



Available online: <http://ijhe.tums.ac.ir>

مقاله پژوهشی

ارزیابی مواجهه با فلزات سنگین مس، روی، کادمیوم و سرب در سبزیجات کشت شده در مزارع استان زنجان

لیلا تابنده^{۱*}، مهدی طاهری^۲

۱- (نویسنده مسئول): کارشناس ارشد بخش خاک و آب، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی، زنجان

۲- استادیار بخش خاک و آب، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی، زنجان

چکیده

زمینه و هدف: آلودگی خاک‌ها و گیاهان با فلزات سنگین، یک مشکل جدی و در حال گسترش است. تحقیق حاضر با هدف تعیین غلظت عناصر سنگین در خاک و برخی محصولات کشاورزی و احتمال خطر ناشی از مصرف آنها انجام گردید.

روش بررسی: این مطالعه توصیفی-مقطعی با نمونه‌برداری به صورت تصادفی و در فصل برداشت سال ۱۳۹۳، بر روی ۲۰۵ نمونه از سبزیجات تولیدی (تره، برگ چغندر، جعفری، هندوانه، خربزه، گوجه‌فرنگی، خیار، سیب‌زمینی، پیاز، سیر، تربچه، نخودفرنگی و باقلا) و ۱۲۹ نمونه از خاک‌های زراعی انجام گردید. غلظت عناصر مس، روی، کادمیوم و سرب در خاک و گیاه، با دستگاه جذب اتمی و تجزیه و تحلیل آماری با نرم افزار SPSS انجام شده است.

یافته‌ها: اختلاف بین میانگین غلظت عناصر مس، روی و سرب در بین انواع سبزیجات مختلف معنی‌دار بود ($P < 0.001$)، اما در مورد کادمیوم، اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. بیشترین میانگین سرب، کادمیوم، مس و روی به ترتیب در جعفری، برگ چغندر، باقلا و تره تشخیص داده شد. ولیکن، هیچ‌گونه آلودگی به عناصر سنگین در دیگر سبزیجات و خاک‌های تحت مطالعه (به استثنای خاک‌های زراعی مجاور به معدن سرب منطقه ماهنشان)، بدست نیامد. احتمال خطر پذیری به بیماری‌های سرطانی برای هر یک از عناصر، کمتر از یک بدست آمد و مصرف فلزات سنگین، کمتر از حد قابل تحمل مصرف روزانه بودند. نتیجه‌گیری: نتایج این تحقیق نشان داد که، قسمت عمده تجمع فلزات سنگین، در سبزیجات برگی است. بنابراین، می‌بایست، توجه زیادی به مصرف سبزیجات برگی، علی‌الخصوص، سبزیجات رشد یافته در اطراف مناطق صنعتی، صورت گیرد.

اطلاعات مقاله:

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۸/۰۳
تاریخ ویرایش: ۹۴/۱۰/۲۳
تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۰/۳۰
تاریخ انتشار: ۹۵/۰۳/۱۷

واژگان کلیدی: آلودگی خاک، فلزات سنگین، سبزیجات، استان زنجان

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:

ltabande@yahoo.com

Please cite this article as: Tabande L, Taheri M. Evaluation of exposure to heavy metals Cu, Zn, Cd and Pb in vegetables grown in the Olericultures of Zanjan Province's fields. Iranian Journal of Health and Environment. 2016;9(1):41-56.

مقدمه

جذب و تجمع فلزات سنگین در سبزیجات تحت تاثیر بسیاری از فاکتورها از جمله آب و هوا، رسوبات جوی، غلظت فلزات سنگین در خاک و آب، کیفیت خاکی که گیاه در آن رشد می‌کند و درجه رسیدگی محصول در زمان برداشت است (۱). در بین فلزات سنگین، عناصر مس و روی در مقادیر مناسب و بهینه برای بسیاری از سیستم‌های بیولوژیکی انسان ضروری است و در مواردی که مقدار این عناصر برای رشد متعادل گیاه کم باشد، کشاورزان با مصرف کودهای حاوی عناصر کم مصرف و یا حتی با کاربرد قارچ‌کش‌های حاوی عنصر مس، منجر به افزایش غلظت این عناصر در گیاهان می‌شوند. فلزات سنگین از قبیل، کادمیوم، سرب، کروم و جیوه، از آلاینده‌های مهم زیست محیطی است، که می‌توانند در سطح یا بافت تازه گیاهان یافت شوند. در میان فلزات سنگین، کادمیوم دارای اهمیت ویژه‌ای است زیرا به راحتی جذب گیاه شده و سمیت آن برای گیاهان تا ۲۰ برابر سایر فلزات سنگین است. آلودگی خاک و آب با فلزات سنگین، یکی از مشکلات محیطی عمده در جوامع بشری است که علاوه بر کاهش عملکرد و کیفیت محصول، پایداری تولیدات کشاورزی و سلامتی افراد جامعه را به خطر می‌اندازد (۲). گزارش شده است که تقریباً نیمی از میانگین سرب، کادمیوم و جیوه از طریق غذاهای ناشی از منشا گیاهی (میوه، سبزی، غلات و حبوبات) است. آلودگی خاک‌ها به فلزات سنگین، ممکن است به طور وسیعی در فضای شهری گسترش یابد که ناشی از فعالیت‌های صنعتی گذشته و یا استفاده از سوخت‌های فسیلی بوده است (۳). فلزات سنگین ممکن است به روش‌های مختلفی وارد بدن انسان شوند. به طور مثال، استنشاق گرد و غبار و هوای آلوده، ورود مستقیم فلزات به خاک‌های زراعی و مصرف عناصر سنگین توسط گیاهان رشد یافته در این مناطق، که نهایتاً منجر به ورود این عناصر به زنجیره غذایی انسان خواهند شد (۴). در مزارع سبزی کاری کشور هند و تحت آبیاری با فاضلاب، مشخص

شد که، احتمال خطرپذیری برای عناصر روی، کروم و سرب با مصرف سبزیجات بالاست و در بین سبزیجات، سبزی‌های برگی، دارای عناصر سنگین بالایی هستند (۵). همچنین، در مطالعه‌ای بر روی اراضی سبزی‌کاری اطراف شیراز، آلودگی به فلزات سنگین در خاک و گیاهان تحت آبیاری با فاضلاب نشان داده شد و مقدار پتانسیل خطرپذیری برای کادمیوم از مصرف محصولات کشاورزی در این منطقه، بالاتر از یک به دست آمد (۶). در اراضی سبزی‌کاری جنوب تهران، سبزی‌ریحان، بالاترین میانگین غلظت روی و مس (۴۳ و ۲۰ mg/Kg) را به خود اختصاص داد (۷). در محصولات گندم و سیب‌زمینی استان همدان، احتمال مواجهه با بیماری‌های غیر سرطانی برای هر یک از عناصر کروم، مس و سیلیسیم، کمتر از یک به دست آمد. آنها گزارش کردند که، ساکنان مصرف کننده این محصولات، در محدوده امن از نظر تاثیرات سوء بیماری‌های غیر سرطانی قرار گرفته‌اند (۸).

سبزیجات جزء مهمی از زنجیره غذایی انسان است. زیرا دارای کربوهیدرات‌ها، پروتئین، ویتامین‌ها، مواد معدنی و عناصر کم‌مصرف است (۹). در سال‌های اخیر، علی‌الخصوص در میان جوامع شهری، مصرف سبزیجات رو به افزایش است و این، ناشی از افزایش آگاهی‌های مردم از ارزش مفید غذاهای حاوی سبزیجات است (۲، ۱۰). سبزیجات، منبع خوبی از تجمع همه عناصر ضروری و سمی است و با تجمع بیش از حد مجاز عناصر سنگین در آنها، می‌تواند تهدیدی بر سلامتی انسان و نهایتاً خطراتی را بر جامعه بشری وارد سازد (۱۱). طبق تحقیقات انجام شده، اکثر پساب‌های صنعتی در استان زنجان، حاوی کادمیوم و سرب است. بطوری‌که، کادمیوم، یکی از محصولات جنبی کارخانجات فرآوری سرب و روی در این استان است و فاضلاب کارخانه سرب و روی از مهم‌ترین منابع آلاینده خاک‌های روستای دیزج‌آباد (حاشیه اصلی جاده قدیم زنجان- تهران) و روستاهای رازبین، پنبه‌چوق، دیزج‌بالا، ازدهاتو (جاده زنجان- بیجار) به فلزات سنگین و مخصوصاً کادمیوم است. وجود غلظت بالای فلزات سنگین در خاک بعضی

