

## شناسایی و تفکیک متغیرهای آنومال با تلفیق روش‌های آنالیز تطبیقی و تفریقی در منطقه دالی شمالی

فرشاد دارابی گلستان<sup>۱\*</sup>؛ رضا قوامی ریابی<sup>۲</sup>؛ محمدجواد مجلسی<sup>۳</sup>؛ مجتبی معمارزاده<sup>۴</sup> و هوشنگ اسدی هارونی<sup>۵</sup>

۱- دانش‌آموخته دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه شاهرود

۲- استادیار دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک - دانشگاه شاهرود

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه شاهرود

۴- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه شاهرود

۵- استادیار دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی اصفهان

(دریافت دی ۹۰، پذیرش اردیبهشت ۹۱)

### چکیده

کمربند ولکانیکی ارومیه - دختر در ایران از نظر کانی‌سازی جزء مناطق با پتانسیل محسوب می‌گردد که عمده کانی‌سازی‌های از نوع پورفیری در آن دیده می‌شوند. منطقه دالی با توجه به تصاویر ماهواره‌ای، بازدیدهای منطقه‌ای و نمونه‌برداری‌های صورت گرفته به عنوان یک اندیس معدنی مستعد شناخته شده است. در این تحقیق تعداد ۱۴۹ نمونه ژئوشیمیایی محیط لیتوژئوشیمیایی ثانویه (خاک) مورد استفاده قرار گرفته است. روش‌های آنالیز تطبیقی و آنالیز تفریقی به عنوان دو تکنیک آماری جهت تعیین نوع عناصر کانی‌ساز و نمونه‌های آنومال بکار برده شده است. در این روش‌ها به کاهش حجم داده‌ها، مشخص نمودن عناصر آنومال و ارزیابی غنی‌شدگی و تهی‌شدگی عناصر پرداخته شده است. آنالیز تطبیقی به بررسی همزمان متغیر (عناصر) و نمونه‌ها می‌پردازد و عناصر کانی‌زایی شده و نمونه‌های با اهمیت را به تدریج تفکیک می‌کند که به عنوان مثال نمونه‌های ۸۴، ۴۰، ۲۲، ۷۴، ۴۶، ۸۶ و تعدادی دیگر از نمونه‌ها وجود آنومالی Cu-Au را در اشکال مختلف به اثبات رسانده است. روش آنالیز تفریقی با توجه به کانی‌سازی مشخص شده در تحلیل قبل (Cu-Au) در منطقه مشخص نمود که افزایش غلظت عنصر Co در محدوده تمرکز Cu-Au و افزایش غلظت عناصر Na, La, Mg نزدیک به زمینه و دارای تهی‌شدگی در منطقه کانی‌سازی می‌باشند. در آنالیز تطبیقی کلیه عناصر K, Fe, Ti, Mo و تا حدودی Ba نزدیک به محدوده تمرکز Cu-Au و Na, Li, Ca, Sr, As و چندین عنصر دیگر تهی‌شدگی نشان می‌دهند.

### کلمات کلیدی

کمربند ولکانیکی ارومیه - دختر، پورفیری، محیط لیتوژئوشیمیایی ثانویه، آنالیز تطبیقی، آنالیز تفریقی، تهی‌شدگی

## ۱- مقدمه

ذخایر مهم Cu-Au پورفیری ایران مرتبط با استوک‌های کالک آلکالن در کمر بند سهند- بزمان بوده و بخشی از کمر بند ولکانیکی ارومیه- دختر (شکل ۱) محسوب می‌شوند [۱۳][۱۴][۲۴][۲۷]. این کمر بند شامل سنگ‌های آتشفشانی- نفوذی آلکالن و کالک- آلکالن تیپ I بوده که در ارتباط با فرورانش لیتوسفر اقیانوسی به زیر لیتوسفر قاره‌ای ایران مرکزی طی کوهزایی آلپی است [۸][۱۵][۲۰] در چند کمر بند مهم کوهزایی دنیا نیز مذاب‌های حاصل از صفحه فرورونده نقش مهمی در ماگماتیسزم محیط‌های قوسی داشته‌اند [۲۳][۲۵][۲۶] منطقه دالی از جمله مناطق کانی سازی شده Cu-Au ایران در کمر بند ولکانیکی فوق‌الذکر است که با توجه به ارزش اقتصادی عناصر Cu-Au آن مورد توجه قرار گرفته است.

بر روی داده‌های لیتوژئوشیمیایی ثانویه (خاک) به دست آمده از منطقه دالی تکنیک‌های آماری آنالیز تطبیقی<sup>۱</sup> (CA) و تفریقی<sup>۲</sup> (DA) به منظور مجزا کردن گروه‌های متغیر وابسته قطعی و کاهش حجم داده‌ها اکتشافی اعمال گردیده است. هدف از به‌کارگیری آنالیز تطبیقی پالایش عنصر متفاوت با دیگر عناصر و ارجاع نمونه‌های وابسته به آن بوده است. این دو روش برای اثبات آنومالی بودن عنصر که خود را از دیگر عناصر جدا می‌سازد و اینکه چه عناصری همراه با آن غنی‌شدگی و یا تهی‌شدگی نشان می‌دهند بکار برده شده است. روش آنالیز تطبیقی و تفریقی به خوبی متغیرهای آنومالی را در منطقه دالی شمالی از زمینه مشخص و تفکیک کرده‌اند.

## ۲- معرفی منطقه مورد مطالعه

منطقه دالی در استان مرکزی (۷۰ کیلومتری اراک) و نزدیکی تقاطع جاده اراک با بزرگراه تهران-اصفهان واقع شده‌است. این منطقه در محدوده‌ای به طول جغرافیایی E ۱۹' ۵۰° و عرض جغرافیایی N ۱۶' ۳۴° قرار گرفته است [۴] موقعیت دالی، جاده‌های دسترسی و روستای راه (۵۰ کیلومتری NNW دلیجان)، نزدیک‌ترین روستا به منطقه دالی که در شرق محدوده مورد مطالعه واقع شده، به طور شماتیک در شکل (۱) نمایش داده شده است [۵].

