

# پتانسیل یابی طلای اپی ترمال در برکه ۱:۱۰۰۰۰۰ اردستان با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی در محیط GIS

شهرزاد ابوتراب<sup>۱\*</sup>، احمد خاکزاد<sup>۲</sup>، فریبرز قریب<sup>۳</sup> و سیمین مهدیزاده تهرانی<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال؛ مرکز پژوهش‌های کاربردی سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران  
<sup>۲</sup> استاد، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران، ایران  
<sup>۳</sup> استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد آشتیان، آشتیان؛ مرکز پژوهش‌های کاربردی سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، کرج، ایران  
<sup>۴</sup> کارشناسی ارشد، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران  
 تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۹/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۳/۲۷

## چکیده

برکه ۱:۱۰۰۰۰۰ اردستان در بخش جنوبی چهار گوش ۱:۲۵۰۰۰۰ کاشان در ۵۲° ۳۰' تا ۵۲° ۳۰' طول خاوری و ۳۳° ۳۰' تا ۳۳° ۳۰' عرض شمالی در شمال باختری استان اصفهان قرار گرفته است. بخش اعظم این ناحیه در زون ساختاری ارومیه- دختر واقع شده و محدوده‌ای در جنوب باختری این برکه، زون سندج - سیرجان را شامل می‌شود. بیشتر رخنمون‌های ناحیه شامل سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری با ترکیب میانه تا بازیگ مربوط به فعالیت آتشفشانی ائوسن میانی تا پسین است. سنگ‌های نفوذی این منطقه از نظر زمانی طیف گسترده‌ای داشته و مربوط به یک فاز نیمه ژرف با سن الیگوسن و الیگومیوسن و یک فاز کم ژرفا با سن پلیوسن است که ترکیب نیمه اسیدی و اسیدی دارند. توده‌های نفوذی در فازهای گوناگون سبب دگرسانی و کانی‌سازی فلزاتی از جمله مس، مولیبدن، طلا، سرب، روی، آهن و ... در منطقه شده‌اند. در این پژوهش با استفاده از تمامی داده‌های موجود شامل نقشه‌های زمین‌شناسی، برداشت‌های ژئوشیمیایی و نشانه‌های معدنی شناخته شده و همچنین اطلاعات استخراج شده از پردازش داده‌های ژئوفیزیک هوایی موجود و نیز بهره‌گیری از لایه‌های مختلف اطلاعاتی به‌دست آمده (شامل شکستگی‌ها، دگرسانی‌های گرمایی و واحدهای سنگی افزون بر نقشه‌های زمین‌شناسی) از پردازش داده‌های ماهواره‌های زمینی همچون Landsat، Terra، Radarsat و بانک‌های اطلاعاتی مورد نیاز تهیه شد. این داده‌ها پس از وزن‌دهی به روش نوین تحلیل سلسله مراتبی (Analytic Hierarchy Process - AHP)، با در نظر گرفتن مدل زایشی مورد انتظار در منطقه، براساس روش همپوشانی شاخص (Index Overlay) در سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) تلفیق و مدل‌سازی شدند. نتیجه این بررسی‌ها تهیه نقشه نواحی امید بخش معدنی طلای اپی ترمال بوده است. خاطر نشان می‌سازد با توجه به بازدیدهای صحرایی و کسب نتایج مثبت در مشاهدات زمینی و تجزیه‌های آزمایشگاهی، ۵ محدوده دارای پتانسیل با اولویت اول در ورقه اردستان برای بررسی‌های اکتشافی تکمیلی در فاز پی جویی معرفی شدند.

**کلیدواژه‌ها:** پهنه ارومیه- دختر، کانی‌زایی طلای اپی ترمال، تصاویر ماهواره‌ای ETM<sup>+</sup>، ژئوفیزیک هوایی، تحلیل سلسله مراتبی (AHP).

E-mail: sh.aboutorab@gmail.com

\*نویسنده مسئول: شهرزاد ابوتراب

## ۱- پیش‌نوشتار

برای رسیدن به این هدف از تمامی اطلاعات حاصل از بررسی‌های پیشین همچون نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰، برداشت‌های ژئوشیمی آبراه‌ای، کانی‌های سنگین و نمونه‌های مینرالیزه و نشانه‌های معدنی شناخته شده، بهره گرفته خواهد شد. همچنین به کسب اطلاعات جدید از داده‌های مغناطیس‌هوایی در مقیاس ناحیه‌ای (فواصل پرواز ۷/۵ کیلومتر) با به کارگیری روش‌های نوین پرداخته و خطواره‌های مغناطیسی، گسل‌های بزرگ ناحیه‌ای و ژرف و بی‌هنجاری‌های مغناطیسی به‌دست خواهد آمد. با بررسی داده‌های ماهواره‌ای همچون ETM<sup>+</sup>، ASTER و RADAR و کسب داده‌هایی تا مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، ضمن دقیق نمودن نقشه‌های واحدهای سنگی و گسل‌ها، نقشه‌های دگرسانی آرژیلیکی، سیلیسی، و تراورتن‌ها تهیه خواهد شد. تمامی این داده‌ها پس از ذخیره‌سازی در بانک‌های اطلاعاتی با توجه به تیپ کانی‌زایی مورد انتظار و در نظر گرفتن مدل زایشی آن به لایه‌های اطلاعاتی مفید تبدیل خواهد شد.

برای این نوع کانی‌زایی چهار پارامتر اصلی در نظر گرفته شد:

۱. سنگ‌شناسی سنگ میزبان (Host Rock Geology)
۲. منشأ ایجاد کانی‌زایی (Source of Mineralization)
۳. شرایط و مراحل تشکیل کانسنک (Ore Forming Process)
۴. ساختار زمین‌شناسی (Structural Geology)

با روش وزن‌دهی مناسب و تلفیق و مدل‌سازی این لایه‌های اطلاعاتی در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی، نقشه نواحی امیدبخش کانی‌زایی تیپ طلای اپی ترمال به‌دست خواهد آمد.

در مورد پهنه‌های ساختاری و تکوین آن در ایران زمین پژوهش‌های بسیاری توسط پژوهشگران مختلف صورت گرفته که تئوری‌های ژئودینامیکی پوسته ایران و کانسارهای شناخته شده در آن (براساس تیپ) را می‌توان راهکاری جدید برای اکتشاف منابع ناشناخته دانست.

روش مطالعه حاضر به‌ویژه در محدوده ارومیه- دختر برکه اردستان روشی نوین، علمی و کاربردی در شناخت و ارزیابی پتانسیل‌های معدنی بوده که در ۲۰ سال گذشته مورد استفاده قرار گرفته است (شکل ۱).

در کمان ماگمایی ارومیه- دختر احتمال حضور تیپ‌های کانساری در ارتباط با فرایندها و رخدادهای فرورانش و برخورد، پس از برخورد و فازهای کششی پس از آن وجود دارد (قربانی، ۱۳۸۱). بنابراین هدف اصلی از اجرای پروژه شناسایی مناطق امیدبخش طلای اپی ترمال با بهره‌گیری از فناوری نوین تلفیق و مدل‌سازی لایه‌های اطلاعاتی زمین‌شناسی، ژئوشیمی، ژئوفیزیک‌هوایی، دورسنجی و نشانه‌های معدنی در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) است. با کنترل زمینی این محدوده‌ها و بررسی‌های آزمایشگاهی تا حد امکان در فاز شناسایی اکتشاف، پتانسیل‌های کانی‌زایی طلای اپی ترمال منطقه مشخص شد.

## ۲- بحث

بررسی‌های اکتشافی سیستماتیک ناحیه‌ای و شناسایی نواحی امیدبخش معدنی با استفاده از فناوری نوین تلفیق و مدل‌سازی، یک الگوی مطالعاتی استاندارد جهانی است که امکان دست‌یابی به نتایج مطلوب در اکتشافات ناحیه‌ای را میسر می‌سازد.

شد. با توجه به تداخلی که گیاهان در پردازش طیفی ایجاد می‌کنند با روش محاسبه اندکس پوشش گیاهی (NDVI) تمامی پیکسل‌های با فراوانی بیش از ۵۰ درصد گیاه سبز در تصویر ماسک شدند.

