ارزیابی خطر سرب و کادمیوم بر سلامت انسان در اراضی کشاورزی اطراف معدن ایرانکوه در استان اصفهان

شهرزاد اعرابی و الهام چاوشی[1*]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۷/۲۴ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۹/۲۶)

چکیده

این پژوهش با هدف تعیین غلظت سرب و کادمیوم در محصولات کشاورزی اطراف معدن ایرانکوه و ارزیابی پتانسیل خطر آنها بر سلامت انسان در استان اصفهان انجام شد. نمونه‌برداری به‌صورت تصادفی و مرکب از خاک (عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متری) و محصولات عمده زراعی (برنج و گندم) انجام شد. غلظت کل سرب و کادمیوم در خاک به‌ترتیب ۷۱/۱۸ و ۱/۵۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌دست آمد. میانگین غلظت سرب در برنج و گندم به‌ترتیب ۷/۸۱ و ۲/۳۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم و برای کادمیوم به‌ترتیب ۰/۱۵ و۰/۱۲۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌دست آمد. میزان جذب روزانه سرب به بدن انسان از طریق خوردن برنج و گندم بیشتر از حد مجاز جذب (۳/۶ میکروگرم بر کیلوگرم وزن بدن در روز) به‌دست آمد، اما جذب روزانه کادمیوم کمتر از حد مجاز جذب برآورد شد. میانگین شاخص تجمعی خطر سرب و کادمیوم نیز برای کودکان و افراد بالغ به‌ترتیب ۴/۶۰ و ۴/۶۴ محاسبه شد. این نتیجه نشان می‌دهد که در صورت مصرف محصولات مورد مطالعه، احتمال ابتلا به بیماری‌های غیرسرطانی در مصرف‌کنندگان و همچنین احتمال ابتلا به بیماری‌های سرطانی ناشی از فلز سرب وجود دارد.

واژه‌های کلیدی: سرب، کادمیوم، شاخص خطرپذیری، گندم، برنج

۱. گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: chavoshie@yahoo.com

مقدمه

در سال‌های اخیر ورود آلاینده‌ها با منشاء انسانی مانند فلزات سنگین به اکوسیستم، افزایش چشمگیری داشته و به‌عنوان یک خطر جدی برای حیات اکوسیستم به‌شمار می‌رود (۸). یکی از راه‌های ورود فلزات سنگین به محیط زیست بهره‌برداری ناصحیح از معادن است. در حقیقت بهره‌برداری ناصحیح از معادن نمونه بارزی از تعدی انسان به محیط زیست بوده که خسارت‌های گوناگونی به بخش‌های مختلف طبیعت شامل آب، هوا و خاک وارد کرده است (۱۵). در بسیاری از کشورها نظیر چین (۲۲ و ۳۴)، اسپانیا (۱۱)، تونس (۱۳)، کره (۲۱) و رومانی (۲۰)، گزارشاتی از سطوح بالای غلظت فلزات سنگین در آب، خاک، هوا و محصولات کشاورزی مناطق مجاور معادن ارائه شده است. به‌عنوان مثال لیو و همکاران (۲۱) و جی و همکاران (۲۲) گزارش کردند که مصرف برنج کشت شده در نزدیک معادن، باعث افزایش غلظت فلزات سنگین در خون ساکنان این مناطق شده است. ابیرا و همکاران نیز در مطالعه‌ای در اطراف یک معدن سرب و روی در نیجریه، غلظت بالای فلزات سنگین را در خاک و گیاهان نزدیک معدن گزارش کردند (۲۵). نتایج این پژوهشگران نشان داد که غلظت بالای سرب، روی و منگنز در محصولات کشاورزی این منطقه باعث به خطر افتادن سلامت مصرف‌کنندگان این محصولات شده است. همچنین پژوهشی در جنوب چین به منظور بررسی تعیین غلظت عناصر سرب، کادمیوم، مس، روی، کروم و نیکل در دانه گیاه سویا که در نزدیک معدن رشد کرده بود، صورت گرفت و خطر آن بر سلامتی ساکنان برآورد شد. نتایج نشان داد دانه‌های سویایی که در مجاورت معدن رشد کرده‌اند، دارای تجمع برخی از فلزات هستند و مصرف آنها خطرآفرین است (۳۳).

در ایران نیز پژوهش‌هایی در زمینه تجمع فلزات سنگین در خاک و گیاه انجام شده است. به عنوان مثال پژوهشی با هدف تعیین غلظت کادمیوم در خاک و محصول برنج استان‌های اصفهان، فارس و خوزستان صورت گرفت (۱). در این پژوهش میانگین غلظت کادمیوم کل و قابل جذب خاک به‌ترتیب ۰/۴۵ و ۰/۰۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌دست آمد. همچنین میانگین غلظت کادمیوم در دانه برنج در استان‌های اصفهان، فارس و خوزستان به‌ترتیب برابر با ۰/۰۷ ۰/۰۳ و ۰/۰۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش شد که کمتر از حد مجاز آن (۰/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) است. در پژوهش دیگری در منطقه استقرار فولاد مبارکه، حداکثر غلظت روی در اندام هوایی گوجه‌فرنگی در شمال مجتمع فولاد مبارکه برابر ۴۹۳/۳ میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک گیاهی گزارش شد که نسبت به میانگین غلظت روی در ماده خشک گیاهی (۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) بسیار بالا بود (۷). اگرچه تاکنون اندازه‌گیری‌های زیادی در مورد غلظت فلزات سنگین در خاک و گیاهان در ایران انجام شده است، ولی این اندازه‌گیری‌ها بیشتر در اطراف صنایع صورت گرفته و به معادن کمتر توجه شده است. با توجه به خطر تجمع فلزات سنگین در محصولات کشاورزی کشت شده در اطراف معادن و تأثیر بر سلامت مصرف‌کنندگان این محصولات، انجام مطالعات بیشتر در این زمینه ضروری است.

