

Effects of Heavy Metal Contamination Caused by Residual Leachate on Forest Soil in Babol Anjilsi Region, Iran

ARTICLE INFO

Article Type

Original Research

Authors

Rahmani M.^{*1} PhD,

Azari T.² PhD,

Molla Aghajanzadeh S.³ PhD

How to cite this article

Rahmani M, Azari T, Molla Aghajanzadeh S. Effects of Heavy Metal Contamination Caused by Residual Leachate on Forest Soil in Babol Anjilsi Region, Iran. Geographical Researches. 2020;35(1):31-42.

¹Department of Environmental Sciences, Faculty of Marine Sciences, Mazandaran University, Babolsar, Iran

² Department of Earth Sciences, Faculty of Sciences, Shiraz University, Shiraz, Iran

³Department of Watershed management, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Babolsar, Iran

*Correspondence

Address: Department of Environmental Sciences, Faculty of Sciences, University of Mazandaran, Shahid Beheshti Street, Babolsar, Mazandaran, Iran. Postal Code: 4741695447.
Phone: +98 (11) 35302401
Fax: +98 (11) 35342161
m.rahmani@umz.ac.ir

Article History

Received: June 07, 2019

Accepted: March 12, 2020

ePublished: March 16, 2020

ABSTRACT

Aims & Backgrounds The heavy metals are a part of the minor elemental elements in the nature. Forest soils directly and indirectly affect public health through the production of nutritional factors on plants and animals in the ecosystem. Pollution in forest soils may lead to disorder in soil structure, interference in the growth of plants and trees, and even soil contamination to heavy metals such as Fe-Hg-Ag-As-Cr-Mn-Co-Cu-Mo-Ni-Zn-Sn-W using various indicators of contamination.

Methodology To conduct the study, 40 soil samples from the waste disposal area of Babol (Babol Anjilsi region) were systematically selected harvested and the concentration of metals was measured using an ICP device. The enrichment factor and geo-accumulation index were used to determine the contamination of the study area.

Findings The results of the study showed that Fe-As-Cr-Ni-Co concentration in the study area is higher than the maximum acceptable concentration of the Ericson 2011 standard. The geo-accumulation index was obtained for all metals. The results showed the concentration of metals in the soil relevant to the source of leachate from waste landfill in the area. The values of the Contamination Factor (CF) indicated that most of the samples were in the non-polluted to medium class and the contamination factor for Fe-Cr-W metals was the highest value. In general, about 20% of the data was in the medium to high pollution class.

Conclusion Geo-accumulation index zonation map analysis showed that the origin of heavy elements of the region is the residual leachate and geological.

Keywords Geo-accumulation index; Enrichment Factor; Contamination Factor; Heavy Metals; Anjilsi Forest of Babol

CITATION LINKS

[Abraham GMS, Parker RJ; 2008] Assessment of heavy ...; [Adama P, et al; 2005] Distribution and partition of ...; [Adomako D, et al; 2008] Determination of toxic ...; [Anazawa K, et al; 2004] Heavy metal ...; [Angulo E; 1996] The Tomlinson's pollution ...; [Atabaki MR, Lotfi A; 2018] Investigation of heavy ...; [Audry S, et al; 2004] Fifty- year sedimentary ...; [Behbahaninia A, Salmasi R; 2016] Investigation on heavy ...; [Bermejo Santos JC, et al; 2003] Spatial variations of ...; [Bhuiyana MA, et al; 2010] Heavy metal ...; [Cevik F, et al; 2009] An assessment of metals ...; [Chen CW, et al; 2007] Distribution and accumulation ...; [Davis JC; 1986] Statistics and data ...; [Facchinelli A, et al; 2001] Multivariate statistical ...; [Forestry Report of downstream watershed of Pashakola Babol dam; 2011] Agriculture Jahad and ...; [Ghrefat H, Yusuf N; 2006] Assessing Mn, Fe, Cu, Zn ...; [Gonzales Macias C, et al; 2006] Distribution, enrichment ...; [Hamzeh MA, et al; 2009] Investigation of changes ...; [Hernandez L, et al; 2003] Heavy metal ...; [Keller A, Schulin R; 2003] Modeling regional ...; [Keller A, et al; 2001] A stochastic empirical ...; [Khodakarami L; 2009] Evaluation of non-point ...; [Krzysztof L, et al; 2004] Metal contamination ...; [Loska K, Wiechula D; 2003] Application of principal ...; [Luo X-S, et al; 2015] Source identification ...; [MacFarlane GR, Burchett MD; 2000] Cellular distribution ...; [Mirzaei R, et al; 2014] Ecological risk of heavy ...; [Mucha AP, et al; 2003] Macro benthic community ...; [Muller G; 1969] Index of geoaccumulation ...; [Munendra S, et al; 2002] Heavy metals in freshly ...; [Nguyen HL, et al; 2005] Correlations partitioning ...; [Qishlag A, et al; 2007] Impact of untreated ...; [Rahmani M; 2015] The effect of municipal ...; [Rodriguez Martin JA, et al; 2006] Heavy metals contents ...; [Shahbazi AS; 2011] Evaluation of the impact ...; [Shajan KP; 2001] Geochemistry of bottom sediments ...; [Shayestefar M, Rezai AS; 2011] Evaluation of heavy metal ...; [Singh KP, et al; 2005] Studies on distribution and ...; [Taghipour M, et al; 2010] Contribution of litho logic and ...; [Tanner P, et al; 2000] Contamination of heavy metals ...; [Walkey A, Black IA; 1934] An examination of the Degtjareff ...; [Wang Sh, et al; 2008] Concentration distribution ...; [Wong SC, et al; 2002] Heavy metals in agricultural ...; [Yalcin MG, et al; 2007] Heavy metal sources in Sultan ...; [Yang Z, et al; 2012] Remediation of heavy metal ...; [Yongming H, et al; 2005] Multivariate analysis ...; [Zhang W, et al; 2009] Heavy metal contamination in ...; [Zhao Y, et al; 2010] Spatial interrelations and multi ...

اثرات آلودگی فلزات سنگین ناشی از شیرابه پسماند بر خاک جنگلی منطقه انجیل سی بابل

محمد رحمانی* PhD

گروه علوم محیط زیست، دانشکده علوم دریایی، دانشگاه مازندران، مازندران، ایران

طاهره آذری PhD

گروه علوم زمین، دانشکده علوم پایه، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

ساره ملاآقاچازاده PhD

گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، مازندران، ایران

چکیده

اهداف و زمینه‌ها: بخشی از عناصر جزئی در طبیعت را فلزات سنگین تشکیل می‌دهد. خاک‌های جنگلی به‌طور مستقیم و غیرمستقیم بر روی سلامت عمومی از طریق تولید عوامل تغذیه‌ای بر روی گیاهان و جانوران موجود در اکوسیستم تأثیر می‌گذارند. آلودگی در خاک‌های جنگلی ممکن است منجر به بی‌نظمی در ساختار خاک، دخالت در رشد گیاهان، درختان و حتی آلودگی خاک به فلزات سنگین نظیر آهن، جیوه، نقره، آرسنیک، کروم، منگنز، کبالت، مس، مولیبدن، نیکل، روی، قلع و تنگستن براساس شاخص‌های مختلف آلودگی شود.

روش‌شناسی: جهت انجام مطالعه تعداد ۴۰ نمونه خاک از منطقه دفن پسماند زائد شهرستان بابل (انجیل سی بابل) به‌صورت سیستماتیک برداشت شد و غلظت فلزات با استفاده از دستگاه ICP اندازه‌گیری شد. فاکتور غنی‌شدگی و شاخص زمین‌انباشتگی جهت تعیین میزان آلودگی منطقه مورد مطالعه مورد استفاده قرار گرفتند.

یافته‌ها: نتایج مطالعه نشان داد که غلظت آهن، آرسنیک، کروم، نیکل و کبالت در منطقه مورد مطالعه بیشتر از حداکثر غلظت قابل قبول برای استاندارد Ericson 2011 است. میزان شاخص زمین‌انباشتگی برای همه فلزات به دست آمد، در نتیجه غلظت فلزات در خاک به منشأ شیرابه حاصل از دفن پسماند در آن منطقه ارتباط داده شد. مقادیر شاخص فاکتور آلودگی (CF) نشان داد که اکثر نمونه‌ها در طبقه بدون آلودگی تا متوسط قرار دارند و فاکتور آلودگی برای فلزات آهن، کروم و تنگستن بیشترین مقدار را داشت. به‌طور کلی حدود ۲۰٪ از داده‌ها در طبقه آلودگی متوسط تا شدید قرار داشت.

نتیجه‌گیری: تجزیه و تحلیل نقشه پهنه‌بندی شاخص زمین‌انباشتگی نشان داد که منشأ عناصر سنگین موجود در منطقه، زمین‌شناسی و به‌طور اخص شیرابه پسماند است.

کلیدواژه‌ها: شاخص زمین‌انباشتگی، فاکتور غنی‌شدگی، فاکتور آلودگی، فلزات سنگین، جنگل انجیل سی بابل

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۳/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۲/۲۲

*نویسنده مسئول: m.rahmani@umz.ac.ir

مقدمه

گام اول در ارزیابی گستردگی و شدت آلودگی فلزات سنگین در مناطق مشکوک به آلودگی، تعیین غلظت فلزات است. از این رو برای حفظ محیط زیست و کنترل آلودگی باید اطلاعات دقیقی از میزان آلودگی‌ها به خصوص فلزات سنگین و پراکنش آنها در محیط‌های طبیعی داشته باشیم. فلزات سنگین به‌طور طبیعی در سطوح مختلف زمین و آب‌ها وجود دارند، اگر میزان این فلزات بیش

از میزان طبیعی شود با توجه به ثبات شیمیایی، تجزیه‌پذیری ضعیف و داشتن قدرت تجمع زیستی در بدن موجودات زنده تبدیل به آلاینده‌های مضر می‌شوند [Abraham & Parker, 2008; Cevik et al, 2009]. فلزات سنگین موجود در خاک دو منشأ طبیعی و انسانی دارند. بخشی از غلظت عناصر کمیاب در خاک، به‌طور عمده در اثر هوازگی سنگ‌های بستر و واریزه‌های غیرآلوده، اجزای اصلی خاک را تشکیل می‌دهند. پس از رسیدن عناصر کمیاب به اکوسیستم‌های آبی و خاکی، ممکن است فرآیندهای ژئوشیمیایی زیست محیطی بر غلظت آنها در رسوبات تأثیر بگذارد [Wang et al, 2002; Wong et al, 2008]. انباشتگی و توزیع فلزات سنگین در خاک تحت تأثیر عواملی چون، بافت خاک، ترکیب مینرالوژیکی، فرآیندهای جذب و پس‌دهی (Desorption) و همچنین نقل و انتقال فیزیکی قرار دارد. مشارکت این فلزات در مکانیسم‌های بیوژئوشیمیایی گوناگون و همچنین قابلیت تحرک قابل‌توجه این عناصر، روی اکوسیستم‌ها در فرآیندهای انباشتگی تأثیرگذار است [Gonzales et al, 2006; Ghrefat & Yusuf, 2006].