برای تهیه نقشه کانی‌ها از داده‌های ASTER با استفاده از روش RBD (Relative Absorption Band Depth) و فرمول‌های زیر نتایج کسب شده از روش MF بهبود یافتند:

• دگرسانی کانی‌های رسی (شامل سریسیت-آرژلیک) از نسبت  $b5+b7/b6$  (شکل ۵)

• کانی‌های کلریت- اپیدوت با نسبت  $b7+b9/b8$

• گروه کانی‌های اکسید آهن با نسبت  $b2/b1$  (شکل ۶)

• سیلیسی شدن از نسبت  $b14/b12$  (شکل ۴)

با توجه به بررسی‌های دورسنجی سه لایه اطلاعاتی شامل شکستگی‌ها، دگرسانی‌های گرمایی (شکل ۷) و واحدهای سنگی مرتبط (شکل ۸) برای مدل‌سازی نهایی به‌دست آمد.

### ۳-۴. لایه ژئوفیزیک هوایی

در این ناحیه با در دست داشتن اطلاعات مغناطیس هوایی موجود (فواصل پروازی ۷/۵ کیلومتر)، خطواره‌های مغناطیسی، گسل‌های بزرگ ناحیه‌ای و ژرف و بی‌هنجاری‌های مغناطیسی به‌دست آمد. توده‌های مغناطیسی کم ژرفای منطقه براساس نقشه مشتق اول قائم مشخص شد (شکل ۹). با تفسیر نقشه برگردان به قطب و مشتق اول قائم و در نظر گرفتن پارامترهایی مانند جابه‌جایی ظاهری واحدهای مغناطیسی مشابه، قطع ناگهانی واحدهای مغناطیسی، تغییر ناگهانی در ژرفای منابع مغناطیسی، وجود نوارهای باریک خطی با شدت پایین و وجود نوارهای باریک خطی با شدت بالا، گسل‌های بزرگ و ژرف منطقه مشخص شد (شکل ۱۰). از محل تقاطع گسل‌های ژئوفیزیکی با توده‌های نفوذی و نیز در نظر گرفتن داده‌های زمین‌شناسی و بررسی واحدهای سنگی، مناطق امید بخش کانی‌زایی از دیدگاه ژئوفیزیکی به‌دست آمد (بیات، ۱۳۸۸).

### ۴- مدل‌سازی در محیط GSI

روش‌های مختلفی برای تلفیق لایه‌های اطلاعاتی در اکتشاف معادن و پیدا کردن احتمال کانی‌زایی وجود دارد. به‌طور کلی این روش‌ها بر پایه داده‌ها (داده محور) و یا بر پایه دانش کارشناسی (کارشناس محور) هستند. در حال حاضر روش‌های متعددی نیز از تلفیق روش‌های قید شده توسط پژوهشگران این امر ارائه شده است. آنچه که در تعیین محدوده‌های دارای پتانسیل اهمیت دارد، استفاده صحیح و دقیق از تمامی داده‌های موجود است (شکل ۱۱).

در روش متکی به داده، هیچ محدودیتی در تعداد لایه‌های اطلاعاتی وجود ندارد و تمامی اطلاعات مرتبط و مؤثر در شناخت کانه‌زایی می‌توانند مورد ارزیابی قرار گیرند. در این روش، داده‌ها پس از بررسی و پردازش به صورت لایه‌های اطلاعاتی ارزش‌دهی، به صورت دوتایی یا چندتایی طبقه‌بندی و آماده تحلیل می‌شوند. نتیجه این روش لایه‌های اطلاعاتی به عنوان خروجی است (Bonham Carter, 1994). در بررسی‌های زمین‌شناسی به دلیل ویژگی‌های زیر از روش‌های تلفیق و مدل‌سازی به‌صورت داده محور کمتر بهره گرفته می‌شود:

- کیفی بودن داده‌ها
  - هم‌مقیاس نبودن داده‌ها
  - هم‌ارزش نبودن داده‌ها
  - هم‌دقت و هم‌صحت نبودن داده‌ها
- در این پژوهش از روش کارشناس محور همپوشانی شاخص بهره گرفته شده است ولی به‌دلیل قضاوت متفاوت کارشناسان در مقوله وزن‌دهی

تعدادی از این مناطق مورد بازدید زمینی قرار خواهد گرفت و نمونه‌هایی برای تجزیه آزمایشگاهی ارسال خواهد شد و بر این اساس محدوده‌های دارای پتانسیل اقتصادی کانی‌زایی برای بررسی‌های تکمیلی معرفی خواهد شد.

### ۳- جمع‌آوری و ورود اطلاعات به سیستم

#### ۳-۱. لایه زمین‌شناسی

از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ اردستان واحدهای سنگی مرتبط با کانه‌زایی، شکستگی‌ها و نشانه‌های معدنی استخراج و بانک اطلاعاتی مربوطه تشکیل شد (شکل ۲).

#### ۳-۲. لایه ژئوشیمی

بررسی‌های ژئوشیمیایی سیستماتیک در این ورقه با برداشت ۹۵۸ نمونه از رسوب آبراه‌های انجام شده است. این نمونه‌ها برای ۴۴ عنصر به روش ICP و برای طلا به روش Fire Assay تجزیه شده‌اند.

بی‌هنجاری‌های ژئوشیمیایی در این برکه به روش تخمین شبکه داده خام به‌دست آمدند. این بی‌هنجاری‌ها با روش برداشت کانی‌های سنگین و نمونه‌های مینرالیزه مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند (شکل ۳)؛ سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۸۳). در مدلسازی برای طلای اپی‌ترمال، بی‌هنجاری‌های عناصر مرتبط با کانی‌زایی یعنی طلا، نقره، جیوه، بیسموت و آنتیموان به‌صورت بانک‌های اطلاعاتی ذخیره و تلفیق شدند.

#### ۳-۳. لایه دورسنجی

استفاده از داده‌های ماهواره‌های Radarsat، ASTER، ETM+ و پردازش و تفسیر آنها به دو روش چشمی و طیفی منجر به شناسایی ساختارهای زمین‌شناسی، تفکیک دقیق مرز واحدهای سنگ‌شناسی مرتبط با کانی‌زایی طلا و همچنین شناسایی دگرسانی‌های گرمایی و تهیه نقشه‌های جدیدی شد. در روش چشمی ساخت تصاویر با وضوح مکانی بیشتر مد نظر قرار گرفت و از این رو ایجاد تصاویر PC Sharpen از تلفیق داده‌های VNIR سنجنده استر و چند طیفی سنجنده ETM+ که پیکسل‌هایی با وضوح مکانی ۱۵ متر فراهم می‌آورد، انجام شد با استفاده از این تصاویر مقیاس مطالعه تا حدود ۱:۵۰۰۰۰ گسترش یافت و در نتیجه بررسی واحدهای سنگی و شکستگی‌ها با دقت بیشتری صورت پذیرفت.

از پردازش طیفی که به مطالعه رفتار کانی‌ها و سنگ‌ها در مقابل انرژی الکترومغناطیس می‌پردازد برای شناسایی دگرسانی‌های گرمایی استفاده شد. به‌عنوان نمونه از روش عملیات جبری که به صورت محاسبات ساده نسبت دو باند تا عبارات جبری پیچیده بوده و روشی ساده و کارا در شناسایی انواع دگرسانی‌ها است استفاده شد و ترکیب‌های زیر برای داده‌های استر به‌دست آمد (مهدی‌زاده تهرانی و اسدزاده ۱۳۹۱):

$$\text{آرژیلی پیشرفته (RGB) } 5/6,7/6,7/5$$

$$\text{کانی‌های رسی (RGB) } 4,4/5,5$$

$$\text{کانی‌های رسی (RGB) } 4/5,(4+6)/5,4$$

$$\text{سیلیکات‌ها (RGB) } 11/10,11/12,12/10$$

$$\text{زون پروپلیتی (RGB) } (6+9)/(7+8),(5+7)/6,4/5$$

$$\text{زونینگ (RGB) } (6+9)/(7+8),(4+6)/5,(5+7)/6$$

همچنین روش تحلیل مؤلفه اصلی (PCA) برای شش باند SWIR سنجنده ASTER به کار گرفته شد و با توجه به انتخاب کانال‌های PC دارای بیشترین اختلاف در باندهایی با همبستگی زیاد (باندهای ۴ و ۵) ترکیب‌های رنگی ساخته شد که نواحی دارای دگرسانی گرمایی را با تفکیک نسبت به دیگر رخنمون‌ها نشان داد.

