

ارزیابی خطر ناشی از مس و روی در گندم، برنج و خاک اطراف معدن ایرانکوه اصفهان

مهنوش برین^۱ و *الهام چاوشی^۲

^۱ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران،

^۲ استادیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران

تاریخ دریافت: ۹۵/۱/۲۵؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۱/۲۶

چکیده

سابقه و هدف: مس و روی گرچه جزء عناصر کم‌مصرف ضروری برای انسان هستند ولی افزایش جذب این دو عنصر باعث ایجاد بیماری‌های مختلف در انسان می‌شود. بنابراین تعیین غلظت مس و روی در محصولات کشاورزی و ارزیابی تأثیر آن‌ها بر سلامت انسان ضروری به نظر می‌رسد. این پژوهش با هدف تعیین غلظت مس و روی در گندم و برنج کشت‌شده در اطراف معدن ایرانکوه و ارزیابی ضریب خطرپذیری (HQ) ناشی از این دو عنصر بر سلامت انسان در استان اصفهان انجام شد.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش از خاک و محصولات عمده زراعی منطقه شامل گندم و برنج نمونه‌برداری شد. نمونه‌برداری به صورت تصادفی و مرکب از ده مزرعه گندم و ده مزرعه برنج انجام شد. از هر گیاه (برنج و گندم) و از خاک سطحی (عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متری خاک) در هر مزرعه ۳ نمونه مرکب و به صورت تصادفی برداشته شد.

یافته‌ها: غلظت کل مس و روی در خاک مورد مطالعه به ترتیب ۲۸/۶۲ و ۲۶۹/۷۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم به دست آمد. میانگین غلظت مس در دانه برنج و گندم به ترتیب ۱۱/۸۴ و ۸/۴۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم و برای روی به ترتیب ۹۲/۸۲ و ۲۹/۰۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم به دست آمد. جذب روزانه مس و روی به ترتیب ۳۴/۰۵ و ۲۱۴/۴۳ میکروگرم بر کیلوگرم وزن بدن در روز برای بزرگسالان (میانگین سنی ۱۸-۳۵ سال)، ۳۲/۱۷ و ۱۹۹/۶ میکروگرم بر کیلوگرم وزن بدن در روز برای کودکان (کوچک‌تر از ۷ سال) برآورد شد. این مقادیر کم‌تر از میزان مجاز ورود مس و روی به بدن انسان بر طبق استاندارد جهانی WHO (۱۹۹۳) می‌باشد که به ترتیب ۴۰ و ۳۰۰ میکروگرم بر کیلوگرم وزن بدن در روز گزارش شده است. مس و روی جذب شده از طریق تماس پوستی با خاک در حالت بیشینه برای کودکان و افراد بالغ به ترتیب $9/44 \times 10^{-4}$ و $1/03 \times 10^{-4}$ میکروگرم بر کیلوگرم وزن بدن در روز برای مس و به ترتیب $8/9 \times 10^{-3}$ و $9/84 \times 10^{-4}$ میکروگرم بر کیلوگرم وزن بدن در روز برای روی به دست آمد. همچنین جذب از طریق استنشاق مس و روی موجود در ذرات معلق خاک در حالت بیشینه برای کودکان و افراد بالغ به ترتیب $1/4 \times 10^{-5}$ و $7/6 \times 10^{-6}$ میکروگرم بر کیلوگرم وزن بدن در روز برای مس و به ترتیب $1/32 \times 10^{-4}$ و $7/19 \times 10^{-5}$ میکروگرم بر کیلوگرم وزن بدن در روز برای روی به دست آمد. این اعداد از مقدار مبنای جذب از طریق پوست و استنشاق که برای مس و روی به ترتیب ۰/۴ و ۳ میکروگرم بر کیلوگرم وزن بدن در روز می‌باشد، بسیار کم‌تر است.

* مسئول مکاتبه: chavoshie@yahoo.com

نتیجه گیری: در مجموع نتایج این مطالعه نشان داد که ضرائب خطرپذیری برای مس و روی از طریق مسیره‌های مطالعه شده کم‌تر از یک می‌باشد و احتمال ابتلا به بیماری‌های غیرسرطانی از این مسیره‌ها برای مصرف‌کنندگان وجود ندارد.

واژه‌های کلیدی: مس، روی، معدن، ضریب خطرپذیری

مقدمه

تجمع بیش از حد فلزات سنگین در خاک‌های اراضی کشاورزی اطراف معدن و در نتیجه افزایش جذب فلزات سنگین توسط محصولات غذایی یکی از بزرگ‌ترین نگرانی‌هایی است که در سال‌های اخیر به آن توجه شده است زیرا باعث تأثیر بر سلامت ساکنان محلی و مصرف‌کنندگان این محصولات می‌شود (۱۰، ۱۳ و ۱۵). این عناصر از مسیره‌های خوردن و آشامیدن، استنشاق ذرات معلق و تماس پوست با آب و خاک آلوده جذب بدن می‌شوند و در صورتی که در بدن متابولیسم نشوند به صورت سمی در می‌آیند و در بافت نرم بدن ذخیره می‌شوند (۴، ۵ و ۱۲).

ارزیابی خطر^۱ فلزات سنگین در چهار مرحله انجام می‌شود: ۱- تشخیص خطر ۲- ارزیابی مقدار مینا ۳- ارزیابی راه‌های تماس ۴- توصیف خطر. در مرحله اول اثرات زیان‌بار مواد شیمیایی برای سلامت انسان، تشخیص داده می‌شود. در مرحله دوم سطح مینا (RfD)^۲ برای بیماری‌زا بودن عناصر تعیین می‌شود. در مرحله سوم راه‌های مختلف تماس با مواد شیمیایی یعنی جذب از مسیر خوردن، جذب از مسیر پوست و استنشاق ذرات معلق بررسی می‌شود. در مرحله چهارم ضریب خطرپذیری^۳ ناشی از این سه مسیر با روابط مربوطه محاسبه می‌گردد (۱۹، ۲۱ و ۲۲).

