

بررسی پتانسیل خطر فلزات سنگین بر سلامت انسان در برخی محصولات کشاورزی استان اصفهان

میترا صالحی پورباورصاد^{۱*}، هادی قربانی^۱، مجید افیونی^۲ و حسین خیرآبادی^۳

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۱۰/۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۵/۲۷)

چکیده

با توجه به اهمیت استفاده از سبزیجات سالم، کنترل غلظت عناصر سنگین جهت حفظ سلامتی مصرف‌کننده حائز اهمیت است. لذا این تحقیق با هدف ارزیابی پتانسیل خطر فلزات سنگین بر سلامت انسان نسبت به بیماری‌های سرطانی و غیر سرطانی از طریق مصرف محصولات کشاورزی در استان اصفهان انجام شده است. نمونه‌ها شامل گندم، برنج، هویج، پیاز، سبزیجات برگی و سیب زمینی بودند که به صورت تصادفی در استان جمع‌آوری شدند و پتانسیل خطر (Target Hazard Quotient) و شاخص خطر (Hazard Index) برای ارزیابی خطر سلامت بیماری‌های غیرسرطانی برای یک عنصر و ترکیبی از همه عناصر محاسبه شد. نتایج حاصل نشان داد که مقادیر THQ برای آرسنیک از مصرف گندم بیشتر از یک بوده و برای بقیه عناصر سنگین مورد مطالعه ناشی از مصرف یک محصول کمتر از یک می‌باشد. این موضوع نشان‌دهنده آن است که احتمال اثرات سوء بیماری‌های غیرسرطانی برای آرسنیک از مصرف گندم وجود دارد ولی برای بقیه عناصر در محصولات مختلف به تنهایی وجود ندارد. میزان شاخص خطرپذیری برای مردان و زنان به ترتیب ۲/۶ و ۲/۹ به دست آمد که نشان‌دهنده اثرات سوء بیماری‌های غیرسرطانی ناشی از مصرف محصولات مورد مطالعه می‌باشد. در بین نمونه‌های مورد آزمایش خطرپذیری سرطانی آرسنیک بواسطه مصرف گندم نسبت به پیاز بیشتر است و احتمال خطرپذیری به بیماری‌های سرطانی برای این عنصر در سطح متوسط می‌باشد. هم‌چنین این پارامتر برای عنصر سرب در هر دو گروه مورد مطالعه در سطح پایین است.

واژه‌های کلیدی: خطر پذیری، عناصر سنگین، مقدار جذب روزانه

۱. گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود

۲. گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۳. گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: mitrasalehipour@yahoo.com

مقدمه

در فرزندان تازه متولد شده از مادرانی که مقدار فلزات سنگین مصرفی آنها در محدوده سمیت می باشد گزارش شده است (۱۸).

مطالعه‌ای ناظمی و همکاران (۲) درباره میزان عناصر آرسنیک، کروم، کادمیم، سرب و روی در سبزیجات پرورش یافته در حومه‌ای شهر شاهرود در استان سمنان نشان داد که میانگین غلظت کروم، سرب و کادمیم در سبزیجات بیش از استاندارد ارائه شده توسط سازمان جهانی بهداشت WHO و سازمان خواربار FAO برای گیاهان می باشد. پساب‌های شهری و صنعتی علت اصلی آلودگی سبزیجات پرورشی مزارع حومه شهر شاهرود به فلزات سنگین است (۲). هودجی و همکاران (۵) در تحقیق خود به این نتیجه رسیدند که غلظت نیکل و کادمیم در اندام‌های هوایی محصولات کشاورزی در حد تشخیص دستگاه جذب اتمی نبود ولی غلظت منگنز در اندام هوایی برنج ۷۱۶/۶ میلی گرم در کیلوگرم ماده خشک گیاهی بود (۵) که در مقایسه با استاندارد آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا (حدود ۱۰۰-۱۵ میلی گرم در کیلوگرم ماده خشک گیاهی) بالا بوده است (۲۱). کاو و همکاران (۸) در تحقیقی که روی نمونه‌های برنج و سبزیجات جیانکسو چین انجام دادند مشاهده کردند که میانگین غلظت کروم، مس، روی، کادمیم، جیوه و سرب در برنج ۰/۷۵، ۲/۶۴، ۱۲، ۰/۱۴، ۰/۰۰۶ و ۰/۰۵۴ میلی گرم بر کیلوگرم وزن خشک بود که همه مقادیر از مقدار استاندارد مورد نظر کمتر بودند و در سبزیجات به ترتیب ۰/۶۷، ۱/۱۸، ۴/۳۴، ۰/۱۱، ۰/۰۰۲ و ۰/۰۵۸ میلی گرم بر کیلوگرم وزن تر نمونه بود که فقط کروم از مقدار مجاز (۰/۵ میلی گرم بر کیلوگرم) بیشتر بود و سایر عناصر کمتر از مقدار توصیه شده بود. هانگ و همکاران (۱۳) تحقیقی ایالت چانگشو شرق چین خطرپذیری عناصر سنگین از طریق مصرف برنج برای کودکان و بزرگسالان به ترتیب ۱/۵۲۳ و ۱/۷۲۶ بود و مقدار THQ برای بزرگسالان و کودکان از مصرف برنج، به ترتیب $Cd > Hg > Pb > Zn > Cu$ و $Cr > As$ کاهش می یابد. نتایج نشان داد که خوردن مس، بیشترین تأثیرات سوء بر سلامتی و کروم کمترین

