

کاربرد مدل سازی به روش شاخص همپوشانی در شناسایی آثار دگرسانی گرمابی در منطقه رامند قزوین

سعید عباسزاده

کارشناس ارشد مهندسی معدن (اکتشاف)، گروه مهندسی معدن، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره) قزوین

سید رضا مهرنیا

دانشیار گروه زمین شناسی، دانشگاه پیام نور، ایران

تاریخ دریافت: ۹۵/۹/۲۷ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۱/۲۹

srmehrnia@yahoo.com

چکیده

منطقه رامند بخشی از نوار ماگمایی ارومیه- دختر (زون ساختمانی ایران مرکزی) است که از نظر جغرافیایی در جنوب غربی شهرستان بوین زهرا و جنوب دانسفهان قرار دارد. این منطقه دارای سنگ‌های آذرین اسیدی با ترکیب ریولیت و ریوداسیت است. آثار دگرسانی رس و تعدد رگه‌های سیلیسی در سنگ‌های آتشفشانی مشاهده می‌گردند. در این مطالعه با استفاده از روش شاخص همپوشانی و تلفیق داده‌های مکانی، نقشه پیش داوری از وضعیت پتانسیل‌های معدنی (منشاء گرمابی) بدست آمده است. لایه‌های مورد استفاده شامل اطلاعات زمین‌شناسی، زمین‌ساختی، تصاویر ماهواره‌ای و شواهد کمی حاصل از سنجش‌های ژئومغناطیسی هستند که پس از پردازش مقدماتی داده‌ها و تولید نقشه‌های پربندی (لایه‌های نشانگر)، فایل‌های شبکه متناسب با معیارهای شاخص، تلفیق و برای تحقق اهداف اکتشافی منطقه رامند آماده شده‌اند. بدین ترتیب آثار دگرسانی و کانه‌زایی با تاکید بر توان معدنی ذخایر گرمابی به صورت نقشه پیش داوری معرفی گردیدند که این امر، فاز اکتشافات مقدماتی را تسریع و جنبه کاربردی این تحقیق را اثبات نمود. در این نقشه نواحی مستعدی وجود دارند که از اولویت پی‌جویی ذخایر فلزی در عمق رخساره‌های دگرسانی برخوردارند. لذا در پایان تحقیق برخی از نتایج و پیشنهادات کاربردی به منظور ادامه عملیات اکتشاف (در فاز تفصیلی) ارائه شده‌اند.

کلمات کلیدی: دگرسانی گرمابی، شاخص همپوشانی، پتانسیل معدنی، رامند، قزوین.

مقدمه

نخستین گام در تشخیص پتانسیل‌های معدنی یک منطقه، استفاده از معیارهای زمین‌شناسی، زمین‌ساختی، دورسنجی و ژئوفیزیکی است که در خلال پی‌جویی ناحیه‌ای منطقه مورد نظر و با بهره‌گیری از روش‌های آماری و تحلیل داده‌های مکانی (در محیط GIS) موجبات شناسایی دگرسانی‌ها و آثار معدنی مرتبط با آنها را فراهم می‌نماید. در واقع تلفیق و تحلیل اطلاعات مکانی به همراه الگوبرداری از معیارهای اکتشافی، احتمال شناسایی مناطق امیدبخش معدنی را افزایش می‌دهد. سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی، محیط مجازی مناسبی را برای طراحی الگوهای معتبر اکتشافی فراهم می‌آورند (سن سلیمانی و همکاران، ۱۳۸۹). در واقع استفاده از تحلیلگر مکانی GIS، موجبات ساماندهی، پردازش و تلفیق معیارهای زمین‌شناسی، زمین‌ساختی، ژئوشیمیایی و ژئوفیزیکی را فراهم نموده و پتانسیل‌های معدنی یک منطقه را در قالب نقشه‌های پیش داوری (فایل شبکه) معرفی می‌نماید (Bonham, 1998). این تحقیق با بکارگیری روش شاخص همپوشانی و استفاده بهینه از سوابق اکتشافی منطقه رامند (تاکید بر شواهد دورسنجی و یافته‌های ژئومغناطیسی)، پتانسیل‌های معدنی آن را بازبینی نموده و نقشه پیش داوری ذخایر گرمابی را با تاکید بر مکان هندسی رخنمون‌های دگرسانی ارائه کرده است. در واقع هدف از این پژوهش، تعیین مناطق اولویت‌دار و امیدبخش معدنی با استفاده از نقشه پتانسیل مطلوب تولید شده به روش شاخص همپوشانی است. مدل‌سازی شامل سه مرحله: جمع‌آوری و تشکیل پایگاه داده‌های مکانی، تجزیه و تحلیل داده‌ها و تلفیق آنها با استفاده از رابطه شاخص همپوشانی است.

روش مطالعه

اولین گام پروژه‌های اکتشافی، تهیه نقشه معتبری از پتانسیل‌های معدنی یک منطقه در رابطه با تمرکز ترجیحی یک یا چند عنصر مشخص (تیومورفیک) می‌باشد که در نهایت منجر به ارائه مدلی اکتشافی از ذخایر موجود می‌گردد. مراحل عملی تولید مدل‌های اکتشافی با استخراج داده‌های مفید از بانک اطلاعات مکانی یک منطقه آغاز شده و با پردازش مقدماتی و تکمیلی متغیرهای زمین‌شناسی، ژئوشیمیایی و ژئوفیزیکی ادامه می‌یابد. تلفیق داده‌ها که از آن به عنوان تلفیق اطلاعات مکانی در محیط GIS نام برده می‌شود، سازوکاری منطقی است که با استناد بر محاسبات ریاضی، نقاط اشتراک و افتراق معیارهای اکتشافی را ارزیابی نموده و نتایج متناسب با سوزه را در قالب فایل‌های رستری (سلولی) ارائه می‌نماید (Bonham, 1998). پیش شرط لازم برای دستیابی به نقشه پتانسیل‌های معدنی یک منطقه، وزن‌دهی متناسب با ارزش داده‌های مکانی است که این مهم متأثر از نوع و نحوه دسته‌بندی داده‌ها در محیط GIS می‌باشد (Hosseinali and Alesheikh, 2008). سازوکار تلفیق داده‌ها با توجه به روش‌های متفاوت و جداگانه‌ای که برای تخمین اوزان نقشه‌های نشانگر به کار می‌روند به دو دسته داده محور و دانش پایه تقسیم می‌گردند (Bonham Carter, 1998). روش‌های متکی بر داده‌ها، برای محاسبه میزان همبستگی معیارهای اکتشافی از اصول آماری و زمین ریاضی استفاده می‌نمایند. تخمین همبستگی به روش نشانگر وزنی، رگرسیون منطقی و تولید شبکه‌های عصبی در زمره مهم‌ترین روش‌های داده محور هستند. در حالی که در روش‌های دانش پایه، اوزان اختصاص یافته به لایه‌های شاهد مبتنی بر نظر کارشناسان خبره بوده و با در نظر گرفتن دانش فنی و تجربه

سیالات گرمایی به سطح زمین موثر بوده‌اند (مسعودی، ۱۳۶۹). توده‌های نفوذی موجود در منطقه که از نظر پراکندگی بسیار کم هستند، در بعضی مناطق باعث دگرسانی و کانی‌سازی شده‌اند، عموماً در ائوسن- الیگوس تشکیل شده‌اند و شامل دیاباز و دایک‌های آندزیتی هستند. ولکانیسم این منطقه شامل انواع ریولیتی، ریوداسیتی، توف‌های ریوداسیتی، توف بلورین و گدازه‌های جریان‌ی است (شکل ۱). علاوه بر رخساره‌های ماگمایی ذکر شده، رخنمون‌های متعدد و پراکنده از رسوبات کواترنری (عهد حاضر) در منطقه رامنند مشاهده می‌گردند که اغلب آنها در خلال فعالیت‌های هیدرومورفیک (بصورت آلوویال) تشکیل شده‌اند. اغلب واحدهای آتشفشانی رامنند (با ترکیب اسیدی تا حد واسط) تحت تاثیر سیالات گرمایی بوده و آثار دگرسانی مشهودی دارند. هاله‌های دگرسانی از گسترش نسبتاً خوبی برخوردار بوده و شامل انواع ترکیبات رسی (آرژیلیک)، اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن (همیافتی گوتیت- لیمونیت- هماتیت) به همراه سیلیسی شدن پراکنده هستند و به طور عمده بر روی واحد میزبان اصلی منطقه یعنی سنگ‌های آذرین ریوداسیتی و ریولیتی، توف ریوداسیتی، توف بلورین و گدازه‌های جریان‌ی ریوداسیتی مشاهده می‌شوند. حضور توام هاله‌های دگرسانی و رابطه مکانی آنها با محل تلاقی سامانه‌های گسلی، از علایم شکل‌گیری فازهای پساماگمایی و تولید سیالات کانه‌دار با منشأ گرمایی است که موجبات دگرسانی سنگ‌ها و کانه‌زایی نوع رگه‌ای را فراهم نموده است (Ezzati et al., 2014). وفور آثار معدنی کائولن در زمره شواهد مهم زمین شناسی است که بیانگر حضور سیالات گرمایی و تاثیر وسیع آنها در شستشوی اسیدی سنگ‌های منطقه است (اقلیمی و همکاران، ۱۳۷۸).