کانی‌سازی Au-Cu در منطقه مورد مطالعه به دو محدوده تپه دالی جنوبی و شمالی که با روند شمال شرقی گسترش یافته و به فاصله ۱/۷km از یکدیگر واقع شده‌اند محدود

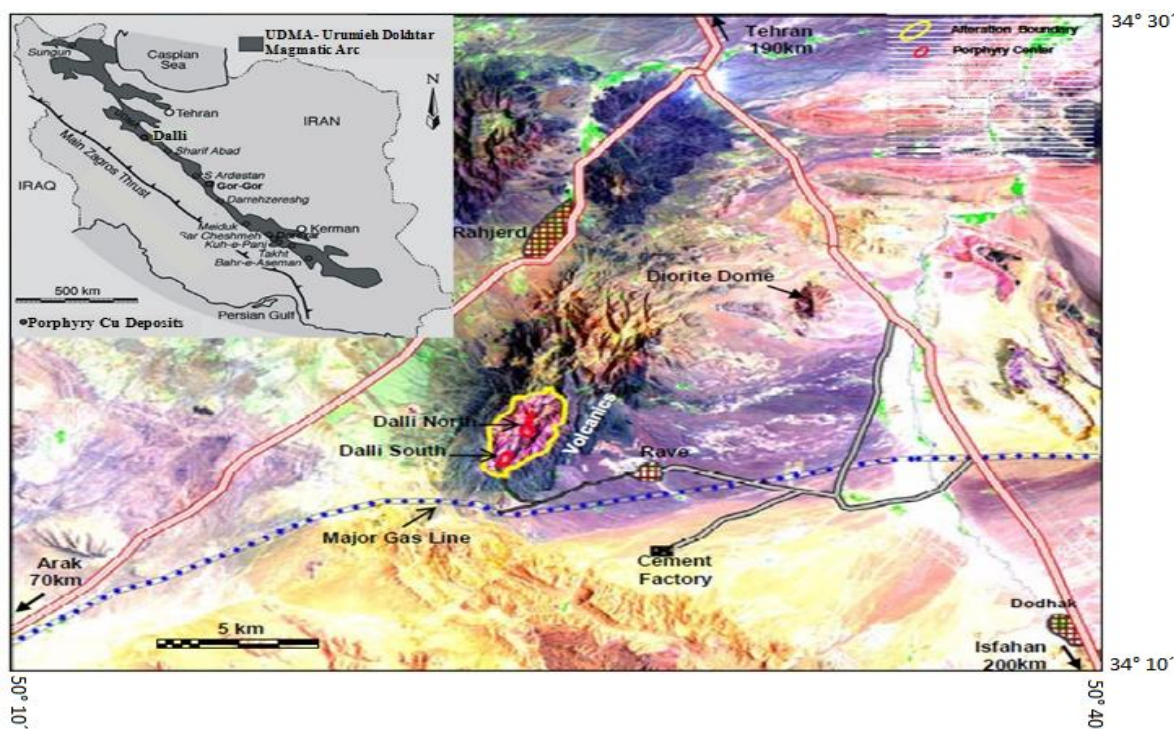
می‌شود. منطقه مذکور با توپوگرافی نسبتاً هموار در کف دره به صورت تدریجی به زمین شیب‌داری در دامنه دره (ارتفاع کف دره بین ۱۹۵۰ تا ۲۲۱۰ متر تغییر می‌کند) می‌رسد.

## ۳- زمین‌شناسی و ویژگی‌های لیتولوژیکی منطقه

منطقه دالی شمالی از نظر پترولوژیکی شامل توده نفوذی تونالیتی (دایک گرانودیوریت پورفیری)، سنگ‌های کوارتز دیوریت پورفیری<sup>۳</sup>، سنگ‌های دیوریتی، سنگ‌های آندزیتی (سنگ دیواره) و پیروکلاست‌ها است. کانی‌سازی در منطقه دالی مرتبط با سنگ‌های نفوذی دیوریتی، تونالیتی و گرانودیوریتی با روند شمال‌شرقی- جنوب‌غربی است که به درون سنگ‌های آندزیتی آتشفشانی و پیروکلاست‌ها با دگرسانی پروپلیتیک عهد پالئوژن نفوذ کرده است [۳].

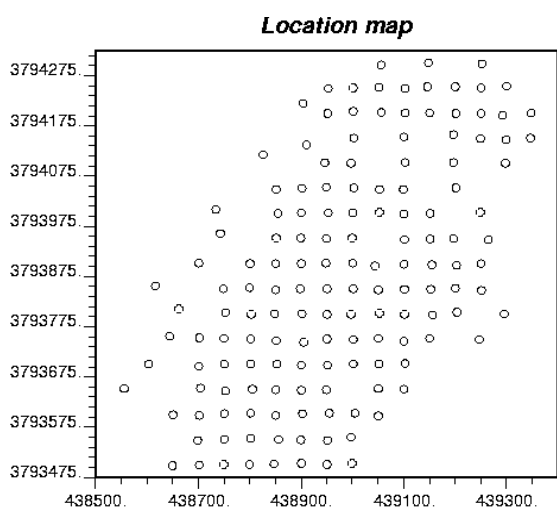
کانی‌سازی دالی شمالی در یک کمپلکس نفوذی گرانودیوریتی (تونالیتی)، کوارتز دیوریتی و سنگ دیواره آندزیتی نهشته شده است که نفوذی تونالیتی در مرکز نهشته وجود دارد و عامل به وجود آورنده آلتراسیون پتاسیک (بیوتیت- مگنتیت- کوارتز) فراگیرنده‌ای است که عیارهای بالای کانی‌سازی را در خود دارد. عیارهای بالا در درون توده بیانگر همبستگی مثبت Au با میزان شدت کوارتز استوک‌ورک است، اگر چه سولفیدهای پراکنده Cu اغلب در منطقه موجود هستند [۱۹]. میزان کوارتز دیوریت پورفیری در نمونه‌های خاک، حاکی از یک منطقه بارور کانی‌سازی به همراه آلتراسیون پتاسیک و کوارتز مگنتیت بالا است. سنگ‌های آندزیتی در برگیرنده سنگ‌های کوارتز دیوریت پورفیری است که عمده کانی‌سازی در آن‌ها و کنتاکت با آندزیت‌ها دیده می‌شود. در سنگ‌های آندزیتی دانه ریز آلتراسیون پروپلیتیک ضعیف تا متوسط وجود دارد [۳].

