

Effect of Sepahan Cement Factory on Heavy Metals Contamination in Soils of Dizicheh Area of Isfahan

HAMID REZA RAHMANI¹, ZAHRA KHANMOHAMMADI^{*1}

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

(Received: Dec. 14, 2019- Revised: Apr. 28, 2020- Accepted: May. 10, 2020)

ABSTRACT

Soil pollution due to heavy metals subsidence from cement industry has harmful effects on soil, plant and human health. The objective of this study was to investigate the effects of Sepahan cement factory on heavy metals contamination in the soils of Dizicheh area of Isfahan province. In order to do this study, 52 soil samples were collected from different land uses including: agricultural lands, gardens and green space. Total concentration of zinc (Zn), manganese (Mn), iron (Fe), cadmium (Cd), lead (Pb), nickel (Ni), chromium (Cr) and cobalt (Co) in samples were measured. Contamination factor (CF) was used to determine soil contamination with heavy metals. The distribution map of contamination factor was plotted using inverse distance weighting (IDW) method. The results showed that the heavy metals concentration in the studied area was lower than the permissible limit provided by the Iran Department of Environment, while the amount of contamination factors indicated the degree of contamination of heavy metals in the studied area. Also, the highest contamination factor values of heavy metals except Cd were in the average contamination category ($1 < CF < 3$). The highest value of mean contamination factor in the studied region was obtained for Cd in green space land use (5.88) and with high contamination category. Spatial distribution of heavy metal's contamination factors indicated high contamination factor's values especially Pb and Cd around cement factory (green space land use).

Keywords: Heavy Metals, Contamination Factor, Cement Factory, Dizicheh Area of Isfahan.

بررسی اثر کارخانه سیمان سپاهان بر آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های منطقه دیزبچه اصفهان

حمیدرضا رحمانی^۱، زهرا خان محمدی^{*}

۱. بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات،

آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۹/۲۳ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۲/۹ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۲/۲۱)

چکیده

آلودگی خاک‌ها در اثر فرونشست فلزات سنگین حاصل از صنعت سیمان می‌تواند اثرات زیان‌باری بر سلامت خاک، گیاهان و انسان داشته باشد. پژوهش حاضر با هدف بررسی اثرات کارخانه سیمان سپاهان بر آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های منطقه دیزبچه استان اصفهان انجام شد. به منظور انجام این پژوهش تعداد ۵۲ نمونه خاک از زمین‌های با کاربری‌های کشاورزی، باغات و فضای سبز از منطقه مورد مطالعه برداشت شد. غلظت کل فلزات سنگین، روی (Zn)، منگنز (Mn)، آهن (Fe)، کادمیم (Cd)، سرب (Pb)، نیکل (Ni)، کروم (Cr) و کبالت (Co) در نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. به منظور تعیین آلودگی خاک به فلزات سنگین از فاکتور آلودگی (CF) استفاده شد. نقشه پراکنش فاکتور آلودگی در منطقه با روش وزن‌دهی عکس فاصله (IDW) رسم گردید. نتایج نشان داد که غلظت فلزات سنگین مورد مطالعه در منطقه، کم‌تر از حد مجاز ارائه شده توسط سازمان محیط زیست کشور بود، در حالی که مقادیر فاکتور آلودگی نشان‌دهنده وجود درجه‌ای از آلودگی هر کدام از فلزات سنگین در منطقه مطالعاتی بود. همچنین بیشترین مقادیر فاکتور آلودگی محاسبه شده برای فلزات سنگین به استثنای Cd در طبقه آلودگی متوسط ($1 \leq CF < 3$) قرار گرفت. بیشترین مقدار میانگین فاکتور آلودگی در منطقه، برای فلز سنگین کادمیم Cd در کاربری فضای سبز (۵/۸۸) و با کلاس آلودگی زیاد به دست آمد. بررسی پراکنش مکانی فاکتور آلودگی فلزات سنگین بیان‌گر زیاد بودن مقادیر فاکتور آلودگی فلزات سنگین به ویژه Pb و Cd در اطراف کارخانه سیمان (کاربری فضای سبز) بود.

واژه‌های کلیدی: فلزات سنگین، فاکتور آلودگی، کارخانه سیمان، منطقه دیزبچه اصفهان.

مقدمه

آلودگی‌های صنعتی به عنوان یکی از عوامل اصلی آسیب به محیط زیست شناخته شده‌اند. مطالعات فراوانی نشان می‌دهند که مناطق نزدیک صنایع و فعالیت‌های صنعتی آلودگی قابل توجه هوا، خاک و آب دارند (Kabir et al., 2012; De Bartolomeo et al., 2004). شاخص فلزات سنگین به علت قابلیت اندازه‌گیری و پایداری به عنوان یک نشان‌گر کلیدی آلودگی در محیط‌زیست شناخته شده‌اند. بر خلاف آلاینده‌های آلی که در اثر فرآیندهای شیمیایی و بیولوژیکی به ترکیبات کمتر مضر تجزیه می‌شوند، فلزات سنگین به وسیله فرآیندهای طبیعی قابل تجزیه نیستند. با وجود تلاش‌های اصلاحی گسترده، اثرات فلزات سنگین بر محیط زیست و جانداران پایدار و طولانی مدت است (Kabir et al., 2012). خاک، رسوبات و آب به عنوان مقاصد نهایی فلزات سنگین وارد شده به محیط زیست در نظر گرفته می‌شوند. 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 (Machender et al., 2011). مقدار فلزات سنگین خاک‌ها اهمیت ویژه‌ای در رابطه با حاصل‌خیزی و نقش تغذیه‌ای خاک دارد. بسیاری از فلزات سنگین مانند مس (Cu) و روی (Zn) از عناصر غذایی ضروری برای رشد طبیعی گیاه و سایر موجودات زنده هستند، هرچند غلظت زیاد آن‌ها سمی است. سایر فلزات سنگین مانند سرب (Pb) و کروم (Cr) ممکن است در غلظت‌های کم‌تر از حد بحرانی توسط اکوسیستم تحمل شوند اما در غلظت‌های زیادتر از حد بحرانی مضر هستند (Alloway and Ayres, 1998). ترکیبات محلول فلزات سنگین و کمپلکس‌های قابل تبادل فلزات سنگین می‌توانند در مقادیر زیاد به وسیله گیاه جذب شوند. قابلیت دسترسی زیستی فلزات سنگین تحت تاثیر ویژگی‌های خاک شامل pH، دما، گنجایش تبادل کاتیونی، پتانسیل رداکس و رقابت با سایر فلزات سنگین قرار دارد (Mapanda et al., 2005). (Atabaki and Lotfi, 2018) در بررسی غلظت فلزات سنگین در خاک‌های مناطق مختلف اصفهان گزارش کردند که غلظت فلزات Pb و کادمیم (Cd) در خاک‌های منطقه

