

بررسی آلودگی فلزات سنگین در خاک های سطحی اطراف

شهرک صنعتی شماره ۲ اهواز

محسن پورنیا^۱

میر حسن موسوی^{۲*}

moosavi_m_h@yahoo.com

زینب جاسمی زرگانی^۳

تاریخ دریافت: ۹۰/۱/۲۵

تاریخ پذیرش: ۹۰/۵/۱۷

چکیده

زمینه و هدف: هدف از این تحقیق بررسی میزان و شدت آلودگی خاک های سطحی اطراف شهرک صنعتی شماره ۲ اهواز به فلزات سنگین است.

روش بررسی: ۱۶ نمونه خاک سطحی از عمق ۵-۰ سانتی متری جمع آوری شده و توسط دستگاه ICP-OES، غلظت فلزات کبالت، کروم، مس، نیکل، سرب و روی آنالیز شد. هم چنین یک نمونه جهت تعیین کانی شناسی توسط دستگاه X-ray مورد بررسی قرار گرفت. بحث و نتیجه گیری: فراوانی فلزات سنگین اندازه گیری شده در خاک های سطحی به صورت زیر کاهش می یابد: $Cr > Ni > Zn > Pb > Cu > Co$. کانی های تشخیص داده شده در نمونه مورد آنالیز ترکیبی از کانی های کوارتز، کلسیت و هالیت به عنوان کانی اصلی و دولومیت و آلونیت به عنوان کانی فرعی است. نتایج حاکی از این است که تمرکز فلزات سنگین در خاک های سطحی به علت بافت دانه ریز خاک، مقادیری کانی رسی، pH قلیایی، وجود کربنات کلسیم، پتاسیم و اکسید آلومینیوم در آن است. براساس معیارهای ژئوشیمیایی از قبیل عامل غنی شدگی (EF)، شاخص زمین انباشتگی (I_{geo}) و شاخص آلودگی (PI)، خاک های محدوده مورد مطالعه نسبت به فلزات کروم، نیکل و سرب در محدوده آلودگی متوسط و نسبت به فلزات کبالت، مس و روی در محدوده غیر آلوده قرار گرفته اند. نتایج محاسبه شده عامل فاکتور غنی شدگی، شاخص زمین انباشتگی و شاخص آلودگی به صورت زیر می باشد:

$Ni > Pb > Cr > Zn > Cu > Co$

واژه های کلیدی: آلودگی خاک، فلزات سنگین، ژئوشیمی، شهرک صنعتی شماره ۲ اهواز.

۱- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مسجد سلیمان، گروه میکروبیولوژی، مسجد سلیمان.

۲- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مسجد سلیمان، گروه مهندسی نفت، مسجد سلیمان (مسئول مکاتبات).

۳- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اهواز، گروه مهندسی منابع طبیعی، اهواز.

Survey of Heavy Metals Pollution in Surface Soils Around The Industrial Town of Ahvaz 2

Mosen Pournia¹

Mir Hassan Moosavi² (*Corresponding author*)

moosavi_m_h@yahoo.com

Zeinab Jassemi³

Abstract

Background and Objective: The objective of this study was to assess the extent and severity of heavy metal contamination in surface soils in the surrounding of the industrial town of Ahvaz 2.

Method: Sixteen topsoil samples were collected at 0-5 cm depth and were analyzed by ICP-OES for Co, Cr, Cu, Ni, Pb and Zn. One sample was also investigated for mineralogy using X-ray.

Discussion and Conclusion: The abundance of heavy metals measured in these topsoil decreases as follows: Cr>Ni>Zn>Pb>Cu>Co. The minerals in the analyzed sample are composed of quartz, calcite, and halite as major minerals with dolomite and alunite as minor minerals. Results indicate that concentration of heavy metal in surface soil is due to fine grain texture of soil, clay content, alkaline pH, CaCO₃ content, Na⁺ and aluminum oxide content. According to geochemical criteria such as enrichment factor (EF), index of geo-accumulation (I_{geo}) and pollution index (PI), the soils of the study area are considered to be moderately contaminated with respect to Cr, Ni and Pb, and uncontaminated with respect to Co, Cu and Zn. The calculated results of EF, I_{geo} and PI of heavy metals are as the following: Ni>Pb>Cr>Zn>Cu>Co.

Keywords: Soil pollution, Heavy metals, Geochemistry, industrial town of Ahvaz

1- Islamic Azad University, Masjid-I-Sulaiman Branch.

2- Department of Microbiology, Islamic Azad University, Masjid-i-Sulaiman, Iran.