یکی از معادن مهم در استان اصفهان، معدن سرب و روی ایرانکوه است. زمین‌های مجاور این معدن عمدتاً دارای کاربری کشاورزی هستند و مناطقی نیز به‌صورت مسکونی مورد استفاده قرار دارند. بیشتر محصولات کشت شده در زمین‌های کشاورزی منطقه گندم و برنج است. البته در بخش‌هایی نیز به‌صورت محدودتر چغندر، شلغم، پیاز و کرفس کشت می‌شود (۱۸). هدف اصلی از اجرای این پژوهش بررسی غلظت سرب و کادمیوم در برنج و گندم کشت شده در زمین‌های کشاورزی اطراف معدن ایرانکوه و میزان جذب این فلزات به بدن انسان از طریق مصرف این محصولات و ارزیابی شاخص خطرپذیری ناشی از آن است.

مواد و روش‌ها

موقعیت منطقه مورد مطالعه

معدن سرب و روی ایرانکوه به‌عنوان سومین معدن بزرگ سرب و روی ایران در منطقه ایرانکوه در فاصله ۲۰ کیلومتری جنوب غربی استان اصفهان بین طول جغرافیائی ′۳۱ و °۵۱ تا ′۴۵ و °۵۱ و

عرض جغرافیائی ′۲۸و°۳۲ تا ′ ۳۷ و°۳۲ واقع شده است. امتداد کلی این رشته کوه غرب شمال غرب و شرق و جنوب شرقی بوده و متوسط طول محدوده معادل ۲۵ کیلومتر و عرضی برابر ۳ کیلومتر است. میزان بارندگی به طور متوسط ۱۱۰ میلی‌متر در سال است و در همه فصول سال می‌توان در معدن فعالیت کرد. بهره‌برداری از معدن از سال ۱۳۳۲ آغاز شد (۱۹).

روش نمونه‌برداری

در این پژوهش از خاک و محصولات عمده زراعی منطقه شامل گندم و برنج به‌صورت تصادفی نمونه‌برداری شد. بدین‌صورت که ۱۰ مزرعه برنج و ۱۰ مزرعه گندم در اطراف معدن در فاصله حدود یک الی پنج کیلومتری از معدن انتخاب شد. از هر گیاه (برنج و گندم) و از خاک سطحی (عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متری خاک) در هر مزرعه سه نمونه مرکب و به‌صورت تصادفی برداشته شد. برای انجام نمونه‌برداری مرکب از پنج نقطه، نمونه برداشته شده و پس از مخلوط نمونه‌ها یک نمونه از آن گرفته شد. نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل و پس از شستن، بخش خوراکی گیاه جدا شد.

تجزیه آزمایشگاهی

نمونه‌های خاک هوا خشک شده و سپس از الک دو میلی‌متری عبور داده شد. همچنین نمونه‌های گیاهی به مدت ۷۳ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون قرار داده شد تا خشک شوند. برای اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین در خاک ابتدا از اسید نیتریک و اسید کلریدریک با نسبت ۳ به ۱ استفاده شد و مخلوط به‌مدت ۲۴ ساعت باقی‌ماند. بعد از آن نمونه‌ها روی حمام بخار در دمای ۸۵ الی ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. در ادامه از آب اکسیژنه برای حذف ماده آلی استفاده شد و نمونه برای ادامه هضم روی حمام بخار قرار داده شد. سپس نمونه‌ها با کاغذ صافی واتمن ۴۲ صاف گشته و به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانیده شد (۱۵).

برای اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین در گیاه نیز به نمونه‌های گیاهی خشک شده در آون (رد شده از الک ۱۰۰ مش)، اسید نیتریک اضافه شد و به‌مدت ۲۴ ساعت در آون در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. پس از سرد شدن از آب اکسیژنه استفاده شد. درنهایت عصاره‌ها توسط کاغذ صافی واتمن ۴۲ به حجم ۲۵ میلی‌لیتر رسید (۱۵). برای اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین نمونه‌های خاک و گیاه، عصاره‌های تهیه شده بعد از عبور از کاغذ صافی با دستگاه جذب اتمی پرکین- المر مدل ۳۰۳۰ قرائت شد. غلظت فلزات مورد نظر در نمونه‌های شاهد نیز اندازه‌گیری شده و از مقادیر به‌دست آمده برای نمونه‌ها کم شد. حد تشخیص دستگاه برای کادمیوم ۰/۰۰۰۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم و برای سرب ۰/۰۰۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود.

برای تعیین درصد بازیابی(Recovery)، دو نمونه به‌صورت مشابه و در شرایط یکسان تهیه و به یکی از آنها ۱۰ میلی‌لیتر از محلول استاندارد کادمیوم و سرب (با غلظت یک میلی‌گرم در لیتر) اضافه شد. سپس غلظت هر کدام جداگانه تعیین و درصد بازیابی فلزات از طریق رابطه (۱) محاسبه شد (۲۶).

$$R = \frac{۱۰۰(A۲ - A۱)}{As} \qquad (۱)$$

در این رابطه R= درصد بازیابی، A۱= غلظت نمونه بدون استاندارد(mg /l)، A۲= غلظت نمونه حاوی استاندارد (mg/l)، As= غلظت محلول استاندارد (mg /l).

