.S., 2001. Effect of waste water on menthe piperita and spinaceae oleraceae. Environment Biology. 51: 131-145.
 2. Massa, N., Andreucci, F., Poli, M., Aceto, M., Barbato, R., Berta,G. 2010. Screening for heavy metal accumulators among stautochtonous plants in apolluted sitein Italy. Ecotoxicology and Environmental Safety. 73:1988–1997.
 3. Doumett, S., Lamperi, L., Checchini, L., Azzarello, E., Mugnai, S., Mancuso, S., et al., 2008. Heavy metal distribution between contaminated soil and Paulownia tomentosa, in a pilot-scale assisted phytoremediation study, Influence of different complexing agents. Chemosphere.72: 1481–1490.
 4. Cui, Y.J., Zhu, Y.G., Zhai, R.H., Chen, D.Y., Huang, Y.Z., Qiu, Y., et al., 2004. Transfer of metals from soil to vegetables in an area near a smelter in Nanning, China. Environment International. 30: 785– 791.
 5. Muchuweti, M., Birkett, J.W., Chinyanga, E., Zvauya, R., Scrimshaw, M.D., Lester, J.N. 2006. Heavy metal content of vegetables
- Ramesh and Yoganda Murthy (۲۰۱۲)، در مطالعه خود روی سبزیجات به این نتیجه رسیدند که غلظت سرب در تمام ایستگاه‌های نمونه برداری بسیار بالا از حد استاندارد ارایه شده توسط (سازمان بهداشت جهانی/ سازمان غذا و کشاورزی) قرار دارد (۳۰). Zhan و همکاران (۲۰۱۲)، در مطالعه‌ای بر روی سبزیجات آبیاری شده با آب فاضلاب به این نتیجه رسیدند که غلظت کادمیوم، روی و نیکل در سبزیجات جمع آوری شده بیش از حداکثر مقدار مجاز است (۳۱). Bigdeli and Seilsepour (۲۰۰۸)، در مطالعه‌ای روی سبزیجات آبیاری شده با فاضلاب به این نتیجه دست یافتند که غلظت سرب در همه سبزیجات بیش‌تر از حداکثر غلظت مجاز بوده است و بیش‌ترین غلظت فلز کادمیوم در تربچه، شاهی، شوید، اسفناج مشاهده شد، همچنین غلظت روی در کرفس، نعناع، شوید و اسفناج بیش از سطح مجاز بوده است (۳۲). مطالعه انجام شده توسط Mahmood,Naseem Malik (۲۰۱۴)، بر روی فلزات سنگین نیکل، سرب، کادمیوم و روی در خاک و سبزیجات کشت شده در کشور پاکستان نشان داد که غلظت فلز کادمیوم در سبزیجات پرورش یافته با فاضلاب بیش‌تر از حد مجاز می‌باشد. در حالی که نتایج بدست آمده در مطالعه حاضر نشان داد که غلظت فلزات برابر یا بیش‌تر از حد استاندارد قرار دارد (۳۳). نتایج گرفته شده در مطالعه حاضر نیز نشان داد که در برخی از سبزیجات منطقه شاهد و تیمار غلظت فلزات سرب و کادمیوم بالاتر از حد استاندارد قرار دارد که با نتایج محققین اشاره شده در بالا مطابقت دارد.

نتیجه گیری کلی

استفاده از فاضلاب برای آبیاری مزارع سبزیجات باعث افزایش معنی داری بر میانگین غلظت فلزات سرب و کادمیوم خاک و سبزیجات کشت شده (پیازچه، تربچه، نعناع و تره) گردید. یافته های این پژوهش نشان می‌دهد که متوسط غلظت فلز کادمیوم در خاک هر دو مناطق شاهد و تیمار برابر با حد استاندارد قرار دارد و متوسط غلظت فلز سرب در خاک هر دو مناطق شاهد و تیمار کم‌تر از حد استاندارد قرار دارد. بنابراین کاربرد فاضلاب برای آبیاری مزارع سبزی کاری در شهر همدان از نظر آلودگی خاک به فلزات سرب و کادمیوم خطر کم‌تری دارد اما در منطقه

