

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و سوم، شماره هشت، آبان ماه ۱۴۰۰ (۳۵-۱۹)

ارزیابی میزان آلودگی و توزیع عناصر کروم، نیکل و کبالت در خاک منطقه افیولیتی جغتای (شمال غرب سبزوار)، بر اساس تحلیل های آماری و استخراج ترتیبی

حجت اله جغتایی^۱

رحیم دبیری^{۲*}

r.dabiri@mshdiau.ac.ir

محمد الیاس مسلم پور^۳

تاریخ پذیرش: ۹۴/۵/۲۴

تاریخ دریافت: ۹۴/۱/۱

چکیده

زمینه و هدف: دشت جغتای در جوار معدن کرومیت و زون افیولیتی سبزوار قرار گرفته است. هدف از این تحقیق بررسی آلودگی فلزات سنگین در خاک دشت جغتای، از لحاظ ژئوشیمیایی، شاخص های آماری و زیست محیطی می باشد.

مواد و روش ها: نمونه برداری از خاک دشت جغتای در اردیبهشت ۹۳ انجام گرفته و غلظت فلزات سنگین با استفاده از روش ICP-MS اندازه گیری شد. جهت تعیین فاز های ژئوشیمیایی فلزات در خاک، از روش استخراج ترتیبی BCR استفاده شد.

یافته ها: بررسی نتایج آنالیز عناصر سنگین در نمونه های خاک منطقه مورد مطالعه، نشان از غلظت بالای برخی عناصر از قبیل کروم، نیکل و کبالت در بخش های جنوبی منطقه دارد. ارزیابی فلزات سنگین در خاک های منطقه جغتای توسط روش های آماری چند متغیره (ضریب همبستگی پیرسون، آنالیز خوشه ای و تحلیل مولفه اصلی) نشان دهنده همبستگی مثبت و قوی عناصر کبالت، نیکل، کروم، آهن، منگنز و منیزیم می باشد که ناشی از منشا یکسان آن ها (واحدهای افیولیتی و الترامافیکی منطقه) می باشد.

بحث و نتیجه گیری: محاسبه شاخص های آلودگی (عامل زمین انباشتگی، عامل غنی شدگی، عامل آلودگی و درجه آلودگی اصلاح شده) نشان می دهد که خاک های منطقه نسبت به عناصر کروم و نیکل آلودگی شدید و نسبت به عنصر کبالت آلودگی متوسط دارند. آزمایش استخراج ترتیبی بر روی نمونه های آلوده نشان داد که عناصر نیکل و کروم با غلظت بیش از ۵۰ درصد در فاز تبادل پذیر تمرکز یافته اند. به عبارت دیگر وجود واحد های افیولیتی و معدن کاری بر روی واحدهای کرومیتی در منطقه سبب آزاد شدن این عناصر شده

۱- کارشناسی ارشد، گروه زمین شناسی، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران.

۲- دانشیار، گروه زمین شناسی، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران. * (مسوول مکاتبات)

۳- استادیار، گروه زمین شناسی، واحد زاهدان، دانشگاه آزاد اسلامی، زاهدان، ایران.

است ، به طوری که با دور شدن از واحدهای افیولیتی، غلظت این عناصر کاهش می یابد. هم چنین گونه سازی عناصر در فاز های مختلف نشان داد که سایر عناصر اغلب در فازهای باقی مانده تمرکز یافته و منشا لیتوژنیک دارند.

واژه های کلیدی: آلودگی خاک، عناصر سنگین، ارزیابی زیست محیطی، استخراج ترتیبی، افیولیت های سبزوار.

Spatial distribution and pollution assessment of Cr, Ni and Co in Joghatay ophiolitic region soils (NW Sabzevar), by statistical analysis and sequential extraction

Hojatallah Joghatayi¹

Rahim Dabiri^{2*}

r.dabiri@mshdiau.ac.ir

Mohamad Elyas Moslempour³

Admission Date: August 15, 2015

Date Received: March 21, 2015

Abstract

Background and Objective: Joghatay plain is located in Sabzevar Ophiolitic Zone and next to the chromite mine. In this research, the soil pollution by heavy metals have been investigated with respect to geochemical, statistical and environmental indicators in Joghatay plain.

Material and Methodology: Samples were collected seasonally from soil in Joghatay plain within May 2014, and the concentration of heavy metals were measured using ICP-MS method. To the geochemical phases of metals in soil were determined using BCR sequential extraction method.

Finding: The result of the analysis of heavy metals in soil samples has shown high concentrations of some elements such as Chromium, Nickel and Cobalt in the southern part of the region. Assessment and correlation of heavy metals in Joghatay region soils by multivariate statistical methods (Pearson correlation, cluster analysis and principal component analysis) show a strong positive correlation between Cobalt, Nickel, Chromium, Iron, Manganese and Magnesium due to the same source (ophiolitic unit area).

Discussion and Conclusion: The pollution index (geoaccumulation index, enrichment factor, contamination factor and modified contamination degree) indicates that soil has strongly polluted with regard to Chromium and Nickel and moderately polluted to Cobalt. Sequential extraction method has indicated that more than 50% of Nickel and Chromium concentration in interexchangeable phase. On the other hand ophiolitic rocks and Chromite mining leads releasing of these elements in the area. Though, as far as it gets away from ophiolitic rocks these elements concentration will be decreased. Also element speciation in different phases reveals that the rest elements have concentrated in residual phases and have a lithogenic source.

Key words: Soil Pollution, Heavy Metal, Environmental Assessment, Sequential Extraction, Sabzevar Ophiolite.

1- Department of Geology, Mashhad Branch, Islamic Azad University, Mashhad, Iran.

2- Associate Professor, Department of Geology, Mashhad Branch, Islamic Azad University, Mashhad, Iran.

*(Corresponding author)

3- Assistant Professor, Department of Geology, Zahedan Branch, Islamic Azad University, Zahedan, Iran.

مقدمه

هارزبورژیت، دونیت های سرپانتینی شده، گابرو و دیاباز می باشند. واحدهای غیر افیولیتی شامل برخی سنگ های آتشفشانی _ رسوبی با ترکیب آندزیتی _ داسیتی به سن تشریری و سنگ های اسیدی از جنس کنگلومرا، توف و واحدهای کربناته به سن کرتاسه فوقانی می باشند (۵). این منطقه شامل تعداد زیادی از کانسارهای کرومیت لایه ای، عدسی و مدادی شکل با ابعاد متفاوت در سنگ های فوق بازیک سرپانتینی شده (هارزبورژیت های سرپانتینی شده) می باشند (۶).

مواد و روش ها

برای بررسی عناصر سنگین خاک از نمونه برداری های انجام گرفته در منطقه مورد مطالعه، تعداد ۳۰ نمونه خاک و و رسوبات آبراهه ای انتخاب گردید. نمونه ها از عمق ۱۰-۳۰ سانتی متری خاک برداشت گردید. پس از خشک شدن نمونه ها در آزمایشگاه آلودگی خاک دانشکده علوم دانشگاه آزاد مشهد، توسط الک های ۲۳۰، ۱۷۰، ۱۲۰، ۶۰، ۳۵، ۱۸، ۱۰، ۵ مش دانه بندی شده و بافت آن ها تعیین گردید. برای اندازه گیری اسیدیته و هدایت الکتریکی ذرات عبوری، از الک ۲۳۰ مش (کوچک تر از ۶۳ میکرون) استفاده شد. تعداد ۱۰ نمونه برای آنالیز عناصر سنگین به روش ICP-MS به آزمایشگاه مواد معدنی زرآرما تهران ارسال گردید. جهت تعیین فازهای ژئوشیمیایی فلزات در خاک، از روش استخراج ترتیبی BCR (پیشنهاد شده توسط اتحادیه اروپا) استفاده گردید (۸). برای انجام آزمایش مذکور نمونه های G25 و G30 انتخاب شدند و طی چهار مرحله توسط معرف های شیمیایی مخصوص، جهت آزادسازی فلزات از فازهای مختلف مورد آنالیز قرار گرفتند. در فاز ۱ (جزء تبادل پذیر) از اسید استیک ۰/۱ مولار، در فاز ۲ جزء متصل به اکسید های آهن و منگنز) از هیدروکسید آمونیوم کلراید، در فاز ۳ (جداسازی فلزات متصل به ماده آلی و سولفیدها) از پراکسید هیدروژن و محلول استات آمونیوم، و در فاز ۴ (جزء متصل به اجزای سیلیکاته خاک و یا فاز باقی مانده) از تیزاب سلطانی استفاده گردید. بعد از سانتریفیوژ و فیلتر کردن، عصاره

