

تلفیق داده‌های اکتشافی در محدوده اندیس مس - طلا پورفیری دالی با استفاده از منطق فازی جهت تعیین نقاط حفاری

حجت الله دایی جواد^۱، دکتر هوشنگ اسدی هارونی^۲، دکتر سید حسن طباطبائی^۳

۱- کارشناسی ارشد مهندسی اکتشاف معدن، دانشگاه صنعتی اصفهان، Daeijavad@yahoo.com

۲- استادیار دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی اصفهان، hooshang@cc.iut.ac.ir

۳- استادیار دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی اصفهان، tabatabaei@cc.iut.ac.ir

چکیده

اندیس مس- طلا پورفیری دالی بر روی کمر بند ولکانیکی ارومیه- دختر واقع شده است. محدوده اندیس دالی عمدتاً شامل سنگهای آذرین درونی دیوریت الیگو- میوسن و همچنین ولکانیکی آندزیتی ائوسن میباشد، که تحت تأثیر محلولهای هیدروترمال تبدیل به آلتراسیونهای نوع پتاسیک، پروپلیتیک، سیلیسی و بطور محلی فیلیک شده اند. کانی سازی مس و طلا در رابطه با آلتراسیون های پتاسیک و سیلیسی دیوریت و کنتاکت آن با آندزیت میباشد. در این تحقیق ابتدا با استفاده از پردازش داده‌های ماهواره‌ای ASTER، برخی از آلتراسیونها و زونهای حاوی اکسید آهن محدوده اندیس دالی تشخیص داده شد، و سپس با استفاده از آنالیز شیمیایی ۴۴ عنصری حدود ۱۲۰ نمونه خاک و سنگ، نقشه‌های هاله تک عنصری و هاله مرکب مس و طلا تهیه گردید. در مطالعات ژئوفیزیکی تعداد ۱۱ پروفیل مغناطیس سنجی برداشت و با استفاده از نقشه تبدیل نسبت به قطب داده‌های شدت کل میدان مغناطیسی منطقه، روند حقیقی توده‌های نفوذی زیر سطحی تعیین گردید. در نهایت با استفاده از مدل منطق فازی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و تلفیق لایه‌های اطلاعاتی حاصل از مطالعات دورسنجی، زمین شناسی، ژئوشیمیائی و ژئوفیزیکی یک نقشه نهائی تهیه گردید. این نقشه معرف زون های دارای اولویت بالای کانی سازی مس و طلا برای تصمیم‌گیری بهینه در جهت طراحی نقاط حفاری عمیق می باشد.

واژه های کلیدی: تلفیق داده ها، منطق فازی، مس- طلای پورفیری، آلتراسیون، دور سنجی، ژئوشیمی، ژئوفیزیک

Integrated Analysis of Exploration Data to Define Drill Targets at Dali Porphyry Cu-Mo Prospect, Using Fuzzy Logic Method

Hojatollah Daeijavad, Hooshang Asadi Haroni, Seyed Hassan Tabatabaei

Abstract

Dalli Cu-Au porphyry prospect is located in the Urumieh-Dokhtar volcanic belt. The main rock types of the Dalli area are mostly composed of Oligo-Miocene diorite and Eocene andesite, showing potassic, propylitic and silica alterations. The mineralization at Dalli is associated with potassic and silica alterations within the Diorite and its contact with andesites. In this research, first, Aster imagery data were processed to map some of the hydrothermal alteration and iron oxides in the Dalli area. Then, copper and gold anomaly maps were prepared using multi element analytical results of 120 soil and rock samples. Ground magnetic data of the area (11 profiles) were processed to create reduces to pole map of total magnetic intensity. This map was used to define subsurface intrusive rocks. Utilizing fuzzy logic method Within a GIS environment, an integrated analysis of the mentioned data was used to map high potential targets for deep drilling.

Keywords: Fuzzy logic, Cu-Au porphyry, Alteration, Remote sensing, Data integration

۱- مقدمه

در فازهای مختلف اکتشاف مواد معدنی فلزی در شناسایی مراحل پی‌جویی، نیمه تفصیلی و تفصیلی، مطالعات زمین‌شناسی، ژئوشیمی و ژئوفیزیکی در سطوح مختلف انجام می‌شود. در انجام این مطالعات بایستی بتوان در هر زمان، نتایج به دست آمده از یک آنالیز را با نتایج سایر آنالیزها مقایسه و تلفیق نمود. هر نوع آنالیز در جهت رهنمون شدن به تعیین کنترل‌کننده‌های کانی‌سازی، زمانی منتج به فایده خواهد بود که نتایج آن با نتایج دیگر آنالیزها انطباق داشته باشد.