در این بررسی همچنین طیف‌های معرف کانی‌های دگرسانی استخراج و از این طیف‌ها برای تولید نقشه‌های امتیازی (Image Score) با روش (Match Filtering - MF) استفاده شد. برای بهبود عملکرد این روش، زمینه تصویر و اثر آن در محاسبه امتیاز لحاظ

پیکسل طبق فرمول زیر نقشه نهایی مناطق مستعد برای کانی‌زایی طلای اپی‌ترمال تهیه شد. در مدل همپوشانی وزن‌دهی لایه‌های مختلف از اهمیت زیادی برخوردار است.

$$s = \frac{\sum_{i=1}^n W_i S_i}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

در این رابطه S امتیاز وزن‌دهی شده برای پلی‌گون و پیکسل،  $W_i$  وزن i امین نقشه ورودی و  $S_{ij}$  امتیاز J امین کلاس از i امین نقشه است. مقدار زبه کلاسی که به طور واقعی در موقعیت جاری موجود است بستگی دارد (Bonham, Carter, 1994). وزن میان لایه‌های لایه‌های اطلاعاتی از ماتریس مقایسه زوجی به دست آمده است. بررسی‌های اکتشافی تاکنون شواهدی از کانی‌زایی طلا در ورقه اردستان را گزارش نداده‌اند. بنابراین به‌طور اختصاصی مدل‌سازی طلای اپی‌ترمال صورت گرفت و بر این اساس ۵ بی‌هنجاری درجه یک معرفی شد که یک منطقه مورد بازدید زمینی قرار گرفت و از آن نمونه‌برداری شد (شکل ۱۷).

#### ۶-۱. بی‌هنجاری ۱ (ناحیه امیدبخش راسید)

این محدوده در خاور آبادی عباس آباد پغری و در شمال باختری روستای راسید و در جنوب ارتفاعات دوروجین قرار گرفته است. دسترسی آن از طریق راه فرعی منشعب از جاده اصلی اردستان به طرف منطقه ماست‌بندی در باختر است. رخنمون‌های این منطقه را بیشتر گدازه‌های آندزیتی و آندزیتی‌بازالتی خاکستری تیره ائوسن پسین تشکیل می‌دهد که توده‌های نفوذی دیوریتی-مونزودیوریتی با سن پس از ائوسن در آنها تزریق شده و آپوفیزهای آن در سنگ‌های پیرامون دگرسانی ایجاد کرده‌اند که در تصاویر ماهواره‌ای قابل مشاهده است. این ناحیه به شدت تکتونیزه است.

#### ۶-۲. بی‌هنجاری ۲ (ناحیه امیدبخش سرخه)

این محدوده در جنوب برگه اردستان و در باختر روستای بیدشک و در شمال کوه سرخه قرار گرفته است. راه دسترسی آن از شهرستان ظفرقند به طرف روستای ماریین و بیدشک است. رخنمون‌های این منطقه را بیشتر سنگ‌های آذرآواری شامل توف و ایگنمبریت‌های اسیدی و گدازه‌های داسیتی تا آندزیتی تشکیل می‌دهد. گنبد‌های ریولیتی و ریوداسیتی الیگوسن در این سنگ‌ها نفوذ کرده و سبب دگرسانی شده‌اند که روی تصاویر ماهواره‌ای قابل مشاهده است. این محدوده به دلیل نشان دادن ساختار حلقوی از اهمیت بسزایی برخوردار است. با توجه به عدم دسترسی به مرکز این منطقه بخشی از این محدوده مورد بازدید زمینی قرار گرفت و به غیر از مشاهده دگرسانی‌های آرژیلیک و پروپیلیت و ساختارهای حلقوی، هیچگونه شواهدی از کانه‌زایی و دگرسانی سیلیسی مشاهده نشد.

#### ۶-۳. بی‌هنجاری ۳ (ناحیه امیدبخش گل‌آباد)

این محدوده در شمال باختری برگه اردستان و در شمال روستای گل‌آباد و در ارتفاعات میله لاکر واقع شده است. راه دسترسی به آن از طریق راه فرعی منشعب شده از روستای گل‌آباد از جاده اصلی ناپین است. رخنمون‌های این منطقه بیشتر شامل تناوبی از گدازه‌های آندزیتی و آندزیتی-بازالتی، داسیتی و ریوداسیتی است که پیچ‌های کوچکی از سنگ‌های نیمه ژرف اسیدی در آنها نفوذ کرده و سبب دگرسانی شده است.

#### ۷- نتیجه‌گیری

از آنجایی که این روش متکی به مدل‌های زایشی است، بنابراین شناخت سنگ‌میزبان، منشأ، ساختار و دگرسانی‌ها کمک شایانی به شناسایی پتانسیل‌های کانی‌زایی در مناطق مورد مطالعه خواهد کرد.

استفاده از داده‌های دورسنجی به‌عنوان تنها منبع برای شناخت دگرسانی‌ها که مهم‌ترین عامل کنترل‌کننده و شناخت سیستم‌های اپی‌ترمال به‌شمار می‌آید، بسیار حائز اهمیت است. هر چند استفاده از این داده‌ها به‌منظور جدا کردن واحدهای زمین‌شناسی کمک قابل توجهی در حذف خطاها و دقیق‌تر نمودن داده‌های مکانی نقشه‌های زمین‌شناسی دارد.

که تناقضاتی ایجاد می‌کند، از روش وزن‌دهی تحلیل سلسله مراتبی (Analytic Hierarchy Process -AHP) استفاده شد که ضمن قضاوت ساده کارشناس، محاسبات عددی دقیقی انجام شود (شکل ۱۲). در ادامه، وزن‌های به‌دست آمده در روش همپوشانی شاخص (Index Overlay) و به صورت کارشناس محور تلفیق و مدل‌سازی شدند (Rahimi, 2009).

فرایند تحلیل سلسله مراتبی در هنگامی که عمل تصمیم‌گیری با چند گزینه رقیب و معیار تصمیم (کمی و کیفی) روبرو است، استفاده می‌شود. اساس این روش بر مقایسه‌های زوجی نهفته است (قدسی‌پور، ۱۳۸۱).

## ۵- مدل طلای اپی‌ترمال

### ۵-۱. سنگ‌شناسی سنگ‌میزبان

در این مرحله تمام داده‌های زمین‌شناسی در مقیاس ۱:۱۰۰,۰۰۰ موجود در منطقه جمع‌آوری و مورد ارزیابی قرار گرفته است.

**۱- برداشی و تفسیر اطلاعات:** اطلاعات مربوط به واحدهای زمین‌شناسی ارزشمند در میزبانی کانی‌زایی طلای اپی‌ترمال و سنگ منشأ آن در این محدوده، از نقشه زمین‌شناسی در مقیاس ۱:۱۰۰,۰۰۰ و از تفسیر داده‌های ماهواره‌ای با دقت زمینی در حد ۱۵ متر و به‌عبارتی در مقیاس ۱:۵۰,۰۰۰ به‌دست آمد. تمامی واحدهایی که توده‌های فلسیک در آنها نفوذ کرده‌اند پتانسیل این نوع کانی‌زایی را به‌عنوان سنگ‌میزبان دارا هستند. برای توده‌های نفوذی نیمه ژرف پنهان که توسط داده‌های ژئوفیزیک هوایی مشخص شده‌اند نیز واحدهای پیرامون آن به‌عنوان سنگ‌میزبان در نظر گرفته شده است.

واحدهای سنگ‌شناسی مؤثر با توجه به اهمیت آنها در چهار گروه طبقه‌بندی، و به روش تحلیل سلسله مراتبی وزن‌دهی و لایه واحدهای سنگی ایجاد شد (شکل ۱۳).

### ۵-۲. منشأ ایجاد کانی‌زایی

**۱- بی‌هنجاری‌های ژئوشیمیایی:** حاصل پردازش داده‌های ژئوشیمیایی بی‌هنجاری‌هایی از عناصر طلا، نقره، جیوه، آرسنیک و آنتیموان است که این محدوده‌ها از داده‌های ژئوشیمی منطقه استخراج شده است (حسنی‌پاک و شرف‌الدین، ۱۳۸۰).

این داده‌ها براساس ضرایب و ارزش‌های مناسب به روش AHP وزن‌دهی و به صورت لایه کانی‌سازی برای تلفیق نهایی مدل ارائه شدند (شکل ۱۴).

### ۵-۳. دگرسانی گرمایی

اطلاعات مربوط به دگرسانی در این محدوده، از پردازش داده‌های ماهواره‌ای ASTER & ETM+ استخراج و به سه گروه دگرسانی‌های سیلیسی، آرژیلیک و اکسید آهن طبقه‌بندی شده‌اند که پس از وزن‌دهی به روش AHP به صورت لایه‌های رستری مجزا در تلفیق نهایی مدل ارائه شد (شکل ۱۵).