درصد بازیابی نتایج برای سرب و کادمیوم به‌ترتیب ۹۶ و ۹۸ به‌دست آمد.

محاسبه احتمال خطرپذیری به بیماری‌ها

به‌طور کلی چندین روش برای تخمین پتانسیل خطرات آلاینده‌ها بر سلامت انسان پیشنهاد شده است که شامل: ۱- ارزیابی خطرپذیری به بیماری‌های سرطانی و ۲- ارزیابی خطرپذیری به بیماری‌های غیرسرطانی است. ارزیابی احتمال ابتلا به بیماری‌های غیرسرطانی بر اساس استفاده از شاخص خطرپذیری است. شاخص خطرپذیری نسبت جذب تخمین زده شده برای یک آلاینده به میزان جذبی است که در کمتر از آن، هیچ خطری برای سلامت انسان ایجاد نمی‌شود و این میزان جذب، میزان مرجع

جدول ۱. خلاصه‌ای از مقدار مصرف روزانه غلات در دو گروه سنی کودکان و افراد بالغ (۲۳ و ۳۰)

مسیر ورود	میانگین مصرف (گرم بر روز)		بیشینه مصرف (گرم بر روز)	
	کودک	فرد بالغ	کودک	فرد بالغ
برنج	۲۷	۱۱۰	۴۱	۱۶۵
گندم	۳۰	۱۱۰	۴۵	۱۶۰

(RfD) نامیده می شود (۲۹). ارزیابی ورود مواد شیمیایی از راه خوردن از طریق رابطه (۲) محاسبه می‌شود:

$$EDI= C\times IR\times EF\times ED\times AF\times CF/ (BW\times AT) \quad (۲)$$

در این رابطه EDI: میزان جذب روزانه (mg/ kg .day)، C: غلظت آلاینده در غذا یا مایعات (mg/L یا mg/kg)، IR: میزان مصرف غذا یا مایعات (mg/day)، EF: دفعات مصرف در سال (days/ year)، ED: طول دوره مصرف یا تعداد سال‌هایی که از این ماده خوراکی استفاده می‌شود (year)، BW: وزن بدن (kg)، AT: حاصل‌ضرب ED در تعداد روزهای سال (days)، AF: فاکتور جذب (بدون واحد)، CF: فاکتور تبدیل (10^{-6} kg/mg). گروه‌هایی سنی که در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفتند دو گروه کودکان (کمتر از ۷ سال) و افراد بالغ (۵۴-۱۸) سال هستند (۲۷).

با استفاده از فرمول فوق میزان جذب روزانه از هر یک از مسیرهای خوردن و با استفاده از مقادیر مناسب برای هر یک از پارامترها (مانند غلظت سرب و کادمیوم، میزان مصرف و وزن بدن)، برای هر گروه سنی به‌دست می‌آید. برای میزان مصرف (غذا و خاک) دو مقدار میانگین و حداکثر درنظر گرفته شده است (۲۷). میزان مصرف روزانه غلات برای دو گروه سنی کودکان و افراد بالغ در جدول ۱ ارائه شده است. این مقادیر از داده‌های آژانس محیط زیست آمریکا (۳۰) و محمدی‌فر و همکاران (۲۳) استخراج شد. دفعات مصرف (EF) تعداد روزهایی که در یک سال غذا یا مایعات مصرف می‌شود را نشان می‌دهد که در این مطالعه ۳۶۵ روز در سال درنظر گرفته شد. طول دوره مصرف در این مطالعه برای کودکان ۳ سال و برای افراد بالغ ۲۷ سال درنظر گرفته شد. فاکتور جذب نیز ۱۰۰ درصد درنظر گرفته شد (۳۰). وزن بدن برای کودکان و افراد بالغ به‌ترتیب ۱۶/۹۵ و ۶۲/۵ کیلوگرم درنظر گرفته شد (۲۸).

محاسبه شاخص خطرپذیری (HQ)

شاخص خطرپذیری ناشی از خوردن با استفاده از رابطه (۳) محاسبه شد (۲۷).

$$HQ=EDI/RFD_0 \quad (۳)$$

در این رابطه EDI: میزان جذب در روز (mg/kg .day) است. RFD_0: برای هر عنصر مقدار مشخصی است. این مقدار با آزمایش روی حیوانات به‌دست آمده و نشان‌دهنده حداکثر غلظتی از عنصر است که برای موجودات مشکلی ایجاد نکرده یا همان مقدار مبنا برای جذب از طریق خوردن است. RFD_0 برای سرب و کادمیوم به‌ترتیب ۰/۰۰۳۵ و ۰/۰۰۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن بدن در روز درنظر گرفته شده است (۳۰).

محاسبه ارزیابی تجمعی خطر (HI)

ارزیابی کل یا ارزیابی تجمعی خطر بیماری‌های غیرسرطانی از طریق رابطه (۴) محاسبه می‌شود (۳۰).

$$HI=Sum [HQ] \quad (۴)$$

در این رابطه HI: شاخص تجمعی خطر و HQ: شاخص خطر پذیری است.

