

## ارزیابی میزان آلودگی عناصر جزئی (نیکل، آهن، روی، کروم، منگنز و سرب)

### در خاکهای اطراف مجتمع صنایع فولاد خوزستان

فاطمه هرمزی نژاد\*، فاطمه راست منش و علیرضا زراسوندی

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

دریافت: ۱۳۹۳/۰۴/۱۰، پذیرش: ۱۳۹۴/۰۷/۰۱

#### چکیده

هدف از پژوهش، ارزیابی میزان آلودگی خاک به عناصر جزئی (نیکل، آهن، روی، کروم، منگنز و سرب) مورد نظر در نمونه‌های خاک اطراف مجتمع صنایع فولاد خوزستان است. به این منظور تعداد ۱۳ نمونه خاک سطحی از عمق (۰-۱۰ سانتی‌متری) با در نظر گرفتن جهت وزش باد غالب منطقه برداشت شد. پس از آماده‌سازی، نمونه‌ها به روش طیف‌سنجی نشری پلاسمای جفت شده القایی<sup>۱</sup> تجزیه و تحلیل شد. برای ارزیابی آلودگی عناصر جزئی از شاخصهای گوناگون شامل عامل آلودگی<sup>۲</sup>، درجه آلودگی<sup>۳</sup>، درصد غنی‌شدگی انسان‌زاد<sup>۴</sup> و نیز درجه اشباع فلزات<sup>۵</sup> استفاده شد. همچنین از آنالیز آماری تحلیل مؤلفه اصلی<sup>۶</sup> برای تشخیص منشأ فلزات استفاده شد. میانگین غلظت عناصر جزئی نمونه‌ها با غلظت این فلزات در خاکهای غیرآلوده مقایسه شد. ارزیابی شاخصهای مورد استفاده نشان داد، نمونه‌های خاک نزدیک به محل کارخانه و در جهت پایین‌دست باد، بیشترین میزان آلودگی را نشان می‌دهند که این نتایج با یافته‌های مربوط به شاخص درصد انسان‌زاد و درجه اشباع فلزات هم‌خوانی داشت. از بررسی تحلیل مؤلفه اصلی مشخص شد، فلزات نیکل و آهن تحت تأثیر عملکرد هر دو عامل زمین‌زاد و انسان‌زاد و فلزات روی، منگنز و سرب تحت تأثیر عامل انسان‌زاد هستند و نیز فلز کروم احتمالاً دارای منشأ زمین‌زاد است.

واژه‌های کلیدی: عناصر جزئی، صنایع فولاد خوزستان، درجه آلودگی، درصد غنی‌شدگی انسان‌زاد، شاخص درجه اشباع فلزات، اهواز

#### مقدمه

میان فلزات سنگین به دلیل غیر قابل تجزیه بودن، سمیت زیاد، اثرات تجمعی و سرطان‌زایی مورد توجه هستند (Mico et al., 2006).

منابع انسان‌زاد آلودگی فلزات در خاکها شامل زباله‌های شهری و صنعتی، معدن‌کاری و ذوب فلزات غیرآهنی و کارخانه‌های فلزکاری است (Singh, 2001). مهمترین نتیجه آلوده شدن منابع خاک و آب با فلزات سنگین از طریق صنعت فولاد، آلودگی محصولات کشاورزی است. خروج این عناصر به‌صورت گرد و غبار یا به‌همراه پساب از واحدهای مختلف تولید مهمترین راه ورود این عناصر به خاک، آب و گیاهان منطقه است. بدین ترتیب، تجمع فلزات سنگین جذب شده در اندام گیاه در غلظتهایی بیش از حد استاندارد، ضمن کاهش رشد و عملکرد محصولات کشاورزی، آلوده شدن زنجیره غذایی و به خطر افتادن سلامت جوامع انسانی را به همراه دارد.

خاک منبعی طبیعی و حیاتی برای انسانهاست و اهمیت آن در سالهای اخیر، در سیاستهای زیست‌محیطی و در سراسر جهان برجسته شده است (Peña-Fernández et al., 2014). خاک به‌عنوان بخشی از سیستم زیست زمین‌شیمیایی نقش مهمی در چرخه عناصر ایفا کرده است و عملکردی مهم در ذخیره و تصفیه عناصر، انتقال اجزا و رابطه اجزای زنده و غیر زنده دارد (Kabata-Pendias, 2011). آلودگی محیط زیست، از جمله آلودگی خاک یکی از عوارض مهم بر هم خوردن تعادل و توازن طبیعت است. هرگاه خاک در اثر فعالیتهای انسانی دچار شرایطی شود که نتوان از آن بهره‌برداری لازم به عمل آورد، در اصطلاح گفته می‌شود که خاک آلوده شده است (Bullock and Gregory, 1991). مهمترین آلاینده‌های خاک شامل فلزات سنگین، بارشهای اسیدی و مواد آلی هستند که از این

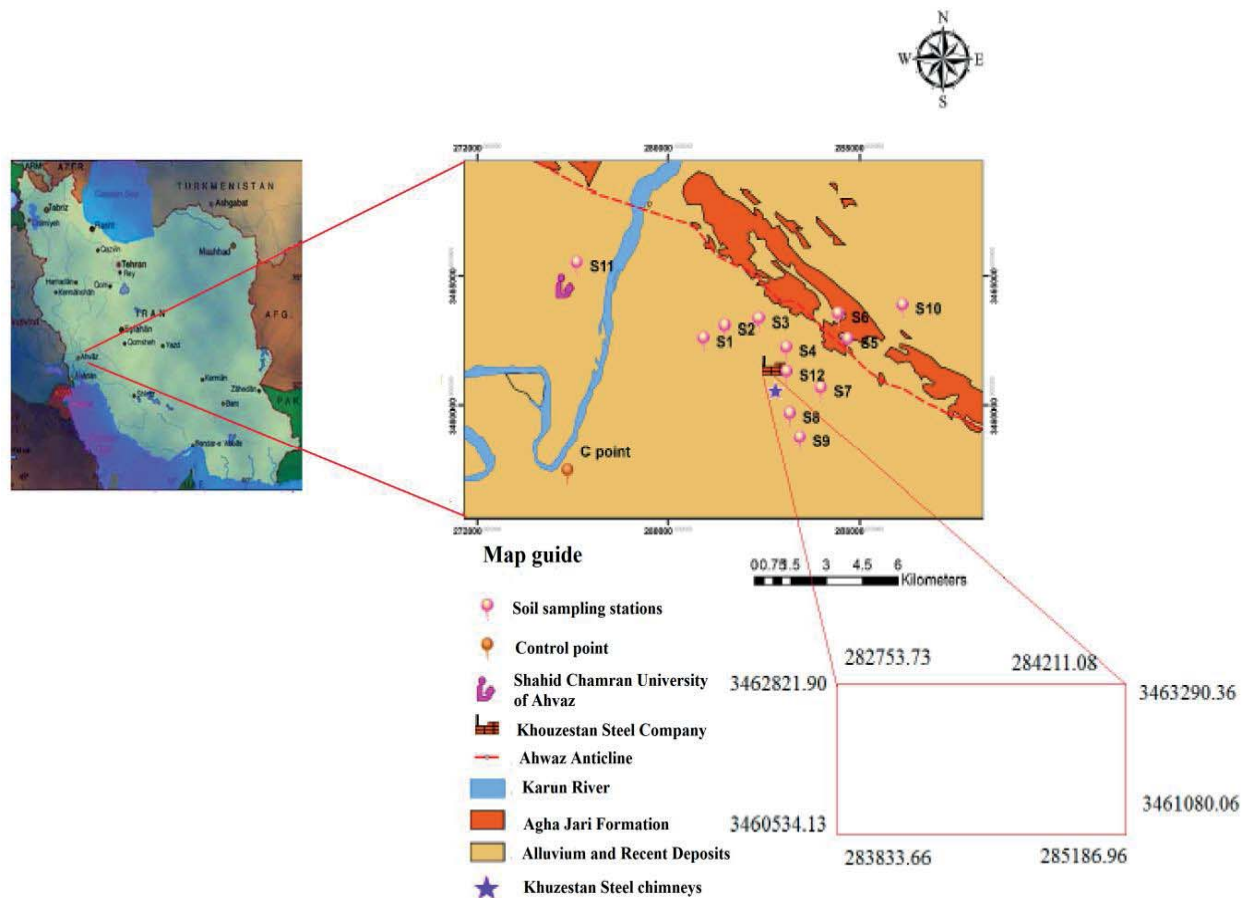
انتشار نیکل عمدتاً دودکشهای صنایع فولاد خوزستان است. براساس پژوهش محمدی روزبهانی و همکاران (Mohammadi Roozbahani et al., 2015)، که به بررسی آلودگی و منشأ عنصر آهن در خاکهای اطراف مجتمع فولاد خوزستان با استفاده از زمین‌آمار پرداختند، نتایج نشان داد که منشأ فلز آهن، به‌طور عمده انسانی و طبیعی بوده است. با توجه به قرار گرفتن محل کارخانه در محیط شهری و نزدیکی به منازل مسکونی و نیز اثرات شدیدی که عناصر جزئی بر سلامت انسانها دارد، هدف این پژوهش، ارزیابی نقش شرکت صنایع فولاد خوزستان در آلودگی خاک نواحی اطراف شرکت به عناصر جزئی (نیکل، آهن، روی، کروم، منگنز و سرب) است.