در همین زمینه تریپاتی و همکاران (۱۹۹۷) مطالعه‌ای برای ارزیابی خطر ناشی از فلزات سنگین بر سلامت انسان انجام دادند (۱۷). نتایج آن‌ها نشان داد که خوردن محصولات آلوده نقش مهم‌تری در جذب فلزات سنگین نسبت به استنشاق هوای آلوده دارد. پژوهش‌های ترکدوگان و همکاران (۲۰۰۲) نیز نشان داد که افزایش شیوع سرطان دستگاه گوارش در منطقه وان ترکیه مربوط به غلظت بالای فلزات سنگین در خاک، میوه و سبزیجات است (۱۸). همچنین مطالعات انجام‌شده توسط لیو و همکاران (۲۰۰۵)، کاپچنکو و سینگ (۲۰۰۶) و ژو و همکاران (۲۰۱۵) نشان داد که آلودگی محصولات به فلزات سنگین در مناطق اطراف اطراف معدن باعث به خطر افتادن سلامت ساکنان محلی منطقه شده است (۷، ۱۱ و ۲۷). یافته‌های خان و همکاران (۲۰۱۰) نیز در بررسی ضرائب خطرپذیری عناصر سنگین ناشی از مصرف سبزی در شمال پاکستان نشان داد که مصرف سبزی‌های آلوده می‌تواند موجب اثرات سوء بر سلامتی انسان شود (۸). این پژوهشگران همچنین بیان کردند که سلامت کودکان در اثر جذب عناصر سنگین بیش‌تر از بزرگسالان در منطقه مورد مطالعه در معرض تهدید است (۸).

مطالعه دیگری در اراضی اطراف معدنی در جنوب چین نشان داد که غلظت فلزات سنگین در خاک زیر کشت برنج و باغ بیش از حداکثر غلظت مجاز برای خاک کشاورزی در چین است و این خاک شدیداً

1- Risk assessment
2- Reference Dose
3- Hazard Quotient

ورود این فلزات به بدن انسان از راه‌های ذکر شده، برای سلامت انسان انجام شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: معدن سرب و روی ایرانکوه به‌عنوان سومین معدن بزرگ سرب و روی ایران در منطقه ایرانکوه در فاصله ۲۰ کیلومتری جنوب‌غربی استان اصفهان در محدوده طول‌های جغرافیایی ۵۱ درجه و ۳۱ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۴۵ دقیقه و عرض‌های جغرافیایی ۳۲ درجه و ۲۸ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۳۷ دقیقه واقع شده است. حداقل ارتفاع محدوده از سطح دریا برابر ۱۶۷۰ متر و حداکثر برابر ۲۷۵۰ متر است. آب و هوای منطقه معتدل و میزان بارندگی به‌طور متوسط ۵۰ میلی‌متر در سال است و در همه فصول سال می‌توان در معدن فعالیت نمود. بافت خاک از نوع رسی می‌باشد. شرکت باما در سال ۱۳۳۱ مطالعات اکتشافی را در این منطقه انجام داده است و از سال ۱۳۳۲ بهره‌برداری معدن آغاز شد.

نمونه‌برداری خاک و گیاه: در این پژوهش نمونه‌برداری به‌صورت تصادفی انجام شد. بدین‌صورت که ۱۰ مزرعه برنج و ۱۰ مزرعه گندم در اطراف معدن در فاصله حدود ۱ الی ۵ کیلومتری از معدن انتخاب شد. از هر گیاه (برنج و گندم) و از خاک سطحی (عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متری خاک) در هر مزرعه ۳ نمونه مرکب و به‌صورت تصادفی برداشته شد. نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل شده و پس از شستن، بخش خوراکی گیاه جدا شد.

تجزیه آزمایشگاهی خاک: برای اندازه‌گیری غلظت کل عناصر سنگین موجود در خاک، ابتدا خاک از الک ۲۳۰ مش رد شد. یک گرم از خاک موردنظر وزن شد و به آن ۲۰ میلی‌لیتر مخلوط اسید نیتریک و اسید کلریدریک با نسبت ۳ به ۱ اضافه گردید. این مخلوط به‌مدت ۲۴ ساعت باقی ماند. بعد از آن نمونه‌ها

توسط عناصر مس، سرب، روی و کادمیوم آلوده شده است (۲۸). در این مطالعه میزان جذب روزانه (EDI)^۱ و ضریب کل خطرپذیری (THQ)^۲ برای کادمیوم و سرب در برنج و سبزیجات بیش از حد مجاز FAO/WHO به‌دست آمد که نشان‌دهنده آلودگی محصولات غذایی کشت‌شده در اطراف معدن به فلزات سنگین بود (۲۸). در پژوهش دیگری در جنوب چین برای تعیین غلظت عناصر سرب، کادمیوم، مس، روی، کروم و نیکل در دانه گیاه سویای کشت‌شده در نزدیکی معدن داباوشان (Dabaoshan) مشاهده شد که دانه‌های سویایی که در مجاورت معدن کشت شده‌اند، دارای تجمع برخی از فلزات هستند. همچنین کاهش غلظت فلزات سنگین در دانه سویا با افزایش فاصله از معدن مشاهده شد (۲۶).

