



## مدلسازی پتانسیل معدنی طلا و فلزات پایه در ناحیه ماهنشان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی

مهیار یوسفی<sup>۱\*</sup>، رضا خالو کاکایی<sup>۲</sup>

۱- عضو هیات علمی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سواد کوه

۲- استادیار دانشکده معدن و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود

E-mail:Mahyar80us@Yahoo.com

### چکیده

ناحیه ماهنشان در استان زنجان و در شمال غربی ایران واقع است. هدف از مطالعه حاضر تهیه نقشه پتانسیل معدنی در این ناحیه با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی می باشد. یکی از روشهای تهیه نقشه پتانسیل معدنی به کمک سیستم اطلاعات جغرافیایی، استفاده از روش وزنه‌های نشانگر است. در این روش با توجه به مشخصات و ویژگیهای نقاط معلوم می توان به جستجوی نقاط مشابه پرداخت. در منطقه مورد مطالعه، از ۲۰ اندیس معدنی شناخته شده و نیز داده های مربوط به مطالعات ژئوفیزیک هوایی، تصاویر ماهواره ای، زمین شناسی، زمین شناسی اقتصادی و بررسی های ژئوشیمیایی رسوبات رودخانه ای استفاده شده و پس از انجام محاسبات مربوط به وزنه‌های نشانگر و به دست آوردن نقشه های دوتایی برای داده های اولیه، تمامی نقشه ها با هم ترکیب و تلفیق شده و یک نقشه پیشینی پتانسیل معدنی که احتمال وجود کانی سازی در کلیه قسمت های آن مشخص می باشد، تهیه گردیده است و در نهایت با توجه به تمام بررسیهای به عمل آمده و انطباق آنها با زمین شناسی، مناطق دارای الویت برای پی جویی مس، سرب، روی و طلا معرفی شده اند.

واژه های کلیدی: مدلسازی پتانسیل معدنی، سیستم اطلاعات جغرافیایی، وزنه‌های نشانگر

\* مازندران- سوادکوه- دانشگاه آزاد اسلامی واحد سواد کوه- گروه معدن



## مقدمه

ناحیه مورد مطالعه ای که در این مقاله مورد بررسی قرار می گیرد ورقه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ ماهنشان مربوط به ناحیه ماهنشان در استان زنجان و در شمال غربی ایران می باشد. این ورقه در محدوده  $30^{\circ} 36'$  تا  $37^{\circ} 30'$  عرض شمالی و  $47^{\circ}$  تا  $48^{\circ}$  طول شرقی قرار دارد و وسعت آن حدود ۲۴۷۲ کیلومتر مربع است در این ناحیه بررسی های مختلف اکتشافی توسط گروه های مختلف سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور انجام شده است و طی مطالعات انجام شده به جز معادن فعال، اندیس هایی از عناصر مختلف به صورت کانیزاسی و یا معادن متروکه مشاهده شده است. هدف از این مطالعه مشخص کردن مدل پیشبینی مناطق دارای پتانسیل و ارائه مناطق مناسب برای پی جویی مس، سرب، روی و طلا و اولویت بندی آنها در منطقه می باشد که به جهت دسترسی به این هدف از اطلاعات موجود در سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور استفاده شده و پس از جمع آوری کلیه اطلاعات موجود و آماده سازی آنها، داده های مختلف با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و روش وزنه های نشانگر با هم ترکیب شده و مناطق امید بخش معرفی شده اند تا در مراحل بعدی، اولویت اکتشافی فقط روی این نواحی متمرکز گردد.

## سیستم اطلاعات جغرافیایی

سیستم اطلاعات جغرافیایی یا Geographic information system که از این پس از مخفف آن یعنی GIS استفاده خواهد شد. یک سیستم کامپیوتری برای مدیریت داده های فضایی (مکانی) است. این سیستم یک بسته نرم افزاری متشکل از برنامه های کامپیوتری مختلف است که دستیابی به یک سری عملیات ویژه شامل جمع آوری، سازمان دهی، پردازش و تجزیه و تحلیل، اصلاح، ترکیب، پرسش و پاسخ و جستجو، پیشبینی و نمایش داده های فضایی را میسر می سازد. GIS ابزارهایی را برای پاسخ به دو سوال اساسی ۱- ویژگی های یک موقعیت خاص چیست؟ ۲- در چه جاهایی این ویژگی ها وجود دارد؟ در اختیار می گذارد. GIS به این دلیل طراحی شده که بتواند داده های فضایی را که از منابع گوناگون جمع آوری شده، در یک بانک اطلاعاتی گرد آورد و ضمن پردازش و تجزیه و تحلیل داده های مختلف ارتباط بین آنها را مشخص کند. برای مثال، اکتشاف یک ذخیره معدنی مستلزم در نظر گرفتن همزمان چندین نوع داده فضایی (بررسی های مختلف)، نظیر زمین شناسی، زمین شناسی ساختمانی، ویژگی های ژئوشیمیایی و ژئوفیزیکی، کارهای اکتشافی انجام شده در گذشته و ... می باشد که GIS این امکان را فراهم می آورد که ضمن ترکیب داده های مختلف و در نظر گرفتن همزمان چندین پارامتر دخیل در اکتشاف، پیشبینی مناطق مساعد از طریق تهیه نقشه پتانسیل معدنی و به دنبال آن تصمیم گیری بهتر برای اولویتهای اکتشافی آینده صورت گیرد [۱]. همچنین مدل سازی با GIS در زمینه پتانسیل معدنی از طریق محاسبه قابلیت مطلوبیت و یا مناسب بودن یک نقطه با کمک داده



های مربوط به روشهای اکتشافی مختلف انجام می شود. پتانسیل معدنی توسط اختصاص ضرایب وزنی به داده های مختلف محاسبه می شود. تخصیص ضرایب وزنی به نقشه ها یا توسط تجزیه و تحلیل اهمیت شواهد و پارامترهای مربوط به اندیسهای معدنی شناخته شده صورت می گیرد یا با استفاده از قضاوت ذهنی کارشناس انجام می گیرد و در حالت کلی یک مدل GIS را می توان به صورت فرآیند ترکیب یک سری نقشه های ورودی برای تهیه یک نقشه خروجی فرض کرد. پیشبینی مکان قرارگیری توده های معدنی باید بر اساس روابط تجربی و به کمک مدل های توصیفی از ذخایر شناخته شده باشد. مدل توصیفی یک نوع ذخیره معدنی مورد پی جویی که بر اساس خصوصیات تعدادی ذخایر مشابه به وجود آمده است، راهنمایی برای یافتن ذخایر جدید از همان نوع محسوب می شود. این نوع مدلسازی را مدل های متکی بر داده می گویند در مدلسازی متکی بر داده ها، نقشه های ورودی گوناگون با استفاده از مدل های نظیر رگرسیون لجستیکی، وزنهای نشانگر (Weight of Evidence) یا تجزیه و تحلیل شبکه عصبی ترکیب می شوند [۱]. در مطالعه حاضر از روش وزنهای نشانگر استفاده شده است که در زیر توضیح داده می شود.

