

تلفیق روش‌های تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی در سنجش از دور و ژئوشیمی محدوده نقشه زمین‌شناسی یکصد هزارم محلات با استفاده از روش جدید سلولی وزنی جهت شناسایی آنومالی‌های طلا

علیرضا پیامنی^۱، سعید دهقان^{۲*}، بهنام بابایی^۳ و هوشنگ اسدی‌هارونی^۴

۱- دانشجوی دکترای اکتشاف معدن، گروه معدن، واحد محلات، دانشگاه آزاد اسلامی، محلات، ایران

۲ و ۳- استادیار گروه معدن، واحد محلات، دانشگاه آزاد اسلامی، محلات، ایران

۴- استادیار گروه اکتشاف، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

نویسنده مسئول: S.Deaghan@outlook.com *

نوع مقاله: کاربردی

پذیرش: ۱۴۰۳/۹/۷

دریافت: ۱۴۰۳/۷/۲۵

چکیده

مدل‌سازی پتانسیل معدنی و شناسایی مناطق امیدبخش، یکی از مهم‌ترین مراحل اکتشاف مقدماتی می‌باشد. بررسی و شناخت روش‌های مختلف و نوین مدل‌سازی به دلیل بالابردن احتمال اکتشاف و کاهش ریسک حائز اهمیت می‌باشند. منطقه مورد مطالعه از نظر تقسیمات ساختاری زون‌های زمین‌شناسی ایران زمین، شامل بخش‌هایی از نوار آتشفشانی و ایالت متالوژنی دگرگونه سنندج- سیرجان است. به تبع فرورانش و بسته شدن اقیانوس نئوتتیس نوار دگرگونه سنندج- سیرجان در اثر نفوذ توده‌های نفوذی اغلب کالکوالکان اسیدی با ترکیب غالباً گرانیات تا گرانودیوریت و کوارتزومونزونیته در واحدهای رسوبی و بعضاً آتشفشانی قدیمی‌تر، کانی‌سازی‌هایی به صورت پراکنده در این زون ایجاد کرده است. با استفاده از داده‌های دریافتی از سنجده استر و با روش PCA به عنوان روشی کارآمد و بهینه برای تشخیص دگرسانی‌های منطقه استفاده شد. در بخش ژئوشیمی با تجزیه و تحلیل داده‌های ژئوشیمیایی مشخص شد که عناصر Ag و As ، Cu ، Au و Pb با چولگی بالای هشت و مقدار ماکزیمم معادل چند ده تا چند صد برابر مقدار زمینه جهانی این عناصر، دارای پتانسیل نسبی کانی‌سازی در این محدوده هستند که در این میان طلا دارای یک جامعه آنومال شاخص است. در آنالیز فاکتوری ژئوشیمی مشاهده شد در مولفه اول بیشترین بار فاکتوری برای عناصر W ، Pb ، Li ، Ce ، La ، Nb و Fe می‌باشد و پس از آن عنصر Au دارای بار فاکتوری بالایی می‌باشد. این فاکتور با توجه تعدد عناصر مذکور به تنهایی در حدود ۲۵٪ کل تغییرپذیری را توجیه می‌نماید. پس از تهیه لایه‌های اطلاعاتی سنجش از دور و ژئوشیمی، تلفیق اطلاعات با استفاده از روش جدید وزنی سلولی صورت پذیرفت و با توجه به وجود معادن در منطقه، میزان همپوشانی ۵۱ درصد آنومالی‌های بدست آمده با معادن منطقه مشخص شد.

واژه‌های کلیدی: نقشه پتانسیل‌یابی، سنجش از دور، روش PCA و آنومالی‌های ژئوشیمی

۱- پیشگفتار

فعالیت‌های اکتشافی ذخایر معدنی، به خصوص برای یافتن تمرکز با ارزش اقتصادی از کانی‌ها و فلزات، دارای ۴ مرحله شامل انتخاب منطقه، شناسایی هدف، ارزیابی منبع و تعیین ذخیره می‌باشد. انتخاب منطقه اکتشافی، در واقع انتخاب منطقه امیدبخش (عموماً وسیع) می‌باشد. این انتخاب بر اساس شناخت از ذخیره و محیط آن در نزدیک سطح زمین و در مکان‌هایی که فرآیندهای زمین‌شناسی و ساختاری برای کانی‌سازی مناسب هستند، صورت می‌گیرد که تمامی این فرآیندها را می‌توان نوعی از مدل‌سازی

پیش‌بینی‌کننده^۱ محسوب نمود (کارانزا، ۲۰۰۸). تعریف یک مدل مفهومی، برای یک نوع ذخیره مورد پی‌جویی، نیاز به اطلاعات و داده‌های موجود از انواع مختلف فرآیندهای زمین‌شناسی دارد. براین اساس مطالعه و بازبینی مدل‌های ذخایر کشف شده مشابه ذخایر مورد پی‌جویی، در ناحیه مورد مطالعه و محیط‌های زمین‌شناسی مربوط به آن‌ها، که تشریح‌کننده مشخصات و خصوصیات زمین‌شناسی یک نوع کانی‌سازی خاص (مورد پی‌جویی) می‌باشند، بسیار مهم است (دمیکو و کیلر، ۲۰۰۲). مطالعه و بازبینی یافته‌ها درباره سیستم‌های زمین‌شناسی معین

¹ Predictive Modeling

فلیهو^۵ با استفاده از روش آنالیز مولفه‌های اصلی بر روی داده‌های سنجنده استر (محدوده طیفی VNIR و SWIR) با در نظر گرفتن کانی‌های اصلی زون‌های دگرسانی مرتبط با کانسارهای طلای اپی‌ترمال در لاس‌منیسوس^۶ آرژانتین به بارزسازی این کانی‌ها پرداختند (کروستا و دی سوزا فلیهو، ۲۰۰۳). والفیر با استفاده از داده‌های سنجنش‌ازدور ASTER الگوریتم تحلیل مؤلفه اصلی انتخابی را برای نقشه‌برداری زمین‌ریخت‌شناختی در سواحل منطقه آمازون به کار برده‌اند (والفیر و همکاران، ۲۰۰۵). اجرای دو روش وزن‌های نشانگر و رگرسیون لجستیکی، برای پتانسیل‌یابی کانسارهای معدنی توسط پروال^۷ و همکارانش، به ترتیب ۷۱/۴ و ۸۱/۶ درصد انطباق با کانسارهای در نظر گرفته شده را برای اعتبارسنجی نتایج نشان داد (پروال و همکاران، ۲۰۰۵). اسدی و همکاران از روش داده‌های هیبریدی ارتباط بین اشکال کانسار معدنی و اندیس‌های شناخته شده برای بهینه کردن روش منطق فازی و تعیین هدف‌های اکتشافی استفاده نمودند و نقشه نهایی پتانسیل طلا و مس در ایران مرکزی را تهیه کردند (اسدی هارونی و همکاران، ۲۰۰۷). پیامی و همکاران از روش ابتکاری ترکیب سلولی وزنی برای شناسایی مناطق بالقوه برای اکتشاف طلا در محلات، ایران استفاده کردند (پیامی و همکاران، ۲۰۲۳).

