

## مدل سازی ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه‌ای به روش "حوضه آبریز نمونه"

احمدرضا مختاری<sup>۱\*</sup>، مهدی عبدالملکی<sup>۲</sup>، سمیه اکبر<sup>۳</sup>

- ۱- استادیار دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی اصفهان، ar.mokhtari@cc.iut.ac.ir  
۲- دانشجوی دکتری مهندسی اکتشاف معدن، دانشگاه صنعتی اصفهان، m.abdolmaleki@mi.iut.ac.ir  
۳- دانشجوی دکتری مهندسی اکتشاف معدن، دانشگاه صنعتی اصفهان، somaieh.akbar@mi.iut.ac.ir

(دریافت ۲۷ اسفند ۱۳۹۰، پذیرش ۲۶ آذر ۱۳۹۱)

### چکیده

مدل سازی ژئوشیمیایی به روش حوضه آبریز نمونه بر روی داده های حاصل از رسوبات آبراهه ای در بخش مرکزی بریتیش کلمبیا، در طول جغرافیایی حدود<sup>۰</sup>۱۲۴ تا<sup>۰</sup>۳۰ ۱۲۴ درجه غربی و در عرض جغرافیایی<sup>۰</sup>۳۰ تا<sup>۰</sup>۵۲ شمالی انجام شده است. در منطقه مورد مطالعه ۵۴ نمونه از رسوبات آبراهه ای در مساحتی حدود ۵۶۰ کیلومتر مربع برداشت شده و تحت آنالیز ۳۴ عنصری قرار گرفته است. مدلسازی حوضه‌های آبریز با توجه به مدل ارتفاع رقومی (DEM) و موقعیت مکانی نمونه‌ها تهیه شده و نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه در سیستم UTM رقومی شده است. غلظت تک عنصری زمینه ناشی از لیتولوژی برای هر حوضه آبریز نمونه، از روش محاسبه میانگین وزن دار تخمین زده شده و سپس غلظت باقیمانده برای هر حوضه آبریز محاسبه شده است. سپس مقادیر مثبت باقیمانده تحت تصحیح اثر رقیق شدگی غلظت‌ها قرار گرفته‌اند. انواع معین ذخایر معدنی بوسیله ارتباط چند عنصر با هم مشخص می‌شوند بنابراین بررسی روابط بین غلظت‌های تک عنصری تصحیح شده، حضور کانی سازی در منطقه را دقیق تر منعکس می‌کند. برای بررسی کانی‌سازی طلا روش چند متغیره پردازش مؤلفه‌های اصلی در چهار حالت بر روی داده های تصحیح شده اعمال شده است. منطقه ای که در تمامی نقشه ها مشترک و برجسته است، محدوده معدنی Baez است که وجود کانی‌سازی طلای نوع اپی ترمال سولفیداسیون پایین در آن اثبات شده که تأییدی بر الگوریتم مدل سازی انجام گرفته در این پژوهش است.

### کلمات کلیدی

رسوبات آبراهه‌ای، مدل سازی ژئوشیمیایی، حوضه آبریز نمونه، اثر رقیق شدگی، بریتیش کلمبیا

## ۱- مقدمه

شیمیایی در طول حوضه آبریز مورد بررسی قرار گرفته و روابط مرتبط با آن تعیین شده است [۳]. رابطه زیر جهت ارتباط غلظت تک عنصری نمونه برداشت شده در هر حوضه با آنومالی فرضی و مقدار زمینه در آن حوضه ارائه شده است:

$$Y_i A_i = Y_a A_a + Y'_i (A_i - A_a) \quad (1)$$

در این فرمول  $Y_i$  غلظت تک عنصری نمونه برای هر حوضه آبریز،  $A_i$  مساحت هر حوضه آبریز،  $Y_a$  غلظت آنومالی فرضی موجود در حوضه آبریز،  $A_a$  مساحت آنومالی فرضی و  $Y'_i$  مقدار غلظت تک عنصری زمینه مربوط به مساحت  $(A_i - A_a)$  می باشد. طبق این فرمول اگر حوضه آبریز فقط دارای مقدار زمینه باشد آنگاه  $Y_i$  با  $Y'_i$  برابر خواهد بود. و اگر حوضه آبریز شامل یک منبع آنومالی باشد آنگاه  $Y_i$  از  $Y'_i$  بزرگتر خواهد بود [۴].

در اکتشاف ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه ای، جهت شناسایی آنومالی موجود در هر حوضه فرمول (۱) بصورت زیر تغییر خواهد کرد:

$$Y_a A_a = A_i (Y_i - Y'_i) + Y'_i A_a \quad (2)$$

در این فرمول عبارت  $Y_a A_a$  نسبت آنومالی را بیان می کند و عبارت  $A_i (Y_i - Y'_i)$ ، معادل قدرت تولید حوضه آبریز می باشد. با استفاده از روش پردازش حوضه آبریز می توان: الف) غلظت تک عنصری زمینه ناحیه ای ناشی از لیتولوژی را تخمین زد و ب) باقیمانده غلظت تک عنصری در پایین دست آبراهه را بر اثر رقیق شدگی تصحیح کرد.

برای تخمین غلظت تک عنصری زمینه ناشی از لیتولوژی برای هر نمونه حوضه آبریز، از روش محاسبه میانگین وزن دار بصورت زیر استفاده می شود:

$$M_j = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i X_{ij}}{\sum_{i=1}^n X_{ij}} \quad (3)$$

که  $M_j$  میانگین غلظت وزن دار لایه لیتولوژی  $j$ ام (  $j=1, 2, \dots, m$  ) و  $X_{ij}$  مساحت واحد لیتولوژی  $j$ ام در حوضه آبریز  $i$ ام (  $i=1, 2, \dots, n$  ) است [۱]. سپس غلظت تک عنصری زمینه محلی ناشی از واحد لیتولوژی  $j$ ام در نمونه  $i$ ام می تواند به صورت زیر تخمین زده شود:

$$Y'_i = \sum_{j=1}^m M_j X_{ij} / \sum_{j=1}^m X_{ij} \quad (4)$$

در فرمول (۲) برای  $A_i$  بسیار بزرگتر از  $A_a$  عبارت  $Y'_i A_a$  را می توان در نظر نگرفتو در صورتی که فرض شود منابع آنومالی مساحت خیلی کوچکی در حدود  $0.1 \text{ km}^2$  اشغال می کنند داریم:

