

# استفاده از روش‌های تلفیقی شاخص همپوشانی، فازی و فرایند تحلیل سلسله مراتبی برای تعیین مناطق پتانسیل دار مس و طلا در بخش شمالی کانسار پورفیری دالی

سارا یوسفی فر<sup>۱</sup>، احمد خاکزاد<sup>۲</sup>، هوشنگ اسدی هارونی<sup>۲</sup>، محمدرضا جعفری<sup>۳</sup> و منصور وثوقی عابدینی<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup> گروه زمین شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

<sup>۲</sup> گروه معدن، دانشکده مهندسی معدن دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

<sup>۳</sup> گروه زمین شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۰۱/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۰۶/۲۸

## چکیده

کانسار مس-طلا پورفیری دالی از نظر زمین شناسی در برخورد نوار ماگمایی ارومیه-دختر و زون سندج-سیرجان قرار گرفته است و برای نخستین بار بر اساس پردازش داده‌های ماهواره‌ای TM مورد شناسایی قرار گرفته است. در این تحقیق، بخش شمالی کانسار دالی برای تلفیق لایه‌های اکتشافی و به منظور تعیین مناطق پتانسیل دار مس و طلا، مورد بررسی قرار گرفته است. لایه‌های اکتشافی شامل: سنگ شناسی، دگرسانی، ژئوفیزیک، ژئوشیمی، زمین ساخت و کانه‌زایی مس است. از آنجا که تصمیم صحیح می‌تواند تأثیر بسزایی در طرح‌های اکتشافی داشته باشد، در این پژوهش سعی شد تا از روش نوین تلفیقی استفاده شود که شامل روش‌های شاخص همپوشانی، منطق فازی و فرایند تحلیل سلسله مراتبی است. این سه روش تأیید کننده و مکمل هم هستند و مناطق پرتانسیل کانی‌سازی مس و طلا پورفیری را نمایان کرده است. از بین روش‌های مورد استفاده، فرایند تحلیل سلسله مراتبی مناسب‌ترین روش برای تلفیق لایه‌های اکتشافی در این محدوده است. بررسی‌های اکتشافی انجام گرفته از جمله شواهد صحرایی رخنمون‌ها، کانه‌زایی‌ها و نیز نمونه برداری از ۶ ترانشه در محدوده مورد مطالعه، مؤید این موضوع است. بر اساس نتایج حاصل، در آینده چشم‌انداز زمین شناسی در بخش مرکزی محدوده مورد مطالعه برای ادامه عملیات اکتشافی بخصوص اکتشاف عمقی مناسب است.

**کلید واژه‌ها:** پورفیری، دالی، روش شاخص همپوشانی، منطق فازی، فرایند تحلیل سلسله مراتبی

\*نویسنده مسئول: سارا یوسفی فر

E-mail: s.yousefifar@srbiau.ac.ir

## ۱- مقدمه

دگرگونی سندج-سیرجان قرار گرفته است. کمر بند ماگمایی ارومیه-دختر میزبان کانسارهای مس پورفیری مانند، سونگون، اهر، سرچشمه و نیز دیگر کانسارهای وابسته مانند طلا و مولیبدن است، در حالی که زون سندج-سیرجان میزبان اصلی ذخایر طلا از جمله موته و داشکسن است (آقائباتی، ۱۳۸۵). این کانسار در ورقه ۱/۱۰۰۰۰۰ سلفچگان-خورهه (علائی مهابادی و کهنسال، ۱۳۷۹)، در محدوده جغرافیایی ۱۷° ۵۰' تا ۲۶° ۵۰' طول خاوری و ۱۵° ۳۴' تا ۲۲° ۳۴' عرض شمالی و در ۱۲۰ کیلومتری جنوب باختر تهران و ۶۰ کیلومتری شمال خاور شهرستان اراک (مسیر جاده اراک-سلفچگان) واقع شده است. این کانسار در حال حاضر شامل دو بخش جنوبی و شمالی است که در این تحقیق بخش شمالی این کانسار بررسی شده است (شکل ۱).

چینه‌شناسی کانسار دالی بر اساس نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ سلفچگان-خورهه، نهشته‌های میوسن-پلیوسن است که شامل لاپیلی توف، برش‌های آندزیتی خاکستری تیره و نیز دایک‌های آندزیتی است. روند این نفوذی‌ها شمال‌خاور-جنوب‌باختر با ساختاری تقریباً عمود بر ارومیه-دختر قرار گرفته است (علائی مهابادی و کهنسال، ۱۳۷۹) و میزبان توده‌های آتشفشانی و نیمه‌آتشفشانی با ترکیب حد واسط تا اسیدی هستند. توده‌های اخیر، تحت تأثیر محلول‌های گرمایی، دچار دگرسانی و فرایند کانه‌زایی شده‌اند (آیتی، ۱۳۸۷). بخش شمالی دالی از دو تپه کوچک تشکیل شده است که در ۱/۷ کیلومتری شمال خاور بخش جنوبی قرار گرفته است و ناحیه‌ای به وسعت بیش از ۲/۵ Km<sup>2</sup> را در بر می‌گیرد. این تپه‌های دوقلو، دارای چندین توده نفوذی است که عمده‌ترین آنها گرانودیوریت و کوارتز دیوریت پورفیری هستند که توسط واحد آندزیتی احاطه شده‌اند. کانی‌سازی در واحد هورنبلند-بیوتیت-کوارتز دیوریت رخ داده است، که هرچه از شمال خاور به سمت جنوب می‌رود این واحد به هورنبلند-بیوتیت دیوریت تغییر می‌کند. دگرسانی در این ناحیه اغلب از نوع پتاسیک با شدت متوسط و فلیک با رگه‌هایی با ستبرای ۱-۱۰ m از جنس

محدوده اکتشافی دالی برای نخستین بار با استفاده از پردازش تصویر ماهواره‌ای TM توسط شرکت ریوتینتو شناسایی شد، این کانسار دگرسانی‌های یک سامانه پورفیری مس-طلا را با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای نشان می‌دهد (یوسفی فر و همکاران، ۱۳۸۹). با توجه به این که در پدیده‌های زمین شناسی قطعیت وجود ندارد، لذا برای حصول نتایج مناسب برای تعیین نواحی پتانسیل دار، به‌ویژه برای تعیین مکان‌های مناسب بررسی‌های تفصیلی اکتشافی از روش‌های گوناگون مدل‌سازی و تلفیق لایه‌های اطلاعاتی استفاده می‌شود (Malczewski, 1999) که در این پژوهش از روش‌های شاخص همپوشانی، منطق فازی و فرایند تحلیل سلسله مراتبی استفاده شده است. روش شاخص همپوشانی روشی متداول برای تلفیق لایه‌ها است. با توجه به این که در این روش هر لایه دارای رده‌های مختلفی است، به روش بیناری ارجحیت دارد (Hosseinali & Alesheikh, 2008). روش منطق فازی به‌ویژه در سال‌های اخیر در اکتشاف نواحی پرتانسیل کانه‌زایی و به ویژه در تعیین مناطق مناسب برای حفاری‌های اکتشافی مورد استفاده قرار گرفته است (کوره‌پزان دزفولی، ۱۳۸۷). فرایند تحلیل سلسله مراتبی مانند روش‌های ذکر شده، روش ریاضی تصمیم‌گیری است اما تاکنون بیشتر در تلفیق لایه‌های اطلاعاتی در محیط زیست و منابع طبیعی به کار رفته است (خیرخواه زرکش و همکاران، ۱۳۸۷؛ پناهنده و همکاران، ۱۳۸۸). با توجه به مطالب ذکر شده، ماهیت فلزایی منطقه و کانه‌زایی مس و طلا، کلیه لایه‌های اطلاعاتی پیش‌پردازش شده در محیط GIS به ترتیب تحلیل و پردازش نهایی شدند (سنجری، ۱۳۸۸). در اینجا داده‌های سنگ شناسی، دگرسانی، کانه‌زایی، زمین ساختی، ژئوشیمیایی و ژئوفیزیکی، لایه‌ها را در سیستم GIS تشکیل می‌دهند.