۲- موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

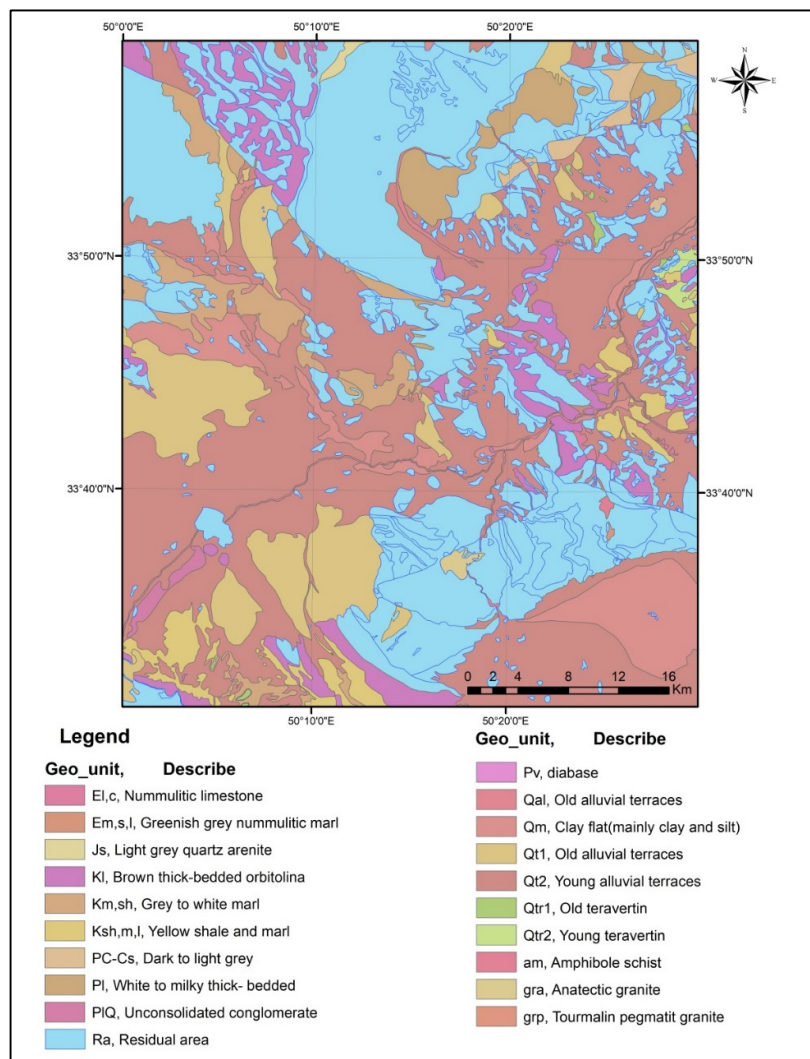
ناحیه مورد بررسی در مختصات جغرافیایی بین طول‌های شرقی ۵۰ درجه تا ۵۰ درجه و ۳۰ دقیقه و عرض شمالی ۳۳ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۳۴ درجه قرار گرفته است. نام نقشه برگرفته از شهرستان محلات در چارک شمال‌شرقی نقشه است که در فاصله ۳۶۲ کیلومتری تهران واقع شده است. از نظر ریخت‌شناسی، نهشته‌های آبرفتی در ناحیه مورد مطالعه به‌طور نسبی پائین‌ترین سطوح ارتفاعی را پدید آورده‌اند. این نهشته‌ها سست و ناپایدارند و دارای سبزی کم هستند، در شمال و شرق شهرستان محلات (نواحی کوهپایه‌ای) رسوبات جوان سیلابی به صورت مخروط‌افکنه‌هایی در دهانه دره‌ها و به گونه‌ای جدا از هم پدید آمده‌اند که دنباله آن‌ها به سوی دشت به یکدیگر

گسل‌ها و منظرها و عوارض دیگر زمین‌شناسی که می‌توانند به عنوان کنترل‌کننده‌های کانی‌سازی وابسته به نواحی هدف مطرح باشند، مفید است (بونهام-کارتز، ۱۹۹۴). مشخصات زمین‌شناسی، ژئوفیزیکی و ژئوشیمیایی نواحی که شامل ذخایر هم نوع ذخایر مورد پی‌جویی می‌باشند، اساس شناسایی و تعیین معیارهای اکتشافی مناسب است (کارانزا، ۲۰۰۸). برای بدست آوردن معیارهای اکتشافی در یک منطقه علاوه بر ترکیب اطلاعات مذکور نیاز به شناخت کافی از ذخایر ماده معدنی و خصوصیات آن‌ها نیز می‌باشد. ترکیب اطلاعات در حقیقت روشی برای استفاده مطلوب از ترکیب نتایج حاصل از چند روش مختلف بطور همزمان، ضمن کاهش زمان و خطا می‌باشد (تخم‌چی و همکاران، ۲۰۱۵). یکی از موارد کاربرد ترکیب اطلاعات تهیه نقشه‌های پتانسیل ماده معدنی به منظور شناسایی مناطق پرتپانسیل جهت انجام عملیات اکتشافات تفصیلی می‌باشد. امروزه از روش‌های مختلفی برای تهیه نقشه پتانسیل معدنی استفاده می‌شود که بطور کلی به سه صورت دانش‌محور^۲، داده‌محور^۳ و هیبریدی^۴ توسعه داده شده است (کارانزا، ۲۰۰۸) و (مورتیر و ترویلر، ۲۰۱۷). یکی از این روش‌های پرکاربرد که می‌توان گفت پیشینه مطالعات این مقاله را تشکیل می‌دهد، وزن‌های نشانگر می‌باشد. این روش که بر پایه‌ی احتمالات است، ارتباطات بین رخداد‌های شناخته شده از یک مشخصه (برای مثال ارتباط بین اندیس‌های کانی‌سازی شده) را تعیین می‌کند و حضور یا عدم حضور فاکتورهای کنترل‌کننده (نظیر مورفولوژی، تکتونیک و یا آنومالی‌های ژئوشیمیایی و ژئوفیزیکی) که باعث به وجود آمدن رخداد موردنظر در قسمت‌های مختلفی از یک محدوده می‌شود را می‌سنجد (اسچابن، ۲۰۱۲). در سال‌های ۱۹۹۰ تا ۱۹۹۵ گزارش‌های متعددی از کاربرد داده‌های سنجنش از دور جهت بارزسازی دگرسانی‌ها و جداسازی واحدهای سنگی ارائه شده است (فوجیسادا، ۱۹۹۵). از ویژگی‌های عمده و مهمی که باعث به کارگیری فنون سنجنش از دور در اکتشاف مواد معدنی می‌شد این بود که با کمک آن می‌توانستند کانی‌ها و عناصر ویژه‌ای را که با مواد معدنی مخصوصی همراه‌اند شناسایی کرد که این امر کمک بزرگی در اکتشاف کانی‌ها می‌کرد (وینسنت، ۱۹۹۷). کروستا و

^۵ Filho^۶ Los Menucos^۷ Porwal^۲ Knowledge-driven^۳ Data-driven^۴ hybrid

پیچیده و بر شدت چین‌خوردگی‌ها و تراکم شکستگی‌ها و گسله‌ها افزوده شده است. رخنمون‌های واحدهای سنگی پالئوزوئیک در بخش شمالی ورقه و سنگ‌آهک‌های ستیغ ساز کرتاسه در بخش شمالی و جنوبی ورقه بیشترین ارتفاعات ناحیه را پدید آورده‌اند. رخنمون‌های سنگ‌های دگرگون در نیمه جنوبی ورقه در شمال کفه رسی بخش شمالی شهرستان گلپایگان ارتفاعات متوسط و سنگ‌های آذرین نفوذی در نیمه جنوبی ورقه ارتفاعات کمی را شکل داده‌اند (شیخ‌الاسلامی و همکاران، ۲۰۰۷). نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه در شکل ۱ آورده شده است.

نزدیک می‌شوند. در جنوب و جنوب‌شرقی محلات تپه‌های کم و بیش مسطح تراورتن با بلندای کم به سن کواترن وجود دارد و در بعضی از محل‌ها (حوالی رودخانه لعل بار) تراورتن در حال حاضر در حال تشکیل است. سنگ‌های دگرگون شده کربونیفر با لیتولوژی نرم همراه با رسوبات نرم فرسایش دیگر واحدهای سنگی نظیر زاگون ارتفاعات کمی را پدید آورده‌اند. در جنوب روستای انجدان و شرق شهرستان محلات و روستای خوگان یک سری ناودیس و تاقدیس با دامنه‌های با شیب ملایم رخنمون دارند که به طور عمده در بخش‌های نرم فرسایش واحدهای سنگی کرتاسه و ائوسن دیده می‌شوند. در سایر مناطق به سبب اثر نیروهای زمین‌ساختی، ساختارهای زمین‌شناسی