تجربیات گذشته در کشورهای مختلف و در شرایط آب و هوایی گوناگون دلالت بر آن دارد که رسوبات آبراهه ای (عموماً جزء ۸۰- مش) می تواند در اکتشافات مقیاس ناحیه ای بسیار مفید واقع شود. نتایج حاصل از این نوع بررسی های اکتشافی می تواند در تحلیل ایالات ژئوشیمیایی و شناخت الگوهای ژئوشیمیایی ناحیه ای و همچنین نواحی ای که در آن ها احتمال کشف نهشته های کانساری بیشتر می باشد، بسیار مؤثر واقع شود. بدیهی است که اهداف اکتشافی این نوع بررسی ها با اهدافی نظیر تشخیص الگوهای ناحیه ای برای توزیع عناصر، متفاوت است و بدین جهت باید برای نیل به هر منظوری، از روش متناسب با آن استفاده کرد. رسوبات آبراهه ای در هر نقطه در طول سیستم آبریز، ترکیبی از مواد حاصل از هوازدگی و فرسایش منابع بالادست خود را نشان می دهند. در اغلب نمونه ها، سهم مهمی از تغییرات در غلظت های تک عنصری رسوبات آبراهه ای، ناشی از واحد های لیتولوژی بالادست نقاط نمونه برداری است.

حوضه آبریز برای هر نقطه نمونه برداری شامل منطقه ای است که روی آن نقطه تاثیر می گذارد [۱]. زمین شناسی هر حوضه آبریز می تواند برای ارزیابی زمینه ژئوشیمیایی استفاده شود و دیگر مشخصات حوضه (مساحت، ارتفاع، شیب و غیره) میتواند بصورت کمی در مدل تغییرات ژئوشیمیایی اعمال شود [۲،۳] در این تحقیق هدف مدلسازی حوضه آبریز در بخشی از صفحه مرکزی بریتیش کلمبیا (کانادا) و پردازش نمونه های آبراهه ای بر اساس آن است.

## ۲- مبانی مدل سازی ژئوشیمیایی حوضه آبریز

مدل سازی پیشگو شامل پردازش کمی مشخصات یا محاسبات یک سیستم واقعی پیچیده، بر اساس روابط داخلی میان متغیرهای پیش بینی کننده - مرتبط با الگوهای متغیر هدف - و همچنین روابط بین هدف و متغیرهای پیش بینی کننده است [۱].

برای مدل سازی حوضه آبریز برای نمونه های آبراهه ای، فاکتورهای مؤثر باید تا حد امکان مورد توجه و پردازش قرار گیرند.

زمین شناسی هر حوضه آبریز می تواند برای ارزیابی میزان زمینه ژئوشیمیایی استفاده شود به طوریکه غلظت های معین رسوبات آبراهه ای ارتباط مثبت با مساحت واحدهای لیتولوژیکی در یک حوضه آبریز و ارتباط منفی با مساحت کل یک حوضه آبریز دارد. همچنین اثر رقیق شدگی غلظت های

سنگین (جزء ۲۰- مش) مورد آزمایش قرار گیرد. بطور کلی چگالی نمونه برداری از رسوبات آبراهه‌ای، تابع چگالی آبراهه‌ها در حوضه آبریز است. در منطقه مورد مطالعه ۵۴ نمونه از رسوبات آبراهه‌ای ۸۰- مش، در مساحتی حدود ۵۶۰ کیلومتر مربع برداشت شده و تحت آنالیز ۳۴ عنصری قرار گرفته اند (Mo, Cu, Pb, Zn, Ag, Ni, Co, Mn, Fe, As, U, Au, Th, Sr, Cd, Sb, Bi, V, Ca, P, La, Cr, Mg, Ba, Ti, Al, Na, K, Sc, Tl, S, Hg, Se, Ga). روش اندازه گیری برای همه عناصر روش ICP-MS بوده است. جهت آنالیز، ۰.۵ گرم از نمونه برداشت شده با ۳ میلی لیتر ترکیب HCl و HNO<sub>3</sub> و آب دیونیزه خالص در دمای ۹۵ درجه سانتیگراد به مدت ۱ ساعت مورد لیچینگ قرار گرفته و سپس توسط دستگاه ICP-MS آنالیز شده است [۶]. مشخصات آماری عناصر در جدول ۱ ارائه شده و نمودار جعبه ایبری از عناصر در شکل ۱ ترسیم گردیده است. همانگونه که مشاهده می شود، ماکزیمم غلظت طلا در منطقه، ۴.۱ppb بدست آمده است که غلظت پایینی نسبت به حدآستانه آنومالی طلا در آبراهه ها می باشد. با توجه به وزن کم نمونه انتخابی برای آنالیز (نظر به اینکه در این وزن کم، توزیع طلا چوله بوده و تمایل بیشتر به غلظتهای پایین می باشد)، همچنین نظر به وجود عوامل مختلف که در غلظت عناصر در نمونه های آبراهه ای موثرند (مانند اثر رقیق شدگی) این موضوع قابل توجیه است. بنابراین انتخاب روش پردازش و تفسیر مناسب داده ها جهت بررسی کانی سازی طلا در آبراهه ها امری بسیار مهم می باشد که در این تحقیق به این موضوع پرداخته شده است.

برای انجام مطالعه حاضر، نقشه زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ منطقه در سیستم UTM رقومی شده و مدل ارتفاعی رقومی منطقه در مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ تهیه شده است [۸]. سپس مدل حوضه های آبریز بر اساس مدل ارتفاع رقومی و موقعیت مکانی نمونه های آبراهه‌ای در محیط GIS طراحی شده است [۹]. هر حوضه آبریز متناظر با منطقه بالادست یک نقطه نمونه برداری است که تا نقطه نمونه برداری بالایی ادامه می یابد (شکل ۳).

مقادیر محاسبه شده  $M_j$  برای برخی عناصر در جدول (۲) ارائه شده است. برای برخی عناصر مانند Cu و Hg تفاوت زیادی بین مقدار میانگین لایه‌های مختلف لیتولوژی مشاهده می شود. همچنین با توجه به جدول (۲) می توان استنباط کرد که مثلا بیشترین مقدار زمینه برای عنصر Au مربوط به

$$Y_a = 100 * A_i(Y_i - Y_i')$$

به این ترتیب برای هر نمونه آبراهه ای، غلظت های تصحیح شده نسبت به مقادیر زمینه و رقیق شدگی حاصل می شود. بدیهی است که با محاسبه غلظت های باقیمانده برای هر حوضه آبریز ( $Y_i - Y_i'$ )، حاصل مقادیر مثبت یا منفی خواهد شد که مقادیر مثبت جهت تصحیح رقیق شدگی غلظت ها، مورد استفاده قرار می گیرد و مقادیر منفی آن می تواند نشاندهنده تهی شدگی حوضه آبریز از عنصر مربوطه باشد [۵].

