

## ارزیابی میزان غلظت فلزات سنگین و میزان آلودگی در رسوبات، منطقه افیولیتی

### آلمه جوق (شمال شرق ایران)

محبوب حق پرست<sup>۱</sup>

حبیب الله ترشیزیان<sup>۲\*</sup>

[h.torshizian@yahoo.com](mailto:h.torshizian@yahoo.com)

رحیم دبیری<sup>۳</sup>

تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۳/۱۷

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۷/۱۱

#### چکیده

**زمینه و هدف:** فلزات سنگین می‌توانند با غلظت‌های پایین در خاک وجود داشته باشند و خاک را آلوده نمایند و با توجه به این که منطقه مورد مطالعه از نظر سنگ شناسی افیولیتی می‌باشد، می‌تواند باعث افزایش غلظت فلزات سنگین در منابع آب و خاک منطقه شود. در این مقاله به بررسی غلظت فلزات سنگین و ارزیابی آلودگی در رسوبات منطقه آلمه جوق (افیولیت فریمان) پرداخته شده است. **روش بررسی:** به منظور بررسی میزان غلظت فلزات سنگین و نیز وضعیت آلودگی رسوبات در منطقه مورد مطالعه، تعداد ۹ نمونه از رسوبات منطقه از عمق ۳۰-۲۰ سانتی‌متری برداشت گردید. نمونه‌ها به آزمایش گاه زیست محیطی دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد انتقال داده شد و مقادیر پارامترهای pH و EC خاک اندازه‌گیری گردید. هم‌چنین مقدار ۱۰ گرم از خاک منطقه (مواد عبوری از الک ۲۰۰ مش) به آزمایش گاه ACME کانادا انتقال داده شد تا به روش پلاسما القایی - اسپکترومتری جرمی (ICP-OES) برای تعیین میزان فلزات سنگین مورد آنالیز قرار گیرند.

**بحث و نتیجه‌گیری:** بررسی هم‌بستگی فلزات سنگین توسط ضریب پیرسون، آنالیز خوشه‌ای و تحلیل مولفه اصلی نشان داد، دو منشاء متفاوت برای توزیع ژئوشیمیایی فلزات سنگین در رسوبات منطقه وجود دارد. مجموعه افیولیتی، توزیع عناصر کبالت، نیکل و کروم و مجموعه پیروکلاستیک و ولکانیکی، توزیع عناصر آهن، مولیبدن، وانادیوم، مس، آرسنیک و سرب، پتاسیم و کادمیوم را کنترل کرده‌اند. pH خاک‌های منطقه مورد مطالعه بر اساس طبقه بندی انجمن علوم خاک آمریکا، در محدوده نسبتاً قلیایی قرار می‌گیرند. ارزیابی عامل غنی‌شدگی نشان داد، نیکل غنی‌شدگی بی‌نهایت شدید دارد و عناصر آرسنیک و کروم در منطقه غنی‌شدگی شدید را نشان می‌دهند. غنی‌شدگی فوق‌نشان منشاء آنتروپوژنیک می‌باشد. ضریب آلودگی نیز نشان می‌دهد، نیکل بالاترین آلودگی را در منطقه دارا است. شاخص زمین‌انباشتگی نیز نشان از آلوده بودن رسوبات منطقه به نیکل دارد.

**واژه‌های کلیدی:** فلزات سنگین، ژئوشیمی، ضرایب آلودگی، افیولیت فریمان.

۱- کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران

۲- استادیار، گروه زمین‌شناسی، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران. \* (مسوول مکاتبات)

۳- دانشیار، گروه زمین‌شناسی، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران.

## **Assessment of heavy metals concentrations and pollution in sediments of Almejogh Ophiolite Region (North-East of Iran)**

**Mahjoob Haghparast**<sup>1</sup>

**Habiballah Torshizian**<sup>2\*</sup>

[h.torshizian@yahoo.com](mailto:h.torshizian@yahoo.com)

**Rahim Dabiri**<sup>3</sup>

Admission Date: June 7, 2017

Date Received: October 3, 2015

### **Abstract**

**Background and Objective:** Heavy metals can be present at low concentrations in the soil and contaminate it. Since the study area is ophiolite in terms of lithology, it can increase the concentration of heavy metals in soil and water resources. In this study, the concentration of heavy metals has been investigated and the pollution in sediments of Almejogh region (Fariman ophiolite) is evaluation.

**Method:** To study the concentration of heavy metals and sediment pollution in the study area, 9 samples of sediment were taken from depth of 30 to 20 cm. The samples were transferred the environmental laboratories of Islamic Azad University of Mashhad and the amounts of pH and EC in soil were measured. 10 grams of soil (material passing through a 200-mesh sieve) was transferred to the ACME Laboratories of Canada in order to be analyzed for determining the amount of heavy metals by the induction plasma-mass spectrometry (ICP-OES) method.

**Discussion and Conclusion:** Study of the correlation of heavy metals by Pearson coefficient, cluster analysis and principal components analysis showed that there are two different origins for geochemical distribution of heavy metals in sediment of the region. Ophiolite set of distribution of Cobalt, Nickel, Chromium and Pyroclastic and volcanic set as well as distribution of Iron elements, Molybdenum, Vanadium, Copper, Arsenic, Lead, Potassium and Cadmium were controlled. The pH of the soil in the study area fell within the pretty alkaline limit based on the classification of American soil science society. Evaluation of enrichment factor showed that Nickel has a very high enrichment and Arsenic and Chromium were in a high enrichment region. The above enrichment is indicative of anthropogenic origin. The pollution coefficient also showed that Nickel has the highest pollution in the region. The index of accumulation (of earth) also indicates t contamination of the sediment with Nickel in the region.

**Keywords:** Heavy metals, Geochemistry, Pollution factors, Fariman Ophiolite.

---

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

2- Assistant Professor, Department of Geology, Mashhad Branch, Islamic Azad University, Mashhad, Iran. *\*(Corresponding Author)*

