

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و دوم، شماره پنج، مرداد ماه ۹۹

بررسی تجمع عناصر کروم و نیکل در خاک اطراف شهرک صنعتی شماره ۳ اراک

سید امیر احمدی^۱

سهیل سبحان اردکانی^{*۲}

s_sobhan@iauh.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۶/۲/۲۰

تاریخ پذیرش: ۹۶/۷/۱۰

چکیده

زمینه و هدف: بررسی توزیع مکانی آلاینده ها به منظور پایش آلودگی خاک و حفظ کیفیت محیط زیست امری ضروری است. لذا این پژوهش با هدف تعیین تجمع کروم و نیکل و تهیه نقشه توزیع مکانی عناصر در خاک اطراف شهرک صنعتی شماره ۳ اراک در سال ۱۳۹۲ انجام شده است.

روش بررسی: بدین منظور، پس از انتخاب ۱۰ ایستگاه در شعاع ۵ کیلومتری شهرک، در مجموع ۲۰ نمونه خاک سطحی و عمقی برداشت شد. پس از تعیین برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، نسبت به هضم اسیدی نمونه ها و قرائت غلظت عناصر توسط دستگاه نشر اتمی اقدام شد. پردازش آماری داده ها و تهیه نقشه پهنه بندی عناصر نیز به ترتیب توسط نرم افزارهای SPSS و ArcGIS انجام یافت.

یافته ها: نتایج نشان داد که بیشینه میانگین غلظت کروم در نمونه های خاک سطحی و عمقی (میلی گرم در کیلوگرم) با $15/50 \pm 1/97$ و $13/00 \pm 1/65$ به ترتیب مربوط به ایستگاه ۲ و بیشینه میانگین غلظت نیکل در خاک سطحی و عمقی (میلی گرم در کیلوگرم) با $19/00 \pm 1/90$ و $18/50 \pm 2/02$ به ترتیب مربوط به ایستگاه های ۹ و ۲ بوده است. نتایج مقایسه میانگین غلظت تجمع یافته کروم و نیکل در نمونه های خاک سطحی و عمقی با رهنمود WHO نشان داد که میانگین غلظت هر دو عنصر در نمونه ها کوچک تر از بیشینه رواداری WHO بوده است.

بحث و نتیجه گیری: عدم تجاوز میانگین غلظت عناصر کروم و نیکل در نمونه ها از بیشینه رواداری WHO را می توان با عواملی همچون اعمال مدیریت محیط زیستی در واحدهای مستقر در شهرک، جهت وزش باد غالب که عمدتاً به سمت اراضی بایر سمت غرب منطقه است، وسعت اندک اختصاص یافته به کاربری کشت آبی و به تبع آن عدم استفاده بیش از حد از نهاده های کشاورزی مرتبط دانست.

واژه های کلیدی: آلودگی خاک، فلز سنگین، GIS، شهرک صنعتی شماره ۳ اراک.

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد محیط زیست، گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده علوم پایه، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران.

۲- دانشیار گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده علوم پایه، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران. * (مسئول مکاتبات)

Evaluation of Cr and Ni Concentrations in the Soil Samples Collected from Near the Arak III Industrial Estate

Seyed Amir Ahmadi¹
Soheil Sobhanardakani^{2*}
s_sobhan@iauh.ac.ir

Admission Date: October 2, 2017

Date Received: May 10, 2017

Abstract

Background and Objective: Spatial distribution of contaminants is essential for soil pollution monitoring and maintaining environmental quality. Therefore this study was carried out for evaluation of Cr and Ni concentrations in soil samples collected from around the Arak III Industrial Estate in 2013 and preparing the zoning map of metals.

Method: After selecting 10 sampling stations within a radius of 5 km from the industrial estate, a total of 20 soil samples were collected from topsoils and subsoils. Then some physical and chemical properties of soil were determined. For determination of heavy metals concentration in soil samples, using ICP-OES (Varian, 710-ES, Australia) when soil digestion was complete. All statistical analyses were done by SPSS software, version 18.0 (SPSS Inc., USA). Also, the spatial distribution maps of elements in soil samples were prepared using IDW method.

Findings: The results showed that maximum mean concentration of Cr in topsoils and subsoils samples were found in sampling station II with 15.50 ± 1.97 and 13.00 ± 1.65 mg/kg, respectively, and maximum mean concentration of Ni in topsoils and subsoils samples were found in sampling stations IX and II with 19.25 ± 1.90 and 18.50 ± 2.02 mg/kg, respectively.

Discussion and Conclusion: Comparative evaluation of Cr and Ni contents in different studied soil samples showed that the mean concentrations of Cr and Ni in all topsoils and subsoils due to implementation of environmental management of industrial units in Arak III Industrial Estate and minimal use of agricultural inputs such as chemical fertilizers and pesticides were significantly lower than WHO permissible limits for soil contamination

Keywords: Soil Contamination, Heavy Metals, GIS, Arak III Industrial Estate

1- M.Sc., Department of the Environment, College of Basic Sciences, Hamedan Branch, Islamic Azad University, Hamedan, Iran

2- Associate Professor, Department of the Environment, College of Basic Sciences, Hamedan Branch, Islamic Azad University, Hamedan, Iran *(Corresponding Author)

مقدمه

همچنین ورود مقادیر بیش از حد مجاز نیکل به بدن نیز احتمال ابتلا به سرطان‌های ریه، بینی، حنجره و پروستات را افزایش می‌دهد (۷ و ۸).

با توجه به این‌که در شهرک‌های صنعتی، صنایع مختلفی از جمله صنایع شیمیایی، نساجی، آبکاری، تولید پروفیل و آلومینیوم، ریخته‌گری، فرآوری مواد غذایی، سلولزی و برق و الکترونیک مستقر هستند، هر کدام از آن‌ها به طرق مختلف می‌تواند باعث تخلیه فلزات سنگین به محیط و به تبع آن گیاه و محصولات کشاورزی شده و بدین صورت مخاطرات جدی برای بوم‌سازگان، شهروندان و به‌ویژه ساکنان محلی ایجاد نماید (۱ و ۳).

