

منشایابی برخی فلزات سنگین با استفاده از تکنیک‌های آنالیز خوشه‌ای و تجزیه عاملی در خاک‌های جزیره هرمز

فاطمه عباس زاده^۱، وحیدرضا جلالی^{۲*}، اعظم جعفری^۳

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۱/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۱/۱۱)

چکیده

جزیره هرمز یک منبع گردشگری با جلوه‌های طبیعی و چشم اندازهای بکر است که متأسفانه امروزه در معرض صدمات ناشی از فعالیت‌های انسانی قرار گرفته است. در این پژوهش تعداد ۵۸ نمونه سطحی (۰-۳۰ cm) از منطقه مورد مطالعه که شامل تمامی سطح جزیره هرمز می‌باشد، جمع‌آوری و غلظت فلزات آهن، روی، سرب، کادمیوم و نیکل به روش هضم چهار اسید و با دستگاه (ICP-OES) اندازه‌گیری شد. به منظور شناسایی منابع احتمالی فلزات سنگین موجود در خاک‌های منطقه، از آنالیزهای چندمتغیره (آنالیز خوشه‌ای و تجزیه عاملی) و جهت تعیین میزان آلودگی منطقه از شاخص‌های زمین‌انباشتگی و فاکتور غنی‌شدگی استفاده شد. بر اساس مقادیر شاخص زمین‌انباشتگی، آلوده‌ترین عنصر در منطقه مورد نظر آهن، و بر اساس فاکتور غنی‌شدگی نیز آهن در محدوده بسیار غنی‌شده قرار داشت. نتایج حاصل از تجزیه عاملی نشان داد که بین تک تک عناصر گروه "آهن، نیکل و سرب" و همچنین، بین عناصر گروه "روی و کادمیوم"، ارتباط مثبت و بالایی وجود دارد که بیانگر منشأ یکسان اجزای درون هر گروه بوده و به دلیل عدم وجود آلودگی صنعتی در منطقه، این تفاوت احتمالاً ناشی از اختلاف در ساختار زمین‌شناسی می‌باشد. همچنین نتایج آنالیز خوشه‌ای نیز تاییدی بر نتایج تجزیه عاملی بوده و عناصر روی و کادمیوم را در یک گروه، و عناصر آهن، نیکل و سرب را در گروه مجزا قرار می‌گیرند که نشان‌دهنده تفاوت در بین گروه‌های یاد شده است.

واژه‌های کلیدی: شاخص زمین‌انباشتگی، فاکتور غنی‌شدگی، فلزات سنگین

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه شهید باهنر کرمان

۲- استادیار گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه شهید باهنر کرمان (مکاتبه کننده)

۳- استادیار گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه شهید باهنر کرمان

* پست الکترونیک: V.Jalali@uk.ac.ir

مقدمه

فلزات سنگین، مهم‌ترین آلاینده‌های زیست‌محیطی به-شمار می‌روند (Sabzghabaei *et al.*, 2013). منشأ عمده ورود این فلزات به محیط زیست (بیش از ۸۰ درصد)، از طریق هوازدگی و فرسایش مواد پوسته‌ای یا از طریق فعالیت‌های آتشفشانی است. تمرکز این عناصر معمولاً در حد مقادیر زمینه ژئوشیمیایی بی‌خطر است، اما وقتی که به حد مقادیر ناهنجار و بالاترین میزان مجاز می‌رسند، باید مورد توجه و مطالعه قرار گیرند و اگر به حد آستانه برسند باید محیط را از آن‌ها پاک‌سازی نمود (Kabata-Pendias & Pendias, 2001).

فلزات سنگین به دلیل پایداری بالا در محیط و تجمع در مخازن طبیعی و نهایتاً ورود به چرخه غذایی از اهمیت بوم‌شناختی زیادی برخوردارند (Moller, 1969). معمولاً شناسایی منابع آلاینده به‌وسیله آنالیزهای آماری چندمتغیره، همچون آنالیز همبستگی، آنالیز مولفه‌های اصلی و آنالیز خوشه‌ای انجام می‌شود (Khorasaniopour *et al.*, 2010). بررسی آلودگی بر اساس آنالیزهای آماری چند متغیره، می‌تواند اطلاعات معنی‌داری از منابع آلودگی فلزات سنگین و سهم نسبی منابع مختلف بیان نماید. روش‌های آماری چند متغیره، می‌توانند به‌طور هم‌زمان تعداد فاکتورهایی که کنترل‌کننده تغییرات موجود در داده هستند را شناسایی کنند (Boruvka *et al.*, 2005). تجزیه عاملی بین مجموعه‌ای متشکل از متغیرهای گوناگون که در ظاهر بی‌ارتباط هستند، رابطه خاصی را در یک مدل فرضی برقرار می‌کند (Abdi *et al.*, 2014). هدف از تجزیه و تحلیل عاملی تشخیص مهم‌ترین متغیرهای کنترل‌کننده تغییرات ویژگی مورد نظر از متغیرهایی با نقش کمتر است. در این صورت می‌توان با حداقل تعداد متغیرهای فاکتوری، حداکثر تغییرپذیری بین داده‌ها را توجیه و سهم نسبی هر یک از متغیرهای فاکتوری را در توجیه تغییرپذیری مشخص نمود (Abbaszadeh *et al.*, 2013). در پژوهشی که در خاک‌های یک منطقه غیر آلوده در رشته کوه‌های زلاتیبور (غرب صربستان و بخشی از رشته کوه‌های آلپ) توسط دراگوویک و همکاران (Dragovic *et al.*, 2008) بر اساس آنالیز خوشه‌ای و رویکرد اضافه نمودن سلسله مراتبی فاکتورهای موثر انجام پذیرفت، مشخص شد که عناصر روی، سرب، نیکل، کروم، مس و