### احتمال مشروط و روش وزنهای نشانگر

احتمال کشف یک اندیس معدنی (ذخیره معدنی) مانند D در حضور شاهدهی مانند B (آنومالی ژئوفیزیکی یا ژئوشیمیایی یا ...) را می توان با احتمال شرطی رابطه (۱) بیان نمود:

$$P\{D|B\} = \frac{P\{D \cap B\}}{P\{B\}} \quad (1)$$

که در این رابطه  $P\{D|B\}$  احتمال وجود یک ذخیره معدنی به شرط حضور الگوی دوتایی (Binary) B است (الگوی دوتایی در اینجا نقشه ای است که از دو رنگ تشکیل شده و هر موقعیت روی آن یا مناسب است یا مناسب نیست). اما  $P\{D \cap B\}$  برابر با مساحت کل اشغال شده توسط D و B است یا  $P\{D \cap B\} = N\{D \cap B\} / N\{T\}$  و به همین ترتیب  $P\{B\} = N\{B\} / N\{T\}$  که در آن  $P\{B\}$  احتمال و  $N\{B\}$  مساحت (تعداد سلول واحد الگوی دوتایی B) و  $N\{T\}$  تعداد سلولهای واحد در کل منطقه می باشند. به طور کلی در رابطه های فوق  $\{N\}$  نشان دهنده تعداد سلولهای واحد و  $\{P\}$  نشان دهنده احتمال است. با جانشین کردن این عبارات در رابطه (۱)، رابطه (۲) به صورت زیر به دست خواهد آمد



$$P\{D | B\} = \frac{N\{D \cap B\}}{N\{B\}} \quad (۲)$$

. احتمال شرطی  $P\{D|B\}$ ، برابر نسبتی از الگوی دوتایی B می باشد که توسط ذخایر پوشیده شده است. از آنجایی که این رابطه از اشتراک استفاده می کند نتیجه می شود که اگر یک شاهد برای پی جویی در اختیار باشد ناحیه جستجو کاهش می یابد و در نتیجه احتمال کشف زیاد می شود. حال اگر احتمال مشروط نقشه دو تایی B با حضور یک ذخیره مانند D به صورت رابطه ۳ تعریف شود:

$$P\{B | D\} = \frac{P\{B \cap D\}}{P\{D\}} \quad (۳)$$

از آنجایی که  $P\{B \cap D\}$  با  $P\{D \cap B\}$  مشابه است. معادله های (۱) و (۳) می توانند برای حل کردن  $P\{D|B\}$  ترکیب شده و رابطه ۴ را بوجود آورند.

$$P\{D | B\} = P\{D\} \frac{P\{B | D\}}{P\{B\}} \quad (۴)$$

همانطور که چانگ (Chang) و همکاران (۱۹۹۲) خاطر نشان کرده اند اطلاعات درباره صورت کسر اغلب از مطالعه آماری ذخایر و اطلاعات درباره مخرج کسر از بررسیهای اکتشافی مربوط به محل وجود ذخایر مورد انتظار که ویژگی های آنها مورد نظر می باشد، به دست می آید. همچنین می توان عبارتی مشابه برای احتمال وجود ذخیره ای که با عدم حضور آنومالی شاخص (شاهد) مشخص می شود، به صورت رابطه ۵ به دست آورد.

$$P\{D | \bar{B}\} = P\{D\} \frac{P\{\bar{B} | D\}}{P\{\bar{B}\}} \quad (۵)$$

واضح است که احتمال و شانس پیدا کردن ذخیره ای که در آنجا یک آنومالی شاهد وجود نداشته باشد به مقداری قابل توجه، کمتر از جایی است که این آنومالی وجود دارد [۱]. با توجه به اینکه  $N(T)$  تعداد کل سلولهای واحد و  $N(D)$  تعداد نقاط مورد نظر در داخل محدوده مورد مطالعه می باشد ( $N(D)$  عددی صحیح می باشد)، اگر کلاس با ارزش ۱ نقشه دوتایی (جاههایی که آنومالی وجود دارد) را با B و تعداد سلولهایی را که اشغال می کند با  $N(B)$  نشان دهیم و تعداد سلولهایی را که با کلاس صفر نقشه دوتایی پوشیده می شود (جاههایی که آنومالی وجود ندارد) را با  $N(\bar{B})$  نشان دهیم رابطه ۶ را خواهیم داشت:

$$N(B) + N(\bar{B}) = N(T) \quad (۶)$$

که با توجه به آن می توان وزنهایی را تحت عنوان  $W^+$  و  $W^-$  محاسبه کرد که می توانند ملاکی برای همراهی و یا عدم همراهی بین نقاط (اندیسهای شناخته شده) و بخشهای مختلف الگوی شاهد باشند. این وزنها برای



تمام کلاسهای نقشه شاهد محاسبه می‌شوند.  $W^+$  وزنی است که معرف حضور و همراهی مثبت نقاط مورد نظر با هر کلاس و  $W^-$  نیز معرف عدم حضور یا همراهی منفی مکانی نقاط مورد نظر با آن کلاس خاص از نقشه شاهد است. تفاضل این دو وزن ( $C$ )، تباین یا کنتراست (Contrast) پارامتری است که معرف وضعیت کلی همراهی یا عدم همراهی نقاط مورد نظر با کلاسهای خاص از نقشه می‌باشد و هر چه بزرگتر باشد معرفتر است [۱]. به طور کلی وزنهای مربوط به کلاسهای یک نقشه دوتایی با نسبتهای احتمالات شرطی رابطه های ۷ و ۸ بیان می‌شوند که در آنها  $\{ \}$  معرف احتمال می باشد

$$W^+ = Ln \frac{P\{B | D\}}{P(B | \bar{D})} = Ln \frac{\{B \cap D\} / D}{\{B \cap \bar{D}\} / \bar{D}} \quad (7)$$

$$W^- = Ln \frac{P\{\bar{B} | D\}}{P\{\bar{B} | \bar{D}\}} = Ln \frac{\{\bar{B} \cap D\} / D}{\{\bar{B} \cap \bar{D}\} / \bar{D}} \quad (8)$$

