



اندازه‌گیری میزان عناصر سنگین در سبزیجات خوراکی با استفاده از روش PIXE (مطالعه موردی اراضی کشاورزی جنوب تهران)

ویدا راستی*^۱، کامران سپانلو^۲، شهرزاد خرم نژادیان^۱، احسان ظریفی*^۳، ماهرخ قاضلی‌گر^۴

۱. گروه محیط‌زیست، دانشکده مهندسی منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دماوند، ص پ ۱۹۴-۳۹۷۱۵، دماوند- ایران

۲. دفتر ایمنی هسته‌ای، مرکز نظام ایمنی هسته‌ای کشور، ص پ ۱۴۱۵۵-۱۳۳۹، تهران- ایران

۳. پژوهشکده رآکتور و ایمنی هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، تهران، ایران

۴. دفتر حفاظت در برابر اشعه، مرکز نظام ایمنی هسته‌ای کشور، تهران، ایران

چکیده

در این مطالعه، میزان فلزات سنگین (نظیر سرب، کروم، کادمیوم، روی، آرسنیک و ...) در بخش‌های خوراکی سبزیجاتی نظیر جعفری، نعناع، تربچه، شاهی، شنبلله، ریحان و غیره در ۵ منطقه جنوب شهر تهران مورد بررسی قرار گرفت. این مطالعه از نوع توصیفی-تحلیلی بود. مقادیر فلزات سنگین موجود در آن توسط روش آنالیز هسته‌ای PIXE تعیین و سپس نتایج مورد آنالیز قرار گرفت. نتایج بررسی‌ها نشان داد که آرسنیک در تربچه کشت شده در منطقه عمادآور و جعفری کشت شده در منطقه مارگارین به ترتیب با غلظت معادل 0.104 mg/Kg و 0.104 mg/Kg و خطای آماری 7.97% و 23.06% با خطای آماری 0.1 mg/Kg تعیین شده است که این مقادیر تقریباً برابر مقدار مجاز آن (0.1 mg/Kg) می‌باشد.

کلیدواژه‌ها: فلزات سنگین، سبزیجات، آنالیز هسته‌ای PIXE

Determination of heavy elements in edible vegetables using PIXE method (a case study in south of Tehran farmlands)

Rasti, Vida^(1,2), Sepanloo, Kamran³, Khoramnejadian, Shahrzad¹, Zarifi, Ehsan^{3*}, Ghazelykor, Mahrokh⁴

1. Environmental Group, Department of Natural Resources Engineering, Islamic Azad University Damavand Branch, P.O.BOX:39715-194, Damavand, Iran.

2. National Nuclear Safety Department, Iran Nuclear Regulatory Authority, P.O.BOX: 14155-1339, Tehran, Iran.

3. Reactor and Nuclear Safety Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, Tehran, Iran.

Radiation Protection Department, Iran Nuclear Regulatory Authority, Tehran, Iran.

Abstract

In this study, the amount of heavy metals (such as lead, chromium, cadmium, zinc, arsenic, etc.) on eatable section vegetables Such as parsley, mint, radishes, watercress, fenugreek, basil and etc. at the 5 region of Tehran city have been surveyed. This study is a descriptive and analytical search. amount of heavy metal has been measured by nuclear analysis (PIXE). And then the incoming results have been analyzed. The results showed that arsenic in radishes grown in Emadavar and parsley cultivated in Margarine region respectively with a concentration of 0.104 mg/kg and a statistical error of 7.97% and 0.1 mg/kg with a statistical error of 23.06% is set, which is approximately equal to the allowable value (0.1 mg/kg).

Keywords: Heavy Metals, Vegetables, PIXE Nuclear Analysis.

۱. مقدمه

تجمع فلزات سنگین در آب، هوا و خاک، یک مشکل زیست محیطی بسیار مهم می‌باشد. فلزات سنگین بطور طبیعی در خاک به میزان بسیار کم یافت می‌شوند با این وجود ممکن است از طریق احتراق سوخت‌های فسیلی، پساب‌های شهری و صنعتی، لجن فاضلاب و کودهای شیمیایی وارد خاک شده و بدین طریق باعث آلودگی خاک و گیاهان منطقه شوند.

