

ارزیابی خطر سلامتی فلزات سنگین (کادمیوم و سرب) در محصولات گلخانه‌ای برداشت‌شده از گلخانه‌های اطراف معدن ایرانکوه در سال ۱۳۹۶

امیرحسین بقائی^{۱*}، مهران کشاورزی^۲

۱. گروه خاک‌شناسی، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران.
۲. گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

چکیده

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۸/۱۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۱/۲۴

زمینه آلودگی خاک‌ها به فلزات سنگین دائماً در حال گسترش است و سلامت انسان را به‌خطر انداخته است. در این میان، برداشت از معادن حاوی فلزات سنگین، از جمله سرب و کادمیوم، موجب افزایش آلودگی خاک شده است. بنابراین، این تحقیق با هدف ارزیابی خطر سلامتی فلزات سنگین (کادمیوم و سرب) در محصولات گلخانه‌ای برداشت‌شده از گلخانه‌های اطراف معدن ایرانکوه صورت پذیرفت.

روش کار در این مطالعه توصیفی - مقطعی، ۱۰ گلخانه خیار، گوجه‌فرنگی و فلفل‌دلمه‌ای در اطراف مجتمع ایرانکوه به‌طور تصادفی انتخاب شد؛ به‌نحوی که نشانگر الگوی پراکنش کادمیوم و سرب موجود در منطقه باشد. در زمان برداشت محصول، نمونه‌برداری از میوه و خاک گلخانه صورت پذیرفت. در هر نمونه‌برداری، ۱۰ نمونه از هر محصول و همچنین خاک سطحی هر گلخانه برای آزمایش انتخاب شد. غلظت سرب و کادمیوم با استفاده از دستگاه جذب اتمی تعیین شد و ارزیابی خطر سلامتی این فلزات براساس مدل پیشنهادی آژانس محیط زیست آمریکا تعیین شد.

یافته‌ها بیشترین و کمترین میزان جذب کادمیوم و سرب روزانه بدن انسان در گروه سنی ۳ تا ۶ سال به‌ترتیب مربوط به مصرف ۵۵ و ۱۰۰ گرم در روز فلفل‌دلمه‌ای و خیار بود. در گروه بزرگسال ۱۸ تا ۳۵ سال نیز، نتایج مشابهی مشاهده شد. ضریب خطرپذیری کادمیوم برای تمام گروه‌های سنی بیشتر از سرب بود. بیشترین ضریب خطرپذیری سرب و کادمیوم مربوط به ورود آن‌ها از طریق تماس پوستی با خاک بوده و کمترین آن از طریق ورود از طریق بلع بوده است.

نتیجه‌گیری نتایج این پژوهش نشان داد که غلظت بالای سرب و کادمیم در محصولات گلخانه‌ای تولیدشده در اطراف معدن ایرانکوه مسئله مهمی برای سلامت مصرف‌کنندگان این محصولات محسوب می‌شود که باید بیشتر مورد توجه قرار گیرد.

کلیدواژه‌ها:

ریسک آلودگی، سرب، کادمیوم، معدن ایرانکوه.

۱. مقدمه

بودن آن‌ها برای گیاهان تا بیست‌برابر سایر فلزات سنگین است. آلودگی خاک با فلزات سنگین یکی از مشکلات زیست‌محیطی است که علاوه‌بر کاهش عملکرد و کیفیت محصول، پایداری تولیدات کشاورزی و سلامت جامعه بشری را به‌خطر می‌اندازد [۱]. تقریباً نیمی از میانگین سرب و

فلزات سنگین از قبیل کادمیوم، سرب و جیوه از آلاینده‌های زیست‌محیطی هستند که در سطح یا بافت تازه گیاهان یافت می‌شوند. در بین فلزات سنگین، کادمیوم و سرب اهمیت ویژه‌ای دارند؛ زیرا به‌راحتی جذب گیاهان می‌شوند و سمی

* نویسنده مسئول: امیرحسین بقائی

نشانی: گروه خاک‌شناسی، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران.

دورنگار: ۰۸۶-۳۴۱۳۲۲۲۷۹

تلفن: ۰۹۱۳۱۶۹۶۷۲۱

رایانه: a-baghaie@iau-arak.ac.ir

شناسه ORCID: 0000-0002-8936-1202

شناسه ORCID نویسنده اول: 0000-0002-8936-1202

مجله علمی - پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی سبزوار، دوره ۲۶، شماره ۲، مرداد و شهریور ۱۳۹۸، ص ۲۹۳-۳۰۲
آدرس سایت: <http://jsums.medsab.ac.ir> رایانامه: journal@medsab.ac.ir
شاپای چاپی: ۱۶۰۶-۷۴۸۷

همچنین کاهش غلظت فلزات سنگین در دانه سویا با افزایش فاصله از معدن مشاهده شد [۸]. با توجه به مطالب ذکر شده ارزیابی خطر آلودگی فلزات سنگین امری ضروری به نظر می‌رسد [۹-۱۱].

برین و همکار [۱۲] در تحقیقی به ارزیابی خطر ناشی از مس و روی در گندم و برنج و خاک اطراف معدن ایرانکوه اصفهان پرداختند. به گزارش آن‌ها، میزان جذب روزانه مس و روی در محصولات کشاورزی در اطراف این منطقه پایین‌تر از حد استاندارد سازمان بهداشت جهانی (WHO) بوده است. همچنین این محققان گزارش کردند که ضریب خطرپذیری ناشی از مصرف گندم و جو در این منطقه کمتر از ۱ بوده است.

با توجه به اهمیت بهداشتی میزان فلزات سنگین در سبزیجات و نقش آن‌ها در سلامتی انسان، ضرورت بررسی سلامت استفاده از محصولات گلخانه‌ای امری ضروری به نظر می‌رسد [۱۳]. با توجه به اینکه غلظت فلزات سنگین در خاک به ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک بستگی دارد [۱۴]، ارزیابی ریسک آلودگی فلزات سنگین در هر منطقه و بیان خطر ورود فلزات سنگین برای ساکنان آن‌ها لازم است [۱۵]. تاکنون تحقیقات و مطالعات اندکی در مورد آلودگی محصولات کشت شده در اطراف معدن ایران انجام شده است [۱۲]؛ لذا تعیین وضعیت آلودگی محصولات مختلف کشاورزی و بیان ریسک آلودگی به فلزات سنگین در آن‌ها ضرورت دارد. بنابراین، تحقیق حاضر با ارزیابی خطر سلامتی فلزات سنگین (کادمیوم و سرب) در محصولات گلخانه‌ای برداشت شده از گلخانه‌های اطراف معدن ایرانکوه (در بیست کیلومتری جنوب غربی شهر اصفهان) صورت پذیرفته است.