### ۳- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در بخش مرکزی بریتیش کلمبیا، در طولهای جغرافیایی حدود ۱۲۴° تا ۳۰' ۱۲۴° درجه غربی و در عرض جغرافیایی ۵۲° ۳۰' تا ۵۲° ۵۰' واقع شده است (شکل ۲). سنگ های گروه Takla در منطقه متعلق به دوره تریاسی بالایی تا ژوراسیک پایینی می باشد و شامل آندزیت و جریانات بازالت، توف ها، برش و سنگ های کلاستیک مرتبط می باشد. این سکناس بوسیله سنگ های کرتاسه بالایی، پالئوسن، ائوسن و احتمالاً الیگوسن گروه Ootsa Lake پوشانده می شود که متشکل از ریولیت تا داسیتیک توف، جریانات و برش های با مقادیر کم آندزیت، بازالت، کنگلومرا و شیل توفی می باشد. یک سکناس از سنگ های ولکانیکی آندزیت، داسیت و ریولیت های ائوسن تا میوسن متعلق به گروه Endako و همچنین جریانات بازالت و آندزیت پلیوسن تا پلیستوسن گروه Chilcotin، سنگ های گروه Ootsa را می پوشانند [۶].

محدوده امیدبخش با نام Baez در منطقه مورد مطالعه دیگر محدوده Clisbako در مرز شرقی آن، به عنوان مناطق حاوی کانی سازی طلای اپی ترمال شناسایی شده است [۷]. همچنین محدوده های شرق و غرب رودخانه Chilcotin در جنوب منطقه مورد مطالعه به عنوان مناطق امیدبخش کانی سازیمس مورد بررسی قرار گرفته اند. با توجه به مطالعات اکتشافی انجام شده و پتانسیل کانی سازی موجود در منطقه، در این تحقیق مدل سازی ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه‌ای برای معرفی حوضه های امیدبخش کانی سازی طلا مورد بررسی قرار می گیرد (شکل ۲).

### ۴- مواد و روش تحقیق

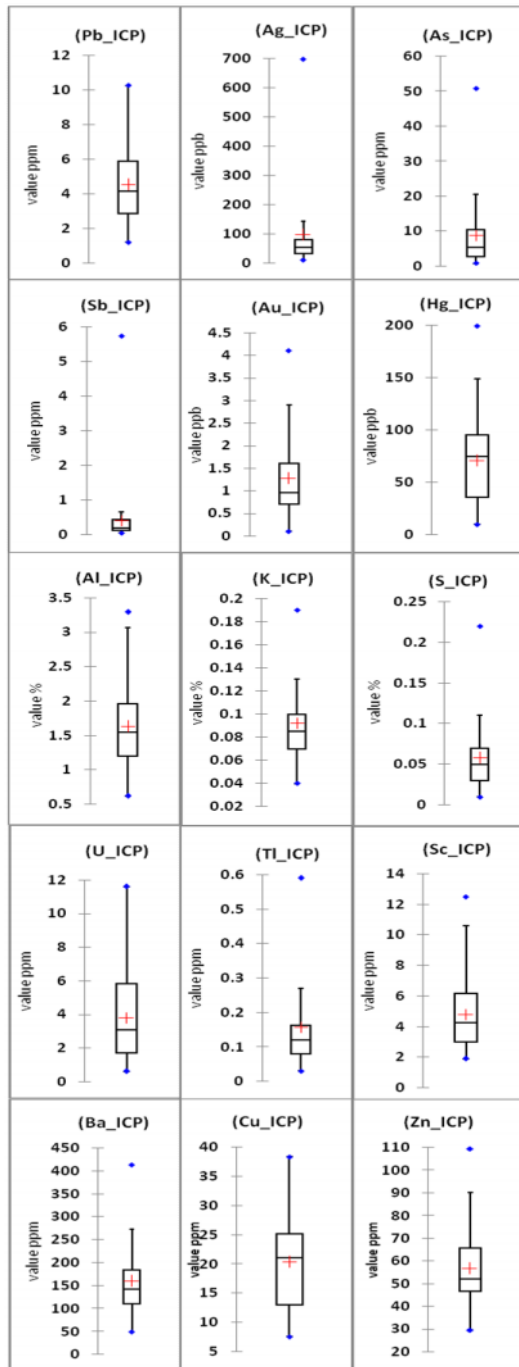
به منظور تشخیص آنومالیهای واقعی مرتبط با ذخایر معدنی از سایر انواع، در هر ناحیه‌ای لازم است تا جزء ثابتی از رسوبات آبراهه‌ای (برای مثال جزء ۸۰- مش) و یا کانی

است. بنابراین بسته به این که حوضه های مختلف با چه گروه های لیتولوژی و به چه نسبتی پوشش داده شده باشند، مقادیر زمینه متفاوتی برای یک عنصر مشخص خواهند داشت. جهت تشخیص حوضه های آبریز هدف برای کانی سازی طلا، لازم است داده های تصحیح شده مورد مطالعه بیشتر قرار گیرند.