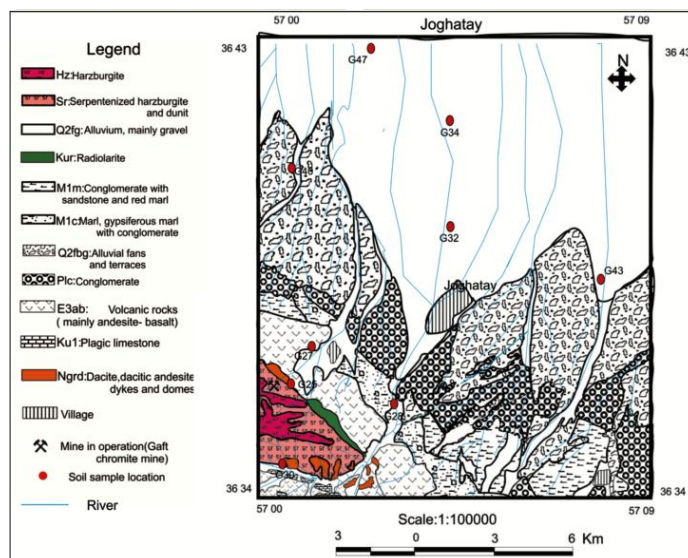
هوازدگی سنگ های افیولیتی و نیز عملیات معدن کاری بر روی این سنگ ها می توانند سبب پراکندگی و تشدید فلزات سنگین و ایجاد آلودگی گردند. از آن جایی که فلزات سنگین در سطح خاک یا رسوب نهشته می شوند، ردیاب های بسیار مناسبی برای نمایش میزان آلودگی محیطی هستند (۱). در مقایسه با آلاینده های آلی، فلزات سنگین نمی توانند از طریق فرآیند های شیمیایی و زیستی از بین بروند. این فلزات به صورت محلی تجمع پیدا کرده تا مسافت های بسیار دور انتقال می یابند (۲). مطالعات صورت گرفته در بخش جنوبی افیولیت های سبزوار نشان می دهند که خاک های منطقه به غلظت های بالایی از فلزات سنگین کروم، نیکل و کبالت آلوده می باشند (۳). این بررسی ها نشان می دهد که مهم ترین عامل در تغییرات ژئوشیمیایی خاک های سطحی منطقه، فرآیند های زمین شناسی است. با توجه به قرار گرفتن منطقه مورد مطالعه در مجاورت واحد های افیولیتی و وجود معدن کرومیت روستای گفت، پتانسیل آلوده شدن خاک منطقه به فلزات سنگین به ویژه کروم وجود دارد. در این مقاله با مقایسه نتایج آنالیز خاک و رسوبات منطقه مورد مطالعه با معیارهای استاندارد به صورت کمی و کیفی و نیز محاسبه عوامل آلودگی خاک و تحلیل های آماری، نمونه های خاک منطقه مورد ارزیابی زیست محیطی قرار گرفته است. از طرفی با بهره گیری از نتایج حاصل از استخراج ترتیبی، نقش عوامل زمین زاد و انسان زاد در آلودگی خاک و رسوبات منطقه مورد سنجش قرار می گیرد.

زمین شناسی منطقه

منطقه مورد مطالعه در شمال شرقی ایران در محدوده ای به مختصات ۳۶°۳۴' تا ۳۶°۴۳' شمالی و ۵۷°۰۰' تا ۵۷°۰۹' شرقی واقع است (شکل ۱). این ناحیه بر اساس تقسیم بندی زمین شناسی، بخشی از ناحیه افیولیتی سبزوار محسوب می-شود. افیولیت های سبزوار، بخشی از نوار افیولیتی حلقوی، احاطه کننده میکروپلیت ایران مرکزی (افیولیت های درونی) محسوب می شوند (۴). سنگ های موجود در منطقه را می توان به دو گروه افیولیتی و غیرافیولیتی تقسیم بندی کرد. سری افیولیتی در منطقه مورد مطالعه بیش تر شامل

ارزیابی آلودگی خاک از شاخص های زمین انباشتگی، عامل آلودگی، عامل غنی شدگی و درجه آلودگی اصلاح شده استفاده شد.

استخراج شده توسط دستگاه طیف سنج اتمی دانشگاه آزاد اسلامی مشهد مورد تجزیه عنصری قرار گرفتند. در نهایت نتایج به دست آمده توسط نرم افزارهای Excel 2010، SPSS، 22، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. هم چنین به منظور



شکل ۱- نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه برگرفته از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ جغتای (۷) به همراه نقاط نمونه برداری

Figure 1. Geological map and sample location of the study area (Joghatay sheet, 1:100000 in scale, after Rahmati Elikhchi, 1998 (7)).

یافته ها و بحث

بررسی های اولیه نشان از غلظت بالای عناصر کروم، نیکل و کبالت نسبت به میانگین پوسته زمین و شیل جهانی دارد. البته میزان این عناصر با دور شدن از سنگ های افیولیتی در منطقه کاهش می یابد، به طوری که میزان عنصر کروم در نزدیکی سنگ های اولترامافیک و معدن کرومیت گفت بیش از ۱٪ بوده و بالاتر از حد تشخیص دستگاه ICP می باشد. غلظت عناصر آرسنیک و کادمیوم در نزدیکی افیولیت ها کم (کمتر از ۰/۱ ppm) بوده و در مناطق شمالی منطقه مورد مطالعه بالاتر می باشد. گمان می رود استفاده از سموم و آفت کش های گیاهی در این منطقه سبب بالا رفتن غلظت آرسنیک در خاک شده است. عناصر دیگر از جمله آهن و آلومینیوم در منطقه مورد مطالعه تغییرات زیادی در غلظت شان نشان نمی دهند.

با بررسی نمونه های خاک برداشت شده، بافت خاک در منطقه ماسه ای تا لومی ماسه ای بوده و pH نمونه های خاک در محدوده ۸/۲۲-۸/۷۸ قرار می گیرند. هم چنین بر اساس طبقه بندی انجمن علوم خاک آمریکا، این خاک ها در رده کمی قلیایی تا نسبتاً قلیایی قرار می گیرند. هدایت الکتریکی (EC) نمونه های خاک در محدوده ۱۷۱-۲۷۲ میکرو زیمنس بر سانتی متر قرار دارد (جدول ۱). نتایج حاصل از آنالیز عناصر نمونه ها نشان می دهد که غلظت کل فلزات بسیار متغیر می باشد. بر این اساس گستره آن برای عناصر کروم، نیکل، کبالت، مولیبدن، آهن، کادمیوم، مس، نقره، آرسنیک، منگنز، سرب، روی، تیتان، گوگرد و آنتیموان در ایستگاه های نمونه برداری به همراه پارامترهای آماری نمونه ها و غلظت میانگین عناصر در پوسته زمین و شیل جهانی در جدول (۱) آمده است.

جدول ۱- غلظت عناصر سنگین و نتایج آنالیز ICP-MS (بر حسب ppm)، هدایت الکتریکی (بر حسب میکروزیمنس بر سانتی متر) و pH در نمونه های خاک

Table 1. Heavy elements concentration and ICP-MS analysis results (ppm), Electrical conductivity ($\mu\text{S/cm}$) and pH in soil samples.

| شیل | میانگین | G47 | G46 | G43 | G40 | G34 | G32 | G30 | G28 | G27 | G25 | نمونه |
|--------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| جهانی* | پوسته* | | | | | | | | | | | |
| - | - | ۸/۴۵ | ۸/۴۹ | ۸/۴۲ | ۸/۷۸ | ۸/۷۵ | ۸/۵۱ | ۸/۴۹ | ۸/۳۵ | ۸/۲۲ | ۸/۵۳ | pH |
| - | - | ۸/۴۵ | ۸/۴۹ | ۸/۴۲ | ۸/۷۸ | ۸/۷۵ | ۸/۵۱ | ۸/۴۹ | ۸/۳۵ | ۸/۲۲ | ۸/۵۳ | pH |
| - | - | ۲۷۲ | ۲۱۱۰ | ۱۷۴ | ۱۸۹ | ۱۹۹ | ۱۷۱ | ۲۷۵ | ۱۹۴ | ۲۰۷ | ۲۰۴ | EC |
| ۱/۵ | ۰/۲ | ۱/۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱/۴ | ۰/۷ | ۰/۹ | ۱ | ۰/۷ | Sb |
| ۴۶۰۰ | ۴۴۰۰ | ۴۱۰۶ | ۳۷۸ | ۴۳۶۱ | ۵۶۳۸ | ۴۴۷۷ | ۴۳۱۹ | ۲۶۰۱ | ۳۷۸۵ | ۲۹۷۹ | ۱۷۷۷ | Ti |
| ۹۵ | ۷۰ | ۵۴ | ۳۹ | ۵۵ | ۶۳ | ۵۲ | ۵۳ | ۳۹ | ۵۰ | ۴۹ | ۱۳۷ | Zn |
| ۲۰ | ۱۳ | ۱۳ | ۱۶ | ۱۳ | ۱۵ | ۱۲ | ۱۶ | ۹ | ۱۰ | ۱۴ | ۹ | Pb |
| ۶۸ | ۷۵ | ۳۱۷ | ۱۴۳ | ۳۸۷ | ۳۱۶ | ۲۷۳ | ۲۸۸ | ۹۸۸ | ۶۱۵ | ۷۷۸ | ۹۶۸ | Ni |
| ۲/۶ | ۱/۵ | ۰/۴ | ۰/۳۴ | ۰/۳۳ | ۰/۴۲ | ۰/۳۲ | ۰/۳۷ | ۰/۱> | ۰/۳۱ | ۰/۲۸ | ۰/۱۱ | Mo |
| ۸۵۰ | ۹۵۰ | ۷۶۷ | ۵۷۱ | ۸۴۱ | ۷۸۵ | ۸۱۶ | ۸۸۰ | ۸۳۴ | ۸۶۶ | ۷۷۴ | ۹۷۷ | Mn |
| ۴۷۲۰۰ | ۵۰۰۰۰ | ۳۵۷۳۴ | ۲۳۴۴۴ | ۴۱۸۹۰ | ۴۴۹۷۴ | ۴۰۶۱۲ | ۴۰۲۵۹ | ۴۴۰۲۹ | ۴۵۹۶۱ | ۳۸۹۲۹ | ۶۸۱۰۰ | Fe |
| ۴۵ | ۵۵ | ۳۹ | ۲۱ | ۴۸ | ۳۱ | ۴۹ | ۶۲ | ۲۹ | ۳۸ | ۲۰ | ۱۰ | Cu |
| ۹۰ | ۱۰۰ | ۳۰۵ | ۱۷۰ | ۴۱۷ | %۱< | ۴۰۰ | ۲۷۳ | ۷۱۹ | ۶۶۸ | ۱۰۴۷ | %۱< | Cr |
| ۱۹ | ۲۵ | ۲۹/۵ | ۱۲/۷ | ۳۱/۲ | ۳۱ | ۲۵/۸ | ۲۸/۱ | ۵۹/۴ | ۴۴/۶ | ۵۲/۵ | ۱۰۵۹ | Co |
| ۰/۳ | ۰/۲ | ۰/۵۹ | ۰/۴۹ | ۰/۳۹ | ۰/۴۴ | ۰/۵۳ | ۰/۶ | ۰/۱۱ | ۰/۲۶ | ۰/۲۶ | ۰/۱> | Cd |
| ۱۳ | ۱/۸ | ۲/۸ | ۰/۲ | ۱/۲ | ۰/۱> | ۰/۲ | ۰/۷ | ۰/۱> | ۰/۱> | ۰/۱> | ۰/۱> | As |
| ۸۰۰۰۰ | ۸۱۳۰۰ | ۵۵۳۳۷ | ۴۶۵۸۳ | ۵۵۸۸۵ | ۵۴۶۶۷ | ۵۵۴۵۷ | ۵۸۰۰۲ | ۳۲۶۹۱ | ۴۵۸۶۴ | ۳۷۰۳۷ | ۴۱۰۷۰ | Al |
| ۰/۰۷ | ۰/۰۷ | ۰/۲ | ۰/۲ | ۰/۲ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۲ | ۰/۱ | ۰/۲ | ۰/۲ | ۰/۱> | Ag |