Allium cepa، سیر *Allium sativum* و تربچه *Raphanus sativus*، سبزیجات دانه‌ای (نخودفرنگی *Pisum sativum* و باقلا *faba Vicia*) و سبزیجات جالیزی (خیار *Cucumis sativus*، گوجه‌فرنگی *solanum lycopersicum*، آتشی *Cucumis melo* و هندوانه *lanatus Citrullus*) نمونه‌برداری انجام گردید. طبق شکل ۱، قسمت عمده مزارع تحت کشت انواع سبزی و صیفی‌جات تولیدی استان و مناطق تحت مطالعه، در شهرستان‌های طارم و زنجان واقع شده است. مزارع مطالعاتی و تحت کشت محصولاتی از قبیل گوجه‌فرنگی، سیب‌زمینی، پیاز و خیار، شامل شهرستان‌های زنجان، طارم، خدابنده، ابهر و ماهنشان بود. همچنین نمونه‌برداری از محصولات جالیزی مانند هندوانه، از مزارع صیفی‌جات شهرستان ابهر (روستای ازناپ و قروه)، شهرستان خدابنده (روستای خنداب)، شهرستان طارم (روستای ونسر)، حاشیه رودخانه زنجان‌چای (روستای سلطان‌آباد و رجعین) و روستای دیزج‌آباد (جاده قدیم زنجان-تهران) انجام گردید و برای محصولات آتشی، نخودفرنگی و باقلا، به دلیل سطح بالای کشت و تولید عمده این محصولات در منطقه طارم، نمونه‌برداری صرفاً از روستاهای توابع این شهرستان، صورت گرفت. لازم به ذکر است که نمونه‌برداری از سبزیجات برگی (تره، جعفری و برگ چغندر)، در قسمت‌های جنوبی شهرستان زنجان (روستاهای پنبه‌جوق، رازبین، اژدهاتو، دیزج‌آباد، زنگل‌آباد، کوشکن و اطراف راه‌آهن شهری) و شهرستان خدابنده (روستاهای کهریز، نعل‌بندان) را در بر گرفته است. بنابراین مزارع منتخب، صرفاً از مناطق با سطح عمده کشت صورت گرفت. سپس از هر مزرعه، ۳ نمونه از قسمت‌های ابتدا، وسط و انتهای مزرعه به طور تصادفی نمونه‌برداری انجام گرفت تا بیانگر هر چه بهتر وضعیت متوسط هر مزرعه از نظر آلودگی به فلز سنگین تحت مطالعه باشد. از این‌رو، جمعا بر روی ۲۰۵ نمونه گیاهی و ۱۳ نوع از سبزیجات عمده تولیدی استان که تقریباً ۸۰٪ از سبزیجات سبذ غذایی یک خانوار ایرانی را شامل بود، صورت گرفت. تعداد نقاط نمونه‌برداری به تفکیک هر

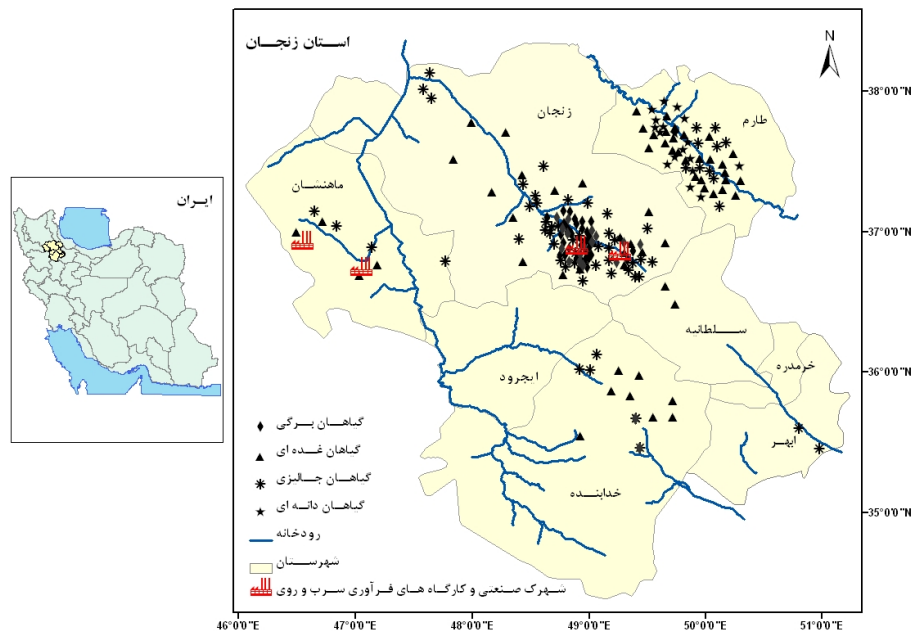
از مزارع، حاکی از آلودگی خاک این مزارع توسط فاضلاب خروجی کارخانه است و نتایج تجزیه فاضلاب کارخانه نیز حاوی مقادیر بسیار بالای روی، سرب و کادمیوم است (۱۲). با توجه به اهمیت این قبیل مواد غذایی و مصرف سبزیجات آلوده در کشورهای درحال توسعه و نهایتاً، ورود فلزات سنگین به چرخه غذایی انسان، لازم است که با انجام مطالعات منطقه‌ای و بررسی علل و عوامل آلاینده در محصولات کشاورزی، به‌نحوی، سلامت غذایی سبزیجات عمده مصرفی استان، مورد ارزیابی قرار گیرد. بنابراین، هدف از انجام این تحقیق، تجزیه و تحلیل غلظت کل عناصر سنگین مس، روی، کادمیوم و سرب در بسیاری از سبزیجات و خاک‌های مزارع تحت مطالعه و محاسبه مقدار دریافت قابل تحمل روزانه موقتی این عناصر سنگین بود. از آنجا که حد مجاز برداشت عناصر مس و روی در استاندارد ملی ایران (۱۳) تعریف نشده است، بنابراین، به منظور مقایسه این عناصر، از استاندارد کمیته مشترک سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد و سازمان بهداشت جهانی FAO/WHO (۱۴، ۱۵) و برای عناصر کادمیوم و سرب از استاندارد ملی ایران استفاده گردید. در نهایت، میزان مواجهه با بیماری‌ها در اثر مصرف محصولات کشاورزی منطقه مطالعاتی تحت بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

استان زنجان با مساحت 22164 km^2 (معادل $1/34\%$ مساحت کل کشور) بین مختصات جغرافیائی ۴۷ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۲۶ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۳۳ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۱۵ دقیقه عرض شمالی قرار دارد. این استان، از نظر تقسیمات کشوری دارای هشت شهرستان شامل زنجان، طارم، خرم‌دره، ابهر، سلطانیه، خدابنده، ایجرود و ماهنشان است. در این تحقیق، بر روی ۱۳ نوع از سبزیجات تولیدی استان زنجان، اعم از سبزیجات برگی (تره ایرانی *Allium cepa L.*، جعفری *crispum Petroselinum* و برگ چغندر *vulgaris subsp.*)، سبزیجات غده‌ای (سیب‌زمینی *Solanum tuberosum*)، پیاز

اضافه شد. سپس مخلوطها در دمای 80°C هضم شده تا اینکه محلول شفافی به دست آمد و با استفاده از آب مقطر به حجم 50 mL رسانده و محلولها، جهت اندازه گیری غلظت عناصر سنگین آماده شدند (۱۱). همچنین، خاکهای جمع آوری شده از مزارع تحت مطالعه استان، پس از هوا خشک و عبور از الک 2 Mm ، به آزمایشگاه منتقل شدند. 1 g خاک خشک را به نسبت $1:3$ با اسید کلریدریک 6 M و اسید نیتریک غلیظ، مخلوط و پس از گذشت 24 h ، در دمای 90°C ، حرارت داده و با اسید نیتریک 2 M ، به حجم 50 mL ، رسانده شد (۱۶). در نهایت غلظت عناصر سنگین مس، روی، کادمیوم و سرب در سبزیجات و خاکهای تحت مطالعه، با استفاده از دستگاه جذب اتمی (مدل Avanta P از کمپانی GBC، ساخت کشور استرالیا) تعیین گردید. اندازه گیریهای مس، روی، کادمیوم و سرب به ترتیب در طول موجهای $228/8$ ، $213/9$ ، $324/7$ و 217 nm بود و عرض شکاف برای مس و روی ($0/5\text{ nm}$)، سرب (1 nm) و کادمیوم ($0/5\text{ nm}$) تنظیم شده است. به منظور برآورد غلظت عناصر براساس وزن تر، می بایست ماده