آلودگی فلزات سنگین در کاربری‌های مختلف اراضی بخش مرکزی استان زنجان، از فاکتور آلودگی استفاده کردند. این پژوهش‌گران با توجه به مقادیر فاکتور آلودگی گزارش کردند که فلزات سنگین Fe، Mn، Cr، Co، Ni و Cu در کلاس آلودگی متوسط و کم قرار دارند، در حالی که فاکتور آلودگی Cd در ۴۰ درصد نمونه‌ها و فاکتور آلودگی Pb و Zn در ده درصد نمونه‌ها در کلاس آلودگی زیاد و خیلی زیاد بود. با توجه به این که بیش از ۴۰ سال از فعالیت کارخانه سیمان سپاهان در منطقه می‌گذرد، به نظر می‌رسد که خاک‌های منطقه تحت تاثیر قرار گرفته‌اند. بنابراین پژوهش حاضر با هدف بررسی اثرات کارخانه سیمان سپاهان بر آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های منطقه دیزچه استان اصفهان انجام شد.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری و اندازه‌گیری فلزات سنگین

به منظور انجام این پژوهش نمونه‌برداری خاک از منطقه دیزچه از توابع شهرستان مبارکه استان اصفهان در سال ۱۳۹۲ انجام شد. منطقه دیزچه بین مدارهای ۱۵° ۳۲' تا ۳۰' ۳۲° عرض شمالی و ۲۵° ۵۱' تا ۳۵° ۵۱' طول شرقی قرار دارد. موقعیت منطقه و نقاط نمونه‌برداری توسط نرم‌افزار Arc GIS 9.3 تهیه و نمایش داده شده است (شکل ۱). متوسط بارندگی و دمای سالانه منطقه به ترتیب ۱۴۱ میلی‌متر و ۱۵/۸ درجه سانتی‌گراد است (IRIMO). تعداد ۵۲ نمونه خاک از عمق ۰ تا ۱۵ سانتی‌متری خاک سطحی و از اراضی با کاربری‌های مختلف شامل ۳۴ نمونه خاک از اراضی فضای سبز، ۸ نمونه خاک از اراضی باغی و ۱۰ نمونه خاک از اراضی کشاورزی جمع‌آوری شد. نمونه‌برداری‌ها به شکل تصادفی انجام شد. همچنین با توجه به نظر پژوهشگران این پژوهش (به روش free survey) و مساحت متفاوت کاربری‌های مختلف، تعداد نمونه‌ها در کاربری‌های مختلف متفاوت بود. به علاوه برای تعیین غلظت زمینه فلزات سنگین، ۱۵ نمونه خاک نیز از زمین‌های منابع طبیعی دست‌نخورده و بکر (با حداقل فاصله ۱۵۰۰ و حداکثر فاصله ۳۵۰۰ متر از کارخانه) جمع‌آوری گردید. سپس خاک‌ها هوا-خشک شده و برای تعیین برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی، از الک ۲ میلی‌متر عبور داده شدند. عصاره‌گیری از خاک برای تعیین غلظت کل فلزات سنگین Cu، Zn، Mn، Fe، Cd، Pb، Ni، Cr و Co، با استفاده از اسید کلریدریک و اسید نیتریک انجام شد. سپس غلظت فلزات سنگین مذکور با دستگاه جذب اتمی مدل پرکین المر ۲۳۸۰ در آزمایشگاه

نسبت به میانگین استاندارد جهانی بیشتر و غلظت فلزات Zn و Cu نسبت به میانگین استاندارد جهانی کمتر است.

