

## اثر فعالیت‌های آنتروپوژنیک بر مخاطرات زیست‌محیطی ناشی از آلودگی فلزات سنگین در اکوسیستم‌های کشاورزی

امیر محسنی - دکترای علوم خاک، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

ندا محسنی<sup>۱</sup> - استادیار ژئومورفولوژی، گروه جغرافیا، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

سید رضا حسین زاده - دانشیار ژئومورفولوژی، گروه جغرافیا، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۷/۲۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۶/۲۷

### چکیده

آلودگی‌های زیست‌محیطی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر تخریب و تنزل کیفیت بیوسفر و اجزای آن محسوب شده و در این میان فلزات سنگین از دیدگاه‌های زیستی، اکولوژیکی و سلامتی بشر از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. این پژوهش با هدف بررسی روند تغییرات غلظت عناصر سرب، کادمیوم، مس و روی در خاک‌های تحت کشت اطراف معدن سرب و روی زنجان و همچنین احتمال خطرپذیری (HQ) به بیماری‌های مرتبط با این عناصر از طریق مصرف محصول مورد نظر صورت پذیرفت. بدین منظور ۴ فاصله مکانی مختلف انتخاب (۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ کیلومتر فاصله از معدن) و از هر محدوده ۳ نمونه خاک و ۱۰ نمونه گیاه گندم برداشت شد. عصاره‌های نمونه‌های خاک با استفاده از DTPA و اسید نیتریک ۴ مولار و عصاره‌های گیاه با استفاده از اسید نیتریک ۶۵٪ استخراج و غلظت فلزات با دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد غلظت کل و قابل دسترس هر چهار عنصر در خاک و همچنین غلظت این عناصر در دانه گندم با افزایش فاصله از معدن کاهش یافت. بیش‌ترین غلظت سرب (۵۹/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، کادمیوم (۱/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، مس (۴۸/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و روی (۷۹/۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) از دانه برداشت شده از فواصل ۱۰ کیلومتری از معدن و کمترین غلظت این عناصر از دانه برداشت شده از فاصله ۴۰ کیلومتری از معدن و به ترتیب برابر ۳۱/۸، ۰/۲، ۲/۷ و ۳۷/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم به دست آمد. نتایج احتمال خطرپذیری به بیماری‌های غیرسرطانی برای هر یک از عناصر با فاصله از معدن نشان داد که مقادیر احتمال خطرپذیری به بیماری برای عناصر سرب، کادمیوم، مس و روی با افزایش فاصله از معدن کاهش یافت. همچنین به استثناء عنصر سرب، مقادیر خطرپذیری در هر چهار

منطقه مورد مطالعه کمتر از ۱ بود. این نتایج نشان‌دهنده این است مصرف‌کنندگان این محصولات در محدوده امن از نظر تأثیرات سوء بیماری‌های غیرسرطانی ناشی از غلظت بالای سرب قرار نخواهند گرفت. همچنین علی‌رغم پایین بودن مقادیر HQ عناصر روی، مس و کادمیوم، احتمال افزایش این مقادیر در سال‌های آتی برای این عناصر، به‌ویژه عناصر کادمیوم و مس وجود خواهد داشت؛ بنابراین می‌بایست توجه زیادی به مصرف و کشت در اطراف مناطق صنعتی، صورت گیرد.

**کلیدواژه‌ها:** ضریب خطر، فلز سنگین، مخاطره زیست‌محیطی، اکوسیستم‌های کشاورزی.

#### ۱- مقدمه

از مهم‌ترین عوامل محیطی که تأثیر زیادی بر رشد گیاهان و کمیت و کیفیت آن‌ها دارد، می‌توان به اقلیم، عناصر غذایی و فلزات سنگین اشاره نمود (استریت<sup>۱</sup>، ۲۰۱۲). فلزات سنگین از مهم‌ترین و شناخته‌شده‌ترین آلاینده‌ها هستند که به دلیل ماندگاری زیاد، عدم تجزیه توسط ریزجانداران خاک و ورود به چرخه غذایی انسان معروف هستند (آلوی<sup>۲</sup>، ۲۰۱۳). فلزات سنگین موجود در خاک یا به شکل طبیعی و از مواد مادری خاک منشأ می‌گیرند و یا از طریق آلاینده‌های محیطی وارد خاک می‌شوند. آلودگی محیط‌زیست به فلزات سنگین عمدتاً به فنآوری‌های نوظهور نسبت داده می‌شود که معمولاً از فعالیت کارخانه‌ها و کارگاه‌های صنعتی، فرونشست‌های اتمسفری، استفاده از فاضلاب‌های شهری و صنعتی در آبیاری، کودهای حیوانی، کودهای شیمیایی، سموم دفع آفات، آهک‌دهی و غیره سرچشمه می‌گیرد (کاباتا-پندیاس و پندیاس<sup>۳</sup>، ۲۰۱۰). فلزات را از نظر تغذیه گیاه می‌توان به دو دسته تقسیم‌بندی کرد. دسته اول شامل برخی از عناصر مانند مس (Cu)، نیکل (Ni)، سلنیم (Se) و روی (Zn) که در غلظت‌های کم برای سلامت، رشد و تولید ریزجانداران، گیاهان، حیوانات و همچنین انسان‌ها ضروری می‌باشند. گروه دیگر از عناصر مانند سرب (Pb)، آرسنیک (As)، کادمیوم (Cd) و جیوه (Hg) جزء عناصر ضروری نبوده و ممکن است که در غلظت‌های کم نیز در گیاهان و جانوران ایجاد سمیت کنند (یادو<sup>۴</sup>، ۲۰۱۰). آلودگی خاک‌ها با فلزات سنگین به دلیل خطرات آن بر اکوسیستم از جمله خاک، آب، گیاهان، حیوانات و حیات بشر به یک نگرانی جهانی تبدیل شده است (عبدالکدیر<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۱۳). در سراسر جهان، بیش از ۱۰ میلیون مکان آلوده گزارش شده است که بیش از ۵۰ درصد این مکان‌ها، آلوده به فلزات سنگین هستند (آژانس حفاظت از محیط‌زیست آمریکا<sup>۶</sup>، ۲۰۰۶). در ایران نیز با توسعه شهرنشینی و صنعتی شدن، نگرانی قابل‌ملاحظه‌ای در مورد آلودگی خاک‌ها توسط فلزات سنگین وجود

