**تهیه نقشه آنومالی آنتیموان وطلا با استفاده از روش تحلیل مولفه های اصلی و شاخص GMPI**

حسین شاهی\*1، محمد علیزاده2 ، محمد جعفری3

1. گروه مهندسی معدن، مجتمع آموزش عالی گناباد hssn.shahi@gmail.com
2. دانشجو کارشناسی ارشد دانشگاه کاشان
3. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی شمال شرق

**چكيده**

تعیین مناطق آنومالی ژئوشیمیایی یکی از موضوعات مهم در اکتشافات معدنی به حساب می آید. روش های مختلفی جهت شناسایی مناطق با پتانسیل کانی سازی در اکتشافات ژئوشیمیایی بکار گرفته شده است. روش تحلیل مولفه های اصلی و شاخص GMPI روش های نسبتا جدیدی هستند که در این زمینه مورد استفاده قرار گرفته اند و مبتنی بر آمار چند متغییره می باشند. در این مطالعه جهت شناسایی مناطق آنومالی طلا و آنتیموان در منطقه شند محمود در شهرستان فردوس از این روش ها استفاده شده است و عناصر مرتبط با فازهای کانی سازی مورد شناسایی قرار گرفته و نقشه آنومالی ژئوشیمیایی بدست آمده از این روش ها به صورت جداگانه ترسیم شده است.

کلمات کلیدی: روش تحلیل مولفه های اصلی (PCA)، کانی سازی آنتموان و طلا، تعیین نقشه آنومالی، شاخص GMPI

Au and Sb anomaly mapping using Principal component analysis (PCA) and Geochemical mineralization probability index (GMPI)

Hossein, Shahi; Mohammad, Alizadeh; Mohammad, Jafari

Abstract:

Determination of geochemical anomaly is one of important subjects in mining exploration. Different methods have been applied for identification of high potential area in geochemistry. Principal component analysis (PCA) and geochemical mineralization probability index (GMPI) based on multivariate statistic have been utilized as new approaches in this field. In this study, these approaches have been performed for identification of Au and Sb anomaly area in Shand Mahmood district around the Ferdows city. Then the elements related to mineralization phases have been identified and the geochemical anomaly maps obtained from these methods have been delineated, separately.

Key words: Principal component analysis (PCA), Antimony and Gold mineralization, anomaly mapping, GMPI index

**مقدمه**

یکی از روش­های کاهش بعد فضای ویژگی و کلاسه­بندی متغیر­ها روش تحلیل مؤلفه­های اصلی (PCA) است که می­توان به تحلیل­های مناسبی از داده­ها بر اساس نتایج آن دست یافت. تعیین عناصر مرتبط با کانی­سازی و تشخیص الگوی کانی­سازی یکی از مباحث مهم اکتشاف کانسارها است. به منظور تعیین عناصر مرتبط با کانی­سازی، شناخت الگوی توزیع، چگونگی همراهی عناصر با یکدیگر و تعیین فاکتور کانی­سازی از روش تحلیل مؤلفه­های اصلی برروی داده­های ژئوشیمیایی استفاده شده است. روش PCA یکی از روش­های آنالیز چند متغیره است. این روش ابزار مفیدی جهت ترکیب چند متغیر وابسته در یک متغیر و کاهش بعد مجموعه داده­ها در مؤلفه­های اصلی غیر وابسته بر اساس کواریانس و همبستگی متغیرها است که یک همبستگی درونی میان متغیرها را نشان می­دهد (Jolliffe, ). یکی از مسائل مهم در تحلیل داده­ها، کاهش بعد فضای ویژگی­ها است که در روش­های استخراج ویژگی و تشخیص الگو حائز اهمیت است (Cheng Q, 2011). در روش PCA، متغیرهای وابسته با ابعاد بالا بر اساس یک ماتریس همبستگی به مولفه های اصلی غیر وابسته (PCs) تبدیل می شوند (Loughlin W.P, 1991). PCA اغلب برای تجزیه و تحلیل داده های ژئوشیمیایی به منظور شناسایی شاخص یا شاخص های معدنی و تعیین ویژگی های کانی سازی مورد استفاده قرار گرفته است (Cheng, 2006; Davis, 2002; Zuo, 2011; Shahi et al, 2014).