فلزاتی همچون نیکل، کروم، آرسنیک، سرب، مس، کادمیم و ... دارای خطرات جدی برای گیاهان می‌باشند. این فلزات توسط خاک جذب شده و سبب آلودگی زمین‌های کشاورزی می‌شود و نهایتاً وارد چرخه خاک، گیاه، حیوان، و انسان شده و ممکن است به حد آستانه سمی برای گیاه و حیوان و انسان برسد. [۱]

فلزات سنگین به راحتی در اندام‌های حیاتی بدن انباشته شده و حیات انسان را تهدید می‌کنند. لذا مصرف بیش از حد منابع غذایی آلوده به فلزات سنگین می‌تواند منجر به ابتلا و بروز بیماری‌های مختلف از جمله سرطان و آسیب به سیستم عصبی شود. [۲]

یکی از اساسی‌ترین مسئله در ارتباط با فلزات سنگین عدم متابولیسم شدن آن‌ها در بدن می‌باشد. در واقع فلزات سنگین پس از ورود به بدن دیگر از بدن دفع نشده بلکه در بافت‌هایی مثل چربی، عضلات، استخوان‌ها و مفاصل رسوب کرده و انباشته می‌گردند که همین امر موجب بروز بیماری‌ها و عوارض متعددی در بدن می‌شود. [۳]

محمدهادی گیویان‌راد و همکاران در مقاله‌ی خود به این نتیجه رسیدند که میزان سرب و کادمیم در نمونه تره از مقدار مجاز برای مصرف انسان بر اساس اتحادیه اروپا (0.1 mg/kg وزن سبزی تازه) بیشتر بوده است. [۴]

مهرداد چراغی و آزاده قبادی در پژوهش خود به این نتیجه رسیدند که میانگین غلظت فلزات کادمیم و سرب در گیاه جعفری بالاتر از حد استاندارد (WHO و FAO) و میانگین غلظت فلزات نیکل و روی در گیاه جعفری کمتر از حد آن استاندارد تشخیص داده شد. [۵] رضا مهاجر و همکاران طی مقاله‌ای میزان سرب و کادمیم در برخی از محصولات کشاورزی استان اصفهان را بررسی نمودند. نتایج نشان داد که مقدار سرب و کادمیم در اکثر محصولات بیشتر از محدوده استاندارد ارایه شده توسط ایران همچنین WHO و FAO است. [۶]

شارما و همکاران آلودگی سبزیجات شهری به فلزات سنگین (مس، روی، سرب) در بنارس هند را مورد ارزیابی قرار دادند. [۷] هانگ‌بین و همکاران فلزات سنگین در برنج و سبزیجات را بررسی نموده و خطرات بهداشتی بالقوه آن را برای ساکنان مجاور منطقه صنعتی جیانگ‌سو در چین مورد ارزیابی قرار دادند. [۸]

ژو و همکاران فلزات سنگین در سبزیجات را مورد بررسی قرار داده و خطر سلامتی جمعیتی در ژجیانگ چین را ارزیابی نمودند. [۹] متأسفانه کشور پهناور ایران واقع در کمربند خشک زمین بوده و دچار کم‌آبی می‌باشد و شهرهای بزرگ کشور به ویژه تهران جهت جبران بخشی از این نیاز مجبور به مصرف حجم قابل توجهی از پساب‌های شهری و صنعتی می‌باشند. کاربرد دراز مدت این پساب‌ها منجر به تجمع فلزات سنگین در خاک و انتقال آن‌ها به گونه‌های گیاهی با غلظتی بیش از حد مجاز شده است. در این تحقیق به بررسی میزان غلظت فلزات سنگین و دیگر مواد مضر موجود (نظیر سرب، کروم، کادمیم، روی، آرسنیک و ...) در سبزیجات (نظیر شاهی، برگ تربچه، شنبلیله، جعفری، برگ چغندر، تره، ریحان، گشنیز و ...) زیرکشت جنوب تهران پرداخته شد. نتایج مطالعه حاکی از آن بود که بجز تربچه کشت شده در منطقه عمادآور و جعفری کشت شده در منطقه مارگارین در بقیه موارد میزان غلظت آرسنیک بسیار ناچیز بود. غلظت آرسنیک در این سبزیجات نیز در حد مجاز بوده است.