[2006] خاک‌های جنگلی به‌طور مستقیم و غیرمستقیم بر روی سلامت عمومی از طریق تولید عوامل تغذیه‌ای بر روی گیاهان و جانوران موجود در این اکوسیستم تأثیر می‌گذارند بنابراین حفاظت از این منبع و اطمینان از پایداری آن حائز اهمیت است. افزایش جمعیت و به تبع آن تولید پسماندهای زائد شهری و دفن غیر اصولی این پسماندها در محیط‌های جنگلی منجر به افزایش نگرانی‌ها در مورد پتانسیل تجمع فلزات سنگین در خاک‌های جنگلی شده است. آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های جنگلی ممکن است منجر به بی‌نظمی در ساختار خاک، دخالت در رشد گیاهان و درختان و حتی آسیب به سلامت انسان از طریق ورود به زنجیره غذایی گردد [Wong et al, 2002; Yalcin et al, 2007; Anazawa et al, 2004].

بهبود و همکاران آلودگی فلزات سنگین را در خاک‌های کشاورزی با استفاده از چندین شاخص، فاکتور غنی‌شدگی (Enrichment Factor - EF) شاخص زمین‌انباشتگی (Geo accumulation Index - Igeo) و شاخص بار اکولوژی (Pollution Load Index - PLI) مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان از غنی‌شدگی معنی دار خاک‌ها با فلزات تیتانیم، منگنز، روی، سرب، آرسنیک، آهن، استرانسیم و آنتیموان حاصل از ورودی از فعالیت‌های معدنی بود [Bhuiyana et al, 2010; Rodriguez et al, 2006; Angulo, 1996; Adomako et al, 2008].

با توجه به اهمیت آگاهی از میزان غنی‌شدگی فلزات سنگین در خاک‌های کشاورزی مطالعات متعددی در کشور صورت گرفته است. به دلیل عدم بررسی تحقیقات کافی جهت احصاء اثرات فلزات سنگین ناشی از شیرابه‌های حاصل از پسماند زائد شهری و اهمیت مضاعف این ذخائر با ارزش اکولوژیکی برای حفظ آب و خاک و برقراری توازن زیست محیطی در جهت پایداری و متعاقباً تأثیر فعالیت‌های مخرب همچنین دفن غیراصولی پسماند زائد شهری بر

اثرات آلودگی فلزات سنگین ناشی از شیرابه پسماند بر خاک جنگلی منطقه انجیل سی بابل ۳۳
محل اتصال شبکه‌ها به هم به‌عنوان نقاط نمونه‌برداری تعیین شد.
بدین وسیله تعداد ۴۰ نمونه خاک از عمق ۰-۳۰ سانتی متر (پس از
حذف لاشبرگ) برداشت شد.

پس از نمونه‌برداری از خاک طبق شبکه‌بندی انجام شده، نمونه‌های
خاک به آزمایشگاه انتقال شد و در آزمایشگاه نمونه‌ها خشک گردید
پس از کوبیده‌شدن در هوا از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند.
سپس ۲ گرم از خاک در دو تکرار درون فلاسک‌های دردار ریخته، به
آن ۱۵ میلی‌لیتر اسید نیتریک ۴ نرمال اضافه شد. بعد فلاسک‌ها را
به صورت ۱۲ ساعت در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد حمام آب گرم قرار
داده، بعد از گذشت زمان فوق، نمونه‌ها را صاف و غلظت فلزات
سنگین در آنها به وسیله دستگاه ICP اندازه‌گیری شد
[Karbassi, 1989; Audry et al, 2004].

ارزیابی خاک جنگلی منطقه مورد مطالعه

در این مطالعه از معیارهای مختلف (فاکتور غنی‌شدگی و شاخص
زمین انباشتگی) جهت بررسی سنجش میزان آلودگی خاک به فلزات
سنگین استفاده شد.

الف- شاخص زمین انباشتگی (Igeo)

شاخص زمین انباشتگی که توسط مولر معرفی شده است
[Muller, 1969]، شاخصی است که می‌تواند درجه آلودگی
خاک را تعیین کند و از رابطه (۱) محاسبه می‌شود:

$$I_{geo} = \log_2 \left[\frac{C_n}{1.5B_n} \right] \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن C_n غلظت فلزات سنگین در خاک نمونه و B_n مقادیر زمینه
همان فلز سنگین در خاک است. ضریب ۱/۵ هم برای حذف تغییرات
احتمالی زمین به علت تأثیرات زمین شناختی اعمال می‌شود
[Ghrafat & Yusuf, 2006]. شاخص زمین انباشتگی (تجمع
ژئوشیمیایی) هفت گروه دارد که براساس مقادیر آن، رسوبات از
غیرآلوده تا به شدت آلوده طبقه‌بندی می‌شوند (جدول ۱).
[Gonzales et al, 2006; Bermejo et al, 2003; Bhuiyana
et al, 2010; Adama et al, 2005]

جدول ۱) کلاس‌بندی شاخص غنی‌شدگی زمین‌شناسی

درجه آلودگی	محدوده Igeo	شدت آلودگی
۰	<۰	بدون آلودگی
۱	۰ < Igeo < ۱	بدون آلودگی تا آلودگی متوسط
۲	۱ < Igeo < ۲	آلودگی متوسط
۳	۲ < Igeo < ۳	آلودگی متوسط تا شدید
۴	۳ < Igeo < ۴	آلودگی شدید
۵	۴ < Igeo < ۵	آلودگی شدید تا بی نهایت
۶	>۵	آلودگی بی نهایت

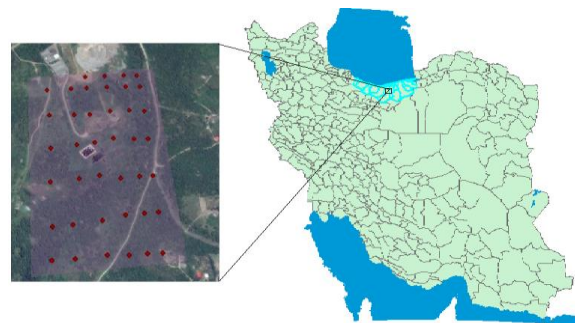
ب- فاکتور غنی‌شدگی (EF)

فاکتور غنی‌شدگی بیانگر شدت تأثیر عامل خارجی بر خاک است. در
فاکتور غنی‌شدگی معمولاً غلظت عناصر در نمونه آلوده با غلظت آن
عنصر در نمونه زمینه مقایسه می‌گردد [Munendra et al,
2002; Nguyen et al, 2005; Qishlag et al, 2007] و برای
حذف برخی غنی‌شدگی‌ها، عناصری مانند آهن، آلومینیوم،

روی کیفیت خاک و درختان موجود و نهایتاً سلامت انسان و
جانوران لزوم انجام این پژوهش را به‌منظور بررسی میزان تجمع
فلزات سنگین به‌عنوان یکی از آلاینده‌های مهم ناشی از این گونه
فعالیت‌ها در خاک، بیش از پیش آشکار می‌سازد. با توجه به این
مهم این تحقیق با هدف میزان آلودگی فلزات سنگین نظیر قلع،
روی، نیکل، مولیبدن، مس، کبالت، منگنز و کروم در منطقه دفن
زباله شهرستان بابل (جنگل انجیل سی) با استفاده از معیارهای
شاخص فاکتور غنی‌شدگی و تجمع ژئوشیمیایی و همچنین ارزیابی
وضعیت اکولوژی خاک منطقه مورد مطالعه به این فلزات انجام
گرفت. در بسیاری از مطالعات برای تعیین سطوح آلودگی از این
شاخص‌ها استفاده شده است [Rahmani, 2015]

روش‌شناسی

محل دفن پسماند زائد شهرستان بابل در منطقه جنگلی انجیل سی
با مشخصات جغرافیایی ۶۵۲۱۶ شمالی و ۴۰۱۹۹۵۹ شرقی با کد
ارتفاعی ۶۵۰ تا ۸۰۰ متر است. از شمال به روستای هلی خال، از
غرب به ارتفاعات منتهی به سرشاخه رودخانه‌های سجاد رود، از شرق
به محدوده ارتفاعات منتهی به دشت درازکلا و رودخانه بابلرود و از
جنوب به محدوده ارتفاعات محل دفن زباله و از شمال به روستای
فرش کتی و دشت‌های منتهی به رودخانه بابلرود محدود می‌گردد.
منطقه مورد مطالعه دفن زباله از اطراف به جنگل‌های انبوه محدود
می‌گردد که جزئی از سری ۷ طرح جنگلداری بابلرود است. این
محدوده در شماره قطعه ۴ با مساحتی برابر ۸۵ هکتار با تیپ جنگلی
کلهو، کرات، انجیلی و کلهو مرزستان با شیبی برابر ۱۰ تا ۹۰٪ در
جهت‌های شمال غربی، شمال و شمال شرقی واقع شده است که
روزانه ۳۰۰ تن از زباله‌های شهرهای بابل، امیرکلا، گتاب، گلوگاه،
مرزیکلا و زرگر محله به محل فوق حمل می‌شود [Forestry Plan
Report, 2011]. شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان
می‌دهد.



شکل ۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه و پراکنش نقاط نمونه‌برداری

نمونه‌برداری خاک و آنالیز نمونه‌های خاک

نمونه برداری براساس روش سیستماتیک انجام گرفت. برای این کار
ابتدا منطقه مورد نظر با استفاده از نرم‌افزار ARCGIS نسخه ۱۰/۲ و
تصویر ماهواره‌ای از منطقه، به شبکه‌های مشخص تقسیم‌بندی شد،

حداکثر غلظت قابل قبول براساس میلی‌گرم بر کیلوگرم برای استاندارد Ericson 2011 است (شکل ۲).

