ارزیابی غلظت سرب، روی، مس، نیکل و کروم در سبزیجات رشد یافته در اطراف شهر زنجان

علی افشاری[۱*]، حسین خادمی[۲]

۱. دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران
۲. استاد گروه علوم آب و خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران
* نویسنده مسئول مکاتبات: a.afshari66@yahoo.com
(دریافت مقاله: ۹۳/٤/۲۵ پذیرش نهایی: ۹۵/۵/۳)

چکیده

این پژوهش با هدف ارزیابی پتانسیل خطر فلزات سنگین بر سلامت انسان از مصرف سبزیجات انجام گرفت. برای این منظور از سبزیجات رشدیافته در اطراف شهر و مراکز صنعتی زنجان به‌صورت تصادفی نمونه‌برداری صورت پذیرفت. نمونه‌های گیاهی با روش اسید کلریدریک ۲ مولار هضم و غلظت عناصر (Pb، Zn، Cu، Ni و Cr) توسط دستگاه جذب اتمی قرائت گردید. به‌صورت کلی میانگین فلزات سنگین در تمام سبزیجات (N=۳۲) برای روی، سرب، مس، نیکل و کروم به‌ترتیب ۹۷/۸، ۳۱/۹، ۱۹/۳، ٤/٤ و ۲/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم تعیین شد. بالاترین مقدار شاخص آلودگی فلز در ریحان و پایین‌ترین آن در شاهی مشاهده شد (به‌ترتیب ١٦/٤٦ و ٤/٨٨) مقدار جذب روزانه برای روی، مس و کروم در تمام گروه سنی پایین‌تر از مقدار جذب قابل تحمل روزانه عناصر است. این مقدار در کودکان، بزرگسالان و سالخوردگان برای نیکل به‌ترتیب ۲/۰، ١/٦ و ۱/۳ درصد و برای سرب به‌ترتیب ۲۸/۱، ۲۲/۰ و ۱۹/۰ درصد بیشتر از مقدار PTDI به‌دست آمد. مقدار پتانسیل خطرپذیری در تمام گروه سنی به‌صورت Pb>Cu>Zn>Ni>Cr محاسبه شد. مقدار پتانسیل خطرپذیری برای کروم، نیکل و روی کمتر از یک و برای مس کمی بیشتر از یک و در سرب بسیار بالاتر از یک بود. مقدار شاخص خطرپذیری برای گروه سنی کودکان، بزرگسالان و سالخوردگان به‌ترتیب ۳۱/۳۳، ٢٤/٥٨ و ٢١/١٤ به‌دست آمد، که بیشترین سهم آن مربوط به سرب می‌باشد (۸۹/۷٪)

واژه‌های کلیدی: سبزیجات، فلزات سنگین، مقدار جذب روزانه، پتانسیل خطرپذیری، شاخص آلودگی فلز

Archive of SID
www.SID.ir

مقدمه

فلزات سنگین یکی از شناخته شده‌ترین عوامل آسیب‌رسان برای سلامتی انسان هستند. مقادیر بالای فلزات سنگین امراض مختلفی را برای انسان در پی دارد (Song *et al.*, 2009). رژیم غذایی مسیر اصلی ورود عناصر برای اکثر مردم است و سبزیجات جزو مهمترین بخش رژیم غذایی انسان‌ها محسوب می‌شود (Song *et al.*, 2009) سبزیجات منابع غنی از ویتامین‌ها، مواد معدنی، فیبرها و آنتی‌اکسیدان‌های سودمند هستند (Kumar *et al.*, 2009) در کنار آن، سبزیجات توانایی بالایی در انباشت فلزات سنگین دارند. سبزیجات رشد یافته در خاک‌های آلوده (در اثر فعالیت‌های معدن‌کاری، صنعتی، وسایل نقلیه و کشاورزی) می‌توانند دارای غلظت‌های بالایی از فلزات سنگین باشد (Song *et al*, 2009) در بین اندام‌های مختلف سبزیجات، بیشترین غلظت فلزات سنگین در بخش برگ‌ها گزارش شده است (Zheng *et al.*, 2007) همچنین فاصله نزدیک با شهرها و مراکز صنعتی می‌تواند تأثیر به‌سزایی در انباشت فلزات سنگین برای محصولات کشاورزی کشت شده در منطقه داشته باشد. در مطالعه‌ای محققین گزارش کردند که در فاصله کمتر از یک کیلومتر مراکز صنعتی، هم غلظت‌های عناصر سنگین در سبزیجات بالاست و هم میزان خطرپذیری زیستی آن‌ها به شدت با نزدیکی به این مراکز افزایش می‌یابد (Zheng *et al.*, 2007).

مطالعات مختلفی در رابطه با تعیین غلظت فلزات سنگین در محصولات کشاورزی قابل مصرف برای انسان صورت گرفته است. محققین در بررسی پتانسیل خطر فلزات سنگین بر سلامت انسان در محصولات کشاورزی استان اصفهان، میانگین غلظت Ni، Cu، Zn، Pb و As در همه محصولات مورد مطالعه (گندم، برنج، هویج، سبزیجات برگی، پیاز و سیب‌زمینی) را در محدوده مجاز غلظت فلزات سنگین ارائه شده توسط سازمان بهداشت جهانی (WHO) گزارش کردند. در این مطالعه، میزان کل جذب روزانه (EDI: Estimated Daily Intake) فلزات Ni، Cu، Zn، Pb و As از محصولات کشاورزی مورد مطالعه برای مردان به‌ترتیب ۰/۶۶، ۱۴/۰۶، ۷۱/۴، ۰/۲ و ۰/۵۷ و برای زنان به‌ترتیب ۰/۶۹، ۱۵/۵، ۸۳/۲، ۰/۲۳ و ۰/۶۶ میکروگرم بر کیلوگرم به‌دست آمد (Salehi *et al.*, 2013). پژوهشگران میانگین دریافت روزانه سرب توسط کودکان و بزرگسالان و کادمیم توسط کودکان ناشی از مصرف گندم و ذرت را فراتر از حد استاندارد سازمان بهداشت جهانی (به‌ترتیب ۰/۰۳ و ۰/۰۰۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم در روز) گزارش کردند (Beigi and Banitalebi, 2013). شاخص خطر بهداشتی (HI: Hazard Index) سرب ناشی از مصرف گندم و ذرت برای کودکان و بزرگسالان بسیار بزرگتر از یک به‌دست آمد.

