

## بررسی آلودگی فلزات سنگین خاک با استفاده از شاخص‌های فاکتور آلودگی، زمین‌انباشتی و شاخص جامع فاکتور آلودگی (مطالعه موردی: شهرستان نهاوند)

علی شهبازی\*<sup>۱</sup>، علیرضا سفینیان<sup>۲</sup>، نوراله میرغفاری<sup>۳</sup>، محمدرضا عین‌قلایی<sup>۴</sup>

۱ دانش آموخته کارشناسی ارشد رشته محیط‌زیست، دانشگاه صنعتی اصفهان

۲ و ۳ به ترتیب استادیار و دانشیار گروه محیط‌زیست دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۴ مشاور معاونت محیط‌زیست انسانی سازمان حفاظت محیط‌زیست.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۸/۳۰؛ تاریخ تصویب: ۱۳۹۱/۲/۱۹)

### چکیده

تغییر در ویژگی‌های اجزای تشکیل دهنده‌ی محیط به طوری که عملکرد طبیعی و تعادل زیستی آنها مختل گردد و به طور مستقیم یا غیرمستقیم منافع و حیات موجودات زنده را به مخاطره اندازد، آلودگی محیط‌زیست گفته می‌شود. هدف از این مطالعه بررسی وضعیت آلودگی خاک به فلزات سنگین کروم، مس، نیکل و روی در شهرستان نهاوند واقع در استان همدان با استفاده از شاخص‌های مختلف آلودگی می‌باشد. جهت انجام مطالعه تعداد ۳۹ نمونه خاک از منطقه مورد مطالعه به صورت سیستماتیک برداشت شد و غلظت فلزات کروم، مس، نیکل و روی با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. شاخص‌های زمین‌انباشتی، فاکتور آلودگی و شاخص جامع فاکتور آلودگی جهت تعیین میزان آلودگی منطقه مورد مطالعه مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج مطالعه نشان داد که غلظت کروم در منطقه مورد مطالعه بیشتر از حداکثر غلظت قابل قبول برای کشورهای لهستان، استرالیا و کانادا می‌باشد. میزان شاخص زمین‌انباشتی برای همه فلزات بین ۰ تا ۱ به دست آمد، در نتیجه غلظت فلزات در خاک به منشأ طبیعی آنها ارتباط داده شد. مقادیر شاخص فاکتور آلودگی نشان داد که اکثر نمونه‌ها در طبقه بدون آلودگی تا آلودگی متوسط قرار دارند، و فاکتور آلودگی برای فلز کروم بیشترین مقدار را داشت به طوری که ۱۰/۲۶ درصد از داده‌ها در طبقه آلودگی متوسط تا قوی قرار داشت. تجزیه و تحلیل نقشه پهنه‌بندی شاخص جامع فاکتور آلودگی نشان داد که عناصر کروم، مس، نیکل و روی منشأ زمین‌شناسی و کشاورزی دارند. در حقیقت این فلزات به طور طبیعی در خاک وجود دارند اما فعالیت‌های انسان سبب تجمع بیشتر این فلزات در خاک شده است.

**کلید واژه‌ها:** شاخص زمین‌انباشتی، فاکتور آلودگی، شاخص جامع ترکیب شده، فلزات سنگین، نهاوند

## سرآغاز

تخریب و آلودگی محیط‌زیست، ثمره‌ی جوامع صنعتی و یکی از ره‌آوردهای صنعتی‌شدن اجتماعات بشری است. به طور کلی هر نوع تغییر در ویژگی‌های اجزای تشکیل‌دهنده محیط به طوری که عملکرد طبیعی و تعادل زیستی آنها مختل گردد و به طور مستقیم یا غیرمستقیم منافع و حیات موجودات زنده را به مخاطره اندازد، آلودگی محیط‌زیست گفته می‌شود (دبیری، ۱۳۷۵). در یک نوع تقسیم‌بندی، منابع آلاینده را به دو دسته نقطه‌ای (در یک نقطه متمرکز و معمولاً دارای غلظت بالای آلاینده‌ها) و غیرنقطه‌ای (دارای غلظت کمتر و دامنه‌ی انتشار وسیع‌تر) تقسیم می‌کنند (عرفان‌منش و افیونی، ۱۳۷۹). در حال حاضر منابع آلاینده‌های غیرنقطه‌ای به‌عنوان مهم‌ترین عوامل آلوده‌کننده آب و خاک در مقیاس جهانی به‌شمار می‌روند و کشاورزی و حمل و نقل، بیشترین سهم را در ایجاد این نوع آلاینده‌ها دارند (وهاب زاده، ۱۳۷۲). مهم‌ترین آلاینده‌های خاک شامل فلزات سنگین، بارش اسیدی و مواد آلی می‌باشند، از این بین، فلزات سنگین در سالیان اخیر به دلیل خصوصیات آلاینده‌ی‌شان در خاک شدیداً مورد توجه قرار گرفته‌اند. تغییرات مکانی محتویات فلزات سنگین در خاک سطحی کشاورزی ممکن است تحت تأثیر مواد خاک مادری و منابع انسانی باشد به عبارت دیگر این فلزات به طور طبیعی در خاک وجود دارند اما در اثر فعالیت‌های انسانی هم، به خاک افزوده می‌شوند. در حقیقت فعالیت‌های انسانی ممکن است منجر به تجمع بیشتر فلزات سنگین در خاک شود (Yalcin et al, 2007).

