صحت‌سنجی کاربرد حدود آستانه برای انعکاس خطر کادمیم در خاک

یاسر صفری [۱]، محمد امیر دلاور [۲]، عیسی اسفندیارپور بروجنی [۳]، حمیدرضا اولیایی [۴]
۱- دانشجوی دکتری گروه علوم خاک دانشگاه زنجان، ۲- استادیار گروه علوم خاک دانشگاه زنجان ، ۳-دانشیار گروه علوم خاک دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان، ۴- دانشیار گروه علوم خاک دانشگاه یاسوج

چکیده
برای انجام این مطالعه، غلظت عنصر کادمیم در تعداد ۶۵ نمونه خاک سطحی (صفر تا ۲۰ سانتی‌متر) و نمونه‌های گندم رشدیافته متناظر در منطقه شهرک صنعتی روی زنجان تعیین گردید. به‌منظور اطلاع از صحت انعکاس خطر کادمیم در خاکهای منطقه بر اساس حد مجاز این عنصر، انطباق الگوی توزیع نمونه‌های گندم آلوده به کادمیم با پراکنش مکانی غلظت این عنصر در خاک بررسی گردید. نتایج نشان داد که در پی فعالیت‌های صنعتی انجام‌گرفته در شهرک روی، غلظت کادمیم در خاکهای نواحی مجاور شهرک بالاتر از حد مجاز غلظت این عنصر در خاکهای کشور است. هم‌چنین، مشاهده شد که میانگین غلظت کادمیم در دانه گندم رشدیافته در منطقه، بالاتر از حد مجاز غلظت این عنصر در مواد غذایی است. از سویی مشخص گردید که ارزیابی خطر آلودگی کادمیم در خاکهای منطقه مورد مطالعه، بر اساس حد آستانه آلایندگی این عنصر و بدون توجه به نوع کاربری اراضی ممکن است گمراه‌کننده باشد.

واژه‌های کلیدی: توزیع مکانی، شهرک تخصصی روی زنجان، فلزات سنگین، گندم

مقدمه
همگام با رشد روزافزون صنعت و تکنولوژی، ورود آلاینده‌های زیست‌محیطی و در صدر آن‌ها فلزات سنگین به خاک‌ها، موجب نگرانی رو به رشد جامعه جهانی پیرامون خطرات احتمالی آلودگی خاک شده است (Kabata-pendias, ۲۰۱۰). نظر به عدم تجزیه‌پذیری زیستی و نیمه‌عمر بسیار طولانی در محیط زیست، فلزات سنگین خطرناک‌ترین آلاینده‌های زیست‌محیطی محسوب می‌شوند (Fu and Wang, ۲۰۱۱). تحرک و پویایی اندک فلزات سنگین در خاک و تمایل آن‌ها برای انتقال از خاک به گیاهان، به‌عنوان یکی از حلقه‌های زنجیره غذایی انسان، موجب تشدید خطر این آلاینده‌ها برای حیات انسان و دیگر موجودات زنده شده است. به‌هرحال، مهم‌ترین راهکار مورد استفاده برای سنجش خطر آلودگی خاک به فلزات سنگین، درون‌یابی مقادیر آن‌ها در یک محدوده مشخص به کمک تعدادی نقطه مشاهده‌ای و پهنه‌بندی مقادیر تخمینی در قالب یک نقشه برای هر یک از فلزات آلاینده است. با توجه به ظهور عناصر مختلف در دامنه‌های متفاوتی از مقادیر و تفاوت در خطرات ایجادشده توسط غلظت‌های برابری از فلزات سنگین مختلف در خاک، احتمال خطر هر یک از عناصر بر اساس حدود آستانه از پیش تعیین‌شده، ارزیابی می‌گردد (Manga et al., ۲۰۱۴)؛ به‌گونه‌ای که بر اساس نقشه‌های توزیع مکانی عناصر سنگین در خاک، تنها پهنه‌هایی برای کشاورزی مناسب تشخیص داده می‌شوند که در آن‌ها غلظت هیچ‌یک از فلزات سنگین از حد آستانه بالاتر نباشد (Romic et al., ۲۰۰۷). به‌وضوح مشخص است که در این حالت، شدت آلودگی آلاینده‌ها در نقاط مختلف و رفتار متفاوت عناصر در خاک، به‌ویژه قابلیت انتقال آن‌ها به گیاهان مختلف مشخص نیست؛ چراکه در کنار سطح غلظت عناصر سنگین و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، نوع گونه گیاهی از مهم‌ترین عوامل اثرگذار بر میزان جذب فلزات سنگین توسط گیاهان مختلف است (Kabata-pendias, ۲۰۱۰). در همین راستا، برخی از پژوهش‌گران معتقدند که می‌بایست ارزیابی خطر راه‌یابی فلزات سنگین به محصولات کشاورزی، به‌صورت جداگانه برای هر سامانه ویژه خاک-گیاه انجام گیرد (Li et al., ۲۰۱۰). از این رو، مهم‌ترین هدف پژوهش حاضر، ارزیابی کارایی حدود آستانه تعیین‌شده برای فلز سمی کادمیم در خاکهای کشور برای انعکاس صحیح خطر انتقال این عنصر از خاکهای آلوده اطراف شهرک صنعتی تخصصی روی زنجان به گیاه استراتژیک گندم (*Triticum aestivum L.*) است.