اندیس مس- طلائی دالی واقع در استان مرکزی (حدود ۵۰ کیلومتری شمال شرق شهرستان دلیمان) در سال ۱۳۸۳ با استفاده از پردازش داده‌های ماهواره ای TM کشف گردید. در ادامه عملیات اکتشافی در محدوده این اندیس با استفاده آنالیز طیفی داده‌های ماهواره ای ASTER، هاله‌های آلتراسیون، با توجه به ارتباط مستقیم بعضی از آنها با کانی‌سازی، مورد تفکیک قرار گرفته و نقشه مربوط به آنها تهیه شد. در مرحله بعدی اکتشاف بر روی مناطقی از محدوده مورد نظر که به روش-های قبلی مناسب تشخیص داده شده بودند (توده کانی‌سازی و مناطق اطراف)، نمونه برداری ژئوشیمیایی از سنگ و خاک صورت گرفت. با توجه به حضور کانی مگنتیت و ارتباط آن با کانی‌زایی طلا و مس در منطقه عملیات برداشت مغناطیسی انجام گرفت. بعد از تهیه لایه‌های مختلف اکتشافی و وزن دهی به این لایه‌ها، از عملگر منطق فازی در پردازش و تلفیق داده‌ها در سیستم GIS برای تعیین نقاط مستعد حفاری استفاده گردید. در ادامه نحوه تهیه لایه‌های مختلف و نحوه تلفیق داده‌ها در اکتشاف اندیس دالی بررسی و ارزیابی می‌گردد.

۲- زمین‌شناسی

اندیس دالی از نظر ژئودینامیکی بر روی کمربند ولکانیکی-پلوتونیک ایران (ارومیه-دختر) و در نزدیکی کنتاکت این کمربند با زون سندانج-سیرجان قرار گرفته است (شکل ۱). این دو زون بخش‌های فرعی از کمربند کوهزایی زاگرس و محصول فرورانش^۱ و بسته شدن اقیانوس نئوتتیس^۲ محسوب میشوند. کمربند ولکانیکی ارومیه-دختر در ارتباط با فرورانش صفحه اقیانوسی نئوتتیس و متعاقباً صفحه عربی به زیر ایران تشکیل شده است. سنگهای تشکیل دهنده کمربند ارومیه-دختر اساساً سنگهای آتشفشانی با ترکیب عمدتاً آندزیتی می‌باشند. این کمربند میزبان اکثر ذخایر مس پرفیری ایران همانند سرچشمه، میدوک و سونگون است.

محدوده اکتشافی دالی عمدتاً شامل سنگهای آذرین حدواسط (دیوریت و تونالیت) هستند که به داخل ولکانیک و ساب ولکانیکهای آندزیتی نفوذ نموده‌اند. توده‌های نفوذی و در محل کنتاکت آنها با ولکانیک‌های آندزیتی، تحت تاثیر محلول‌های هیدروترمال به آلتراسیون‌های پتاسیک (کوارتز-بیوتیت ثانویه-مگنتیت) و استوک ورکهای سیلیسی همراه با کانی‌سازی مس و طلائی و همچنین آلتراسیونهای پروپیلیتی و بطور محلی فیلیک (کوارتز-سریسیت-اسپی کولاریت) و آرزلیکی (کائولن) تبدیل شده‌اند.