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

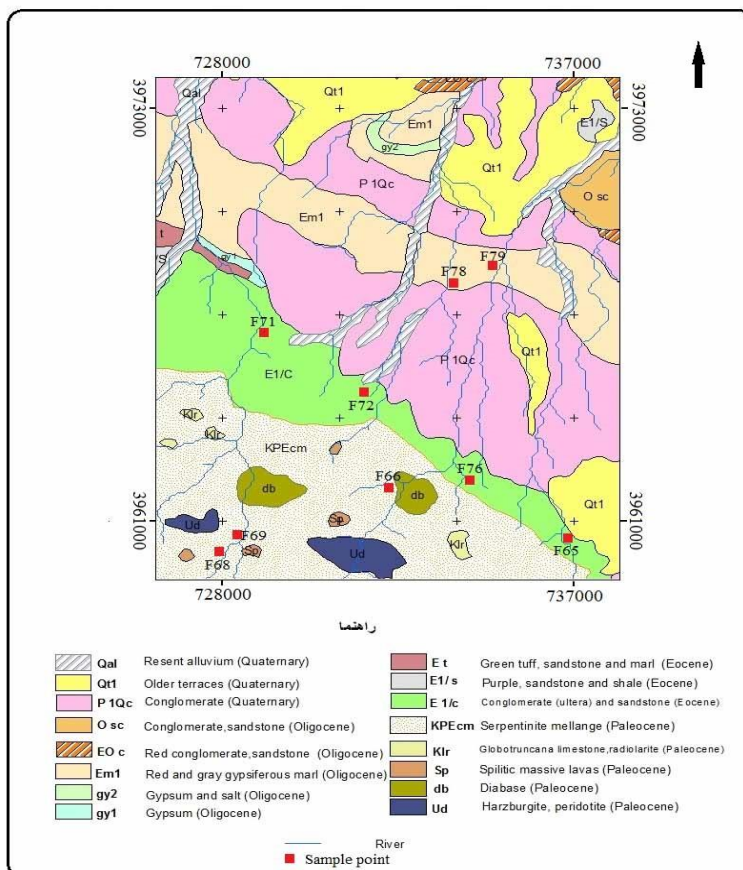
## مقدمه

فلزات سنگین می‌توانند با غلظت‌های پایین در خاک وجود داشته باشند و خاک را آلوده نمایند (۱). فلزات سنگین می‌توانند بر اثر فرایندهای مختلف زمین شناسی از سنگ‌ها آزاد شده و وارد محیط می‌شوند (۲). فعالیت‌هایی از قبیل معدن کاری، صنعتی و کشاورزی از جمله مواردی هستند که خاک را به عناصر سنگین آلوده می‌کنند (۳). هم چنین افیولیت‌ها ممکن است حاوی مقادیر بالایی از فلزات سنگین مانند کروم، سرب، نیکل و کبالت باشند که منشا زمین زاد آلودگی خاک، آب و محصولات کشاورزی و در نتیجه آن، انسان به فلزات سنگین می‌باشند. به عنوان مثال عنصر کروم که در مجموعه-های افیولیتی به وفور یافت می‌شود در طبیعت دارای ۴ ایزوتروپ می‌باشد. هم چنین این فلز دارای دو ظرفیت ۳ و ۶ بوده که  $Cr^{+3}$  دارای پایداری بیش تری است و در طبیعت نیز فلز کروم تقریباً همیشه با این ظرفیت ظاهر می‌شود.  $Cr^{+6}$  تنها در محیط‌های قلیایی قوی (pH بالا) موجود است. در بدن انسان نیز کروم سه ظرفیتی به طور طبیعی وجود دارد و به عنوان یک ماده مغذی در تنظیم قند خون مورد نیاز است. اما فرم شش ظرفیتی آن به عنوان ماده سرطان زا می‌تواند به طور گسترده آب، خاک و در نتیجه انسان را تحت تاثیر قرار دهد. از طرفی بر روی بافت بدن انسان ها اثرات مخربی دارد و استنشاق آن ها در دراز مدت می‌تواند باعث ایجاد سرطان شود (۴ و ۵). کروم از نوع سه ظرفیتی آن، در سنگ‌های سرپانتینی وجود دارد (۶) و پس از آزاد سازی می‌تواند به کروم ۶ ظرفیتی تبدیل گردد (۴ و ۵). افزایش مقدار غلظت آهن در خون می‌تواند باعث رسوب گذاری در رگ خون و افزایش بیماری‌های قلبی گردد

(۷). در این مقاله با استفاده از عوامل غنی شدگی، ضریب آلودگی و ضریب بار آلودگی و شاخص زمین انباشتگی به ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در رسوبات منطقه مورد مطالعه پرداخته شده است.

## زمین شناسی منطقه

منطقه مورد مطالعه در نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ فریمان (منطقه آلمه جوق) قرار دارد. این منطقه بخشی از زون افیولیتی فریمان به شمار می‌رود. مجموعه افیولیتی فریمان در شمال شرقی خرد قاره ایران مرکزی قرار گرفته است. این مجموعه افیولیتی با گستره‌ای به وسعت حدود ۱۷۰۰ کیلومتر مربع، بخشی از افیولیت‌های تربت حیدریه است. مجموعه افیولیتی تربت حیدریه در نواحی ریفی، به علت کشش پوسته اقیانوسی حاصل گردیده است. واحدهای افیولیتی در ایران در اثر کافتی شدن به وجود آمده‌اند (۸). ضخامت مجموعه افیولیتی در حدود ۴۰۰۰ تا ۵۰۰۰ متر متغیر می‌باشد. بخش‌های مختلف یک واحد افیولیتی از پایین به بالا شامل پریدوتیت‌ها و سنگ‌های الترامافیک، گابرو، دولریت، دیاباز و پیلو لاوا است که در سطح فوقانی مجموعه افیولیتی برون زد داشته و نشان دهنده فوران مذاب در زیر آب می‌باشد (۹). از دیدگاه سنگ شناسی مجموعه افیولیتی در منطقه مورد مطالعه شامل واحدهای سنگی دونیتی، هارزبورژی، پریدوتیتی، گابرو، سنگ‌های دیابازی و گدازه‌های بالشی و هم چنین پیروکلاستیک‌ها (توف و چرت) و سنگ‌های آذرآواری و آهک‌های پلاژیک می‌باشد (شکل ۱). سن مجموعه افیولیتی فریمان کرتاسه می‌باشد (۱۰).



شکل ۱- نقشه زمین شناسی منطقه آلمه جوق (اقتباس با تغییراتی از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ فریمان، حدادان، ۱۳۸۷)

Figure 1- Geological map Almejogh area (adapted with the changes of 1: 100000 map map Fariman, Hadadan, 1387)

### مواد و روش‌ها

هدف از انجام این تحقیق، بررسی میزان غلظت فلزات سنگین و نیز وضعیت آلودگی رسوبات در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. برای این منظور نمونه برداری از رسوبات منطقه در مرداد ماه ۱۳۹۳ انجام گرفت. بنابراین ۹ نمونه از رسوبات منطقه از عمق ۲۰-۳۰ سانتی متری برداشت گردید. نمونه‌ها به آزمایش گاه زیست محیطی دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد انتقال داده شد و مقادیر پارامترهای pH و EC خاک اندازه گیری گردید. برای تعیین pH نمونه‌های رسوب ۱۰ گرم رسوب که پس از خشک کردن در هوای آزاد از الک ۲ میلی متری عبور داده شده مورد استفاده قرار گرفت. نمونه‌های خاک در بشر CC ۱۰۰ ریخته شد و به مقدار ۲۵ میلی لیتر آب یونیزه به آن اضافه گردید. نمونه‌ها به مدت ۱۶ ساعت برای حصول تعادل در جای خود باقی ماند، در حالی که در ابتدای کار به طور منظم با یک هم زن شیشه‌ای به هم زده شده بود. پس از گذشت ۱۶ ساعت با استفاده از pH متر (مدل Extach) قرائت نمونه‌ها انجام شد (۱۱). برای اندازه گیری املاح خاک در این منطقه از نسبت‌های معین وزن به رسوب و آب (۱ به ۵) استفاده گردید، به طوری که ۱۰ گرم از رسوبی که در هوای آزاد خشک شده و از الک ۲ میلی متری عبور داده شده بود، در یک بشر CC ۲۵۰ ریخته شده و ۱۵۰ میلی لیتر آب مقطر اضافه شد و به مدت ۵ دقیقه روی استیرر قرار گرفت و پس از عبور از کاغذ صافی با استفاده از EC متر قرائت صورت پذیرفت. هم چنین مقدار ۱۰ گرم از خاک منطقه (مواد عبوری از الک ۲۰۰ مش) به آزمایش گاه ACME کانادا انتقال داده شد تا به روش پلاسما ی القایی - اسپکترومتری جرمی (ICP-OES) برای تعیین میزان فلزات سنگین مورد آنالیز قرار گیرند (جدول ۱).