ب- تجزیه و تحلیل شاخص Igeo

از شاخص غنی‌شدگی زمین‌شناسی (زمین انباشت) Igeo برای آشکارسازی منشأ آلاینده‌ها و تفکیک آلاینده‌های طبیعی از انسانی استفاده می‌گردد. براساس رابطه ۱ اندیس Igeo برای نمونه‌های اخذ شده از خاک، محاسبه و داده‌ها در محیط GIS کلاسه‌بندی گردید (جدول ۵) و پهنه‌بندی به روش Voronoi در محیط Geostatistical Analyst صورت گرفت و عوامل آلاینده در هر ایستگاه به تفکیک منشأ مشخص گشت. تمامی سلول‌های سفید رنگ در جدول ۵ دارای ارزش آلودگی ۱ هستند که نشان‌دهنده محدوده‌های بدون آلودگی تا آلودگی متوسط هستند و سایر سلول‌های جدول ۵ که به‌صورت طوسی نمایش داده شده‌اند دارای میزان Igeo بیشتر از ۱ هستند که از نظر آلودگی حائز اهمیت هستند.

آشکارسازی منشأ آلاینده‌ها و تفکیک آلاینده‌های طبیعی از انسانی برای عناصر سنگین براساس کلاسه‌بندی شاخص تجمع ژئوشیمیایی جدول ۱، جدول ۵ و شکل ۳، به شرح زیر است:

عنصر آهن در خاک، در ایستگاه S6 با ارزش (۵) در کلاسه‌بندی‌های آلودگی شدید تا بی‌نهایت، در ایستگاه‌های S7 و S5، با ارزش (۳) در کلاسه‌بندی متوسط تا شدید، در ایستگاه‌های S8 تا S20 و S22، S24 و S25 با ارزش (۲) در کلاسه‌بندی آلودگی متوسط، و در بقیه ایستگاه‌ها با ارزش (۱) در طبقه بدون آلودگی تا آلودگی متوسط قرار می‌گیرند. عنصر آرسنیک در خاک، در ایستگاه S6 با ارزش (۳) در کلاسه‌بندی‌های آلودگی متوسط تا شدید، در ایستگاه‌های S8 و S12 و S7، با ارزش (۲) در کلاسه‌بندی آلودگی متوسط و در بقیه ایستگاه‌ها با ارزش (۱) در طبقه بدون آلودگی تا آلودگی متوسط قرار می‌گیرند. عنصر کروم در خاک، در ایستگاه S5 با ارزش (۳) در کلاسه‌بندی‌های آلودگی متوسط تا شدید، در ایستگاه S6 با ارزش (۵) در کلاسه‌بندی‌های آلودگی شدید تا بی‌نهایت، در ایستگاه‌های S8 و S9 و S11 و S12 و S13 و S7، با ارزش (۲) در کلاسه‌بندی آلودگی متوسط و در بقیه ایستگاه‌ها با ارزش (۱) در طبقه بدون آلودگی تا متوسط قرار می‌گیرند. عنصر منگنز در خاک، در ایستگاه‌های S5 و S7 با ارزش (۳) در کلاسه‌بندی‌های آلودگی متوسط تا شدید، در ایستگاه S با ارزش (۴) در کلاسه‌بندی‌های آلودگی شدید، در ایستگاه‌های S8 تا S13، با ارزش (۲) در کلاسه‌بندی آلودگی متوسط و در بقیه ایستگاه‌ها با ارزش (۱) در طبقه بدون آلودگی تا آلودگی متوسط قرار می‌گیرند. عنصر کبالت در خاک، در ایستگاه S5 و S6 و S7 و S8 و S12 و S13 با ارزش (۲) در کلاسه‌بندی‌های آلودگی متوسط و در بقیه ایستگاه‌ها با ارزش (۱) در طبقه بدون آلودگی تا آلودگی متوسط قرار می‌گیرند. عنصر مس در خاک، در ایستگاه S5 تا S15 و S17 تا S20 با ارزش (۲) در کلاسه‌بندی‌های آلودگی متوسط و در بقیه ایستگاه‌ها با ارزش (۱) در طبقه بدون آلودگی تا آلودگی متوسط قرار می‌گیرند. عنصر

اسکاندیوم، ایتریوم، تیتانیوم و استرانسیوم را در رابطه غنی‌شدگی تأثیر می‌دهند. EF در واقع یک رابطه خطی بین یکسری عناصر مرجع و دیگر عناصر است که این عناصر مرجع به علت اینکه آلودگی‌های طبیعی را از انسانی جدا می‌کنند به‌عنوان عنصر مرجع شناخته می‌شوند. EF معیار مناسبی برای تفکیک منابع انسانی و طبیعی فلزات سنگین است [Shayestehfar & Rezaei, 2011; Shajan 2001; Walkey & Black, 1934; Mucha et al, 2003; Mirzaei et al, 2014; Hernandez et al, 2003; Facchinelli et al, 2001; Davis 1986; Chen et al, 2007] شاخص غنی‌سازی یک شاخص ژئوشیمیایی است بر مبنای تخمین آلودگی به تغییرات غلظت شیمیایی طبیعی در خاک (جدول ۲). این شاخص براساس رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$F = \left(\frac{C_n}{Fe} \right)_{\text{sample}} / \left(\frac{C_n}{Fe} \right)_{\text{Background}} \quad (2)$$

در این رابطه منظور از $\left(\frac{C_n}{Fe} \right)_{\text{sample}}$ نسبت غلظت فلز سنگین محاسبه شده به غلظت آهن محاسبه شده در آن ایستگاه و منظور از $\left(\frac{C_n}{Fe} \right)_{\text{Background}}$ نسبت مقدار زمینه غلظت همان فلز سنگین به مقدار زمینه غلظت آهن است. آنجایی که در محاسبه فاکتور غنی‌شدگی، توزیع آهن نسبت به بقیه فلزات سنگین متناسب نیست و آهن به‌طور معمول غلظت طبیعی بالایی دارد، از Fe به عنوان فلز نرمالیزه شده، استفاده شده است. مقادیر فاکتور غنی‌شدگی به‌صورت زیر طبقه‌بندی می‌شوند [Cevik, 2009]

جدول ۲) کلاسه‌بندی شاخص غنی‌شدگی EF

عامل غنی‌شدگی	شدت غنی‌شدگی	گروه
< ۱	بدون غنی‌شدگی	۱
۱-۳	غنی‌شدگی کم	۲
۳-۵	غنی‌شدگی متوسط	۳
۵-۱۰	غنی‌شدگی متوسط تا شدید	۴
۱۰-۲۵	غنی‌شدگی شدید	۵
۲۵-۵۰	غنی‌شدگی خیلی شدید	۶
> ۵۰	غنی‌شدگی بی‌نهایت شدید	۷

یافته‌ها

ارزیابی میزان آلودگی خاک

الف- تجزیه و تحلیل آماری

نتایج آزمون کولموگروف-اسمیرنوف در جدول ۳ نشان داد که غلظت فلزات سنگین و پارامترهای فیزیک و شیمیایی خاک منطقه مورد مطالعه، از توزیع نرمال برخوردارند. توصیف آماری غلظت فلزات سنگین و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در نمونه‌های برداشت شده در جدول ۴ آمده است. جهت تعیین میزان آلودگی خاک به عناصر سنگین بایستی میزان غلظت عناصر در منطقه با یک استاندارد شناخته شده مقایسه شود. بهترین نوع مقایسه با استانداردهای موجود برای همان منطقه است، در این مطالعه به دلیل عدم وجود استاندارد خاص برای آلودگی خاک در کشور، از استانداردهای موجود در دیگر کشورها استفاده شد. میانگین غلظت عناصر آهن، آرسنیک، کروم، نیکل و کبالت در منطقه بیشتر از

کلاسه‌بندی شده و شدت و یا ضعف آلودگی در هر ایستگاه مشخص گردید. تمامی سلول‌هایی که در جدول ۶ طوسی رنگ نشان داده شده‌اند دارای میزان EF بزرگتر مساوی ۱ هستند که از نظر آلودگی حائز اهمیت هستند و سلول‌های سفید رنگ با EF کوچکتر از ۱، نشان‌دهنده مناطق فاقد غنی‌شدگی هستند.

براساس کلاسه‌بندی شاخص EF جدول ۶ و شکل ۴ که در ذیل آورده شده، آشکارسازی غنی‌شدگی انسان‌زاد برای عناصر سنگین اندازه‌گیری شده، به شرح زیر است: عناصر مولیبدن، مس، کبالت، منگنز و آهن در خاک در تمامی ایستگاه‌ها به جز ایستگاه S1 که جزء کلاس ۲ با غنی‌شدگی کم است بدون غنی‌شدگی (کلاس ۱) هستند. عنصر آرسنیک در ایستگاه‌های S1 و S6 دارای غنی‌شدگی کم (کلاس ۲) است و در مابقی ایستگاه‌ها بدون غنی‌شدگی (کلاس ۱) است. عنصر کروم در تمامی ایستگاه‌ها به جز ایستگاه‌های S1 و S33 و S36 و S40 که جزء کلاس ۲ با غنی‌شدگی کم است بدون غنی‌شدگی (کلاس ۱) است. همچنین عنصر نیکل در تمامی ایستگاه‌ها به جز ایستگاه S1 و S4 و S33 و S36 و S40 که جزء کلاس ۲ با غنی‌شدگی کم است بدون غنی‌شدگی (کلاس ۱) است.

عنصر روی در ایستگاه‌های S11-S13 و S22 و S25-S27 و S29-S40 S1-S4 S8 جزء کلاس ۲ با غنی‌شدگی کم است و در سایر ایستگاه‌ها جزء کلاس ۱ و بدون غنی‌شدگی است. همچنین در این تحلیل عنصر قلع در تمامی ایستگاه‌ها جزء ریف غنی‌شدگی کم (کلاس ۲) است و تنها در سه ایستگاه S2 و S3 و S4 بدون غنی‌شدگی (کلاس ۱) است. عنصر تنگستن در تمامی ایستگاه‌ها به غیر از ایستگاه‌های S1-S33 و S34 که جزء کلاس ۲ با غنی‌شدگی کم است بدون غنی‌شدگی است.