1 Street

2 Alloway

3 Kabata-Pendias and Pendias

4 Yadav

5 Abdel-Kader

6 United states environmental protection agency (USEPA)

دارد. استان زنجان به واسطه دارا بودن معادن زیاد فلزات سنگین، یکی از صنعتی‌ترین شهرهای ایران به‌شمار می‌رود. به‌طور کلی وجود سایت‌های فلزی بزرگ در این استان و انتشار ضایعات ایجاد شده آن‌ها توسط باد و رواناب به مناطق دیگر می‌تواند از جمله دلایل اصلی افزایش غلظت آلاینده‌های فلزی در خاک‌های برخی از مناطق این استان باشد<sup>۱</sup> به‌طوری که در فواصل دور از این سایت‌های معدنکاری آلودگی خاک‌ها نیز دور از اجتناب نخواهد بود. محصولات کشاورزی که در مناطق آلوده کشت می‌شوند به روش مستقیم از طریق ریشه و به‌صورت غیر مستقیم نیز از طریق فرونشست‌های اتمسفری آلوده می‌شوند. همچنین گزارش شده است که محصولات کشاورزی استان زنجان در برخی از مناطق به‌شدت آلوده به فلزات سنگین می‌باشند و این عناصر می‌توانند وارد چرخه غذایی انسان شده و از این طریق سلامتی انسان و دام را تحت تأثیر قرار دهند (چهرگانی و همکاران، ۲۰۰۹؛ تابنده و طاهری، ۱۳۹۵). خطر حاصل از جذب فلزات سنگین توسط گیاه و مصرف آن توسط انسان با احتمال خطرپذیری<sup>۱</sup> زیستی (HQ) ارزیابی می‌شود. دامنه امن برای HQ مقادیر کمتر از ۱ می‌باشد، هر چه این مقدار به ۱ نزدیک‌تر و یا بیشتر از واحد شود، نشان‌دهنده خطر فزاینده آن فلز سنگین برای سلامتی انسان است (کاین<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۰). افشاری و همکاران (۱۳۹۴) احتمال خطرپذیری از مصرف محصولات کشاورزی مناطق شهری و صنعتی زنجان را مورد ارزیابی قرار دادند. آن‌ها غلظت بالای فلزات سنگین را در خاک و برخی گیاهان را به فعالیت‌های صنعتی موجود در منطقه نسبت دادند و مقدار پتانسیل خطرپذیری برای عنصر سرب از مصرف محصولات کشاورزی در این منطقه را بزرگ‌تر از ۱ گزارش کردند. بقائی و کشاورزی (۱۳۹۸) در ارتباط با ارزیابی خطر سلامتی کادمیوم در محصولات گلخانه‌ای برداشت شده از گلخانه‌های اطراف معدن ایرانکوه نشان دادند که احتمال خطرپذیری برای عناصر کادمیوم از مصرف سبزیجات گلخانه‌ای بزرگ‌تر از ۱ بوده و توجه به مصرف محصولات گلخانه‌ای تولید شده در اطراف معدن ایرانکوه باید بیشتر مورد توجه قرار گیرد. صالحی‌پور و همکاران (۲۰۱۵) در بررسی خطرپذیری عناصر سنگین از مصرف گندم کشت شده در استان همدان گزارش کردند که احتمال خطرپذیری به بیماری‌های غیرسرطانی برای عناصر مس و کروم کمتر از ۱ بوده و ساکنان مصرف کننده این محصول در محدوده امن از نظر تأثیرات سوء بیماری‌های غیرسرطانی قرار دارند. از آنجاکه در استان زنجان به‌رغم دارا بودن معادن بسیار، مطالعه جامعی بر روی پتانسیل خطرپذیری آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های تحت کشت گیاه (به ویژه گیاهان زراعی) صورت نگرفته است، لذا این مطالعه با هدف ارزیابی تغییرات غلظت عناصر سرب، مس، روی و کادمیوم در خاک و دانه گندم با فاصله از معدن سرب و روی زنجان و ارزیابی خطرپذیری این عناصر بر سلامت انسان انجام شد.

