



19<sup>th</sup> Iranian Soil Science Congress  
16-18 September, 2025



نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران  
۱۱ تا ۱۳ آذر ۱۴۰۴



۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



## ارزیابی فلزات سنگین در خاک برخی از شالیزارهای اطراف اصفهان

حمیدرضا رحمانی<sup>۱\*</sup>، زهرا خان محمدی<sup>۱</sup>

۱- اعضای هیئت علمی بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران

\*- ایمیل نویسنده مسئول: Rahmani.hrhr@gmail.com

### چکیده

فلزات سنگین می‌توانند سبب مشکلات مهم آلودگی محیطی و سلامت شوند. این پژوهش با هدف بررسی احتمال آلودگی خاک و تعیین شاخص فاکتور آلودگی خاک برخی از شالیزارهای اطراف اصفهان به فلزات سنگین انجام شد. به منظور انجام این پژوهش تعداد ۱۰۵ نمونه خاک از ۶ منطقه برنج‌کاری استان اصفهان برداشت و غلظت فلزات سنگین روی، مس، آهن، کادمیم و سرب در نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. برای تعیین آلودگی خاک به فلزات سنگین از فاکتور آلودگی (CF) استفاده شد. نتایج نشان داد که غلظت فلزات سنگین مس، روی و سرب از حد مجاز ارائه شده توسط سازمان محیط‌زیست کشور برای خاک‌های کشاورزی کمتر بود، درحالی‌که غلظت کادمیم در حدود ۲۱ درصد از نمونه‌ها بیشتر از حد مجاز سازمان محیط‌زیست به دست آمد. روند فاکتور آلودگی فلزات سنگین در نمونه‌های خاک به صورت  $CF-Zn < CF-Cu < CF-Pb < CF-Fe < CF-Cd$  مشاهده شد. بر اساس طبقه‌بندی هکنسون، میانگین فاکتور آلودگی برای هیچ کدام از فلزات سنگین مورد مطالعه در درجه آلودگی زیاد یا خیلی زیاد قرار نگرفت.

واژگان کلیدی: خاک، فاکتور آلودگی، فلزات سنگین.