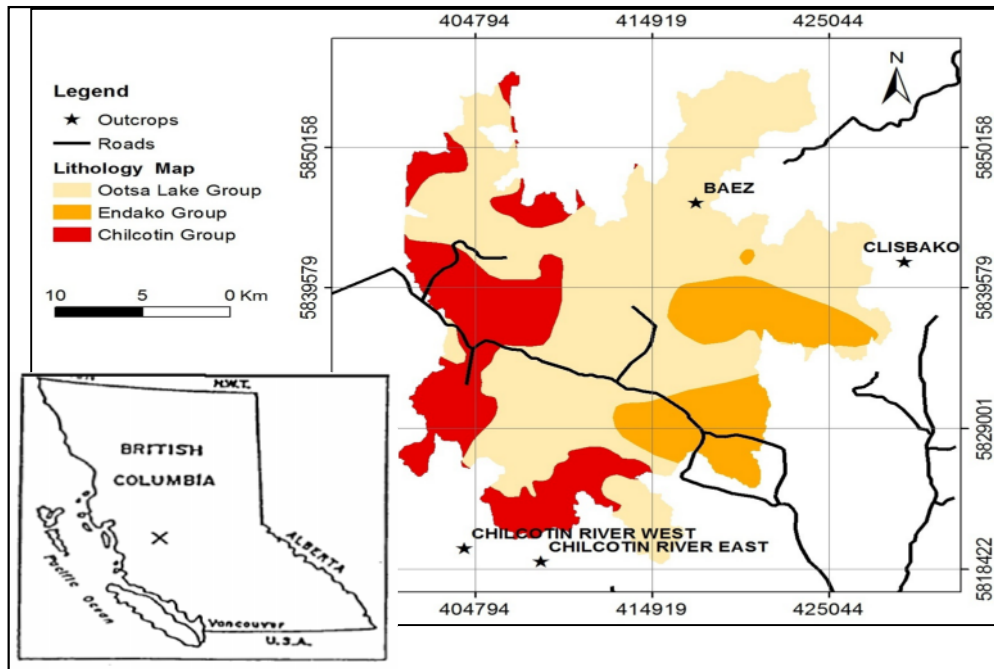
جدول ۱: مشخصات آماری عناصر مورد آنالیز منطقه مورد مطالعه

Elements	Min	Max	Mean	Std. Dev.	Skew
Mo(ppm)	۰,۱۸	۲,۹۶	۰,۷۴	۰,۴۳	۲,۶۶
Cu(ppm)	۷,۵۴	۳۸,۳۶	۲۰,۳۴	۸,۱۵	۰,۴۸
Pb(ppm)	۱,۲۱	۱۰,۲۵	۴,۵۲	۲,۱۱	۰,۷۷
Zn(ppm)	۲۹,۵	۱۰۹,۴	۵۶,۵۵	۱۶,۴۰	۱,۲۹
Ag(ppb)	۱۱,۰	۶۹۸,۰	۹۶,۶۱	۱۳۴,۰۳	۳,۰۶
Ni(ppm)	۱۱,۱	۵۵,۸۰	۲۴,۱۶	۹,۴۳	۱,۳۶
Co(ppm)	۳,۳۰	۵۶,۹۰	۱۳,۱۹	۸,۰۵	۳,۱۹
Mn(ppm)	۸۹,۰	۱۹۰,۵۳	۱۴۲,۳	۲۶۷۳,۴	۵,۶۹
Fe(%)	۱,۳۲	۱۱,۳۶	۳,۱۰	۱,۶۵	۲,۹۵
As(ppm)	۰,۸۰	۵۰,۸۰	۸,۷۹	۹,۷۵	۲,۵۱
U(ppm)	۰,۶۰	۱۱,۶۰	۳,۷۹	۲,۶۲	۰,۹۷
Au(ppb)	۰,۱۰	۴,۱۰	۱,۲۷	۰,۹۰	۱,۳۹
Th (ppm)	۰,۳۰	۶,۰۰	۲,۵۴	۱,۰۲	۰,۹۹
Sr (ppm)	۲۴,۴	۱۰۶,۸	۵۸,۱۶	۱۸,۸۹	۰,۳۷
Cd(ppm)	۰,۰۳	۰,۱۹	۰,۱۰	۰,۰۴	۰,۴۶
Sb(ppm)	۰,۰۶	۵,۷۳	۰,۴۱	۰,۷۸	۵,۹۹
Bi (ppm)	۰,۰۲	۰,۲۰	۰,۰۷	۰,۰۴	۰,۹۹
V (ppm)	۲۷,۰	۱۲۲,۰۰	۵۳,۳۹	۱۶,۷۷	۱,۲۹
Ca (%)	۰,۲۱	۱,۳۹	۰,۶۱	۰,۲۲	۱,۰۲
P (%)	۰,۰۵	۰,۹۹	۰,۱۵	۰,۲۱	۳,۶۹
La (ppm)	۴,۷۰	۵۳,۸۰	۲۲,۰۴	۱۰,۳۹	۱,۱۹
Cr (ppm)	۱۵,۲	۵۰,۰۰	۳۰,۴۶	۷,۰۰	۰,۴۸
Mg (%)	۰,۱۴	۰,۶۸	۰,۳۶	۰,۱۲	۰,۶۲
Ba (ppm)	۴۸,۸	۴۱۲,۹۰	۱۵۹,۰۵	۷۵,۴۰	۱,۶۵
Ti (%)	۰,۰۳	۰,۹۸	۰,۱۵	۰,۱۳	۴,۸۲
Al(%)	۰,۶۲	۳,۲۹	۱,۶۳	۰,۶۲	۰,۷۵
Na (%)	۰,۰۱	۰,۰۶	۰,۰۲	۰,۰۱	۱,۴۲
K (%)	۰,۰۴	۰,۱۹	۰,۰۹	۰,۰۳	۱,۰۹
Sc (ppm)	۱,۹۰	۱۲,۵۰	۴,۸۱	۲,۲۱	۱,۳۳
Tl (ppm)	۰,۰۳	۰,۵۹	۰,۱۶	۰,۱۲	۱,۸۵
S (%)	۰,۰۱	۰,۲۲	۰,۰۶	۰,۰۴	۱,۷۰
Hg (ppb)	۱۰,۰	۱۹۹,۰۰	۷۰,۵۷	۴۱,۲۶	۰,۶۰
Se (ppm)	۰,۱۰	۱,۲۰	۰,۳۳	۰,۲۲	۲,۱۲
Ga (ppm)	۲,۰۰	۸,۵۰	۴,۹۵	۱,۳۹	۰,۵۶