در ایران نیز یگانه (۲۰۱۲) نشان داد به‌دلیل غلظت بالای فلزات در دانه‌های گندم و نرخ بالای مصرف گندم در مقایسه با سایر گیاهان زراعی، ضریب خطرپذیری محاسبه شده برای مصرف گندم بیش‌تر از سایر موادی است که از طریق خوردن وارد بدن می‌شوند (۲۵). مطالعات مختلف نشان می‌دهد که مصرف محصولات کشاورزی آلوده به فلزات سنگین خطرات جدی برای سلامت انسان در پی دارد (۱۰ و ۱۶). با این وجود اطلاعات محدودی درباره آلودگی محصولات کشت‌شده به فلزات سنگین، در اراضی کشاورزی اطراف معدن در ایران وجود دارد. بنابراین این مطالعه با هدف بررسی میزان جذب فلزات سنگین روی و مس به بدن انسان از طریق مصرف محصولات کشاورزی مانند برنج و گندم کشت‌شده در زمین‌های کشاورزی اطراف معدن سرب و روی ایرانکوه، میزان جذب این فلزات از طریق پوست و استنشاق ذرات معلق و همچنین ارزیابی خطر ناشی از

1- Estimated daily intake
2- Total hazard Quotient

برنج) به‌زای هر کیلوگرم از وزن بدن در روز با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود (۲۰):

$$EDI = \frac{C \times IR \times EF \times ED \times AF \times CF}{(BW \times AT)}$$

که در آن، EDI میزان جذب روزانه (میکروگرم بر کیلوگرم وزن بدن در روز)، C غلظت عنصر در غذا (میلی‌گرم بر کیلوگرم) که برای دو فلز مس و روی در جدول ۱ ارائه شده است، IR^۱ میزان مصرف غذا در هر وعده (میلی‌گرم در روز). میزان مصرف روزانه غلات و بلع غیرارادی خاک برای دو گروه سنی کودکان و افراد بالغ برای دو مقدار میانگین (CTE)^۳ و حداکثر (RME)^۴ در نظر گرفته شده است. این مقادیر از داده‌های آژانس محیط زیست آمریکا (۲۲) و محمدی‌فرد و همکاران (۲۰۰۶) استخراج گردید (۱۴) که در جدول ۱ ارائه شده است، EF^۵ دفعات مصرف در سال را نشان می‌دهد که در این مطالعه ۳۶۵ روز در سال در نظر گرفته شد (روز بر سال)، ED^۶ تعداد سال‌هایی که از این ماده خوراکی استفاده می‌شود را نشان می‌دهد که در این مطالعه برای کودکان ۳ سال و برای افراد بالغ ۲۷ سال در نظر گرفته شد (سال)، AF^۷ فاکتور جذب (بدون واحد) نیز ۱۰۰ درصد در نظر گرفته شد (۱). CF^۸ فاکتور تبدیل (۱۰^{-۶}) کیلوگرم بر میلی‌گرم، BW^۹ وزن بدن (کیلوگرم) برای کودکان (میانگین وزن پسران از ۱ تا ۶ سال) و افراد بالغ (میانگین وزن زنان ۱۸-۳۵ سال) به‌ترتیب ۱۶/۹۵ و ۶۲/۵ کیلوگرم در نظر گرفته شد (۱۴ و ۲۱)، AT^{۱۰} از

به‌مدت چند ساعت روی حمام بخار در دمای ۸۵ الی ۱۰۰ درجه سلسیوس گذاشته شد. بعد از برداشتن نمونه‌ها، به آن‌ها چند میلی‌لیتر آب اکسیژنه برای حذف ماده آلی اضافه شد و پس از گذشت چند دقیقه نمونه‌ها برای ادامه هضم بر روی حمام بخار قرار داده شد. هضم خاک تا زمان بی‌رنگ شدن نمونه‌ها و خروج بخار قهوه‌ای رنگ از ظرف ادامه یافت. پس از خنک شدن نمونه‌ها و صاف کردن آنها با کاغذ صافی واتمن ۴۲، نمونه‌ها در بالن ۱۰۰ میلی‌لیتر به حجم رسانده شد (۳).

تجزیه آزمایشگاهی گیاه: برای اندازه‌گیری غلظت کل عناصر سنگین موجود در دانه گیاه، ابتدا گیاه را از الک ۱۰۰ مش عبور داده و به ۰/۲ گرم از گیاه موردنظر ۳ میلی‌لیتر اسید نیتریک اضافه شد. سپس به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. پس از سرد شدن مقدار ۲ میلی‌لیتر آب اکسیژنه اضافه کرده و داخل آون به‌مدت یک ساعت با درجه حرارت ۶۰ سانتی‌گراد و بعد از آن به‌مدت ۸ ساعت با درجه حرارت ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. در نهایت عصاره‌ها توسط کاغذ صافی واتمن ۴۲ در بالن ۲۵ میلی‌لیتر به حجم رسید (۳). غلظت کل عناصر روی و مس توسط دستگاه جذب اتمی پریکین المر (مدل ۸۰۰) اندازه‌گیری شد.

ارزیابی خطر: ارزیابی خطر ناشی از ورود مس و روی به بدن از مسیرهای خوردن و آشامیدن، استنشاق ذرات معلق و جذب پوستی توسط فرمول‌های مشخص آن محاسبه شد. با توجه به این‌که مس و روی نقشی در بروز بیماری‌های سرطانی ندارند، تنها احتمال ابتلا به بیماری‌های غیرسرطانی بررسی شد. برای ارزیابی خطر افراد به بیماری‌های غیرسرطانی از فرمول‌های ارائه شده توسط سازمان حفاظت از محیط زیست آمریکا استفاده شد. به این ترتیب که ابتدا میزان جذب آلاینده از طریق ماده غذایی (گندم و

- 1- Concentration in a specific medium
- 2- Ingestion or Intake Rate
- 3- Central Tendency Exposure
- 4- Reasonable Maximum Exposure
- 5- Exposure Frequency
- 6- Exposure Duration
- 7- Absorption Factor
- 8- Conversion Factor
- 9- Body Weight
- 10- Averaging Time

حاصل ضرب ED در تعداد روزهای سال به دست می آید (روز). گروه‌های سنی که در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفتند دو گروه کودکان (کم‌تر از ۷ سال) و افراد بالغ (۳۵-۱۸ سال) می‌باشند.