## ۲- موقعیت جغرافیایی و زمین شناسی

کانسار دالی در محل برخورد کمر بند آتشفشانی پلوتونیک ارومیه-دختر و زون

### ۳-۳. فرایند تحلیل سلسله مراتبی

در این روش قبل از هر کاری باید اطلاعات لایه‌ها استاندارد شود. بعد از این مرحله ترتیبی از جمعیت شاخص‌ها تشکیل می‌شود، برای تشکیل این ماتریس ابتدا باید به شاخص‌ها وزن داده شود بعد از این مرحله امتیاز هر شاخص با هم جمع می‌شود و سپس نسبت به حاصل جمع تمام شاخص‌ها محاسبه می‌شود. بدین ترتیب وزن هر یک از شاخص‌ها به دست می‌آید بعد از ضرب وزن هر شاخص در تعداد همان شاخص امتیاز شاخص‌های هر مکان با هم جمع می‌شود و مکان‌ها بر اساس امتیازات به دست آمده سطح‌بندی می‌شوند. روال کار مدل Analytical Hierarchy Process (AHP) با مشخص کردن عناصر و تصمیم‌گیری و اولویت دادن به آنها آغاز می‌شود این عناصر شامل شیوه‌های مختلف انجام کار و اولویت دادن به سنجه‌ها یا ویژگی‌ها است که شامل ساختن سلسله مراتبی، تعیین ضریب اهمیت معیارها و زیر معیارها و وزن دادن به جایگزین‌ها، ترکیب ضریب اهمیت گزینه‌ها ترکیب وزن‌ها و آزمایش سازگاری هستند (قدسی‌پور، ۱۳۸۸).

### ۴-۴. لایه‌های اکتشافی

لایه‌های اکتشافی از نقشه زمین‌شناسی، داده‌های ماهواره‌ای، داده‌های ژئوشیمی و ژئوفیزیک و مطالعات صحرایی تفکیک و استخراج شده است. هر لایه اکتشافی پس از بررسی بر اساس اولویت به چند کلاس رده‌بندی شده است و از صفر تا یک بهنجاره شده است. این لایه‌ها پس از پردازش‌های اولیه با استفاده از روش‌های وزن‌دهی به لایه، منطق فازی و تحلیل سلسله مراتبی تلفیق شده‌اند و مناطق پرتانسیل برای ادامه عملیات اکتشافی معرفی شده است.

### ۴-۱. لایه سنگ‌شناسی

سنگ میزبان واحد کوارتز دیوریت پورفیری و گرانودیوریت پورفیری، بخش بارزش بالای این لایه و آندزیت در حاشیه به عنوان سنگ در برگیرنده با کانه‌زایی ضعیف و دگرسانی کوارتز مگنتیت و پتاسیمی هستند. برای بقیه واحدهای سنگی (بیشتر آندزیتی) که بدون کانه‌زایی است، کمترین ارزش در نظر گرفته شده است (شکل ۳-الف).

### ۴-۲. لایه زمین‌ساختی

روند عمده گسل‌های کانسار دالی بر اساس مطالعات انجام شده شمال‌خاور-جنوب‌باختر است. کانی‌سازی‌ها عمدتاً در محل تقاطع گسل‌ها رخ می‌دهد. بنابراین نقشه فلیزی-زمین‌ساختی (متالو تکنونیک) ایجاد شده است، اما با توجه به بررسی‌های بی‌هنجاری‌های ژئوشیمی، ژئوفیزیک و زمین‌شناسی، به نظر می‌رسد گسل‌های کوچک (در بخش شمالی و جنوبی کانسار) پس از کانه‌زایی رخ داده‌اند، پس دارای ارزش کمتری هستند (شکل ۳-ب).

### ۴-۳. لایه دگرسانی

با توجه به اهمیت تشخیص دگرسانی‌ها، به عنوان شاخص اکتشافی سامانه‌های کانی‌سازی پورفیری بر مبنای پردازش تصاویر ماهواره‌ای ETM، ASTER با استفاده از تجزیه طیفی و نیز بر اساس مطالعات و بررسی‌های صحرایی دگرسانی‌ها با توجه به شدت آنها شامل دگرسانی‌های اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن (ژاروسیت، همتایت، لیمونیت و گوتیت)، آرزلیک و پتاسیک، در حاشیه دگرسانی پروپلیتیک دگرسانی فلیک به صورت بسیار ضعیف است (یوسفی‌فر و همکاران، ۱۳۸۹) (شکل ۳-ج).

### ۴-۴. لایه ژئوشیمی

هدف از ساخت این لایه، شناخت الگوهای رفتاری عناصر مس و طلا در محیط نمونه‌برداری و جدایش مقادیر بی‌هنجاری در رابطه با کانی‌سازی است (حسنی‌پاک و شرف‌الدین، ۱۳۸۰). نمونه‌های پردازش شده شامل نمونه‌های خاک هستند که در یک شبکه مربعی ۵۰m×۵۰m توسط شرکت پرشین گلد (۱۳۸۷) برداشت شده‌اند.

کوارتز± مگنتیت با آثاری از مالاکیت در طول ریزشکستگی‌ها و رگچه‌های کوارتزی است. استوکورک‌های کوارتزی نیز قابل مشاهده هستند. اثراتی از مالاکیت نیز در طول ریزدرزه‌ها و رگچه‌های کوارتزی مشاهده می‌شود. در بخش خاوری، توده‌های نفوذی نیمه‌ژرف از جنس توف‌های آندزیتی با دگرسانی کلریتی هستند، در حالی که در بخش شمالی این نفوذی‌ها را آندزیت‌های با دگرسانی پتاسیک تشکیل می‌دهند. یک دایک نیز با پهنای ۲۰ متر، بخشی از سامانه را قطع کرده است. در بخش شمالی این دایک سنگ‌های آتشفشانی آندزیتی با دگرسانی آرزلیک رخنمون دارد (شکل ۲).

### ۳-۳. روش مطالعه

در این تحقیق، برای تلفیق لایه‌های اکتشافی، از سه روش شاخص همپوشانی، منطق فازی و تحلیل سلسله مراتبی استفاده شده است که پردازش لایه‌های اکتشافی و نیز تلفیق لایه‌ها با استفاده از نرم‌افزار Arc Map و روش‌های یادآوری شده، انجام شده است. در زیر روش‌های تلفیق لایه‌های اکتشافی به صورت مختصر توضیح داده شده است.

### ۳-۱. روش شاخص همپوشانی

در این روش هر نقشه دارای کلاس‌های مختلفی است که نمره‌های مختلفی دارند، این نمره‌ها در وزن مربوطه به صورت زیر ضرب می‌شوند و امتیاز میانگین وزن داده شده برای هر موضوع (چندضلعی یا پیکسل) از این طریق محاسبه می‌شود، سپس با همه نقشه‌های در حال ترکیب جمع می‌شوند و در نهایت به وسیله جمع اوزان (Sum of the weights)، نرمال می‌شوند:

$$S = \frac{(\sum_i^n S_{ij} W_j)}{(\sum_i^n W_i)} \quad (1)$$

در این معادله، S امتیاز وزن داده برای هر عارضه،  $w_i$  وزن  $i$  امین نقشه ورودی  $s_{ij}$  امتیاز  $i$  امین کلاس از  $i$  امین نقشه و  $W_j$  مربوط به کلاسی است که در نقشه‌های مورد نظر امتیازدار و وزن‌دار می‌شوند (Malczewski, 2006).

### ۳-۲. روش منطق فازی

منطق فازی در سال ۱۹۶۰ توسط پرفسور لطف‌علی عسگرزاده مطرح شد. در بسیاری مواقع نمی‌توان در مورد بود یا نبود پدیده خاصی تصمیم‌گیری کرد و بنابراین یک مرز تدریجی وجود دارد. منطق فازی هم دارای عملگرهایی است که در تصمیم‌گیری‌ها از آنها استفاده می‌شود. در این پژوهش از عملگرهای زیر استفاده شده است (کوره پزان دزفولی، ۱۳۸۷).

۱- عملگر OR فازی: خروجی این عملگر نیز توسط عدد حداکثر کنترل می‌شود، از این عملگر در مواقعی استفاده می‌شود که ما شواهد کافی و زیاد در اختیار نداریم و بنابراین هر گونه شاهدهی می‌تواند مفید باشد (Alesheikh et al., 2008):

$$f_{\text{ترکیب}} = \text{MAX}(f_A, f_B, \dots) \quad (2)$$

۲- عملگر Algebraic SUM فازی: این عملگر نتایجی شبیه OR فازی داشته، با این تفاوت که تمامی اعداد در نتیجه خروجی دخالت دارند. به عبارتی این عملگر خصوصیت افزایشی دارد. برای مثال اگر دو شاهد، مطلوب فرضیه مورد نظر باشد نتایج خروجی بیشتر از هر کدام و حتی بزرگ‌تر از عدد حداکثر است (Alesheikh et al., 2008).

$$f_{\text{ترکیب}} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - f_i) \quad (3)$$

۳- عملگر Gamma operation: این عملگر بر اساس تعیین عدد  $\gamma$ ، بین عملگرهای SUM و Product در نوسان است و مقدار آن عددی بین صفر و یک (در اینجا با توجه به آزمون سعی و خطا و نیز کارهای مشابه ۰/۷۵ در نظر گرفته شده است (دایی‌جواد، ۱۳۸۴) است (Alesheikh et al., 2008).

$$f_{\text{ترکیب}} = (1 - \gamma)^{\text{ضرب جبری فازی}} \times (\text{جمع جبری فازی}) \quad (4)$$

۷ استفاده شده است (شکل ۷). پس از پردازش‌های انجام‌شده، نقشه محدوده‌های پتانسیل دار مس و طلا با استفاده از روش منطق فازی آماده شد (شکل ۸). در بخش مرکزی محدوده مورد مطالعه که با رنگ سرمه‌ای تا آبی تیره است، دارای بالاترین پتانسیل مس و طلا بوده و مناطق امیدبخش برای ادامه اکتشاف است. نتایج در روش منطق فازی محدوده‌های امید بخش بزرگ‌تری نسبت به روش شاخص همپوشانی مشخص می‌کند.