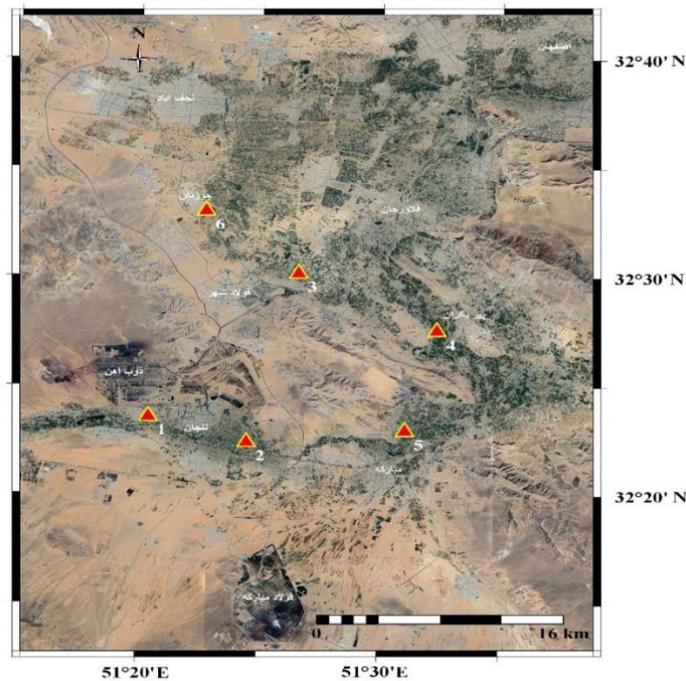
## مقدمه

فلزات سنگین ممکن است از منابع مختلف طبیعی و انسانی در خاک تجمع یافته و سبب مشکلات مهم آلودگی محیطی شوند. فلزات سنگین به علت قابلیت اندازه‌گیری و پایداری می‌توانند به عنوان نشان‌گر کلیدی آلودگی محیط‌زیست استفاده شوند. از آنجا که فلزات سنگین با منشا انسانی معمولاً در لایه بالایی خاک رسوب می‌کنند، خاک‌ها به عنوان محیطی برای پایش و ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در نظر گرفته می‌شوند (Govil et al., 2002). افزایش ورود فلزات سنگین به خاک به دلیل صنعتی شدن سریع و نیز مدیریت ناکافی و نامناسب می‌تواند سبب آلودگی خاک و محیط زیست شود. زمانی که فلزات سنگین از خاک به آب‌های زیرزمینی مهاجرت می‌کنند یا توسط گیاهان و جانوران جذب می‌شوند، کل اکوسیستم را تحت تاثیر قرار می‌دهند و ممکن است به دلیل جابجایی و تجمع زیستی تهدید بزرگی برای اکوسیستم‌ها باشند. برخی از فلزات سنگین مانند مس (Cu) و روی (Zn) در غلظت‌های کم از عناصر غذایی ضروری برای رشد طبیعی گیاه و سایر موجودات زنده محسوب می‌شوند. از سوی دیگر فلزات سنگینی مانند سرب (Pb) و کروم (Cr) ممکن است در غلظت‌های کم‌تر از حد بحرانی توسط اکوسیستم تحمل شوند اما در غلظت‌های زیاده‌تر از حد بحرانی مضر هستند (Alloway and Ayres, 1998). در پژوهش‌های مختلفی به منظور ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در خاک از شاخص‌های کمی مختلفی مانند شاخص غنی‌شدگی<sup>۱</sup> (EF)، فاکتور آلودگی<sup>۲</sup> (CF) و شاخص بار آلودگی<sup>۳</sup> (PLI) استفاده شده است (عظیم‌زاده و خادمی، ۱۳۹۲؛ Loska et al., 2004). به عنوان نمونه نتایج پژوهش رحمانی و خان‌محمدی (۱۳۹۹) در بررسی آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های منطقه دیزچه اصفهان نشان داد که غلظت فلزات سنگین مورد مطالعه در منطقه، کم‌تر از حد مجاز ارائه شده توسط سازمان محیط‌زیست کشور بود، درحالی‌که مقادیر فاکتور آلودگی (CF) نشان‌دهنده وجود درجه‌ای از آلودگی هر کدام از فلزات سنگین در منطقه مطالعاتی بود. افزایش و همکاران (۱۳۹۴) برای بررسی آلودگی فلزات سنگین در کاربری‌های مختلف اراضی بخش مرکزی استان زنجان، از فاکتور آلودگی استفاده کردند. این پژوهش‌گران با توجه به مقادیر فاکتور آلودگی بیان نمودند که فلزات سنگین آهن، منگنز، کروم، کبالت، نیکل و مس در کلاس آلودگی متوسط و پایین قرار دارند، در حالی‌که فاکتور آلودگی کادمیم در ۴۰ درصد نمونه‌ها و فاکتور آلودگی سرب و روی در ده درصد نمونه‌ها در کلاس آلودگی زیاد و خیلی زیاد بود. کشت و کار برنج در استان اصفهان و در حاشیه زاینده‌رود از دیرباز متداول بوده است. شهرستان‌های لنجان (شامل شهرهایی از جمله زرین شهر، چمگردان، مبارکه و فلاورجان از شهرستان‌های مهم استان اصفهان برای کشت برنج می‌باشند که محصول آن‌ها به‌ویژه مورد توجه مردم استان است. از سوی دیگر برخی از شهرستان‌های ذکر شده در نزدیکی مراکز صنعتی قرار دارند و امکان آلودگی فلزات سنگین در خاک این مناطق محتمل است. بنابراین پژوهش حاضر با هدف بررسی احتمال آلودگی خاک برخی از شالیزارهای چند شهر اطراف اصفهان به فلزات سنگین انجام شد.