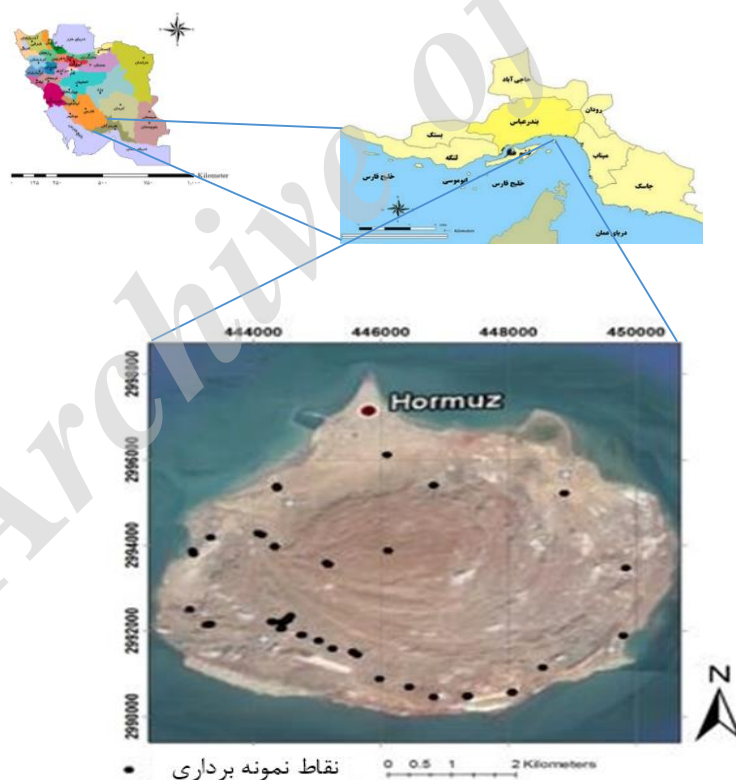
منگنز دارای منشأ طبیعی بوده، در حالی که منشأ کادمیوم را ناشی از فعالیت‌های انسان تشخیص دادند. شایسته‌فر و همکاران (Shayestehfar *et al.*, 2010) از تجزیه عاملی و خوشه‌ای برای نشان دادن منشأ رسوبات، الگوی پراکنش عناصر و ارزشیابی زیست محیطی استفاده کردند. نتایج آنها نشان از غلظت بالای فلزات آهن، تیتانیوم، سرب، نیکل، منگنز، کروم، روی، مولیبدن، مس و کبالت در رسوبات معدن مس سرچشمه داشت. دلاور و همکاران (Delavar *et al.*, 2015) به‌منظور تعیین منابع احتمالی کنترل‌کننده فلزات سنگین در خاک‌های اطراف شهرک صنعتی روی در استان زنجان، از تکنیک‌های آماری چند متغیره استفاده کرده و منشأ عناصر سرب، روی و کادمیوم را ناشی از فعالیت‌های صنعتی، و عناصر نیکل و سرب را مواد مادری بیان کردند. از روش‌های کمی‌سازی بیان آلودگی رسوبات و خاک‌ها، استفاده از شاخص‌هاست. یونگ‌مین و همکاران (Yongming *et al.*, 2006) با استفاده از فاکتورگیری شدگی نرمال و تحلیل خوشه‌ای در بررسی آلودگی گرد و غبار شهری، منشأ نقره و منیزیم را کاربری‌های مسکونی و تجاری؛ منشأ کروم، مس، سرب، روی و آنتیموان را منابع صنعتی و ترافیک و منشأ آرسنیک و منگنز را فرآیندهای خاک‌سازی بیان کردند. بهویان و همکاران (Bhuiyana *et al.*, 2010) آلودگی فلزات سنگین را با استفاده از چندین شاخص غنی‌شدگی، زمین‌انباشتگی و بار آلودگی مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان از غنی‌شدگی معنی‌دار خاک‌ها با فلزات تیتانیوم، منگنز، روی، سرب، آرسنیک، آهن، استرانسیم و آنتیموان حاصل از ورودی فعالیت‌های معدنی بود.

جزیره هرمز با داشتن بیش از ۷۰ طیف رنگی خاک، به عنوان بهشت زمین‌شناسی ایران مطرح بوده و پتانسیل-های فراوانی جهت گسترش صنعت ژئوتوریسم دارد، لذا جهت استفاده بهینه از این پتانسیل به دلیل جاذبه‌های طبیعی و بهره‌گیری از این جزیره به عنوان یک مرکز ژئوتوریستی و زمین‌شناختی، بایستی جهت برطرف نمودن مشکلات از جمله آلودگی‌های زیست محیطی در منطقه اقدامات اساسی صورت بگیرد. هدف از این مطالعه بررسی منشأ و رفتار ژئوشیمی فلزات سنگین در خاک‌های جزیره هرمز و همچنین بررسی وضعیت آلودگی منطقه با استفاده از شاخص‌های زیست محیطی مختلف می‌باشد.

مواد و روش‌ها

جزیره هرمز با ۴۱/۹ کیلومتر مربع وسعت در فاصله ۱۸ کیلومتری جنوب شرقی بندرعباس در آب‌های خلیج فارس واقع شده است. این جزیره از نظر تقسیمات سیاسی استان جزء شهرستان قشم می‌باشد. سطح جزیره هرمز را طبقات رسوبی و آتشفشانی تشکیل داده و طبقات نمکی به صورت تپه‌های نمکی، قسمت اعظم جزیره را پوشانده که اکثراً نمک طعام می‌باشد، (Saket *et al.*, 2007). این جزیره بین مختصات جغرافیایی ۵۶°۲۵' تا ۵۶°۳۱' طول شرقی و ۲۷°۲' تا ۲۷°۶' عرض شمالی قرار گرفته است. بر اساس سالنامه آماری استان هرمزگان، درجه حرارت فصل تابستان جزیره تا ۴۰ درجه سلسیوس بالای صفر می‌رسد و میزان بارندگی آن بین ۳۰ تا ۲۰۰ میلی‌متر و میزان رطوبت نسبی جزیره بین ۳۰ تا ۱۰۰ درصد در نوسان است (Statistical Yearbook of Hormozgan Province, 2012). در این پژوهش تعداد ۵۸ نمونه خاک

سطحی از عمق ۳۰cm - ۰ جمع‌آوری شد. پراکنش مکانی نقاط نمونه‌برداری در شکل ۱ نشان داده شده است. ناهمواری‌های شدید موجود در جزیره و صعب‌العبور بودن برخی قسمت‌ها از جمله موانع نمونه‌برداری بیشتر و یکنواختی موقعیت نمونه‌ها محسوب می‌شدند. به عبارت دیگر با در نظر گرفتن وضعیت توپوگرافی منطقه، نوع کاربری‌های موجود و همچنین سازندهای موجود در منطقه، سیستم نمونه‌برداری به صورت هدفمند انتخاب شد. بعد از هوا خشک کردن نمونه‌ها در دمای محیط، نمونه‌ها از الک ۲ میلی‌متر عبور داده شدند و سرانجام غلظت کل عناصر سنگین در نمونه‌های خاک به روش هضم چهار اسید (شامل: نیتریک اسید، پرکلریک اسید، فلوئوریک اسید و هیدروکلریک اسید) به وسیله دستگاه Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometers (ICP-OES) اندازه‌گیری شد (Loska *et al.*, 2004).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی جزیره هرمز و پراکنش نقاط نمونه‌برداری

Figure 1. Geographical position of Hormuz Island and distribution of the sampling points

شاخص زمین انباشتگی

این شاخص یکی از کاربردی‌ترین شاخص‌های زیست-محیطی می‌باشد که اولین بار توسط Moller در سال ۱۹۶۹ پیشنهاد شد. از این شاخص برای تعیین درجه آلاینده‌ی خاک استفاده می‌شود.