هدف از انجام این تحقیق، بررسی میزان غلظت فلزات سنگین و نیز وضعیت آلودگی رسوبات در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. برای این منظور نمونه برداری از رسوبات منطقه در مرداد ماه ۱۳۹۳ انجام گرفت. بنابراین ۹ نمونه از رسوبات منطقه از عمق ۲۰-۳۰ سانتی متری برداشت گردید. نمونه‌ها به آزمایش گاه زیست محیطی دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد انتقال داده شد و مقادیر پارامترهای pH و EC خاک اندازه گیری گردید. برای تعیین pH نمونه‌های رسوب ۱۰ گرم رسوب که پس از خشک کردن در هوای آزاد از الک ۲ میلی متری عبور داده شده مورد استفاده قرار گرفت. نمونه‌های خاک در بشر CC ۱۰۰ ریخته شد و به مقدار ۲۵ میلی لیتر آب یونیزه به آن اضافه گردید. نمونه‌ها به مدت ۱۶ ساعت برای حصول تعادل در جای خود باقی ماند، در حالی که در ابتدای کار به طور منظم با یک

غنی شدگی عناصر، ضریب آلودگی، شاخص زمین انباشتگی و ضریب بارآلودگی استفاده گردید.

برای تعیین هم بستگی داده‌ها، از ضرایب هم بستگی پیرسون با به کارگیری نرم افزار SPSS 22، استفاده گردید (۱۲). هم چنین به منظور پردازش اطلاعات و ارزیابی آلودگی، از عامل

جدول ۱- مقادیر پارامترهای ژئوشیمیایی و نتایج ICP-OES در نمونه‌های رسوبات منطقه مورد مطالعه (بر حسب ppm)

Table 1- ICP-OES geochemical parameters and results in sediment samples studied (in ppm)

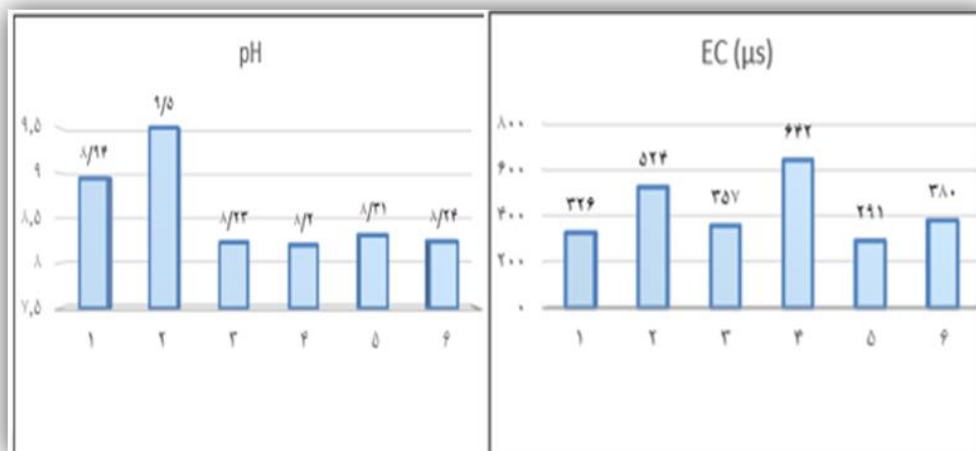
	As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mo	Ni	Pb	V	Al
	۰/۱	۰/۰۱	۰/۱	۰/۵	۰/۰۱	% ۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۱	۰/۰۱	۲	% ۰/۰۱
f-65	۲/۷	۰/۰۶	۶۱/۲	۴۰۲/۹	۲۳	۳۵۳۰۰	۰/۳۳	۸۹۵/۹	۴/۴۴	۳۴	۱۰۶۰۰
f-66	۳/۳	۰/۰۹	۴۴/۷	۳۰۷/۶	۳۸/۵۹	۳۵۰۰۰	۰/۴۳	۷۰۸	۴/۴۸	۵۶	۱۶۷۰۰
f-67	۴/۳	۰/۱	۳۹/۵	۲۱۴/۴	۳۱/۶۸	۳۴۷۰۰	۰/۳۴	۷۰۱/۱	۶/۵۸	۶۲	۱۶۱۰۰
f-68	۵/۴	۰/۰۹	۳۲/۷	۲۵۷/۷	۳۰/۷	۳۷۵۰۰	۰/۳۴	۴۹۸/۱	۷/۱۷	۵۷	۱۶۳۰۰
f-69	۵/۶	۰/۱	۳۱	۱۹۳/۲	۲۹/۴۳	۳۲۳۰۰	۰/۴	۴۱۴/۵	۷/۶۳	۸۰	۱۸۰۰۰
f-71	۳/۴	۰/۰۷	۵۹/۴	۴۷۱/۸	۲۸/۶۳	۳۸۸۰۰	۰/۵	۱۰۱۸	۵/۰۹	۶۲	۱۵۰۰۰
f-72	۳	۰/۰۷	۴۷/۴	۱۸۱/۱	۳۴/۲۷	۳۶۸۰۰	۰/۲۹	۷۸۴/۵	۴/۸۷	۶۷	۱۵۸۰۰
f-78	۱۸/۱	۰/۱	۲۴/۴	۱۵۵/۴	۴۴/۴۱	۶۲۶۰۰	۱/۶۱	۱۰۳/۱	۲۳/۹۹	۲۵۵	۱۲۹۰۰
f-79	۹/۵	۰/۱۵	۱۲/۲	۶۷/۱	۳۰/۰۲	۲۴۱۰۰	۰/۷۶	۶۷/۴	۱۲/۸۶	۶۵	۱۳۲۰۰

#### بحث

گیرند (شکل ۲). بیشترین میزان غلظت pH مربوط به نمونه ۲ می‌باشد که از برون زد های سنگی اولترامافیکی برداشت گردیده است. هم چنین بررسی مقادیر EC نشان می‌دهد که هدایت الکتریکی در خاک‌های منطقه از ۲۹۱ تا ۶۴۲  $\mu\text{s}/\text{cm}$  است که به احتمال بالا بودن مقدار غلظت نیکل در منطقه باعث بالا بودن تغییرات EC گردیده است (شکل ۲).

#### بررسی خصوصیات شیمیایی خاک

پارامترهای pH و EC از عوامل مهمی هستند که در کنترل و تحرک پذیری عناصر نقش ایفا می‌نمایند. به عبارت دیگر عامل pH و EC بر جذب و واجذب عناصر موثر هستند (۱۳). خاک های منطقه مورد مطالعه بر اساس طبقه بندی انجمن علوم خاک آمریکا، در محدوده ۷/۲۰ تا ۸/۵ (نسبتاً قلیایی) قرار می-



شکل ۲- نمودار میزان غلظت عامل pH و EC (مقادیر EC بر اساس  $\mu\text{s}/\text{cm}$ )

Figure 2- Chart of concentration, pH and EC (EC values based on  $\mu\text{s}/\text{cm}$ )

بررسی روابط هم بستگی فلزات سنگین در خاک

ضریب پیرسون

برای تعیین ارتباط عناصر سنگین با یک دیگر از ماتریس هم بستگی استفاده گردیده است. در جدول زیر ارتباط بین عناصر نشان داده شده است. بر اساس جدول ضریب پیرسون بعضی از عناصر با یک دیگر هم بستگی داشته و نشان از منشاء مشترک دارند. بر اساس بررسی های صورت گرفته، هم بستگی مثبت و آشکاری بین آرسنیک با سرب ( $p < 0.05$ ),  $r = 0.999$  و وانادیوم ( $p < 0.05$ ),  $r = 0.922$  وجود دارد که نشان از منشاء مشترک این عناصر است؛ کادمیوم با پتاسیم ( $r = 0.919$ ), هم بستگی مثبت دارد، کبالت با کروم ( $r = 0.887$ ), و نیکل ( $p < 0.05$ ),  $r = 0.961$ ) و کروم با نیکل ( $p < 0.05$ ),  $r = 0.838$ ), مس با آهن ( $p < 0.05$ ),  $r = 0.682$ ), مولیبدن ( $p < 0.05$ ),  $r = 0.684$ ) و سرب ( $p < 0.05$ ),  $r = 0.64$ ) آهن با مولیبدن ( $p < 0.05$ ),  $r = 0.749$ )، سرب