تاکنون چندین مطالعه در خصوص ارزیابی تجمع فلزات سنگین در خاک اطراف نواحی صنعتی انجام یافته است که از جمله می‌توان به مطالعه Mohammadi Roozbahani و همکاران (۲۰۱۵) که نسبت به بررسی آلودگی فلزات سنگین در مجموعه صنعتی شماره ۲ اهواز اقدام کردند (۱)، مطالعه Sobhanardakani و همکاران (۲۰۱۶) که نسبت به بررسی آلودگی فلزات سنگین در مجموعه صنعتی شماره ۴ اهواز اقدام کردند (۳)، مطالعه Sarma و Deka (۲۰۱۲) که نسبت به بررسی آلودگی فلزات سنگین در خاک ناحیه صنعتی Eastern Guwahati هندوستان اقدام کردند (۹)، مطالعه Krishna و Govil (۲۰۰۷) که به ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در خاک یک منطقه صنعتی در گوجارات هندوستان پرداختند (۱۰) و مطالعه Jankiewicz و Adamczyk (۲۰۰۷) که نسبت به بررسی غلظت فلزات سنگین در خاک اطراف نیروگاه لودز لهستان اقدام کردند (۱۱)، اشاره کرد.

با توجه به صنایع مستقر در شهرک صنعتی شماره ۳ اراک و احتمال آلودگی خاک محیط پیرامون شهرک، این پژوهش با هدف ارزیابی محتوی عناصر کروم و نیکل در نمونه‌های خاک اطراف شهرک صنعتی خیرآباد و تهیه نقشه پهنه‌بندی عناصر در سال ۱۳۹۲ انجام یافته است.

افزایش فعالیت‌های صنعتی توأم با تولید آلاینده‌ها از جمله فلزات سنگین یکی از مشکلات جدی و در حال گسترش پیش روی انسان عصر حاضر، به‌ویژه از نظر بهداشت و سلامت عمومی است (۱). خاک مخلوط پیچیده‌ای از مواد معدنی و آلی و موجودات زنده است. ویژگی مهم خاک این است که زنده است و موجودات زنده را می‌پروراند که مثال بارز آن گیاهان هستند. به بیان دیگر خاک پوسته‌ای از زمین است که بدون آن زمین خواهد مرد، بنابراین حفاظت از کیفیت خاک‌ها و جلوگیری از آلودگی و زوال آن‌ها از اصول اولیه برای رسیدن به توسعه پایدار است (۲ و ۳).

منشأ فلزات سنگین در خاک می‌تواند ناشی از هوازدگی مواد مادری و یا منابع متعدد آلاینده خارجی باشد. از این‌رو مطالعه فلزات سنگین و عناصر کمیاب می‌تواند ما را به درک رفتار زمین‌شیمیایی، توزیع مکانی و شیوه غنی‌شدگی این فلزات رهنمون سازد (۴). یون فلزهای سنگین به‌عنوان آلاینده‌های پایدار و ماندگار در محیط‌زیست می‌تواند به‌دلیل غیر قابل تجزیه بودن، تمایل به تجمع در بافت‌های زنده، نیم‌عمر طولانی، پایداری در محیط، تاثیر بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، کاهش فعالیت زیستی خاک، کاهش دستیابی زیستی به مواد مغذی خاک، ورود به زنجیر غذایی و نفوذ در منابع آب زیرزمینی، در غلظت‌های بیش‌تر از حد استاندارد عوارض سوء متعددی برای انسان و سایر موجودات زنده در پی داشته و در ضمن امنیت محیط‌زیست را نیز به مخاطره اندازد. علی‌رغم تفاوت‌هایی که در رفتار فلزات سنگین از لحاظ تحرک و قابلیت جذب آن‌ها در خاک وجود دارد، در اغلب موارد نرخ خروج آن‌ها از طریق آب‌شویی و یا جذب به‌وسیله گیاهان نسبت به میزان ورود آن‌ها به خاک بسیار کم‌تر است، بنابراین، این موارد می‌توانند به انباشته شدن تدریجی عناصر در خاک منجر شوند (۲، ۵، ۶).

کروم شش ظرفیتی سبب نکرور کبدی، سرطان دستگاه گوارش، التهاب کلیه‌ها و در نهایت مرگ انسان می‌شود.

مواد و روش‌ها

شهرک صنعتی خیرآباد با وسعت ۳۸۹ هکتار در مجاور جاده اراک-تهران و فاصله ۳۰ کیلومتری شرق شهر اراک واقع شده است. این شهرک به واسطه برخورداری از زیرساخت‌ها و امکانات مناسب و با توجه به تعدد واحدهای فلزی مستقر در آن، به‌عنوان یکی از قطب‌های صنایع فلزی استان مرکزی محسوب می‌شود (۱۲).

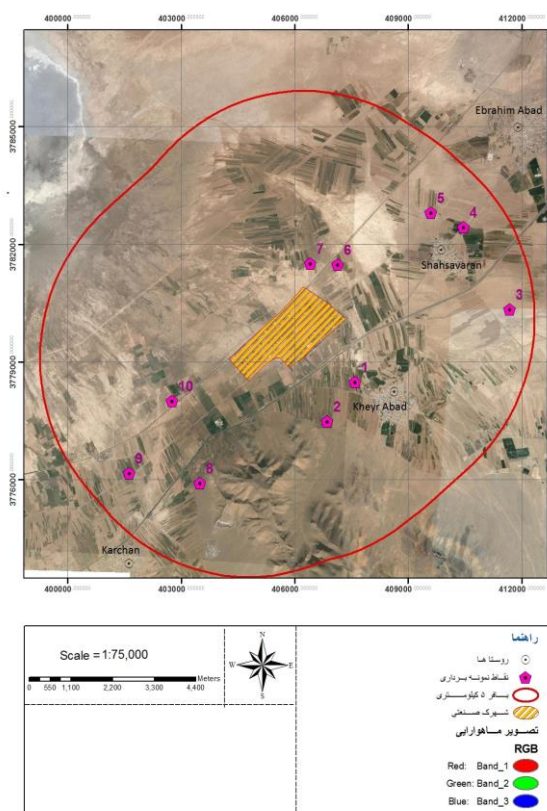
به منظور نمونه‌برداری از خاک، ۱۰ ایستگاه نمونه‌برداری به‌طور تصادفی و بر پایه کاربری اراضی (تصویر ۶) و همچنین جهت موافق و مخالف وزش باد غالب در شعاع پنج کیلومتری شهرک صنعتی خیرآباد انتخاب شد. در فصل بهار ۱۳۹۲، از هر ایستگاه یک نمونه خاک سطحی (عمق ۰-۲۵ سانتی‌متری) و یک نمونه خاک عمقی (عمق ۹۵-۷۰ سانتی‌متری) برداشت شد (۳ و ۱۳). همچنین مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری توسط دستگاه GPS بر اساس سیستم UTM ثبت شد. نقشه موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری در تصویر ۱ ارائه شده است.

به منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و قرائت غلظت تجمع‌یافته عناصر در نمونه‌ها، پس از هوا خشک کردن نمونه‌های و سپس کوبیدن آن‌ها، نمونه‌ها برای جداسازی سنگریزه و سایر زائدات از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. از طرفی بافت خاک شامل درصد شن، سیلت و رس بر پایه قانون استوکس به روش هیدرومتری تعیین شد و هدایت الکتریکی و pH نمونه‌ها نیز در عصاره ۱:۵ خاک به آب و به ترتیب به وسیله EC متر مدل ۴۵۲۰ و pH متر مدل ۳۵۲۰ Jenway قرائت شدند. عصاره‌گیری برای تعیین غلظت فلزات سنگین در خاک نیز با استفاده از اسید کلریدریک و اسید نیتریک ۴ مولار انجام یافت (۱۷-۱۴) و غلظت عناصر کروم و نیکل توسط دستگاه نشر اتمی Varian مدل ES-۷۱۰ در سه تکرار خوانده شدند.

به منظور تهیه نقشه توزیع مکانی عناصر، موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری بر روی نقشه ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه پیاده شده و بعد از به‌دست آوردن نتایج آنالیز نمونه‌ها، با استفاده از ویرایش ۹/۳ نرم افزار ArcGIS نسبت به تهیه بانک اطلاعاتی از نتایج اقدام و سپس از طریق روش درون‌یابی

وزنی (IDW)، نقشه‌های پهنه‌بندی برای هر عنصر ترسیم شد (۱۳).

برای پردازش آماری نتایج نیز از ویرایش ۱۸ نرم‌افزار آماری SPSS استفاده شد. بدین صورت که به منظور اطمینان از نرمال بودن توزیع داده‌ها از آزمون شاپیرو-ویلک، برای مقایسه میانگین غلظت عناصر مورد ارزیابی بین ایستگاه‌های نمونه-برداری از آزمون آماری تحلیل واریانس یک‌طرفه (آزمون تعقیبی دانکن)، برای مقایسه میانگین غلظت عناصر مورد ارزیابی در نمونه‌ها با رهنمود سازمان جهانی بهداشت از آزمون تی تک‌نمونه‌ای و برای بررسی شدت اثر ایستگاه، عمق و اثر متقابل آن‌ها بر تجمع عناصر در خاک از آزمون آماری تحلیل واریانس بین آزمودنی دو طرفه کاملاً تصادفی (آزمون لون) استفاده شد.



تصویر ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری

Figure 1. Map of sampling stations

یافته‌ها

نتایج مربوط به تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و همچنین قرائت غلظت فلزات سنگین در نمونه‌ها به ترتیب در جداول ۱ و ۲ ارایه شده است.

جدول ۱- نتایج خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

Table 1. Physicochemical properties of soil

ایستگاه	pH	هدایت الکتریکی (میکروزیمنس)	بافت خاک
۱	۷/۸	۴۰۰	لومی سیلتی
۲	۷/۴	۳۹۰	لومی رسی
۳	۷/۶	۳۸۰	لومی
۴	۷/۴	۲۷۰	لومی
۵	۷/۲	۳۹۱	لومی شن
۶	۷/۹	۴۲۲	لومی شن رسی
۷	۷/۴	۳۵۷	لومی شن
۸	۷/۶	۲۹۱	لومی شن
۹	۷/۵	۴۵۳	لومی رسی
۱۰	۷/۶	۳۲۴	لومی شن

جدول ۲- محتوی عناصر کروم و نیکل در نمونه‌های خاک سطحی و عمقی بر حسب میلی‌گرم در کیلوگرم

Table 2. Chromium and nickel concentrations in top and subsoil samples

انحراف معیار \pm میانگین*		نمونه مورد ارزیابی	ایستگاه
نیکل	کروم		
۱۷/۰۰ \pm ۲/۱۵	۱۳/۲۵ \pm ۱/۹۱	خاک سطحی	۱
۱۸/۲۵ \pm ۲/۲۹	۱۲/۷۵ \pm ۱/۷۳	خاک عمقی	
۱۸/۰۰ \pm ۲/۰۳	۱۵/۵۰ \pm ۱/۹۷	خاک سطحی	۲
۱۸/۵۰ \pm ۲/۰۲	۱۳/۰۰ \pm ۱/۶۵	خاک عمقی	
۱۴/۲۵ \pm ۱/۹۵	۹/۲۵ \pm ۰/۸۸	خاک سطحی	۳
۱۷/۰۰ \pm ۱/۸۸	۱۱/۲۵ \pm ۱/۵۲	خاک عمقی	
۱۱/۰۰ \pm ۱/۴۸	۸/۰۰ \pm ۰/۵۳	خاک سطحی	۴
۱۲/۰۰ \pm ۱/۶۹	۹/۰۰ \pm ۰/۵۵	خاک عمقی	
۴/۰۰ \pm ۰/۰۹	۴/۲۵ \pm ۰/۱۱	خاک سطحی	۵
۳/۵۰ \pm ۰/۰۸	۳/۰۰ \pm ۰/۰۹	خاک عمقی	
۷/۷۵ \pm ۰/۵۰	۵/۵۰ \pm ۰/۴۲	خاک سطحی	۶
۸/۵۰ \pm ۰/۵۹	۶/۷۵ \pm ۰/۴۵	خاک عمقی	
۱۰/۷۵ \pm ۱/۳۵	۶/۷۵ \pm ۰/۵۲	خاک سطحی	۷
۱۱/۰۰ \pm ۱/۲۲	۶/۵۰ \pm ۰/۵۳	خاک عمقی	
۱۷/۲۵ \pm ۱/۸۰	۱۱/۰۰ \pm ۱/۳۰	خاک سطحی	۸

۱۶/۲۵±۱/۷۵	۱۱/۵۰±۱/۱۱	خاک عمقی	
۱۹/۲۵±۱/۹۰	۱۲/۵۰±۱/۲۲	خاک سطحی	۹
۱۶/۵۰±۱/۷۷	۹/۷۵±۰/۴۲	خاک عمقی	
۱۸/۵۰±۱/۷۷	۱۱/۷۵±۱/۱۲	خاک سطحی	۱۰
۱۶/۵۰±۱/۵۴	۱۰/۷۵±۰/۹۹	خاک عمقی	

* داده ها مربوط به میانگین غلظت ۳ تکرار است.