مولیبدن در خاک، تنها در ایستگاه‌های S5 و S6 با ارزش (۲) در کلاسه‌بندی‌های آلودگی متوسط و در بقیه ایستگاه‌ها با ارزش (۱) در طبقه بدون آلودگی تا آلودگی متوسط قرار می‌گیرند. عنصر نیکل در خاک، در تمامی ایستگاه‌ها با ارزش (۱) و در طبقه بدون آلودگی تا آلودگی متوسط قرار می‌گیرند. عنصر روی در خاک، در ایستگاه S6 با ارزش (۳) در کلاسه‌بندی‌های متوسط تا شدید و در ایستگاه‌های S5 تا S13 و S17 تا S20 با ارزش (۲) در کلاسه‌بندی‌های آلودگی متوسط و در بقیه ایستگاه‌ها با ارزش (۱) در طبقه بدون آلودگی تا آلودگی متوسط قرار می‌گیرند. عنصر قلع در خاک، در ایستگاه‌های S5 تا S20 با ارزش (۲) در کلاسه‌بندی‌های آلودگی متوسط و در بقیه ایستگاه‌ها با ارزش (۱) در طبقه بدون آلودگی تا آلودگی متوسط قرار می‌گیرند. عنصر تنگستن در خاک، در ایستگاه S6 با ارزش (۶) در کلاسه‌بندی آلودگی بی‌نهایت، ایستگاه‌های S5، S7، S8 و S12 با ارزش (۵) در کلاسه‌بندی‌های آلودگی شدید تا بی‌نهایت، در ایستگاه‌های S11 و S13 با ارزش (۴) در کلاسه‌بندی آلودگی شدید، در ایستگاه‌های S9 و S10 و S17 و S18 و S19 با ارزش (۳) در کلاسه‌بندی آلودگی متوسط تا شدید، در ایستگاه‌های S33 و S34 و S40 با ارزش (۱) در کلاسه‌بندی بدون آلودگی تا آلودگی متوسط و در سایر ایستگاه‌ها با ارزش (۲) در کلاسه‌بندی آلودگی متوسط قرار می‌گیرد.

ج- تجزیه و تحلیل شاخص (EF)

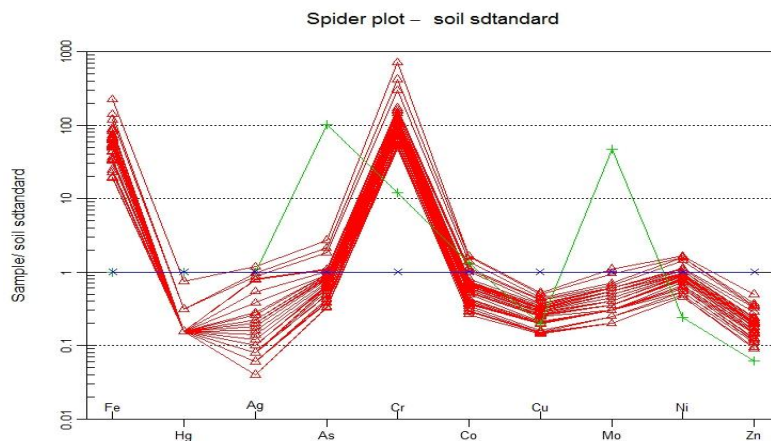
بهترین ابزار برای آزمون غنی‌شدگی انسان‌زاد، استفاده از نرم‌الیزه کردن غلظت فلزات به عنصر مرجع است. برای تخمین میزان غلظت عناصر سنگین و پردازش میزان آلودگی ناشی از آنها، از فاکتور غنی‌شدگی (EF) استفاده شد که براساس رابطه (۲) برای داده‌های خام محاسبه شد و داده‌ها در محیط GIS براساس جدول ۲

جدول ۳) آزمون توزیع نرمال کولوموگروف- اسمیرنوف

عناصر تعداد	آهن	جیوه	نقره	آرسنیک	کروم	منگنز	کبالت	مس	مولیبدن	نیکل	روی	قلع	تنگستن	سرب
۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰
پارامتر	۲۵۰۸۸	۰/۰۳۳۳	۰/۱۱۵۰	۸/۲۰	۷۸/۵۰	۵/۳۰	۱۱/۷۰	۱۶/۴۰	۰/۸۴	۳۰/۶۰	۵۴/۶۰	۰/۹۷	۰/۴۶	۱۲/۱۰
نرمال	۱۷۶۲۰	۰/۰۱۴۷۴	۰/۱۴۳۱۷	۵/۴۰	۷/۹۰	۳/۹۰	۶/۷۰	۶/۶۰	۰/۴۰	۱/۲۰	۲/۶۰	۰/۴۰	۰/۳۱	۶/۵۰
مطلق	۰/۱۷۷	۰/۵۱۲	۰/۲۸۹	۰/۲۱۲	۰/۲۶۸	۰/۲۸۰	۰/۱۸۶	۰/۰۹۷	۰/۱۶۱	۰/۱۰۵	۰/۱۴۹	۰/۱۷۶	۰/۲۵۱	۰/۱۸۷
حداکثر تفاوت مثبت	۰/۱۷۷	۰/۵۱۲	۰/۲۸۹	۰/۲۱۲	۰/۲۶۸	۰/۲۸۰	۰/۱۸۶	۰/۰۹۷	۰/۱۶۱	۰/۱۰۵	۰/۱۴۹	۰/۱۷۶	۰/۲۵۱	۰/۱۸۷
منفی	-۰/۱۲۷	-۰/۴۱۳	-۰/۲۳۲	-۰/۱۴۸	-۰/۲۲۹	-۰/۱۴۹	-۰/۱۰۳	-۰/۰۴۵	-۰/۱۳۹	-۰/۰۷۶	-۰/۰۶۷	-۰/۰۸۷	-۰/۱۳۰	-۰/۱۰۵
کولوموگروف- اسمیرنوف	۱/۱۱۸	۳/۲۴۰	۱/۸۲۷	۱/۳۳۸	۱/۶۹۳	۱/۷۷۳	۱/۱۷۵	۰/۶۱۲	۱/۰۲۱	۰/۶۶۵	۰/۹۴۵	۱/۱۱۱	۱/۵۸۷	۱/۱۸۳
اسیم. سیگ	۰/۱۶۴	۰/۰۰۵	۰/۰۰۶	۰/۰۵۶	۰/۰۰۶	۰/۰۰۵	۰/۱۲۶	۰/۸۴۸	۰/۲۴۸	۰/۷۶۸	۰/۳۳۴	۰/۱۶۹	۰/۰۱۳	۰/۱۲۲

جدول ۴) برخی آمار توصیفی غلظت عناصر سنگین (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در خاک منطقه مورد مطالعه

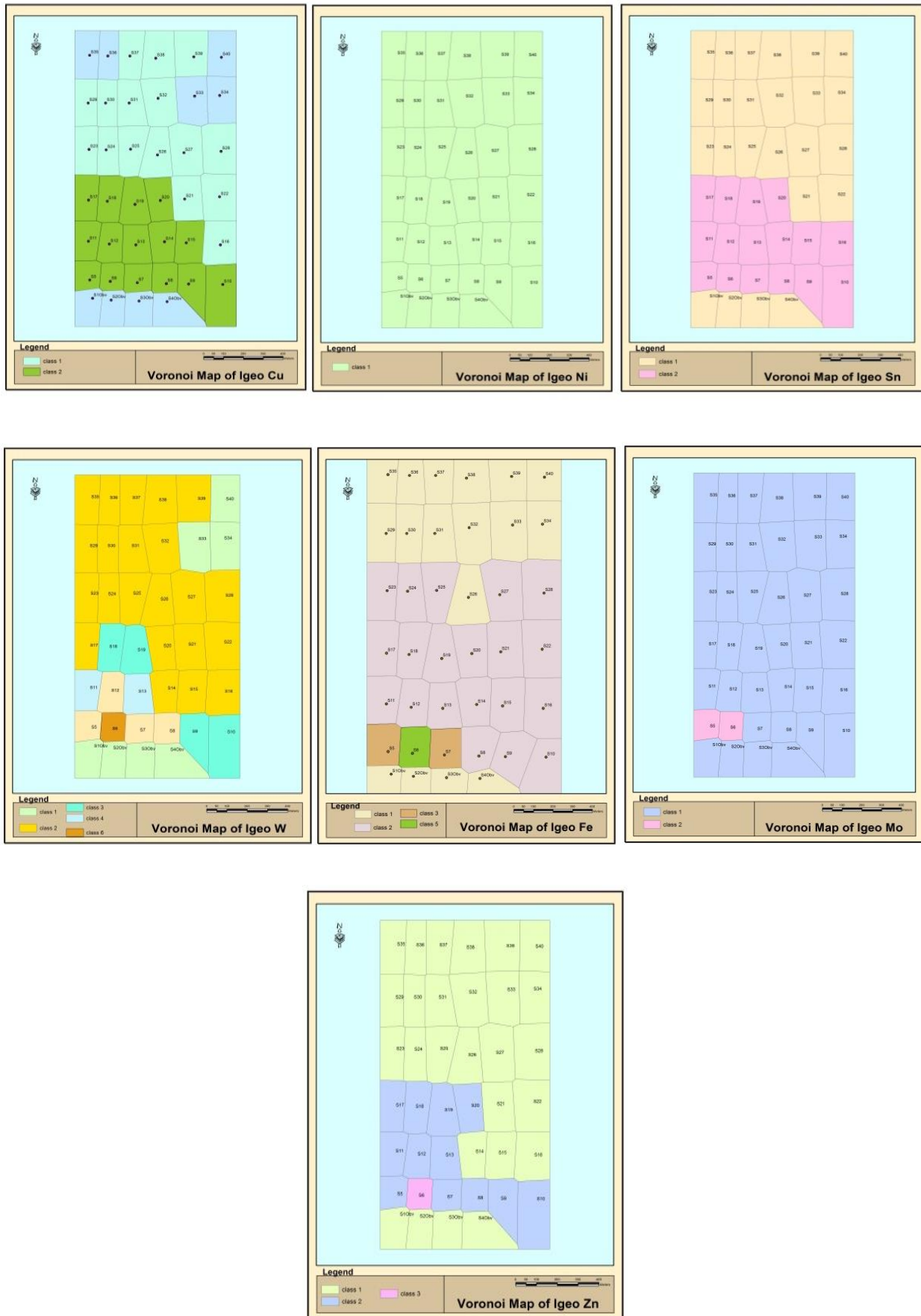
عناصر	آهن	جیوه	نقره	آرسنیک	کروم	منگنز	کبالت	مس	مولیبدن	نیکل	روی	قلع	تنگستن	سرب
میانگین	۲۵۰۸۸	۰/۰۳۳۳	۰/۱۱۵۰	۸/۲۰	۷۸/۵۰	۵/۳۰	۱۱/۷۰	۱۶/۴۰	۰/۸۴	۳۰/۶۰	۵۴/۶۰	۰/۹۷	۰/۴۶	۱۲/۱۰
میانه	۲۳۵۰۰	۰/۰۳۰۰	۰/۰۶۰۰	۷/۱	۵۶	۴/۳	۱۰/۷	۱۶/۳	۰/۷۰	۳۰/۵	۵۴/۱	۰/۹۰	۰/۴۰	۱۱/۱۰
انحراف معیار	۱۷۶۲۰	۰/۰۱۴۷۴	۰/۱۴۳۱۷	۵/۴۰	۷/۹۰	۳/۹۰	۶/۷۰	۶/۶۰	۰/۴۰	۱/۲۰	۲/۶۰	۰/۴۰	۰/۳۱	۶/۵۰
واریانس	۳/۱	۰/۰۰۰	۰/۰۲۲	۲۹/۴	۶/۲	۱/۵	۴۵	۴۴/۵	۰/۱۶	۱۵۲/۰۲	۷۲۰/۴	۰/۱۶	۰/۰۹	۴۲/۸۰
دامنه	۹/۶	۰/۰۹	۰/۵۷	۲۷/۲	۴۵۲	۱۹۹۸	۲۸/۲	۲۸/۳	۱/۸۰	۴۸	۱۳۰/۹	۱/۶	۱/۲۰	۳۱/۶۰
حداقل	۴۴۹۰	۰/۰۳	۰/۰۲	۲/۶	۲۰	۱۲۲	۳/۲	۴	۰/۴	۱۳	۱۳/۱۰	۰/۲۰	۰/۰۵	۳/۸۰
حداکثر	۱۰۱۰۰۰	۰/۱۲	۰/۵۹	۲۹/۸	۴۷۲	۲۱۲۰	۳۱/۴	۳۲/۳	۲/۲	۶۱	۱۴۴	۱/۸	۱/۳۰	۳۵/۴۰