آلودگی خاک و محصولات کشاورزی به فلزات سنگین به طور گسترده‌ای در کشورهای مختلف جهان مورد مطالعه و ارزیابی قرار گرفته است. در میان آلاینده‌های محیط زیست، عناصر سنگین به علت خواص سمی و تجمع پذیری و هم چنین ماندگاری زیاد در بدن موجودات زنده دارای اهمیت ویژه‌ای هستند. این فلزات توسط خاک جذب شده و سبب آلودگی زمین‌های کشاورزی می شود و نهایتاً وارد چرخه خاک-گیاه-حیوان و انسان شده و ممکن است به حد آستانه سمی برای گیاه، حیوان یا انسان برسد. آلودگی خاک به عناصر سنگین باعث ورود آنها به زنجیره غذایی از طریق جذب به وسیله گیاه شده و ایجاد می نماید. اگرچه برخی از این عناصر در مقادیری ناچیز برای رشد گیاه لازم اند، ولی غلظت کمی بیشتر از حد آستانه آنها می تواند برای حیات گیاهی و جانوری خطرناک باشد. غلظت‌های زیاد فلزات سنگین در خاک باعث جذب زیاد آن به وسیله گیاه می گردد (۲۲). گیاهان مهم ترین مسیر انتقال فلزات سنگین به زنجیره غذایی انسان و چرخه‌های زیستی محسوب می شوند (۲۵).

چگونگی توزیع و محل انباشتگی این عناصر در بین اندام‌های گیاهی حائز اهمیت می باشد، زیرا توزیع آنها در اندام‌های مختلف یکنواخت نیست. معمولاً تجمع این عناصر در دانه و میوه کمتر از برگ و ریشه است از این رو توانمندی جابجایی و انتقال عناصر سنگین در گیاه به نوع عنصر، اندام گیاهی و سن آن بستگی دارد. سمرقندی و همکاران (۱) به این نتیجه رسیدند که اگر فرض شود تنها ورود سرب به بدن، از طریق مصرف سبزیجات باشد و در هفته، حداقل یک کیلوگرم سبزی توسط هر فرد مصرف شود مشاهده می شود که میانگین هفتگی سرب در سبزیجات آلوده، بیش از حد آستانه مقدار سرب در مواد غذایی می باشد (۱). در تحقیق دیگری عنوان شد که مصرف خوراکی اصلی ترین راه (بیشتر از ۹۰٪) مبتلا شدن به اثرات سوء فلزات سنگین در مقایسه با راه‌های دیگر مثل استنشاق و تماس پوستی است. وزن کم و ضریب هوشی پایین

شهرستان‌های مختلف استان اصفهان (اصفهان، زرین‌شهر، شاهین‌شهر، فلاورجان، نجف‌آباد و درچه) به‌طورکاملاً تصادفی صورت گرفت. محصولات کشاورزی برداشت شده شامل برنج (*Oryza Sativa*)، گندم (*Triticum spp*)، هویج (*Daucus Carota*)، پیاز (*Allium Cepa*) و سبزیجات برگی شامل: شوید (*Aniethum Graveolens*)، تره (*Allium Ampeloprasum*)، ریحان (*Persicum*)، ریحان (*Ocimum Basilicum*)، کاهو (*Lactuca Sativa*) و سیب‌زمینی (*Solanum Tuberosum L.*) بودند. از قسمت‌های خوراکی هر گیاه سه نمونه برداشت شد. نمونه‌ها پس از شستشو با آب مقطر، به مدت ۴۸ ساعت در خشک‌کن الکتریکی در دمای ۷۰ درجه سلسیوس تا رسیدن به وزن ثابت قرار داده شدند. برای عصاره‌گیری گیاه یک گرم از نمونه گیاه خشک در داخل بوتله چینی به مدت ۲ ساعت در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد کوره الکتریکی خاکستر شد. پس از افزودن ۱۰ میلی‌لیتر اسیدکلریدریک دو مولار و عبور از کاغذ صافی، عصاره‌گیری انجام شده (۶) و غلظت آرسنیک، سرب، نیکل، روی و مس در عصاره گیاه با دستگاه ICP اندازه‌گیری شد. برای محاسبه احتمال خطرپذیری افراد به بیماری‌های غیر سرطانی از فرمول ارائه شده توسط سازمان حفاظت از محیط زیست آمریکا (USEPA) استفاده شد (۲۳) به این ترتیب که ابتدا میزان جذب آلاینده از طریق ماده غذایی به ازای هر کیلوگرم از وزن بدن در روز با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد.

$$EDI = (CF \times IR \times FI \times EF \times ED) / (BW \times AT)$$

EDI: مقدار جذب روزانه آلاینده ($\mu\text{g kg}^{-1} \text{day}^{-1}$)

CF: غلظت آلاینده در غذا ($\mu\text{g kg}^{-1}$)

IR: میزان مصرف در روز (g day^{-1})

FI: مقدار آلاینده که از طریق غذا جذب بدن می‌شود. این ضریب بین ۰/۲۵ تا ۰/۴ متغیر می‌باشد. معمولاً برای محاسبه خطرپذیری از ضریب ۰/۴ که بدترین حالت را نشان می‌دهد استفاده می‌شود. در این مطالعه نیز این ضریب ۰/۴ در نظر گرفته شد.

تأثیرات را بر سلامتی انسان در هر دو گروه سنی خواهد داشت که این نشان‌دهنده این است که هر دو گروه سنی تعدادی اثرات نامطلوب برای سلامتی ناشی از عناصر سنگین را تجربه می‌کنند و در بین عناصر مورد مطالعه، مس، سرب و روی بیشترین مشارکت را در احتمال خطرپذیری کل را دارا می‌باشند (۱۳).