وجود داشته است. همچنین نتایج نشان داد که به جز در مورد ایستگاه ۱ با ۹ و ۱ با ۱۰، بین سایر ایستگاه‌ها از نظر میانگین غلظت تجمع یافته عنصر نیکل اختلاف معنی دار آماری وجود داشته است.

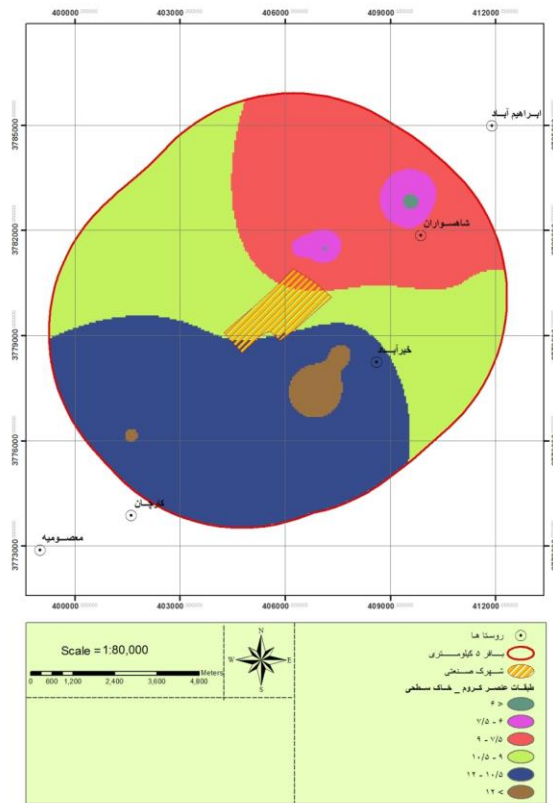
نتایج آزمون آماری تحلیل واریانس بین آزمودنی دو طرفه کاملاً تصادفی (آزمون لون) به منظور بررسی شدت اثر ایستگاه، عمق و اثر متقابل آن‌ها بر تجمع عنصر کروم در خاک نشان داد از آن‌جا که مقادیر $p < 0.05$ و $f(9, 40) = 1185/6$ بود، لذا تاثیر ایستگاه بر نرخ تجمع کروم معنی دار بوده و با توجه به اتادو برابر با ۰/۹۹۶، شدت تاثیر نیز بالا بوده است. همچنین از آن‌جا که $p > 0.05$ و $f(1, 40) = 0.600$ بود، تاثیر عمق بر نرخ تجمع کروم معنی دار نبوده است. از طرفی با توجه به $p < 0.05$ و $f(9, 40) = 42/26$ می‌توان نتیجه گرفت که تاثیر متقابل ایستگاه و عمق بر نرخ تجمع کروم معنی دار بوده و شدت اثر آن نیز به واسطه اتادو برابر با ۰/۹۰۵، بالا بوده است. از سوی دیگر نتایج این آزمون به منظور بررسی شدت اثر ایستگاه، عمق و اثر متقابل آن‌ها بر تجمع عنصر نیکل در خاک نشان داد از آن‌جا که $p < 0.05$ و $f(9, 40) = 2387/3$ بود، لذا، تاثیر ایستگاه بر نرخ تجمع نیکل معنی دار بوده و با توجه به اتادو برابر ۰/۹۹، شدت تاثیر نیز بالا بوده است. همچنین از آن‌جا که $p > 0.05$ و $f(1, 40) = 0.15$ بود، تاثیر عمق بر نرخ تجمع نیکل معنی دار نبوده است. از طرفی با توجه به $p < 0.05$ و $f(9, 40) = 63/4$ می‌توان نتیجه گرفت که تاثیر متقابل ایستگاه و عمق بر نرخ تجمع نیکل معنی دار بوده و شدت اثر آن نیز به واسطه اتادو برابر با ۰/۹۳۵، بالا بوده است.

نتایج مربوط به پهنه‌بندی میانگین غلظت تجمع یافته عناصر کروم و نیکل به تفکیک نمونه خاک سطحی و عمقی در تصاویر ۲ تا ۵ ارائه شده است.

نتایج مندرج در جدول ۱ بیان‌گر آن است که pH نمونه‌ها در محدوده خنثی تا کمی قلیایی و بافت خاک نیز در ایستگاه‌های مختلف از رسی تا شنی متغیر بوده است. همچنین نتایج مندرج در جدول ۲ نشان داد که کمینه و بیشینه میانگین غلظت تجمع یافته عنصر کروم در نمونه‌های خاک سطحی با $4/25 \pm 0/11$ و $15/50 \pm 1/97$ میلی‌گرم در کیلوگرم به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های ۵ و ۲ و در نمونه‌های خاک عمقی نیز با $3/00 \pm 0/09$ و $13/00 \pm 1/65$ میلی‌گرم در کیلوگرم نیز به ترتیب مربوط به همین ایستگاه‌ها بوده است. از طرفی کمینه و بیشینه میانگین غلظت تجمع یافته عنصر نیکل در نمونه‌های خاک سطحی با $4/00 \pm 0/09$ و $19/25 \pm 1/90$ میلی‌گرم در کیلوگرم به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های ۵ و ۹ و در نمونه‌های خاک عمقی نیز با $3/50 \pm 0/08$ و $18/50 \pm 2/02$ میلی‌گرم در کیلوگرم به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های ۵ و ۲ بوده است.