بحث و بررسی

پیش دآوری پتانسیل‌های معدنی یک منطقه با استفاده از عملیات تلفیق داده‌ها در محیط GIS صورت می‌گیرد که با توجه به اهمیت هر داده و سازوکار تاثیر آن بر سایر داده‌ها، وزن‌دهی متفاوتی انجام می‌شود. در این رابطه و پس از تشکیل پایگاه اطلاعاتی مورد نظر، برخی از پردازش‌های متداول از قبیل کلاسه‌بندی مجدد فایل‌های شبکه و ایجاد شعاع اثر مناسب در اطراف گسل‌ها و عوارض برداری مرتبط با پدیده‌های دگرسانی- کانه‌زایی انجام می‌شود تا وزن‌دهی معیارهای اکتشافی تنها در قالب فایل‌های رستری (سلولی) متعارف (استاندارد) باشد (Bonham Carter, 1998). از دیدگاه زمین ریاضی، منطق حاکم بر تحلیل‌های مکانی، نیازمند تولید لایه‌های اطلاعاتی با قالب رستری است که در همه آنها از شبکه‌های هم بعد (ایزومتری) و کمیت‌های معین برای توصیف پدیده مورد نظر استفاده می‌شود (Bonham Carter, 1998). در نتیجه، عملیات اشاره شده بر روی تمامی داده‌ها اجرا شده که در ادامه به آنها اشاره شده است:

لایه اطلاعاتی واحدهای زمین‌شناسی

از لایه‌های با اهمیت در تهیه نقشه پتانسیل معدنی یک منطقه، نقشه واحدهای زمین‌شناسی است. برای تولید لایه اطلاعاتی واحدهای زمین‌شناسی از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ دانسفهان (اقلیمی و همکاران، ۱۳۷۸) استفاده گردید که بعد از برازش مکانی با نواحی مستعد رامنند، امکان تولید فایل‌های برداری از سازندهای مرتبط با رویداد دگرسانی و کانه‌زایی فراهم شده است (شکل ۱).

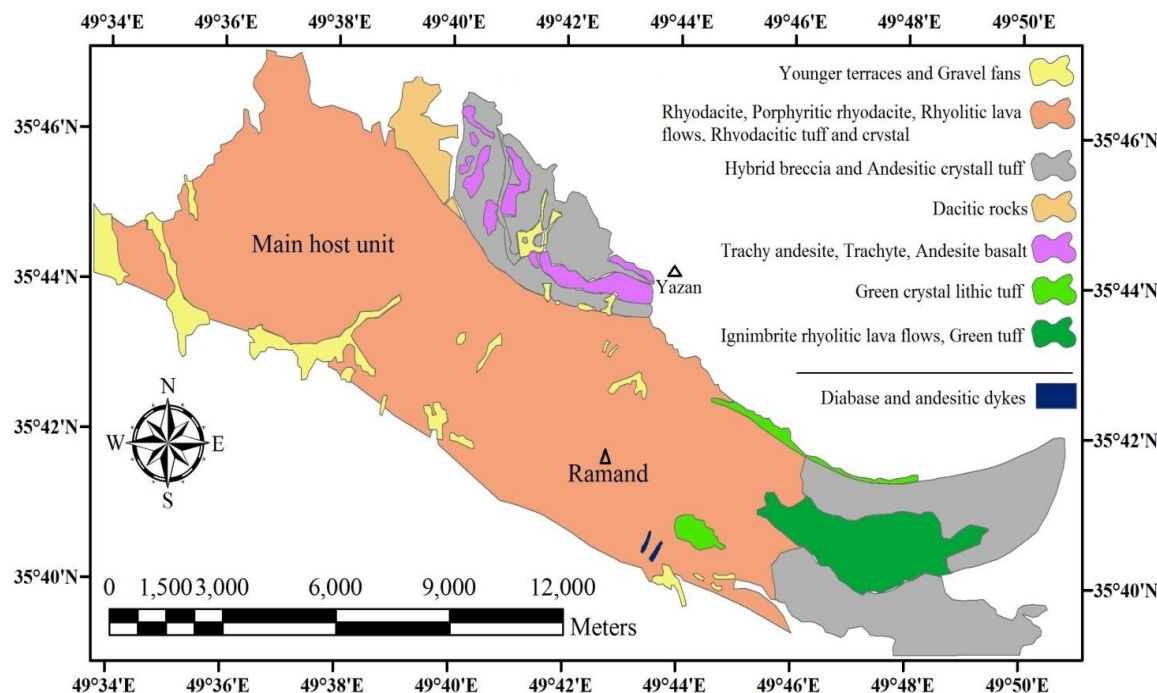
آنها تبیین می‌گردند (Ziiai et al., 2009). به عبارت دیگر، در مناطقی که از سابقه اکتشافی زیادی برخوردار نیستند، اولویت مدل‌سازی با روش‌های دانش پایه بوده و در مقابل برای مناطقی که از پایگاه داده‌های مطلوبی (حجم و تنوع زیاد) برخوردارند، استفاده از روش‌های داده محور توصیه شده است (Harris et al., 2001). منطق بولین، شاخص همپوشانی، الگوریتم فازی، نمودارهای درخت تصمیم‌گیری، نظریه دمپستر- شفر و روش تحلیل سلسله مراتبی در زمره متداول‌ترین روش‌های دانش پایه می‌باشند که با توجه به نوع و حجم داده‌های مکانی این تحقیق (داده‌های زمین‌شناسی، دورسنجی، ژئوفیزیکی و زمین‌ساختی)، پیش فرض استفاده از روش شاخص همپوشانی برای تولید نقشه پتانسیل‌های معدنی منطقه رامنند مد نظر می‌باشد. در این روش براساس اهمیت و ارزش هر کدام از لایه‌های اطلاعاتی، امتیاز مشخصی بین صفر تا ده داده می‌شود و اگر یک لایه اطلاعاتی خود از چند بخش یا کلاس تشکیل شده باشد، هر کدام هم یک ضریب بین لایه‌ای می‌گیرد و در آخر براساس صحت و دقت داده‌هایی که از آنها استفاده می‌شود، وزن مشخصی به آنها داده می‌شود و طبق رابطه (۱) نقشه نهایی بدست می‌آید:

$$\bar{s} = \frac{\sum_i^n s_{ij} w_i}{\sum_i^n w_i} \quad (1)$$

که \bar{s} امتیاز وزن شده برای موضوع یا عارضه، w_i وزن i امین نقشه یا داده ورودی، s_{ij} امتیاز j امین کلاس از i امین نقشه یا داده است. مقدار j نیز به کلاسی که به‌طور واقعی در موقعیت جاری موجود است، بستگی دارد (توکل و همکاران، ۱۳۹۲). در واقع در این مدل علاوه بر وزن‌دهی به هر واحد در لایه‌های اطلاعاتی، به هر لایه اطلاعاتی نیز بر اساس اهمیت خود وزن خاصی داده می‌شود. نتیجه نهایی این مدل که از ابزارهای نیرومند در محیط GIS می‌باشد، به این صورت است که ارزش هر پیکسل در نقطه خروجی مجموع ارزش پیکسل‌های لایه‌های ورودی در همان نقطه است که به نسبت ضریب اهمیت آن لایه افزایش یافته‌اند (بمانی و همکاران، ۱۳۹۵).

زمین‌شناسی منطقه رامنند

منطقه رامنند بخشی از استان قزوین است که در جنوب غربی شهرستان بوئین‌زهرها و ضلع جنوبی دانسفهان قرار دارد. این منطقه متعلق به گوشه شمال غربی نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ ساوه بوده و در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ (خیراج)، در مرکز نقشه زمین‌شناسی دانسفهان مشاهده می‌گردد. راه دسترسی به منطقه از مسیر تهران، جاده شهریار، اشترارد، بوئین‌زهرها و دانسفهان است (اقلیمی و همکاران، ۱۳۷۸). با توجه به ناحیه‌بندی رسوبی- ساختاری فلات ایران، منطقه رامنند در حاشیه شمال غربی ایران مرکزی قرار گرفته و از دیدگاه زمین ساخت صفحه‌ای متعلق به زون ارومیه- دختر است. کوه‌های رامنند با وسعت تقریبی ۷۰ کیلومتر مربع بین مدارهای ۴۲' ۳۵" تا ۴۵' ۳۵" شمالی و ۳۷' ۳۷" تا ۴۹' ۴۵" شرقی واقع شده‌اند. این کوه‌ها در واقع چند رشته موازی هم هستند که از شمال غربی به جنوب شرقی امتداد یافته و تا اندازه‌ای دارای توپوگرافی خشن هستند (اقلیمی و همکاران، ۱۳۷۸). گسل حسن‌آباد مهم‌ترین و قدیمی‌ترین پدیده ساختمانی این منطقه است که از شرق تا غرب گسترش یافته و در ضلع شمالی آن توپوگرافی نسبتاً خشن (و مرتفع) مشاهده می‌گردد (کوه رامنند). این گسل متأثر از حرکات نوزمین‌ساختی پالئوژن بوده و در دوره کواترنری تجدید فعالیت نموده است. انشعابات جدیدی از گسل حسن‌آباد با روند غالب شمال غربی- جنوب شرقی در منطقه مورد مطالعه یافت شده‌اند که اغلب آنها در شکل‌گیری سازوکارهای تفریق ماگمایی و نفوذ