جدول ۱- خلاصه‌ای از پارامترهای مورد استفاده در تخمین میزان جذب مس و روی (۱۴ و ۲۲).

Table 1. Summary of exposure parameters used in calculation of estimated Cu and Zn intake.

بیشینه مصرف maximum intake rate (g day ⁻¹)	میانگین مصرف mean intake rate (g day ⁻¹)	غلظت روی (Zn concentration) (mg kg ⁻¹)	غلظت مس (Cu concentration) (mg kg ⁻¹)	شیوه ورود (Exposure Medium)
کودکان: 41 Children	کودکان: 27 Children	92.82	11.84	برنج rice
افراد بالغ: 165 Adults	افراد بالغ: 110 Adults			
کودکان: 45 Children	کودکان: 30 Children	29.06	8.43	گندم wheat
افراد بالغ: 160 Adults	افراد بالغ: 110 Adults			
کودکان: 0.4 Children	کودکان: 0.1 Children	269.78	28.62	خاک soil
افراد بالغ: - Adults	افراد بالغ: 0.1 Adults			

سال به دست می آید (روز)، DA_{event} میزان جذب در هر رخداد که به شکل زیر محاسبه شد:

$$DA_{event} = C_{soil} \times CF \times AF \times ABS_d$$

که در آن، DA_{event} میزان جذب از طریق پوست در هر رخداد (میلی‌گرم بر سانتی‌مترمربع در رخداد)، C_{soil} غلظت آلاینده در خاک (میلی‌گرم بر کیلوگرم)، CF فاکتور تبدیل (10^{-6} کیلوگرم بر میلی‌گرم)، AF فاکتور چسبیدن خاک به پوست (میلی‌گرم بر سانتی‌مترمربع در رخداد)، ABS_d نسبت جذب از طریق پوست. مقدار پیشنهاد شده برای ABS_d توسط آژانس محیط زیست آمریکا برای مواد شیمیایی

میزان جذب از طریق پوست برای مواد شیمیایی از محیط (خاک) با استفاده از رابطه زیر به دست می آید (۲۳):

$$DAD = \frac{DA_{event} \times EV \times ED \times EF \times SA}{(BW \times AT)}$$

که در آن، DAD میزان جذب از طریق پوست (میلی‌گرم بر کیلوگرم در روز)، EV دفعات رخداد (رخداد بر روز)، EF دفعات تماس (روز بر سال)، ED دوره تماس (سال)، SA بخشی از پوست است که در معرض تماس با آلاینده قرار می‌گیرد، BW وزن بدن (کیلوگرم)، AT برای بیماری‌های غیرسرطانی از حاصل ضرب ED در تعداد روزهای

- 3- Absorbed Dose per Event
4- Adherence Factor
5- Dermal Absorption Fraction

- 1- Dermal Absorbed Dose
2- Event

کیلوگرم)، PEF^۱ فاکتور پخشیدگی ذرات معلق که $1/2 \times 10^9$ (مترمکعب بر کیلوگرم) می‌باشد (۲۲)، IR شدت استنشاق که برای کودکان و افراد بالغ به ترتیب ۱۰ و ۲۰ مترمکعب در روز در نظر گرفته شد (۲۱)، F_{Inh} نسبت استنشاق یک در نظر گرفته شده است (۲۲)، EF دفعات تماس (روز بر سال) ۳۵۰ روز در سال است (۲۰)، ED دوره تماس (سال) برای کودکان ۶ و برای افراد بالغ ۲۴ در نظر گرفته شد (۲۰)، BW وزن بدن (کیلوگرم)، AT میانگین زمان (روز). در این مطالعه از داده‌های آژانس محیط زیست آمریکا استفاده شد (۲۲). مقادیر AT و BW مورد استفاده در این بخش نیز مشابه مقادیر به کار رفته در معادله میزان جذب روزانه (EDI) است.

غیرآلی ۰/۰۰۱ می‌باشد. جدول ۲ مقادیر میانگین و حداکثر پارامترهای مورد نیاز (مانند ED, EF, EV) برای تعیین میزان جذب مس و روی از طریق پوست در اثر تماس با خاک را نشان می‌دهد. این مقادیر توسط آژانس محیط زیست آمریکا (۲۰۰۴) به دست آمده است (۲۳).

جذب از طریق استنشاق ذرات معلق خاک با استفاده از رابطه زیر به دست می‌آید (۲۲):

$$CDI = \frac{CS \times IR \times F_{Inh} \times EF \times ED}{(BW \times AT \times PEF)}$$

که در آن، CDI جذب روزانه (میلی‌گرم بر کیلوگرم در روز)، CS غلظت آلاینده در خاک (میلی‌گرم

جدول ۲- میانگین و بیشینه مقادیر پیشنهاد شده برای جذب مس و روی از راه پوست در اثر تماس با خاک (۲۳).

Table 2. Recommended dermal exposure values of Cu and Zn for CTE and RME residential scenario-soil content.