فروهگت و همکاران (۱۱) در بررسی خطر سلامتی عناصر سنگین را از مصرف سبزیجات، میوه‌جات و برنج رشد یافته در خاک‌های آبیاری شده با آب رودخانه ابرو در کاتولینای اسپانیا نشان دادند که هنگامی که غلظت حداقل عناصر را در مواد غذایی در نظر گرفته شود میزان احتمال خطرپذیری به عناصر سنگین در تمام گروه‌های سنی مورد مطالعه پایین می‌باشد. ولی هنگامی که حد بالایی غلظت عناصر سنگین را در مواد غذایی در نظر گرفته شود میزان احتمال خطرپذیری برای آرسنیک در گروه سنی کودکان برای دختران و پسران و مردان سالخورده بالا می‌باشد. امروزه با توجه به برخی از فاکتورها از جمله غلظت ماده آلاینده، مقدار مصرف در طول زمان، سن فرد مصرف‌کننده، وزن بدن و نظایر آن و نیز استفاده از برخی روابط و شیوه‌های ارائه شده توسط برخی سازمان‌های معتبر بین المللی می‌توان تا حدود زیادی میزان خطر ناشی از مصرف محصولات آلوده را برآورد نموده و در جهت کاهش اینگونه خطرات توصیه‌ها و هشدارهایی را به مصرف‌کنندگان ارائه نمود. هدف از این مطالعه بررسی غلظت عناصر Zn, Ni, Pb, As و Cu در محصولات مهم کشاورزی و تخمین خطر سلامت این عناصر با مصرف محصولات کشاورزی در استان اصفهان با استفاده معادلات ارائه شده ارزیابی خطر عناصر سنگین برای بیماری‌های غیرسرطانی و سرطانی توسط سازمان محیط زیست آمریکا (United State Environmental Protection Agency) می‌باشد.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری در تابستان ۱۳۸۹ از سبزی‌ها و محصولات کشاورزی آماده برای فروش در میادین میوه و تره بار

جدول ۱. غلظت عناصر سنگین در نمونه‌های گیاهی

غلظت عناصر ($\mu\text{g g}^{-1}$)					
Cu	Zn	Ni	Pb	As	گیاه
۴/۶±۱/۵	۲۷/۳±۴/۹	۰/۱۲±۰/۰۶	ND	۰/۳±۰/۰۲	گندم
۲/۵±۲/۲	۳۱/۶±۵/۸	۰/۲±۰/۰۹	۰/۱۵±۰/۰۱	ND	برنج
۷/۵±۲/۷	۱۲/۳±۲/۳	۰/۶±۰/۰۳	۰/۱±۰/۰۷	ND	هویج
۱۶/۱±۴/۵	۲۲/۱±۱/۷	۱/۱±۰/۰۳	۰/۶۱±۰/۰۴	ND	سبزیجات برگی
۹±۳/۳	۱۸/۸±۰/۸	۰/۶±۰/۰۲	۰/۲±۰/۰۱	۰/۵±۰/۰۴	پیاز
۴/۲±۱/۹	۱۱/۲ ±۷/۲	۰/۱۶±۰/۰۱۳	۰/۰۷±۰/۰۰۳	ND	سیب زمینی

ND: غلظت کمتر از حد تشخیص دستگاه

(HI) به یک برسد، نشان‌دهنده بالابودن احتمال خطرپذیری به بیماری‌های غیرسرطانی است (۲۲). با توجه به این‌که این نسبت خارج قسمت غلظت عناصر به حداکثر غلظتی از آن عنصر است که در بدن ایجاد مشکل نمی‌کند، رسیدن آن به یک و بالاتر از یک نشان‌دهنده احتمال بالای خطرپذیری می‌باشد.

$$HI = \sum_{n=1}^i THQ_n$$

برای محاسبه خطرپذیری به بیماری‌های سرطانی از فرمول زیر استفاده می‌شود.

$$\text{Risk} = \text{SF} \times \text{EDI}$$

SF: عامل شیب ($\text{mg kg}^{-1} \text{ day}^{-1}$)

EDI: مقدار جذب روزانه ($\text{mg kg}^{-1} \text{ day}^{-1}$)

نتایج و بحث

۱. غلظت عناصر سنگین در نمونه‌ها

غلظت مجاز توصیه شده As در گیاهان توسط سازمان جهانی بهداشت (WHO)، ۰/۷ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک گیاه می‌باشد (۳). جدول ۱ خلاصه از وضعیت آماری غلظت عناصر سنگین در نمونه‌های گیاهی مورد مطالعه را به تفکیک نشان می‌دهد. در این مطالعه از بین محصولات مورد بررسی غلظت آرسنیک در گندم و پیاز قابل تشخیص بود که به ترتیب این مقادیر ۰/۳ و ۰/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم بود و مقدار آنها پایین‌تر از غلظت مجاز توصیه شده توسط سازمان جهانی بهداشت (WHO) است.

EF: دفعات مصرف در سال را نشان می‌دهد (days years^{-1}).
ED: تعداد سال‌هایی را که از این ماده خوراکی استفاده می‌شود را نشان می‌دهد (Years). BW: وزن بدن (Kg) در این مطالعه دو گروه مردان و زنان بررسی قرار گرفت که به‌طور متوسط مقدار وزن مردان ۷۵ کیلوگرم و زنان ۶۲/۵ کیلوگرم در نظر گرفته شده است.

AT: از حاصل ضرب ED در تعداد روزهای سال به دست می‌آید (days)

سپس احتمال خطرپذیری (THQ) به بیماری‌های غیرسرطانی با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد.

احتمال خطرپذیری به بیماری‌های غیرسرطانی با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد.

$$THQ = EDI / RfD$$

THQ: احتمال خطرپذیری به بیماری‌های غیرسرطانی

Oral Reference Dose: 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 ($\text{mg kg}^{-1} \text{ day}^{-1}$) می‌باشد (۲۴).