با جمع شاخص‌های خطرپذیری فلزات سنگین از مسیرها و منابع مختلف می‌توان خطر تجمعی را محاسبه کرد. ارزیابی خطر تجمعی، مجموع همه مسیرها و محیط‌ها را در طول زمان درنظر می‌گیرد. به علاوه می‌توان ارزیابی تجمعی خطر را با ترکیب کردن مسیرهای مختلف و آلاینده‌های مختلف از منابع گوناگون محاسبه کرد (۳۰). در این پژوهش ارزیابی تجمعی خطر در مورد هر دو عنصر سرب و کادمیوم و با درنظر گرفتن سه

جدول ۲. مقادیر میانگین، بیشینه و کمینه غلظت سرب و کادمیوم در خاک (میلی‌گرم بر کیلوگرم)

مواد مصرفی	سرب			کادمیوم		
	میانگین	بیشینه	کمینه	میانگین	بیشینه	کمینه
خاک مزرعه برنج	۸۵/۹۹	۱۴۲/۱۹	۶۷/۲۳	۱/۶۵	۲	۱/۲۵
خاک مزرعه گندم	۵۱/۲۷	۵۱/۳۰	۵۱/۲۳	۱	۱	۱

مسیر انجام شد. همچنین تا حد امکان سعی شده است که از مقادیر مربوط به منطقه استفاده شود ولی در برخی موارد که داده اختصاصی برای منطقه وجود نداشت از مقادیر پیشنهادی توسط سازمان‌های بین‌المللی و یا داخلی مربوطه استفاده شد.

محاسبه احتمال خطرپذیری به بیماری‌های سرطانی

برای محاسبه احتمال خطرپذیری به بیماری‌های سرطانی از رابطه (۵) استفاده شد.

$$RISK_{Oral} = SF_O \times EDI \qquad (۵)$$

EDI: میزان جذب روزانه (mg/ kg.day) و SF_O: عامل شیب است. این عامل با مطالعات آزمایشگاهی و تعیین حد سرطان‌زایی عناصر در خون و محاسباتی که خارج از بحث این مطالعه است به دست می‌آید که برای سرب $8/5\times10^{-3}$ است ولی برای کادمیوم مقداری گزارش نشده است (۳۰).

نتایج و بحث

غلظت سرب و کادمیوم در خاک منطقه مورد مطالعه

مقادیر میانگین، بیشینه و کمینه غلظت سرب و کادمیوم در خاک مزارع مورد مطالعه در جدول ۲ ارائه شده است. میانگین غلظت سرب و کادمیوم در خاک منطقه مطالعاتی بیشتر از میانگین خاک‌های دنیا است. این مقادیر در سال ۱۹۹۰ توسط آلووای به‌ترتیب ۱۰ و ۰/۰۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم برای خاک‌های دنیا گزارش شد (۱۰). همچنین براساس نظر بوون (۱۴) میانگین جهانی غلظت کادمیوم در خاک ۰/۳۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم است. بنابراین میانگین غلظت کادمیوم به‌دست آمده در این پژوهش از میانگین جهانی غلظت کادمیوم بالاتر است. نتایج مطالعه امینی و همکاران (۱۲) نیز نشان داد که ورود کادمیوم به زمین‌های کشاورزی در استان اصفهان به‌مراتب بیشتر از میانگین گزارش شده برای زمین‌های کشاورزی در کشورهای اروپایی (۳-۰/۲ گرم در هکتار در سال) است.

نریاگو و پاسینا (۲۴) با بررسی میزان ورود فلزات سنگین به خاک‌های جهان مشخص کردند که سالانه یک میلیون تن سرب به خاک‌های جهان اضافه می‌شود که قسمت عمده آن مربوط به غبارات جوی، پراکنش خاکسترها، ضایعات شهری، مصرف کودهای شیمیایی و لجن فاضلاب است. فو و همکاران (۱۷) نیز در چین میانگین غلظت کادمیوم در زمین‌های زیر کشت برنج را ۱/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم برآورد کردند که نشان‌دهنده آلودگی خاک منطقه به کادمیوم است.

غلظت سرب و کادمیوم در محصولات زراعی منطقه مورد مطالعه

مقادیر میانگین، بیشینه و کمینه غلظت سرب و کادمیوم در محصولات زراعی مورد مطالعه در جدول ۳ ارائه شده است.

میانگین غلظت سرب در محصول گندم و برنج در منطقه مورد مطالعه (به‌ترتیب ۲/۳۱ و ۷/۸۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) نسبت به غلظت استاندارد سرب در دانه گندم که ۰/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم (۳۲) است، بالاتر است. طبق تحقیقات فو و همکاران (۱۷) مقدار سرب در برنج در کشور چین ۰/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش شده است.

به‌طورکلی حد مجاز غلظت کادمیوم شرایط متفاوتی نسبت به سایر عناصر دارد. این تفاوت به این خاطر است که افزایش غلظت این عنصر در محصولات ممکن است به سطوحی برسد که برای انسان و حیوانات سمی باشد قبل از اینکه برای رشد

جدول ۳. مقادیر میانگین، بیشینه و کمینه سرب و کادمیوم در گیاه (میلی‌گرم بر کیلوگرم)

مواد مصرفی	سرب			کادمیوم		
	میانگین	بیشینه	کمینه	میانگین	بیشینه	کمینه
برنج	۷/۸۱	۱۴/۵۱	۲/۸۲	۰/۱۵	۰/۲۵	۰
گندم	۲/۳۱	۲/۳۳	۲/۳۰	۰/۱۲۴	۰/۱۲۵	۰/۱۲۴

جدول ۴. میانگین و بیشینه جذب سرب و کادمیوم (میکروگرم بر کیلوگرم وزن بدن در روز) از مسیر خوردن