( $p < 0.05$ ),  $r = 0.679$ )، و وانادیوم ( $p < 0.05$ ),  $r = 0.876$ ) دارای هم بستگی مثبت و مولیبدن با سرب ( $r = 0.967$ ), ( $p < 0.05$ ), و وانادیوم ( $p < 0.05$ ),  $r = 0.939$ )، سرب و پتاسیم ( $p < 0.05$ ),  $r = 0.678$ ) و وانادیوم ( $p < 0.05$ ),  $r = 0.925$ ) هم بستگی مثبت دارند که نشان می دهد دارای یک منشاء مشترک هستند. هم چنین هم بستگی که بین کبالت با نیکل ( $p < 0.05$ ),  $r = 0.961$ ) و کروم ( $p < 0.05$ ),  $r = 0.887$ ) وجود دارد، نشانه ی منشاء مشترک برای عناصر کروم، کبالت و نیکل می باشد. کروم با پتاسیم ( $r = -0.973$ ), ( $p < 0.05$ ) و کادمیوم ( $r = -0.770$ ), ( $p < 0.05$ ) و آرسنیک ( $r = -0.547$ ) هم بستگی در جهت منفی دارد. کادمیوم با نیکل ( $p < 0.05$ ),  $r = -0.829$ ) هم بستگی منفی دارد که نشان دهنده منشاء متفاوت بین عنصر کادمیوم با کبالت و نیکل است (جدول ۲).

جدول ۲- ماتریس مقادیر هم بستگی (r) پارامترهای شیمیایی و فلزات سنگین نمونه های خاک

Table 2- Matrix correlation values (r) and chemical parameters of heavy metals in soil samples

	As																			
As	۱	Pb																		
Pb	**0.999	۱	Mo																	
Mo	**0.966	**0.967	۱	V																
V	**0.922	**0.925	**0.939	۱	Fe															
Fe	*0.675	*0.679	*0.749	**0.876	۱	Cu														
Cu	0.649272	0.640244	*0.684	*0.771	*0.682	۱	Cd													
Cd	0.496739	0.485438	0.364689	0.189007	0.26484-	0.201057	۱	K												
K	*0.688	*0.678	0.529843	0.447105	0.002934	0.323664	**0.919	۱	Co											
Co	*0.681-	*0.667-	0.51105-	0.43265-	0.00719-	0.3938-	**0.912-	**0.973-	۱	Ni										
Ni	**0.818-	**0.805-	*0.675-	0.5918-	0.18725-	0.4492-	**0.829-	**0.929-	**0.961	۱	Cr									
Cr	0.54745-	0.54773-	0.37246-	0.37284-	0.31324	0.41025-	*0.770-	**0.838-	**0.887	**0.838	۱									

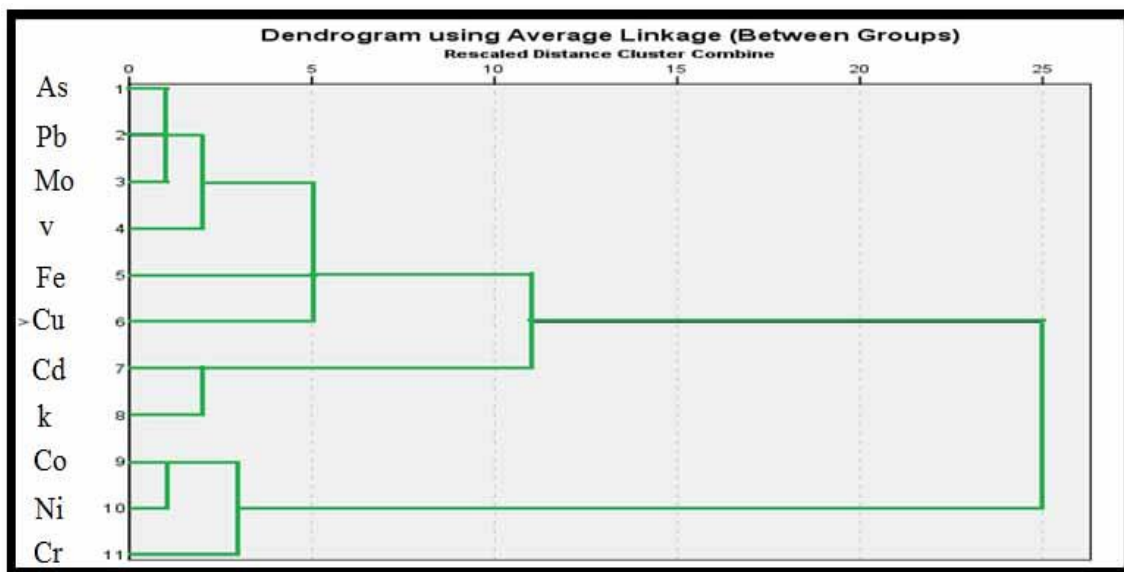
\*\*Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

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

### نمودار آنالیز خوشه‌ای (CA)

پتاسیم در آن جای دارد. در خوشه اصلی دوم عناصر کبالت، نیکل و کروم جای دارند. کبالت و نیکل وابستگی بیش تری به هم دارند. بر اساس نمودار آنالیز خوشه‌ای حداقل دو منشأ متفاوت برای ورود عناصر به خاک می‌توان ارایه کرد. این دو منشأ شامل ۱- مجموعه افیولیتی ۲- مجموعه ولکانیکی و واحدهای پیروکلاستیک می‌باشند.

آنالیز خوشه‌ای، مواد مورد بررسی را بر حسب میزان شباهت یا تفاوت آن‌ها طبقه‌بندی می‌کند. بر اساس شکل (۳)، دو خوشه اصلی می‌توان در نظر گرفت. خوشه اول که بر اساس هم‌بستگی عناصر به ۲ زیر خوشه تقسیم شده است. در زیر خوشه اول عناصر آرسنیک، سرب، مولیبدن، وانادیوم، آهن و مس قرار دارد. بر اساس درجه وابستگی آرسنیک، سرب و مولیبدن در یک خوشه قرار گرفته‌اند. زیر خوشه دوم عناصر کادمیوم و

