



## توزیع مکانی و ارزیابی ریسک فلزات سنگین در خاک و برگ درختان پسته (مطالعه موردی: منطقه کبوترخانه-رفسنجان)

عیسی سلگی<sup>۱\*</sup>، حمید عباسی تبار<sup>۲</sup>، فاطمه حسنونند<sup>۲</sup> و فائزه بخشی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>استاد گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، همدان، ایران  
<sup>۲</sup>دانشجوی دکتری محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، همدان، ایران  
<sup>۳</sup>دانش آموخته کارشناسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، همدان، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۱۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۲۴)

### چکیده

**مقدمه:** آلودگی خاک با فلزات سنگین ممکن است کیفیت خاک را تغییر دهد، زیرا این فلزات پایدارند و از لحاظ بیولوژیکی تغییر نمی‌کنند. این پژوهش با هدف بررسی غلظت، توزیع مکانی و ارزیابی ریسک فلزات سنگین مس، روی، کروم و نیکل در خاک و برگ درختان پسته (*Pistacia vera* L.) در منطقه کبوترخانه شهرستان رفسنجان در استان کرمان صورت گرفت.

**مواد و روش‌ها:** نمونه‌برداری در یک عرصه پیوسته و به‌صورت سیستماتیک-تصادفی از عمق ۰ تا ۲۰ سانتی‌متر انجام گرفت. پس از آنالیز شیمیایی، غلظت فلزات سنگین توسط دستگاه جذب اتمی (AAS) اندازه‌گیری شد. ارزیابی ریسک آلودگی به فلزات سنگین توسط فاکتور غنی‌شدگی، Igeo و ریسک اکولوژیکی انجام گرفت. آنالیز واریوگرام و نقشه توزیع مکانی فلزات سنگین در خاک توسط نرم‌افزار Arc GIS 9.3 و روش کریجینگ بررسی شد.

**یافته‌ها:** میانگین غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های خاک برای کروم ۲۰/۹۱، مس ۱۲/۱۱، روی ۵۳/۲ و نیکل ۲۹/۳۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. در نمونه‌های برگ، مس ۰/۹۱ و روی ۱۳/۷۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌دست آمد. نیکل و کروم در نمونه‌های برگ تشخیص‌پذیر نبودند. براساس استاندارد WHO و FAO میانگین غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های خاک و برگ کمتر از حد استاندارد بود. همچنین نتایج ارزیابی ریسک آلودگی نشان داد که خاک منطقه از نظر غلظت فلزات سنگین در طبقه غنی‌شدگی و ریسک کم قرار دارد. نقشه‌های توزیع مکانی برای مس و روی روند افزایشی و برای کروم روند کاهشی به سمت شمال منطقه نشان دادند. عنصر نیکل در شمال منطقه دارای بیشترین غلظت بود.

**نتیجه‌گیری:** بیشترین تجمع مس در برگ درخت پسته در نواحی نزدیک جاده مشاهده شد. تجمع روی در برگ درختان نیز در کل منطقه زیاد بود. به‌طور کلی غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های خاک و برگ پسته کمتر از حد استاندارد ایمن بود.

**واژه‌های کلیدی:** ارزیابی ریسک، پسته، خاک کشاورزی، زمین‌آمار، فلزات سنگین.

### مقدمه

کشورهای در حال توسعه، کیفیت خاک اثر مهمی در تولید غذا دارد (Temitope & Adeniyi., 2020). آلودگی خاک به فلزات سنگین ممکن است در سطوح مختلف مشکل‌ساز باشد، زیرا این آلاینده‌ها

فعالیت‌های انسانی به‌طور چشمگیری سبب افزایش عناصر سمی در خاک‌ها، به‌ویژه خاک‌های کشاورزی می‌شود (Agyeman et al., 2021). در

نگران‌کننده است (Keshavarzi & Kumar, 2020). در مناطق کشاورزی، جذب فلزات سنگین از طریق سیستم خاک-محصول می‌تواند تأثیر غالبی در مواجهه انسان با فلزات سنگین داشته باشد (Yan et al., 2012). این آلاینده‌ها از طریق ریشه جذب گیاه شده و در بافت‌های آن ذخیره می‌شوند یا توسط فرآیندهایی در گیاه تغییر شکل می‌دهند (Alizadeh et al., 2014).

فلزات سنگین می‌توانند از طریق تغییر در تنوع، اندازه جمعیت و فعالیت‌های جوامع میکروبی خاک، اثرهای منفی بر میکروارگانیسم‌ها و فرایندهای زیستی آنها در خاک ایجاد کنند (Edmund et al., 2019). جذب فلزات سنگین توسط گیاهان از خاک، تجمع پی‌درپی در بافت‌های انسانی و بزرگنمایی زیستی از طریق زنجیره غذایی در ایجاد چند بیماری مزمن مانند مشکلات قلبی و کلیوی، سرطان بافت سلولی کبد، بیماری‌های عصبی و عضلانی و اسکلتی، بیماری‌های معده و روده، سرطان خون و نقص ایمنی بدن در انسان‌ها تأثیر دارد (Edmund et al., 2019)؛ Temitope & Adeniyi, 2020). فلزات سنگین با اتصال به مولکول‌های آلی افزون‌بر تخریب آنها، در بدن انباشته می‌شوند و به ماده وراثتی، لیپیدهای غشا و پروتئین‌ها آسیب می‌رسانند و به‌واسطه توانایی جهش‌زایی ممکن است سرطان‌زا باشند (Khodakaram et al., 2009).

در این زمینه تاکنون پژوهش‌هایی در ایران و سطح جهان صورت گرفته است. برای مثال Yazdanpanah et al. (2021) به ارزیابی ریسک آلودگی خاک، آب و گیاهان به آرسنیک در باغ‌های پسته استان کرمان پرداختند. براساس نتایج، غلظت در خاک مناطق نمونه‌برداری از ۱۵ تا ۱۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر است و بیشترین غلظت آرسنیک در مناطق شهری بابک، بیاض و سیرجان مشاهده شد. Taghizadeh et al. (2017) به ارزیابی خطر سلامت فلزات سنگین از طریق رژیم غذایی پنج رقم پسته جمع‌آوری شده از مناطق مختلف جغرافیایی ایران

زیست‌تخریب‌ناپذیرند و سبب اختلال در عملکرد خاک می‌شوند که افزایش نگرانی درباره کیفیت محیط زیست را در پی دارد (Clement et al., 2014). آلودگی خاک حاکی از وجود ماده‌ای شیمیایی یا خارجی در غلظت‌های بیشتر از آستانه طبیعی است که ممکن است برای موجودات زنده یا انسان مضر باشد (Agyeman et al., 2021).