### ۵-۴. ساختار زمین‌شناسی

اطلاعات مربوط به ساختارهای موجود در ورقه اردستان از سه منبع تصاویر ماهواره‌ای، داده‌های ژئوفیزیک هوایی و نقشه زمین‌شناسی جمع‌آوری شده و مورد بررسی دوباره قرار گرفته است. سپس گسل‌های تکراری حذف و در نهایت یک لایه اطلاعاتی به‌عنوان لایه ساختار مشخص و این لایه با فواصل ۲۰۰-۵۰۰ متر و ۷۰۰-۵۰۰ متر بافر و به صورت لایه ساختاری وزن‌دهی شده برای تلفیق نهایی مدل ارائه شد (شکل ۱۶).

## ۶- تلفیق اطلاعات

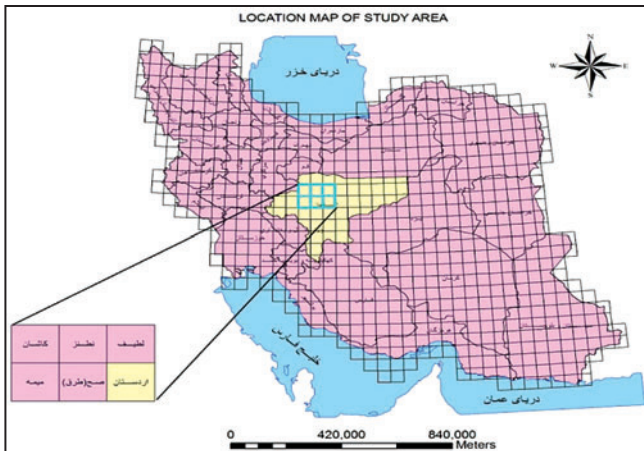
همان‌گونه که اشاره شد، پس از تعیین اوزان فاکتورها و کلاس‌های مناسب هر فاکتور و اعمال این اوزان به لایه‌های اطلاعاتی، نقشه‌های وزن‌دار به روش AHP تولید شد. برای تلفیق نهایی در مدل همپوشانی شاخص با استفاده از روش محاسبه وزن نهایی هر

از آنجا که یکی از مهم‌ترین عوامل کنترل‌کننده کانی‌زایی در سیستم‌های اپی ترمال گسل‌ها هستند، استفاده از داده‌های دورسنجی و ژئوفیزیک هوایی افزون بر نقشه زمین‌شناسی نقش بسیار مهمی در شناخت این ذخایر و وزن‌دهی در روش مدل‌سازی دارد.

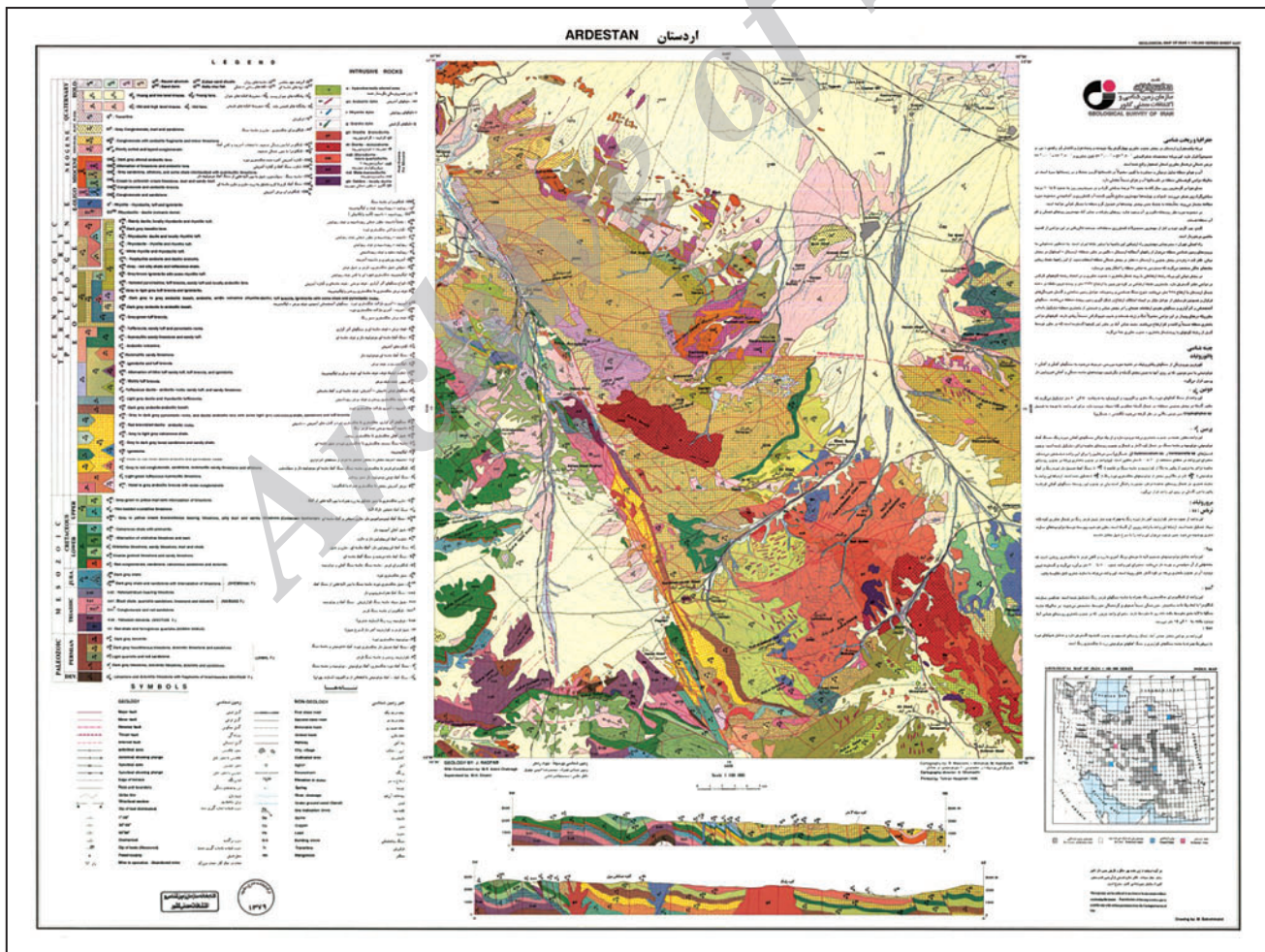
در سیستم‌های اپی ترمال، نقش توده‌های نفوذی نیمه ژرف در کانی‌زایی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. به همین دلیل استفاده از داده‌های ژئوفیزیک هوایی و تفکیک توده‌های نیمه ژرف به ویژه در بخش‌های پوشیده شده توسط آبرفت کمک شایانی به شناخت ذخایر پنهان از طریق مدل‌سازی خواهد کرد.

بازدیدهای زمینی نشان‌دهنده عدم فرسایش شدید در منطقه بوده و برای اکتشاف تکمیلی (تفصیلی) در این ناحیه نیاز به اطلاعات ژرفی و برداشت‌های زمین‌شناسی و نمونه‌برداری بیشتری است.