---

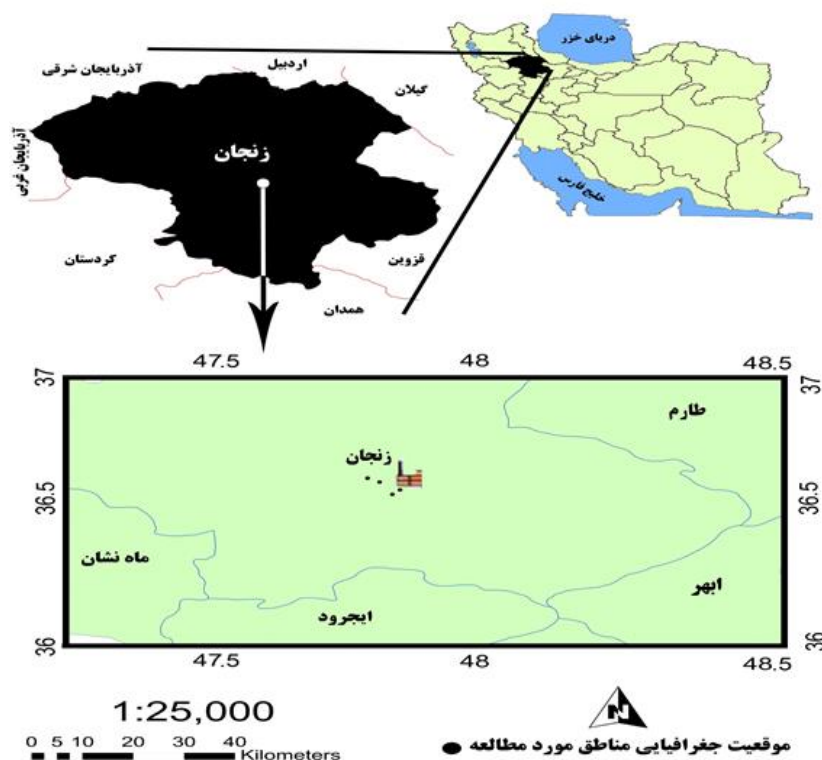
1 Hazard quotient

2 Qian

## ۲- مواد و روش

## ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه مطالعاتی در جنوب شهر زنجان و در اطراف شهرک صنعتی روی واقع شده است (شکل ۱). این شهرک در سال ۱۳۷۵ تأسیس شده و دارای ۴۲ واحد بهره‌برداری روی است. در این شهرک سالانه با مصرف بیش از یک میلیون تن سنگ خام روی، ۰/۱۹ میلیون تن فلز روی تولید می‌شود (دلاور و صفری، ۱۳۹۴). در محدوده این شهرک، بیش از ۲/۵ میلیون تن پسماند حاوی فلزات سنگین انباشته شده است و فعالیت‌های صنعتی انجام گرفته در آن، احتمال تجمع فلزات سنگین مختلف در خاک‌های اطراف را فراهم نموده است. مساحت منطقه مورد مطالعه، بالغ بر ۵۰۰۰ هکتار است. کاربری‌های عمده اراضی موجود در این ناحیه شامل مناطق صنعتی، کشاورزی، مرتع و مخلوط مرتع و کشت دیم است (دلاور و صفری، ۱۳۹۴). این منطقه دارای اقلیم نیمه‌خشک، ارتفاع ۱۶۵۹ متر می‌باشد. همچنین متوسط بارش، دما و رطوبت سالیانه منطقه به- ترتیب ۲۹۵ میلی‌متر، ۱۰/۹ درجه سلسیوس و ۵۴٪ است.



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه و نقاط نمونه‌برداری

## ۲-۲- نمونه‌برداری و آماده‌سازی نمونه‌های خاک و گیاه

این مطالعه به صورت توصیفی-مقطعی بر روی نمونه‌های خاک و گیاه گندم کشت شده در اطراف شهرک روی زنجان به صورت تصادفی انجام شد؛ به نحوی که نمونه‌ها بتواند گویای وضعیت پراکنش آلودگی سرب، کادمیوم، مس و روی منطقه باشند. بدین منظور ۱۰ نمونه گیاه گندم در فصل برداشت از شعاع ۱۰ تا ۴۰ کیلومتری (۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ کیلومتری از معدن) شهرک روی زنجان به صورت تصادفی برداشت شد. پس از جدا کردن دانه گیاه از سایر بخش‌ها، نمونه‌ها در آون به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. سپس عصاره‌های گیاه با استفاده از هضم با اسید نیتریک ۶۵٪ استخراج و غلظت سرب، کادمیوم، مس و روی با استفاده از دستگاه جذب اتمی قرائت گردید (لوزانو-رودریگز<sup>۱</sup> و همکاران، ۱۹۹۵). همچنین به منظور بررسی تغییرات غلظت سرب، کادمیوم، مس و روی خاک با فاصله از معدن تعداد ۳ نمونه خاک از عمق ۲۰-۰ سانتی‌متر در هر فاصله مشخص از معدن (۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ کیلومتری از معدن) برداشت گردید. غلظت قابل دسترس و کل عناصر سرب، مس، روی و کادمیوم در نمونه‌های مورد مطالعه پس از هواخشک و انتقال آن‌ها از الک ۲ میلی‌متر به ترتیب با روش<sup>۲</sup> DTPA-TEA (لیندزی و نورول<sup>۳</sup>، ۱۹۷۸) و اسید نیتریک ۴ مولار (اسپوزیتو<sup>۴</sup> و همکاران، ۱۹۸۲) استخراج و با دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری گردید.

## ۲-۳- محاسبه احتمال خطرپذیری

به منظور محاسبه شاخص خطرپذیری و مواجهه با بیماری‌ها، در ابتدا مقدار ورود عناصر سنگین به دستگاه گوارش انسان (Intake) بر حسب  $\text{mg kg day}^{-1}$  محاسبه گردید (رابطه ۱).

$$\text{Intake} = \frac{C_F \times E_F \times E_D \times F_I \times I_R}{B_W \times A_T} \quad \text{رابطه (۱)}$$

در این رابطه  $C_F$ ،  $E_D$ ،  $E_F$ ،  $F_I$ ،  $I_R$ ،  $B_W$  و  $A_T$  به ترتیب نشان دهنده غلظت فلزات سنگین دانه گندم ( $\text{mg kg}^{-1}$ )، دفعات مصرف دانه گندم در سال، تعداد سال‌های مصرف دانه (۳۰ سال برای بزرگسالان)، مقدار جذب فلز سنگین در بدن از طریق مصرف دانه (استفاده از ضریب ۰/۴ برای این تحقیق)، میزان مصرف روزانه برای افراد بالغ ( $\text{g day}^{-1}$ ) (مصرف روزانه گندم ۳۰۰ گرم در نظر گرفته شد)، وزن بدن (kg) (متوسط ۶۰ کیلوگرم برای افراد بالغ) و حاصل ضرب تعداد سال مصرف دانه در تعداد روزهای سال (days) می‌باشد (راتان<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۰۵).