خاک‌های کشاورزی به طور مستقیم و غیرمستقیم بر روی سلامت عمومی از طریق تولید غذا تأثیر می‌گذارند بنابراین حفاظت از این منبع و اطمینان از پایداری آن حائز اهمیت می‌باشد. پیشرفت سریع صنعت و افزایش ره‌اسازی مواد شیمیایی مورد استفاده در کشاورزی به محیط‌زیست منجر به افزایش نگرانی‌ها در مورد پتانسیل تجمع فلزات سنگین در خاک‌های کشاورزی شده است (Wong et al, 2002). آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های کشاورزی ممکن است منجر به بی‌نظمی در ساختار خاک، دخالت در رشد گیاه و حتی آسیب به سلامت انسان از طریق ورود به زنجیره غذایی گردد (Lee et al, 2006). بهویوان و همکاران آلودگی فلزات سنگین را در خاک‌های کشاورزی با استفاده از چندین شاخص، فاکتور

غنی‌شدگی (CF)<sup>(۱)</sup>، شاخص زمین‌انباشتگی (Igeo)<sup>(۲)</sup> و شاخص بار آلودگی (PLI)<sup>(۳)</sup> مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان از غنی‌شدگی معنی‌داری خاک‌ها با فلزات تیتانیوم، منگنز، روی، سرب، آرسنیک، آهن، استرانسیم و آنتیموان حاصل از ورودی از فعالیت‌های معدنی بود (Bhuiyana et al, 2010).

با توجه با اهمیت آگاهی از میزان غنی‌شدگی فلزات سنگین در خاک‌ها مطالعات متعددی در کشور صورت گرفته است. به دلیل برخورداری منطقه مورد مطالعه شهرستان نهاوند از پتانسیل بالا برای تولیدات کشاورزی و متعاقباً تأثیر فعالیت‌های کشاورزی، نظیر استفاده از کودهای شیمیایی مختلف بر روی کیفیت خاک، گیاه و نهایتاً سلامت انسان لزوم انجام این پژوهش را به منظور بررسی میزان تجمع فلزات سنگین به‌عنوان یکی از آلاینده‌های مهم ناشی از این گونه فعالیت‌ها در خاک سطحی، بیش از پیش آشکار می‌سازد. با توجه به این مهم این تحقیق با هدف تعیین میزان آلودگی فلزات سنگین کروم، مس، نیکل و روی در شهرستان نهاوند با استفاده از معیارهای شاخص زمین‌انباشتگی، فاکتور آلودگی و شاخص جامع فاکتور آلودگی و همچنین ارزیابی وضعیت آلودگی خاک منطقه مورد مطالعه به این فلزات انجام گرفت. در بسیاری از مطالعات برای تعیین سطوح آلودگی از این شاخص‌ها استفاده شده است (Liu et al, 2005; Gong et al, 2009).