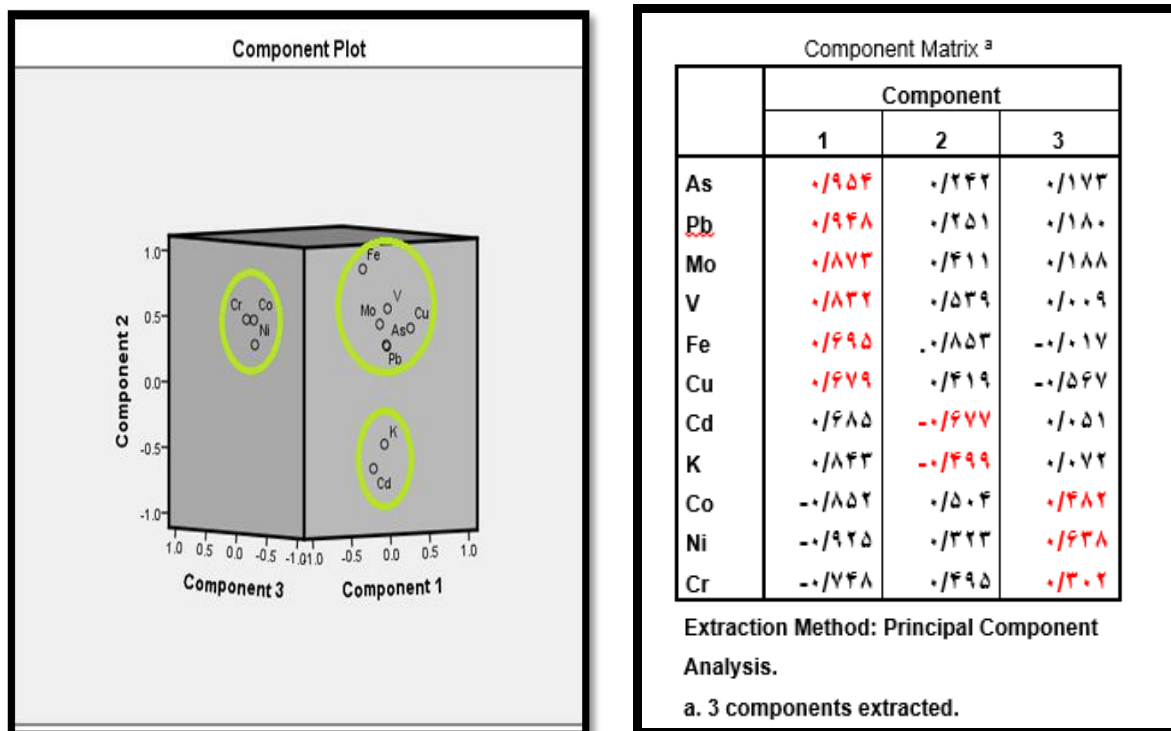


شکل ۳- نمودار خوشه‌ای سلسله مراتبی حاصل از تحلیل خوشه‌ای فلزات سنگین در نمونه‌های منطقه مورد مطالعه  
Figure 3- Cluster diagram hierarchical cluster analysis of heavy metals in the samples studied

### استفاده از تحلیل مؤلفه اصلی (PCA)

عامل دوم: تحت تاثیر فلزات سنگین پتاسیم و کادمیوم است. عامل سوم: این عامل نیز بیش تر تحت تاثیر فلزات سنگین کروم، نیکل و کبالت است. عواملی که شامل انواع سنگ منشأ و خاک می‌باشند فرآیندهای هوازدگی، پدیده‌های جذب سطحی و مشخصات محیط‌های رسوب گذاری هستند و تاثیر به سزایی در توزیع فلزات موجود در رسوبات دارند. این تقسیم بندی توسط نتایج آنالیز خوشه‌ای و ضرایب پیرسون نیز تایید می‌شود.

برای تفسیر بهتر روابط عناصر از روش تحلیل مؤلفه اصلی به عنوان مکمل استفاده می‌گردد. این روش بر ماتریس هم‌بستگی بین متغیرها استوار است (۱۴). روش فوق، روش آماری برای تعیین متغیرهای کنترل کننده اصلی در یک سری داده‌ها می‌باشد (۱۵). بر اساس شکل (۴)، در این نمودار ۳ عامل اصلی ایجاد می‌شود: عامل اول: این عامل بیش تر تحت تاثیر فلزات سنگین آهن، مولیبدن، وانادیوم، مس، آرسنیک و سرب است.



شکل ۴- نمودار سه بعدی و نتایج حاصل از تحلیل مولفه اصلی برای عناصر مورد مطالعه در خاک منطقه

Figure 4- Three-dimensional graph of the results of principal component analysis for the study elements in soil

ارزیابی ژئوشیمیایی فلزات سنگین

آلودگی و ضریب بار آلودگی و شاخص زمین انباشتگی بهره می‌گیرند. در جدول (۳) میزان غلظت عناصر در میانگین پوسته زمین و شیل جهانی نشان داده شده است.

برای ارزیابی میزان غلظت آلودگی به فلزات سنگین در رسوبات منطقه مورد مطالعه معمولاً از مقایسه میزان عناصر در منطقه با استانداردهای بین المللی و از عوامل غنی شدگی، ضریب

جدول ۳- میانگین عناصر در پوسته زمین و شیل جهانی (برگرفته از سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا؛ (۱۳ و ۱۶)

Table 3- Average global shale elements in the Earth's crust (from the EPA America)

عنصر	As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mo	Ni	Pb	V	Al
میانگین عناصر در پوسته زمین (۱۳)	۱۲۰	۱۲/۵	۵۰	۱/۵	۴۱۰۰۰	۵۵	۱۰۲	۲۵	۰/۲	۱/۸	۸۲۳۰۰
شیل جهانی (۱۶)	۶۸	۲/۶	۴۷۲۰۰	۴۵	۱۰۰	۱۹	۰/۳	۱۳	۱۳۰	۲۰	۸۰۰۰۰

عامل غنی شدگی عناصر (Enrichment factor)

آلودگی فلزی می‌باشد (۱۸). برای ارزیابی عامل غلظت عناصر نمونه را با غلظت آن عنصر در نمونه زمینه مقایسه می

از عامل غنی شدگی (EF) برای بیان میزان تاثیر عامل خارجی بر رسوبات استفاده می‌گردد (۱۷). ارزیابی این عامل روش مناسبی برای تعیین تاثیر منشاء لیتوژنیک و آنتروپوژنیک



می‌باشد. عناصر آرسنیک و کروم غنی شدگی شدید (۱۹/۸)، (۱۴/۰۱) و کبالت غنی شدگی نسبتاً شدید (۸/۹۲) را در منطقه از خود نشان می‌دهد. ضریب غنی شدگی کروم، آرسنیک و نیکل در منطقه بیش تر از ۱۰ می‌باشد که آن را می‌توان به فعالیت‌های معدنی در منطقه نسبت داد که نشان از منشاء آنتروپوژنیک آن‌ها دارد (۲۰). با توجه به لیتولوژی منطقه غنی شدگی آرسنیک را می‌توان به وجود کانی‌های سولفیدی از قبیل پیریت و اکسید پیریت در منطقه نسبت داد (شکل ۵). هم‌چنین مس، سرب و وانادیوم غنی شدگی متوسط و کادمیوم، مولیبدن و آلومینیوم غنی شدگی اندکی را نشان می‌دهند.

کنند. ضریب غنی شدگی طبق روش زیر محاسبه می‌گردد (۱۹).

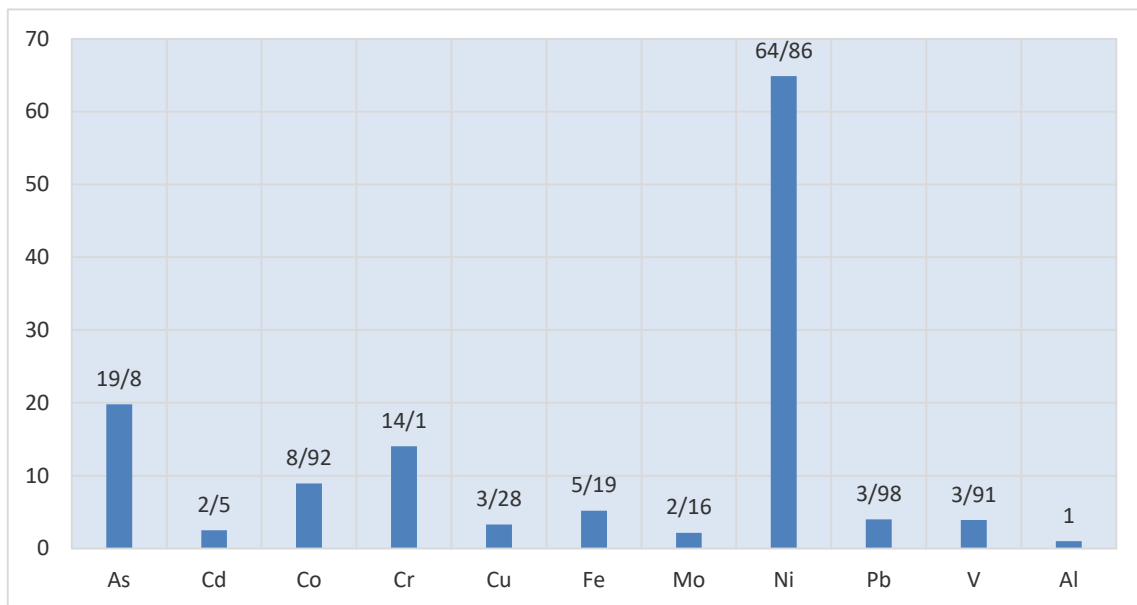
$$EF = \frac{\frac{C_{x1}}{C_{ref1}} \text{ sample}}{\frac{C_{x2}}{C_{ref2}} \text{ background}}$$