* به نقل از (مر و شرفی ۱۳۸۲) (۲۵)

۱- بررسی همبستگی بین عناصر

که عبارتند از: جذب سطحی در کانی های رسی و مواد آلی، حضور عناصر در ساختار کانی ها به ویژه رس ها، جذب عناصر توسط اکسیدها و هیدروکسیدهای منگنز و آهن (۱۰). مقادیر ضریب همبستگی پیرسون عناصر سنگین منطقه مورد مطالعه در جدول (۲) ارائه شده است. همان طور که در جدول مشاهده می شود ارتباط معنادار مثبتی بین عنصر کبالت با آهن ($r = ۰/۰۱$) ، نیکل ($r = ۰/۹۵۴$ ، $p < ۰/۰۱$) ، منگنز ($r = ۰/۸۷۶$ ، $p < ۰/۰۱$) ، کروم ($r = ۰/۷۹۹$ ، $p < ۰/۰۱$) و منیزیم ($r = ۰/۶۶۹$ ، $p < ۰/۰۵$) وجود دارد که ناشی از منشا یکسان ، آزادسازی و رسوب مشابه این عناصر در منطقه

مطالعات ژئوشیمیایی رسوبات می تواند گام موثری برای یافتن منشا رسوبات، الگوی پراکنش عناصر و ارزش یابی زیست محیطی وضعیت موجود در یک منطقه باشد (۹). در این میان تشخیص ارتباط و همبستگی متقابل بین عناصر مختلف می-تواند در ارزیابی دقیق تر اثرات زیست محیطی کمک نماید. در این تحقیق از ضرایب همبستگی پیرسون (Pearson Correlation) برای تعیین روابط بین عناصر مختلف استفاده شده است. درک این روابط می تواند در تشخیص منبع عنصر و چگونگی انتقال آن در محیط مفید باشد. همبستگی بالای عناصر موجود در رسوب را می توان ناشی از چند عامل دانست

همبستگی مثبت بین عنصر کادمیوم با عنصر مس ($r = 0.730$ ، $p < 0.01$)، سرب ($r = 0.899$ ، $p < 0.01$)، تیتان ($r = 0.804$ ، $p < 0.01$) و آنتیموان ($r = 0.681$ ، $p < 0.05$) می تواند حاکی از منشا مشترک این عناصر باشد. با توجه به وجود سنگ های اولترامافیکی در منطقه مورد مطالعه می توان منشا عناصر نیکل، کروم، کبالت و منیزیم در خاک ها و رسوبات منطقه را مربوط به آزاد سازی این عناصر از سنگ های افیولیتی منطقه مربوط دانست.

مورد مطالعه می باشد. هم چنین همبستگی نیکل با منیزیم ($r = 0.941$ ، $p < 0.01$) و آهن با منگنز ($r = 0.953$ ، $p < 0.01$) بسیار قوی است که نشانه همبستگی بالا و منشا یکسان این عناصر می باشد. البته همبستگی معکوس بالایی نیز بین عناصر کادمیوم با نیکل ($r = 0.942$ ، $p < 0.01$) و منیزیم ($r = -0.842$ ، $p < 0.01$)، کبالت با مولیبدن ($r = -0.731$ ، $p < 0.05$)، سرب ($r = -0.827$ ، $p < 0.01$) وجود دارد که نشان از منشا متفاوت این عنصر با عناصر یاد شده است. از طرف دیگر

جدول ۲- مقادیر ضریب همبستگی پیرسون عناصر نمونه های خاک و رسوب

Table 2. Pearson's correlation coefficient values of elements in soil and sediment samples

| Correlations | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------|----------|---------|--------|----------|----------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|---------|---------|--------|----|
| | Ag | Al | As | Cd | Co | Cr | Cu | Fe | Mn | Mo | Ni | Pb | Zn | Ti | Sb | Mg |
| Ag | ۱ | | | | | | | | | | | | | | | |
| Al | ۰/۰۰۸ | ۱ | | | | | | | | | | | | | | |
| As | ۰/۴۵۷ | ۰/۳۳۳ | ۱ | | | | | | | | | | | | | |
| Cd | ۰/۴۷۰ | ۰/۴۶۱ | ۰/۵۳۲ | ۱ | | | | | | | | | | | | |
| Co | -۰/۵۳۰ | ۰/۴۸ | -۰/۳۰۸ | ** -۰/۸۰ | ۱ | | | | | | | | | | | |
| Cr | * -۰/۶۷۵ | ۰/۲۰۴ | -۰/۳۴۳ | -۰/۴۸۸ | * ۰/۷۰۱ | ۱ | | | | | | | | | | |
| Cu | ۰/۳۹۴ | ۰/۳۰۰ | ۰/۳۸۱ | * ۰/۷۲۰ | * -۰/۷۲ | * ۰/۶۲۰ | ۱ | | | | | | | | | |
| Fe | ۰/۵۹۱ | ۰/۲۵۴ | -۰/۲۸۶ | * -۰/۶۹ | ** ۰/۹۵ | ** ۰/۷۷ | -۰/۵۴۸ | ۱ | | | | | | | | |
| Mn | -۰/۴۷۴ | ۰/۳۴۷ | -۰/۱۸۰ | -۰/۵۸۰ | ** ۰/۸۷ | ۰/۵۹۷ | -۰/۳۰۳ | ** ۰/۹۵ | ۱ | | | | | | | |
| Mo | ۰/۵۴۴ | ۰/۳۶۳ | ۰/۴۳۴ | ** ۰/۸۹ | ** -۰/۸۲ | -۰/۳۷۷ | * ۰/۶۳۹ | * -۰/۷۰ | * -۰/۶۲ | ۱ | | | | | | |
| Ni | -۰/۴۴۱ | -۰/۵۰۱ | -۰/۳۸۱ | ** -۰/۹۴ | ** ۰/۸۰ | ۰/۴۰۷ | * -۰/۶۲ | * ۰/۶۷۵ | * ۰/۶۱۹ | ** -۰/۸۹ | ۱ | | | | | |
| Pb | ۰/۵۴۱ | ۰/۲۳۲ | ۰/۲۱۴ | ** ۰/۸۰ | * -۰/۷۳ | -۰/۳۳۶ | ۰/۴۴۶ | * -۰/۷۰ | * -۰/۶۷ | ** ۰/۸۲ | ** -۰/۸۱ | ۱ | | | | |
| Zn | -۰/۴۸۵ | ۰/۴۰۱ | -۰/۱۹۸ | -۰/۵۵۱ | ** ۰/۹۲ | ** ۰/۷۵ | * -۰/۶۲ | ** ۰/۹۴ | ** ۰/۸۶ | * -۰/۶۱ | ۰/۵۰۳ | -۰/۵۳ | ۱ | | | |
| Ti | ۰/۲۹۹ | ۰/۲۶۸ | ۰/۲۷۷ | ** ۰/۸۰ | ** -۰/۸۷ | -۰/۳۵ | * ۰/۷۲۸ | * -۰/۶۷ | * -۰/۶۲ | ** ۰/۹۲ | ** -۰/۸۳ | * ۰/۷۰۲ | * -۰/۷۰ | ۱ | | |
| Sb | ۰/۴۵۳ | * ۰/۷۱۴ | ۰/۳۴۴ | * ۰/۶۸۱ | -۰/۲۶۸ | -۰/۲۱۵ | ۰/۵۱۴ | -۰/۱۶۴ | ۰/۱۰۱ | ۰/۵۶۷ | -۰/۶۰ | * ۰/۶۴۷ | -۰/۰۰۲ | ۰/۳۷۴ | ۱ | |
| Mg | -۰/۳۶۲ | -۰/۴۷۷ | -۰/۲۶۷ | ** -۰/۸۴ | * ۰/۶۶۹ | ۰/۳۰۴ | -۰/۳۹۹ | ۰/۶۰۰ | * ۰/۶۰۴ | * -۰/۷۳ | ** ۰/۹۴ | ** -۰/۸۰ | ۰/۳۵۴ | * -۰/۶۴ | -۰/۵۷۱ | ۱ |