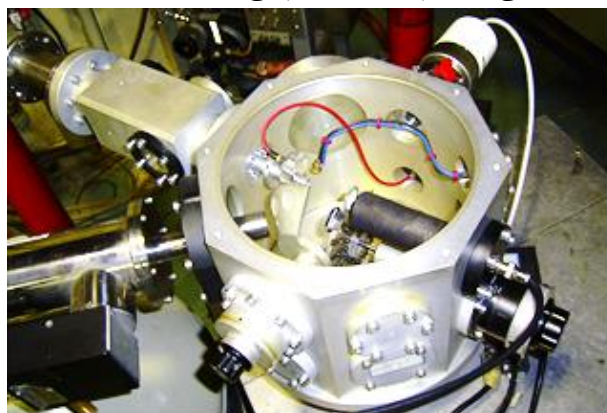
آنالیز مواد با استفاده از دانش هسته‌ای در بخش صنعت با استفاده از روش‌های هسته‌ای شامل آنالیز نمونه‌های کوچک، بزرگ و آنالیز فوری و در محل است روش‌های هسته‌ای نظیر PIXE و NAA، PIGE.

در این مطالعه برای آنالیز نمونه‌ها از روش PIXE استفاده شد مزیت این روش نسبت به سایر روش‌ها آن است که در یک آزمایش می‌توان عناصر کم مقدار بسیاری را تعیین نمود. روش آنالیز غیر مخرب بوده و به علاوه این روش از سرعت عمل بالایی نیز برخوردار است و نمونه جهت انجام آنالیز به سرعت آماده می‌شود. کاربرد این روش جهت آنالیز نمونه‌ها خصوصاً عناصر کم مقدار در یک بافت بیولوژیکی، یعنی عنصری با غلظت کمتر از یک ده هزارم جرم خشک شده آن‌ها است. از این روش جهت آنالیز گیاهان و تعیین عناصر کم مقدار در آن‌ها نیز استفاده می‌شود. روش پیکسی، یکی از روش‌های آنالیز با باریکه یونی است که می‌توان به وسیله‌ی آن، عناصر تشکیل دهنده ماده مجهول را تشخیص داد. در روش آنالیز پیکسی، نمونه‌های مورد بررسی تحت تابش پروتون پرنرژی قرار می‌گیرد. در روش PIXE انرژی باریکه باید به اندازه‌ای باشد که پروتون بتواند یک الکترون را از لایه‌های داخلی جدا کند، معمولاً در این روش بازه‌ی انرژی قابل قبول بین ۱ تا ۴ مگاالکترون ولت خواهد بود. اشعه X تولید شده، به وسیله آشکارساز Si-Li دریافت می‌شود و پالس‌های دریافتی توسط آشکارساز پس از تقویت شدن به واحد آنالیز فرستاده می‌شود بنابراین طیف حاصل از روش PIXE شامل پیک‌های زیادی است که برخی از آن‌ها با هم همپوشانی دارند. و برای آنالیز آن‌ها از کامپیوتر استفاده می‌شود.

۲. روش کار

تجهیزات عمده مورد استفاده عبارت‌اند از:

- ۱- شتابدهنده و اندوگراف ساخت شرکت High Voltage Engineering با ولتاژ حداکثر ۳ میلیون ولت
- ۲- آهن‌ربای جهت‌دهنده که هم نقش آهن‌ربای تفکیک و آنالیز را بازی می‌کند و هم ذرات را به ۷ خط باریکه مختلف (۴۵ درجه راست، ۳۰ درجه راست، ۱۵ درجه راست، صفر درجه، ۱۵ درجه چپ، ۳۰ درجه چپ و ۴۵ درجه چپ) هدایت می‌کند. خط ۱۵ درجه راست برای پیکسی در هوا و خط باریکه ۳۰ درجه چپ برای آنالیز پیکسی اختصاص دارد.
- ۳- اطاقک واکنش پیکسی در شکل نمایش داده شده است. در این اطاقک می‌توان ۱۶ نمونه مختلف را قرار داد و پس از تخلیه آن (تا فشار ۱۰-۵ Torr) به آنالیز آن‌ها پرداخت. شدت باریکه مورد نیاز در این آزمایش‌ها در حدود ۵-۰/۵ nA و انرژی و نوع ذره تابشی انتخاب می‌شود که بیشترین حساسیت برای آنالیز نمونه فراهم شود. معمولاً آنالیز نمونه در حدود ۱۰ دقیقه به طول می‌انجامد. تحلیل نتایج و دستیابی به غلظت‌های عنصری به کمک خروجی سیستم PIXE انجام می‌شود.



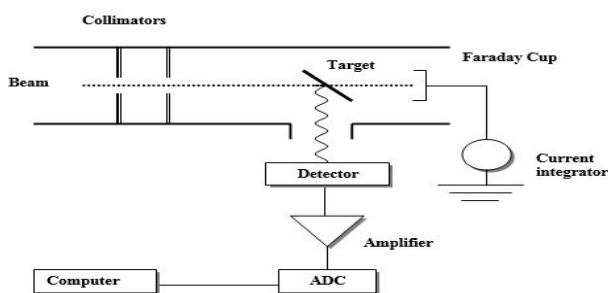
شکل ۱: اطاقک واکنش PIXE.

در این مطالعه توصیفی تحلیلی و مقطعی، از مزارع جنوب تهران در این مناطق شامل منطقه عمادآور در جنوب شهرری، اراضی جنوبی کارخانه مارگارین، منطقه امین آباد (بالا و پایین) و صالح آباد به طور تصادفی، چند مزرعه انتخاب و از هر مزرعه نمونه‌هایی از نقاط مختلف مزرعه برداشت گردید. نمونه‌برداری طی چند ماه در طول برداشت محصول انجام گرفت و به طور کلی چندین نمونه از سبزیجات خوراکی نظیر تربچه، شاهی، تره، شنبلیل، جعفری، برگ چغندر، ریحان، اسفناج و ... (بسته به نوع محصول و فصل برداشت) حاصل گردید.

سبزیجات نمونه‌برداری شده به صورت مجزا دسته‌بندی و قسمت‌های غیرخوراکی جدا شد. سپس قسمت‌های باقیمانده پس از آبکشی کامل، درون آون به مدت ۸ ساعت تحت دمای نزدیک به ۴۰ درجه سانتیگراد خشک شد. سپس توسط هاون آسیاب شده، پس از همگن کردن به مقدار معینی به صورت، قرص درآورده شد، سپس قرص بدست آمده را در داخل نگهدارنده هدف گذاشته که آماده برای قرار دادن در داخل اتاقک آزمایش می‌باشد. از آنجا که نمونه، عایق می‌باشد و با توجه به مساله‌ی رشد بار الکتریکی مثبت حاصل از برخورد پرتو پروتون با هدف عایق، خود یک عامل اصلی در بالا بردن زمینه طیف‌ها است، با استفاده از اسپری کربن بر روی سطح نمونه‌های مورد آزمایش و ایجاد رسانای الکتریکی، به حداقل رسانده شد.