محققین در ۱۵۰ نمونه سبزی پرورش یافته در حومه شهر شاهرود، میانگین Pb، As، Cr، Cd و Zn را در کل سبزیجات به‌ترتیب ۱۸/۴۸، ۵/۴۹، ۵/۸۸، ۲/۴۳ و ۱۷۰/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش کردند. آن‌ها آبیاری با فاضلاب شهری را از عوامل عمده افزایش غلظت فلزات سنگین در سبزیجات می‌دانند (Nazemi *et al.*, 2010). پژوهشگران مقدار جذب روزانه عناصر سنگین برای تمامی سنین از مصرف برنج را برای Cd، Pb، Hg و As به‌ترتیب ۰/۱ تا ۰/۲۳، ۰/۳۳ تا ۰/۷۸، ۰/۰۲۱ تا ۰/۰۵۱ و ۰/۴۳ تا ۱/۰۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن بدن

www.SID.ir
Archive of SID

در روز گزارش کردند که تمامی آن‌ها کمتر از استانداردهای ارائه شده جهانی است (Qian *et al.*, 2010). در ایران، مطالعات متعددی در زمینه مقدار عناصر سنگین در خاک و گیاهان مختلف انجام شده است، اما در رابطه با تأثیر مستقیم آن بر سلامت انسان کمتر بحث گردیده است. این مطالعه با هدف ارزیابی غلظت برخی فلزات سنگین در سبزیجات رشد یافته در اطراف شهر و مراکز صنعتی زنجان و تعیین خطرات زیستی ناشی از مصرف آن‌ها برای ساکنین انجام گرفته است.

مواد و روش‌ها

- نمونه‌برداری و تعیین غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های سبزیجات

نمونه‌برداری در تابستان ۱۳۹۰ به‌صورت تصادفی در مزارع اطراف مناطق صنعتی و شهری زنجان انجام گرفت. نمونه‌های سبزیجات عبارت بودند از بخش خوراکی شوید (*Aniethumgraveolens L.*)، ترەفرنگی (*Allium porrum L.*)، شاهی (*Barbara verna L.*) و ریحان (*Ocimumbasilicum L.*)، که از هر کدام ۸ نمونه و به صورت کلی ۳۲ نمونه برداشت گردید. نمونه‌های گیاهی پس از شستشو با آب مقطر، به مدت ٤٨ ساعت در دمای $70\ ^{\circ}C$ در آون تا رسیدن به وزن ثابت قرار داده شدند و هضم آن‌ها با استفاده از اسید کلریدریک ۲ مولار (Wilde *et al.*, 1979) انجام گرفت.

غلظت عناصر Pb، Zn، Cu، Ni و Cr در نمونه‌های هضم شده با کمک دستگاه جذب اتمی مدل Perkin-Elmer: AA 200 تعیین شد (با حد تشخیص ۰/۰۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم). محاسبات کلیه پارامترهای آماری شامل حداقل، حداکثر، میانگین و انحراف معیار، با استفاده از نرم‌افزار SPSS 16.0 صورت پذیرفت.

- محاسبه جذب روزانه عناصر سنگین (EDI) و پتانسیل خطرپذیری (THQ) از مصرف سبزیجات

برای محاسبه احتمال خطرپذیری افراد به بیماری‌های غیرسرطانی از فرمول ارائه شده توسط سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (USEPA) استفاده شد (USEPA, 1989) برای این کار ابتدا میزان جذب روزانه فلزات سنگین از طریق مصرف سبزیجات به ازای هر کیلوگرم از وزن بدن در روز با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد (رابطه ۱):

$$EDI = \frac{(CF \times IR \times FI \times EF \times ED)}{(BW \times AT)} \qquad (۱)$$

که در آن EDI: مقدار جذب روزانه فلزات سنگین از مصرف سبزیجات است ($\mu g/kg/day^{-1}$)؛ CF: غلظت فلز سنگین در بخش خوراکی سبزیجات ($\mu g\ kg^{-1}$)؛ IR: میزان مصرف سبزیجات در روز ($g\ day^{-1}$) است که در این مطالعه میزان مصرف روزانه برای کودکان، بزرگسالان و سالخوردگان به‌ترتیب ۲۵۷، ۳۹٤ و ۳۲۳ گرم بر روز لحاظ شده است (Song *et al.*, 2009).

FI: یک ضریب تصحیح است بین ۰/۲۵ تا ۰/٤۰ که در این مطالعه ضریب ۰/٤۰ آورده شده است؛ EF: دفعات مصرف در سال است (برابر با ۳٦۵ روز)؛ ED: تعداد سال‌هایی را که از این ماده خوراکی استفاده می‌شود را نشان می‌دهد. مقدار ED برای کودکان، بزرگسالان و سالخوردگان به‌ترتیب برابر ٦، ۳۰ و ٦۰ سال می‌باشد (Song *et al.*, 2009)؛ BW: وزن بدن شخص است (کیلوگرم) در این مطالعه متوسط وزن بدن با توجه به استانداردهای جهانی برای کودکان، بزرگسالان و