1 Lozano-Rodríguez

2 Diethylenetriamine pentaacetic acid

3 Lindsay and Norvell

4 Sposito

5 Rattan

بعد از محاسبه مقدار روزانه جذب فلزات سنگین، احتمال خطرپذیری (HQ) به بیماری‌های غیرسرطانی در اثر مصرف محصولات آلوده با فلزات سنگین با استفاده از رابطه زیر مشخص شد (رابطه ۲).

$$HQ = \frac{Intake}{RfD} \quad \text{رابطه (۲)}$$

در این رابطه  $RfD^1$  حداکثر غلظتی از فلز سنگین است که برای انسان مشکلی ایجاد نمی‌کند. مقدار آن برای سرب، کادمیوم، مس و روی به ترتیب ۰/۰۰۴، ۰/۰۰۱، ۰/۰۰۴ و ۰/۰۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم در روز می‌باشد (وانگ<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۰۵).

## ۲-۴- تجزیه و تحلیل آماری

در ابتدا نرمال بودن داده‌ها با آزمون کولموگروف-اسمیرنوف<sup>۳</sup> بررسی شد. پس از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها، آزمون اختلاف آماری بین غلظت فلزات در خاک و بافت‌های گیاهی با تجزیه واریانس یک‌طرفه و مقایسه میانگین غلظت فلزات در خاک و گیاه و همچنین مقایسه میانگین احتمال خطرپذیری به بیماری در عناصر مورد مطالعه نیز با آزمون توکی انجام شد. کلیه آنالیزهای آماری با استفاده از نرم‌افزار R-3.4.0 انجام پذیرفت.

## ۳- نتایج و بحث

### ۳-۱- غلظت فلزات سنگین در خاک‌های مناطق مطالعاتی

نتایج مقایسه میانگین غلظت کل و قابل جذب سرب، کادمیوم، مس و روی خاک‌های برداشت شده از شعاع ۱۰ تا ۴۰ کیلومتری معدن در جدول ۱ ارائه شده است. نتایج نشان داد که غلظت کل و قابل جذب هر چهار عنصر با افزایش فاصله از معدن به‌طور معناداری کاهش یافت؛ به‌طوری‌که بیشترین غلظت کل سرب، کادمیوم، روی و مس از خاک برداشت شده در فاصله ۱۰ کیلومتری (S1) معدن به ترتیب برابر با ۱۶۸/۹، ۵/۶، ۴۳۴/۵ و ۹۷/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم به دست آمد. کمترین غلظت کل این عناصر نیز در نمونه خاک‌های برداشت شده از فاصله ۴۰ کیلومتری معدن (S4) و به ترتیب برابر با ۵۹/۱، ۱/۱، ۸۸/۵ و ۲۸/۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم به دست آمد. غلظت قابل دسترس هر چهار عنصر نیز با افزایش فاصله از معدن کاهش یافت؛ به‌طوری‌که بیشترین غلظت قابل دسترس سرب، کادمیوم، روی و مس از خاک برداشت شده در فاصله ۱۰ کیلومتری معدن و به ترتیب برابر با ۴۵/۶، ۱/۷، ۵۲/۴ و ۲۴/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم به دست آمد. کمترین غلظت قابل دسترس این عناصر نیز در نمونه خاک‌های برداشت شده از فاصله ۴۰ کیلومتری معدن و به ترتیب برابر با ۹/۶، ۰/۲، ۱۴/۳ و ۱/۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم به دست آمد. با این حال اختلاف معناداری بین غلظت قابل دسترس سرب خاک برداشت شده از فاصله ۳۰ (S3) و فاصله ۴۰ (S4) کیلومتری از معدن

1 Oral dose reference

2 Wang

3 Kolmogorov-Smirnov test

مشاهده نشد. بخش قابل دسترس یا زیست‌فراهم فلزات سنگین بخشی از مقدار کل عنصر در خاک است که می‌تواند توسط گیاهان جذب گردد (بلک<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۱). فلزات سنگین در بین فازهای مختلف در خاک توزیع می‌شوند که شامل محلول در آب، تبدلی، آلی، کربنات، اکسیدها و کانی‌های ثانویه و باقیمانده در داخل شبکه اولیه کانی می‌باشند. اجزای محلول و تبدلی به‌آسانی متحرک و فراهم می‌باشند؛ در صورتی‌که اجزای دیگر به‌ویژه جزء باقیمانده با پیوند سخت و بدون تحرک می‌باشند و انتظار نمی‌رود در شرایط طبیعی رهاسازی شوند (کامپین<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۰۸). درجه پیوند فلزات با فازهای ژئوشیمیایی مختلف به شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها شامل pH، مقدار کربنات کلسیم معادل، CEC، گونه‌های رقابتی در محلول خاک، مقدار مواد آلی و بافت خاک بستگی دارد (لیر<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۰۷). به‌طور کلی وجود سایت‌های فلزی بزرگ در منطقه مورد مطالعه و انتشار ضایعات ایجاد شده آن-ها توسط باد و رواناب به مناطق دیگر می‌تواند از جمله دلایل افزایش غلظت آلاینده‌های فلزی در خاک‌های این منطقه باشد. به‌طوری‌که در فواصل دور از این سایت‌های معدنکاری آلودگی خاک‌ها دور از اجتناب نخواهد بود.

