علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و دوم، شماره دو، اردیبهشت ماه ۹۹

مطالعه غلظت برخی از عناصر سنگین در گندم، گوجه‌فرنگی و ذرت و ارزیابی ریسک کمی غیر سرطانزایی: حاشیه رودخانه کشف رود، مشهد

قاسم ذوالفقاری[۱*]

ghr_zolfaghari@yahoo.com

مهری دلسوز[۲]

آمنه سازگار[۳]

زهره اخگری سنگ آتش[٤]

تاریخ دریافت: ۹۵/۸/۹ **تاریخ پذیرش:۹۶/۲/۱۳**

چکیده

زمینه و هدف: گندم، ذرت، و گوجه فرنگی از مهم‌ترین محصولات غذایی هستند. این مطالعه اولین اطلاعات کمی از تجمع فلزات سنگین (سرب، کادمیوم و آرسنیک) را در خاک، ریشه، و برگ/دانه گیاهان گندم، ذرت و گوجه‌فرنگی در زمین‌های کشاورزی اطراف رودخانه کشف رود مشهد فراهم می‌کند.

روش بررسی: غلظت سرب، کادمیوم، و آرسنیک توسط دستگاه جذب اتمی مجهز به کوره گرافیتی مدل GBC GF3000 آنالیز شد.

یافته‌ها: آنالیزهای آماری نشان داد که میان تجمع فلز سنگین کادمیوم بین خاک، ریشه و برگ/دانه گیاهان مختلف تفاوت معنی‌داری وجود دارد ($p<۰/۰۱$ برای گندم و ذرت و $p=۰/۰۰۰۴$ برای گوجه فرنگی). بین تجمع فلز سنگین سرب بین خاک، ریشه و دانه گندم تفاوت معنی داری وجود نداشت ولی در مورد سایر گیاهان تفاوت معنی دار بود ($p<۰/۰۱$). نتایج نشان داد تفاوت معنی داری بین گروه‌های خاک و ریشه و دانه گندم در مورد آرسنیک وجود ندارد اما این تفاوت در مورد گوجه‌فرنگی معنی دار بود ($p=۰/۰۲۶$).

بحث و نتیجه‌گیری: نتایج این مطالعه با استانداردهای جهانی مقایسه شده است. این پایش چند گونه‌ای در راستای ارزیابی ریسک سلامت مصرف‌کنندگان به روش EPA/WHO صورت گرفته است. غلظت‌های سرب، کادمیوم، و آرسنیک گونه‌های گندم، ذرت، و گوجه‌فرنگی زیر محدوده پیشنهادی EPA SMEWW، WHO و EU هستند. نتایج مطالعه حاضر کمک کرد تا داده‌هایی از حوزه اطراف رودخانه کشف‌رود مشهد به عنوان شاخص اثرات طبیعی و انسانی روی اکوسیستم‌های آبی تهیه شود و همچنین نمایه خطرات انسانی مرتبط با مصرف گندم ارزیابی شود. ریسک سلامت ناشی از دریافت آلاینده‌های فلزی از گندم با استفاده از خارج قسمت خطر

۱- دانشیار، گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران. *(مسوول مکاتبات)

۲- کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی گناباد، گناباد، ایران

۳- کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۴- کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

(THQ) ارزشیابی گردید. در این مطالعه THQ کم‌تر از یک می‌باشد که نشان می‌دهد هیچ خطر سلامتی بالقوه معنی‌داری مرتبط با مصرف گندم در زمین‌های کشاورزی اطراف رودخانه کشف‌رود مشهد وجود ندارد.

واژه‌های کلیدی: کشف رود، فلزات سنگین، گندم، ذرت، گوجه‌فرنگی.

J. Env. Sci. Tech., Vol 22, No.2, April, 2020

Study of Some of Heavy Metals in *Poaceae Triticum, Zea Maize,* and *Hordeum Vulgare* and Non-Carcinogenic Quantitative Risk Assessment*:* Kashafroud River, Mashhad

Ghasem Zolfaghari [1*]
ghr_zolfaghari@yahoo.com
Mehri Delsouz[2]
Amaneh Sazgar[3]
Zohre Akhgari[4]

Admission Date:May 3, 2017 Date Received: October 30, 2016

Abstract

Background and Objective: Wheat (*Triticum aestivum L.),* corn *(Zea Maize),* and tomato *(Solanum lycopersicum*) are among the most important components of food. This paper provides the first quantitative information on accumulation of heavy metals (lead, cadmium, and arsenic) in ground (soils) overground (leaves) and underground (roots) parts of wheat, corn, and tomato around the Kashafroud River in Mashhad, Khorasan Razavi, Iran.

Method: The concentrations of lead, cadmium, and arsenic were determined by atomic absorption spectrometry, graphite furnace (GBC GF3000).

Results: Statistical analysis showed that there is a significant difference among the cadmium concentrations of soil, roots and leaves/grain in various plants (p<0.01 for wheat and corn and p=0.0004 for tomato). There was not a significant difference among the lead concentrations of soil, roots and grain in wheat (p>0.05), but there was a significant difference for other plants (p<0.01 for corn and tomato). Furthermore, statistical analysis was done for arsenic concentrations of soil, roots and leaves/grain in wheat and tomato (p>0.05 for wheat and p=0.026 for tomato).

Discussion and Conclusion: The results of this study were compared with global standards. As well as in this monitoring, health risk assessment by EPA/WHO instructions has been done. The concentrations of lead, cadmium, and arsenic in soil were below the limits proposed by WHO, EPA, and EU. The results of the present study aimed to provide data from Kashafroud River as indicators of natural and anthropogenic impacts on aquatic ecosystem as well as to evaluate the human hazard index associated with wheat consumption. Health risk assessment of consumers from the intake of metal contaminated was evaluated by using Total Hazard Quotient (THQ) calculations. In this study, the

1- Associate Professor, Department of Environmental Technology, Faculty of Environmental Sciences, Hakim Sabzevari University, Khorasan -e- Razavi, Sabzevar, P.O. Box: 397, Iran

2- Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Health, Gonabad University of Medical Sciences, Gonabad, Iran

3- Department of Environment, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

4- Department of Environmental, Faculty of Fisheries and Environmental Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

THQ through consumption of wheat was less than 1, indicating that there is no significant potential health risk associated with the consumption of wheat from the around the Kashafroud River.