## مواد و روش‌ها

در این پژوهش تعداد ۶ ایستگاه با کشت متراکم برنج در شهرستان‌های اطراف شهر اصفهان به شرح زیر انتخاب شد: ۱- چمگردان (زرین شهر)، ۲- قلعه قاسم (زرین شهر)، ۳- مینادشت (فلاورجان)، ۴- سه‌روفیروزان (فلاورجان)، ۵- اسماعیل ترخان (مبارکه)، ۶- جوزدان (نجف آباد) (شکل ۱). در هر ایستگاه ۳ مزرعه انتخاب و در هر مزرعه نمونه‌برداری خاک در سه تکرار و تا عمق ۳۰ سانتی‌متری سطح خاک در طول دو سال متوالی (۱۳۹۷، ۱۳۹۸) انجام شد. سپس خاک‌ها هوا-خشک و از الک ۲ میلی‌متر عبور داده شدند. ویژگی‌های اولیه خاک شامل pH، هدایت الکتریکی (شوری)، درصد شن، رس و سیلت (بافت) در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد (جدول ۱). عصاره‌گیری از خاک برای تعیین غلظت کل فلزات سنگین آهن، مس، روی، کادمیم و سرب، با استفاده از اسید کلریدریک و اسید نیتریک انجام شد. برای تعیین شکل قابل دسترس آهن، مس، روی، کادمیم و سرب در خاک عصاره‌گیری با استفاده از DTPA ۰/۰۰۵ مولار انجام شد (Lindsay and Norvell, 1978). سپس غلظت فلزات سنگین مذکور با دستگاه جذب اتمی مدل پرکین المر ۲۳۸۰ اندازه‌گیری شد.

1. Enrichment Factor
2. Contamination Factor
3. Pollution Load Index



شکل (۱): ایستگاه‌های مورد مطالعه

جدول (۱): میانگین برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مهم خاک ایستگاه‌های مورد مطالعه

نام و شماره ایستگاه	pH	هدایت الکتریکی (dS/m)	رس	سیلت	شن	بافت خاک
چمگردان- شماره ۱	۷/۲	۳/۰۱	۲۶/۷	۳۹/۷	۳۳/۶	لوم
قلعه قاسم- شماره ۲	۷/۲	۲/۰۹	۲۴/۷	۳۹	۳۶/۳	لوم
مینادشت- شماره ۳	۷/۱۵	۳/۸۸	۳۰/۴	۴۴/۴	۲۵/۲	لوم رسی
سهروفیروزان- شماره ۴	۷/۱۵	۳/۲۳	۳۵/۸	۴۳/۹	۲۰/۳	لوم رسی
اسماعیل ترخان- شماره ۵	۷/۴۵	۴/۷۳	۲۸/۷	۳۴/۰	۳۷/۳	لوم رسی
جوزدان- شماره ۶	۷/۵۹	۳/۵۱	۴۴/۷	۳۰	۲۵/۳	رسی

#### محاسبه فاکتور آلودگی (CF)

به منظور تعیین آلودگی خاک به فلزات سنگین از فاکتور آلودگی استفاده شد. بر اساس این فاکتور غلظت فلزات سنگین نسبت به غلظت زمینه آن فلز سنجیده می‌شود. فاکتور آلودگی از رابطه ۱ محاسبه شد.

$$CF_{metal} = \frac{C_{metal}}{C_{background}} \quad (1)$$

در این رابطه فاکتور آلودگی،  $CF_{metal}$  غلظت عنصر در نمونه خاک و  $C_{background}$  غلظت زمینه عنصر مورد نظر است. سپس میزان آلودگی فلزات سنگین با استفاده از طبقه‌بندی هکنسن<sup>۴</sup> تعیین شد (جدول ۲) (Hakanson, 1980). برای تعیین غلظت زمینه فلزات سنگین تعداد ۱۵ نمونه خاک از اراضی منابع طبیعی و بکر جمع‌آوری و غلظت فلزات سنگین در آن‌ها اندازه‌گیری شد. با توجه به این که میانگین هندسی بازتاب مفید و مناسبی از میانگین غلظت فلزات سنگین را نشان می‌دهد، میانگین

4. Hakanson

هندسی<sup>۵</sup> (GM) غلظت فلزات در این نمونه ها به عنوان  $C_{background}$  استفاده شد. میانگین هندسی (GM) میانگین لگاریتم طبیعی مجموعه‌ای از داده‌ها ( $X_1, X_2, \dots, X_i$ ) است که در نهایت با تبدیل نمایی برگردانده می‌شود (Gilbert, 1987).

$$GM = \exp\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln x_i\right) \quad (2)$$

جدول (۲): طبقه‌بندی آلودگی فلزات سنگین بر اساس فاکتور آلودگی (Hakanson, 1980)