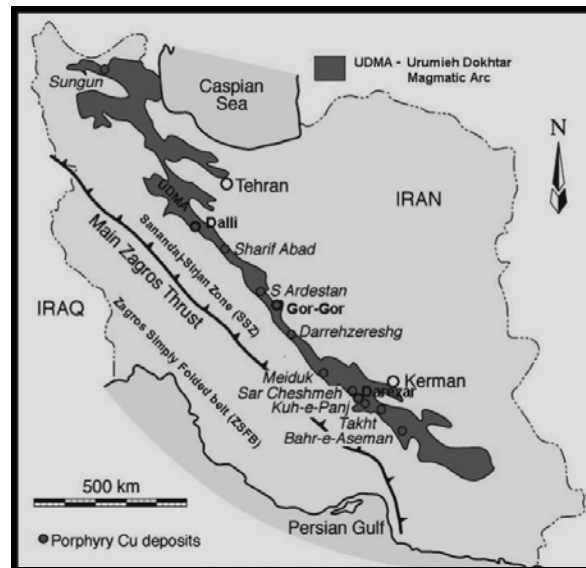
۳- مطالعات دورسنجی

امروزه دورسنجی به عنوان یکی ابزارهای اصلی زمین‌شناسان در تعیین موقعیت قرارگیری، تعیین ساختارها و واحدهای سنگی و زونهای آلتراسیون به کار گرفته میشود، و موقعیکه بصورت مکمل بکار می‌رود، بهترین کارایی را خواهد داشت. در این مسیر کانسار مس پرفیری با توجه به هاله‌های آلتراسیون گسترده، مورد خوبی برای اکتشاف از طریق تکنیک دورسنجی به شمار می‌رود. داده‌های ماهواره ای استر با توجه به قدرت تفکیک طیفی و مکانی بالا توانایی خوبی در تفکیک واحدهای سنگی و زون‌های آلتره در مقیاس ناحیه ای و محلی دارند. این داده‌ها در طول موجهای مرئی (VNIR) و مادون قرمز طول موج کوتاه (SWIR) انعکاسی بترتیب دارای قدرت تفکیک ۱۵ و ۳۰ متر بر روی زمین می‌باشند. در محدوده طیفی باند ۷ در داده‌های TM، ۶ باند طیفی در داده‌های استر وجود دارد. در این محدوده طیفی از آنجایی که کانی‌های رسی و کلریتی خصوصیات

¹Subduction

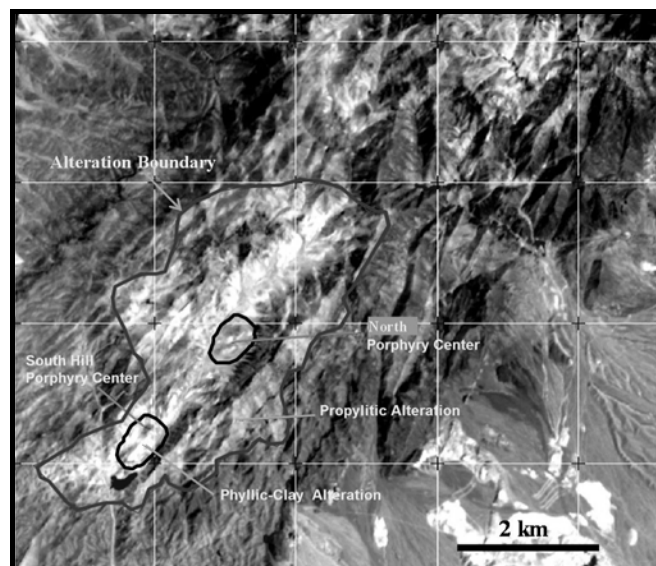
²Neo-Tethys

جذب را نشان میدهند و این کانی‌ها نشانه خوبی برای تشخیص آلتراسیون های هیدروترمال و در رابطه مستقیم و یا غیر مستقیم با کانی سازی می‌باشند، حائز اهمیت هستند [۷].



شکل ۱- موقعیت اندیس دالی واقع در بخش مرکزی کمر بند ولکانیکی ارومیه - دختر

در منطقه دالی بعد از انجام تصحیحات هندسی و رادیومتریک، تکنیک‌ها و روش های متفاوتی برای پردازش داده‌های استر و عمدتاً تعیین آلتراسیونها مورد استفاده قرار گرفت [۵]. ابتدا برای شناسائی کیفی کنترل کننده های کانی سازی در منطقه ترکیب رنگی کاذب باندهای VNIR321 تهیه گردید (شکل ۲). در این شکل آلتراسیون های هیدروترمال آرژیلیکی و سریستی دارای بنیان هیدروکسیل و آلتراسیون پروپیلیتیکی (عمدتاً کلریت) مشخص شده اند.