تجمع فلزات سنگین در خاک ممکن است به علت مواد مادری یا فعالیت‌های انسانی باشد (Zhang et al., 2009). فعالیت‌های صنعتی، کود شیمیایی، آفت‌کش‌ها، پسماند جامد، آبیاری با فاضلاب، استفاده از لجن و خروجی آگروز اتومبیل‌ها از منابع انسانی فلزات سنگین در خاک است (Jafari et al., 2019). کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها منابع مهم ورود فلزات سنگین به زمین‌های کشاورزی هستند (Hosseinifard et al., 2018). به‌تازگی به‌دلیل رشد سریع فناوری‌های مختلف، اکوسیستم‌های خشکی و آبی و نیز انسان در معرض بسیاری از انواع سموم شیمیایی به‌ویژه آفت‌کش‌ها قرار گرفته‌اند. مزارع کشاورزی بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آفت‌کش‌ها هستند (حدود ۸۵ درصد از تولید جهانی). کودهای شیمیایی به‌ویژه کودهای فسفاته اثر زیادی در آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های کشاورزی دارند (Alengebawy et al., 2021). خروجی آگروز اتومبیل‌ها نیز از منابع مهم فلزات سنگین در خاک به‌ویژه خاک‌های اطراف جاده‌ها هستند. این فلزات در جریان حمل‌ونقل جاده‌ای مانند احتراق، سایش قطعات و خوردگی فلزات آزاد می‌شوند (Aslam et al., 2013). این آلاینده‌ها به‌صورت ذرات از آگروز خودرو وارد محیط شده و در اطراف راه‌ها توزیع می‌شوند و آلودگی خاک و گیاهان آن نواحی را در پی دارند (Solgi et al., 2022). سرب، کادمیوم، مس و روی آلاینده‌های فلزی اصلی محیط‌های کنار جاده هستند (Aslam et al., 2013).

محتوای فلزات سنگین در خاک به‌دلیل ویژگی‌های تجمع‌ی و تجزیه‌ناپذیر آنها بسیار

هدف بررسی تأثیر احتمالی استفاده از کودهای شیمیایی، آفت کش ها و همچنین جاده بر شدت غلظت فلزات سنگین در خاک و برگ درختان پسته در منطقه ضروری به نظر رسید.

## مواد و روش ها

### منطقه پژوهش

منطقه کبوترخانه در بخش مرکزی شهرستان رفسنجان در استان کرمان قرار دارد. این منطقه در محدوده جغرافیایی "۶۰°۱۶'۳۰" عرض شمالی و "۲۵°۳۰'۵۶" طول شرقی قرار دارد. بارندگی سالانه در این مناطق ۷۱/۸ میلی متر است (Regional Water Company of Kerman, 2022)

### شیوه اجرای پژوهش

نمونه برداری در یک عرصه پیوسته و به صورت سیستماتیک- تصادفی انجام گرفت. نمونه های خاک از عمق ۰ تا ۲۰ سانتی متر از سطح باغ های پسته کنار جاده رفسنجان- کرمان در منطقه کبوترخانه تهیه شد. ۳۰ نمونه خاک ۵۰۰ گرمی برداشت و در کیسه های پلاستیکی برای انتقال به آزمایشگاه ذخیره شد (شکل ۱). موقعیت مکان نمونه برداری توسط دستگاه GPS ثبت شد. همزمان نمونه های برگ درخت پسته نیز در محل نمونه خاک برداشت شد. برگ ها از ارتفاع ۱ تا ۲ متری از سطح زمین در همه جهت های تاج پوشش جمع آوری شدند.

### آنالیز شیمیایی خاک

۲ گرم از نمونه خاک الک شده به درون لوله های هضم منتقل و ۴ میلی لیتر اسید نیتریک، ۱۲ میلی لیتر HCL و ۴ میلی لیتر اسید پرکلریدریک به آن اضافه شد. لوله های هضم به مدت ۶ ساعت در دمای ۱۲۰ درجه سانتی گراد درون دستگاه Heating black قرار گرفتند و سپس از دستگاه خارج و پس از عبور از کاغذ صافی به حجم ۲۵ میلی لیتر رسانده شدند و به درون ظروف فالكون انتقال یافتند و غلظت

پرداختند. نتایج نشان داد که بین محتوای فلزات سنگین خاک مزرعه با نمونه های پسته همبستگی معنی داری وجود دارد. (Abdollahi et al. 2011) تأثیر آلودگی فلزات سنگین بر درختان پسته اطراف جاده کرمان- رفسنجان را بررسی کردند. نتایج نشان داد که تأثیر آلودگی خاک بر مقدار سرب و کادمیوم نمونه های باغ پسته معنی دار است. محتوای سرب و کادمیوم در باغ های پسته نزدیک جاده اصلی بیشتر از باغ های دور دست بود. (Okoye et al. 2022) خطر اکولوژیکی فلزات سنگین در خاک و پوشش گیاهی دلتای نیجر در نیجریه را ارزیابی کردند. نتایج بیانگر ارتباط بین غلظت فلزات سنگین خاک و گیاهان بود. (Khodrani et al. 2019) توزیع مکانی فلزات سنگین را در خاک های کشاورزی در مراکش انجام دادند. نتایج نشان داد که غلظت فلزات سنگین به علت استفاده بیش از حد از کودهای شیمیایی بیشتر از استاندارد و نشان دهنده تأثیر شدید کشاورزی بر کیفیت خاک های منطقه بود.

استان کرمان قطب اصلی تولید پسته (*Pistacia vera L.*) در ایران و جهان محسوب می شود. سالانه در این استان هزاران تن پسته تولید و بخش زیادی از آن صادر می شود، در نتیجه این استان جایگاه ویژه ای در سبد غذایی مردم ایران و جهان و همچنین اقتصاد کشاورزی کشور دارد. برای افزایش تولید در این مناطق سالانه مقادیر بسیار زیادی کود شیمیایی و سموم آفت کش مصرف می شود. به طوری که یکی از مهم ترین مصرف کنندگان سم در استان کرمان، پسته کاران شهرستان رفسنجان هستند. با وجود ۱۱۲ هزار هکتار باغ پسته در این منطقه، سالانه بین ۸۰۰ تا ۱۰۰۰ تن سم توسط کشاورزان مصرف می شود (Dahajipour & Mirzaei, 2016). منطقه کبوترخانه از مناطق مهم تولید پسته در شهرستان رفسنجان است و بزرگراه رفسنجان- کرمان نیز از این منطقه می گذرد؛ از این رو بررسی کیفیت خاک و درختان پسته این منطقه از نظر آلودگی به فلزات سنگین با

شدند. نمونه‌ها پس از سرد شدن از کاغذ صافی عبور داده شده و به حجم ۲۵ میلی‌لیتر رسانده شدند و غلظت فلزات سنگین اندازه‌گیری شد ( Abdollahi et al., 2011).