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

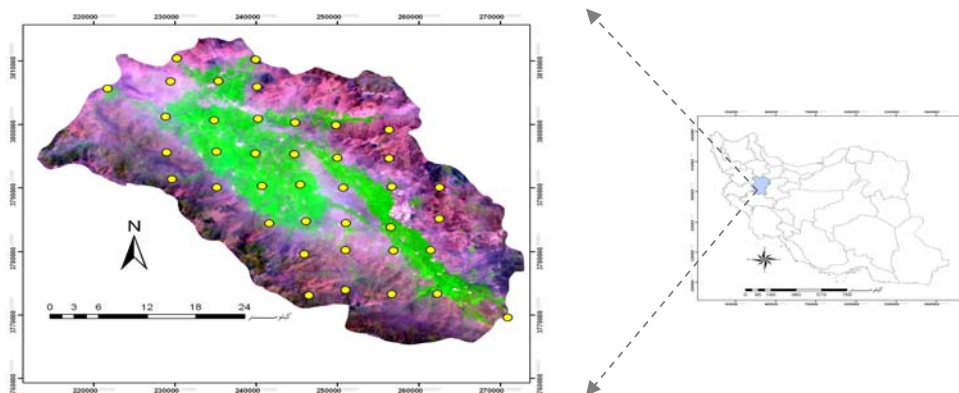
شهرستان نهاوند با مساحتی حدود ۱۶۲۳ کیلومتر مربع در جنوب غربی استان همدان بین مدارهای ۳۴°۲۶' تا ۳۹°۳۳' عرض شمالی و ۴۷°۵۳' تا ۴۸°۳۳' طول شرقی قرار گرفته است. این شهرستان ۷/۶ درصد از کل مساحت استان همدان را دربرگرفته و از شمال به شهرستان تویسرکان، از جنوب به شهرهای الشتر و نورآباد از شرق به شهرستان‌های ملایر و بروجرد و از غرب به کنگاور محدود است. موقعیت شهرستان نهاوند در استان همدان و ایران در شکل (۱) ارائه شده است. میزان متوسط بارندگی سالیانه در منطقه حدود ۳۶۰ میلی‌متر با حداقل ۲۲۱ میلی‌متر تا حداکثر ۴۷۹ میلی‌متر است (بی‌نام، ۱۳۸۵). مهم‌ترین محصولات زراعی این شهرستان عبارتند از گندم، چغندرقد، تره‌بار (خیار، هندوانه، توتون و دانه‌های روغنی). از محصولات باغی نیز

متر ( ماکرو پلات) در نظر گرفته شد و داخل آن به صورت V برعکس سه پلات ۳×۳ متر (میکرو پلات) قرار داده شد، سپس از داخل هر میکرو پلات تعداد ۵ نمونه خاک به صورت ضربدری از عمق ۲۰-۰ سانتی‌متر برداشت شد. در مجموع تعداد ۳۹ نمونه خاک مرکب از منطقه مورد مطالعه جمع‌آوری گردید. نمونه‌های خاک از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد و برای آنالیز آماده گردیدند. هضم نمونه‌ها با استفاده از HNO<sub>3</sub> و HCL انجام گرفت (Cao et al, 1984). غلظت عناصر سنگین با استفاده از دستگاه جذب اتمی (مدل AAnalyst 700) اندازه‌گیری شد.

می‌توان انواع میوه‌ها مانند سیب، آلبالو، گلابی و انگور را نام برد. سطح زیرکشت ۶۹ درصد آبی و ۳۱ درصد دیم است.

### نمونه‌برداری خاک و آنالیز نمونه‌های خاک

نمونه‌برداری بر اساس روش سیستماتیک انجام گرفت. برای این کار ابتدا منطقه مورد نظر با استفاده از نرم‌افزار GIS<sup>(۴)</sup> و تصویر ماهواره‌ای از منطقه، به شبکه‌های تقسیم‌بندی شد، محل اتصال شبکه‌ها به هم به‌عنوان نقاط نمونه‌برداری تعیین شد. نمونه‌برداری در اواخر شهریور ماه بعد از برداشت محصول انجام گرفت. در نمونه‌برداری پس از نقطه‌یابی، در محل نقطه یک پلات ۲۰×۲۰



شکل (۱): موقعیت منطقه مورد مطالعه و پراکنش نقاط نمونه‌برداری

نمونه‌های خاک مورد مطالعه محاسبه شد. در این رابطه برای اینکه اثرات مواد مادری خاک و نوسانات طبیعی محتوای ماده داده شده در محیط‌زیست و تغییرات بسیار کم ایجاد شده در اثر فعالیت‌های انسانی تصحیح شود از ضریب ۱/۵ استفاده می‌شود. مولر ۶ کلاس برای شاخص زمین‌انباشتگی در نظر گرفته است (جدول ۱).