منابع طبیعی ورود فلزات سنگین به خاک فرسایش مواد مادری بوده و در نتیجه با زمین‌شناسی منطقه مرتبط است. از منابع انسانی ورود فلزات سنگین به خاک می‌توان به معدن‌کاری، حمل و نقل جاده‌ای، صنعت سیمان، استفاده از کودهای شیمیایی در کشاورزی و پسماندهای آلی اشاره کرد (Yalcin et al., 2007). برخی از پژوهش‌ها اثرات زیست‌محیطی نامطلوب کارخانه‌های سیمان بر محیط اطراف را نشان می‌دهند که از مهم‌ترین این اثرات می‌توان به انتشار گرد و غبار (همراه با فلزات سنگین) و گازهای آلاینده اشاره نمود (Moslempour and Shahdadi, 2013). روش‌های گوناگونی برای ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در خاک وجود دارد. در روش‌های کمی بررسی آلودگی فلزات سنگین شاخص‌هایی مانند شاخص زمین‌انباشتگی^۱ (I_{geo})، شاخص غنی‌شدگی^۲ (EF)، فاکتور آلودگی^۳ (CF) و شاخص بار آلودگی^۴ (PLI) محاسبه می‌شوند (Krzysztof et al., 2004). در پژوهش‌های مختلفی به منظور ارزیابی آلودگی فلزات سنگین از این شاخص‌ها استفاده شده است. Pourkhabbaz et al. (2016) در پژوهشی اثرات زیست‌محیطی فلزات سنگین را در خاک‌های اطراف کارخانه سیمان بهبهان مورد ارزیابی قرار دادند. این پژوهشگران نشان دادند که میانگین غلظت اکثر فلزات سنگین با افزایش فاصله از کارخانه کاهش می‌یابد. در پژوهش مذکور برای بررسی روند پراکنش فلزات سنگین در منطقه از شاخص‌های زمین‌انباشتگی و غنی‌شدگی استفاده شد. بر اساس نتایج شاخص زمین‌انباشتگی برای نمونه‌های خاک، منطقه نسبت به Pb و Cd به ترتیب در طبقه شدیداً آلوده و کمی آلوده قرار داشت. همچنین محاسبه شاخص غنی‌شدگی نشان داد که همه عناصر در تمام مسافتها از کارخانه، در طبقه حداقل غنی‌شدگی یا تهی‌شدگی قرار داشتند؛ به طوری که مقادیر این شاخص کم‌تر از ۱/۵ بود. پژوهش دیگری در جنوب نیجریه با هدف بررسی مقدار فلزات سنگین خاک در مجاورت کارخانه سیمان انجام شد (Egbe et al., 2019). نتایج این پژوهش نشان داد که تولید سیمان، انتشار گرد و غبار آن و فرونشست آن روی خاک سطحی منجر به آلودگی Pb، Cu و Cr در منطقه مطالعاتی شده است. بر اساس نتایج این پژوهش، درجه آلودگی به عنوان تابعی از فاصله نسبی از کارخانه سیمان بود. به علاوه ارزیابی نمونه‌های خاک، حاکی از آلودگی متوسط Cu، Pb، منیزیم (Mg)، آهن (Fe)، Cd، سلنیم (Se)، Cr، Zn و آرسنیک (As) بود. (Afshari et al., 2016) برای بررسی

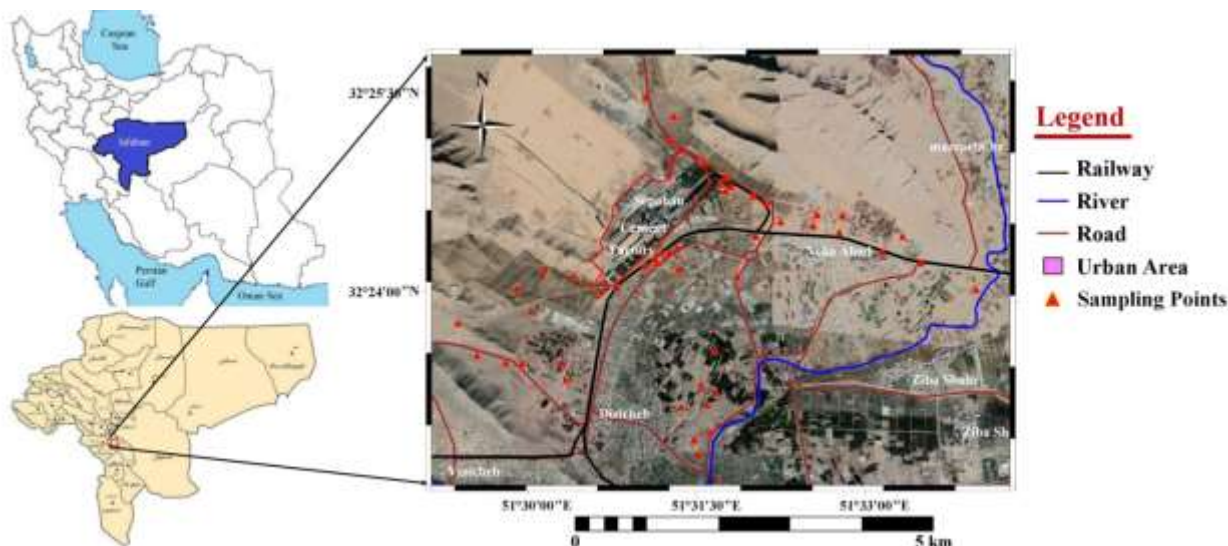
استفاده شد. بر اساس این فاکتور غلظت فلزات سنگین نسبت به غلظت زمینه آن فلز سنجیده می‌شود. فاکتور آلودگی از رابطه ۱ محاسبه شد.

$$CF_{\text{metal}} = C_{\text{metal}} / C_{\text{background}} \quad (\text{رابطه ۱})$$

خاکشناسی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان اندازه‌گیری شد (Sposito *et al.*, 1982).

محاسبه فاکتور آلودگی (CF)

به منظور تعیین آلودگی خاک به فلزات سنگین از فاکتور آلودگی



شکل ۱- موقعیت نقاط نمونه‌برداری در منطقه مطالعاتی (تهیه شده در محیط نرم‌افزار Arc GIS 9.3)

برای محاسبه درصد آلودگی هر طبقه، تعداد نمونه هر طبقه تقسیم بر تعداد کل نمونه‌ها شد. در این پژوهش برای توصیف آماری داده‌ها از شاخص‌های تمایل مرکزی مانند میانگین و شاخص‌های پراکندگی مانند ضریب تغییرات و نیز از شاخص‌های چولگی، حداقل و حداکثر استفاده شد، که به این منظور نرم‌افزار SPSS 19 مورد استفاده قرار گرفت. به منظور بررسی نرمال بودن داده‌ها از آزمون کولموگروف-اسمیرنف^۳ استفاده شد.