۲. مواد و روش‌ها

این مطالعه توصیفی - مقطعی بر روی ۱۰۰ نمونه از محصولات گلخانه‌ای خیار، گوجه‌فرنگی و فلفل‌دلمه‌ای در ۱۰ گلخانه اطراف مجتمع ایرانکوه به صورت تصادفی انجام شد؛ به نحوی که نمونه‌ها بتواند گویای وضعیت پراکنش آلودگی سرب و کادمیوم منطقه باشد. جهت بررسی نقش آلودگی این خاک‌ها در زنجیره غذایی انسان، ۱۰ گلخانه کاشت محصولات صیفی و سبزی واقع در شعاع یک تا سه کیلومتری معدن ایرانکوه انتخاب شد و نمونه‌برداری از خاک و گیاه منطقه صورت پذیرفت. نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل شد؛ پس از شستن آن‌ها، بخش خوراکی گیاه جدا شد و پس از آماده‌سازی نمونه‌ها، غلظت سرب و کادمیوم موجود در آن‌ها به وسیله دستگاه

کادمیوم از طریق غذاهای ناشی از منشأ گیاهی (میوه، سبزی، غلات و حبوبات) است. آلودگی خاک به فلزات سنگین ممکن است به طور وسیعی در شهرها گسترش یابد که ناشی از کارهای صنعتی یا فعالیت‌های معدن است. فلزات سنگین به روش‌های مختلفی وارد بدن انسان می‌شوند. برای مثال استنشاق گردوغبار و مصرف فلزات سنگین توسط گیاهان رشد یافته در منطقه منجر به ورود فلزات سنگین به زنجیره غذایی خواهد شد [۲].

ظفرزاده و همکار [۳] در مطالعه‌ای با عنوان «بررسی غلظت فلزات سنگین روی، مس، سرب و کادمیوم در خیار و گوجه‌فرنگی توزیع شده در میدان‌های میوه و تره‌بار گنبد و گرگان» میانگین غلظت کادمیوم و سرب را به ترتیب در نمونه‌های خیار بیش از ۲ و ۱۴، در نمونه‌های گوجه‌فرنگی گنبد ۰/۶ و ۵ و در نمونه‌های گوجه‌فرنگی گرگان ۱/۶ و ۷ برابر بیش از حد مجاز تعیین شده سازمان بهداشت جهانی (به ترتیب برای سرب و کادمیوم برابر ۰/۳ و ۰/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) برآورد کرده‌اند. ناظمی و همکاران [۴] میزان عناصر سرب و کادمیوم را در سبزیجات گلخانه‌ای در حومه شهر شاهرود مورد بررسی قرار داده‌اند. نتایج نشان داد میانگین سرب و کادمیوم در سبزیجات بیش از استاندارد سازمان بهداشت جهانی (WHO) بوده است؛ آن‌ها همچنین آلودگی خاک به فلزات سنگین را مهم‌ترین عامل آلودگی سبزیجات دانستند. اصولاً سبزیجات جزء مهمی از زنجیره غذایی انسان است؛ زیرا دارای کربوهیدرات‌ها، پروتئین‌ها، مواد معدنی و عنصر کم‌مصرف است [۵].

در سال‌های اخیر در جوامع شهری، مصرف سبزیجات رو به افزایش است و کاشت این سبزیجات در مناطق آلوده به فلزات سنگین اثر مخربی بر سلامت انسان خواهد داشت [۶]. از یک سو با توجه به اهمیت این قبیل مواد غذایی و مصرف سبزیجات آلوده و از سوی دیگر به دلیل ورود فلزات سنگین به چرخه غذایی انسان، باید با انجام دادن مطالعات منطقه‌ای و بررسی علل و عوامل آلاینده، سلامت غذایی سبزیجات مصرفی مورد بررسی قرار گیرد. یافته‌های خان و همکاران [۷] در بررسی ضرایب خطرپذیری عناصر سنگین ناشی از مصرف سبزی در شمال پاکستان نشان داد که مصرف سبزی‌های آلوده می‌تواند موجب اثرات سوء بر سلامتی انسان شود. در پژوهش دیگری در جنوب چین، برای تعیین غلظت عناصر سرب و کادمیوم در دانه گیاه سوپای کشت شده در نزدیک معدن داباوشان مشاهده شد که دانه‌های سویایی که در مجاورت معدن کشت شده‌اند، دارای تجمع برخی از فلزات هستند.

SA: ناحیه‌ای از سطح پوست قرارگرفته در معرض فلزات (سانتی‌مترمربع).

BW: وزن شخص قرارگرفته در معرض فلزات برای کودکان ۱-۶ سال برابر ۱۵ کیلوگرم و برای بزرگسالان ۷۰ کیلوگرم در نظر گرفته شد [۱۲].

AT: مدت زمان قرارگیری در معرض فلزات به‌طور میانگین (روز) که $ED \times 365$ است.

C_{soil}: غلظت فلز سنگین در خاک (میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک).

CF: فاکتور تبدیل که برابر 10^{-6} کیلوگرم بر میلی‌گرم است.

AF: فاکتور چسبیدن خاک به پوست (میلی‌گرم بر سانتی‌مترمربع در هر رخداد).

ABS_d: نسبت جذب از طریق پوست.

قابل ذکر است که میانگین و بیشینه برخی پارامترهای مورد نیاز در معادله ۱ که در جدول ۱ ذکر شده، براساس مقادیر قیدشده توسط آژانس محیط زیست امریکا است.

جذب اتمی پریکین المر مدل ۳۰۳۰ اندازه‌گیری شد [۱۶]. غلظت سرب و کادمیوم کل موجود در نمونه‌های خاک به‌روش بقائی و همکاران [۱۷] اندازه‌گیری شد.