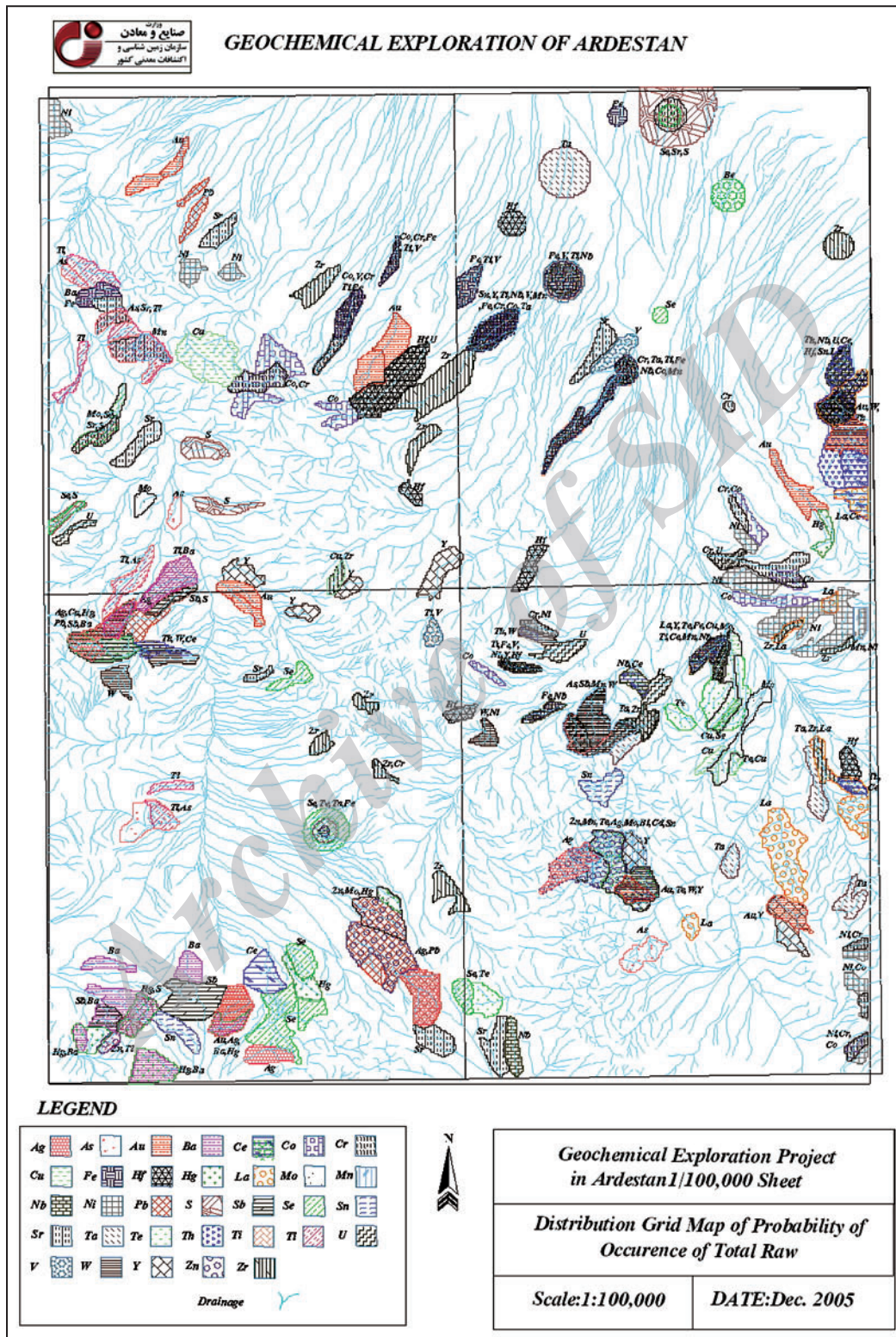
در این روش کاستی‌هایی مشاهده می‌شود که بیشتر متأثر از کمبود اطلاعات لازم از قبیل ژئوفیزیک هوایی با فواصل پروازی مناسب، داده‌های ماهواره‌ای با وضوح مکانی و طیفی بهتر و یکنواخت نبودن لایه‌های اطلاعاتی در بخش‌های مختلف است.



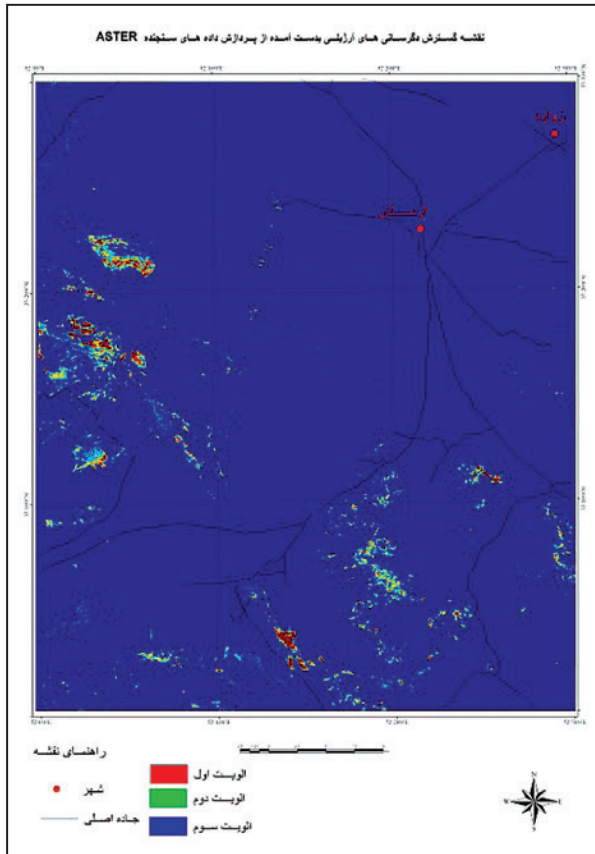
شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه.



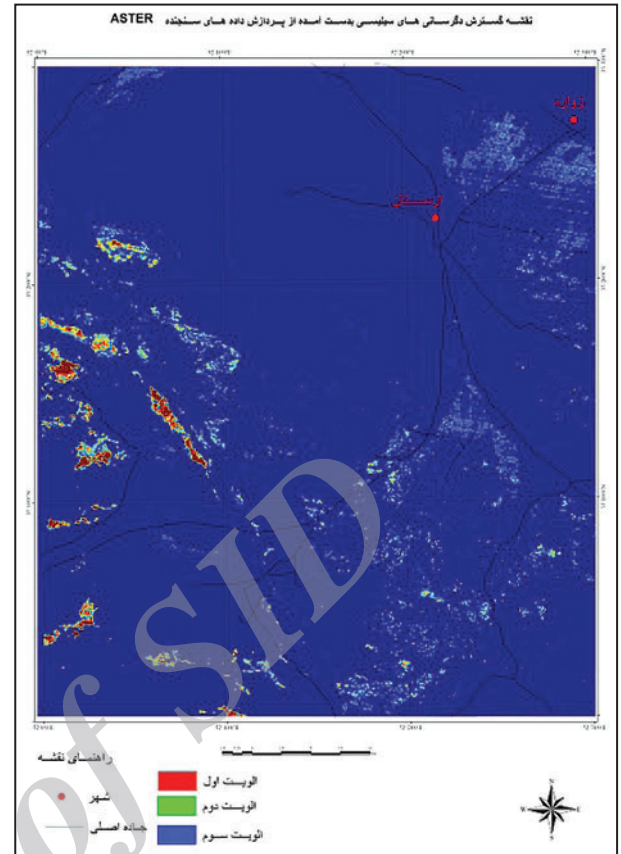
شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی اردستان در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۷۸).



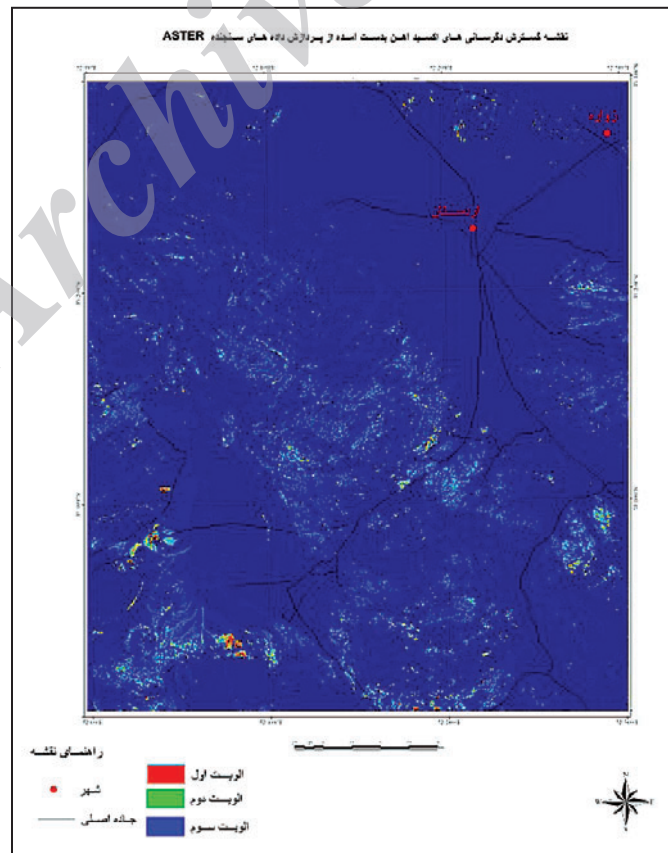
شکل ۳- نقشه مناطق امیدبخش حاصل از تخمین شبکه‌ای داده‌های خام.



شکل ۵- نقشه دگرسانی آرسنی.