در رابطه فوق، EF عامل غنی شدگی،  $C_{x1}$  غلظت عنصر مورد بررسی،  $C_{ref1}$  غلظت عنصر مبنا (Al)،  $C_{x2}$  غلظت عنصر در محیط مبنا (پوسته زمین) و  $C_{ref2}$  غلظت عنصر مبنا (Al) در محیط مبنا (پوسته زمین) می‌باشد. بر اساس طبقه بندی Chen (جدول ۴)، در خاک‌های منطقه نیکل با غلظت ۶۴/۸۶، بیان گر غنی شدگی بی نهایت شدید

جدول ۴- طبقه بندی عامل غنی شدگی از ۲۰۰۷ Chen et al (۲۱)

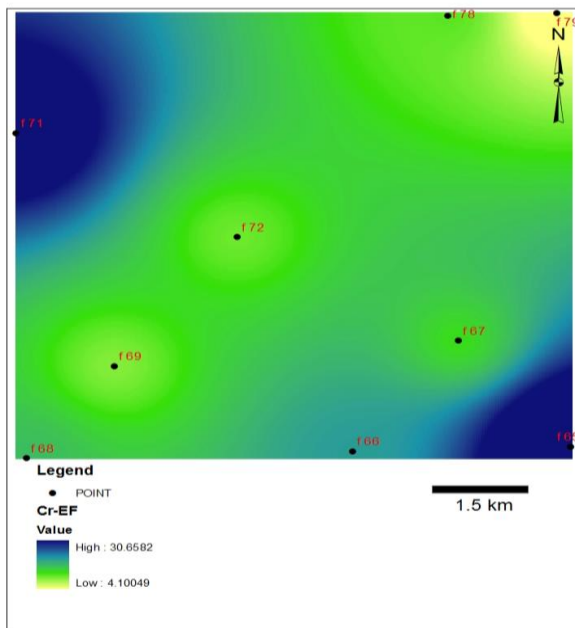
Table 4- Classification enrichment factor in Chen et al 2007

شدت غنی شدگی	بدون غنی شدگی	اندک	متوسط	نسبتاً شدید	شدید	خیلی شدید	بی نهایت شدید
EF	کم تر از ۱	بین ۱ تا ۳	بین ۳ تا ۵	بین ۵ تا ۱۰	بین ۱۰ تا ۲۵	بین ۲۵ تا ۵۰	بیش تر از ۵۰



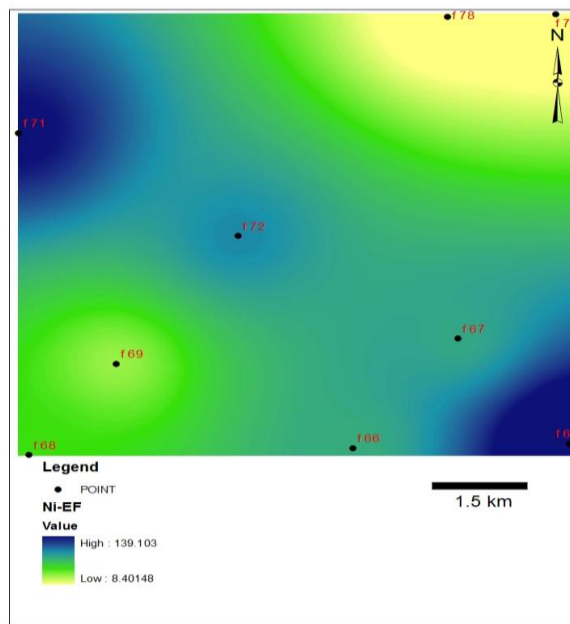
شکل ۵- نمودار شاخص غنی شدگی

Figure 5- Chart enrichment index



شکل ۷- نقشه پهنه بندی شاخص ضریب غنی شدگی برای عنصر کروم در منطقه مورد مطالعه

Figure 7- Enrichment zoning map index for chromium in the study area



شکل ۶- نقشه پهنه بندی شاخص ضریب غنی شدگی برای عنصر نیکل در منطقه مورد مطالعه

Figure 6- Enrichment zoning map index for nickel in the region

بر اساس نقشه پهنه بندی، عامل غنی شدگی عناصر کروم و نیکل، نشان از غنی شدگی عناصر در شمال غرب و جنوب شرقی محدوده مورد مطالعه دارند که نشانه تاثیر واحدهای افیولیتی نظیر سنگ‌های هارزبورژیتهی، دونیت و ... بر رسوبات و منابع خاک منطقه می‌باشد (شکل‌های ۶ و ۷).

ضریب آلودگی (Contamination factor) از ضریب آلودگی (CF) برای بیان میزان آلودگی رسوبات به فلزات سنگین استفاده می‌شود. شاخص فوق از تقسیم غلظت عنصر در نمونه برداشت شده به غلظت همان عنصر در نمونه زمینه به‌دست می‌آید (۲۲ و ۲۳).

جدول ۵- طبقه بندی ضریب آلودگی

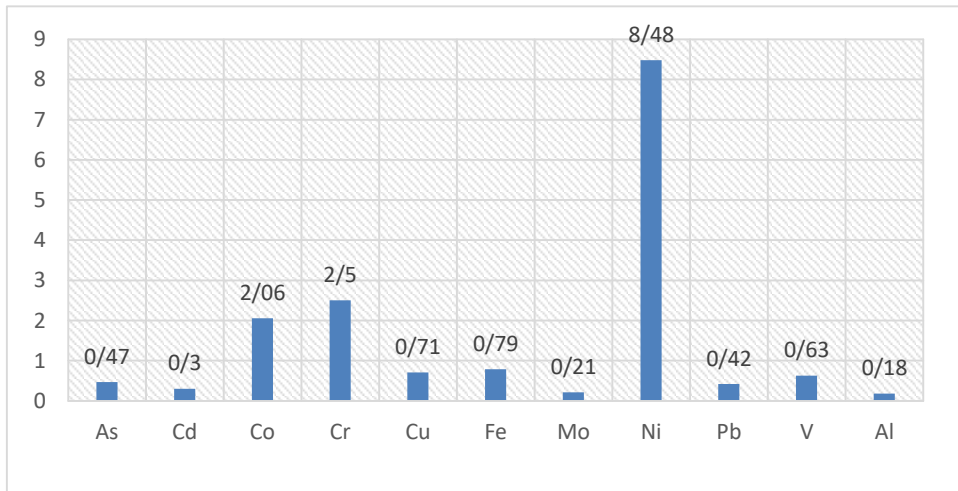
(Hakanson, ۱۹۸۰) (۲۴)

Table 5-Classification pollution index (Hakanson, 1980)