### ارزیابی خاک منطقه مورد مطالعه

در این مطالعه از معیارهای مختلف (فاکتور آلودگی، شاخص زمین‌انباشتگی و شاخص جامع فاکتور آلودگی) جهت بررسی سنجش میزان آلودگی خاک به فلزات سنگین استفاده شد. شاخص زمین‌انباشتگی یا (Geoaccumulation index) که توسط مولر معرفی شده است (Muller et al, 1969)، شاخصی است که می‌تواند درجه آلودگی خاک را تعیین کند و از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$Igeo = \log_2 \left( \frac{C_n}{1.5 B_n} \right) \quad \text{رابطه (۱)}$$

بر اساس شاخص زمین‌انباشتگی (Igeo) مولر C<sub>n</sub>، غلظت در رسوب و خاک و B<sub>n</sub>، غلظت زمینه می‌باشد (Muller et al, 1969). با استفاده از رابطه (۱) شاخص زمین‌انباشتگی برای

جدول (۱): طبقات شاخص زمین‌انباشتگی

شاخص زمین‌انباشتگی	درجه آلودگی
>۰	غیر آلوده
۰-۱	غیر آلوده تا کمی آلوده
۱-۲	کمی آلوده
۲-۳	کمی آلوده تا خیلی آلوده
۳-۴	خیلی آلوده
۴-۵	خیلی آلوده تا شدیداً آلوده
<۵	شدیداً آلوده

### بحث و نتیجه‌گیری

توصیف آماری غلظت فلزات سنگین و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در نمونه‌های برداشت شده در جدول (۴) آمده است. میانگین غلظت کروم در منطقه ۱۰۵/۰۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد، میانگین غلظت فلزات مس، نیکل و روی به ترتیب ۳۸/۴، ۸۸/۰۵ و ۷۹/۶۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد. نتایج آزمون کولوموگروف-اسمیرنوف در جدول (۳) نشان داد که غلظت فلزات سنگین و پارامترهای فیزیکوشیمیایی خاک در منطقه مورد مطالعه از توزیع نرمال برخوردارند. جهت تعیین میزان آلاینده‌ی خاک به عناصر سنگین بایستی میزان غلظت عناصر در منطقه با یک استاندارد شناخته شده مقایسه شود. بهترین نوع مقایسه، مقایسه با استانداردهای موجود برای همان منطقه می‌باشد، در این مطالعه به دلیل عدم وجود استاندارد خاص برای آلودگی خاک در کشورمان، از استانداردهای موجود در دیگر کشورها استفاده شد. میانگین غلظت کروم در منطقه بیشتر از حداکثر غلظت (mg/kg) قابل قبول (MAC)<sup>(۶)</sup> برای کشورهای لهستان، کانادا و استرالیا می‌باشد (Singh and Steinnes, 1994). می‌توان گفت منطقه تا حدودی از نظر فلز کروم آلوده می‌باشد. اما میانگین غلظت فلزات مس، نیکل و روی در منطقه مورد مطالعه کمتر از حداکثر غلظت قابل قبول برای سایر کشورها می‌باشد (Singh and Steinnes, 1994). در نتیجه می‌توان گفت در حال حاضر آلودگی از نظر این فلزات در منطقه وجود ندارد.

### ارزیابی میزان آلودگی خاک

برای به‌دست آوردن غلظت زمینه، از میانگین ۱۲ نمونه خاک که به طور تصادفی از مناطقی که تحت هیچ‌گونه فعالیت کشاورزی قرار نداشتند و در بستر زمین‌شناسی آبرفتی بودند استفاده شد (شهبازی، ۱۳۹۰). اصطلاح زمینه ژئوشیمیایی به عنوان فراوانی نرمال یک عنصر در یک زمین لم‌یزرع و تهی یا در خاک بدون اثر فعالیت‌های انسانی گفته می‌شود (McGrath et al, 1995). غلظت زمینه برای فلزات کروم، مس، نیکل و روی به ترتیب ۴۹/۹۵، ۲۳/۹۴، ۶۰/۱ و ۶۷/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌دست آمد. میزان شاخص زمین‌انباشتگی نشان داد مقادیر فلزات سنگین برای تمامی نمونه‌ها بین ۰ تا ۱ بوده که نشان‌دهنده غیرآلوده تا کمی‌آلوده می‌باشد (شکل ۲)، در نتیجه غلظت فلزات سنگین در

برای تعیین ارزیابی ریسک آلودگی خاک با استفاده از فاکتور آلودگی از رابطه (۲) استفاده گردید (Abraham et al, 2008). سطوح آلودگی را می‌توان بر اساس شدت آلودگی بین ۱ تا ۶ تقسیم‌بندی کرد (جدول ۲).