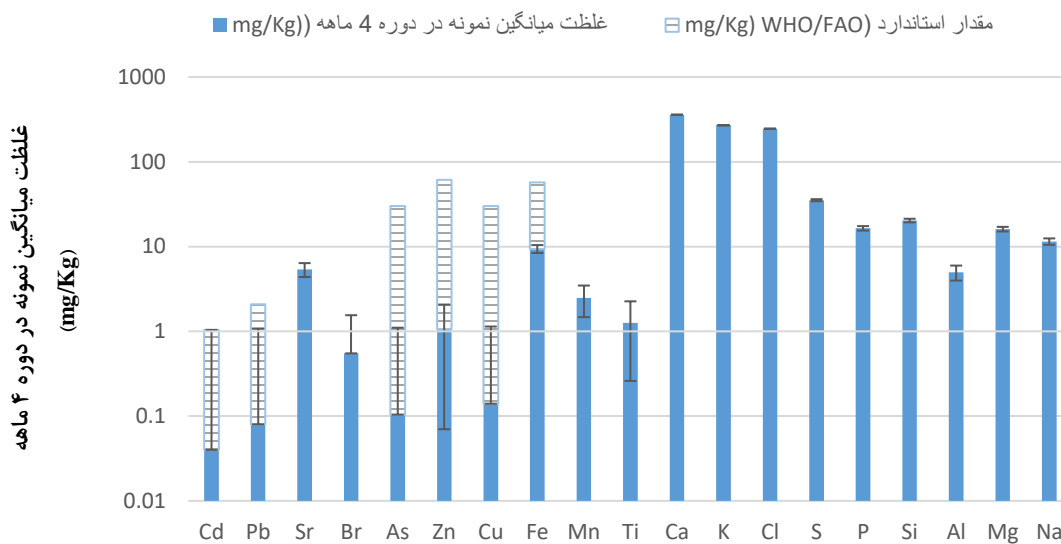
سپس با استفاده از روش آنالیز هسته‌ای PIXE میزان عناصر سنگین و دیگر مواد مضر مورد بررسی قرار گرفت و داده‌های بدست‌آمده با استفاده از روش‌های آماری تحلیل گردید. طبق شکل ۱، نمونه تقریباً در وسط محفظه، درست مقابل باریکه ورودی قرار می‌گیرد به طوری که جهت باریکه فرودی بر سطح نمونه عمود است. درون محفظه دو آشکارساز از نوع سد سطحی قرار دارند. یک آشکارساز از نوع Si-Li، که برای آشکارسازی پرتوهای X گسیل شده از نمونه در اثر برخورد با باریکه مورد استفاده قرار می‌گیرد و در زاویه ۱۳۵ درجه نسبت به پرتو فرودی قرار دارد. آشکارساز دوم، برای آشکارسازی ذرات فرودی پس پراکنده شده استفاده می‌شود و نسبت به پرتو فرودی در زاویه ۱۶۵ درجه قرار دارد. در پشت نمونه فنجان فارادی قرار دارد که بار فرودی روی نمونه در آن جمع می‌شود و سپس توسط واحد الکترونیکی شمارش می‌شود.

تمام مسیر عبور باریکه از شتاب‌دهنده تا هنگامی که در محفظه هدف با نمونه برخورد می‌کند، توسط سیستم خلائی که در مسیر باریکه (شکل ۲) قرار گرفته است، خلاء می‌شود.