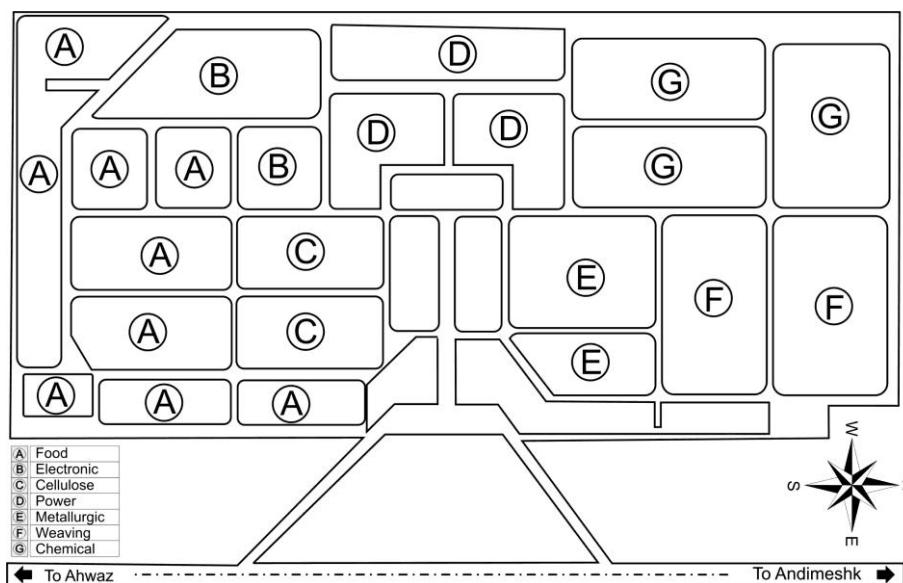
3- Department of Natural Resources Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

مقدمه

باشد که بیان گر آلودگی های اخیر در سطح منطقه بوده و گویای تاثیر گذاری آلاینده های محیطی از قبیل فعالیت های صنعتی، شهری و به خصوص وسایل نقلیه موتوری بر خاک های منطقه می باشد (۹، ۱۰ و ۱۱).

شهرک صنعتی شماره ۲ اهواز واقع در کیلومتر ۱۰ جاده اهواز به اندیمشک در زمینی به مساحت ۸۱/۵ هکتار در یک فاز احداث شده است. در این شهرک ۱۰۹ واحد صنعتی مختلف در حال بهره برداری هستند که از آن جمله صنایع سلولزی، برق و الکترونیک، نساجی، صنایع شیمیایی، غذایی، فلزی و کانی غیر فلزی می باشد (شکل ۱)، که عمدتاً ایجاد آلودگی نموده و بر خاک ها و گیاهان تاثیر گذار می باشد. لذا با توجه به این که اغلب فعالیت های صنعتی، احتمالاً بدون در نظر گرفتن ضوابط زیست محیطی شروع به فعالیت می کنند که نتیجه آن آلودگی محیط زیست و به مخاطره انداختن سلامتی انسان است، ضروریست تا میزان و تجمع فلزات سنگین (کبالت، کروم، مس، نیکل، سرب و روی) در خاک های سطحی محدوده شهرک صنعتی اهواز ۲ مورد بحث و بررسی قرار گیرد.

فلزات سنگین از جمله آلاینده هایی هستند که از تجمع زیستی بالایی برخوردار بوده و قادرند به تدریج از طریق زنجیره غذایی در بافت بدن جانوران و گیاهان تجمع یابند و اثرات مهلکی را بر انسان و جاندارانی که از گیاهان آلوده در منطقه استفاده می کنند داشته باشند. بنابراین تعیین میزان این فلزات در محیط های خاکی مورد توجه بسیاری از محققین و پژوهشگران قرار گرفته است (۱، ۲، ۳، ۴ و ۵). محققین یکی از عوامل عمده ورود فلزات سنگین به اکوسیستم های خاکی را فعالیت های انسانی می دانند و معتقدند که این منابع آلاینده در دراز مدت خطری بالقوه برای سلامتی انسان به حساب می آید. اثرات سوء این عناصر در خاک و گیاه زمانی مشخص می گردد که غلظت آن ها از میزان معینی افزایش یابد، که این افزایش بستگی به نوع فلز، نوع خاک، فعالیت های مختلف انسانی و زمان تجمع فلز دارد (۱، ۲ و ۴). تحقیقات نشان داده است که فلزات سنگین بر کاهش جمعیت های جانوری و گیاهی موثر می باشند (۶، ۷ و ۸). به طور کلی تجمع فلزات سنگین در خاک های سطحی بیشتر از خاک های عمقی می



شکل ۱- موقعیت واحدهای صنعتی در شهرک صنعتی شماره ۲ اهواز

روش کار

شماره ۲ اهواز، از عمق ۵-۰ سانتی متری و از مناطق بکر و دست نخورده توسط بیلچه پلاستیکی برداشته و به آزمایشگاه منتقل گردید.

در این تحقیق برای اندازه گیری میزان فلزات سنگین تعداد ۱۶ نمونه خاک سطحی از فواصل ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ و ۵۰۰۰ متری مناطق شمالی، جنوبی، شرقی و غربی شهرک صنعتی

کروم، مس، نیکل، سرب و روی در ۱۶ نمونه خاک سطحی اطراف شهرک صنعتی شماره ۲ اهواز، به ترتیب ۱۴/۷، ۱۳۱/۵۶، ۳۵/۰۵، ۱۲۷/۹۸، ۳۶/۸۲، ۷۷/۴۵ میلی گرم در کیلوگرم می باشد (جدول ۱). روند تغییرات میزان جذب و تجمع فلزات سنگین در کل منطقه به صورت $Cr > Ni > Zn > Pb > Cu > Co$ می باشد.