#### موقعیت جغرافیایی و شرایط اقلیمی منطقه مورد مطالعه

شرکت فولاد خوزستان که، قطب دوم تولید فولاد خام در ایران است، نخستین مجتمع تولید آهن و فولاد کشور به‌روش احیاء مستقیم و کوره قوس الکتریکی است که در سال ۱۳۶۷ فعالیت تولیدی خود را آغاز کرده است. شرکت فولاد خوزستان در ۱۲ کیلومتری جنوب شرقی شهرستان اهواز و در زمینی به مساحت ۳۸۰ هکتار واقع شده است و مختصات محل صنایع فولاد خوزستان بر اساس UTM در شکل ۱ دیده می‌شود. از نظر زمین‌شناسی منطقه جنوب اهواز از جمله محدوده صنایع فولاد بر روی سازند آهک مارنی آجاجاری و رسوبات دریایی واقع شده است. خاک تقریباً در اکثر قسمت‌ها شور و اسیدیته آن بیش از هفت (قلیایی) با مقدار مواد آلی پایین است. با توجه به بررسی سیمسون، که بر روی خاکهایی با ویژگیهای مشابه نمونه خاکهای مورد بررسی در منطقه اهواز پرداخت، می‌توان خاک منطقه مورد بررسی را در رده ورتی سول قرار داد (Simonson, 1962). در این منطقه، گیاهان به‌صورت بوته‌ای و پراکنده‌اند که خود بیانگر آب و هوای گرم و خشک منطقه مورد بررسی است. در این منطقه سرعت وزش باد ۹ متر بر ثانیه و میانگین بارش سالیانه ۲۱۳ میلی‌متر است. با توجه به این‌که صنعت فولاد دارای بخشهای مختلف تولیدی است، عملیات هر یک از این بخشها به تولید فلزات سنگین متعددی با میزان متفاوت منجر می‌شود که می‌توانند به‌طور مستقیم و یا همراه با ذرات و گازهای آلاینده بر روی خاکهای مناطق اطراف این شرکت نهشته شوند.

تشخیص نوع و منشأ این عناصر از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. میزان تحرک فلزات به عواملی چون، مقدار فلز و مقدار رس موجود در خاک بستگی دارد. از آن‌جا که فلزات سنگین در سطح خاک و رسوبات نهشته می‌شوند، ردیابهای بسیار مناسبی برای نمایش میزان آلودگی محیطی هستند (Kelly et al., 1996).

بررسیهای بسیاری در سراسر جهان در ارتباط با ارزیابی عناصر جزئی حاصل از صنایع فولاد انجام شده است. برای مثال، در بررسی ال-خشمین و شوابکه (Al-Khashman and Shawabkeh, 2009)، که به ارزیابی آلودگی صنایع فولاد در نزدیکی فرودگاه ملکه آلیا در اردن پرداخته است، مشخص شد که بیشترین آلودگی مربوط به فلزات سرب، روی، کادمیوم و آهن است که منشأ سه فلز اول، فعالیت‌های انسان‌زاد (کارخانه فولاد) و آلودگی آهن در خاک منطقه مربوط به هر دو منشأ انسان‌زاد و زمین‌زاد است. همچنین در پژوهش اداباسی و همکاران (Odabasi et al., 2010)، که به بررسی آلاینده‌های انتشار یافته از کارخانه آهن- فولاد در منطقه حیات در اسکندریه ترکیه پرداخته‌اند، عناصر (Zn, Pb, Cu) را می‌توان به‌عنوان نشانگرهای صنایع آهن و فولاد در خاک دانست. دراگوویچ و همکاران (Dragovic et al., 2014)، که به بررسی تأثیر عوامل جغرافیایی در پراکندگی فضایی عناصر جزئی در خاکهای اطراف تأسیسات تولید فولاد در صربستان پرداخته‌اند، نشان دادند که میانگین غلظت فلزات Co, Cu, Ni, Pb بالاتر از استاندارد خاکهای اروپا و خاکهای کشت نشده در سراسر دنیا است و نسبت به این فلزات خاک آلودگی نشان می‌دهد. بررسیهای متعددی در ایران و جهان برای تعیین توزیع مکانی غلظت فلزات سنگین انجام شده است. در پژوهش مر و همکاران (Moore et al., 2013)، مشخص شد یکی از راههای ورود فلزات سنگین بالقوه سمناک به محیط زیست و بوم سامانه خاک، کارخانه‌های ذوب کانسنگهای فلزی هستند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که خاک اطراف کارخانه ذوب روی نسبت به فلزات سنگین، به‌ویژه فلزات Zn و Pb به‌شدت آلوده شده است و با افزایش فاصله از کارخانه از میزان آلودگی فلزات آلاینده کاسته می‌شود. پناه‌پور و همکاران (Panahpour et al., 2013)، بیشترین میزان آلودگی فلز نیکل را در محل نمونه‌برداری مربوط به صنایع فولاد خوزستان یافتند و مشخص شد منشأ



شکل ۱. نمایی از منطقه مورد بررسی و نقاط نمونه‌برداری در منطقه مورد مطالعه در اطراف شرکت فولاد خوزستان در شهرستان اهواز

**Fig. 1.** A view of the studied location and collected samples in studied area around the Khuzestan Steel Company in Ahwaz city

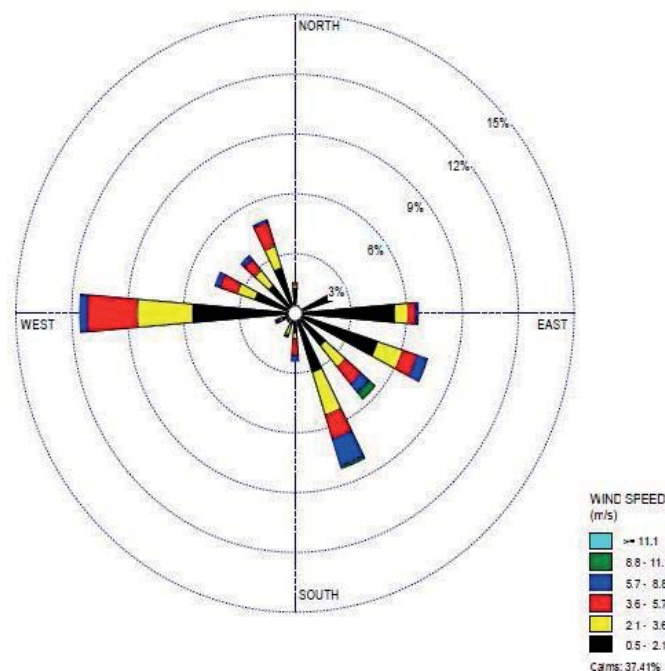
موقعیت یاب جهانی ثبت شد. پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه به مدت ۷۲ ساعت در دمای اتاق خشک و سپس از الک ۲ میلی‌متری (۲۰ مش) عبور داده شدند. پس از حذف خرده‌های گیاهی از نمونه، برای انجام آنالیزهای شیمیایی، هر نمونه به وسیله هاون عقیق پودر شد و پس از عبور از الک ۲۳۰ مش ذرات کمتر از ۶۳ میکرومتر جدا شدند. به دلیل این که بخش ریزدانه، محل اصلی دریافت آلاینده‌هاست؛ تمام تجزیه‌های زمین‌شیمیایی بر روی بخش ریزدانه انجام شد (Forstner and Wittmann, 1983). بدین منظور بخش ریزدانه به منظور آنالیز طیف‌سنجی نشری پلاسمای جفت شده القایی به همراه یک نمونه تکراری برای بررسی دقت آنالیز به آزمایشگاه مطالعات مواد معدنی زرآزمای تهران ارسال شد.

#### روش مطالعه

پس از بررسی نقشه شهری و ماهواره‌ای شهر اهواز و در نظر گرفتن جهت وزش باد غالب (غربی - شرقی و جنوب شرق - شمال غرب) و با در نظر گرفتن شکل گلباد در شهر اهواز (شکل ۲)، نقاط نمونه‌برداری تعیین و برداشت نمونه‌ها انجام شد.

در مجموع ۱۳ نمونه از سطح تا عمق ۱۰ سانتی‌متری و به صورت مرکب به وزن تقریبی ۲ کیلوگرم جمع‌آوری شد. نمونه شاهد، از منطقه‌ای دور از منشأ آلودگی و نبودن این نقطه در مسیر باد غالب منطقه برداشته شد. شکل ۱ نمایی از نقاط نمونه‌برداری را نشان می‌دهد.

تمام نمونه‌ها توسط بیچپه پلاستیکی برداشت و به کیسه پلی‌اتیلنی منتقل شدند. مختصات هر نقطه توسط سیستم



شکل ۲. نقشه گلباد در منطقه مورد بررسی در اطراف شرکت فولاد خوزستان در شهرستان اهواز

Fig. 2. Wind rose plot in studied area around the Khuzestan Steel Company in Ahwaz city

خاک در این پژوهش از عامل آلودگی خاک و درجه آلودگی خاک استفاده شد (Rastmanesh et al., 2010).