Keywords: Kashafroud, Heavy metals, *Triticum aestivum L.*, *Zea Maize*, *Solanum lycopersicum*

مقدمه

آلاینده‌ها از جمله عوامل مختل کننده اکوسیستم‌ها به شمار می‌روند و در این میان فلزات سنگین به دلیل اثرات فیزیولوژیکی آن‌ها بر موجودات زنده در غلظت‌های کم، حایز اهمیت شناخته شده‌اند (۱، ۲ و ۳). استفاده طولانی مدت از فاضلاب در آبیاری اراضی اغلب به افزایش سطح فلزات سنگین خاک منجر می‌شود و زمانی که ظرفیت خاک برای نگه‌داشتن فلزات سنگین کاهش یابد فلزات سنگین به سمت آب‌های زیرزمینی حرکت می‌کنند یا به صورت محلول‌های قابل استفاده برای جذب گیاهی، آزاد و منتشر می‌شوند (۴ و ۵). افزایش فلزات سنگین در خاک باعث تغییر ویژگی‌های زراعی به خصوص ظرفیت تبادل کاتیونی، کاهش میزان فسفات و سولفات قابل استفاده گیاه، تغییرات شیمیایی دیگر و کاهش فعالیت موجودات ذره‌بینی شده و از این طریق نیز بر فعالیت های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهان اثر می گذارند (۶ و ۷). ارتباط نزدیکی بین غلظت فلزات سنگین در گیاهان و خاک وجود دارد ولی تعیین آن به سختی امکان پذیر می‌باشد، چون دسترسی زیستی فلز در خاک بستگی به چند عامل از جمله رشد گیاه و توزیع فلز در قسمت‌های مختلف گیاه دارد (۸). پایش فلزات سنگین در محیط امری ضروری است تا وضعیت حاضر محیط زیست شناسایی شود. از این مسیر می‌توان آینده محیط زیست را پیش‌بینی نمود. در این مسیر کنترل آلاینده‌ها امری است که به درمان خرابی محیط زیست می‌پردازد (۹، ۱۰، ۱۱ و ۱۲). سرب (Pb) به عنوان گسترده‌ترین فلز سنگین محیط زیست، روی فعالیت‌های متابولیکی و فیزیولوژیکی موجودات زنده تأثیر می‌گذارد. بروز کم خونی اولین نشانه آلودگی به عنصر سرب می‌باشد که درصورت عدم توجه سریع و صحیح باعث بروز علایم بالینی شدید سرب (پلمبیسم) می‌گردد (۱۳). کادمیوم از دیگر فلزات سنگین بوده که ورود آن به محیط زیست معمولا با ورود فاضلاب کارخانجات صنعتی صورت می‌گیرد (۱۴). این ماده از طریق فرآیند احتراق سوخت به صورت اکسید به جو انتشار می‌یابد و در زمین‌های کشاورزی منبع اصلی آن کودهای شیمیایی فسفردار و دود حاصل از کارخانه‌های صنعتی و خودرو ها می‌باشند (۱۵ و ۱۶). میزان سمیت آرسنیک آلی از معدنی کم‌تر بوده در مقابل آرسنیک غیر آلی تمایل بیش‌تری به برقراری پیوند با پروتئین‌های حاوی گروه SH دارد و به همین جهت سمی‌تر است. در بخش کشاورزی استفاده از حشره‌کش‌ها و علف‌کش‌های حاوی آرسنیک، میانگین آرسنیک موجود در محیط اطراف را افزایش می‌دهد و منجر به ورود این ماده سمی به چرخه غذایی و از آنجا به بدن انسان می‌شود. آرسنیک در صنعت در بخش فرآوری مس، سرب، طلا و سایر فلزات غیر آهنی، شیشه، میکرو الکترونیک، حفاظت چوب، ردیاب‌های نیمه‌رسانا، باطری ها، مواد رنگی، تاکسیدرمی و دباغی، فاضلاب‌های نیروگاه‌های اتمی، سوخت و سوزهای فسیلی، پزشکی-داروهای گیاهی چینی، داروهای دامپزشکی (آرسانیلیک اسید) و افزودنی‌های غذایی یافت می‌شود (۱۷). معمولاً ترکیبات معدنی آرسنیک بیش‌تر از اشکال آلی آن مضر و خطرناک هستند. ظاهرا سمیت As(III) بیش از As(V) می‌باشد، اگر چه گونه اخیر در بدن انسان به نوع As(III) کاهیده می‌شود. در سال ۱۹۹۳ سازمان بهداشت جهانی WHO به دلیل اثبات سرطان زایی آرسنیک معدنی میزان قابل قبول آرسنیک در آب آشامیدنی را به کم‌تر از ۰/۰۱ میلی گرم در لیتر کاهش داد. توصیه می‌شود که هنگامی که مقدار آرسنیک موجود در آب بیش از ۰/۰۵ میلی گرم در لیتر باشد، در اقدام اول بایستی ظرفیت و اشکال شیمیایی این عنصر تعیین گردد. میانگین غلظت آرسنیک درخاک های آلوده نشده، بین ۵ تا ۱۰ میکرو گرم در گرم تعیین شده است (۱۶).

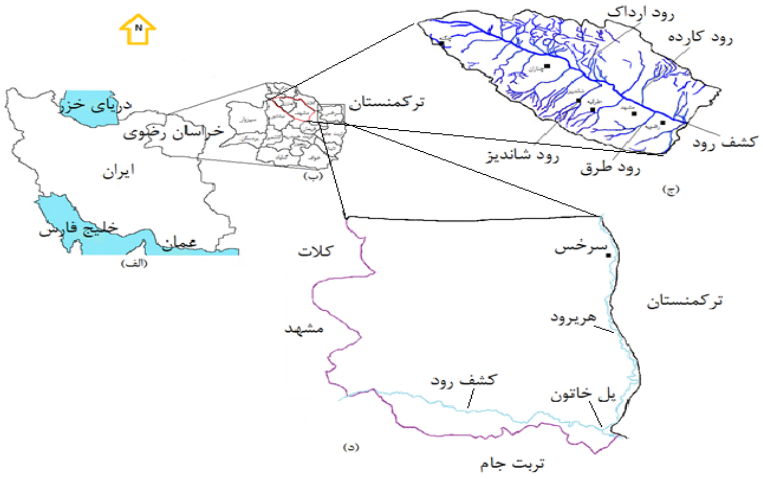
در سال های اخیر به دلایل مختلف از فاضلاب و پساب تخلیه شده در رودخانه کشف رود مشهد برای کشاورزی استفاده می

شود. تاکنون هیچ مطالعه‌ای پیرامون ارزیابی سرب، کادمیوم و آرسنیک در محصولات کشاورزی حاشیه کشف رود صورت نگرفته است. بنابراین با وجود اراضی کشاورزی فراوان در حاشیه رودخانه کشف رود و استفاده از فاضلاب تصفیه نشده جهت آبیاری محصولات که توسط کشاورزان محلی متخلف صورت می‌گیرد، ارزیابی غلظت فلزات سنگین در گیاهان و خاک، جهت تعیین درجه سلامتی محصولات این مزارع که به مصرف ساکنین شهر مشهد و دام‌ها می‌رسد ضروری است. هدف از این مطالعه تعیین غلظت عناصر کادمیوم، سرب و آرسنیک در خاک، ریشه، و برگ/دانه گندم (*Triticum aestivum L.*)، ذرت (*Zea mize*) و گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum*) رشد یافته در این مزارع می‌باشد. مقایسه وضعیت آلودگی بین گونه‌های گیاهی مورد بررسی، مقایسه غلظت کادمیوم، سرب و آرسنیک در اندام‌های مختلف گیاه (ریشه- برگ/دانه)، مقایسه فلزات سنگین موجود در خاک و گیاهان مورد نظر با استانداردها، و بررسی خطرات احتمالی مصارف تغذیه‌ای گونه‌های مورد بررسی از سایر اهداف این مطالعه می‌باشد.