مواد و روش‌ها
منطقه مطالعاتی در شش کیلومتری جنوب زنجان و در اطراف شهرک صنعتی تخصصی روی (به‌اختصار شهرک روی) واقع شده است. در محدوده این شهرک بیش از ۵/۲ میلیون تن پسماند حاوی فلزات سنگین انباشته شده است و فعالیت‌های صنعتی انجام‌گرفته در آن، احتمال تجمع فلزات سنگین مختلف در خاک، ازجمله کادمیم را فراهم نموده است. مساحت محدوده مورد مطالعه، بالغبر ۱۰۰۰۰ هکتار است و در بین طول‌های جغرافیایی ′۲۱ °۴۸ تا ′۵۹ °۴۸ شرقی و عرض‌های جغرافیایی ′۳۱ °۳۶ تا ′۴۴ °۳۶ شمالی قرار گرفته است. کشت دیم گیاه استراتژیک گندم، از رایج‌ترین کاربری‌های منطقه مورد مطالعه است.
برای انجام این مطالعه، تعداد ۶۵ نمونه خاک سطحی (صفر تا ۲۰ سانتی‌متر) و نمونه‌های گندم رشدیافته متناظر، در قالب یک الگوی نمونه‌برداری شبکه‌ای منظم به فاصله‌ی ۱۰۰۰ متری برداشت گردید. پس از آماده‌سازی نمونه‌های خاک و گیاه برداشت‌شده مطابق با روش‌های آزمایشگاهی استاندارد، عصاره‌گیری با استفاده از اسید نیتریک پنج نرمال انجام گرفت و در نهایت غلظت کل

عنصر کادمیم نمونه‌های خاک و دانه گندم به کمک دستگاه جذب اتمی تعیین شد. هم‌چنین، برای اندازه‌گیری مقادیر غلظت قابل‌جذب این عنصر از عصاره‌گیر دی‌اتیلن تری‌آمین پنتا استیک اسید (DTPA) استفاده شد. برای ارزیابی خطر کادمیم در خاکهای مورد مطالعه، مقادیر این عنصر در مکان‌های نمونه‌برداری نشده با استفاده از تخمین‌گر کریجینگ معمولی در محیط نرم‌افزاری ArcGIS ۱۰.۲ درون‌یابی گردید و نقشه نهایی با مدنظر قرار دادن حدود آستانه آلایندگی (مجاز) و پاک‌سازی (خطرساز) این عنصر در خاکهای کشور، ترسیم گردید (معاونت محیط زیست انسانی، ۱۳۹۲). از سوی دیگر، به‌منظور اطلاع از صحت انعکاس خطر کادمیم در خاکهای منطقه بر اساس حدود مجاز و خطرساز این عنصر، پراکنش مکانی غلظت این عنصر در بخش خوراکی گیاه گندم بررسی گردید.

نتایج و بحث

جدول ۱ مهم‌ترین ویژگی‌های آماری غلظت عنصر کادمیم در نمونه‌های خاک و گیاه را نشان می‌دهد.