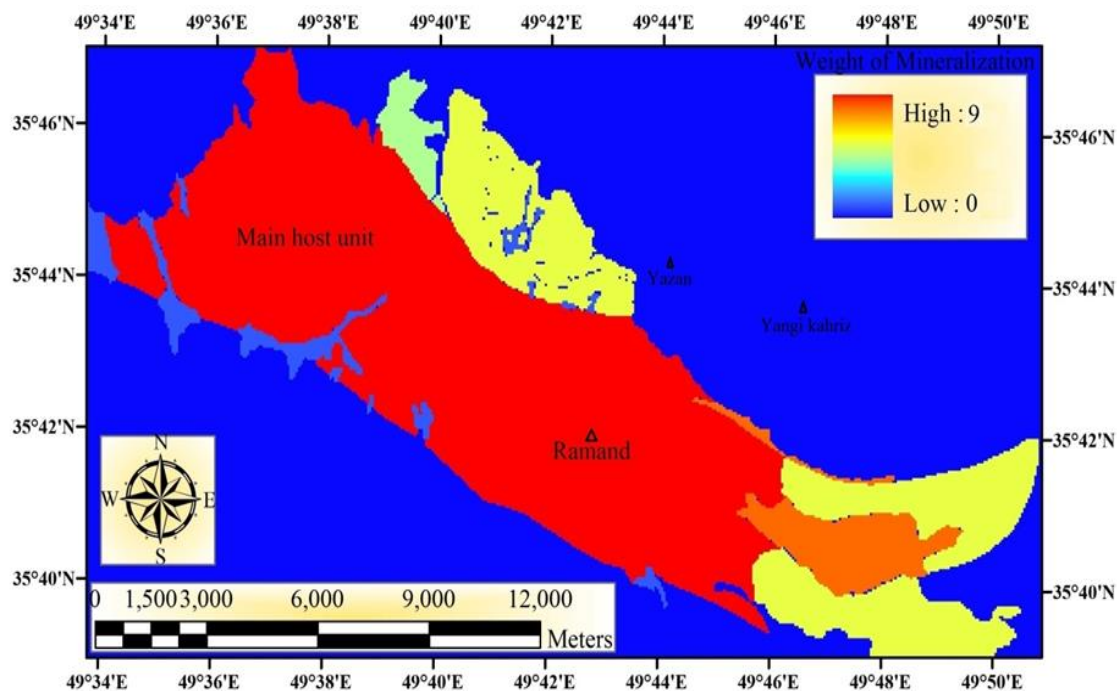
شکل ۱. نقشه واحدهای زمین‌شناسی در منطقه رامند (واحد میزبان اصلی: شامل سنگ‌های آذرین ریوداسیتی و ریولیتی، توف ریوداسیتی، توف بلورین و گدازه‌های جریان ریوداسیتی می‌باشد) (اقلیمی و همکاران، ۱۳۷۸)

بر اساس شرایط میزبانی، رخداد کانه‌زایی (از نوع گرمایی به صورت فلزی نظیر مس، سرب و روی و... و غیر فلزی نظیر کائولن، باریت و...)، پیدایش آثار دگرسانی (با منشأ گرمایی) و توزیع سامانه‌های گسلی - متقاطع بوده است.

بعد از دستیابی به فایل‌های برداری، سازوکارهای لازم برای ایجاد شعاع اثر مناسب فراهم گردید تا طبق مندرجات (جدول ۱)، وزن‌دهی لایه‌ها با استناد بر سوابق زمین‌شناسی منطقه باشد. نتیجه این پردازش‌ها، تولید نقشه نشانگر (فاکتور) واحدهای زمین‌شناسی است که مطابق (شکل ۲) ارائه شده است. در این شکل، ملاک امتیازدهی به واحدهای زمین‌شناسی رامند

جدول ۱. وزن‌دهی براساس روش شاخص همپوشانی به واحدهای زمین‌شناسی منطقه رامند

واحد اصلی	واحد فرعی	واحد مشاهده شده در منطقه	واحد مشاهده شده در اطراف منطقه	وزن
واحد اصلی	واحد فرعی	ریوداسیت، ریوداسیت پورفیری، جریان‌های گدازه ای ریولیتی، توف ریوداسیتی و توف کریستالی	۹	
		توف لیتیک کریستالی سبز رنگ	۸	
واحد فرعی	واحد فرعی	تراس‌های جوان و شن‌های دانه‌ای	۱	
		جریان‌های گدازه ای ایگنیمبریت ریولیت، توف سبز رنگ	۶	
واحد فرعی	واحد فرعی	برش هیبریدی و توف آندزیتی کریستالی	۵	
		تراکی آندزیت، تراکیت، بازالت آندزیت	۴	
		سنگ‌های داسیتی	۳	



شکل ۲. نقشه نشانگر مربوط به لایه واحدهای زمین شناسی رامند (اولویت اکتشافی لایه‌های زمین شناسی به روش شاخص همپوشانی تعیین شده است به طوری که رنگ قرمز (بیشترین: ۹) نشان دهنده بیشترین و رنگ زرد (کمترین: ۱) بیانگر کمترین تاثیر در کانی‌زایی است)

لایه اطلاعاتی دگرسانی‌های گرمایی:

با این روش دو سری متمایز از بردارهای شاخص تولید می‌شوند که مطابق (جدول ۲) با حروف F (بردار شاخص اکسیدهای آهن) و H (بردار شاخص کانی‌های رسی) معرفی شده‌اند. هر گروه متمایز از بردارهای شاخص دارای چهار مولفه است که بر اساس پیشنهاد کروستا و مور (Crosta and Moore, 1989)، تنها مولفه چهارم هر یک از گروه‌های ذکر شده (PC_4) برای تولید باندهای ترکیبی و شناسایی هاله‌های دگرسانی (با منشا گرمایی) استفاده می‌شوند. در ادامه از یک عملیات محاسباتی ساده برای جمع بردارهای متمایز استفاده گردیده تا مولفه طیفی $H+F$ برای دستیابی به ترکیبات باندهای مورد نظر فراهم شود.

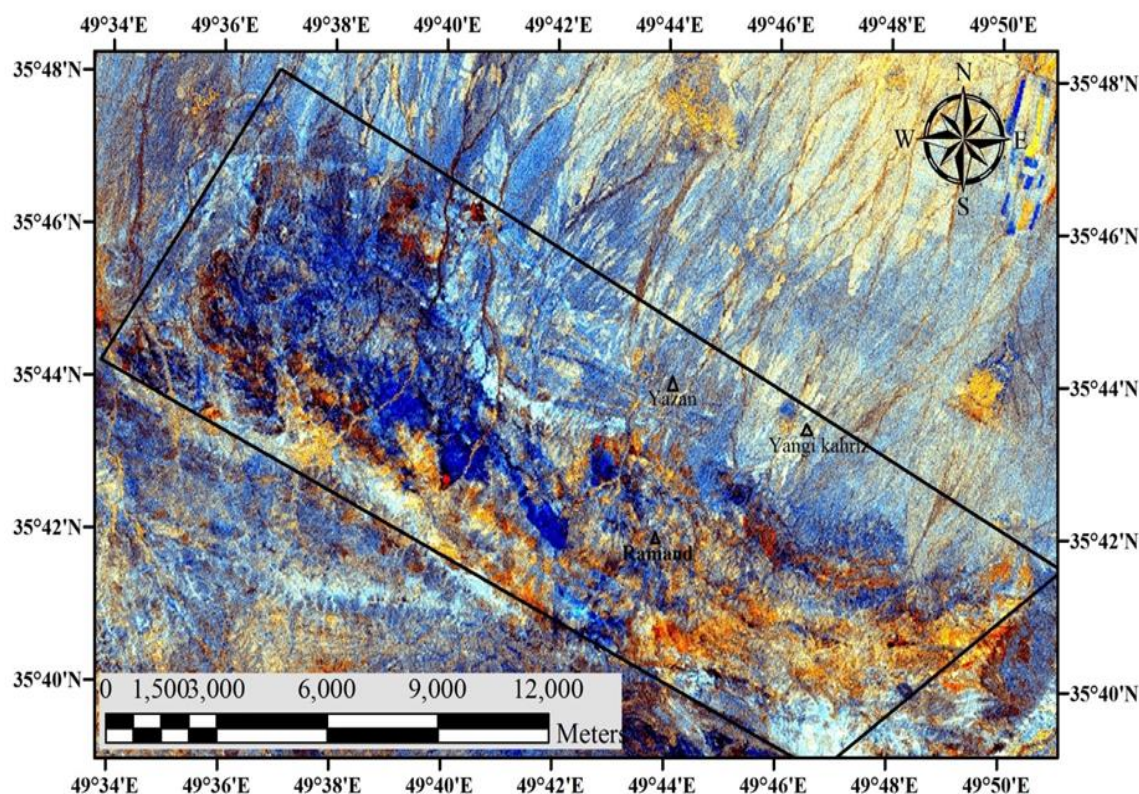
جدول ۲. نتایج روش کروستا به صورت ترکیب باندهای رنگی در منطقه رامند ($F(PC_4)$ = بردار متمایز مرتبه چهارم مربوط به تغییرات طیفی اکسیدهای آهن در فیلتر آبی، $H(PC_4)$ = بردار متمایز مرتبه چهارم مربوط به تغییرات طیفی کانی‌های رسی در فیلتر قرمز، $H(PC_4)+F(PC_4)$ = بردار متمایز مرتبه چهارم مربوط به تغییرات طیفی کانی‌های رسی و اکسیدهای آهن در فیلتر سبز)

آبی	سبز	قرمز
$F(PC_4)$	$H(PC_4)+F(PC_4)$	$H(PC_4)$

با توجه به فرمول ارائه شده در جدول فوق، ترکیب رنگی کروستا مطابق (شکل ۳) حاصل می‌شود. در این شکل، رنگ قرمز (و قهوه‌ای) معرف هاله‌های رسی و رنگ آبی معرف هاله‌های اکسید و هیدروکسید آهن است. رنگ سبز نیز طبق جدول فوق، معرف هاله تجمع از رس و اکسید آهن است که البته این رنگ در (شکل ۳) دیده نمی‌شود.