مقدار خطرپذیری کل از حاصل جمع خطرپذیری تک‌تک عناصر با هم برای هر دو گروه مردان و زنان به دست می‌آید. هنگامی که نسبت خطرپذیری شاخص بیماری‌های غیرسرطانی

با مشکل تغذیه عناصر کم مصرف مانند آهن، روی، مس و منگنز روبه‌رو هستند. در این مطالعه غلظت کادمیم نمونه‌ها، کمتر از حد تشخیص دستگاه بود.

۲. میزان جذب روزانه عناصر سنگین در رژیم غذایی روزانه
سبزیجات، گندم و برنج بخش عمده‌ای از غذای روزانه مردم استان اصفهان و تمام ایران را تشکیل می‌دهد. مقدار مصرف غلات و سبزیجات مورد نظر (۲۰)، هم‌چنین جذب روزانه عناصر سنگین (EDI) در رژیم روزانه دو گروه مردان و زنان به صورت جداگانه در جدول ۲ ارائه شده است. مقدار کل جذب روزانه As, Pb, Ni, Zn و Cu برای مردان به ترتیب $۰/۵۷, ۰/۲۰, ۰/۶۶, ۷۱/۰۴, ۱۴/۰۶$ می‌باشد و این مقادیر این پارامتر برای زنان بیشتر از مردان است. میزان جذب قابل تحمل روزانه (Provisional Tolerable Daily Intake) طبق استاندارد آژانس حفاظت محیط زیست امریکا برای آرسنیک، سرب، نیکل، روی و مس به ترتیب $۲/۱۴, ۳/۵۷, ۷, ۱۰۰۰$ و ۵۰۰ می‌باشد (۱۲). میزان جذب روزانه هر یک از عناصر مورد مطالعه، پایین‌تر از میزان جذب قابل تحمل روزانه (PTDI) سفارش شده به وسیله WHO/FAO است.

۳. پتانسیل خطرپذیری عناصر سنگین

مقادیر پتانسیل خطرپذیری (THQ) هر یک از عناصر برای مواد غذایی برای افراد مصرف کننده در استان اصفهان در جدول ۳ نشان داده شده است. مقدار پتانسیل خطرپذیری آرسنیک از مصرف گندم در مردان و زنان بیشتر از یک می‌باشد. این نتایج نشان می‌دهد که احتمال خطر بیماری‌های غیرسرطانی از مصرف گندم در افراد مصرف کننده بالا می‌باشد. مقدار پتانسیل خطرپذیری بیماری‌های غیرسرطانی (THQ) برای مس، روی، نیکل و سرب برای همه مواد غذایی مورد مطالعه پایین‌تر از یک می‌باشد (جدول ۳) این موضوع نشان می‌دهد که خطر بیماری غیرسرطانی برای هر یک از عناصر به تنهایی از مصرف هر یک از مواد غذایی مورد مطالعه برای ساکنین مصرف کننده در استان

غلظت توصیه شده توسط سازمان جهانی بهداشت (WHO) برای سرب $۰/۳$ میلی‌گرم در کیلوگرم بیان شده است (۳). لذا میزان سرب موجود در سبزیجات برگی بالاتر از محدوده مجاز تعیین شده توسط سازمان جهانی بهداشت می‌باشد و بقیه نمونه‌های مورد مطالعه در محدوده مجاز قرار دارند. یکی از دلایل بالا بودن غلظت عناصر در سبزیجات برگی کشت آنها در محدوده شهرها و آبیاری به وسیله فاضلاب شهری دارای غلظت‌های زیاد از عناصر سنگین است (۲).

حد آستانه نیکل در غلات WHO برابر $۰/۶$ میلی‌گرم بر کیلوگرم تعیین شده است (۱۹ و ۱۶). حد مجاز نیکل در سبزیجات بر اساس WHO $۶۶/۷$ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش شده است (۱۵). میانگین غلظت نیکل در گندم، برنج، هویج، سبزیجات برگی، پیاز و سیب‌زمینی در محدوده مجاز توصیه شده توسط سازمان جهانی بهداشت (WHO) می‌باشد. هوانگ و همکاران (۱۴) دامنه غلظت نیکل در دانه گندم در کانشان چین بین $۰/۰۴$ تا $۰/۶۳$ میلی‌گرم در کیلوگرم در وزن خشک گزارش کردند (۱۴).

میانگین غلظت روی در گندم، برنج، هویج، سبزیجات برگی، پیاز و سیب‌زمینی کمتر از غلظت توصیه شده توسط سازمان جهانی بهداشت برای عنصر روی (۶۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) می‌باشد لذا غلظت روی موجود در نمونه‌ها در محدوده مجاز قرار دارد.

حداکثر غلظت مجاز مس در سبزیجات بر اساس WHO حداکثر غلظت مجاز مس ۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش شده است (۲۲). میانگین غلظت مس در گندم، برنج، هویج، سبزیجات برگی، پیاز و سیب‌زمینی مورد آزمایش در محدوده مجاز توصیه شده توسط سازمان جهانی بهداشت قرار دارد. کمبود روی یکی از شایع‌ترین کمبودهای عناصر غذایی کم مصرف در خاک‌های آهکی و قلیایی و مخصوصاً خاک‌های زیر کشت برنج به حساب می‌آید. علت اصلی آن کم بودن روی قابل استفاده در این خاک‌هاست. خاک‌های آهکی دارای واکنش قلیایی بوده در نتیجه بسیاری از گیاهان در این خاک‌ها