محیط تماس		سرب				کادمیوم			
		میانگین		بیشینه		میانگین		بیشینه	
		کودک	فرد بالغ	کودک	فرد بالغ	کودک	فرد بالغ	کودک	فرد بالغ
غلات	برنج	۱۰	۱۰	۱۰	۲۰	۰/۲۳	۰/۳۶	۰/۲۶	۰/۳۹
	گندم	۴/۱۰	۴/۰۸	۶/۱۵	۵/۹۳	۰/۲۱	۰/۲۱	۰/۳۲	۰/۳۱
خاک	بلع غیر ارادی	۱/۱۹	۰/۱۰	۱/۲۱	۰/۲۱	$۹/۵\times۱۰^{-۳}$	$۳/۸\times۱۰^{-۲}$	$۲/۵\times۱۰^{-۳}$	–

گیاه زیان‌آور باشد. در نتیجه میزان کادمیوم خاک بر اساس خطر افزایش غلظت آن در محصولات کشاورزی و پتانسیل خطر آن برای رژیم انسان تعیین می‌شود (۶). امینی (۲) حد مجاز غلظت کادمیوم را برای غلات ۰/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم اعلام کرد. بنابراین مقدار کادمیوم در غلات در منطقه مورد مطالعه (برنج ۰/۱۵ و گندم ۰/۱۲۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بیشتر از حد مجاز آن است. در پژوهش افشار و همکاران (۹) میانگین غلظت کادمیوم در برنج آمل ۰/۰۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش شد. متین‌فر و ملکی (۵) نیز مقدار کادمیوم در دانه‌های برنج خرم‌آباد را به‌طور متوسط ۰/۱ میکروگرم بر گرم ماده خشک گزارش کردند.

جذب روزانه (EDI) سرب و کادمیوم

مقادیر میانگین (CTE) و ماکزیمم (RME) جذب روزانه سرب و کادمیوم از مسیر خوردن برای دو گروه سنی کودکان و افراد بالغ در جدول ۴ ارائه شده است. میزان جذب تجمعی روزانه در مقادیر میانگین برای فلز سرب برای کودکان و افراد بالغ به‌ترتیب ۱۵/۲۹ و ۱۴/۱۸ میکروگرم بر کیلوگرم وزن بدن در روز و برای کادمیوم به‌ترتیب ۰/۴۵ و ۰/۶۰ میکروگرم بر کیلوگرم وزن بدن در روز است. میزان مجاز ورود سرب به بدن طبق استاندارد جهانی WHO (۳۲) روزانه ۳/۵ میکروگرم بر کیلوگرم وزن بدن است. بنابراین میزان جذب روزانه سرب به بدن انسان تنها از این سه مسیر بیشتر از حد مجاز جهانی است. در رابطه با کادمیوم نیز میزان مجاز ورود کادمیوم به بدن طبق استاندارد جهانی WHO (۳۲)، روزانه یک میکروگرم بر کیلوگرم وزن بدن است، بنابراین در پژوهش حاضر میزان جذب روزانه کادمیوم به بدن انسان از سه مسیر بررسی شده کمتر از حد مجاز اعلام شده، است.

نتایج پژوهش یگانه (۸) در استان همدان نشان داد که در همه گروه‌های سنی مورد بررسی، گیاهان خوراکی اصلی‌ترین مسیر ورود کادمیوم به بدن بوده‌اند و سهم آنها از کل مسیرهای ورود کادمیوم، ۸۷ درصد بوده است و تأثیر سایر مسیرهای ورود کادمیوم ناچیز و قابل چشم‌پوشی بوده است. یگانه در پژوهش خود مشاهده کرد که در بین غلات، میزان جذب سرب از طریق مصرف گندم در استان همدان مهم‌ترین مسیر ورود سرب به بدن انسان است.

در این پژوهش سهم جذب روزانه سرب در اثر بلع خاک در هر دو حالت میانگین و بیشینه برای کودکان بیشتر از بزرگسالان است. از این جهت کودکان بیشتر از بزرگسالان از این راه صدمه

جدول ۵. میانگین و بیشینه شاخص خطرپذیری (HQ) و شاخص خطرپذیری کل (THQ) ناشی از سرب و کادمیوم از مسیر هضم

محیط تماس		سرب				کادمیوم			
		میانگین		بیشینه		میانگین		بیشینه	
		کودک	فرد بالغ	کودک	فرد بالغ	کودک	فرد بالغ	کودک	فرد بالغ
غلات	برنج	۲/۸۵	۲/۸۵	۲/۸۵	۵/۷۱	۰/۲۳	۰/۳۶	۰/۲۶	۰/۳۹
	گندم	۱/۱۸	۱/۱۶	۱/۷۵	۱/۶۹	۰/۲۱	۰/۲۱	۰/۳۲	۰/۳۱
خاک	بلع غیر ارادی	۰/۱۲	۰/۰۳	۰/۴۳	-	$۹/۵\times۱۰^{-۳}$	$۳/۸\times۱۰^{-۲}$	$۲/۵\times۱۰^{-۳}$	–
شاخص خطرپذیری کل		۴/۱۵	۴/۰۴	۵/۰۳	۷/۴	۰/۴۵	۰/۶۰	۰/۵۸	۰/۷۰

می‌بینند. یگانه (۸) نیز در پژوهش خود به اهمیت خوردن تصادفی خاک در کودکان بیش از بزرگسالان اشاره کرد چرا که نرخ خوردن تصادفی خاک در کودکان بیشتر است.