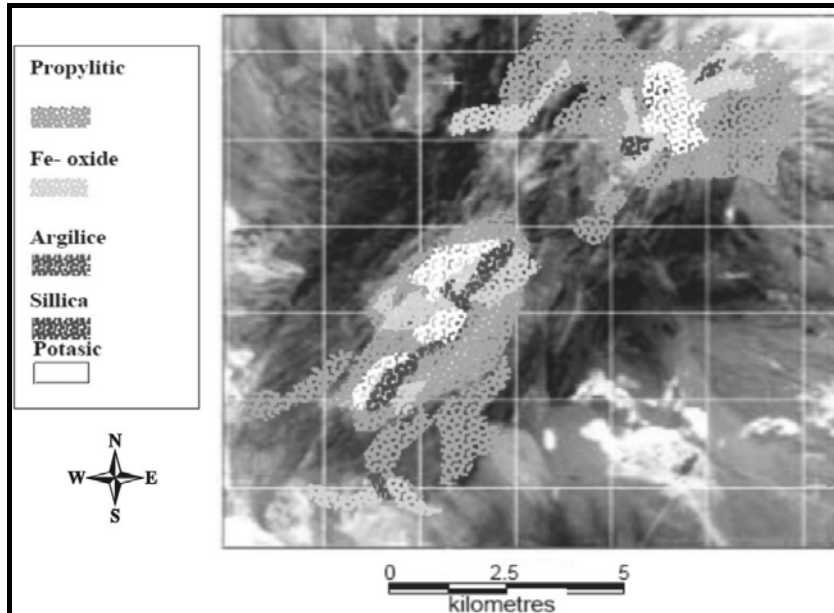


شکل ۲- تصویر ترکیب رنگی کاذب VNIR321 داده های ماهواره ای استر منطقه دالی نشان دهنده هاله های آلتراسیون.

یکی از روش های پردازش داده های استر مورد استفاده در تعیین آلتراسیونها، روش ترسیم زاویه طیفی^۱ است. در این روش یک طبقه بندی طیفی به صورت فیزیکی انجام می‌گیرد و از زاویه θ بعدی برای بهم متصل کردن پیکسل‌ها در طیف مرجع

^۱ Spectral Angle Mapper

استفاده می‌شود و الگوریتم شباهت طیفی، بین دو طیف را بوسیله محاسبه زاویه بین طیف تعیین می‌نماید [۸]. در منطقه دالی با استفاده از این روش، آلتراسیونهای نوع آرژیلیکی، سرپیسیتی، کلریتی (با استفاده از ۶ باند SWIR)، سیلیسی (۵ باند TIR) و اکسید های آهن (۳ باند VNIR) مشخص شدند. شکل ۳ نقشه تفکیک آلتراسیونهای منطقه دالی را نشان می‌دهد.



شکل ۳- نقشه آلتراسیون نهایی به دست آمده از داده های استر در منطقه دالی

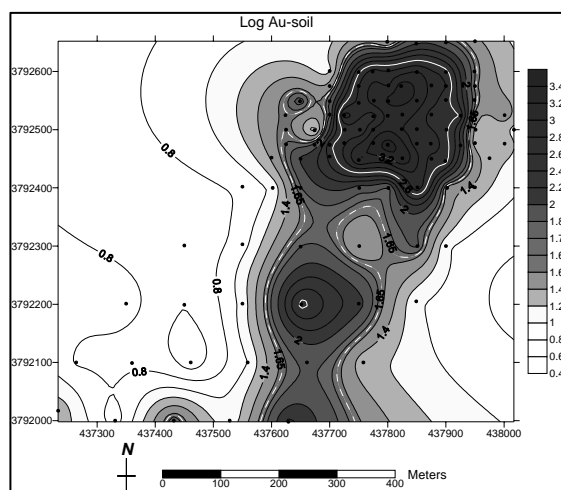
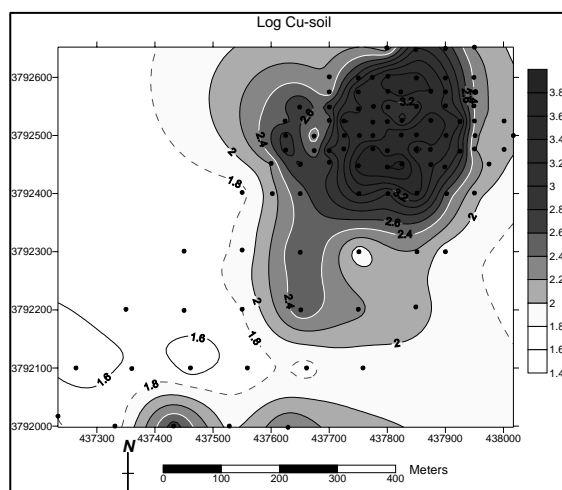
۴- مطالعات ژئوشیمیایی

در این مرحله از اکتشاف بر روی مناطقی از محدوده مورد نظر که در مرحله قبل مناسب تشخیص داده شده بودند (توده کانی سازی جنوبی و مناطق اطراف)، نمونه برداری ژئوشیمیایی صورت گرفت. نمونه برداری محدودی در حدود ۱ km در ۱ km را در بر می‌گیرد، که به دو صورت نمونه برداری از سنگ و خاک انجام شد. تعداد ۱۰۰ نمونه خاک بروش سیستماتیک بر روی شبکه منظم و ۲۲ نمونه سنگ بروش لیبیری و غیر سیستماتیک اخذ شد. نمونه ها در آزمایشگاه Amdel تحت آنالیز ۴۴ عنصری بروش ICP استرالیا قرار گرفتند. بعد از بررسی کیفیت و دقت داده‌های خام ژئوشیمی و تعیین پارامترهای آماری داده های خام، نوبت به توزیع فراوانی تمرکز عناصر می‌رسد. همانگونه که انتظار می‌رفت اکثر نمودارهای توزیع فراوانی داده‌های مربوط به عناصر از جمله مس و طلا که برای ما مهمتر بودند، از یک تابع توزیع لاگ نرمال تبعیت می‌کنند. به منظور نرمال کردن داده‌ها از تابع تبدیلی به صورت $Y = \log X$ استفاده شد [۱].