جدول ۱- مقایسه میانگین غلظت کل و قابل جذب سرب، کادمیوم، مس و روی خاک با فاصله از معدن

غلظت قابل دسترس (mg kg <sup>-1</sup> )				غلظت کل (mg kg <sup>-1</sup> )				خاک
Cu	Zn	Cd	Pb	Cu	Zn	Cd	Pb	
۲۴/۸±۳/۹ <sup>a</sup>	۵۲/۴±۵/۳ <sup>a</sup>	۱/۷±۰/۰۴ <sup>a</sup>	۴۵/۶±۲/۹ <sup>a</sup>	۹۷/۶±۷/۴ <sup>a</sup>	۴۳۴/۵±۹/۸ <sup>a</sup>	۵/۶±۰/۸ <sup>a</sup>	۱۶۸/۹±۱۳/۱ <sup>a</sup>	S1
۱۹/۳±۲/۶ <sup>b</sup>	۴۳/۲±۴/۳ <sup>b</sup>	۱/۲±۰/۰۵ <sup>b</sup>	۳۸/۸±۴/۳ <sup>b</sup>	۸۲/۴±۵/۳ <sup>b</sup>	۲۱۵/۹±۱۱/۳ <sup>b</sup>	۴/۸±۰/۶ <sup>b</sup>	۱۱۳/۴±۴/۳ <sup>b</sup>	S2
۶/۶±۲/۹ <sup>c</sup>	۲۱/۵±۲/۹ <sup>c</sup>	۰/۶±۰/۰۴ <sup>c</sup>	۱۱/۴±۲/۶ <sup>c</sup>	۳۵/۳±۶/۶ <sup>c</sup>	۱۳۲/۳±۸/۷ <sup>c</sup>	۲/۶±۰/۸ <sup>c</sup>	۹۳/۲±۵/۷ <sup>c</sup>	S3
۱/۹±۰/۸ <sup>d</sup>	۱۴/۳±۱/۱ <sup>d</sup>	۰/۲±۰/۰۳ <sup>d</sup>	۹/۶±۲/۹ <sup>c</sup>	۲۸/۹±۳/۷ <sup>d</sup>	۸۷/۵±۹/۱ <sup>d</sup>	۱/۱±۰/۵ <sup>d</sup>	۵۹/۱±۴/۴ <sup>d</sup>	S4

S1: خاک برداشت شده از فاصله ۱۰ کیلومتری از معدن؛ S2: خاک برداشت شده از فاصله ۲۰ کیلومتری از معدن؛ S3: خاک برداشت شده از فاصله ۳۰ کیلومتری از معدن؛ S4: خاک برداشت شده از فاصله ۴۰ کیلومتری از معدن.

### ۲-۳- غلظت فلزات سنگین مورد مطالعه در دانه گندم

نتایج مقایسه میانگین غلظت سرب، کادمیوم، مس و روی دانه گندم برداشت شده از خاک‌های اطراف معدن در جدول ۲ نشان داده شده است. بر اساس نتایج به دست آمده غلظت سرب، کادمیوم، روی و مس دانه با افزایش فاصله از معدن کاهش یافت. به‌طوری‌که بالاترین غلظت سرب (۵۹/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، کادمیوم (۱/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، روی (۷۹/۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و مس (۴۸/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در نمونه‌های دانه برداشت شده

1 Black

2 Kumpiene

3 Lair

از فاصله ۱۰ کیلومتری (GS1) از معدن به دست آمد. به دنبال آن دانه‌های برداشت شده از فواصل ۲۰ (GS2)، ۳۰ (GS3) و ۴۰ (GS4) کیلومتری معدن بالاترین غلظت فلزات سنگین را داشتند. همچنین بر خلاف عناصر روی، مس و کادمیوم، اختلاف معناداری در غلظت سرب دانه‌های GS3 و GS4 مشاهده نشد.

غلظت روی در نمونه‌های دانه GS1 و GS2 بالاتر از حدود ارائه شده توسط WHO<sup>۱</sup> (۱۹۹۹) (۶۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود. هانگ<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۰۸) و جیا<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۱۰) غلظت روی در دانه گندم کشته‌شده در مناطق آلوده کانشان و شاندانگ کشور چین را به ترتیب بین ۱۲ تا ۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم و ۲۴/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش کردند. ژائو<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۰۹) دامنه روی در گندم نان را در این کشور بین ۱۳/۵ تا ۵۰/۸ با میانگین ۳۸/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش کردند. هودجی و جلالیان (۱۳۸۳) میزان روی را در گندم کشت شده در اطراف منطقه فولاد مبارکه را ۵۴/۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم خشک گزارش کردند.

دامنه طبیعی مس در بافت گیاه ۴ تا ۱۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش شده است (کاباتا-پندیاس و پندیاس، ۲۰۱۰). همچنین حد مجاز مس برای غلات توسط WHO (۱۹۹۹) ۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش شده است که بر این اساس نمونه‌های دانه گندم GS1 و GS2، بالاتر از این حد می‌باشند. کرمی و همکاران (۲۰۰۹) در بررسی غلظت مس گندم کشت شده در سه استان فارس، قم و اصفهان میانگین غلظت مس در گندم را حداقل ۲/۴ و حداکثر ۹/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش کردند.