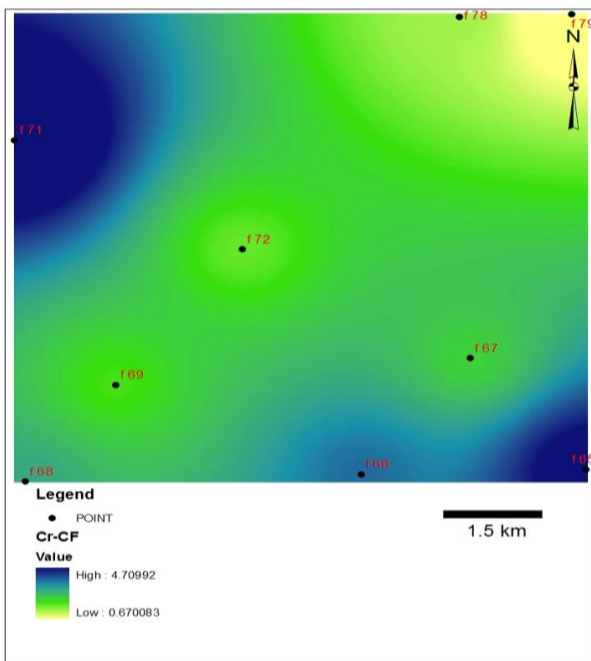
مقدار آلودگی رسوب	پایین	متوسط	قابل توجه	بالا
CF	کم تر از ۱	بین ۱ تا ۳	بین ۳ تا ۶	بیش از ۶

$$CF = \frac{C_{sample}}{C_{background}}$$

در رابطه فوق، CF، ضریب آلودگی،  $C_{sample}$  غلظت عنصر مورد بررسی و  $C_{background}$  غلظت عنصر در شیل جهانی می‌باشد. بر اساس شکل (۸) عناصر آرسنیک، کادمیوم، مس، آهن،

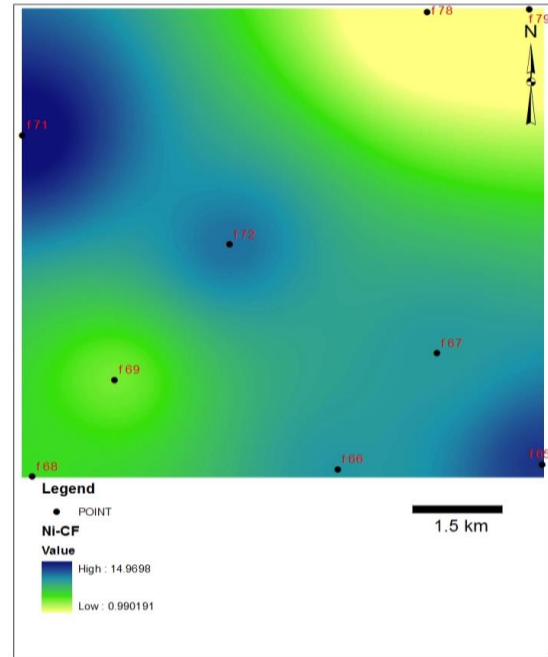


شکل ۸- نمودار ضریب آلودگی  
Figure 8- Chart pollution index



شکل ۱۰- نقشه پهنه بندی شاخص عامل آلودگی برای عنصر کروم در منطقه مورد مطالعه

Figure 10- Zoning map of the index factor for chromium contamination in the study area



شکل ۹- نقشه پهنه بندی شاخص عامل آلودگی برای عنصر نیکل در منطقه مورد مطالعه

Figure 9- Zoning map of the contamination factor index for nickel in the region

تاثیرات زمین شناختی اعمال می‌گردد (۲۷، ۲۱، ۲۸).

$$I_{geo} = \log_2 \left[ \frac{C_n}{1.5 B_n} \right] \quad (29)$$

بر اساس جدول (۷) بالاترین میزان زمین انباشتگی را عنصر نیکل دارا می‌باشد. نیکل تقریباً در تمام نمونه‌ها بر طبق جدول (۶) آلودگی متوسط تا شدید را نشان می‌دهد و تنها نمونه‌های f-65 و f-71 دارای آلودگی شدید می‌باشند. عنصر کروم و کبالت نیز در نمونه‌های f-65 و f-71 آلودگی در حد متوسط نشان می‌دهند. بقیه عناصر بر اساس شاخص فوق آلودگی نشان نمی‌دهند.

نقشه پهله بندی ضریب آلودگی عناصر کروم و نیکل، نشان داد رسوبات در محدوده شمال غرب و جنوب شرق آلوده به فلزات سنگین می‌باشند که به دلیل تاثیر واحد های افیولیتی و فلزات سنگین می‌باشد (شکل‌های ۹ و ۱۰).

شاخص زمین انباشتگی (Geoaccumulation Index)

این شاخص ( $I_{geo}$ ) برای اولین بار توسط مولر بیان گردید (۲۵). شاخص فوق برای تعیین میزان آلودگی فلزات سنگین در رسوبات به کار می‌رود (۲۶). در این شاخص  $C_n$  غلظت عنصر در نمونه و  $B_n$  غلظت همان عنصر در نمونه زمینه می‌باشد. در این شاخص ضریب ۱.۵ برای حذف احتمالی زمینه به علت

جدول ۶- طبقه بندی شاخص زمین انباشتگی (Luoping et al ۲۰۰۷) (۲۹)

Table 6- Category Index geo accumulation (Luoping et al 2007)

شدت آلودگی	بدون آلودگی	بدون آلودگی تا متوسط	متوسط	متوسط تا شدید	شدید	شدید تا بی نهایت	بی نهایت
Igeo	کم تر از صفر	بین صفر تا ۱	بین ۱ تا ۲	بین ۲ تا ۳	بین ۳ تا ۴	بین ۴ تا ۵	بیش تر از ۵

جدول ۷- شاخص زمین انباشت نمونه‌های منطقه مورد مطالعه

Table 7- The index accumulated samples in the study area

IGEO	As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mo	Ni	Pb	V	Al
f-65	۲/۸۵-	۲/۹۰-	۱/۱۰	۱/۴۲	-۱/۵۵	-۱/۰۰۴	-۳/۵۶	۳/۱۳	-۲/۷۵	-۲/۵۱	-۳/۵۰
f-66	۲/۵۶-	-۲/۳۲	۰/۶۴	۱/۰۳	-۰/۸۰	-۱/۰۱	-۳/۱۸	۲/۷۹	-۲/۷۴	-۱/۷۹	-۲/۸۴
f-67	۲/۱۸-	-۲/۱۶	۰/۴۷	۰/۵۱	-۱/۰۹	-۱/۰۲	-۳/۵۱	۲/۷۸	-۲/۱۸	-۱/۶۵	-۲/۸۹
f-68	۱/۸۵-	-۲/۳۲	۰/۱۹	۰/۷۸	-۱/۱۳	-۰/۹۱	-۳/۵۱	۲/۲۸	-۲/۰۶	-۱/۷۷	-۲/۸۸
f-69	۱/۷۹-	-۲/۱۶	۰/۱۲	۰/۳۶	-۱/۱۹	-۱/۱۳	-۳/۲۸	۲/۰۲	-۱/۹۷	-۱/۲۸	-۲/۷۳
f-71	۲/۵۱-	-۲/۶۸	۱/۰۵	۱/۶۵	-۱/۲۳	-۰/۸۶	-۲/۹۶	۳/۳۱	۲/۵۵-	-۱/۶۵	-۳
f-72	۲/۷۰-	-۲/۶۸	۰/۷۳	۰/۲۷	-۰/۹۷	-۰/۹۴	-۳/۷۴	۲/۹۴	-۲/۶۲	-۱/۵۴	-۲/۹۲
f-78	-۰/۱۰	-۲/۱۶	-۰/۲۲	۰/۰۵	-۰/۶۰	-۰/۱۷	-۱/۲۷	۰/۰۱	-۰/۳۲	۰/۳۸	-۳/۲۱
f-79	-۱/۰۳	-۱/۵۸	-۱/۲۲	-۱/۱۶	-۱/۱۶	-۱/۵۵	-۲/۳۵	-۰/۵۹	-۱/۲۲	-۱/۵۸	-۳/۱۸