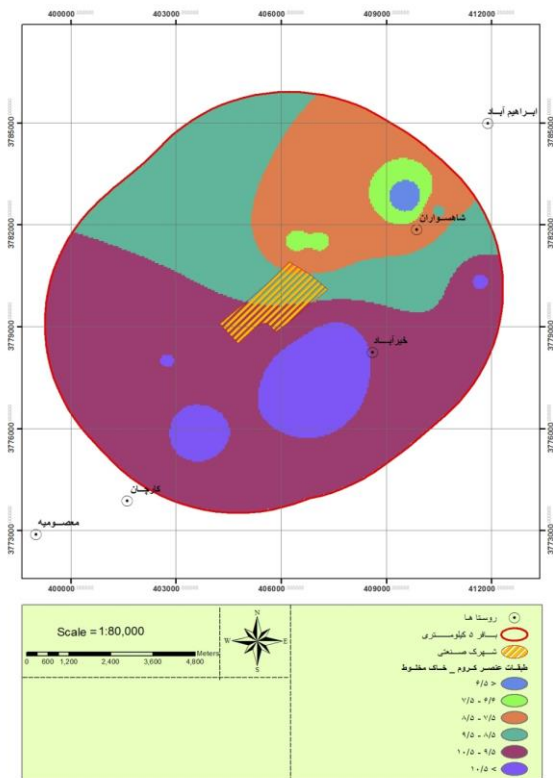
نتایج مقایسه میانگین غلظت تجمع یافته عناصر کروم و نیکل در نمونه‌های خاک سطحی و عمقی با رهنمود سازمان جهانی بهداشت (۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم برای کروم و ۶۸ میلی‌گرم در کیلوگرم برای نیکل) (۱۸) نشان داد که بین میانگین غلظت تجمع یافته عناصر کروم و نیکل در نمونه‌های خاک سطحی و عمقی با رهنمود WHO اختلاف معنی دار آماری وجود داشته است ($p < 0.05$) و میانگین غلظت تجمع یافته هر دو عنصر در نمونه‌های خاک سطحی و عمقی از بیشینه رواداری کوچک‌تر بوده است.

نتایج آزمون آماری تحلیل واریانس یک طرفه (آزمون چنددامنه ای دانکن) به منظور مقایسه ایستگاه‌های نمونه‌برداری از حیث میانگین غلظت تجمع یافته عنصر کروم نشان داد که به جز در مورد ایستگاه‌های ۸، ۹ و ۱۰؛ بین سایر ایستگاه‌ها از نظر میانگین غلظت تجمع یافته این عنصر اختلاف معنی دار آماری



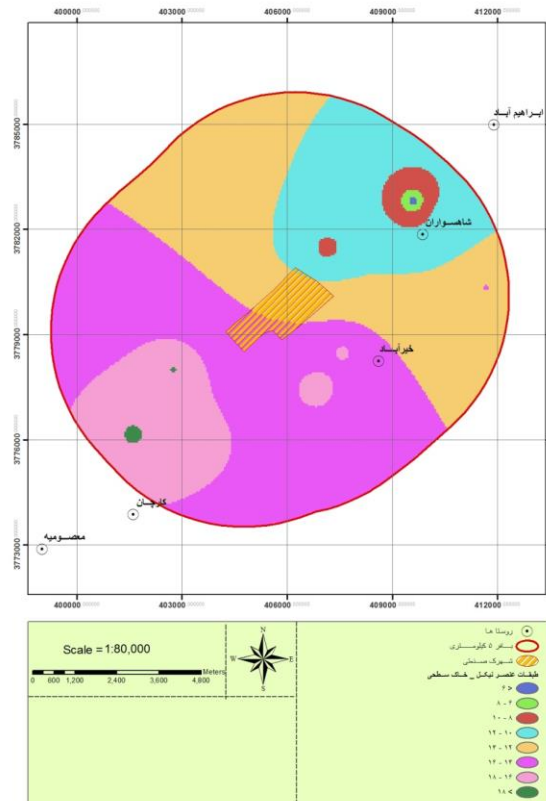
تصویر ۲- نقشه توزیع مکانی فلز کروم در نمونه خاک سطحی منطقه مورد مطالعه

Figure 2. Spatial distribution map of Cr in topsoil of the study area



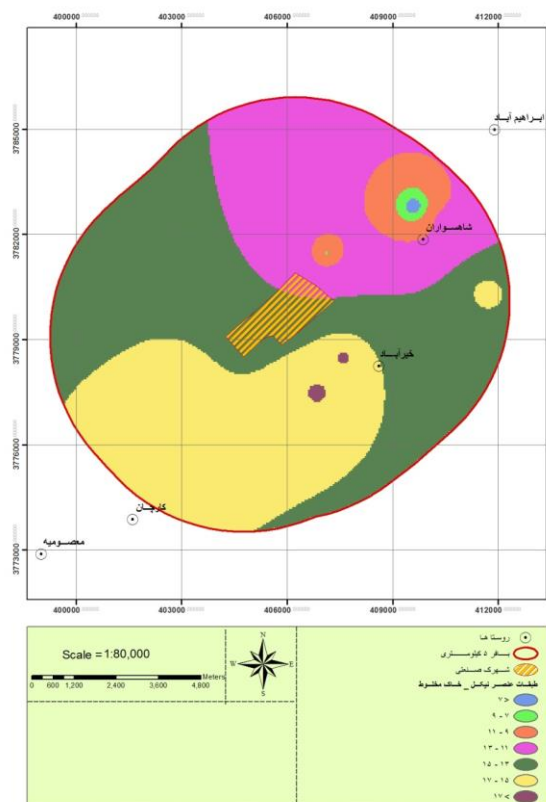
تصویر ۳- نقشه توزیع مکانی فلز کروم در نمونه خاک عمقی منطقه مورد مطالعه

Figure 3. Spatial distribution map of Cr in subsoil of the study area



تصویر ۴- نقشه توزیع مکانی فلز نیکل در نمونه خاک سطحی منطقه مورد مطالعه

Figure 4. Spatial distribution map of Ni in topsoil of the study area



تصویر ۵- نقشه توزیع مکانی فلز نیکل در نمونه خاک عمقی منطقه مورد مطالعه

Figure 5. Spatial distribution map of Ni in subsoil of the study area

نسبت به بررسی آلودگی فلزات سنگین در خاک حیدر آباد هند اقدام کردند (۲۱)، مطابقت دارد.