Archive of SID
www.SID.ir

سالخوردگان به‌ترتیب ۳۲/۷، ۶۳/۹ و ۶۰/۹ کیلوگرم لحاظ شده است (Song *et al.*, 2009)؛ AT: از حاصل‌ضرب ED در تعداد روزهای سال تعیین شد. سپس احتمال خطرپذیری به بیماری‌های غیرسرطانی (THQ) از فرمول زیر محاسبه شد (رابطه ۲):

$$THQ = \frac{EDI}{RfD} \qquad (۲)$$

که در آن، THQ: مقدار پتانسیل خطرپذیری است و RfD: نشان دهنده مقدار خوارکی مرجع (میکروگرم بر کیلوگرم در روز) است که میزان پیشنهادی آن برای عناصر Cu، Ni، Pb، Zn و Cr به‌ترتیب ۴۰، ۲۰، ۳/۵۷، ۳۰۰ و ۱۵۰۰ میکروگرم در روز می‌باشد (Song *et al.*, 2009) اگر مقدار THQ کمتر از یک به‌دست آمد مصرف کننده از اثرات سوء بیماری‌های غیرسرطانی در محدوده امن قرار دارد و با افزایش مقدار THQ احتمال تأثیرات بیماری‌های غیرسرطانی افزایش می‌یابد (Song *et al.*, 2009 and Qian *et al.*, 2010).

مقدار خطرپذیری کل حاصل مجموع خطرپذیری (THQ) تک تک عناصر سنگین مورد بررسی است (رابطه ۳)

$$HI = \sum_{n=1}^{i} THQn \qquad (۳)$$

- محاسبه شاخص آلودگی فلز (MPI)

مقدار شاخص آلودگی فلز (MPI: Metal Pollution Index) از حاصلضرب غلظت تک‌تک عناصر در یک نوع سبزی محاسبه شد (رابطه ٤) (Singh *et al.*, 2010).

$$MPI\ (\mu g\, g^{-1}) = (Cf_1 \times Cf_2 \times ... \times Cf_n)^{1/n} \qquad (٤)$$

که در آن Cf_n: غلظت فلز n در نمونه است.

یافته‌ها

- غلظت عناصر سنگین در سبزیجات

در جدول (۱) خلاصه‌ای از وضعیت آماری غلظت عناصر سنگین در سبزیجات مختلف ارائه شده است. میانگین غلظت روی در ریحان، شاهی، تره و شوید به ترتیب ۷۱/۵٦، ۱۵۰/۲۵، ۱۰۰/۱۲ و ٦۹/۱۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم و میانگین غلظت سرب به‌ترتیب ۳۳/۲۵، ۳۰/۰۱، ۲۳/۲۵ و ٤۱/۲۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم مشاهده شد. میانگین غلظت عناصر Cu، Ni و Cr در ریحان به‌ترتیب ۲۲/٦۳، ٦/٤٦ و ۳/٤۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم و در شاهی به‌ترتیب ۱۵/۲۵، ۳/۳۱ و ۱/۹۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم و در تره به‌ترتیب ۲۳/۱۳، ٤/۸٦ و ۱/٤۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌دست آمد. غلظت عناصر Cu، Ni و Cr در شوید به‌ترتیب ۱٦/۲۵، ۲/۸۵ و ۲/۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم مشاهده شد.

www.SID.ir
Archive of SID

جدول (۱)- حداقل، حداکثر و میانگین غلظت فلزات سنگین (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در نمونه سبزیجات جمع‌آوری شده مناطق مطالعه شده

عنصر	آماره	ریحان	شاهی	تره	شوید
	حداقل	٤٠/٠٠	٢٢/٠٠	٥٠/٠٠	٤٤/٠٠
روی	حداکثر	١١٠/٠٠	٢٤٥/٠٠	١٣٣/٠٠	١٠٠/٨٠
	میانگین	٧١/٥٦	١٥٠/٢٥	١٠٠/١٢	٦٩/١١
	انحراف معیار	٢٢/٢٠	٦٨/٤٤	٣٠/٠١	١٧/٤٢
	حداقل	٢٤/٠٠	٢١/٠٠	١٨/٠٠	٢٤/٠٠
سرب	حداکثر	٤٣/٠٠	٤٠/٠٠	٣٨/٠٠	٥٧/٠٠
	میانگین	٣٣/٢٥	٣٠/٠١	٢٣/٢٥	٤١/٢٥
	انحراف معیار	٧/٠٥	٦/٦١	٦/٧١	١٠/٨٥
	حداقل	١٣/٠٠	٧/٠٠	١٢/٠٠	٩/٠٠
مس	حداکثر	٣٢/٠٠	٢٣/٠٠	٤٩/٠٠	٢٦/٠٠
	میانگین	٢٢/٦٣	١٥/٢٥	٢٣/١٣	١٦/٢٥
	انحراف معیار	٧/٥٨	٥/١٨	١١/٧٦	٥/٧٨
	حداقل	١/٢٥	٠/٩٠	١/٠٠	١/٨٠
نیکل	حداکثر	١٤/٠٠	٨/٠٠	٨/٠٠	٥/٦٨
	میانگین	٦/٤٦	٣/٣١	٤/٨٦	٢/٨٥
	انحراف معیار	٤/٥٣	٢/٢٢	٢/٣٨	١/٢٨
	حداقل	١/٥٠	٠/٩٥	٠/٥٥	١/٣٧
کروم	حداکثر	٧/٢٥	٣/٠٠	٢/٤٥	٣/٣٥
	میانگین	٣/٤٧	١/٩٠	١/٤٧	٢/٣٠
	انحراف معیار	١/٧٧	٠/٧٦	٠/٦٦	٠/٦٧