شدت آلودگی	دامنه تغییرات فاکتور آلودگی (CF)
آلودگی کم	$CF < 1$
آلودگی متوسط	$1 \leq CF < 3$
آلودگی زیاد	$3 \leq CF < 6$
آلودگی خیلی زیاد	$6 \leq CF$

### نتایج و بحث

نتایج نشان داد که pH خاک‌ها در دامنه ۷/۱۵ تا ۷/۵۹ و هدایت الکتریکی خاک‌ها در دامنه ۲/۰۹ تا ۴/۷۳ (محدوده خاک‌های با شوری کم تا متوسط) قرار دارد. بافت خاک‌ها نیز از لوم تا لوم رسی و رسی متغیر بود (جدول ۱). برخی از ویژگی‌های آماری غلظت کل فلزات سنگین مورد مطالعه، در جدول ۳ نشان داده شده است. مقدار ضریب تغییرات فلزات سنگین کمتر از ۵۰ درصد به دست آمد که نشان دهنده تغییرات همگن و یکنواخت فلزات سنگین در ایستگاه‌های مورد مطالعه است. این مساله بیانگر محدود بودن عوامل دخیل در تغییرات فلزات سنگین است. بیشترین میانگین هندسی غلظت کل فلزات سنگین مربوط به آهن بود در حالی که کمترین مقدار آن برای کادمیم به دست آمد. غلظت فلزات سنگین مس، روی و سرب در ایستگاه‌های مورد مطالعه از حد مجاز ارائه شده توسط سازمان محیط زیست کشور برای خاک‌های کشاورزی، کمتر بود (سازمان حفاظت محیط زیست، ۱۳۹۰). غلظت کادمیم در برخی نمونه‌ها (در مجموع ۲۲ نمونه از ۱۰۵ نمونه مورد مطالعه) بیش از حد مجاز ارائه شده توسط سازمان محیط زیست کشور برای خاک‌های کشاورزی (۵ میلی‌گرم در کیلوگرم) اندازه‌گیری شد. از ۲۲ نمونه ذکر شده، ۱۰ نمونه مربوط به ایستگاه جوزدان، ۵ نمونه مربوط به ایستگاه مینادشت، ۴ نمونه مربوط به ایستگاه اسماعیل‌ترخان و ۳ نمونه مربوط به ایستگاه سهرفیروزان بود.

جدول (۳): شاخص‌های آماری غلظت کل فلزات سنگین ( $mg\ Kg^{-1}$ ) در ایستگاه‌های مطالعاتی

وضعیت آماری	سرب (Pb)	کادمیم (Cd)	آهن (Fe)	روی (Zn)	مس (Cu)
حداقل	۴/۵	۲/۰	۹۸۵۰	۴۱/۵	۷/۰
حداکثر	۳۰/۰	۷/۰	۳۰۸۲۵	۱۰۵/۰	۳۷/۵
میانگین حسابی	۱۷/۲۹	۴/۲۸	۱۸۱۸۰	۶۷/۳۲	۲۳
میانگین هندسی	۱۸/۳۴	۴/۴۳	۲۸۹۹۵	۸۱/۱۱	۲۶/۳۳
چولگی	۰/۱	-۰/۰۶	۰/۴۷	۰/۶۲	۰/۶۱
کشیدگی	-۱/۰۶	-۰/۷۳	۰/۹۷	-۰/۰۲	۱/۹۷
ضریب تغییرات (%)	۰/۳۷	۰/۲۶	۰/۲۱	۰/۵۶	۰/۲

نتایج پژوهش پیرزاده و همکاران (۱۳۹۱) در بررسی وضعیت کادمیم در ۱۳۶ نمونه خاک شالیزارهای استانهای اصفهان، فارس و خوزستان نشان داد که میانگین غلظت کل کادمیم خاک ۰/۴۵ و دامنه تغییرات آن از ۰/۱۸ تا ۵/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. این پژوهشگران بیان کردند که دامنه تغییرات کادمیم در استان اصفهان زیاد (۰/۱ تا ۵/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم) بود درحالیکه میانگین غلظت کادمیم در شالیزارهای مورد مطالعه در استان خوزستان ۰/۴ و بیشترین آن ۱ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش شد. بر اساس پژوهش مذکور غلظت کل کادمیم در شالیزارهای مورد مطالعه در استان‌های فارس و خوزستان کمتر از حد مجاز بود. وضعیت آماری غلظت قابل دسترس فلزات سنگین مورد مطالعه به صورت خلاصه در جدول ۴ نشان داده شده است. میانگین روی قابل دسترس ۱/۹۳ میلی‌گرم در کیلوگرم به دست آمد. میزان روی قابل دسترس در ۶۴/۱۵ درصد از خاک‌های بررسی شده کمتر از حد بحرانی روی قابل استفاده گیاه (۲ میلی‌گرم در کیلوگرم) بود. بیشترین میزان روی قابل استفاده گیاه (۴/۲۴)