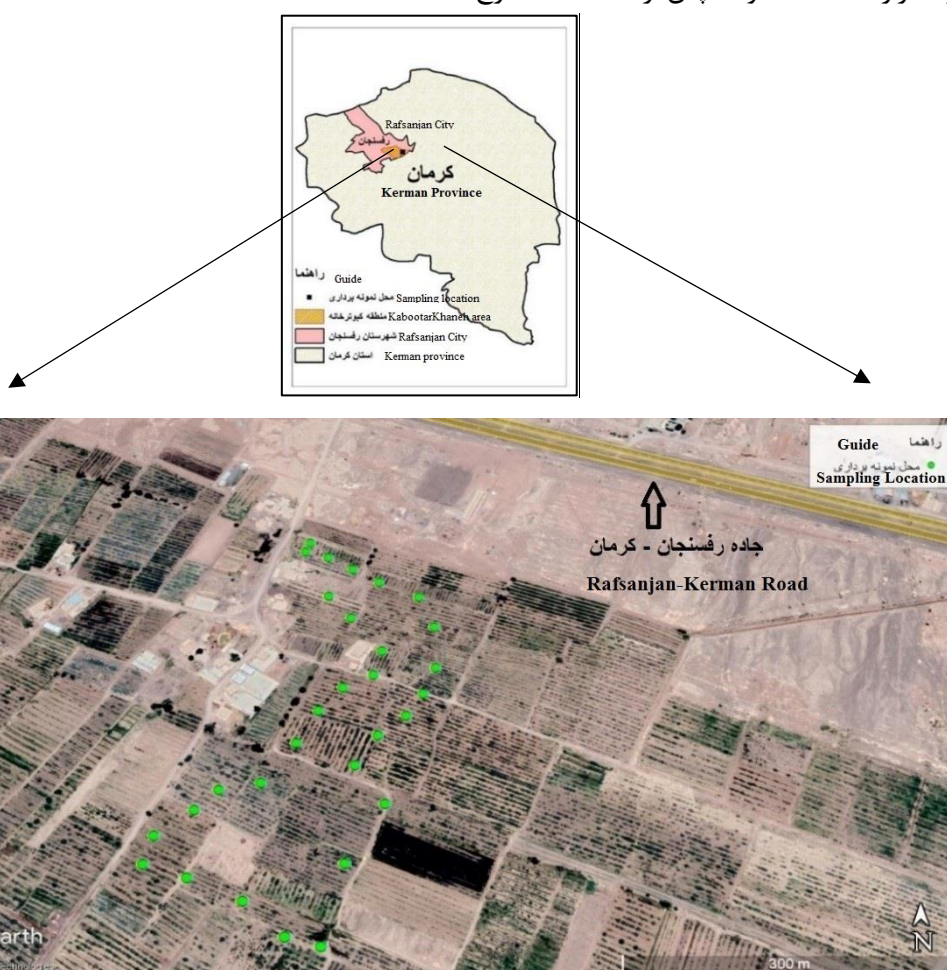
**روش تحلیل**

نرمال بودن داده‌ها با آزمون کولموگروف-اسمیرنوف و همبستگی نیز با آزمون اسپیرمن و با استفاده از نرم‌افزارهای SPSS22 و اکسل بررسی شد.

فلزات سنگین توسط دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد (Solgi et al., 2020).

**آنالیز شیمیایی برگ**

به ۲ گرم از نمونه‌های پودر شده برگ ۸ میلی‌لیتر اسید نیتریک و ۲ میلی‌لیتر اسید پرکلریدریک اضافه شد. سپس نمونه‌ها درون دستگاه بن‌ماری (حمام آب گرم) به مدت یک ساعت در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد و سپس سه ساعت در دمای ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شده و سپس از دستگاه خارج



شکل ۱- موقعیت نقاط نمونه‌برداری  
Figure 1. Location of sampling points

مقادیر همان متغیر در نقاط اطراف آن در نظر می‌گیرد. عملکرد کریجینگ (رابطه ۱) براساس معادله زیر است (Al-Omran et al., 2013):

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^n z(x_i) \quad \text{رابطه ۱}$$

**روش کریجینگ**

نقشه توزیع مکانی غلظت فلزات سنگین در خاک با نرم‌افزار ArcGIS 9.3 و تخمین گر کریجینگ ترسیم شد. کریجینگ تخمین‌زنی است که مقادیر هر متغیر را در نقاط نمونه‌برداری نشده به صورت ترکیب خطی از

و رسوب است (Behnam et al, 2019). غلظت ماده مرجع، مقادیر استاندارد جهانی است که طبق این استاندارد، مقدار فلزات سنگین مس ۵۵، کروم ۱۰۰، روی ۷۰ و نیکل ۷۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم در پوسته زمین است (Kabata-Pendias., 2007).

#### شاخص زمین‌انباشت Igeo

شاخص زمین‌انباشتگی توسط مولر معرفی شده است و روشی متداول برای تخمین شدت آلودگی خاک به فلزات سنگین است. این شاخص براساس رابطه ۳ محاسبه می‌شود (Behnam et al., 2019):

$$I_{geo} = \log_2 \left[ \frac{C_n}{1.5B_n} \right] \quad \text{رابطه ۳}$$

Igeo شاخص زمین‌انباشتگی،  $C_n$  غلظت فلز سنگین در نمونه خاک و  $B_n$  غلظت زمینه است. مطابق جدول زیر مولر هفت رده مختلف را برای این شاخص اعلام کرده است (جدول ۲).

که در آن  $Z^*$  مقدار متغیر مکانی برآورد شده،  $Z(x_i)$  مقدار متغیر مکانی مشاهده شده در نقطه  $x_i$  و  $\lambda_i$  وزن آماری است که به نمونه  $x_i$  نسبت داده می‌شود و بیانگر اهمیت  $i$  در برآورد است.

#### فاکتور غنی‌شدگی

با توجه به این فاکتور مقدار عنصر را می‌توان نسبت به مقدار طبیعی خود سنجید. این فاکتور از رابطه ۲ محاسبه می‌شود:

$$EF = \frac{S_c}{R_c} \quad \text{رابطه ۲}$$

EF فاکتور غنی‌شدگی،  $S_c$  غلظت عنصر در خاک و  $R_c$  غلظت عنصر در ماده مرجع است. براساس این فاکتور می‌توان شدت غنی‌شدگی فلز مورد نظر را در پنج دسته جای داد (جدول ۱). مقادیر  $1 < EF < 10$ ، نشانه آلودگی طبیعی و  $EF > 10$ ، بیانگر تأثیر فعالیت‌های انسانی در تجمع فلزات مورد نظر در خاک

جدول ۱- طبقه‌بندی شاخص غنی‌شدگی

Table 1. Classification of enrichment index

ضریب غنی‌شدگی Degree of enrichment	The degree of enrichment	میزان غنی‌شدگی
$2 >$	Low enrichment	غنی‌شدگی کم
2-5	Moderate enrichment	غنی‌شدگی متوسط
5-20	Significant enrichment	غنی‌شدگی شایان توجه
20-40	Very high enrichment	غنی‌شدگی خیلی زیاد
$40 <$	Extremely high enrichment	غنی‌شدگی به شدت زیاد

جدول ۲- طبقه‌بندی درجه آلودگی فلزات سنگین براساس شاخص Igeo

Table 2. Classification of the degree of heavy metal pollution based on the Igeo index

رده Igeo یا درجه آلودگی Igeo value	The state of soil pollution	وضعیت آلودگی خاک
0	Unpolluted	کاملاً غیرآلوده
1	Unpolluted to moderately polluted	غیرآلوده تا آلودگی متوسط
2	Moderately polluted	متوسط آلودگی
3	Moderately to strongly polluted	آلودگی متوسط تا شدید
4	Strongly polluted	آلودگی شدید
5	Strongly to extremely polluted	آلودگی شدید تا بسیار شدید
6	Extremely polluted	آلودگی بسیار شدید

## ارزیابی ریسک اکولوژیکی

خطر اکولوژیکی ER معیاری است که برای تعیین کمیت درجه تهدید اکولوژیکی ناشی از تجمع فلزات سنگین در خاک استفاده می‌شود. معادله شاخص ریسک اکولوژیکی به صورت زیر ارائه شده (روابط ۴ تا ۶) است (Agyeman et al., 2021):

$$PI = \frac{C_n}{B_n} \quad \text{رابطه ۴}$$

$$E_r^i = T_r^i \times PI \quad \text{رابطه ۵}$$

$$RI = \sum_{i=0}^n E_r^i \quad \text{رابطه ۶}$$

در این معادله‌ها PI شاخص آلودگی، Er ریسک اکولوژیکی و RI نیز شاخص ریسک است. Bn مقادیر پس‌زمینه ژئوشیمیایی فلزات سنگین در خاک (mg/kg) و Cn غلظت فلزات سنگین در خاک (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در نظر گرفته می‌شود. ضریب پاسخ سمیت (Ti) نیز برای فلزات سنگین مس ۵، روی ۲، نیکل ۱۰ و کروم ۲ است. شاخص ریسک (RI) مجموع ریسک اکولوژیکی برآورده هر فلز سنگین تعریف می‌شود. Er دارای پنج طبقه است:  $Er \leq 40$  خطر کم،  $40 < Er \leq 80$  خطر متوسط،  $80 < Er \leq 160$  خطر شایان توجه،  $160 < Er \leq 320$  خطر زیاد،  $Er \geq 320$  خطر بسیار زیاد است. RI نیز دارای چهار طبقه است که عبارت‌اند از  $RI \leq 150$  ریسک کم،  $150 < RI \leq 300$  ریسک متوسط،  $300 < RI \leq 600$  ریسک شایان توجه و  $RI \geq 600$  ریسک بسیار زیاد.