نوع سبزی و بر طبق سطح زیر کشت محصول در سطح استان و مجاورت مزارع مورد مطالعه به منابع آلاینده زیست محیطی (کارخانجات و کارگاههای فرآوری سرب و روی و حاشیه رودخانه زنجانچای) صورت گرفته است. لازم به ذکر است که نمونه گیری موقعی انجام شد که، محصولات کشاورزی آماده برداشت بوسیله کشاورزان منطقه بودند و همزمان، 129 نمونه خاک از عمق 0 تا 30 سانتی متری و از مزارع تحت کشت محصولات مذکور جمع آوری شد. نمونه های گیاهی جمع آوری شده به منظور جلوگیری از هدر رفتن رطوبت گیاهان، پس از زدن بر چسب، در داخل نایلون های پلی اتیلن گذاشته و به آزمایشگاه منتقل شدند. در آزمایشگاه، پس از جدا کردن علفهای هرز از سبزی های مذکور، قسمت خوراکی آنها تفکیک و با آب مقطر شستشو و در آون با دمای 60 الی 65°C خشک و با آسیاب برقی پودر شدند. سپس 1 g از نمونه های گیاه را به صورت مجزا، داخل ظروف 100 mL ریخته و 15 mL از مخلوط سه اسید (اسید نیتریک با درجه خلوص 70% ، اسید پرکلریدریک 65% و اسید سولفوریک 70%) به نسبت $1:1:5$



شکل ۱- نقشه نقاط نمونه برداری انواع سبزیجات تولیدی استان زنجان

خشک هر نوع سبزی را به دست آورد. بدین منظور از هر نوع سبزی تازه در سه تکرار، مقداری برداشته و پس از توزین، در آون در دمای °C ۱۰۵ به مدت ۲۴ h گذاشته و بدین ترتیب، ماده خشک هر گیاه به تفکیک به دست آمد.

لازم به ذکر است که حد تشخیص دستگاه (Limit of Detection) برحسب mg/L برای هر یک از عناصر سنگین مس، روی، کادمیوم و سرب به ترتیب ۰/۰۰۸۴/۱۴، ۰/۰۲۷، ۰/۰۴ و به دست آمد. همچنین برای هر یک از فلزات جهت کنترل دقت و تکرارپذیری روش، درصد انحراف استاندارد نسبی (Relative standard deviation) محاسبه گردید که برای عناصر سنگین مس، روی، کادمیوم و سرب به ترتیب برابر با ۱/۴، ۲/۳، ۰/۸۵ و ۱/۶٪ به دست آمد. بیشینه نظری میزان دریافت روزانه ملی (National Theoretical Intake Provisional Tolerable Daily) است (جدول ۱). این پارامتر، تخمینی از مقدار قابل تحمل آلاینده مورد نظر (فلز سنگین) در مدت طولانی است که از تقسیم بیشینه نظری میزان دریافت روزانه ملی بر میانگین وزن بدن شخص بالغ، ۶۰ Kg محاسبه می شود و به عنوان درصدی از مقدار قابل تحمل روزانه موقتی آلاینده مورد نظر (فلز سنگین) بیان شده که نباید از PTDI اعلام شده در استاندارد ملی ایران بالاتر باشد.

جدول ۱- مقدار مصرف انواع سبزیجات در سبب غذایی خانوار ایرانی (۱۳)

انواع سبزیجات	خیار-هندوانه- گوجه	سبزیجات برگی (تره، جعفری، برگ چغندر.....)	نخودفرنگی- باقلا	سیب زمینی	ترنجبه- سیر- پیاز
مقدار مصرف (g/day)	۱۰۹	۵۸	۷	۶۸	۳۹

در مرحله بعد برای سبزیجات مذکور، احتمال خطرپذیری و مواجهه به بیماری‌ها (Hazard quotient) با استفاده از معادله زیر محاسبه گردید:

$$HQ = \text{Intake} / \text{Rfd}$$

یک به دست آمد مصرف کننده از اثرات سوء بیماری‌های غیرسرطانی در محدوده امن قرار دارند، اگر بیشتر از یک شود احتمال تاثیرات بیماری غیرسرطانی با افزایش مقدار HQ افزایش می یابد (۱۷).

در نهایت، با استفاده از نرم افزار SPSS، ابتدا نرمال بودن داده‌ها با آزمون کولموگروف-اسمیرنوف بررسی شد. پس از اطمینان از نرمال بوده داده‌ها، مقایسه میانگین با انجام آزمون توکی بین غلظت عناصر سنگین (مس، روی، کادمیوم و سرب) در انواع سبزیجات (برگی، غده‌ای، جالیزی و دانه‌ای) و با تجزیه واریانس یک طرفه، آزمون اختلاف آماری انجام شد و نهایتاً با آزمون One-sample Ttest مقایسه میانگین بین غلظت

HQ (Hazard quotient): احتمال خطرپذیری به بیماری‌های غیرسرطانی، مقدار ورود عناصر سنگین به دستگاه گوارش انسان بر حسب mg/Kg bw/day و Rfd (Oral reference dose): حداکثر غلظتی از عنصر است که برای موجود زنده مشکلی ایجاد نمی کند. مقدار آن برای مس، روی، کادمیوم و سرب به ترتیب ۰/۰۴، ۰/۳، ۰/۰۰۱ و ۰/۰۰۴ mg/Kg bw/day است. اگر مقدار HQ کمتر از

عناصر مذکور در گیاهان مختلف با شاخص‌های استاندارد ملی ایران و سازمان بهداشت جهانی صورت گرفت.

یافته‌ها

میانگین غلظت فلزات سنگین در خاک‌های مزارع سبزی و صیفی‌جات تولیدی استان زنجان به تفکیک هر محصول، در جدول ۲ نشان داده شده است. محدوده تغییرات غلظت کل عناصر سنگین از قبیل مس $66/7-22/1$ mg/Kg، روی

$195/7-65/4$ mg/Kg، سرب $39-9/7$ mg/Kg و کادمیوم از حد ناچیز و غیرقابل اندازه‌گیری تا 1 mg/Kg به دست آمد. در خاک‌های زراعی تحت کشت سیب‌زمینی و گوجه‌فرنگی سه منطقه مطالعاتی شهرستان ماهنشان، از جمله روستای قلعه چوق سادات، ساغرچی انگوران و زماین انگوران، بالاترین غلظت کل عناصر سنگین روی به ترتیب با میانگین 1670 ، 595 و 750 mg/Kg، کادمیوم $7/5$ ، $7/5$ و $5/5$ mg/Kg و عنصر سرب 160 ، 335 و 270 mg/Kg به دست آمدند.

جدول ۲- میانگین و انحراف معیار غلظت فلزات سنگین (mg/Kg) در خاک‌های زراعی تحت کشت انواع سبزی و صیفی‌جات تولیدی استان زنجان

انواع سبزیجات	مناطق مطالعاتی	مس	روی	کادمیوم	سرب
تره-جعفری-برگ چغندر-تریچه	زنجان-خداابنده-سلطانیه	$34/7 \pm 2/8$	$158/6 \pm 222/8$	$1 \pm 1/2$	$39 \pm 58/9$
سیب‌زمینی	طارم-زنجان-خداابنده-سلطانیه-ماهنشان	$30/3 \pm 12/8$	$173/7 \pm 228$	$0/7 \pm 2$	$36/8 \pm 69/2$
سیر	طارم	$50/3 \pm 10$	$93/9 \pm 20/1$	nd	$17 \pm 7/3$
پیاز	زنجان-ماهنشان	$36/9 \pm 14/9$	$95 \pm 29/1$	$0/4 \pm 0/9$	$17/6 \pm 16/5$
گوجه‌فرنگی	طارم-زنجان-ماهنشان-خداابنده	$27/4 \pm 10/9$	$195/7 \pm 358/4$	$1 \pm 1/9$	$38/8 \pm 61/1$
خیار	زنجان-خداابنده-ماهنشان-ابهر	$26/3 \pm 9/8$	$120/4 \pm 131/3$	$0/5 \pm 1/2$	$26/5 \pm 50/3$
آتشی	طارم	$31 \pm 3/5$	$65/4 \pm 8/9$	nd	$9/7 \pm 3/9$
هندوانه	زنجان-طارم-ابهر-خداابنده	$22/1 \pm 7/9$	$66/3 \pm 18/1$	$0/1 \pm 0/23$	$12/8 \pm 6/2$
نخودفرنگی	طارم	$66/7 \pm 13/1$	$94/3 \pm 18/7$	nd	$16/2 \pm 12/8$
باقلا	طارم	$56/1 \pm 15/8$	$101/6 \pm 21/9$	$0/1 \pm 0/16$	$17/2 \pm 6/4$
					استاندارد ملی ایران برای انواع سبزیجات (۱۸)
					۷۵
					۵
					۵۰۰
					۲۰۰

nd: مخفف ناچیز و غیر قابل اندازه‌گیری است.