شکل ۲) مقایسه مقادیر عناصر سنگین موجود در خاک نسبت به استاندارد Ericson 2011

جدول ۵) پارامتر تجمع ژئوشیمیایی Igeo عناصر مختلف در نمونه‌های اخذ شده از خاک

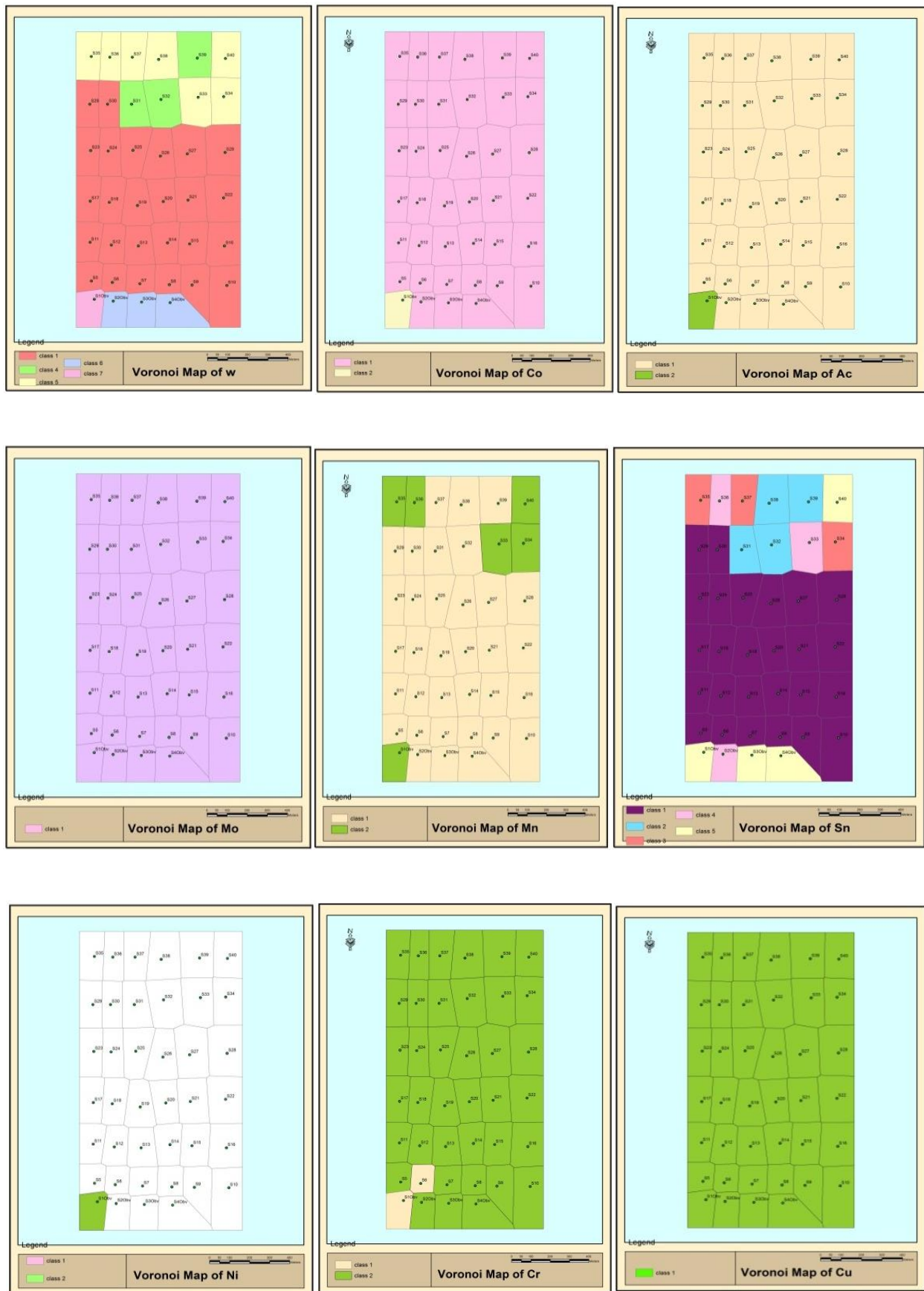
نمونه	آهن	آرسنیک	کروم	منگنز	کبالت	مس	مولیبدن	نیکل	روی	قلع	تنگستن
S1	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲
S2	۰/۳	۰/۲	۰/۳	۰/۳	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۳	۰/۲
S3	۰/۳	۰/۲	۰/۳	۰/۵	۰/۲	۰/۳	۰/۲	۰/۲	۰/۳	۰/۳	۰/۲
S4	۰/۳	۰/۳	۰/۵	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۲	۰/۲	۰/۳	۰/۳	۰/۲
S5	۲/۷	۰/۸	۲/۷	۲/۷	۱/۸	۱/۵	۱/۰۲	۰/۹	۱/۵	۱/۸	۴/۸
S6	۴/۵	۲/۴	۴/۱	۳/۳	۱/۸	۱/۵	۱/۰۳	۰/۹	۲/۱	۱/۸	۵/۲
S7	۲/۳	۱/۵	۱/۸	۲/۱	۱/۵	۱/۱	۰/۶	۰/۶	۱/۵	۱/۸	۴/۰۱
S8	۱/۸	۱/۱	۱/۱	۱/۵	۱/۳	۱/۱	۰/۶	۰/۶	۱/۵	۱/۸	۴/۰۱
S9	۱/۴	۰/۶	۱/۱	۱/۰۱	۰/۶	۱/۱	۰/۶	۰/۶	۱/۰۱	۱/۳	۲/۴
S10	۱/۵	۰/۶	۰/۶	۱/۰۲	۰/۶	۱/۱	۰/۳	۰/۶	۱/۰۲	۱/۳	۲/۴
S11	۱/۴	۰/۶	۱/۱	۱/۰۲	۰/۹	۱/۲	۰/۶	۰/۶	۱/۰۲	۱/۴	۳/۶
S12	۱/۵	۱/۱	۱/۱	۱/۲	۱/۴	۱/۲	۰/۶	۰/۶	۱/۳	۱/۶	۴/۰۱
S13	۱/۵	۰/۶	۱/۱	۱/۴	۱/۰۵	۱/۱	۰/۶	۰/۶	۱/۳	۱/۶	۳/۶
S14	۱/۲	۰/۶	۰/۶	۰/۶	۰/۷	۱/۱	۰/۳	۰/۳	۰/۹	۱/۶	۱/۸
S15	۱/۲	۰/۶	۰/۶	۰/۶	۰/۷	۱/۱	۰/۳	۰/۳	۰/۹	۱/۶	۱/۶
S16	۱/۱	۰/۶	۰/۶	۰/۶	۰/۷	۰/۹	۰/۳	۰/۳	۰/۶	۱/۶	۱/۶
S17	۱/۴	۰/۶	۰/۶	۰/۶	۰/۳	۱/۰۵	۰/۳	۰/۳	۱/۰۵	۱/۰۵	۲
S18	۱/۶	۰/۶	۰/۶	۰/۹	۰/۳	۱/۰۶	۰/۳	۰/۳	۱/۰۶	۱/۰۶	۲/۴
S19	۱/۶	۰/۶	۰/۶	۰/۹	۰/۳	۱/۰۵	۰/۳	۰/۶	۱/۰۵	۱/۰۵	۲/۴
S20	۱/۳	۰/۶	۰/۶	۰/۶	۰/۳	۱/۰۲	۰/۳	۰/۳	۱/۰۲	۱/۰۲	۱/۶
S21	۱	۰/۵	۰/۶	۰/۶	۰/۳	۰/۶	۰/۳	۰/۳	۰/۶	۰/۹	۱/۶
S22	۱/۱	۰/۵	۰/۶	۰/۶	۰/۳	۰/۶	۰/۳	۰/۳	۰/۶	۰/۹	۱/۶
S23	۱	۰/۳	۰/۳	۰/۶	۰/۳	۰/۶	۰/۳	۰/۳	۰/۶	۰/۹	۱/۶
S24	۱/۱	۰/۳	۰/۳	۰/۶	۰/۳	۰/۶	۰/۳	۰/۳	۰/۶	۰/۹	۱/۶
S25	۱/۱	۰/۳	۰/۳	۰/۶	۰/۳	۰/۶	۰/۳	۰/۳	۰/۶	۰/۹	۱/۶
S26	۰/۶	۰/۳	۰/۳	۰/۶	۰/۳	۰/۶	۰/۳	۰/۳	۰/۶	۰/۹	۱/۲
S27	۱	۰/۳	۰/۳	۰/۶	۰/۳	۰/۶	۰/۳	۰/۳	۰/۶	۰/۹	۱/۶
S28	۱	۰/۳	۰/۳	۰/۶	۰/۳	۰/۶	۰/۳	۰/۳	۰/۶	۰/۹	۱/۶
S29	۰/۶	۰/۳	۰/۳	۰/۶	۰/۳	۰/۶	۰/۳	۰/۳	۰/۶	۰/۹	۱/۲
S30	۰/۸	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۶	۰/۳	۰/۳	۰/۶	۰/۹	۱/۲
S31	۰/۷	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۶	۰/۳	۰/۳	۰/۶	۰/۹	۱/۲
S32	۰/۶	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۶	۰/۳	۰/۳	۰/۶	۰/۹	۱/۲
S33	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۲	۰/۲	۰/۳	۰/۳	۰/۶
S34	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۲	۰/۲	۰/۳	۰/۳	۰/۶
S35	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۲	۰/۲	۰/۳	۰/۶	۱/۲
S36	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۲	۰/۲	۰/۳	۰/۶	۱/۲
S37	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۶	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۶	۱/۲
S38	۰/۶	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۶	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۶	۱/۲
S39	۰/۶	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۲	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۶	۱/۲
S40	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۲	۰/۲	۰/۳	۰/۳	۰/۳