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

در رابطه فوق I_{geo} شاخص زمین انباشتگی، C_n غلظت عنصر مورد نظر و B_n مقدار همان عنصر در نمونه مرجع می‌باشد. در رابطه فوق ضریب ۱/۵ به‌عنوان عامل تصحیح برای شار طبیعی یا زمین‌شناختی عناصر در نظر گرفته شده است. این شاخص دارای ۷ کلاس بوده که در آن رسوبات از غیرآلوده تا به‌شدت آلوده طبقه‌بندی می‌شوند (Meza-Montenegro *et al.*, 2012). مقادیر شاخص زمین انباشتگی بر طبق جدول ۱ طبقه‌بندی می‌شوند.

فاکتور غنی‌شدگی

فاکتور غنی‌شدگی نشان‌دهنده تاثیر عامل خارجی بر رسوبات است (Zhang, 2009).

$$EF = \frac{\left(\frac{C_M}{C_S}\right)_X}{\left(\frac{C_M}{C_S}\right)_C} \quad (2)$$

این فاکتور برای یک عنصر خاص در یک نمونه معین عبارت است از نسبت غلظت آن عنصر در آن نمونه به غلظت استاندارد همان عنصر (در ناحیه غیرآلوده) و برای حذف برخی غنی‌شدگی‌ها عناصری مانند آهن، تیتانیوم، تنگستن، اسکاندیوم، آلومینیوم (Al, Sc, Y, Ti, Fe) را در رابطه غنی‌شدگی تاثیر می‌دهند (Vald'es *et al.*, 2005).

در رابطه ۲، C_M ، غلظت فلز سنگین مورد نظر، C_S ، غلظت عنصر آهن و یا آلومینیوم (به عنوان عناصر مرجع زمینی) و X و C به ترتیب نشان‌دهنده غلظت‌های مورد اشاره در پوسته زمین و رسوب است. از آنجایی که در محاسبه فاکتور غنی‌شدگی، به دلیل اینکه توزیع آهن نسبت به بقیه فلزات سنگین متناسب نیست و به‌طور معمول غلظت طبیعی بالایی دارد، بنابراین در محاسبه فاکتور غنی‌شدگی از آهن به‌عنوان فلز نرمالیزه شده، استفاده شده است. مقادیر فاکتور غنی‌شدگی بر طبق جدول ۲ طبقه‌بندی می‌شوند.

روش‌های چند متغیره

روش‌های آماری چند متغیره می‌توانند به طور هم‌زمان تعداد فاکتورهایی را که کنترل‌کننده تغییرات موجود در داده‌ها هستند را شناسایی کنند (Boruvka *et al.*, 2005). روش‌های آماری چند متغیره مانند تجزیه عاملی^۱ و آنالیز خوشه‌ای^۲، ابزارهای قدرتمندی برای جداسازی منابع موثر در آلودگی هستند.

در حقیقت آنالیز خوشه‌ای یک فرایند طبقه‌بندی غیر-کنترلی است که مواد مورد بررسی را بر حسب میزان شباهت یا تفاوت آن‌ها، خوشه‌بندی می‌کند. تجزیه عاملی، نامی عمومی است که به گروهی از روش‌های آماری چند متغیره گفته می‌شود و هدف اولیه آن تفسیر ساختار ماتریس واریانس-کوواریانس مجموعه‌ای از داده‌های چند متغیره است. تجزیه عاملی بین مجموعه‌ای متشکل از متغیرهای گوناگون که در ظاهر بی‌ارتباط هستند، رابطه خاصی را در یک مدل فرضی برقرار می‌کند (Abdi *et al.*, 2014). هدف از تجزیه و تحلیل عاملی، تشخیص مهم‌ترین متغیرهای کنترل‌کننده تغییرات ویژگی مورد نظر از متغیرهایی با نقش کمتر است. در این صورت می‌توان با حداقل تعداد متغیرهای فاکتوری، حداکثر تغییرپذیری بین داده‌ها را توجیه کرد و سهم نسبی هر یک از متغیرهای فاکتوری را در توجیه تغییرپذیری، مشخص نمود (Abbaszadeh *et al.*, 2013). برای محاسبه آنالیز خوشه‌ای، تجزیه عاملی و ضریب همبستگی از نرم‌افزار SPSS16.0 استفاده شد.

1 -Factor analysis
2- Cluster analysis

جدول ۱- کلاس‌های شاخص تجمع (I_{geo}) و کیفیت خاک

Table 1. Geo-accumulation index classes and soil quality

Soil quality	I_{geo} value	I_{geo} Class
Non polluted	≤ 0	1
Non polluted- Moderate polluted	0-1	2
Moderate polluted	1-2	3
Moderate polluted-high polluted	2-3	4
High polluted	3-4	5
High polluted-very high polluted	4-5	6
Very high polluted	$5 <$	7

جدول ۲- کلاس‌های فاکتور غنی‌شدگی

Table 2. Enrichment factor classes

Absorption rate	Enrichment factor
Very weak enrichment	EF<2
Moderate enrichment	EF=2-5
Determinate enrichment	EF=5-20
High enrichment	EF=20-40
Very High enrichment	EF>40

نتایج و بحث

برای عنصر روی ($36/91$) به دست آمد که در مقایسه با مقدار کنترل استاندارد (تهیه شده به وسیله دفتر آب و خاک معاونت محیط‌زیست انسانی، 1391) تمامی عناصر به استثنای نیکل غلظتی کمتر از مقدار کنترل استاندارد دارند.