با توجه به حد استاندارد ارائه شده توسط WHO (۱۹۹۹) (۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) برای غلظت مس در غلات، نمونه‌های گندم برداشت شده از هر چهار منطقه در دامنه آلودگی قرار دارند. عدم اختلاف معنادار غلظت سرب دانه گندم در گیاهان GS3 و GS4 می‌تواند ناشی از کاهش غیرمعنادار غلظت قابل دسترس این عنصر در خاک منطقه S4 در مقایسه با خاک S3 باشد. دلیل احتمالی دیگر از عدم کاهش معنادار غلظت سرب دانه GS4 نسبت به GS3 می‌تواند مربوط به فرونشست‌های اتمسفری بیشتر این عنصر نسبت به سایر عناصر باشد. با توجه به موقعیت نمونه-برداری گیاهان، یکی از بزرگ‌ترین عواملی که در افزایش غلظت برخی فلزات در دانه گیاهان شرکت می‌کند فرونشست‌های اتمسفری است (لو<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۱۱). در مطالعه انجام شده توسط بای<sup>۶</sup> و همکاران (۲۰۰۹) جذب اتمسفری سرب توسط برگ گیاه ذرت، به عنوان عامل اصلی افزایش سرب در داخل بافت‌های برگ و دانه گیاهان کشت شده در اطراف کارخانه ذوب روی گزارش شد.

1 World Health Organization

2 Huang

3 Jia

4 Zhao

5 Luo

6 Bi



حد مجاز کادمیوم برای غلات توسط WHO (۱۹۹۹) ۰/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش شده است که به استثناء GS4، غلظت کادمیوم دانه گندم برداشت شده از سایر فواصل از معدن در دامنه آلودگی قرار دارند. کادمیوم فلزی با تحرک و قابلیت جذب بالا در گیاه معرفی شده است که به راحتی از طریق ریشه جذب و سپس از طریق آپوپلاستی و یا سیمپلاستی به اندام‌های فوقانی انتقال می‌یابد (ترابیان و مهجوری، ۲۰۰۲). در مطالعه انجام شده توسط یارقلی (۱۳۹۴) افزایش غلظت کادمیوم در دانه گندم در اثر افزایش غلظت کادمیوم خاک گزارش شد.

جدول ۲- مقایسه میانگین غلظت سرب، کادمیوم، مس و روی دانه گندم برداشت شده از خاک‌های اطراف معدن

غلظت فلز در دانه (mg kg <sup>-1</sup> )				نمونه گیاه
Cu	Zn	Cd	Pb	
۴۸/۸±۳/۷ <sup>a</sup>	۷۹/۷±۶/۴ <sup>a</sup>	۱/۳±۰/۰۶ <sup>a</sup>	۵۹/۳±۴/۵ <sup>a</sup>	GS1
۴۳/۳±۳/۳ <sup>b</sup>	۶۷/۵±۴/۱ <sup>b</sup>	۰/۹±۰/۰۷ <sup>b</sup>	۵۱/۴±۳/۶ <sup>b</sup>	GS2
۱۰/۱±۱/۶ <sup>c</sup>	۴۸/۳±۴/۷ <sup>c</sup>	۰/۴±۰/۰۲ <sup>c</sup>	۳۳/۵±۱/۹ <sup>c</sup>	GS3
۲/۷±۰/۹ <sup>d</sup>	۳۷/۲±۱/۸ <sup>d</sup>	۰/۲±۰/۰۲ <sup>d</sup>	۳۱/۸±۲/۴ <sup>c</sup>	GS4

GS1: دانه‌های برداشت شده از فاصله ۱۰ کیلومتری از معدن؛ GS2: دانه‌های برداشت شده از فاصله ۲۰ کیلومتری از معدن؛ GS3: دانه‌های برداشت شده از فاصله ۳۰ کیلومتری از معدن؛ GS4: دانه‌های برداشت شده از فاصله ۴۰ کیلومتری از معدن.

### ۳-۳- پتانسیل مواجهه با بیماری عناصر مورد مطالعه در دانه گندم

احتمال خطرپذیری (HQ) عناصر سرب، کادمیوم، روی و مس در گندم برای مصرف کننده در جدول ۳ بیان شده است. مقادیر پتانسیل خطرپذیری آلودگی هر عنصر خاص از طریق مصرف گندم با افزایش فاصله از معدن به‌طور معناداری کاهش پیدا کرد (به استثناء HQ سرب GS3 و GS4). مقادیر HQ آلودگی هر عنصر در تمامی فواصل از معدن زیر ۱ است (به استثناء عنصر سرب). این موضوع نشان می‌دهد که احتمال مواجهه با بیماری‌های غیرسرطانی ناشی از آن عنصر مورد نظر در تمام طول زندگی برای مصرف کننده وجود نخواهد داشت. اگر مقدار HQ بزرگ‌تر از ۱ شود سمیت آن عنصر ممکن است اثرات سوء بر سلامت مصرف کننده بگذارد؛ بنابراین عنصر سرب دارای چنین ویژگی است و اعداد مقادیر HQ این عنصر در فواصل ۱۰ (۶/۱۷)، ۲۰ (۵/۳۵)، ۳۰ (۳/۸۴۸) و ۴۰ (۳/۳۱) کیلومتری از معدن بالا و خطرناک است. به‌طور کلی مقدار HQ برای مصرف‌کنندگان از طریق مصرف گندم به این صورت به‌دست آمد:  $Pb > Cd > Cu > Zn$ ؛ این موضوع نشانده این است که علی‌رغم پایین بودن مقادیر HQ عناصر روی، مس و کادمیوم، احتمال افزایش این مقادیر در سال‌های آتی برای این عناصر، به‌ویژه عنصر کادمیوم و مس وجود خواهد داشت. افشاری و همکاران (۱۳۹۴) احتمال خطرپذیری از مصرف گندم برداشت شده از مناطق شهری و صنعتی زنجان را مورد ارزیابی قرار دادند. آن‌ها بالاترین مقدار HQ