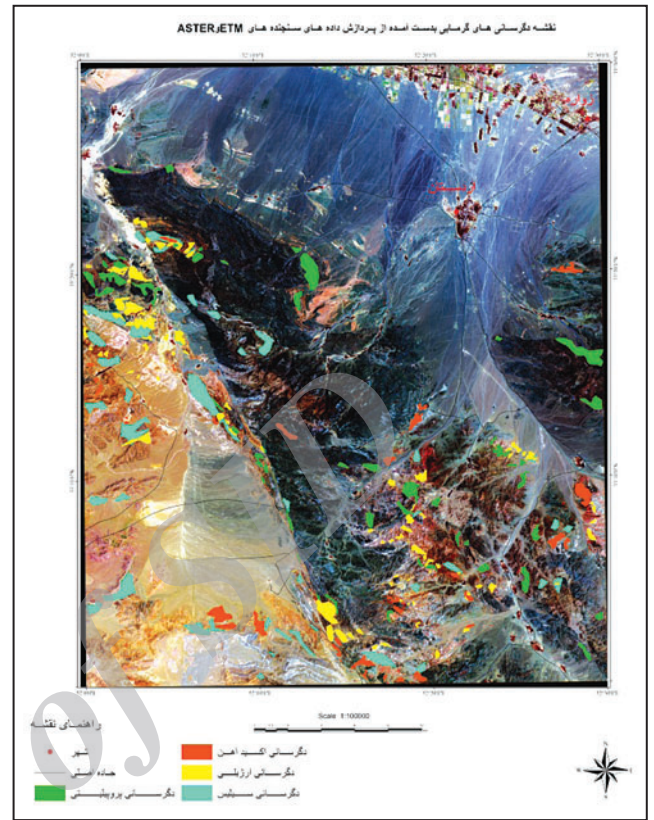
شکل ۴- نقشه دگرسانی سیاهسی.



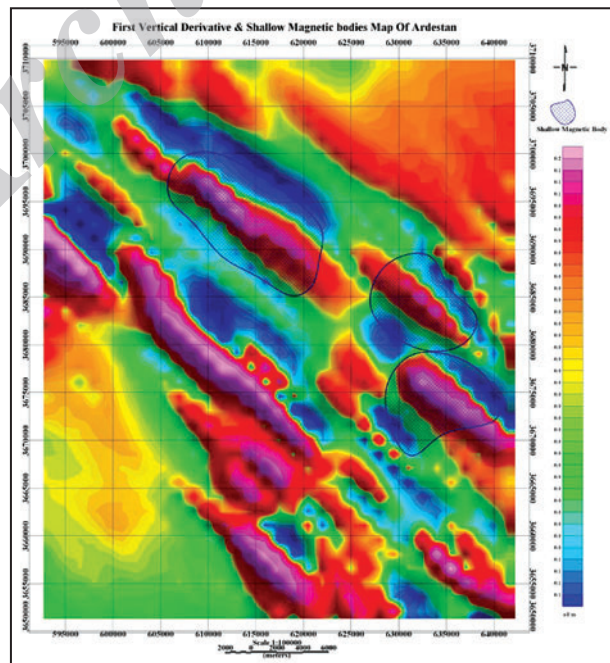
شکل ۶- نقشه دگرسانی اکسید آهن.



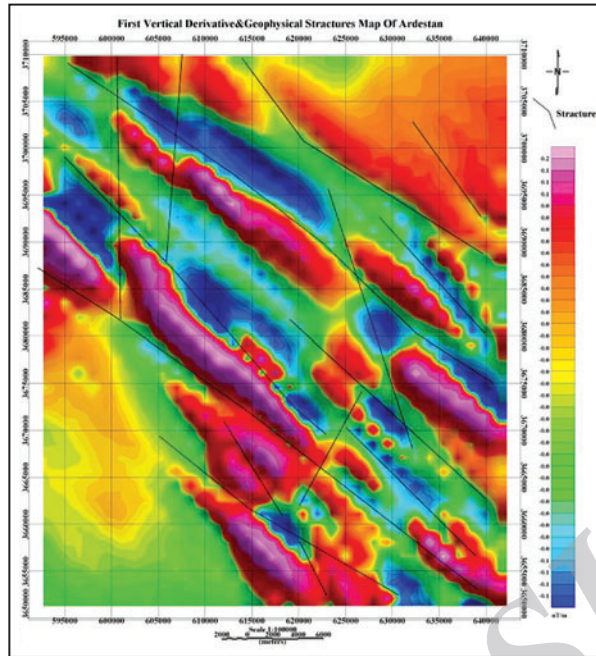
شکل ۸- نقشه واحدهای سنگی.



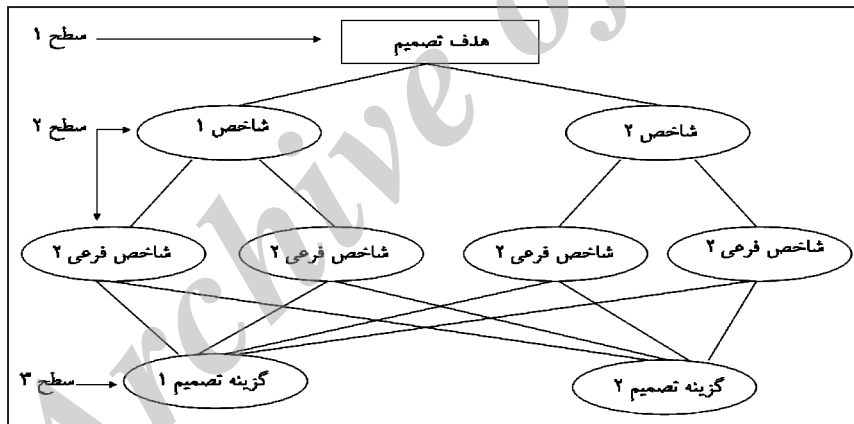
شکل ۷- نقشه دگرسانی های گرمایی.



شکل ۹- نقشه توده های کم ژرفای مغناطیسی.



شکل ۱۰- نقشه خطوط‌های مغناطیسی.

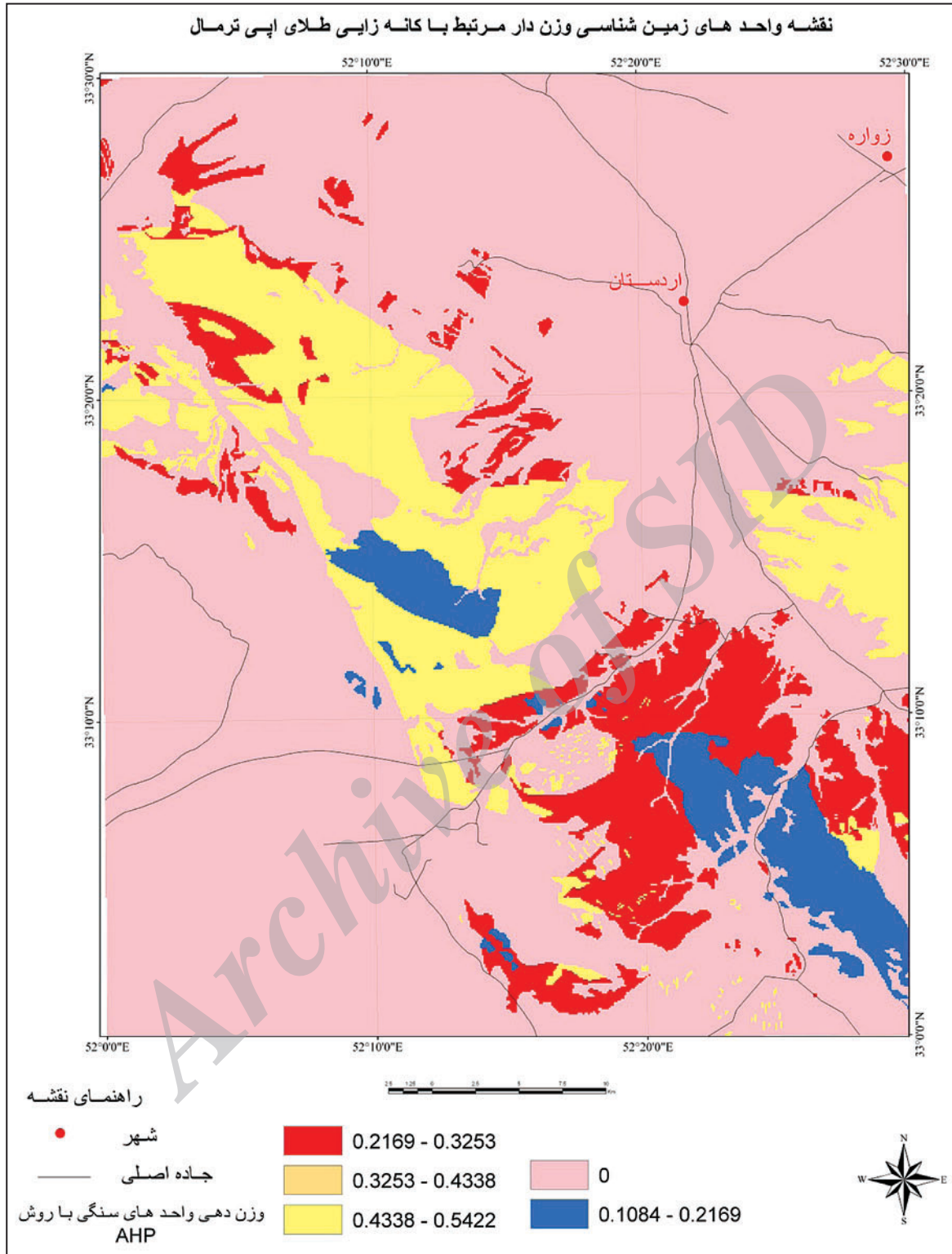


شکل ۱۱- نمودار سلسله مراتب تصمیم‌گیری.