بیشترین تجمع فلزات کبالت، نیکل و سرب در مناطق شرقی و بیشترین تجمع فلزات کروم، مس و روی در مناطق غربی می باشد که علت آن استقرار و تمرکز اغلب صنایع از جمله صنایع غذایی، فلزی، شیمیایی، برق و الکترونیک و به ویژه صنعت آب کاری فلزات در این مناطق می باشد. هم چنین یکی از عللی که موجب شده است بیشترین میزان و تجمع فلزات کبالت، نیکل و سرب در مناطق شرقی دیده شود، وجود جاده اهواز - اندیمشک در این بخش و تاثیر بادهای غالب (از شمال غرب - جنوب شرق) در منطقه است که موجب دور نمودن آلاینده ها از شهرک و بزرگراه شده و سبب می گردد که در مناطق شرق نهشته شوند.

حداقل میزان فلزات کبالت، کروم، مس و روی در مناطق شمالی است که علت آن دوری از مراکز صنعتی و نیز وجود جنگل های انبوه و نخلستان در این منطقه می باشد. وجود جنگل ها در این منطقه از شهرک و نیز تاثیر وزش بادهای منطقه باعث شده تا کمترین میزان فلزات کبالت، کروم، مس و روی در خاک های این محدوده تجمع یابد. از طرفی کمترین میزان فلز سرب و نیکل به ترتیب در فاصله ۵۰۰۰ متری شرق و ۱۰۰۰ متری غرب شهرک صنعتی دیده شده که دلیل آن فاصله زیاد از منابع آلاینده و وزش باد غالب است.

هم چنین مقایسه میانگین غلظت های به دست آمده با مقادیر رسوبات جهانی، خاک های جهانی، پوسته زمین و شیل (جدول ۲) بیان گر اینست که میانگین غلظت فلزات Cu, Ni, Pb از میانگین غلظت پوسته زمین، رسوبات جهانی، خاک های جهانی و شیل بیشتر، میانگین غلظت فلزات Cu و Co از غلظت های رسوبات جهانی و خاک های جهانی بیشتر و میانگین غلظت فلز Zn بیشتر از میانگین پوسته است.

نمونه های خاک پس از خشک شدن در هوای آزاد اتاق، توسط الک شماره ۲۳۰ مورد آنالیز دانه بندی قرار گرفتند، ذرات کوچکتر از ۶۲ میکرون جداسازی شدند و سپس با استفاده از هاون عقیق پودر و هموژنیزه گردیدند. در ادامه ۱ گرم از هر یک از نمونه های خاک وزن و در بشر پلی اتیلنی قرار گرفت و با اضافه نمودن چند قطره اسید کلریدریک (HCl) و اسید فلوئوریدریک (HF) به میزان ۷ سی سی، نمونه ها روی حمام آبی و در ۱۰۰ درجه سانتی گراد تا مرحله نزدیک به خشک شدن حرارت داده شد. پس از سرد شدن نمونه ها، به هر یک ۷ سی سی اسید نیتریک (HNO₃) و اسید کلریدریک (HCl) به صورت تیزاب سلطانی (Aqua regia) اضافه گردید و بر روی حمام آبی تا نزدیک خشک شدن حرارت داده شد. پس از هضم شیمیایی کلیه نمونه ها و با افزودن مقداری آب مقطر به هر یک از آن ها و حرارت ملایم، محلولی کاملاً شفاف بدست آمد (۱۲). کلیه نمونه ها توسط اسید کلریدریک یک نرمال در بالان ژوژه به حجم ۵۰ سی سی رسیده و به دستگاه ICP-OES مدل Varian 710-ES، مستقر در آزمایشگاه دانشگاه آزاد اسلامی واحد مسجد سلیمان که از قبل کالیبره شده بود تزریق گردید تا میزان عناصر مورد نظر در هر یک از نمونه ها مشخص گردد. مزیت استفاده از دستگاه ICP-OES این است که قادر می باشد چندین فلز را به طور هم زمان اندازه گیری نماید (۱۳).

تجمع زیستی فلزات سنگین در خاک ها، تحت تاثیر کانی شناسی آن بوده و به خصوص به نوع کانی های رسی موجود در خاک بستگی دارد (۱۴)، بنابراین جهت تعیین کانی شناسی خاک های سطحی، باقیمانده ذرات کوچکتر از ۶۲ میکرون را به آزمایشگاه کانی شناسی سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور ارسال تا کانی های رسی و غیر رسی آن تعیین شود. در آخر جهت طبقه بندی بافت خاک از دیاگرام سه تایی بافت خاک (Clay-Sand-Silt) استفاده شد (۱۵).