سیر > آتشی > پیاز > سیب‌زمینی > تریچه > هندوانه
 جعفری > برگ چغندر > نخودفرنگی > گوجه‌فرنگی
 > خیار > تره > باقلا

از طرفی، بالاترین غلظت روی در گروه سبزیجات برگی (تره ایرانی، برگ چغندر و جعفری) و پایین‌ترین غلظت این عنصر، در محصولات سیب‌زمینی با میانگین $15/7$ mg/Kg dry weight نشان داده شد. از بین سبزیجات برگی، تره ایرانی با میانگین 82 mg/Kg dry weight، بالاترین غلظت روی را به خود

در داده‌های مندرج در جدول ۳، میانگین غلظت عناصر سنگین در انواع سبزیجات تولیدی استان و به همراه تعداد نقاط نمونه‌برداری نشان داده شده است. محدوده تغییرات غلظت عناصر سنگین اعم از، مس $5/8-16/90$ (mg/Kg dry weight) و روی $15/7-82$ (mg/Kg dry weight)، کادمیوم از حد ناچیز تا $0/09$ mg/Kg wet weight و همچنین سرب در محدوده ناچیز تا $0/42$ mg/Kg wet weight برآورد گردید. ترتیب غلظت مس در انواع سبزیجات به صورت زیر است:

آتشی = سیر = نخودفرنگی = باقلا = پیاز = هندوانه = خیار = سیب زمینی > گوجه فرنگی = تربچه > تره > جعفری > برگ چغندر با توجه به نتایج جدول ۳، بالاترین غلظت سرب در سبزی جعفری از گروه سبزیجات برگی و با میانگین $0.42 \text{ mg/Kg wet weight}$ گزارش شد. این در حالی است که در کلیه سبزیجات دانه‌ای (نخودفرنگی و باقلا) و در سبزیجات غده‌ای از جمله محصولات پیاز و سیر، غلظت سرب ناچیز و غیرقابل اندازه‌گیری بود. بنابراین تغییرات غلظت سرب گیاهی به ترتیب زیر است:

خیار = هندوانه > گوجه فرنگی > سیب زمینی > تربچه = آتشی > تره > برگ چغندر > جعفری

اختصاص داده است. ترتیب غلظت روی در انواع سبزیجات به شرح زیر است:

سیب زمینی > هندوانه > سیر > پیاز > آتشی > گوجه فرنگی > باقلا > خیار > نخودفرنگی > تربچه > برگ چغندر > جعفری > تره

غلظت کادمیوم در محصولات آتشی، سیر، نخود فرنگی و باقلا، که از عمده محصولات تولیدی شهرستان طارم است، ناچیز و غیر قابل اندازه‌گیری بود. این در حالی است که بالاترین غلظت کادمیوم با میانگین $0.09 \text{ mg/Kg wet weight}$ مربوط به گیاه برگ چغندر از گروه سبزیجات برگی است. ترتیب غلظت کادمیوم در انواع محصولات مورد مطالعه به صورت زیر است:

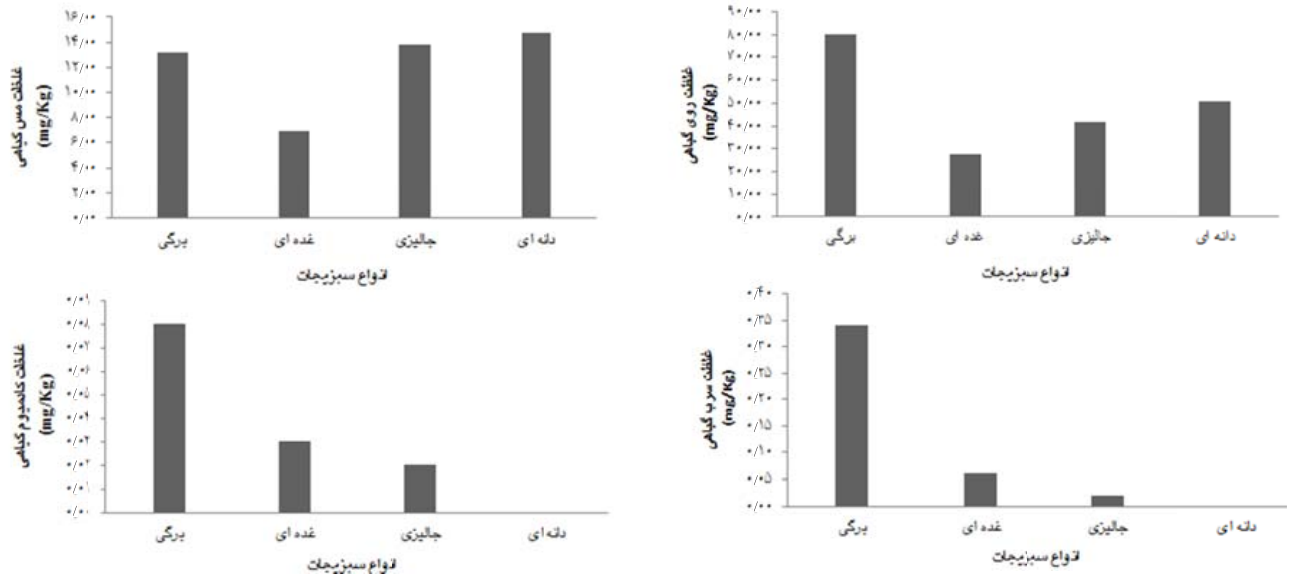
جدول ۳- میانگین و انحراف معیار غلظت مس و روی (mg/Kg dry weight)، کادمیوم و سرب (mg/Kg wet weight) در انواع سبزیجات تولیدی استان زنجان

سرب	کادمیوم	روی	مس	تعداد نقاط	انواع سبزیجات تولیدی	
					(mg/Kg wet weight)	(mg/Kg dry weight)
0.02 ± 0.03^c	0.05 ± 0.15^a	34.6 ± 14.2^{bc}	14.6 ± 5.4^a	۲۳	گوجه فرنگی	
0.01 ± 0.03^c	0.01 ± 0.02^a	55.3 ± 23.7^{ab}	15.2 ± 6.5^a	۲۷	خیار	سبزیجات
0.1 ± 0.22^{bc}	nd	33.7 ± 17.8^{bc}	6.5 ± 1.4^{bc}	۵	آتشی	جالیزی
0.01 ± 0.03^c	0.01 ± 0.02^a	23.2 ± 7.5^{cd}	10.7 ± 6.1^{abc}	۸	هندوانه	
nd	nd	23.4 ± 8.2^{cd}	5.8 ± 3.3^c	۱۱	سیر	
0.09 ± 0.47^{bc}	0.04 ± 0.14^a	15.7 ± 9.4^d	7.3 ± 3.9^{bc}	۳۵	سیب زمینی	سبزیجات
nd	0.004 ± 0.01^a	24.6 ± 12.3^{cd}	6.6 ± 2.5^{bc}	۱۱	پیاز	غده‌ای
0.1 ± 0.26^{bc}	0.05 ± 0.06^a	72.9 ± 79.2^{ab}	7.4 ± 3.99^{bc}	۱۱	غده تربچه	
0.29 ± 0.55^{abc}	0.07 ± 0.08^a	82 ± 54.6^a	15.5 ± 6.3^a	۲۰	تره ایرانی	
0.31 ± 0.39^{ab}	0.09 ± 0.13^a	78.9 ± 44.3^a	12.1 ± 4.7^{abc}	۱۸	برگ چغندر	سبزیجات
0.42 ± 0.31^a	0.08 ± 0.17^a	79.1 ± 39.8^a	11.8 ± 4.3^{abc}	۱۸	جعفری	برگی
nd	nd	59.3 ± 13.6^{ab}	12.5 ± 2.7^{ab}	۹	نخودفرنگی	سبزیجات
nd	nd	42.4 ± 7.1^{abc}	16.9 ± 3.6^a	۹	باقلا	دانه‌ای

nd: مخفف ناچیز و غیر قابل اندازه‌گیری است.
- در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک انگلیسی، تفاوت معنی داری در سطح ۵٪ نشان ندادند.

۰/۰۸ و ۰/۳۴ mg/Kg wet weight به گروه سبزیجات برگی
تعلق گرفته است.