ویژگی‌های آماری غلظت فلزات سنگین خاک در جدول ۳ خلاصه آماری فلزات سنگین مورد مطالعه ارائه شده است. میانگین غلظت کل عناصر سنگین در خاک‌های منطقه مورد مطالعه برای عنصر کادمیوم ($0/52$)، آهن ($16/11$)، نیکل ($464/28$)، سرب ($4/77$) و

جدول ۳- خلاصه آماری غلظت کل فلزات سنگین (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در خاک‌های منطقه مورد مطالعه

Table 3. Summary statistics of total concentrations of heavy metals ($mg\ kg^{-1}$) in the soils of the study area

Variable	Minimum	Mean	Maximum	Standard deviation	Standard control value	Coefficient of variation
Cadmium	0.00	0.52	0.71	0.064	3.9	0.123
Iron	2.00	16.11	41.00	8.53	-	0.52
Nickel	104.16	464.28	935.00	188.63	50	0.40
Lead	1.31	4.77	15.40	3.86	300	0.80
Zinc	6.00	36.91	104.00	23.90	200	0.64

به ترتیب به صورت $Pb > Zn > Fe > Ni > Cd$ است، که نشان می‌دهد عنصر کادمیوم کمترین مقدار ضریب تغییرات را داراست، این امر بیانگر این مطلب است که توزیع عنصر کادمیوم نسبت به سایر عناصر همگن‌تر است، اما به طور کلی بر اساس تقسیم‌بندی ویل‌دینگ (1985) Wilding، تمامی عناصر مورد مطالعه بجز کادمیوم نیز در گروه تغییرپذیری زیاد قرار می‌گیرند. تخمین شدت آلودگی منطقه مورد مطالعه بر اساس شاخص‌های آلودگی مقادیر شاخص زمین‌انباشتگی برای عناصر مورد مطالعه در خاک‌های منطقه مورد مطالعه در جدول ۴ نشان داده شده است.

بر اساس تقسیم‌بندی ارائه‌شده توسط ویل‌دینگ (1985) Wilding، بر مبنای مقادیر ضریب تغییرات، ویژگی‌های مورد مطالعه را می‌توان به سه گروه تقسیم کرد: ویژگی‌هایی با تغییرپذیری کم (ضریب تغییرات کمتر از ۱۵)، ویژگی‌هایی با تغییرپذیری متوسط (ضریب تغییرات ۱۵ تا ۳۵)، ویژگی‌هایی با تغییرپذیری زیاد (ضریب تغییرات بیشتر از ۳۵). بر این اساس تمامی ویژگی‌های خاک در گروه تغییرپذیری کم قرار دارند. با بررسی ضریب تغییرات برای عناصر مورد مطالعه مشخص می‌شود که مقدار این پارامتر برای عنصر سرب بیشتر از سایر عناصر است که این امر به نوعی نشان‌دهنده تنوع عنصر سرب در مقایسه با سایر عناصر است. ضریب تغییرات عناصر مورد مطالعه

جدول ۴- مقادیر شاخص زمین انباشتگی برای عناصر سنگین در خاک‌های مورد مطالعه

Table 4. The values of geoaccumulation index for heavy metals in the studied soils

Element	Geoaccumulation index	Pollution intensity
Cadmium	0.167	Non polluted
Iron	9.19	Very high polluted
Nickel	2.51	Moderate polluted-high polluted
Lead	1.64	Moderate polluted
Zinc	2	Moderate polluted

میانگین فاکتور غنی‌شدگی مربوط به آهن با مقدار ۴۷۵۴/۳۱ است. بعد از آهن عنصر نیکل دارای غنی‌شدگی مشخص با مقدار ۱۵/۴۳ است، از آنجا که در منطقه مورد مطالعه آلودگی صنعتی وجود ندارد لذا این امر می‌تواند ناشی از فرآیندهای طبیعی مانند جنس مواد مادری متفاوت و یا شیب متفاوت باشد. تفاوت در مقادیر غنی‌شدگی می‌تواند ناشی از اختلاف در میزان موجودی هر فلز در خاک‌ها باشد.

همان طور که جدول نشان می‌دهد شدت آلودگی به جزء برای فلز کادمیوم (۰/۱۶۷) در محدوده آلودگی متوسط تا زیاد قرار دارند. شدت آلودگی عناصر به شرح زیر است:

$$Fe > Ni > Zn > Pb > Cd$$

آلودگی فلز آهن را می‌توان ناشی از فرآیندهای زمین-شناسی و مواد مادری موجود در منطقه دانست، زیرا که در جزیره هرمز می‌توان به وفور کانی‌های حاوی آهن مانند هماتیت و گئوتایت را مشاهده کرد (Meysami, 2011). مقادیر فاکتور غنی‌شدگی فلزات سنگین خاک‌های منطقه مورد مطالعه در جدول ۵ نشان داده شده است. بالاترین

جدول ۵- مقادیر فاکتور غنی‌شدگی برای عناصر سنگین در خاک‌های مورد مطالعه

Table 5. The values of enrichment factor for heavy metals in the studied soils

Element	Enrichment factor	Factor classification
Cadmium	1.48	Very weak enrichment
Iron	4754.31	Very high enrichment
Nickel	15.43	Determinate enrichment
Lead	6.80	Determinate enrichment
Zinc	9.62	Determinate enrichment

تجزیه عاملی

استفاده شد که به منظور تعیین تعداد فاکتورها در روش ذکر شده از جدول درصد تجمعی واریانس (جدول ۶) و نمودار صخره‌ای استفاده شده است (شکل ۲).

تجزیه عاملی یا آنالیز فاکتوری روشی برای بررسی و مطالعه همزمان تغییرات متغیرهای مورد بررسی در یک نقطه و انعکاس نحوه تغییرات آن‌هاست. در پژوهش حاضر برای تعیین منشأ عناصر از تجزیه عاملی

جدول ۶- درصد واریانس مؤلفه‌های حاصل از روش تجزیه عاملی

Table 6. The percentage of variance components obtained from factor analysis

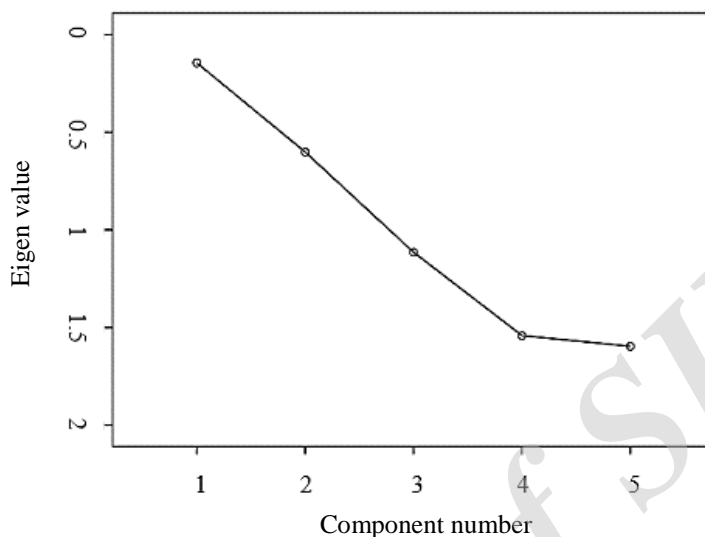
Component	Initial eigen values			Rotation sums of squared loading		
	Total	Variance %	Cultivate %	Total	Variance	Cultivate %
1	1.86	37.24	37.24	1.65	33.07	33.07
2	1.39	27.95	65.20	1.60	32.12	65.20
3	0.88	17.68	82.88			
4	0.45	9.17	92.05			
5	0.39	7.94	100.0			