نتایج و بحث

نتایج تحقیق حاضر در نقاط مورد مطالعه در جدول ۱ ارایه شده است. بر اساس نتایج حاصله، میانگین کلی میزان فلزات کبالت،

دولومیت در خاک که حالت قلیایی به آن می دهند و مقادیر نسبتاً زیادی Na^+ بصورت کانی هالیت (NaCl) و مقدار کمی کانی رسی آلونیت (شکل ۲) در خاک است (۱۶ و ۱۷).

تجمع نسبتاً بالای فلزات سنگین در خاک های منطقه متأثر از بافت خاک که حالت clay loam تا silt loam دارد و حالت دانه ریز به خاک می دهد، مقادیر بالای کانی کلسیت و

جدول ۱- نتایج اندازه گیری غلظت فلزات سنگین (برحسب $mg\ kg^{-1}$) در خاک های سطحی

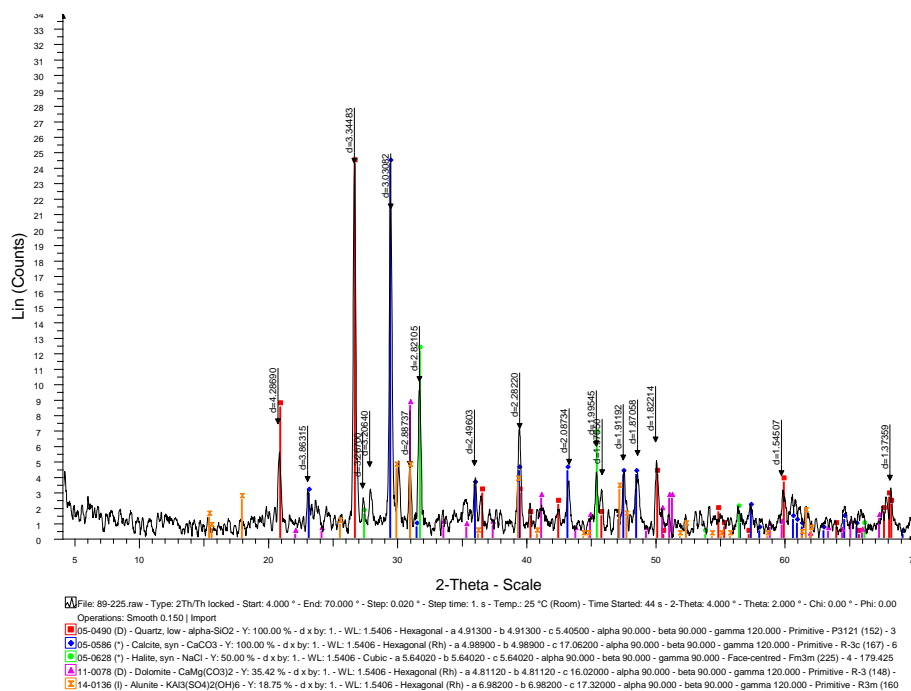
اطراف شهرک صنعتی شماره ۲ اهواز

	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
S1	۱۴/۴	۱۰۵/۵	۲۹/۸	۱۱۳/۱	۲۷/۴	۶۶/۲
S2	۱۷/۵	۱۲۴/۶	۳۳/۶	۱۴۱/۲	۳۳/۹	۶۴/۲
S3	۱۲/۷	۱۱۸/۲	۳۱/۷	۱۳۱/۸	۲۷/۲	۷۲/۸
S4	۱۷/۳	۱۴۸/۷	۳۳/۶	۱۴۴/۳	۵۳/۶	۷۰/۵
N1	۱۰/۶	۱۳۶	۲۷/۹	۸۸/۷	۳۰/۴	۱۰۹/۳
N2	۱۱	۱۲۳/۳	۱۸/۹	۱۰۸	۳۰/۹	۵۳/۵
N3	۱۴/۲	۱۴۳/۱	۲۶/۴	۱۴۸	۳۶	۵۹
N4	۷/۶	۹۳/۶	۳۶/۸	۹۸/۶	۴۵/۸	۴۴/۹
E1	۱۵/۷	۱۵۲/۶	۴۶/۴	۱۷۸/۴	۵۷/۹	۷۱
E2	۱۵/۶	۱۲۵/۹	۴۰/۸	۱۷۸/۳	۴۲/۶	۶۸/۲
E3	۱۹	۱۳۸/۹	۳۹/۵	۱۷۵/۶	۲۹/۳	۷۰/۶
E4	۱۸/۴	۱۴۶/۲	۳۹/۳	۱۷۵/۸	۲۰/۶	۷۷/۵
W1	۱۴/۸	۱۳۲/۸	۵۳/۸	۷۳/۶	۴۹/۷	۱۷۶/۱
W2	۹	۱۱۹/۸	۲۵/۹	۷۱/۵	۲۹/۸	۸۱/۱
W3	۱۱/۹	۱۳۴/۳	۳۹/۵	۷۶/۵	۳۵/۴	۸۶/۵
W4	۱۵/۵	۱۶۱/۵	۳۷	۱۴۴/۳	۳۸/۷	۶۷/۹
Max	۱۹	۱۶۱/۵	۵۳/۸	۱۷۸/۴	۵۷/۹	۱۷۶/۱
Min	۷/۶	۹۳/۶	۱۸/۹	۷۱/۵	۲۰/۶	۴۴/۹
Average	۱۴/۰۷	۱۳۱/۵۶	۳۵/۰۵	۱۲۷/۹۸	۳۶/۸۲	۷۷/۴۵