## نتایج

## آنالیز آماری

نتایج آنالیز آماری غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های خاک و برگ درخت پسته در جدول ۳ آورده شده است. با توجه به این نتایج، میانگین غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های خاک برای کروم ۲۰/۹۱، برای مس ۱۲/۱۱، برای روی ۵۳/۲ و برای نیکل ۲۹/۳۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. در نمونه‌های برگ غلظت مس ۰/۹۱ و غلظت روی ۱۳/۷۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم به دست آمد. غلظت کروم و نیکل در نمونه‌های برگ قابل تشخیص نبود.

نتایج آزمون اسپیرمن و بررسی وجود ارتباط بین غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های خاک و گیاه نیز در جدول ۴ آورده شده است. با توجه به این جدول، بین مس و کروم خاک ارتباط معنی‌دار منفی و بین نیکل و کروم و بین مس و روی ارتباط معنی‌دار مثبت وجود داشت. همچنین بین نمونه مس در خاک و برگ درخت ارتباط مثبت وجود داشت.

## ارزیابی ریسک

نتایج ارزیابی ریسک براساس شاخص‌های مختلف به ترتیب شاخص فاکتور غنی‌شدگی در جدول ۵، شاخص زمین‌انباشتگی در جدول ۶ و شاخص ارزیابی ریسک اکولوژیکی در جدول ۷ نشان داده شده است.

## توزیع مکانی

نقشه توزیع مکانی غلظت فلزات سنگین مس، کروم، روی و نیکل در شکل ۲ نشان داده شده است.

جدول ۳- نتایج آنالیز آماری و مقایسه فلزات سنگین (mg/kg) با استاندارد جهانی و سازمان محیط زیست

Table 3. The results of statistical analysis and comparison of heavy metals (mg/kg) with the international standard and the Department of the Environment of Iran

Department of the Environment of Iran	FAO/WHO	کشیدگی Kurtosis	چولگی Skewness	انحراف معیار standard deviation	میانگین Mean	حداکثر Maximum	حداقل Minimum	فلزات سنگین HM
110	65	6.85	1.71	13.15	20.91	76.06	2.51	Cr
200	60	-1.5	0.43	5.01	12.11	20.50	6.41	Cu
500	100	0.42	0.75	3.58	53.2	62.37	47.38	Zn
110	75-150	-0.93	0.68	4.05	29.32	37.07	21.11	Ni
-	40	2.77	1.63	0.99	0.91	4.23	ND*	Cu
-	60	2.76	1.8	6.82	13.78	33.42	6.13	Zn

\*: تشخیص‌ناپذیر (Non detected)

جدول ۴- نتایج آزمون اسپیرمن و بررسی وجود ارتباط بین غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های خاک و گیاه

Table 4. The results of Spearman's test and investigating the existence of a relationship between the concentration of heavy metals in soil and plant samples

Ni	Zn	Cu	Cr	Heavy Metals	
			1	Cr	
		1	-0.43**	Cu	خاک
	1	0.43**	0.45**	Zn	Soil
1	0.26	-0.16	0.51**	Ni	
-	-	0.44**	-	Cu	برگ
-	0.014	-	-	Zn	leaf

\*\*ارتباط در سطح ۰/۰۱ معنی دار است

\*\*The relationship is significant at the 0.01 level

جدول ۵- میانگین شاخص غنی‌شدگی فلزات سنگین براساس شاخص فاکتور غنی‌شدگی

Table 5. The average of enrichment index of heavy metals based on the enrichment factor index

	طبقه غنی‌شدگی enrichment class	ضریب غنی‌شدگی enrichment factor	فلز سنگین heavy metal
Low enrichment	غنی‌شدگی کم	0.38	Ni
Low enrichment	غنی‌شدگی کم	0.76	Zn
Low enrichment	غنی‌شدگی کم	0.2	Cr
Low enrichment	غنی‌شدگی کم	0.18	Cu

جدول ۶- نتایج ارزیابی خطر آلودگی فلزات سنگین براساس شاخص Igeo

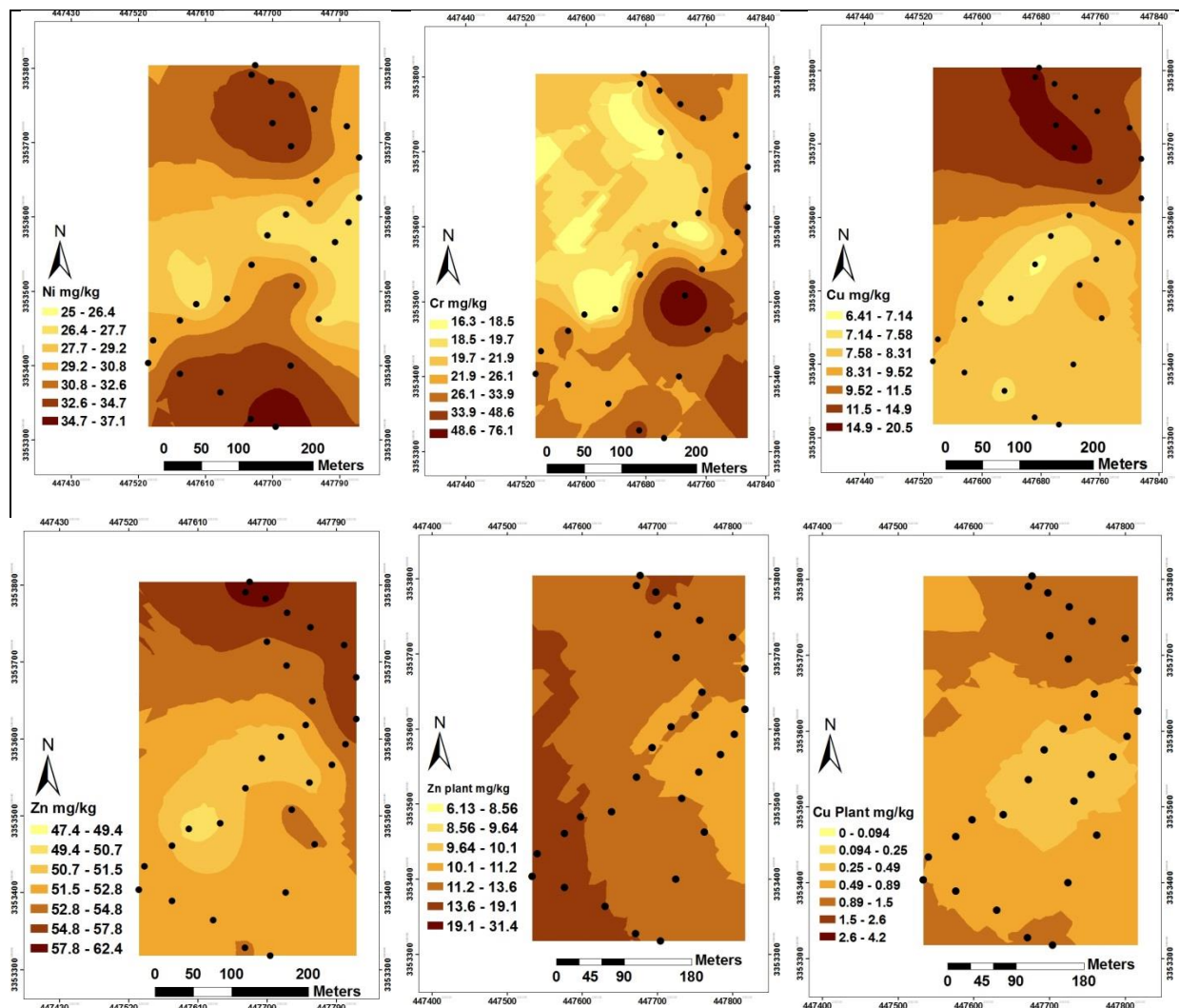
Table 6. The results of heavy metal pollution risk assessment based on Igeo index