## نتیجه گیری

ارزیابی هم بستگی فلزات سنگین توسط ضریب پیرسون، آنالیز خوشه‌ای و تحلیل مولفه اصلی نشانه دو منشاء متفاوت برای توزیع ژئوشیمیایی فلزات سنگین در رسوبات منطقه می‌باشد. مجموعه افیولیتی برای توزیع عناصر کبالت، نیکل و کروم و مجموعه پیروکلاستیک و ولکانیکی برای توزیع عناصر آهن، مولیبدن، وانادیوم، مس، آرسنیک و سرب، پتاسیم و کادمیوم می‌باشند. بر اساس طبقه بندی انجمن علوم خاک آمریکا، pH رسوبات در محدوده نسبتاً قلیایی قرار می‌گیرند. ارزیابی عامل غنی شدگی نشان داد، نیکل غنی شدگی بی نهایت شدید در منطقه دارد و عناصر آرسنیک و کروم در منطقه غنی شدگی شدید را نشان می‌دهند. غنی شدگی فوق نشان از منشاء آنتروپوژنیک (وجود فعالیت‌های معدنی در منطقه) دارد. عنصر کبالت در منطقه غنی شدگی نسبتاً شدید را نشان می‌دهد و مس، سرب و وانادیوم غنی شدگی متوسط و کادمیوم، مولیبدن و آلومینیوم غنی شدگی اندک را در منطقه نشان می‌دهند. بررسی شاخص ضریب آلودگی نیز نشان داد، نیکل بالاترین آلودگی را در منطقه دارد. هم چنین کروم و کبالت آلودگی متوسط را نشان می‌دهند. عناصر آرسنیک، کادمیوم، مس، آهن، مولیبدن، سرب، وانادیم و آلومینیوم کم ترین آلودگی و عناصر کروم و کبالت آلودگی متوسطی را نشان می‌دهند. شاخص زمین انباشتی نشان از آلوده بودن رسوبات به نیکل دارد.

## Reference

1. Rosazi-Boroujeni, Kh, 2009, Investigating the sources of pollution of soil and water by heavy metals in Hashtroud city with an attitude towards arsenic and its environmental effects, Master's thesis, Faculty of Sciences, Tehran University, 172 pages, (In persian).
2. Keshavarz, B., Moor, F, 2009, Arsenic geomedicine in the gold deposit area of Muteh, Isfahan, 27th Symposium of Geosciences, Iranian Geological Society, (In persian).
3. Misra, S. G., Dinesh Mani, 2009, Soil Pollution, Published by S.B. Nangia, New Delhi.
4. Richard, F. C., Bourg, A.C.M., 1991. Aqueous geochemistry of chromium. a review. Wat. Res. Vol.25, pp.807-816.
5. Robles Camacho, J. & A. M., Armineta, 2000. Natural chromium contamination of groundwater at Leo'n Valley Mexico Journal of Geochemical Exploration 68 (2000) 167-181
6. Oze, J. C, 2003. Chromium geochemistry of serpentinite and serpentinite soils. Department of Geology and Environmental Sciences and the Committee on Graduate Studies of Stanford University.
7. Altman, L. K., 1992, High levels of iron are tied to an increased risk of heart disease, The New York times, sept8j, p2
8. Aghanabati, A., 2004. Geology of Iran. Geological survey of Iran, 707 pages, (In persian).
9. Darvishzadeh, A., 1991. Geology of Iran. Nashr Danesh Emrouz Publication, 705 pages, (In persian).
10. Haddadan, M, 2008. Geological map of Iran, Fariman sheet, scale 1: 100,000. Geological Survey of Iran. Tehran, (In persian).
11. Van Ranst, E., Verloo, M., Demeyer, A. and Pauwels, J.M., 1999. Manual for the soil chemistry and fertility laboratory: analytical methods for soils and plants equipment, and management of consumables.
12. Acosta, J. A., Faz, A., Mrtinez, S. M., 2009, Identification of heavy metal sources by multivariable analysis in a

21. Chen, C.W., Kao, C.M., Chen, C.F., & Dong, C.D. 2007; "Distribution and accumulation of heavy metals in the sediments of Kaohsiung Harbor, Taiwan", *Chemosphere* Vol. 66, No. 8, pp. 1431- 1440
22. Abraham, G. M. S., Parker, R. J., 2008, Assessment of heavy metal enrichment factors and the degree contamination in marine sediments from Tamaki Estuary, Auckland, New Zealand, *Environmental Monitoring and Assessment* 136, pp. 227- 238.
23. Adomako, D., Nyarko, B.J.B., Dampare, S.B., Serfor Armah, Y., Osa, S., Fianko, J.R., Akaho, E. H., 2008, Determination of toxic elements in waters and sediments from River Subin in the Ashanti Region of Ghana". *Environmental Monitoring Assessment* 141, pp. 165- 175
24. Hakanson L. 1980. An ecological risk index for aquatic pollution control a sedimentological approach. *Water Research*, 14:975-1001.
25. Muller, G.; 1979; "Schwermetalle in den sedimenten des Rheins Veranderungenseit 1971", *Umschau* Vol. 79, No. 24, pp. 778- 783
26. Audrey, S., Schafer, J., Blanc, G., Jouanneau, JM, 2004; "Fifty year sedimentary record of heavy metal pollution (Cd, Zn, Cu, Pb) in the Lot River reservoirs (France)", *Environmental Pollution* Vol.132, No. 3, pp. 413- 426
27. Gonzales, Macias, C., Schifter, I., Liuch, Cota, D. B.,endez Rodriguez, L., & Hernandez Vazquez, S., 2006; "Distribution, enrichment and accumulation of heavy metals in coastal sediments of Salina Cruz Bay, typical Mediterranean city (SE Spain), *Environ Monit Assess*, DOI 10.1007/s10661-1194-0
13. Kabata-Pendias., A., 2011- Trace elements in soils and plants, CRC Press Taylor & Francis Group, 534
14. Miller, N. J., Miller, J. C., (2000). "Statistics and chemometrics for analytical chemistry." Pearson Education, Englewood Cliffs, New Jersey, pp. 288.
15. Yusufi, M, 2006, Application of Computer in Mine, Jahad Daneshgahi, Amirkabir Industrial University, 282 pages, (In persian).
16. Turekian, K. K., Wedepohl, K. H, 1961- Distribution of elements in some major units of the earth , s crust, *Geol. Soc. Of American Bull*,72,192-175
17. Zhang, W., 2009, "Heavy metal contamination in surface sediments of Yangtze River intertidal zone an assessment from different indexes", *Environmental Pollution* Vol.1-11
18. Adamo, P., Arenzo, M., Imperato, M., Naimo, D., Nardi, G., Stanzione, D., 2005- Distribution and partition of heavy metal in surface and sub-surface sediments of Naples City Por, *Chemosphere*, v. 61, pp: 800- 809.
19. Loska, K., Chebual, J., Pleczar, J., Wiechla, D., Kwapulinski, J., 1995- Use of environment and contamination factors together with geo accumulation indexes to elevate the content of Cd, Cu and Ni in the Rybink water reservoir in Poland" *Water, Air and Soil pollution*, 93,pp: 347-365.
20. Devesa Rey, R., F. Díaz Fierros, and M. T. Barral. 2009, "Normalization strategies for river bed sediments, a graphical approach." *Microchemical Journal* 91.2 (2009), pp. 253- 265

29. Luoping Zhang, X, Y., HuanFeng, Y, J., Tong Ouyang, X, Y.,Rongyuan Liang, C, G., Weiqi,C., 2007, Heavy metal contamination in western Xiamen Bay sediments and its vicinity, China, Mar Pollut Bull 54, pp. 974–982.
28. Ghrefat, H., Yusuf, N. 2006, "Assessing Mn, Fe, Cu, Zn and Cd pollution in bottom sediments of Wadi AL Arab Dam, Jordan", Chemosphere 65, pp. 2114- 2121.