#### ۳-۵. فرایند تحلیل سلسله مراتبی

در این روش مانند روش‌های پیشین، به واحدهای هر لایه کلاس‌های مناسب بر اساس مطالعات و نتایج کارشناسی داده شده و سپس درخت سلسله مراتبی که دارای سه سطح اصلی هدف، معیارها و گزینه‌هاست که سطح معیار آن قابل تقسیم به زیر معیارهای متعدد است. برای لایه‌های اکتشافی رسم شده است (قدسی‌پور، ۱۳۸۸؛ Vahidnia et al., 2009) (شکل ۹).

پس از این مرحله سنجها در یک ماتریس قرار گرفته و بعد از آن تعیین اهمیت (وزن) معیارها و زیرمعیارهاست. دو به دو آنها با هم مقایسه می‌شوند، سپس با استفاده از روش بهنجار کردن تمام سنجها هم‌وزن می‌شوند (جدول ۱). در مقیاس مقایسه زوجی‌ها وزن هر عامل نشان دهنده اهمیت و ارزش آن نسبت به عامل‌های دیگر در عملیات تعیین مکان است. بنابراین انتخاب آگاهانه و صحیح وزن‌ها کمک بزرگی در جهت تعیین هدف مورد نظر می‌نماید (جدول ۲). عملیات وزن‌دهی عامل‌ها به سه روش قابل انجام است. (۱) استفاده از دانش کارشناسی، (۲) استفاده از دانش داده‌ای، (۳) استفاده از دانش کارشناسی و داده‌ای به صورت توأم. وزن نهایی هر گزینه در یک فرایند سلسله مراتبی از مجموع حاصل ضرب اهمیت معیارها در وزن گزینه‌ها به دست می‌آید (جدول ۳).

نقشه نهایی تلفیق لایه‌های اکتشافی با روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی برابر است با (بی‌هنجاری ژئوشیمیایی (Cu) + (Au) + (Cu+Au/Pb+Zn) + (کانه زایی (Cu) ۰/۵۰۹۹× + (دگرسانی ۰/۲۷۲۲× + (مغناطیس‌سنجی ۰/۱۲۵۸× + (سنگ‌شناسی ۰/۰۵۸۷× + (ساختارها ۰/۰۳۳۴×)

در نهایت، آهنگ ناسازگاری یک سلسله مراتبی محاسبه می‌شود که بهتر است این عدد کمتر از ۰/۱ باشد (قدسی‌پور، ۱۳۸۸). آهنگ ناسازگاری از معادله ۵ به دست می‌آید برای محاسبه آهنگ ناسازگاری یک سلسله مراتبی شاخص ناسازگاری هر ماتریس را در وزن عنصر مربوطه ضرب کرده و حاصل جمع آنها به دست آید، که این حاصل جمع I.I است. همچنین وزن عناصر را در I.I ماتریس‌های مربوطه ضرب کرده و مجموع آنها I.I.R نامگذاری می‌شود. حاصل تقسیم آنها آهنگ ناسازگاری سلسله مراتبی است. در این جا آهنگ ناسازگاری CR برابر با ۰/۰۹۱۸ است.

$$I.R = I.I / I.I.R \quad (5)$$

پس از پردازش‌های انجام شده نقشه محدوده‌های پتانسیل دار مس و طلا با روش تحلیل سلسله مراتبی آماده شد (شکل ۱۰). در بخش مرکزی محدوده مورد مطالعه که با رنگ سرمه‌ای تا آبی تیره است، دارای بالاترین پتانسیل مس و طلا بوده و مناطق امیدبخش برای ادامه اکتشاف است. در روش تحلیل سلسله مراتبی وسعت محدوده‌های امیدبخش مشابه روش شاخص همپوشانی است.

#### ۶- نتیجه‌گیری

نقشه‌های مناطق امیدبخش کانی‌سازی مس و طلا که حاصل سه روش تلفیق لایه‌های اکتشافی هستند، تأیید‌کننده همدیگر بوده‌اند و شواهد صحرائی رخنمون‌ها، کانه‌زایی‌ها و نیز نمونه‌برداری از ۶ ترانشه (۸۷۰ متر و تجزیه ۴۳۵ نمونه) عیار متوسط مس ۱۸۷۲ و طلا ۰/۸ ppm با ضریب همبستگی ۰/۸ حاصل شد. نتایج حاصل از برداشت‌های جدید IP در محدوده نیز تأییدی بر درستی تحقیق‌های انجام شده است.

تعداد نمونه‌ها پس از حذف مقادیر خارج از رده و سنسورد ۱۴۸ نمونه است. این بخش شامل سه لایه نقشه‌های بی‌هنجاری مس و طلا و نیز بررسی عناصر فراکانساری و زیرکانساری است. عناصر فراکانساری می‌توانند به عنوان بهترین ردياب برای کانسار مطرح شوند. در این محبت عناصر Au و Cu به عنوان عناصر فراکانساری و Zn و Pb به عنوان عناصر زیرکانساری مورد بررسی قرار گرفته‌اند و از معادله (Au+Cu)/(Pb+Zn) استفاده شده است. مقادیر بالای این نسبت نشان‌دهنده افزایش Cu و Au و نزدیک شدن به مرکز سامانه پورفیری است و در نهایت نشان‌دهنده کاهش Zn و Pb است. بررسی‌های انجام شده در بخش شمالی کانسار دالی حاکی از رابطه معکوس Zn و Pb با Au و Cu است و نشانگر بروز کانی‌سازی این عناصر در حاشیه محدوده مورد مطالعه است (شکل‌های ۴-الف، ۴-ب و ۴-ج).

#### ۴-۵. لایه ژئوفیزیک

بیشتر کانسارهای پورفیری دارای هاله‌های پیریتی هستند که به صورت پراکنده در توده‌های نفوذی یا سنگ درون گیر یافت می‌شوند. همچنین هاله‌های غنی از مگنتیت نیز در برخی موارد، بر روی توده‌های نفوذی حاوی مس و گاهی نوع غنی از طلا، مشاهده می‌شوند که هر دو نوع هاله می‌توانند برداشت‌های ژئومغناطیس را توجیه‌پذیر نمایند. در برداشت مغناطیس‌سنجی توسط شرکت ریوتینتو شبکه برداشت و نقاط نمونه‌برداری بر شبکه نمونه‌برداری ژئوشیمی خاک منطبق و به صورت موازی در نظر گرفته شد و قبل از پردازش نمونه‌های زمین مغناطیسی تصحیحات روزانه و کاهش نسبت به قطب بر روی نمونه‌ها اعمال شده است. پیدا کردن ارتباط بین عیار عناصر به‌ویژه مس و طلا در خاک و میزان خاصیت مغناطیسی در هر نقطه بود. طراحی شبکه برداشت با توجه به رخنمون‌های سنگی و هاله‌های دگرسانی با برداشت ۱۵۱۷ ایستگاه صورت گرفت (پرشین‌گلد، ۱۳۸۷). فواصل نیم‌رخ‌ها در زون‌هایی فاقد کانی‌سازی یا با کانی‌سازی کم، ۱۰۰ متر که با نزدیک شدن به توده اصلی شبکه متراکم‌تر و فواصل به ۲۵ متر کاهش یافت. بر روی همه نیم‌رخ‌ها، فاصله ایستگاهی ۲۵ متر در نظر گرفته شد (Rio Tinto, 2006). جهت نیم‌رخ‌ها به صورت خاوری-باختری و عمود بر روند سامانه دگرسانی است (شکل ۵-الف).