محاسبه، و آنگاه مقادیر بزرگتر از یک استخراج و دوران داده شد. متغیر مقادیر ویژه، بیانگر مقدار واریانس محاسبه

در جدول فوق، درصد تجمعی واریانس، مقادیر ویژه، درصد واریانس و درصد تجمعی واریانس متناظر با عوامل

با توجه به جدول ۵ برای توجیه ۱۰۰ درصد تغییرپذیری این عناصر به ۵ مولفه نیاز است. اما تنها ۲ مولفه از این ۵ مولفه حدود ۶۵ درصد از این تغییرات را توجیه می‌نمایند که نشان دهنده کم اهمیت بودن ۳ مولفه دیگر است.

شده برای هر کدام از عامل‌ها و درصد واریانس، نشان‌دهنده مقدار تغییر پذیری محاسبه شده برای هر فاکتور است. با محاسبه مقدار ویژه این ماتریس، مقادیر بزرگتر از یک جدا و برای آن‌ها بردارهای ویژه محاسبه شد. در شکل ۲ نتایج مولفه‌های اصلی ۱ تا ۵ آورده شده است.



شکل ۲- نمودار صخره‌ای برای مولفه‌های حاصل از تجزیه عاملی

Figure 2. Scree plot for components from factor analysis

نتیجه تعبیر عوامل را با مشکل روبرو خواهد کرد (Abdi *et al.*, 2014).

از این رو روش‌هایی به وجود آمده است که بدون تغییر میزان اشتراک، سبب تعبیر ساده عوامل می‌شوند، این روش‌ها همان دوران عامل‌ها هستند. بنابراین مولفه‌های خام باید در تابع مشخصی چرخش داده شوند، تا بهترین واریانس نمونه به دست آید.

در بررسی‌های ژئوشیمیایی بیشتر از تابع چرخش وریمکس^۱ استفاده می‌شود (Abbaszadeh, 2013). با انتخاب تابع وریمکس، دورانی متعامد بر روی ضرایب عامل صورت می‌گیرد. با این دوران تغییرات مربعات عناصر ستونی، برآورد ضرایب عامل‌ها را بیشینه می‌کند. این روش مقادیری نسبتاً بزرگ (از نظر قدر مطلق) یا صفر به ستون‌های ماتریسی ضرایب عامل‌ها اختصاص می‌دهد. در نتیجه عواملی ایجاد می‌شود که یا به شدت به متغیرها وابسته‌اند یا مستقل از آن‌ها هستند، این امر سبب ساده‌تر

در نمودار صخره‌ای نیز مقادیر ویژه بر حسب اهمیت آن‌ها از بزرگترین به کوچکترین مقدار مرتب می‌شوند (شکل ۲). با توجه به این نمودار، جایی که مقادیر ویژه ثابت می‌ماند و دیگر تغییر نمی‌کنند را به‌عنوان نقطه انفصال در نظر می‌گیرند، در واقع برای تعیین تعداد فاکتورها با استفاده از نمودار صخره‌ای تعداد فاکتورهایی که مقادیر بردار ویژه آن‌ها بیشتر از یک است را در نظر می‌گیرند (Abbaszadeh *et al.*, 2016).

همان‌طور که در شکل (۲) نشان داده شده است، مولفه دوم به‌عنوان نقطه انفصال در نظر گرفته شد. از این رو با توجه به جدول درصد واریانس و نمودار صخره‌ای، تعداد دو فاکتور برای آنالیز در نمونه‌های خاک به‌دست آمده از منطقه مطالعاتی استفاده شد. پس از انتخاب مولفه‌ها، باید در نظر داشت که مولفه‌های خام (غیر چرخشی) نمی‌توانند همه تغییرپذیری‌های مورد نظر را نشان دهد، چون در بسیاری از موارد شماری از متغیرها به یک عامل ویژه یا حتی به شماری از عامل‌ها بستگی دارند و در

1 - Varimax

دارای ضریب چرخش بالای ۰/۸ و در فاکتور دوم عناصر آهن، نیکل و سرب دارای ضریب چرخش بالای ۰/۵ هستند. با توجه به مطالب ذکر شده دو عامل برگزیده شامل موارد زیر است:

عامل یک: شامل کادمیوم و روی است که این امر دلالت بر منشأ یکسان عناصر یاد شده دارد.

عامل دوم: شامل آهن، سرب و نیکل است. وجود عناصر ذکر شده در یک گروه دلالت بر رفتار ژئوشیمیایی یکسان عناصر دارد.

شدن تعبیر عامل‌ها خواهد شد. مؤلفه‌های چرخش یافته جدید که بدین ترتیب به دست می‌آید، مؤلفه‌های اصلی برای محاسبه امتیازات (Scores) می‌باشند. مؤلفه‌های خام و چرخش یافته به دست آمده از روش ذکر شده در جدول ۷ آورده شده است.