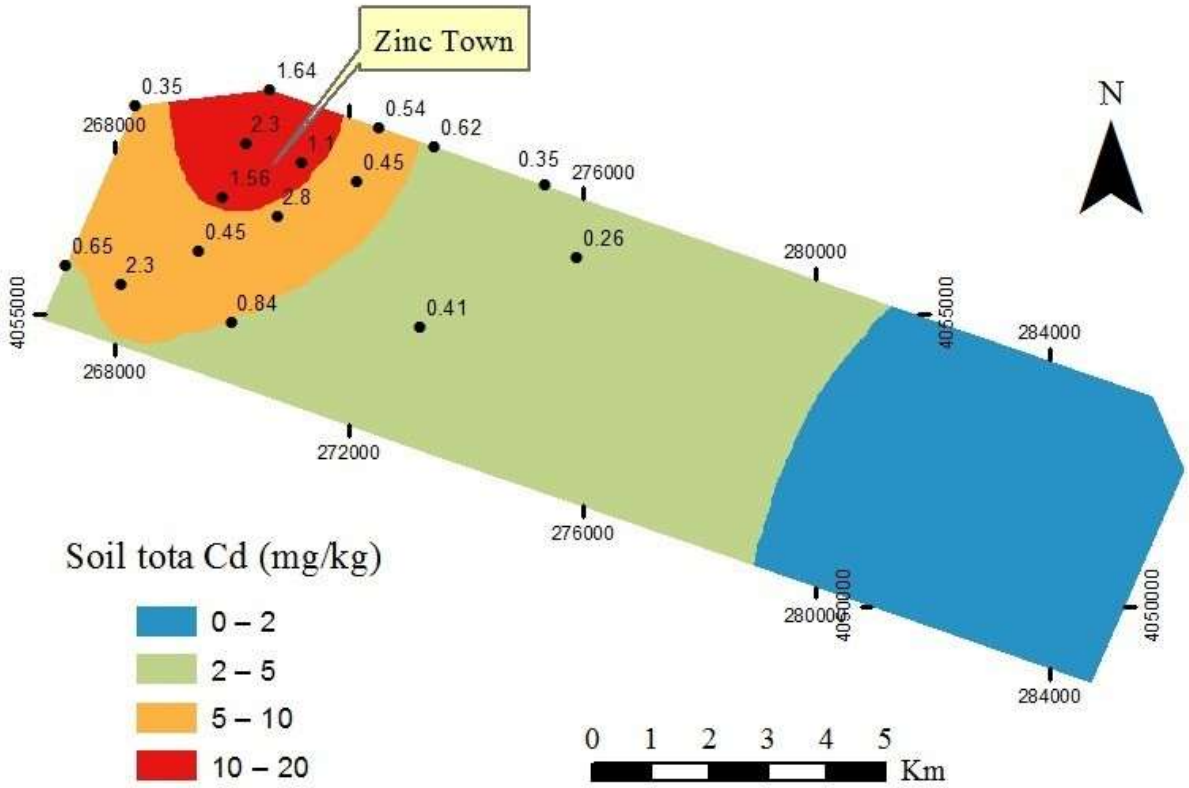
جدول ۱- خلاصه آماری غلظت عنصر کادمیم در نمونه‌های خاک و گیاه (میلی‌گرم بر کیلوگرم)

	میانگین	حداقل	حداکثر	انحراف معیار	ضریب تغییرات (درصد)
خاک (کل)	۱۲/۴	۳۰/۰	۳۵/۴۲	۱۱/۶	۱/۱۴۶
خاک (قابل‌جذب)	۴۱/۰	۰۰/۰	۲۰/۵	۸۳/۰	۳/۱۹۱
دانه گندم	۲۸/۰	۰۰/۰	۸۵/۲	۶۰/۰	۱/۲۱۳

غلظت کل عنصر کادمیم در خاکهای مورد مطالعه در دامنه ۳/۰ تا ۳۵/۴۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر است (جدول ۱) و میانگین غلظت کل این عنصر در خاک، کوچک‌تر از حد مجاز غلظت کادمیم در خاکهای کشور، یعنی ۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم است (معاونت محیط زیست انسانی، ۱۳۹۲). میانگین جهانی غلظت عنصر کادمیم در خاکهای غیر آلوده، ۱ تا ۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش شده است (Kabata-Pendias, ۲۰۱۰). بر این اساس، بزرگ بودن نسبی مقدار حداکثر غلظت کادمیم در خاکهای مورد مطالعه، می‌تواند تلنگری بر این نکته باشد که عوامل غیر طبیعی، ازجمله فعالیت‌های صنعتی انجام‌گرفته در شهرک روی، کنترل‌کننده پراکنش این عنصر سمی در بخشی از خاکهای منطقه هستند.