بررسی‌های منطقه‌ای (نمونه‌های ترانسه و خاک) نشان می‌دهد که در سنگ‌های QDP عناصر Fe, K, Ba و تا حدودی Cr عناصر مرتبط با محدوده تمرکز Au-Cu می‌باشند اما Ca و Sr عناصر در ارتباط معکوس با محدوده‌های تمرکز Au و Cu هستند، در همین سنگ‌ها عناصر Zn, V, Mg عناصر مرتبط با مرزهای پترولوژیکی و دگرسانی می‌باشند. در سنگ‌های آندزیتی Na و K ارتباط مستقیم و Ca و Sr ارتباط معکوس با محدوده‌های تمرکز Au و Cu نشان می‌دهند و Mg, Mn و Ti هم با تغییرات پترولوژیکی و دگرسانی تغییر می‌یابند [۳].



شکل ۱: شمایی از موقعیت تپه دالی شمالی و جنوبی در منطقه مورد مطالعه به همراه راه‌های دسترسی

پیدا کرده است [۱۰]. در این روش، بر روی هر دوی سطرها و ستون‌های ماتریس داده‌ها نرمال‌سازی اجرا می‌گردد [۱۰][۱۱]. در روش تحلیل تطبیقی فرض می‌شود که همه درایه‌های ماتریس مثبت (و یا صفر) هستند که معمولاً در داده‌های اکتشافی این وضعیت وجود دارد و از این روش می‌توان برای کاهش حجم داده‌ها استفاده کرد [۱۲].



شکل ۲: نقشه شبکه نمونه‌برداری اجرا شده برای خاک در منطقه دالی شمالی

در منطقه دالی و داده‌های ژئوشیمیایی خاک ماتریس داده‌ها یک ماتریس  $149 \times 29$  بوده  $[X]$  و مجموع مقادیر هر سطر از این ماتریس، تشکیل برداری  $[r]$  را داده و مجموع هر

#### ۴- شبکه نمونه‌برداری

به منظور انجام مطالعات اکتشافی در منطقه دالی اقدام به برداشت ۱۶۳ نمونه خاک با شبکه  $50m \times 50m$  گردیده است (شکل ۲). ۱۴۹ نمونه از محدوده مورد بررسی به همراه نمونه‌هایی از یک توده کوچک در شمال شرقی منطقه دالی شمالی برداشت گردیده‌اند که از دخیل کردن نمونه‌های اخیر با نمونه‌های محدوده دالی شمالی چشم‌پوشی گردیده است. به منظور تجزیه شیمیایی نمونه‌های خاک با روش ICP-MS برای ۴۵ عنصر، اقدام به ارسال آن‌ها به شرکت کانادایی ALS Chemex گردیده است [۵]. با توجه به دقت بالای روش مذکور به آسانی غلظت‌های بالا اندازه‌گیری شده و عناصر با غلظت‌های ناچیز نیز مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. برای داده‌های زیر حد قابل ثبت، نصف حد قابل ثبت را جایگزین نموده‌ایم. از بین ۴۵ عنصر مورد مطالعه، ۲۹ عنصر که از خود تغییرات بارزی نشان دادند انتخاب و در ادامه مورد بررسی قرار گرفته است.

#### ۵- روش آنالیز تطبیقی

تجزیه و تحلیل تطبیقی (CA) یک روش آماری چند متغیره است که جهت ارزیابی داده‌های ناپیوسته مورد استفاده قرار گرفته شده است [۱۶]. از هنگام مطرح شدن روش آنالیز تطبیقی، این روش برای داده‌های پیوسته نیز کاربرد وسیعی

می‌شوند که ماتریس  $[U]$  یک ماتریس  $m \times p$  بوده که در آن روابط بین متغیرها (۲۸) فاکتور به دست آمده برای ۲۹ متغیر) و ماتریس  $[V]$  یک ماتریس  $n \times p$  است که در آن روابط بین نمونه‌ها (۲۸) فاکتور به دست آمده برای ۱۴۹ نمونه) بیان می‌شود:

$$[U] = [C]^{-\frac{1}{2}} [A] [\Lambda]^{-\frac{1}{2}} \quad (۹)$$

$$[V] = [R]^{-\frac{1}{2}} [W] [A] \quad (۱۰)$$

ماتریس نهایی  $F$  بر اساس تجزیه و تحلیل تطبیقی و از ترکیب دو ماتریس  $[U]$  و  $[V]$  به وجود می‌آید (مطابق جدول ۱) که در آن یک ماتریس  $n+m$  سطری و  $p$  ستونی است که  $n$  تعداد سطرهای ماتریس  $V$  و  $m$  تعداد سطرهای ماتریس  $U$  است [۱۶]:

$$[F] = \begin{bmatrix} [V] \\ [U] \end{bmatrix} \quad (۱۱)$$

به منظور بررسی فاکتورهای تطبیقی، نمودارهای پراکندگی دو به دوی ستون‌های ماتریس  $[F]$  یا به عبارتی فاکتورها ترسیم می‌شوند (شامل تعداد  $\frac{p(p-1)}{2}$  نمودار). در شکل ۳ نمونه‌هایی از این نمودارها ترسیم شده است. در این نمودارها جدا شدن یک یا چند متغیر می‌تواند بر اساس وجود مقادیر غیرعادی باشند و جدا شدن یک یا چند نمونه به سمت برخی از عناصر، نشان‌دهنده آن است که نمونه‌های مورد نظر نسبت به آن عنصر یا عناصر آنومال می‌باشند [۲]. با توجه به کشیدگی نمونه‌ها به سمت متغیرهای  $Au$  و  $Cu$  امکان آنومال بودن آن متغیرها در منطقه بالا است (شکل ۳) و لذا منطقه نسبت به متغیرهای  $Au$  و  $Cu$  دارای آنومالی است. برخی از نمونه‌ها همانند نمونه‌های شماره ۸۴ و ۴۰ و ۲۲ و ۷۴ دارای بیش‌ترین غلظت‌ها نسبت به متغیرهای  $Au$  و  $Cu$  می‌باشند.