که  $(B \cap D)$  اشتراک دو مجموعه  $B$  (بخشهای پوشیده شده از کلاس خاص نقشه دوتایی) و  $D$  (معرف مجموعه نقاط مورد نظر) است. بنابراین می‌توان رابطه ۹ را به صورت زیر نوشت

$$W^+ = Ln \frac{N(B \cap D) / N(D)}{[N(B) - N(B \cap D)] / [N(T) - N(D)]} \quad (9)$$

و به طریقی مشابه می‌توان رابطه  $W^-$  را نیز بازنویسی کرد در صورتی که مساحت سلول واحد خیلی کاهش یابد، رابطه ۹ برای  $W^+$  را می‌توان به صورت رابطه ساده شده ۱۰ نوشت

$$W^+ = Ln \frac{N(B \cap D) / N(D)}{N(B) / N(T)} \quad (10)$$

پس از انجام محاسبات مربوط به تجزیه و تحلیل وزنهای نشانگر و انتخاب بالاترین کنتراست‌ها، برای هر نقشه یک نقشه دوتایی تهیه می‌شود. سپس این نقشه‌ها تلفیق شده و مقادیر  $P(D|B)$ ، برای همه سلولهای واحد محاسبه می‌شود و در نهایت نقشه‌ای تهیه می‌گردد که نشان دهنده توزیع احتمال تجربی وجود یک اندیس معدنی در واحد مساحت (هر سلول) ناحیه مورد مطالعه می‌باشد [۱ و ۲].

### زمین‌شناسی عمومی ناحیه ماهشان

در ورقه ۱/۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی ماهشان انواع سنگهای آذرین، رسوبی و دگرگونی دیده میشود که البته قسمت اعظم آن را سنگهای رسوبی فرا گرفته است و گسترش سنگهای آذرین و دگرگونی در قسمتهایی شرق و جنوب شرق و غرب نقشه دیده می‌شود. سن واحدهای سنگی در این ناحیه از زمان پرکامبرین تا عهد حاضر متغیر است. شکل ۱ واحدهای نقشه زمین‌شناسی ماهشان را نشان می‌دهد. در ادامه مهمترین واحدهای ناحیه که از نظر اکتشافی اهمیت دارند توضیح داده می‌شوند [۳]:



PCgn : این واحد از سنگهای دگرگونی درجه بالا تشکیل شده و شامل ردیفی از گنایس همراه با میان لایه‌هایی از میکاشیست و آمفیبولیت می‌باشد.

PCa : این واحد دگرگونی شامل میکاشیست - کوارتز - فلدسپات گرونادار با بافت لپیدوبلاستیک تا پورفیروبلاستیک همراه با لایه‌هایی از آمفیبولیت و مرمرهای نواری است. این مرمرها نوعی رخساره دگرگونی با پاراژنودیوپسید - کوارتز - اسفن را نشان می‌دهند.

واحدهای  $PC^M$ ,  $PC^{SM}$ ,  $PC^{MS}$ : این واحدها به طور کلی شامل مرمرهای نواری موسکویت‌دار با لایه بندی متوسط، کالک‌شیست کوارتز و میکادار، شیست میکا- کوارتز و گرونادار، کالک‌شیست ترمولیت و کلینوزئوزیت‌دار می‌باشند. واحد  $PC^M$  از شیستهای لپیدوبلاستیک تا پورفیروبلاستیک خاکستری رنگ یکنواخت و با هوازدگی ضعیف پدید آمده است. در حالتی که فراوانی کالک‌شیست و یا مرمرهای نواری نسبت به شیستهای خاکستری در واحد  $PC^M$  کاستی یا فزونی می‌یابد، به ترتیب واحدهای فرعی  $PC^{MS}$  و  $PC^{SM}$  شکل می‌گیرند.

$PC^{12}$ : واحد مرمر ضخیم تا متوسط به رنگ سفید تا خاکستری روشن و شامل دانه‌های فشرده و متداخل کلسیت دربردارنده فلسهای فیبری از میکای سفید (موسکویت) و به ندرت حاوی چرت نواری و ندولی شکل.

$PC^K$ : شیل - فیلیت و اسلیت به رنگ سبز متمایل به خاکستری با میان لایه‌های توف، متاآذریت و لایه‌های نازک

دولومیت که ندرتاً با گدازه‌های اسیدی همراه هستند.

$K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_2^m$ : رخنمونهای کرتاسه در گوشه جنوب شرقی منطقه شامل شیل و ماسه‌سنگهای به شدت خرد شده و تا اندازه ای دگرگونی و به رنگ سبز تیره ( $K_1$ ) است که بوسیله ردیفی از ماسه سنگ و آهکهای مارنی خاکستری رنگ ( $K_2^m$ ) و آهکهای فسیل دار با لایه‌بندی متوسط و به رنگ خاکستری روشن ( $K_2$ ) دنبال می‌شود.

Gd: گرانیات آناتکسی با ترکیب قلیایی، بافت هپی دیومورفیک و به رنگ سفید تا خاکستری روشن.

Gd<sup>P</sup>: پگماتیت درشت دانه متشکل از بیوتیت - موسکویت و گرونا.

Alt: دگرسانیه‌های آرژیلیتی متوسط تا پیشرفته در اطراف گرانیته‌ها.