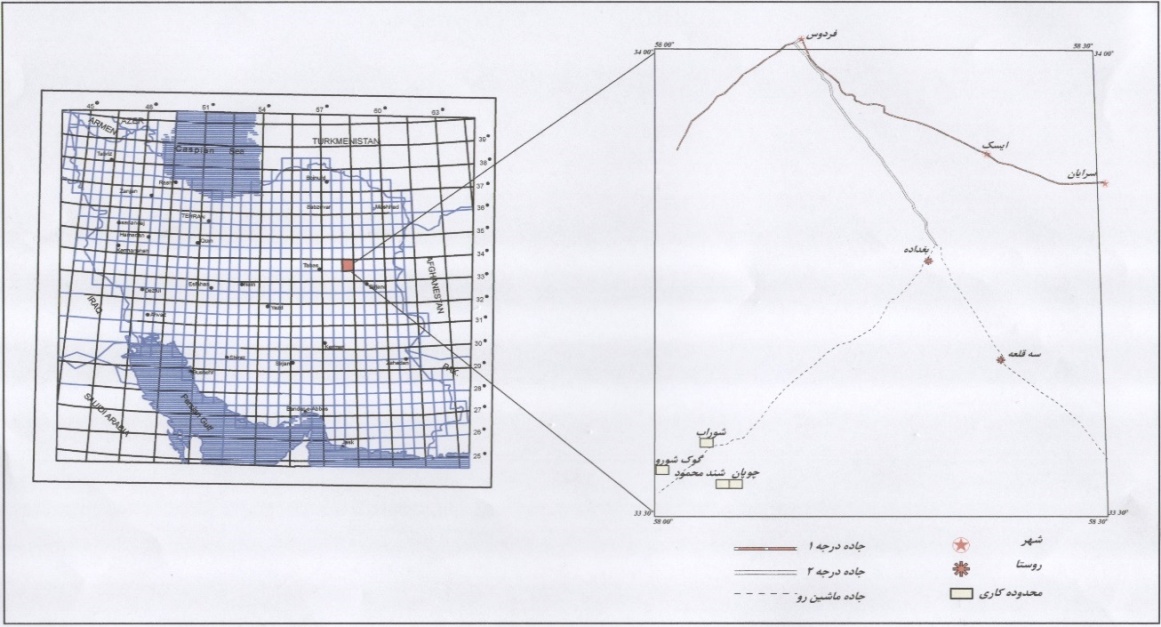
شاخص GMPI نیز یکی از روش هایی است که مبتنی بر روش های آماری چند متغیره است و توسط یوسفی و همکارانش معرفی گردید. مقادیر GMPIمحدود به بازه ی [1,0] می باشد (Yousefi M, 2012). شاخص GMPI بر اساس روش تحلیل مولفه های اصلی بصورت زیر نیز پیشنهاد شده است(Farzamian, et al., 2016) :

|  |  |
| --- | --- |
| (1) |  |

که در آن MFS[[1]](#footnote-2)مقدار نمره مربوط به فاکتور کانی سازی است. در این مطالعه روش PCA همراه با شاخص GMPI برای تحلیل داده ها و تعیین مناطق آنومالی مورد استفاده قرار گرفته است.