ارزیابی خطر ناشی از ورود سرب و کادمیوم به بدن از مسیر جذب پوستی براساس معادله ۱ محاسبه شد [۱۲].

(معادله ۱)

$$DAD = DA \text{ event} \times EV \times ED \times EF \times SA / (BW \text{ AT})$$

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

در این معادله:

DAD: میزان جذب از طریق پوست (میلی‌گرم بر کیلوگرم در روز).

DAevent: مقدار جذب از طریق پوست در هر رخداد (میلی‌گرم بر سانتی‌مترمربع در رخداد).

EV: دفعات رخداد (رخداد در روز).

EF: دفعات تماس (روز در سال).

ED: مدت قرارگیری در معرض فلزات (سال).

جدول ۱. میانگین و بیشینه مقادیر پیشنهادشده برای جذب پوستی سرب و کادمیوم بر اثر تماس با خاک [۱۸]

پارامترهای تماس	واحد	میانگین	بیشینه
EV	رخداد در روز	۱	۱
EF	روز در سال	۳۵۰	۳۵۰
ED	سال	۹	۳۰
ABS _d	----	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱
SA	سانتی‌مترمربع	کودک: ۲۸۰۰ بزرگسال: ۵۷۰۰	کودک: ۲۸۰۰ بزرگسال: ۵۷۰۰
AF	میلی‌گرم بر سانتی‌مترمربع	کودک: ۰/۰۴ بزرگسال: ۰/۰۱	کودک: ۰/۲ بزرگسال: ۰/۰۷

(سال) که برای هر دو گروه سنی با توجه به اینکه ساکنان روستاهای اطراف در معرض دائم آلاینده‌گی هستند، برابر ۳۶۵ روز تعیین شد.

ED: مدت قرارگیری در معرض فلزات (سال) که برای بزرگسالان ۲۴ سال و برای کودکان ۶ سال در نظر گرفته شد [۲۱].

BW: وزن شخص قرارگرفته در معرض فلزات برای کودکان ۱۵ کیلوگرم و برای بزرگسالان ۵۵/۹ کیلوگرم تعیین شد [۲۱].

AT: مدت زمان قرارگیری در معرض فلزات به‌طور میانگین (روز) که $ED \times 365$ است [۱۲].

AF: فاکتور جذب (بدون واحد) ۱۰۰ درصد در نظر گرفته شد [۱۲].

CF: فاکتور تبدیل (10^{-6} کیلوگرم بر میلی‌گرم) [۱۲].

میزان جذب سرب و کادمیوم از طریق مصرف محصولات گلخانه‌ای یا بلع خاک براساس معادله ۲ محاسبه شد [۱۹].

(معادله ۲)

$$\text{Intake} = C \times IR \times EF \times ED \times AF \times CF / BW \times AT$$

در این معادله:

Intake: میزان جذب روزانه (میکروگرم بر کیلوگرم وزن بدن در روز).

C: غلظت عنصر سرب و کادمیوم در خاک و محصولات گلخانه‌ای (میلی‌گرم بر کیلوگرم).

IR: میزان مصرف متوسط و حداکثر روزانه محصولات (میلی‌گرم در روز) [۲۰]؛ میزان بلع روزانه خاک برای دو گروه سنی بزرگسال و کودکان به‌طور جداگانه برابر ۰/۱ و ۰/۲ گرم در روز در نظر گرفته شد [۲۱].

EF: فراوانی قرارگیری در معرض سرب و کادمیوم (روز در

گرفته شد [۲۱].

DAD, Intake و CDI همان پارامترهای معرفی شده در معادلات ۱-۳ است.

۳. یافته‌ها

نتایج جدول ۲ حاکی از آن است که بیشترین میانگین جذب روزانه سرب به میزان ۱/۹۸ میکروگرم سرب بر کیلوگرم وزن بدن در روز ناشی از مصرف ۵۵ گرم در روز فلفل‌دلمه‌ای (به‌طور میانگین) در گروه سنی کودک ۳ تا ۶ سال با متوسط وزنی ۱۵ کیلوگرم است. کمترین میانگین جذب روزانه سرب مربوط به میانگین مصرف ۱۰۰ گرم در روز خیار (به‌طور میانگین) به میزان ۰/۹۲ میکروگرم سرب بر کیلوگرم وزن بدن در این گروه سنی بود. مصرف ۸۰ گرم گوجه‌فرنگی (به‌طور میانگین) در گروه کودکان ۳ تا ۶ سال باعث شده تا میزان جذب سرب روزانه در این گروه سنی به ۱/۱۱ میکروگرم بر کیلوگرم وزن بدن در روز برسد. گفتنی است که برای عنصر کادمیوم نیز روند مشابهی مشاهده شد؛ به‌نحوی که بیشترین کمترین جذب کادمیوم روزانه به ترتیب مربوط به مصرف ۵۵ و ۱۰۰ گرم در روز فلفل‌دلمه‌ای و خیار (به‌طور میانگین) در گروه سنی کودک ۳ تا ۶ سال است. نتایج این تحقیق حاکی از آن است که میزان جذب روزانه سرب توسط بدن کودکان گروه ۳ تا ۶ سال ناشی از مصرف خیار، گوجه و فلفل‌دلمه‌ای بیشتر میزان جذب روزانه کادمیوم بوده است. بیشترین میزان جذب روزانه کادمیوم (به‌طور میانگین) در گروه بزرگسالان مربوط به مصرف روزانه ۸۰ فلفل‌دلمه‌ای و کمترین میزان جذب روزانه کادمیوم (به‌طور میانگین) ناشی از مصرف ۱۲۰ گرم در روز خیار در گروه سنی ۱۸ تا ۳۵ سال بوده است. قابل ذکر است که در گروه بزرگسالان نیز، میزان جذب روزانه سرب ناشی از مصرف محصولات گلخانه‌ای ذکر شده در این پژوهش بیشتر از کادمیوم بوده است. درمورد بیشینه میزان جذب روزانه سرب و کادمیوم ناشی از مصرف محصولات گلخانه‌ای نیز روند مشابهی یافت شد.