شاخص خطرپذیری سلامت در اثر مصرف سرب و کادمیوم

شاخص خطرپذیری سرب و کادمیوم برای دو گروه سنی کودکان و افراد بالغ در جدول ۵ ارائه شده است. چنانچه THQ کمتر از یک باشد، نشان‌دهنده این است که در صورت مصرف این محصولات و جذب عنصر از مسیرهای بیان شده، احتمال ابتلا به بیماری‌های ناشی از جذب عنصر مربوطه وجود ندارد. اگر THQ کمی بالاتر از یک باشد (در محدوده ۳-۱) نشان‌دهنده این است که خطر در محدوده کمینه قرار دارد. چنانچه THQ بالاتر از ۳ باشد، بدین معناست که افراد ساکن در منطقه مورد بررسی در معرض خطر جدی هستند (۲۹)

همان‌گونه که در جدول ۵ مشاهده می‌شود شاخص خطرپذیری ناشی از جذب سرب در اثر مصرف برنج و گندم بیشتر از یک است. با توجه به اینکه اگر مقدار HQ بزرگ‌تر از یک باشد، احتمال ابتلا به بیماری‌های غیرسرطانی وجود دارد (۲۷)، در صورتی که ساکنان منطقه تنها از یکی از این غلات استفاده کنند، سلامتی آنها به خطر می‌افتد.

مقادیر HQ ناشی از جذب کادمیوم در اثر مصرف هر یک از غلات در هر دو گروه سنی کودکان و افراد بالغ به‌تنهایی کوچک‌تر از یک است. این نتایج نشان می‌دهد که مصرف هر یک از این محصولات به‌تنهایی سلامت مصرف‌کننده را به خطر نمی‌اندازد. صالحی پورباورصاد و همکاران (۴) در ارزیابی پتانسیل خطر فلزات سنگین بر سلامت انسان مشاهده کردند که مقادیر HQ برای آرسنیک از طریق مصرف گندم بیشتر از یک است، اما برای سرب، نیکل، روی و مس ناشی از مصرف یک محصول کمتر از یک است. در پژوهش انجام شده توسط وانگ و همکاران (۳۱) در مجاور معدن داباوشان جنوب چین نیز مشاهده شد فقط HQ سرب ناشی از مصرف برنج بیش از یک بوده و مصرف این محصول برای ساکنان آن منطقه خطرآفرین است.

شاخص خطرپذیری ناشی از جذب سرب و کادمیوم از مسیرهای بلع غیر ارادی خاک در هر دو گروه سنی کمتر از یک است. این نتیجه نشان می‌دهد که این اعداد در محدوده قابل‌قبول هستند. مطالعه خیرآبادی (۳) نیز نشان داد شاخص خطرپذیری ناشی از فلزات سنگین از طریق بلع خاک بسیار پایین است.

همان‌گونه که در جدول ۵ مشاهده می‌شود، THQ سرب در هر دو مقدار میانگین و بیشینه برای هر دو گروه سنی بالاتر از ۳ به‌دست آمده است و نشان می‌دهد که مصرف‌کنندگان این محصولات از نظر سلامتی در معرض خطر جدی هستند. اگرچه مقادیر THQ کادمیوم برای کودکان و افراد بالغ کمتر از یک به‌دست آمده است، اما باید توجه داشت که این داده‌ها تنها مربوط به جذب از سه مسیر است و اگر سایر محصولات و مسیرها نیز بررسی شود، مقادیر این اعداد به مراتب بالاتر می‌رود. فرهاگوت و همکاران (۱۶) نیز در مطالعه ارزیابی خطر عناصر سنگین از طریق مصرف برنج، سبزیجات و میوه در اسپانیا نشان

جدول ۶. احتمال خطرپذیری به بیماری‌های سرطانی برای سرب (میکروگرم بر کیلو گرم وزن بدن در روز)

محیط تماس		سرب			
		میانگین		بیشینه	
		کودک	فرد بالغ	کودک	فرد بالغ
غلات	برنج	۸۵	۸۵	۸۵	۱۷۰
	گندم	۳۴/۹۰	۳۴/۷۰	۵۲/۳۵	۵۰/۴۸
خاک	بلع غیر ارادی	۳/۷۴	۱/۰۱	۱۳/۲	-

دادند که برای عناصر مورد مطالعه مقدار THQ کمتر از یک است هنگامی که حداقل غلظت عناصر درنظر گرفته می‌شود. ولی مقدار THQ برای آرسنیک بالای یک است هنگامی که بالاترین غلظت عناصر درنظر گرفته می‌شود.

شاخص تجمعی خطر (HI) برای فلزات سرب و کادمیوم در مقادیر میانگین برای دو گروه سنی کودکان و افراد بالغ به‌ترتیب ۴/۶۰ و ۴/۶۴ میکروگرم بر کیلوگرم وزن بدن در روز است. این نتایج نشان‌دهنده این است که در هر دو گروه سنی و در هر دو حالت میانگین و بیشینه، احتمال خطر بیماری‌های غیرسرطانی ناشی از سرب و کادمیوم وجود دارد.

محاسبه احتمال خطرپذیری به بیماری‌های سرطانی برای فلز سرب

احتمال خطرپذیری به بیماری‌های سرطانی برای فلز سرب در مقادیر میانگین و بیشینه برای دو گروه سنی کودکان و افراد بالغ در جدول ۶ ارائه شده است. در مورد فلز کادمیوم با توجه به اینکه حد سرطان‌زایی (SF_o) از طرف USEPA برای این عنصر گزارش نشده است، محاسبات مربوطه انجام نشد.