#### ۴-۶. لایه رخنمون‌های کانه‌زایی مس

رخنمون‌های کانه‌زایی اکسیدها و کربنات‌های مس (مالاکیت و آزوریت)، کانی‌های سولفیدی (پیریت و کالکوپیریت) نیز به‌عنوان یک لایه اکتشافی در تلفیق لایه‌های اطلاعاتی بررسی شده است. با توجه به این که در رخنمون کانه‌زایی نمی‌توان لایه‌های اکسیدی و سولفیدی را با دقت از یکدیگر جدا کرد، به‌طور کلی، به هر دو اینها یک زون داده شده است و در قالب یک لایه بررسی شده است (شکل ۵-ب).

#### ۵- تلفیق لایه‌های اکتشافی

##### ۱-۵. شاخص همپوشانی

در این روش هر لایه بر اساس ارزش واحدها کلاس‌های مختلفی دارد و در نهایت، هر لایه نسبت به لایه دیگر نیز دارای وزن خاصی است. براساس مطالعات و پردازش‌های کارشناسی انجام شده به لایه‌های بی‌هنجاری مس، طلا و لایه تفکیک هاله عناصر فراکانساری و زیرکانساری وزن ۹، به لایه دگرسان وزن ۸، به لایه مغناطیس‌سنجی وزن ۶، به لایه واحدهای زمین‌شناسی وزن ۴ و به لایه زمین‌ساختی وزن ۱ داده شده است. پس از پردازش‌های انجام‌شده، نقشه محدوده‌های پتانسیل دار مس و طلا با استفاده از روش وزن‌دهی به لایه‌ها آماده شد (شکل ۶). در بخش مرکزی محدوده مورد مطالعه که با رنگ سرمه‌ای تا آبی تیره است، دارای بالاترین پتانسیل مس و طلا بوده و مناطق امید بخش برای ادامه اکتشاف است.

##### ۲-۵. روش منطق فازی

در این روش نیز از این که به واحدهای هر لایه کلاس‌های مناسب بر اساس مطالعات و نتایج کارشناسی داده شد از دو عملگر SUM، OR و در نهایت عملگر

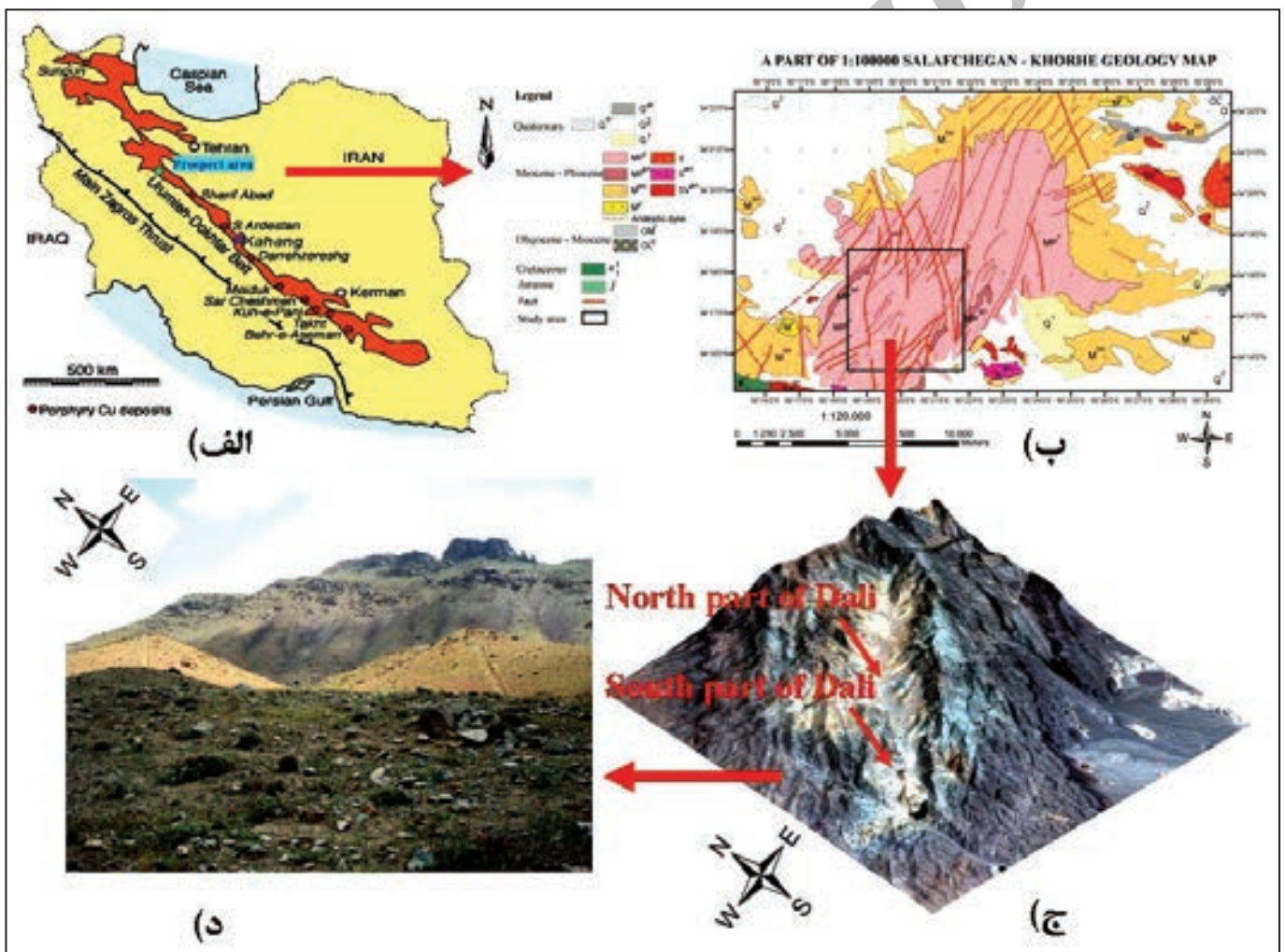
پورفیری و گرانودیوریت پورفیری واقع شده است، برای بررسی‌های اکتشافی آتی به ویژه حفاری‌های اکتشافی در بخش شمالی کانسار پورفیری دالی پیشنهاد می‌شود.

### سپاسگزاری

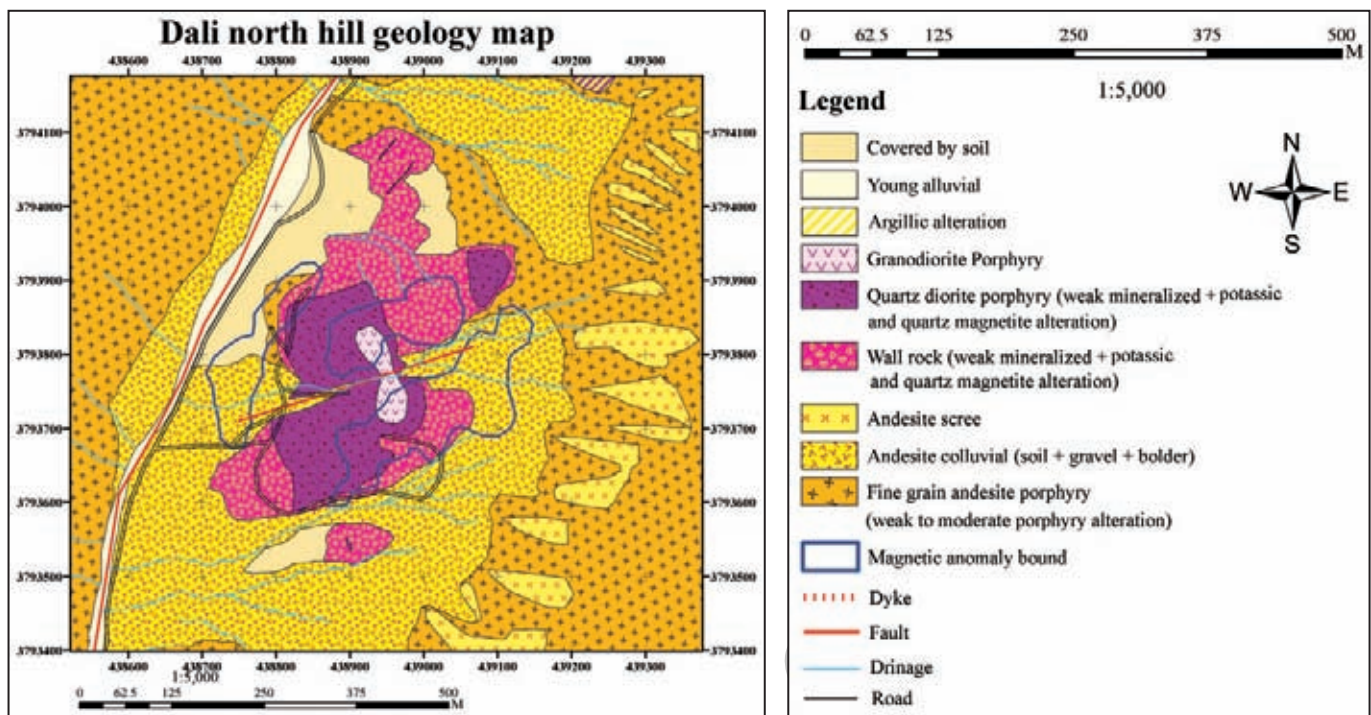
بدین وسیله نویسندگان از آقای دکتر جلال کرمی (دانشگاه خواجه نصیر طوسی)، آقای مهندس سیدعلی موسوی ماکویی (دانشگاه تربیت مدرس) به خاطر ارائه رهنمودهای علمی ارزنده و نیز آقای مهندس بهمن رشیدی (مدیریت شرکت پرشین گلد) برای در اختیار قرار دادن اطلاعات اکتشافی کانسار دالی سپاسگزاری می‌نمایند.