شکل ۱. نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

Fig. 1. Geological map of the studied area

۳- روش انجام پژوهش

۳-۱- تجزیه و تحلیل فاکتوری^۱

تحلیل فاکتوری یک روش چند متغیره است که تلاش می‌کند الگوی همبستگی موجود در یک بردار تصادفی قابل مشاهده را برحسب تعداد کمتری از متغیرهای تصادفی غیرقابل مشاهده (پنهان) به نام عامل‌ها توصیف کند (کاهش داده‌ها). یکی از کاربردهای تجزیه و تحلیل فاکتوری در اکتشاف، رسم نقشه‌های فاکتوری است. در این نقشه‌ها مقدار عددی هر فاکتور، در محل نمونه، روی نقشه مشخص می‌شود و سپس کانتورهای لازم رسم می‌شود. چنین نقشه‌هایی می‌توانند بین تمرکز عناصر کانساری با فاکتور کنترل‌کننده‌ی آن یعنی عوامل سنگ‌شناسی، ساختمانی، آب‌وهوایی، ژئومورفولوژی و غیره ارتباط برقرار کند. دو روش تحلیل فاکتوری و تحلیل مؤلفه‌های اصلی سعی در کاهش بعد فضای مورد مطالعه دارند. به دلیل شباهت دو روش در محاسبه و هدف، بسیاری از مؤلفین تحلیل مؤلفه‌های اصلی را حالت خاصی از تحلیل فاکتوری می‌دانند (قمی و قدیمی، ۲۰۱۶). شناسایی تعداد فاکتورهای اصلی در تجزیه و تحلیل فاکتوری کار بسیار دشواری است. بسیاری از روش‌هایی که در حال حاضر برای تعیین تعداد فاکتور اصلی مورد استفاده قرار می‌گیرند در عمل نمی‌توانند مؤثر واقع شوند. بهترین روش در تعیین تعداد فاکتور اصلی استفاده از نمودار Scree، سپس استفاده از آزمون سعی و خطا با تعداد فاکتورهای مختلف و بررسی نتایج آن‌ها جهت تعیین بهترین تعداد فاکتور می‌باشد. البته قابل ذکر است در بسیاری از موارد تعداد کم فاکتورهای اصلی نتایج بهتری را نشان می‌دهد (ریمان و همکاران، ۲۰۰۲). آنالیز مؤلفه‌های اصلی (PCA) داده‌های سنجش از دور روش PCA، احتمالاً قدیمی‌ترین و بهترین روش شناخته شده در تجزیه و تحلیل چند متغیره است. هدف اصلی استفاده از این روش، کاهش ابعاد مجموعه داده‌ها، ضمن حفظ و نگهداری اطلاعات موجود در آن‌ها است (سو و همکاران، ۲۰۰۵). برای هر مؤلفه اصلی، تصویری متناظر از روی بردار ویژه متناظر محاسبه می‌شود. ارزش‌های عددی تصویر مؤلفه اصلی با استفاده از مقادیر ارزش‌های عددی در تصاویر اولیه و مؤلفه‌های بردارهای ویژه به صورت رابطه (۱) محاسبه می‌شوند:

$$P_k = \sum_{i=1}^n a_{ik} DN(i) \quad (1)$$

که در آن P_k ارزش عددی پیکسل مورد نظر برای k امین مؤلفه اصلی، $DN(i)$ ارزش عددی در باند i ام برای پیکسل مورد نظر، a_{ik} مقدار عنصر بار به دست آمده از بردار ویژه مؤلفه k ام در باند i ام است. به این ترتیب برای هر مؤلفه اصلی یا بردار ویژه متناظر یک تصویر که معرف تغییرپذیری در جهت آن بردار است، به دست می‌آید (وینسنت، ۱۹۹۷). از این طریق می‌توان اطمینان حاصل کرد که پدیده‌هایی چون پوشش گیاهی در به نقشه درآوردن کانی‌های هدف ظاهر نخواهند شد و نیز اطلاعات طیفی پدیده هدف (کانی-های دگرسانی) را به کمک یک مؤلفه اصلی خاص به نمایش درآورد. این روش امروزه به نام روش «کروستا» شهرت یافته است (کروستا و موهر، ۱۹۸۹). شرط انتخاب PC های مناسب این است که در ماتریس‌های بردار ویژه، باندهای مربوط به جذب و انعکاس کانی‌های هدف به‌طور همزمان دارای بالاترین مقادیر بوده و در ضمن این مقادیر غیر هم علامت نیز باشند.

۳-۲- تلفیق داده‌ها

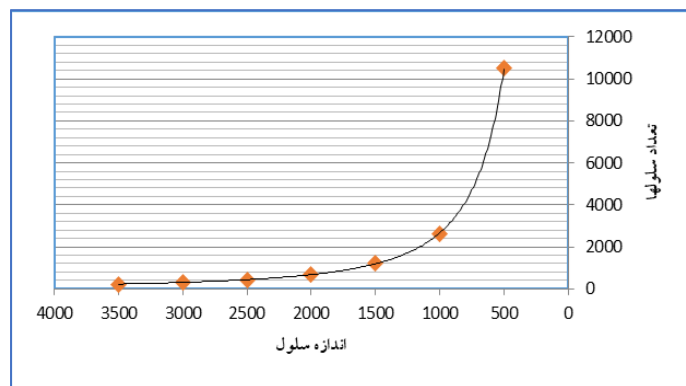
همانگونه که گفته شد یکی از این روش‌های پرکاربرد که می‌توان گفت پیشینه مطالعات این مقاله را تشکیل می‌دهد، وزن‌های نشانگر می‌باشد. این روش که بر پایه‌ی احتمالات است، ارتباطات بین رخدادهای شناخته شده از یک مشخصه (برای مثال ارتباط بین اندیس‌های کانی‌سازی شده) را تعیین می‌کند و حضور یا عدم حضور فاکتورهای کنترل‌کننده (نظیر مورفولوژی، تکتونیک و یا آنومالی‌های ژئوشیمیایی و ژئوفیزیکی) که باعث به وجود آمدن رخداد موردنظر در قسمت‌های مختلفی از یک محدوده می‌شود را می‌سنجد (اسچابن، ۲۰۱۲).

برای تلفیق داده‌ها با استفاده از روش سلولی وزنی، ابتدا نقشه‌های بدست آمده از مراحل ژئوشیمی و سنجش از دور هر کدام سلول‌بندی شده و متناسب با مساحت پتانسیل قرار گرفته در هر سلول ارزش‌گذاری می‌گردد (پیامنی و همکاران، ۲۰۲۳). برای این منظور ارزش‌ها به گونه‌ای داده می‌شوند که ارزش نهایی بین اعداد ۱ تا ۱۰ قرار گیرد. اندازه سلول‌ها به تعداد سلول‌ها و متوسط پتانسیل قرار گرفته در سلول بستگی دارد. هر چه ابعاد شبکه کوچک‌تر باشد تعداد سلول‌ها افزایش می‌یابد به گونه‌ای که از ابعاد شبکه ۱۵۰۰ متر کمتر تعداد سلول‌ها بصورت تصادفی

^۱ Factor analysis

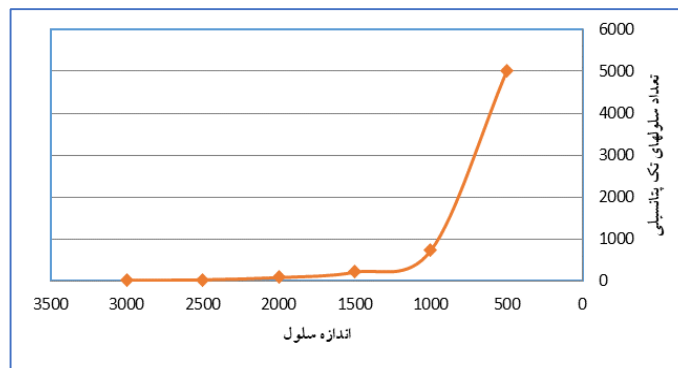
سلول‌های تک‌پتانسیلی حداقل باشد در شکل ۳ ارتباط سلول‌های تک‌پتانسیلی با اندازه سلول آورده شده است.

افزایش می‌یابد تعداد سلول زیاد به دلیل حجم بالای اطلاعات، محاسبات را با مشکل مواجهه می‌سازد (شکل ۲). علاوه بر آن ابعاد سلول‌ها باید به گونه‌ای باشد که تعداد



شکل ۱. ارتباط اندازه سلول به تعداد سلول‌ها

Fig. 2. The relationship between cell size and the number of cells



شکل ۲. ارتباط اندازه سلول به تعداد سلول‌های تک‌پتانسیلی

Fig. 3. The relationship between cell size and the number of monopotent cells

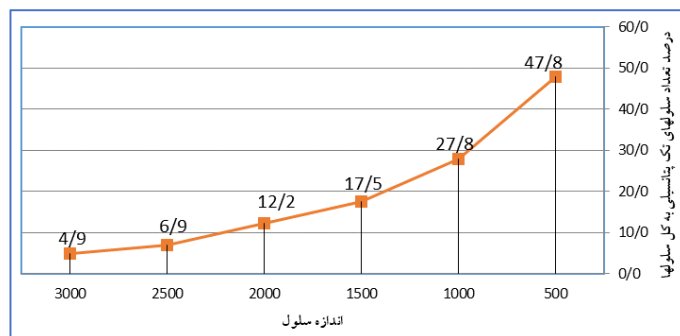
کوچک از پتانسیل را a و کل مساحت‌های پتانسیل‌های موجود در هر سلول را A و ابعاد هر سلول مستطیلی را m و n فرض شوند ارزش هر سلول K از رابطه (۲) بدست می‌آید:

$$\forall a \in A \Rightarrow K = \frac{\sum a}{m \times n} \times 10 \quad (2)$$