بافت خاک یکی دیگر از پیراسنجه‌های مهم مورد بررسی در این پژوهش بود که بر پایه قانون استوکس و به روش هیدرومتر تعیین شد. در خاک‌های با بافت رسی، لومی و لومی رسی با بار منفی تجمع فلزات سنگین به دلیل تشکیل کمپلکس بیش‌تر از خاک‌هایی با بافت شنی است که به واسطه آبشویی بیش‌تر در آن‌ها، فلزات از دسترس خارج می‌شوند. نتایج نشان داد که بیشینه میانگین غلظت تجمع‌یافته عنصر کروم در نمونه‌های خاک سطحی و عمقی به ترتیب با $15/50 \pm 1/97$ و $13/00 \pm 1/65$ میلی‌گرم در کیلوگرم مربوط به ایستگاه ۲ و بیشینه میانگین غلظت تجمع‌یافته عنصر نیکل نیز در نمونه‌های خاک سطحی و عمقی با $19/25 \pm 1/90$ و $18/50 \pm 2/02$ میلی‌گرم در کیلوگرم به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های ۹ و ۲ بوده است (جدول ۲). لذا، این یافته‌ها با بافت لومی رسی خاک ایستگاه‌های ۲ و ۹ قابل توجیه خواهند بود. ضمن این‌که با توجه به فاصله این ایستگاه‌ها و به‌ویژه ایستگاه ۹ از شهرک صنعتی خیرآباد، جهت وزش باد غالب که غالباً در فصول زمستان و بهار غربی است (۲۲) و همچنین مطابقت محل استقرار این ایستگاه‌ها با نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه (تصویر ۶) که بیانگر عدم تاثیر مصرف نهاده‌های کشاورزی در تجمع عناصر در خاک به‌واسطه واقع شدن ایستگاه ۲ در اراضی کشت دیم و ایستگاه ۹ در اراضی بایر است، می‌توان به نقش بافت خاک در تجمع فلزات سنگین ادعان کرد.

مقادیر نسبتاً بالای کروم و نیکل خاک باعث سمیت برای بسیاری از گونه‌های گیاهی می‌شود و فقط طیف بسیار محدودی از گیاهان می‌توانند در چنین محیطی رشد کنند (۲۳). نتایج مقایسه آماری میانگین غلظت تجمع‌یافته عناصر کروم و نیکل با بیشینه رواداری WHO نشان داد که بین میانگین غلظت تجمع‌یافته عناصر کروم و نیکل در نمونه‌های خاک سطحی و عمقی با مقادیر MPL اختلاف معنی‌دار آماری وجود داشته است ($p < 0/05$). به‌طوری‌که میانگین غلظت

نتایج توزیع مکانی عنصر کروم در نمونه‌های خاک سطحی منطقه مورد مطالعه حاصل نشان داد که دامنه غلظت‌های بیشینه این عنصر ($10/50-12$ و $12 >$ میلی‌گرم در کیلوگرم) مربوط به جنوب، جنوب غرب و جنوب شرق شهرک صنعتی خیرآباد بوده است. همچنین توزیع مکانی این عنصر در نمونه‌های خاک عمقی منطقه مورد مطالعه نیز نشان داد که دامنه غلظت‌های بیشینه این عنصر ($9/50-10/50$ و $10/50 >$ میلی‌گرم در کیلوگرم) مربوط به جنوب، جنوب غرب، جنوب شرق، غرب و شرق شهرک صنعتی خیرآباد بوده است. این در حالی است که نتایج توزیع مکانی عنصر نیکل در نمونه‌های خاک سطحی منطقه مورد مطالعه نشان داد که دامنه غلظت‌های بیشینه این عنصر ($16/00-18$ و $18 >$ میلی‌گرم در کیلوگرم) مربوط به جنوب و جنوب شرق شهرک صنعتی خیرآباد و توزیع مکانی این عنصر در نمونه‌های خاک عمقی منطقه مورد مطالعه بر اساس دامنه غلظت‌های بیشینه این عنصر ($15/00-17/00$ و $17/00 >$ میلی‌گرم در کیلوگرم) مربوط به جنوب و جنوب شرق شهرک صنعتی خیرآباد بوده است.

بحث و نتیجه‌گیری

pH خاک قابلیت دسترسی به عناصر غذایی توسط گیاهان را تعیین می‌کند. همچنین قابلیت دسترسی فلزات سنگین رابطه معکوس با این پارامتر دارد. نتایج مطالعه خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک (جدول ۱) نشان داد که pH نمونه‌ها در محدوده خنثی تا کمی قلیایی متغیر و خاک منطقه مورد مطالعه احتمالاً آهکی و شور بوده است. با افزایش pH خاک و به تبع آن افزایش رسوب عناصر فلزی به‌صورت هیدروکسیدها، کربنات‌های نامحلول و کمپلکس‌های آلی، قابلیت دسترسی فلزات سنگین موجود در خاک برای گیاهان کاهش می‌یابد (۱۹ و ۲۰). این نتایج با دستاورد پژوهش خداکرمی و همکاران (۱۳۹۰) که نسبت به پهنه‌بندی غلظت فلزات سنگین کروم، کبالت و نیکل در خاک‌های سه زیر حوزه آبخیز استان همدان اقدام کردند (۲) و نتایج پژوهش Parth و همکاران (۲۰۱۱) که