شکل ۳) نقشه پهنه‌بندی فلزات سنگین براساس شاخص Igeo با روش Voronoi در محیط GIS

جدول ۶) پارامتر غنی‌شدگی EF عناصر مختلف در نمونه‌های خاک اخذ شده از منطقه

نمونه	آهن	آرسنیک	کروم	منگنز	کبالت	مس	مولیبدن	نیکل	روی	قلع	تنگستن
S1	۰/۷	۰/۸	۰/۷۶	۰/۷۲	۰/۵	۰/۳۶	۰/۶۹	۰/۹۳	۱/۴۳	۰/۷۱	۰/۷۷
S2	۰/۷۶	۰/۷۴	۰/۸۲	۰/۸۱	۰/۶۳	۰/۳۳	۰/۷۳	۰/۹۶	۱/۶۳	۰/۶۵	۰/۷۵
S3	۰/۸۲	۰/۸۲	۰/۹۵	۰/۹۱	۰/۶۶	۰/۳۲	۰/۷۶	۱	۱/۶۲	۰/۶۵	۰/۹۹
S4	۰/۶۵	۰/۹۹	۰/۹	۰/۶۹	۰/۳۱	۰/۱۹	۰/۳۳	۰/۵۸	۰/۷۲	۱/۹۱	۰/۷۰
S5	۰/۵۲	۱/۰۵	۰/۷۷	۰/۴۴	۰/۲	۰/۱۴	۰/۲۱	۰/۴۹	۰/۴۵	۱/۲۹	۰/۴۱
S6	۰/۶۶	۰/۸۳	۰/۹۸	۰/۶۸	۰/۳۲	۰/۱۶	۰/۳۸	۰/۶۵	۰/۸۴	۱/۸۷	۰/۵۲
S7	۰/۵۲	۰/۶۳	۰/۹۴	۰/۷۴	۰/۴۱	۰/۲	۰/۴۶	۰/۸۴	۱/۱۱	۲/۴۸	۰/۵۷
S8	۰/۵۴	۰/۶۵	۰/۶۵	۰/۶	۰/۴	۰/۲۳	۰/۴۱	۰/۷	۰/۹۱	۱/۸۲	۰/۶۵
S9	۰/۵۷	۰/۶۱	۰/۶۸	۰/۶۳	۰/۴۲	۰/۲۲	۰/۴۳	۰/۷۲	۰/۹۶	۱/۹۲	۰/۶۳
S10	۰/۵۴	۰/۶۶	۰/۷۱	۰/۶۵	۰/۴۳	۰/۲۳	۰/۴۱	۰/۷۳	۱/۰۶	۲/۷۳	۰/۵۷
S11	۰/۵۴	۰/۶۱	۰/۸۷	۰/۷۴	۰/۴۱	۰/۱۹	۰/۳۷	۰/۸۳	۱/۰۸	۲/۵۷	۰/۴۷
S12	۰/۵۲	۰/۶۳	۰/۸۶	۰/۷۲	۰/۳۹	۰/۲	۰/۳۸	۰/۷۶	۱/۰۸	۲/۴۲	۰/۴۹
S13	۰/۵۴	۰/۵۹	۰/۶۹	۰/۶۲	۰/۴۱	۰/۲۱	۰/۴۱	۰/۷۱	۰/۸۵	۱/۷۱	۰/۶۱
S14	۰/۵۵	۰/۶	۰/۷	۰/۶۴	۰/۴۲	۰/۲۲	۰/۴۲	۰/۷۳	۰/۸۷	۱/۴۰	۰/۶۳
S15	۰/۵۵	۰/۶۳	۰/۷۵	۰/۶۸	۰/۴۵	۰/۲۲	۰/۴۵	۰/۷۸	۰/۹۹	۱/۵۸	۰/۷۰
S16	۰/۵۵	۰/۶	۰/۶۸	۰/۶۲	۰/۴۱	۰/۲۳	۰/۴۱	۰/۷۱	۰/۹۳	۱/۶۹	۰/۵۸
S17	۰/۵۶	۰/۵۹	۰/۶۸	۰/۶۲	۰/۴۱	۰/۲۳	۰/۴۱	۰/۷۳	۰/۹۱	۱/۹۸	۰/۵۷
S18	۰/۵۶	۰/۵۸	۰/۶۷	۰/۶۲	۰/۴۱	۰/۲۲	۰/۴۴	۰/۷۲	۰/۸۹	۱/۹۴	۰/۵۵
S19	۰/۵۵	۰/۶	۰/۷۱	۰/۶۴	۰/۴۱	۰/۲۳	۰/۴۳	۰/۷۴	۰/۹۱	۱/۴۵	۰/۵۹
S20	۰/۵۳	۰/۶۱	۰/۷۲	۰/۶۵	۰/۴۴	۰/۲	۰/۴۵	۰/۷۸	۰/۹۹	۱/۵۹	۰/۶۵
S21	۰/۵۲۳	۰/۵۶	۰/۶۸	۰/۶۴	۰/۴۴	۰/۲	۰/۴۵	۰/۷۹	۱/۰۱	۱/۶۱	۰/۶۲
S22	۰/۵۳	۰/۵۴	۰/۶۷	۰/۶۵	۰/۴۴	۰/۱۹	۰/۴۵	۰/۷۸	۰/۹۷	۱/۷۳	۰/۶۴
S23	۰/۵۳	۰/۵۴	۰/۶۹	۰/۶۴	۰/۴۳	۰/۱۸	۰/۴۵	۰/۸۱	۰/۹۴	۱/۶۷	۰/۵۹
S24	۰/۵۲	۰/۵۷	۰/۶۹	۰/۶۳	۰/۴۳	۰/۲۱	۰/۴۶	۰/۸	۱/۰۳	۱/۶۵	۰/۵۷
S25	۰/۵۹	۰/۶	۰/۷	۰/۷	۰/۴۸	۰/۱۹	۰/۴۷	۰/۸۲	۱/۱۴	۱/۵۲	۰/۶۵
S26	۰/۵۴	۰/۵۵	۰/۶۵	۰/۶۵	۰/۴۴	۰/۲	۰/۴۴	۰/۷۴	۱/۰۲	۱/۸۲	۰/۵۷
S27	۰/۵۳	۰/۵۴	۰/۶۲	۰/۶۶	۰/۴۴	۰/۱۹	۰/۴۴	۰/۷۶	۰/۹۸	۱/۷۴	۰/۵۳
S28	۰/۶۶	۰/۷۱	۰/۸۵	۰/۷۲	۰/۵	۰/۲۳	۰/۵۲	۰/۹۴	۱/۲۴	۱/۸۶	۰/۷۱
S29	۰/۵۸	۰/۵۹	۰/۷۱	۰/۶۸	۰/۴۲	۰/۱۹	۰/۴۳	۰/۸۱	۱/۰۳	۱/۵۴	۰/۵۸
S30	۰/۶۸	۰/۷	۰/۸۴	۰/۷۴	۰/۵۲	۰/۲۴	۰/۵۲	۰/۹۵	۱/۲۹	۱/۹۴	۰/۷۲
S31	۰/۶۲	۰/۷	۰/۸۵	۰/۷	۰/۵۱	۰/۲۵	۰/۵	۰/۹۳	۱/۳۲	۱/۹۷	۰/۷۰
S32	۰/۷۵	۰/۸۹	۱/۱۴	۰/۹	۰/۶۶	۰/۲۹	۰/۶۸	۱/۱	۱/۴۵	۲/۳۲	۱/۱۶
S33	۰/۸۴	۰/۹	۱/۱۷	۰/۹	۰/۶۶	۰/۲۸	۰/۶۷	۱/۰۹	۱/۴۲	۲/۲۸	۱/۱۱
S34	۰/۷۳	۰/۷۹	۱/۰۲	۰/۸۳	۰/۵۸	۰/۳	۰/۶۱	۱/۰۶	۱/۴۶	۲/۹۱	۰/۹۲
S35	۰/۷۳	۰/۸۱	۱/۰۱	۰/۸۲	۰/۵۵	۰/۲۸	۰/۶۳	۱/۰۳	۱/۵۸	۲/۷۰	۰/۸۶
S36	۰/۵۸	۰/۶۴	۰/۸	۰/۶۷	۰/۵۲	۰/۲۶	۰/۴۸	۰/۸	۱/۲۱	۲/۰۷	۰/۶۵
S37	۰/۶۳	۰/۶۴	۰/۸	۰/۶۷	۰/۵۲	۰/۲۶	۰/۵۲	۰/۸۳	۱/۳۶	۲/۰۴	۰/۶۳
S38	۰/۶۲	۰/۶۳	۰/۸۴	۰/۶۸	۰/۵۱	۰/۲۵	۰/۵۱	۰/۸۴	۱/۳۳	۲/۰۰	۰/۶۱
S39	۰/۷۴	۰/۸۴	۱/۰۵	۰/۸۲	۰/۶۵	۰/۲۹	۰/۶۹	۱/۰۶	۱/۴۶	۱/۱۷	۰/۹۹
S40											



شکل ۴) نقشه پهنه بندی فلزات سنگین براساس شاخص EF با روش Voronoi در محیط GIS

آلودگی‌ها براساس شاخص‌های ژئوشیمیایی در مجاورت سایت بیش از سایر مکان‌ها مشهود بوده است.