جدول ۲- مقایسه نتایج اندازه گیری فلزات سنگین (برحسب $mg\ kg^{-1}$) در خاک های سطحی

اطراف شهرک صنعتی شماره ۲ اهواز با مقادیر جهانی

	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Mean (This Study)	۱۴/۷	۱۳۱/۵۶	۳۵/۰۵	۱۲۷/۹۸	۳۶/۸۲	۷۷/۴۵
(Mean Crust ⁽¹⁸⁾)	۲۴	۱۰۰	۵۰	۸۰	۱۴	۷۵
(Mean World Sediments ⁽¹⁸⁾)	۱۴	-	۳۳	۵۲	۱۹	۹۵
(Global Soil ⁽¹⁹⁾)	۱۳	۷۱	۳۲	۴۹	۱۶	۱۲۷
(Average Shale ⁽²⁰⁾)	۱۹	۹۰	۴۵	۶۸	۲۰	۹۵



شکل ۲- دیاگرام XRD یکی از نمونه های خاک سطحی اطراف شهرک صنعتی شماره ۲ اهواز که وجود کانی های کوارتز، کلسیت، هالیت، هماتیت، دولومیت و آلونیت قابل تشخیص می باشد.

دست آمده از نتایج تجزیه شیمیایی نمونه های خاک سطحی اطراف شهرک صنعتی شماره ۲ اهواز و با استفاده از فرمول زیر عامل غنی شدگی فلزات در هر نمونه به تفکیک تعیین شده است (۲۲).

$$EF = (C_x/C_{ref})_{sample} / (C_x/C_{ref})_{Background}$$

در این فرمول، EF عامل غنی شدگی، C_x غلظت فلز اندازه گیری شده در نمونه های خاک و C_{ref} غلظت فلز مرجع است. فلز مرجع اغلب عنصری است که در منطقه مورد مطالعه، تغییرپذیری و تحرک کمی داشته باشد، از قبیل آهن، آلومینیوم، تیتانیوم، سیلیسیم، استرانسیم و پتاسیم (۲۳، ۲۴، ۲۵، ۲۶ و ۲۷). در این مطالعه از عنصر تیتانیوم به عنوان مرجع استفاده شده است. بسیاری از محققین از مقادیر شیل به عنوان مقادیر پس زمینه استفاده می کنند که در این مطالعه نیز عامل غنی شدگی بر اساس مقادیر پس زمینه شیل محاسبه شده است. مقدار میانگین فلز تیتانیوم در نمونه های آزمایش شده 3071.5 ppm تعیین شد. هم چنین میانگین تیتانیوم در شیل برابر 4700 ppm است (۲۰).

مقایسه غلظت های به دست آمده با مقادیر جهانی، نشان دهنده آلودگی نسبتاً بالای خاک های منطقه نسبت به فلزات سنگین مورد مطالعه می باشد. لازم به ذکر است که مقایسه غلظت فلزات با مقادیر جهانی نمی تواند از دقت و صحت کافی برخوردار باشد، زیرا زمین شناسی هر منطقه با مناطق دیگر متفاوت است و این نکته می تواند غلظت فلزات را شدیداً تحت تأثیر قرار دهد.

اما علاوه بر استانداردهای ذکر شده، معیارهایی هم برای بررسی درجه آلودگی خاک ارایه شده است که می توان براساس آن ها به وجود یا عدم وجود آلودگی خاک پی برد. از جمله این عوامل می توان به عامل غنی شدگی، شاخص زمین انباشتگی و شاخص آلودگی اشاره نمود.

عامل غنی شدگی (Enrichment Factor) یک عنصر خاص در یک نمونه معین عبارت است از نسبت غلظت آن عنصر در آن نمونه به غلظت زمینه همان عنصر در جامعه ای که نمونه مربوطه، متعلق به آن است. مقدار غلظت زمینه مقدار مشخصی از یک عنصر در خاک بوده که به عنوان آلودگی در منطقه در نظر گرفته نمی شود (۲۱). با توجه به مقادیر به

مرجع مورد استفاده در محاسبه عامل غنی شدگی می باشند (۲۴).

میزان فاکتور غنی شدگی فلزات سنگین محاسبه شده (جدول ۳)، بیان گر این است که خاک های منطقه دارای حداقل غنی شدگی نسبت به فلزات کبالت، مس و روی بوده و نسبت به فلزات کروم، نیکل و سرب غنی شدگی متوسط را نشان می دهد. روند تغییرات فاکتور غنی شدگی فلزات سنگین در خاک های منطقه مورد مطالعه به صورت زیر می باشد:

$$Ni > Pb > Cr > Zn > Cu > Co$$

جدول ۳- فاکتور غنی شدگی فلزات سنگین در خاک های سطحی اطراف شهرک صنعتی شماره ۲ اهواز

	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
EF	۱/۱۸	۲/۲۳	۱/۱۹	۲/۸۷	۲/۸۱	۱/۲۴

$I_{geo}=3-4$ باشد، خاک شدیداً آلوده، اگر $I_{geo}=4-5$ باشد، خاک بی نهایت آلوده تا شدیداً آلوده و اگر $I_{geo}>5$ باشد، خاک بی نهایت آلوده می باشد.