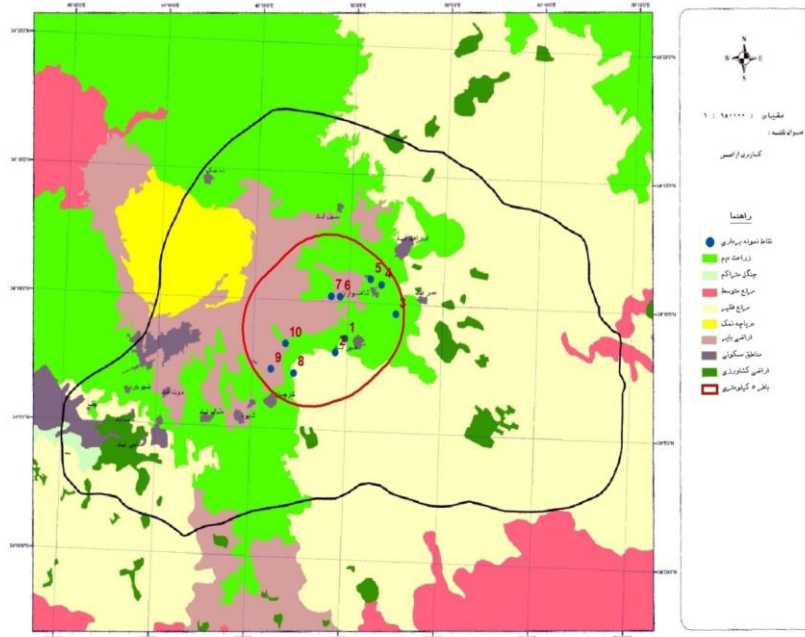
۵) نشان داد که میانگین غلظت عنصر کروم در خاک سطحی از شمال به جنوب منطقه مورد مطالعه افزایش یافته و دامنه غلظت‌های بیشینه این عنصر مربوط به جنوب، جنوب غرب و جنوب شرق شهرک صنعتی خیرآباد بوده که با استناد به نقشه کاربری اراضی (تصویر ۶) غالباً دربرگیرنده مراتع فقیر، اراضی بایر و تاحدودی اراضی کشت دیم بوده است. همچنین توزیع مکانی این عنصر در نمونه‌های خاک عمقی منطقه مورد مطالعه نیز از این روند پیروی کرده و دامنه غلظت‌های بیشینه این عنصر مربوط به جنوب، جنوب غرب، جنوب شرق، غرب و شرق شهرک صنعتی خیرآباد بوده است. نتایج توزیع مکانی عنصر نیکل در نمونه‌های خاک سطحی منطقه مورد مطالعه نیز نشان داد که میانگین غلظت این عنصر از شمال به جنوب منطقه مورد مطالعه افزایش یافته و دامنه غلظت‌های بیشینه آن در خاک سطحی مربوط به جنوب و جنوب شرق شهرک صنعتی خیرآباد بوده است. همچنین توزیع مکانی نیکل در نمونه‌های خاک عمقی منطقه مورد مطالعه نیز نشان داد که دامنه غلظت‌های بیشینه این عنصر مربوط به جنوب و جنوب شرق شهرک صنعتی خیرآباد یعنی مراتع فقیر، اراضی بایر و تاحدودی اراضی کشت دیم بوده است.

به‌طور کلی عدم تجاوز میانگین غلظت تجمع‌یافته عناصر کروم و نیکل در نمونه‌های خاک اطراف شهرک صنعتی شماره ۳ اراک از مقادیر MPL را می‌توان با عواملی همچون اعمال مدیریت صحیح محیط‌زیستی در راستای کنترل آلاینده‌های منتشر شده توسط واحدهای مستقر در شهرک صنعتی، جهت وزش باد غالب که عمدتاً به سمت اراضی بایر واقع در غرب منطقه مورد مطالعه است، وسعت اندک اختصاص یافته به کاربری کشت آبی و به تبع آن عدم استفاده بیش از حد از نهاده‌های کشاورزی مرتبط دانست.

تجمع‌یافته هر دو عنصر در نمونه‌های خاک سطحی و عمقی کوچک‌تر از MPL بود (جدول ۳). این نتایج با دستاورد پژوهش شهبازی و همکاران (۱۳۹۱) که نسبت به بررسی آلودگی فلزات سنگین خاک در نهان اقدام کرده و نتیجه گرفتند که میانگین غلظت فلزات سنگین موجود در خاک به‌ویژه کروم و نیکل کوچک‌تر از MPL بوده است (۲۴)، مطابقت دارد. ولی با دستاورد مطالعه Mohammadi و Roozbahani و همکاران (۲۰۱۵) و Sobhanardakani و همکاران (۲۰۱۶) که به ترتیب نسبت به بررسی آلودگی فلزات سنگین در مجموعه‌های صنعتی شماره ۲ و ۴ اهواز اقدام کرده و نتیجه گرفتند که میانگین غلظت عناصر مورد مطالعه از جمله نیکل به‌واسطه فعالیت‌های نفتی بیش‌تر از استاندارد کیفی خاک ایران بوده است (۱ و ۳) و با دستاورد پژوهش Moura و همکاران (۲۰۱۰) که نسبت به ارزیابی فلزات سنگین در خاک منطقه‌ای از برزیل اقدام کرده و نتیجه گرفتند که میانگین غلظت عنصر کروم به‌واسطه استفاده بیش از اندازه نهاده‌های کشاورزی بزرگ‌تر از حد مجاز بوده است (۲۵)، مطابقت ندارد. نتایج مقایسه میانگین غلظت تجمع‌یافته عناصر کروم و نیکل بین ایستگاه‌های نمونه‌برداری، بیان‌گر آن بود که بین بیش‌تر ایستگاه‌ها از نظر میانگین غلظت تجمع‌یافته این دو عنصر اختلاف معنی‌دار وجود داشته است.

نتایج بررسی شدت اثر ایستگاه، عمق و اثر متقابل آن‌ها بر تجمع عناصر کروم و نیکل در خاک نشان داد که تاثیر ایستگاه بر نرخ تجمع عناصر کروم و نیکل با شدت تاثیر بالا، معنی‌دار بوده است. در صورتی‌که تاثیر عمق بر نرخ تجمع این ناصر معنی‌دار نبوده است. همچنین تاثیر متقابل ایستگاه و عمق با شدت تاثیر بالا بر نرخ تجمع عناصر معنی‌دار بوده است.

نتایج مربوط به پهنه‌بندی میانگین غلظت تجمع‌یافته عنصر کروم به تفکیک نمونه‌های خاک سطحی و عمقی (تصاویر ۲ تا



تصویر ۶- نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه

Figure 6. Land use map of the study area

soils of Ahvaz IV industrial estate, Khuzestan province, Iran. Iranian Journal of Health Sciences, 4(1), 53-61.