از آنجائی که ناحیه مورد مطالعه از پتانسیل کانی سازی قابل توجهی برخوردار است و تعداد نمونه‌های آنومال تا حد قابل توجهی زیاد است، از روش‌های غیر ساختاری آماره انفصال و نمودار احتمال برای جدا سازی آنومالی‌ها استفاده شده است [۲]. حد آستانه‌ای در نمونه‌های خاک به روش آماره انفصال در سطح ۹۹٪ در مورد دو عنصر مس و طلا محاسبه گردید. در ضمن حد زمینه و حد آستانه در نمونه‌های سنگی نیز به روش نمودار احتمال محاسبه گردید که نتایج هر دو روش در جدول ۱ آورده شده است. البته نتایج در مورد نمونه‌هایی که از سنگ گرفته شده است بدلیل کم بودن تعداد نمونه‌ها و آنومال بودن آنها، کمتر قابل اطمینان است. بعد از تعیین حد زمینه و آستانه، نقشه تقسیم‌بندی عناصری مقادیر نرمال شده مس و طلا در نمونه های خاک تهیه شد (شکل ۴).

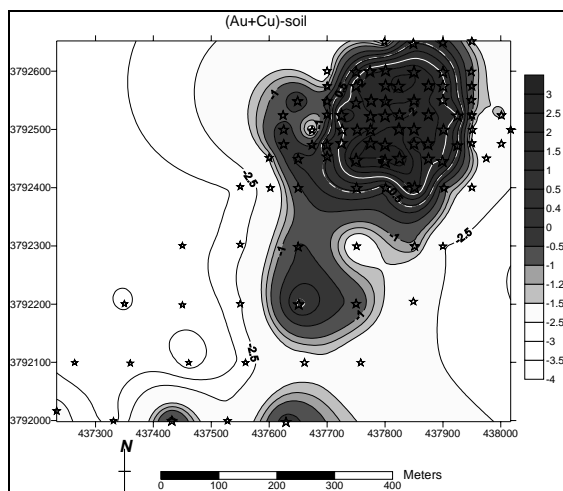
جدول ۱- حد زمينه و حد آستانه در مورد نمونه‌های خاک و سنگ منطقه دالی

سنگ		خاک		عنصر
حد آستانه	حد زمينه	حد آستانه	حد زمينه	
۶۹۰	۵۰	۴۳۰	۴۵	(ppb)Au
۳۹۰	۱۹۲	۲۵۰	۶۳	(ppm)Cu



شکل ۴- نقشه های آنومالی نرمال شده عنصر طلا بر حسب ppb (راست) و مس بر حسب ppm (چپ) در نمونه های خاک

نقشه های هاله مرکب معمولاً در مقایسه با هاله‌های تک عنصری، آنومالی‌های ظریف در رابطه با کانسار عمقی را نشان می دهند. به علاوه اثرات خطای تصادفی در نمونه برداری و اندازه‌گیری به حداقل کاهش می‌یابد [۱]. جهت تهیه هاله مرکب جمعی در اندیس دالی ابتدا داده‌ها با توجه به میانگین و انحراف معیارشان نرمال شدند. سپس با روش پیرسن ضریب همبستگی بین عناصر محاسبه گردید. عناصر Ag, Pb, Sb, Zn, Cd و As و نیز عناصر Cr, Ni, V و Co با همدیگر همبستگی مثبت نشان می‌دهند. ولی همبستگی معنی‌داری که برای ما با اهمیت باشد، همبستگی مثبت و بالای مس و طلا است ($r_{Cu,Au} = +0.76$). با توجه به این همبستگی بالای عناصر مس و طلا در مرکز توده اصلی، هاله مرکب جمعی برای اندیس دالی به صورت (Cu+Au) در نظر گرفته شد (شکل ۵). این نقشه به همراه نقشه مولفه دوم آنالیز فاکتوری پس از وزن دهی در مرحله تلفیق مورد استفاده قرار گرفت.