نقشه پراکنش فاکتور آلودگی

برای شناسایی هرچه بهتر مناطق آلوده و یا در معرض آلودگی فلزات سنگین نقشه‌های پراکنش فاکتور آلودگی. در محیط نرم‌افزار Arc GIS 9.3 تهیه شد. با توجه به تعداد کم نقاط نمونه‌برداری (۵۲ نقطه)، به منظور پهنه‌بندی و درون‌یابی غلظت فلزات سنگین از روش وزن‌دهی عکس فاصله^۴ (IDW) استفاده شد. روش IDW یکی از روش‌های درون‌یابی کلاسیک است که فرض می‌کند با افزایش فاصله میزان تاثیر پارامترها در برآورد سطح کاهش می‌یابد. در این روش وزن نقاط نمونه بر روی نقطه مجهول با توجه به فاصله هر نقطه معلوم نسبت به نقطه مجهول و بدون توجه به نحوه پراکندگی نقاط حول نقطه مورد تخمین، تعیین می‌شود. به نقاط نزدیکتر وزن بیشتر و به نقاط دورتر وزن

در این رابطه فاکتور آلودگی، C_{metal} غلظت عنصر در نمونه خاک و $C_{\text{background}}$ غلظت زمینه عنصر مورد نظر است. سپس میزان آلودگی فلزات سنگین با استفاده از طبقه‌بندی هکنسن^۱ تعیین شد (جدول ۱) (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 این‌که میانگین هندسی بازتاب مفید و مناسبی از میانگین غلظت فلزات سنگین را نشان می‌دهد (Wu *et al.*, 2010)، میانگین هندسی^۲ غلظت فلزات در این نمونه‌ها به عنوان $C_{\text{background}}$ استفاده شد. میانگین هندسی (GM) میانگین لگاریتم طبیعی مجموعه‌ای از داده‌ها (x_1, x_2, \dots, x_n) است که در نهایت با تبدیل نمایی برگردانده می‌شود (Gilbert, 1987).

$$GM = \exp\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln x_i\right) \quad (\text{رابطه ۲})$$

جدول ۱- طبقه‌بندی کیفی آلودگی فلزات سنگین بر اساس فاکتور آلودگی

(Hakanson, 1980)	
دامنه تغییرات فاکتور آلودگی (CF)	شدت آلودگی
$CF < 1$	آلودگی کم
$1 \leq CF < 3$	آلودگی متوسط
$3 \leq CF < 6$	آلودگی زیاد
$6 \leq CF$	آلودگی خیلی زیاد

3. Kolmogrov- Smirnov
4. Inverse distance weighting

1. Hakanson
2. Geometric mean

ضریب تغییرات فلزات سنگین کمتر از ۵۰ درصد به دست آمد، می‌توان نتیجه گرفت که تغییرات فلزات سنگین در منطقه همگن و یکنواخت بوده است که نشان‌دهنده محدود بودن عوامل دخیل در تغییرات آن‌ها است. بیشترین میانگین هندسی غلظت کل فلزات سنگین مربوط به Fe بود درحالی‌که کمترین مقدار آن برای Cd به دست آمد. غلظت فلزات سنگین Cu، Zn، Ni، Cr، Pb و Cd در منطقه مورد مطالعه از حد مجاز ارائه شده توسط سازمان محیط زیست کشور کمتر بود (Department of Environment, 2012).

کمتری داده می‌شود (Fathi et al., 2014).

پژوهش‌های Hossein و Habashi et al. (2007) و Alizadeh et al. (2007) نیز نشان داد که برای نمونه‌های با تعداد کم، درون‌یابی به روش وزن‌دهی عکس فاصله دقیق‌ترین روش است.

نتایج و بحث

برخی از ویژگی‌های آماری غلظت کل فلزات سنگین مورد نظر در منطقه مطالعاتی، در جدول (۲) نشان داده شده است. از آن‌جا که

جدول ۲- شاخص‌های آماری غلظت کل فلزات سنگین (mg Kg^{-1}) در منطقه مطالعاتی (N=۵۲)

Cu	Zn	Mn	Fe	Cd	Pb	Ni	Cr	Co	
۱۳/۵	۴۴/۵	۱۷۶/۵	۹۹۵۰	۱/۵	۱/۵	۳۰/۰	۱۶/۰	۲۲/۵	حداقل
۳۲/۰	۱۰۲/۰	۳۶۰/۵	۲۴۰۵۰	۴/۵	۲۹/۰	۷۰/۰	۳۳/۵	۳۸/۰	حداکثر
۱۹/۷	۶۳/۰	۲۳۸/۰	۱۵۵۵۵	۲/۶	۱۱/۶	۵۱/۶	۲۴/۶	۳۰/۶	میانگین حسابی
۲۱/۹	۷۳/۵	۲۹۲/۸	۲۲۳۶۸	۲/۵	۱۰/۳	۵۹/۹	۲۷/۶	۳۴/۸	میانگین هندسی
۱/۱۴	۱/۵۴	۰/۹۵	۰/۳۷	۰/۶۴	۰/۳۲	-۰/۴۲	-۰/۱۸	۰/۰	چولگی
۲/۴۸	۴/۹	۱/۷۶	-۰/۳۵	-۰/۴۱	-۰/۳۵	۱/۹	-۰/۱۶	-۰/۵۴	کشیدگی
۱۸	۱۵	۱۶	۲۱	۳۳	۵۶	۱۳	۱۵	۱۲	ضریب تغییرات (%)

جدول ۳- خلاصه‌ای از وضعیت آماری مقدار فلزات سنگین (mg Kg^{-1}) مورد مطالعه در مناطق زمینه (N=۱۵)