جدول ۲. میزان جذب روزانه عناصر سنگین مورد مطالعه

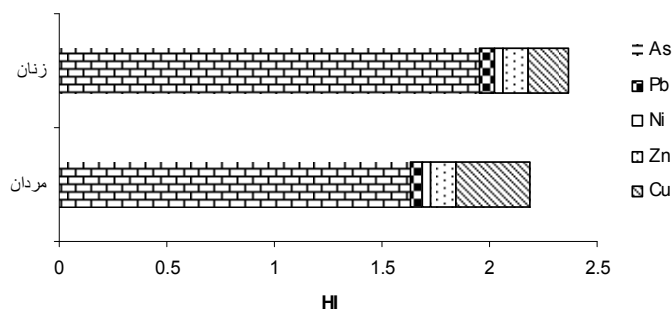
مقدار جذب روزانه عناصر سنگین ($\mu\text{g kg}^{-1} \text{ day}^{-1}$)					مقدار مصرف	
Cu	Zn	Ni	Pb	As	(g d^{-1})	
						مردان
۷/۴	۴۳/۷	۰/۱۹	-	۰/۴۸	۳۰۰	گندم
۱/۴	۱۸/۵	۰/۱۲	۰/۰۸	-	۱۱۰	برنج
۰/۸۶	۱/۴	۰/۰۷	۰/۰۱	-	۲۱/۵	هویج
۱/۷	۳/۵	۰/۱۱	۰/۰۳	۰/۰۹	۲۷/۳	پیاز
۲/۳	۴/۲	۰/۱۶	۰/۰۸	-	۳۵/۶	سبزیجات برگی
۰/۴	۱/۱	۰/۰۱	۰/۰۰۶	-	۱۸/۳	سیب زمینی
۱۴/۰۶	۷۱/۴	۰/۶۶	۰/۲۰	۰/۵۷	۵۱۲/۷	کل
						زنان
۸/۸	۵۲/۴	۰/۲۳	-	۰/۵۷	۳۰۰	گندم
۱/۸	۲۲/۲	۰/۱۴	۰/۱۰	-	۱۱۰	برنج
۰/۸۰	۱/۳	۰/۰۶	۰/۰۱	-	۱۶/۵	هویج
۱/۷	۳/۶	۰/۱۱	۰/۰۴	۰/۰۹	۱۹/۸	پیاز
۲/۰۴	۲/۸	۰/۱۴	۰/۰۸	-	۳۰/۱	سبزیجات برگی
۰/۳۳	۰/۹۰	۰/۰۱	۰/۰۰۶	-	۱۲/۵	سیب زمینی
۱۵/۵	۸۳/۲	۰/۶۹	۰/۲۳	۰/۶۶	۴۸۸/۹	کل

فاضلاب نشان داده‌اند که احتمال خطرپذیری برای عناصر روی، کروم و سرب از مصرف سبزیجات بالاست و در بین سبزیجات، سبزی‌های برگی دارای عناصر سنگین بالایی هستند.

۴. شاخص خطرپذیری

شاخص خطرپذیری (HI) برای ترکیبی از عناصر مواد غذایی مختلف را می‌توان محاسبه کرد. مقادیر HI از مصرف مواد غذایی برای مردان و زنان در استان اصفهان به ترتیب ۲/۶ و ۲/۹ می‌باشد. این نشان می‌دهد که مردان و زنان در معرض خطرات ناشی از بیماری‌های غیرسرطانی قرار دارند. همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده است، مقدار HI برای زنان از مصرف مواد غذایی بزرگ‌تر از مردان می‌باشد که نشان می‌دهد تأثیرات سوء بیماری‌های غیرسرطانی برای زنان بیشتر از مردان می‌باشد. میزان مشارکت نسبی برای Cu، As،

اصفهان وجود ندارد. مقدار پتانسیل خطرپذیری عناصر از مصرف مواد غذایی به ترتیب زیر برای مردان و زنان کاهش می‌یابد: $\text{Pb} > \text{As} > \text{Cu} > \text{Zn} > \text{Ni}$. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که در بین دو عنصر خطرناک آرسنیک و سرب، آرسنیک خطرناک‌تر از سرب است. هانگ و همکاران (۱۳) در بررسی ارزیابی خطر عناصر سنگین بر سلامت انسان از طریق مصرف برنج در ایالت چانگشو در شرق چین نشان دادند که مقدار THQ برای بزرگسالان و کودکان از مصرف برنج، به صورت $\text{Cu} > \text{Zn} > \text{Pb} > \text{Hg} > \text{Cd} > \text{As} > \text{Cr}$ کاهش می‌یابد (۱۳). عقیلی (۴) نیز احتمال خطرپذیری از مصرف محصولات گلخانه‌ای خیار، گوجه فرنگی، فلفل دلمه‌ای در شهر اصفهان برای گروه سنی کودکان، نوجوانان و بزرگسالان را به ترتیب ۲/۰۳، ۰/۶۷ و ۰/۴۵ برآورد کرد. چاری و همکاران (۹) در بررسی احتمال خطرپذیری عناصر سنگین در سبزیجات رشد یافته در زمین‌های آبیاری شده با