**منطقه مورد مطالعه:**

محدوده‌هاي مورد بررسي در استان خراسان جنوبي و در 68 كيلومتري جنوب باختر شهرستان سرايان و 32 كيلومتري جنوب باختر روستاي بغداده جاي دارد (شکل1). منطقه مورد مطالعه در بخش شمالي بلوك لوت جاي دارد. اين بلوك در محدوده مورد مطالعه بيشتر توسط سنگ هاي آتشفشاني سنوزوئيك با ضخامت 2000 تا 3000 متر و تركيب آندزيتي، بازالتي، داسيتي و تركيب هاي وابسته و همچنين نهشته هاي قاره اي نئوژن – كواترنر پوشيده شده است. سنگ هاي آتشفشاني مزبور در زمان پالئوژن و نئوژن تشكيل شده‌اند. گسترش و ضخامت سنگ هاي آتشفشاني پالئوژن بسيار كمتر و تركيب آن ها آندزيتي – داسيتي است كه عمده كاني سازي‌هاي منطقه متاثر از اين سنگ ها بوده است. سنگ هاي آتشفشاني نئوژن با تركيب آندزيتي – بازالتي گسترش و ضخامت زيادتري را در محدوده مورد مطالعه به خود اختصاص داده و كمتر تحت تاثير حركات زمين ساختي بوده است. در منطقه مورد مطالعه، رخساره هاي شيل، ماسه سنگ به همراه ميان لايه هاي آهكي سازندهاي نايبند، شمشك، قلعه دختر را كه اساسا از سنگ‌هاي رسوبي درياي كم عمق و آواري تشكيل شده آشكار مي سازد. لايه هاي متعلق به بعد ترياس، نمايانگر يك تغيير زمين ساختي هستند كه آشكارا كم شدت و در آن خميدگي ملايم و قطع قطع شدگي بوسيله گسل ها غلبه دارد. محدوده شند محمود در باختر محدوده چوپان قرار دارد. جنس بيشتر سنگ هاي تشکيل دهنده آن از ريوداسيت و داسيت تشکيل شده است. برونزدهايي از شيل و ماسه سنگ شمشک نيز بصورت رگه اي گرمابی نهشته شده است. رگه ها سيليسي و درون سنگ ميزبان ريوداسيتي نهشته شده است. گسل ها بطور كلي، پرشيب تا قائم و جابجا شدگي ها امتداد لغز با راستاي چپگرد و راستگرد هستند و گاه بصورت مورب لغز با ساز و كار شيب لغز (معكوس و يا نرمال) مشاهده مي شوند. در منطقه شند محمود، گسل‌ها بيشتر داراي دو راستاي شمال باختر ـ جنوب خاور و شمال خاور ـ جنوب باختر مي‌باشند.



شکل1: موقعیت منطقه مورد مطالعه

رگه‌هاي كانه‌دار محدوده با راستاي اصلي شمال باختر ـ جنوب خاور بوده و به طور فرعي‌تر با راستاي شمال خاور ـ جنوب باختر ديده مي‌شود. به طور کلی واحدهاي سنگي محدوده شامل واحد شيل و ماسه سنگ سازند شمشك، واحد داسيتي، واحد آندزيتي و واحدهاي عهد حاضر می باشد. محدوده‌هاي شند محمود دارای رگه‌هاي آنتيموان‌دار و حفريات قديمي كه همراه با كاني‌سازي است می باشد. کانی سازی ها بصورت يک زون رگه و رگچه سيليسي شده می باشد که بعضاً داراي اکسيدهاي ثانويه آهن و منگنز است (شرکت توسعه علوم زمین، 1385).

**بحث:**

منطقه مورد مطالعه یکی از مناطق با پتانسیل بالا از جهت وجود کانی سازی طلا و آنتیموان است. جهت انجام اکتشافات تفصیلی تعداد 128 نمونه از منطقه برداشت شده و برای تعداد 48 عنصر مورد آنالیز قرار گرفته است. مشخصات آماری اولیه مربوط به عناصر طلا و آنتیموان به صورت جدول1 می باشد.