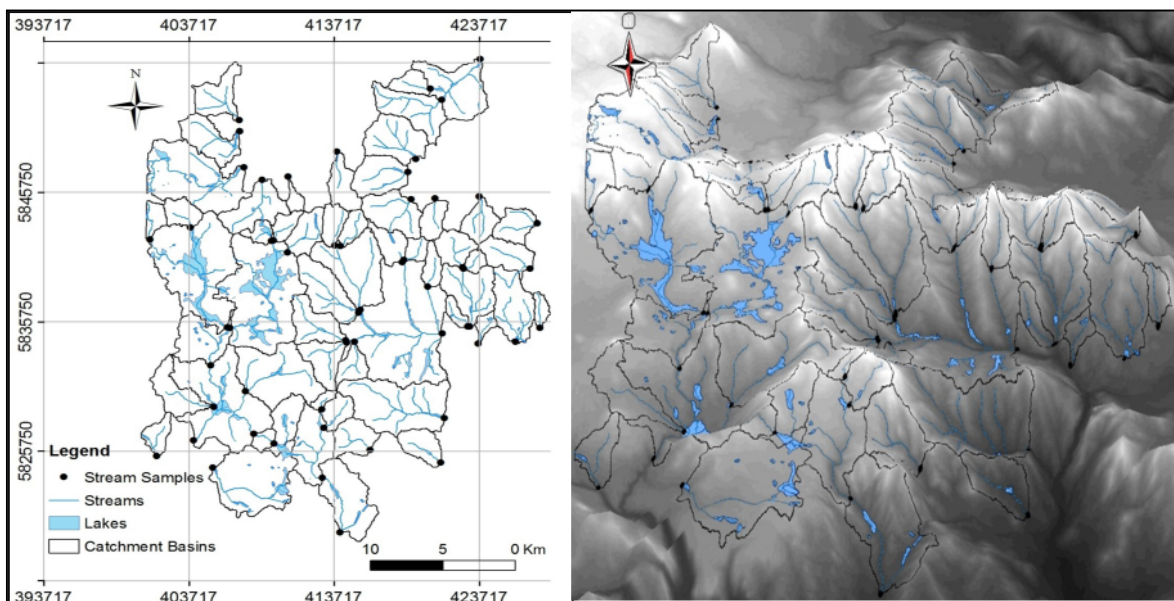
گروه Oosta و برای عنصر Cu مربوط به گروه Endako



شکل ۱: نمودار Box Plot برای برخی عناصر



شکل ۲: موقعیت و نقشه لیتولوژی منطقه مورد مطالعه در ایالت بریتیش کلمبیا (کانادا)



شکل ۳: مدل حوضه‌های آبریز با توجه به نمونه‌های آبراهه‌ای و مدل توپوگرافی منطقه

جدول ۲: مقادیر محاسبه شده برای برخی عناصر

	Mo	Cu	Pb	Zn	Ag	Au	S	Hg
Unit	ppm	ppm	ppm	ppm	ppb	ppb	%	ppb
Endako Group	۰,۴۱۴	۲۱,۸۸۲	۴,۵۲۷	۶۰,۹۴	۵۱,۵۴۱	۰,۸۷۱	۰,۰۳۱	۳۴,۲۷۸
Ootsa Lake Group	۰,۶۳۳	۱۶,۶۵۶	۳,۷۶۹	۵۵,۲۱۴	۵۲,۴۱۶	۱,۰۰۷	۰,۰۳۹	۵۰,۱۱۳
Chilcotin Group	۰,۷۰۵	۱۰,۶۳	۲,۵۱۵	۷۳,۲۴	۲۵,۳۵۳	۰,۷۳۸	۰,۰۵۲	۳۳,۸۸۵

مدلسازی آنومالی های تک عنصری برای پردازش عناصر ردیاب خاص برای انواع معینی از کانی سازی مفید است، اما انواع معین ذخایر معدنی بوسیله ارتباط چند عنصر با هم مشخص می‌شوند. بررسی روابط بین غلظت های تک عنصری تصحیح شده، حضور کانی‌سازی در منطقه مورد مطالعه را منعکس می‌کند. کانی‌سازی موجود در منطقه (Baez) به عنوان کانی سازی طلای اپی ترمال سولفیداسیون پایین شناخته شده است و براساس مدل های ارائه شده، عناصر Au, Ag, Hg, As, Sb به عنوان ردیاب این نوع کانی‌سازی می‌باشند [۱۰]. همچنین بررسی روابط بین عناصرها به کمک ضرایب ماتریس همبستگی امکان پذیر است.

روش های پردازش چند متغیره مختلفی قابل استفاده است که در اینجا از روش پردازش مؤلفه های اصلی PCA استفاده می‌شود. این روش یکی از ساده‌ترین روش‌های آنالیز چند متغیره است که هدف آن بکارگیری p متغیر و یافتن ترکیباتی از این p متغیر جهت تولید m مؤلفه می‌باشد، بطوریکه با هم همبستگی نداشته باشند. عدم وجود همبستگی یک خاصیت مطلوب بوده چون به آن معناست که مؤلفه‌ها، ابعاد مختلف تغییرات درون داده‌ها را که از هم مستقل هستند، نشان می‌دهند. این مؤلفه‌ها طوری مرتب می‌شوند که مؤلفه اول نشانگر بیشترین تغییرات و به همین ترتیب تا آخرین مؤلفه خواهند بود. جهت اعمال این روش، باید به چند نکته توجه نمود. داده‌ها طبیعت غیر نرمال دارند و از طرفی به علت وجود مقادیر منفی عناصر مختلف در برخی حوضه‌ها، نرمال کردن داده‌ها امکان پذیر نمی‌باشد، بنابراین محاسبات ناپارامتریک پیشنهاد می‌شود [۱۱].

روش های پردازش چند متغیره مختلفی قابل استفاده است که در اینجا از روش پردازش مؤلفه های اصلی PCA استفاده می‌شود. این روش یکی از ساده‌ترین روش‌های آنالیز چند متغیره است که هدف آن بکارگیری p متغیر و یافتن ترکیباتی از این p متغیر جهت تولید m مؤلفه می‌باشد، بطوریکه با هم همبستگی نداشته باشند. عدم وجود همبستگی یک خاصیت مطلوب بوده چون به آن معناست که مؤلفه‌ها، ابعاد مختلف تغییرات درون داده‌ها را که از هم مستقل هستند، نشان می‌دهند. این مؤلفه‌ها طوری مرتب می‌شوند که مؤلفه اول نشانگر بیشترین تغییرات و به همین ترتیب تا آخرین مؤلفه خواهند بود. جهت اعمال این روش، باید به چند نکته توجه نمود. داده‌ها طبیعت غیر نرمال دارند و از طرفی به علت وجود مقادیر منفی عناصر مختلف در برخی حوضه‌ها، نرمال کردن داده‌ها امکان پذیر نمی‌باشد، بنابراین محاسبات ناپارامتریک پیشنهاد می‌شود [۱۱].

از اینرو ماتریس همبستگی Spearman محاسبه شده و بر اساس آن رسم دندوگرام عناصر و همچنین پردازش مؤلفه های اصلی صورت گرفته است (شکل ۴).