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

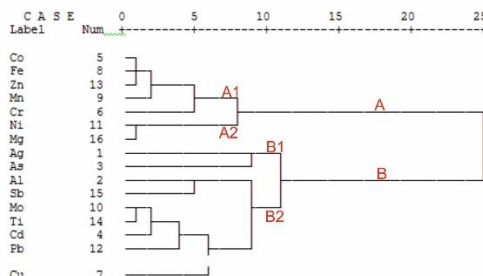
** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

(۲)، عناصر به دو گروه عمده تقسیم می شوند: گروه اول یا گروه A به دو زیر گروه A₁ (شامل عناصر کبالت، آهن، روی، منگنز و کروم) و گروه A₂ (شامل عناصر منیزیم و نیکل)

برای بررسی بیش تر موضوع و منشایابی عناصر سنگین می توان از آنالیز خوشه ای (CA) برای منشایابی عناصر سنگین در رسوبات استفاده نمود. در روش آنالیز خوشه ای مطابق نمودار

منیزیم، کبالت، آهن و روی نزدیک ترین روابط و منشا یکسان را دارا هستند. این نتایج با بررسی های حاصل از ضرایب همبستگی پیرسون نیز تایید می شود.

تقسیم می شوند. در گروه دوم یا گروه B نیز به دو زیر گروه B₁ (شامل عناصر نقره و آرسنیک) و زیرگروه B₂ (شامل عناصر مولیبدن، تیتان، کادمیوم، سرب و مس) تقسیم بندی شده اند. با توجه به نمودار آنالیز خوشه ای، عناصر نیکل و

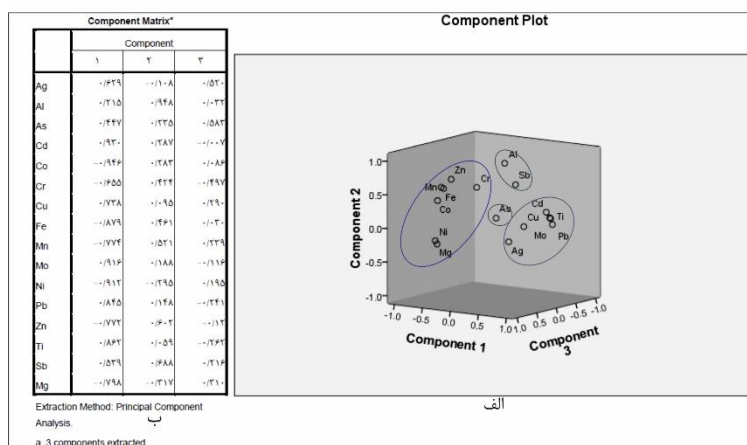


شکل ۲- نمودار دندوگرام آنالیز خوشه ای عناصر سنگین خاک

Figure 2. Dandogram diagram of cluster analysis of heavy soil elements.

از تحلیل عاملی غلظت فلزات سنگین مورد ارزیابی تحلیل عاملی قرار گرفتند. در عامل اول عناصر کادمیوم، مس، سرب، تیتان و نقره با ضرایب بالا و مثبت و عناصر کبالت، کروم، آهن، منگنز، نیکل و روی با ضرایب بالا و منفی حضور دارند. می توان گفت که این دو گروه عناصر فوق دارای منشا متفاوتی می- باشند. در آنالیز خوشه ای و ضریب همبستگی پیرسون عناصر سنگین نیز این نتیجه تایید می گردد. در عامل دوم عنصر آلومینیوم و مولیبدن به عنوان عناصر اصلی محسوب می شوند. با توجه به این که غلظت این عناصر در منطقه مورد مطالعه تغییرات محسوسی ندارند، به عنوان یک عامل جداگانه مطرح است. در عامل سوم عنصر آرسنیک به عنوان عامل اصلی می- باشد. با توجه به بالا بودن غلظت این عنصر در قسمت های شمالی منطقه مورد مطالعه و زمین های کشاورزی می توان گفت استفاده از سموم کشاورزی به عنوان یک عامل انسان زاد سبب آلودگی خاک به این عنصر شده است.

تحلیل عاملی (PCA)، روش آماری چند متغیره ای دیگری است که هدف آن ساده کردن مجموعه های پیچیده و مختلفی است که بین متغیرهای مشاهده ای وجود دارد. تحلیل عاملی ارتباط بین واریانس- کواریانس یک تعداد نمونه از متغیرهای کمی مشاهده ای است که بر حسب چند کمیت اصلی تصادفی اما غیر مشاهده ای، که عامل نامیده می شوند، بیان می شوند. تعدادی از متغیرها که بیش ترین همبستگی را با یک دیگر دارند، عامل اصلی نامیده می شوند. به عبارت دیگر، تجزیه عاملی روشی آماری است که بین مجموعه فراوانی از متغیرهایی که به ظاهر بی ارتباط با هم هستند، رابطه خاصی را تحت یک مدل فرضی برقرار می کند. از عمده کاربرد های آنالیز عوامل، در محیط زیست و در یافتن منابع آلودگی و یا غنی شدگی خاک و آب و نیز تفکیک منسهای طبیعی و انسان زاد می باشد. محققان مختلفی از این ابزار آماری در جهت تعیین منشا آلودگی عناصر سنگین در خاک استفاده کرده اند (۱۴-۱۱). جهت بررسی فلزات سنگین موجود در خاک منطقه با استفاده



شکل ۳- نتیجه تحلیل مولفه اصلی عناصر سنگین (الف) و ماتریس اجزا (ب)

Figure 3. The result of Principal component analysis (PCA) of heavy elements (a) and components matrix (b)

۲- ارزیابی آلودگی خاک و رسوب

مشخص کردن سطح آلودگی و میزان تاثیر عوامل انسان زاد از عوامل طبیعی استفاده می شود. این شاخص می تواند بیان گر شدت تاثیر عوامل خارجی باشد (۱۵). شاخص زمین انباشت برای اولین بار توسط مولر (۱۶) ارایه شد (معادله ۱).

$$I_{geo} = \log_2 \left[\frac{C_n}{1.5B_n} \right] \quad (1)$$

در این معادله، C_n غلظت اندازه گیری شده عنصر در نمونه و B_n غلظت همان عنصر در نمونه زمینه (میانگین شیل جهانی) است. ضریب ۱/۵ نیز برای حذف تغییرات احتمالی زمینه به علت تاثیرات زمین شناختی اعمال می شود. بر اساس طبقه بندی مولر (۱۶) هفت رده آلودگی را می توان در نظر گرفت (جدول ۳).

در مطالعات زیست محیطی به ویژه زمانی که توزیع ژئوشیمیایی عناصر در محیط، حاصل ترکیبی از عوامل انسانی و طبیعی باشد باید روند تغییرات با استفاده از شاخص های آلودگی ارزیابی شود. شاخص زمین انباشتگی، عامل غنی شدگی و ضریب آلودگی از معیارهایی هستند که با در نظر گرفتن غلظت عناصر در نمونه زمینه روند آلودگی را نشان می دهند.