لازم به ذکر است که از بین این سه روش استفاده شده برای تلفیق لایه‌های اکتشافی، فرایند تحلیل سلسله مراتبی مناسب‌تر از شاخص همپوشانی و نیز منطق‌فازی است، زیرا در فرایند تحلیل سلسله مراتبی اهمیت هر لایه اکتشافی براساس نظر کارشناسی و نیز اولویت آنها بر مبنای اصول اکتشافی نسبت به لایه‌های دیگر نیز سنجیده می‌شود و احتمال خطا را کاهش می‌دهد و در نهایت با محاسبه آهنگ ناسازگاری، درستی این روش تأیید می‌شود.

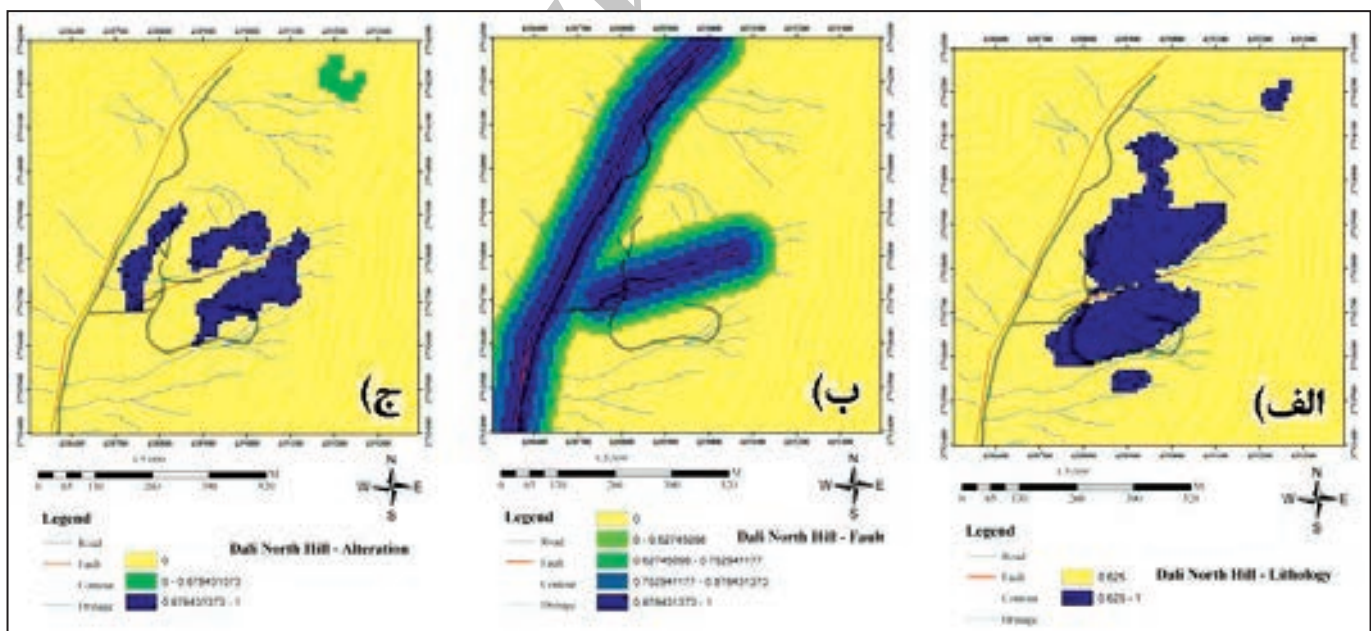
پس از کلیه مطالعات و پردازش‌های انجام شده در نهایت محدوده‌ای با وسعت  $0.2 \text{ Km}^2$  که در واحد زمین‌شناسی آندزیت به عنوان میزبان و دیوریت



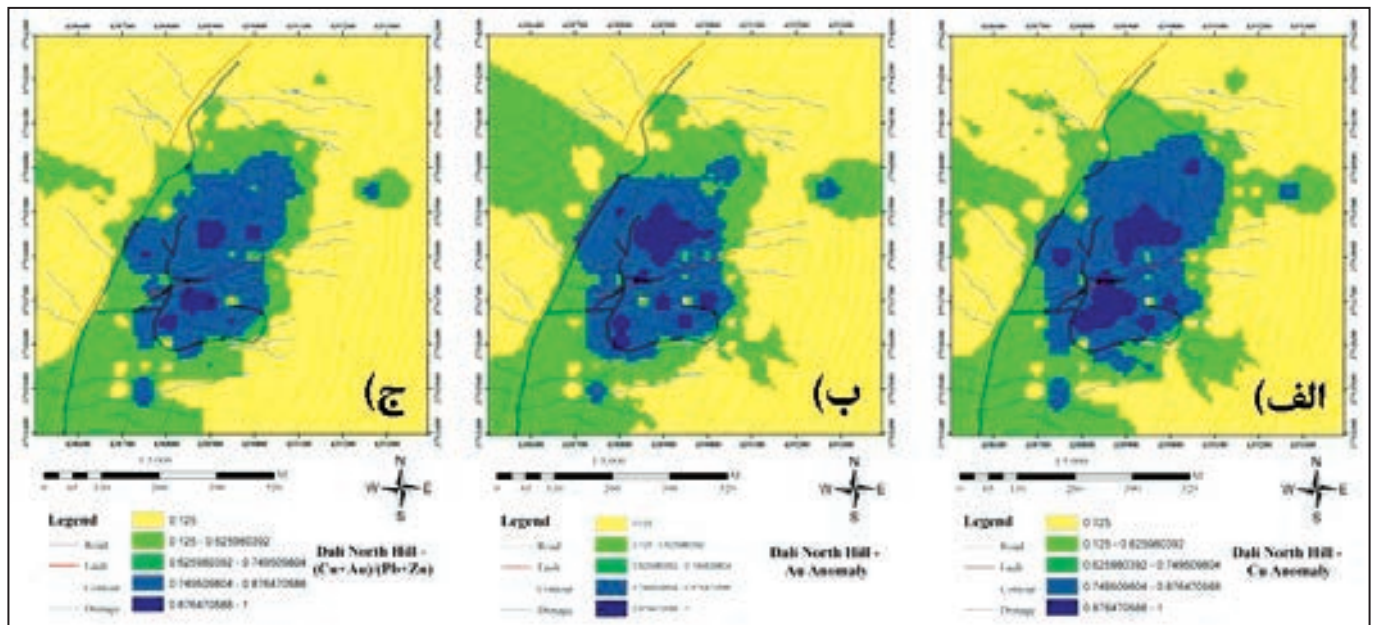
شکل ۱- الف) موقعیت کانسار دالی در ایران، ب) بخش‌های شمالی و جنوبی کانسار دالی بر روی نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سلفچگان- خورهه، ج) تصویر سه‌بعدی داده‌های IKONOS و د) تصویر محدوده مورد مطالعه (دید به سمت خاور)