	درجه آلودگی Degree of pollution	میانگین mean	حداکثر max	حداقل min	فلزات سنگین heavy metal
Completely uncontaminated	کاملاً غیرآلوده	-0.8	-0.6	-1.1	Cu
Completely uncontaminated	کاملاً غیرآلوده	-0.29	-0.22	-0.3	Zn
Completely uncontaminated	کاملاً غیرآلوده	-1.71	-0.2	-1.77	Cr
Completely uncontaminated	کاملاً غیرآلوده	-0.5	-0.4	-0.7	Ni

جدول ۷- نتایج ارزیابی ریسک اکولوژیکی فلزات سنگین در خاک

Table 7. Results of ecological risk assessment of heavy metals in soil

	طبقه خطر / ریسک Risk class	شاخص ریسک Risk index	ریسک اکولوژیکی Ecological risk	فلزات سنگین heavy metals
Low risk	خطر / ریسک کم	27.5	0.91	Cu
Low risk	خطر / ریسک کم	45.9	1.53	Zn
Low risk	خطر / ریسک کم	16.7	0.41	Cr
Low risk	خطر / ریسک کم	122.8	4.9	Ni



شکل ۲- نقشه توزیع مکانی فلزات سنگین (مس، روی، نیکل و کروم) در خاک باغ و برگ درختان پسته منطقه کبوترخانه در شهرستان رفسنجان، استان کرمان

Figure 2. Spatial distribution map of heavy metals (copper, zinc, nickel and chromium) in garden soil and leaves of pistachio trees in Kabootar Khaneh area in Rafsanjan city, Kerman province

انار، کاظم آباد و کبوترخان بیشتر از میانگین آستانه سمیت آرسنیک برای محصولات بود. نتایج پژوهش Sakizadeh et al. (2016) نیز نشان داد که مقادیر منگنز در همه گونه های گیاهی به جز پسته بیشتر از حد استاندارد بود. مقادیر سرب در همه گیاهان بررسی شده بیشتر از حد استاندارد بود. انگور بیشترین مقدار سرب و منگنز را نشان داد. در پایان به این نتیجه رسیدند که تجمع زیاد در خاک به دلیل مقادیر زیاد این دو عنصر در خاک است و قابلیت تجمع زیاد آنها در آن تأثیری ندارد.

### بحث

نتایج آنالیز آماری و مقایسه با استاندارد FAO/WHO و سازمان محیط زیست ایران نشان داد که غلظت کروم، مس، روی و نیکل در نمونه های خاک کمتر از حد استاندارد بود (Tasrina et al., 2015). میانگین غلظت مس و روی در نمونه های برگ نیز از حد استاندارد کمتر بود. پژوهش Yazdanpanah et al. (2021) درباره ارزیابی ریسک آلودگی خاک، آب و گیاهان به آرسنیک در باغ های پسته استان کرمان نشان داد که غلظت آرسنیک در منطقه های سیرجان، شهر بابک، بیاض،

### آزمون همبستگی

با توجه به نتایج آزمون اسپیرمن، بین کروم و مس ارتباط معنی‌دار معکوس و بین کروم، روی و نیکل ارتباط مثبت و بین روی و مس ارتباط معنی‌دار مثبت وجود داشت. نتایج ارتباط معنی‌دار بین مس در نمونه‌های خاک و برگ درخت پسته را نشان داد. وجود همبستگی بین فلزات مختلف نشان‌دهنده ورود آنها از یک منبع مشترک مانند کود شیمیایی یا اثر جاده است. در پژوهش (Taghizadeh et al. (2017 با عنوان ارزیابی خطر سلامتی فلزات سنگین از طریق دریافت رژیم غذایی پنج رقم پسته جمع‌آوری شده از مناطق مختلف جغرافیایی ایران، محتوای فلزات درون خاک مزرعه با محتوای پسته همبستگی خوبی داشت. نتایج تحقیق (Abdollahi et al. (2011 با عنوان تأثیر آلودگی فلزات سنگین بر درختان پسته در باغ‌های پسته اطراف جاده کرمان-رفسنجان نشان داد که اثر آلودگی خاک بر مقدار سرب و کادمیوم نمونه‌های باغ پسته معنی‌دار است و محتوای سرب و کادمیوم در باغ‌های پسته نزدیک جاده اصلی بیشتر از باغ‌های دور دست است. نتایج پژوهش (et al. (2021 Gandomi نشان داد که بین غلظت عناصر سرب و کادمیوم در نمونه‌های گندم، خاک و آب آبیاری همبستگی مثبت بسیار قوی وجود دارد.

### ارزیابی ریسک

نتایج شاخص فاکتور غنی‌شدگی نشان داد که میانگین غنی‌شدگی فلزات سنگین مس، روی، کروم و روی در منطقه پژوهش در طبقه غنی‌شدگی کم قرار دارد. با توجه به اینکه مقادیر میانگین شاخص غنی‌شدگی کمتر از ۱ به دست آمد، می‌توان نتیجه گرفت که منشأ عناصر بررسی شده در خاک منطقه طبیعی است. در تحقیق (Ahmed et al (2016 شاخص غنی‌شدگی برای بعضی از فلزات سنگین بررسی شده کمتر از ۱ به دست آمد که نشان‌دهنده منشأ طبیعی این عناصر است. در این تحقیق نتایج این شاخص برای برخی دیگر از فلزات بررسی شده

بیشتر از ۲ به دست آمد که نشان می‌دهد که منشأ آنها غیرطبیعی است.