## ۵- نتایج و بحث

به منظور بررسی روابط بین عنصری و تعیین عناصر مرتبط با کانی زایی طلا و انجام مطالعات آماری چند متغیره، آنالیز خوشه ای صورت گرفته است. در اینجا به علت عدم نرمال بودن داده‌ها آنالیز خوشه ای بر روی ماتریس ضرایب همبستگی اسپیرمن انجام شده و نتیجه در شکل ۴ ارائه شده است. با انجام این خوشه بندی عناصر مرتبط با Au مشخص شده‌اند. با توجه به دندوگرام، ۱۰ عنصر در گروه کاملاً جداگانه ای نسبت به Au طبقه بندی شده‌اند که شامل

کاهش ابعاد عملیات اکتشافی بعد از نمونه برداریهای رسوبات آبراهه ای باشد.

### تشکر و قدردانی

در این تحقیق از منابع سازمان زمین شناسی بریتیش کلمبیا (کانادا) استفاده شده است که بدینوسیله از آن سازمان تشکر و قدردانی می شود.

می شود، با وجود مقادیر طلای نسبتاً پایین و کمتر از حد آستانه آنومالی در آبراهه های منطقه مورد مطالعه، روش مدلسازی "حوضه آبریز نمونه" به همراه روش پردازش مؤلفه های اصلی به خوبی توانسته است مناطق احتمالی کانی سازی طلا را مشخص کند که تطابق این مناطق با کانی سازی شناخته شده Baez، تأییدی بر کارایی این روش می باشد.

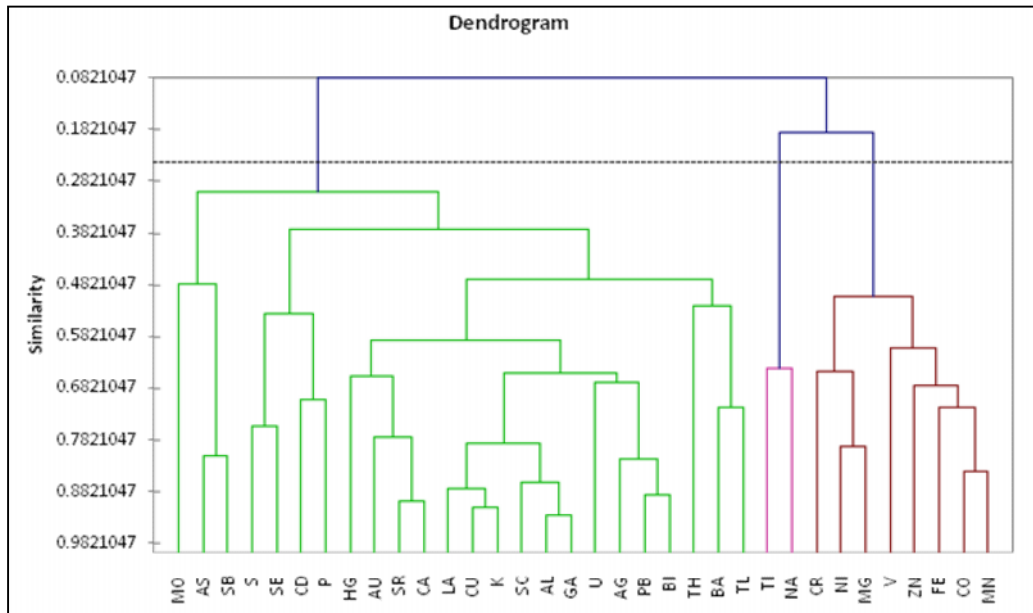
منطقه Baez در شمال شرق منطقه، درسازند آندزیتی Oosta Lake واقع شده و به عنوان منطقه شناخته شده از نظر کانی سازی طلا می باشد. شکل (۵-الف) که تغییرات فاکتوری براساس فاکتور دوم و نتایج عناصر خوشه بندی شده همراه عنصر طلاست، این منطقه را به خوبی به عنوان یک موقعیت پر پتانسیل معرفی می کند و حوضه های آبریز نزدیک به آن نیز به صورت مناطق امید بخش معرفی شده اند. نتایج مشابه بر اساس دیگر پردازشها به ترتیب در (۵-ب)، (ج) و (د) نشان داده شده اند. هنگامی که کلیه حوضه های آبریز مورد بررسی قرار می گیرند (الف و د) پس از بخش شمال شرقی، دیگر قسمتهایی از سازند Oosta Lake به عنوان مناطق امید بخش معرفی می گردند که از نظر زمین شناسی با منطقه Baez همخوانی دارد، و همچنین ممکن است در ارتباط با زون کانی سازی Clisbako باشد که در مرز شرقی محدوده Baez قرار دارد، باشد (شکل ۲).

### ۶- نتیجه گیری

روش تجزیه و تحلیل نمونه های رسوبات آبراهه ای بر اساس روش حوضه آبریز نمونه یکی از روشهای نو در اکتشاف ذخایر فلزی بوده که مطالعات و کاربرد آن هر روز گسترده تر می شود. در این پژوهش بخشی از صفحه مرکزی پایالت بریتیش کلمبیا به این روش جهت تعیین مناطق پر پتانسیل طلا مورد بررسی قرار گرفت که نتایج بدست آمده با مشاهدات کانی سازیهای شناخته شده در یکی از حوضه های آبریز مطابقت دارد.

با استفاده از این روش مناطق امید بخش عمدتاً در مناطق شمال شرقی قرار می گیرند و برخی حوضه های آبریز در بخش مرکزی منطقه مورد مطالعه نیز در اولویتهای بعدی قرار می گیرند که این از نظر زمین ساختی با نواحی شناخته شده کانی سازی شده همخوانی دارد.