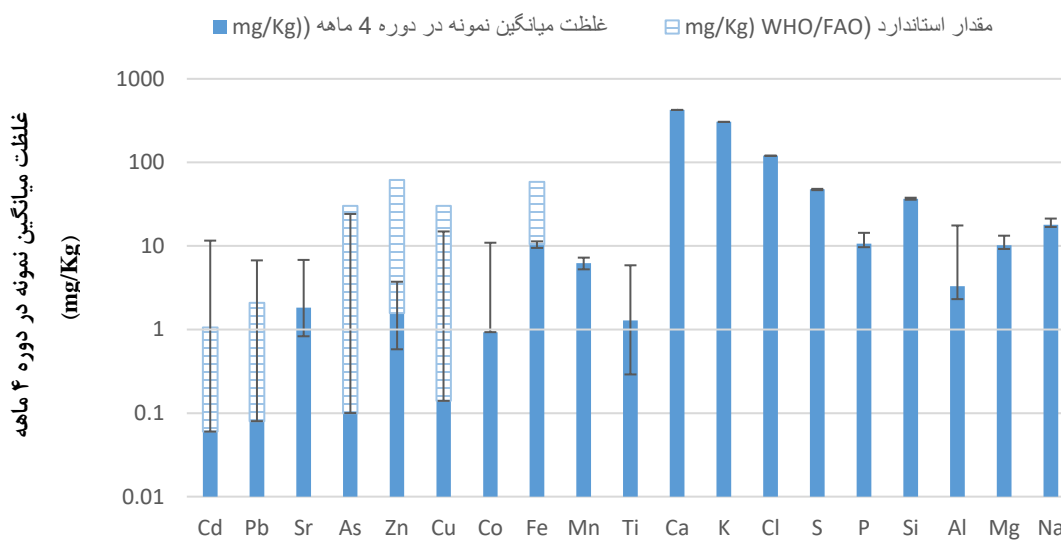


شکل ۲: شمای ساده‌ای از مسیر حرکت باریکه

تحلیل نمونه‌ها به روش آنالیز PIXE انجام شده و مقدار فلزات موجود در آن نمایش داده می‌شود. همچنین برای آنالیز برخی از نمونه‌ها از دو انرژی پروتون ۲ MeV و ترجیحاً ۲/۵ MeV تابش‌دهی انجام شد. برای آنالیز عناصر بالای گوگرد از نتایج بدون فیلتر و برای عناصر زیر گوگرد (جهت محدود کردن بازه اندازه‌گیری در آنالیزور چندکاناله جهت شمارش با استفاده از آشکارساز) از نتایج با فیلتر استفاده شد. نتایج آنالیز تربچه کشت شده در منطقه عمادآور در شکل شماره ۳ و جعفری کشت شده در منطقه مارگارین در شکل شماره ۴ آمده است.



شکل ۳: نمودار نتایج آنالیز سبزی تربچه کشت شده در منطقه عمادآور شهری



شکل ۴: نمودار نتایج آنالیز سبزی جعفری کشت شده در منطقه مارگارین

۵. نتیجه‌گیری

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از روش‌های آماری انجام و نتایج به صورت میانگین (انحراف معیار) و حدود اطمینان آن بیان شد. نتایج این تحقیق نشان داد که اغلب محصولات نمونه‌برداری شده در این تحقیق دارای مقدار بسیار ناچیزی فلزات سنگین بوده و غلظت آن‌ها در حد مجاز و استاندارد و یا کمتر از آن قرار دارد. همچنین پنج منطقه در نظر گرفته شده در جنوب تهران از نظر غلظت مواد سنگین مشابه یکدیگر می‌باشد.

بررسی نتایج آنالیز تربچه کشت شده در منطقه عمادآور نشان می‌دهد آرسنیک با غلظت معادل 0.104 mg/Kg و خطای آماری 7.97% تعیین شده است که این مقدار تقریباً برابر مقدار مجاز آن (0.1 mg/Kg) می‌باشد. همچنین نتایج آنالیز جعفری کشت شده در منطقه

مارگارین نیز نشان می‌دهد آرسنیک با 0.1 mg/Kg با خطای آماری $23/06\%$ تعیین شده است که این مقدار تقریباً برابر مقدار مجاز آن می‌باشد. در بقیه موارد میزان غلظت آرسنیک بسیار ناچیز بود.

همچنین غلظت سرب و کادمیوم نیز در این پنج منطقه مورد بررسی کمتر از حد مجاز می‌باشد و انحرافی مشاهده نگردید. در زمینه‌ی نقش شستشو و استفاده از مواد ضدعفونی در حذف برخی فلزات سنگین، برخی از نمونه‌ها با بکارگیری فرآیند شستشو و استفاده از مواد ضدعفونی مختلف مورد ارزیابی قرار گرفتند، که نتایج مقایسه‌ی نمونه‌های شستشو شده و نمونه‌های عادی نشان داد که شستشو و استفاده از مواد ضدعفونی‌کننده در حذف فلزات سنگین تأثیری ندارد.