در پژوهش‌های مختلف، پتانسیل اکسیداسیون و احیای خاک که در قالب شاخص واکنش خاک بیان می‌شود، مهم‌ترین و مؤثرترین ویژگی در تعیین قابلیت جذب عناصر فلزی در خاک گزارش شده است (Wang et al., ۲۰۱۳). باوجود یافت شدن مقادیر نسبتاً بالای کربنات کلسیم در خاکهای منطقه و در پی آن، حاکم شدن شرایط قلیایی خفیف تا متوسط در این خاک‌ها (داده‌ها نمایش داده نشده‌اند)، نتایج جدول ۱ گویای آن است که گاهی مقادیر قابل‌توجهی از فلز کادمیم در خاکهای مورد مطالعه به شکل قابل‌جذب برای گیاهان وجود دارد. برخی از پژوهش‌گران مدت‌زمان سپری‌شده از اضافه شدن عناصر سنگین به خاک را عامل مهمی در ظهور قابلیت‌های بخش جامد خاک برای جذب و نگهداشت عناصر فلزی و در نتیجه، کاهش قابلیت دسترسی گیاهان به این عناصر می‌دانند (Lim et al., ۲۰۰۲). بر این اساس، با توجه به آن‌که عمده مقادیر کادمیم یافت‌شده در خاکهای منطقه طی دو تا سه دهه گذشته به خاک افزوده شده‌اند (Parizanganeh et al., ۲۰۱۰)، به نظرمی‌رسد عدم گذشت زمان عامل اصلی مشاهده مقادیر نسبتاً بالا برای غلظت قابل‌جذب کادمیم در نقاط معدودی از خاکهای مورد مطالعه باشد.

بالا بودن غلظت کادمیم در خاک موجب شده است تا مقادیر قابل‌توجهی از این عنصر نیز وارد بخش دانه گیاه گندم رشدیافته در منطقه شود (جدول ۱). مقدار میانگین غلظت کادمیم در دانه نمونه‌های گیاه گندم رشدیافته در منطقه، بزرگ‌تر از حد آستانه مجاز غلظت این عنصر در دانه گندم، یعنی ۲/۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم است (FAO/WHO, ۲۰۱۲). در نتیجه، به نظر می‌رسد مصرف محصول گندم رشدیافته در بخش‌هایی از منطقه می‌تواند موجب وارد آمدن صدمات جدی به سلامت مصرف‌کنندگان گردد. در تطابق با این یافته‌ها، برخی از پژوهش‌گران معتقدند که گیاه گندم توانایی قابل‌ملاحظه‌ای برای جذب عناصر سنگین از خاکهای آلوده و انتقال مقادیر قابل‌توجهی از عناصر جذب‌شده به بخش دانه خود، دارد (Wang et al., ۲۰۱۳). هم‌چنین، گزارش‌های موجود حاکی از آن است که در میان عناصر فلزی مختلف، عنصر کادمیم از تحرک نسبتاً بالایی برخوردار بوده و گاه حتی با سهولت بیشتری نسبت به عناصر ضروری روی و مس، توسط گیاهان جذب می‌شود (Kabata-Pendias, ۲۰۱۰). شکل ۱ نقشه پهنه‌بندی غلظت کل کادمیم در خاکهای منطقه را نشان می‌دهد.