با توجه به فرمول فوق شاخص زمین انباشتگی برای نمونه های خاک مورد مطالعه محاسبه شده و نتایج حاصل در جدول ۴ ارایه شده است. با توجه به مقادیر شاخص زمین انباشتگی نمونه های خاک اطراف شهرک صنعتی شماره ۲ اهواز نسبت به فلزات کروم مس و روی غیر آلوده، نسبت به فلزات نیکل و سرب غیر آلوده تا نسبتاً آلوده و نسبت به فلز کبالت آلودگی متوسط تا شدید دارد. روند تغییرات شاخص زمین انباشتگی فلزات سنگین در خاک های منطقه مورد مطالعه به صورت زیر می باشد: $Ni > Pb > Cr > Zn > Cu > Co$. همان طور که مشاهده می شود، روند تغییرات شاخص زمین انباشتگی و عامل غنی شدگی خاک های مورد مطالعه نسبت به فلزات سنگین کاملاً یکسان است.

بر اساس عامل غنی شدگی اگر $EF < 2$ باشد، حداقل غنی شدگی اتفاق افتاده است، اگر $EF = 2-5$ باشد، غنی شدگی متوسط، اگر $EF = 5-20$ باشد، غنی شدگی زیاد، اگر $EF = 20-40$ باشد، غنی شدگی بسیار زیاد و اگر $EF > 40$ باشد، غنی شدگی فوق العاده زیاد می باشد (۲۴ و ۲۶). لازم به ذکر است که اگر میزان عامل غنی شدگی کمتر از ۵ باشد، آلودگی چندان اهمیتی ندارد، زیرا معمولاً غنی شدگی های کوچک مقدار مربوط به اختلاف در ترکیب خاک های محلی و یا نوع عنصر

شاخص زمین انباشتگی (Geoaccumulation Index) شاخص دیگری است که در مورد اندازه گیری کمی آلودگی رسوبات و خاک های کوچکتر از ۲ میکرون به فلزات سنگین مورد استفاده قرار می گیرد و از رابطه زیر محاسبه می گردد (۲۸):

$$I_{geo} = \log_2 (C_n / 1.5 B_n)$$

در این رابطه، I_{geo} شاخص زمین انباشتگی، C_n غلظت فلز در خاک و B_n غلظت زمینه ژئوشیمیایی همان فلز در رسوبات دانه ریز (شیل) می باشد. عامل $1/5$ در فرمول فوق به دلیل احتمال اختلاف در غلظت اولیه رسوبات به سبب تأثیر عوامل زمینی و برای حذف تأثیر لیتولوژی های مختلف در منطقه، در رابطه فوق گنجانیده شده است. بر این اساس، اگر $I_{geo} < 0$ باشد، خاک غیر آلوده، اگر $I_{geo} = 0-1$ باشد، خاک غیر آلوده تا نسبتاً آلوده، اگر $I_{geo} = 1-2$ باشد، خاک نسبتاً آلوده، اگر $I_{geo} = 2-3$ باشد، آلودگی خاک متوسط تا شدید، اگر

جدول ۴- شاخص زمین انباشتگی فلزات سنگین در خاک های سطحی اطراف شهرک صنعتی شماره ۲ اهواز

	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
I_{geo}	-۰/۹۵	-۰/۰۳	-۰/۹۴	۰/۳۲	۰/۲۹	-۰/۸۷

کروم، نیکل و سرب در محدوده آلودگی متوسط و نسبت به دیگر فلزات در محدوده آلودگی کم و طبیعی است. روند تغییرات شاخص آلودگی فلزات سنگین در خاک های منطقه مورد مطالعه به صورت زیر می باشد:

$Ni > Pb > Cr > Zn > Cu > Co$ که این روند نیز دقیقاً مطابق روند تغییرات عامل غنی شدگی و شاخص زمین انباشتگی است.

شاخص آلودگی (Pollution Index) نیز معمولاً برای ارزیابی کیفیت محیط زیست مورد استفاده قرار می گیرد (۱۰). شاخص آلودگی (PI) به صورت نسبت غلظت یک عنصر در نمونه های خاک به مقدار زمینه همان عنصر بیان می شود. بر این اساس، شاخص آلودگی هر فلز به صورت کم ($PI \leq 1$)، متوسط ($1 < PI \leq 3$)، یا زیاد ($PI > 3$) طبقه بندی می شود. با توجه به مقادیر شاخص آلودگی، خاک های مورد مطالعه نسبت به فلزات

جدول ۵- شاخص آلودگی فلزات سنگین مورد مطالعه در خاک های سطحی اطراف شهرک صنعتی شماره ۲ اهواز

	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
PI	۰/۷۷	۱/۴۶	۰/۷۷	۱/۸۸	۱/۸۴	۰/۸۶

نتیجه گیری

تجمع یابد. هم چنین کمترین میزان فلز سرب و نیکل به ترتیب در فاصله ۵۰۰۰ متری شرق و ۱۰۰۰ متری غرب شهرک صنعتی دیده شده است که دلیل آن فاصله زیاد از منابع آلاینده و وزش باد غالب می باشد.