#### ۶- روش آنالیز تفریقی

آنالیز تفریقی چند متغیره (MDA)<sup>۵</sup> روشی به منظور شناسایی ژئوشیمیایی تعداد متغیرهای با اهمیت و تعریف توابعی جهت تفکیک داده‌های با اهمیت است [۷]. فرضیات ریاضیاتی که در این تحلیل وجود دارند عبارتند از: ۱- وجود حداقل دو یا بیشتر از دو گروه داده، ۲- وجود حداقل دو نمونه در هر گروه، ۳- متغیرهای تفریقی هیچ ترکیب خطی با یکدیگر ندارند، ۴- ماتریس کوواریانس برای هر گروه باید تقریباً با یکدیگر برابر باشند، ۵- هر گروه متغیرهای تفریقی از یک جامعه با توزیع نرمال چند متغیره باشد، ۶- متغیر تفریق

ستون از ماتریس مورد نظر نیز تشکیل بردار  $[C]$  می‌دهد. ماتریس‌های مذکور در نرم‌افزار متلب<sup>۴</sup> محاسبه و هر عضو این بردارها مطابق روابط زیر تعریف گردیده است ( $m$  تعداد متغیرها که ۲۹ عنصر بوده و  $n$  تعداد نمونه‌ها که ۱۴۹ نمونه است):

$$r_i = x_{i1} + x_{i2} + \dots + x_{im} \quad (۱)$$

$$c_j = x_{1j} + x_{2j} + \dots + x_{nj} \quad (۲)$$

دو ماتریس قطری  $[R]$  با بعد  $n \times n$  و  $[C]$  با بعد  $m \times m$  که عناصر روی قطر اصلی آن به ترتیب  $r_i$  و  $c_j$  می‌باشند به صورت زیر تعریف می‌گردند [۱۶][۱۷]:

$$[R] = \text{diag}(r_1, r_2, \dots, r_n) \quad (۳)$$

$$[C] = \text{diag}(c_1, c_2, \dots, c_m) \quad (۴)$$

حال ماتریس  $[W]$  به صورت زیر تعریف می‌گردد که در این رابطه توان  $(\frac{1}{2})^{-}$  یعنی اولاً کل عناصر ماتریس به توان  $\frac{1}{2}$  رسیده و سپس معکوس ماتریس محاسبه می‌شود:

$$[W] = [R]^{-\left(\frac{1}{2}\right)} [X] [C]^{-\left(\frac{1}{2}\right)} \quad (۵)$$

ماتریس  $[H]$  مطابق رابطه ۶ از ضرب ترانهاد ماتریس  $W$  در ماتریس  $W$  محاسبه می‌شود:

$$[H] = [W]^T [W] \quad (۶)$$

پس از محاسبه ماتریس  $[H]$  (که ماتریسی  $29 \times 29$  است)، مقادیر ویژه و بردارهای ویژه آن را محاسبه می‌کنیم. مقدار ویژه به دست می‌آید که همیشه  $p < m$  است، این مقادیر بین صفر تا یک انتخاب می‌شوند به همین جهت اولین مقدار ویژه که عدد ۱ است حذف گردیده و ۲۸ مقدار دیگر انتخاب می‌شوند:

$$0 < \lambda_p \leq \dots \leq \lambda_2 \leq \lambda_1 < \lambda$$

بردارهای ویژه متناظر با هر مقدار ویژه،  $[a_j]$  نیز محاسبه می‌شوند سپس بر اساس مقادیر ویژه و بردارهای ویژه دو ماتریس  $[A]$  و  $[\Lambda]$  زیر را بنا می‌کنیم. ماتریس  $[\Lambda]$  یک ماتریس قطری است که عناصر روی قطر اصلی آن مقادیر ویژه فوق‌الذکر می‌باشند و  $[A]$  ماتریسی است که هر ستون آن یکی از بردارهای ویژه را تشکیل می‌دهد:

$$[\Lambda]_{(p \times p)} = \text{diag}(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_p) \quad (۷)$$

$$[A]_{(m \times p)} = [a_1][a_2] \dots [a_p] \quad (۸)$$

سپس دو ماتریس  $U$  و  $V$  مطابق روابط ۹ و ۱۰ محاسبه

ساده شدن آنالیز چند متغیره، مسئله به یک بعد کمتر (یکی کمتر از تعداد گروه‌ها (K-1) و یا برابر با تعداد متغیرها (P)، هر کدام که کمتر باشد انتخاب خواهد گردید) تقلیل می‌یابد [۲۸].

یافته در فاصله اندازه‌گیری بیشتری نسبت به دیگر عناصر باشد [۱۲]. به منظور تعریف یک تابع تفریقی، از ترکیب خطی متفاوت تعدادی از متغیرها برای ایجاد متغیری با توزیع نرمال تک متغیره استفاده می‌کنیم. این تابع در امتداد بیش‌ترین اختلاف بین مقادیر دو جامعه محاسبه می‌شود [۱]. به منظور