محققانی همچون *Tanner et al, 2000*، *Singh et al, 2005*، *Yongming et al, 2005*، *Zhao et al, 2010*، *Shayestefar & Rezaei, 2011*، *Yang et al, 2012*، *Luo et al, 2015*، *Behbahanynia & Salmasi, 2016* و *Atabaki & Lotfi, 2018* به بررسی غلظت فلزات سنگین در خاک و تعیین منشأ آنها در مناطق مختلف دنیا پرداختند. نتایج تحقیق این محققان حاکی از آن است که بعد از عامل زمین‌زاد و طبیعی، عامل انسان‌زاد در افزایش غلظت فلزات سنگین محرز و آشکار است که با نتایج تحقیق حاضر همخوانی دارد. محققانی همچون *MacFarlane & Burchett, 2000*، *Keller et al, 2001*، *Loska & Wiechula, 2003*، *Keller & Schulin, 2003*، *Wierzchula, 2003*، *Khodakarami, 2009*، *Zhang, 2004*، *Taghipour et al, 2010* و *Shahbazi, 2011* به بررسی غلظت فلزات سنگین در کاربری‌های مختلف پرداختند و نتایج مطالعات آنها نشان داد که عامل اصلی غلظت فلزات سنگین، ساختار زمین‌شناسی است. اما فعالیت‌های انسانی همچون رهاسازی پساب‌های فاضلاب شهری و صنعتی به رودخانه، دفن غیر اصولی پسماندهای شهری، صنعتی و معدنی در مکان‌های نامناسب، حمل و نقل و فعالیت‌های شهری در مناطق شهری و مصرف غیراصولی کود شیمیایی 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 گردد که با ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه همخوانی دارد. با توجه به میزان بالای آلودگی توسط شیرابه‌های حاصل از پسماند در این سایت پیشنهاد می‌شود با اجرای اقدامات مدیریتی لازم و ضروری از گسترش بیشتر آلودگی در این منطقه جلوگیری نمود و تا حد زیادی میزان آلودگی موجود در این سایت را کنترل و مهار کرد. یکی از اقدامات لازم الاجرا در منطقه، احداث یک کانال زهکشی در بخش‌های بالادست مرکز دفن و انتقال شیرابه به محل مناسب جهت جمع‌آوری و تصفیه است. همچنین با احداث عایق‌های پوششی در منطقه می‌توان از نفوذ شیرابه به آب‌های زیرزمینی جلوگیری نمود. از طریق متراکم نمودن قسمت جنوب شرقی مرکز دفن (بدون پوشش) با استفاده از رس یا سیمان پرتلند می‌توان نفوذ باران و گسترش بیشتر آلودگی را کنترل نمود. با توجه به جذب بالای بین ۲ تا ۴۰ برابر فلزات سنگین توسط گونه‌های درختی منطقه مورد مطالعه می‌تواند موجب از بین رفتن و ضعف گونه‌های

در مطالعات زیست محیطی به ویژه زمانی که توزیع ژئوشیمیایی عناصر در محیط، حاصل ترکیبی از عوامل انسانی و طبیعی باشد، باید روند تغییرات با استفاده از شاخص‌های آلودگی ارزیابی شود. در این تحقیق شاخص‌های غنی‌شدگی و انباشت ژئوشیمیایی از معیارهایی هستند که با در نظر گرفتن غلظت عناصر در نمونه زمينه، روند آلودگی را در منطقه مورد مطالعه نشان داده‌اند.

میزان شاخص انباشت ژئوشیمیایی (Igeo) به دست آمده برای این عناصر نشان‌دهنده انباشتگی جدی عمده این فلزات سنگین در نمونه‌های خاک نسبت به مقدار زمینه‌ای آنها در پوسته زمین است. براساس کلاس‌بندی شاخص تجمع ژئوشیمیایی و غنی‌شدگی مورد بررسی، آشکارسازی منشأ آلاینده‌ها و تفکیک آلاینده‌های طبیعی از انسانی برای عناصر سنگین اندازه‌گیری شده این نتیجه حاصل شده است که منشأ آلاینده موجود در منطقه در بسیاری از ایستگاه‌های نمونه‌برداری عامل انسانی (عامل انسانی مختص منطقه محل دفن پسماند و شیرابه‌های ناشی از آن) است. همینطور طبق نقشه پهنه‌بندی توسط داده‌های شاخص انباشت ژئوشیمیایی (Igeo)، الگوی پراکنش مکانی و توزیع این شاخص در منطقه نشان از شدت میزان در ایستگاه‌های نزدیک سایت تجمع شیرابه (ایستگاه‌های S5 تا S13) است که در تقسیم‌بندی درجات آلودگی در محدوده آلودگی متوسط تا آلودگی شدید قرار دارد.

نتایج حاصل از تجزیه نمونه‌های برداشت شده و محاسبه شاخص غنی‌شدگی (EF) نشان از غنی‌شدگی کلیه عناصر و بیان‌کننده آلودگی خاک‌های منطقه است. نکته حائز اهمیت اینکه در ایستگاه‌های نمونه‌برداری تحت نفوذ شیرابه ناشی از سایت دفن زباله این میزان به حداکثر خود می‌رسد. به‌طور کلی تأثیر کانه‌زایی صورت گرفته در منطقه بر غلظت عناصر در خاک منطقه به‌عنوان یک عامل طبیعی و زمین‌زاد و تأثیر شیرابه به‌عنوان عامل انسان‌زاد در افزایش غلظت عناصر آشکار است.

با توجه به بررسی‌های صورت گرفته و نتایج حاصل از آنالیزهای زمین آماری و ارائه نقشه‌های توزیع مکانی ترکیبات منابع آلاینده حاصل از شیرابه محل دفن پسماند در منطقه جنگلی انجیل سی بابل در محیط خاک و همینطور تطابق میزان غلظت عناصر با میزان حد مجاز (استاندارد) با محرزبودن آلودگی جدی در این منطقه به جز چند عنصر (مس، مولیبدن، نیکل، و قلع) در خاک مابقی عناصر از حد مجاز مشخص شده توسط منابع استاندارد جهانی محیط زیست (WHO, EPA) بالاتر و زیان‌آور هستند.

همچنین با توجه به بررسی‌های آماری و تقسیم‌بندی‌های درجات آلودگی توسط شاخص‌های زمین شیمی زیست‌محیطی و همچنین آنالیز توزیع مکانی غلظت عناصر در خاک منطقه مورد مطالعه، منشأ انسانی به‌عنوان یک عامل آلاینده مشخص (مرکز دفن پسماند و عوامل مخرب زیست محیطی ناشی از آن) با درجات آلودگی قابل توجه و شدید استخراج شده است. همچنین میزان شدت این

Adama P, Arienzo M, Imporato M, Noimo D, Nardi G, Stanzione D (2005). Distribution and partition of heavy metals in surface and subsurface sediments of Naples city port. *Chemosphere*. 61(6):800-809.

Adomako D, Nyarko BJB, Dampare SB, Serfor Armah Y, Osa S, Fianko JR, et al, (2008). Determination of toxic elements in waters and sediments from river Subin in the Ashanti region of Ghana. *Environmental Monitoring Assessment*. 141:165-175.

Anazawa K, Kaida Y, Shinomura Y, Tomiyasu T, Sakamoto H (2004). Heavy metal distribution in river waters and sediments around a fire fly village, Shikoku, Japan: Application of Multivariate Analysis. *Analytical Science*. 20(1):79-84.

Angulo E (1996). The Tomlinson's pollution load index applied to heavy metal "Mussel-Watch" data: A useful index to assess coastal pollution. *Science of the Total Environment*. 187(1):19-56.

Atabaki MR, 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):23-35.

Audry S, Schafer J, Blanc G, Jouanneau JM (2004). Fifty-year sedimentary record of heavy metal pollution (Cd, Zn, Cu, Pb) in the Lot river reservoirs (France). *Environmental Pollution*. 132(3):413-426.

Behbahaninia A, Salmasi R (2016). Investigation on heavy metals concentrations and determination of their relations with soil properties around Hashtrood town, east Azerbaijan province. *Journal of Environmental Science and Technology*. 18(2):59-69. [Persian]

Bermejo Santos JC, Beltran R, Gomez Araiza JL (2003). Spatial variations of heavy metals contamination in sediments from Odiel river (southwest Spain). *Environmental International*. 29(1):69-77.

Bhuiyana MA, Parvez L, Islam MA, Dampare SB, Suzukia S (2010). Heavy metal pollution of coal mine-affected agricultural soils in the northern part of Bangladesh. *Journal of Hazardous Materials*. 173(1-3):384-92.

Cevik F, Goksu M, Derici O, Findik O (2009). An assessment of metals pollution in surface sediments of Seykan dam by using enrichment factor, geo accumulation index and statistical analysis. *Environmental Monitoring Assessment*. 152(1-4):309-317.

Chen CW, Kao CM, Chen CF, Dong CD (2007). Distribution and accumulation of heavy metals in the sediments of Kaohsiung Harbor, Taiwan. *Chemosphere*. 66(8):1431-1440.

Davis JC (1986). *Statistics and data analysis in geology*. 3rd ed. New Jersey: Wiley.

Facchinelli A, Sacchi E, Mallen L (2001). Multivariate statistical and GIS-based approach to identify heavy metal sources in soils. *Environment Pollution*. 114:313-324.

Forestry Report of downstream watershed of Pashakola Babol dam (2011). Agriculture Jihad and Islamic Development Bank.

Ghrefat H, Yusuf N (2006). Assessing Mn, Fe, Cu, Zn and Cd pollution in bottom sediments of Wadi AL- Arab Dam, Jordan. *Chemosphere*. 65(11):2114-2121.