$$\text{رابطه (۲)} \quad CF = \frac{[C] \text{ heavy metal}}{[C] \text{ background}} \quad (2)$$

### جدول (۲): طبقه‌بندی مقادیر فاکتور آلودگی

مقدار فاکتور	درجه آلودگی
۰	بدون آلودگی
۱	بدون آلودگی تا آلودگی متوسط
۲	آلودگی متوسط
۳	آلودگی متوسط تا قوی
۴	آلودگی قوی
۵	آلودگی قوی تا خیلی قوی
۶	آلودگی خیلی قوی

(Bhuiyana et al, 2010)

برای بررسی کمیت ریسک آلودگی و آگاهی از پتانسیل آلودگی در منطقه شاخص جامع ترکیب شده Nemerlo استفاده شد (رابطه ۳) (li et al, 2008). مزیتی که این شاخص نسبت به شاخص‌های دیگر دارد این است که در این شاخص ریسک آلودگی به همه فلزاتی که مورد مطالعه قرار می‌گیرد در منطقه مشخص می‌شود. بر اساس این شاخص کیفیت خاک در ۵ سطح طبقه‌بندی می‌شود (جدول ۳).

$$\text{رابطه (۳)} \quad p = \sqrt{\frac{\left(\frac{C_i}{S_i}\right)_{\max}^2 + \left(\frac{C_i}{S_i}\right)_{\text{avg}}^2}{2}}$$

$p$ ، مقدار به‌دست آمده شاخص جامع فاکتور آلودگی برای هر نمونه،  $C_i$ ، مقدار اندازه‌گیری شده فلز در هر نمونه خاک،  $i$ ، هر عنصر و  $S_i$ ، مقدار مرجع فلز (غلظت زمینه).

### جدول (۳): مقادیر استاندارد شده شاخص

#### جامع فاکتور آلودگی

کلاس	شاخص جامع آلودگی	سطح آلودگی
کلاس یک	$p \leq 0.7$	عالی
کلاس دو	$0.7 < p \leq 1$	پاک
کلاس سه	$1 < p \leq 2$	آلودگی کم
کلاس چهار	$2 < p \leq 3$	آلودگی متوسط
کلاس پنج	$p > 3$	آلودگی زیاد

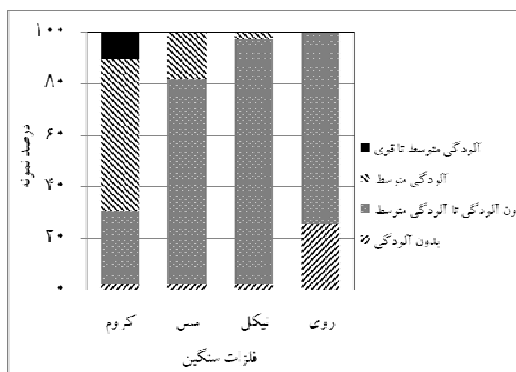
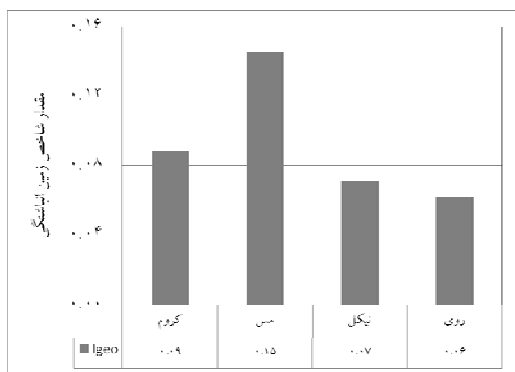
جدول (۴): آمار توصیفی غلظت عناصر (mg/kg) و برخی از پارامترهای خاک سطحی در منطقه مورد مطالعه