۲-۱ بررسی شاخص زمین انباشتگی (I_{geo})

در تحلیل های زیست محیطی، از شاخص زمین انباشت (Index of Geoaccumulation) به منظور

جدول ۳- شاخص زمین انباشت بر اساس طبقه بندی مولر (۱۶)

Table 3. Muller's classification for the geoaccumulation index (I_{geo}) (16)

| I_{geo} Range | I_{geo} Value | I_{geo} Class | Designation Of Sediment Quality |
|------------------------|-----------------|-----------------|---------------------------------|
| $\Delta < I_{geo}$ | $\Delta <$ | ۶ | به شدت آلوده |
| $\Delta < I_{geo} < 3$ | ۴-۵ | ۵ | آلودگی به شدت زیاد |
| | ۳-۴ | ۴ | آلودگی شدید |
| $3 < I_{geo} < 1$ | ۲-۳ | ۳ | آلودگی متوسط تا شدید |
| | ۱-۲ | ۲ | آلودگی متوسط |
| $1 < I_{geo}$ | ۰-۱ | ۱ | غیر آلوده تا آلودگی متوسط |
| | ۰ | ۰ | غیر آلوده |

جدول ۴- شاخص زمین انباشت برای عناصر مورد مطالعه در نمونه های خاک و رسوب

Table 4. Geoaccumulation index (Igeo) for the studied elements in soil and sediment samples

| G47 | G46 | G43 | G40 | G34 | G32 | G30 | G28 | G27 | G25 | نمونه | شاخص زمین انباشت (I _{geo}) |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|--------------------------------------|
| -۱/۰۳ | -۱/۱ | -۱/۱ | -۱/۱ | -۱/۱ | -۰/۶۸ | -۱/۶ | -۱/۳ | -۱/۱ | -۱/۶ | Sb | |
| -۰/۷ | -۰/۸ | -۰/۶ | -۰/۲ | -۰/۶ | -۰/۶ | -۱/۴ | -۰/۸۶ | -۱/۲ | -۱/۹ | Ti | |
| -۱/۳ | -۱/۸ | -۱/۳ | -۱/۱ | -۱/۴ | -۱/۴ | -۱/۸ | -۱/۵ | -۱/۵ | -۰/۰۵ | Zn | |
| -۱/۲ | -۰/۹ | -۱/۲ | -۱ | -۱/۳ | -۰/۹ | -۱/۷ | -۱/۵ | -۱ | -۱/۷ | Pb | |
| ۱/۶ | ۰/۵ | ۱/۹ | ۱/۶ | ۱/۴ | ۱/۵ | ۳/۲ | ۲/۵ | ۲/۹ | ۳/۲ | Ni | |
| -۳/۲ | -۳/۵ | -۳/۵ | -۳/۱ | -۳/۶ | -۳/۳ | - | -۳/۶ | -۳/۷ | -۵/۱ | Mo | |
| -۰/۷۳ | -۱/۱۵ | -۰/۶۰ | -۰/۶۹ | -۰/۶۴ | -۰/۵۳ | -۰/۶۱ | -۰/۵۵ | -۰/۷۲ | -۰/۳۸ | Mn | |
| -۰/۹۸ | -۱/۵۹ | -۰/۷۵ | -۰/۶۵ | -۱/۸۰ | -۰/۸۱ | -۰/۶۸ | -۰/۶۲ | -۰/۸۶ | -۰/۰۵ | Fe | |
| -۰/۷۹ | -۱/۶۸ | -۰/۴۹ | -۱/۱۲ | -۰/۴۶ | -۰/۱۲ | -۱/۲۱ | -۰/۸۲ | -۲/۷۵ | -۳/۴۹ | Cu | |
| ۱/۱۷ | ۰/۳۳ | ۱/۶۲ | | ۱/۵۶ | ۱/۰۱ | ۲/۴۱ | ۲/۳ | ۲/۹۵ | | Cr | |
| ۰/۰۴ | -۱/۱ | ۰/۱۳ | ۰/۱۲ | -۰/۱ | -۰/۰۲ | ۱/۰۵ | ۰/۶۵ | ۰/۸۸ | ۱/۸۹ | Co | |
| ۰/۳۹ | ۰/۱۲ | -۰/۲ | -۰/۰۳ | ۰/۲۳ | -۰/۴۳ | -۲/۰۳ | -۰/۷۹ | -۰/۸۹ | - | Cd | |
| -۲/۷ | -۶/۶ | -۴/۰۲ | - | -۶/۶ | -۴/۷ | - | - | - | - | As | |
| -۱/۱۱ | -۱/۳۶ | -۱/۱ | -۱/۱۳ | -۱/۱۱ | -۱/۰۴ | -۱/۸۷ | -۱/۳۸ | -۱/۶۹ | -۱/۵ | Al | |
| ۰/۹۲ | ۰/۹۲ | ۰/۹۲ | ۰/۰۷ | -۰/۰۷ | ۰/۹۲ | -۰/۰۷ | ۰/۹۲ | ۰/۹۲ | - | Ag | |

عنصر در آن نمونه به غلظت زمینه همان عنصر در جامعه ای که نمونه مربوطه متعلق به آن است. این ضریب در تحلیل های زیست محیطی، یکی از عوامل مهم ارزیابی میزان تمرکز عناصر تحت تاثیر عوامل انسان زاد و طبیعی است که از رابطه (۲) محاسبه می شود (۱۸).

$$EF = \frac{C1me}{\frac{C1n}{\frac{C2me}{C2n}}} \quad (2)$$

C1me: غلظت عنصر مورد بررسی در محیط - **C1n**: غلظت عنصر مبنا در محیط - **C2me**: غلظت متوسط همان عنصر در پوسته زمین - **C2n**: غلظت عنصر مبنا در پوسته زمین - **EF**: ضریب غنی شدگی

عنصر مبنا عنصری است که تغییرات اندکی در محیط داشته باشد و غلظت آن در محیط متاثر از فعالیت های انسان نباشد و منشا کاملاً زمین شناسی داشته باشد. در تحقیقات زیست محیطی معمولاً از **Zr, Ti, Fe, Al, Sc** به عنوان عناصر مرجع استفاده می شود (۱۹ و ۲۰). در منطقه مورد مطالعه، عنصر **Al** به عنوان عنصر مرجع مورد استفاده قرار گرفت.

با بررسی جداول (۴ و ۳) نمونه های خاک برداشت شده از نظر آلودگی عناصر کروم و نیکل در سطح آلودگی شدید تا متوسط قرار دارند به طوری که میزان آلودگی آن ها با دور شدن از نواحی افیولیتی و معدن کرومیت کاهش می یابد. آلودگی نمونه ها نسبت به عنصر کبالت متوسط تا غیر آلوده اند و بقیه عناصر مورد مطالعه آلودگی در منطقه ایجاد نکرده اند. بالا بودن شاخص زمین انباشتگی عناصر کروم و نیکل و تا حدی کبالت، نشان دهنده تاثیر به سزای سنگ های اولترامافیک بر ترکیب رسوبات منطقه می باشد.

۲-۲ بررسی عامل غنی شدگی (EF)

تمایز فلزات با منشاء انسان زاد از فلزاتی که از هوازدگی طبیعی سنگ ها حاصل شده اند، بخش ضروری هر مطالعه ژئوشیمی زیست محیطی است. ضریب غنی شدگی (Enrichment Factor) نشان دهنده مقدار افزایش غلظت یک عنصر نسبت به غلظت طبیعی آن در پوسته، سنگ بستر یا خاک است. به عبارت دیگر این ضریب بیان گر شدت تاثیر عامل خارجی (انسان زاد) می باشد (۱۷). ضریب غنی شدگی یک عنصر خاص در یک نمونه معین عبارت است از نسبت غلظت آن

راهنمای استفاده از مقادیر غنی شدگی عناصر و مقادیر ضریب غنی شدگی برای نمونه ها در جداول (۶ و ۵) آمده است.

جدول ۵- طبقه بندی مقادیر ضریب غنی شدگی برای خاک (۱۸)

Table 7. Different degree of Enrichment Factor (EF) for soil (18)

| ۵۰ < | ۲۵-۵۰ | ۱۰-۲۵ | ۵-۱۰ | ۳-۵ | ۱-۳ | ۱ > | ضریب غنی شدگی (EF) |
|-----------------------|--------------------|---------------|---------------------|----------------|---------------|---------------|--------------------|
| غنی شدگی بینهایت شدید | غنی شدگی خیلی شدید | غنی شدگی شدید | غنی شدگی نسبتا شدید | غنی شدگی متوسط | غنی شدگی اندک | بدون غنی شدگی | شدت غنی شدگی |