میلی گرم در کیلوگرم) در ایستگاه جوزدان مشاهده شد. غلظت کادمیم قابل دسترس (قابل استفاده گیاه) در خاک‌های مورد مطالعه کمتر از حد تشخیص دستگاه بود، بنابراین نتایج آن ارائه نشد.

جدول (۴): خلاصه‌ای از وضعیت آماری غلظت قابل دسترس فلزات سنگین در خاک (میلی گرم در کیلوگرم).

Cu	Zn	Fe	Pb	وضعیت آماری
۲/۴۰	۰/۶۸	۳۰/۸۶	۰/۶۸	کمینه
۱۱/۲۲	۴/۲۴	۶۳/۳۴	۲/۵۸	بیشینه
۴/۹۸	۱/۹۳	۴۷/۳۰	۱/۵۷	میانگین
۰/۳۱	۰/۴۷	۰/۱۵	۰/۲۴	انحراف معیار

نتایج ضریب همبستگی پیرسون، حاکی از وجود همبستگی معنی‌دار بین غلظت قابل استفاده فلزات سنگین مورد مطالعه با غلظت کل آن‌ها بود. بیشترین ضریب پیرسون ( $r=0/623, p < 0/01$ ) مربوط به همبستگی بین غلظت کل و قابل استفاده مس بود. غلظت کل روی با غلظت کل مس ( $r=0/423$ )، آهن ( $r=0/298$ ) و کادمیم ( $r=0/284$ ) در سطح ( $p < 0/01$ ) همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت. همبستگی غلظت کل کادمیم با غلظت کل مس ( $r=0/247$ ) و سرب ( $r=0/245$ ) در سطح ( $p < 0/05$ ) مثبت و معنی‌دار بود. همبستگی مثبت معنی‌داری بین غلظت قابل استفاده مس با کادمیم ( $r=0/428, p < 0/01$ )، مس با سرب ( $r=0/24, p < 0/05$ )، روی با آهن ( $r=0/392, p < 0/01$ ) و سرب با آهن ( $r=0/394, p < 0/01$ ) مشاهده شد، درحالی‌که همبستگی کادمیم قابل استفاده با آهن قابل استفاده ( $r=-0/328, p < 0/01$ ) منفی بود.

#### فاکتور آلودگی

توصیف آماری فاکتور آلودگی برای فلزات سنگین مورد نظر در ایستگاه‌های مطالعاتی در جدول ۵ نشان داده شده است. کمترین فاکتور آلودگی سرب (CF-Pb) با مقدار ۰/۳۲ مربوط به ایستگاه قلعه قاسم و بیشترین مقدار فاکتور آلودگی سرب (۲/۱۵) مربوط به ایستگاه جوزدان بود. بررسی میانگین فاکتور آلودگی کادمیم در ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان داد که بیشترین CF-Cd در ایستگاه جوزدان (۱/۷۵) و کمترین مقدار آن (۰/۹۶) در ایستگاه چمگردان به دست آمد. در ایستگاه‌های

جدول (۵): خلاصه‌ای از وضعیت آماری فاکتور آلودگی (CF) فلزات سنگین مورد مطالعه در زمین‌های با کاربری متفاوت.