طبق نتایج مندرج در نمودار ۱، بالاترین میانگین غلظت روی
۸۰ mg/Kg dry weight، کادمیوم و سرب، به ترتیب برابر با



نمودار ۱- میانگین غلظت عناصر سنگین در گروه سبزیجات تولیدی استان زنجان

با مصرف هر دو نوع سبزی تره ایرانی و برگ چغندر برابر با
۰/۰۰۰۱ mg/Kg bw/day به دست آمد. بنابراین، طبق نتایج
مندرج در جدول ۴، بالاترین مقدار ورود عناصر سنگین مس،
روی، کادمیوم و سرب به دستگاه گوارش افراد مصرف کننده
منطقه مطالعاتی، به ترتیب برابر با ۰/۰۰۱۴، ۰/۰۰۸۶، ۰/۰۰۰۱،
و ۰/۰۰۰۳ mg/Kg bw/day به گروه سبزیجات برگی تعلق
گرفت. از طرفی، پتانسیل مواجهه با بروز بیماری‌ها (HQ) با
مصرف کلیه سبزیجات تحت مطالعه و برای عناصر مس، روی،
کادمیوم و سرب، به ترتیب برابر با ۰/۱، ۰/۰۶، ۰/۱۷ و ۰/۱۱
به دست آمد.

همانطور که قبلاً اشاره شد، با توجه به نتایج به دست آمده
(جدول ۴)، می‌توان مقدار ورود فلزات سنگین را، با مصرف
سبزیجات مذکور و برای یک انسان بالغ ۶۰ Kg محاسبه کرد.
نتایج نشان داد که در کلیه سبزیجات منتخب، با توجه به غلظت
بالای روی در مقایسه با سایر عناصر سنگین، مقدار دریافت
روزانه عنصر روی، بالاتر از سایر عناصر بود و بعد از آن
عنصر مس در رتبه بعدی قرار دارد. همچنین، در بین سبزیجات
مختلف، میانگین بالاترین میزان دریافت روزانه عناصر سنگین
مس، روی و سرب با مصرف سبزی جعفری، به ترتیب برابر
با ۰/۰۰۱۷، ۰/۰۱۱۳، و ۰/۰۰۰۴ mg/Kg bw/day بود. این
در حالی است که بالاترین مقدار دریافت روزانه عنصر کادمیوم

جدول ۴- دامنه تغییرات مقدار دریافت روزانه عناصر سنگین (mg/Kg bw/day) در سبزیجات تولیدی استان زنجان

سرب	کادمیوم	روی	مس	تعداد نقاط	انواع سبزیجات تولیدی
nd - ۰/۰۰۰۰۲	nd - ۰/۰۰۰۱۴	۰/۰۰۰۱۴ - ۰/۰۰۰۰۷	۰/۰۰۰۰۷۱ - ۰/۰۰۰۰۳	۲۳	گوجه‌فرنگی
nd - ۰/۰۰۰۰۲۶	nd - ۰/۰۰۰۰۰۹	۰/۰۰۰۰۷ - ۰/۰۰۰۰۸	۰/۰۰۰۰۰۴ - ۰/۰۰۰۰۲	۲۷	سبزیجات خیار
nd - ۰/۰۰۰۰۰۴	nd	۰/۰۰۰۲۳ - ۰/۰۰۰۰۹	۰/۰۰۰۰۷۷ - ۰/۰۰۰۰۱۴	۵	جالیزی آتشی
nd - ۰/۰۰۰۰۰۴	nd - ۰/۰۰۰۰۰۸	۰/۰۰۰۱۵ - ۰/۰۰۰۰۵	۰/۰۰۰۰۰۸ - ۰/۰۰۰۰۳۳	۸	هندوانه
nd	nd	۰/۰۰۰۲۶ - ۰/۰۰۰۱۳	۰/۰۰۰۰۳۶ - ۰/۰۰۰۳۱۲	۱۱	سیر
nd - ۰/۰۰۰۳۲	nd - ۰/۰۰۰۰۹۴	۰/۰۰۰۱۱ - ۰/۰۰۰۹۲	۰/۰۰۰۰۳۵ - ۰/۰۰۰۰۴۵۱	۳۵	سبزیجات سیب‌زمینی
nd	nd - ۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۴ - ۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۲ - ۰/۰۰۰۰۰۶	۱۱	غده ای پیاز
nd - ۰/۰۰۰۰۵۶	nd - ۰/۰۰۰۰۱۴	۰/۰۰۰۱۳ - ۰/۰۰۰۱۳	۰/۰۰۰۰۱۴ - ۰/۰۰۰۰۰۶	۱۱	غده تریچه
nd - ۰/۰۰۰۲۳	nd - ۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۴۱ - ۰/۰۰۰۲۴	۰/۰۰۰۰۹ - ۰/۰۰۰۰۳	۲۰	سبزیجات تره ایرانی
nd - ۰/۰۰۰۱۵	nd - ۰/۰۰۰۰۰۴	۰/۰۰۰۱۵ - ۰/۰۰۰۱۴	۰/۰۰۰۰۵ - ۰/۰۰۰۰۲	۱۸	برگی برگ چغندر
nd - ۰/۰۰۰۰۹	nd - ۰/۰۰۰۰۰۷	۰/۰۰۰۳۵ - ۰/۰۰۰۲۵	۰/۰۰۰۰۸ - ۰/۰۰۰۰۳	۱۸	جعفری
nd	nd	۰/۰۰۰۱۳ - ۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۰۳ - ۰/۰۰۰۰۰۶	۹	سبزیجات نخودفرنگی
nd	nd	۰/۰۰۰۱۲ - ۰/۰۰۰۱۹	۰/۰۰۰۰۵ - ۰/۰۰۰۰۰۹۳	۹	دانه ای باقلا
۰/۰۰۰۳۶ ^b	۰/۰۰۰۱ ^b	۱ ^a	۰/۵ ^a		محدوده مجاز

a: منابع (۱۴، ۱۵) b: منبع (۱۳)

بحث

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که، قسمت عمده خاک‌های آلوده به فلزات سنگین علی‌الخصوص عناصر روی، سرب و کادمیوم، در خاک‌های زراعی تحت کشت محصولات از قبیل سیب‌زمینی و گوجه‌فرنگی است. طبق شکل ۱، کارخانجات فرآوری سرب و روی استان زنجان در ۴ منطقه جغرافیایی پراکنده شده‌اند.

بطوریکه، دو کارگاه صنعتی در شهرستان ماهنشان و دو کارگاه صنعتی در قسمت‌های جنوب غربی و شرقی شهرستان زنجان قرار دارند. بنابراین، با توجه به مجاورت مزارع سیب‌زمینی و گوجه‌فرنگی (روستاهای قلعه چوق سادات، زمین انگوران و ساغرچی انگوران)، به معدن سرب شهرستان ماهنشان، آلودگی این خاک‌ها دور از انتظار نخواهد بود. ولیکن، در سایر

خاک‌های زراعی تحت کشت این قبیل محصولات در سطح استان و از جمله شهرستان‌های خدابنده، ابهر، زنجان، سلطانیه و طارم، هیچ‌گونه آلودگی به عناصر سنگین در خاک زراعی آنها گزارش نشد و غلظت عناصر سنگین در خاک‌های مذکور، کمتر از استانداردهای ملی ایران (۱۸) بود. تحقیقات نشان داده است که، یکی از دلایل اصلی آلودگی خاک‌های استراوا جمهوری چک، ناشی از فعالیت‌های صنعتی است، بطوری‌که میانگین غلظت عناصر سنگین کادمیوم، سرب، روی و مس در خاک‌های تحت مطالعه، به ترتیب برابر با ۰/۲، ۶۶/۹، ۲۰۹/۵ و ۳۸/۵ mg/Kg گزارش گردید (۱۹). در خاک‌های زراعی اطراف معدن مس در اسپانیا (گالیسیا)، محدوده تغییرات غلظت کل مس و روی، به ترتیب ۵۲۴۱-۲۷۳ و ۷۳-۸۹۴ mg/Kg بود (۲۰). محدوده تغییرات غلظت سرب و کادمیوم در خاک‌های شهر فوکسین کشور چین، به ترتیب ۳۴/۶۲-۷/۱۲ و ۰/۲۴-۰/۱۲ است (۲۱).