شکل ۵- نقشه آنومالی هاله مرکب مس و طلا در خاک

۵- مطالعات ژئوفیزیکی مغناطیس سنجی

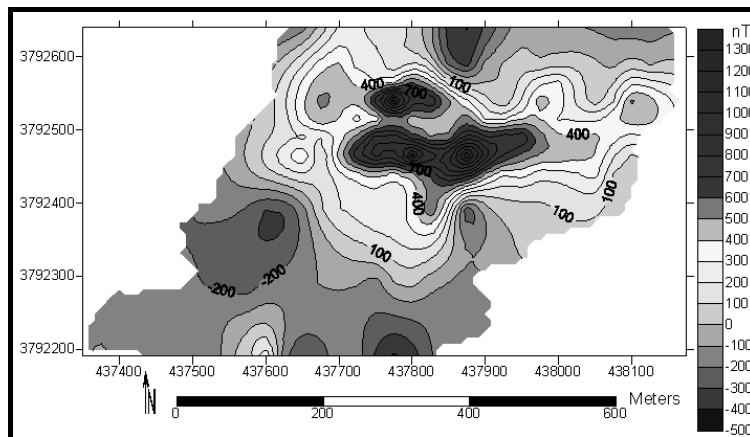
در کانسارهای مس-طلائی پرفیری با توجه به فرآیند آلتراسیون بر روی سنگ میزبان، قسمت آلتزه شده بواسطه تجمع مگنتیت به صورت رگچه و پراکنده در زون پتاسیک در مواردی که به دلیل پوشش نمی‌توان این زون را مشخص نمود، آنومالی‌های بالا مغناطیسی می‌تواند مفید واقع شود. در منطقه دالی با توجه به وجود کانی مگنتیت و ارتباط آن با کانی‌زایی مس و طلا، عملیات برداشت مغناطیسی انجام گرفت. در برداشت مغناطیس سنجی شبکه برداشت و نقاط نمونه‌برداری بر شبکه نمونه‌برداری ژئوشیمی خاک منطبق و به صورت موازی در نظر گرفته شد. هدف از این کار پیدا کردن ارتباط بین عیار عناصر به خصوص مس و طلا در خاک و میزان خاصیت مغناطیسی در هر نقطه بود. طراحی شبکه برداشت به گونه ای بود که با توجه به رخنمون‌های سنگی و هاله‌های آلتراسیون تعداد ۱۱ پروفیل در نظر گرفته شد. فواصل پروفیلی در زون‌های فاقد کانی سازی یا با کانی سازی کم، ۱۰۰ متر که با نزدیک شدن به توده اصلی شبکه مترکم‌تر و فواصل به ۲۵ متر کاهش یافت. بر روی همه پروفیل‌ها فاصله ایستگاهی ۲۵ متر در نظر گرفته شد.

در منطقه دالی، بعد از انجام تصحیحات لازم، به منظور تسهیل در تفسیر داده‌های مغناطیسی از فیلتر تبدیل به قطب استفاده شد [۶] (شکل ۶). با انجام فیلتر تبدیل به قطب وجود ۲ توده با آنومالی مغناطیسی بسیار بالا تأیید شد که ابعاد کل این آنومالی‌ها روی سطح در حدود ۳۰۰ متر در ۲۰۰ متر می‌باشند. محدوده عددی آنومالی کاهش نسبت به قطب از ۴۰۰ nT به بالا می‌باشد که محدوده مذکور را در بر می‌گیرد که انطباق خوبی با غنی‌شدگی مس و طلا در نمونه‌های خاک دارد.

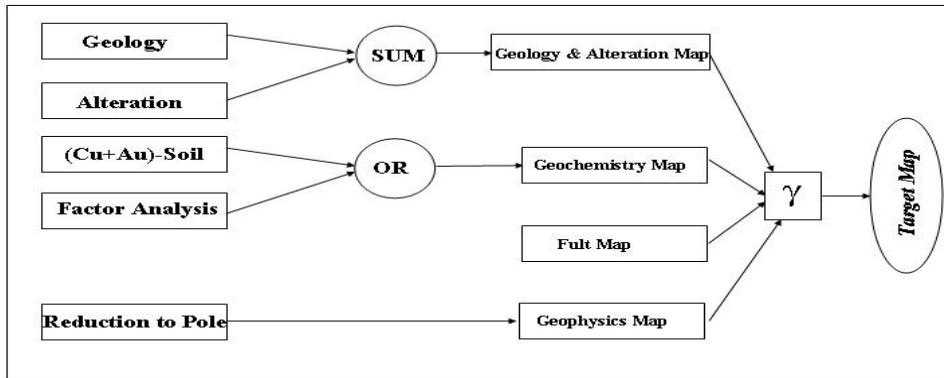
۶- تلفیق داده‌ها در سیستم اطلاعات جغرافیایی