جدول ۶- ضریب غنی شدگی عناصر در نمونه های خاک و رسوب

Table 6. Enrichment factor of elements in soil and sediment samples

| ضریب غنی شدگی (EF) | | | | | | | | | | | | | نمونه | |
|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-----|
| Ag | As | Cd | Co | Cr | Cu | Fe | Mn | Mo | Ni | Pb | Zn | Ti | Sb | |
| - | - | - | ۸/۳۸ | - | ۰/۳۵ | ۲/۶۹ | ۲/۰۳ | ۰/۱۴ | ۲۵/۵ | ۱/۳۷ | ۳/۸۷ | ۰/۷۹ | ۶/۹۲ | G25 |
| ۶/۲۷ | - | ۲/۸۵ | ۴/۶۰ | ۲۲/۹ | ۰/۷۹ | ۱/۷۰ | ۱/۷۸ | ۰/۴۰ | ۲۲/۷ | ۲/۳۶ | ۱/۵۳ | ۱/۴۸ | ۱۰/۹ | G27 |
| ۵/۰۶ | - | ۲/۳۰ | ۳/۱۶ | ۱۱/۸ | ۱/۲۲ | ۱/۶۲ | ۱/۶۱ | ۰/۳۶ | ۱۴/۵ | ۱/۳۶ | ۱/۲۶ | ۱/۵۲ | ۷/۹۷ | G28 |
| ۳/۵۵ | - | ۱/۳۶ | ۵/۹۰ | ۱۷/۸ | ۱/۳۱ | ۲/۱۸ | ۲/۱۸ | - | ۳۲/۷ | ۱/۷۲ | ۱/۳۸ | ۱/۴۷ | ۸/۷۰ | G30 |
| ۴ | ۰/۵۴ | ۴/۲۰ | ۱/۵۷ | ۳/۸۲ | ۱/۵۸ | ۱/۱۲ | ۱/۲۹ | ۰/۳۴ | ۵/۳۸ | ۱/۷۲ | ۱/۰۶ | ۱/۳۷ | ۹/۸۱ | G32 |
| ۲/۰۹ | ۰/۱۶ | ۳/۸۸ | ۱/۵۱ | ۵/۸۰ | ۱/۳ | ۱/۱۹ | ۱/۲۵ | ۰/۳۱ | ۵/۳۳ | ۱/۳۵ | ۱/۰۸ | ۱/۴۹ | ۷/۳۳ | G34 |
| ۲/۱۲ | - | ۳/۲۷ | ۱/۸۴ | - | ۰/۸۳ | ۱/۳۳ | ۱/۲۲ | ۰/۴۲ | ۶/۲۶ | ۱/۷۱ | ۱/۳۲ | ۱/۹۰ | ۷/۴۳ | G40 |
| ۴/۱۵ | ۰/۹۶ | ۲/۸۳ | ۱/۸۱ | ۶/۰۶ | ۱/۲۶ | ۱/۲۱ | ۱/۲۸ | ۰/۳۲ | ۷/۵۰ | ۱/۴۵ | ۱/۱۴ | ۱/۴۴ | ۷/۲۷ | G43 |
| ۴/۹۸ | ۰/۱۹ | ۴/۲۸ | ۰/۸۸ | ۲/۹۶ | ۰/۶۶ | ۰/۸۱ | ۱/۰۴ | ۰/۳۹ | ۳/۳۲ | ۲/۱۴ | ۰/۹۷ | ۱/۵۰ | ۸/۷۲ | G46 |
| ۴/۱۹ | ۲/۸ | ۴/۳۳ | ۱/۷۳ | ۴/۴۸ | ۱/۰۴ | ۱/۰۴ | ۱/۱۸ | ۰/۳۹ | ۶/۲۰ | ۱/۴۶ | ۱/۱۳ | ۱/۳۷ | ۸/۰۸ | G47 |

و مقادیر بالاتر از ۱/۵، نشان دهنده منشا انسان زاد است (۲۱ و ۲۲).

۲-۳ بررسی عامل آلودگی خاک (CF)

برای تعیین ارزیابی ریسک آلودگی خاک با استفاده از عامل آلودگی از رابطه (۳) استفاده می شود (۱۹). سطوح آلودگی را می توان بر اساس شدت آلودگی تقسیم بندی کرد (جدول ۷).

$$CF = \frac{C(\text{heavy metal})}{C(\text{background})} \quad (3)$$

در این رابطه غلظت زمینه میزان عنصر در میانگین شیل جهانی انتخاب شده است و بر اساس آن عامل آلودگی عناصر مورد مطالعه، محاسبه گردیده است (جدول ۸).

ضریب غنی شدگی عناصر کروم و نیکل در رسوبات آبراهه ای بخش های جنوبی منطقه مورد مطالعه شدید است. این امر را می توان ناشی از فعالیت های معدن کاری معدن کرومیت منطقه و تاثیر حمل رسوبات از سنگ های افیولیتی دانست. با فاصله گرفتن از معدن و توده افیولیتی ضریب غنی شدگی این عناصر کاهش یافته و به حد متوسط رسیده است (شکل ۴). ضریب غنی شدگی فلز کبالت نیز از حد نسبتا شدید در بخش های جنوبی منطقه مورد مطالعه آغاز گردیده و به حد اندک در دشت جغتای رسیده است. غنی شدگی کروم، نیکل و کبالت در منطقه با محاسبه شاخص ضریب انباشت نیز تایید می گردد. ضریب غنی شدگی بین ۰/۵ تا ۱/۵، نشان دهنده منشا طبیعی

جدول ۷- طبقه بندی مقادیر فاکتور آلودگی برای خاک (۱۹)

Table 7. Different degree of contamination (CF) for soil (19)

| CF | ۱> | ۱-۳ | ۳-۶ | ۶< |
|------------|-----------|--------------|------------------|------------------|
| شدت آلودگی | آلودگی کم | آلودگی متوسط | آلودگی قابل توجه | آلودگی خیلی زیاد |

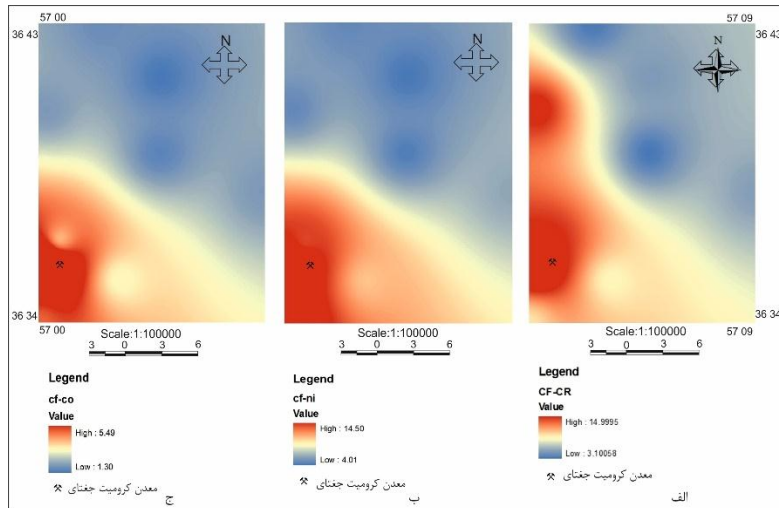
جدول ۸- مقادیر فاکتور آلودگی عناصر در نمونه های خاک و رسوب

Table 8. Contamination Factor (CF) values in soil and sediment samples

| G47 | G46 | G43 | G40 | G34 | G32 | G30 | G28 | G27 | G25 | نمونه | فاکتور آلودگی (CF) |
|------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|------|-------|-----------|--------------------|
| ۰/۷۳ | ۰/۶۶ | ۰/۶۶ | ۰/۶۶ | ۰/۶۶ | ۰/۹۳ | ۰/۴۶ | ۰/۶ | ۰/۶۶ | ۰/۴۶ | Sb | |
| ۰/۸۹ | ۰/۸۱ | ۰/۹۴ | ۱/۲۲ | ۰/۹۷ | ۰/۹۳ | ۰/۵۶ | ۰/۸۲ | ۰/۶۵ | ۰/۳۸ | Ti | |
| ۰/۵۶ | ۰/۴۱ | ۰/۵۷ | ۰/۶۶ | ۰/۵۴ | ۰/۵۵ | ۰/۴۱ | ۰/۵۲ | ۰/۵۱ | ۱/۴۴ | Zn | |
| ۰/۶۵ | ۰/۸ | ۰/۶۵ | ۰/۷۵ | ۰/۶ | ۰/۸ | ۰/۴۵ | ۰/۵ | ۰/۷ | ۰/۴۵ | Pb | |
| ۴/۶ | ۲/۱ | ۵/۶ | ۴/۶ | ۴/۰/۱ | ۴/۲ | ۱۴/۵ | ۹/۰/۴ | ۱۱/۴ | ۱۴/۲ | Ni | |
| ۰/۱۵ | ۰/۱۳ | ۰/۱۲ | ۰/۱۶ | ۰/۱۲ | ۰/۱۴ | - | ۰/۱۲ | ۰/۱ | ۰/۰/۴ | Mo | |
| ۰/۷ | ۰/۶۷ | ۰/۹۸ | ۰/۹۲ | ۰/۹۶ | ۱/۰/۳ | ۰/۹۸ | ۱/۰/۱ | ۰/۹ | ۱/۱ | Mn | |
| ۰/۷ | ۰/۵ | ۰/۸ | ۰/۹ | ۰/۸ | ۰/۸ | ۰/۹ | ۰/۹ | ۰/۸ | ۱/۴ | Fe | |
| ۰/۸ | ۰/۴ | ۱/۱ | ۰/۶ | ۱/۱ | ۱/۳ | ۰/۶ | ۰/۸ | ۰/۴ | ۰/۲ | Cu | |
| ۳/۲ | ۱/۸ | ۴/۶ | ۱۲/۱ | ۴/۴ | ۳/۱ | ۷/۹ | ۷/۴ | ۱۱/۶ | ۱۴/۹ | Cr | |
| ۱/۵ | ۰/۶ | ۱/۶ | ۱/۶ | ۱/۳ | ۱/۴ | ۳/۱ | ۲/۳ | ۲/۷ | ۵/۵ | Co | |
| ۱/۹ | ۱/۶ | ۱/۳ | ۱/۴ | ۱/۷ | ۲ | ۰/۳ | ۰/۸ | ۰/۸ | - | Cd | |
| ۰/۲۱ | ۰/۰/۱ | ۰/۰/۹ | - | ۰/۰/۱ | ۰/۰/۵ | - | - | - | - | As | |
| ۰/۷ | ۰/۶ | ۰/۷ | ۰/۶ | ۰/۶ | ۰/۷ | ۰/۵ | ۰/۵ | ۰/۴ | ۰/۰/۵ | Al | |
| ۲/۸ | ۲/۸ | ۲/۸ | ۱/۴ | ۱/۴ | ۲/۸ | ۱/۴ | ۲/۸ | ۲/۸ | - | Ag | |

صورت گرفته در مناطق افيولیتی مجاور نیز این سه فلز عامل اصلی آلودگی خاک می باشند (۳). بقیه عناصر مورد مطالعه شدت آلودگی ناچیزی از خود نشان می دهند.