همان‌طور که قبلاً اشاره شده بود، در استاندارد ملی ایران (۱۳) محدوده مجازی برای غلظت عناصر مس و روی گیاهی گزارش نشده است، بنابراین، به منظور مقایسه و بررسی میزان آلودگی عناصر مذکور در سبزیجات تولیدی استان، از استاندارد FAO/WHO استفاده شد. بالاترین غلظت مس گیاهی، مربوط به باقلا با میانگین ۱۶/۹ mg/Kg dry weight گزارش شد که با سایر محصولات مانند گوجه‌فرنگی، خیار و تره ایرانی اختلاف آماری معنی‌داری نشان ندادند و کمترین غلظت مس مربوط به محصولات سیر (۵/۸ mg/Kg dry weight) است. همان‌طور که قبلاً اشاره شد، میانگین غلظت مس در کلیه محصولات تحت مطالعه، کمتر از استاندارد FAO/WHO (۴۰ mg/Kg dry weight) بود و اختلاف آنها از حد استاندارد در سطح ۰/۱٪ معنی‌دار به‌دست آمد. این در حالی است که، میانگین غلظت مس در کلیه سبزیجات تحت مطالعه، بالاتر از نتایج سبزیجات کشور مصر گزارش شد (۲۲). در مقایسه بین ۴ گروه تقسیم‌بندی سبزیجات، میانگین غلظت مس در گروه‌های سبزیجات برگه‌ای، جالیزی و دانه‌ای به

ترتیب ۱۳/۲، ۶/۹۷، ۱۳/۸ و ۱۴/۷ mg/Kg dry weight بود. بندرت امکان وجود اثرات سمی عنصر روی بر بدن انسان گزارش شده است و مهمترین اهمیت روی به همراه عنصر مس، در فرایندهای سوخت و ساز است. از اثرات سمیت این عنصر، تهوع، سوء هاضمه، استفراخ، اسهال و آسیب به پارانشیم کبدی است (۲۳). همان‌طور که در نتایج جدول ۲ نشان داده شد، میانگین غلظت روی در گروه سبزیجات برگه‌ای، غده‌ای، جالیزی و دانه‌ای به ترتیب ۸۰/۱، ۲۷/۶، ۴۱/۹۷ و ۵۰/۹ mg/Kg dry weight به‌دست آمد. تنها غلظت روی در گروه سبزیجات برگه‌ای، بالاتر از استاندارد FAO/WHO (۶۰ mg/Kg dry weight) بود و در سایر محصولات تولیدی استان، میانگین غلظت روی، کمتر از استاندارد مذکور است. بنابراین به استثنای گروه سبزیجات برگه‌ای (تره، جعفری و برگ چغندر) و از گروه سبزیجات غده‌ای محصولات تریچه که جزء سبزیجات خوردنی است، در سایر محصولات تولیدی استان، غلظت روی در محدوده مجاز بود و این محصولات، سالم و عاری از هر گونه تجمع روی هستند. میانگین غلظت روی در سبزیجات برگه‌ای استان، پایین‌تر از نتایج سبزیجات کشور مصر گزارش شد (۲۲). میانگین غلظت روی در نمونه‌های سیب‌زمینی‌های برداشتی از سطح استان (۱۵/۷ mg/Kg dry weight)، که بالاتر از نتایج پاکستان (۲۴)، سوئد (۲۵) و نیجریه (۲۶) بود. با انجام آزمون T-test و مقایسه بین غلظت روی در گروه‌های سبزیجات، نتایج گویای آن است که اختلاف غلظت روی در بین سبزیجات برگه‌ای و جالیزی از استاندارد FAO/WHO در سطح ۰/۱٪ و برای سبزیجات دانه‌ای در سطح ۵٪ معنی‌دار است.

طبق گزارشات موسسه استاندارد ملی ایران (۱۳)، حد مجاز غلظت کادمیوم برای سبزیجات برگه‌ای و دانه‌ای ۰/۱ و برای سبزیجات جالیزی و غده‌ای ۰/۰۵ mg/Kg wet weight است. میانگین غلظت کادمیوم در گروه‌های سبزیجات برگه‌ای، غده‌ای و جالیزی به ترتیب ۰/۰۸، ۰/۰۳ و ۰/۰۲ mg/Kg wet weight و برآورد گردید که بالاترین غلظت کادمیوم مربوط به

چوق سادات و ساغرچی انگوران)، آلوده به عنصر کادمیوم بودند.

سرب، فلزی سمی است که معمولاً گیاهان، بدون تغییر بر عملکرد ظاهریشان، توانایی بالایی در جذب و تجمع این عنصر را دارا است. بطوری که، در بسیاری از گیاهان، تجمع سرب، صدها برابر بیشتر از حد مجاز و قابل قبول خواهد بود (۲۹). طبق گزارشات موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران (۱۳)، حد مجاز غلظت سرب در انواع سبزیجات برگی و دانه‌ای، $0.2 \text{ mg/Kg wet weight}$ و در سبزیجات غده‌ای و جالیزی، $0.1 \text{ mg/Kg wet weight}$ برآورد گردید. همچنین، حداکثر غلظت مجاز سرب در سازمان بهداشت جهانی 0.3 mg/Kg گزارش شده است. در این تحقیق، میانگین غلظت سرب به ترتیب در گروه‌های سبزیجات برگی، غده‌ای و جالیزی، 0.34 ، 0.06 و $0.02 \text{ mg/Kg wet weight}$ گزارش شد که میانگین غلظت سرب در سبزیجات برگی با اختلاف معنی‌دار در سطح 1% بالاتر از استاندارد ملی ایران بدست آمد. ولیکن، میانگین غلظت سرب در سبزیجات غده‌ای و جالیزی کمتر از استاندارد ملی ایران بود و اختلاف آنها از استاندارد ایران، معنی‌دار نبود. بنابراین محدوده غلظت سرب در سبزیجات برگی، بالاتر از استانداردهای ملی ایران (۱۳) و کمیته مشترک سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد و سازمان بهداشت جهانی (۱۴، ۱۵) به دست آمده است. میانگین غلظت سرب در سیب‌زمینی‌های برداشتی از سطح استان، $0.4 \text{ mg/Kg dry weight}$ بود که بالاتر از کشورهای مصر (۲۲) و پاکستان (۲۴) است. با بررسی غلظت سرب در نمونه‌های برداشتی سیب‌زمینی استان زنجان، مشخص گردید که به ترتیب، بیشترین غلظت سرب گیاهی در نمونه‌های سیب‌زمینی واقع در روستاهای قلعه‌چوق سادات (شهرستان ماهنشان) و دیزج‌آباد (شهرستان زنجان) با میانگین‌های $2/8$ و $0.2 \text{ mg/Kg wet weight}$ بدست آمد و در سایر مناطق مطالعاتی، هیچ‌گونه آلودگی به عنصر سرب در محصولات سیب‌زمینی استان، به دست نیامد. همانطور که در نتایج نشان داده شد، با مصرف انواع سبزیجات

گروه سبزیجات برگی بود (نمودار ۱) و این در حالی است که، غلظت کادمیوم در کلیه محصولات مورد مطالعه، کمتر از استاندارد ملی ایران (۱۳) و کمیته مشترک سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد و سازمان بهداشت جهانی (FAO/WHO 0.1 mg/Kg) به دست آمد. همانطور که در نتایج تجزیه واریانس نشان داده شد (جدول ۵)، بین انواع سبزیجات تولیدی استان، از نظر مقدار کادمیوم اختلاف آماری معنی‌داری به دست نیامد و همه سبزیجات تحت مطالعه، در یک گروه آماری قرار داشتند. همچنین، با انجام آزمون T-test اختلاف آماری معنی‌داری بین غلظت کادمیوم در هر یک از محصولات مذکور از حد استاندارد ملی ایران، به دست نیامد. Rarnos و همکاران (۲۷) گزارش کردند که کادمیوم فلز متحرک بود که به آسانی از سطح ریشه گیاهان جذب شده و به بافت چوبی آنها حرکت کرده و در قسمت‌های بالایی گیاه تجمع می‌یابد. بطوریکه، تجمع کادمیوم در قسمت‌های هوایی گیاه، بیشتر از قسمت‌های زمینی (غده یا ریشه) خواهد بود. در محصولات سیب‌زمینی و سبزیجات برگی جمع‌آوری شده از سطح استان، میانگین غلظت کادمیوم به ترتیب 0.2 و $0.8 \text{ mg/Kg dry weight}$ بود، که تقریباً ۱۰ برابر غلظت کادمیوم در سیب‌زمینی و سبزیجات برگی کشور مصر (۲۲) است که این نتایج مشابه با نتایج کشور یونان (۲۸) بود. بنابراین، در این تحقیق، بیشترین غلظت کادمیوم سیب‌زمینی به ترتیب، در مزارع سیب‌زمینی واقع در روستاهای قلعه چوق سادات و ساغرچی انگوران منطقه ماهنشان با میانگین‌های 0.83 و $0.1 \text{ mg/Kg wet weight}$ و در روستاهای اژدهاتو و دیزج‌آباد شهرستان زنجان با میانگین $0.1 \text{ mg/Kg wet weight}$ به دست آمد و در سایر محصولات سیب‌زمینی استان، هیچ‌گونه آلودگی به کادمیوم گزارش نگردید. طبق شکل ۱، این مناطق آلوده و تحت کشت سیب‌زمینی، در مجاورت به ۴ کارگاه صنعتی سرب و روی (شهرستان زنجان) و معدن سرب (شهرستان ماهنشان) است و همان‌طور که قبلاً اشاره شد (جدول ۲)، از بین مزارع تحت کشت سیب‌زمینی، خاک‌های زراعی مجاور به معدن سرب منطقه ماهنشان (قلعه