روش کار

منطقه مورد مطالعه

از مهم‌ترین رودخانه‌های فرعی منتهی به کشف رود در محدوده دشت مشهد می‌توان به سر شاخه‌های فریزی، گلمکان، شاندیز، طرق، ارداک، کارده اشاره کرد (شکل ۱). این سر شاخه‌ها رواناب ایجادشده در ارتفاعات شمالی و جنوبی حوضه را به سمت دشت زهکش می‌نمایند. تا کنون ۵ سد مخزنی کارده، طرق، ارداک، دولت آباد و چالی دره روی سر شاخه‌های کشف رود احداث شده‌اند. این رودخانه تأمین آب مورد نیاز ده‌ها روستا و چندین طرح پرورش ماهی و کارخانه‌ها صنعتی را به عهده دارد. علاوه بر این آب این رودخانه به طور وسیعی برای آبیاری مزارع کشاورزی حاشیه رودخانه نیز استفاده می‌شود و امروزه به دلیل ورود رواناب های سطح شهر مشهد و انواع فاضلاب شدیداً آلوده شده است.



شکل ۱- موقعیت کشف رود (الف: نقشه ایران، ب: نقشه خراسان، ج: حوضه آبخیز منطقه، و د: موقعیت کشف رود در مشهد)

Figure 1. Situaion of Kashaf Roud (A: Map of Iran, B: Map of Khorasan, C: Basin area, and D: Kashaf Roud)

نمونه‌برداری

در این مطالعه نمونه‌برداری به صورت کاملا تصادفی از خاک، ریشه و برگ/دانه گیاهان مورد مطالعه شامل گندم (*Triticum aestivum L.*)، ذرت (*Zea mize*) و گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum*) صورت گرفته است (شکل ۲). از مزرعه گندم تعداد ۱۵ عدد نمونه (از ۳ مزرعه) و همچنین مقداری خاک برداشت گردید و در ظروف پلاستیکی درب بسته نگهداری شد. از مزرعه ذرت نیز که در کنار محل نمونه‌برداری قبلی قرار دارد به همین روش تعداد ۷ عدد نمونه (از دو مزرعه) به صورت تصادفی انتخاب و برداشت گردید. نمونه‌برداری از دو مزرعه گوجه‌فرنگی که تقریباً در فاصله یک کیلومتری از محل‌های نمونه‌برداری قبلی قرارگرفته (۱۵ نمونه) نیز انجام شد. در مورد گندم به جای برگ، دانه برداشت‌شده و آنالیز شده است.

شکل ۲- تصویر گیاهان مورد مطالعه (A: گندم، B: ذرت، و C: گوجه فرنگی)

Figure 2. The image of wheat (A), corn (B), and tomato (C)

آنالیز دستگاهی

خاک‌ها کاملاً آسیاب و سپس مقدار تقریبی ۱/۵ گرم از خاک در کوره با دمای ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. سپس یک گرم از نمونه مورد نظر در

۲۰ میلی‌گرم محلول تیز آب هضم شد. محلول تیز آب از اسید کلریدریک ۱۴مولار یا ۳۷٪ و اسید نیتریک ۱۲مولار یا ۶۵٪ به نسبت سه به یک تهیه می‌گردد و فقط نمونه‌های خاک با این محلول هضم می‌گردند. ریشه‌ها و برگ‌ها با آب شستشو داده و خاک زدایی شدند، سپس خشک و پودر شدند.

در نهایت نمونه‌ها در کوره ۶۰۰ درجه خاکستر و با اسید نیتریک هضم شدند. دستگاه جذب اتمی مجهز به یک دستگاه تولید قوس الکتریک در ولتاژ بالا مدل GBC GF3000 است. حجم نمونه تزریق‌شده به دستگاه ۲۰ میکرولیتر است.

آنالیز آماری

در تحقیق حاضر جهت انجام مطالعات آماری از نرم‌افزار آماری SPSS و برای رسم نمودارها از Excel استفاده شد. نرمال بودن داده‌های به دست آمده با استفاده از آزمون شاپیرو- ویلک (Shapiro-Wilk) بررسی گردیده و سطح معنی‌داری $p >$ ۰/۰۵ به عنوان معیار نرمال بودن در نظر گرفته شد. برای بررسی همگنی واریانس‌ها (Homogeneity of Variance) از آزمون لون (Leven) با سطح معنی‌داری $p >$ ۰/۰۵ (به عنوان داده‌های همگن) استفاده گردید و همگن بودن داده‌های حاصل از خاک، ریشه، و برگ/دانه سه گیاه گندم، ذرت، گوجه‌فرنگی برای فلزات سنگین بررسی شد. همچنین در مورد داده‌های نرمال و همگن از آزمون‌های پارامتریک (ANOVA) و آزمون توکی (Tukey) استفاده گردید. آزمون‌های نا پارامتریک، و مشخصاً آزمون شاپیرو - ویلک برای داده‌های غیر نرمال انتخاب گردید. سطح معنی‌داری آزمون‌ها کم‌تر از ۰/۰۵ در نظر گرفته شد.

یافته‌ها

کادمیوم

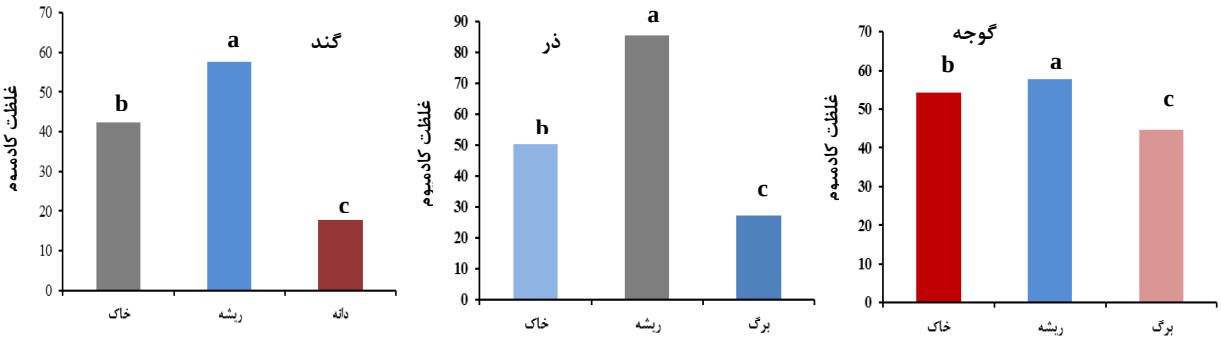
آزمون شاپیرو - ویلک نشان داد که داده‌های گروه‌های خاک، ریشه و دانه در گندم، گوجه فرنگی، و ذرت نرمال هستند