هکنسن (Hakanson, 1980) از عامل آلودگی رابطه ۱، به‌عنوان شاخصی برای ارزیابی میزان آلودگی خاک استفاده کرد. ضریب آلودگی از تقسیم کردن غلظت عنصر در نمونه برداشت شده به غلظت همان عنصر در نمونه زمینه به‌دست می‌آید و بیانگر میزان آلودگی رسوبات به عناصر جزئی است.

heavy metal [C] = مقدار غلظت عنصر مورد نظر در منطقه background [C] = مقدار غلظت همان عنصر در نمونه شاهد  
 رابطه ۱:  $CF = \frac{[C] \text{ heavy metal}}{[C] \text{ background}}$

به‌طور کلی شدت آلودگی خاک به‌صورت جدول ۱ طبقه‌بندی می‌شود (Bhuiyana et al., 2010).

محاسبه درجه آلودگی خاک بر اساس رابطه ۲ و به صورت زیر است:

$$C_{deg} = \sum C_f^i \quad \text{رابطه ۲:}$$

که میزان درجه آلودگی خاک به‌صورت جدول ۲ طبقه‌بندی می‌شود (Rastmanesh et al., 2010).

جزء ۲ میلی‌متری برای تعیین بافت، و اندازه‌گیری pH و مواد آلی، به شرکت زاگرس آب‌شناس فارس در شیراز ارسال شد. مؤلفه‌های فیزیکی و شیمیایی رسوب (بافت، مواد آلی pH) با استفاده از روشهای مربوطه اندازه‌گیری شدند. اندازه‌گیری pH با استفاده از دستگاه pH سنج کالیبره شده در مخلوط ۲ به ۱ (آب- خاک) و بافت به‌کمک روش هیدرومتری و میزان مواد آلی رسوبات، از روش استاندارد والکلی بلاک (Chopin and Alloway, 2007) اندازه‌گیری شد، که ۱ گرم خاک توزین شده را با اسید سولفوریک غلیظ و بی‌کرومات پتاسیم مجاور کرد و بعد از اتمام واکنش اکسایش- کاهش، زیادی بیکرومات باقی‌مانده با فروآمونیم سولفات تیترا می‌شود. در این پژوهش از معیارهای مختلف عامل آلودگی ( $C_f^i$ )، درجه آلودگی ( $C_{deg}$ )، درصد غنی‌شدگی انسان‌زاد ( $\%An$ ) و نیز شاخص درجه اشباع فلزات جهت سنجش میزان آلودگی خاک به فلزات سنگین مورد بررسی، استفاده شد. در این بررسی فلز آلومینیوم، به‌عنوان عنصر مرجع انتخاب شد (García et al., 2004). برای ارزیابی آلودگی

جدول ۱. طبقه‌بندی میزان شدت آلودگی خاک

**Table 1.** Classification of soil contamination

Soil Quality	
$C_f^I < 1$	low contamination factor
$1 \leq C_f^I < 3$	moderate contamination factor
$3 \leq C_f^I < 6$	considerable contamination factor
$6 \leq C_f^I$	very high contamination factor

جدول ۲. طبقه‌بندی میزان درجه آلودگی خاک

**Table 2.** Classification levels of soil contamination degree

Soil Quality	
$C_{deg} < 8$	low degree of contamination
$8 \leq C_{deg} < 16$	moderate degree of contamination
$16 \leq C_{deg} < 32$	considerable degree of contamination
$32 \leq C_{deg}$	very high degree of contamination

#### درصد عوامل انسان‌زاد

فعالیت‌های انسان‌زاد، فلزات را به درون اتمسفر منتشر می‌کند. با ریزش‌های جوی، فلزات سنگین همراه با غبارهای معلق در اتمسفر، به درون خاک رسوب می‌کنند (Al-Khashman and Shawabkeh, 2006) درصد عوامل انسان‌زاد یک عنصر خاص در یک نمونه، بدین معنی است که انسان چند درصد در ورود این عنصر به نمونه دخالت داشته است.

تعیین درصد انسان‌زاد در تحلیلهای زیست‌محیطی بعد از ضریب غنی‌شدگی، یکی از موارد مهم ارزیابی میزان تغلیظ عناصر تحت تأثیر عوامل انسان‌زاد و طبیعی است که فرمول آن به صورت رابطه ۳ است (Lu et al., 2009).

در این بررسی فلز آلومینیوم، به‌عنوان عنصر مرجع انتخاب شد (García et al., 2004).

رابطه ۳:

$$An (\%) = \frac{\{([M_{total}] - ([Al_{sample}]) \left(\frac{M}{Al}\right)_{reference})\}}{[M_{total}]} \times 100$$

در این رابطه  $[M_{total}]$  و  $[M_{reference}]$  به ترتیب غلظت کل (بر حسب mg/kg) عنصر مورد نظر در نمونه خاک و نمونه مرجع،  $[Al_{sample}]$  و  $[Al_{reference}]$  نیز غلظت عنصر آلومینیوم در نمونه‌های خاک و نمونه مرجع است.

#### شاخص درجه اشباع فلزات

در خاکها، اکسیدهای (هیدروکسیدها) آهن و آلومینیوم توانایی تثبیت قوی بر روی عناصر جزئی دارند که به‌میزان قابل توجهی دسترس‌پذیری فلزات در خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهند.

شاخص درجه اشباع فلزات برای بیان توانایی تثبیت اکسیدها (هیدروکسیدها) و دسترس‌پذیری عناصر جزئی در خاکها معرفی شد.

این شاخص از رابطه ۴ محاسبه می‌شود:

رابطه ۴:

$$SDM = 1000 \times \sum (C_i / AW_i) / \sum (O_i / OAW_i)$$

که  $C_i$  غلظت فلز مورد نظر در خاک،  $AW_i$  وزن اتمی فلز مورد نظر،  $O_i$  غلظت آهن یا آلومینیوم در خاک، و  $OAW_i$  وزن اتمی آهن یا آلومینیوم است. شاخص اشباع فلزات بالاتر دسترس‌پذیری بیشتر را نشان می‌دهد؛ در حالی که شاخص درجه اشباع پایین‌تر تثبیت قوی عناصر جزئی در خاکها را نشان می‌دهد، که امکان تحرک یا تثبیت عناصر جزئی را پیشنهاد می‌کند (Yang et al., 2009).

در این پژوهش، از روشهای آماری ضریب همبستگی پیرسون و تحلیل مؤلفه اصلی و همچنین از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف جهت بررسی توزیع داده‌ها استفاده شد. روابط

بافت خاک منطقه مورد بررسی، مقدار کمی رس در ترکیب خود دارد و سبب می‌شود که خاک در گروه خاکهای ناواکنشگر قرار گیرد.

درصد رس خاک به دلیل قدرت جذب بالایی که دارد از اهمیت زیادی برخوردار است. مقدار رس نمونه‌ها با میانگین ۱۱/۷۵ از کمینه مقدار ۵/۶۰ تا بیشینه مقدار ۱۶/۴۰ درصد متغیر است.

با توجه به بررسیهای انجام شده و همان‌گونه که در شکل ۳ مشخص است، بافت خاک منطقه ماسه گل‌دار است. pH نسبتاً بالا تحرک فلزات را محدود می‌کند (Kapusta et al., 2011).

pH خاک منطقه خنثی تا کمی قلیایی است، که با توجه به لیتولوژی کربناته حاکم بر منطقه و نوع آب و هوای منطقه مورد بررسی، طبیعی است.

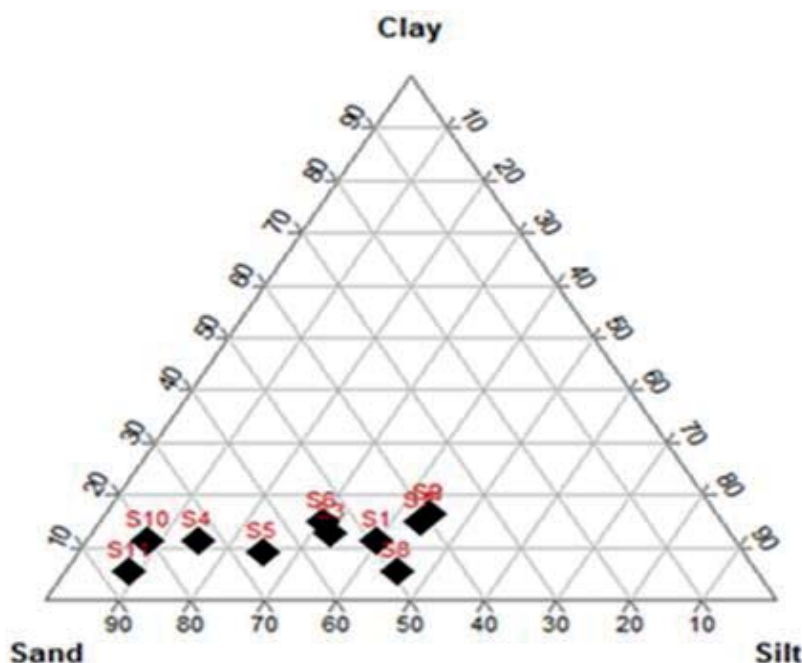
مقدار میانگین کربن آلی ۱/۳۰، و بیشترین مقدار یر آن مربوط به تالاب منصوری و دانشگاه شهید چمران است و احتمالاً به دلیل پوشش گیاهی متراکم‌تر این بخشهاست. نتایج مربوط به ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی نمونه خاکهای مورد بررسی در جدول ۳ دیده می‌شود

درون عنصری اطلاعات جالبی را از منابع و مسیرهای عبور فلزات سنگین فراهم می‌کند (Al-Khashman and Shawabkeh, 2006).