شناسایی و تشخیص دگرسانی‌ها به روش دورسنجی یکی از ابزارهای کارآمد در اکتشافات معدنی بوده و کانسارهایی که از هاله‌های وسیع دگرسانی برخوردارند، به خوبی در تصاویر ماهواره‌ای مشاهده می‌گردند. برای شناسایی دگرسانی‌های گرمایی منطقه رامند از تصاویر سنجنده ETM^+ متعلق به ماهواره لندست ۷ استفاده گردید. بنابراین از دو روش تحلیل مولفه‌های اصلی انتخابی (Crosta and Moore, 1989) و نسبت‌گیری باندهای M-ratio (مهرنیا، ۱۳۹۴) برای دستیابی به اهداف تحقیق استفاده شده است.

روش کروستا: این روش مبتنی بر تحلیل مولفه‌های اصلی انتخابی (SPCA) بوده و قادر است براساس طیف‌های الکترومغناطیس بازتاب شده از سطح زمین، دگرسانی گرمایی را در یک منطقه مستعد شناسایی نماید. برای این منظور پیش‌فرض کروستا داده‌های سنجنده ETM^+ (متعلق به ماهواره لندست ۷) بوده و مبنای نظری آن حضور توام هاله‌های رسی و اکسید آهن در مناطق خرد شده (محل تلاقی سامانه‌های گسلی جوان) و بر روی سازندهای ماگمایی است. کاهش تعداد باندهای ورودی برای تعیین یک مولفه اصلی برای رده‌های کانی‌شناختی خاص، از اصول کلیدی این روش است. بنابراین به منظور انتخاب باندهای موثر و نیز حذف دیگر باندها، از ماتریس همبستگی بین باندها استفاده می‌شود. الگوریتم کروستا در پردازش باندهای سنجنده ETM^+ به این نحو است که از باندهای ۱، ۴، ۵، ۷ به منظور نقشه‌برداری هاله‌های رسی و از باندهای ۱، ۳، ۴، ۵ به منظور نقشه‌برداری اکسیدهای آهن استفاده می‌کند تا ماهیت هاله‌های دگرسانی اطراف توده نفوذی را مشخص نماید.



شکل ۳. تصویر ETM^+ حاصل از تحلیل مولفه‌های اصلی انتخابی به روش کروستا در منطقه رامند (در چهارگوشه مورد مطالعه، آثار دگرسانی گرمایی به رنگ‌های زرد و نارنجی مایل به زرد هستند)

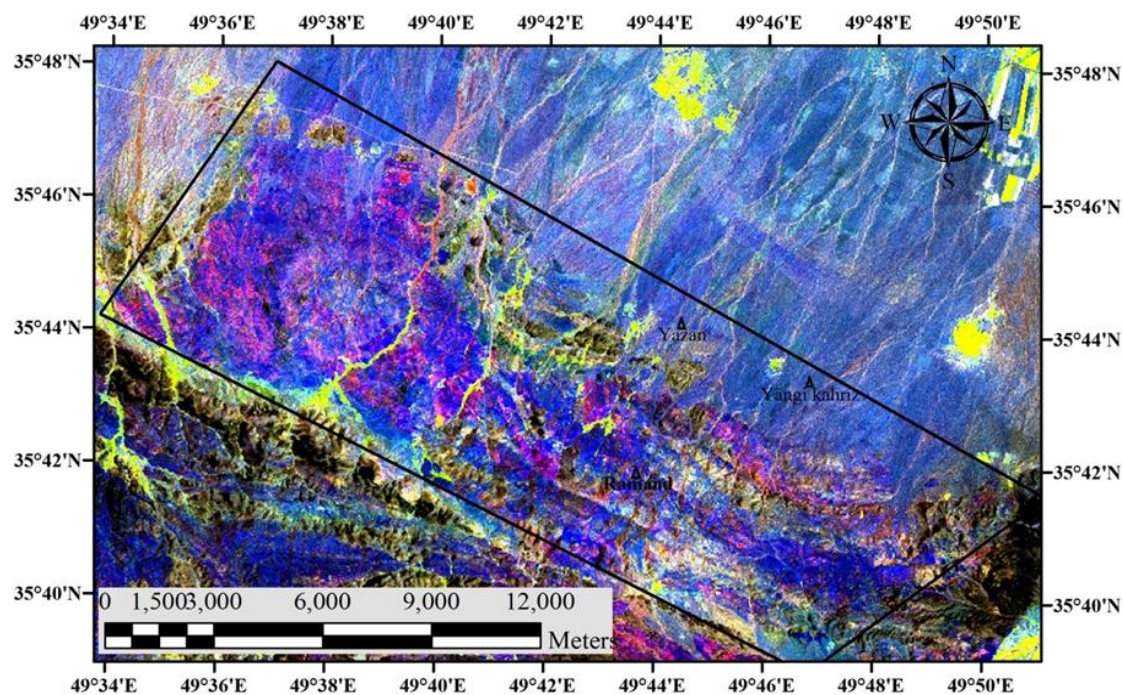
در تصویر کاذب M -ratio، محدوده‌های قرمز و سبز به ترتیب بیانگر سازندهای حاوی اکسیدهای آهن و کانی‌های رسی هستند. رنگ آبی به منظور افزایش با طیف‌های قرمز و سبز بکار رفته و نشان دهنده مناطقی است که فاقد آثار دگرسانی گرمایی هستند.

در (شکل ۴)، مناطق متأثر از دگرسانی گرمایی دارای طیف رنگی زرد تا نارنجی هستند که ناشی از همبستگی اکسیدهای آهن و کانی‌های رسی در محل تلاقی گسل‌ها و نواحی خرد شده است (مهرنیا، ۱۳۹۴). در مقام مقایسه، گسترش هاله‌های دگرسانی در (شکل ۳) (روش کروستا) بیشتر از (شکل ۴) (روش نسبت‌گیری باندی) می‌باشد که برای دستیابی به نتایج دقیق‌تر، از معیارهای طیفی هر دو روش به منظور استخراج لایه‌های دگرسانی و وزن‌دهی آنها در محیط GIS استفاده شده است. چنانچه ذکر گردید، روش M -ratio موجب کاهش تعداد و وسعت دگرسانی‌ها می‌شود، اما در عین حال شاخص طیفی موثری را برای شناسایی سازوکارهای گرمایی منطقه رامند ارائه کرده است. از دیدگاه نظری، رویداد دگرسانی گرمایی محدود به مناطق گسلی و خرد شده پوسته بوده و نسبت به هاله‌های هیدرومورفیک از وسعت و تنوع کمتری برخوردارند (حسنی پاک، ۱۳۸۹). در عمل برای تشخیص آثار دگرسانی منطقه رامند (در مطالعات دورسنجی) از روش برازش مکانی نتایج کروستا و نسبت باندی M -ratio استفاده گردیده تا نتایج همپوشانی عوارض معتبر مطابق (شکل ۵) ارائه شود. این عوارض به عنوان لایه اصلی دگرسانی وارد مراحل مدل‌سازی به روش شاخص همپوشانی شده‌اند.

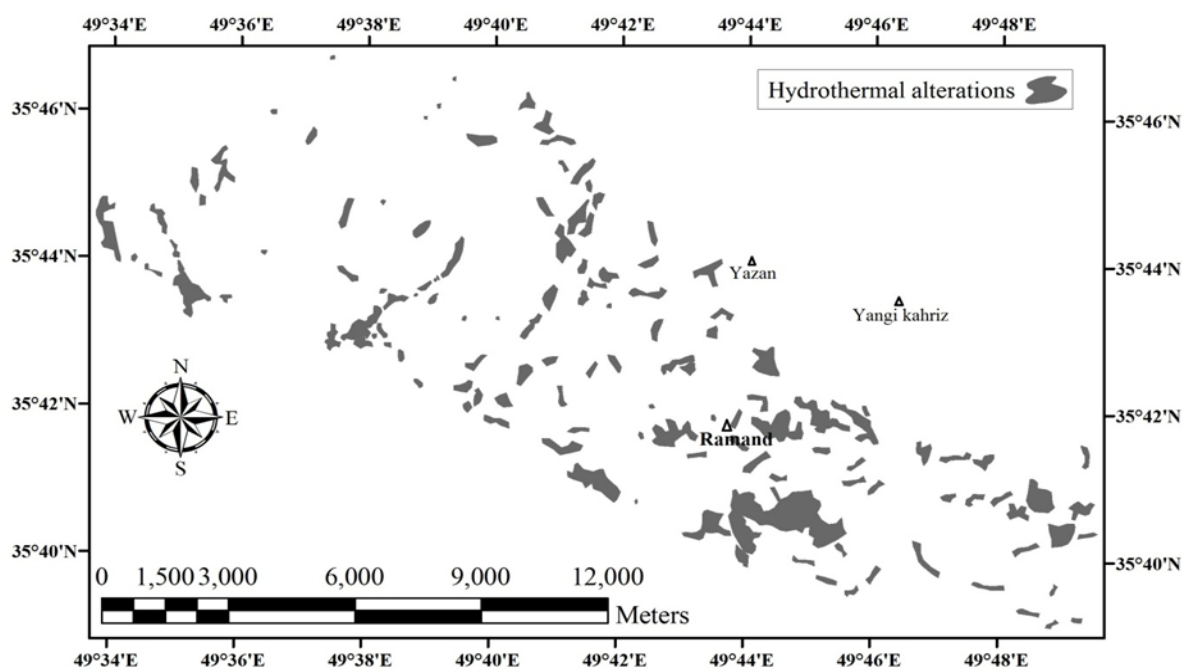
در تصویر فوق، مناطقی که دارای طیف رنگی زرد و نارنجی مایل به زرد هستند بیانگر اجتماع مکانی رس‌ها و اکسیدهای آهن بوده و به دلیل مطابقت مکانی با رخنمون سنگ میزبان (داسیت، ریوداسیت)، معرف آثار دگرسانی با منشأ گرمایی رامند هستند (Crosta and Moore, 1989). روش نسبت‌گیری باندی M -ratio: اخیراً از این روش برای افزایش کنترست تصاویر و بارزسازی تغییرات طیفی مرتبط با پدیده‌های زمین‌شناسی و معدنی استفاده شده است (مهرنیا، ۱۳۹۴). در فرآیند نسبت‌گیری باندی معمولاً از دو گستره طیفی متفاوت استفاده می‌شود تا اختلاف طول موج بیشینه (صورت کسر) و کمینه (مخرج کسر) افزایش یافته و شناسایی عارضه مورد نظر آسانتر گردد (Sabins, 2002). مراحل M -ratio با استفاده از تصاویر سنجنده ETM^+ عبارتند از: تولید نسبت‌های باندی $3/1$ و $5/7$ که به ترتیب برای بارزسازی آثار دگرسانی اکسیدهای آهن و کانی‌های رسی استفاده می‌شوند، تولید نسبت باندی $4/3$ به منظور افزایش تمایز بین مناطق دگرسانی و غیر دگرسانی و نهایتاً ترکیب نسبت‌های باندی بر اساس مندرجات جدول ۳ که بعد از اعمال فیلتر کیفی و بالاگذر IHS مطابق عکس نقشه شکل ۴ ارائه شده است.