ارزش ترجیحی	وضعیت مقایسه نسبت به j	توضیح
۱	اهمیت برابر	گزینه یا شاخص i نسبت به j اهمیت برابر دارند و یا ارجحیتی نسبت به هم ندارند.
۳	نسبتاً مهمتر	گزینه یا شاخص i نسبت به j کمی مهمتر است.
۵	مهمتر	گزینه یا شاخص i نسبت به j مهمتر است.
۷	خیلی مهمتر	گزینه یا شاخص i دارای ارجحیت خیلی بیشتری از j است.
۹	کاملاً مهم	گزینه یا شاخص i مطلقاً از j مهمتر و قابل مقایسه با j نیست.
۸ و ۴ و ۲		ارزشهای میانی بین ارزشهای ترجیحی را نشان می‌دهد مثلاً ۸ بیانگر اهمیتی زیادتر از ۷ و پایین‌تر از ۹ برای i است.

شکل ۱۲- ارزش‌گذاری شاخص‌ها نسبت به هم.



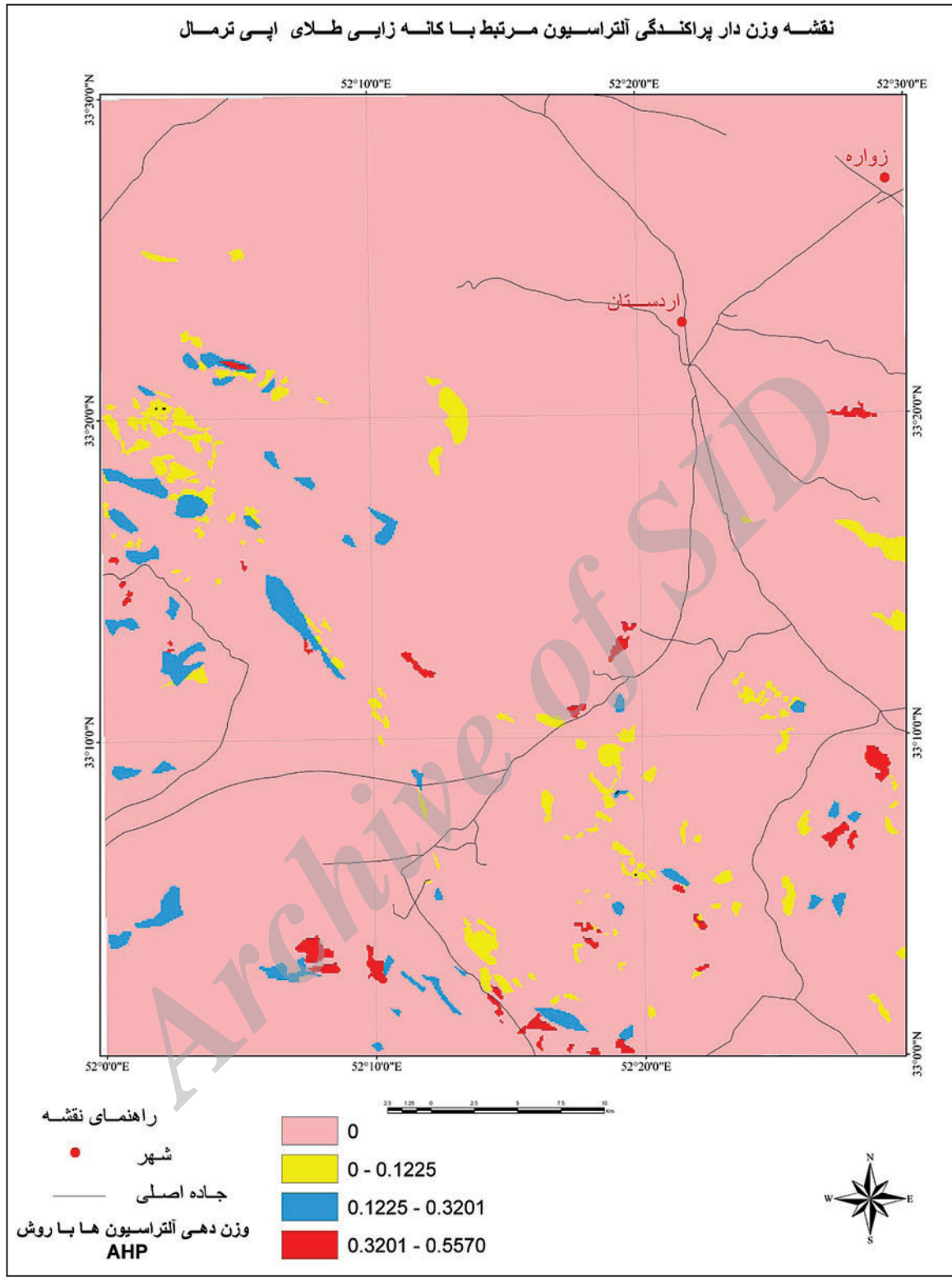


SOURCE & HOST ROCKS				
	G1 Group	G2 Group	G3 Group	G4 Group
G1 Group	1	3	4	5
G2 Group	1/3	1	2	3
G3 Group	1/4	1/2	1	2
G4 Group	1/5	1/3	1/2	1

واحدهای زمین شناسی G1 آندزیت پورفیری و دایک های گرانیتی	G1=0.5423
واحدهای زمین شناسی G2 داسیت، ریوداسیت و ریولیت	G2=0.2333
واحدهای زمین شناسی G3 گابرو، دیوریت، گرانیت و گرانودیوریت	G3=0.1397
واحدهای زمین شناسی G4 تراورتن	G4 = 0.0847
	CR = 0.0190

شکل ۱۳- واحدهای زمین شناسی وزن دار مرتبط کانی زایی طلای اپی ترمال.