برای تحلیل روابط میان غلظت فلزات سنگین از تحلیل ضریب پیرسون استفاده شد. اهمیت آماری این رابطه همبستگی در دو سطح اطمینان ۰/۰۱ و ۰/۰۵ مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. تحلیل مؤلفه‌های اصلی یکی از رایجترین روشهای تحلیل چند متغیره مورد استفاده در بررسیهای زیست‌محیطی است و برای استخراج تعداد کمی از عوامل نهفته برای تحلیل رابطه بین متغیرهای قابل مشاهده، استفاده می‌شود. هدف به‌کارگیری تحلیل مؤلفه‌های اصلی، کاهش مجموعه داده‌های اولیه به دسته‌ای از مؤلفه‌های غیر هم‌بسته ولی با ابعاد کوچکتر است (Lu et al., 2009).

### بحث و بررسی

شدت آلودگی فلزی در خاک علاوه بر منبع (طبیعی و انسان‌زاد) و بزرگی آن، به ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی خاک نیز بستگی دارد. این ویژگی بر انباشت فلزات، تحرک پذیری، و به‌طور کلی بر سرنوشت و مسیر انتقال فلزات در خاک تأثیر می‌گذارد.



شکل ۳. نمودار بافت خاک نمونه‌های خاک در منطقه مورد بررسی در اطراف صنایع فولاد خوزستان در شهر اهواز (Moyes, 2011)

**Fig. 3.** The chart of soil texture of soil samples in studied area around the Khuzestan Steel Company in Ahwaz city (Moyes, 2011)

جدول ۳. مؤلفه‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های خاک منطقه مورد بررسی در اطراف صنایع فولاد خوزستان در اهواز

**Table 3.** Physical and chemical parameters of soil samples in studied area around the Khuzestan Steel Company in Ahwaz city

Sample number	pH	% OC	% Clay
S1	8.3	1.66	11.20
S2	8.69	1.38	16.40
S3	8.84	1.48	12.80
S4	8.63	0.74	11.20
S5	7.02	1.02	9.02
S6	6.98	0.88	14.80
S7	7.95	2.06	14.80
S8	7.15	1.66	5.60
S9	7.51	1.28	16.40
S10	8.21	1.24	11.20
S11	8.21	3.08	14.80
S12	8.10	1.00	5.60

شرکت فولاد اکسین و نیز در نمونه شماره ۱۲ در محوطه شرکت صنایع فولاد خوزستان دیده شد. با مقایسه میزان میانگین غلظت فلزات با میزان خاکهای غیرآلوده، می‌توان بیان کرد، فلزات سرب و نیکل نسبت به خاکهای غیرآلوده غلظت بالاتری دارند. فلزات روی، کروم و آهن نمونه‌های مورد بررسی نسبت به خاکهای غیرآلوده، دارای میزان بالاتری هستند که می‌توان گفت، خاک منطقه نسبت به این سه فلز آلوده است، در مقابل فلز منگنز در منطقه دارای غلظت کمتری است که نشانه نبود آلودگی خاک به این فلزات است.

نتایج حاصل از تجزیه نمونه‌های خاک به همراه میانگین فلزات مورد بررسی در خاکهای غیرآلوده با استفاده از میزان بیان شده در بررسیهای کاباتا پندیس و موکرچی (Kabata- Pendias and Mukherjee, 2007)، در جدول ۴ آمده است. تعیین میزان غنی‌شدگی و درصد تأثیر عوامل غیرطبیعی در توزیع عناصر آلاینده در خاکها، با مقایسه غلظت این عناصر با نمونه شاهد انجام شد. براساس داده‌های آنالیز زمین‌شیمیایی، بیشترین غلظت فلزات در نمونه شماره ۴ در نزدیکی ورودی

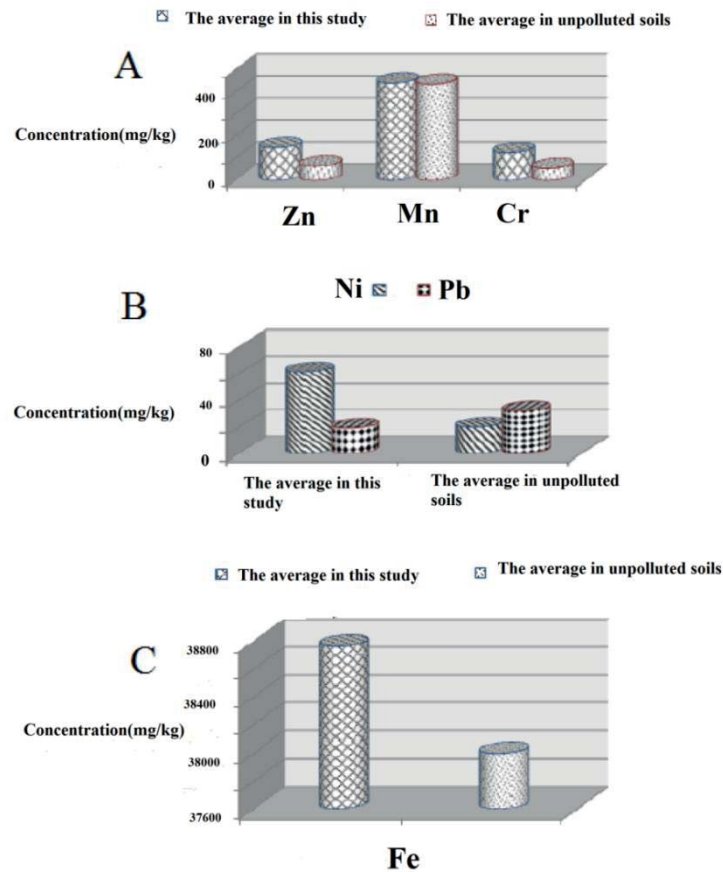
جدول ۴. غلظت عناصر جزئی در نمونه‌های خاک در منطقه مورد بررسی در اطراف صنایع فولاد خوزستان در اهواز

**Table 4.** The concentration of trace elements in soil samples of studied area around the Khuzestan Steel Company in Ahwaz city

Zn (mgkg <sup>-1</sup> )	Mn (mgkg <sup>-1</sup> )	Cr (mgkg <sup>-1</sup> )	Pb (mgkg <sup>-1</sup> )	Fe (mgkg <sup>-1</sup> )	Ni (mgkg <sup>-1</sup> )	Sample number
66	416	153	8	31983	66	S1
126	489	160	40	36059	72	S2
82	497	122	9	34237	49	S3
788	596	130	81	35723	44	S4
80	427	100	23	21905	42	S5
46	407	107	7	21135	53	S6
85	476	145	9	64941	74	S7
56	373	136	8	52370	67	S8
49	408	129	6	28179	72	S9
62	351	114	7	17389	35	S10
63	429	128	12	21224	72	S11
283	437	107	21	>100000	91	S12
142	349	132	7	17890	63	Control point
156.63	443.36	127.58	19.90	38762.83	61.42	The Average in this study
59.8	760	54	29.2	32000	20	Unpolluted soils

در کارخانه) دارای بیشترین غلظت هستند به جز فلزات سرب، روی و منگنز که در نقطه ۴ که در نزدیکی ورودی شرکت فولاد اکسین و در پایین دست باد غالب منطقه قرار دارد. این کاهش غلظتها، بیانگر تأثیر مستقیم فعالیتهای کارخانه بر روی زمین‌شیمی خاکهای سطحی اطراف کارخانه است. در بررسیهای مشابه دیگر در کارخانه ذوب فلز و تولید فولاد در کبک کانادا نیز دیده شده است که غلظت عناصر جزئی با دور شدن از کارخانه کاهش می‌یابد ( Knight and Henderson, 2005).