براساس شاخص زمین‌انباشت Igeo غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های خاک منطقه در طبقه کاملاً غیرآلوده قرار داشت. (Dehghani et al. (2021 برای ارزیابی آلودگی ذرات خاک سطحی به فلزات سنگین در کاربری‌های مختلف حوضه آبخیز باغان استان بوشهر از شاخص زمین‌انباشت استفاده کردند. نتایج شاخص زمین‌انباشت نشان داد که میانگین Igeo برای همه فلزات سنگین به جز کادمیوم و منگنز در همه کاربری‌های بررسی شده مرتع، زراعت و باغ دارای مقادیر منفی بوده‌اند. مقادیر منفی نشان می‌دهد که منطقه پژوهش از لحاظ عناصر بررسی شده در دامنه خاک‌های غیرآلوده قرار می‌گیرد. نتایج ارزیابی ریسک اکولوژیکی فلزات سنگین خاک نشان داد که غلظت فلزات سنگین مس، روی، کروم و نیکل در طبقه ریسک کم قرار دارد. نتایج شاخص ریسک اکولوژیک در پژوهش (Mirzaei et al. (2017 برای اندازه‌گیری و ارزیابی اکولوژیکی مربوط به آلودگی فلزات سنگین در یک اکوسیستم تولیدکننده مواد غذایی نشان داد که سه تاکستان در طبقه ریسک شایان ملاحظه ( $RI > 300$ )، چهار تاکستان در طبقه ریسک متوسط ( $RI < 300$ )، و ۲۴ تاکستان در طبقه ریسک کم ( $RI < 150$ ) داشتند. نتایج ارزیابی ریسک (Taghizadeh et al. (2017 نشان داد که مقدار فلزات سنگین در نمونه‌های پسته هیچ خطری برای مصرف‌کنندگان ندارد که با نتایج این تحقیق همسویی دارد.

### توزیع مکانی

عناصر مس و روی الگوی توزیع مکانی مشابهی داشتند و روند افزایشی از جنوب به شمال وجود داشت. نیکل نیز در مناطق شمالی دارای بیشترین غلظت بود. نقشه توزیع مکانی کروم روند کاهشی از جنوب به شمال و روند عکس را نشان داد. این نتایج نشان می‌دهد که غلظت فلزات سنگین مس، روی و نیکل می‌تواند تحت تأثیر جاده و فرایند حمل‌ونقل باشد.

مانند کروم، کبالت، کادمیوم، سرب، آرسنیک، مس و روی شده است.

نتایج پژوهش (Behnam et al. (2019) در زمینه ارزیابی آلودگی و تغییرات مکانی روی، مس و نیکل در خاک‌های مناطق خشک مسیر زابل- زاهدان نشان داد که غلظت فلزات سنگین مس، روی و نیکل با فاصله گرفتن از جاده کاهش پیدا می‌کند. همچنین Salimi et al. (2015) در تحقیقی در زمینه بررسی تغییرات سرب و کادمیوم خاک و گیاه کلزا در حاشیه جاده ساوه - همدان به این نتیجه رسیدند که مقدار سرب و کادمیوم با افزایش فاصله از جاده کاهش یافته است. مقدار تجمع سرب و کادمیوم نیز در اندام هوایی بیشتر از ریشه و دانه کلزا بود. (Hui et al. (2017) نیز در پژوهش خود درباره ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های کنار جاده در امتداد بزرگراه شنیانگ- دالیان در استان لیائونینگ چین به این نتیجه رسیدند که در زمین‌های کشاورزی، بیشترین غلظت فلزات سنگین در ۲۵ متری خاک کنار جاده است که با افزایش فاصله از جاده غلظت آنها کاهش می‌یابد که با نتایج این پژوهش همسویی دارد.

### نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل آماری غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های خاک و برگ درخت پسته و مقایسه با استاندارد نشان داد که غلظت کروم، مس، روی و نیکل در نمونه‌های خاک و برگ کمتر از حد استاندارد بود. نتایج آزمون اسپیرمن، وجود ارتباط معنی‌دار معکوس بین کروم و مس و ارتباط مثبت بین کروم، روی و نیکل و بین مس و روی را نشان داد. همچنین بین مس در نمونه‌های خاک و برگ درخت پسته ارتباط معنی‌دار وجود داشت. نتایج ارزیابی ریسک براساس شاخص‌های فاکتور غنی‌شدگی، زمین‌انباشت و ریسک اکولوژیک نشان داد که غلظت فلزات سنگین مس، روی، کروم و نیکل در خاک منطقه پژوهش به ترتیب در طبقه غنی‌شدگی کم، غیرآلوده و

به‌طوری که با نزدیک شدن به جاده غلظت آنها افزایش یافته است. غلظت کروم نیز می‌تواند متأثر از فعالیت‌های کشاورزی به‌ویژه استفاده از کودهای شیمیایی باشد. فلز روی به‌صورت ZnO در فرایند تولید لاستیک خودروها استفاده می‌شود. نیکل نیز نوعی فلز شاخص در محصولات هیدروکربنی و مس در ساختار لنت ترمز خودرو است (Mohammadi et al., 2020).

نقشه الگوی توزیع مکانی غلظت مس در برگ درختان پسته نشان داد که درختان قسمت شمالی و نزدیک جاده بیشترین مقدار تجمع مس را داشتند که ممکن است خطرناک باشد. به عبارتی جاده می‌تواند در افزایش غلظت فلزات سنگین در درخت پسته و در نتیجه زنجیره غذایی نقش داشته باشد. همچنین الگوی توزیع مکانی روی در برگ درختان پسته نشان‌دهنده روند خاصی نبود، به‌طوری که مقدار تجمع روی در برگ درختان پسته در همه قسمت‌های منطقه زیاد است که ممکن است به علت ماهیت عنصر روی یا قابلیت درخت پسته باشد. آلودگی گیاهان و خاک حاشیه جاده به فلزات سنگین به دلیل احتمال ورود این آلاینده‌ها به زنجیره غذایی، خطری جدی برای سلامت بشر و حیوانات به شمار می‌رود (Salimi et al., 2015).

در پژوهش (Khodakarami et al. (2012) با هدف پهنه‌بندی غلظت فلزات سنگین کروم، کبالت و نیکل در خاک‌های مختلف سه زیرحوزه استان همدان به این نتیجه رسیدند که به‌طور طبیعی غلظت این عناصر زیاد است، ولی با توجه به اینکه منطقه پژوهش یک ناحیه کشاورزی است احتمال افزایش غلظت فلزات سنگین خاک به‌واسطه عملیات کشاورزی و مصرف کودهای شیمیایی نیز وجود دارد. (et al. (2014) در بررسی و پهنه‌بندی فلزات سنگین در خاک‌های کشاورزی جنوب تهران به این نتیجه رسیدند که کاربرد کودها و دیگر مواد شیمیایی در این مناطق، سبب افزایش غلظت فلزات سنگین

ممکن است سبب افزایش خطر برای سلامت انسان شود. به طور کلی غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های خاک و برگ پسته کمتر از حد استاندارد ایمن بود. بنابراین مصرف این محصول در حال حاضر خطری برای مصرف‌کننده ندارد، هرچند باید مقادیر فلزات سنگین در پسته در پژوهش‌های بعدی بررسی شود.

### سپاسگزاری

این مقاله حاصل پروژه دانشجویی مقطع کارشناسی دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه ملایر بوده و با حمایت مالی دانشگاه ملایر انجام گرفته است.