## زمین شناسی اقتصادی ناحیه ماهنشان

ورقه ۱/۱۰۰۰۰۰ ماهنشان بیشتر از رسوبات پوشیده شده است و توده های نفوذی و دگرگونی مشاهده شده همراه با کانی سازی احتمالی در این ناحیه را می توان به صورت زیر تقسیم بندی کرد:



در قسمت شرق منطقه توده نفوذی گرانیتی قرار دارد که اطراف آن را پگماتیت ها و سپس آهکها فرا گرفته است. در غرب منطقه نیز توده های نفوذی گرانیتی و دگرگونی گنیسی وجود دارد که جوانتر از آهکها و دولومیت‌های اطراف خود می باشد و رگه‌های سیلیسی متعددی آن را قطع کرده‌اند. کانی‌سازی سولفیدی سرب و روی از نوع گالن و اسفالریت و به شکل شبکه‌ای از رگه‌های قطع کننده واحد مرمر - دولومیتی به صورت رگه‌های سیلیسی در این منطقه مشهود است. در بعضی از مناطق نیز رگه‌های سیلیسی به رنگ زرد کم رنگ واحد دولومیتی را قطع نموده‌اند که در بعضی از نمونه‌های آن طلا وجود دارد. در داخل این دولومیت ها کارهای قدیمی فراوانی به صورت حفرات در امتداد رگه‌های کانی‌سازی شده صورت گرفته است. نمونه‌های اخذ شده از کانسنگ حاوی کانی‌سازی در امتداد این حفرات میزان ۰/۱۱ تا ۱۱/۷۹ درصد روی را نشان می‌دهد [۴]. در قسمت جنوب شرق این ناحیه توده نفوذی گرانیتوئیدی  $g_2$  با بافت گرانولار و ظاهر ماکروسکوپی سفید متمایل به صورتی قرار دارد. این توده نفوذی در حاشیه، ریز دانه‌تر شده و از درصد کانیهای تیره (مافیک) آن کاسته می‌شود، ضمن آن که فلدسپات پتاسیک آن غنیتر می‌گردد. این تغییرات کانی‌شناسی می‌تواند نشانی از تفریق ماگمایی باشد [۳]. واحدهای میکروسپاریتی (آهکهای فسیل‌دار با لایه‌بندی متوسط و به رنگ خاکستری روشن)  $K_2$  و ماسه سنگ و آهکهای مارنی خاکستری رنگ  $K_2^m$  و شیلها و ماسه سنگهای به شدت خرد شده و به رنگ سبز تیره  $K_1$  در این منطقه در اثر شار حرارتی و سیالات گرمایی ناشی از توده‌های نفوذی  $g_2$  به شیوه همبری، دگرگون شده و پهنه‌های اسکارنی - هورنفلسی بوجود آورده‌اند. در این راستا مگنتیت، گرونا‌ی متنوع آندرادیت و هیدروگروسولر، هیدرنرژیت، دیوپسید و ... مجموعه کانیهایی هستند که به طور حادثه‌ای با کانیهای سولفیدی مس از نوع کالکوپیریت و نیز هیدروکربنات مس (مالاکیت) همراه هستند. در چنین منطقه‌ای که پدیده پیرومتاسوماتیسم حاکم است بستر انتقال یونی توسط سیالات کانی‌دار فراهم بوده و با تغییر شرایط فیزیکی و شیمیایی آنها، کانه‌زایی صورت می‌گیرد و به همین دلیل نیز کانه‌زایی مس در جوار کانیهای حادثه‌ای اسکارنی صورت گرفته است [۳]. با توجه به مطالعات زمین‌شناسی اقتصادی به عمل آمده در ناحیه، بیشتر اندیسها و نشانه‌های معدنی مشاهده شده شامل سرب، روی و مس و گاهی طلا می باشد. با توجه به اینکه در این منطقه توده های نفوذی در مجاورت آهکها و دولومیتها قرار دارند و سیستم شکستگی نیز در ناحیه وجود دارد می توان کانی سازی منطقه را از نوع اسکارن و یا گرمایی پیش بینی کرد. به طور کلی ۲۰ اندیس شناخته شده از کانی سازی های مس، سرب، روی و طلا در منطقه وجود دارد که این اندیسها در شکل ۱ نشان داده شده است.



## داده های مورد استفاده

در ناحیه ماهنشان مطالعات زمین شناسی، ژئوفیزیک هوایی (مغناطیس سنجی)، بررسی ژئوشیمیایی رسوبات رودخانه‌ای، دورسنجی (پردازش تصویر ماهواره ای) و زمین شناسی اقتصادی برای یافتن اندیسها و نشانه های معدنی صورت گرفته است که داده‌های آن به صورت زیر می‌باشد:

۱ - نقشه رقومی شده زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ ناحیه ماهنشان که در شکل ۱ این نقشه نشان داده شده است.

۲ - یک نقشه رقومی شده نشان دهنده موقعیت اندیسها و نشانه معدنی منطقه که موقعیت ۲۰ اندیس شناخته شده عناصر مس، سرب، روی، طلا و آنتیموان از آن جدا شده و مورد استفاده قرار گرفته است. موقعیت اندیسها در شکل ۱ نشان داده شده است.

۳- نقشه نشان دهنده مناطق دارای آلتراسیون (دگرسانی) به دست آمده از تصویر ماهواره‌های منطقه که این نقشه پس از رقومی سازی به صورت دوتایی درآمده و در شکل شماره ۲ نشان داده شده است.

۴- نقشه مشتق اول شدت میدان مغناطیسی که از روی نقشه شدت کل میدان مغناطیسی و با استفاده از روش مغناطیس سنجی هوایی تهیه شده است. این نقشه برای اینکه قابل استفاده در GIS باشد و بتوان عملیات وزن دهی را روی آن انجام داد، دوباره طبقه بندی شده است (توضیحات بیشتر در قسمتهای بعد آمده است). شکل ۳ نقشه دوباره طبقه بندی شده را نشان می‌دهد.

۵- نقشه های آنومالی های ژئوشیمیایی عناصر مس، سرب، روی، نقره، آرسنیک، آنتیموان، باریوم و جیوه که پس از رقومی سازی در GIS روی هم گذاشته شده و از آنها یک نقشه دوتایی تهیه گردید. این نقشه در شکل ۴ نشان داده شده است و همان طور که مشاهده می‌شود در آن مناطق دارای آنومالی، ارزش ۱ و نقاط غیر آنومال، ارزش ۰ دارند.