- میزان جذب روزانه عناصر سنگین در رژیم غذایی

جدول (۲) مقدار ورود روزانه فلزات سنگین از مصرف سبزیجات برای ساکنین منطقه را نشان می‌دهد. در این مطالعه مقدار EDI براساس میانگین غلظت عناصر سنگین در تمام نمونه سبزیجات (بدون مشخص کردن نوع سبزی‌ها) محاسبه شده است. با توجه به جدول (۲)، مقدار ورود فلز روی از مصرف سبزیجات در طول روز برای کودکان، بزرگسالان و سالخوردگان به‌ترتیب ۳۰۷/۵، ۲٤۱/۲ و ۲۰۷/۵ میکروگرم بر کیلوگرم در روز می‌باشد. این مقدار برای سرب به‌ترتیب ۱۰۰/۳،

Archive of SID
www.SID.ir

۷۸/۷ و ٦۷/۷ میکروگرم بر کیلوگرم و برای مس به‌ترتیب ٦۰/۷، ٤۷/٦ و ٤۰/۹ میکروگرم بر کیلوگرم به‌دست آمد. مقدار ورود روزانه فلز نیکل و کروم از مصرف سبزیجات برای افراد منطقه مطالعاتی به‌ترتیب برای کودکان ۱۳/۸ و ۷/۲ میکروگرم بر کیلوگرم در روز و برای بزرگسالان به‌ترتیب ۱۰/۹ و ۵/۷ میکروگرم بر کیلوگرم در روز و برای سالخوردگان به‌ترتیب ۹/۳ و ٤/۹ میکروگرم بر کیلوگرم در روز محاسبه شد.

جدول (۲)- میزان جذب روزانه (EDI) و خطرپذیری غیرسرطانی (THQ) فلزات سنگین برای گروه سنی کودکان، بزرگسالان و سالخوردگان ناشی از مصرف سبزیجات جمع‌آوری شده از اطراف مراکز شهری و صنعتی زنجان

رده سنی	شاخص	واحد	روی	سرب	مس	نیکل	کروم
کودکان	EDI	($\mu g\ kg^{-1}\ day^{-1}$)	۳۰۷/۵	۱۰۰/۳	٦۰/۷	۱۳/۸	۷/۲
	THQ		۱/۰۲	۲۸/۰۹	۱/۵۲	۰/٦۹	$٤/۸۲\times۱۰^{-۳}$
بزرگسالان	EDI	($\mu g\ kg^{-1}\ day^{-1}$)	۲٤۱/۲	۷۸/۷	٤۷/٦	۱۰/۹	۵/۷
	THQ		۰/۸۰	۲۲/۰٤	۱/۱۹	۰/۵٤	$۳/۷۸\times۱۰^{-۳}$
سالخوردگان	EDI	($\mu g\ kg^{-1}\ day^{-1}$)	۲۰۷/۵	٦۷/۷	٤۰/۹	۹/۳	٤/۹
	THQ		۰/٦۹	۱۸/۹٦	۱/۰۲	۰/٤۷	$۳/۲۵\times۱۰^{-۳}$

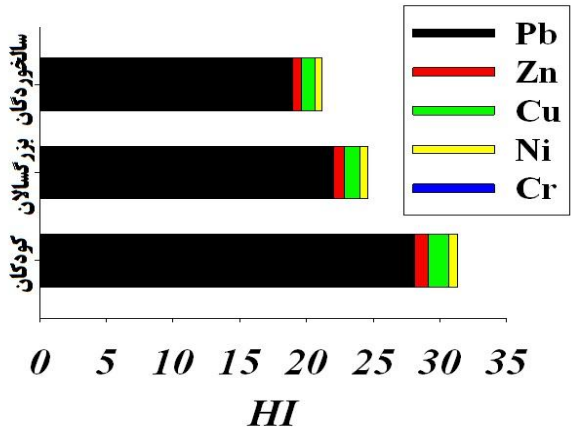
- پتانسیل خطرپذیری عناصر سنگین (THQ) و شاخص خطرپذیری کل (HI)

مقدار پتانسیل خطرپذیری (THQ) پارامتر بسیار مفیدی برای ارزیابی خطرات زیستی از مصرف محصولات غذایی آلوده به فلزات سنگین می‌باشد (Qian *et al*., 2010) اگر مقدار THQ کمتر از واحد باشد، نشان‌دهنده ایمن بودن آن برای مصرف افراد غیرسرطانی است و هر چه این مقدار بالاتر از واحد باشد، شانس خطر برای سرطان افزایش می‌یابد (Qian *et al*., 2010) در این مطالعه، مقدار پتانسیل خطرپذیری برای فلز روی از مصرف سبزیجات برای گروه سنی کودکان، بزرگسالان و سالخوردگان به‌ترتیب ۱/۰۲، ۰/۸۰ و ۰/٦۹ به‌دست آمد (جدول ۲) این مقدار برای فلز سرب در کودکان، بزرگسالان و سالخوردگان به‌ترتیب ۲۸/۰۹، ۲۲/۰٤ و ۱۸/۹٦ محاسبه شد. مقدار پتانسیل خطرپذیری از مصرف سبزیجات برای گروه سنی کودکان، بزرگسالان و سالخوردگان برای مس به‌ترتیب ۱/۵۲، ۱/۱۹ و ۱/۰۲ و برای نیکل به‌ترتیب ۰/٦۹، ۰/۵٤ و ۰/٤۷ به‌دست آمد. مقدار پتانسیل خطرپذیری فلز کروم از مصرف سبزیجات برای کودکان، بزرگسالان و سالخوردگان به‌ترتیب $٤/۸۲\times۱۰^{-۳}$، $۳/۷۸\times۱۰^{-۳}$ و $۳/۲۵\times۱۰^{-۳}$ به‌دست آمد.

شاخص خطرپذیری (HI) که از مجموع مقادیر THQ هر یک از عناصر سنگین در سبزیجات محاسبه می‌شود، برای گروه سنی کودکان ۳۱/۳۳، بزرگسالان ۲٤/۵۸ و سالخوردگان ۲۱/۱٤ به‌دست آمد (شکل ۱).