تجمع نسبتاً بالای فلزات سنگین در خاک های سطحی منطقه مورد مطالعه متأثر از بافت دانه ریز خاک، وجود مقادیر زیاد $CaCO_3$ ، Na^+ و مقدار کمی کانی رسی است.

مقایسه میانگین غلظت فلزات سنگین به دست آمده با مقادیر میانگین رسوبات جهانی، خاک های جهانی، پوسته زمین و شیل بیان گر آلودگی بالای خاک های منطقه نسبت به فلزات کروم، نیکل و سرب است.

هم چنین برآورد شدت آلودگی با استفاده از شاخص های ژئوشیمیایی عامل غنی شدگی، شاخص زمین انباشتگی و شاخص آلودگی نشان دهنده آلودگی متوسط فلزات کروم، نیکل و سرب در خاک های منطقه و عدم آلودگی برای دیگر فلزات می باشد. روند تغییرات شدت آلودگی فلزات سنگین در خاک های منطقه مورد مطالعه به صورت زیر می باشد: $Ni > Pb > Cr > Zn > Cu > Co$.

به طور کلی نتایج حاصل از تحقیقات فعلی بیان گر آن است که فعالیت های صنعتی در شهرک صنعتی شماره ۲ اهواز، شروعی بر روند جذب و تجمع فلزات سنگین بر خاک های

بر اساس نتایج حاصله، میانگین کلی غلظت فلزات سنگین کبالت، کروم، مس، نیکل، سرب، و روی در ۱۶ نمونه از خاک های سطحی اطراف شهرک صنعتی شماره ۲ اهواز به ترتیب ۱۴/۷، ۱۳۱/۵۶، ۳۵/۰۵، ۱۲۷/۹۸، ۳۶/۸۲ و ۷۷/۴۵ میلی گرم در کیلوگرم می باشد. روند تغییرات میزان جذب و تجمع عناصر سنگین در کل منطقه به صورت $Cr > Ni > Zn > Pb > Cu > Co$ می باشد.

بیشترین تجمع فلزات کبالت، نیکل و سرب در مناطق شرقی و بیشترین تجمع فلزات کروم، مس و روی در مناطق غربی شهرک صنعتی شماره ۲ اهواز می باشد که علت آن استقرار و تمرکز اغلب صنایع در این مناطق و وجود جاده اهواز - اندیمشک در بخش شرقی و تاثیر بادهای غالب شمال غرب - جنوب شرق است که باعث دور نمودن آلاینده ها از شهرک و جاده شده و نتیجه آن ته نشست فلزات سنگین در بخش شرقی شهرک صنعتی می باشد.

حداقل میزان و تجمع فلزات سنگین کبالت، کروم، مس و روی در مناطق شمالی شهرک صنعتی است که علت آن دوری از واحدهای صنعتی و وجود جنگل های انبوه و نخلستان در این منطقه است. وجود جنگل ها در این منطقه از شهرک و نیز تاثیر وزش بادهای منطقه باعث شده تا کمترین میزان فلزات کبالت، کروم، مس و روی در خاک های این محدوده

- suburban areas of Varanasi, India. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 66, 258-266.
6. Nahmani, J., and Lavelle, P., 2002. Effects of heavy metal pollution on soil macrofauna in a grassland of Northern France. *European Journal of Soil Biology*, 38, 297-300.
 7. Lukkari, T., Taavitsainen, M., Vaisanen, A., and Haimi, J., 2004. Effects of heavy metals on earthworms along contamination gradients in organic rich soils. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 59, 340-348.
 8. Wang, Y.P., Shi, J.Y., Wang, H., Lin, Q., Chen, X.C., Chen, Y.X., 2007. The influence of soil heavy metals pollution on soil microbial biomass, enzyme activity, and community composition near a copper smelter. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 67, 75-81.
 9. Adamo, P., Arienzo, M., Bianco, M.R., Terribile, F., and Violante, P., 2002. Heavy metal contamination of the soils used for stocking raw materials in the former ILVA iron-steel industrial plant of Bagnoli (southern Italy). *The Science of the Total Environment*, 295, 17-34.
 10. Chen, T.B., Zheng, Y.M., Lei, M., Huang, Z.C., Tao Wu, H., Chen, H., Ke Fan, K., Yu, K., Wu, X., and Tian, Q.Z., 2005. Assessment of heavy metal pollution in surface soils of urban parks in Beijing, China. *Chemosphere*, 60, 542-551.
 11. Huang, S.S., Liao, Q.I., Hua, M., Wu, X.M., Bi, K.S., Yan, C.Y., Chen, B., and Zhang, X.Y., 2007. Survey of heavy metal pollution and assessment of agricultural soil in Yangzhong district, Jiangsu Province, China. *Chemosphere*, 67, 2148-2155.