۴- بحث و نتایج

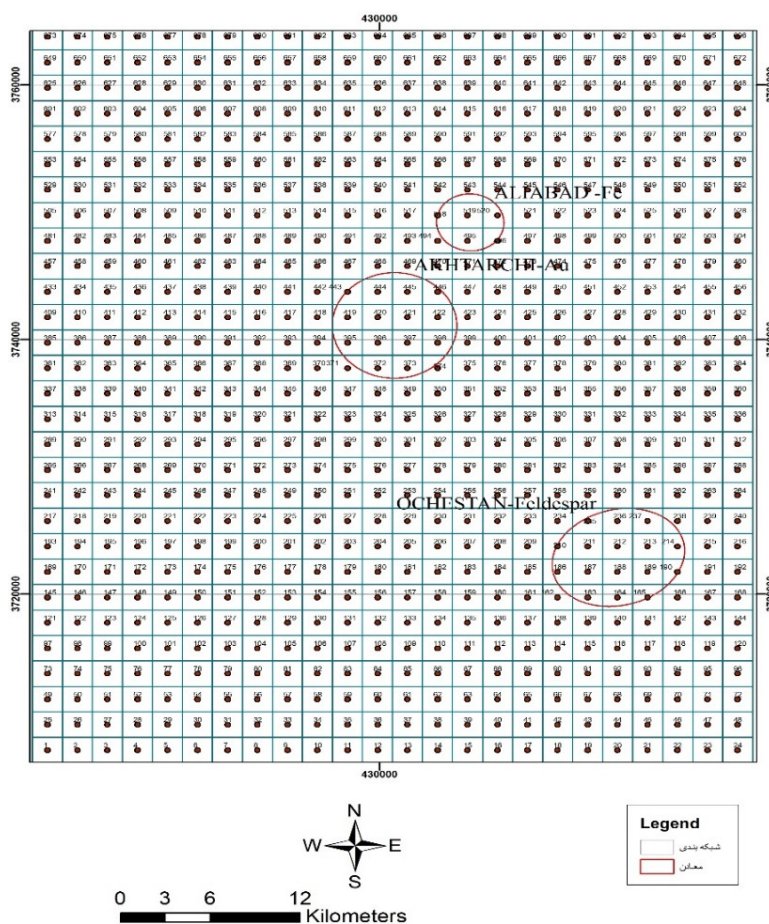
همانگونه که گفته شد ترکیب اطلاعات در حقیقت روشی برای استفاده مطلوب از ترکیب نتایج حاصل از چند روش مختلف بطور همزمان، برای کاهش زمان و خطا می‌باشد. برای این منظور با استفاده از اطلاعات انواع نقشه‌ها، تصاویر ماهواره‌ای، داده‌های ژئوشیمیایی نسبت به ترکیب هوشمندانه اطلاعات اقدام خواهد شد.

همانگونه که ملاحظه می‌شود اندازه سلول بالای ۱۵۰۰ متر تعداد سلول‌های تک‌پتانسیلی کم می‌شود بصورت تجربی پیشنهاد می‌شود تعداد سلول‌های تک‌پتانسیلی بین ۱۰ تا ۱۵ درصد باشد تا هم تعداد سلول‌ها زیاد نباشد به گونه‌ای که محاسبات را مشکل سازد و هم تعداد سلول‌های تک‌پتانسیلی در حد معقول باشد همانگونه که در شکل ۴ آورده شده است بهترین اندازه برای این منظور ۲۰۰۰ متر می‌باشد. لذا ابعاد شبکه ۲۰۰۰ متر انتخاب شد سپس مرکز هر سلول بعنوان مرکز ثقل آن سلول انتخاب می‌شود. مراحل نمره‌گذاری بعدی، در هر لایه، بر روی نقطه ثقل متمرکز خواهد شد. در شکل ۵ وضعیت سلول‌ها، مرکز ثقل و شماره اختصاصی هر سلول آورده شده است. سپس ارزش گذاری برای هر سلول صورت می‌پذیرد اگر هر مساحت



شکل ۴. درصد تعداد سلولهای تک پتانسیلی به کل سلولها

Fig. 4. The percentage of the number of monopotential cells to the total number of cells



شکل ۵. وضعیت سلولها، مرکز ثقل سلول و شماره اختصاصی هر سلول

Fig. 5. The state of the cells, the center of gravity of the cell and the specific number of each cell

۴-۲- پیش پردازش داده‌های سنجش از دور

داده‌های مورد استفاده در این مطالعه داده‌های ASTER برداشت شده در سال ۲۰۰۱ سطح ۱ که تصحیحات هندسی در زون UTM 39 با مبنای ارتفاعی WGS-84 بر روی آن صورت گرفته بود، استفاده شد. دلیل استفاده از داده‌های سال ۲۰۰۱ عدم اکتشاف معادن منطقه در آن

۴-۱- پردازش داده‌های ماهواره‌ای

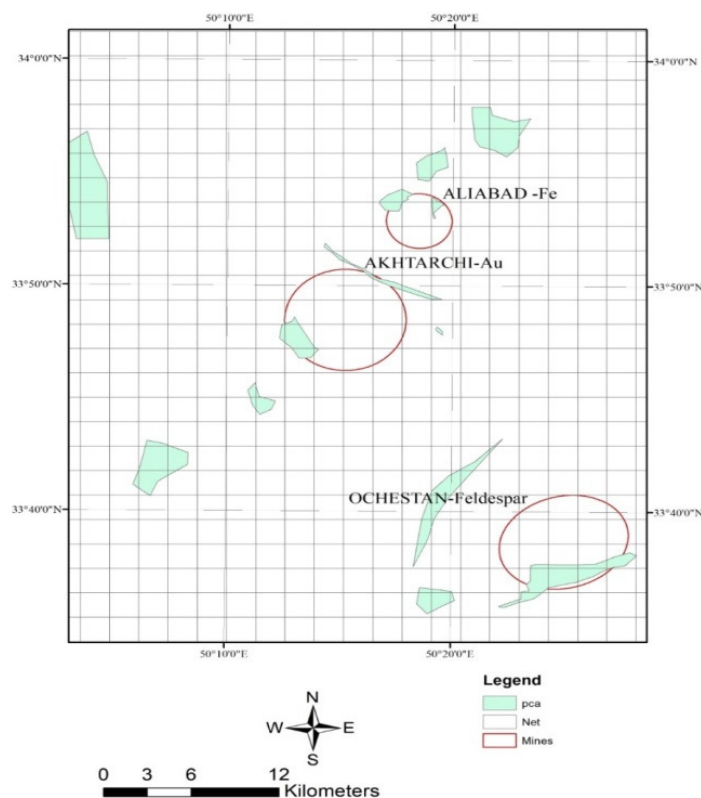
یکی از لایه‌های مورد استفاده در این مقاله برای تلفیق داده‌های ماهواره‌ای سنجده استر می‌باشند. داده‌های ماهواره‌ای از سایت سازمان زمین‌شناسی آمریکا دانلود شده است. بعد از دانلود تصاویر نیاز به پیش‌پردازش داده‌های ماهواره‌ای می‌باشد.

دارای بالاترین مقادیر بوده و در ضمن این مقادیر غیر هم علامت نیز باشند. جهت انجام روش کروسا از ۱۴ مؤلفه استفاده شد. تصاویر نهایی از روش PCA که ناشی از انتخاب PCA که در آن در باند ۷ بیشترین انعکاس و باند ۶ جذب بالا دارند یعنی PCA که این اختلاف بیشترین باشد PCA7 دارای این شرایط می‌باشد. در جدول ۱ وضعیت PCA ها آورده شده است. با توجه به جدول ۱ و بررسی ماتریس مقادیر ویژه زون پروپلیتیک، براساس شرط انتخاب PC و بیشترین اختلاف بین باندهای ۶ و ۷، PC7 به عنوان PC مناسب انتخاب می‌شود البته با توجه به اینکه بالاترین اختلاف مربوط به PC7 می‌باشد ولی علامت‌های آن برعکس می‌باشد لذا تصویر بدست آمده را معکوس می‌نماییم. تصاویر دگرسانی‌های پروپلیتیک و آرژیلیک و فیلک مرتبط با کانی‌سازی در منطقه مورد مطالعه در شکل ۶ آورده شده است. پیکسل‌های سبز نشان‌دهنده دگرسانی‌های پروپلیتیک آرژیلیک و فیلک می‌باشد (پیامنی و همکاران، ۲۰۲۰).

زمان و عدم تغییر در لایه سطحی روی زمین می‌باشد. به همان میزانی که تصاویر ماهواره‌ای به قدرت تفکیک طیفی بالاتر ارتقا می‌یابند، بیشتر تحت تأثیر اثرات اتمسفر قرار می‌گیرند و تصحیح اتمسفریک تصاویر امری ضروری است به منظور بازسازی عوارض طیفی از روش بازتابش متوسط نسبی داخلی IARR استفاده شد.