(p>۰/۰۵) و آزمون لون مشخص کرد که واریانس بین این گروه‌ها همگن می‌باشد. با استفاده از آزمون ANOVA سطح معنی‌داری بین گروه‌ها در مورد گندم سنجش شد که نتایج نشان داد تفاوت معنی‌داری بین گروه‌های خاک، ریشه و برگ گندم از لحاظ غلظت وجود دارد (p=۰/۰۰) و هر سه گروه باهم متفاوت هستند (شکل ۳ و جدول ۱). در مقایسه میانگین غلظت بین گروه‌ها (خاک=۴۲/۳۳، ریشه= ۵۷/۶۵، دانه=۱۷/۶۶ بر حسب میکروگرم بر کیلوگرم) حاکی از آن است که بیش‌ترین غلظت کادمیوم در ریشه می‌باشد. با استفاده از آزمون ANOVA سطح معنی‌داری بین گروه‌ها سنجش شد که نتایج نشان داد تفاوت معنی‌داری بین گروه‌های خاک، ریشه و برگ گوجه‌فرنگی از لحاظ غلظت کادمیوم وجود دارد (p=۰/۰۰۴) و هرسه گروه باهم متفاوت هستند.

در مقایسه میانگین بین گروه‌ها (خاک= ۵۴/۳۳، ریشه= ۵۷/۷۵، برگ= ۴۴/۶۶) بیش‌ترین غلظت کادمیوم مربوط به ریشه می‌باشد. همچنین آزمون ANOVA نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین گروه‌های خاک، ریشه و برگ ذرت از لحاظ غلظت کادمیوم وجود دارد (p=۰/۰۰). در مقایسه میانگین بین گروه‌ها (خاک=۵۰/۳۳، ریشه =۸۵/۴۸، برگ=۲۷/۰۰) بیش‌ترین غلظت کادمیوم مربوط به ریشه می‌باشد (شکل ۳ و جدول ۱).

سرب

با بررسی داده‌های سرب در مورد گندم، آزمون شاپیرو - ویلک نشان داد که داده‌های گروه‌های خاک، ریشه و دانه نرمال هستند (p>۰/۰۵) و آزمون سطح Leven مشخص کرد که واریانس بین این گروه‌ها همگن نیست (p=۰/۰۱). بنابراین با استفاده از آزمون کروسکال – والیس (Kruskal-Wallis) سطح معنی‌داری بین گروه‌ها سنجش شد که نتایج نشان داد تفاوت معنی‌داری بین گروه‌های خاک، ریشه و دانه گندم از لحاظ غلظت سرب وجود ندارد و هر سه گروه مشابه هم هستند (شکل ۴ و جدول ۲).



شکل ۳- مقایسه غلظت کادمیوم در خاک، ریشه، و برگ/دانه گیاه گندم، ذرت، و گوجه فرنگی

Figure 3. Comparison of the cadmium concentration in soil, roots, and seeds/leaves of wheat, tomato, and corn

جدول ۱- نتایج آزمون ANOVA برای بررسی تفاوت میزان کادمیوم خاک، ریشه، برگ (میکروگرم بر کیلوگرم) در سه گونه گیاه مورد بررسی

Table 1. ANOVA test *p* value for the difference in cadmium in soil, roots, seeds/leaves (μg/kg) in the three plant species studied

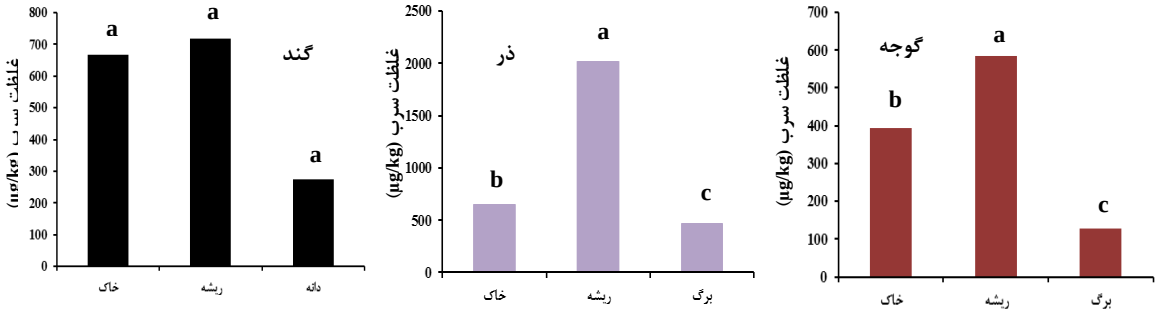
ذرت			گوجه‌فرنگی			گندم		
گروه‌ها	سطح معنی‌داری	F محاسباتی	گروه‌ها	سطح معنی‌داری	F محاسباتی	گروه‌ها	سطح معنی‌داری	F محاسباتی
خاک - ریشه	<۰/۰۱			۰/۰۶۶		خاک - ریشه	۰/۰۰۸	
خاک - برگ	۰/۰۰۱	۷۸/۲۹		۰/۰۷۷	۱۵/۴۷	خاک - برگ	۰/۰۰۱	۱۸۹/۱۷
برگ - ریشه	<۰/۰۱			۰/۰۰۳		برگ - ریشه	<۰/۰۱	

در مقایسه میانگین غلظت بین گروه‌ها (خاک=۶۶۶/۶۶، ریشه=۷۱۶/۶۶، دانه=۲۷۳/۳۳) بیش‌ترین غلظت سرب مربوط به ریشه است. به‌علاوه آزمون شاپیرو - ویلک نشان داد که داده‌های گروه‌های خاک، ریشه، برگ در گوجه‌فرنگی نرمال هستند (p>۰/۰۵) و آزمون سطح لون مشخص کرد که واریانس بین این گروه‌ها همگن است (p=۰/۲۷). بنابراین با استفاده از آزمون ANOVA سطح معنی‌داری بین گروه‌ها سنجش شد که نتایج نشان داد تفاوت معنی‌داری بین گروه‌های خاک، ریشه و برگ گوجه‌فرنگی از لحاظ غلظت سرب وجود دارد (p<۰/۰۱) و هر سه گروه باهم تفاوت دارند (شکل ۴ و جدول ۲). در مقایسه میانگین غلظت بین گروه‌ها (خاک=۳۹۳/۳۳، ریشه=۵۸۳/۳۳، برگ=۱۲۶/۶۶) بیش‌ترین غلظت سرب مربوط به ریشه می‌باشد.