شکل ۱ - توزیع مکانی غلظت کل کادمیم در خاکهای منطقه به همراه الگوی پراکنش نمونه‌های گندم آلوده به کادمیم

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده در شکل ۱، بیشترین مقادیر غلظت کادمیم خاک در قسمت‌های شمال غربی منطقه، یعنی خاکهای مجاور شهرک صنعتی روی مشاهده می‌شود و با افزایش فاصله از این منبع صنعتی آلودگی، غلظت کل کادمیم در خاک هم کمتر می‌شود. این مشاهده‌ها، به‌وضوح نقش فعالیت‌های صنعتی انجام‌گرفته در شهرک روی را در تجمع عنصر سمی کادمیم در خاکهای اطراف نشان می‌دهد. در پژوهش‌های پیشین، خروج ذرات و ترکیبات هوابرد حاوی عناصر سنگین از دودکش کارخانه‌ها و کارگاه‌های صنعتی موجود در شهرک روی و پراکنده شدن پسماندهای صنعتی تجمع یافته در نزدیکی شهرک توسط باد و جریان‌های سطحی آب در اراضی اطراف، از محتمل‌ترین فرآیندهای تجمع فلزات سنگین در خاکهای منطقه برشمرده شده‌اند (Parizanganeh et al., ۲۰۱۰). با توجه به حد آستانه مجاز عنصر کادمیم در خاکهای کشور که ۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم است (معاونت محیط زیست انسانی، ۱۳۹۲)، ملاحظه می‌شود که غلظت این آلاینده در عمده اراضی مورد مطالعه (۳/۸۱ درصد) از حد مجاز پایین‌تر است؛ حال آن‌که، در ۷/۱۸ درصد از اراضی محدوده مورد مطالعه، غلظت کادمیم بالاتر از حدود مجاز این عنصر است.

موقعیت جغرافیایی نمونه‌های گندمی که غلظت کادمیم در دانه آن‌ها بالاتر از حد مجاز این عنصر (۲/۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) است، در شکل ۱ نشان داده شده است. توجه به پراکنش مکانی نمونه‌های گندم آلوده به کادمیم حاکی از آن است که بیشتر این نمونه‌ها در قسمت‌های شمال غربی منطقه، یعنی اراضی واقع در مجاورت شهرک روی، قرار گرفته‌اند. به نظر می‌رسد وجود مقادیر نسبتاً بالای غلظت کادمیم در خاکهای این بخش از منطقه، موجب شده است تا با وجود غیر ضروری بودن عنصر کادمیم برای رشد گیاهان و حاکم بودن شرایط قلیایی در خاکهای مورد مطالعه، گیاه گندم مقادیر قابل‌توجهی از این عنصر را جذب کند. پژوهش‌های پیشین اثبات کرده‌اند که غلظت عناصر در خاک از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر مقادیر جذب‌شده هر عنصر توسط گیاهان هستند (Kabata-Pendias, ۲۰۱۰).

از سوی دیگر، تعداد پنج نمونه از مجموع ۱۶ نمونه گندم آلوده به عنصر کادمیم در پژوهش حاضر، در بخش‌هایی از منطقه واقع شده‌اند که در آن‌ها غلظت کل کادمیم خاک، کمتر از حد مجاز این عنصر در خاکهای کشور است (شکل ۱). چنین مشاهده‌ای به این مفهوم است که حتی محصول گندم رشدیافته در پهنه‌های خاکی که بر اساس استانداردهای موجود در کشور، غیر آلوده به کادمیم تشخیص داده شده‌اند، دچار آلودگی به این عنصر سمی است. در نتیجه، به‌وضوح مشخص است که ارزیابی خطر آلودگی کادمیم در خاکهای منطقه مورد مطالعه، تنها بر اساس حد آستانه آلایندگی این عنصر و بدون توجه به نوع کاربری اراضی ممکن است تا حدی گمراه‌کننده باشد. در همین ارتباط، بسیاری از پژوهش‌گران بر این عقیده‌اند که با توجه به تغییرپذیری مکانی