Archive of SID

www.SID.ir



شکل (۱)– مقدار HI برای گروه سنی کودکان، بزرگسالان و سالخوردگان

بحث و نتیجه‌گیری

حد مجاز غلظت فلزات سنگین در سبزیجات براساس استاندارد سازمان بهداشت جهانی و فائو برای Pb، Zn، Cu و Cr به‌ترتیب ۵، ٦٠، ٤٠ و ۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم (Yang *et al.*, 2011) و برای Ni برابر ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم (Khan *et al.*, 2008) می‌باشد. باتوجه به این استانداردها، حدود ٦٠٪ از نمونه‌های سبزیجات در دامنه آلوده به فلز روی هستند. تمام نمونه‌های سبزیجات برای سرب در محدوده آلوده به این فلز می‌باشند. محققین در مطالعه سبزیجات برگی اصفهان، میزان سرب را بالاتر از محدوده مجاز تعیین شده توسط سازمان بهداشت جهانی گزارش کردند.

یکی از دلایل عمده بالا بودن غلظت عناصر در سبزیجات، کشت آن‌ها در محدوده شهرها و آبیاری به‌وسیله فاضلاب شهری است که دارای غلظت‌های بالایی از فلزات سنگین هستند (Salehi *et al.*, 2013). پژوهشگران به جز عناصر روی و آرسنیک، میانگین غلظت Cr، Cd و Pb را در سبزیجات رشد یافته در حومه شهر شاهرود بیشتر از محدوده استاندارد ارائه شده توسط WHO و FAO گزارش کردند. این محققین پساب‌های شهری و صنعتی را علت اصلی آلودگی سبزیجات می‌دانند (Nazemi *et al.*, 2010). یافته‌های پژوهشگران در سبزیجات رشد یافته در اطراف رودخانه استوری (Estuary) در چین غلظت عناصر Pb، Cr، Cd، Zn و Cu را به‌ترتیب ۲۱/۹، ۸/۸، ٤/۲، ۳/۳ و ۰/۰ درصد بیشتر از حد مجاز استاندارد کشور چین گزارش کردند (Li *et al.*, 2012).

مقدار شاخص آلودگی فلز (MPI) روش بسیار مناسب و دقیقی برای ارزیابی آلودگی فلزات در خاک‌های آبیاری شده با فاضلاب شهری است (Singh *et al.*, 2010) مقدار شاخص آلودگی فلز که از حاصلضرب غلظت تک تک عناصر در یک نوع سبزی محاسبه می‌شود، در ریحان حداکثر و در شاهی حداقل به‌دست آمد (به‌ترتیب ١٦/٤٦ و ٤/٨٨) مقدار MPI در تره‌فرنگی ۱۳/۰۹ و در شوید ۱۲/٤۹ محاسبه شد.

محققین مقدار شاخص آلودگی فلز را برای کلم، گل کلم، بادنجان، گوجه‌فرنگی، کدو تنبل، تربچه، دانه گندم، برنج و شیر به‌ترتیب ۱۱/۸۲، ۹/۲٦، ۱۰/۳۸،

Archive of SID
www.SID.ir

۱۱/۰۳، ۸/۵۵، ۹/۷٤، ٦/۹۲، ۷/۲۹ و ۰/۰٤ گزارش کردند. به‌نظر می‌آید سبزیجات برگی بیشترین ظرفیت را برای جذب و انباشت فلزات سنگین در خاک‌های آلوده دارند (Singh *et al*., 2010).

غلظت‌های بالای عناصر سنگین در سبزیجات شاید به‌خاطر آلودگی خاک سطحی است که در نتیجه آبیاری بلند مدت با پساب‌ها و افزودن لجن فاضلاب در کشاورزی‌های آبی حاصل شده است. در مطالعات مختلف چنین روندی گزارش شده است (Amin *et al*., 2012, Beigi and Banitalebi, 2013) کاربرد فاضلاب شهری باعث تغییر برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها می‌شود. به‌طور مثال باعث کاهش pH و افزایش مقدار کربن آلی خاک می‌شود (Khan *et al*., 2008). همچنین اجزای مختلف فلزات در خاک‌ها (از قبیل اجزای محلول در آب، تبادلی، باقیمانده و متصل به کربنات‌ها، مواد آلی و اکسیدهای آهن و منگنز) در واکنش‌پذیری شیمیایی و زیست‌فراهمی عناصر مهم هستند. در مطالعات مختلفی بین برخی جزءهای شیمیایی فلزات در خاک (مثل جزء تبادلی، متصل به مواد آلی) و جذب آن‌ها توسط گیاهان ارتباط مثبت گزارش شده است. از طرف دیگر، pH تأثیر آشکاری بر زیست فراهمی عناصر مختلف خواهد گذاشت (Wang *et al*., 2005).

فرونشست‌های اتمسفری نیز می‌تواند در افزایش غلظت عناصر در سبزیجات نقش داشته باشد. نتایج حاصل از مطالعه پژوهشگران نشان داد که غلظت تمام عناصر سنگین مورد مطالعه در سبزیجات رشد یافته در مزارع با فضای باز به‌طور معنی‌داری بیشتر از سبزیجات رشد یافته در گلخانه‌ها بودند (Song *et al*., 2009).