پارامتر خاک	حداقل	حداکثر	میانگین	میانه	انحراف معیار	ضریب تغییرات %	چولگی	کشیدگی	k-s <sup>(۷)</sup>
کروم	۴۳/۶۴	۱۶۰	۱۰۵/۰۹	۱۱۰	۲۸/۵۴	۲۷	۰/۰۶	-۰/۰۹	۰/۳۷
مس	۲۳/۳	۵۲	۳۸/۴	۳۸/۵	۸/۳۱	۲۱/۶	-۰/۰۴	-۱/۲۴	۰/۷۲
نیکل	۴۶	۱۲۲/۲۸	۸۸/۰۵	۸۸	۱۵/۷۳	۱۸	-۰/۲۴	۰/۲۵	۰/۸۱
روی	۵۷/۹۶	۱۲۰/۶۱	۷۹/۶۴	۷۶	۱۵/۴۵	۱۹	۰/۸۲	۰/۰۵	۰/۲۶
اسیدیته	۷/۲۳	۸/۶۱	۷/۶۹	۷/۶	۰/۳۹	۵/۰۷	۱/۰۵	۰/۳۶	۰/۳۹
درصد مواد آلی	۰/۰۶	۱/۹۸	۱/۰۵	۱/۰۳	۰/۵۳	۵۰/۴۸	۰/۰۱	-۰/۹۲	۰/۹۹
EC(ds/m) <sup>(۸)</sup>	۰/۶۳	۳/۴۴	۱/۲۹	۱/۱۷	۰/۵۸	۴۴/۹۶	۱/۷۸	۴/۰۷	۰/۰۹

آلودگی متوسط قرار داشت. همچنین ۱۷/۹۵ و ۲/۵۶ درصد از داده‌ها به ترتیب برای فلزات مس و نیکل در طبقه آلودگی متوسط قرار دارد.

لیو و همکاران (Liu et al, 2005) مقدار شاخص بار آلودگی (PLI)، غنی‌شدگی (EF)<sup>(۹)</sup> و فاکتور آلودگی (CF) را در پنج فلز Cd، Cr، Cu، Zn و Pb محاسبه کردند. نتایج شاخص غنی‌شدگی نشان داد که غلظت هر فلز در خاک در مقایسه با سطوح زمینه روند افزایشی را داشته (EF بزرگ‌تر از ۱)، شاخص فاکتور آلودگی نشان از آلودگی فلزات در ۲۰ سال گذشته داشت، همچنین مقادیر شاخص بار آلودگی تجمع فلزات در ۲۰ سال گذشته را نشان داد.

خاک به منشأ طبیعی آنها ارتباط داده شد. نتایج فاکتور آلودگی نشان داد اکثر نمونه‌ها در طبقه بدون آلودگی تا آلودگی متوسط قرار دارند (شکل ۲). مقدار فاکتور آلودگی در منطقه مورد مطالعه برای فلز کروم نشان می‌دهد که ۲/۵۶ درصد از داده‌ها در طبقه بدون آلودگی قرار دارد، ۲۸/۲۱ درصد از داده‌ها در طبقه بدون آلودگی تا آلودگی متوسط، ۵۸/۹۷ درصد از داده‌ها در طبقه آلودگی متوسط و ۱۰/۲۶ درصد از داده‌ها در طبقه آلودگی متوسط تا قوی قرار دارد. برای فلز مس، نیکل و روی به ترتیب ۲/۵۶، ۲۲/۵۶ و ۲۵/۶۴ درصد از داده‌ها در طبقه بدون آلودگی قرار دارد، همچنین ۷۹/۴۹، ۹۴/۸۷ و ۷۴/۳۶ درصد از داده‌ها به ترتیب برای فلزات مس، نیکل و روی در طبقه بدون آلودگی تا



شکل (۲): مقادیر شاخص زمین‌انباشتی و فاکتور آلودگی در منطقه مورد مطالعه

آلودگی کم می‌باشد و ۳۶ درصد از داده‌ها در کلاس چهارم که نشان دهنده آلودگی متوسط بود، قرار گرفتند. مقادیر حاصل از شاخص جامع فاکتور آلودگی با استفاده از روش حداکثر مجذور

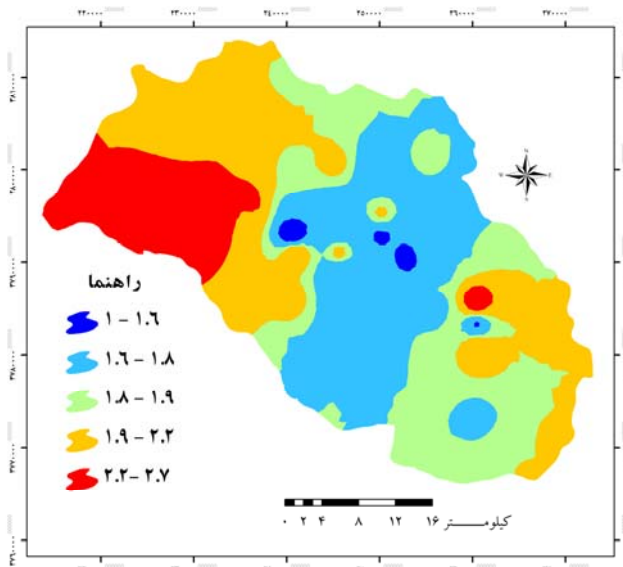
### شاخص جامع فاکتور آلودگی

بر اساس شاخص جامع فاکتور آلودگی داده‌ها در دو کلاس قرار گرفتند، ۶۴ درصد از داده‌ها در کلاس سوم که نشان‌دهنده

فعالیت‌های انسانی از طریق کاربرد کودها و فاضلاب در زمین‌های کشاورزی می‌تواند باعث افزایش هرچه بیشتر این فلزات در منطقه مورد مطالعه شده باشد.