۴-۳- آنالیز مؤلفه‌های اصلی (PCA)

این روش برای به نقشه در آوردن سنگ‌ها و کانی‌های دارای اکسید آهن و هیدروکسیدهای مرتبط با توده‌های فلزی سولفیدی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای به کار گرفته می‌شود. از این طریق می‌توان اطمینان حاصل کرد که پدیده‌هایی چون پوشش گیاهی در به نقشه در آوردن کانی‌های هدف ظاهر نخواهند شد و نیز اطلاعات طیفی پدیده هدف (کانی‌های دگرسانی) را به کمک یک مؤلفه اصلی خاص به نمایش در آورد. شرط انتخاب PC های مناسب این است که در ماتریس‌های بردار ویژه، باندهای مربوط به جذب و انعکاس کانی‌های هدف به طور همزمان



شکل ۶. تصویر PC7 بدست آمده از روش PCA

Fig. 6. PC7 image obtained by PCA method

جدول ۱. وضعیت مقادیر ویژه توابع بردار روش آنالیز فاکتوری

Table 1. Status of eigenvalues of vector functions of factorial analysis method

Eigenvector	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4	Band 5	Band 6	Band 7
Band 1	0.999404	0.034466	0.000311	0.00102	0.000792	0.000008	0.001345
Band 2	0.034479	-0.999241	-0.016533	-0.003947	-0.004328	-0.000782	-0.0022
Band 3	0.000278	-0.016475	0.999782	-0.010292	0.000591	0.001706	-0.00699
Band 4	0.00088	0.004189	-0.010178	-0.999859	-0.008979	-0.000945	0.007105
Band 5	-0.000637	-0.004318	-0.000745	-0.009028	0.999912	-0.004956	-0.001914
Band 6	-0.000035	-0.000863	-0.001462	-0.000711	0.005021	0.999222	0.038661
Band 7	0.001278	0.002398	-0.007111	-0.006986	-0.001703	0.038638	-0.999126
Band 8	0.000375	0.002864	-0.00193	0.005234	0.005249	0.000561	0.01027
Band 9	0.000679	0.002188	0.000384	0.000643	0.00104	0.000023	-0.000749
Band 10	-0.000333	-0.001301	-0.000394	-0.000299	-0.000343	-0.000714	0.001687
Band 11	-0.00007	-0.000855	0.000977	0.000126	-0.003672	0.004976	-0.00552
Band 12	0.000319	0.00015	-0.000096	0.000486	0.002353	0.002921	0.00117
Band 13	-0.000006	0.000154	0.000033	-0.000379	-0.000002	-0.000122	0.001229
Band 14	0.000079	0.000143	-0.000075	-0.000031	0.00062	-0.000204	0.000397
Eigenvector	Band 8	Band 9	Band 10	Band 11	Band 12	Band 13	Band 14
Band 1	-0.000498	-0.000756	0.000368	0.000131	-0.000325	-0.000001	-0.000085
Band 2	0.00289	0.002167	-0.001259	-0.000912	0.000141	-0.000149	0.000143
Band 3	0.002111	-0.000368	0.000409	-0.00099	0.000097	0.000026	0.000081
Band 4	0.005175	0.000667	-0.000319	0.000188	0.000479	0.000391	-0.000026
Band 5	-0.005218	-0.000963	0.000218	0.003652	-0.002312	-0.000004	-0.000623
Band 6	-0.000936	-0.000118	0.000776	-0.004731	-0.00297	-0.00007	0.000182
Band 7	0.010338	-0.000855	0.001866	-0.005514	0.001023	-0.001227	0.000409
Band 8	0.999835	0.001839	-0.001171	0.011705	-0.003855	0.000274	0.000768
Band 9	-0.001593	0.999721	0.005516	-0.022209	-0.003566	0.003288	-0.000854
Band 10	0.000812	-0.004876	0.99955	0.029255	-0.003663	0.00099	-0.000589
Band 11	-0.0117	0.02234	-0.029118	0.999222	-0.000828	-0.000387	0.000269
Band 12	0.003814	0.003573	0.003655	0.000901	0.999971	-0.00071	0.000059
Band 13	0.000261	0.003272	0.001013	-0.000421	-0.000726	-0.999993	-0.000851
Band 14	-0.000773	0.000846	0.000603	-0.000274	-0.000063	-0.000847	0.999998

۴-۴- تجزیه و تحلیل داده‌های ژئوشیمیایی منطقه

مورد مطالعه

اکتشافات ژئوشیمیایی با استفاده از تکنیک نمونه‌برداری آبراهه‌ای، یکی از روش‌های متداول در اکتشاف معدن در مقیاس ناحیه‌ای و نیمه‌تفصیلی در کلیه نقاط جهان است. هدف از این بررسی‌ها محدود کردن مناطق تحت پوشش اکتشافی جهت تعیین پرمیانسیل‌ترین نقاط جهت تمرکز عملیات اکتشافی است. برای این منظور جهت انجام اکتشافات ژئوشیمیایی برگه یکصد هزارم زمین‌شناسی محلات، کهک و سلفچگان توسط سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور با برداشت ۳۰۵۷ نمونه اصلی و ۲۵۷ نمونه کانی‌های سنگین تحت پوشش عملیات اکتشافی قرار گرفته است بدین منظور با توجه به وسعت محدوده از نمونه‌برداری از رسوبات آبراهه‌ای استفاده می‌شود. در این راستا با نمونه‌برداری توجیهی بهینه‌ترین ساینز نمونه‌برداری و فاصله نمونه‌برداری تعیین شده پس از

آنالیز و مطالعه نمونه‌های برداشت شده، بر اساس تجزیه و تحلیل داده‌ها، مناطق آنومال اولیه تعیین شده است.

۴-۵- آنالیز فاکتوری

نتایج آنالیز فاکتوری بر اساس مقادیر نرمال شده متغیرها در این منطقه در جدول‌های ۲ و ۳ شکل ۷ آورده شده است. با توجه به تابع توزیع هر متغیر در صورت نرمال نبودن از تبدیل لگاریتم جهت نرمال‌سازی کردن مقادیر استفاده شده است. در این جدول هر ۲۹ مؤلفه همراه مقادیر ویژه کل و نقش آن‌ها در توجیه مقدار تغییرپذیری به دو صورت (تک به تک و تجمعی) و همچنین بار فاکتورهای مربوط به ۷ فاکتور اول قبل و بعد از چرخش آورده شده است. داده‌های جدول ۲ دلالت بر آن دارد که: مؤلفه اول قادر است حدود ۳۰٪ از کل تغییرپذیری را توجیه کند. این مقدار برای مؤلفه دوم افت کرده و به حدود ۱۲٪ کاهش می‌یابد. در مؤلفه سوم این مقدار به حدود

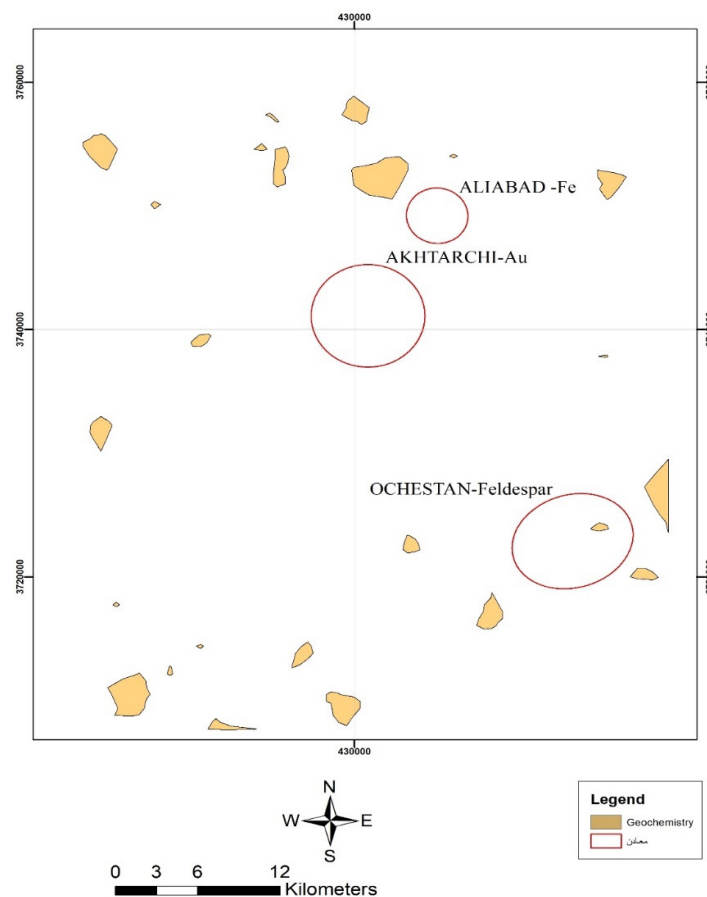
منطقه قابل توجه نبوده و عناصر بطور بسیار قوی و منطقی به یکدیگر همبسته نمی‌باشند. جدول ۳ ماتریس چرخش یافته آنالیز فاکتوری را نشان می‌دهد. در این جدول جهت سهولت بررسی داده‌ها مقادیر بالای ۰/۴ و ۰/۶۵ به ترتیب با رنگ زمینه سبز و قرمز مشخص شده‌اند.