محدوده آن و تاثیرگذاری آن ها بر محیط زیست اطراف شهرک صنعتی می باشد که این می تواند به عنوان یک زنگ خطر، مراقبت بیش از پیش مسوولین را طلب نماید.

تشکر و قدردانی

این پروژه تحقیقاتی با حمایت مالی دانشگاه آزاد اسلامی واحد مسجد سلیمان به انجام رسیده است. بدینوسیله نویسندگان مقاله از همکاری های ارزشمند آن واحد دانشگاهی کمال تشکر را دارد. هم چنین از داوران محترم که با نظرات خود به ارتقای سطح علمی این مقاله کمک نموده اند، سپاس گزاریم.

منابع

1. Nasralla, M.M., 1984. Lead in Jeddah urban dust. *Environment Pollution Series B, Chemical and Physical*, 8(2), 133-141.
2. Gu, J.G., Lin, Q.Q., Hu, R., Zhuge, Y.P., and Zhou, Q.X., 2005. Translation behavior of heavy metals in soil-plant system - a case study of Qingchengzi Pb-Zn mine in Liaoning province. *Journal of Agro-Environment Science*, 4, 634-637.
3. LI, Y., Wang, Y.B., Gou, X., Su, Y.B., and Wang, G., 2006. Risk assessment of heavy metals in soils and vegetables around non-ferrous metals mining and smelting sites, Baiyin, China. *Journal of Environmental Sciences*, 18(6), 1124-1134.
4. Li, M.S., Luo, Y.P., and Su, Z.Y., 2007. Heavy metal concentrations in soils and plant accumulation in a restored manganese mine land in Guangxi, South China. *Environmental Pollution*, 147, 168-175.
5. Sharma, R.K., Agrawal, M., and Marshall, F., 2007. Heavy metal contamination of soil and vegetables in

- Geological Society of America Bulletin, 72(2), 175-192.
21. Siegel, F.R., 2002. Environmental Geochemistry of Potentially toxic metals, Springer, New York.
 22. Loska, K., Wiechula, D., and Korus, I., 2004. Metal contamination of farming soils affected by industry, Environ. Int. 30, 159-165.
 23. Tasdemir, Y., and Kural, C. 2005. Atmospheric dry deposition fluxes of trace elements measured in Bursa, Turkey. Environ. Pollut. 138, 462-472.
 24. Kartal, S., Ayd, Z., and Tokalioglu, S. 2006. Fractionation of metals in street sediment samples by using the BCR sequential extraction procedure and multivariate statistical elucidation of the data. J. Hazard. Mater. 132, 80-89.
 25. Turner, A., and Simmonds, L. 2006. Elemental concentrations and metal bioaccessibility in UK household dust. Sci. Total. Environ. Geol. 371, 74-81.
 26. Yongming, H., Peixuan, D., Junji, C., and Posmentier, E. S. 2006. Multivariate analysis of heavy metal contamination in urban dusts of Xian, central China. Sci. Total. Environ. 355, 176-186.
 27. Hao, Y., Guo, Z., Yang, Z., Fang, M., and Feng, J. 2007. Seasonal variations and sources of various elements in the atmospheric aerosols in Qingdao, China. Atmos. Res. 85, 27-37.
 28. Muller, G. 1969. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. Geojournal 2, 108-118.
 29. United States Environmental Protection Agency (USEPA), 1996. Method 3050B: Acid digestion of sediments, sludges and soils (revision 2).
 30. Madrid, L., Diaz-Barrientos, E., and Madrid, F., 2002. Distribution of heavy metal contents of urban soils in parks of Seville. Chemosphere, 49, 1301-1308.
 31. Forstner, U., Wittman, G.T., 1983. Metal Pollution in the Aquatic Environment. Springer, Berlin, Heidelberg, Germany.
 32. Brady, N.C., Weil, R.R., 2001. The Nature and Properties of Soils, 13th ed. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ. USA.
 33. Banat, K.M., Howari, F.M., and Al-Hamad, A.A., 2005. Heavy metals in urban soils of central Jordan: Should we worry about their environmental risks?. Environmental Research, 97, 258-273.
 34. Moller, A., Muller, H.W., Abdullah, A., Abdelgawad, G., and Utermann, J., 2005. Urban soil pollution in Damascus, Syria: concentrations and patterns of heavy metals in the soils of the Damascus Ghouta. Geoderma, 124, 63-71.
 35. Bowen, H.J.M., 1979. Environmental Chemistry of the Elements. Academic Press, London, England.
 36. Mason, B., 1966. Principles of Geochemistry, 3rd ed. Wiley, New York. 330pp.
 37. Turekian, K.K., and Wedepohl, K.H., 1961. Distribution of the Elements in Some Major Units of the Earth's Crust.