کارخانه‌های صنعتی موجود در منطقه از قبیل کارخانه سرب و روی زنجان، مجتمع کارگاه‌های صنعتی، شرکت روی زنجان، شهرک صنعتی روی، شهرک صنعتی جی و گارگاه ذوب مس و ... نیز از عوامل عمده آلودگی خاک‌ها و سبزیجات به فلزات سنگین می‌توانند باشند. در مطالعه‌ای که بر روی چاه‌های آب مجاور کارخانه سرب و روی زنجان انجام دادند، مقدار سرب را بین ۰/۰۰۵ تا ۰/۰۵۰ و میانگین ۰/۰۱۳۹، مقدار روی را بین ۰/۰۱۷ تا ۰/۲۸۵ و میانگین ۰/۰۵۸۵ و مقدار کادمیم را بین ۰/۰۰۲ تا ۰/۰۳۰ و میانگین ۰/۰۰۵۹ میلی‌گرم بر لیتر گزارش کردند. این نتایج تأثیر آشکار فعالیت‌های صنعتی در افزایش غلظت فلزات سنگین در منطقه را نشان می‌دهد (Mohammadian *et al*., 2008).

مقدار پتانسیل خطرپذیری (THQ) برای تمام گروه سنی به صورت Pb>>Cu>Zn>Ni>Cr محاسبه شد. میزان تخمین ورود روزانه عناصر As، Cd، Cr، Cu، Ni، Pb و Zn از مصرف سبزیجات در چین برای افراد بزرگسال به‌ترتیب ۰/۰۸۰، ۰/۰٦۲، ۰/۱٤۲، ۳/۱٤، ۰/۳۲۷، ۰/۲۸۳ و ۱۵/۷ میکروگرم وزن بدن در روز گزارش شده است (Song *et al*., 2009). جذب روزانه فلزات سنگین از مصرف سبزیجات و میوه‌ها را در چین برای Cd، Pb، Cr، Ni، Zn و Cu به‌ترتیب ۱٤/۲، ۲۸/۰، ٦۵/۰، ۹۱/۹، ۹۸۰/۸ و ۲٦٤/۸ میکروگرم در روز بر شخص گزارش کرده‌اند (Li et *al*., 2012). البته مقادیر ورود فلزات سنگین از مصرف برنج در این منطقه بسیار بالاتر بود و به‌ترتیب برابر ۱۹۱/٦، ۱۱۵/۲، ۹۹۲/٤، ۹٦۷/۷، ۸٦۳۰/۹ و ۳٤۵۸/۵ میکروگرم در روز بر شخص به‌دست آمد.

www.SID.ir
Archive of SID

با توجه به نتایج، مشاهده می‌شود که مقدار THQ سرب بسیار بالاتر از یک می‌باشد. یکی از دلایل آن می‌تواند ناشی از آلودگی سبزیجات مورد بررسی به این فلز باشد و دلیل عمده دیگر آن ناشی از مقدار بسیار پایین RfD سرب (RfD = ۳/۵۷) نسبت به سایر عناصر است. البته در مطالعات مختلف مقدار پتانسیل خطرپذیری سرب نسبت به سایر عناصر بالا گزارش شده است. محققین شاخص خطر بهداشتی (HIR) از مصرف گندم و ذرت را برای تمام مصرف‌کنندگان (کودکان و بزرگسالان) فقط در سرب و کادمیم بالاتر از یک گزارش کردند. در سایر عناصر این مقدار کمتر از یک بود (Beigi and Banitalebi, 2013). پژوهشگران مقدار پتانسیل خطرپذیری برای سبزیجات برگی برای عناصر Pb، Ni، Zn و Cu به‌ترتیب در گروه مردان ۲×۱۰^{-۲}، ۸×۱۰^{-۳}، $۱/٤\times۱۰^{-۲}$ و $۵/۷\times۱۰^{-۲}$ و در گروه زنان به‌ترتیب $۲/۱۷\times۱۰^{-۲}$، $٦/۹\times۱۰^{-۳}$، $۹/۳\times۱۰^{-۳}$ و $۵/۱\times۱۰^{-۲}$ گزارش کردند. که مقدار THQ برای تمام عناصر پایین تر از یک است. این نشان می‌دهد که خطر بیماری غیرسرطانی برای هر یک از عناصر به‌تنهایی از مصرف هر یک از مواد غذایی مورد مطالعه برای ساکنین مصرف کننده وجود ندارد (Salehi *et al*., 2013).

مقدار پتانسیل خطرپذیری فلز کروم از مصرف سبزیجات برای کودکان، بزرگسالان و سالخوردگان به‌ترتیب $٤/۸۲\times۱۰^{-۳}$، $۳/۷۸\times۱۰^{-۳}$ و $۳/۲۵\times۱۰^{-۳}$ به‌دست آمد، که نشان می‌دهد کمترین مقدار THQ را در بین عناصر مختلف دارد. در مطالعات مختلف نتایج مشابهی گزارش شده است (Wang *et al*., 2005 and Li *et al*., 2012) این شاید به‌دلیل مقدار بالای RfD آن است (Wang *et al*., 2005 and Li *et al*., 2012) سمیت کروم مستقیماً به ظرفیت آن (مثل Cr_{VI} و Cr_{III}) وابسته است. محلولیت و تحرک Cr (III) در خاک‌ها در مقایسه با Cr (VI) کمتر است. Cr (VI) حالت‌های مختلفی از زیست‌فراهمی و تحرک را نشان می‌دهد. Cr (VI) در شرایط اسیدی معده به Cr (III) تغییر ظرفیت می‌دهد. برخلاف آن‌که Cr (VI) تمایل بالایی برای جذب شدن توسط سبزیجات دارد، در مطالعات از RfD کروم سه ظرفیتی به عنوان نماینده فلز کروم برای محاسبات استفاده می‌شود (Wang *et al*., 2005) از طرف دیگر، منابع خارجی آلوده‌کننده فلز کروم در منطقه نیست و غلظت آن در سبزیجات کمترین مقدار را دارد.