حد سرطان‌زایی (SF_o) برای سرب از طرف USEPA در سال ۲۰۰۲ مقدار ۸/۵ میکروگرم بر کیلوگرم وزن بدن در روز تعیین شده است (۳۰). بنابراین با توجه به این مقدار مبنا، مصرف هر یک از محصولات برنج و گندم احتمال زیادی در ایجاد بیماری‌های سرطانی برای مصرف‌کنندگان این محصولات به‌همراه دارد. اما بلع اتفاقی خاک به‌تنهایی مشکلی از لحاظ سرب ایجاد نمی‌کند. این نتایج در مورد مقادیر بیشینه احتمال خطر-پذیری به بیماری‌های سرطانی هم صدق می‌کند. یگانه در پژوهش خود در سال ۱۳۹۱، نشان داد که خطر سرطان‌زایی مربوط به سرب در محدوده قابل قبول بوده و ساکنین استان همدان در معرض خطر جدی بیماری‌های سرطانی ناشی از این فلز قرار ندارند (۸).

نتیجه‌گیری

به‌طورکلی نتایج این پژوهش نشان داد که شاخص خطرپذیری ناشی از جذب سرب موجود در برنج و گندم در منطقه مورد مطالعه بیشتر از یک است، یعنی در صورتی که ساکنان منطقه تنها از یکی از این غلات استفاده کنند، سلامتی آنها به خطر می‌افتد. شاخص خطرپذیری ناشی از مصرف برنج و گندم برای فلز کادمیوم کمتر از یک است و در محدوده خطر قرار ندارد. مقادیر میانگین و بیشینه احتمال خطرپذیری ناشی از جذب فلز سرب برای هر دو گروه سنی کودکان و افراد بالغ نشان‌دهنده بروز بیماری‌های سرطانی برای مصرف‌کنندگان این محصولات است. درصورتی‌که بلع غیرارادی خاک، خطری از لحاظ سرطان‌زایی ناشی از سرب به‌همراه ندارد.

منابع مورد استفاده

۱. افیونی، م.، م. پیرزاده اصفهانی، ا. خوش‌گفتارمنش و ح. خادمی. ۱۳۸۶. آلودگی کادمیوم در شالیزارها و محصول برنج سه استان اصفهان، فارس و خوزستان. دومین همایش تخصصی مهندسی محیط زیست. دانشگاه تهران.

۲. امینی، م. ۱۳۸۳. مدل سازی روند تجمع عناصر سنگین در اکوسیستم‌های زراعی و ارزیابی عدم قطعیت آن در منطقه اصفهان. پایان‌نامه دکتری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۳. خیرآبادی، ح. ۱۳۸۹. بررسی منشأ عناصر سنگین در خاک و تعیین خطر آنها بر سلامت انسان در خاک‌های سطحی استان همدان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۴. صالحی‌پورباورصاد، م. ۱۳۹۲. بررسی پتانسیل خطر فلزات سنگین بر سلامت انسان در برخی محصولات کشاورزی استان اصفهان. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۵. متین‌فر، ح. و ع. ملکی. ۱۳۸۵. بررسی وضعیت عناصر سنگین درآب، خاک و محصول برنج شالیزارهای خرم‌آباد. نخستین همایش منطقه‌ای آب. دانشگاه آزاد اسلامی واحد بهبهان.

۶. واثقی، س. ۱۳۸۰. تأثیر لجن فاضلاب بر قابلیت جذب فلزات سنگین و رشد گیاه در تعدادی از خاک‌های اسیدی و آهکی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۷. هودجی، م. و ا. جلالیان. ۱۳۸۴. پراکنش آهن، روی و سرب در خاک و محصولات کشاورزی در منطقه استقرار مجتمع فولاد مبارکه. *مجله محیط شناسی*. ۳۰: ۲۶-۱۵.

۸. یگانه، م. ۱۳۹۱. مدلسازی روند انباشت عناصر سنگین در خاک‌های سطحی استان همدان و تعیین خطرپذیری ناشی از آن برای سلامت انسان. پایان‌نامه دکتری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

9. Afshar, M., S. Ghazaei and E. Saad. 2000. Determination of cadmium in Amol and Thailand rice. *In:* Proceeding of the 4th international Iranian Congress on Poisoning, Iran.
10. Alloway, B. J. 1995. Heavy Metals in Soils. Blackie and Sons, Ltd. London, England.
11. Alvarez-Ayuso, E., V. Otones., A. Murciego and I. S. R. Rodriguez. 2012. Antimony, arsenic and lead distribution in soils and plants of an agricultural area impacted by former mining activities. *Science of the Total Environment* 439: 35–43.
12. Amini, M., M. Afyuni., H. Khademi., K. C. Abbaspour and R. Schulin. 2005. Mapping risk of cadmium and lead contamination to human health's in soils of Central Iran. *Science of the Total Environment* 374: 64-74.
13. Boussen, S., M. Soubrand., H. Bril., K. Ouerfelli and S. Abdeljaouad. 2013. Transfer of lead, zinc and cadmium from mine tailings to wheat (*Triticum aestivum*) in carbonated Mediterranean (Northern Tunisia) soils. *Geoderma* 192: 227–236.
14. Bowen, H. J. M. 1979. The Environmental Chemistry of the Elements, Academic Press, New York. USA.
15. Cabrera, F., J. L. Ariza, P. Madejón, E. Madejón and J. M. Murillo. 2008. Mercury and other trace elements in soils affected by the mine tailing spill in Aznalcóllar (SW Spain). *Science of the Total Environment* 390: 311-322.
16. Ferre-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. *Biological Trace Element Research* 123: 66-79.
17. Fu, J., Q. Zhou., J. Liu., W. Liu., T. Wang, Q. Zhang and G. Jiang. 2008. High levels of Heavy metal in rice (*Oryza sativa L.*) from a typical E-waste recycling area in southeast China and its potential risk to human health. *Chemosphere* 71: 1269-1275.
18. Geranian, H., A. R. Mokhtari and D. R. Cohen. 2013. A comparison of fractal methods and probability plots in identifying and mapping soil metal contamination near an active mining area, Iran. *Science of the Total Environment* 463–464: 845–854
19. Ghaderian, S. M., G. R. Hemmat, R. D. Reeves and A. J. M. Baker. 2007. Accumulation of lead and zinc by plants colonizing a metal mining area in central Iran. *Journal of Applied Botany and Food Quality* 81: 145–150.
20. Harmanescu, M., L. M. Alda, D. M. Bordean, L. Gogoasa and L. Gergen. 2011. Heavy metals health risk assessment for population via consumption of vegetables grown in old mining area; a case study: Banat County,