در مورد غلظت سرب در گیاه ذرت نیز، آزمون شاپیرو - ویلک نشان داد که داده‌های گروه‌های خاک، ریشه، برگ نرمال هستند (p>۰/۰۵) و آزمون سطح لون مشخص کرد که واریانس بین این گروه‌ها همگن است (p=۰/۱۷). بنابراین با استفاده از آزمون ANOVA سطح معنی‌داری بین گروه‌ها سنجش شد که نتایج نشان داد تفاوت معنی‌داری بین گروه‌های خاک، ریشه و برگ ذرت از لحاظ غلظت سرب وجود دارد (p<۰/۰۱) اما خاک و ریشه، برگ و ریشه باهم مشابه هستند. در مقایسه میانگین غلظت بین گروه‌ها (خاک =۶۵۰/۰۰ ، ریشه = ۲۰۲۰/۰۰، برگ= ۴۶۶/۶۶) بیش‌ترین غلظت سرب مربوط به ریشه است (شکل ۴ و جدول ۲). وجود غلظت بیش‌تر عناصر مورد مطالعه در ریشه را می توان به علت انتقال یا پس زنی (Translocation) ریشه به ساقه دانست. به همین علت است که از ریشه به آوندهای هوایی گیاه کاهش جابجایی صورت می گیرد. مطالعات مختلف نیز به نتایج مشابهی دست یافته اند (۱۸، ۱۹).

آرسنیک

نتایج بررسی آرسنیک نشان داد که داده‌های خاک، ریشه و دانه در گیاه گندم نرمال نیستند (p <۰/۰۵) بنابراین با استفاده از آزمون نا پارامتریک کروسکال - والیس سطح معنی‌داری بین گروه‌ها سنجش شد که نتایج نشان داد تفاوت معنی‌داری بین گروه‌های خاک، ریشه و دانه وجود ندارد و هرسه گروه مشابه هستند. در مقایسه میانگین غلظت بین گروه‌ها، بیش‌ترین غلظت آرسنیک مربوط به ریشه گیاه است (شکل ۵). همچنین آزمون شاپیرو - ویلک نشان داد که داده‌های گروه‌های خاک، ریشه، برگ در گوجه‌فرنگی نرمال نیستند (p <۰/۰۵). بنابراین با استفاده از آزمون کروسکال - والیس سطح معنی‌داری بین گروه‌ها سنجش شد که نتایج نشان داد تفاوت معنی‌داری بین گروه‌های خاک، ریشه و برگ وجود دارد (p =۰/۰۲۶). در مقایسه میانگین غلظت بین گروه‌ها (خاک= ۴۳/۶۷، ریشه= ۶۲/۳۳، برگ=۳۲/۶۷) بیش‌ترین غلظت آرسنیک مربوط به ریشه گوجه‌فرنگی می‌باشد (شکل ۵). آلودگی خاک به عناصر سنگین باعث ورود آن‌ها به زنجیره غذایی از طریق جذب به وسیله گیاه می شود (۲۰).



شکل ۴- مقایسه غلظت سرب در خاک، ریشه، و برگ/دانه گیاه گندم، ذرت، و گوجه فرنگی

Figure 4. Comparison of the lead concentration in soil, roots, and seeds/leaves of wheat, tomato, and corn

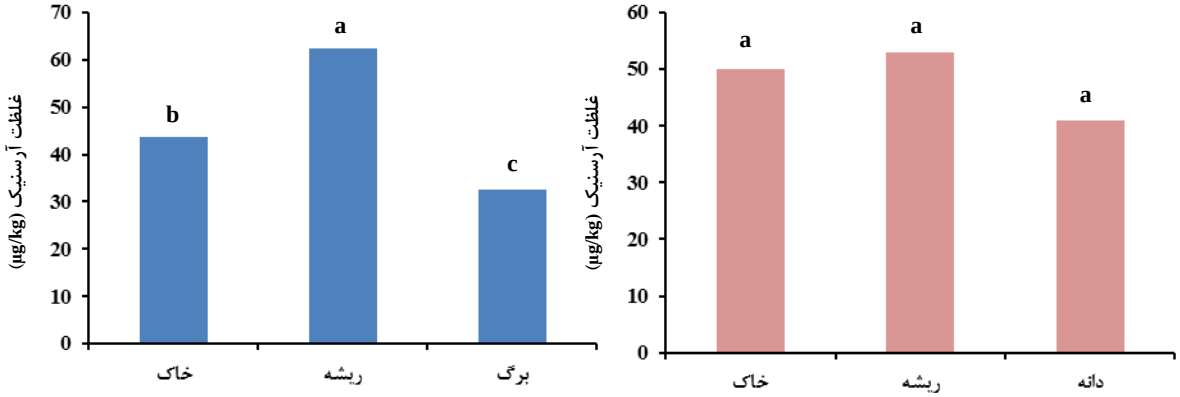
جدول ۲- نتایج آزمون های آماری برای بررسی تفاوت سرب خاک، ریشه و برگ (میکروگرم بر کیلوگرم) در سه گونه گیاه مورد بررسی

Table 2.The statistical analysis for the lead difference in soil, roots, seeds/leaves (µg/kg) in the three plant species studied

ذرت (آزمون توکی)			گوجه‌فرنگی (آزمون توکی)			گندم (آزمون کروسکال – والیس)			
گروه‌ها	سطح معنی‌داری	F محاسباتی	گروه‌ها	سطح معنی‌داری	F محاسباتی	گروه‌ها	سطح معنی‌داری	عدد ویلکاکسون	Z
خاک - ریشه	<۰/۰۱	۶۴/۹۷	خاک - ریشه	۰/۰۱۳	۵۲/۶۲	خاک - ریشه	۰/۵۱۳	۹	-۰/۶۵
خاک - برگ	۰/۴۶۴		خاک - برگ	۰/۰۰۲		خاک - برگ	۰/۳۰۱	۶	-۱/۹۶
برگ - ریشه	<۰/۰۱		برگ - ریشه	<۰/۰۱		برگ - ریشه	۰/۵۱۳	۹	-۰/۶۵

مقایسه با استانداردها

میانگین غلظت‌های سرب و کادمیوم موجود در نمونه‌های خاک با استانداردهای آژانس حفاظت محیط‌زیست آمریکا (United State Environmental Protection Agency (USEPA)) (۷)، انگلستان (United Kingdom (UK))، اتحادیه اروپا (Europe Union (EU))، و سازمان بهداشت جهانی (World Health Organization (WHO)) (۲۱) مقایسه گردید (جدول ۳). مقایسه میانگین غلظت‌های کادمیوم خاک، ریشه و برگ/دانه متعلق به هر سه گیاه نشان می‌دهد که بیش‌ترین غلظت مربوط به ریشه می‌باشد. این مطلب با نتایج حاصله از پژوهش نورانی آزاد و همکاران (۲۲) مطابقت دارد.



شکل ۵- مقایسه غلظت آرسنیک در خاک، ریشه و دانه گندم (سمت راست) و در خاک، ریشه، و برگ گیاه گوجه‌فرنگی (سمت چپ)

Figure 5. Comparison of the arsenic concentration in soil, roots, and seeds of wheat (right) an tomato (left)

نتایج حاصل از مقایسه میانگین غلظت سرب هم نشان‌دهنده بیش‌ترین غلظت در ریشه می‌باشد که حیدری و همکاران (۶) و همچنین Karatas و همکاران (۸) نیز بر غلظت بیش‌تر سرب در ریشه در مقایسه با برگ و ساقه به دلیل تحرک کم این فلز و انتقال اندک آن در گیاه صحه گذاشته‌اند. جدول ۳ استاندارد فلزات سنگین مورد بررسی در گیاهان را نشان می‌دهد. در مورد آب مورد استفاده در آبیاری گیاهان حداکثر غلظت پیشنهادی کادمیوم ۰/۰۱ میلی‌گرم در لیتر است. در غلظت‌های ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر، محلول‌های مغذی برای لوبیا، چغندر و شلغم سمی می‌باشد. استاندارد کادمیوم در آب آشامیدنی ۰/۰۰۵ میلی‌گرم در لیتر است.