با توجه مشکلات به وجود آمده در سال‌های گذشته به کشاورزان این مناطق توصیه شده بود که حتی‌الامکان از آب‌های سطحی استفاده نکنند و به آن‌ها اجازه حفر چاه و استفاده از آن داده شده بود. همچنین صنایع نزدیک این مناطق دارای سیستم تصفیه فاضلاب می‌باشند که فاضلاب واحدهای مختلف آن‌ها را مورد پالایش می‌نمود. پساب خروجی از تصفیه‌خانه این واحدها پس از اختلاط با یکی از شاخه‌های فاضلاب، به سمت تصفیه‌خانه جنوب تهران واقع در شهرری هدایت می‌شود.

بنابراین نتیجه کلی این تمهیدات کاهش آلودگی منابع آب و خاک در این اراضی کشاورزی بوده است. همچنین میزان کم آلودگی کادمیوم که معمولاً به آب و یا خاک آلوده بر می‌گردد می‌تواند ناشی از اثرات قبلی آبیاری با آب آلوده باشد که به دلیل تمهیدات انجام شده کمتر از حد مجاز می‌باشد. همچنین آلودگی سرب به انتقال آن از طریق هوای آلوده مربوط است که خوشبختانه کمتر از حد مجاز می‌باشد.

به‌طور کلی می‌توان گفت که عناصر سنگین و دیگر مواد موجود در سبزیجات زیرکشت جنوب تهران در حد مجاز مطابق استانداردهای FAO & WHO و استانداردهای ملی ایران می‌باشند. خوشبختانه پیش‌تصفیه فاضلاب‌ها و عدم رهاسازی فاضلاب‌های شهری و صنعتی و حفر و استفاده از چاه‌ها در ایجاد این امر نقش به‌سزایی داشته‌اند.

مراجع

1. Takdestan, Afshin; Shahriari, Taher, 2001, Investigation of Heavy Metals in Isfahan Vegetables, 4th National Conference on Environmental Health, Yazd, Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, Yazd. (In Persian)
2. Pan, X. D., Tang, J., Chen, Q., Wu, P. G., Han, J. L., 2013, "Evaluation of direct sampling method for trace elements analysis in Chinese rice wine by ICP-OES", European Food Research and Technology, Vol. 236(3).
3. Toplan, S., Ozcelik, D., Gulyasar, T., Akyolcu, M. C., 2004, "Changes in hemorheological parameters due to lead exposure in female rats. Journal of Trace Elements in Medicine and Biology", Vol. 18(2).
4. Giovannrad, Mohammad Hadi; Sadeghi, Tahereh; Larijani, Kambiz; Hosseini, Seyed Ibrahim, 2011, Determination of heavy metals cadmium and lead in edible vegetables of lettuce, mint and leek grown in different lands of south of Tehran, Journal of Food Science and Nutrition, Year 8, No. 2. (In Persian)
5. Cheraghi, Mehrdad; Ghobadi, Azadeh, 2014, Health Risk Assessment of Heavy Metals (Cadmium, Nickel, Lead and Zinc) in Parsley Vegetable Harvested from Some Farms in Hamadan, Tolooh Behdasht Magazine, Year 13, Number 4. (In Persian)
6. Mohajer, Reza; Salehi, Mohammad Hassan; Mohammadi, Jahangard, 2014, Study of lead and cadmium concentrations in agricultural products (lettuce, cabbage, onion and beet) of Isfahan province, Journal of Health and Environment, Scientific and Research Quarterly of Iranian Scientific Association of Environmental Health; Seventh Volume, Number 1. (In Persian)
7. Sharma, R. K., Agrawal, M., Marshall, F. M., 2008, "Heavy metal (Cu, Zn, Cd and Pb) contamination of vegetables in urban India: a case study in Varanasi", Environmental Pollution, Vol. 154(2).
8. Hongbin, C., Jianjiang Ch., Jun, Zh., Hui, Zh., Li, Q., Yi, M., 2010, "Heavy metals in rice and garden vegetables and their potential health risks to inhabitants in the vicinity of an industrial zone in Jiangsu, China", Journal of Environmental Sciences, Vol. 22(11).
9. Zhu, H., Xiao-Dong, P., Ping-Gu, W., Jian-Long, H., Qing, Ch., 2014, "Heavy metals in vegetables and the health risk to population in Zhejiang, China", Food Control, Vol. 36(1).