بیشینه maximum	میانگین mean	پارامترهای تماس Exposure parameters
1	1	دفعات تماس در روز (event day^{-1}) Event frequency
350	350	دفعات تماس در سال (days yr^{-1}) Exposure frequency
30	9	دوره تماس (yr) Exposure duration
0.001	0.001	فاکتور جذب از طریق پوست Dermal absorption factor
فرد بالغ: 5700 adult	فرد بالغ: 5700 adult	مساحتی از پوست که در تماس با خاک است (cm^2) Skin surface area available for contact
کودک: 2800 child	کودک: 2800 child	
فرد بالغ: 0.07 adult	فرد بالغ: 0.01 adult	فاکتور چسبندگی خاک (mg cm^{-2}) Soil adherence factor
کودک: 0.2 child	کودک: 0.04 child	

ضریب خطرپذیری ناشی از استنشاق ذرات معلق به صورت زیر محاسبه شد (۱۹):

$$\text{Inhalation Hazard Quotient} = \frac{\text{CDI}}{\text{RFD}_{\text{ABS}}}$$

که در آن، CDI مقدار جذب (میلی گرم بر کیلوگرم در روز)، RFD_{ABS} طبق رابطه قبل محاسبه می گردد. اگر مقدار ضریب خطرپذیری بزرگتر از یک باشد، احتمال ابتلای افراد به بیماری های غیرسرطانی وجود دارد (۲).

نتایج و بحث

جذب روزانه (EDI) مس و روی: میانگین و بیشینه جذب روزانه مس و روی از مسیرهای مختلف (خوردن، جذب از طریق پوست و استنشاق ذرات معلق) برای دو گروه سنی کودکان و افراد بالغ در جدول ۳ ارائه شده است. در این پژوهش برنج بیشترین سهم را در جذب مس و روی در هر دو گروه سنی و در هر دو حالت میانگین و بیشینه دارا می باشد. لازم به توضیح است میزان جذب روزانه مس در اثر بلع خاک حدود $0/168$ و $0/045$ (میکروگرم بر کیلوگرم وزن بدن در روز) به ترتیب در کودکان و افراد بالغ و میزان جذب روزانه روی در اثر بلع خاک حدود $1/091$ و $0/431$ (میکروگرم بر کیلوگرم وزن بدن در روز) به ترتیب در کودکان و افراد بالغ در مقدار میانگین به دست آمد.

به طور کلی میزان بلع عناصر از طریق خاک در کودکان بیشتر از بزرگسالان می باشد که احتمالاً به دلیل تماس بیشتر کودکان در طول روز با خاک می باشد. ژوانگ پینگ و همکاران (۲۰۰۹) جذب روزانه مس و روی از طریق مصرف برنج و سبزیجات کشت شده در مجاور معدن داباوشان (Dabaoshan)

سپس ضرائب خطرپذیری به بیماری های غیرسرطانی با استفاده از رابطه های زیر محاسبه شد: ضریب خطرپذیری ناشی از خوردن با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد (۱۹):

$$\text{HQ} = \frac{\text{EDI}}{\text{RFD}_0}$$

که در آن، EDI میزان جذب روزانه از طریق خوردن (میلی گرم بر کیلوگرم در روز)، RFD_0 برای هر عنصر مقدار مشخصی است. این مقدار با آزمایش بر روی حیوانات به دست آمده و نشان دهنده حداکثر غلظتی از عنصر است که برای موجودات مشکلی ایجاد نکرده است یا همان مقدار مینا برای جذب از طریق خوردن. RFD_0 برای مس و روی به ترتیب 40 و 300 میکروگرم بر کیلوگرم وزن بدن در روز در نظر گرفته شده است (۲۲).

ضریب خطرپذیری ناشی از تماس پوستی با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد (۱۹):

$$\text{Dermal Hazard Quotient} = \frac{\text{DAD}}{\text{RFD}_{\text{ABS}}}$$

که در آن، DAD میزان جذب از طریق پوست (میلی گرم بر کیلوگرم در روز) و RFD_{ABS} مقدار مینا برای جذب از طریق پوست (میلی گرم بر کیلوگرم در روز) می باشد که با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد:

$$\text{RFD}_{\text{ABS}} = \text{RFD}_0 \times \text{ABS}_{\text{GI}}$$

که در آن، ABS_{GI} این فاکتور در مطالعه مقادیر بحرانی سمیت، بخشی از آلاینده است که از طریق پوشش معده جذب می شود. این مقدار برای مس و روی به ترتیب $0/4$ و 3 میکروگرم بر کیلوگرم وزن بدن در روز می باشد (۲۴).

را به ترتیب ۲۳۲۲ و ۱۶۹۳ میکروگرم بر کیلوگرم وزن بدن در روز برآورد نمودند (۲۸). در این مطالعه میانگین جذب روزانه از طریق خوردن (EDI) غلات و خاک برای مس و روی کمتر از حد مجاز و به ترتیب ۴۰ و ۳۰۰ میکروگرم بر کیلوگرم وزن بدن در روز می باشد (۲۴).
 به دست آمد. میزان مجاز ورود مس و روی به بدن بر طبق استاندارد جهانی WHO (۱۹۹۳) به ترتیب ۴۰ و ۳۰۰ میکروگرم بر کیلوگرم وزن بدن در روز می باشد (۲۴).

جدول ۳- میانگین و بیشینه جذب مس و روی (میکروگرم بر کیلوگرم در روز) از مسیرهای هضم، تماس پوستی و استنشاق ذرات معلق.

Table 3. EDI ($\mu\text{g kg}^{-1} \text{day}^{-1}$) estimated of Cu and Zn for CTE and RME ingestion, dermal contact and particulate inhalation exposure pathways.