خداکرمی به بررسی غلظت ۱۴ فلز سنگین در کاربری‌های مختلف در بخشی از استان همدان پرداخت، نتایج مطالعه نشان داد که عامل اصلی موثر بر افزایش غلظت عناصر کروم، مس، نیکل و روی در منطقه مورد مطالعه، ساختار زمین‌شناسی می‌باشد، اما مصرف غیر اصولی کود در زمین‌های کشاورزی به دلیل وجود فلزات سنگین در ساختار شیمیایی کودهای اوره، فسفات و پتاس نیز می‌تواند باعث افزایش غلظت این فلزات در خاک شده باشد (خداکرمی، ۱۳۸۸).

فاصله (IDW)<sup>(۱۰)</sup> پهنبندی شد، دقتی که برای نقشه ایجاد شده به دست آمد قابل قبول بود ( $RMSE=0/004$ )<sup>(۱۱)</sup>،  $MAE=0/005$ <sup>(۱۲)</sup> و  $MBE=0/007$ <sup>(۱۳)</sup>. نقشه حاصل از پهنبندی شاخص جامع فاکتور آلودگی نشان داد که یک لکه با مساحت تقریبی ۱۱۵ کیلومتر مربع در غرب منطقه مورد مطالعه بیشترین ریسک آلودگی را نسبت به فلزات سنگین نشان می‌دهد (شکل ۳). با رویهم‌گذاری نقشه پهنبندی حاصل از شاخص جامع فاکتور آلودگی و نقشه زمین‌شناسی و کاربری اراضی منطقه مشخص شد که این لکه با کاربری کشاورزی و سنگ بستر آذرین و دگرگونی همخوانی دارد. در واقع می‌توان گفت که فلزات مورد مطالعه در این منطقه منشأ زمین‌شناسی دارند اما



شکل (۳): نقشه پهنبندی مقادیر شاخص جامع فاکتور آلودگی

داده شد. نتایج فاکتور آلودگی نشان داد اکثر نمونه‌ها در طبقه بدون آلودگی تا آلودگی متوسط قرار دارند. مقدار فاکتور آلودگی برای فلز کروم بیشترین مقدار را داشت به طوری که ۱۰/۲۶ درصد از داده‌ها در طبقه آلودگی متوسط تا قوی قرار داشت. نتایج شاخص جامع فاکتور آلودگی نشان داد ۶۴ درصد از داده‌ها در کلاس آلودگی کم و ۳۶ درصد از داده‌ها در کلاس آلودگی متوسط قرار داشتند. تجزیه و تحلیل نقشه پهنبندی شاخص جامع فاکتور آلودگی نشان داد که عناصر کروم، مس، نیکل و روی منشأ زمین‌شناسی و کشاورزی دارند. در واقع این فلزات به

### نتیجه‌گیری

میانگین غلظت فلزات سنگین مس، نیکل و روی در منطقه مورد مطالعه کمتر از حداکثر غلظت قابل قبول در زمین‌های کشاورزی برای سایر کشورها بود. اما میانگین غلظت کروم در منطقه بیشتر از حداکثر غلظت قابل قبول برای کشورهای لهستان، کانادا و استرالیا بود، می‌توان گفت منطقه از نظر فلز کروم تا حدودی آلوده می‌باشد. مقادیر شاخص زمین‌انباشتگی در تمامی نمونه‌ها بین ۰ تا ۱ بود که نشان‌دهنده غیرآلوده تا کمی آلوده می‌باشد، در نتیجه غلظت فلزات سنگین در خاک به منشأ طبیعی آنها ارتباط

2. Geoaccumulation Index  
 3. Pollution Load Index  
 4. Geographic Information System  
 5. Concentration  
 6. Maximum Allowable Concentrations  
 7. Kolmogorov- Smirnov  
 8. Electrical Conductivity  
 9. Enrichment Factor  
 10. Inverse Distance Weight  
 11. Root Mean Square Error  
 12. Mean Absoluter Error  
 13. Mean Basis Error

طور طبیعی در خاک وجود دارند اما فعالیت‌های کشاورزی و استفاده از کودهای شیمیایی منجر به تجمع هر چه بیشتر این فلزات در خاک شده است.

### تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله نویسندگان مقاله مراتب تشکر و قدردانی خود را از دفتر آب و خاک سازمان حفاظت محیط‌زیست که زمینه لازم برای انجام این تحقیق را فراهم آوردند ابراز می‌دارند.

### یادداشت‌ها

#### 1. Contamination Factor

### فهرست منابع

- بی‌نام. ۱۳۸۵. سالنامه آماری استان همدان. معاونت برنامه‌ریزی دفتر آمار و اطلاعات، استانداری همدان.  
 دبیری، م. ۱۳۷۵. آلودگی محیط‌زیست، چاپ اول، نشر اتحاد، ۳۹۹ صفحه.  
 شهبازی، ع. ۱۳۹۰. ارزیابی اثر فعالیت‌های کشاورزی بر تجمع فلزات سنگین در برخی از خاک‌های کشاورزی استان همدان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان.  
 عرفان‌منش، م.؛ م. افیونی. ۱۳۷۹. آلودگی محیط‌زیست: آب، خاک، هوا، چاپ چهارم، نشر ارکان.  
 وهاب‌زاده، ع. ۱۳۷۲. مبانی محیط‌زیست، چاپ اول، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.  
 خدکرمی، ل. ۱۳۸۸. ارزیابی منابع آلودگی‌های غیرنقطه‌ای کشاورزی با استفاده از RS و GIS. پایان‌نامه کارشناسی ارشد محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه صنعتی اصفهان.

Abraham, G. M. S. and Parker, R. J. 2008. Assessment of heavy metal enrichment factors and the degree of contamination in marine sediments from Tamaki Estuary, Auckland, New Zealand, Environ Monit Assess, 136:227–238.

Bhuiyana, M. A. H.; Parvez, L.; Islam, M. A.; Dampare, S. B. and Suzukia, S. 2010. Heavy metal pollution of coal mine-affected agricultural soils in the northern part of Bangladesh, Journal of Hazardous Materials, 173:384–392.

Cao, H. F.; Chang, A. C. and Page, A. L. 1984. Heavy Metal Contents of Sludge-treated Soils as Determined by Three Extraction Procedures, J Environ Qual, 13(4):632-634.

Gong, M.; Bi, X. Y.; Ren, L. M.; Wang, L.; Ma, Z. D.; Bao, Z. Y. and Li, Z. G. 2009. Assessing heavy-metal contamination and sources by GIS-based approach and multivariate analysis of urban-rural topsoils in Wuhan, central China, Environ Geochem Health, 32(1):59-72.

Lee, C. S.; Li, X. and Shi, W. 2006. Metal contamination in urban, suburban, and country park soils of Hong Kong: A study based on GIS and multivariate statistics, Science of the Total Environment, 356(1–3):45–61.

Li, L. G.; Xue, L. D. and Ming, L. Q. 2008. Heavy metals contamination characteristics in soil of different mining activity zones, Trans. Nonferrous Met. Soc., 18:207-211.

Liu, W.; Zhao, J.; Ouyang, Z.; Söderlund, L. and Liu, G. 2005. Impacts of sewage irrigation on heavy metal distribution and contamination in Beijing, China, *Environment International*, 31(6):805–812.

Singh, B. R. and Steinnes, E. 1994. *Advances in soil science. Soil processes and water quality, Soil and water Contamination by heavy metals*, CRC Press, INC

McGrath, S. P.; Chaudri, A. M. and Giller, K. E. 1995. Long term effects of metals in sewage sludge on soils, micro-organisms and plants, *J. Ind. Microbiol*, 14(2):94-104.

Muller, G. 1969. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. *Geojournal*, 2:108-118.

Wong, S. C.; Li, X. D.; Zhang, G.; Qi, S. H. and Min, Y. S. 2002. Heavy metals in agricultural soils of the Pearl River Delta, South China, *Environmental Pollution*, 119:33-44.

Yalcin, M. G.; Battaloglu, R. and Ilhan, S. 2007. Heavy metal sources in Sultan Marsh and its neighborhood, Kayseri, Turkey. *Environ Geol*, 53:399-415.