شکل ۴ نمودارهای مقایسه غلظت فلزات مورد بررسی در منطقه با استانداردهای مورد استفاده در این بررسی را نشان می‌دهد. بیشترین میزان غلظت مربوط به فلز آهن (شکل ۴ C-) و کمترین میزان تغییرات غلظت مربوط به فلزات روی و کروم (شکل ۴ A) است. در منطقه مورد بررسی میانگین غلظت فلزات نیکل و سرب بیشتر و کمتر از میانگین غلظت این دو فلز در خاکهای غیر آلوده است (شکل ۴ B-). غلظت تمام فلزات با افزایش فاصله از محل کارخانه، روند کاهشی دارد، به طوری که تمام فلزات در نمونه شماره ۱۲



شکل ۴. نمودارهای مقایسه غلظت فلزات مورد بررسی در منطقه مورد مطالعه در اطراف صنایع فولاد خوزستان در شهر اهواز با خاکهای غیرآلوده و میانگین غلظت فلزات سنگین در این مطالعه، نمودار A: غلظت فلزات روی، منگنز و کروم، نمودار B: غلظت فلزات سرب و روی و نمودار C: غلظت فلز آهن

**Fig. 4.** The charts comparing of the studied concentrations of heavy metals in studied area around the Khuzestan Steel Company in Ahwaz city with un-polluted soils and average concentrations in this study, A: The concentration of Zinc, Manganese and Chromium, B: The concentration of Lead and Zinc, and C: The concentration of Iron.

است. سرب در نمونه‌های شماره ۵ و ۱۲ دارای مقدار آلودگی شدید و در نمونه‌های شماره ۲ و ۴ دارای مقادیر خیلی شدید و

مقادیر حاصل از محاسبه عامل آلودگی و درجه آلودگی در نمونه‌های خاک منطقه مورد پژوهش، در جدول ۵ ارائه شده



و همکاران (Damian et al., 2008)، این میزان مشابه میزان آهن در پژوهش حاضر است. با توجه به شکل ۴، که نشان‌دهنده تغییرات درجه آلودگی است؛ بیشترین میزان آلودگی مربوط به نمونه‌های شماره ۴ (در جهت باد غربی - شرقی) و ۱۲ (در محوطه شرکت فولاد خوزستان و در جهت پایین‌دست باد جنوب شرقی - شمال غربی) است. فلز کروم در همه نمونه‌ها در محدوده بدون آلودگی و در نمونه‌های شماره ۱، ۲، ۷ و ۸ در محدوده بدون آلودگی تا آلودگی متوسط قرار می‌گیرد. شکل ۵ روند تغییرات درجه آلودگی را در نمونه‌های خاک منطقه مورد بررسی نشان می‌دهد.

در سایر نمونه‌ها این ضریب دارای مقادیر بدون آلودگی تا آلودگی متوسط است. با توجه به داده‌ها مقادیر ضریب آلودگی برای فلزات نیکل و منگنز در همه نمونه‌ها در محدوده بدون آلودگی تا آلودگی متوسط است. فلز روی در همه نمونه‌ها بدون آلودگی، در نمونه ۴ دارای آلودگی شدید تا خیلی شدید، و در نمونه شماره ۱۲ بدون آلودگی تا آلودگی متوسط است. در بررسی‌های انجام شده، مشخص شد که فلز آهن در همه نمونه‌ها دارای مقادیر بدون آلودگی است به جز ۲ و ۱۰ که عامل آلودگی در محدوده بدون آلودگی تا آلودگی متوسط و در نمونه‌های شماره ۷، ۸ آلودگی متوسط تا شدید و در نمونه شماره ۱۲ آلودگی خیلی شدید است. با توجه به بررسی دمیان

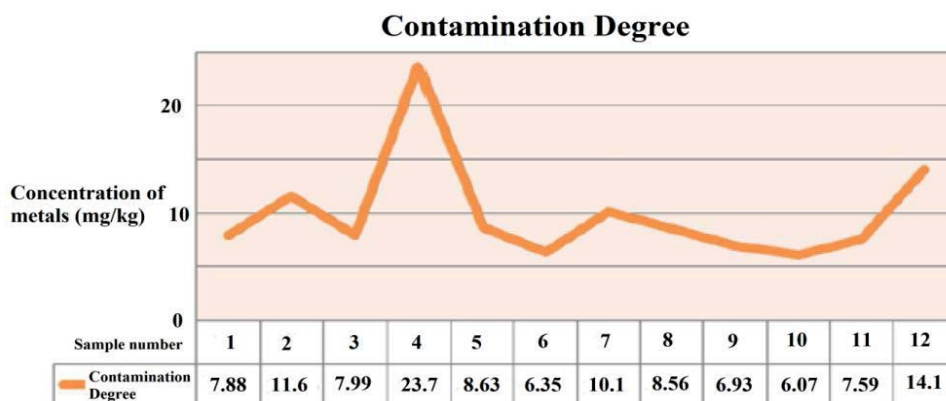
جدول ۵. میزان عامل آلودگی و درجه آلودگی در منطقه مورد بررسی در اطراف صنایع فولاد خوزستان در شهر اهواز

**Table 5.** The values of contamination factor and contamination degree in studied area around the Khuzestan Steel Company in Ahwaz city

Stations	Contamination Factor						Contamination Degree ( $C_{deg}$ )
	Zn ( $mgkg^{-1}$ )	Mn ( $mgkg^{-1}$ )	Ni ( $mgkg^{-1}$ )	Pb ( $mgkg^{-1}$ )	Fe ( $mgkg^{-1}$ )	Cr ( $mgkg^{-1}$ )	
S1	0.46	1.19	1.04	1.14	1.78	1.15	7.88
S2	0.88	1.40	1.14	5.71	0.17	1.21	11.6
S3	0.57	1.42	0.77	1.28	1.91	0.92	7.99
S4	5.54	1.70	0.69	11.57	1.99	0.98	23.7
S5	0.56	1.22	0.66	3.28	1.22	0.75	8.63
S6	0.32	1.16	0.84	1	1.18	0.81	6.35
S7	0.59	1.36	1.17	1.28	3.65	1.09	10.1
S8	0.39	1.06	1.06	1.14	2.92	1.03	8.56
S9	0.34	1.16	1.14	0.85	1.57	0.97	6.93
S10	0.43	1	0.55	1.14	0.97	0.86	6.07
S11	0.44	1.40	1.14	1.71	1.18	0.96	6.59
S12	1.99	1.25	1.44	3	5.58	0.83	14.1

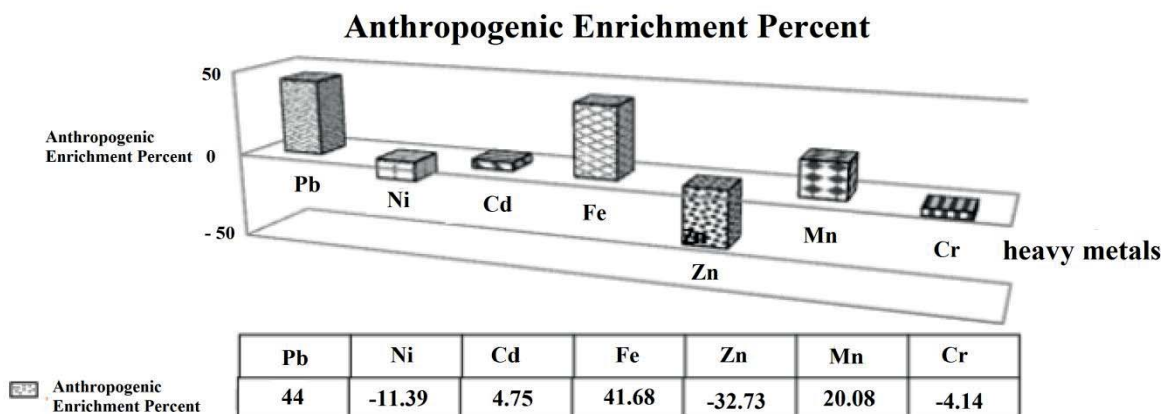
درصدهای انسان‌زاد دیده شده (در نزدیک محل سربراره‌ها و در محوطه کارخانه) است. فلز روی فقط در نمونه‌های شماره ۱۲ و ۴ دارای درصدهای انسان‌زاد است و در بقیه نمونه‌ها آلودگی دارای منشأ زمین‌زاد است و دلیل همبستگی بالای روی با فلزات منگنز، سرب (که در نتایج حاصل از همبستگی پیرسون مشاهده خواهید کرد) غلظت بالای عناصر جزئی در نمونه‌های شماره ۱۲ و ۴ است. آهن در همه نمونه‌ها دارای درصد انسان‌زاد است، به جز نمونه شماره ۱۱ که دارای منشأ زمین‌زاد است.

با توجه به نتایج محاسبه درصد An% (شکل ۶)، می‌توان بیان کرد سرب در بین فلزات بالاترین درصد انسان‌زاد (۹۲/۳۰ درصد) را نشان داده و در همه نمونه‌ها به جز نمونه‌های شماره ۱ و ۹، دارای منشأ انسان‌زاد است. نمونه‌های ذکر شده از محل کارخانه فاصله دارند. منگنز، در همه نمونه‌ها به جز نمونه‌های شماره ۹ و ۱، آلودگی نشان نمی‌دهد. بر اساس نمودار گلباد منطقه، نمونه شماره ۱ در مسیر باد غالب شرقی - غربی و نمونه شماره ۹ در مسیر باد نایب غالب شمال شرقی - جنوب‌غربی قرار دارند. در نمونه‌های شماره ۴ و ۱۲ بالاترین



شکل ۵. نمودار تغییرات درجه آلودگی در نمونه خاکهای منطقه مورد بررسی در اطراف صنایع فولاد خوزستان در شهر اهواز

**Fig. 5.** The chart of contamination degree changes in soil samples of studied area around the Khuzestan Steel Company in Ahwaz city



شکل ۶. نمودار ستونی تغییرات شاخص درصد انسان‌زاد در نمونه خاکهای منطقه مورد بررسی در اطراف صنایع فولاد خوزستان در شهر اهواز

**Fig. 6.** The changes column chart of Anthropogenic enrichment percent in soil samples of studied area around the Khuzestan Steel Company in Ahwaz city

کارخانه، تحرک فلزات، بالا بوده است و نیز با فاصله گرفتن از محل کارخانه میزان شاخص اشباع فلزات کاهش می‌یابد، در این حالت، از تحرک فلزات کاسته می‌شود.