CF-Cu	CF-Zn	CF-Fe	CF-Cd	CF-Pb	نام منطقه
۰/۹۲	۰/۸۲	۱/۱۴	۰/۸۲	۰/۸۲	حداقل
۱/۶۲	۱/۵	۱/۶۸	۱/۱۵	۱/۲۵	حداکثر
۱/۱۵	۱/۱۲	۱/۴۱	۰/۹۶	۱/۰۶	میانگین
۰/۹۷	۰/۸۲	۱/۳۳	۰/۶۶	۰/۳۲	حداقل
۱/۷۸	۱/۲۵	۱/۹۴	۱/۴۸	۱/۲۹	حداکثر
۱/۲۵	۰/۹۹	۱/۵۳	۱/۱۴	۰/۹۲	میانگین
۰/۳۷	۰/۸	۰/۷	۱/۳۱	۰/۴۳	حداقل
۱/۷	۱/۶۸	۱/۹۷	۱/۹۷	۱/۰	حداکثر
۱/۲۸	۱/۲۱	۱/۱۸	۱/۶۴	۰/۷۲	میانگین
۱/۰۵	۰/۷۲	۱/۰۳	۰/۹۸	۰/۷۲	حداقل
۱/۹۷	۱/۴	۲/۲	۱/۸	۱/۸۳	حداکثر
۱/۳	۱/۱۱	۱/۴۲	۱/۵	۱/۳	میانگین
۰/۸۴	۰/۶۶	۰/۷۴	۰/۸۲	۱/۳۳	حداقل
۱/۳۱	۱/۱۲	۱/۳۶	۱/۸	۱/۹۳	حداکثر
۱/۰۴	۰/۸۳	۱/۰۲	۱/۴۸	۱/۶۵	میانگین
۱/۰۵	۰/۹۸	۱/۰۸	۱/۱۵	۱/۶۸	حداقل
۱/۹۱	۱/۵۸	۱/۴۷	۲/۳	۲/۱۵	حداکثر
۱/۲۱	۱/۲۳	۱/۲۱	۱/۷۵	۱/۸۹	میانگین

مورد مطالعه مقدار فاکتور آلودگی فلزات سنگین آهن، مس و روی با روند  $CF-Zn < CF-Cu < CF-Fe$  مشاهده شد. میانگین فاکتور آلودگی سرب در سه ایستگاه چمگردان، اسماعیل ترخان و جوزدان بیشتر از میانگین فاکتور آلودگی کادمیم به دست آمد (جدول ۵). بر اساس طبقه‌بندی هکنسون، میانگین فاکتور آلودگی برای هیچ کدام از فلزات سنگین مورد مطالعه در درجه آلودگی زیاد یا خیلی زیاد قرار نگرفت. بیشترین درصد فاکتور آلودگی آهن، روی، مس، سرب و کادمیم در درجه آلودگی متوسط قرار داشت (جدول ۶). نتایج نشان داد که ۱۱/۴ درصد از مقادیر فاکتور آلودگی کادمیم در طبقه آلودگی کم و ۸۸/۶ درصد آن در طبقه آلودگی متوسط قرار داشت. در مورد سرب ۳۳/۳ درصد از مقادیر فاکتور آلودگی، کلاس آلودگی کم را نشان داد. بیشترین مقادیر درصد فاکتور آلودگی فلزات سنگین در کلاس آلودگی متوسط، به ترتیب مربوط به آهن < کادمیم < مس < روی بود.

جدول (۶): طبقه‌بندی فاکتور آلودگی فلزات سنگین در منطقه مطالعاتی (بر حسب درصد).

CF-Cu	CF-Zn	CF-Fe	CF-Cd	CF-Pb		
۱۲/۴	۴۰	۸/۶	۱۱/۴	۳۳/۳	کم	
۸۷/۶	۶۰	۹۱/۴	۸۸/۶	۶۶/۷	متوسط	کلاس‌های آلودگی
-	-	-	-	-	زیاد	
-	-	-	-	-	خیلی زیاد	

بر اساس نتایج، در صد آلودگی کلاس کم برای روی در مقایسه با سایر فلزات سنگین بیشتر بود (جدول ۶). نتایج پژوهش عظیم‌زاده و خادمی (۱۳۹۲) در بررسی آلودگی خاک‌های استان مازندران با استفاده از فاکتور آلودگی نشان داد که بیشتر نمونه‌های مورد مطالعه از نظر آلودگی سرب، کادمیم، روی، مس و نیکل دارای کلاس آلودگی متوسط هستند.