## تجزیه و تحلیل وزنه‌های نشانگر

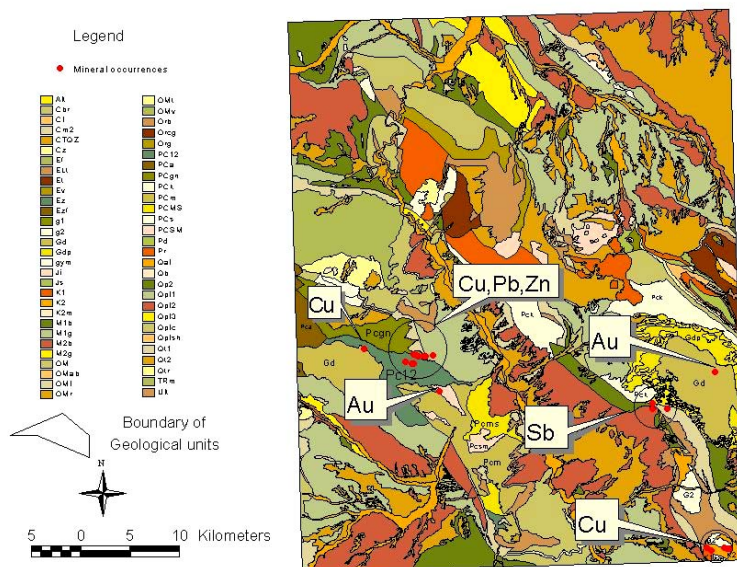
به جهت مشخص شدن وابستگی فضایی بین اندیسهای معدنی شناخته شده، به عنوان معیاری برای شناسایی پتانسیلهای جدید از تجزیه و تحلیل وزنه‌های نشانگر استفاده شده است. این محاسبات برای ۳ نقشه زمین شناسی (واحد‌های زمین شناسی به عنوان لیتولوژی سنگ میزبان)، نقشه مشتق اول شدت میدان مغناطیسی و نیز نقشه گسله‌های منطقه انجام شده است. ولی در مورد نقشه آلتراسیونهای منطقه و نیز نقشه های آنومالی های ژئوشیمیایی تجزیه و تحلیل وزنه‌های نشانگر انجام نشده و این نقشه ها پس از تبدیل به نقشه های دوتایی و در نظر گرفتن کد ۱ برای مناطق دارای آلتراسیون و آنومالی ژئوشیمیایی و کد ۰ برای مناطق غیر آلتره و غیر آنومال، آماده ترکیب نهایی با سایر نقشه های دوتایی گردیدند (شکل‌های ۲ و ۴).



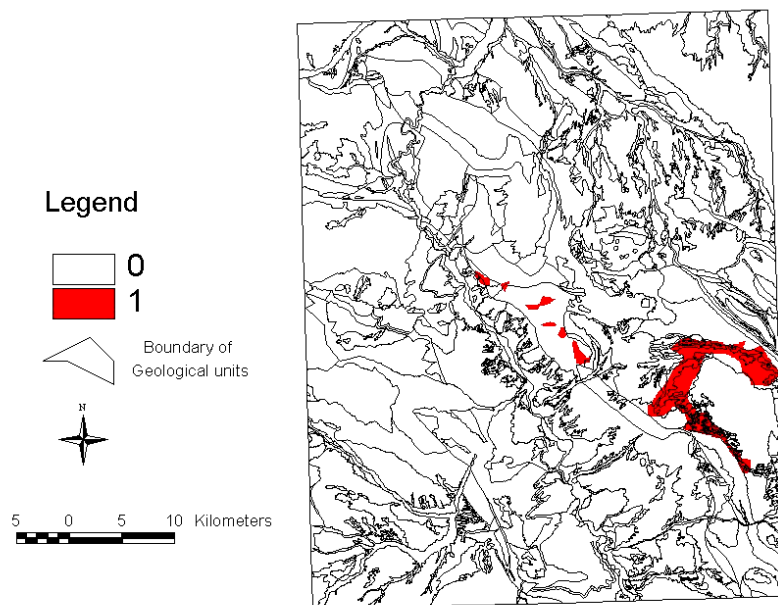


## تجزیه و تحلیل وزنه‌های نشانگر بر روی واحدهای نقشه زمین‌شناسی

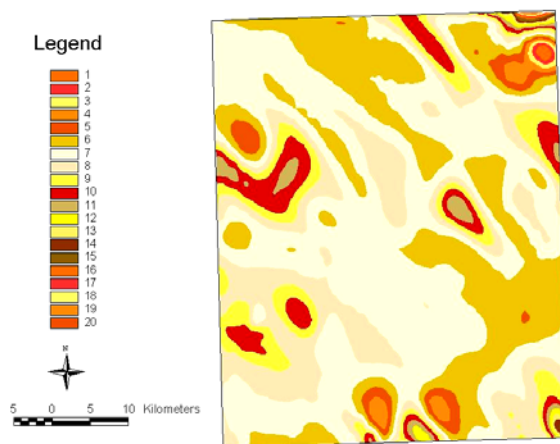
با توجه به اندیسه‌های موجود در منطقه عملیات وزن دهی به واحدهای مختلف نقشه زمین‌شناسی منطقه انجام شد. در جدول ۱ پارامترهای مربوط به تجزیه و تحلیل وزنه‌های نشانگر، برای هر واحد از نقشه زمین‌شناسی که در آن اندیس شناخته شده وجود دارد نشان داده شده است. این پارامترها شامل مساحت تحت پوشش، تعداد اندیسه‌ها، وزنه‌های  $W^+$  و  $W^-$  و کنتراست‌های محاسبه شده می‌باشد. برای بسیاری از واحدها که اکثراً رسوبی هستند هیچگونه داده ای (اندیس معدنی) وجود ندارد و در نتیجه ارزشهای وزنی و کنتراست برای این واحدها تعیین نگردیده است بنابراین در جدول نیز نیامده است و همان طور که مشاهده می‌شود واحدهای  $K_1, K_2, Pcg_n, Pc_{12}, Pc_{sm}$  دارای کنتراستهای بالای ۲ هستند بنابراین این واحدها به عنوان بهترین واحدها انتخاب شده و با توجه به آنها نقشه دوتایی نشان دهنده نواحی مناسب (با کد ۱) و نواحی نامناسب (با کد ۰) تهیه شده است. این نقشه یک نقشه امید بخش زمین‌شناسی می‌باشد که در شکل ۵ نشان داده شده است [۵].