جدول ۱: ماتریس F بر اساس تجزیه و تحلیل تطبیقی

|                 | Lable | p فاکتور بدست آمده |          |          |   | Var 27   | Var 28   |
|-----------------|-------|--------------------|----------|----------|---|----------|----------|
|                 |       | Var 2              | Var 3    | Var 4    | . |          |          |
| تعداد نمونه (n) | 1     | 1.55E-05           | 0.000256 | -2.9E-05 | . | -2.9E-05 | 3.15E-05 |
|                 | 2     | -0.00096           | -0.00077 | -0.00039 | . | 1.33E-05 | -4E-06   |
|                 | 3     | 0.00092            | -0.00096 | 0.000907 | . | -5.9E-05 | -5.4E-05 |
|                 | .     | .                  | .        | .        | . | .        | .        |
| ۲۹ متغیر (m)    | 148   | -0.00096           | -0.00065 | -4.2E-05 | . | 2.58E-05 | -0.00013 |
|                 | 149   | -0.00067           | 0.000873 | 0.000807 | . | 3.49E-05 | 9.01E-06 |
|                 | Au    | 0.002745           | -0.00038 | 0.000805 | . | 4.4E-05  | 2.43E-05 |
|                 | Al    | -0.00051           | 0.000759 | -0.00022 | . | 2.54E-05 | -3E-05   |
|                 | As    | -0.00085           | -0.0006  | 0.000563 | . | 2.56E-05 | -5.6E-07 |
|                 | .     | .                  | .        | .        | . | .        | .        |
|                 | Zn    | -0.00022           | 0.000614 | -8.1E-05 | . | -2E-05   | 7.48E-06 |
|                 | Zr    | -0.00071           | -0.00057 | 0.000117 | . | 8.75E-06 | -4.7E-06 |

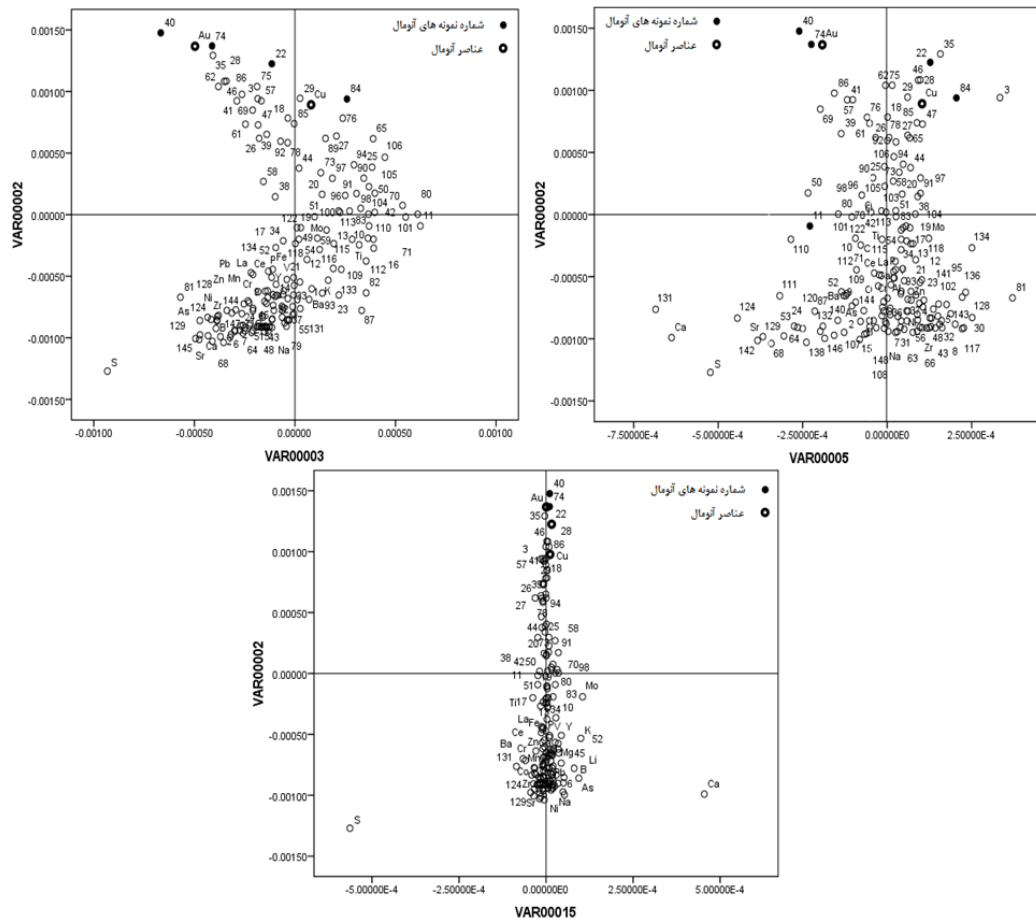
ترتیب شامل تعداد ۸۵ و ۳۷ و ۲۷ از نمونه‌ها است (جدول ۳). درجه صحت این آنالیز در داده‌های نرمال نشده نتیجه مناسبی ندارد، این درجه صحت در داده‌های نرمال نشده برابر ۷۱٪ است این در حالی است که در داده‌های نرمال شده تا بالای ۹۵٪ ارتقاء یافته است. لذا در این تحقیق بعد از نرمال سازی به تحلیل آنالیز تفریقی پرداخته شده است.

با توجه به اینکه ۳ زیر جامعه در بین داده‌ها تعریف گردیده است، لذا دو تابع تفریق تعریف گردیده است. به منظور به دست آوردن بهترین جدایش، تابع تفریقی با ۲۹ متغیر (عنصر) تعریف شده که شامل عناصر اصلی (۸ عنصر) و عناصر کمیاب (۲۱ عنصر) است. معمولاً بعضی از متغیرها یا هیچ‌گونه کمکی در جداسازی نمی‌کنند و یا نقش قابل ملاحظه‌ای ندارند این‌گونه متغیرها را نباید در تابع تفریق وارد کرد. در این مورد بهترین متغیرها که شامل ۸ عنصر Au، Cu، Ti، Co، La، Mo، Mg و Na بود بر اساس فاصله مالهالانوبیس (Mahalanobis distance) مشخص شدند (شکل ۴c). فاصله مالهالانوبیس پارامتری است که بر اساس میانگین چند متغیره و ماتریس کوواریانس همه متغیرها پایه‌گذاری شده است و لذا مزیت‌های کوواریانس در بین متغیرها را هم دارا است [۹]. بر اساس فاصله مذکور می‌توان بررسی کرد که تا چه اندازه مجموعه‌ای از موقعیت‌ها مشابه در موقعیت‌های ایده‌آل

در این تحقیق به منظور جداسازی آنومالی از زمینه بر روی ۱۴۹ نمونه در منطقه دالی شمالی آنالیز تفریقی صورت گرفت. نمونه‌های آنومال قبلاً بر اساس عیار حد (روشی که توسط شرکت بل‌هون (Bellhaven 2011) در پاناما تعریف گردیده است) از زمینه جدا شدند. بر این اساس، نمونه‌ها به سه گروه زمینه (Code 0)، حاشیه آنومالی (Code 1) و آنومالی (Code 2) به منظور آنالیز تفریقی تقسیم شده است.