جدول1: نتایج ویژگی های آماری طلا و آنتیموان

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Sb | Au |
| Mean | 26.158 | .095 |
| Median | 3.945 | .028 |
| Std. Deviation | 66.6102 | .2250 |
| Variance | 4436.916 | .051 |
| Skewness | 4.347 | 4.020 |
| Kurtosis | 21.232 | 16.730 |
| Minimum | .6 | .0 |
| Maximum | 443 | 1.3 |

جهت بررسی ویژگی های کانی سازی و ارتباطات عناصر به فاز کانی سازی روش تحلیل مولفه های اصلی بر روی داده ها صورت گرفت. تعداد 48 عنصر که به عنوان ویژگی در این روش محسوب می شوند با استفاده از روش PCA به 10مولفه کاهش بعد داده است. با توجه به این کاهش بعد قابل توجه، می توان راحت تر و مناسب تر در مورد آنومالی های منطقه اظهار نظر کرد. جدول2 واریانس مربوط به 10 مولفه اصلی را نشان می دهد. مولفه هایی که مقدار ویژه کمتر از 1 داشته اند از مولفه ها حذف شده اند. در واقع 10 مولفه موجود بیشترین تغییرات داده ها را نشان می دهند. در مجموع این 10 مولفه 84 درصد تغییرات موجود در داده ها را نشان می دهند.

جدول2- واریانس های مربوط به مولفه های اصلی

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Component | Initial Eigenvalues | | | Extraction Sums of Squared Loadings | | | Rotation Sums of Squared Loadings | | |
| Total | % of Variance | Cumulative % | Total | % of Variance | Cumulative % | Total | % of Variance | Cumulative % |
| 1.0 | 10.8 | 22.5 | 22.5 | 10.8 | 22.5 | 22.5 | 8.7 | 18.1 | 18.1 |
| 2.0 | 7.2 | 14.9 | 37.5 | 7.2 | 14.9 | 37.5 | 6.6 | 13.7 | 31.8 |
| 3.0 | 5.3 | 11.0 | 48.4 | 5.3 | 11.0 | 48.4 | 5.0 | 10.4 | 42.2 |
| 4.0 | 4.7 | 9.8 | 58.3 | 4.7 | 9.8 | 58.3 | 3.4 | 7.0 | 49.3 |
| 5.0 | 2.8 | 5.8 | 64.1 | 2.8 | 5.8 | 64.1 | 3.3 | 6.9 | 56.1 |
| 6.0 | 2.6 | 5.5 | 69.6 | 2.6 | 5.5 | 69.6 | 3.2 | 6.8 | 62.9 |
| 7.0 | 2.6 | 5.3 | 74.9 | 2.6 | 5.3 | 74.9 | 3.1 | 6.6 | 69.4 |
| 8.0 | 1.6 | 3.4 | 78.3 | 1.6 | 3.4 | 78.3 | 2.5 | 5.3 | 74.7 |
| 9.0 | 1.4 | 2.9 | 81.2 | 1.4 | 2.9 | 81.2 | 2.4 | 4.9 | 79.7 |
| 10.0 | 1.3 | 2.7 | 83.9 | 1.3 | 2.7 | 83.9 | 2.0 | 4.2 | 83.9 |

نتایج مربوط به مولفه های اصلی در جدول 3 نشان داده شده است. جهت تعیین نقش عناصر در مولفه های مختلف مقدار 6/0 را به عنوان مبنا درنظر گرفتیم. عناصر مرتبط با هر مولفه در جدول3 مشخص شده اند. مولفه3 مربوط به کانی سازی طلا بوده و شامل عناصر مس، نقره، باریم، قلع و اورانیوم می باشد. عنصر آنتیموان نیز در این مولفه تاحدی نقش ایفا می کند. این مولفه جهت نشان دادن مناطق آنومال بعد از درونیابی ترسیم شده است(شکل2). مولفه 5 مولفه مرتبط با کانی سازی آنتیموان می باشد. عناصر مرتبط با این مولفه شامل جیوه، برلیم و تنگستن می باشند. شکل2محل آنومالی های مربوط به این مولفه را نشان می دهد. بعد از انجام روش تحلیل مولفه های اصلی، روش GMPI مورد استفاده قرار گرفته است این روش بر اساس روابطی که توضیح داده شد بر روی ضرایب هر نمونه مربوط به مولفه اصلی کانی سازی اعمال می شود. نتایج حاصل مقادیری بین 1 و صفر خواهند داشت. با توجه به فرمول ارائه شده، GMPIهای بیشتر از 5/0 برای ما با ارزشمند خواهند بود. شدت این مقادیر میزان اهمیت آنومالی را نشان می دهند. در نتیجه مقادیر نزدیک به1 بااهمیت ترین مقادیر خواهند بود. نقشه مربوط به این شاخص در شکل3 ترسیم شده است. بر اساس نتایج بدست آمده از روش تحلیل مولفه های اصلی و شاخص GMPI، آنومالی مربوط به فاز کانی سازی طلا که عناصر مختلفی را دربر دارد و مربوط به مولفه سوم می باشد بیشتر در مناطق جنوب و جنوب غرب منطقه دیده می شود در حالی که آنومالی مربوط به مولفه کانی سازی 5 بیشتر مناطق شمال و شرق را شامل می شود.