را به ترتیب برای عناصر سرب، مس، روی، نیکل و کروم به دست آوردند. بیگی هرچگانی و بنی طالبی (۱۳۹۲) در بررسی خطرپذیری انباشت کادمیوم و سرب در دانه‌های گندم آبیاری شده با پساب شهری، غلظت Cd و Pb را در دانه‌های گندم بیشتر از ۱ گزارش کردند. فرهاگوت<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۰۸) در ارزیابی خطر آرسنیک از مصرف برنج در کاتالونیا اسپانیا مقادیر HQ بیشتر از ۱ را با افزایش غلظت آرسنیک خاک گزارش نمودند.

جدول ۳- مقایسه میانگین احتمال خطرپذیری بیماری‌های غیرسرطانی از عناصر سرب، کادمیوم، مس و روی دانه گندم برداشت شده از خاک‌های اطراف معدن

احتمال خطرپذیری (HQ)				نمونه گیاه
Cu	Zn	Cd	Pb	
$0.48 \pm 0.08^a$	$0.12 \pm 0.04^a$	$0.05 \pm 0.09^a$	$6.17 \pm 1.1^a$	GS1
$0.42 \pm 0.03^b$	$0.09 \pm 0.03^b$	$0.37 \pm 0.05^b$	$5.35 \pm 0.8^b$	GS2
$0.10 \pm 0.05^c$	$0.06 \pm 0.02^c$	$0.16 \pm 0.03^c$	$3.48 \pm 0.9^c$	GS3
$0.02 \pm 0.07^d$	$0.04 \pm 0.06^d$	$0.08 \pm 0.11^d$	$3.31 \pm 0.3^c$	GS4
GS1: دانه‌های برداشت شده از فاصله ۱۰ کیلومتری از معدن؛ GS2: دانه‌های برداشت شده از فاصله ۲۰ کیلومتری از معدن؛ GS3: دانه‌های برداشت شده از فاصله ۳۰ کیلومتری از معدن؛ GS4: دانه‌های برداشت شده از فاصله ۴۰ کیلومتری از معدن.				

#### ۴- نتیجه گیری

نتایج حاصل از مطالعه خاک‌ها و گیاهان اطراف معدن سرب و روی زنجان نشان داد که غلظت عناصر سرب، روی، مس و کادمیوم در خاک و دانه گندم با افزایش فاصله از ۱۰ کیلومتر تا ۴۰ کیلومتر نسبت به معدن کاهش یافت. مقدار پتانسیل خطر برای سلامتی (HQ) هر عنصر خاص از طریق مصرف گندم با افزایش فاصله از معدن نیز کاهش یافت و مقادیر آن برای تمامی عناصر به جز عنصر سرب زیر ۱ به دست آمد. این موضوع نشان دهنده این است که مصرف کنندگان گندم کشت شده در نواحی اطراف معدن مورد مطالعه، بیشتر در معرض تأثیرات غیرسرطانی عنصر سرب هستند.

## کتابنامه

- افشاری، علی؛ خادمی، حسین؛ ایوبی، شمس اله؛ ۱۳۹۴. ارزیابی خطرپذیری آلودگی عناصر سنگین در خاک‌ها و برخی محصولات کشاورزی در اطراف شهر و مناطق صنعتی زنجان. *نشریه آب و خاک*. شماره ۴. ۱۵۱-۱۶۳.
- بقائی، امیر حسین؛ کشاورزی، مهران؛ ۱۳۹۸. ارزیابی خطر سلامتی فلزات سنگین (کادمیوم و سرب) در محصولات گلخانه‌ای برداشت شده از گلخانه‌های اطراف معدن ایرانکوه در سال ۱۳۹۶. *مجله دانشگاه علوم پزشکی سبزوار*. شماره ۳. ۲۹۳-۳۰۲.
- بیگی هرچگانی، حبیب اله؛ بنی طالبی، گلنوش؛ ۱۳۹۲. اثر بیستوسه سال آبیاری سطحی با پساب شهری بر انباشت بعضی فلزات سنگین در خاک، انتقال به دانه‌های گندم و ذرت و خطرات بهداشتی مرتبط. *نشریه آب و خاک*. شماره ۳. ۵۷۰-۵۸۰.
- تابنده، لیلیا؛ طاهری، مهدی؛ ۱۳۹۵. ارزیابی مواجهه با فلزات سنگین مس، روی، کادمیوم و سرب در سبزیجات کشت شده در مزارع استان زنجان. *مجله سلامت و محیط زیست. فصلنامه علمی پژوهشی انجمن علمی بهداشت محیط ایران*. شمار ۱. ۴۱-۵۶.
- دلاور، محمد امیر؛ صفری، یاسر؛ ۱۳۹۴. منشأیابی فلزات سنگین در خاک‌های اطراف شهرک روی زنجان با استفاده از تکنیک‌های آماری چند متغیره. *نشریه آب و خاک*. شماره ۳. ۶۲۷-۶۳۷.
- هودجی، مهران؛ جلالیان، احمد؛ ۱۳۸۳. پراکنش نیکل، منگنز و کادمیوم در خاک و محصولات کشاورزی در منطقه استقرار مجتمع فولاد مبارکه. *مجله تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی*. شماره ۸. ۵۵-۶۷.
- یارقلی، بهمن؛ ۱۳۹۴. بررسی مقدار جذب و تجمع کادمیم در اندام‌های مختلف چهار گیاه زراعی (گندم، اسفناج، خیار و هویج). *مجله آب و فاضلاب*. شماره ۶. ۱۰۷-۱۱۴.
- Abdel-Kader NH, Shahin R, Khater HA., 2013. Assessment of Heavy Metals Immobilization in Artificially Contaminated Soils Using Some Local Amendments. *Open Journal of Metal* 3:68-76.
- Alloway BJ., 2013. Trace metals and metalloids in soils and their bioavailability. Springer: Netherlands.
- Bi XY, Feng XB, Yang YG, Li XD, Shin GPY, Li FL, Qiu GL, Li GH, Liu TZ, Fu ZY., 2009. Allocation and source attribution of lead and cadmium in maize (*Zeamays L.*) impacted by smelting emissions. *Environmental Pollution* 157: 834-839.
- Black A, McLaren RG, Reichman SM, Speir TW, Condron LM., 2011. Evaluation of soil metal bioavailability estimates using two plant species (*L. perenne* and *T. aestivum*) grown in a range of agricultural soils treated with biosolids and metal salts. *Environmental Pollution* 159(6): 1523-1535.
- Chehregani A, Noori M, Lari Yazdi H., 2009. Phytoremediation of heavy-metal-polluted soils: Screening for new accumulator plants in Angouran mine (Iran) and evaluation of removal ability. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 72: 1349-1353.