بیشینه (maximum)		میانگین (mean)						محیط تماس (Exposure medium)	
فرد بالغ (adult)	کودک (child)	فرد بالغ (adult)	کودک (child)	مس (Cu)	روی (Zn)	مس (Cu)	روی (Zn)		
روی (Zn)	مس (Cu)	روی (Zn)	مس (Cu)	روی (Zn)	مس (Cu)	روی (Zn)	مس (Cu)	برنج (rice)	گیاه (plant)
245	31	224	28	163	20	147	18	گندم (wheat)	
75	21	77	22	51	14	51	14	بلع (ingestion)	
-	-	6.366	0.675	0.431	0.045	1.591	0.168	استنشاق ذرات معلق (particulate inhalation)	خاک (soil)
9.84 $\times 10^{-4}$	7.6 $\times 10^{-6}$	8.9 $\times 10^{-3}$	1.4 $\times 10^{-5}$	-	-	-	-	تماس پوستی (dermal contact)	
9.84 $\times 10^{-4}$	1.03 $\times 10^{-4}$	8.9 $\times 10^{-3}$	9.4 $\times 10^{-4}$	2.5 $\times 10^{-4}$	2.6 $\times 10^{-5}$	1.8 $\times 10^{-4}$	1.9 $\times 10^{-4}$		

با توجه به این که مقدار ضریب خطرپذیری برای هر دو گروه سنی و هر دو فلز در هر یک از مسیرها به تنهایی کمتر از یک به دست آمد، بنابراین در صورت مصرف تنها یک محصول، هر دو گروه سنی از نظر احتمال اثرات زیانبار بیماری غیرسرطانی در محدوده امن قرار دارند. زیرا چنانچه مقدار HQ کمتر از یک باشد، نشان دهنده این است که خطر در محدوده قابل قبول قرار دارد (۱۹).

ضرائب خطرپذیری سلامت در اثر مصرف مس و روی: ضرائب خطرپذیری برای دو گروه سنی کودکان و افراد بالغ در اثر مصرف برنج، گندم و بلع خاک در دو حالت میانگین و بیشینه در جدول ۴ ارائه شده است. همان گونه که در جدول مشاهده می گردد مقادیر ضرائب خطرپذیری ناشی از مصرف جداگانه مس و روی کمتر از یک می باشد. همچنین مقدار ضرائب خطرپذیری ناشی مس و روی در اثر مصرف برنج در هر دو گروه سنی بالاتر از ضرائب خطرپذیری آنها در اثر مصرف گندم است.

جدول ۴- مقادیر میانگین و بیشینه ضریب خطرپذیری (HQ) ناشی از مصرف مس و روی از راه‌های هضم، تماس پوستی و استنشاق ذرات معلق.

Table 4. The CTE and RME HQ estimated of Cu and Zn for ingestion, dermal contact and particulate inhalation exposure pathways.

بیشینه (maximum)		میانگین (mean)						
فرد بالغ (adult)	کودک (child)	فرد بالغ (adult)	کودک (child)	محیط تماس (Exposure medium)				
مس (Cu)	روی (Zn)	مس (Cu)	روی (Zn)	مس (Cu)	روی (Zn)	مس (Cu)	روی (Zn)	
0.81	0.77	0.74	0.7	0.54	0.5	0.49	0.45	برنج (rice)
0.25	0.52	0.25	0.55	0.17	0.35	0.17	0.35	گندم (wheat)
-	-	0.02	0.01	1.1×10^{-3}	1.1×10^{-3}	5.3×10^{-3}	4.2×10^{-3}	بلع (ingestion)
2.3×10^{-5}	1.9×10^{-5}	4.4×10^{-5}	3.5×10^{-5}	-	-	-	-	استنشاق ذرات معلق (particulate inhalation)
3.2×10^{-4}	2.5×10^{-4}	2.9×10^{-3}	2.3×10^{-3}	8.1×10^{-5}	6.5×10^{-5}	5.8×10^{-4}	4.7×10^{-4}	تماس پوستی (dermal contact)

این نتایج با نتایج مطالعات خیرآبادی (۲۰۱۰) و یگانه (۲۰۱۲) هماهنگی دارد (۹ و ۲۵). خیرآبادی (۲۰۱۰) در مطالعات خود که با هدف ارزیابی خطرپذیری عناصر سنگین برای انسان در محصولات کشاورزی استان همدان انجام داد، بیان کرد که اثرات سوء بیماری‌های غیرسرطانی برای سلامت در اثر جذب یک عنصر با خوردن سیب‌زمینی و گندم وجود ندارد. بیش‌ترین مقدار بلع مربوط به روی، در کودکان و کم‌ترین مقدار بلع مربوط به مس، در گروه سنی بزرگسالان است. همچنین نتایج HQ ناشی از بلع فلزات توسط خیرآبادی (۲۰۱۰) نشان داد بیش‌ترین مقدار بلع مربوط به فلز کروم، در کودکان و کم‌ترین مقدار بلع مربوط به فلز نیکل و مس، در بزرگسالان می‌باشد (۹). نتایج مطالعه یگانه (۲۰۱۲) نیز که

این نتایج نشان می‌دهد که در صورتی که ساکنان منطقه تنها از این برنج و گندم استفاده کنند احتمال ابتلا به بیماری‌های غیرسرطانی ناشی از جذب مس و روی در کودکان و افراد بالغ در منطقه وجود ندارد. ضرائب خطرپذیری ناشی از جذب مس و روی از مسیرهای دیگر یعنی بلع غیرارادی خاک، تماس پوستی با خاک و استنشاق ذرات معلق در هر دو گروه سنی نیز کم‌تر از یک به‌دست آمد (محدوده قابل قبول). در مورد هر دو فلز مس و روی و هر دو گروه سنی کودکان و افراد بالغ مورد مطالعه در این پژوهش سهم تماس پوستی با خاک و استنشاق ذرات معلق خاک بسیار ناچیز بوده و در نتیجه تأثیر سوء آن‌ها بر سلامت انسان قابل چشم‌پوشی می‌باشد.