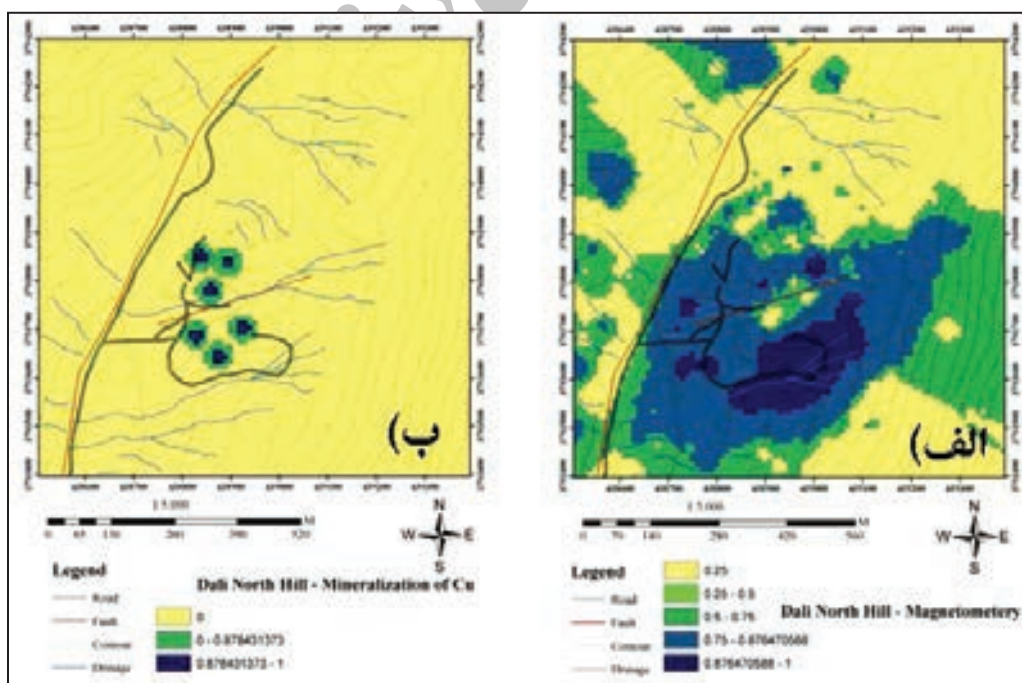
شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰ بخش شمالی کانسار دالی (تصحیح شده بر اساس نقشه پرشین گلد، ۱۳۸۷)



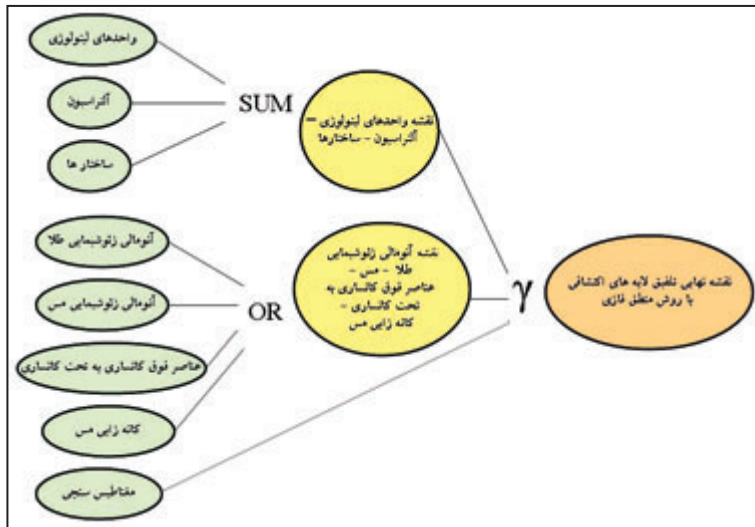
شکل ۳- (الف) لایه واحدهای زمین‌شناسی، (ب) لایه زمین‌ساختی و (ج) لایه دگرسانی



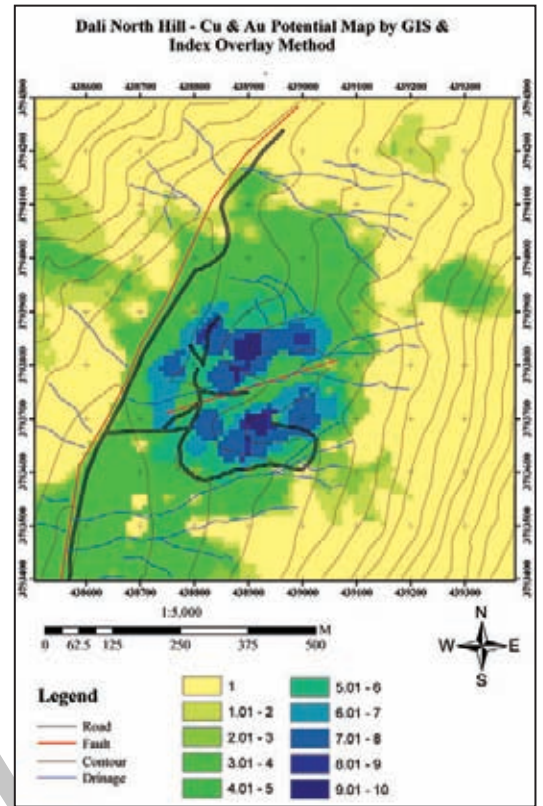
شکل ۴- (الف) لایه بی‌هنجار مس، (ب) لایه بی‌هنجار طلا و (ج) لایه تفکیک‌هاله عناصر فراکانساری و زیرکانساری



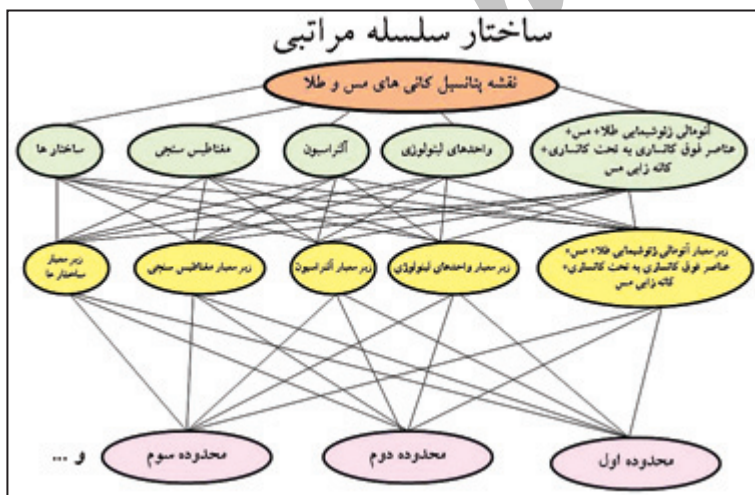
شکل ۵- (الف) لایه مغناطیس‌سنجی، (ب) لایه رخنمون کانه‌زایی مس



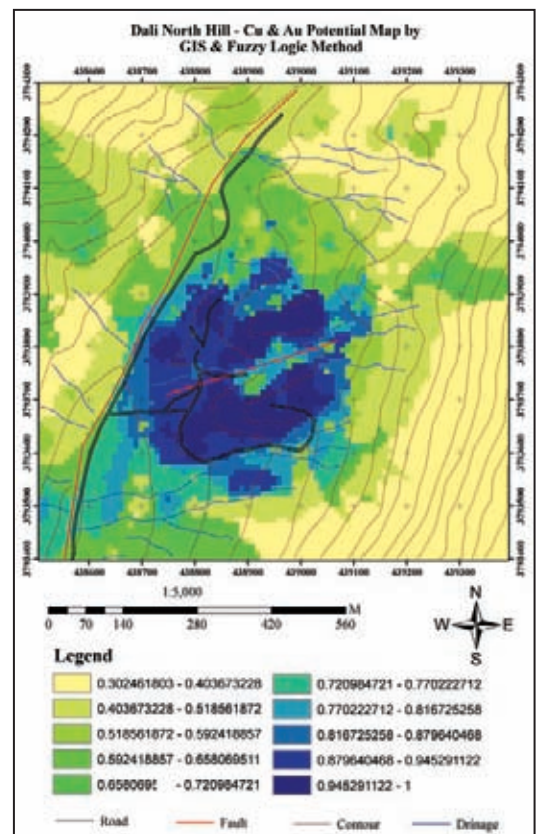
شکل ۷- فلوجارت تحلیل انجام شده بر روی لایه‌های اکتشافی بخش شمالی کانسار دالی