جدول ۳. ترکیب نسبت‌های باندی به روش M -ratio با هدف شناسایی مناطق دگرسانی گرمایی در عکس نقشه‌های رنگی منطقه رامند

آبی	سبز	قرمز
۴/۳	۵/۷	۳/۱



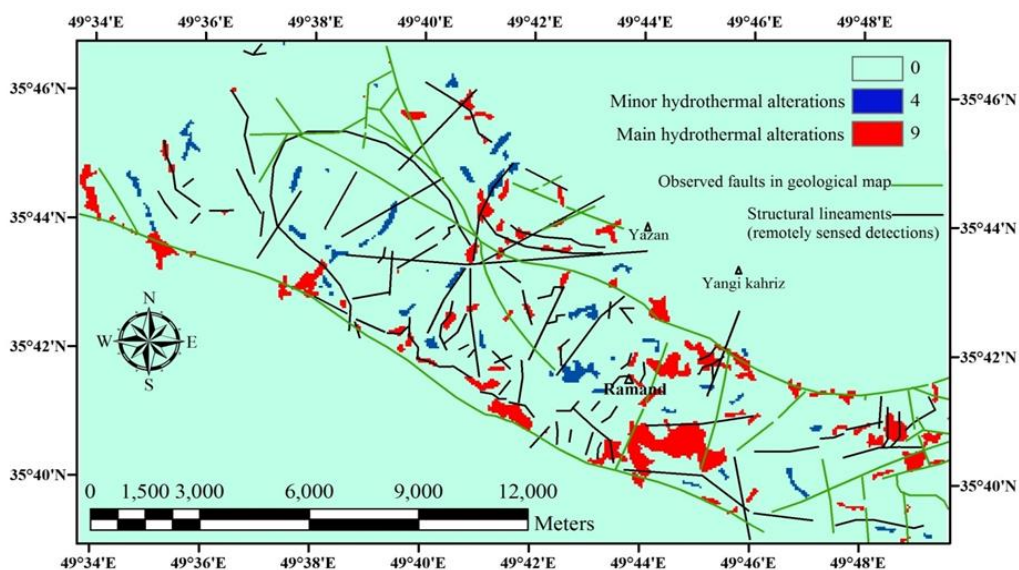
شکل ۴. اعمال روش نسبت گیری M-ratio در تصاویر ETM⁺ منطقه رامند (در مناطق دگرسانی گرمابی در چهار گوشه مورد مطالعه، آثار دگرسانی گرمابی به رنگ زرد تا نارنجی هستند)



شکل ۵. نقشه مناطق دگرسانی گرمابی در منطقه رامند (این نقشه از همپوشانی دو روش کروستا و M-ratio بدست آمده است)

احتمال کانه‌زایی در این مناطق بیشتر است. لذا از این مناطق به عنوان رخنمون‌های اصلی دگرسانی یاد شده و شعاع تاثیر آنها برای مدل‌سازی و تولید نقشه پیش‌دآوری محاسبه گردیده است.

در ادامه از شاخص تلاقی سامانه‌های گسلی و نقش آنها در پیدایش آثار دگرسانی گرمابی استفاده گردیده که نتایج آن در (شکل ۶) ملاحظه می‌گردد. در عمل دگرسانی‌هایی که در محل تلاقی یا در نزدیکی گسل‌ها رویت شده‌اند نسبت به سایر دگرسانی‌ها امتیاز بیشتری افزاز نموده و

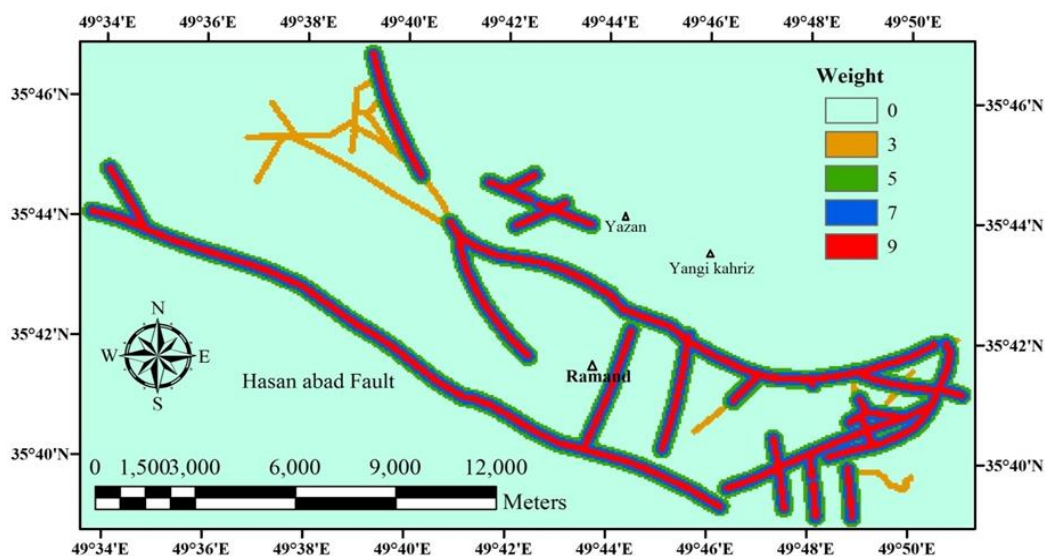


شکل ۶. نقشه نشانگر دگرسانی‌های گرمایی شناسایی شده در منطقه رامند (رنگ قرمز= دگرسانی‌های گرمایی اصلی، رنگ آبی= دگرسانی‌های گرمایی فرعی، رنگ سبز= گسل‌های مشاهده شده در نقشه زمین‌شناسی، رنگ سیاه= خطواره‌های گسلی شناسایی شده از روش دورسنجی)

لایه اطلاعاتی گسل‌های مشاهده شده در نقشه زمین‌شناسی منطقه رامند

ساختمان‌های گسلی از عوامل کنترل‌کننده کانی‌سازی در هر محیط‌های پسامگمایی هستند که معمولاً موجبات حرکت و توسعه سیالات گرمایی را در امتداد محور اصلی گسل یا محل تلاقی آنها (نواحی خرد شده) فراهم می‌نمایند (کریم‌پور و همکاران، ۱۳۹۰). بخشی از الگوی زمین‌ساختی منطقه رامند بر اساس شواهد گسل‌های موجود در نقشه زمین‌شناسی استخراج گردیده (اقلیمی و همکاران، ۱۳۷۸) و در محیط GIS بصورت فایل‌های برداری ذخیره شده است. گسل‌های زمین‌شناسی از اعتبار وزنی بالایی برخوردارند و اساس وزن‌دهی آنها مبتنی بر رابطه مکانی‌شان با رخنمون‌های دگرسانی منطقه است. بدین ترتیب ساختمان‌های گسلی به دو

زیر گروه اصلی و فرعی تقسیم شده‌اند که به نوع اصلی وزن بیشتری داده شده چرا که رابطه نزدیکتری با پدیده دگرسانی گرمایی دارند و احتمال کانی‌زایی در این مناطق بیشتر است (و بالعکس). علاوه بر هاله‌های دگرسانی، از وسعت آثار کانه‌زایی برای ایجاد و افزایش شعاع اثر ساختمان‌های گسلی استفاده شده است. فواصل شعاع تاثیر گسل‌ها ۱۰۰ متر انتخاب شده‌اند و در اطراف ساختمان‌های اصلی سه لایه ۱۰۰ متری (مجموعاً ۳۰۰ متر) توسعه یافته است تا در نقشه نهایی (پیش داوری به روش شاخص همپوشانی)، نقش پدیده‌های ساختمانی در شکل‌گیری دگرسانی‌ها و آثار کانه‌زایی رامند متمایز باشد. (شکل ۷)، الگوی گسلی توسعه یافته در منطقه مورد مطالعه است که آثار ساختمانی آن بر اساس شواهد موجود در نقشه‌های زمین‌شناسی لحاظ شده‌اند.