Romania. *Chemistry Central Journal* 5: 64–74.
21. Ji, K., J. Kim, M. Lee, H. J. Kwon, H. K. Cheong, J. Y. Jang, D. S. Kim, S. Yu, Y. W. Kim, K. Y. Lee, S. O. Yang, I. J. Jhung, W. H. Yang, D. H. Paek, Y. C. Hong and K. Choi. 2013. Assessment of exposure to heavy metals and health risks among residents near abandoned metal mines in Goseong, Korea. *Environmental Pollution* 178: 322–328.
22. Liu, C. P., C. L. Luo, Y. Gao, F. B. Li, L. W. Lin, C. A. Wu and X. D. Li. 2010. Arsenic contamination and potential health risk implications at an abandoned tungsten mine, southern China. *Environmental Pollution* 158: 820–826.
23. Mohammadifard, N., N. Omidvar and A. N. H. Rad. 2006. Does fruit and vegetable intake differ in adult females and meals in Isfahan. *Arya Journal* 1: 193-2001.
24. Nriago, J. O. and J. M. Pacyna. 1988. Quantitative assessment of world-wide contamination of air, water and soils by trace metals. *Nature* 333: 134-139.
25. Obiora, S. C., A. Chukwu and T. C. Davies. 2016. Heavy metals and health risk assessment of arable soils and food crops around Pb-Zn mining localities in Enyigba, southeastern Nigeria. *Journal of African Earth Sciences* 116: 182-189.
26. Rashid, M. H., Z. Fardous, M. A. Z. Chowdhury, M. Khorshed Alam, M. Latiful Bari, M. Moniruzzaman and S. Hua Gan. 2016. Determination of heavy metals in the soils of tea plantations and in fresh and processed tea leaves: an evaluation of six digestion methods. *Chemistry Central Journal* 10(7):1-13.
27. 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.
28. USEPA (US Environmental Protection Agency). 1997. Exposure Factor Handbook. National Center for Environmental Assessment. EPA/600/8-89/043. Office of Health and Environmental Assessment, Washington, DC, USA.
29. USEPA. 2000. Risk-Based Concentration Table. Office of Health and Environmental Assessment, Washington, DC, USA.
30. USEPA (US Environmental Protection Agency). 2002. Child Specific Exposure Factors Handbook. Risk Assessment Guidance for Superfund. Volume 1: Human Health Evaluation Manual (Part A). EPA/540/1-890002. Office of Emergency and Remedial Response, Washington, DC, USA.
31. Wang, X., T. Sato, B. Xing and S. Tao. 2005. Health risk of heavy metals to the general public in Tianjin, China via consumption of vegetables and fish. *Science of the Total Environment* 350: 29-37.
32. WHO, World Health Organization. 1993. Evaluation of Certain Food Additives and Contaminants (41st Report of the Join FAO/WHO Expert Committee on Food Additives). WHO Tech. Reports Series No. 837.
33. Zhuang, P., A. Li, B. Zou, H. Xia and G. Wang. 2013. Heavy metal contamination in soil and soybean near the Dabaoshan Mine, South China. *Pedosphere* 23(3): 298–304.
34. Zhuang, P., Z. A. Li, M. B. McBride and G. Wang. 2013. Health risk assessment for consumption of fish originating from ponds near Dabaoshan mine, South China. *Environmental Science and Pollution Research* 20: 5844–5854

Journal of Water and Soil Science (Science and Technology of Agriculture and Natural Resources)
Vol. 22, No. 4, Winter 2019, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Risk Assessment of Pb and Cd on Human Health's in Agricultural Lands around Irankooh Mine in Isfahan Province

SH. Arabi and E. Chavoshi[1*]

(Received: October 16-2015; Accepted: December 17-2017)

Abstract

The objectives of this study were to estimate the concentration of lead (Pb) and cadmium (Cd) in agricultural products and the health risks of them on the human healths around the Irankooh Mine in Isfahan Province. The soil samples (0-20 cm of surface layer) and crop samples (rice and wheat) were collected using the composite and random sampling method. The total concentrations of Pb and Cd in soil were found to be 71.18 and 1.57 mg kg^{-1}. The mean Pb concentrations in rice and wheat were 7.81 and 2.31 mg kg^{-1}, respectively. These values for Cd were 0.15 and 0.124 mg kg^{-1}, respectively. The mean daily intake of Pb through the consumption of cereals was more than the dietary reference intake (3.6 µg kg^{-1} day^{-1}), but the daily intake of Cd was less than the dietary reference intake. The hazard index (HI) mean value for Pb and Cd for children and adults was 4.60 and 4.64, respectively. It showed that the consumption of the entire foodstuff could lead to potential health risks for consumers. There is also the cancer risk associated with exposure to lead.

Keywords: Lead, Cadmium, Hazard index, Wheat, Rice

1. Department of Soil Science, Collage of Agriculture, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran.
*: Corresponding Author, Email: chavoshie@yahoo.com