Cu	Zn	Mn	Fe	Cd	Pb	Ni	Cr	Co	
۱۳/۵	۴۴/۵	۱۷۶/۵	۹۹۵۰	۱/۵	۱/۵	۳۰/۰	۱۶/۰	۲۵/۰	حداقل
۲۶/۰	۸۱/۵	۲۵۷/۰	۱۹۳۲۵	۴/۰	۱۹/۰	۵۵/۰	۲۹/۰	۳۷/۰	حداکثر
۱۸/۲	۵۹/۴	۲۱۴/۰	۱۲۹۷۲	۲/۲	۸/۸	۴۷/۰	۲۱/۹	۳۰/۶۳	میانگین حسابی
۱۷/۸	۵۸/۷	۲۱۲/۵	۱۲۷۰۸	۲/۰۵	۷/۳	۴۶/۴	۲۱/۶	۳۰/۴۲	میانگین هندسی
۰/۷۴	۰/۶۶	۰/۰۴	۱/۱۵	۱/۲۱	۰/۴۵	-۱/۱۶	۰/۱۱	۰/۲۱	چولگی
-۰/۲۱	۰/۶۶	-۱/۲	۰/۲۹	۰/۶۹	-۰/۵۵	۱/۲۶	-۰/۴۹	-۰/۸۴	کشیدگی
۰/۲۰	۰/۱۶	۰/۱۳	۰/۲۲	۰/۳۶	۰/۵۶	۰/۱۵	۰/۱۷	۰/۱۲	ضریب تغییرات (%)

جدول ۴- خلاصه‌ای از وضعیت آماری فاکتور آلودگی (CF) فلزات سنگین مورد مطالعه در زمین‌های با کاربری متفاوت

CF-Cu	CF-Zn	CF-Mn	CF-Fe	CF-Cd	CF-Pb	CF-Ni	CF-Cr	CF-Co	
۰/۸۷	۰/۹۵	۰/۸۸	۱/۰۵	۳/۰۸	۰/۲۰	۰/۹۳	۰/۹۵	۰/۷۴	حداقل
۱/۷۹	۱/۱۳	۱/۲۷	۱/۷۳	۶/۱۵	۰/۸۲	۱/۲۲	۱/۵۵	۱/۰۸	حداکثر
۱/۲۷	۱/۰۶	۱/۰۵	۱/۴۷	۴/۱۰	۰/۴۵	۱/۰۷	۱/۲۷	۰/۹۴	میانگین
۰/۲۲	۰/۵۰	۰/۱۱	۰/۱۵	۰/۲۷	۰/۵۱	۰/۹۱	۰/۱۲	۰/۱۱	ضریب تغییرات (%)
۰/۸۴	۰/۷۸	۰/۸۳	۰/۹۱	۰/۷۳	۱/۳	۱/۰۸	۰/۷۴	۰/۷۷	حداقل
۱/۲۹	۱/۱۱	۱/۳۰	۱/۴۵	۱/۴۶	۱/۷۱	۱/۳۱	۱/۲۷	۱/۲۲	حداکثر
۱/۰۶	۰/۹۶	۱/۰۴	۱/۱۱	۱/۰۱	۱/۴۸	۱/۲۱	۱/۰۷	۱/۰۳	میانگین
۰/۱۴	۰/۱۰	۰/۱۳	۰/۱۹	۰/۲۷	۰/۱۲	۰/۰۷	۰/۱۶	۰/۱۴	ضریب تغییرات (%)
۰/۷۶	۰/۷۶	۰/۸۴	۰/۷۸	۳/۰۸	۰/۴۸	۰/۶۵	۰/۷۹	۰/۸۲	حداقل
۱/۴۶	۱/۷۴	۱/۷۰	۱/۸۹	۹/۲۳	۳/۹۶	۱/۵۱	۱/۴۴	۱/۲۵	حداکثر
۱/۰۷	۱/۱۱	۱/۱۶	۱/۱۸	۵/۸۸	۱/۹۵	۱/۱۰	۱/۱۲	۱/۰۲	میانگین
۰/۱۵	۰/۱۷	۰/۱۶	۰/۲۰	۰/۳۰	۰/۴۲	۰/۱۵	۰/۱۴	۰/۱۲	ضریب تغییرات (%)

غلظت عناصر Pb، Cd، Ni و آلومینیم (Al) خاک، در

بر اساس نتایج پژوهش Pourkhabbaz et al. (2016).

طبقه‌بندی هکنسون، میانگین فاکتور آلودگی برای Cd در مناطق کشاورزی و فضای سبز در درجه آلودگی زیاد قرار می‌گیرد. بر اساس جدول (۵)، مقادیر فاکتور آلودگی محاسبه شده برای فلزات سنگین به استثنای Cd و Pb، در طبقه آلودگی کم و متوسط قرار دارد. همچنین به‌طور کلی در هر سه کاربری، ۷۰ تا ۸۰ درصد مقادیر فاکتور آلودگی فلزات سنگین (به استثنای Cd، Pb و Co) در کلاس آلودگی متوسط به دست آمد. Azimzadeh, and Khademi (2013) در بررسی آلودگی خاک‌های استان مازندران با استفاده از فاکتور آلودگی به این نتیجه رسیدند که اغلب نمونه‌های بررسی شده از نظر آلودگی Cd، Pb، Cu، Zn و Ni دارای کلاس آلودگی متوسط هستند. نتایج پژوهش Barzin et al. (2015) در مورد خاک‌های استان همدان نیز مشابه بود. بر اساس نتایج، درصد آلودگی کلاس متوسط برای Cr در مقایسه با سایر فلزات سنگین بیشتر بود (جدول ۵). حدود ۵۲ درصد از مقادیر فاکتور آلودگی برای Cd در طبقه آلودگی زیاد و ۳۲/۷ درصد آن در طبقه آلودگی خیلی زیاد قرار گرفت. در مورد Pb ۵/۸ درصد از مقادیر فاکتور آلودگی، کلاس آلودگی زیاد را نشان داد.

جدول ۵- طبقه‌بندی فاکتور آلودگی فلزات سنگین در منطقه مطالعاتی (بر حسب درصد).