- Ferre-Huguet N, Marti-Cid R, Schuhmacher M, Domingo JL., 2008. Risk assessment of metals from consuming vegetables, fruits and rice grown on soils irrigated with waters of the Ebro River in Catalonia, Spain. *Biol Trace Elem Res* 123: 66-79.  
<http://www.epa.gov/iris/subst>.
- Huang M, Zhou S, Sun B, Zhao Q., 2008. Heavy metals in wheat grain: assessment of potential health risk for inhabitants in Kunshan, China. *Science of the Total Environment* 405: 54-61.
- Jia L, Wang W, Li Y, Yang L. 2010. Heavy metals in soil and crops of an intensively Farmed area: A case study in Yucheng city, Shandong province, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 7: 395-412.
- Joint FAO/WHO expert committee on food additives. Summary and conclusions, 53rd meeting. Rome: Joint FAO/WHO, 1999. Technical Report.
- Karami M, Afyuni M, Rezainejad Y, Schulin R., 2009. Heavy metal uptake by wheat from a sewage sludge amended calcareous soil. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 83: 51-61.
- Kumpiene J, Lagerkvist A, Mauri C., 2008. Stabilization of As, Cr, Cu, Pb and Zn in soil using amendments—a review. *Waste Management* 28(1): 215-225.
- Lair GJ, Gerzabek MH, Haberhauer G., 2007. Retention of copper, cadmium and zinc in soil and its textural fractions influenced by long-term field management. *European Journal of Soil Science* 58:1145-1154.
- Lindsay WL, Norvell W. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Science Society of America Journal* 42(3):421-428.
- Lozano-Rodríguez E, Luguera M, Lucena J, Carpena-Ruiz R., 1995. Evaluation of two different acid digestion methods in closed systems for trace element determinations in plants. *Quimica Analitica-Bellaterra* 14: 27-27.
- Luo C, Liu C, Wang Y, Liu X, Li F, Zhang G, Li X. 2011. Heavy metal contamination in soils and vegetable near an e-waste processing site, south China. *Journal of Hazardous Materials* 186: 481-490.
- Qian YZ, Chen C, Zhang Q, Li Y, Chen Zh, Li M., 2010. Concentration of cadmium, lead, mercury and arsenic in Chinese market milled rice and associated population health risk. *Food Control* 21: 1757-1763.
- Rattan RK, Datta Sp, Chhonkar PK, Suribabu K, Singh AK., 2005. Long term impact of irrigation with sewage effluents on heavy metal content in soils, crops and groundwater- a case study. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 109:3-4: 310-22.
- Salehipour M, Ghorbani H, Kheirabadi H, Afyuni M., 2015. Health risks from heavy metals via consumption of cereals and vegetables in Isfahan Province, Iran. *Human and ecological risk assessment: an international journal* 21(7):1920-1935.
- Sposito G, Lund L, Chang A., 1982. Trace metal chemistry in arid-zone field soils amended with sewage sludge: I. Fractionation of Ni, Cu, Zn, Cd, and Pb in solid phases. *Soil Science Society of America Journal* 46(2):260-264.
- Street R., 2012. Heavy metals in medicinal plant products—An African perspective. *South African Journal of Botany* 82: 67-74.
- Torabian A, Mahjouri M., 2002. Heavy metals uptake by vegetable crops irrigated with wastewater in south Tehran. *Journal of Environmental Study Science* 16:255-263.
- USEPA, IRIS., 2006. United States Environmental Protection Agency, Integrated Risk Information System.
- Wang X., Sato T., Xing B., and Tao S., 2005. Health risks of heavy metals to the general public in Tianjin, China via

- Yadav S., 2010. Heavy metals toxicity in plants: an overview on the role of glutathione and phytochelatins in heavy metal stress tolerance of plants. *South African Journal of Botany* 76(2): 167-179.
- Zhao FJ, Su YH, Dunham SJ, Rakszegi M, Bedo Z, McGrath SP, Shewry PR., 2009. Variation in mineral micronutrient concentrations in grain of wheat lines of diverse origin. *Journal of Cereal Science* 49: 290-295.