شکل ۱. مقدار HI برای دو گروه مردان و زنان

جدول ۳. خطرپذیری غیر سرطانی عناصر سنگین

THQ					
Cu	Zn	Ni	Pb	As	
					مردان
$1/8 \times 10^{-1}$	$1/4 \times 10^{-1}$	95×10^{-4}	-	$1/6$	گندم
$3/6 \times 10^{-2}$	$6/2 \times 10^{-2}$	6×10^{-3}	2×10^{-2}	-	برنج
$2/5 \times 10^{-2}$	$4/7 \times 10^{-3}$	35×10^{-4}	25×10^{-4}	-	هویج
$4/2 \times 10^{-2}$	$1/1 \times 10^{-2}$	55×10^{-4}	75×10^{-4}	3×10^{-1}	پیاز
$5/7 \times 10^{-2}$	$1/4 \times 10^{-2}$	8×10^{-3}	2×10^{-2}	-	سبزیجات برگی
$1/02 \times 10^{-2}$	$3/6 \times 10^{-3}$	5×10^{-3}	15×10^{-4}	-	سیب زمینی
					زنان
$2/21 \times 10^{-1}$	$1/75 \times 10^{-1}$	$1/1 \times 10^{-2}$	-	$1/9$	گندم
$4/4 \times 10^{-2}$	$7/42 \times 10^{-2}$	$7/04 \times 10^{-3}$	$2/9 \times 10^{-2}$	-	برنج
$1/9 \times 10^{-2}$	$4/33 \times 10^{-3}$	$3/17 \times 10^{-3}$	$2/9 \times 10^{-3}$	-	هویج
$4/3 \times 10^{-2}$	$1/21 \times 10^{-2}$	$5/7 \times 10^{-3}$	$1/1 \times 10^{-2}$	$3/1 \times 10^{-1}$	پیاز
$5/1 \times 10^{-2}$	$9/3 \times 10^{-3}$	$6/9 \times 10^{-3}$	$2/17 \times 10^{-2}$	-	سبزیجات برگی
$8/4 \times 10^{-3}$	$2/99 \times 10^{-3}$	$6/4 \times 10^{-4}$	$1/5 \times 10^{-3}$	-	سیب زمینی

آرسنیک بالاترین مشارکت را در مقدار HI داشته است. اگرچه مصرف روزانه عناصر سمی ناشی از مصرف مواد غذایی یکی از مهم‌ترین مسیرهای در معرض قرارگیری انسان در برابر عناصر سنگین می‌باشد، در مطالعات بسیاری گزارش شده است که انسان از طریق مصرف سایر مواد غذایی از جمله گوشت، ماهی، تخم‌مرغ، میوه، ماهی و شیر نیز در معرض عناصر سنگین قرار می‌گیرد. علی‌رغم این‌که توجه کمتری به

Pb و Ni Zn به ترتیب برابر با ۰.۷۴٪، ۰.۱۴٪، ۰.۹٪ و ۰.۳٪ برای مردان و ۰.۷۵٪، ۰.۱۳٪، ۰.۹٪، ۰.۱٪ و ۰.۲٪ برای زنان می‌باشد. بنابراین As و Cu از جمله عناصر مهم در پتانسیل خطرپذیری بیماری‌های غیرسرطانی در مردان و زنان است. سونگ بو و همکاران (۷) ارزیابی ریسک برای ساکنان پکن چین از طریق مصرف سبزیجات انجام دادند. نتایج آنها نشان داد که در بین هفت عنصر مورد مطالعه (Zn و As, Cr, Cu, Ni, Pb, Cd)

جدول ۴. خطرپذیری سرطانی آرسنیک و سرب

زنان		مردان		
Pb	As	Pb	As	
-	85×10^{-5}	-	72×10^{-5}	گندم
85×10^{-6}	-	6×10^{-6}	-	برنج
85×10^{-7}	-	85×10^{-7}	-	هویج
34×10^{-6}	13×10^{-5}	25×10^{-6}	13×10^{-5}	پیاز
6×10^{-6}	-	6×10^{-6}	-	سبزیجات برگی
51×10^{-7}	-	51×10^{-7}	-	سیب زمینی

۵. خطر پذیری سرطانی آرسنیک و سرب

در مورد احتمال خطرپذیری به بیماری‌های سرطانی سطح پائین ولی قابل قبول برای خطرناک بودن منابع آلاینده برای سلامت انسان 1×10^{-6} ، سطح متوسط 1×10^{-5} و سطح بسیار خطرناک 1×10^{-4} می‌باشد (بدین معنا که بین ۱۰۰۰۰ نفر ۱ نفر احتمال دارد به سرطان مبتلا شود). با توجه به این که در این مطالعه ضریب تعیین شده موثر برای آرسنیک و سرب $1/5$ و $8/5 \times 10^{-3}$ میلی گرم به ازای هر کیلوگرم وزن بدن در روز در نظر گرفته شده است (۲۴). شاخص خطر پذیری سرطانی آرسنیک و سرب برای هر دو گروه مورد مطالعه مردان و زنان در جدول (۴) به تفسیر آورده شده است. در بین نمونه‌های مورد آزمایش خطرپذیری سرطانی آرسنیک به واسطه مصرف گندم نسبت به پیاز بیشتر است و احتمال خطرپذیری به بیماری‌های سرطانی برای این عنصر در سطح متوسط می‌باشد. همچنین این پارامتر برای عنصر سرب در هر دو گروه مورد مطالعه در سطح پایین می‌باشد.

۶. میزان تأمین عناصر مفید برای سلامت مصرف کننده از

مصرف غلات و سبزیجات

مقدار ورود عناصر نیکل، روی و مس به بدن از طریق مصرف غلات و سبزیجات مورد مطالعه در استان اصفهان برای دو گروه مردان و زنان در جدول ۵ نشان داده شده است و همچنین