سنگین روی، کادمیوم و سرب در گروه سبزیجات برگی بود، که، بالاتر از سایر محصولات مذکور است و با توجه به کشت عمده این قبیل محصولات در اطراف شهرک تخصصی سرب و روی، احتمال آلودگی به عناصر سنگین در سبزیجات برگی دور از انتظار نخواهد بود و می‌توان آن را ناشی از فعالیت‌های صنعتی انسان در این منطقه مطالعاتی دانست. این یافته مشابه با نتایج سایر محققان است (۲۲). Mehraşbi و همکاران (۳۱)، در مطالعه‌ای بر کیفیت هوای زنجان نشان دادند که، سرب و روی در ذرات راسب شونده، از یک منشاء مشترک در منطقه پراکنده شده‌اند و نتایج نشان دهنده تاثیر منابع انسان (صنایع و کارگاه‌های سرب و روی) بر کیفیت هوا است و می‌توان از ذرات راسب شونده به عنوان شاخص آلودگی هوا به فلزات سنگین در استان زنجان استفاده نمود. Nazemi و همکاران (۳۲) گزارش کردند که، میانگین غلظت کادمیوم و سرب در سبزیجات پرورشی حومه شهر شاهرود، بالاتر از استاندارد ارائه شده توسط FAO/WHO است. آنها، پساب‌های شهری و صنعتی را علت اصلی آلودگی گیاهان به فلزات سنگین دانستند.

نتیجه‌گیری

آلودگی به عناصر سرب و روی در سبزیجات برگی (تره، جعفری و برگ‌چغندر) و تربچه از گروه سبزیجات غده‌ای گزارش گردید. این در حالی است که در سایر محصولات

تولیدی استان، مقدار ورود عناصر سنگین به دستگاه گوارش انسان، کمتر از حد قابل تحمل مصرف روزانه بود و از طرفی، پارامتر میزان مواجهه با بروز بیماری‌ها (HQ) برای کلیه عناصر سنگین تحت مطالعه، کمتر از یک به دست آمد. از این رو، سلامت غذایی مصرف کنندگان محصولات کشاورزی تحت مطالعه، تضمین شده و در محدوده امن و دور از تاثیر سوء بیماری‌ها است.

با توجه به نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۵)، اختلاف آماری معنی‌داری بین غلظت عناصر سنگین مس، روی و سرب در بین سبزیجات مختلف به دست آمد ($P < 0.001$). ترتیب غلظت فلزات سنگین در سبزیجاتی از جمله پیاز $Pb > Cd > Cu > Zn$ ، خیار، باقلا، نخودفرنگی و سیر $Pb = Cd > Cu > Zn$ نشان داده شد و در سایر سبزیجات مورد مطالعه، میانگین غلظت عناصر، بدین ترتیب، روند کاهشی داشته است: $Zn > Cu > Pb > Cd$.

محققان بیان کردند که برخی گیاهان مثل یونجه، کادمیوم را در ریشه پخش می‌کنند و برخی دیگر مانند کاهو در برگ‌ها توزیع می‌کنند. بنابراین، نوع گیاه نیز در میزان جذب، تاثیر قابل توجهی دارد (۷). در اراضی مختلف سبزی‌کاری جنوب تهران مشخص شد که بیشترین مقدار سرب و کادمیوم در سبزی تره دیده می‌شود. آنها مقدار سرب و کادمیوم سبزی تره را به ترتیب 0.14 و $0.15 \text{ mg/Kg wet weight}$ گزارش کردند (۳۰). همانطور که قبلاً اشاره شد، قسمت عمده تجمع عناصر

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس غلظت عناصر سنگین در انواع سبزیجات تولیدی استان زنجان

منابع تغییرات	درجه آزادی	مس	روی	کادمیوم	سرب
انواع سبزیجات	۱۲	۲۲۸/۸۷۷***	۶/۱۹۸***	۰/۰۱۷ ^{ns}	۰/۳۴۴***
اشتباه	۱۹۲	۲۳/۵۴۴	۰/۲۷۳	۰/۰۱۱	۰/۰۹۷
کل	۲۰۴				

*** معنی داری در سطح احتمال ۰/۱ %
ns = عدم معنی داری

باشد. بنابراین می‌بایست، تلاش‌های متعددی از طرق گوناگون، در جهت حذف عناصر سنگین از زنجیره غذایی انسان انجام گیرد و برای کنترل آلودگی و جلوگیری از گسترش آن، می‌بایست، بررسی‌های زیست محیطی مستمری را در خاک و محصولات کشاورزی منطقه اطراف کارگاه صنعتی سرب و روی انجام داد و سالانه، غلظت آلاینده‌ها، بطور مستمر و دقیق، اندازه‌گیری شود و امکان حضور فلزات سنگین در آنها، تا حد ممکن، کاهش داده شود. از این رو، توصیه می‌شود که در ارتباط با تغییر کشت و زرع در این مناطق آلوده و کاشت گیاهانی با قابلیت جذب کمتر عناصر سنگین و یا عدم کاشت محصولات کشاورزی در مناطق مذکور و یا نسبت به جابه‌جایی کارخانجات فرآوری سرب و روی به سایر مناطق دور افتاده و غیرقابل کشت، اقدامات و تمهیدات لازم صورت گیرد.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل بخشی از طرح تحقیقاتی (شماره طرح ۱۲۲۱۴۹-۹۲/۹۸۸۶) مصوب مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی بود، که با حمایت مالی سازمان جهاد کشاورزی استان زنجان اجرا شده است.

منابع

1. Żukowska J, Biziuk M. Methodological evaluation of method for dietary heavy metal intake. *Journal of Food Science*. 2008;73(2):R21-R29.
2. Türkdoğan MK, Kilicel F, Kara K, Tuncer I, Uygan I. Heavy metals in soil, vegetables and fruits in the endemic upper gastrointestinal cancer region of Turkey. *Environmental Toxicology and Pharmacology*. 2003;13(3):175-79.
3. Wilson B, Pyatt F. Heavy metal dispersion, persistence, and bioaccumulation around an ancient copper mine situated in Anglesey, UK. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2007;66(2):224-31.
4. Rattan R, Datta S, Chhonkar P, Suribabu K, Singh

تولیدی استان، هیچ‌گونه آلودگی به تجمع عناصر سنگین مس، روی، کادمیوم و سرب نشان داده نشد. طبق نقشه استان (شکل ۱)، بیشترین سطح کشت مزارع سبزی‌کاری در مجاورت به شهرک تخصصی روی (کارخانجات سرب و روی) و یا در حاشیه رودخانه زنجان‌چای است که کشاورزان این منطقه، با استفاده از فاضلاب شهری، مزارع را آبیاری می‌کنند. بنابراین، مزارع تحقیقاتی سبزی‌کاری، در حداقل فاصله مکانی از منابع آلودگی واقع شده‌اند و همان‌طور که در نتایج اشاره گردید، سبزیجات برگی نسبت به سایر محصولات، جذب کننده‌های خوبی از عناصر سنگین است که با تعرق بیشتر، قسمت عمده عناصر سنگین، در ساقه و برگ این گیاهان تجمع می‌یابد و به دلیل برگ‌های پهناورشان، بیشتر مستعد آلودگی فیزیکی با گرد و غبار هستند. برخلاف آلودگی به سرب و روی در محصولات مذکور (تره، جعفری، برگ چغندر و تربچه) و با مصرف آنها، مقدار دریافت روزانه عناصر سنگین به دستگاه گوارش انسان، کمتر از استاندارد ملی ایران به دست آمد. از این رو، در صورت مصرف متعادل این قبیل سبزیجات تحت مطالعه، هیچ‌گونه اثرات مخربی بر سلامتی انسان وارد نخواهد ساخت، در غیر اینصورت با گذشت زمان و با مصرف بیشتر این قبیل سبزیجات آلوده، می‌تواند، سلامتی انسان را تهدید کند و عواقب جبران‌ناپذیری بر زنجیره غذایی انسان داشته