13. Jackson, M.L., 1973. Soil chemical analysis. Prentice Hall of India Private Ltd, New Delhi.
14. Khodabandeh, S., Talaei, R., Ghayomi, R. 2000. Accumulation of heavy metals in Caspian Sea and aquatic sediments. *Journal of Water and Wastewater*.39:38-42 (In Persian).
15. FAO/WHO., 2001. Food additives and contaminants, Joint Codex Alimentarius Commission, FAO/WHO. Food standards Programme, ALINORM 01/12A.
16. Lone, M.I., Saleem, S., Mahmood, T., Saifullah, K., Hussain, G. 2003. Heavy metal contents of vegetables irrigated by sewage/Tubewell water. *Int.J.Agric.Biol.* 5(4): 533-535.
17. Doyle, P.J., 1998. Survey of literature and experience on the disposal of sewage on land, Available <http://www.ecobody.com/reports/sludge/dole_report_VpToc.htm> (Apr. 17, 2007).
18. Channey, R., Baker, A., Malik, Y., Brown, J. 2001. Phytoremediation of soil metals. *J. Current Opinion in Biotech.* 36: 115-121.
19. Okoronkwo, N.E., Igwe, J.C., Onwuchekwa, E.C., 2005. Risk and health implications of polluted soils for crop production. *African Journal of Biotech.* 4(13): 1521-1524.
20. Simmons, R.W., Pongsakul, P., 2002. Toward the development of an effective sampling protocol to "rapidly" evaluate the distribution of Cd in contaminated, irrigated rice-based agricultural systems. In: Kheoruenromne I, ed. Transactions of the 17th world congress of soil science, International Union of Soil Science, Bangkok, Vienna.
6. irrigated with mixtures of wastewater and sewage sludge in Zimbabwe: Implications for human health. *Agriculture Ecosystems and Environment*.112: 41-48.
6. Food and Agricultural Organization (FAO). 1999. Summary and conclusions. In: 53rd Meeting, Rome. 123-130.
7. Yang, J., Guo, H., Ma, Y., Wang, Li., Wei, D. and Hua, L. 2010. Genotypic variations in the accumulation of Cd exhibited by different vegetables. *Journal of Environmental Sciences*.22(8):1246-1252.
8. Cheraghi, M., Lorestani, B., Ypusefi, N. 2009. Effect of waste water on heavy metal accumulation in hamedan province vegetables. *International Journal of Botany.* 5(2): 109-193.
9. Yargholi, B., Azimi, A.A., Baghvand, A., Abasi, F., Lyaghat, A., Asadollah Fardi G. 2010. Investigation of Cd adsorption and accumulation from contaminated soil in different parts of root crops. *Journal of Water and Wastewater.* 20(4):60-70 (In Persian).
10. Black, C.A., 1965. Methods of soil analysis, Part 2. 2ed, Agronomy Monog. 9, ASA, Madison, WI.
11. Klute, A. 1986. Methods of soil analysis, Part 1, Physical and Mineralogical Methods. 2nd ed., SSSA book series: 5. American Society of Agronomy Inc., Soil Society of Agronomy Inc. 1188 p.
12. National Iranian Standard No. 9266. 1994. A method for measurement of lead, cadmium, zinc, copper, and iron in foods by atomic absorption spectrometry (AAS). Institute of Standards & Industrial Research of Iran. First Edition (In Persian).

- Zn, Ni and exceeded for Cd and Pb. *Journal of Food Quality*. (29): 252-265.
28. Golovatiy, S., Savchenk, S. 2002. Metals as contaminants of agricultural land of Belarus. 17th world congress soil sci Bangkok Thailand. 14-21.
 29. Gupta, N., Khan, DK., Santra, SC. 2012. Heavy metal accumulation in vegetables grown in a long term waste water irrigated agricultural land of tropical India. *Environ Monit Assess*. 184: : 6673-82.
 30. Ramesh, H.L., Yoganda Murthy, V.N. 2012. Assessment of heavy metal contamination in green leafy vegetables grown in Bangalore urban district of karnatak. *Life science and Technology*. 6:40-51.
 31. Zhan, J.X., Shu, Q.L., Yan, L.L., Yong, L.Y. 2012. Health risk assessment of heavy metals for edible part of vegetables grown in sewage irrigated soils in suburban of Baoding City, China. *Environ Monit Assess*. 184: 3503-3513.
 32. Bigdeli, M., Seilsepour, M., 2008. Investigation of metals accumulation in some vegetables irrigated with waste water in shahre Rey- Iran and toxicological implications. *American-Eurasian J. Agric and Environ. Sic*. 4(1):86-92.
 33. Mahmood, A., Naseem Malik, R. 2014. Human health risk assessment of heavy metals via consumption of contaminated vegetables collected from different irrigation sources in Lahore, Pakistan. *Arabian Journal of Chemistry*. 7: 91-99.
 21. Tsafe, A.I., Hassan, L.G., Sahabi, D.M., Alhassan, Y., Bala, B.M., 2012. Evaluation of Heavy Metals Uptake and Risk Assessment of Vegetables Grown in Yargalma of Northern Nigeria. *J. Basic. Appl. Sci. Res*. 2(7):6708-6714.
 22. Wu, Y.G., You-ning, X., Jiang-hua, Z., Si-hai, HU., 2010. Evaluation of ecological risk and primary empirical research on heavy metals in polluted soil over Xiaoqinling gold mining region, Shaanxi, China, *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*, 20, P.P 688-694.
 23. Anthony, G., Kachenko, B.S., 2006. Heavy metals contamination vegetables grown in urban and metal smelter sites in Australia. *Water, Air, and Soil Pollution*. 169: 101-123.
 24. Tiller, K.G., 1989. Heavy metals in soils and their environmental significance advances in soil science. *European Journal of Soil Science*. 9 (8):113-142.
 25. Gardiner, D.T., Miller, R.W., Badamchian, B., Azzari, A.S., Sisson, D.R. 1995. Effects of repeated sewage sludge applications on plant accumulation of heavy metals. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 55(1):1-6.
 26. Ramos, I., Esteban, E., Lucena, J.J., Garate, A.. 2002. Cadmium uptake and subcellular distribution in plants of lactuca sp. Ca-Mn interaction. *J. Plant Science*. 162(7): 761-767.
 27. Demirezen, D., Aksoy, A., 2006. Heavy metal levels in vegetables in Turkey are within safe limits for Cu,