ورود عناصر سنگین از طریق بلع و تنفس خاک و نیز تماس پوستی به عمل آمده، لیکن این روش‌ها نیز می‌توانند تا حدودی حائز اهمیت باشند. در حقیقت پتانسیل خطرپذیری گزارش شده، به بیماری‌های غیر سرطانی خیلی بالاتر از میزان محاسبه شده آن در این تحقیق می‌باشد. از این گذشته، در محاسبه پتانسیل خطرپذیری عناصر سنگین گروه‌های مختلف سنی و جنسی به عنوان مثال سالخوردگان، کودکان، زنان باردار، بیماران و نوجوانان و کسانی که احتمالاً نسبت به آلاینده‌ها و یا اثرات بیماری‌های سرطانی و غیرسرطانی آسیب‌پذیرتر هستند، در نظر گرفته نشده است. یافته‌های خان و همکاران (۱۶) در بررسی احتمال خطرپذیری عناصر سنگین از مصرف سبزی در شمال پاکستان گزارش کردند که مصرف سبزی‌های رشد کرده در منطقه مورد مطالعه می‌تواند موجب اثرات سوء بر سلامتی انسان شود، مخصوصاً سرب در بزرگسالان و عناصر کادمیم، مس و سرب در گروه سنی کودکان باعث بروز اثرات سوء بر سلامتی می‌شود. این محققان همچنین نشان دادند که خطر سلامتی عناصر سنگین در کودکان بیشتر از بزرگسالان در منطقه مورد مطالعه است (۱۶). مطالعه زانگ و همکاران (۲۶) در بررسی خطر سلامت عمومی ناشی از عناصر سنگین از مصرف مواد غذایی در منطقه صنعتی در چین نشان دادند که مقادیر شاخص خطرپذیری کل برای دو گروه سنی بزرگسالان و کودکان مورد مطالعه به ترتیب ۳/۱۱ و ۲/۸۲ به دست آمد (۲۶).

جدول ۵. مقدار خوردن عناصر سنگین از مصرف غلات و سبزیجات

میزان خوردن روزانه عناصر (میلی گرم در روز)		
Cu	Zn	Ni
مردان		
۱/۳۸	۸/۱۹	۰/۰۴
۰/۲۷	۳/۵	۰/۰۲
۱/۲	۲/۶	۰/۱۵
زنان		
۱/۳۸	۸/۱۹	۰/۰۴
۰/۲۷	۳/۵	۰/۰۲
۰/۹۵	۲/۱	۰/۱۱

جدول ۶. مقدار مجاز مصرف عناصر سنگین در روز (۱۲)

RDA (mg day ⁻¹)		
عناصر	مردان	زنان
Ni	۰/۷-۱	۰/۶-۱
Zn	۹-۱۱	۶-۸
Cu	۰/۷۵-۰/۹	۰/۷۵-۰/۹

و ۲۳ درصد روی مورد نیاز بدن از طریق مصرف سبزیجات ذکر شده خواهد بود. میزان ورود مس از طریق مصرف گندم و سبزیجات در مردان بیش از حد توصیه شده می باشد. در گروه زنان با فرض مصرف ۳۰۰ گرم در روز گندم ۴ درصد از نیکل مورد نیاز از طریق مصرف این محصول تامین می شود. میزان ورود روی و مس از این طریق بیش از حد سفارش شده می باشد. اگر فرض شود ۱۱۰ گرم برنج در روز توسط زنان مصرف شود ۲ درصد نیکل، ۴۳ درصد روی و ۳۰ درصد مس مورد نیاز بدن از این طریق تامین می شود. همچنین اگر فرض شود سبزیجات مصرفی در روز ۸۰ گرم باشد ۱۱ درصد نیکل و ۲۶ درصد روی مورد نیاز بدن زنان از این طریق تامین می شود.

مقدار مجاز مصرف (Recommended Dietary Allowances) برای هر گروه در جدول ۶ ارائه شده است. برای محاسبه مقدار ورود عناصر به بدن از معادله $DI = FIR \times C$ استفاده شد که در آن DI مقدار ورود روزانه عناصر به بدن، FIR میزان مصرف روزانه برنج، گندم و سبزیجات مورد نظر و C میانگین غلظت عناصر است. با فرض مصرف ۳۰۰ گرم در روز گندم، ۷۴ درصد از روی مورد نیاز بدن مردان و ۴ درصد نیکل از طریق مصرف گندم تامین می شود. اگر فرض شود مردان ۱۱۰ گرم در روز برنج مصرف کنند میزان تامین نیکل، روی و مس مورد نیاز بدنشان از طریق مصرف این محصول به ترتیب ۲، ۳۱ و ۳۰ درصد خواهد بود. اگر فرض شود میزان مصرف مجموع سبزیجات مورد نظر ۱۰۲ گرم در روز باشد ۱۵ درصد نیکل

نتیجه گیری

آرسنیک برای مردان و زنان از مصرف گندم بالای یک می باشد که احتمال بروز آثار سوء بیماری های غیرسرطانی ناشی از این عنصر برای افراد مصرف کننده در استان اصفهان را افزایش می دهد ولی پتانسیل خطرپذیری سایر عناصر مورد مطالعه به تنهایی کمتر از یک می باشد. شاخص خطرپذیری برای مردان و زنان به ترتیب ۲/۶ و ۲/۹ می باشد که نشان دهنده اثرات سوء بیماری های غیرسرطانی عناصر سنگین از مصرف محصولات کشاورزی مورد مطالعه می باشد.

میانگین غلظت As و Pb ، Zn ، Cu ، Ni در همه محصولات مورد مطالعه در محدوده مجاز غلظت فلزات سنگین ارائه شده توسط سازمان جهانی بهداشت می باشند. میزان کل جذب روزانه As و Pb ، Zn ، Cu ، Ni از محصولات کشاورزی مورد مطالعه برای مردان به ترتیب ۰/۶۶، ۱۴/۰۶، ۷۱/۴، ۰/۲ و ۰/۵۷ و برای زنان به ترتیب ۰/۶۹، ۱۵/۵، ۸۳/۲، ۰/۲۳ و ۰/۶۶ میکروگرم بر کیلوگرم است. میزان پتانسیل خطرپذیری عنصر