روی در بدن انسان بسیار ناچیز و قابل چشم‌پوشی می‌باشد و شاخص خطرپذیری مس و روی از مسیر خوردن بسیار بیش‌تر از سایر مسیرهای مطالعه شده است. همچنین نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که پتانسیل ایجاد بیماری‌های غیرسرطانی ناشی از جذب مس و روی از طریق مصرف برنج و گندم، همچنین از طریق تماس پوستی با خاک و استنشاق ذرات معلق در این منطقه وجود ندارد.

با توجه به نتایج این پژوهش پیشنهاد می‌شود غلظت سایر فلزات سنگین از جمله کادمیوم، سرب، آرسنیک، نیکل و ... که همگی در ایجاد بیماری‌های سرطانی و غیرسرطانی سهم هستند، در محصولات کشاورزی اطراف معادن بررسی گردد. همچنین با توجه به عمق زیاد نمونه‌برداری از خاک در این مطالعه، پیشنهاد می‌گردد که نمونه‌برداری از عمق صفر تا ۵ سانتی‌متری خاک انجام شده و غلظت فلزات سنگین در این عمق اندازه‌گیری گردد.

به‌منظور تعیین خطرپذیری ناشی از مصرف فلزات سنگین (سلنیم، جیوه، نیکل، سرب، کروم، کادمیوم و آرسنیک) برای سلامت انسان در استان همدان صورت گرفت، نشان داد که مقدار HQ ناشی از تمام فلزات به غیر از نیکل و جیوه کم‌تر از یک می‌باشد و خطر در محدوده قابل‌قبول قرار دارد (۲۵).

هانگ و همکاران (۲۰۰۹) نیز در پژوهشی در ایالت چانگشو واقع در شرق چین در بررسی خطرپذیری عناصر سنگین از طریق مصرف برنج برای کودکان و بزرگسالان مشاهده کردند که جذب مس بیش‌ترین و کروم کم‌ترین تأثیر سوء را بر سلامتی انسان در هر دو گروه سنی داشت و در بین عناصر مورد مطالعه مس، روی و سرب بیش‌ترین مشارکت را در مقدار HQ کل دارا بودند (۶).

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که سهم استنشاق ذرات معلق و تماس پوستی با خاک در جذب مس و

منابع

1. ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry). 2003. Toxicological profile for fluorides, Hydrogen fluoride and Fluorine. Available <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp11-p.pdf>.
2. Barnes, D.G., and Dourson, M. 1988. Reference dose (RfD): description and use in health risk assessments. Reg. Toxicol Pharm. 8: 471-486.
3. Cabrera, F., Ariza, J.L., Madejón, P., Madejón, E., and Murillo, J.M. 2008. Mercury and other trace elements in soils affected by the mine tailing spill in Aznalcóllar (SW Spain). Sci. Total Environ. 390: 311-322.
4. Cai, L.M., Xu, Z.C., Qi, J.Y., Feng, Z.Z., and Xiang, T.S. 2015. Assessment of exposure to heavy metals and health risks among residents near Tonglushan mine in Hubei, China. Chemosphere. 127: 127-135.
5. Ferner, D. 2001. Toxicity heavy metals. Med. J. 2: 5. 1-9.
6. Hang, X., Wan, H., Zhou, J., Ma, C., Du, C., and Chen, X. 2009. Risk assessment of potentially toxic element pollution in soils and rice in a typical area of Yangtze River Delta. Environ Pollut. 157: 2542-2549.
7. Kachenko, A., and Singh, B. 2006. Heavy metals contamination in vegetables grown in urban and metal smelter contaminated sites in Australia. Water Air Soil Pollut. 169: 101-123.
8. Khan, S., Rehman, S., Khan, Z., and Shah, M. 2010. Soil and vegetables enrichment with heavy metals from geological sources in Gilgit, northern Pakistan, Ecotoxic. Environ. 73: 1820-1827.