شکل ۷. نقشه نشانگر مربوط به لایه گسل‌های مشاهده شده در نقشه زمین‌شناسی منطقه رامند با توجه به ملاحظات زمین‌شناسی (محدوده شعاع اثر برای گسل‌های اصلی: رنگ قرمز= ۱۰۰-۲۰۰ متر، رنگ آبی= ۲۰۰-۱۰۰ متر، رنگ سبز= ۳۰۰-۲۰۰ متر) (محدوده شعاع اثر برای گسل‌های فرعی: رنگ نارنجی= ۱۰۰-۰ متر)

لایه خطواره‌های حاصل از داده‌های ماهواره‌ای

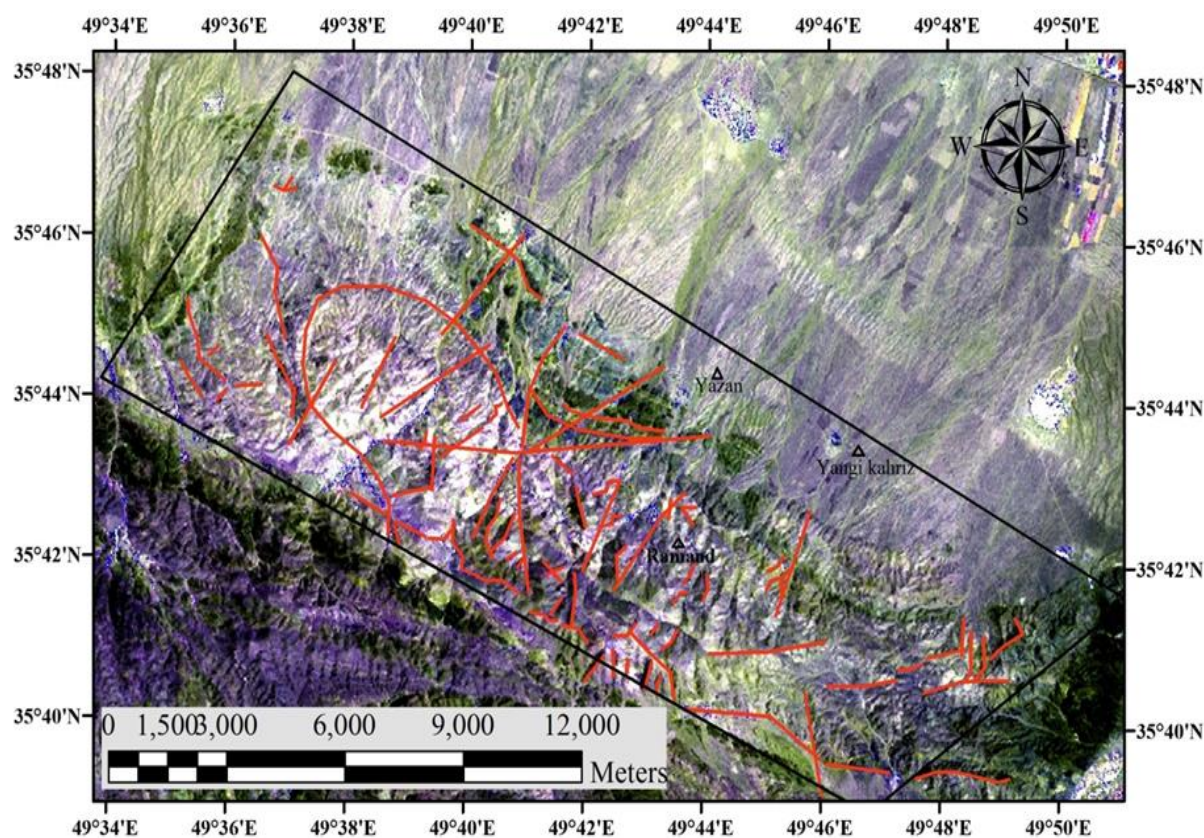
به طور معمول تشخیص خطواره‌های گسلی در تصاویر ماهواره‌ای دشوارتر از نقشه‌های زمین‌شناسی است. نوفه‌های الکترومغناطیسی و پوشش گیاهی برخی از مناطق اکتشافی مانع شناسایی خطواره‌ها با روش‌های دورسنجی می‌شوند (عباسی و یساقی، ۱۳۹۰). در این تحقیق با اعمال فیلتر کیفی IHS در نمایه ترکیبی ۳۲۱، امکان تشخیص خطواره‌های گسلی مطابق (شکل ۸) فراهم شده است.

در بحث خطواره‌های دورسنجی، نظیر آنچه که درباره گسل‌های زمین‌شناسی گفته شد، الگوی توزیع پدیده‌های ساختمانی به دو گروه اصلی و فرعی تقسیم شده و ملاک تقسیم‌بندی و وزن‌دهی آنها مبتنی بر رابطه مکانی خطواره‌ها با آثار دگرسانی منطقه رامند است به طوری که به نوع اصلی وزن بیشتری داده شده چرا که رابطه نزدیکتری با پدیده دگرسانی گرمایی دارند و احتمال کانی‌زایی در این مناطق بیشتر است (و بالعکس). شعاع تاثیر خطواره‌های دورسنجی مطابق (شکل ۹) اعمال شده است. در این شکل، شعاع تاثیر پدیده‌های ساختمانی، به تناسب شعاع هاله‌های دگرسانی و کانه‌زایی منطقه لحاظ گردیده و به صورت فایل شبکه، آماده تلفیق با سایر معیارهای اکتشافی شده است.

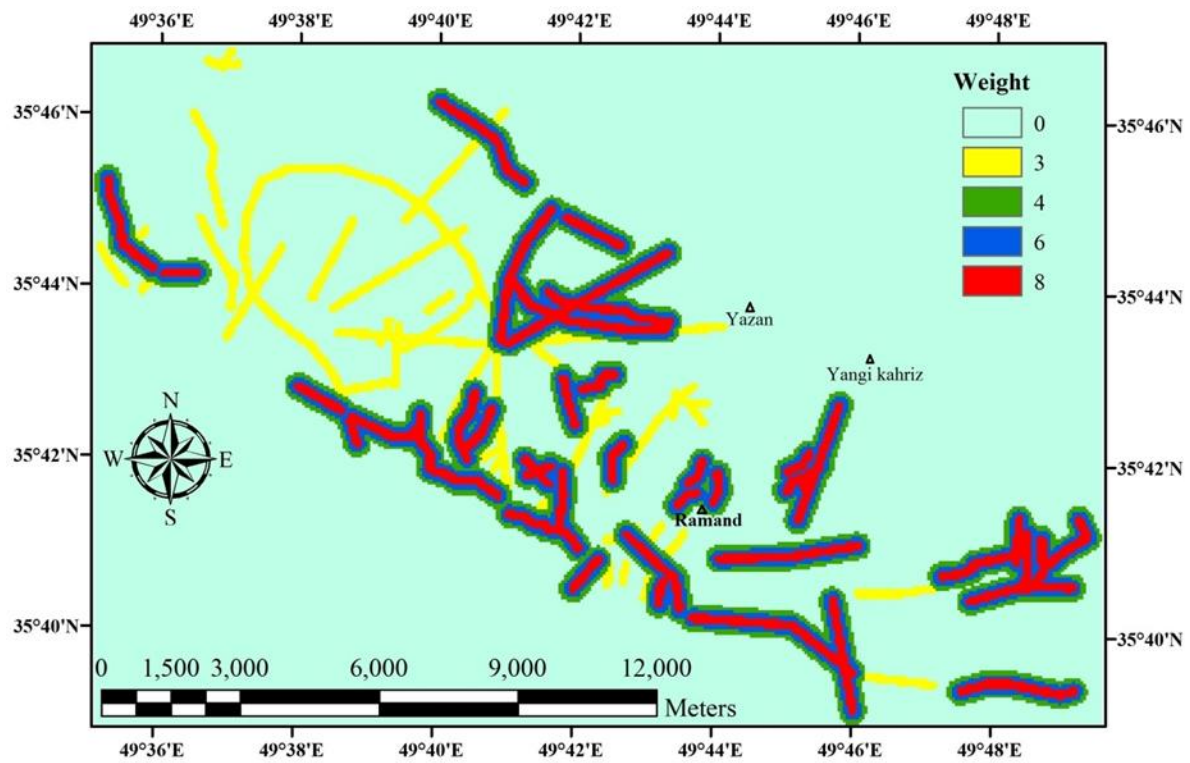
لایه خطواره‌های گسلی مستخرج از داده‌های مغناطیسی هوابرد

سنجش‌های مغناطیسی هوابرد روشی مطمئن و شناخته شده برای تشخیص خطواره‌های گسلی هستند (زمردیان و حاجب حسینی، ۱۳۸۷). مزیت پربندهای مغناطیسی نسبت به سایر شواهد زمین‌ساختی، امکان