در این تحقیق ابتدا لایه‌های اطلاعاتی زمین‌شناسی، آلتراسیون، ژئوشیمیایی و ژئوفیزیکی در سیستم GIS تهیه و با توجه به عدم قطعیت در داده‌های ورودی به علت نبود پتانسیل قطعی در محدوده اکتشافی و نیز ویژگی‌های منطق فازی از این منطق به عنوان عملگر برای تلفیق داده‌ها استفاده شده است [۴]. در این تحقیق از عملگر فازی SUM، OR، AND و گاما مطابق فلوجارت شکل ۷ استفاده شده است.

از طریق تکنیک دورسنجی و پردازش بر روی داده‌های ماهواره‌ای استر و نیز نتایج مطالعات ژئوفیزیکی مغناطیس سنجی، گسل‌های کنترل‌کننده کانی‌سازی انتخاب شدند و برای آنها شعاع تأثیر ۱۰۰ متر در نظر گرفته شد. در مرحله وزن دهی، محدوده‌های نزدیک به خط گسل، عضویت بیشتری تعلق گرفت.

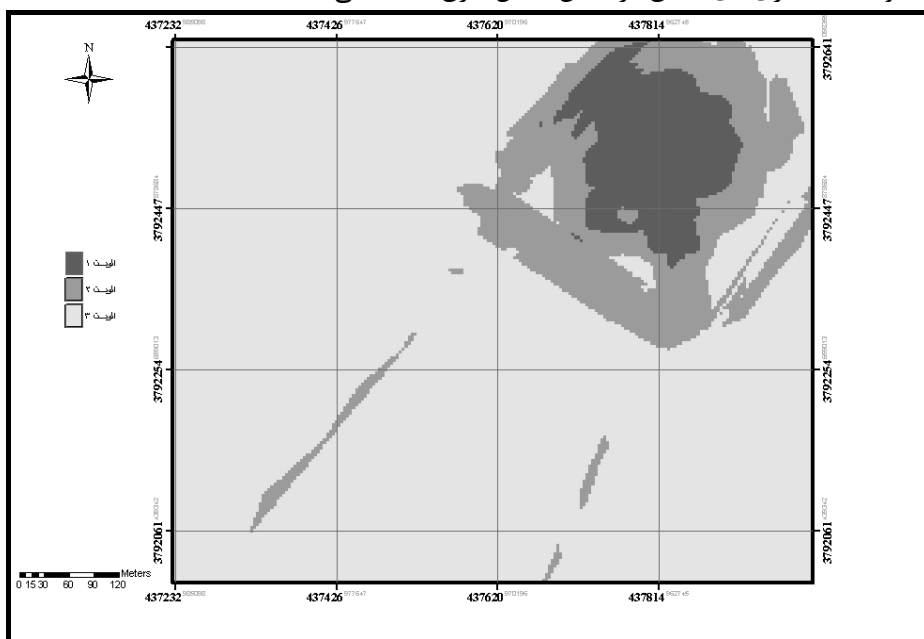


شکل ۶- نقشه تبدیل به قطب داده‌های مغناطیسی توده جنوبی و مناطق اطراف در اندیس دالی