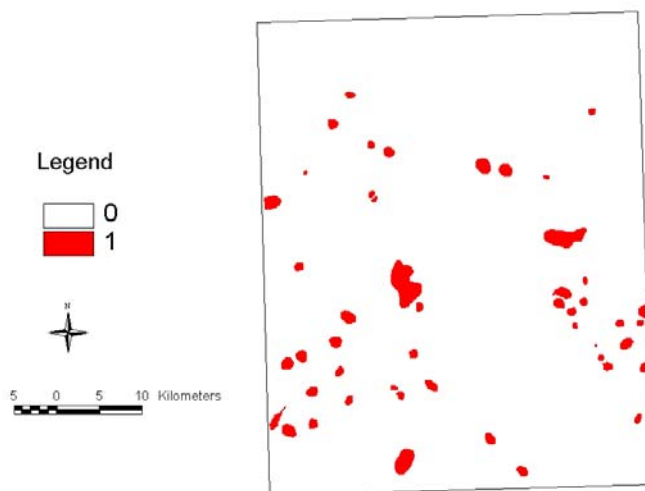
شکل ۱ - نقشه زمین‌شناسی ماهنشان و موقعیت اندیسه‌های شناخته شده [۵]



شکل ۲- نقشه دوتایی نشان دهنده مناطق دارای آلتراسیون [۵]



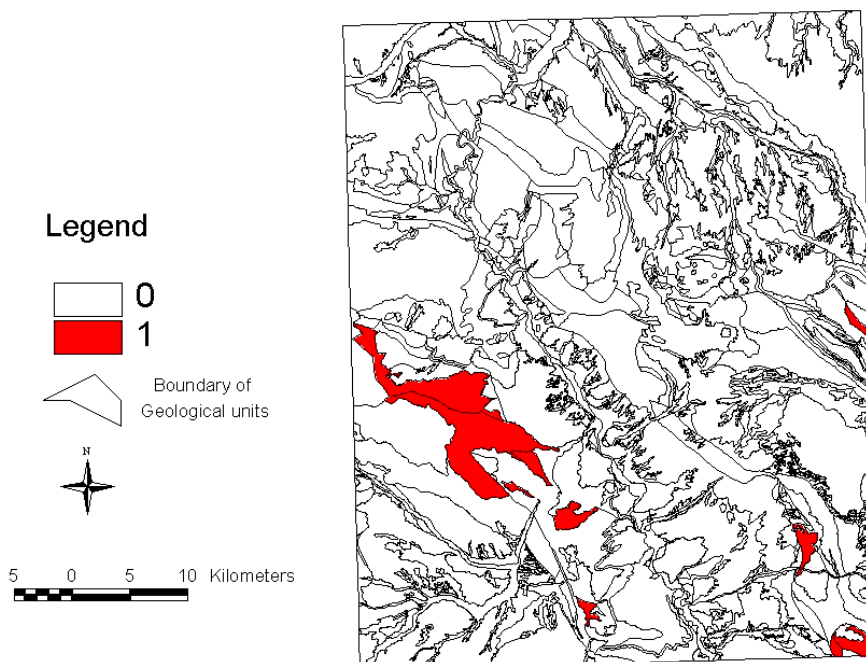
شکل ۳- نقشه دوباره طبقه بندی شده مشتق اول شدت کل میدان مغناطیسی [۵]



شکل ۴- نقشه دوتایی نشان دهنده آنومالیهای ژئوشیمیایی عناصر مورد اکتشاف [۵]

جدول ۱ - تجزیه و تحلیل وزنه‌های نشانگر برای نقشه زمین شناسی [۵]

واحد‌های زمین شناسی	مساحت به کیلومتر مربع	تعداد اندیسهای موجود	$W^+$	$W^-$	تباين(کنتراست)
$K_1$	۱/۱۹۰۰	۱	۶/۴۷۱۹	-۰/۰۵۱۲	۶/۵۲۳۱
$K_2$	۱۰/۵۲۰۰	۴	۴/۳۲۲۶	-۰/۲۲۰۵	۴/۵۴۳۰
$Pc_{12}$	۳۷/۳۲۰۰	۵	۲/۹۴۴۹	-۰/۲۷۴۴	۳/۲۱۹۳
$Pcsm$	۹/۱۷۰۰	۱	۲/۷۱۰۱	-۰/۰۴۸۰	۲/۷۵۸۶
$Pcgn$	۲۵/۱۷۰۰	۲	۲/۳۶۱۴	-۰/۰۹۵۹	۲/۴۵۷۳
$Alt$	۲۲/۸۵۰۰	۱	۱/۷۲۶۹	-۰/۰۴۲۴	۱/۷۶۹۳
$Oml$	۸۰/۶۸۰۰	۲	۱/۱۳۸۹	-۰/۰۷۲۸	۱/۲۱۱۷
$Qpl_1$	۱۶۵/۳۸۰۰	۲	۰/۴۰۸۲	-۰/۰۳۶۶	۰/۴۴۴۸
$Gd$	۹۳/۰۵۰۰	۱	۰/۲۸۸۸	-۰/۰۱۳۱	۰/۳۰۱۹
$Qpl_2$	۲۷۱/۲۲۰۰	۱	-۰/۷۸۸۱	۰/۰۶۲۵	-۰/۸۵۳۳



شکل ۵ - نقشه دوتایی واحدهای زمین شناسی [۵]

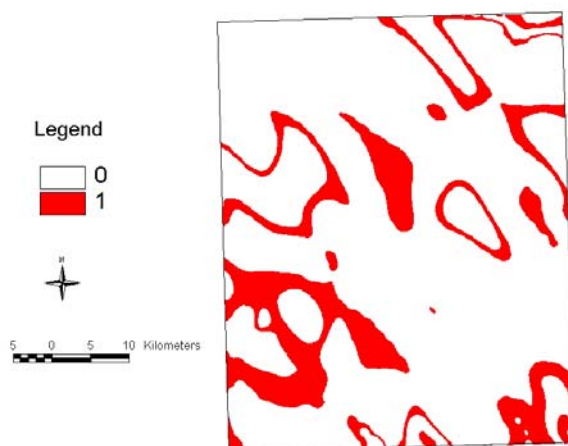
**تجزیه و تحلیل وزنهای نشانگر بر روی نقشه مشتق اول شدت کل میدان مغناطیسی**

از آنجا که نقشه شدت کل میدان مغناطیسی از پیچیدگی خاص خود برخوردار است به جهت کاستن از ابهامات موجود و واضحتر شدن آنومالی های موضعی و محلی از نقشه مشتق اول شدت میدان مغناطیسی استفاده شده است و برای اینکه بتوان تجزیه و تحلیل وزنهای نشانگر را روی این نقشه محاسبه کرد ابتدا تغییرات شدت میدان در این نقشه به ۲۰ دامنه تقسیم شد و نقشه دوباره طبقه بندی شده، و به هر دامنه از تغییرات یک کد خاص داده شد ( شکل ۳). سپس پارامترهای وزنهای نشانگر برای نقشه دوباره طبقه بندی شده محاسبه گردید. جدول ۲ پارامترهای مربوط به محاسبه وزنهای نشانگر برای کلاسهای دارای اندیس را نشان می دهد. در جدول مشاهده می شود که کلاسهای ۸، ۱۲، ۱۳ و ۱۴ دارای کنتراستهای بالای ۲ هستند بنابراین بر اساس این جدول نقشه دوتایی از نقشه مشتق اول میدان مغناطیسی ساخته شد که در آن به کلاسهای دارای کنتراست بالای ۲ ارزش ۱ و به کلاسهای دارای کنتراست زیر ۲ ارزش ۰ داده شد. شکل ۶ این نقشه را نشان می دهد.