جدول 3- نتایج مربوط به روش تحلیل مولفه های اصلی (Rotated Component Matrix)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Component | | | | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Sb | -0.20 | -0.06 | 0.55 | -0.06 | 0.63 | 0.04 | -0.12 | 0.08 | 0.14 | 0.06 |
| Au | -0.25 | 0.08 | 0.68 | -0.13 | 0.05 | 0.04 | -0.13 | 0.05 | 0.42 | -0.09 |
| Cu | -0.07 | 0.33 | 0.87 | -0.11 | 0.01 | -0.01 | -0.02 | 0.06 | -0.02 | -0.07 |
| Ag | -0.17 | -0.13 | 0.83 | -0.13 | 0.02 | 0.04 | -0.08 | 0.04 | 0.02 | 0.07 |
| Pb | -0.24 | 0.60 | 0.26 | 0.04 | 0.03 | 0.12 | 0.09 | 0.02 | 0.61 | 0.07 |
| Zn | -0.16 | 0.31 | 0.09 | -0.02 | 0.37 | -0.01 | 0.01 | 0.73 | 0.05 | -0.03 |
| As | -0.29 | 0.41 | 0.44 | -0.07 | 0.08 | 0.08 | 0.00 | 0.03 | 0.61 | 0.02 |
| Fe | 0.14 | 0.90 | 0.06 | -0.07 | 0.24 | 0.12 | -0.07 | 0.11 | -0.02 | 0.02 |
| Hg | -0.10 | 0.04 | 0.20 | 0.05 | 0.64 | -0.28 | 0.14 | -0.07 | -0.13 | 0.14 |
| Mo | -0.11 | 0.60 | 0.17 | 0.03 | 0.19 | -0.08 | 0.09 | 0.04 | 0.23 | 0.63 |
| Al | 0.88 | 0.12 | -0.16 | 0.04 | -0.13 | 0.08 | -0.13 | 0.04 | -0.22 | -0.11 |
| Ba | -0.06 | -0.09 | 0.72 | 0.15 | 0.08 | -0.10 | 0.20 | -0.10 | -0.16 | 0.28 |
| Be | 0.08 | 0.16 | -0.04 | 0.07 | 0.90 | -0.01 | -0.10 | 0.27 | 0.00 | 0.06 |
| Bi | -0.11 | 0.70 | 0.00 | 0.04 | -0.10 | 0.33 | 0.22 | -0.09 | 0.10 | -0.04 |
| Ca | 0.59 | -0.36 | 0.07 | -0.25 | -0.05 | -0.24 | 0.41 | -0.11 | 0.06 | 0.20 |
| Cd | -0.13 | 0.07 | 0.06 | -0.07 | 0.06 | -0.04 | 0.03 | 0.93 | 0.01 | -0.01 |
| Ce | 0.04 | -0.24 | 0.03 | 0.84 | 0.05 | -0.06 | -0.34 | 0.02 | -0.18 | 0.10 |
| Co | 0.60 | 0.20 | -0.03 | 0.00 | 0.03 | -0.31 | -0.12 | 0.34 | -0.18 | 0.37 |
| Ga | 0.72 | 0.30 | 0.26 | 0.10 | 0.13 | 0.35 | -0.01 | 0.10 | -0.25 | -0.03 |
| Ge | 0.18 | 0.82 | 0.19 | -0.02 | 0.22 | -0.02 | -0.13 | 0.12 | -0.05 | 0.06 |
| Hf | 0.63 | -0.40 | -0.15 | 0.09 | -0.01 | -0.16 | 0.40 | -0.09 | 0.36 | -0.15 |