با توجه به نتایج این تحقیق و همچنین مطالعات دیگر پژوهشگران در مستندات منتشر شده، این روش به خوبی می تواند کمک موثری در تعیین نواحی امید بخش بوده و موجب



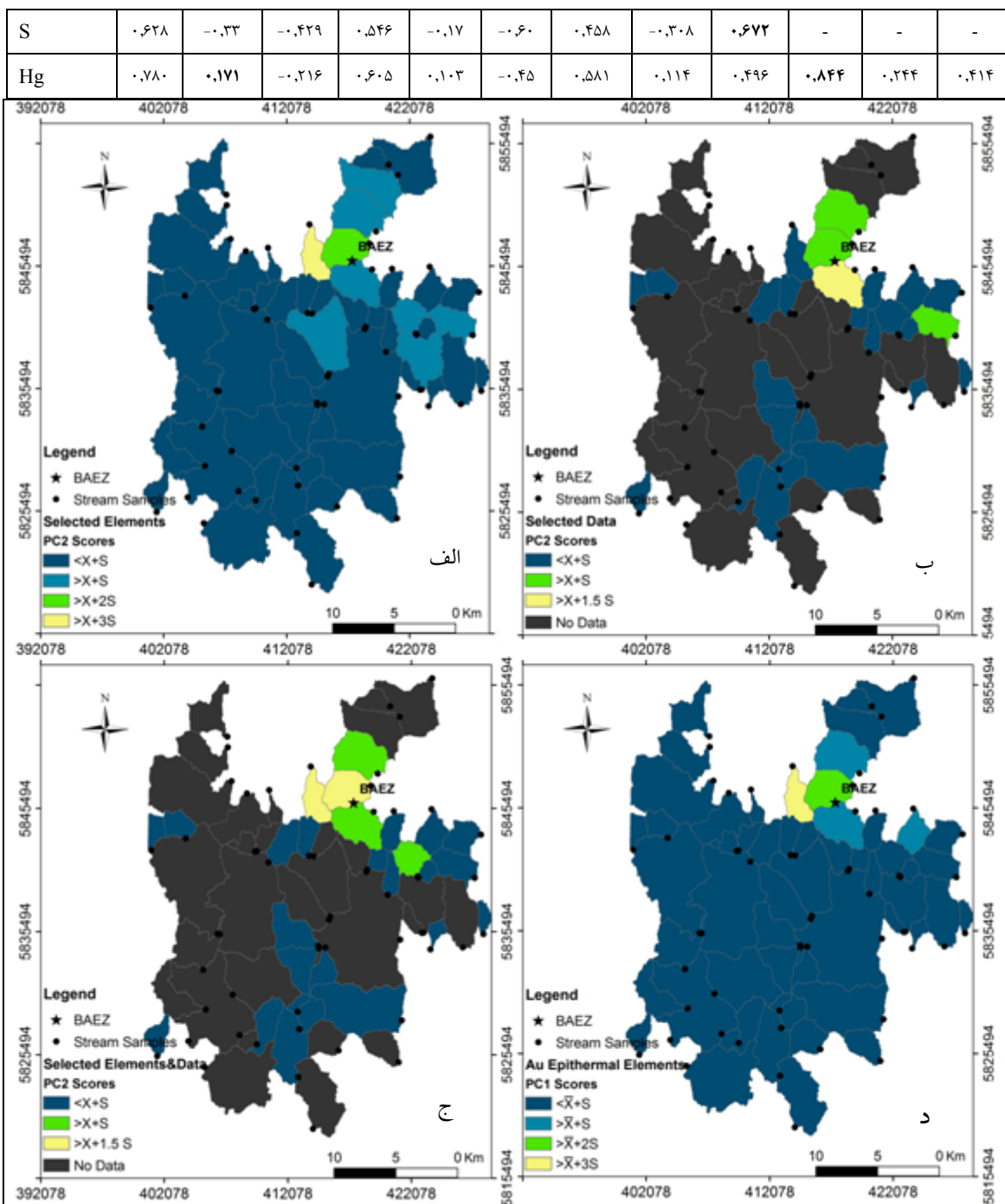
شکل ۴: دندوگرام عناصر بر اساس ماتریس همبستگی Spearman

جدول ۳: پردازش مؤلفه های اصلی روی الف (عناصر انتخابی، ب) تمامی عناصر در حوضه های دارای غلظت های تصحیح شده Au بزرگتر از

صفر، ج) عناصر انتخابی برای حوضه های دارای غلظت های تصحیح شده Au بزرگتر از صفر د) عناصر ردیاب کانی سازی طلای اپی ترمال

	الف) عناصر انتخاب شده			ب) داده های انتخاب شده			ج) عناصر و داده های انتخاب شده			د) عناصر ردیاب کانی سازی اپی ترمال		
	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>
واریانس (%)	۵۲,۰۱	۱۱,۲۰	۹,۰۲۵	۳۰,۵۸	۲۳,۸۰	۱۳,۵۷	۳۹,۷۰	۱۹,۷۴	۱۴,۲۲	۶۳,۹۶	۲۰,۸۸	۶,۸۶۸
واریانس % تجمعی	۵۲,۰۱	۶۳,۲۲	۷۲,۲۴۳	۳۰,۵۸	۵۴,۳۸	۶۷,۹۶	۳۹,۷۰۱	۵۹,۴۴۸	۷۳,۶۷۷	۶۳,۹۶	۸۴,۸۴۶	۹۱,۷۱۳
Pb	۰,۷۹۸	۰,۴۳۶	۰,۱۹۷	۰,۴۶۱	۰,۸۲۰	۰,۰۴۲	۰,۶۵۵	۰,۶۳۶	-۰,۱۰۶	-	-	-
Ag	۰,۷۷۳	۰,۴۴۰	-۰,۰۰۶	۰,۳۵۷	۰,۸۱۸	-۰,۰۳	۰,۵۴۳	۰,۷۵۵	-۰,۰۲۴	۰,۸۶۹	۰,۲۹۵	۰,۰۵۳
As	۰,۴۰۵	۰,۶۰۷	-۰,۱۳۷	۰,۰۰۹	۰,۵۹۹	-۰,۳۵	۰,۱۲۴	۰,۷۴۵	۰,۲۳۷	۰,۷۴۵	۰,۵۸۶	۰,۱۴۲
U	۰,۷۸۶	-۰,۰۴	۰,۲۴۱	۰,۷۳۰	۰,۱۹۹	۰,۳۶۴	۰,۷۸۷	-۰,۰۸۴	-۰,۳۲۷	-	-	-
Au	۰,۷۳۰	۰,۳۵۲	-۰,۱۴۳	۰,۶۵۹	۰,۳۷۸	-۰,۳۳	۰,۷۰۴	۰,۳۰۳	۰,۳۹۱	۰,۷۳۷	۰,۵۲۹	۰,۳۸۶
Sb	۰,۴۴۵	۰,۶۶۹	-۰,۲۰۷	-۰,۱۹	۰,۶۵۳	-۰,۲۹	-۰,۰۵۲	۰,۷۶۱	۰,۱۷۱	۰,۷۹۵	۰,۵۲۴	۰,۰۰۸
Ba	۰,۶۵۴	-۰,۲۳	۰,۱۳۹	۰,۶۱۵	-۰,۲۴	۰,۲۶۸	۰,۵۵۰	-۰,۳۸۸	-۰,۲۲۴	-	-	-
Al	۰,۸۹۶	-۰,۲۴	۰,۲۵۹	۰,۹۲۲	۰,۰۸۵	۰,۲۶۱	۰,۹۲۷	-۰,۱۷۰	-۰,۲۰۰	-	-	-
K	۰,۸۵۹	-۰,۰۰۳	۰,۱۲۱	۰,۷۲۰	۰,۳۴۸	۰,۲۲۸	۰,۷۹۶	۰,۱۳۷	-۰,۱۵۴	-	-	-
Sc	۰,۸۴۵	-۰,۳۳	۰,۱۷۷	۰,۸۳۲	-۰,۱۵	۰,۴۰۷	۰,۷۹۹	-۰,۴۳۳	-۰,۲۹۴	-	-	-
Tl	۰,۶۵۰	-۰,۴۹	۰,۲۰۶	۰,۶۸۱	-۰,۲۸	۰,۲۹۱	۰,۵۹۳	-۰,۵۹۵	-۰,۱۹۹	-	-	-