در گروه سنی کودکان ۳ تا ۶ سال بیشترین میزان جذب روزانه سرب (به‌طور میانگین) با مقدار ۰/۵ میکروگرم بر کیلوگرم وزن بدن در روز ناشی از بلع خاک و کمترین میزان جذب روزانه سرب در این گروه سنی ناشی از ورود فلزات سنگین از طریق تماس پوستی بوده است. براساس گزارش سازمان بهداشت جهانی (WHO)، برای میزان جذب روزانه فلز سنگین از طریق استنشاق میزان بیشینه محاسبه می‌شود و میانگین در نظر گرفته نمی‌شود [۱۲]. درمورد میزان جذب

همچنین میزان جذب عناصر از طریق استنشاق از معادله ۳ محاسبه شد [۱۲].

(معادله ۳)

$$CDI = CS \times IR \times F_{inh} \times EF \times ED / BW \times AT \times PEF$$

در این معادله:

CDI: جذب روزانه (میلی‌گرم بر کیلوگرم در روز).
CS: غلظت آلاینده در خاک (میلی‌گرم بر کیلوگرم).
IR: میزان استنشاق براساس مترمکعب در روز که برای کودکان و بزرگسالان به ترتیب برابر ۱۰ و ۲۰ است.
 F_{inh} : نسبت استنشاق ۱ تعیین شد.
EF: فراوانی قرارگیری در معرض فلزات (روز در سال) که برای ساکنان منطقه برابر ۳۶۵ روز در نظر گرفته شد.
ED: مدت قرارگیری در معرض فلزات (سال) که برای بزرگسالان ۲۴ سال و برای کودکان ۳ تا ۶ سال در نظر گرفته شد.

PEF: فاکتور انتشار فلزات از خاک به هوا (مترمکعب بر کیلوگرم) که برابر $10^9 \times 1/36$ برای هر دو گروه سنی است. ضریب خطرپذیری سرب یا کادمیوم به بیماری‌های غیرسرطانی ناشی از مصرف محصولات گلخانه‌ای یا ورود خاک آلاینده به بدن از مسیرهای بلع ($HQ_{injection}$)، استنشاق ($HQ_{inhalation}$) و تماس پوستی (HQ_{dermal})، همچنین میزان خطرپذیری کل به بیماری‌های غیرسرطانی ناشی از جذب روزانه هر عنصر (THQ) با استفاده از معادله ۴ محاسبه شد [۲۱].

(معادله ۴)

$$HQ_{injection} = Intake / RFD$$

$$HQ_{inhalation} = CDI / RFD_i$$

$$HQ_{dermal} = DAD / RFD_i$$

$$THQ = (HQ_{injection} + HQ_{inhalation} + HQ_{dermal})$$

در این معادله:

$HQ_{injection}$ ، $HQ_{inhalation}$ و HQ_{dermal} به ترتیب شامل جذب از طریق مصرف محصول گلخانه‌ای یا بلع، استنشاق و تماس پوستی هستند.

RFD نشان‌دهنده حداکثر غلظتی از عنصر است که برای موجودات زنده مشکلی ایجاد نکرده است. قابل ذکر است که مقدار RFD_i برای عنصر کادمیوم در مسیر بلع و تنفسی برابر 10^{-3} و برای مسیر جذب پوستی 10^{-5} و برای عنصر سرب، مقدار RFD_i در مسیر بلع $10^{-3} \times 3$ ، در مسیر تنفسی $10^{-3} \times 3/52$ و برای مسیر جذب پوستی $10^{-4} \times 5/25$ در نظر

روزانه کادمیوم از طریق بلع و کمترین آن از طریق تماس پوستی بوده است.

روزانه کادمیوم در گروه سنی کودکان ۳ تا ۶ سال نیز نتایج مشابهی یافت شد؛ به این ترتیب که بیشترین میانگین جذب

جدول ۲. میانگین و بیشینه جذب سرب و کادمیوم (میکروگرم بر کیلوگرم در روز) ناشی از مصرف محصولات گلخانه‌ای و خاک

بیشینه				میانگین					
بزرگسال		کودک		بزرگسال		کودک			
سرب	کادمیوم	سرب	کادمیوم	سرب	کادمیوم	سرب	کادمیوم		
۱/۸	۱/۶۳	۱/۳۵	۱/۲۴	۱/۲۳	۱/۱۲	۰/۹۲	۰/۸۱	خیار	محصول گلخانه‌ای
۲/۱۴	۱/۹۲	۱/۶۶	۱/۵۴	۱/۴۳	۱/۳۱	۱/۱۱	۱/۰۰	گوجه	
۴/۲۴	۳/۵۱	۲/۹۸	۲/۷۴	۲/۷۳	۲/۳۴	۱/۹۸	۱/۸۱	لفل‌دلمه‌ای	
---	---	۲/۰۸	۱/۳۲	۰/۴۳	۰/۲۱	۰/۵۲	۰/۳۳	بلع	خاک
۱/۱۲	۰/۸۴	۰/۸۲	۰/۶۱	---	---	---	---	استنشاق	
-۱	-۱	-۱	-۱	-۱	-۱	-۱	-۱	تماس پوستی	
۳/۵۴×۱۰	۱/۸۷×۱۰	۲/۳۵×۱۰	۲/۳۲×۱۰	۲/۳۸×۱۰	۱/۵۸×۱۰	۱/۴۲×۱۰	۱/۲۶×۱۰		

مورد بحث در این پژوهش متعلق به مصرف ۱۰۰ گرم در روز خیار (به‌طور میانگین) است. درمورد کادمیوم نیز بیشترین ضریب خطرپذیری کادمیوم به بیماری‌های غیرسرطانی مربوط به مصرف ۵۵ گرم در روز (به‌طور میانگین) فلفل‌دلمه‌ای و کمترین ضریب خطرپذیری همراه با مصرف ۱۰۰ گرم در روز (به‌طور میانگین) خیار در گروه سنی کودکان ۳ تا ۶ سال بوده است. قابل ذکر است که در گروه سنی کودکان ۳ تا ۶ سال، ضریب خطرپذیری کادمیوم به بیماری‌های غیرسرطانی بیشتر از سرب بوده است. ضریب خطرپذیری سرب و کادمیوم در گروه سنی ۱۸ تا ۳۵ سال نیز نتایج مشابهی را نشان داد. همچنین ضریب خطرپذیری کادمیوم به بیماری‌های غیرسرطانی ناشی از مصرف خاک از تمام مسیرهای بلع، استنشاق و تماس پوستی بیشتر از خطرپذیری سرب بوده است.