منابع مورد استفاده

۱. سمرقندی، م.ر.، م. کریم پور و غ. ح. صدری. ۱۳۷۵. بررسی مقدار فلزات سنگین موجود در سبزیجات پرورشی با آب های آلوده به این فلزات در حومه شهر همدان. مجله دانشکده علوم پزشکی و خدمات بهداشتی، سبزوار(اسرار): ۱: ۴۵-۵۳
۲. ناظمی، س.، ع. عسگری و م. راعی. ۱۳۸۹. بررسی مقدار فلزات سنگین در سبزیجات پرورشی حومه شهر شاهرود. مجله سلامت و محیط ۳: ۱۹۵-۲۰۲.
۳. صلحی، م.، م. ج. ملکوتی و س. سماواتی. ۱۳۸۴. پراکنش و غلظت مجاز فلزات سنگین در چرخه حیات. نشریه فنی موسسه تحقیقات آب و خاک، تهران ۴۷۰: ۲۱-۲۵.
۴. عقیلی، ف. ۱۳۸۶. وضعیت تغذیه ای و کیفیت میوه گوجه فرنگی، فلفل دلمه ای و خیار گلخانه های اصفهان. پایان نامه کارشناسی ارشد خاک شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان ۱۵۲ صفحه.
۵. هودجی، م. و ا. جلالیان. پراکنش نیکل، منگنز و کادمیوم در خاک و محصولات کشاورزی در منطقه استقرار مجتمع فولاد مبارکه. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۸(۳): ۵۵-۶۵.
6. Black, C. A., D. D. Evans, J. L. White, L. E. Ensminger and F. E. Clark. 1965. Methods of Soil Analysis: Part 2. Madison, WI: ASA.
7. Bo, S., L. Mei, C. Tongbin, Z. Yuanming, X. Yunfeng, L. Xiaoyan and G. Ding. 2009. Assessing the health risk of heavy metals in vegetables to the general population in Beijing, China. J. Environ. Sci. 21: 1702-1709.
8. Cao, H., J. Chen, J. Zhang, H. Zhang, L. Qiao and Y. Men. 2010. J. Environ. Sci. 22(11):1792-1799.
9. Chary, N. S., C. T. Kamala and D. S. S. Raj. 2008. Assessing risk of heavy metals from consuming food grown on sewage irrigated soils and food chain transfer. Ecotoxi. Environ. Saf. 69: 513-524.
10. FAO/WHO. 2001. Report on the 32nd Session of the Codex Committee on Food Additives and Contaminants, ALINORM 01/12, Beijing, China, 20-24 March 2000. Joint FAO/WHO Food Standard Programme, Codex Alimentarius Commission, 24th Session, 2-7 July, Geneva, Switzerland .
11. Ferré-Huguet, N., R. Marti-Cid, M. Schuhmacher and J. L. Domingo. 2008. Risk assessment of metals from consuming vegetables, fruits and rice grown on soils irrigated with waters of the Ebro river in Catalonia, Spain. Biol. Trace Elem Res. 123: 66-79.
12. Food and Nutrition Board. 2004. Dietary reference intakes (DRIs) Recommended intakes for individuals. Institute of Medicine, National Academy of Sciences.
13. Hang, X., H. Wang, J. Zhou, C. Ma, C. Du and X. Chen. 2009. Risk assessment of potentially toxic element pollution in soils and rice (*Oryza sativa*) in a typical area of the Yangtze River Delta. Environ. Pollut. 157: 2542-2549.
14. Huang, M., S. Zhou, B. Sun and Q. Zhao. 2008. Heavy metals in wheat grain: Assessment of potential health risk for inhabitants in Kunshan, China Sci. Total Environ. 405: 54 - 61.

15. Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. Summary and conclusions, 53rd. Meeting. Rome: Joint FAO/WHO; 1999. Technical Report.
16. Khan, S., S. Rehman, A. Z. Khan, M. A. Khan and M. T. Shah. 2010. Soil and vegetables enrichment with heavy metals from geological sources in Gilgit, northern Pakistan. *Ecotoxi. Environ. Safe.* 73: 1820-1827.
17. Lee, C. S., X. Li, W. Shi, S. C. Cheung and I. Thornton. 2006. Metal contamination in urban, suburban and country park soils of Hong Kong: a study based on GIS and multivariate statistics. *Sci. Total Environ.* 356: 45-61.
18. Loutfy, N., M. Fuerhacker, P. Tundo, S. Raccanelli, A.G. EL-Dien and M.T. Ahmed. 2006. Dietary intake of dioxins and dioxins-like PCBs, due to the consumption of dairy products, fish/seafood and meat from Ismailia city, Egypt. *Sci Total Environ.* 370: 1-8.
19. National Environmental Protection Agency of China. 2001. Safety Quality Standard for Non-Environmental Pollution Vegetable (GB/T 18407.1-2001).
20. Mohammadifard, N., N. Omidvar and A. H. Rad. 2006. Does fruit and vegetable intake differ in adult females and males in Isfahan. *ARYA J.* 1:193-201.
21. Pais, I. J. and Jr. Benton Jones. 1997. *The Handbook of Trace Elements.* St. Lucie Press Boca Raton Pub., Florida.
22. Street, J. J. , W. L. Lindzay, B. R. Sabey. 1977. Solubility and cplant uptake of cadmium in soils amended with cadmium and sewage sludge. *J. Environ. Qual.* 1: 72-77.
23. USEPA (US Environmental Protection Agency). 1992. Guidelines for exposure assessment. Available at <http://www.epa.gov/ncea/pdfs/guidline.pdf>.
24. USEPA. (US Environmental Protection Agency). 2000. Risk-Based Concentration Table. Office of Health and Environmental Assessment, Washington, DC, USA.
25. Winsor, G.W. 1973. *Nutrition In the U. K. Tomato manual.* Grower books, London.
26. Zheng, N., Q. Wang and D. Zheng. 2007. Health risk of Hg, Pb, Cd, Zn, and Cu to the inhabitants around Huludao Zinc Plant in China via consumption of vegetables. *Sci. Total Environ.* 383: 81-89.