فرض اساسی دیگری که قبل از به‌کارگیری داده‌ها باید بررسی شود نرمال‌سازی چند متغیره داده‌های ورودی است [۱۸][۲۱][۲۲]. بر اساس بررسی‌های آماری صورت گرفته مشخص گردید که عناصر نرمال نیستند، لذا فرآیند نرمال‌سازی در محیط نرم‌افزار WinGslib به روش گوسی انجام گرفته است و آنالیز تفریقی بر روی این داده‌ها صورت می‌گیرد. کلاسه‌های پیش‌بینی شده و مشاهده شده برای داده‌های نرمال نشده در جدول ۲ و برای نرمال شده‌ها در جدول ۳ آورده شده است. آنالیز تفریقی اعمال شده بر داده‌های غیر نرمال، کلاسه‌های پیش‌بینی شده برای Code 0 و Code 1 و Code 2 به ترتیب ۶۹ و ۴۶ و ۳۴ نمونه از کل نمونه‌هاست. این درحالی که در کلاسه‌های مشاهده شده هر یک از این کدها شامل ۹۱ و ۳۰ و ۲۸ نمونه است (جدول ۲). در داده‌های نرمال شده کلاسه‌های پیش‌بینی شده برای کدهای مذکور به

واقع شده‌اند.



شکل ۳: نمودار پراکندگی متغیرها و نمونه‌ها در دستگاه مختصات VAR بر اساس آنالیز تطبیقی

جدول ۲: نتایج جدول کلاسه‌بندی گروه‌ها برای داده‌های نرمال نشده

| کلاسه‌های پیش‌بینی شده |        |        |        |             |          |
|------------------------|--------|--------|--------|-------------|----------|
| کلاسه‌های مشاهده شده   | Code 0 | Code 1 | Code 2 | کل نمونه‌ها | درصد صحت |
| Code 0                 | ۶۴     | ۲۰     | ۷      | ۹۱          | ۷۰/۳     |
| Code 1                 | ۳      | ۲۱     | ۶      | ۳۰          | ۷۰       |
| Code 2                 | ۲      | ۵      | ۲۱     | ۲۸          | ۷۵       |
| کل نمونه               | ۶۹     | ۴۶     | ۳۴     | ۱۴۹         | ۷۱/۱     |

شده ترسیم می‌گردند و این در حالی است که نقشه پراکندگی میانگین (مرکز) گروه‌ها و نمونه‌ها بر روی محورهای موقعیت هر گروه نشان داده شده است. در اشکال **۴a, b** نقشه‌ی پراکندگی ضرایب متغیرها و نقشه‌ی پراکندگی مرکز گروه‌ها (زمینه، حاشیه و آنومالی) آورده شده است. از مقایسه این دو نقشه پراکندگی مشاهده می‌شود که با افزایش واریانس بین گروهی نسبت به درون گروهی، تفریق گروه‌ها از یکدیگر واضح‌تر می‌شوند. همانطور که در شکل ملاحظه می‌شود در

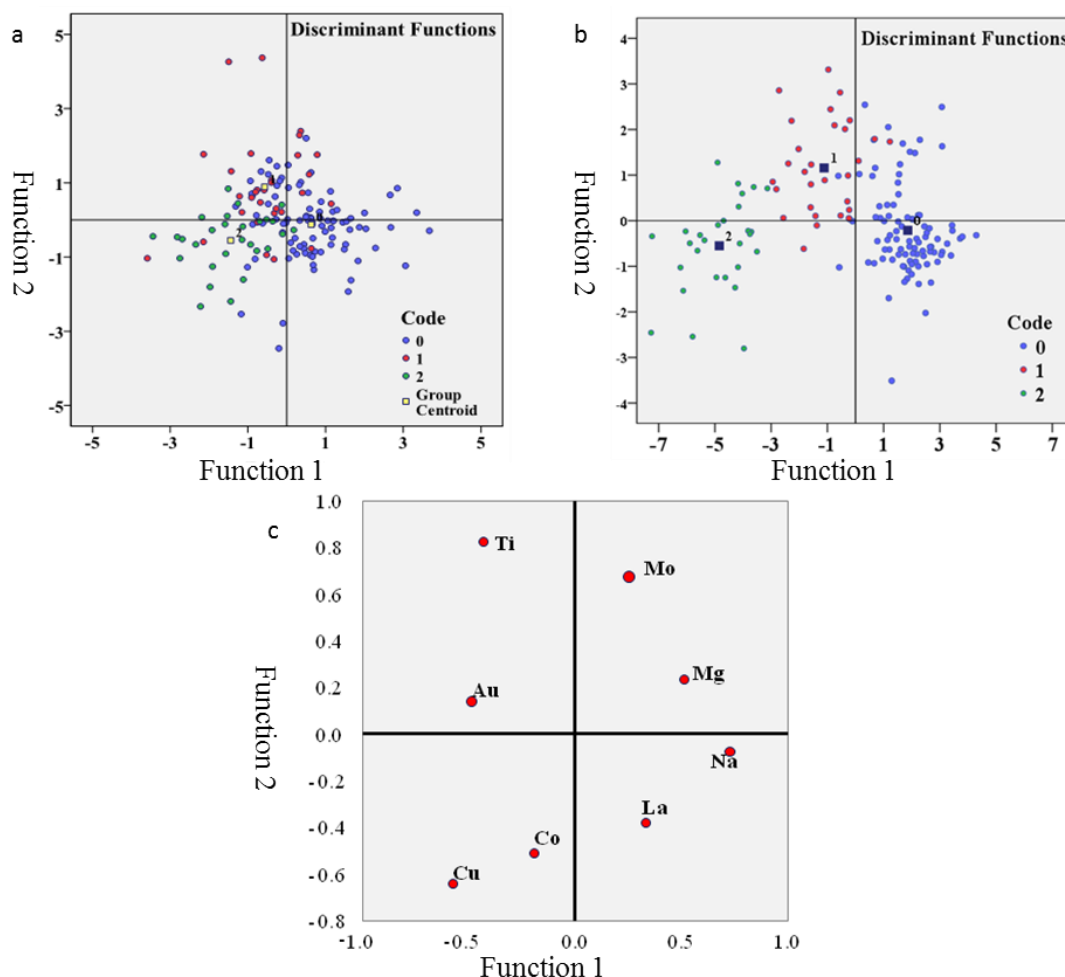
ضرایب توابع تفریقی به عنوان یک تعبیر ژئوشیمیایی با معنی برای توجیه رفتار تابع مذکور است. نقشه ضرایب متغیرها اطلاعات مفیدی را در مورد ساختار توابع تفریقی و جایگاه هر یک از متغیرها نشان می‌دهند و به طور واضح باعث جدا شدن گروه‌های از پیش تعیین شده می‌شوند. از لحاظ هندسی، توابع تفریقی فضای تفریقی را بر روی دو محور عمود بر هم کاهش می‌دهند. نقشه پراکندگی ضرایب متغیرها بر روی محورهای نرمال