در گروه سنی بزرگسالان بین ۱۸ تا ۳۵ سال نیز، روند مشابهی یافت شد؛ به این شرح که کمترین مسیر جذب روزانه کادمیوم و سرب از طریق تماس پوستی بوده و در این میان میزان جذب روزانه سرب از طریق تماس پوستی بیشتر از کادمیوم بوده است. همچنین نتایج مربوط به بیشینه جذب روزانه سرب در هر دو گروه سنی ناشی از مصرف محصولات گلخانه‌ای، استنشاق و تماس پوستی نتایج مشابهی را نشان می‌دهد.

نتایج جدول ۳ حاکی از آن است که در گروه سنی کودکان ۳ تا ۶ سال، ضریب خطرپذیری ابتلا به بیماری‌های غیرسرطانی (HQ) ناشی از جذب روزانه کادمیوم بیشتر از سرب بوده است. بیشترین ضریب خطرپذیری سرب مربوط به مصرف ۵۵ گرم در روز (به‌طور میانگین) فلفل‌دلمه‌ای بوده و کمترین ضریب خطرپذیری سرب در بین محصولات گلخانه‌ای

جدول ۳. ضریب خطرپذیری ابتلا به بیماری‌های غیرسرطانی ناشی از جذب روزانه سرب و کادمیوم

بیشینه				میانگین					
بزرگسال		کودک		بزرگسال		کودک			
سرب	کادمیوم	سرب	کادمیوم	سرب	کادمیوم	سرب	کادمیوم		
۰/۴۵	۱/۶۳	۰/۳۳	۱/۲۴	۰/۳۰	۱/۱۲	۰/۲۳	۰/۸۱	خیار	محصول گلخانه‌ای
۰/۵۳	۱/۹۲	۰/۴۱	۱/۵۴	۰/۳۵	۱/۳۱	۰/۲۷	۱/۰۰	گوجه	
۱/۰۶	۳/۵۱	۰/۸۷	۲/۷۴	۰/۶۸	۲/۳۴	۰/۴۵	۱/۸۱	لفل‌دلمه‌ای	
---	---	۰/۴۹	۱/۳۲	۰/۱۴	۰/۲۱	۰/۱۷	۰/۳۳	بلع	خاک
۰/۳۱	۰/۸۴	۰/۲۳	۰/۶۱	---	---	---	---	استنشاق	
۰/۶۷	۱/۸۷	۰/۶۴	۲/۳۲	۰/۴۵	۱/۵۸	۰/۲۷	۱/۲۶	تماس پوستی	

سنی میانگین و بیشینه ضریب خطرپذیری کل عددی بالاتر از ۱ را نشان می‌دهد که این می‌تواند برای سلامت انسان خطرساز باشد. لازم است ذکر شود که ضریب خطرپذیری کل در همه گروه‌های سنی درمورد کادمیوم بیشتر از سرب است.

ضریب خطرپذیری کل ابتلا به بیماری‌های سرطانی (THQ) ناشی از جذب روزانه سرب و کادمیوم ناشی از خاک (الف) و محصولات گلخانه‌ای در شکل ۱ نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، در تمام گروه‌های



شکل ۱. ضریب کل خطرپذیری به بیماری‌های غیرسرطانی (THQ) ناشی از جذب روزانه سرب و کادمیوم در خاک (الف) و مصرف محصولات گلخانه‌ای (ب)

۴. بحث و نتیجه‌گیری

نقش مهمی در افزایش میزان جذب روزانه فلزات سنگین در بدن انسان دارد. پاکزاد و همکاران [۲۴] در تحقیقی به بررسی غلظت عناصر سنگین در نهشته‌های شیلی معادن ایرانکوه پرداختند و غلظت سرب و کادمیوم موجود در این منطقه را بیشتر از حد استاندارد تعیین‌شده از سوی سازمان بهداشت جهانی [۲۳] گزارش کردند و بالا بودن غلظت فلزات سنگین را علت اصلی ورود این عناصر به زنجیره غذایی دانستند که این مطلب با نتایج تحقیق حاضر همخوانی دارد. در این زمینه، ژو و همکاران [۲۵] نیز در تحقیقی نشان دادند که آلودگی محصولات به فلزات سنگین در مناطق اطراف معادن باعث به خطر افتادن سلامت ساکنان آن محل شده است که نتایج تحقیق حاضر نیز تأکیدی بر این ادعاست. در مطالعه‌ای که جهت ارزیابی آلودگی خاک کشاورزی و باطله‌ها به فلزات سنگین در معدن متروکه سرب و روی در شمال خاور یونان انجام شد، نمونه‌های باطله دارای غلظت بسیار زیادی از فلزات سنگین سرب و کادمیوم بوده است. همچنین نمونه‌های خاک‌های نزدیک به محدوده معدن نیز دارای غلظت بالایی از فلزات سنگین بوده که نشان‌دهنده وابستگی آلودگی خاک به فعالیت‌های معدن‌کاری است [۲۶]. براساس نتایج مذکور و پژوهش حاضر باید گفت در برداشت از معادن علاوه بر جنبه‌های اقتصادی، باید به ابعاد زیست‌محیطی نیز توجه زیادی کرد.