در تمام فلزات سنگین مورد بررسی (Pb، Zn، Cu، Ni و Cr) مقدار پتانسیل خطرپذیری از مصرف سبزیجات در گروه سنی کودکان حداکثر و در گروه سنی سالخوردگان حداقل بدست آمد. نتایج مشابهی توسط پژوهشگران گزارش شده است (Yang *et al*., 2011, Salehi *et al*., 2013 and Beigi and Banitalebi, 2013). پژوهشگران در مناطق مختلف تیانجین (چین)، مقدار کل THQ حاصل از عناصر Cu، Zn، Cd، Pb و Hg را برای بزرگسالان نصف مقدار کل THQ برای کودکان گزارش کردند (Wang *et al*., 2005). مقدار پتانسیل خطرپذیری برای روی در گروه سنی کودکان کمی بیشتر از یک و در بزرگسالان و سالخوردگان کمتر از یک به‌دست آمد. این مقدار برای کروم و نیکل نیز بسیار کمتر از یک مشاهده شد. در مس مقدار THQ برای تمام گروه سنی کمی بالاتر از یک به‌دست آمد. البته در سرب مقدار THQ خیلی بیشتر از یک مشاهده می‌شود. این نشان می‌دهد که

Archive of SID
www.SID.ir

سرب در محصولات غذایی منطقه مطالعاتی بیشترین خطر زیستی را دارد و به‌تنهایی می‌تواند عامل بسیار مهم در بروز سرطان در افراد مصرف‌کننده باشد.

پژوهشگران در سبزیجات رشد یافته اطراف کارخانه روی در هولودائو (چین) مقدار THQ را به‌صورت Cd>Pb>Zn>Cu>Hg گزارش کردند که مقدار THQ کادمیم برای افراد بزرگسال و کودک به‌ترتیب بین ۳/۳۵۱ تا ٦/۹۳۲ و ٤/٤۰۰ تا ۹/۹۱۲ و مقدار سرب به‌ترتیب ۲/۰۸۵ تا ۲/٤٤۷ و ۲/۷۳۷ تا ۳/۲۱۳ مشاهده شد. مقدار THQ سایر عناصر کمتر از یک به‌دست آمد (Zheng *et al*., 2007).

مقدار جذب قابل تحمل روزانه عناصر (PTDI: Provisional Tolerable Daily Intake) بر اساس استاندارد سازمان بهداشت جهانی و فائو برای Pb، Ni، Zn و Cu به‌ترتیب ۳/۵۷، ۷، ۱۰۰۰ و ۵۰۰ میکروگرم بر کیلوگرم می‌باشد (Song *et al*., 2009) باتوجه به آن، مقدار جذب روزانه عناصر روی و مس در تمام گروه سنی بسیار پایین‌تر از مقدار جذب قابل تحمل روزانه عناصر می‌باشد. مقدار جذب روزانه نیکل برای کودکان، بزرگسالان و سالخوردگان به‌ترتیب ۲/۰، ۱/٦ و ۱/۳ درصد و برای سرب به‌ترتیب ۲۸/۱، ۲۲/۰ و ۱۹/۰ درصد بیشتر از مقدار PTDI به‌دست آمد، که نشان‌دهنده خطرات جدی فلز سرب در تغذیه ساکنین به وسیله سبزیجات در منطقه می‌باشد.

نتایج نشان می‌دهد که سرب بیشترین سهم خطر زیستی را در بین عناصر مختلف دارد و کمترین آن مربوط به کروم می‌باشد. همچنین بیشترین شاخص خطرپذیری برای افراد با گروه سنی کودک به‌دست آمده است. میزان مشارکت نسبی برای Zn، Pb، Cu، Ni و Cr به‌ترتیب ۳/۲٦٪، ۸۹/۷٪، ٤/۸٤٪، ۲/۲٪ و ۰/۰۱۵٪ برای تمام گروه سنی (کودکان، بزرگسالان و سالخوردگان) می‌باشد. محققین مقدار پتانسیل خطرپذیری کل (TTHQ) را برای بزرگسالان و کودکان به‌ترتیب بین ۹/۹۰-۵/۷۹ و ۱۳/۰-۷/٦ گزارش کردند (Zheng *et al*., 2007). مقدار پتانسیل خطرپذیری کل (TTHQ) را برای تمام گروه سنی (کودکان، بزرگسالان و سالخوردگان) کمتر از یک گزارش کردند، که این نشان می‌دهد مصرف‌کنندگان سبزیجات در منطقه امن سلامت قرار دارند (Song *et al*., 2009). در مطالعه‌ای محققین نشان دادند که سرب و کادمیم به‌صورت باهم، جزء مؤلفه‌های اصلی پتانسیل خطرپذیری برای اهالی چانگین (چین) از مصرف سبزیجات می‌باشند. به‌طوری‌که باهم حدود ٦٦/٤۰٪ (۳٦/۸۹٪ سرب به اضافه ۲۹/۵۱٪ کادمیم) از مقدار کل THQ را شامل می‌شوند (Yang *et al*., 2011).

باتوجه به نتایج مطالعه حاضر باید به امر سلامت عمومی جامعه مصرف‌کننده محصولات کشت شده در منطقه به‌خصوص سبزیجات توجه بیشتری معطوف داشت. فلزات سنگین تأثیرات سمی بسیاری دارند که با گذشت زمان تأثیرات زیان‌آور آن‌ها آشکارتر می‌شود. با پایش متداول مواد غذایی مصرفی در مزارع تولیدی و بازارهای مصرف، می‌توان از ورود و تجمع بیش از اندازه فلزات سنگین در چرخه غذایی انسان جلوگیری کرد. همچنین می‌توان در منطقه تغییر کاربری داد، یعنی به جای کشت سبزیجات که پتانسیل بالایی در جذب و انباشت فلزات سنگین دارند، از گیاهان با قدرت جذب پایین‌تر استفاده کرد.

www.SID.ir
Archive of SID

تعارض منافع

نویسندگان هیچ‌گونه تعارض منافعی برای اعلام ندارند.