Gonzales Macias C, Schifter I, Liuch Cota DB, Mendez Rodriguez L, Hernandez Vazquez S (2006). Distribution, enrichment and accumulation of heavy metals in coastal sediments of Salina Cruz Bay, Mexico. *Environmental Monitoring and Assessment*. 118(1-3):211-230.

Hamzeh MA, Mirzaei M, Mozaffari H (2009). Investigation of changes in lead, zinc, copper and cadmium concentrations in urban environment of Kerman.

گیاهی منطقه گردد و لذا می‌بایست از گونه‌های مقاوم و یا گونه‌هایی با قدرت جذب بالای فلزات سنگین در سایت و اطراف سایت دفن زباله استفاده گردد. همچنین با توجه به میزان آلودگی موجود در منطقه لازم است که آب شرب مکان‌های پایین دست محل دفن پسماند مانند روستاهای هلی خال و سایر مراکز جمعیتی مشابه از طریق شبکه لوله‌کشی شهری تأمین گردد و به هیچ عنوان از چاه‌های آب زیرزمینی موجود در این مکان‌ها استفاده نشود.

نتیجه‌گیری

براساس توزیع نرمال میزان غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های خاک برداشت شده و بررسی میانگین غلظت در منطقه، عناصر نیکل، کبالت، آهن، آرسنیک و کروم بیشتر از حداکثر غلظت (میلی‌گرم بر کیلوگرم) قابل قبول برای استاندارد Ericson 2011 است. نتایج کلاسه‌بندی شاخص تجمع ژئوشیمیایی (Igeo) و شاخص غنی‌شدگی (EF) نشان داد که اکثر نمونه‌ها در طبقه بدون آلودگی تا آلودگی متوسط قرار دارند. مقدار عناصر نیکل، کروم و تنگستن بیشترین میزان را داشته‌اند به طوری که در نمونه‌های نزدیک محل دفن پسماند و حرائم مورد تأثیر شیرابه در طبقه آلودگی شدید قرار داشتند. تجزیه و تحلیل نقشه پهنه‌بندی شاخص تجمع ژئوشیمیایی و شاخص غنی‌شدگی (EF) با روش Voronoi در محیط GIS نشان می‌دهد که محل دفن پسماندها، منشأ آلودگی اکثر نمونه‌های نزدیک به منطقه دفن و گودال شیرابه حاصل از آن است و به عبارت دیگر بیانگر شدت تأثیر عامل خارجی بر خاک است و مابقی نمونه‌ها می‌توانند منشأ زمین‌شناسی یا آلودگی طبیعی داشته باشند. در واقع این فلزات متناسب با سازندهای زمین‌شناسی در بالادست منطقه می‌تواند به‌طور طبیعی در خاک وجود داشته باشند اما فعالیت‌های ناشی از دفن غیر اصولی پسماند در این منطقه جنگلی منجر به تجمع هر چه بیشتر این فلزات در خاک شده است.

تشکر و قدردانی: نگارندگان مقاله بر خود لازم می‌دانند از معاونت پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، به دلیل حمایت این پژوهش، تشکر و قدردانی نمایند.

تأییدیه‌های اخلاقی: موردی از سوی نویسندگان گزارش نشده است.

تعارض منافع: موردی از سوی نویسندگان گزارش نشده است.

سهم نویسندگان: محمد رحمانی (نویسنده اول)، پژوهشگر اصلی/نگارنده مقدمه و بحث (۵۰٪)؛ طاهره آذری (نویسنده دوم)، پژوهشگر کمکی/تحلیلگر آماری (۲۵٪)؛ ساره ملاقاجانزاده (نویسنده سوم)، پژوهشگر کمکی/روش‌شناس (۲۵٪).

منابع مالی: موردی از سوی نویسندگان گزارش نشده است.

منابع

Abraham GMS, Parker RJ (2008). Assessment of heavy metal enrichment factors and the degree of contamination in marine sediments from Tamaki Estuary, Auckland, New Zealand. *Environmental Monitoring and Assessment*. 136(1-3):227-238.

- (2006). Heavy metals contents in agricultural top soils in the Ebro basin (Spain). Application of the multivariate geo statistical methods to study spatial variations. *Environment Pollution*. 144(3):101-1012.
- Shahbazi AS (2011). Evaluation of the impact of agricultural activities on heavy metal accumulation in some agricultural soils of Hamadan province [dissertation]. Isfahan: Isfahan University of Technology. [Persian]
- Shajan KP (2001). Geochemistry of bottom sediments from a river- Estuary- Shelf mixing zone on the tropical Southwest Coast of India. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*. 52(8):371-382.
- Shayestefar M, Rezai AS (2011). Evaluation of heavy metal pollution and distribution in Sarcheshmeh copper mine sediments using geochemical data and statistical analysis. *Journal of Mining Engineering*. 6(11):25-34. [Persian]
- Singh KP, Mohan D, Singh VK, Malik A (2005). Studies on distribution and fractionation of heavy metals in Gomti river sediments a tributary of the Ganges, India. *Jornal of Hyrology*. 312(1-4):14-27.
- Taghipour M, Ayoubi S, Khademi H (2010). Contribution of litho logic and anthropogenic factors to surface soils heavy metals in western Iran Using multivariate geostatistics. *Soil and Sediment Contamination*. 20(8):921-937.
- Tanner P, Leong LS, Pan SM (2000). Contamination of heavy metals in marine sediment cores from Victoria Harbour, Hong Kong. *Marine Pollution Bulletin*. 40(9):769-779.
- Walkey A, Black IA (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*. 37(1):29-38.
- Wang Sh, Cao Z, Lan D, Zheng Z, Li G (2008). Concentration distribution and assessment of several heavy metals in sediments of west-four Pearl river, Estuary. *Environmental Geology*. 55(5):963-975.
- Wong SC, Li XD, Zhang G, Qi SH, Min YS (2002). Heavy metals in agricultural soils of the Pearl river delta, south China. *Environmental Pollution*. 119(1):33-44.
- Yalcin MG, Battaloglu R, Ilhan S (2007). Heavy metal sources in Sultan Marsh and its neighborhood, Kayseri, Turkey. *Environmental Geology*. 53:399-415.
- Yang Z, Zhang S, Liao Y, Li Q, Wu B, Wu R (2012). Remediation of heavy metal contamination in calcareous soil by washing with reagents: A column washing. *Procedia Environmental Sciences*. 16:778-785.
- Yongming H, Peixuan D, Junji C, Posmentier Es (2005). Multivariate analysis of heavy metal contamination in urban dusts of Xi'an, Central China. *Science of the Total Environment*. 355(1-3):176-186.
- Zhang W, Feng H, Chang J, Qu J, Xie H, Yu L (2009). Heavy metal contamination in surface sediments of Yangtze river intertidal zone: An assessment from different indexes. *Environmental Pollution*. 157(5):1533-1543.
- Zhao Y, Wang Z, Sun W, Huang B, Shi X, Ji J (2010). Spatial interrelations and multi-scale sources of soil heavy metal variability in a typical urban-rural transition area in Yangtze river delta region of China. *Geoderma*. 156(3-4):216-227.
- Environmental Science and Technology*. 11(3):161-177. [Persian]
- Hernandez L, Probst JL, Ulrich E (2003). Heavy metal distribution in some French forest soils: For evidence atmospheric contamination. *The Science of the Total Environment*. 312(1-3):195-219.
- Karbassi AR (1989). Geochemistry & magnetic susceptibility of riverine, Estuarine & Marine sediments [dissertation]. India: Mangalore University. [Persian]
- Keller A, Schulin R (2003). Modeling regional-scale mass balances of phosphorus, cadmium and zinc fluxes on arable and dairy farms. *European Journal of Agronomy*. 20(1-2):181-198.
- Keller A, Von Steiger B, Van Der Zee SE, Schulin R (2001). A stochastic empirical model for regional heavy-metal balances in agroecosystems. *Journal of Environmental Quality*. 30(6):1976-1989.
- Khodakarami L (2009). Evaluation of non-point sources of agricultural pollution using GIS and RS [dissertation]. Isfahan: Isfahan University of Technology. [Persian]
- Krzysztof L, Danuta L, Irena K (2004). Metal contamination of farming soils affected by industry. *Environmental International*. 30(2):159-165.
- Loska K, Wiechula D (2003). Application of principal component analysis for the estimation of source heavy metal contamination in surface sediments from Rybnik Reservoir. *Chemosphere*. 51(8):723-733.
- Luo X-S, Xue Y, Wang Y-L, Cang L, Xu B, Ding J (2015). Source identification and apportionment of heavy metals in urban soil profiles. *Chemosphere*. 127:152-57.
- MacFarlane GR, Burchett MD (2000). Cellular distribution of Copper, lead and Zinc in the Grey Mangrove *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh. *Aquatic Botany*. 68(1):45-59.
- Mirzaei R, Ghorbani H, Moghaddas NH, Rodríguez Martín JA (2014). Ecological risk of heavy metal hotspots in top soils in the province of Golestan, Iran. *Journal of Geochemical Exploration*. 147:268-276. [Persian]
- Mucha AP, Vasconcelos MTSD, Bordalo AA (2003). Macro benthic community in the Doura estuary: Relations with trace metals and natural sediment characteristics. *Environmental Pollution*. 121(2):169-180.
- Muller G (1969). Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine river. *Geological Journal*. 2(3):108-118.
- Munendra S, Muller G, Sinhg B (2002). Heavy metals in freshly deposited stream sediments of rivers associated with urbanization of the Ganga plain, India. *Water, Air Soil Pollution*. 141(1-4):35-54.
- Nguyen HL, Leermakers M, Elskens M, De Ridder F, Doan TH, Baeyens W (2005). Correlations partitioning and bio accumulation of heavy metals between different components of Lake Balaton. *Science of the total Environment*. 341(1-3):211-226.
- Qishlag A, Moore F, Forghani G (2007). Impact of untreated wastewater irrigation on soils and crops in Shiraz suburban area, SW Iran. *Environmental Monitoring Assessment*. 141(1-3):257-273.
- Rahmani M (2015). The effect of municipal waste leachates on soil, tree coverage and water in Mazandaran province forests [dissertation]. Sari: Sari University. [Persian]
- Rodriguez Martin JA, Lopez Arias M, Grau Corbi JM