همان‌گونه که نتایج جدول ۲ نشان می‌دهد، صرف‌نظر از گروه‌های سنی ذکرشده در این پژوهش، میزان جذب سرب ناشی از مصرف روزانه محصولات گلخانه‌ای در اکثر موارد عددی زیر حد استاندارد را نشان می‌دهد که برابر ۳/۶ میکروگرم بر کیلوگرم وزن بدن است و تنها در حالت بیشینه مصرف فلفل‌دلمه‌ای، میزان جذب روزانه سرب نمودار عددی بالاتر از حد استاندارد است. با توجه به حلالیت بیشتر کادمیوم

همان‌گونه نتایج جدول ۲ نشان می‌دهد، مصرف ۵۵ گرم فلفل‌دلمه‌ای در روز (به‌طور میانگین) باعث جذب روزانه ۱/۸۱ میکروگرم بر کیلوگرم در روز کادمیوم در بدن انسان می‌شود که این مقدار عددی بیشتر از میزان دریافت قابل تحمل روزانه موقتی (PTDI) فلز کادمیوم (یک میکروگرم بر کیلوگرم وزن بدن در روز) پیشنهادی مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران است [۲۲]. با توجه به اینکه کادمیوم سمی و خطرناک بوده و در بین فلزات سنگین خطر زیادی برای سلامت انسان به‌همراه دارد، مصرف میانگین ۵۵ گرم فلفل‌دلمه‌ای در روز می‌تواند به سلامت گروه سنی کودکان ۳ تا ۶ سال آسیب زیادی بزند [۱]. درمورد گوجه‌فرنگی نیز مصرف میانگین ۸۰ گرم گوجه‌فرنگی آلوده باعث جذب روزانه یک میکروگرم کادمیوم بر کیلوگرم وزن بدن در روز در گروه سنی کودکان ۳ تا ۶ سال می‌شود که در مقایسه با حد استاندارد مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، خطرات زیادی خواهد داشت. همچنین نتایج این تحقیق نشان می‌دهد مصرف میانگین ۱۰۰ گرم در روز خیار باعث جذب روزانه ۰/۸۱ میکروگرم کادمیوم در روز می‌گردد که این حد جذب کمتر از استاندارد ذکرشده توسط مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران است [۲۲]؛ هرچند که در حالت بیشینه تمام محصولات گلخانه‌ای بیان‌شده در این پژوهش، میزان جذب روزانه کادمیوم بیشتر از حد استاندارد بوده و در این میان مصرف فلفل‌دلمه‌ای به‌میزان ۸۰ گرم در روز بیشترین خطر را دارد. صالحی‌پور و همکاران [۲۲] نیز در تحقیقی به بررسی پتانسیل خطر فلزات سنگین بر سلامت انسان در برخی محصولات کشاورزی استان اصفهان پرداختند و چنین گزارش کردند که مصرف محصولات کشاورزی آلوده به فلزات سنگین

زمین‌های آلوده به کادمیوم عددی بیشتر از ۱ را نشان می‌دهد؛ در نتیجه در کاشت این محصولات باید دقت بیشتری صورت پذیرد. با توجه به اینکه مصرف میانگین محصولات گلخانه‌ای کشت‌شده در این منطقه در گروه سنی کودکان و بزرگسالان دارای ضریب خطرپذیری بیشتر از ۱ است، بالا بودن این ضریب برای مصرف بیشینه این محصولات دور از انتظار نیست.

نکته درخور توجه در تحقیق حاضر این است که هرچند میزان جذب روزانه سرب در اکثر گروه‌های سنی بیشتر از کادمیوم است، به دلیل بالاتر بودن حد آستانه خطرپذیری (RFD) سرب نسبت به کادمیوم، ضریب خطرپذیری سرب کمتر از کادمیوم است؛ به نحوی که هم‌زمان با مصرف ۱۰۰ گرم خیار (به‌طور میانگین) در گروه سنی ۳ تا ۶ سال ضریب خطرپذیری کادمیوم نسبت به سرب حدوداً چهاربرابر است که این نشان می‌دهد خطر کادمیوم بیشتر از سرب است. مصرف گوجه‌فرنگی و فلفل‌دلمه‌ای در گروه سنی کودکان ۳ تا ۶ سال نیز نتیجه مشابهی را نشان می‌دهد. اصولاً کادمیوم عنصری با حلالیت بالاست که در غلظت‌های کم هم خطرات زیادی برای سلامت انسان دارد. کادمیوم عنصری سرطان‌زا شناخته شده است [۲۳]. آمینی و همکاران [۳۰] در تحقیقی گزارش کردند که غلظت سرب و کادمیوم در منطقه غرب و جنوب غربی اصفهان که معدن باما نیز در آن منطقه واقع شده، زیاد است. در مورد ورود فلزات سنگین از طریق خاک از طریق مسیرهای بلع، استنشاق و تماس پوستی نیز نتایج مشابهی یافت شد؛ به طوری که در تمام تیمارها ضریب خطرپذیری کادمیوم نسبت به سرب عدد بیشتری را نشان می‌دهد. با توجه به اینکه غلظت بحرانی خطرپذیری کادمیوم نسبت به سرب برای مسیرهای مختلف ورود سرب و کادمیوم به بدن عدد بزرگ‌تری است، ضریب خطرپذیری کادمیوم از راه ورود از طریق خاک بیشتر از سرب است [۲۱]. همچنین نتایج این تحقیق اثبات می‌کند که ضریب خطرپذیری کادمیوم از طریق تماس پوستی بیشتر از مسیر بلع است.

نتایج این تحقیق حاکی از آن بود که در گروه‌های سنی کودکان و بزرگسالان، بیشترین میزان جذب روزانه کادمیوم به ترتیب مربوط به مصرف ۵۵ و ۸۰ گرم در روز فلفل‌دلمه‌ای بوده؛ این در حالی است که کمترین میزان جذب کادمیوم هم‌زمان با مصرف ۱۰۰ و ۱۲۰ گرم در روز خیار مشاهده شد. در مورد میزان جذب روزانه سرب نیز به نتایج همسانی دست یافته شد. میزان جذب روزانه سرب در تمام گروه‌های سنی بیشتر از کادمیوم بود؛ هرچند به دلیل بالاتر بودن حد آستانه خطرپذیری سرب نسبت به کادمیوم، ضریب خطرپذیری ابتلا

نسبت به سرب در خاک [۲۷]، نتایج به دست آمده دور از انتظار نیست. براساس استانداردهای جامعه اتحادیه اروپا، حد مجاز غلظت سرب در خاک تا حدود ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش شده؛ این در حالی است که حد مجاز کادمیوم در خاک برابر ۳ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک بیان شده است [۲۷].