شکل ۷- فلوجارت تحلیل صورت گرفته بر روی لایه‌های اطلاعاتی مختلف اندیس دالی

لایه های زمین شناسی مورد استفاده در مدل تلفیقی فازی شامل دیوریت کانی‌سازی شده، دیوریت با کانی‌سازی ضعیف و آندزیت‌های پیروکلاستیک می‌باشد. لایه های آلتراسیون نیز شامل پتاسیک با سیلیسی شدن شدید و اکسید آهن، آرژلیک-فیلیک با سیلیسی شدن ضعیف و آلتراسیون پروپیلیتیک می‌باشند. در تهیه لایه ژئوشیمیایی نقشه‌های مربوط به هاله مرکب مس و طلا در خاک و نیز آنالیز فاکتوری به محیط سیستم آورده شد. همچنین نقشه تبدیل نسبت به قطب شدت کل میدان مغناطیسی به عنوان لایه اطلاعاتی ژئوفیزیک در مدل تلفیقی فازی مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به دانش مهندسیین اکتشاف در منطقه دالی به هر کدام از لایه های اطلاعاتی اکتشافی فوق وزن بین ۰ و ۱ داده شد. برای تلفیق داده‌های ژئوشیمیایی از عملگر فازی OR، برای تلفیق نقشه‌های زمین شناسی و آلتراسیون از عملگر SUM استفاده شده است [۳]. تحلیل نهایی صورت گرفته بر روی لایه‌های اطلاعاتی اندیس دالی با استفاده از تابع $\gamma = 0/95$ صورت پذیرفته است. در انتهای مطالعات تلفیقی نقشه نهایی (شکل ۸) دال بر تعیین حدود زون اصلی کانی‌سازی مس-طلائی پرفیری بر روی توده جنوبی (اصلی) با وسعت ۱۹۰ متر در ۲۲۵ متر و حاشیه این توده به شعاع حدود ۲۰۰ متر می‌باشد. با توجه به این نقشه می‌توان محل حفاری‌های مقدماتی را بر روی توده اصلی دارای رخنمون کانی‌سازی و حاشیه توده که به نظر می‌رسد بیشتر زون کانی‌سازی در عمق و در زیر واریزه‌های سطحی و خاک پنهان شده است را در مرحله اکتشافات بعدی (تفضیلی) تعیین نمود. در نقشه نهایی سه الویت پیشنهاد شده است که بالاترین الویت یعنی الویت "۱"، اولین الویت پیشنهادی برای انجام مراحل بعدی اکتشاف در منطقه و احیاناً حفاری‌های عمیق در بخش شمال شرق منطقه می‌باشد.



شکل ۸- نقشه نهایی آنالیز فازی بر روی داده‌های اکتشافی اندیس مس-طلائی دالی (اولویت ۱ منطبق بر توده کانی‌سازی دیوریتی)

۷- نتیجه گیری

- ۱- کانی سازی نادر مس- طلا پورفیری دالی در حاشیه غربی کمر بند ولکانیکی ارومیه- دختر می تواند نوید وجود کانسارهای مشابه کشف نشده در این زون را بدهد.
- ۲- مطالعات تلفیقی ژئوشیمی، ژئوفیزیکی و زمین شناسی مشخص نمود که غنی شدگی مس و طلا در خاک ارتباط مستقیم با خاصیت مغناطیسی بالا در توده نفوذی دیوریتی حاوی آلتراسیون پتاسیک دارد.
- ۳- از تلفیق لایه های اطلاعاتی اکتشافی مختلف در محیط GIS با استفاده از منطق فازی سه زون الویت دار بایتناسیل ضعیف، متوسط و خوب مشخص گردید به طویکه بهترین الویت واقع در بخش شمالشرق منطقه برای حفاری معرفی گردید.

۸- مراجع

- [۱] حسنی پاک، علی اصغر؛ (۱۳۸۱)؛ *اصول اکتشافات ژئوشیمیایی (مواد معدنی)*؛ انتشارات دانشگاه تهران.
- [۲] حسنی پاک، علی اصغر؛ شرف الدین، محمد؛ (۱۳۸۰)؛ *تحلیل داده های اکتشافی*؛ انتشارات دانشگاه تهران.
- [3] Asadi Haroni, H. and Hale, M.; 1999; “*Integrated analysis of aeromagnetic, Landsat TM and mineral occurrence data for epithermal gold exploration in northwest Iran*”; 13th international Conference on Applied Geologic Remote Sensing, Vancouver, British Columbia, Canada, 8p.
- [4] Bonaham-Carter, G.F.; 1994; “*Geographic Information System for Geoscientists, Modeling with GIS*”; chapter 9.
- [5] Crosta, C.R. ; 2003; “*Targeting Key Alteration Minerals in Epithermal Deposits in Patagonia-Argentina Using ASTER Imagery and Principal Component Analysis*”; Geosciences Institute; University of Campinas.
- [6] Gunn, P.J.; 1995; “*An Algorithm for Reduction to the Pole that works at all Magnetic Latitudes*”; Exploration Geophysics; Vol.26, pp. 247-254.
- [7] Kruse, F.A., Lefkoff, A.B., Boardam, J.B., Heidebrecht, K.B., Shapiro, A.T., Barloon, P.J., and Goetz, A.F. ; 1993; “*The Spectral Image Processing System(SIPS)- Interactive Visualization and Analysis of Imaging Spectrometer Data*”; Remote Sensing of Environment; V.44; pp.145-163.
- [8] Mohd Shafri H. Z., Suhaili A., and Mansor Sh.; 2007; “*The Performance of Maximum Likelihood, Spectral Angle Mapper, Neural Network and Decision Tree Classifiers in Hyperspectral Image Analysis*”; Journal of Computer Science; Vol. 3; pp. 419-423.