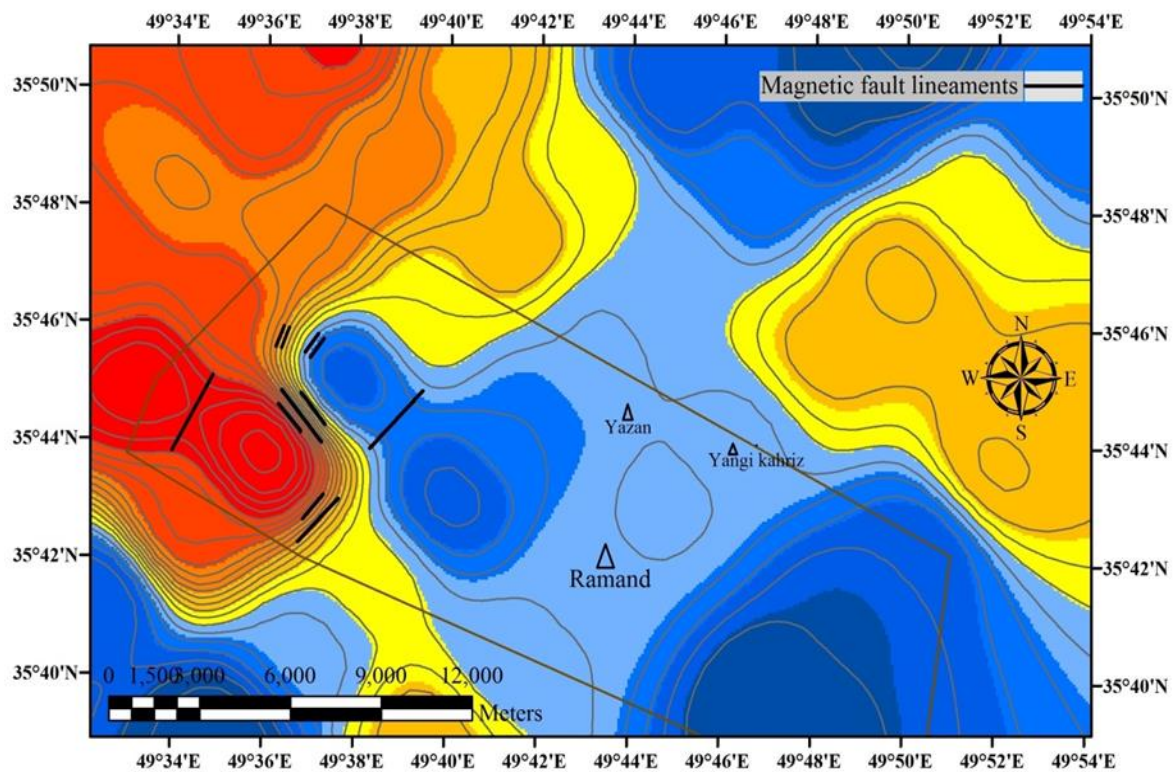
تشخیص خطواره‌های پنهانی است که اغلب آنها در زیر رسوبات جوان کواترنری مدفون شده و تظاهرات سطحی ناچیزی دارند. در این تحقیق از نقشه مغناطیسی هوابرد (تهیه شده در سال ۷۸-۷۹ در مقیاس ناحیه‌ای (۱:۵۰۰۰۰) توسط واحد ژئوفیزیک سازمان زمین‌شناسی، با فواصل برداشت ۷۵۰۰ متر و با فواصل ترمیم برداشت ۵۰۰ متر) برای تشخیص خطواره‌های گسلی آشکار و پنهان منطقه رامند استفاده شده است. عملیات درون‌یابی داده‌های جدول با استفاده از الگوریتم‌های زمین‌ریاضی و تحت سامانه تحلیلگر مکانی GIS صورت گرفته است. (شکل ۱۰) نتایج درون‌یابی داده‌های مغناطیسی و خطواره‌های گسلی آن را نشان داده است. برخی از معیارهای استفاده شده در تشخیص خطواره‌های مغناطیسی عبارتند از: پیدایش گرادیان‌های سطحی ناشی از تغییرات پربندی در مکان‌های هندسی مشخص، شکل‌گیری فابریک‌های خطی در امتداد گرادیان‌های سطحی و مشاهده قطب مغناطیسی در طرفین پربندهای متراکم (فدوی و مهرنیا، ۱۳۹۳). بر اساس ملاحظات تجربی، اغلب خطواره‌ها دارای اشکال منقطع بوده و به صورت زوج‌های موازی با هم یافت می‌گردند (شعاع اثر دارند). خطواره‌هایی که با مکان هندسی گسل‌های زمین‌شناسی مطابقت دارند، به عنوان نشانه ژئوفیزیکی مرتبط با گسلش منظور می‌گردند. در مقابل خطواره‌هایی هستند که با آثار گسل‌های زمین‌شناسی مطابقت نداشته و به عنوان عوارض ساختمانی پنهان (با ضریب اطمینان کمتر) ثبت می‌گردند.



شکل ۸. تشخیص خطواره‌های گسلی (به رنگ قرمز) بر روی تصویر RGB=۳۲۱ تولید شده از منطقه رامند با اعمال فیلتر IHS.



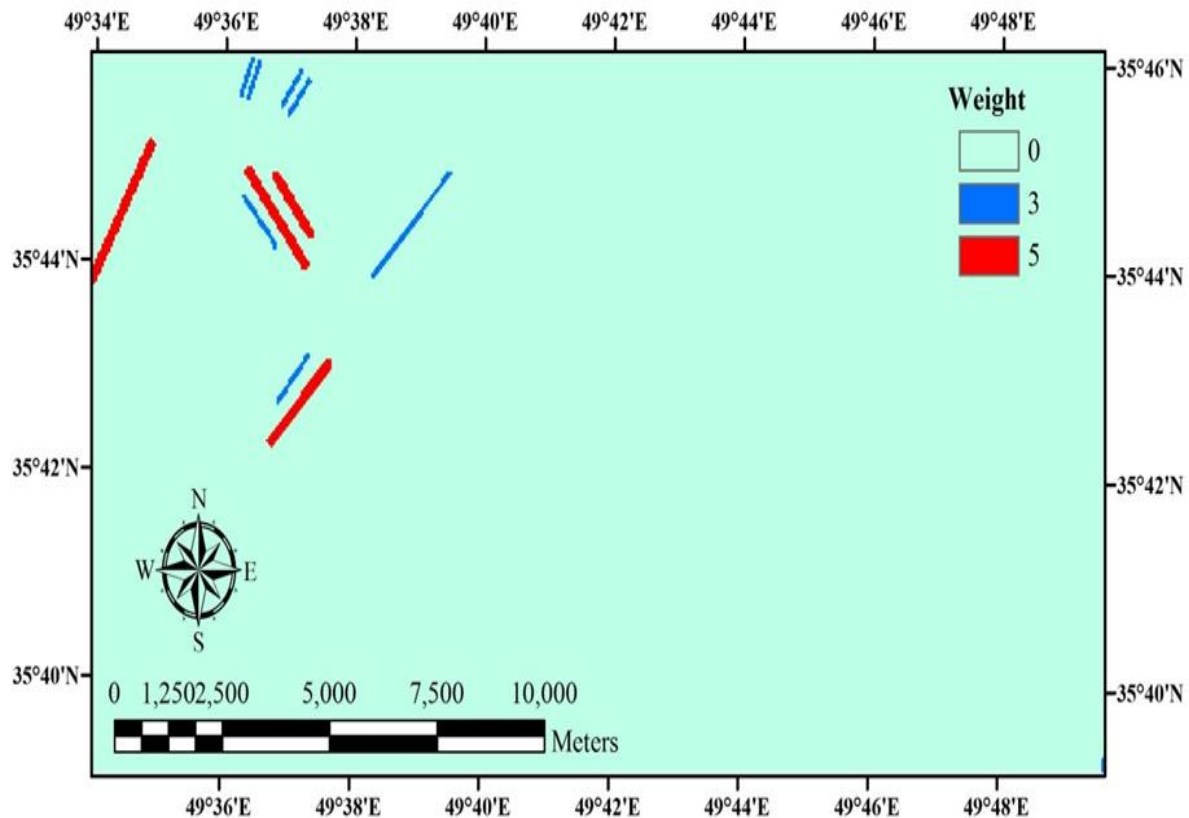
شکل ۹. نقشه نشانگر لایه خطواره‌های گسلی شناسایی شده به روش دورسنجی در منطقه رامند (محدوده شعاع اثر برای خطواره‌های گسلی اصلی: رنگ قرمز = ۱۰۰-۰ متر، رنگ آبی = ۲۰۰-۱۰۰ متر، رنگ سبز = ۳۰۰-۲۰۰ متر و محدوده شعاع اثر برای خطواره‌های گسلی فرعی: رنگ زرد = ۱۰۰-۰ متر)



شکل ۱۰. خطواره‌های گسلی-مغناطیسی شناسایی شده (خطوط ممتد سیاه رنگ) در محدوده اکتشافی رامند با معیارهای مد نظر بر روی داده‌های مغناطیسی هواپرد (راهنمای شکل ۱۰ در جدول ۴ بیان شده است)

پنهان) ۵۰ متر است. پس از وزن دهی خطواره‌های مغناطیسی، نقشه نشانگر اطلاعات مغناطیس هوابرد با در نظر گرفتن تنوع ساختمان‌های گسلی (اصلی و فرعی) به تفکیک شعاع اثر اعمال شده در مدل تلفیقی، مطابق (شکل ۱۱) ارائه شده است.