گروه حاشیه‌ای آنومالی (Code1) از دو گروه دیگر شده است. در نهایت کلاسه‌بندی عناصر توسط تابع تفریقی به خوبی صورت گرفته است و در ماتریس کلاسه‌بندی جدایش عناصر تا میزان ۹۵٪ مشاهده گردیده است.

تابع ۱ (محور افقی) یک رابطه‌ی جدایش دو قطبی واضح بین Cu و Na، نمونه‌های آنومالی (Code 2) در مقایسه با زمینه (Code 0) مشاهده می‌شود. La و Mg در سمت قطب Na و Co و Au در قطب Cu نیز به این جدایش کمک می‌کند. از طرف دیگر عنصر Ti در تابع ۲ (محور عمودی) باعث جدایش

جدول ۳: نتایج جدول کلاسه‌بندی گروه‌ها برای داده‌های نرمال شده

| کلاسه‌های پیش‌بینی شده |        |        |             |          | کلاسه‌های مشاهده‌شده |
|------------------------|--------|--------|-------------|----------|----------------------|
| Code 0                 | Code 1 | Code 2 | کل نمونه‌ها | درصد صحت |                      |
| ۸۴                     | ۷      | ۰      | ۹۱          | ۹۲/۳     | Code 0               |
| ۱                      | ۲۹     | ۰      | ۳۰          | ۹۶/۷     | Code 1               |
| ۰                      | ۱      | ۲۷     | ۲۸          | ۹۶/۴     | Code 2               |
| ۸۵                     | ۳۷     | ۲۷     | ۱۴۹         | ۹۵/۱     | کل نمونه             |



شکل ۴: مقایسه بین متغیرها و گروه‌ها (a) جایگاه نمونه‌ها در گروه‌ها و (b) جایگاه نمونه‌ها در گروه‌ها بعد از افزایش واریانس بین گروهی (c) نقشه پراکندگی ضرایب متغیرها.

دالی شمالی مشخص گردیده و Mo, Ti, Fe, K و تا حدودی Ba عناصر در حاشیه کانی‌زایی Cu-Au و عناصر Na, Li, Ca, Sr, As به عنوان عناصر تهی شده در مرکز کانسار شناخته

۷- نتیجه‌گیری و پیشنهادها  
با روش آنالیز تطبیقی وجود آنومالی Cu-Au در منطقه

parametric approach to correspondence analysis, *Linear Algebra and its Applications* ", 417, 64–74.

[7] Chan Y.H., 2005. "Discriminant analysis, Biostatistics 303", CME Article of Singapore Med J; 2, 46- 54.

[8] Cooke, D. R. , Wilson, A. J., House, M. J., Wolfe, R. C., Walshe, J. L., Lickford V. and Crawford, A. J. (2007), "Alkaline porphyry Au-Cu and associated mineral deposits of the Ordovician to Early Silurian Macquarie Arc", New South Wales Australian Journal of Earth Sciences, 54, (445 – 463).

[9] Farber Oren. and Kadmon Ronen, 2002. "Assessment of alternative approaches for bioclimatic modeling with special emphasis on the Mahalanobis distance" , Ecological Modelling. Elsevier Science. 160:115-130.

[10] Farnham I.M., Johannesson K.H., Singh A.K., Hodge V.F., Stetzenbach K.J., 2003. "Factor analytical approaches for evaluating groundwater trace element chemistry data, *Analytica Chimica Acta* ", 490, 123–138.

[11] Greenacre Michael, 2007. "correspondence analysis in practice", Second Edition, Universitat Pompeu Fabra, Barcelona, Spain., by Taylor & Francis Group, p 274, 137-140.

[12] Heidke J.M., Miksa E.J., 2000. "Correspondence and Discriminant Analyses of Sand and Sand Temper Compositions", Tonto Basin, Arizona, Archaeometry, Volume: 42, Issue: 2, Pages: 273-299.

[13] Hezarkhani, A., 2006a. "Hydrothermal evolution of the Sar-Cheshmeh porphyry Cu-Mo deposit, Iran: evidence from fluid inclusions". *Journal of Asian Earth Sciences* 28,409–422.

[14] Hezarkhani, A., 2006b, "Petrology of the intrusive rocks within the Sungun Porphyry Copper Deposit, Azerbaijan, Iran", *Journal of Asian Earth Sciences* 27, 326–340.

[15] Hezarkhani, A., Williams-Jones, A.E., Gammons, C.H., 1999. "Factors controlling copper solubility and chalcopyrite deposition in the Sungun porphyry copper deposit, Iran", *Mineralium Deposita* 34, 770–783.

[16] Hongjin Ji , Youngzheng Zhu , Xisheng Wu. 1995. "Correspondence Cluster Analysis and its Application in Exploation Geochemistry", *Journal of Geochemical Exploration*, Vol.55, p.137-144.