۷٪ کاهش می‌یابد. این روند کاهش تا فاکتور هفتم که حدود ۵٪ تغییرپذیری را توجیه می‌کنند، ادامه دارد. این فرم از توجیه تغییرپذیری که در آن ۷ مؤلفه لازم است تا بتوانند کمتر از سه چهارم تغییرپذیری را توجیه نمایند دلالت بر آن دارد که اصولاً روابط زایشی بین عناصر در این

جدول ۲. نتایج آنالیز فاکتوری بر اساس مقادیر نرمال شده متغیرها

Table 2. Results of factor analysis based on the normalized values of the variables

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	8.855	30.534	30.534	8.855	30.534	30.534	7.741	26.692	26.692
2	3.661	12.623	43.157	3.661	12.623	43.157	3.725	12.847	39.539
3	2.176	7.505	50.662	2.176	7.505	50.662	2.12	7.309	46.848
4	1.671	5.761	56.424	1.671	5.761	56.424	1.76	6.07	52.918
5	1.386	4.779	61.202	1.386	4.779	61.202	1.685	5.81	58.728
6	1.135	3.915	65.117	1.135	3.915	65.117	1.44	4.965	63.693
7	1.019	3.515	68.633	1.019	3.515	68.633	1.433	4.94	68.633



شکل ۷. نقشه آنومالی‌های بدست آمده در منطقه مورد مطالعه
Fig. 7. Map of anomalies obtained in the studied area

جدول ۳. ماتریس حاصل از آنالیز فاکتوری

Table 3. Matrix resulting from factorial analysis

	Component						
	1	2	3	4	5	6	7
Ce	0.94	0.197	-0.024	-0.05	0.069	-0.009	0.073
P	0.936	0.199	-0.007	-0.043	0.046	0.021	0.103
La	0.927	0.186	-0.043	-0.049	0.086	-0.014	0.1
Nb	0.926	0.196	-0.039	-0.043	0.089	-0.04	0.072
Li	0.925	0.172	-0.063	-0.024	0.098	-0.046	0.149
Mn	0.903	0.27	0.14	-0.054	-0.082	0.041	-0.159
W	0.809	0.162	-0.103	0.105	0.149	-0.162	0.115
Fe	0.786	0.301	0.246	-0.18	-0.148	0.107	-0.268
Ga	-0.67	0.501	-0.055	0.119	0.082	-0.026	0.123
Yb	-0.59	-0.079	0.443	0.16	0.296	0.005	0.097
Cr	-0.491	0.419	0.033	-0.026	0.082	-0.161	0.118
Au	0.478	0.097	-0.049	-0.051	0.109	0.174	0.373
S	0.321	0.055	-0.023	0.154	-0.042	-0.188	0.298
V	0.108	0.646	0.483	-0.205	-0.129	0.043	-0.349
Co	-0.213	0.646	0.287	-0.147	0.006	0.006	-0.213
Zn	-0.271	0.579	-0.428	0.04	-0.292	0.209	-0.06
Sn	-0.425	0.571	-0.06	0.092	0.293	0.016	0.139
Be	-0.217	0.553	-0.483	-0.141	0.225	-0.199	-0.002
Y	-0.498	0.513	0.023	-0.058	-0.151	-0.322	0.206
Sc	-0.208	0.466	0.67	-0.01	-0.06	-0.103	0.159
Mo	-0.328	0.499	-0.596	-0.151	-0.291	-0.087	-0.069
Ba	0.065	0.102	0.09	0.747	-0.055	-0.301	-0.112
As	0.477	0.117	-0.073	0.581	0.007	-0.312	-0.199
Pb	-0.005	0.229	-0.191	0.545	-0.136	0.522	0.056
Cd	0.166	0.061	-0.079	0.404	-0.036	0.086	-0.307
Ni	-0.016	0.354	-0.165	0.047	0.595	0.197	-0.097
Sr	0.078	0.206	0.329	0.187	-0.559	0.101	0.392
Ag	0.013	0.125	-0.163	0.004	-0.157	0.386	0.107
Cu	-0.201	0.225	0.34	0.191	0.352	0.356	0.052

- در فاکتور سوم CO , SC , V
- در فاکتور چهارم Sc, Cu, Yb, Ni
- در فاکتور پنجم Cd
- در فاکتور ششم Pb, Ag

همانطور که مشاهده می‌شود در این مولفه‌ها نیز عمده کنترل کننده تغییرپذیری توسط عناصر سنگ‌ساز کنترل می‌شود و سایر عناصر غیر سنگ‌ساز ظاهر شده در این فاکتورها بدلیل تغییرپذیری ذاتی بالای خود عناصر است که آشکار شده‌اند. نتایج داده‌های ژئوشیمی در شکل ۷ آورده شده است.

۴-۶- تلفیق داده‌ها

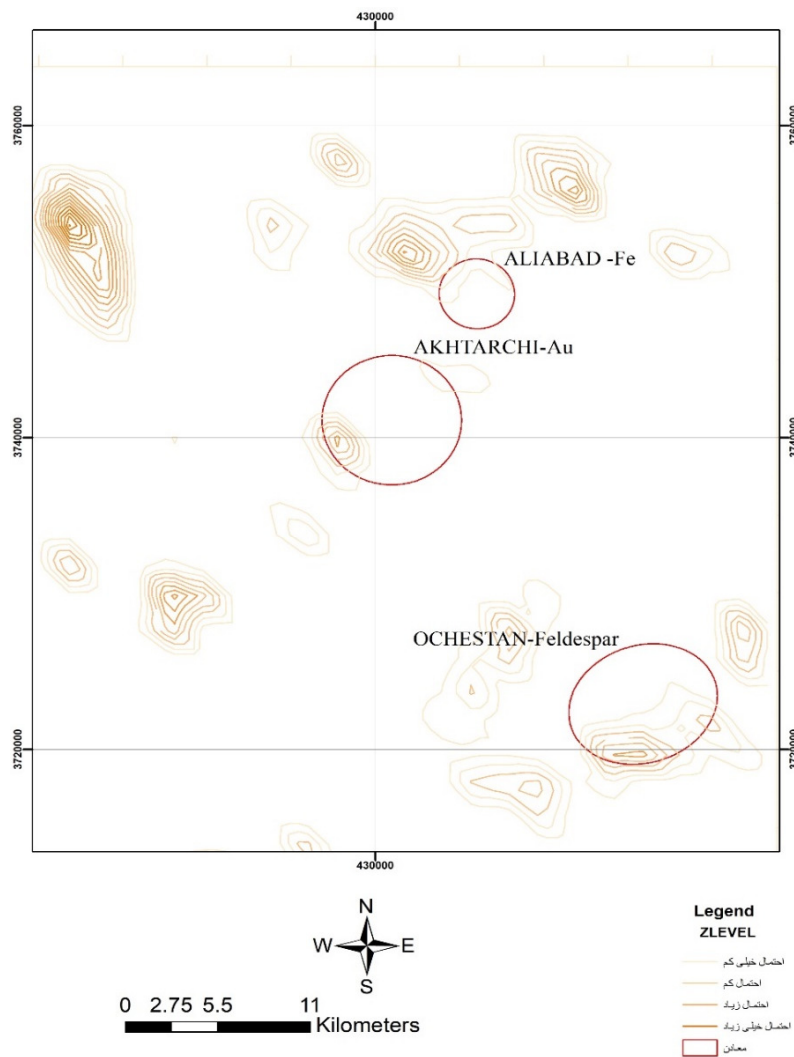
جهت تلفیق داده‌ها، پس از اخذ اطلاعات مربوط به مساحت پتانسیل‌ها از نرم‌افزار Arc Map داده‌ها با استفاده از برنامه اکسل و اکسس ارزش‌گذاری می‌شود. با توجه به ارزش‌گذاری هر لایه ژئوشیمی و سنجش‌ازدور، ارزش‌ها

در هر یک از ۷ مؤلفه داده شده عناصر زیر اهمیت پیدا کرده‌اند: در مولفه اول بیشترین بار مستقیم فاکتوری برای عناصر Nb, La, Ce, Li, P, W, Fe, Nb و بیشترین بار فاکتوری معکوس برای عنصر Ga مشاهده می‌شود و پس از آن عنصر Au دارای بار فاکتوری بالایی هستند. این فاکتور با توجه تعدد عناصر مذکور توانسته به تنهایی در حدود ۲۵٪ کل تغییرپذیری را توجیه نماید. لذا وجود این همه عنصر در این فاکتور قابل توجیه است. وجود عنصر کانساری آهن این فاکتور احتمالاً در رابطه با کانی‌سازی احتمالی این عناصر در واحد فوق است ولی از آنجا که در فاکتور اول با بسیاری از عناصر سنگ‌ساز همراه شده است از پتانسیل آن کاسته و احتمالاً کانی‌سازی بصورت ضعیف و پراکنده خواهد بود. در مولفه دوم تا ششم نیز غالب تغییرپذیری عمدتاً با عناصر سنگ‌ساز همراه است بطوریکه به ترتیب وجود عناصر ذیل در هر فاکتور مشاهده می‌شود.