جدول ۲ - تجزیه و تحلیل وزنهای نشانگر برای نقشه مشتق اول شدت میدان مغناطیسی [۵]

کد	مساحت به کیلومتر مربع	تعداد اندیسه‌های موجود	$W^+$	$W^-$	تباين
۱۴	۳/۷۱۰۰	۱	۳/۸۱۴۰	-۰/۰۵۰۲	۳/۸۶۴۱
۱۳	۴/۱۸۰۰	۱	۳/۶۵۴۰	-۰/۰۵۰۰	۳/۷۰۴۰
۱۲	۷/۷۱۰۰	۱	۲/۹۰۷۳	-۰/۰۴۸۶	۲/۹۵۵۹
۸	۴۴۳/۸۹۰۰	۱۳	۱/۳۱۰۰	-۰/۸۵۷۰	۲/۱۶۷۰
۶	۵۵۱/۶۳۰۰	۴	-۰/۱۰۸۴	۰/۰۲۹۰	-۰/۱۳۷۴



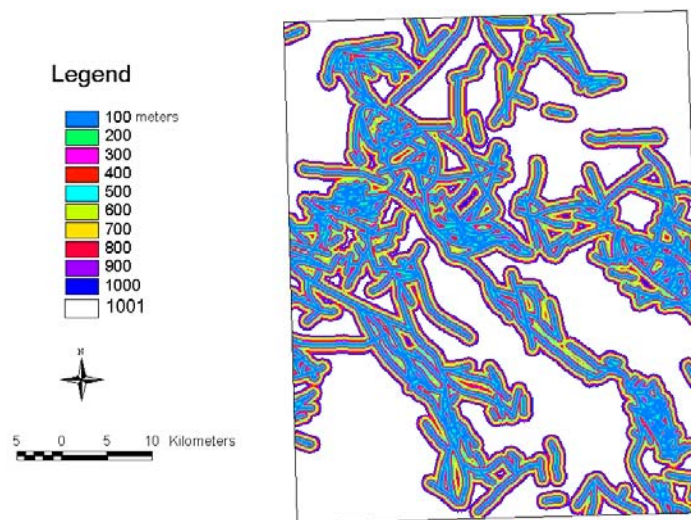
شکل ۶ - نقشه دوتای مشتق اول شدت میدان مغناطیسی [۵]

### تجزیه و تحلیل وزنهای نشانگر و عملیات انجام شده بر روی گسلها

به جهت مطالعه گسلهای منطقه ابتدا کلیه گسلهای مشخص شده روی نقشه زمین‌شناسی، جداگانه رقومی شده و با گسلهای به دست آمده از مطالعه تصویر ماهواره ای ناحیه روی هم قرار داده شد تا نقشه‌ای مرکب از مجموع گسلهای شناسایی شده به وجود آید. سپس در این نقشه مناطق تا فاصله ۱۰۰۰ متری از گسلها به فواصل ۱۰۰ متر به ۱۰۰ متر تقسیم شدند. شکل ۷ نقشه حریم بندی گسلهای منطقه را نشان می دهد سپس روی آن، عملیات وزن دهی به فواصل مختلف از طریق محاسبات وزنهای نشانگر صورت گرفت. جدول ۳ پارامترهای محاسبه شده را ( در فواصلی که اندیس شناخته شده وجود دارد) نشان می دهد. طبق این



جدول مشاهده می‌شود که فاصله ۱۰۰ متری از گسل‌ها دارای بالاترین کنتراست است و با توجه به آن نقشه دوتایی گسل‌های ناحیه مورد بررسی تهیه شد که در آن به فواصل ۱۰۰ متر اول از گسل‌ها ارزش ۱ و به بقیه مناطق ارزش ۰ داده شد. این نقشه در شکل ۸ نشان داده شده است [۵].



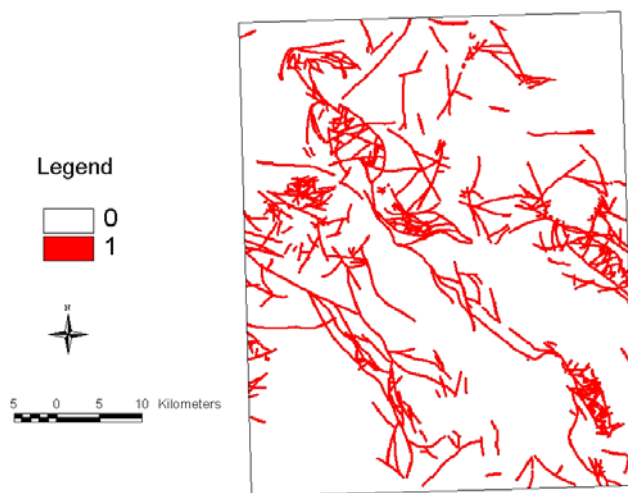
شکل ۷ - نقشه حریم بندی گسل‌های منطقه مورد مطالعه [۵]

## ترکیب نقشه‌های دوتایی و بدست آوردن محدوده‌های امیدبخش

بعد از انجام محاسبات مربوط به تجزیه و تحلیل وزنه‌های نشانگر و به دست آوردن نقشه‌های شاهد دوتایی برای واحد‌های زمین‌شناسی (لیتولوژی سنگ میزبان)، مشتق اول شدت کل میدان مغناطیسی هوایی و گسل‌های منطقه، این سه نقشه به همراه نقشه‌های دوتایی آلتراسیونها و آنومالیهای ژئوشیمیایی منطقه که هر یک به صورت یک نقشه شامل مناطق مناسب و نامناسب (دارای ارزش ۱ و ۰) برای پی‌جویی نقاط کانساردار می‌باشند (شکل‌های ۲، ۴، ۵، ۶ و ۸)، با هم ترکیب شدند تا مناطق دارای بیشترین احتمال کانی‌سازی مشخص شوند. شکل ۹ نقشه ترکیبی را نشان می‌دهد. این نقشه احتمال تجربی داشتن یک اندیس معدنی در هر سلول واحد از منطقه را مشخص می‌سازد و دیده می‌شود که بالاترین احتمالات مربوط به مناطقی از واحدهای  $PC^{12}$  و  $K_1$  و  $K_2$  در قسمت‌های غرب و جنوب شرق ناحیه و خصوصاً گسل‌های موجود در آنها می‌باشد که به صورت دو منطقه ۱ و ۲ مشخص شده‌اند.