مطابق مقادیر عامل آلودگی، اکثر نمونه های خاک، نسبت به عناصر کروم و نیکل شدت آلودگی خیلی زیاد و قابل توجهی دارند و شدت آلودگی نمونه های خاک نسبت به عنصر کبالت در اکثر نمونه ها در حد متوسط است. با توجه به مطالعات



شکل ۴- نقشه پهنه بندی فاکتور آلودگی عناصر کروم (الف)، نیکل (ب) و کبالت (ج)
Figure 4. The Contamination Factor distribution map of Elements. Cr (a), Ni (b), Co(c)

شکل (۴) نقشه توزیع مکانی عامل آلودگی خاک را در محدوده مورد مطالعه به روش درون یابی وزنی معکوس (۲۳) نشان می-دهد. با توجه به این پهنه بندی، عامل آلودگی کروم بین ۳/۱ تا ۱۴/۹ و نیکل نیز بین ۴ تا ۱۴/۵ می باشد که با توجه به جدول (۷) آلودگی بسیار زیادی را نشان می دهد. همچنین عامل آلودگی کبالت در محدوده ۱/۳ تا ۵/۵ می باشد که نشان دهنده میزان آلودگی متوسط تا قابل توجه است. همان طور که در نقشه پهنه بندی شکل (۴) مشخص است بیش ترین

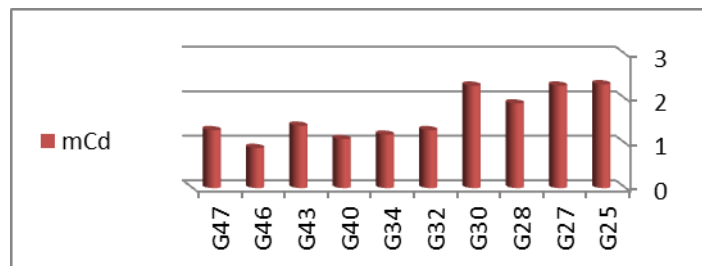
آلودگی خاک به این عناصر در محدوده معدن کرومیت می-باشد. از طرفی می توان با محاسبه نسبت مجموع عامل آلودگی عناصر مختلف در یک نمونه خاک به تعداد عناصر، درجه آلودگی اصلاح شده (mCd) را اندازه گیری نمود و شدت آلودگی نمونه خاک را نسبت به همه عناصر مورد مطالعه تعیین کرد (معادله ۴).

$$mCd = \frac{\sum cf}{n} \quad (4)$$

جدول ۹- میزان آلودگی خاک با توجه به درجه آلودگی اصلاح شده

Table 9. Different modified degree of contamination (mCd) for soil

| درجه آلودگی اصلاح شده | ۱/۵ > | ۱/۵-۲ | ۲-۴ | ۴-۸ | ۸-۱۶ | ۱۶-۳۲ | ۳۲ < |
|-----------------------|-------------------------------|-------------|--------------|-------------|-------------------|------------------------|----------------------|
| میزان آلودگی رسوبات | غیرآلوده تا آلودگی بسیار اندک | آلودگی اندک | آلودگی متوسط | آلودگی زیاد | آلودگی بسیار زیاد | آلودگی فوق العاده زیاد | آلودگی بی نهایت زیاد |

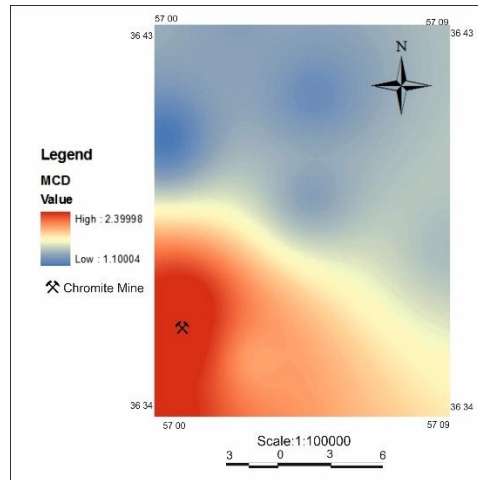


شکل ۵- نمودار درجه آلودگی اصلاح شده (mCd) برای نمونه های خاک

Figure 5. Modified degree of contamination (mCd) diagram for soil samples

دارند. نقشه پهنه بندی منطقه مورد مطالعه از نظر درجه آلودگی اصلاح شده نیز بیان گر آلودگی نمونه های خاک در جنوب منطقه می باشد (شکل ۶).

درجه آلودگی اصلاح شده نشان می دهد که آلودگی سه نمونه خاک G25، G27 و G30 نسبت به بقیه بیش تر است. این سه نمونه نزدیک ترین نمونه ها به واحد های افیولیتی منطقه مورد مطالعه اند. سایر نمونه های خاک سطح آلودگی اندکی



شکل ۶- نقشه پهنه بندی خاک منطقه بر اساس درجه آلودگی اصلاح شده (mCd)

Figure 6. The soil distribution map of the area based on Modified degree of contamination (mCd)

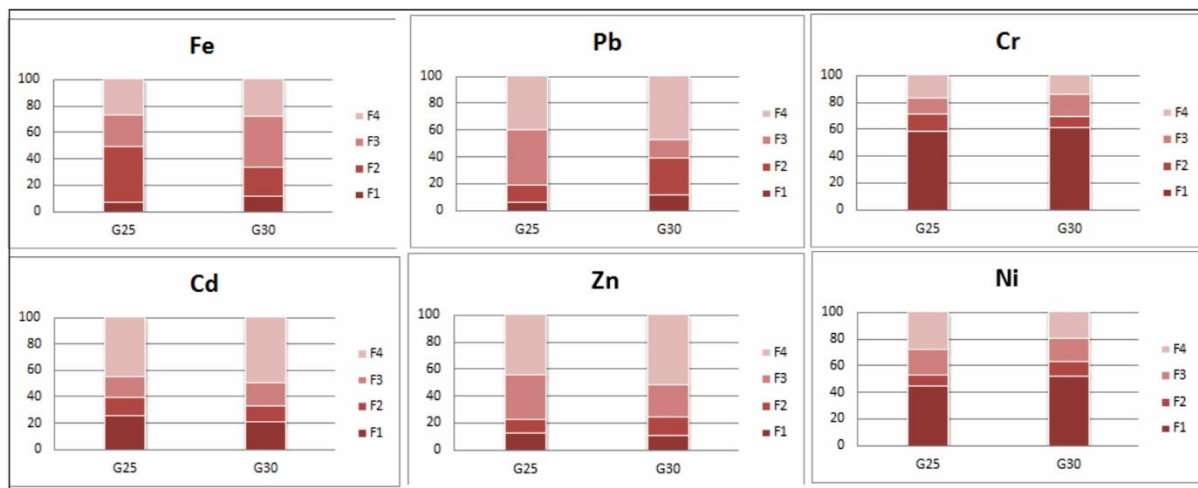
۳- بررسی نتایج حاصل از استخراج ترتیبی

نمونه های خاک در فاز تبادل پذیر حضور دارند. رخداد بالای کروم و نیکل در فاز اول (تبادل پذیر) نشان می دهد که این فلزات عمدتاً دارای منشأ انسان زاد و مرتبط با فعالیت های معدن کاری می باشد. هم چنین درصد بالای این عناصر در فاز تبادل پذیر نشان می دهد که این عنصر با تغییر شرایط محیط (مثلاً کاهش pH) به راحتی متحرک شده و زیست دسترس پذیری آن افزایش می یابد. افزایش مقادیر غیر عادی این دو عنصر توسط شاخص های مختلف آلودگی (شاخص زمین انباشت، عامل آلودگی و غنی شدگی) نیز تایید می گردد. در مقابل سایر عناصر مورد بررسی (آهن، سرب، روی و کادمیوم) در فازهای باقی مانده تمرکز یافته اند. به طور مثال بیش از ۵۰ درصد تمرکز عنصر روی در نمونه G30 در فاز ۴ (فاز باقی مانده) می باشد. به طور میانگین بیش از ۴۵ درصد عنصر کادمیوم و سرب نیز در فاز چهارم تمرکز دارد. این امر نشان می دهد که باید منشأ این عناصر را در شبکه کانی های سیلیکاته و کربناته خاک جستجو کرد. این عناصر اغلب با ماهیت دوگانه لیتوفیلی- سیدورفیلی تمایل به فرار گرفتن در شبکه بلوری کانی های یا اجزای معدنی خاک (اکسیدها و