- در فاکتور دوم عناصر Co, MO, Be, Y, Ga, Sn, Zn

مناطق با احتمال کانی‌زایی زیاد و مناطق با احتمال کانی‌زایی کم و مناطق با احتمال کانی‌زایی خیلی کم مشخص شده است.

با هم تلفیق می‌شود. عملیات مورد استفاده در این مقاله عملیات اجتماع ارزش‌هاست که البته نتایج قابل قبولی نیز ارائه داده است. در شکل ۸ نتایج تلفیق آورده شده است. در این شکل مناطق با احتمال کانی‌زایی خیلی زیاد و



شکل ۸. نمایش آنومالی‌های کلی منطقه ناشی از ترکیب PCA ژئوشیمی و سنجش‌ازدور منطقه مورد مطالعه

Fig. 8. Showing the general anomalies of the region due to the combination of PCA geochemistry and remote sensing of the studied area

محدوده هستند که در این میان طلا دارای یک جامعه آنومال شاخص است.

۳- در آنالیز فاکتوری ژئوشیمی مشاهده شد در مولفه اول بیشترین بار فاکتوری برای عناصر P, Li, Ce, La, Nb و Fe, W می‌باشد و پس از آن عنصر Au دارای بار فاکتوری بالایی هستند. این فاکتور با توجه تعدد عناصر مذکور توانسته به تنهایی در حدود ۲۵٪ کل تغییرپذیری را توجیه نماید. وجود عنصر کانساری آهن

۵- نتیجه‌گیری

۱- در بخش سنجش‌ازدور، روش آنالیز مولفه‌های اصلی با توجه به شرایط منطقه به عنوان روشی کارآمد و بهینه برای تشخیص دگرسانی‌های منطقه معرفی می‌شود. ۲- در مطالعات آماری داده‌های ژئوشیمی عناصر Cu, Au, Ag و AS با چولگی بالای هشت و مقدار ماکزیمم معادل چند ده تا چند صد برابر مقدار زمینه جهانی این عناصر، دارای پتانسیل نسبی کانی‌سازی در این

- International Society for Optical Engineering, 2583: 16-25.
- Ghadimi, F., Qomi, M (2016) Analysis of geochemical exploration data, Arak University of Technology. (in Persian).
- Mortier, J., Tourliere, B (2017) Considerations on Supervised Data-Driven Approach for Mineral Potential Mapping, Mineral Prospectivity, current approaches and future innovations: 72-74.
- Payamani, A., Babaei, B., Dehghan, S., Asadi Harouni, H (2020) Aplicación de varios métodos de procesamiento de imágenes por satélite en datos aster y landsat ETM + para identificar y separar las zonas de alteracion en torno a la mina de oro de Akhtarchi, Khomein, Iran, Nexo Revista Cientifica, 33: 490-510.
- Payamani, A., Babaei, B., Dehghan, S., Asadi Harouni, H (2023) Using the innovative method of Cellar Weight Base Association to identify potential areas for gold exploration in Mahallat, Iran, Bulletin of Geophysics and Oceanography, 64 (1): 77-88.
- Porwal, A., González-Álvarez, B. C. I., Markwitz, B. V., McCuaig, B. T. C., Mamuse, A (2010) Weights-of-evidence and logistic regression modeling of magmatic nickel sulfide prospectivity in the Yilgarn Craton, Western Australia. Ore Geology Reviews, 38: 184-196.
- Reimann, C., Filzmoser, P., Garrett, R (2002) Factor analysis applied to regional geochemical data: problems and possibilities, Applied Geochemistry, 17: 185-206.
- Schaeben, H (2012) Comparison of Mathematical Methods of Potential Modeling, Mathematical Geosciences, 44: 101-129.
- Sheikh-ol Eslami, M., Zamani Pedram, M., Haft Lang, R (2007) Description of the 100,000th Geological Map of Mahallat, Geological Survey and Mineral Exploration of Iran. (in Persian)
- Soe, M., Aung Kyaw, T., Takashima, I (2005) Application of remote sensing techniques on iron oxide detection from aster and landsat images of Tanintharyi Coastal Area Myanmar, Akita University, 26: 21-28.
- Tokhmchi, M., Seyfi, H., Hosseini, M (2015) Information integration: a new approach to decision making in geology, mining, and petroleum engineering, Amir Kabir University of Technology. (in Persian).
- Vincent, R (1997) Fundamentals of Geological and Environmental Remote Sensing, 1st ed. s.l., Prentice Hall.
- Walfir, P., Filho, S., Paradella, W (2005) Use of RADARSAT-1 fine mode and Landsat-5 TM selective principal component analysis for geomorphological mapping in a macrotidal mangrove coast in the Amazon Region, Can. J. Remote Sensing, 31: 214-224.
- این فاکتور احتمالاً در رابطه با کانی‌سازی احتمالی این عناصر در واحد فوق است ولی از آنجا که در فاکتور اول با بسیاری از عناصر سنگ‌ساز همراه شده است از پتانسیل آن کاسته و احتمالاً کانی‌سازی بصورت ضعیف و پراکنده خواهد بود.
- ۴- نتایج تلفیق لایه اطلاعاتی ژئوشیمی، سنجش‌ازدور در منطقه مورد مطالعه نشان داد که با اینکه تمامی داده‌های ما در این مقاله مربوط به سال‌های ۱۳۸۱-۱۳۸۴ می‌باشد و در آن بازه زمانی هیچ یک از معادنی که در این روش به عنوان آنومالی نشان داده شده، اکتشاف نشده بودند ولی همانگونه که ملاحظه می‌شود آنومالی‌ها با معادن موجود همپوشانی دارد بطوری که میزان همپوشانی آنومالی‌ها بر روی معادن کنونی ۵۱ درصد می‌باشد.
- ۶- تقدیر و تشکر
- این مقاله حاصل بخشی از تحقیقات انجام شده مربوط به رساله دکتری آقای علیرضا پیامنی می‌باشد که در دانشگاه آزاد اسلامی محلات انجام شده است.

References

- Asadi Harouni, H. and Tabatabaei, H (2007) Identification and differentiation of alterations related to gold mineralization using Aster satellite data processing in the Moteh region, Twenty-sixth Earth Sciences Conference: 32-39.
- Bonham-Carter, G (1994) Introduction to GIS in Geographic Information Systems for Geoscientists, In: s. l., Pergamon Chapter 1: 1-23.
- Carranza, E (2008) Geochemical anomaly and mineral prospectivity mapping in GIS, s.l., Elsevier.
- Costa, A., De Souza Filho, C (2003) Targeting key alteration minerals in epithermal deposits in Patagonia, Argentina, using ASTER imagery and principal component analysis, International Journal of Remote Sensing, 21: 4233-4240.
- Costa, A., Moore MCM, J (1989) Enhancement of landsat thematic mapper imagery for residual soil mapping in SW Minas Gerais State Brazil: a prospecting case history in greenstone belt terrain, proceedings of the 9th thematic conference on remote sensing for exploration geology, Calgary: 1173-1187.
- Demicco, R., Klir, G (2002) Fuzzy Logic in Geology, Academic Press, Burlington.
- Fujisada, H (1995) Design and performance of ASTER instrument, Proceedings of SPIE,

Combining methods of analysis of main components in Remote Sensing and Geochemistry of the geological map of one hundred thousand localities using a new weighing cell method to identify gold anomalies

A. R. Payamani¹, S. Dehghan^{*2}, B. Babaei³ and H. Asadi Harouni⁴

1- Ph. D. student, of Mining Engineering, Mahallat branch, Islamic Azad University, Mahallat, Iran

2, 3- Assist. Prof., Dept., of Mining, Mahallat branch, Islamic Azad University, Mahallat, Iran

4- Assist. Prof., Dept., of Mining Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