منابع

- Amin, N., Hussain, A., Alamzeb, S., and Begum, S. (2012). Accumulation of heavy metals in edible parts of vegetables irrigated with waste water and their daily intake to adults and children, District Mardan Pakistan. Food Chemistry, 136(3-4):1515-1523.
- BeigiHarchegani, H., and Banitalebi, G. (2013). The effect of twenty-three years of surface irrigation with treated municipality wastewater on soil loadings, transfer to wheat and corn grains, and related health risks of some heavy metals. Journal of Water and Soil, 27 (3): 570-580. [In Persian] Khan, S., Cao, Q., Zheng, Y.M., Huang, Y.Z., and Zhu, Y.G. (2008). Health risks of heavy metals in contamination soils and food crops irrigated with wastewater in Beijing, China. Environmental Pollution, 152 (3): 686-692.
- Kumar, R.S., Agrawal, M. and Marshal, F.M. (2009). Heavy metals in vegetables collected from production and market sites of a tropical urban area of India. Food and Chemical Toxicology, 47: 583-591.
- Li, Q., Chen, Y., Fu, H., Cui, Z., Shi, L., Wang, L. *et al*. (2012). Health risk of heavy metals in food crops grown on reclaimed tidal flat soil in the Pearl River Estuary, China. Journal of Hazardous Materials, 15: 227-228:148-154.
- Mohammadian, M., Nouri, J., Afshari, N., Nassiri, J., and Nourani, M. (2008). Investigation of heavy metals concentrations in the water wells close to Zanjan Zinc and Lead smelting Plant. Iranian Journal of Health & Environmental, 1 (1): 51-56. [In Persian]
- Nazemi, S., Asgari, A.R., and Raei, M. (2010). Survey the amount of heavy metals in cultural vegetables in suburbs of Shahroud. Iranian Journal of Health & Environmental, 3 (2): 195-202. [In Persian]
- Qian, Y., Chen, C., Zhang, Q., Li, Y., Chen, Z. and Li, M. (2010). Concentration of cadmium, lead, mercury and arsenic in Chinese market milled rice and associated population health risk. Food Control, 21: 1757-1763.
- Salehi, M., Ghorbani, H., Afyuni, M., and KheirAbadi, H. (2014). The potential risk assessment of heavy metals on human in some agricultural products in Isfahan Province. JWSS – Isfahan University of Technology, 18 (67): 71-81. [In Persian]
- Singh, A., Kumar, R.S., Agrawal, M. and Marshal, F.M. (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, 48: 611-619.
- Song, B., Lei, M., Chen, T., Zheng, Y., Xie, Y., Li, X. *et al*. (2009). Assessing the health risk of heavy metals in vegetables to the general population in Beijing, China. Journal of Environmental Sciences, 21: 1702-1709
- USEPA (US Environmental Protection Agency) (1989) Risk assessment guidance for superfund. Human health evaluation manual part A. EPA/540/1-89/002. Office of health and environmental assessment, Washington, DC, USA.
- Wang, X., Sato, T., Xiang, B. and Tao, S. (2005). Health risks of heavy metals to the general public in Tianjin, China via consumption of vegetables and fish. Science of the Total Environment, 350: 28-37.
- Wilde S.A., Corey R.B. and Iye'r J.G. (1979). Soils and plant analysis for tree culture. Part 3. Analysis of plant tissue. Oxford and IBH, New Delhi, pp. 93-106.

Archive of SID
www.SID.ir

- Yang, Q.W., Xu, Y., Liu, S.J., He, J.F. and Long, F.Y. (2011). Concentration and potential health risk of heavy metals in market vegetables in Chongqing, China. Ecotoxicology and Environmental Safety, 74: 1664-1669.
- Zheng, N., Wang, Q., and Zheng, D. (2007). Health risk of Hg, Pb, Cd, Zn, and Cu to the inhabitants around Huludao Zinc Plant in China via consumption of vegetables. Science of the Total Environmental, 383: 81-89.

Archive of SID

www.SID.ir

Assessment of Pb, Zn, Cu, Ni and Cr in vegetables grown around Zanjan

Afshari, A.[1*], Khademi, H.[2]

1. MSc Graduate of Soil Science, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran
2. Professor of Department of Soil Science, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

[*]Corresponding author's email: a.afshari66@yahoo.com

(Received: 2014/7/16 Accepted: 2016/7/24)

Abstract

This study was conducted aimed to assess the potential risk of heavy metals on human health resulting from consumption of vegetables. To this end, the vegetables grown around town and industrial center of Zanjan were sampled randomly. Plant samples were digested using hydrochloric acid (HCL) 2 M and concentration of elements (Pb, Zn, Cu, Ni and Cr) were recorded by atomic absorption. Obtained means of heavy metals in all vegetables (N= 32) for Zn, Pb, Cu, Ni and Cr is 98.8, 31.9, 19.3, 4.4 and 2.3 mg/kg, respectively. The highest amount of metal pollution index (MPI) in the basil and the lowest was observed in the garden cress (respectively 16.46 and 4.88). Daily intake (EDI) for zinc, copper and chromium in all age groups was lower than the provisional tolerable daily intake (PTDI). This amount for nickel was 2, 1.6 and 1.3 %, and for Pb 28.1, 22 and 19 % higher than PTDI in children, adults and seniors, respectively. The potential risk (THQ) was calculated in all age groups as Pb>>Cu>Zn>Ni>Cr. The potential risks (THQ) of chromium, nickel and zinc were calculated lower than 1, for copper a bit more of 1 and for lead much higher than 1. Health index (HI) for children, adults and the elderly was estimated 31.331, 24.58 and 21.14, respectively, with the largest contribution of the lead (89.7%).

Conflict of interest: None declared.

Keywords: Vegetables, Heavy metals, Estimated Daily Intake (EDI), Target Hazard Qquotient (THQ), Metal Pollution Index (MPI)

Archive of SID

www.SID.ir