جدول ۳- غلظت مجاز فلزات سمی در خاک و گیاه بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم

Table 3. Allowable concentration of toxic metals in soil and plants in terms of milligrams per kilogram

فلز سنگین	استاندارد خاک								استاندارد گیاه
	UK	EU	EPA	WHO	ایران	کانادا	لهستان	ژاپن	
سرب	۳۰۰	۵۰ -۳۰۰	۴۰	-	۷۵	-	-	-	۰/۱-۱۰
کادمیوم	۳	۱ -۳	-	۰/۲	۵	-	-	-	۰/۲-۰/۸
آرسنیک	۲۰	-	-	-	۴۰	۲۵	۳۰	۱۵	۰/۱-۵

حداکثر غلظت پیشنهادی غلظت سرب در آب مورد استفاده برای آبیاری گیاهان ۵ میلی‌گرم در لیتر است (۲۳). استاندارد سرب در آب آشامیدنی برابر ۰/۰۵ میلی‌گرم در لیتر است. غلظت بالای فلزات سنگین در فاضلاب همراه با استفاده طولانی مدت فاضلاب در آبیاری اراضی می‌تواند سبب افزایش فراوان فلزات سنگین خاک شود (۲۴ و ۲۵). افزایش سطح فلزات سنگین خاک در اثر کاربرد فاضلاب، شدیداً pH، ظرفیت تبادل کاتیونی، مواد آلی، پویایی و تحرک عناصر معدنی خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد (۲۶). تأثیر آبیاری با فاضلاب روی تجمع فلزات سنگین خاک، بستگی به عوامل متعددی چون غلظت فلزات سنگین موجود در فاضلاب، طول مدت آبیاری، میزان pH، بافت و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک دارد (۲۷). در واقع

۱۰ تا ۵۰ سال وقت لازم است تا سطح فلزات سنگین خاک آبیاری شده با فاضلاب به بیش از حد مجاز برسد (۲۸). نتایج مطالعات Rattan و همکاران (۲۹) نشان داد که آبیاری با فاضلاب به مدت ۵ سال فقط غلظت آهن موجود در خاک، به مدت ۱۰ سال غلظت فلزات سنگین روی، آهن، نیکل و سرب و به مدت ۲۰ سال غلظت فلزات سنگین مس، منگنز، نیکل و سرب خاک را افزایش می‌دهد. مقدار سرب در انواع مختلف گیاهان متفاوت است و سطح طبیعی در گیاهان کم‌تر از ppm ۵ است. در مرجع روش‌های استاندارد آزمایش آب و فاضلاب (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater) مقدار مجاز سرب در گیاهان برای مصرف انسان، ppm ۲ و محدوده گستره معمول این فلز در گیاه، ۰/۱ تا ppm ۱۰ ذکر شده است (۳۰). مطالعات نشان می‌دهد که گیاهان در مقابل فلزات سنگین واکنش‌های متفاوتی نشان می‌دهند به طوری که برخی حساس و عده‌ای دیگر تحمل می‌کنند و مقادیر زیادی سرب را جذب می‌کنند. گرچه ممکن است در این گیاهان آثار مسمومیت بارز نباشد ولی میزان محتوای فلزی آن‌ها سلامتی انسان یا حیوانی را که از این گیاهان تغذیه می‌کند به خطر می‌اندازد (۶). غلظت مجاز توصیه‌شده آرسنیک در گیاهان توسط سازمان جهانی بهداشت، ۰/۷ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک گیاه می‌باشد که غلظت موجود در گیاهان مورد بررسی کم‌تر از این حد بود. مطالعه ناظمی و همکاران (۴) درباره میزان عناصر آرسنیک، کروم، کادمیم، سرب و روی در سبزی‌های پرورش‌یافته در حومه شهر شاهرود در استان سمنان نشان داد که میانگین غلظت کروم، سرب و کادمیم در سبزی‌ها بیش از استاندارد سازمان جهانی بهداشت و سازمان خوار و بار جهانی (Food and Agriculture Organization (FAO)) برای گیاهان می‌باشد.

ارزیابی ریسک بهداشتی مصرف گندم (Health Risk Assessment)

هدف از این بخش، تخمین خطر سلامت سرب و کادمیوم با مصرف گندم در مشهد با استفاده از روش ارایه شده توسط سازمان حفاظت محیط‌زیست آمریکا می‌باشد. برای محاسبه احتمال خطرپذیری افراد به بیماری‌های غیر سرطانی از فرمول زیر استفاده شد (۳۱) به این ترتیب که ابتدا میزان جذب آلاینده از طریق ماده غذایی (گندم) به ازای هر کیلوگرم از وزن بدن در روز با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد:

$$EDI = \frac{(E_F \times E_D \times F_{IR} \times C_M)}{W_{AB} \times T_A}$$

EDI (Estimated daily intake): مقدار دریافت روزانه آلاینده بر حسب (µg/kg/day)، E_D (Exposure duration): طول مواجهه یا تعداد سال‌هایی را که از این ماده خوراکی استفاده می‌شود را نشان می‌دهد (در اینجا برای ۷۰ سال محاسبه شده است)، F_{IR} (Fresh food ingestion rate): میزان مصرف در روز (g/day) (برای گندم ۳۰۰ گرم)، C_M (Heavy metal concentration in foodstuffs): غلظت آلاینده در غذا (µg/g) ، W_{AB}: وزن بدن (Kg) در این مطالعه به طور متوسط مقدار وزن ۷۰ کیلوگرم در نظر گرفته شده است، T_A: از حاصلضرب E_D در تعداد روزهای سال به دست می‌آید (days) . احتمال خطرپذیری (Total Hazard Quotient (THQ))به بیماری‌های غیر سرطانی با فرمول زیر محاسبه شد:

$$THQ = \frac{EDI}{RfD}$$

اگر نتیجه حاصل از این فرمول کم‌تر از یک باشد نشان‌دهنده آن است که مصرف اثر حاد مضری روی سلامتی ندارد.

RfD (Reference Oral Dose) : مقدار خوارکی مرجع. برای هر عنصر مقدار مشخصی است این مقدار با آزمایش روی حیوانات به دست آمده و نشان‌دهنده حداکثر غلظتی از عنصر است که برای موجودات مشکلی ایجاد نکرده است و واحد آن نیز (mg/kg/day) می‌باشد.