در مورد ورود عناصر سنگین از طریق خاک به بدن انسان، ورود عنصر سرب و کادمیوم در گروه سنی کودکان ۳ تا ۶ سال (به‌طور میانگین) بالاترین رقم را داراست؛ اگرچه هنوز این مقدار کمتر از حد استاندارد پیش‌بینی شده توسط سازمان استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران است. در گروه بزرگسالان ۱۸ تا ۳۵ سال نیز، این میزان جذب روزانه سرب و کادمیوم کاهش یافته است. در حالت بیشینه مصرف خاک توسط کودکان (۰/۴ گرم در روز) میزان جذب روزانه کادمیوم عددی بیشتر از حد استاندارد را نشان می‌دهد که این می‌تواند مشکلات جدی را برای سلامت انسان به بار آورد. قابل ذکر است که در مورد سرب، با وجود بیشتر بودن میزان جذب روزانه آن (۲/۰۸ میکروگرم بر کیلوگرم وزن بدن) هنوز این عدد کمتر از حد استاندارد قرار دارد. اصولاً آلودگی فلزات سنگین نه تنها به‌طور مستقیم بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، کاهش فعالیت بیولوژیکی و کاهش دستیابی زیستی مواد مغذی خاک تأثیر می‌گذارد، بلکه با ورود در زنجیره غذایی و تهدید امنیت زیست‌محیطی از طریق نفوذ در آب‌های زیرزمینی، خطری جدی برای سلامت محسوب می‌شود. اختلالات عصبی، انواع سرطان‌ها، فقر مواد مغذی و به هم خوردن تعادل هورمون‌ها از تبعات ورود فلزات سنگین به بدن انسان است [۲۸].

در مورد ضریب خطرپذیری ابتلا به بیماری‌های غیرسرطانی ناشی از جذب روزانه سرب و کادمیوم، مصرف ۸۰ گرم گوجه‌فرنگی و ۵۵ گرم فلفل‌دلمه‌ای باعث شده تا ضریب خطرپذیری کادمیوم برای گروه سنی کودکان ۳ تا ۶ سال عددی بیشتر از ۱ را نشان دهد که این می‌تواند مشکلات جدی برای تندرستی انسان به وجود آورد. بقائی [۲۹] در تحقیقی گزارش کرد که مصرف گوجه‌فرنگی کاشته شده در زمین آلوده به ۱۰ میلی‌گرم کادمیوم باعث شده تا جذب روزانه کادمیوم بیشتر از حد استاندارد پیشنهادی سازمان بهداشت جهانی شود. با توجه به اینکه کادمیوم عنصری سمی و خطرناک است و ورود آن به سیستم ایمنی بدن می‌تواند صدمات جبران ناپذیری را برای سلامت انسان به بار آورد، کاشت این محصولات در این گونه زمین‌ها باید با دقت بیشتری صورت پذیرد. در گروه بزرگسالان، به دلیل مصرف روزانه بیشتر این محصول (به‌طور میانگین) ضریب خطرپذیری ابتلا به بیماری‌های غیرسرطانی ناشی از مصرف خیار کاشته شده در

گردد. علاوه بر این، پیشنهاد می‌شود جهت مطالعات تکمیلی، میزان سرب و کادمیوم وارد شده به خون کارکنان این معادن و نیز روستاهای مجاور منطقه به‌طور دائم کنترل گردد.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله نویسندگان مقاله بر خود لازم می‌دانند از معاونت پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک به‌جهت همکاری برای انجام این پژوهش با کد اخلاق IR.IAU.ARAK.REC.1397.56 کمال تقدیر و تشکر را بنمایند.