* S.Dehghan@outlook.com

Recieved: 2024.10.16 Accepted: 2024.11.27

Abstract

Modeling mineral potential and identifying promising areas is one of the most important stages of preliminary exploration. Examining and understanding different and new modeling methods are important because of increasing the probability of discovery and reducing risk. The studied area in terms of structural divisions of the geological zones of Iran, includes parts of the volcanic belt and the metallogenic state of Sanandaj-Sirjan. According to the subduction and closure of the Neotethys ocean of the Sanandaj-Sirjan metamorphic belt due to the intrusion of mostly acidic calc-alkaline intrusive masses with the composition of mostly granite to granodiorite and quartz monzonite in older sedimentary and sometimes volcanic units, scattered mineralizations in this has created a zone. By using the data received from the Aster sensor, PCA method was used as an efficient and optimal method to detect the changes in the area. In the geochemistry, by analyzing the geochemical data, it was determined that Au, Cu, AS and Ag elements with a skewness above eight and a maximum value equal to several tens to several hundred times the global background value of these elements have a relative mineralization potential in this range. Among them, gold has an anomalous community. In the geochemical factor analysis, it was observed that in the first component, the highest factor load is for the elements Nb, La, Ce, Li, P, W, Fe, and then the Au element has a high factor load. This factor alone justifies about 25% of the total variability due to the multiplicity of the mentioned elements. After the preparation of remote sensing and geochemistry information layers, information integration was done using the new cellular weighting method and due to the presence of mines in areas with an overlap of 51%, the anomalies obtained with the mines of the region were identified.

Keywords: Potential map, Remote sensing, PCA method and Geochemical anomalies

Introduction

Exploration surveys of mineral reserves, especially for finding economically valuable concentrations of minerals and metals, are performed in four major stages: Site selection, target identification, source assessment, and reserve determination. Choosing an exploration area means selecting a promising (generally vast) area. This choice is made based on the knowledge of the reserve and its environment near the ground surface in places where geological and structural processes favor mineralization. All these processes can be regarded as a sort of predictive modeling. Accordingly, information integration increases trust in exploration data, thereby reducing the

huge costs involved in exploration activities. One of the applications of information integration is preparing mineral potential maps to identify high-potential areas for conducting detailed exploration operations. Nowadays, various methods are used to prepare mineral potential maps. These techniques are generally developed in three ways: knowledge-driven, data-driven, and hybrid. Porwal et al. implementing the two methods of the weight of evidence and logistic regression for finding the potential of mineral deposits, validated the results through 71.4 and 81.6% compliance with the considered deposits, respectively. Asadi Harooni et al. used the hybrid data method of the relationship between mineral

deposit shapes and known indices to optimize the fuzzy logic method and determine exploration targets. Finally, they prepared the gold and copper potential map in central Iran. Payamani et al. used the innovative method of Cellar Weight Base Association to identify potential areas for gold exploration in Mahallat, Iran.

Geographical and geological location of the studied area

The study area is located in the geographical coordinates of 50° 00' to 50° 30'E and 33° 30' to 34° 00' N. The map is named because of the Mahallat City in the northeast quarter of the map, located 362 km from Tehran.

Research method

Factor analysis

Factor analysis is a multivariate method to explain the correlation pattern in an observable random vector with fewer unobservable (hidden) random variables called factors (data reduction). One of the applications of factor analysis in exploration is drawing factor maps. Identifying the number of principal factors in factor analysis is a challenging task. In this regard, many techniques currently used to determine the number of principal factors are not practically effective. Using the Scree chart, followed by the trial and error test with the number of different factors and checking their results, is the best method to determine the best number of factors. Certainly, in many cases, the low number of principal factors show better results.

Principal component analysis (PCA) of RS data

The PCA method is probably the oldest and best-known method in multivariate analysis. This method aims to reduce the dimensions of the dataset while preserving the information contained in them.

The numerical values of the image of the principal component are calculated using the numerical values in the original photos and the eigenvector components as Eq. (1):

$$P_k = \sum_{i=1}^n a_{ik} DN(i) \quad (1)$$

Where P_k is the numerical value of the desired pixel for the k -th principal component, $DN(i)$ shows the numerical value in the i -th band for the desired pixel, a_{ik} is the value of the load

element obtained from the eigenvector of the k -th component in the i -th band.

Data integration

data integration aims to combine the data obtained from the previous sections. In this process, the previous maps are divided into cells and assigned values according to the potential area placed in each cell. The values are given such that the final value is between 1 and 10. The cell size depends on the number of cells and the average potential placed in the cell. The smaller the size of the network, the higher the number of cells. In this respect, the number of cells increases exponentially for network sizes less than 1500 m. Due to the large amount of information, the number of cells makes calculations difficult. In addition, the dimensions of the cells should be such that the number of single-potential cells is minimal. In addition, the dimensions of the cells should be such that the number of single-potential cells is minimal. After value assignment to each cell, if each small area of the potential is a , the total area of the potentials in each cell is A , and the dimensions of each rectangular cell are m and n , the value of each cell K is obtained using Eq. (2):

$$\forall a \in A \Rightarrow K = \frac{\sum a}{m \times n} \times 10 \quad (2)$$

To implement Eq. (2), first, we obtain information about the area of the potential from the ArcMap software.

Discussion and results

Information integration is a method to optimally combine the results obtained from several techniques simultaneously to reduce time and error. Using several sources of information and data affects experts' decisions in the specialized field. Besides, using different sources of information for a single result enhances decision-making reliability. Today, methods of mineral exploration are constantly progressing, and data size is growing because of the introduction of new technologies. Therefore, information integration is needed to enhance trust in exploratory data. For this purpose, intelligent information integration can be realized using information from various maps, satellite images, and geochemical data.

Satellite data processing

One of the layers used in this article for satellite data integration is the ASTER sensor. The satellite data were downloaded from the

website of the USA Geological Survey (USGS). After downloading the images, it is necessary to pre-process the satellite data. The data used in this study were ASTER data collected in 2001, level 1, which were subjected to geometric corrections in UTM zone 39 with a WGS- 84 elevation base. The reason for using the data from 2001 is the lack of mine exploration data in the area at that time and the lack of ground surface change in the layer. The more the satellite images are upgraded to higher spectral resolution, the more they are affected by atmospheric effects; hence, atmospheric correction of images is mandatory. In this research, spectral effects were projected using the internal average relative reflectance (IARR) method.

Principal component analysis (PCA) of RS data

The PCA technique was applied to map rocks and minerals containing iron oxide and hydroxides related to sulfide metal masses using satellite data. The final images are obtained from the PCA method in which band 7 has the highest reflection and band 6 has high absorption, i.e. PC7 meets these conditions.

According to Table 1 and examining the eigenvalues matrix of the propylitic zone, based on the conditions for PC selection and the largest difference between bands 6 and 7, PC7 is chosen as the appropriate PC. Although the highest difference is related to PC7, its signs are opposite. Therefore, we transverse the obtained image.

Analysis of geochemical data for the study area

Geochemical exploration using the waterway sampling technique is among the common methods in mineral exploration on a regional and semi-detailed scale. According to Table 2 the first component can explain about 30% of the total variability. This value drops to about 12% for the second component. In the third component, this value declines to about 7%. This reduction trend continues up to the seventh factor, which explains 5% of the variability. Such a variability explanation, in which 7 components are needed to explain less

than three-quarters of the variability, suggests that the genesis correlations between the elements in this region are not significant and the elements are not strongly and logically related to each other.

Data integration

the data are assigned corresponding values using Excel and Access software packages. Afterward, the values are combined according to the value given to each geochemical layer and RS. The operation used in this article is the SUM of values, which provided acceptable results.

Conclusion

In remote sensing, the PCA method is detected as an efficient and optimal method for identifying regional alterations according to the conditions of the region.

In the statistical studies of the geochemical data of Au, Cu, AS, and Ag elements, the results show a skewness above 8 and a maximum value equivalent to several tens to several hundred times the global value of these elements. Therefore, they have a relative mineralization potential in this range. Here, Au shows a significant anomaly.

In the geochemical factor analysis, it was observed that in the first component, the highest factor load is for the La, Ce, Li, P, W, Fe, Nb, and Au, in the order of their appearance. Considering the high number of elements, this factor alone can explain about 25% of the total variability. The iron ore element in this factor is probably related to the possible mineralization of these elements in the above unit. Nevertheless, since it is associated with many rock-forming elements in the first factor, its potential is reduced, and the mineralization will probably be weak and scattered.

The results of integrating the geochemical information layer and remote sensing in the study area revealed that all our data in this article are related to 2002- 2005, when none of the mines used in this method have been explored. However, the anomalies overlap with the existing mines up to 51%.