[17] Hongjin Ji, Daoming Zeng, Yanxiang Shi , Yangang Wu , Xisheng Wu. 2007. "Semi-hierarchical correspondence cluster analysis and regional geochemical pattern recognition", *Journal of Geochemical Exploration* 93, 109–119.

[18] Matschullat, J., Ottenstein, R., Reimann, C., 2000. "Geochemical background — can we calculate it? " *Environ. Geol.* 39 (9), 990–1000.

[19] Meldrum S.J., Aquino R.S., Gonzales R.I., Burke R.J., Suyadi A., Irianto B., Clarke D.S., .1994. "The Batu-Hijau Porphyry Copper Gold Deposit, Sumbawa-

شدند. در روش آنالیز تطبیقی نمونه‌های آنومال برای هر عنصر هم به خوبی خود را نشان می‌دهند به طوری که به عنوان مثال نمونه‌های شماره ۴۰، ۲۲ و ۷۴ آنومالی بالا برای طلا و نمونه ۸۴ هم آنومال‌ترین نمونه مس شناخته شدند. روش آنالیز تطبیقی به عنوان مکمل و تأیید کننده روش آنالیز تطبیقی نمونه‌ها را در سه گروه آنومالی، حاشیه و زمینه تقسیم‌بندی نموده و با توجه به فاصله ماهالانوبیس عناصر Cu-Au-Co در گروه آنومالی و Li-Na-La و Mg در گروه زمینه دیده می‌شوند و در موقعیت آنومالی تهی شدگی نشان می‌دهند.

نتایج به دست آمده از این دو روش تأیید کننده بررسی‌های زمین‌شناسی و خصوصیات لیتولوژیکی منطقه (بخش ۳) است. بنابراین ترکیب این دو روش در کارهای اکتشافی می‌تواند در مراحل آغازین اکتشافات نتایج بسیار مفید و سودمندی را به دنبال داشته باشد.

## ۸- تشکر و قدردانی

کمال قدردانی و تشکر خود را از شرکت درسا پرداز به جهت آنکه داده‌های حاصل از آنالیز نمونه‌ها را در اختیار ما قرار دادند و امکان این تحقیق را فراهم نمودند اعلام می‌داریم.

## ۹- مراجع

[۱] حسنی پاک، ع.، شرف‌الدین، م. (۱۳۸۲)، "تحلیل داده‌های اکتشافی"، انتشارات دانشگاه تهران. ۹۸۷. ص ۳۰۳-۳۱۶.

[۲] دارابی گلستان فرشاد، قوامی ریابی رضا، خالوکاکایی رضا (۱۳۸۹)، "تعیین نوع آنومالی منطقه‌ای توسط آنالیز تطبیقی با تأیید آنالیز ویژگی"، بیست و نهمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی ایران.

[۳] دارابی گلستان ف.، قوامی ریابی ر. (۱۳۹۰)، "شناسایی عناصر مرتبط با محدوده‌های تمرکز Cu-Au و عناصر معرف مرزهای پترولوژیکی و دگرسانی در نهشته دالی شمالی"، سی‌امین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی ایران.

[۴] قوامی ریابی ر.، دارابی گلستان ف.، خالوکاکایی ر. و اسدی هارونی ه. (۱۳۹۰)، "ارزیابی هاله‌های لیتوژئوشیمیایی اولیه و ثانویه کانی‌سازی دالی شمالی و تلفیق آن‌ها با سایر اطلاعات اکتشافی به منظور هدایت عملیات اکتشافی"، سال ۷، شماره ۴: ۳۱۱-۳۱۸؛ فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی.

[5] Asadi Haroni H., 2008. "First Stage Drilling Report on Dalli Porphyry Cu-Au Prospect, Central Province of Iran", Technical Report.

[6] Carles M. Cuadras, Daniel Cuadras.,2006. "A

- Island, Indonesia*", Journal of Geochemical Exploration Volume: 50, Issue: 1-3, Pages: 203-220.
- [20] Pourhosseini, F., 1981. "*Petrogenesis of Iranian Plutons: a Study of the Natanz and Bazman Intrusive Complexes: Ph.D thesis*", University of Cambridge, 315p.
- [21] Reimann, C., and P. Filzmoser, 2000. "Normal and lognormal data distribution in geochemistry: Death of a myth. Consequences for the statistical treatment of geochemical and environmental data". *Environmental Geology* 39, no. 9: 1001-1014.
- [22] Reimann, C., and R.G. Garrett. 2005. "Geochemical background Concept and reality", *Science of the Total Environment* 350, no. 1-3: 12- 27.
- [23] Sajona, F.G., Maury, R.C., Pubellier, M., Leterrier, J., Bellon, H., Cotton, J., 2000. "Magmatic source enrichment by slab-derived melts in a post-collision setting, central Mindanao (Philippines)". *Lithos* 54, 173– 206.
- [24] Stocklin, J., Burke, C., Drake, C. (Eds.), 1974. "*Possible ancient continental margins in Iran*". *Geology of Continental Margins*. Springer-Verlag, New York, pp. 873–877.
- [25] Wilson A, Cooke D and Thompson John. 2002. "Alkalic and high-K calc-alkalic porphyry Au-Cu deposits:A summary", *CODES Special, Publication* 4, p 51-55.
- [26] Xiaoming Qu, Zengqian Hou, Youguo Li, 2004. "Melt components derived from a subducted slab in late orogenic ore-bearing porphyries in the Gangdese copper belt, southern Tibetan plateau", *Lithos* 74,131– 148.
- [27] Zarasvandi, A., Liaghat, S., Zentilli, M., Reynolds, P.H. 2007. "*<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar geochronology of alteration and petrogenesis of porphyry copper-related granitoids in the Darreh-Zerreshk and Ali-Abad area, central Iran*". *Exploration and Mining Geology* 16, 11– 24.
- [28] Zoran Peh, Josip Halamić, 2010. "*Discriminant function model as a tool for classification of stratigraphically undefined radiolarian cherts in ophiolite zones*" , *Journal of Geochemical Exploration* 107, 30–38.

- 
- 1- Correspondent analysis
  - 2- Discriminant analysis
  - 3- QDP
  - 4- MATLAB
  - 5- Multiple Discriminant Analysis