با استفاده از جدول عاملی مقادیر چرخش یافته، مقادیر ضریب چرخش یافته بالای ۰/۵، اساس انتخاب هر متغیر در هر عامل است. شایان ذکر است که اعداد مثبت رابطه وارونی با اعداد منفی خواهند داشت، همان‌طور که جدول ۶ نشان می‌دهد در فاکتور اول، دو عنصر روی و کادمیوم

جدول ۷- مؤلفه‌های اصلی و دوران یافته حاصل از تجزیه عامل

Table 7. The main and rotated components resulted from factor analysis

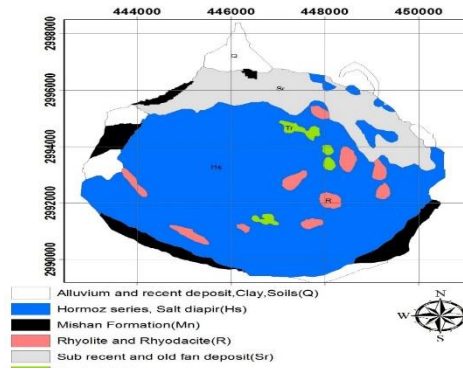
Elements	Rotated main components		Raw main components	
	First factor	Second factor	First factor	Second factor
Cadmium	0.873	0.136	0.739	-0.485
Iron	0.006	0.855	0.577	0.630
Nickel	-0.099	0.541	0.289	0.468
Lead	0.310	0.747	0.731	0.347
Zinc	0.886	-0.080	0.604	-0.653

گاه درون آن‌ها دیده می‌شوند (Sposito, 1983). سنگ-های آذرین یاد شده متنوع بوده و شامل بازالت، دولریت، ریولیت، کراتوفیر، تراکیت، ایگنمبریت، توف‌های اسید و کمتر اسپیلیت است (Harrison, 1930). از آنجایی که بعضی از کانی‌ها، مثل اسفالریت در سنگ‌های آذرین و متامورفیک و بعضی سنگ‌های رسوبی دیده می‌شود و این کانی خود از عناصر روی و کادمیوم تشکیل شده است، بنابراین می‌توان منشأ عناصر ذکر شده را به این کانی نسبت داد.

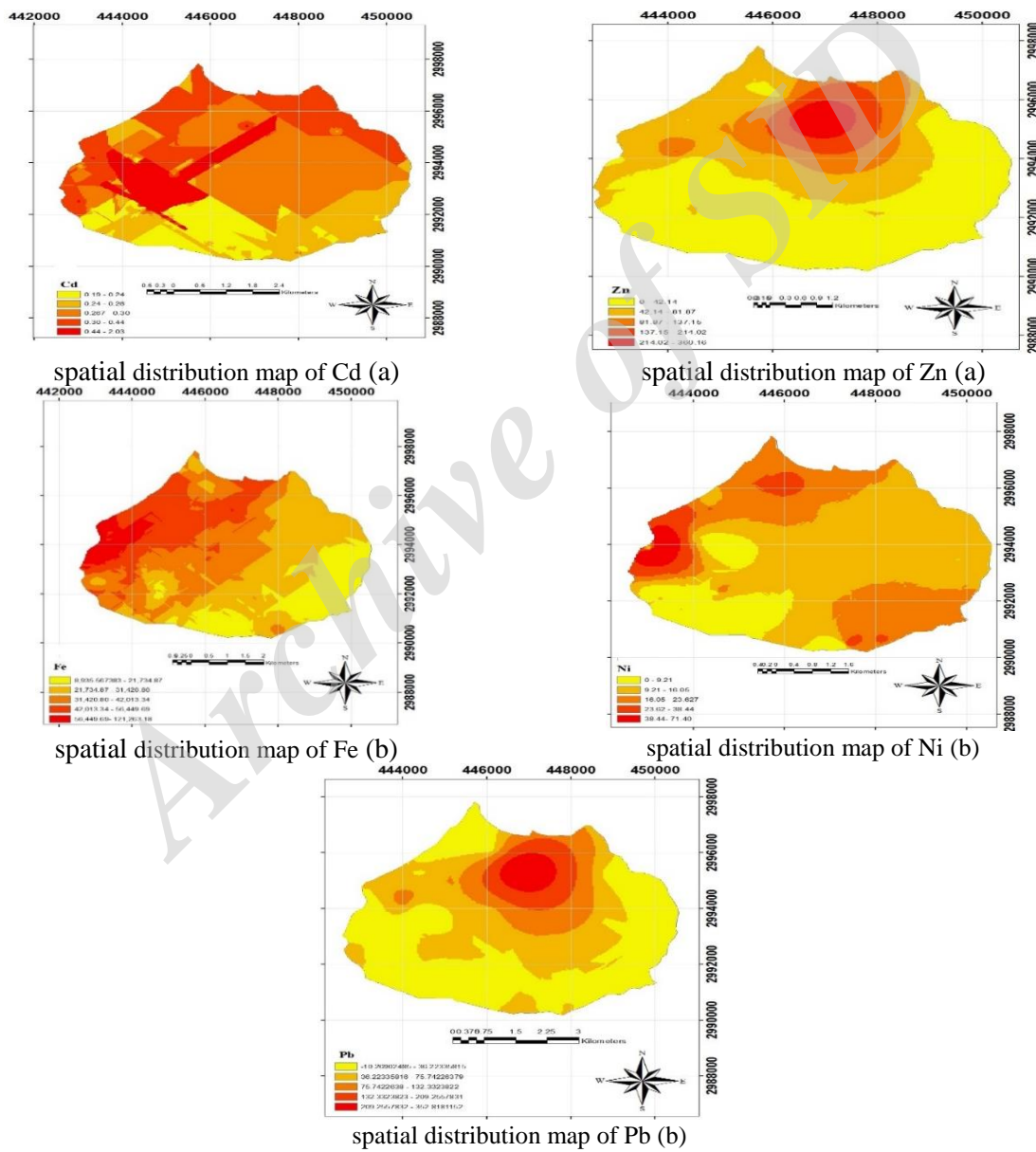
گروه دوم شامل عناصر آهن، نیکل و سرب می‌باشد، غلظت عناصر در بخش‌های شمالی و غربی جزیره نسبت به بخش-های شرقی بیش‌تر است. بر طبق نقشه زمین‌شناسی (شکل ۳)، این مناطق پوشیده از رسوبات تازه ته‌نشین شده، آلوویوم و کانی‌های رسی می‌باشد، آلوویوم حاوی کلسیت بوده که کلسیت خود دارای ناخالصی عنصر آهن است (Stocklin, 1972)، عناصر آهن، سرب و نیکل از جمله عناصر تشکیل دهنده کانی‌های رسی هستند (Stocklin, 1972)، که این امر نشان دهنده منشأ مشترک این عناصر است.

شکل ۳ زمین‌شناسی جزیره هرمز را نشان می‌دهد. با توجه به زمین‌شناسی منطقه، قسمت اعظم جزیره از گنبد‌های نمکی تشکیل شده است، که مجموع این گنبد‌ها تحت عنوان سری هرمز معرفی می‌شود (Rostami et al., 2014)، در حالی که قسمت‌های شمال جزیره از مخروط افکنه‌های قدیمی و رسوبات نهشته شده پوشیده شده است. نقشه پراکندگی عناصر گروه اول و دوم در شکل ۴ نشان داده شده است. گروه اول، شامل عناصر روی و کادمیوم است. بر طبق نقشه پهنه‌بندی عناصر، غلظت این عناصر در بخش‌های شمالی و غربی جزیره حداکثر است.