کوچک‌مقیاس ویژگی‌های خاک و وجود گزارش‌های متناقض در مورد اثرات هریک از ویژگی‌های خاک بر رفتار عناصر سنگین در خاک (Luo et al., ۲۰۱۴)، سنجش خطر آلودگی خاک در نقاط مختلف بر اساس حدود آستانه ثابت نمی‌تواند نتایج مطمئنی به ارمغان آورد (Manga et al., ۲۰۱۴). هم‌چنین، برخی از پژوهش‌گران چنین می‌پندارند که با توجه به تفاوت‌های قابل‌ملاحظه گونه‌های گیاهی مختلف برای جذب و انتقال فلزات سنگین، تنها چاره موجود، اختصاصی کردن ارزیابی خطر انتقال عناصر آلاینده از خاک به گیاه برای هر سامانه ویژه خاک-گیاه است (Li et al., ۲۰۱۰). از این رو، می‌توان اظهار داشت که در فرآیند تعیین حدود آستانه آلایندگی عناصر برای ارزیابی خطرات آن‌ها برای انسان و محیط زیست در کشور، توجه بیشتری به قابلیت‌های گیاهان استراتژیک مورد استفاده در کشور برای تسهیل چرخه عناصر، مورد نیاز است.

منابع

معاونت محیط زیست انسانی، دفتر آب‌وخاک، سازمان حفاظت محیط زیست. ۱۳۹۲. استانداردهای کیفیت منابع خاك و راهنماهای آن. ۱۶۴ صفحه.

FAO/WHO. ۲۰۱۲. Joint FAO/WHO food standards programme, Codex committee on contaminants in foods. Maastricht, The Netherlands.

Fu F. and Wang Q. ۲۰۱۱. Removal of heavy metal ions from wastewaters: A review. Journal of Environmental Management, ۹۲: ۴۰۷-۴۱۸.

Kabata-Pendias A. ۲۰۱۰. Trace Elements in Soils and Plants (۴th ed). CRC press, Boka Raton.

Li F., Ni L., Yuan J. and Daniel Sheng G. ۲۰۱۰. Cultivation practices affect heavy metal migration between soil and Vicia faba (broad bean). Chemosphere, ۸۰: ۱۳۹۳-۱۳۹۸.

Lim T.T., Tay J.H. and Teh C.I. ۲۰۰۲. Contamination time effect on lead and cadmium fractionation in a tropical coastal clay. Journal of Environmental Quality, ۳۱, ۸۰۶-۸۱۲.

Luo W., Verweij R.A. and Van Gestel C.A.M. ۲۰۱۴. Contribution of soil properties of shooting fields to lead biovailability and toxicity to *Enchytraeus crypticus*. Soil Biology & Biochemistry, ۷۶: ۲۳۵-۲۴۱.

Manga V.E., Agyingi Ch.M. and Suh Ch.E. ۲۰۱۴. Trace Element Soil Quality Status of Mt. Cameroon Soils. Advances in Geology, doi: org/۱۰.۱۱۵۵/۲۰۱۴/۸۹۴۱۰۳.

Parizanganeh A., Hajisoltani P. and Zamani A. ۲۰۱۰. Concentration, Distribution and Comparison of Total and Bioavailable Metals in Top Soils and Plants Accumulation in Zanjan Zinc Industrial Town-Iran. Procedia Environmental Sciences, ۲: ۱۶۷-۱۷۴.

Romic M., Hengl T., Romic D. and Husnjak S. ۲۰۰۷. Representing soil pollution by heavy metals using continuous limitation scores. Computers and Geosciences, ۳۳: ۱۳۱۶-۱۳۲۶.

Wang Ch., Yang Zh., Yuan X., Browne P., Chen L. and Ji. J. ۲۰۱۳. The influences of soil properties on Cu and Zn availability in soil and their transfer to wheat (*Triticum aestivum L.*) in the Yangtze River delta region, China. Geoderma, ۱۹۳-۱۹۴: ۱۳۱-۱۳۹.

Abstract

A total of ۶۵ soil (۰-۲۰ centimeter) and wheat samples collected from Zanjan Industrial Zinc Town area were analyzed for Cadmium (Cd) contents. Assessing the efficiency of Cd risk assessment in studied soils based on the threshold value, distribution pattern of polluted wheat samples was compared with the spatial distribution of soil Cd. The results showed that due to the industrial activities in Zinc Town, Cd concentration in the soils surrounding the Town exceeds national permitted Cd concentration. It was observed that mean Cd content in the grains of wheat grown in the studied area, exceeds the permitted Cd concentration in food. It was also observed that Cd risk assessment in studied soils based on a threshold value regardless the land use may lead to some incorrect results.