شکل ۵: توزیع مکانی PC Scores حاصل از پردازش مؤلفه‌های اصلی داده‌های تصحیح شده نسبت به مقدار زمینه و رقیق شدگی: الف) بر اساس پردازش مؤلفه‌های اصلی انتخابی مرتبط با Au، ب) PC<sub>۲</sub> بر اساس پردازش مؤلفه‌های اصلی تمامی عناصر در حوضه‌های دارای غلظت‌های تصحیح شده Au (بزرگتر از صفر)، ج) PC<sub>۲</sub> بر اساس پردازش مؤلفه‌های اصلی انتخابی برای حوضه‌های دارای غلظت‌های تصحیح شده Au (بزرگتر از صفر)، د) PC<sub>۱</sub> بر اساس پردازش مؤلفه‌های اصلی مرتبط با مدل کانی‌سازی طلای اپی‌ترمال

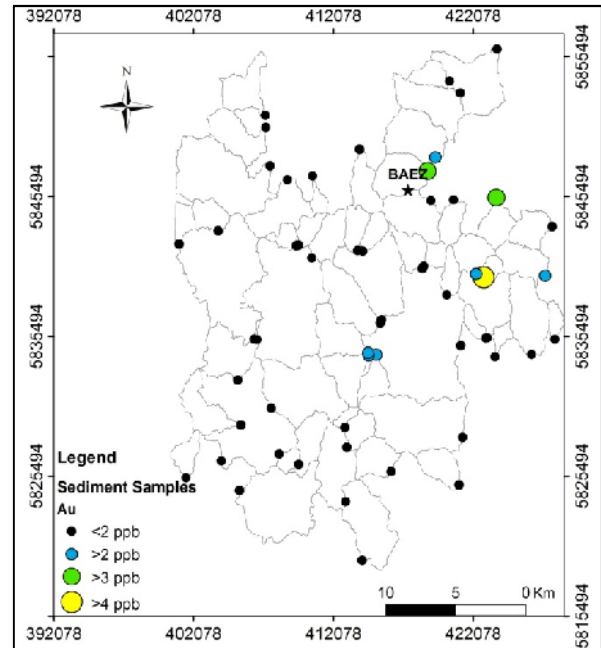
[۷] Goodall, G.N.; ۱۹۹۴; "Geological and Geochemical Report, Baez ۱ to ۲۴ Mineral Claims"; Cariboo Mining Division, British Columbia, B.C. Ministry of Energy, Mines and Petroleum Resources, Assessment Report ۲۳۲۷۲.

[۸] <http://www.geobase.ca>

[۹] Jones, R.; ۲۰۰۲; "Algorithms for using a DEM for mapping catchment areas of stream sediment samples"; Computers & Geosciences, vol. ۲۸, pp. ۱۰۵۱-۱۰۶۰.

[۱۰] White. N.C., Hedenquist. J.W.; ۱۹۹۵; "Epithermal Gold Deposits: Styles, Characteristics and Exploration"; SEG (Society of Economic Geologists) Newsletter, vol. ۲۳, pp. ۱-۹.

[۱۱] Reimann. C., Filzmoser. P., Garrett. R.G., Utter. R.; ۲۰۰۸; *Statistical Data Analysis Explained*, John Wiley & Sons, Ltd. ISBN: ۹۷۸-۰-۴۷۰-۹۸۵۸۱-۶.



شکل ۶: نمایش آنالیز طلا در نمونه‌های ژئوشیمیایی رسوبات آبراه‌های

## مراجع

[۱] Carranza, E.J. M.; ۲۰۰۹; "Geochemical Anomaly and Mineral Prospectively Mapping in GIS"; Handbook of Exploration and Environmental Geochemistry, chapter ۵, Elsevier, First edition.

[۲] Bonham-Carter, G.F.; Rogers, P.J., Ellwood, D.J.; ۱۹۸۷; "Catchment Basin Analysis Applied to Sacrificial Geochemical Data, Cobequid Highlands, Nova Scotia"; Journal of Geochemical Exploration, vol. ۲۹, pp. ۲۵۹-۲۷۸.

[۳] Hawkes, H.E.; ۱۹۷۶; "The downstream dilution of stream sediment anomalies"; Journal of Geochemical Exploration, vol. ۶, pp. ۳۴۵-۳۵۸.

[۴] Spadoni, M.; ۲۰۰۶; "Geochemical mapping using a geomorphologic approach based on catchments"; Journal of Geochemical Exploration, vol. ۹۰, pp. ۱۸۳-۱۹۶.

[۵] Carranza, E.J.M., Hale, M.; ۱۹۹۷; "A catchment basin approach to the analysis of reconnaissance geochemical-geological data from Abla Province, Philippines"; Journal of Geochemical Exploration, vol. ۶۰, pp. ۱۰۷-۱۱۷.

[۶] Jackaman, W.; ۲۰۰۶; "Regional Drainage Sediment and Water Geochemical Data, Anahim Lake & Nechako River, Central British Columbia (NTS ۹۳C & ۹۳F)"; Geoscience BC Contribution Number GBC۰۱۶.