References

- Pastorelli AA, Angeletti R, Binato G, Mariani MB, Cibin V, Morelli S, et al. Exposure to cadmium through Italian rice (*Oryza sativa* L.): Consumption and implications for human health. *J Food Composit Anal* 2018; 69: 115-21.
- Rattan R, Datta S, Chhonkar P, Suribabu K, Singh A. Long-term impact of irrigation with sewage effluents on heavy metal content in soils, crops and groundwater-a case study. *Agr Ecosys Environ* 2005; 109 (3-4): 310-22.
- Zafarzadeh A, Rahimzadeh H. Concentration of cadmium, lead, zinc and copper in the cucumber and tomatoe in Northern Iran. *J Gorgan Univer Med Sci* 2015; 17 (1): 77-83.
- Nazemi S, Asgari A, Raei M. Survey the amount of heavy metals in cultural vegetables in suburbs of Shahroud. *Iran J Health Environ* 2010; 3 (2): 195-202.
- Alam M, Snow E, Tanaka A. Arsenic and heavy metal contamination of vegetables grown in Samta village, Bangladesh. *Sci Total Environ* 2003; 308 (1-3): 83-96.
- Li F-l, Shi W, Jin Z-f, Wu H-m, Sheng GD. Excessive uptake of heavy metals by greenhouse vegetables. *J Geochem Explor* 2017; 173: 76-84.
- Khan S, Rehman S, Khan AZ, Khan MA, Shah MT. Soil and vegetables enrichment with heavy metals from geological sources in Gilgit, northern Pakistan. *Ecotox environ safety* 2010; 73 (7): 1820-27.
- Zhuang P, Zhi-An L, Bi Z, Han-Ping X, Gang W. Heavy metal contamination in soil and soybean near the Dabaoshan Mine, South China. *Pedosphere* 2013; 23 (3): 298-304.
- Singh A, Sharma RK, Agrawal M, Marshall FM. Health risk assessment of heavy metals via dietary intake of foodstuffs from the wastewater irrigated site of a dry tropical area of India. *Food Chem Toxic* 2010; 48 (2): 611-619.
- Sundarav SK, Navak BB, Lin S, Bhatta D. Geochemical speciation and risk assessment of heavy metals in the river estuarine sediments- A case study: Mahanadi basin, India. *J Hazard Mater* 2011; 186 (2-3): 1837-46.
- Yi Y, Yang Z, Zhang S. Ecological risk assessment of heavy metals in sediment and human health risk assessment of heavy metals in fishes in the middle and lower reaches of the Yangtze River basin. *Environ Pollut* 2011; 159 (10): 2575-85.
- Barin M, Chavoshi E. Risk assessment of zinc and copper exposure in rice, wheat and soil around Irankoo mine in Isfahan. *J Soil Manage Sustain Product* 2017; 7 (2): 211-22.
- Bo S, Mei L, Tongbin C, Zheng Y, Yunfeng X, Xiaovan L, et al. Assessing the health risk of heavy metals in vegetables to the general population in Beijing, China. *J Environ Sci* 2009; 21 (12): 1702-09.
- Mazhari SA, Sharifivan Attar R, Haghghi F. Heavy metals concentration and availability of different soils in Sabzevar area, NE of Iran. *J Afr Earth Sci* 2017; 134: 106-12.
- MohseniBandpi A, Eslami A, Ghaderpoori M, Shahsavani A, Jeihooni AK, Ghaderpoury A, et al. Health risk assessment of heavy metals on PM2.5 in Tehran air, Iran. *Data Brief* 2018; 17: 347-355.
- Aghili F, Khoshgoftarmenesh A, Afyuni M, Schulin R. Health risks of heavy metals through consumption of greenhouse vegetables grown in central Iran. *Human Ecol Risk Assess* 2009; 15 (5): 999-1015.
- Baghaie AH, Khoshgoftarmenesh A, Afyuni M. Crop effects on lead fractionation in a soil treated with lead organic and inorganic sources. *J Res Sci Technol* 2010; 7 (3): 131-38.
- USEPA (US Environmental Protection Agency). Risk Assessment Guidance for Superfund. : Human Health Evaluation Manual (Part E, Supplement Guidance for Dermal Risk Assessment). Office of Superfund Remediation and Technology Innovation, Washington, DC, 2004.
- Yeganeh M, Afyuni M, Khoshgoftarmenesh A-H, Khodakarami L, Amini M, Soffyanian A-R, et al. Mapping of human health risks arising from soil nickel and mercury contamination. *J Hazard Mater* 2013; 244: 225-39.
- Aghili F, Khoshgoftarmenesh A, Afyuni M, Mobli M. Mineral and ascorbic acid concentrations of greenhouse- and field-grown vegetables: implications for human health. *Int J vegetable Sci* 2012; 18 (1): 64-77.
- Ravankhah N, Mirzaei R, Masoum S. Human Health Risk Assessment of Heavy Metals in Surface Soil. *J Mazandaran Univer Med Sci* 2016; 26 (136): 109-20.
- Salehipour Baversad M, Ghorbani M, Afyuni M, KheirAbadi H. The Potential Risk Assessment of Heavy Metals on Human Health in Some Agricultural Products in Isfahan Province. *J Water Soil Sci* 2014; 18 (67): 71-81.
- Mohajer R, Salehi M, Mohammadi J. Lead and Cadmium Concentration in Agricultural Crops (Lettuce, Cabbage, Beetroot, and Onion) of Isfahan Province, Iran. *Iran J Health Environ* 2014; 7 (1): 1-10.
- Pakzad H, Bagheri H, Tevmouri F. Study of heavy metal concentrations in shale deposits of Irankouh Mine (Southwest of Isfahan). *Environ Sci* 2018; 15: 125-40.
- Zhou M, Liao B, Shu W, Yang B, Lan C. Pollution assessment and potential sources of heavy metals in agricultural soils around four Pb/Zn mines of Shaoguan city, China. *Soil Sediment Contam* 2015; 24 (1): 76-89.
- Nikolaidis C, Zafiriadis I, Mathioudakis V, Constantinidis T. Heavy metal pollution associated with an abandoned lead-zinc mine in the Kirki Region, NE Greece. *Bull Environ contam Toxicol* 2010; 85 (3): 307-12.
- Rashid Shomali A, Khodaverdiloo H. Contamination of Soils and Plants Along Urmia-Salmas Highway (Iran) to Some Heavy Metals. *Water Soil Sci* 2012; 22 (3): 157-72.

- [28]. Jiao Y, Chen J, Li W, Liu Y, Xin C, Yang L. Trace elements concentrations in squids consumed in Shandong Province China and their associated risks to the human health. *Mar Pollut Bull* 2018; 128: 267-74.
- [29]. Baghaie AH. Investigation of Cd Risk Assessment from Tomato Consumption in A Soil Treated with Sugarcane Bagasse Biochar and Municipal Waste Vermi-Compost. *J Environ Health Eng* 2018; 5 (2): 147-56.
- [30]. Amini M, Afyuni M, Khademi H, Abbaspour KC, Schulin R. Mapping risk of cadmium and lead contamination to human health in soils of Central Iran. *Sci Total Environ* 2005; 347 (1-3): 64-77.

Health Risk Assessment of Heavy Metals (Cd and Pb) in Greenhouse Products Harvested from Greenhouses Around Irankooh Mine in 2017

Amir Hossein Baghaie^{1*}, Mehran Keshavarzi²

1. Department of Soil Science, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran.
2. Department of Agronomy and Plant Breeding, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Abstract

Background Soil pollution to heavy metals is constantly expanding which can be dangerous for human health. Among this, Harvesting of mines containing heavy metals such as Pb and Cd can increase soil pollution. Therefore, this research was done to evaluate health risk assessment of heavy metals (Cd and Pb) in greenhouse products harvested from greenhouses around Irankooh mine.

Materials & Methods In this descriptive cross-sectional study, 10 cucumber, tomato, and sweet pepper cultures around Irankooh complex were randomly selected to indicate the pattern of distribution of cadmium and lead in the region. At the time of harvest, fruit and soil sampling were done. In each sampling, 10 fruit samples of each product and soil surface from different parts of greenhouses were selected for analysis. The Pb and Cd concentration was done using atomic absorption spectroscopy and health risk assessment of heavy metals these metals was determined using EPA model.

Results The highest and lowest daily intakes of Cd and Pb in the group age of 3-6 were determined with daily consumption of 55 and 100 g bell pepper and cucumber, respectively. The same results were observed for adult people in the age 18-35. The hazard quotient of Cd for all age groups was higher than the Pb hazard quotient. The highest hazard quotient of both Cd and Pb were due to the dermal contact with polluted soil and the lowest of them results from the oral way.

Conclusion The results of this research were shown that high Pb and Cd concentration in the greenhouse vegetable which produced around Irankooh is an important concern for consumers health of these vegetables that should be more considered.

Received: 2018/11/06

Accepted: 2019/04/13

Keywords: Pollution risk, Lead, Cadmium, Irankooh mine.