نقشه زمین‌شناسی این مناطق را پوشیده از رسوبات مخروط‌افکنه‌های قدیمی و همچنین گنبد‌های نمکی نشان می‌دهد، گنبد‌های نمکی که از سنگ‌های ماگمایی سازند هرمز از نوع ریولیت، داسیت و احیاناً تراکیت تشکیل شده است (Rostami et al., 2014). آنچه به عنوان سازند هرمز خوانده می‌شود، ته‌نشستی‌هایی به ضخامت ۱۵۰۰ متر شامل شیل‌های سرخ-قهوه‌ای، دولومیت، مقداری گچ و نمک و مقدار کمتر سنگ‌های آذرین هستند که با اندازه‌های مختلف روی گنبد نمکی و



شکل ۳- نقشه زمین شناسی جزیره هرمز (Rostami *et al.*, 2014)
 Figure 3. Geology map of Hormoz Island (Rostami *et al.*, 2014)

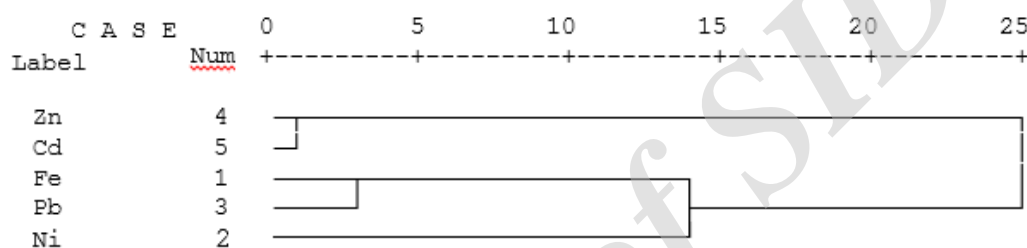


شکل ۴- نقشه پهنه بندی عناصر الف) گروه اول (ب) گروه دوم
 Figure 4. The spatial distribution maps. The first group (a), the second group (b)

آنالیز خوشه‌ای

که نشان‌دهنده رفتار ژئوشیمیایی و منشأ متفاوتی می‌باشد. عناصر سرب، نیکل و آهن در یک خوشه قرار گرفته‌اند، بنابراین این عناصر دارای منشأ یکسانی می‌باشند. منشا ذکر شده برای هر دو گروه منشا طبیعی بوده که ناشی از فرآیندهای زمین‌شناسی متفاوت (جنس سنگ مادری متفاوت، فرسایش مواد مادری و...) بوده است. نتایج به‌دست آمده از این روش کاملاً با نتایج روش تجزیه عاملی مطابقت دارد. به‌منظور تعیین عناصر با منشأ یکسان از آنالیز خوشه‌ای به روش وارد (Ward) استفاده شده است (Shayestehfar & Rasa, 2006).

آنالیز خوشه‌ای یک روش آماری چند متغیره است که در این مطالعه به‌منظور شناسایی منشأ عناصر استفاده شده است. درخت خوشه‌ای، گزینه‌های هم‌وزن را به هم متصل می‌کند تا خوشه‌های بزرگتر ایجاد شود و تشابهات بین نمونه‌ها را سنجش و ارزیابی نماید (Shayestehfar & Rasa, 2006). نتایج آنالیز خوشه‌ای در شکل ۵ نشان داده شده است. طبق آنالیز خوشه‌ای عناصر به دو گروه عمده تقسیم می‌شوند: گروه اول شامل عناصر روی و کادمیوم است و گروه دوم شامل آهن، سرب و نیکل است. روی و کادمیوم در خوشه متفاوتی نسبت به آهن، سرب و نیکل قرار گرفته‌اند



شکل ۵- دندروگرام آنالیز خوشه‌ای عناصر سنگین در منطقه مورد مطالعه
Figure 5. Dendrogram of heavy metals cluster analysis in the study area

نتیجه‌گیری کلی

توزیع فلزات سنگین در خاک‌های منطقه مورد مطالعاتی وجود دارد. همچنین آنالیز فاکتوری عناصر را در دو گروه با منشأ متفاوت از لحاظ زمین‌شناسی قرار داد. عناصر آهن، نیکل و سرب در گروه اول و کادمیوم و روی در گروه دوم قرار گرفتند. که این امر نشان‌دهنده منشأ و رفتار ژئوشیمیایی متفاوت عناصر روی و کادمیوم نسبت به عناصر آهن، نیکل و سرب است. نتایج حاصل از آنالیز خوشه‌ای و ضریب همبستگی، نتایج تجزیه عاملی را تأیید می‌کند.

در پژوهش حاضر به‌منظور ارزیابی وضعیت عناصر سنگین در سطح جزیره هرمز، از شاخص‌های زمین‌انباشتگی و فاکتور غنی‌شدگی استفاده شد. نتایج بر اساس شاخص زمین‌انباشتگی و فاکتور غنی‌شدگی نشان از آلودگی منطقه با عناصر آهن و نیکل داشت. در مورد عناصر فوق، نقش فرآیندهای طبیعی به خوبی روشن است. به‌منظور بررسی منشأ احتمالی عناصر سنگین در جزیره هرمز از آنالیزهای چندمتغیره استفاده شد. نتایج حاصل از آنالیز چند متغیره (آنالیز خوشه‌ای، تجزیه عاملی) بر روی خاک‌های جزیره نشان داد که امکان بررسی منشأهای احتمالی

Reference

- Abbaszadeh S., Rahimpour G.H., and Najmadin M. 2013. Identify areas porphyry copper mineralization using combination of univariate and multivariate method on stream geochemical data in Ghale-Askar area, Kerman. *Analytical and Numerical Methods in Mining Engineering*, 6: 69-82.
- Abbaszadeh S., Ansari A., and Rahimpour G.H. 2016. Determination of Cu porphyry hydrothermal alterations using multivariate analysis methods on lithochemical data in Hararan area, Kerman Province. *Analytical and Numerical Methods in Mining Engineering*, 5(10): 15-26. (In Persian)