| In | -0.02 | 0.82 | 0.07 | 0.08 | -0.11 | -0.16 | 0.04 | 0.11 | 0.32 | 0.02 |
| K | -0.09 | 0.09 | 0.07 | -0.09 | -0.07 | 0.90 | 0.23 | -0.08 | 0.02 | 0.07 |
| La | 0.02 | -0.26 | 0.09 | 0.83 | 0.08 | -0.08 | -0.31 | -0.02 | -0.16 | 0.14 |
| Li | 0.92 | 0.04 | -0.07 | -0.06 | -0.10 | 0.10 | -0.01 | 0.00 | -0.15 | -0.12 |
| Mg | 0.93 | -0.06 | -0.17 | -0.09 | -0.10 | -0.07 | 0.11 | -0.07 | -0.02 | -0.14 |
| Nb | 0.68 | 0.03 | -0.14 | -0.10 | 0.05 | 0.04 | 0.42 | -0.18 | 0.17 | -0.11 |
| Ni | 0.80 | 0.18 | -0.18 | -0.08 | 0.29 | -0.21 | -0.07 | 0.24 | -0.06 | 0.10 |
| P | -0.15 | 0.13 | -0.20 | 0.80 | 0.01 | -0.18 | 0.17 | 0.01 | 0.29 | -0.05 |
| Rb | -0.10 | 0.14 | -0.13 | 0.04 | -0.08 | 0.91 | 0.10 | -0.06 | 0.00 | 0.11 |
| S | 0.00 | 0.12 | -0.08 | -0.18 | -0.05 | 0.32 | 0.77 | -0.01 | 0.02 | -0.07 |
| Sc | 0.89 | -0.09 | -0.08 | 0.02 | -0.04 | -0.12 | -0.10 | -0.07 | -0.10 | 0.12 |
| Se | 0.00 | 0.86 | 0.20 | -0.11 | 0.02 | -0.11 | -0.04 | 0.14 | 0.06 | -0.01 |
| Sn | -0.14 | 0.37 | 0.77 | -0.04 | -0.03 | 0.11 | 0.18 | -0.02 | 0.32 | -0.03 |
| Sr | 0.07 | -0.02 | 0.40 | -0.20 | -0.02 | 0.25 | 0.73 | 0.01 | -0.05 | 0.20 |
| Te | -0.04 | 0.75 | -0.04 | -0.08 | -0.06 | 0.26 | 0.05 | -0.04 | -0.15 | -0.04 |
| Th | -0.18 | 0.15 | -0.15 | 0.82 | 0.03 | 0.16 | -0.01 | -0.06 | 0.02 | -0.13 |
| Ti | 0.77 | -0.31 | -0.14 | -0.21 | -0.06 | -0.04 | 0.15 | -0.16 | 0.29 | -0.11 |
| Tl | -0.26 | 0.01 | 0.14 | 0.04 | 0.12 | 0.31 | 0.05 | 0.04 | -0.09 | 0.81 |
| U | -0.09 | 0.33 | 0.81 | 0.03 | 0.08 | -0.12 | 0.09 | 0.16 | -0.04 | 0.23 |
| V | 0.94 | 0.00 | -0.16 | -0.08 | -0.08 | 0.01 | 0.00 | -0.13 | -0.01 | -0.10 |
| W | -0.04 | 0.02 | -0.04 | 0.07 | 0.95 | 0.02 | -0.02 | 0.15 | 0.09 | -0.01 |
| Y | 0.47 | 0.08 | -0.02 | 0.19 | 0.20 | -0.25 | -0.20 | 0.66 | -0.10 | 0.21 |
| Zr | 0.61 | -0.37 | -0.17 | 0.10 | 0.11 | -0.14 | 0.41 | -0.07 | 0.39 | -0.14 |