CF-Cu	CF-Zn	CF-Mn	CF-Fe	CF-Cd	CF-Pb	CF-Ni	CF-Cr	CF-Co	
۲۸/۸	۲۶/۹	۲۳/۱	۲۱/۲	۹/۶	۳۰/۸	۲۱/۲	۱۹/۲	۵۰	کم
۷۱/۲	۷۳/۱	۷۶/۹	۷۸/۸	۵/۸	۶۳/۴	۷۸/۸	۸۰/۸	۵۰	متوسط
-	-	-	-	۵۱/۹	۵/۸	-	-	-	زیاد
-	-	-	-	۳۲/۷	-	-	-	-	خیلی زیاد

دارد. به‌علاوه هم‌بستگی مثبت و معنی‌داری بین فاکتور آلودگی Pb و Cd ($r=0/396, p=0/01$) مشاهده شد. با توجه به شکل (۲) مقادیر بیشتر فاکتور آلودگی Mn، Co و Zn نیز در اطراف کارخانه سیمان (کاربری فضای سبز) مشاهده شد. بررسی ضرایب هم‌بستگی نشان‌دهنده وجود هم‌بستگی بین فاکتور آلودگی Mn و Co ($r=0/274, p=0/05$)، Mn و Pb ($r=0/366, p=0/01$) و Mn و Zn ($r=0/351, p=0/05$) بود. پژوهشگران دیگری نیز پراکنش مکانی فاکتور آلودگی Cd، Pb، Zn و Cu در اطراف مناطق صنعتی مختلف را تایید نموده‌اند (Afshari et al., 2016).

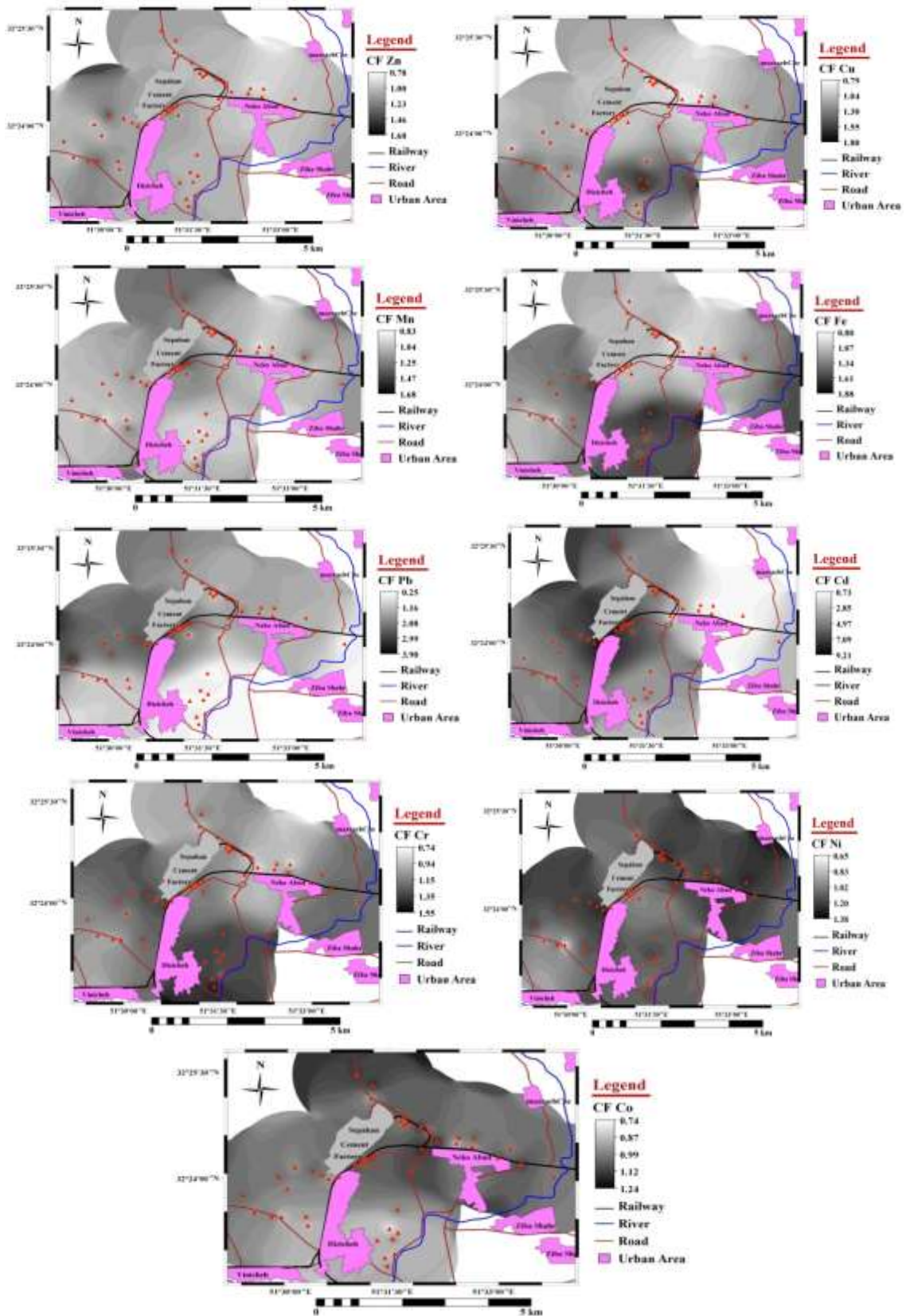
بیشترین مقدار فاکتور آلودگی Fe، Cu و Cr در بخش‌های جنوبی منطقه مطالعاتی یعنی در اطراف رودخانه زاینده رود، جایی که اراضی کشاورزی قرار دارند دیده می‌شود. این یافته احتمالاً به دلیل کوددهی‌های مختلف و بی‌رویه در این منطقه است. هم‌بستگی مثبت و معنی‌داری بین فاکتور آلودگی Fe و Cu

فواصل و جهات جغرافیایی مختلف از کارخانه سیمان بهبهان، بیشتر از حد استاندارد جهانی شیل و حد مجاز ارائه شده توسط سازمان محیط زیست کشور بود. مقایسه میانگین غلظت کل فلزات سنگین در منطقه مطالعاتی با منطقه زمینه نشان داد که غلظت فلزات سنگین در کاربری‌های مورد مطالعه بیشتر از منطقه زمینه است (جدول ۲ و ۳). بر اساس برخی از پژوهش‌ها مقادیر بیشتر غلظت کل فلزات سنگین نسبت به منطقه زمینه می‌تواند بیان‌گر منابع خارجی ورود فلزات سنگین در منطقه باشد (Afshari et al., 2016; Shi et al., 2010).