ریسک کم قرار دارند. نقشه توزیع مکانی مس و روی روند افزایشی و کروم روند کاهشی در جهت شمال نشان داد. نیکل نیز در مناطق شمالی دارای بیشترین غلظت بود. الگوی توزیع مکانی غلظت مس و روی در برگ درختان پسته نشان داد که درختان قسمت شمالی و نزدیک جاده بیشترین تجمع مس را داشتند. همچنین مقدار تجمع روی در برگ درختان پسته در همه قسمت‌های منطقه زیاد بود. این نتایج نشان می‌دهد که غلظت فلزات سنگین در خاک‌های منطقه به علت فعالیت‌های انسانی مانند استفاده از کودهای شیمیایی و همچنین تأثیر جاده رفسنجان - کرمان افزایش پیدا کرده است که با ورود به زنجیره غذایی

### References

- Abdollahi, H., Fekri, M., & Mahmoodabadi, M. (2011). Effect of heavy metals pollution on Pistachio trees. *International Journal of Agriculture & Biology*, 13, 599-602.
- Agyeman, P.CH., John, K., Kebonye, N.M., Borůvka, L., Vašát, R., Drábek, O., & Němeček, K. (2021). Human health risk exposure and ecological risk assessment of potentially toxic element pollution in agricultural soils in the district of Frydek Mistek, Czech Republic: a sample location approach. *Journal of Environmental Sciences Europe*, 33, 137. <https://doi.org/10.1186/s12302-021-00577-w>
- Ahmed, F., Fakhruddin, A.N.M., Toufick Imam, M.D., Nasima, K., Tanzir, A.K., Mahfuzur, R., & Abu Tareq, M.A. (2016). Spatial distribution and source identification of heavy metal pollution in roadside surface soil: a study of Dhaka Aricha highway, Bangladesh. *Journal of Ecological Processes*, 5(2), 1-16. <https://doi.org/10.1186/s13717-016-0045-5>.
- Alengebawy, A., Abdelkhalek, S.T., Qureshi, S.R., & Wang, M.Q. (2021). Heavy Metals and Pesticides Toxicity in Agricultural Soil and Plants: Ecological Risks and Human Health Implications. *Journal of Toxics*, 9(3), 42. <https://doi.org/10.3390/toxics9030042>.
- Alizadeh, S.M., Zahedi Amiri, Gh., Shirmardi, M., & Shahriari, M.H. (2014). Effect of heavy metals (lead, cadmium and chromium) on some root morphological characteristics of *Populus alba* L. and *Populus nigra* L. seedlings. *Iranian Journal of Forest*, 6(3), 267-277. (In Persian)
- Al-Omran, A.M., Al-Wabel, M.I., El-Maghraby, S.E., Nadeem, M.E., & Al-Sharani, S. (2013). Spatial variability for some properties of the wastewater irrigated soils. *Journal of the Saudi of Agricultural Sciences*, 12, 167 – 175. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2012.12.001>.
- Aslam, J., Ahmad Khan, S., & Haque Khan, S.H. (2013). Heavy metals contamination in roadside soil near different traffic signals in Dubai, United Arab Emirates. *Journal of Saudi Chemical Society*, 17, 315–319. <https://doi.org/10.1016/j.jscs.2011.04.015>
- Behnam, V., Ahangar, A., Rahmanian, M., & Bameri, A. (2019). Evaluation of contamination and spatial variations of Zn, Cu and Ni in arid-zone soils of the Route between Zabol and Zahedan. *Journal of Water and Soil Conservation*, 25(5), 201-216. 10.22069/JWSC.2018.15043.3016. (In Persian)
- Clement, O.O., & Paul, O.F. (2014). Contamination and spatial distribution of heavy metals in topsoil surrounding a mega cement factory. *Journal of Atmospheric Pollution Research*, 5(2), 270-282. <https://doi.org/10.5094/APR.2014.033>

- Dahajipour Heidarabadi, M., & Mirzaei Khalilabadi, H. (2016). Farmers' Attitude of Rafsanjan County toward Pest Control Methods in 2014: A Short Report. *The Journal of Rafsanjan University of Medical Sciences*, 15(3), 281-286. <http://journal.rums.ac.ir/article-1-3029-fa.html>. (In Persian)
- Dehghani, S., naderi, M., mohammadi, J., & Karimi, A. (2021). Assessment of Heavy Metals Contamination of Soil Particle Size Fractions in Different Land Uses of Baghan Watershed, Bushehr province, Iran. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 52(7), 1765-1778. doi: 20.1001.1.2008479.1400.52.7.5.3. (In Persian)
- Edmund, R.E., Augusta, Ch.N.A., Sunday, J.O., Chinyere, A.O.U., & Maisie, H.E. (2019). Heavy metal content of the soil in the vicinity of the united cement factory in Southern Nigeria. *Journal of Advances in Environmental Health Research*, 7, 2, 122-130. doi: 10.22102/JAEHR.2019.142404.1096
- Gandomi, M., Behbahaninia, A., & Farahani, M. (2021). The relationship between the concentration of heavy metals (lead and cadmium) in soil and seeds of wheat and risk assessment of consumption of wheat. *Journal of Environmental Sciences and Technology*, 22(11), 218-229. (In Persian)
- Hosseinfard, S.J., Shirani, H., Sadr, S., & Hashemipour, H. (2019). Modeling the relationship between cadmium and some soil physical and chemical properties in pistachio orchards using regression and artificial neural network. *Journal of Environmental Sciences*, 17(3), 177-188. doi: 10.29252/ENVS.17.3.177. (In Persian)
- Hui, Zh., Caiqiu, W., Jiping, G., Xuyin, Y., & Qiao, W. (2017). Assessment of Heavy Metal Contamination in Roadside Soils Along the Shenyang Dalian Highway in Liaoning Province, China. *Polish Journal of Environmental Studies*, 26(4), 1539-1549. doi: <https://doi.org/10.15244/pjoes/68910>.
- Jafari, A., Ghaderpoori, M., Kamarehi, B., & Abdipour, H. (2019). Soil pollution evaluation and health risk assessment of heavy metals around Douroud cement factory, Iran. *Journal of Environmental Earth Sciences*, 78(8), 1-9. <http://dx.doi.org/10.1007/s12665-019-8220-5>
- Jamali, M., Khoshbakht, K., Deihimfard, R., & Momeni, R. (2014). Measuring and Zoning of Heavy Metals Pollution in Soil Using GIS for Fields to the South of Tehran. *Journal of Environmental Sciences*, 11(4), 51-62. (In Persian).
- Kabata-Pendias, A., & Mukherjee, A.B. (2007). Trace elements from soil to human. *Springer-verlag, Berlin*, 23.
- Keshavarzi, A., & Kumar, V. (2020). Spatial distribution and potential ecological risk assessment of heavy metals in agricultural soils of Northeastern Iran. *Journal of Geology, Ecology, and Landscapes*, 4, (2), 87-103. <https://doi.org/10.1080/24749508.2019.1587588>.
- Khodakarami, L., Soffianian, A., Mirghafari, N., Afyuni, M., & Golshahi, A. (2012). Concentration Zoning of Chromium, Cobalt and Nickel in The Soils of Three Sub-Basin of the Hamadan Province Using GIS Technology and the Geostatistics. *Journal of Water and Soil Science*, 15(58), 243-254, URL: <http://jstnar.iut.ac.ir/article-1-2052-en.html>. (In Persian)
- Khodrani, N., Omrania, S., Zouahri, A., Zouahri, A., Iaaich, H., Yahyaoui, A., & Fekhaoui, M. (2019). Spatial Distribution and Mapping of Heavy Metals in Agricultural Soils of the Sfaaa region (Gharb, Morocco). *Journal of Materials Today: Proceedings*, 13 (3), 832-840. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.04.046>.
- Mirzaei, M., Marofi, S., Solgi, E., Abbasi, M., & Karimi, R. (2017). Evaluation of Heavy Metal Contamination Ecological Risk in a Food-Producing Ecosystem. *Journal of Health Research in Community*, 3(2), 1-16. URL: <http://jhc.mazums.ac.ir/article-1-243-fa.html>. (In Persian)
- Mohammadi Galangash, M., Ghasemi Zolpirani, R., & Naimi Joubani, M. (2020). Evaluation of roadside soils pollution with heavy metals (Pb, Ni, Cu, Zn) in the Rasht-Qazvin old road (Guilan province). *Iranian Journal of Health and Environment*, 13(3), 409-20. URL: <http://ijhe.tums.ac.ir/article-1-6396-en.html>. (In Persian)