#### تحلیلهای آماری

در این پژوهش، تحلیلهای آماری با ضریب همبستگی پیرسون و آزمون تحلیل مؤلفه‌های اصلی با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS انجام شد. به‌کارگیری آزمون کولوموگروف-اسمیرنوف نشان داد که همه عناصر دارای توزیع نرمال هستند. مقادیر آزمون کولوموگروف-اسمیرنوف عناصر جزئی مورد بررسی در جدول ۷ بیان شده است.

برای نیکل فقط می‌توان در نمونه‌های شماره ۱۲ و ۴ درصد انسان‌زاد بالا را مشاهده کرد (در محوطه کارخانه) که در مسیر باد غالب منطقه قرار دارند. کروم نیز فقط در نمونه‌های شماره ۱۲ و ۴ دارای درصدهای انسان‌زاد است و در بقیه نمونه‌ها آلودگی دارای منشأ زمین‌زاد است. البته ذکر این نکته ضروری است که آهن و نیکل جزو آن دسته از عناصری است که غلظت بالایی در پوسته زمین دارد در نتیجه غلظت آهن در خاک منطقه تحت تأثیر هر دو عامل زمین‌زاد و انسان‌زاد است. بر اساس محاسبه شاخص درجه اشباع فلزات (جدول ۶) می‌توان گفت، بالاترین میزان شاخص اشباع فلزات مربوط به ایستگاههای ۴، ۱۲ است که در محدوده ۷۰۰ متری کارخانه قرار گرفته است، در واقع در محدوده ایستگاههای نزدیک به

جدول ۶. میزان شاخص درجه اشباع فلزات در نمونه خاکهای منطقه مورد بررسی در اطراف صنایع فولاد خوزستان در شهر اهواز

**Table 6.** The values of saturation degree of metals in soil samples of studied area around the Khuzestan Steel Company in Ahwaz city

Sample number	Ni	Pb	Zn	Cr	Fe	Mn	Cd
S1	1.03	0.61	0.96	2.72	529.63	0.89	0.02
S2	1.09	2.98	1.79	2.75	578.35	1.02	0.02
S3	0.96	0.87	1.51	2.72	712.07	1.29	0.002
S4	0.87	7.84	14.54	2.90	743.88	1.61	0.0031
S5	0.61	1.64	1.09	1.65	337.46	0.85	0.001
S6	0.80	0.51	0.64	1.82	335.78	0.84	0.02
S7	1.22	0.73	1.31	2.71	1134.6	1.10	0.02
S8	1.17	0.68	0.91	2.68	962.6	0.89	0.002
S9	1.07	0.43	0.68	2.17	441.68	0.83	0.001
S10	0.70	0.69	1.16	2.6	369.93	0.97	0.002
S11	1.01	0.82	0.82	2.18	314.51	0.82	4.24
S12	5.12	5.77	14.83	6.79	5919.06	3.36	0.007

جدول ۷. مقادیر آزمون کولموگورف-اسمیرنوف عناصر جزئی مورد بررسی در نمونه خاکهای منطقه مورد بررسی در اطراف صنایع فولاد خوزستان در شهر اهواز

**Table 7.** The Kolmogorov-Smirnov test values of studied trace elements in soil samples of studied area around the Khuzestan Steel Company in Ahwaz city

Cd	Zn	Mn	Cr	Pb	Fe	Ni	Sample number
0.48	1.30	0.65	0.4	1.02	1.02	0.66	K-S Value

نتایج بررسیهای آلووی و آیرس ( Alloway and Ayres, 1997)، نشان دادند، فعالیت صنایع فولاد و آلیاژ سبب انتشار و افزایش غلظت فلزات سرب، کروم، مس، روی و نیکل به‌طور یا غیر مستقیم به درون محیط خاک شده است.

همبستگی ضعیفی بین نیکل و کروم ( $r = 0.35$ )، است، باید به این نکته اشاره کرد که این دو فلز، جزو فلزات اصلی در فرآیند تولید فولاد هستند؛ اما دامیان و همکاران (Damian et al., 2008)، بیان داشتند همبستگی ضعیف بین نیکل و کروم بیشتر مربوط به مواد سازنده خاک است تا فعالیت‌های انسان‌زاد، و نیز احتمالاً به‌دلیل منشأ مشترک یا رفتار زمین‌شیمیایی مشابه این دو فلز است.

جدول ۸ ضریب همبستگی پیرسون بین عناصر مختلف را نشان می‌دهد. همبستگی بالا بین عناصر می‌تواند ناشی از ورود این عناصر از طریق منابع مشترک مانند ورود از طریق اتمسفر و یا از طریق مواد سازنده خاک باشد ( Yalcin et al., 2007).

در بررسیهای انجام شده، همبستگی بالایی بین فلزات منگنز، سرب و روی دیده شده است و فلزات ذکر شده در خاکهای نزدیک کارخانه فولاد، غلظت بالایی دارند و می‌توان دلیل آن را فعالیت کارخانه فولاد دانست (Damian et al., 2008; Guo et al., 2013).

جدول ۸. ضریب همبستگی پیرسون فلزات مورد بررسی در منطقه مورد بررسی در اطراف صنایع فولاد خوزستان در شهر اهواز

**Table 8.** The Pearson correlation coefficient for studied metals in studied area around the Khuzestan Steel Company in Ahwaz city

	Mn	Ni	Pb	Fe	Cr	Zn
Mn	1	-0.014	0.761**	0.45	0.257	0.710**
Ni		1	-0.197	0.69*	0.358	-0.149
Pb			1	0.043	0.127	0.917**
Fe				1	0.033	0.212
Cr					1	-0.013
Zn						1

\* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

\*\* Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

همبستگی بالا می‌تواند ناشی از رفتار زمین‌شناسی مشابه این فلزات باشد و نیز نشان‌دهنده تأثیر فعالیت‌های انسان‌زاد و تأثیر ویژگی‌های طبیعی خاک است (Biasioli et al., 2006).

عناصری که بیشترین بار هر یک از مؤلفه‌ها را تشکیل داده، از نظر فضایی در کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند و به این طریق این فلزات به احتمال زیاد، از لحاظ منابع کنترل کننده یکسان هستند (Křibek et al., 2010).

مؤلفه سوم، مربوط به کروم (۱۵/۸۲ درصد از کل واریانس) است، قرارگیری این فلز در یک مؤلفه جداگانه، نشان‌دهنده منشأ تولیدکننده این فلز است که با توجه به میزان عامل آلودگی، می‌توان احتمال داد منشأ تولیدی کروم در منطقه بیشتر عوامل طبیعی زمین‌زاد است که این مطلب با توجه به میزان کم درصد انسان‌زاد هم‌خوانی دارد.

#### نتیجه‌گیری

اندازه‌گیری مؤلفه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک نشان داد، خاک منطقه تمایل به قلیابیت دارد، که این امر خود عامل مفیدی جهت کاهش تحرک‌پذیری عناصر جزئی در خاک است. بر اساس نمودار گلباد منطقه، باد غالب از شرق به غرب می‌وزد و نمونه شماره ۹ در مسیر باد نایب غالب شمال‌شرقی - جنوب‌غربی قرار دارد. از بررسی غلظت فلزات با استانداردهای مورد استفاده در این پژوهش دیده می‌شود که، در نمونه خاکهای مورد بررسی غلظت فلزات کروم، روی، آهن، نیکل و سرب نسبت به استاندارد خاکهای غیرآلوده دارای غلظت بالاتری است.

فلزات آهن و نیکل دارای همبستگی نسبتاً قوی ( $r = 0.69$ ) هستند که می‌تواند ناشی از یکسان بودن منبع آنها باشد، ذکر این نکته ضروری است که، فلزات یاد شده نیز از فلزات اصلی مورد استفاده در صنایع فولاد هستند. دنکوب و همکاران (Dankoub et al., 2012)، همبستگی نسبتاً معناداری را بین آهن و نیکل گزارش کرد و بیان کردند که احتمالاً منبع آهن در خاکهای ناحیه مورد بررسی ترکیبی از زمین‌زاد و انسان‌زاد است.

آهن یکی از عناصر اصلی در پوسته زمین و دارای ارتباط اساسی با ذرات درشت اتمسفری (جوی) انتشار یافته از منابع آلاینده است و آهن در نزدیک منابع انتشار ته‌نشین می‌شود (Carreras and Pignata, 2002). اگر چه بالاترین سطوح آهن به تأثیر کارخانه فولاد نسبت داده شده است (Al-Khashman and Shawabkeh, 2009).