9. Kheirabadi, H. 2010. Investigation of heavy metals sources in soil and the risk assessment of heavy metals in surface soils of Hamadan province to human health. Master's thesis, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology. (In Persian)
10. Li, Z.Y., Ma, Z.W., Vander Kuijp, T.J., Yuan, Z.W., and Huang, L. 2014. A review of soil heavy metal pollution from mines in China: pollution and health risk assessment. *Sci. Total Environ.* 468: 843-853.
11. Liu, H., Probst, A., and Liao, B. 2005. Metal contamination of soils and crops affected by the Chenzhou lead/ zinc mine spill (Hunan, China). *Sci. Total Environ.* 339: 153-166.
12. Lorico, A., Bertola, A., Baum, C., Fodstad, O., and Rappa, G. 2002. Role of the Multidrug Resistance Protein 1 in protection from heavy metal oxyanions: investigations in vitro and in MRP1-deficient mice. *Biochem Biophysical Research.* 291: 617-622.
13. McLaughlin, M., Parker, R., and Clarke, J. 1999. Metals and micronutrients food safety issues. *Field Crop. Research.* 60: 143-163.
14. Mohammadifard, N., Omidvar, N., and Rad, A.H. 2006. Does fruit and vegetable intake differ in adult females and males in Isfahan. *Arya J.* 1: 193-201.
15. Pruvot, C., Douay, F., Herv'e, F., and Waterlot, C. 2006. Heavy metals in soil, crops and grass as a source of human exposure in the former mining areas. *J. Soil. Sed.* 6: 215-220.
16. Rai, S., Gupta, S., and Mittal, P.C. 2015. Dietary intakes and health risk of toxic and essential heavy metals through the food chain in agriculture, industrial and coal mining areas of Northern India. *Hum Ecol Risk Assess.* 21: 4. 913-933.
17. Tripathi, R.M., Raghunath, R., and Krishnamoorthy, T.M. 1997. Dietary intake of heavy metals in Bombay city, India. *Sci. Total Environ.* 208: 149-159.
18. Turkdogan, M., Kilicel, F., Kara, K., Tuncer, I., and Uygan, I. 2002. Heavy metals in soil, vegetables and fruits in the endemic upper gastrointestinal cancer region of Turkey. *Turk. J. Agr. Crop Sci.* 180: 1. 45-52.
19. USEPA (US Environmental Protection Agency). 1989. Risk Assessment Guidance for Superfund. Human Health Evaluation Manual Part A. Office of Health and Environmental Assessment, Washington, DC.
20. USEPA (US Environmental Protection Agency). 1992. Guidelines for exposure assessment. Available at <http://www.epa.gov/ncea/pdfs/guidline.pdf>.
21. USEPA (US Environmental Protection Agency). 1997. Exposure Factors Handbook. National Center for Environmental Assessment. Office of Health and Environmental Assessment, Washington, DC.
22. USEPA (US Environmental Protection Agency). 2002. Child Specific Exposure Factors Handbook. Risk Assessment Guidance for Superfund. Volume 1: Human Health Evaluation Manual (Part A). Office of Emergency and Remedial Response, Washington, DC.
23. USEPA (US Environmental Protection Agency). 2004. Risk Assessment Guidance for Superfund. Volume 1: Human Health Evaluation Manual (Part E, Supplement Guidance for Dermal Risk Assessment). Office of Superfund Remediation and Technology Innovation, Washington, DC.
24. WHO (World Health Organization). 1993. Evaluation of certain food additives and contaminants (41st report of the joint FAO/WHO expert committee on food additives). WHO Tech. Report Series. No. 837.
25. Yeganeh, M. 2012. Modeling the accumulation of heavy metals in surface soils of Hamadan province and the health risks of metals for human health. PhD thesis, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology. (In Persian)
26. Zhuang, P., Li, A., Zou, B., Xia, H., and Wang, G. 2013. Heavy metal contamination in soil and soybean near the Dabaoshan Mine, South China. *Pedosphere.* 23: 3. 298-304.
27. Zhou, M., Liao, B., Shu, W., Yang, B., and Lan, C. 2015. Pollution assessment and potential sources of heavy metals in agricultural soils around four Pb/Zn mines of Shaoguan city, China. *Soil Sediment Contam.* 24: 76-89.
28. Zhuang, P., Murray, B., McBride, B., Xiaa, H., Lia, N., and Lia, Z. 2009. Health risk from heavy metals via consumption of food crops in the vicinity of Dabaoshan mine, South China. *Sci. Total Environ.* 407: 1551-1561.



Risk assessment of zinc and copper exposure in rice, wheat and soil around Irankooh mine in Isfahan

M. Barin¹ and *E. Chavoshi²

¹M.Sc. Graduate, Dept. of Soil Science, College of Agriculture, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran, ²Assistant Prof., Dept. of Soil Science, College of Agriculture, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran

Received: 04/13/2016; Accepted: 04/15/2017

Abstract

Background and Objectives: Zinc (Zn) and Copper (Cu) are essential micronutrients for human health but elevated heavy metal uptake is the etiology of a number of diseases in the human body. So, it is necessary to investigate the copper and zinc concentrations in agricultural products and their effects on human health. The purpose of this study was to determine the Zn and Cu concentrations in food products and the risk assessment of these elements on human health for non-carcinogenic diseases around Irankooh mine in Isfahan province.

Materials and Methods: The crop (rice and wheat) samples were obtained in ten different fields for each investigated crop and then three composite samples of the edible portion of the mentioned crops were collected. In addition, three composite surface soil samples were taken from the fields in each sampling points.

Results: The total concentration of Cu and Zn were 28.62 mg kg⁻¹ and 269.78 mg kg⁻¹ in soil samples, respectively. The mean concentrations of Cu were 11.84 and 8.43 mg kg⁻¹ in rice and wheat respectively. Also, the mean concentrations of Zn were 92.82 and 29.06 mg kg⁻¹ in rice and wheat respectively. The Cu and Zn concentrations in soils and plants decreased in the order of distance from the mine. The dietary intakes of Zn and Cu are estimated respectively as 214.43 and 34.05 µg kg⁻¹ day⁻¹ for adults and 199.6 and 32.17 µg kg⁻¹ day⁻¹ for children. These values were lower than the WHO levels for human consumption which are 40 and 300 µg kg⁻¹ day⁻¹ for Cu and Zn, respectively. The estimated dermal absorbed doses for RME (Reasonable Maximum Exposure) scenarios of Cu through soil exposure were 9.44×10⁻⁴ and 1.03×10⁻⁴ µg kg⁻¹ day⁻¹ for children and adults, respectively. These values for Zn were 8.9×10⁻³ and 9.84×10⁻⁴ µg kg⁻¹ day⁻¹ for children and adults, respectively. The estimated particulate inhalation values for RME exposure scenarios of Cu were 1.4×10⁻⁵ and 7.6×10⁻⁶ µg kg⁻¹ day⁻¹ for children and adults, respectively. These values were 1.32×10⁻⁴ and 7.19×10⁻⁵ µg kg⁻¹ day⁻¹ for Zn. These values were less than the absorbed reference dose of 0.4 and 3 µg kg⁻¹ day⁻¹ for Cu and Zn, respectively.

Conclusion: The hazard quotients (HQ) of individual Zn and Cu were less than one. The results showed that there are not any non-carcinogenic health effects through these routes for consumers in the region.

Keywords: Copper, Zinc, Mine, Hazard quotient

* Corresponding Author; Email: chavoshie@yahoo.com