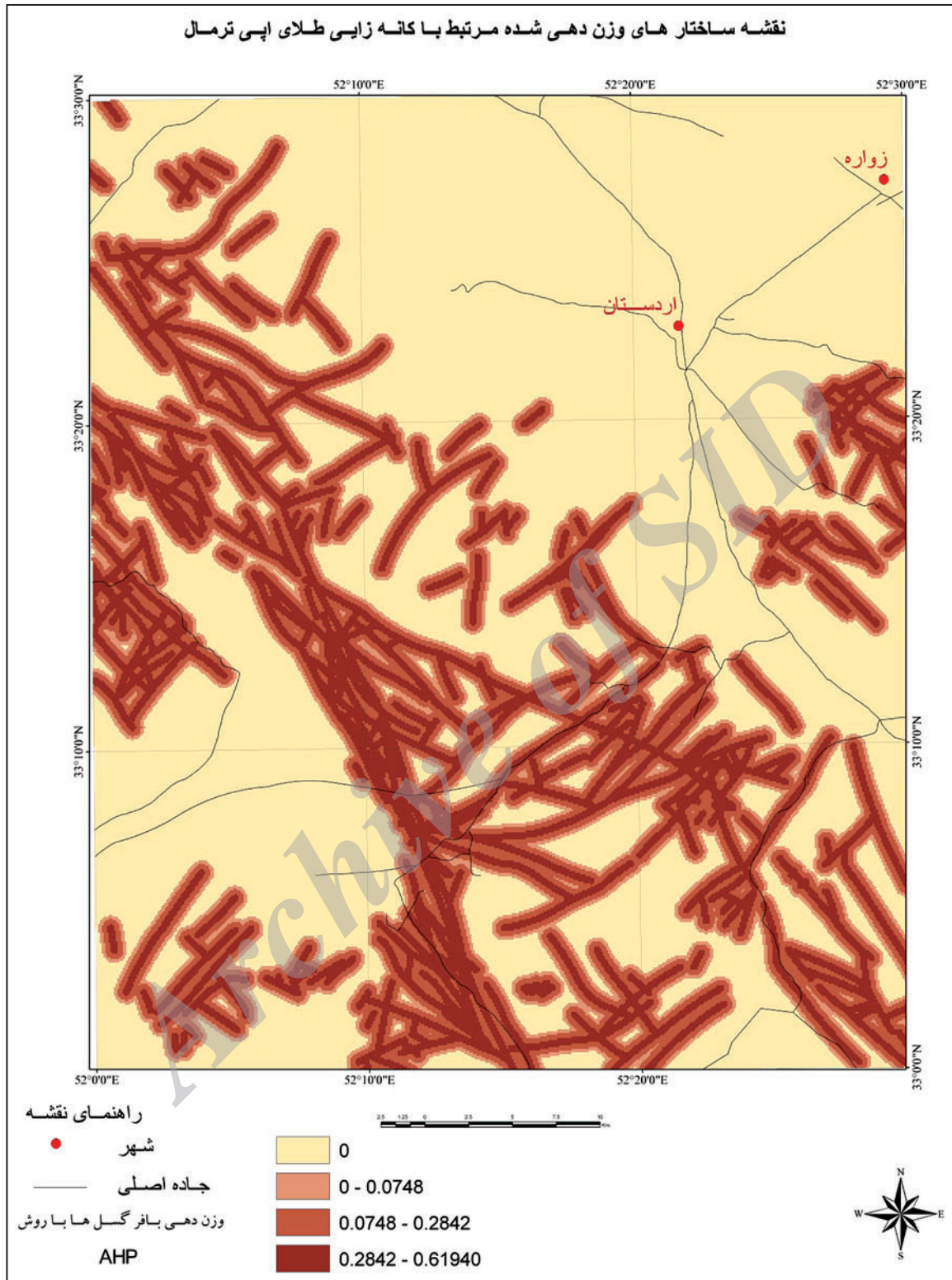




ALTERATION			
	Fe Oxide	Clay	SiO2
Fe Oxide	1	4	2
Clay	1/4	1	1/3
SiO2	1/2	3	1

Clay = 0.1226  
 Fe Oxide = 0.5571  
 SiO<sub>2</sub> = 0.3202  
 CR = 0.0159

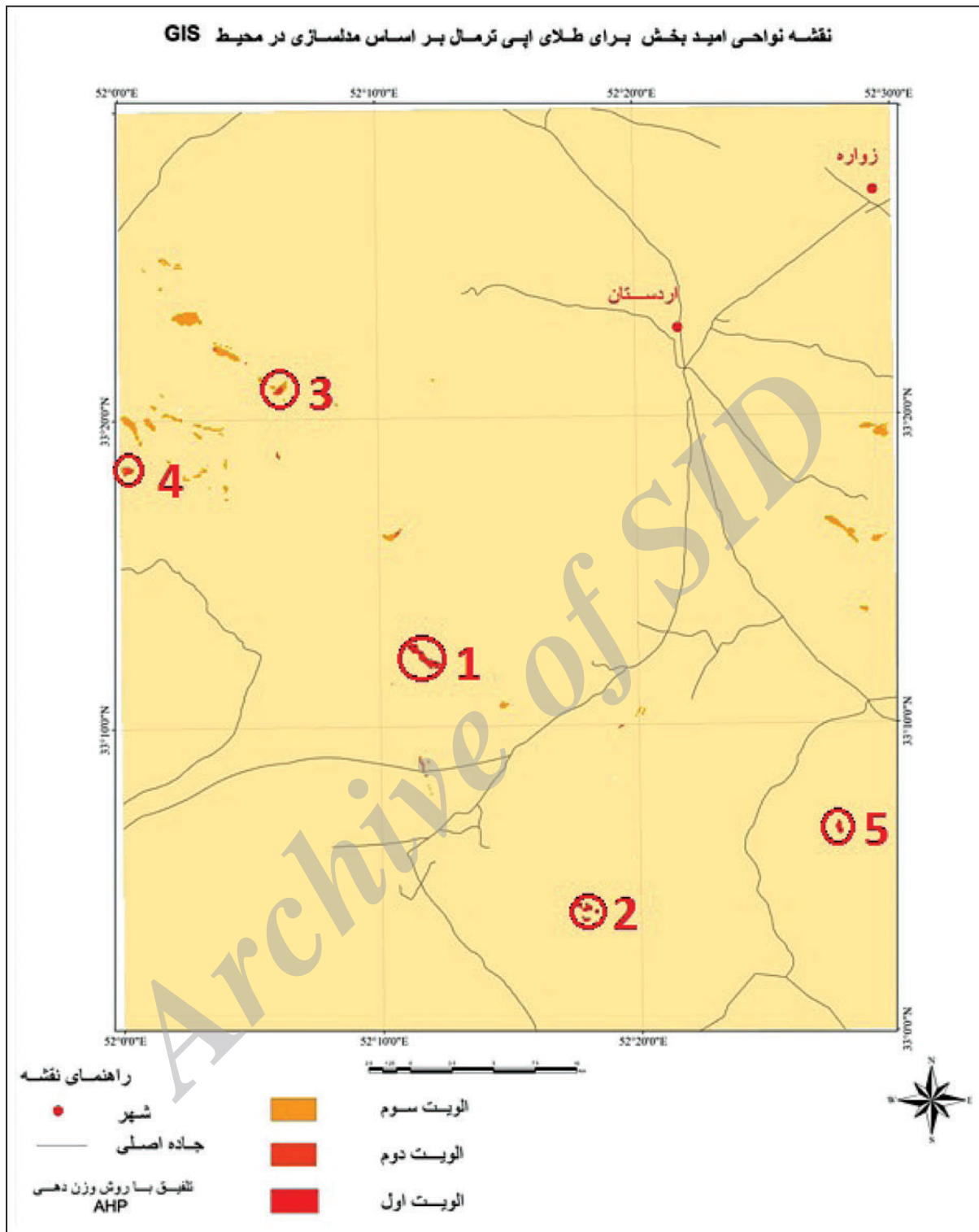
شکل ۱۵- نقشه وزن دار پراکندگی دگرسانی مرتبط با کانی زایی طلای اپی ترمال.



STRUCTURE			
	Buffer 200 m	Buffer 500 m	Buffer 700 m
Buffer 200 m	1	3	5
Buffer 500 m	1/3	1	4
Buffer 700 m	1/5	1/4	1

Buffer 200 m = 0.6194  
 Buffer 500 m = 0.2842  
 Buffer 700 m = 0.0964  
 CR = 0.0748

شکل ۱۶- نقشه ساختارهای وزن دار مرتبط با کانی‌زایی طلای اپی ترمال.



Overall weights				
	Source&Host	Alteration	Mineralization	Structure
Source&Host	1	3	5	6
Alteration	1/3	1	4	5
Mineralization	1/5	1/4	1	2
Structure	1/6	1/5	1/2	1

Source&Host= 0.5418  
 Mineralization=0.1030  
 Alteration = 0.2897  
 Structure = 0.0655  
 CR = 0.0493

شکل ۱۷- نقشه امیدبخش کانی‌زایی طلای اپی ترمال.

## کتابنگاری

- بیات، ف.، ۱۳۸۸- پتانسیل‌یابی مواد معدنی در محور محمود آباد - بانه با استفاده از داده‌های زمین‌شناسی، ژئوشیمی، دورسنجی و ژئوفیزیک هوایی در محیط GIS، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم تحقیقات.
- حسینی پاک، ع.ا. و شرف‌الدین، م.، ۱۳۸۰- تحلیل داده‌های اکتشافی، انتشارات دانشگاه تهران.
- سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۸۳- اکتشاف ژئوشیمیایی سیستماتیک در برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ اردستان.
- سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۷۸- نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ اردستان.
- قدسی پور، س.ح.، ۱۳۸۱- مباحثی در تصمیم‌گیری چند معیاره، انتشارات دانشگاه امیر کبیر، چاپ سوم.
- قربانی، م.، ۱۳۸۱- دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی اقتصادی ایران، انتشارات پایگاه ملی داده‌های علوم زمین کشور.
- مهدی‌زاده تهرانی، س. و اسدزاده، س.، ۱۳۹۱- فهرست خدمات و راهنمای مطالعات دورسنجی در اکتشاف مواد معدنی.

## References

- Rahimi, M., 2009- Comparative Analysis of Metallogenetic model based on Analytical and Fuzzy Analytical Hierarchy Process, Papierflieger Verlag GmbH, ISBN 978-3-86948-030-5.
- Bonham- Carter, G. F., 1994- Geographic information system for geoscientists.

Archive of SID