محاسبه میزان جذب روزانه عناصر سنگین در رژیم غذایی روزانه (گندم)

سبزی‌ها، گندم و برنج بخش عمده‌ای از غـذای روزانـه مـردم ایران را تشکیل می‌دهد. در این مطالعه جـذب روزانـه عناصر (EDI)در گندم مصرفی روزانه محاسبه شد (۳۲). مقدار کل دریافت روزانـه سرب، کادمیوم و آرسنیک بـه ترتیـب ۱/۱۷، ۰/۰۷ و ۰/۱۷ µg/kg/day می‌باشد. میـزان دریافت قابل‌تحمل روزانه (Provisional Tolerable Daily Intake: PTDI) طبـق اسـتاندارد آژانس حفاظت محیط‌زیست آمریکـا بـرای سرب، کادمیوم و آرسنیک به ترتیب ۳/۵۷، ۱/۰۰ و ۲/۱۴ µg/kg/day می‌باشد (۳۳). لذا میزان EDI برای تمامی عناصر مورد مطالعه کم‌تر از PTDI می‌باشد.

پتانسیل خطرپذیری عناصر سنگین برای گندم

مقادیر پتانسیل خطرپذیری (THQ) هر یک از عناصر برای گندم برای افراد مصرف‌کننده در مشهد محاسبه شد. مقـدار پتانـسیل خطرپـذیری از مصرف گندم برای سرب ۰/۰۸، کادمیوم ۰/۰۷ و آرسنیک ۰/۰۰۰۵ می‌باشد. RfD سرب ۱۴/۰۰، کادمیوم ۱/۰۰ و آرسنیک ۳۰۰ µg /kg/day می باشد. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهـد کـه در بـین عناصر مورد بررسی برای مطالعه حاضر، عنصر سرب از بقیه خطرناک‌تر است. Huang و همکـاران (۳۴) در بررسـی ارزیابی خطر عناصر سنگین بر سلامت انـسان از طریـق مـصرف برنج در ایالت چانگشو در شرق چین نشان دادند که مقدار THQ برای بزرگ‌سالان و کودکان از مصرف برنج، به صورت Zn < Cu <Cr < As < Cd < Hg < Pb کاهش می‌یابد. Chary و همکاران (۳۵) در بررسی احتمال خطرپذیری عناصر سنگین در سبزی‌ها رشد یافتـه در زمـین‌هـای آبیـاری شـده بـا فاضلاب نشان داده‌اند که احتمال خطرپذیری برای عناصـر روی، کروم و سرب از مصرف سبزی‌ها بالاست و در بین سبزی‌ها، سبزی‌های برگی دارای عناصر سنگین بالایی هستند.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

این مطالعه نشان‌دهنده حضور فلزات سنگین در خاک نمونه‌های بررسی شده است و این مساله هنگامی اهمیت پیدا می‌کند که طبق گزارش‌ها علمی ۱۰ تا ۵۰ سال وقت لازم است تا سطح فلزات سنگین خاک آبیاری شده با فاضلاب به بیش از حد مجاز برسد. غلظت سرب در نمونه‌های گیاهی مطالعه شده (حداکثر ۷۱۶/۶۶ برای ریشه گندم و ۴۶۱/۶۶ برای برگ ذرت) بیش‌تر از حداقل گزارش‌شده مرجع آب و فاضلاب توسط انجمن آب آمریکا (۱۰۰ ppb) است. میزان جـذب روزانـه سرب و کادمیوم، پایین‌تر از میـزان PTDI سفارش شده به وسیله FAO/WHO است. نتـایج این بررسی نشان می‌دهـد کـه احتمـال خطـر بیمـاری‌هـای غیر سرطانی از مصرف گندم در افراد مصرف‌کننده بالا نبوده زیرا مقدار THQ هیچ‌کدام از یک بیش‌تر نیست. به هر حال پیشنهادهایی به این شرح برای مدیریت محیط‌زیست منطقه قابل‌توجه هستند: پایش و اندازه‌گیری سالانه میزان فلزات سنگین در نمونه‌های مورد بررسی و به خصوص صیفی‌جات عمده، پایش و اندازه‌گیری سالانه میزان فلزات سنگین در خاک زمین‌های زراعی و تولید بانک اطلاعاتی، آگاهی رسانی عمومی به ساکنان محلی در خصوص مضرات استفاده از فاضلاب، افزایش مدول‌های تصفیه‌خانه فاضلاب در شهرک صنعتی توس، کنترل دایمی گوشت و شیر دام‌هایی که از محصولات کشت شده با فاضلاب تعلیف می‌کنند، نظارت و کنترل بیش‌تر از طرف اداره کل حفاظت محیط‌زیست مشهد با همکاری جهاد کشاورزی بر منطقه، میزان جذب روزانه عناصر سنگین در رژیم غذایی روزانه در کلیه غلات و سبزی‌های مشهد، و پتانسیل خطرپذیری کلیه عناصر سنگین در کلیه غلات و سبزی‌های مشهد.

سپاسگزاری

از بنیاد ملی نخبگان به خاطر حمایت مالی این پروژه جهت انجام آنالیزهای دستگاهی تشکر می‌شود. همچنین از آزمایشگاه شیمی پارک علم و فناوری خراسان (آقای مهندس عباسی) و معاونت پژوهشی دانشگاه حکیم سبزواری تقدیر می‌گردد.

Reference

1. Zolfaghari, G., Esmaili-Sari, A., Ghasempouri, S.M., Faghihzadeh, S., 2007. Evaluation of environmental and occupational exposure to mercury among Iranian dentists. Science of the Total Environment. Vol. 381, pp. 59-67.
2. Zolfaghari, G., Esmaili-Sari, A., Ghasempouri, S.M., Hassanzade Kiabi, B., 2009. Multispecies monitoring study about bioaccumulation of mercury in Iranian birds (Khuzestan to Persian Gulf): effect of taxonomic affiliation, trophic level and feeding habitat. Environmental Research. Vol. 109, pp. 830-838.
3. Amini, F.L., Mirghaffari, N., Eshghi Malayeri, B., 2011. Nickel Concentration in Soil and Some natural Plant Species around Ahangaran Lead and Zinc Mine in Hamedan. Journal of Environmental Science and Technology. 13, pp. 11-20. (In Persian)
4. Nazemi, S., Asgari, A., Raei, M., 2010. Survey the Amount of Heavy Metals in Cultural Vegetables in Suburbs of Shahroud. Iranian Journal of Health and Environment. Vol. 3(2), pp. 195-202. (In Persian)
5. Jalali, A., Galavi, M., Ghanbari, A., Ramroudi, M., Yousef Elahi, M., 2010. Effects of Irrigation with Municipal Treated Wastewater on Yield and Heavy Metal Uptake in Forage Sorghum (Sorghum bicolor L.). Journal of Water and Soil Science (Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources). Vol. 14(52), pp. 15-25. (In Persian)
6. Hiedari, R., Khaiami, M., Farboodnia, T., 2005. Physiological and biochemical effects of Pb on Zea mays L. seedlings. Journal of Animal Researches. Vol. 18(3), pp. 228-236. (In Persian)
7. Tabari, M., Salehi, A., 2012. Impact of Irrigation by Municipal Sewage on Accumulation of Heavy Metals in Soil. Journal of Environmental Science and Technology. Vol. 13, pp. 49-60. (In Persian)
8. Karatas, M., Dursun, S., Guler, E., Ozdemir, C., Argun, E., 2006. Heavy metal accumulation in wheat plants irrigated by waste water. Cellulose chemistry and technology. Vol. 40(7), pp. 575-579.
9. Zolfaghari, G., Esmaili-Sari, A., Anbia, M., Younesi, H., Amirmahmoodi, S., Ghafari-Nazari, A., 2011a. Taguchi optimization approach for Pb(II) and Hg(II) removal from aqueous solutions using modified mesoporous carbon. Journal of Hazardous Materials. Vol. 192, pp. 1046–1055.
10. Zolfaghari, G., Esmaili-Sari, A., Unesi, H., Anbia, M., 2011b. Surface modification of ordered nanoporous carbons CMK-3 via a chemical oxidation approach and its application in removal of lead pollution from water. International Proceedings of Chemical, Biological and Environmental Engineering. pp. 2174–2178.
11. Zolfaghari, G., Esmaili-Sari, A., Anbia, M., Younesi, H., Ghasemian, M.B., 2013. A zinc oxide-coated nanoporous carbon adsorbent for lead removal from water: optimization, equilibrium modeling, and kinetics