- Abdi M., Karimpour M.H., and Zarinkoob M.H. 2014. The interpretation of factor analysis results of stream sediment geochemical data by utilization of geological, alteration and mineralization data in Kooch-Shah, Birjand, South Khorasan. *Scientific Quarterly Journal*, 23(92): 23-38. (In Persian)
- Boruvka L., Vacek O., and Jehlicka J. 2005. Principal component analysis as a tool to indicative the origin of potentially toxic elements in soils. *Geoderma*, 128: 289-300.
- Delavar M.A., and Safari Y. 2015. Source identification of heavy metals in soils surrounding the Zanjan zinc town by multivariate statistical techniques. *Journal of Water and Soil*, 29(3): 627-637. (In Persian)
- Dragovic S., Mihailovic N., and Gajic B. 2008. Heavy metals in soils, distribution relationship with soil characteristics and radionuclide and multivariate assessment contamination sources. *Chemosphere*, 72: 491-495.
- Harrison J.V. 1930. The geology of some salt plugs in Laritsan (South Persia). *Quarterly Journal of Geological Society*, 86: 465-522.
- Kabata-Pendias A., Pendias H. 2001. Trace Elements in Soils and Plants. CRC Press LLC, London, 408p.
- Khorasanipour M., and Aftabi A. 2010. Environmental geochemistry of toxic heavy metals in soils around sarcheshmeh porphyry copper mine smelter plant, Rafsanjan, Kerman, Iran. *Environmental Earth Science*, 62: 449-465.
- Meza-Montenegro M., Gandolfi A., Santana-Alcanter A.J., Klimecki M.E., Aguilar-Apodaca W.T., Rio-Salas M.G., O-Villanueva R.D., Gomez-Alvarez M.D.L., Mendivil-Quijada A.H., Valencia H., and Meza-Figueroa D. 2012. Metals in residential soils and cumulative risk assessment in Yaqui and Mayo agricultural valleys, northern Mexico. *Science of the Total Environment*, 1(433): 472-481.
- Meysami A. 2011. Look at the position of geology and mineral deposits of the island of Hormuz in the Persian Gulf. In: *2nd Congress of Geo-Science, Islamic Azad University, Ashtiyan Unit*, 625-631.
- Loska K., Wiechula D., and Korus I. 2004. Metal contamination of farming soils affected by industry. *Environment International*, 30: 159-165.
- Moller G. 1969. Index of geo-accumulation in sediments of the Rhine River. *Geology*, 2: 109-118.
- Rostami A., Bazamad M., Hajalilo B., and Moazen M. 2014. Survey of geochemical behavior of REE in apatite of the Hormoz Island. *Economic Geology*, 1(6): 71-85.
- Sabzghabaei G.H., Bazmara M., Jafariazar S., and Jafarzadeh K. 2014. Environmental damage caused by heavy metals in agricultural soils. In: *The First Congress of the International New Finding in Agriculture Science, Natural Resources and Environment*, pp. 116-125.
- Saket A., Rezaei P., and Fahimi N. 2007. Geotourism attractions of hormoz island as an earthly paradise of Iran. In: *The First Congress of Geotourism and Geopark. Qeshm Island*, 216-220.
- Shayestehfar M.R., and Rezaei A. 2011. Elevate of pollution and distribution of heavy metals using geochemical data and statistical analysis in sediment of Sarcheshmeh copper mine. *Mining Engineering*, 6(11): 25-34.
- Shayestehfar M.R., and Rasa I. 2006. Multivariate data analysis of Qanat Marvan lead-zinc deposit, Kerman. *Scientific Research Quarterly Journal of Geoscience*, 57: 134-145. (In Persian)
- Sposito G. 1983. The Chemical Form of Trace Elements in Soils. In *Applied Environmental Geochemistry*, Academic Press, London, pp. 123-170.
- Statistical year book of Hormozgan Province. 2012. <http://stat.roostanet.com/list.phpid=101>
- Stocklin J. 1972. Iran central, septentrional et oriental En collaboration avec les geologues du Service Geologique de l'Iran. *Lexique Stratigraphique International*, 3(1): 1-376.
- Vald'es J., Vargas G., Sifeddine M., Ortlieb L., and Guinez M. 2005. Distribution and enrichment evaluation of heavy metals in Mejillones Bay (23°S), Northern Chile: geochemical and statistical approach. *Marine Pollution Bulletin*, 50(12): 1558- 1568.
- Wilding L.P. 1985. Spatial variability: its documentation accommodation and implication to soil surveys. In: Nielsen D.R. and Bouma J. *Soil Spatial Variability*. Wageningen, Netherlands, pp. 166-194.
- Yongming H., Peixuan D., Junji C., and Posmentier E.S. 2006. Multivariate analysis of heavy metal contamination in urban dusts of Xi'an, Central China. *Science of the Total Environment*, 355:176-186.
- Zhang W. 2009. Heavy metal contamination in surface sediments of Yangtze River intertidal zone: An assessment from different indexes. *Environmental Pollution*, 1: 1-11.

Investigating the Source of Some Heavy Metals Using Cluster and Factor Analysis Techniques in Soils of Hormoz Island

Fatemeh Abbaszadeh¹, Vahidreza Jalali^{2*}, Azam Jafari³

(Received: April 2016 Accepted: March 2017)

Abstract

Hormoz Island is a tourism resource with natural features and virgin landscapes which were exposed to damages caused by human activities. In this study, 58 surface samples were collected from the study area and total concentration of Fe, Zn, Pb, Cd and Ni were measured by using four acid digestion procedure and inductively coupled plasma instrument (ICP-OES). Cluster analysis and factor analysis were applied to identify the possible sources of the heavy metals in soils of Hormoz Island and for determination of pollution area, geoaccumulation index (I_{geo}) and enrichment factor (CF) were used. Fe element was identified as the most polluted element based on the values of I_{geo} , and CF showed the high enrichment level of this element. The obtained results from the factor analysis showed that there are a positive and strong relation between elemental group of “Fe, Ni and Pb” and elemental group of “Zn and Cd”. Therefore, these two elemental groups have the different origin and because of the absence of industrial pollution in the study area, this difference is probably due to different geological structure. Also, based on cluster analysis, elements of Zn and Cd were categorized in one group and Fe, Ni and Pb elements in another group. These findings confirm the results of the factor analysis and represent the same origin and the same geochemical behavior of elements in each group.

Keywords: Enrichment factor, Geoaccumulation index, Heavy metals

1- MSc Student, Department of Soil Science, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran

2- Assistant Professor, Department of Soil Science, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran

3- Assistant Professor, Department of Soil Science, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran

* Corresponding Author Email: V.Jalali@uk.ac.ir