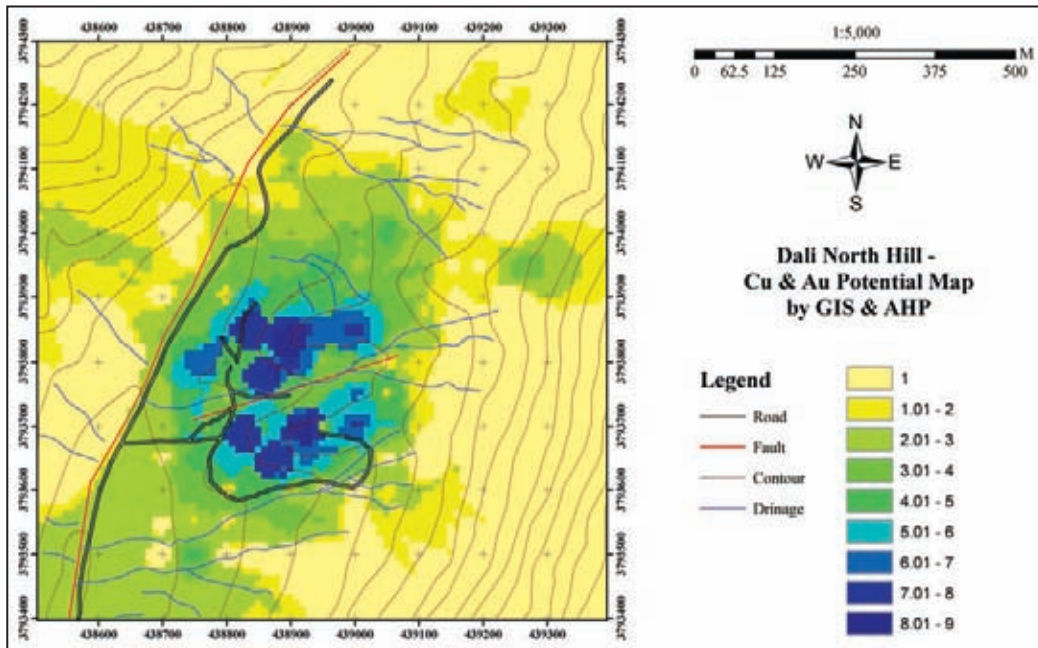
شکل ۶- نقشه محدوده‌های پتانسیل دار مس و طلا در بخش شمالی کانسار دالی با روش شاخص همپوشانی



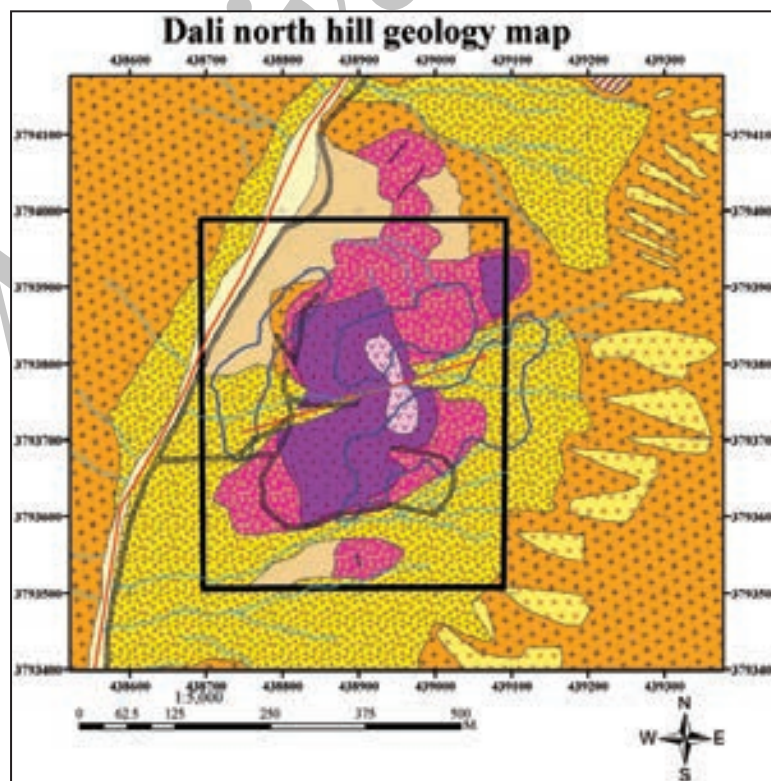
شکل ۹- ساختار سلسله مراتبی لایه‌های اکتشافی بخش شمالی کانسار دالی



شکل ۱۰- نقشه محدوده‌های پتانسیل دار مس و طلا در بخش شمالی کانسار دالی با روش منطق فازی



شکل ۱۰- نقشه محدوده‌های پتانسیل دار مس و طلا در بخش شمالی کانسار دالی با روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی



شکل ۱۱- محدوده مستعد کانی‌سازی طلا و مس در بخش شمالی کانسار دالی



جدول ۱- وضعیت مقایسه لایه‌ها و وزن مربوط به آنها

وضعیت مقایسه‌ها	وزن یا ارزش	وضعیت مقایسه‌ها	وزن یا ارزش
یکسان	۱	بیشتر تا خیلی بیشتر	۶
یکسان تا نسبتا بیشتر	۲	خیلی بیشتر یا خیلی قوی	۷
نسبتا بیشتر یا ضعیف	۳	خیلی بیشتر تا خیلی ، خیلی بیشتر	۸
بیشتر یا قوی	۵		

جدول ۲- وزن‌دهی به لایه‌های اکتشافی در بخش شمالی کانسار دالی

ساختارها	سنگ شناسی	مغناطیس سنجی	دگرسانی	(بی‌هنجاری ژئوشیمیایی $Au$ و $Cu$ ) + ( $Au+Cu/Pb+Zn$ ) (کانه‌زایی $Cu$ )
۱	۷	۶	۳	(بی‌هنجاری ژئوشیمیایی $Au$ و $Cu$ ) + ( $Au+Cu/Pb+Zn$ ) (کانه‌زایی $Cu$ )
۷	۵	۴	۱	دگرسانی
۵	۴	۱	۱/۴	مغناطیس سنجی
۳	۱	۱/۴	۱/۵	سنگ شناسی
۱	۱/۳	۱/۵	۱/۷	ساختارها

جدول ۳- وزن لایه‌های اکتشافی در بخش شمالی کانسار دالی با روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی

گزینه‌ها	وزن
(بی‌هنجاری ژئوشیمیایی $Au$ و $Cu$ ) + ( $Au+Cu/Pb+Zn$ ) (کانه‌زایی $Cu$ )	۰/۵۰۹۹
دگرسانی	۰/۲۷۲۲
مغناطیس سنجی	۰/۱۲۵۸
سنگ شناسی	۰/۰۵۸۷
ساختارها	۰/۰۳۳۴

## کتابنگاری

- آقاباتی، ع. ۱۳۸۵- زمین شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین شناسی ایران، ۵۸۶ ص
- آیتی، ف.، ۱۳۸۷- پایان نامه دکتری گرایش پترولوژی، گروه زمین شناسی، دانشگاه اصفهان به بررسی پترولوژی و ژئوشیمی توده‌های آذرین (ولکانیک - ساب ولکانیک) در ورقه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ سلفچگان - خورهه.
- اصغریور، م.، ۱۳۸۵- تصمیم گیری‌های چند معیاره، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ چهارم.
- حسینی پاک، ع.ا.، شرف الدین، م.، ۱۳۸۰- تحلیل داده‌های اکتشافی، چاپ اول، انتشارات دانشگاه تهران.
- پنانه، م.، ارسطو، ب.، قویدل، آ.، قنبری، ف.، ۱۳۸۸- مکانیابی جایگاه دفن پسماند در شهرستان سمنان با استفاده از مدل GIS و نرم افزار AHP، دوازدهمین همایش ملی بهداشت محیط ایران، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، دانشکده بهداشت.
- خیرخواه زرخش، م.، ناصری، ح.، داوودی، م.، سلامی، ه.، ۱۳۸۷- استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی در اولویت بندی مکان‌های مناسب احداث سد زیرزمینی، مطالعه موردی دامنه شمالی کوه‌های کرکس - نطنز، پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی.
- دایی جواد، ح.، ۱۳۸۴- مدل‌سازی اندیس مس - طلالی دالی و کاربرد آن در پتانسیل‌یابی نواحی مجاور با استفاده از داده‌های استر و GIS، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی اصفهان، پایان نامه کارشناسی ارشد.
- سنجری، س.، ۱۳۸۸- راهنمای کاربردی ARC GIS، ناشر عابد، چاپ چهارم، ۳۴۴ ص
- شرکت پرشین گلد، ۱۳۸۷- عملیات حفاری در اندیس مس - طلالی دالی، استان مرکزی، گزارش چاپ نشده.
- علائی مهابادی، س.، کهنسال، ر.، ۱۳۷۹- نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ چهارگوش سلفچگان - خورهه، انتشارات سازمان زمین شناسی کشور.
- قدسی‌پور، ح.، ۱۳۸۸- مباحثی در تصمیم‌گیری چند معیاره، فرایند تحلیل سلسله مراتبی، انتشارات دانشگاه صنعتی امیر کبیر، چاپ هفتم، ۲۲۰ ص
- کوره پزان دزفولی، ا.، ۱۳۸۷- اصول تئوری مجموعه‌های فازی و کاربرد آن در مدل‌سازی مسایل مهندسی آب، انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیر کبیر، چاپ دوم، ۲۶۱ ص
- یوسفی فر، س.، خاکزاد، ا.، اسدی‌هارونی، ه.، جعفری، م.، ر.، ۱۳۸۹- پردازش داده‌های ماهواره‌ای ETM<sup>+</sup> در بخش شمال غربی روستای راوه به منظور تعیین آلتراسیون‌ها و ساختارهای محدوده مورد مطالعه، اولین همایش ملی دستاوردهای علوم زمین.