توصیف آماری فاکتور آلودگی برای فلزات سنگین مورد نظر در منطقه مطالعاتی در جدول (۴) نشان داده شده است. مقدار میانگین فاکتور آلودگی در زمین‌های کشاورزی به ترتیب برای Cd (۴/۱)، Fe (۱/۴۷)، Cr و Cu (۱/۲۷)، Ni (۱/۰۷)، Zn (۱/۰۶)، Mn (۱/۰۵) Co (۰/۹۴) و Pb (۰/۴۵) به دست آمد. در کاربری باغات روند کاهشی $Pb < Ni < Fe < Cr < Cu < Mn < Co$ و $Zn < Cd$ مشاهده شد. نتایج فاکتور آلودگی مناطق با کاربری فضای سبز نشان داد که مشابه اراضی کشاورزی بیشترین مقدار میانگین فاکتور آلودگی مربوط به Cd بود، سپس Pb، Fe، Mn، Cr، Zn و Ni، Cu و Co به ترتیب قرار داشتند. بر اساس

شکل (۲) پراکنش مکانی فاکتور آلودگی فلزات سنگین در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. نکته قابل توجه در این شکل، زیاد بودن مقادیر فاکتور آلودگی Pb و Cd در اطراف کارخانه سیمان سپاهان است که بیشتر شامل اراضی با کاربری فضای سبز می‌شود. علی‌رغم اینکه غلظت Pb و Cd در تمام منطقه مطالعاتی کم‌تر از حد مجاز ارائه شده توسط سازمان محیط زیست کشور است، زیاد بودن مقادیر فاکتور آلودگی در اطراف کارخانه سیمان می‌تواند هشدار برای آلودگی منطقه در آینده باشد. از آن‌جا که سمت و سوی باد غالب در آمارگیری سالانه در جهت جنوب غربی است، لذا آلودگی در این راستا می‌تواند به بیشترین مقدار خود برسد و ایجاد کاربری‌های مسکونی در مسیر بادهای هدایت شده را با مشکلاتی روبه‌رو سازد. همچنین در فصل تابستان و پاییز جهت باد غالب شمال شرقی است، در حالی که در طول فصل بهار عمدتاً غربی و در زمستان در جنوب غرب امتداد

Cr و Fe و $(r=0/423, p=0/01)$ Cr و Cu، $(r=0/571, p=0/01)$ و $(r=0/755, p=0/01)$ مشاهده شد.



شکل ۲- پراکنش مکانی فاکتور آلودگی فلزات سنگین در منطقه مطالعاتی

نتیجه‌گیری

غلظت فلزات سنگین مورد مطالعه از حد مجاز ارائه شده توسط سازمان محیط زیست کشور کمتر بود. اغلب مقادیر فاکتور آلودگی محاسبه شده برای فلزات سنگین در طبقه آلودگی متوسط قرار گرفت. نیمی از مقادیر فاکتور آلودگی Pb در کلاس آلودگی زیاد و حدود ۳۳ درصد آن در طبقه آلودگی خیلی زیاد قرار گرفت. بیشترین مقدار میانگین فاکتور آلودگی در کل منطقه مطالعاتی مربوط به فلز سنگین Cd و در کاربری فضای سبز (اطراف کارخانه سیمان) بود. در مورد بیشتر فلزات سنگین پراکنش مقادیر فاکتور آلودگی در اطراف کارخانه سیمان بیشتر بود. در پژوهش حاضر مقایسه بین کاربری‌های مختلف صورت گرفته و این مقایسه بر اساس غلظت زمینه بوده است. لذا با نتایج حاصله می‌توان وضعیت آلودگی خاک‌ها در شرایط فعلی را مشخص نمود و برای به دست آوردن یک روند جهت پیش‌بینی در آینده نیاز به مطالعات طولانی مدت است.

نتایج پژوهش (Yeganeh (2012) در بررسی نرخ انباشت Cu، Zn و Ni در زمین‌های کشاورزی استان همدان بدون در نظر گرفتن فرونشست‌های اتمسفری نشان داد که کودهای دامی در حدود ۷۴ درصد از کل Cu، ۷۸ درصد از کل Zn و ۲۵ درصد از کل Ni وارد شده به زمین‌های کشاورزی را تشکیل می‌دهند. در مورد فلز سنگین Ni، پراکنش مکانی فاکتور آلودگی در اطراف منطقه نکوآباد (کاربری باغات) و اطراف کارخانه سیمان (کاربری فضای سبز) بیشتر است. بر اساس منابع مختلف فرونشست‌های اتمسفری یکی از منابع آلودگی انسانی فلزات سنگین است (Afshari *et al.*, 2016; Li *et al.*, 2009). از سوی دیگر پراکنش مکانی فاکتور آلودگی اکثر فلزات سنگین مورد بررسی در اطراف کارخانه سیمان بیشتر بود. بنابراین فرونشست‌های اتمسفری حاصل از فعالیت کارخانه سیمان، می‌تواند عاملی برای آلودگی فلزات سنگین به‌ویژه Pb و Cd در منطقه باشد.