- Okoye, E.A., Anthonet, N., Ezejiolor, L., Nwaogazie, A., Frazzoli, d., & Orish, E. (2022). Heavy metals and arsenic in soil and vegetation of Niger Delta, Nigeria: Ecological risk assessment. *Journal of Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 6, 100222. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2022.100222>.
- Regional Water company of Kerman. (2022). Statistics & information. <https://www.krrw.ir/st/87>
- Sakizadeh, M., Mirzaei, R., & Ghorbani, H. (2016). Accumulation and Soil-to-Plant Transfer Factor of Lead and Manganese in some Plant Species in Semnan Province, Central Iran. *Iranian Journal of Toxicology*, 10(3), 29-33. <http://ijt.arakmu.ac.ir/article-1-468-en.html>. (In Persian)
- Salimi, M., Bahmanyar, M.A., Ghajar Sepanlo, M., & Mohammadi, A. (2015). Lead and Cadmium Changes in Soil and Canola at Saveh-Hamedan Roadside. *Journal of Water and Soil Science*, 2, 193-205. (In Persian)
- Solgi, E., Abbasitabr, H., Shayesteh, K., & Mortazavi, S. (2020). Mapping and risk assessment of heavy metals in agricultural soils of the Siakh Darengoun Region, Shiraz, Iran. *Journal of Environmental Resources Research*, 8(1), 83-95. DOI: 10.22069/IJERR.2020.5092.
- Solgi, E., Beigmohammadi, F., Taheri, Z., & Aghaei, F. (2022). Tree Bark as a Biomonitor of Heavy Metal Pollution (Case study: Roadside Gardens of Heidareh Balashahr Village in Hamadan). *Iranian Journal of Forest*, 14(2), 201-212. doi: 10.22034/ijf.2022.303169.1803. (In Persian)
- Taghizadeh, S.F., Davarynejad, Gh., Asili, J., Nemati, H., Rezaee, R., Goumenou, M., Tsatsakis, A., & Karimi, Gh. (2017). Health risk assessment of heavy metals via dietary intake of five pistachio (*Pistacia vera* L.) cultivars collected from different geographical sites of Iran. *Journal of Food Chem Toxicol*, 107, 99-107. doi: 10.1016/j.fct.2017.06.035
- Tasrina R.C.1., Rowshon, A., Mustafizur, A.M.R., Rafiqul, I., & Ali, M.P. (2015). Heavy Metals Contamination in Vegetables and its Growing Soil. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 2(3). doi:10.4172/2380-2391.1000142.
- Tavosi, S., Kaali, A., Shirani, H., & Haidpoor, M. (2014). Investigation of the relationship between lead and cadmium concentrations and some soil properties through principal component analysis in pigeon orchards of Khan Rafsanjan. 1st *National Conference on Sustainable Management of Soil and Environmental Resources*. Shahid Bahonar University. (In Persian)
- Temitope, A.L., & Adeniyi, J.A. (2020). Evaluation of Contamination and Ecological Risk of Heavy Metals Associated with Cement Production in Ewekoro, Southwest Nigeria. *Journal of Health Pollution*, 25, 200306. doi: 10.5696/2156-9614-10.25.200306.
- Wang, Z., Zeng, X., Geng, M., Chen, Ch., Cai, J., Yu, X., Hou, Y., & Zhang, H. (2015). Health Risks of Heavy Metals Uptake by Crops Grown in a Sewage Irrigation Area in China. *Pol. Journal of Polish Journal of Environmental Studies*, 24(3), 1379-1386. doi: <https://doi.org/10.15244/pjoes/35282>.
- Webster, R., & Oliver, M.A. (2000). *Geostatistics for environmental scientists*, Wiley press, 271 pp.
- Yan, X., Zhang, F., Zeng, Ch., Zhang, M., Devkota, L., & Yao, T. (2012). Relationship between Heavy Metal Concentrations in Soils and Grasses of Roadside Farmland in Nepal. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 9(9), 3209–3226. doi: 10.3390/ijerph9093209.
- Yazdanpanah, S., Heidari, H., Abbaspour, H., & Alireza Iranbakhsh, A. (2021). Risk Assessment of Contamination of Soil, Water and Plants to Arsenic in Pistachio Orchards of Kerman Province, Iran. *Journal of Nuts*, 12(3), 215-225.
- Zhang, X.Y., Lin Mike, F.F., Wong, T.F., Feng, X.L., & Wang, K. (2009). Identification of soil heavy metal sources from anthropogenic activities and pollution assessment of Fuyang County, China. *Journal of Environmental Monitoring and Assessment*, 154, 439–449. doi: 10.1007/s10661-008-0410-7.



## Spatial distribution and risk assessment of heavy metals in soil and leaf of pistachio trees (Case Study: Kabootar Khaneh - Rafsanjan)

E. Solgi<sup>1\*</sup>, H. Abbasitabar<sup>2</sup>, F. Hasanvand<sup>3</sup>, and F. Bakhshi<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Prof., Dept. of Environment, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, Iran

<sup>2</sup>Ph.D. Student of Environment, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, Iran

<sup>3</sup>BSc, Dept. of Environment, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, Iran

(Received: 5 November 2022; Accepted: 14 January 2024)

### Abstract

**Introduction:** Soil contamination by heavy metals can change soil quality, because they are permanent and does not change by biological processes. The aim of this study was to investigate the concentration, spatial distribution and risk assessment of heavy metals including copper, zinc, chromium and nickel in the soil and leaf of pistachio trees (*Pistacia vera* L.) in the Kabootar Khaneh area in Rafsanjan city, Kerman province, Iran.

**Materials and Methods:** Soil sampling was performed based on a systematic random method from the depth of 0 to 20 cm. After chemical analysis of the samples, the concentration of heavy metals was measured by atomic absorption spectrometry (AAS). Risk assessment of heavy metals was carried out using enrichment factor (EF), geoaccumulation index (I<sub>geo</sub>) and ecological risk index. Variogram analysis and spatial distribution map of heavy metals in soil were analyzed by ArcGIS 9.3 software and kriging method.

**Results:** The average concentration of chromium, copper, zinc and nickel in soil samples was 20.91, 12.11, 53.2 and 29.32 mg/kg, respectively. In leaf samples, concentration of copper and zinc were 0.91 and 13.78 mg/kg, respectively. Nickel and chromium were not detected in leaf samples. The concentration of heavy metals in soil and leaf samples was below WHO and the FAO standards. Additionally, the results of pollution risk assessment showed that the soil of the region was in the low category of enrichment and low risk in terms of heavy metal concentrations. Spatial distribution maps showed that the concentration of copper and zinc increased and chromium decreased towards the north of the region. Nickel had the highest concentration in the north of the region.

**Conclusions:** The leaf of the trees near the road had the highest amount of copper accumulation. The accumulation of zinc in the leaf of trees was also high in the whole region. In general, the concentrations of heavy metals in soil samples and pistachio leaf were below the standard limit considered as safe.

**Keywords:** Agricultural soil, Geostatistics, Heavy metals, Pistachio, Risk Assessment.