جدول ۳ - تجزیه و تحلیل وزنهای نشانگر برای نقشه گسلهای منطقه مورد مطالعه [۵]

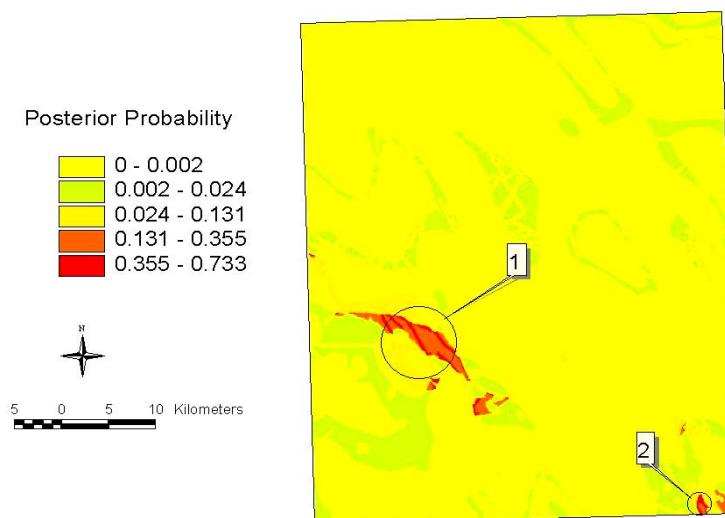
فاصله از گسل به متر	مساحت به کیلومتر مربع	تعداد اندیسهای موجود	$W^+$	$W^-$	تباین
۱۰۰	۳۵۵/۹۴۰۰	۹	۱/۱۵۹۵	-۰/۴۴۵۷	۱/۶۰۵۲
۷۰۰	۸۹/۸۶۰۰	۲	۱/۰۲۸۸	-۰/۰۶۹۰	۱/۰۹۷۸
۸۰۰	۹۵/۰۱۰۰	۲	۰/۹۷۱۸	-۰/۰۶۶۸	۱/۰۳۸۶
۱۰۰۰	۸۰/۰۴۰۰	۱	۰/۴۴۱۴	-۰/۰۱۸۶	۰/۴۶۰۱
۲۰۰	۱۶۷/۲۸۰۰	۲	۰/۳۹۶۹	-۰/۰۳۵۸	۰/۴۳۲۷
۶۰۰	۱۰۰/۴۹۰۰	۱	۰/۲۱۱۳	-۰/۰۱۰۰	۰/۲۲۱۳
۴۰۰	۱۲۸/۱۶۰۰	۱	-۰/۰۳۴۰	۰/۰۰۱۸	-۰/۰۳۵۹
۵۰۰	۱۴۷/۷۰۰۰	۱	-۰/۱۷۷۰	۰/۰۱۲۰	-۰/۱۸۷۲
>۱۰۰۰	۱۰۵۶/۷۲۰۰	۱	-۲/۱۵۰۶	۰/۵۰۹۹	-۲/۶۶۰۵



شکل ۸ - نقشه دوتایی گسلهای منطقه مورد مطالعه [۵]

## نتیجه گیری

با توجه به کلیه بررسیهای انجام شده و نیز با توجه به نقشه شماره ۹ دو منطقه ۱ و ۲ به عنوان بهترین مناطق برای اکتشافات بعدی معرفی می شوند. منطقه ۱ داخل دولومیت ها و آهکها قرار دارد که با توجه به وضعیت زمین شناسی و اندیسهایی مشاهده شده و نیز با توجه به اینکه روش وزنه‌های نشانگر گسله‌های موجود در منطقه را به عنوان مناطق دارای بیشترین احتمال کانی سازی (حدود ۷۰٪) معرفی کرده است، این منطقه برای پی جویی سرب، روی، مس و طلا در الویت اول قرار می گیرد. منطقه ۲ نیز دارای بالاترین احتمالات بوده و با توجه به وضعیت زمین شناسی برای پی جویی سرب، روی و مس مناسب بوده و در الویت دوم می باشد. بنابراین اندیسه‌های معدنی در منطقه را می توان به صورت کانی سازی سرب، روی و مس داخل دولومیتها و آهکها و احتمالاً از نوع اسکارن یا رگه ای و وجود طلا را نیز احتمالاً داخل دولومیتها به همراه سرب و روی و یا به همراه رگه های سیلیسی پیش بینی کرد.



شکل ۹- نقشه نشان دهنده احتمال تجربی وجود نقاط کانی سازی در منطقه [۵]





## مراجع

- [1] Bonham-Carter, G.F., (1994), "Geographic information system for Geoscientists", Modelling with GIS, Geological survey of Canada.
- [2] Bonham - Carter, G.F., (1995), " Geological applications of GIS mineral mapping", CRCAMET, Department of exploration Geophysics: Curtin university of technology, Western Australia.
- [۳] لطفی، محمد، (۱۳۷۹)، " بررسی زمین شناسی و ذخایر معدنی در نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ چهارگوش ماهنشان"، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- [۴] صادقی، محمد و فنودی، محمد، (۱۳۷۹)، "طرح پی جویی کانی سازی سرب و روی تیپ انگوران در محدوده ۴۰۰۰ کیلومتر مربع"، شرکت توسعه معادن روی ایران، با مشاوره سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، گزارش سازمان زمین شناسی و اکتشاف معدنی کشور.
- [۵] یوسفی، مهیار، (۱۳۸۱)، "مدل سازی پتانسیل معدنی ناحیه ماهنشان با استفاده از GIS و بررسی ژئوشیمیایی رسوبات رودخانه ای"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده معدن و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.