به منظور بررسی بیش تر منشأ آلودگی، دو نمونه از خاک های آلوده منطقه (G25, G30) مورد ارزیابی استخراج ترتیبی قرار گرفت. در این روش غلظت شش عنصر آهن، سرب، کادمیوم، روی، کروم و نیکل در فازهای چهارگانه مورد سنجش قرار گرفتند. درصد بازیافت (Recovery) برای نمونه های تجزیه شده به روش BCR به صورت آهن (۹۴/۳٪)، سرب (۹۱/۲٪)، کادمیوم (۹۵/۸٪)، روی (۹۹/۴٪)، کروم (۹۸/۱٪) و نیکل (۱۰۱/۲٪) به صورت زیر می باشد. با در نظر گرفتن $\pm 10\%$ خطای معمول می توان روش را قابل اطمینان و تکرار پذیر دانست. در روش استخراج ترتیبی، فلزات در فاز تبادل پذیر و فاز در پیوند با کربنات ها، دارای پیوندهای سستی هستند و به راحتی متحرک می یابند. بر همین اساس عموماً مجموع فازهای اول، دوم و سوم را به عنوان بخش زیست دسترس پذیر در نظر می گیرند (۲۴). درصد همراهی کروم و نیکل در فازهای مختلف استخراج شده، نشان می دهد که میانگین درصد همراهی این دو عنصر در ۴ فاز استخراج شده به ترتیب $(F1 > F4 > F3 > F2)$ می باشد (شکل ۷). همان طور که مشاهده می شود بیش از ۵۰ درصد غلظت کروم و نیکل در

شاخص های آلودگی نیز غنی شدگی غیر عادی و بالا در منطقه از این عناصر را نشان نمی دهند.

هیدرواکسیدهای آهن و منگنز) داشته و در سنگ ها و خاک های ناشی از هوازدگی حضور می یابند. لذا منشا این عناصر را می تون عوامل طبیعی و لیتوژنیک در نظر گرفت. محاسبه



شکل ۷- گونه سازی شیمیایی فلزات سنگین در رسوبات منطقه مورد مطالعه

Figure 7. The distribution of heavy metal fractions in the sediment of study area

نتیجه گیری

آلودگی در بخش شمالی و شرقی به حداقل خود رسیده است. نتایج حاصل از استخراج ترتیبی دو نمونه خاک آلوده در منطقه نشان داد که تمرکز عناصر کروم و نیکل در فاز اول یا جزء تبادل پذیر بوده و غلظت آن ها در خاک منطقه ناشی از عوامل آنتروپوژنیک و فعالیت های معدن کاری در منطقه مورد مطالعه است. این نتایج نشان داد که منشا عناصر دیگر هم چون آهن، سرب، روی و کادمیوم در خاک های منطقه منشا طبیعت زاد دارد.

Reference

- Kelly, J. and Thornton, I., 1996, "Urban geochemistry: a study of the influence of anthropogenic activity on the heavy metal content of soils in traditionally industrial and non-industrial areas of Britain", Applied Geochemistry, Vol. 11 (1-2): 363-370.
- Merian, E., Anke, M., Ihnat, M., and Stoepler, M., 2004. Elements and

با توجه به پژوهش صورت گرفته تاثیر سنگ های افیولیتی و معدن کرومیت در آلودگی خاک مورد بررسی قرار گرفت. ضریب همبستگی عناصر (پیرسون)، آنالیز خوشه ای و تحلیل سه مولفه اصلی نشان از ارتباط معنادار مثبتی بین عنصر کبالت با آهن، منگنز، نیکل، کروم دارد که ناشی از منشا یکسان، آزادسازی و رسوب مشابه این عناصر در منطقه مورد مطالعه می باشد. شاخص آلودگی (شاخص زمین انباشت، ضریب غنی شدگی و عامل آلودگی) نمونه های خاک برداشت شده از نظر آلودگی عناصر کروم و نیکل در سطح شدید تا متوسط قرار دارند و میزان آلودگی آن ها با دور شدن از نواحی افیولیتی و معدن کاری کاهش می یابد. هم چنین خاک های منطقه دارای آلودگی متوسط نسبت به عنصر کبالت می باشند و بقیه عناصر مورد مطالعه آلودگی در منطقه ایجاد نکرده اند. بالا بودن مقادیر شاخص های آلودگی در منطقه نسبت به عناصر کروم و نیکل و تا حدی کبالت، نشان دهنده تاثیر به سزای سنگ های اولترامافیک بر ترکیب رسوبات منطقه می باشند. درجه آلودگی اصلاح شده منطقه نشان می دهد که نمونه های خاک نزدیک به منطقه معدنی دارای بالاترین سطح آلودگی هستند. میزان

- 10 Kabata-Pendias A., Mukherjee, A. B., 2007. Trace Elements from Soil to Human, Springer Berlin Heidelberg New York.
- 11 Boruvka L., Vacek O., Jehlicka, J., 2005. Principal component analysis as a tool to indicate the origin of potentially toxic elements in soils. *Geoderma* 128: 289-300.
- 12 Ruiz-Corets E., Reinoso R., Diaz-Barrientos E., Madrid, I., 2005. Concentrations of potentially toxic metals in urban soils of Seville: relationship with different land uses. *Environmental Geochemistry and Health* (2005) 27:465-474.
- 13 Wang X. S., Qin, Y., Sang S. X., 2005. Accumulation and sources of heavy metals in urban topsoils: a case study from the city of Xuzhou, China. *Environmental Geology*: 48:101-107.
- 14 Zhang, C., Fay, D., McGrath, D., Grennan, E., Carton, O. T., 2008. Static analyses of geochemical variables in soils of Ireland. *Geoderma* 146. 378-390.
- 15 Anagnostou, Ch., Kaberi, H., Karageorgis, A., 1997. "Environmental impact on the surface sediments of the bay and the gulf of Thessaloniki (Greece) according to the geoaccumulation index classification", *International Conference on Water Pollution*: 269-275.
- 16 Müller, G., 1969, "Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River", *Geol. J.*, Vol. 2 (3): 108-118.
- 17 Sam, S., 2011, Investigation of geochemical distribution of pollutants in the sediments of Maharloo Lake from an environmental perspective, their compounds in the environment, John Willey, 1170p.
- 3 Sharifian Attar, Reza., Mazhari, Seyed Ali., Mazlumi Bajestani, Alireza., 2013, Heavy geochemical metals in ophiolite plains: A case study of Davarzan region, west of Sabzevar, The first conference on applied geochemistry in Iran. (In Persian)
- 4 Darvishzadeh, Ali., 1991, *Geology of Iran*, Danesh-e-Amrooz Publishing. (In Persian)
- 5 Vatanpour, H., Khakzad, A., Vosoughi Abedini, M., Alavi, A., Qaderi, M., Yousefi, A., 2007, *Geochemistry of chromite deposits in the west of Sabzevar ophiolite belt*, the first congress of applied geology in Iran. (In Persian)
- 6 Vatanpour, H., Aftabi, A., 1998, Investigation of the important types of texture and structure of Sabzevar chromite deposits (Gaft and Forumad region), *Scientific Quarterly Journal of Geosciences*, Vol 23 No24 . (In Persian)
- 7 Rahmati Elkhchi, 1998, *Geological map 1: 100000 Joghatay*, Geological Survey of Iran. (In Persian)
- 8 Tokalioglu, S., Kartal, S., Birol, G., 2003. Application of a three-stage sequential extraction procedure for the determination of extractable metal contents in highway soils. *Turkish Journal of Chemistry*, 27, 333-346.
- 9 Shajan, K.P., 2001, 'Geochemistry of Bottom sediments from a River-Estuary- Shelf Mixing Zone on the tropical Southwest Coast of India. *Bull.*, *Geol. Surv. Japan*, Vol. 52, No. 8, pp. 371-382

- a benthic oligochaete inhabiting ametal-polluted site", *Biological Bulletin*, Vol. 176 (2):135-141.
- 22 Zhang, J., Liu, C. L., 2002. "Riverine composition and estuarine geochemistry of particulate metals in China –Weathering features, anthropogenic impact and chemical fluxes", *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Vol. 54 (2):1051–1070.
- 23 Acosta, J. A., Faz, A., Mrtinez, S. M., 2009- Identification of heavy metal sources by multivariable analysis in a typical Mediterranean city (SE Spain), *Environ Monit Assess*, DOI 10.1007/s10661-1194-0
- 24 Hesu, Z. Y., 2006. Extractability and bioavailability of zinc over time in tree tropical soils incubated with biosolids. *Chemosphere*, 63, 762-771
- 25 Mason, B. and Moore, C.B., 1985. *Principles of geochemistry*. LWW.
- Islamic Azad University, Shiraz Branch, 300 p. (In Persian)
- 18 Lu, X., Wang, L., Lei, K., Huang, J. Zhai, Y., 2009, "Contamination assessment of copper, lead, zinc, manganese and nickel in street dust of Baoji, NW China", *Journal of Hazardous Material*, Vol. 161 (2-3): 1058-1562
- 19 Abraham, G. M. S. Parker, R. J., 2008. "Assessment of heavy metal enrichment factors and the degree of contamination in marine sediments from Tamaki Estuary, Auckland, New Zealand", *Environmental Monitoring and Assessment*, Vol. 136 (1-3): 227-38.
- 20 Eby, G. N., 2004, "Principle of environmental geochemistry", Thompson, 515 pp.
- 21 Klerks, P. L. Levinton, J. S., 1989. "Rapid evolution of metal resistance in