- A. Long-term impact of irrigation with sewage effluents on heavy metal content in soils, crops and groundwater—a case study. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2005;109(3):310-22.
5. Chary NS, Kamala C, Raj DSS. Assessing risk of heavy metals from consuming food grown on sewage irrigated soils and food chain transfer. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2008;69(3):513-24.
6. Qishlaqi A, Moore F, Forghani G. Impact of untreated wastewater irrigation on soils and crops in Shiraz suburban area, SW Iran. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2008;141(1-3):257-73.
7. Torabian A, Mahjouri M. Heavy metals uptake

- by vegetable crops irrigated with waste water in south Tehran. *Journal of Environmental Study*. 2002;16(2):196-89 (in Persian).
8. Kheirabadi H, M Afyuni , M Barzin , A Soffianian , Ayoubi S. Evaluation risk assessment of heavy metal in potato and wheat consumption in the Hamadan Province. 12th Congress of Soil Science; 12-14 August; Tabriz, Iran.
 9. Alam M, Snow E, Tanaka A. Arsenic and heavy metal contamination of vegetables grown in Samta village, Bangladesh. *Science of the Total Environment*. 2003;308(1):83-96.
 10. Damek-Poprawa M, Sawicka-Kapusta K. Damage to the liver, kidney, and testis with reference to burden of heavy metals in yellow-necked mice from areas around steelworks and zinc smelters in Poland. *Toxicology*. 2003;186(1):1-10.
 11. Moore PD, Chapman SB. *Methods in Plant Ecology*. London: Blackwell Scientific Publication; 1986.
 12. Golchin A, Esmalee M, Tookasi M. Sources of soil contaminants and heavy metals in crops and garden Zanjan Province. Zanjan: Management and Planning Organization of Zanjan; 2005.
 13. Institute of Standards and Industrial Research of Iran. Food and feed-maximum limit of heavy metals, Standard No. 12968. Tehran: Institute of Standards and Industrial Research of Iran; 2010.
 14. WHO. Codex Alimentarius Commission Codex Twenty-Fourth Session. Geneva: World Health Organization; 2001.
 15. FAO. Codex Alimentarius Commission: Procedural Manual. 19th ed. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations; 2010.
 16. Chen M, Ma LQ. Comparison of three aqua regia digestion methods for twenty Florida soils. *Soil Science Society of America Journal*. 2001;65(2):491-99.
 17. USEPA. Integrated risk information system (IRIS). Washington DC: United States Environmental Protection Agency; 2006 [cited 2015 Jul 17]. Available from: <http://www.epa.gov/iris/subst>.
 18. DOE. Standards for quality of soil resources and its guides. Tehran: Department of Environment, Office of Water and Soil; 2014 (in Persian).
 19. Weissmannová HD, Pavlovský J, Chovanec P. Heavy metal contaminations of urban soils in Ostrava, Czech Republic: Assessment of metal pollution and using principal component analysis. *International Journal of Environmental Research*. 2015;9(2):683-96.
 20. Alvarez E, Marcos MF, Vaamonde C, Fernández-Sanjurjo M. Heavy metals in the dump of an abandoned mine in Galicia (NW Spain) and in the spontaneously occurring vegetation. *Science of the Total Environment*. 2003;313(1):185-97.
 21. Gu J, Liu ZX, Investigation and evaluation on heavy metal pollution of vegetable farm soils in Fuxin, China. *Advanced Materials Research*. 2014;955-959:3661-64.
 22. Radwan MA, Salama AK. Market basket survey for some heavy metals in Egyptian fruits and vegetables. *Food and Chemical Toxicology*. 2006;44(8):1273-78.
 23. Salgueiro MJ, Zubillaga M, Lysionek A, Sarrabia MI, Caro R, De Paoli T, et al. Zinc as an essential micronutrient: a review. *Nutrition Research*. 2000;20(5):737-55.
 24. Parveen Z, Khuhro M, Rafiq N. Market basket survey for lead, cadmium, copper, chromium, nickel, and zinc in fruits and vegetables. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 2003;71(6):1260-64.
 25. Jorhem L, Sundström B. Levels of lead, cadmium, zinc, copper, nickel, chromium, manganese, and cobalt in foods on the Swedish market, 1983–1990. *Journal of Food Composition and Analysis*. 1993;6(3):223-41.
 26. Orish Ebere O. Evaluation of potential dietary toxicity of heavy metals of vegetables. *Journal of Environmental & Analytical Toxicology*. 2012;3(2):1-4.
 27. Ramos I, Esteban E, Lucena JJ, Gárate An. Cadmium uptake and subcellular distribution in plants of *Lactuca sp.* Cd–Mn interaction. *Plant Science*. 2002;162(5):761-67.
 28. Karavoltos S, Sakellari A, Dimopoulos M, Dasenakis M, Scoullas M. Cadmium content in foodstuffs from the Greek market. *Food Additives & Contaminants*. 2002;19(10):954-62.
 29. Marais AD, Blackhurst D. Do heavy metals counter the potential health benefits of wine? *Journal of*

- Endocrinology, Metabolism and Diabetes of South Africa. 2009;14(2):77-79.
30. Givianrad M, Sadeghi T, Larijani K, Hosseini S. Determination of cadmium and lead in lettuce, mint and leek ultivated in different sites of Southern Tehran. *Journal of Food Technology and Nutrition*. 2011;8(2):38-43.
31. Mehrasbi M, Sekhawatju M, Hasanalizadeh AS, Ramezanzadeh Z. Study of heavy metals in the atmospheric deposition in Zanjan, Iran. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2010;2(4):240-49 (in Persian).
32. Nazemi S, Asgari A, Raei M. Survey the amount of heavy metals in cultural vegetables in suburbs of Shahroud. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2010;3(2):195-202 (in Persian).



Available online: <http://ijhe.tums.ac.ir>

Original Article



Evaluation of Exposure to Heavy Metals Cu, Zn, Cd and Pb in Vegetables Grown in the Olericultures of Zanjan Province's Fields

L Tabande^{1*}, M Taheri²

¹ Master of Science, Dept. of Soil and Water, Agricultural and Natural Resources Research Center of Zanjan province

² Assist. Prof., Dept. of Soil and Water, Agricultural and Natural Resources Research Center of Zanjan province

ARTICLE INFORMATION:

Received: 25 October, 2015

Revised: 13 January 2016

Accepted: 20 January, 2016

Published: 6 June 2016

Key words: Soil pollution, Heavy metals, Vegetables, Zanjan Province

***Corresponding Author:**
ltabande@yahoo.com

ABSTRACT

Background and Objective: The contamination of soils and plants with heavy metals is a serious and growing problem. The present study aimed to determine the concentration of heavy metals in soil and some agricultural products and the probability of risks due to their consumption.

Materials and Methods: This cross-sectional descriptive study was performed using random sampling at harvest time in 2014 on 205 samples of vegetable crops (Leek, chard, parsley, watermelon, melon, tomatoes, cucumber, potatoes, onion, garlic, radish, green peas, and broad bean) and 129 samples of soils under cultivation. Concentrations of Cu, Zn, Cd, and Pb in soil and plant samples were determined by an atomic absorption instrument and the data was analyzed using SPSS software.

Results: There were significant differences between the mean concentrations of Pb, Cu, and Zn for different vegetables ($P < 0.001$), but no significant difference was observed for Cd. The highest mean levels of Pb, Cd, Cu, and Zn were detected in parsley, chard, broad bean, and leek respectively. However, there was no heavy metal pollution in the remainder of the vegetables and soil samples (with the exception of agricultural soils adjacent to the lead mine of Mahneshan area) studied. Hazard probability (HQ) of each element for cancerous diseases was less than unit and the intake of heavy metals was lower than the Provisional Tolerable Daily Intake (PTDI).

Conclusion: The results of this study indicated that major accumulation of heavy metals was obtained in leafy vegetables. Therefore, much attention should be paid to consumption of leafy vegetables, especially vegetables grown in the surrounding industrial areas.

Please cite this article as: Tabande L, Taheri M. Evaluation of exposure to heavy metals Cu, Zn, Cd and Pb in vegetables grown in the Olericultures of Zanjan Province's fields. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2016;9(1):41-56.