4. Dudka, S., Ponce-Hernandez, R., Hutchinson, T.C. (1995). Current levels of total element concentrations in the surface layer of Sudbury's soils. Science of the Total Environment, 162, 161-172.
5. Nazari, S., Sobhanardakani, S. (2015). Assessment of pollution index of heavy metals in groundwater resources of Qaleh Shahin plain (2013-2014). Journal of Kermanshah University of Medical Sciences, 19(2), 102-108. (In Persian)
6. Rezaei Raja, O., Sobhanardakani, S., Cheraghi, M. (2016). Health risk assessment of citrus contaminated with heavy metals in Hamedan city, potential risk of Al and Cu.

Reference

1. Mohammadi Roozbahani, M., Sobhanardakani, S., Karimi, H., Sorooshnia, R. (2015). Natural and anthropogenic source of heavy metals pollution in the soil samples of an industrial complex; a case study. Iranian Journal of Toxicology, 9(29), 1336-1341.
2. Khodakarami, L., Soffianian, A., Mirghafari, N., Afyuni, M., Golshahi, A. (2012). Concentration zoning of chromium, cobalt and nickel in the soils of three sub-basin of the Hamadan Province using GIS technology and the geostatistics. Journal of Water and Soil Science, 15(58), 243-254. (In Persian)
3. Sobhanardakani, S., Mohammadi Roozbahani, M., Sorooshnia, R., Karimi, H. (2016). Assessment of heavy metal contamination in surface

- Monitoring and Assessment, 170, 681-701.
14. Cao, H.F., Chang, A.C., Page, A.L. (1984). Heavy metal contents of sludge-treated soils as determined by three extraction procedures. *Journal of Environmental Quality*, 13, 632-634.
 15. Klute, A., Page, A.L. (1986). *Methods of Soil Analysis, Physical and Mineralogical Methods*. Second Edition, American Society of Agronomy, 1188p.
 16. Al-Masri, M.S., Al-Akel, B., Nashawani, A., Amin, Y., Khalifa, K.H., Al-Ain, F. (2008). Transfer of ^{40}K , ^{238}U , ^{210}Pb , and ^{210}Po from soil to plant in various locations in south of Syria. *Journal of Environmental Radioactivity*, 99, 322-331.
 17. Di Bonito, M., Breward, N., Crout, N.M.J., Smith, B., Young, S.D. (2008). Overview of Selected Soil Pore Water Extraction Methods for the Determination of Potentially Toxic Elements in Contaminated Soils: Operational and Technical Aspects. *Environmental Geochemistry*, 213-249.
 18. Kelepertsis, A., Alexakis, D., Kita, I. (2001). Environmental geochemistry of soils and waters of Susaki Area, Korinthos, Greece. *Environmental Geochemistry and Health*, 23(2), 117-135.
 19. Vaseghi, S., Afyuni, M., Shariatmadari, H., Mobli, M. (2003). Effects of sewage sludge and soil pH on micronutrient and heavy metal availability. *Journal of Water and Soil Science*, 7(3), 95-106. (In Persian)
 20. Amini, F.L., Mirghaffari, N., Eshghi Malayeri, B. (2011). Nickel concentration in soil and some natural plant species around Ahangaran Lead Environmental Health Engineering and Management Journal, 3(3), 131-135.
 7. Sobhanardakani, S., Jamali, M., Maanijou, M. (2014). Evaluation of As, Zn, Cr and Mn concentrations in groundwater resources of Razan Plain and preparation of zoning map using GIS. *Journal of Environmental Science and Technology*, 16(261), 25-38. (In Persian)
 8. Sobhanardakani, S., Jamshidi, K. (2015). Assessment of metals (Co, Ni, and Zn) content in the sediments of Mighan Wetland using geo-accumulation index Iranian Journal of Toxicology, 9(30), 1386-1390.
 9. Deka, J., Sarma, H.P. (2012). Heavy metal contamination in soil in an industrial zone and its relation with some soil properties. *Environmental Science*, 4(2), 831-836.
 10. Krishna, A.K., Govil, P.K. (2007). Soil contamination due to heavy metals from an industrial area of Surat, Gujarat, Western India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 124(1-3), 263-275.
 11. Jankiewicz, B., Adamczyk, D. (2007). Assessing heavy metal content in soils surrounding the lodz EC4 power plant, Poland. *Polish Journal of Environmental Studies*, 16(6), 933-938.
 12. Ghiyasi, S., Karbassi, A., Moattar, F., Modabberi, S., Sadough, M.B. 2010. Origin and concentrations of heavy metals in agricultural land around aluminium industrial complex. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 8(3-4), 1237-1240.
 13. Dantu, S. (2010). Geochemical patterns in soils in and around Siddipet, Medak District, Andhra Pradesh, India. *Environmental*

- Nickel bioavailability in an ultramafic topsequence in the Vosges Mountains (France). *Plant and Soil*, 293, 7-21.
24. Shahbazi, A., Soffianian, A.R., Mirghaffari, N., Einghalaei, M.R. (2012). Evaluation of heavy metals contamination of soil using contamination factor and comprehensive pollution index (A case study in Nahavand City). *Environment and Development Journal*, 5, 31-38. (In Persian)
25. Moura, M.C.Sd., Moita, G.C., Moita Neto, J.M. (2010). Analysis and assessment of heavy metals in urban surface soils of Teresina, Piauí State, Brazil: a study based on multivariate analysis. *Comunicata Scientiae*, 1(2), 120-127.
- and Zinc Mine in Hamedan. *Journal of Environmental Science and Technology*, 13(1), 11-20. (In Persian)
21. Parth, V., Murthy, N.N., Raj Saxena, P. (2011). Assessment of heavy metal contamination in soil around hazardous waste disposal sites in Hyderabad city (India): natural and anthropogenic implications. *Journal of Environmental Research and Management*, 2(2), 27-34.
22. Malek Hosseini, A., Maleki, A. (2011). The effects of climate on traditional and modern architecture of City of Arak. *Journal of Environmental Based Territorial Planning*. 11, 133-155. (In Persian)
23. Chardot, V., Echevarria, G., Gury, M., Massoura, S., Morel, J.L. (2007).