studies. International Journal of Environmental
Science and Technology. Vol. 10, pp. 325-340.

12. Zolfaghari, G., 2016. ß-Cyclodextrin incorporated nanoporous carbon: Host–guest inclusion for removal of *p*-nitrophenol and pesticides from aqueous solutions. Chemical Engineering Journal. Vol. 283, pp. 1424–1434.
13. Shahryary, A., 2005. Determination of heavy metals (Cd, Cr, Pb, Ni) in edible tissues of Lutjans Coccineus and Tigeratooh Croaker In the persian Gulf-2003. Journal of Gorgan University of Medical Sciences. Vol. 7(2), pp. 65-67. (In Persian)
14. Minoui, S., Minai-tehrani, D., Samiee, K., Farivar, Sh., 2004. Study of the macroscopic and microscopic changes of the effect of cadmium on *Chlorophytum comosum*. Iranian Journal of Biology. Vol. 21(4), pp. 737-747. (In Persian)
15. Wieczorek, J., Wieczorek, Z., Bieniaszewski, T., 2004. Cadmium and Lead Content in Cereal Grains and Soil from Cropland Adjacent to Roadways. Polish journal of Environmental studies. Vol. 14(4), pp. 535-540.
16. Ghazban, F., 2002. Environmental Geology. Tehran University Publication, 1th Ed, 416 pages. (In Persian)
17. Abedin, M.J., Cottep-Howells, J., Meharg, A.A., 2002. Arsenic uptake and accumulation in rice (Oryza sativa L.) irrigated with contaminated water. Plant and Soil. Vol. 240, pp. 311-319.
18. Greger, M., Lofstedt M. 2004. Comparison of uptake and distribution of cadmium in different cultivars of bread and durum wheat. Crop Science. Vol. 44, pp. 501-507.
19. Hart J.J., Welch, R.M., Norvell, W.A., Sullivan, L.A., Kochian, L.V., 1998. Characterization of cadmium binding, uptake, and translocation in intact seedlings of bread and durum wheat cultivars. Plant Physiology. Vol. 116, pp. 1413-1420.
20. Street, J.J., Lindzay, W.L., Sabey, B.R., 1977. Solubility and cplant uptake of cadmium in soils amended with cadmium and sewage sludge. Journal of Environmental Quality. Vol. 1, pp. 72-77.
21. Hassan, N., Mahmood, Q., Waseem, A., Irshad, M., Faridullah, Pervez, A., 2013. Assessment of heavy metals in wheat plants irrigated with contaminated wastewater. Polish Journal of Environmental Studies. Vol. 22(1), pp. 115-123.
22. Noorani Azad, H., Kafilzadeh, F., 2007. The effect of cadmium toxicity on growth, soluble sugars, photosynthetic pigments and some of enzymes in safflower (Carthamus tinctorius L.). Iranian Journal of Biology. Vol. 24(6), pp. 858-867. (In Persian)
23. Metcalf & Eddy, Inc., Tchobanoglous, G., Burton, F.L., Stensel, H.D., 2002. Wastewater Engineering: Treatment and Reuse 4th Edition, 1848 pages.
24. Nan, Z., Li., J., Zhang, J., Cheng, G., 2002. Cadmium and zinc interaction and their transfer in soil-Crop system under actual field conditions. Science of the Total Environment, Vol. 285(1-3), pp. 187-195.
25. Toze, S., 2006. Reuse of effluent water-benefits and risks. Agricultural

water Management. Vol. 80, pp. 147-159.

26. Singh, A., Sharma, R., Agrawal, M., Marshall, F., 2010. Health risk assessment of heavy metals via dietary intake of foodstuffs from the wastewater irrigated site of a dry tropical area of India. Food and chemical toxicology. Vol. 48, pp. 611-619.
27. Hudji, M., Jalalian, A., 2004. Distribution of iron, zinc and lead in soil and agricultural products in the area of Mobarakeh Steel Complex. Journal of Environmental Studies. Vol. 3(8), pp. 55-65. (In Persian)
28. Smith, C.J., Hopmans, P., Cook, F.J., 1996. Accumulation of Cr, Pb, Cu, Ni, Zn and Cd in soil following irrigation with treated urban effluent in Australia. Environmental Pollution. Vol. 94 (3), pp. 317-323.
29. Rattan, R.K., Datta, S.P., Chhonkar, P.K., Suribabu, K., Singh, A.K., 2005. Long-term impact of irrigation with sewage effluents on heavy metal content in soils, crops and groundwater-A case study. Agriculture, Ecosystems and Environment. Vol. 109, pp. 310-322.
30. Eaton, A.D., Clesceri, L.S., Rice, E.W., 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21, editor. Washington D.C, Amrican Water Works Assocation [AWWA].
31. USEPA (US Environmental Protection Agency), 1992. Guidelines for exposure assessment.
32. Mohammadifard, N., Omidvar, N., Rad, A.H., 2006. Does fruit and vegetable intake differ in adult females and males in Isfahan. ARYA theroscler. Vol. 1, pp. 193-201.
33. Food and Nutrition Board, 2004. Dietary reference intakes (DRIs), recommended intakes for individuals. Institute of Medicine, National Academy of Sciences.
34. Huang, M., Zhou, S., Sun, B., Zhao, Q., 2008. Heavy metals in wheat grain: Assessment of potential health risk for inhabitants in Kunshan, China. Science of the Total Environment. Vol. 405, pp. 54-61.
35. Chary, N.S., Kamala C.T., Raj, D.S.S., 2008. Assessing risk of heavy metals from consuming food grown on sewage irrigated soils and food chain transfer.
Ecotoxicology and Environmental Saf ety. Vol. 69, pp. 513-524.