از جدول بارگذاری متغیرهای مؤلفه اصلی (جدول ۹) و شکل ۷ که موقعیت متغیرها را در مؤلفه‌های استخراج شده در حالت سه بعدی نشان می‌دهد، می‌توان نتایج زیر را مشاهده کرد: مؤلفه اول، با ۴۱/۴۷ درصد از واریانس کل، دارای عامل وزنی مثبت و همبستگی بالایی برای فلزات سرب، روی و منگنز است و نشان‌دهنده تأثیر محلی فعالیت‌های انسان‌زاد (فعالیت کارخانه)، است که به صورت گسیل از دودکش و نهشته شدن بر روی خاک اطراف کارخانه، پراکنده شده‌اند و نیز تأییدکننده منشأ واحد آنهاست.

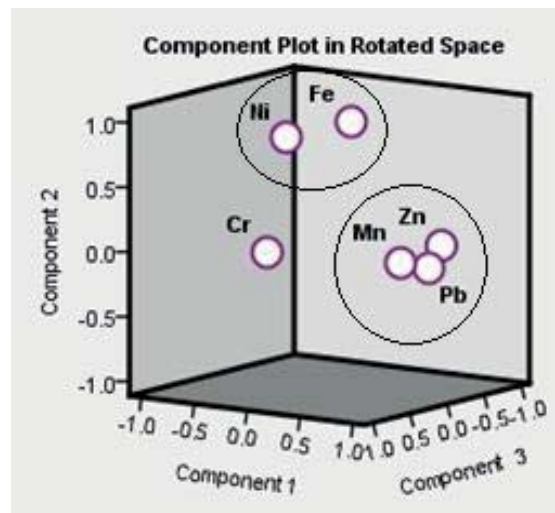
عامل دوم (با ۲۲/۲۶ درصد واریانس کل)، عامل وزنی مثبت و همبستگی بالایی را بین فلزات آهن و نیکل نشان می‌دهد. این

جدول ۹. تحلیل عاملی چرخش یافته فلزات در نمونه‌های خاک بررسی شده در منطقه مورد بررسی در اطراف صنایع فولاد خوزستان در شهر اهواز

**Table 9.** The rotated factor analysis of elements in studied soil samples in studied area around the Khuzestan Steel Company in Ahwaz city

	Rotated factor analysis of heavy metals in soils		
	Component		
	1	2	3
Mn	<b>.860</b>	-.009	.269
Ni	-.160	<b>.872</b>	.354
Pb	<b>.964</b>	-.072	.035
Zn	<b>.957</b>	.076	-.142
Fe	.126	<b>.953</b>	-.115
Cr	.087	.096	<b>.966</b>

Extraction method: principal component analysis, Rotation method: Varimax with Kaiser Normalization. Bold numbers indicate correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed)



شکل ۷. نمودار تحلیل مؤلفه‌های اصلی برای فلزات مورد بررسی

**Fig. 7.** The factor analysis plots for the studied metals

درجه آلودگی و نیز شاخص تعیین درصد انسان‌زاد و همچنین نتایج حاصل از تحلیل‌های آماری ه مخوانی دارد. البته می‌توان گفت با توجه به مشاهدات منشأ آهن در محیط تحت تأثیر دو عامل انسان‌زاد و زمین‌زاد است.

#### قدردانی

نویسندگان مقاله بر خود لازم می‌دانند از معاونت محترم پژوهشی و فناوری دانشگاه شهید چمران اهواز برای حمایت مالی قدردانی نمایند.

از این‌رو، خاک منطقه نسبت به فلزات آلوده است. به‌طور کلی فلزات منگنز، کروم، روی و سرب، به‌عنوان مهمترین عناصر انتشار یافته از کارخانه فولاد شناخته شده است. اغلب غلظت‌های عناصر جزئی با افزایش فاصله از کارخانه کاهش یافته است و بیشترین غلظت فلزات در نمونه‌های شماره ۴ و ۱۲ دیده شد که با نتایج حاصل از شاخص اشباع فلزات هم‌خوانی دارد و نمونه‌های نزدیک به کارخانه، بالاترین مقادیر شاخص اشباع فلزات را داشتند. ضریب آلودگی فلزات کروم و نیکل پایین و برای فلزات آهن، سرب، منگنز و روی در محدوده متوسط است. این نتایج با مشاهدات مربوط به میزان

## References

- Al-Khashman, O. and Shawabkeh, R.A., 2006. Metals distribution in soils around the cement factory in southern Jordan. *Environmental Pollution*, 140(3): 387-394.
- Al-Khashman, O. and Shawabkeh, R.A., 2009. Metal distribution in urban soil around steel industry beside Queen Alia Airport, Jordan. *Environmental Geochemistry and Health*, 31(6): 717-726.
- Alloway, B.J. and Ayres, D.C., 1997. *Chemical Principles of Environmental Pollution*. Blackie Academic and Professional, London, 395 pp.
- Bhuiyana, M.A.H., Parvez, L., Islam, M.A., Dampare, S.B. and Suzukia, S., 2010. Heavy metal pollution of coal mine-affected agricultural soils in the northern part of Bangladesh. *Journal of Hazardous Materials*, 173(1): 384-392.
- Biasioli, R., Barberis, R. and Marson, F.A., 2006. The influence of a large city on some soil properties and metal content. *The Science of the Total Environment*, 356(1-3): 154-164.
- Bullock, P. and Gregory, P.J., 1991. *Soils in the urban environment*. Blackwell Scientific Publication, London, 174 pp.
- Carreras, H.A. and Pignata, M.L., 2002. Biomonitoring of heavy metals and air quality in Cordoba city, Argentina, using transplanted lichens. *Environmental Pollution*, 117(1):77-87.
- Chopin, E.I.B. and Alloway, B.j., 2007. Distribution and Mobility of Trace Element in Soil and Vegetation Around the Mining and Smelting Areas Of Tharsis, Riotinto and Hulelva, Iberian Pyrite Belt, SW Spain. *Water Air Soil pollution*, 182(1-4): 245-261.
- Damian, F., Damian, G., Lăcătușu, R., Macovei, G., Iepure, G., Năprădean, I., Chira, R., Kollar, L., Rață, L. and Zaharia, D.C., 2008. Soils from the Baia Mare zone and the heavy metals pollution. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 3(1): 85-98.
- Dankoub, Z., Ayoubi, S., Khademi, H. and Lu, S.G., 2012. Spatial distribution of magnetic properties and selected heavy metals in calcareous soils as affected by land use in the Isfahan region, Central Iran. *Pedosphere*, 22(1): 33-47.
- Dragovic, R., Gajic, B., Dragovic, S., Đorđević, M., Đorđević, M., Mihailovic, N. and Onjia, A., 2014. Assessment of the impact of geographical factors on the spatial distribution of heavy metals in soils around the steel production facility in Smederevo (Serbia). *Journal of Cleaner Production*, 84: 550-562.
- Forstner, U. and Wittmann, G.T.W., 1983. *Metal pollution in the aquatic environment*. Springer, Verlag, Berlin, 194 pp.
- García, J.H., Li, W.W., Arimoto, R., Okrasinski, R., Greenlee, J., Walton, J., Schloesslin, C. and Sage, S., 2004. Characterization and implication of potential fugitive dust sources in the Paso del Norte region. *Science of the Total Environment*, 325(1-3): 95-112.
- Guo, L.Y., Tian-He, S., Peng, H. and Jun, L., 2013. Environmental geochemical mapping and multivariate geostatistical analysis of heavy metals in topsoils of a closed steel smelter: Capital Iron & Steel Factory, Beijing, China. *Journal of Geochemical Exploration*, 130:15-21.
- Hakanson, L., 1980. An ecological risk index for aquatic pollution control. a sedimentological approach. *Journal of Water Research*, 14(8): 975-1001.
- Kabata-Pendias, A., 2011. Soils and soil processes. In: Taylor & Francis Group (Editor), *Trace Elements in Soils and Plants*. Institute of Soil Science and Plant Cultivation in Pulawy, Poland, pp. 38-39.
- Kabata-Pendias, A. and Mukherjee, A.B., 2007. *Trace Elements from soil to Human*. Springer, Berlin, 550 pp.
- Kapusta, P., Szarek-Lukaszewska, G.M. and Stefanowicz, A., 2011. Direct and indirect effects of metal contamination on soil biota in a Zn-Pb post-mining and smelting area (S Poland). *Environmental pollution*, 159(6): 1516-1522.
- Kelly, J., Thornton, I. and Simpson, P.R., 1996. Urban geochemistry: a study of the influence of anthropogenic activity on the heavy metal content of soils in traditionally industrial and nonindustrial areas of Britain. *Applied Geochemistry*, 11(1-2): 363-370.
- Knight, R.D. and Henderson, P.J., 2005. Characterization of smelter dust from the mineral fraction of humus collected around Rouyn-Noranda, Quebec. *Metals in the environment around smelters at Rouyn-noranda, Quebec, and Belledune, New Brunswick*. In: G. Bonham-Carter (Editor), *results and conclusions of the GSCMITE point sources project*. Natural Resources Canada, Canada, Bulletin, 584, p. 17.