REFERENCES

- Afshari, A., Khademi, H. and Delavar, M. A. (2016) Heavy Metals Contamination Assessment in Soils of Different Land Uses in Central District of Zanjan Province Using Contamination Factor. *Water and Soil Science*, 25(4/2), 41-52. (In Farsi)
- Alloway, B. J. and Ayres, D. C. (1998) *Chemical principles of environmental pollution* (2nd ed.). London: Blackie Academic and Professional, Chapman and Hall.
- Atabaki, M. R. and Lotfi, A. (2018) Investigation of heavy metal soil concentration (Pb, Cd, Zn and Cu) in different areas of Isfahan in 1396. *Journal of Research in Environmental Health*, 4(1), 21-30. (In Farsi)
- Azimzadeh, B. and Khademi, H. (2013) Estimation of Background Concentration of Selected Heavy Metals for Pollution Assessment of Surface Soils of Mazandaran Province, Iran. *Journal of Water and Soil*, 27(3), 548-559. (In Farsi)
- De Bartolomeo, A., Poletti, L., Sanchini, G., Sebastiani, B. and Morozzi, G. (2004) Relationship among parameters of lake polluted sediments evaluated by multivariate statistical analysis. *Chemosphere*, 55(10), 1323-1329.
- Department of Environment (2012). *Soil resource quality standards and guidelines*.
- Barzin, M., Kheirabadi, H. and Afyuni, M. (2015) An Investigation into Pollution of Selected Heavy Metals of Surface Soils in Hamadan Province Using Pollution Index. *Journal of Water and Soil Science*, 19(72), 69-80. (In Farsi)
- Egbe, E. R., Nsonwu-Anyanwu, A. C., Offor, S. J., Usoro, C. A. O. and Etukudo, M. H. (2019) Heavy metal content of the soil in the vicinity of the united cement factory in Southern Nigeria. *Journal of Advanced in Environmental Health Research*, 7, 122-130.
- Fathi hafshjani, E., Beygi harchgani, H., Davoudian, A. and Tabatabaee, H. (2014) Comparison of spatial interpolation methods and selecting the appropriate method for mapping of nitrate and phosphate in the Shahrekord Aquifer. *Journal of Irrigation and Water Engineering*, 4(15), 51-63.
- Gilbert, R. O. (1987) *Statistical Methods for Environmental Pollution Monitoring*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Habashi, H., Hosseini, S. M., Shataee, S. h. and Mohammadi, J. (2007) Evaluation of the accuracy of interpolation methods in estimating total soil nitrogen using GIS. In: *Proceeding of 3rd Conference of Geospatial Information Systems*, 01 Jan., Iran National Cartographic Center Qeshm, Iran.
- Hakanson, L. (1980) An ecological risk index for aquatic pollution control: a sedimentological approach. *Water Research*, 14, 975-1001.
- Hossein Alizadeh, M., Ayubi, S. A. And Shataee, S. h. (2007) Comparison of Various Interpolation Methods On Evaluation Some Surface Soil Properties (Case Study: Mehr Watershed Of Sabzevar). *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 13(5), 152-162. (In Farsi)
- Islamic Republic of Iran Meteorological Organization (IRIMO), Isfahan Meteorological Department, <http://www.mobarakehmet.ir>.
- Kabir, E., Ray, S., Kim, K., Yoon, H., Jeon, E., Kim, Y., Cho, Y., Yun, S. and Brown, R. J. C. (2012) Current statues of trace metal pollution in soils affected by industrial activities. *The Scientific World Journal*. Article ID 916705, 18 pages, doi:10.1100/2012/916705.
- Krzysztof, L., Danuta, L. and Irena, K. (2004) Metal contamination of farming soils affected by industry. *Environment International*, 30, 159-165.
- Li, J., He, M. and Gu, Y. (2009) Analysis and assessment on heavy metal sources in the coastal

- soils developed from alluvial deposits using multivariate statistical methods. *Journal of Hazardous Materials*, 164, 976-981.
- Machender, G., Dhakate, R., Prasanna, L. and Govi, P. K. (2011) Assessment of heavy metal contamination in soils around Balanagar industrial area, Hyderabad, India. *Environmental Earth Sciences*, 63(5), 945-953.
- Mapanda, F., Mangwayana, E. N., Nyamangara, J. and Giller, K. E. (2005) The effect of long-term irrigation using wastewater on heavy metal contents of soils under vegetables in Harare, Zimbabwe. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 107, 151-165.
- Moslempour, M. E. and Shahdadi, S. (2013) Assessment of Heavy Metal Contamination in Soils Around of Khash Cement Plant, SE Iran. *Iranian Journal of Earth Sciences*, 5(2), 111-118.
- Pourkhabbaz, H. R., Javanmardi, S., Yusefnia, H., Eslami, M., Makrouni, S. and Aghdar, H. (2016) Environmental Evaluation of Heavy Metals Contamination in Soils around the Cement Factory in Behbahan City. *Journal of Geography and Environmental Planning*, 27(3), 87-106. (In Farsi)
- Shi, G., Chen, Z., Bi, C., Li, Y., Teng, J., Wang, L. and Xu, S. (2010) Comprehensive assessment of toxic metals in urban and sub-urban street deposited sediments (SDSs) in the biggest metropolitan area of China. *Environmental Pollution*, 158, 694-703.
- Sposito, G., Lund, L. J. and Chang, A. C. (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, 260-264.
- Wu, S., Xia, X., Lin, C., Chen, X. and Zhou, C. (2010) Levels of arsenic and heavy metals in the rural soils of Beijing and their changes over the last two decades (1985-2008). *Journal of Hazardous Materials*, 179, 860-868.
- Yalcin, M., Battaloglu, G. R. and Ilhan, S. (2007) Heavy metal sources in Sultan Marsh and its neighborhood, Kayseri, Turkey. *Environmental Geology*, 53, 399-415.
- Yeganeh, M. (2012) Modeling the Process of Heavy Metals Accumulation in Surface Soils of Hamadan Province and Determination of its Hazard on Human Health. Ph. D. dissertation, Isfahan University of Technology, Isfahan.