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

شکل2- نقشه آنومالی مربوط به مولفه اصلی3 و 5

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

شکل3- نقشه آنومالی مربوط به شاخص GMPI در مولفه های اصلی3 و 5

**نتيجه گيري**

در این مطالعه به منظور بررسی وضعیت کانی سازی در منطقه شند محمود و شناسایی عناصر مرتبط با کانی سازی و در نهایت ترسیم نقشه آنومالی از روش های تحلیل مولفه های اصلی و شاخص GMPI استفاده شد. روش تحلیل مولفه های اصلی به عنوان یک روش کاهش بعد فضای ویژگی توانست تعداد 48 عنصر را در 10 مولفه اصلی کلاسه بندی نماید. مولفه اصلی سوم به عنوان مولفه کانی سازی طلا و مولفه پنجم به عنوان مولفه کانی سازی آنتیموان شناسایی شدند. برخی از عناصر مختلف در هریک از این دو مولفه نقش داشتند که می توان آنها را عناصر مرتبط با فازهای کانی سازی دانست. بر اساس نتایج بدست آمده مناطق آنومالی برای مولفه 3 و5 به صورت جداگانه ترسیم شد. شاخص GMPI نیز بر این اساس محاسبه و نقشه آنومالی مربوطه ترسیم شد. نتایج حاصل نشان می دهد کانی سازی مربوط به مولفه سوم حاوی طلا بوده و مناطق جنوب و حنوب غرب منطقه را متاثر کرده است و مولفه 5 به عنوان مولفه کانی سازی آنتیموان در قسمت های شمال و شرق منزقه بیشتر دیده می شود.

**مراجع:**

حسنی پاک، 1390، تحلیل داده های اکتشافی، انتشارات دانشگاه تهران

شرکت توسعه علوم زمین، 1385، طرح اکتشاف آنتیموان شوراب استان خراسان جنوبی

Cheng, Q., Bonham-Carter, G., Wang, W., Zhang, S., Li, W., Xia, Q., 2011. A spatially weighted principal component analysis for multi-element geochemical data for mapping locations of felsic intrusions in the Gejiu mineral district of Yunnan, China. Comput. Geosci. 37, 662–669.

Cheng, Q., Jing, L., Panahi, A., 2006. Principal component analysis with optimum order sample correlation coefficient for image enhancement. International Journal of Remote Sensing 27 (16), 3387–3401.

Davis, J.C., 2002. Statistics and Data Analysis in Geology, 3rd ed., John Wiley & Sons Inc., NewYork, 550 pp.

Farzamian, M., Rouhani, A. K., Yarmohammadi, A., Shahi, H., Sabokbar, H. F., & Ziaiie, M. 2016. A weighted fuzzy aggregation GIS model in the integration of geophysical data with geochemical and geological data for Pb–Zn exploration in Takab area, NW Iran. Arabian Journal of Geosciences, 9(2), 104.

Jolliffe, I.T. 2002, Principal component analysis, 2nd edn. SprinGe, New York,547 NY.487 pp.

Loughlin, W. P., 1991. Principal component analysis for alteration mapping. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 57(9), 1163-1169.

Shahi H, Ghavami R, Kamkar Rouhani K, Asadi-Haroni H, 2014.Identification of mineralization features and deep geochemical anomalies using a new FT-PCA approach, journal of Geopersia, 4 (2), 101-110.

Yousefi, M., Kamkar-Rouhani, A., Carranza, E. J. M., 2012. Geochemical mineralization probability index (GMPI): a new approach to generate enhanced stream sediment geochemical evidential map for increasing probability of success in mineral potential mapping. J. Geochem. Explor, 115, 24-35.

Zuo, R., 2011. Identifying geochemical anomalies associated with Cu and Pb–Zn skarn mineralization using principal component analysis and spectrum–area fractal the Gangdese Belt, Tibet (China). J. Geochemical Exploration. 111, 13-22.

1. Mineralization Factor Score [↑](#footnote-ref-2)