## References

- Alesheikh, A., Soltani, M., Nouri, N., Khalilzadeh, M., 2008- Land assessment for flood spreading site selection using geospatial information system, *International Journal of Environmental Science and Technology*, Tehran-Iran, 455-462.
- Hosseinali, F., Alesheikh, A., 2008- Weighting Spatial Information in GIS for Copper Mining Exploration, *American Journal of Applied Sciences*, 1187-1198.
- Malczewski, J., 1999- GIS and multicriteria decision analysis, published in Canada and printed in USA, 392p.
- Malczewski, J., 2006- Ordered weighted averaging with fuzzy quantifiers: GIS-based multicriteria evaluation for land-use suitability analysis, *International Journal of Applied Earth Observation and Geo information*, 8(4), 270-277.
- Rio Tinto, 2006- Dali ground magnetic survey, unpublished report.
- Vahidnia, M. H., Alesheikh, A., Alimohammadi, A., 2009- Hospital site selection using fuzzy AHP, *Journal of Environmental Management*.
- Vahidnia, M. H., Alesheikh, A., Alimohammadi, A., 2009- Landslide Hazard Zonation Using Quantitative Methods in GIS.

**Keywords:** Kangan Formation, Porosity, Well Logs, Artificial Neural Network, Regularization Training Method, Committee Machine, Ensemble Combination, Genetic Algorithm

For Persian Version see pages 33 to 40

\*Corresponding author: M. Zakeri; E-mail:mahmood\_zakery2006@yahoo.com

## The Huge Jiroft Landslide: Introduction, Indications and Characteristics

A. Abbasnejad<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Geology, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

Received: 2009 December 09

Accepted: 2010 August 29

### Abstract

The huge and historical landslide of Jiroft, being about 53 Km<sup>2</sup> in area, is located in 35 Km NW of Jiroft town just adjacent to Jiroft Dam and in coordinates of 28° 45' to 28° 53' N and 57° 20' to 57° 30' E. This slide which has taken place as a result of massive movement of upper reefal part of Qom formation dipping only 6°, 8 cubic kilometers in volume and about 300 meters thickness over the underlying marls, is recognizable based on shattered rocks, anomaly along the course of Halil Roud and the presence of well-rounded igneous boulders in some parts among the shattered rocks. As a result of this slide, the course of Halil was completely blocked and an ephemeral lake was created. Afterwards, the lake overflowed in another place (the present place of the Dam) which was the lowest point in its periphery. Due to this river detour, the Halil Roud incised its fan, created a gorge from the overflowing point to its confluence point, as well as incision of several small fans along its course. The presence of several active faults and low slope of the sliding mass imply the probable influence of earthquake and heavy precipitation as triggering mechanisms. The main characteristics of this slide include very low slope (6°), its size (53km<sup>2</sup> in area and maximum run-out distance of about 7 km), comprising four parts, specific mechanism (like other sturztorms) and its time of occurrence (probably 60000 to 100000 years ago). Depending on the classification of landslides, it may be considered as extremely rapid rock slide, sturztorm, rock avalanche as well as debris avalanche. The desert varnish of boulders engaged in the slide mass and the solution runnels generated after the slide suggest that the age of the slide is about tens of thousands to several thousands years ago.

**Keywords:** Landslide, Jiroft, Halil Roud, Jiroft Dam, Channel anomaly, Natural lake, Alluvial fan.

For Persian Version see pages 41 to 48

\*Corresponding author: A. Abbasnejad; E-mail: aabbas@uk.ac.ir

## Using Index Overlay, Fuzzy Logic Method and Analytical Hierarchy Process in order to Determine Au and Cu Potential Targets in North Part of Dali Porphyry Deposit

S. Youseffar<sup>1\*</sup>, A. Khakzad<sup>1</sup>, H. Asadi Harooni<sup>2</sup>, M. R. Jafari<sup>3</sup>, M. Vosoughi Abedini<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Geology, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

<sup>2</sup> Mining Department, Faculty of Mining Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

<sup>3</sup> Department of Geology, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Received: 2010 April 04

Accepted: 2010 September 19

### Abstract

Dali porphyry copper-gold deposit is situated geologically incontact of the Urmieh-Dokhtar magmatic belt and the Sanandaj-Sirjan zone in central of Iran and for the first time this deposit was investigated with using the satellite image processing (TM). In this research, the Northern part of the Dali deposit has been investigated in order to recognize the potential copper and gold-bearing target areas. The survey layers include

the lithologic units, alteration, geophysical and geochemical results, tectonics, and copper mineralization. As a accurate decision can have a considerable effect on exploration plans, so in this research efforts have been made to make use of new combination methods including index overlay method, fuzzy logic method, and the analytical hierarchy process. These three methods support and complement each other and have revealed highly potential copper and gold mineralization areas. Among these methods, Analytical hierarchy process is the best method for combining the exploration data in this area. The investigations (for instance field evidences of outcrops, mineralization and also sampling of 7 trenches) carried out in the study area confirm this matter. Based on achieved results, geological perspective in central of studied area is appropriate for continuing mining exploration, especially for subsurface exploration in future.

**Key words:** Porphyry, Dali, Index overlay Method, Fuzzy logic method, Analytical hierarchy process.

For Persian Version see pages 49 to 58

\*Corresponding author: S. Yousefifar; E-mail: s.yousefifar@srbiau.ac.ir

## The Pabdeh-Asmari Boundary Facies in Kuh e-Asmari Section :Evidence for Unconformable Ruplian-Chattian Boundary in Iran

H. Amin-Rasouli <sup>1\*</sup>, Y. Lasemi <sup>2</sup>, M. Ghomashi <sup>3</sup>, S. Zaheri <sup>4</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Geosciences, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

<sup>2</sup> Illinois State Geological Survey, Champaign, Illinois, USA

<sup>3</sup>Department of Geology, Sistan and Baluchestan University, Zahedan, Iran

<sup>4</sup>Administer Education of Sanandaj, Sanandaj, Iran

Received: 2009 June 17

Accepted: 2010 September 28

### Abstract

The uppermost layers of the Pabdeh Formation in Kuh e-Asmari section consist of microbial (tufa and stromatolite) facies interpreted to have been deposited in a lacustrine environment. These deposits are unconformably overlain by basal anhydrite and transitional zone of the Asmari and Pabdeh Formations. The transitional zone is correlated with the lower Asmari (with a basal unconformity or correlative conformity) in the Gachsaran No. 31 and Aghajari No. 61 wells and in Kuh e-Mish, Shahzadeh Abdullah, Tang-Sorgh and Rag-Sefid surface sections. Therefore the basal anhydrite and transitional zone should be considered as a part of the Asmari Formation. The drastic facies change near the Pabdeh and Asmari contact is due to thrust-loading, relative sea-level changes and climatic variations close to Ruplian-Chattian boundary.

**Keywords:** Pabdeh Formation, Asmari Formation, Kuh e-Asmari, Ruplian, Chattian

For Persian Version see pages 59 to 66

\*Corresponding author: H. Aminrasouli; E-mail:h.aminrasouli@uok.ac.ir

## Study of Mineralogy and Geochemistry of Manganese Ore and Host Rocks of the Robat Karim Manganese Deposit, Southwest Tehran

S. J. Moghaddasi\* & Y. Negahban<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Geology, Payame Noor University, Tehran, Iran.

Received: 2010 January 16

Accepted: 2010 October 05

### Abstract

Robat Karim manganese deposit is located in 7 km northwest of Robat Karim (southwest of Teharan), within northeastern margin of Orumiyeh-Dokhtar volcanic belt. Based on regional geology, the studied area is situated in the northern Saveh Eocene volcanic assemblage, composed of rhyolite, trachyte, andesite and basalt. Manganese mineralization is occurred as veins, in faults, joints and fractures that crosscut the volcanic rocks. According to mineralogical studies, the manganese ore of the studied area is composed of pyrolusite, psilomelane, ramsdelite and