### نتیجه‌گیری

غلظت فلزات سنگین مس، روی و سرب در ایستگاه‌های مورد مطالعه از حد مجاز ارائه شده توسط سازمان محیط‌زیست کشور برای خاک‌های کشاورزی، کمتر بود، در حالی که غلظت کادمیم در حدود ۲۱ درصد از نمونه‌های مورد مطالعه بیشتر از حد مجاز سازمان محیط‌زیست ایران به دست آمد. بیشترین درصد فاکتور آلودگی آهن، روی، مس، سرب و کادمیم در درجه آلودگی متوسط قرار داشت. بیشترین مقادیر درصد فاکتور آلودگی فلزات سنگین در کلاس آلودگی متوسط، به ترتیب مربوط به آهن < کادمیم < مس < سرب < روی بود. بنابراین به منظور حفظ کیفیت و امنیت غذایی انجام پژوهش‌هایی درباره بررسی آلودگی فلزات سنگین در دانه برنج در منطقه مطالعاتی ضروری به نظر می‌رسد.

### فهرست منابع

- افشاری، ع.، خادمی، ح.، حاجتی، س. (۱۳۹۴). ارزیابی پتانسیل خطرپذیری آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های مرکزی استان زنجان بر اساس انواع شاخص‌های آلودگی. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲۲(۶): ۴۰-۲۲.
- پیرزاده، مهناز، افیونی، مجید و خوشگفتارمنش، امیرحسین. (۱۳۹۱). وضعیت روی و کادمیم در خاک‌های شالیزاری و برنج استان‌های اصفهان، فارس و خوزستان و تأثیر آنها بر امنیت غذایی. علوم آب و خاک، ۱۶(۶۰): ۹۳-۸۱.
- رحمانی، ح.ر.، خان‌محمدی، ز. (۱۳۹۹). بررسی اثر کارخانه سیمان سپاهان بر آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های منطقه دیزپچه اصفهان. تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۱(۷): ۱۷۰۹-۱۷۰۱.
- سازمان حفاظت محیط زیست، ۱۳۹۰، استانداردهای کیفیت منابع خاک و راهنماهای آن.
- عظیم‌زاده، ب.، خادمی، ح. (۱۳۹۲). تخمین غلظت زمینه برای ارزیابی آلودگی برخی فلزات سنگین در خاک‌های سطحی بخشی از استان مازندران. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۷(۳): ۵۵۹-۵۴۸.
- Alloway BJ, & Ayres DC. (1998). *Chemical principles of environmental pollution* (2nd ed.) Blackie Academic and Professional, Chapman and Hall. London
- Gilbert, R. O. (1987). *Statistical Methods for Environmental Pollution Monitoring*. New York: John Wiley & Sons, Inc.

- Govil, P. K., Reddy, G. L. N., Krishna, A. K. (2002). Contamination of soil due to heavy metals in the Patancheru industrial development area, Andhra Pradesh, India. *Environmental Geology*, 41(3-4), 461–469.
- Hakanson, L. (1980) An ecological risk index for aquatic pollution control: a sedimentological approach. *Water Research*, 14, 975-1001
- Lindsay, W. L., and Norvell, W. A. (1978). Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Science Society of America Journal*. 42, 421–428.
- Loska, K., Wiechuła, D., & Korus, I. (2004) Metal contamination of farming soils affected by industry. *Environment International*, 30, 159-165.

### Evaluation of heavy metals in the soil of some paddy fields around Isfahan

Hamid Reza Rahmani<sup>1\*</sup>, Zahra Khanmohammadi<sup>1</sup>

1- Soil and Water Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Isfahan, Iran

\*- Corresponding Author Email: Rahmani.hrhr@gmail.com

#### Abstract

Heavy metals can cause important environmental pollution and health problems. The objective of this study was to investigate the possibility of soil contamination of some paddy fields of Isfahan Province with heavy metals. A number of 105 soil samples were collected from 6 rice growing areas and the concentration of zinc, copper, iron, cadmium, and lead were measured in the samples. Contamination factor (CF) was used to determine soil contamination with heavy metals. The concentration of copper, zinc, and lead in the studied stations was lower than the permissible limit provided by the Iranian Environmental Organization for agricultural soils while the concentration of cadmium was higher than the permissible limit in about 21% of the studied samples. The trend of CF was observed as CF-Cd>CF-Fe>CF-Pb>CF-Cu>CF-Zn. According to the Hakenson classification, the average pollution factor for none of the heavy metals studied was classified as high or very high pollution.

**Keywords:** Contamination factor, heavy metals, soil.