- Kříbek, B., Majer, V., Veselovský, F. and Nyambe, I., 2010. Discrimination of lithogenic and anthropogenic sources of metals and sulphur in soils of the central-northern part of the Zambian Copper belt Mining District: atopsil vs. subsurface soil concept. *Journal of Geochemical Exploration*, 104(3): 69-86.
- Lu, X., Wang, L., Lei, K., Huang, J. and Zhai, Y., 2009. Contamination assessment of copper, lead, zinc, manganese and nickel in street dust of Baoji, NW China. *Journal of Hazardous Material*, 161(2): 1058-1062.
- Mico, C., Recatala, L., Peris, M. and Sanchez, J., 2006. Assessing heavy metal sources in agricultural soils of an European Mediterranean area by multivariate analysis. *Chemosphere*, 65(5): 863-872.
- Mohammadi Roozbahani, M., Sobhanardakani, S., Karimi, H and 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.
- Moore, F., Kargar, S and Rastmanesh, F., 2013. Heavy metal concentration of soils affected by Zn-smelter activities in the Qeshm Island, Iran. *Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran*, 24(4): 339 – 346.
- Moyes, J., 2011. The soil texture wizard: In: J. Lemon and B. Bolker (Editors), R functions for plotting, classifying, transforming and exploring soil texture data. Swedish University of Agricultural Sciences, Sweden, pp. 11-47.
- Odabasi, M., Abdurrahman, B., Elbir, T., Seyfioglu, R., Dumanoglu, Y. and Ornektekin S., 2010. Investigation of Soil concentration of persistent organic pollutants, Trace Elements, and Anions Due To Iron-Steel Plant Emission in an Industrial Region in Turkey. *Water Air Soil Pollution*, 213(1-4): 375-388.
- Panahpour, E., Alizadeh, M. and Gholami, A., 2013. Investigation of Ahwaz's Air contamination by Nickel Using Conoacarpus Pollution Burden Index. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 7(2): 128-132.
- Peña-Fernández, A., González-Muñoz, M.J. and Lobo-Bedmar, M.C., 2014. Establishing the importance of human health risk assessment for metals and metalloids in urban environments. *Environment International*, 72: 176-185.
- Rastmanesh, F., Moore, F., Kharrati Kopaei, M., Keshavarzi, B. and Behrouz, M., 2010. Heavy metal enrichment of soil in Sarcheshmeh copper complex, Kerman, Iran. *Environmental Earth Sciences*, 62(2): 329-336.
- Simonson, R.W., 1962. Soil classification in the United State. *Science*, 137(3535): 1027-1034.
- Singh, R.B., 2001. Heavy Metals in Soils: Sources, Chemical Reactions and Forms. Proceedings of the 2nd Australia and New Zealand Conference on Environmental Geotechnics Newcastle, New South Wales, Australian Geochemical Society, Newcastle, Australia.
- Yalcin, M.G., Battaloglu, R. and Ilhan, S., 2007. Heavy metal sources in Sultan Marsh and its neighborhood, Kayseri, Turkey. *Environmental Geology*, 53(2): 399-415.
- Yang, Y.G., Jin, Z., Bi, X., Li, F., Sun, L., Liu, J. and Fu, Z., 2009. Atmospheric deposition-carried Pb, Zn, and Cd from a Zinc smelter and their effect on soil microorganisms. *Pedosphere*, 19(4): 422-433.



## Contamination assessment of heavy metals in the soils around Khuzestan Steel Company (KSC) (Ni, Mn, Pb, Fe, Zn, Cr)

Fatemeh hormozi Nejad\*, Fatemeh Rastmanesh and Alireza Zarasvandi

Department of Geology, Faculty of Earth Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

Submitted: July 01, 2014

Accepted: Sept. 23, 2015

**Keywords:** heavy metals, Khuzestan Steel Company, contamination degree, Anthropogenic Enrichment Percent, saturation degree of metals, Ahvaz

### Introduction

Soil plays a vital role in human life as the very survival of mankind is tied to the preservation of soil productivity (Kabata- Pendies and Mukherjee, 2007).

The purpose of this study is the assessment of heavy metal contamination (Zn, Mn, Pb, Fe, Ni, Cr) of the soil around the Khuzestan Steel Complex.

### Materials and methods

For this purpose, 13 surface soil samples (0-10 cm) were taken. Also a control sample was taken from an area away from the steel complex. The coordinates of each point were recorded by Global Positioning System (GPS). The samples were transferred to the laboratory and then were air dried at room temperature for 72 hours. Then they were sieved through a 2mm sieve for determining physical and chemical parameters (soil texture, pH, OC), and a 63-micron sieve for measurement of heavy metal concentration. pH was measured using a calibrated pH meter at a 2: 1 mixture (soil: water), and soil texture was determined using a hydrometer. The amount of organic matter was measured using the Valkey black method (Chopin and Alloway, 2007).

After preparation of the samples in the laboratory, the samples were analyzed using the ICP-OES method to assess concentration of heavy metals.

Measurement of heavy metals concentration was carried out at the Zar azma laboratory in Tehran. To ensure the accuracy of the analysis of soil samples, replicate samples were also sent to the laboratory.

In order to assess the heavy metal pollution in the soil samples, different indices including contamination factor (CF), contamination degree (Cd), anthropogenic enrichment percent (An%), and saturation degree of metals (SDM) were calculated.

### Discussion

In addition, the mean concentrations of heavy metals in soil samples were compared to the concentration of these metals in Control Sample and unpolluted soil standard.

Measurement of soil pH showed that the soil has a tendency to alkalinity. Also, soil texture is sandy loam (Moyes, 2011).

The results showed that the mean Organic Carbon in the soil sample is 1.03%, the higher amount of OC is related to soil sample numbers 7 and 11.

The mean concentrations of Ni, Pb, Zn, Mn, Fe and Cr in soil samples were 61.42, 19.90, 156.63, 443.63, 38762.63 and 127.58 (mg/kg), respectively.

The highest concentrations of manganese, chromium, zinc and lead were found in soil samples number 4 and 12. This is in agreement with the results of the saturation degree of metals so that, the highest values of saturation degree of metals were found for soil samples close to the factory, (i.e. 4 and 12). The SDM values decreased with distance to the factory. The highest contamination factor was obtained for soil samples which were taken near the steel factory (4 and 12).

Also, the highest contamination degrees were found for soil samples 4 (23.7) and 12 (14.1)



while, the lowest values were obtained for soil samples 6 (6.35) and 10 (6.07).

The results of the contamination degree calculation, anthropogenic enrichment percent, as well as statistical analysis are consistent. It can be said that the origin of iron in study areas is related to anthropogenic and geogenic activities.

The results of anthropogenic enrichment percent, indicated that Lead, Manganese, and Zinc in the soil samples which were taken around the steel factory have an anthropogenic source. Moreover, the source of Chromium and Nickel is mainly geogenic.

The results showed that all variables are normally distributed. Three components originate with a cumulative variance of 79.55% for soil samples.

PC1 which explains 41.47% of the total variance can be defined as an anthropogenic component since Mn, Pb and Zn soil samples have the highest loading on PC1. As previously indicated, the concentration of these elements in the study area is mainly influenced by the steel industrial complex.

The PC2 represents 22.26% of the total variance, and is strongly associated with Ni, Fe can be defined as geogenic and anthropogenic component, as the variability of the elements seems to be controlled by parent rocks and human activities.

Cr was individually included in the PC3 which 15.82% of the total variance. The distribution of Cr in the studied soils confirmed that it was derived from the parent materials of soil.

## Results

The highest concentrations were found at soil samples 4 and 12. Comparison of heavy metals

concentration with unpolluted soil standard indicated that, concentrations of Cr, Zn, Fe, Ni and Pb is higher than that of unpolluted soil standard. In general, Manganese, Chromium, Zinc and Lead are the most important elements that are found in emissions of steel plants.

The soil samples near the steel plant and downwind direction have much higher pollution level.

The results showed that Mn, Pb and Zn is related to human activity and Cr have geogenic source and Fe and Ni have both geogenic and anthropogenic source in the study area in the city of Ahwaz.

## Acknowledgements

The authors would like to thank the vice-chancellor for research and technology of Shahid Chamran University of Ahwaz for financial support.

## References

- Chopin, E.I.B. and Alloway, B.J., 2007. Distribution and Mobility of Trace Element in Soil and Vegetation Around the Mining and Smelting Areas Of Tharsis, Riotinto and Huelva, Iberian Pyrite Belt, SW Spain. *Water Air Soil pollution*, 182(1-4): 245-261.
- Kabata-Pendias, A. and Mukherjee, A.B., 2007. *Trace Elements from soil to Human*. Springer, Berlin, 550 pp.
- Moyes, J., 2011. The soil texture wizard: In: J. Lemon and B. Bolker (Editors), *R functions for plotting, classifying, transforming and exploring soil texture data*. Swedish University of Agricultural Sciences, Sweden, pp. 11-47.