در این لایه نیز با در نظر گرفتن رابطه مکانی خطواره‌ها با گسل‌های زمین‌شناسی و ارتباطشان با آثار دگرسانی منطقه رانند، خطواره‌ها به دو بخش اصلی و فرعی تقسیم شده‌اند و وزن‌دهی متفاوتی (با توجه به دو عامل اشاره شده فوق) بر روی آنها اعمال شده است. لازم به ذکر است که شعاع اثر خطواره‌های اصلی (قرمز) ۱۰۰ متر و شعاع اثر انواع فرعی (آبی) (خطواره



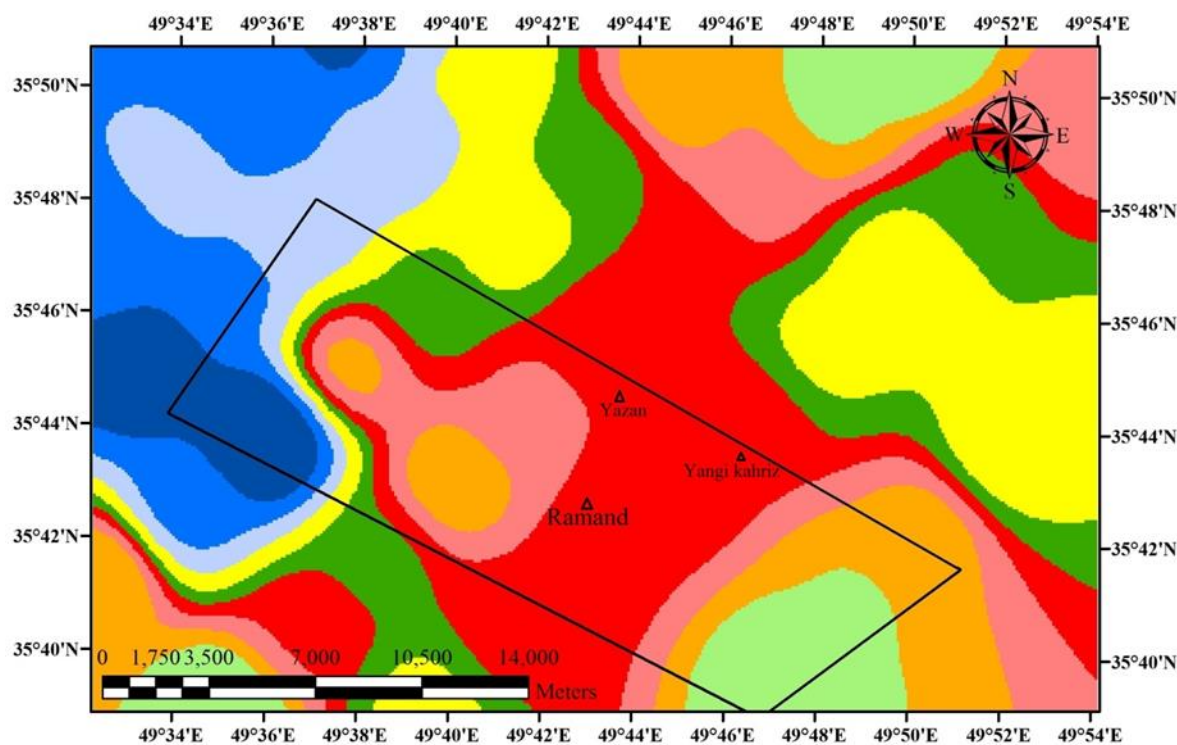
شکل ۱۱. لایه نشانگر خطواره‌های گسلی، مستخرج از داده‌های مغناطیس هوایی منطقه رانند (محدوده شعاع اثر برای خطواره‌های اصلی: رنگ قرمز = ۱۰۰-۰ متر و محدوده شعاع اثر برای خطواره‌های فرعی: رنگ آبی = ۵۰-۰ متر)

لایه تغییرات شدت میدان مغناطیسی (هوابرد)

از دیدگاه مغناطیسی، اغلب پدیده‌های دگرسانی با افت قابل توجه خودپذیری مغناطیسی سنگ میزبان همراه هستند. سازوکار چنین تغییراتی در ارتباط با گرمای ناشی از سامانه‌های ماگمایی- گرمایی و خردشدگی مناطق دگرسانی در خلال شکل‌گیری گسل‌ها می‌باشد. به عبارت دیگر، نفوذ سیالات داغ و وفور نواحی خرد شده دو عامل اصلی برای کاهش خودپذیری مغناطیسی سنگ‌ها هستند که در اغلب موارد موجب افت مولفه کلی شدت میدان مغناطیسی می‌گردند (مهرنیا، ۱۳۹۱). با توجه موارد ذکر شده، نقشه پربند مغناطیسی منطقه رانند از سه ناحیه‌بندی کمی با عناوین زمینهای، آستانه‌ای و بی‌هنجاری برخوردار است. مکان هندسی اغلب دگرسانی‌ها با تغییرات آستانه‌ای شدت میدان مغناطیسی مطابقت دارد (زمردیان و حاجب حسینی، ۱۳۸۷). البته بخشی از هاله‌های رسی که فاقد خواص مغناطیسی بارزی هستند در محدوده زمینه قرار می‌گیرند. در (جدول ۴)، امتیازات متناسب با تغییرات شدت میدان مغناطیسی منطقه رانند درج شده است. چنانچه ملاحظه می‌گردد بیشینه وزن‌دهی مربوط به تغییرات آستانه‌ای بوده و مبتنی بر افت خودپذیری مغناطیسی در نواحی دگرسانی است. (شکل ۱۲) معرف تغییرات مغناطیس هوابرد وزن‌دهی شده (در ۹ کلاس) به روش شاخص همپوشانی است که به عنوان نشانگر دگرسانی متاثر از افت خودپذیری آماده تلفیق با سایر معیارهای اکتشافی است.

















تلفیق لایه‌های اطلاعاتی و تولید نقشه پتانسیل‌های معدنی در منطقه رانند به روش شاخص همپوشانی

پس از وزن‌دهی لایه‌های نشانگر، کلیه داده‌های مکانی توسط رابطه شاخص همپوشانی تلفیق شده‌اند. در واقع پس از تشکیل لایه‌ها با ارزش معین، آنها را در رابطه شاخص همپوشانی قرار داده و سپس با توجه به اهمیت این لایه‌ها، وزن مربوط به آن لایه را داده و در آخر مناطق امیدبخش تعیین می‌شوند. در این تحقیق به لایه اطلاعاتی واحدهای زمین‌شناسی وزن ۹، لایه دگرسانی‌های گرمایی وزن ۸، لایه گسل‌های مشاهده شده در نقشه زمین‌شناسی وزن ۸، لایه تغییرات شدت میدان مغناطیسی وزن ۷، لایه خطواره‌های گسلی شناسایی شده از روش دورسنجی وزن ۶ و لایه خطواره‌های گسلی مستخرج از داده‌های مغناطیس هوابرد وزن ۵ داده شده است. در (شکل ۱۳) نقشه استعدادهای معدنی منطقه رانند با استفاده از روش شاخص همپوشانی ارائه شده است.



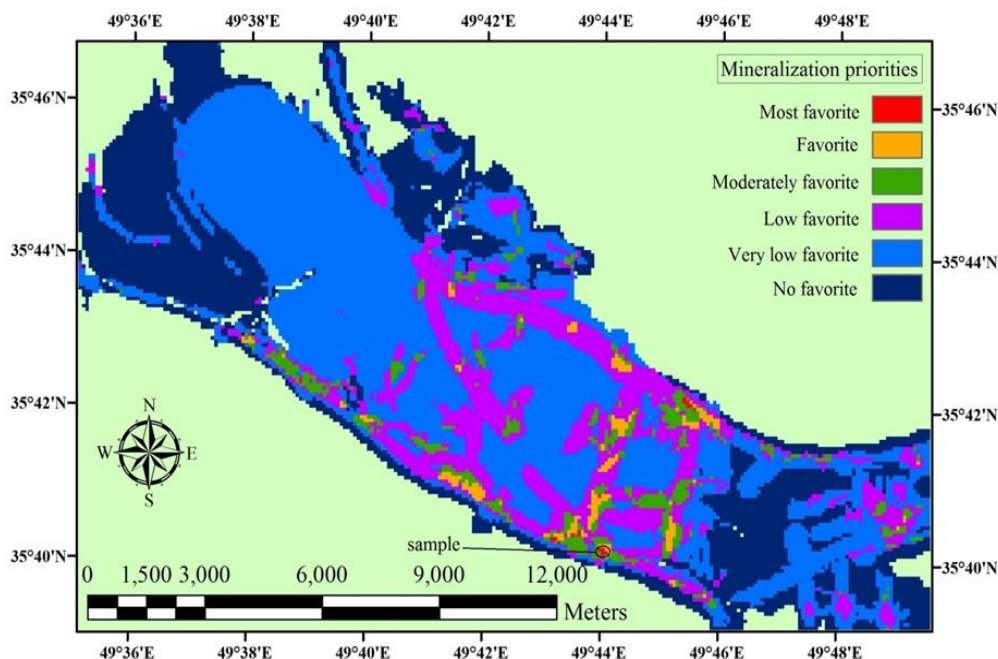
شکل ۱۲. لایه نشانگر افت میدان مغناطیسی در مناطق دگرسانی رامند (راهنمای این شکل در جدول ۴)

جدول ۴. وزن دهی بر اساس روش شاخص همپوشانی به مقادیر شدت میدان مغناطیسی در ۹ کلاس متفاوت با توجه به وجود آثار دگرسانی گرمایی در منطقه رامند

شکل ۱۰	Magnetic intensity (n.t)	Weight	After scoring (شکل ۱۲)
	۳۹۶۳۸/۱۱۳۲۸ - ۳۹۶۶۲/۱۲۵	۶	
	۳۹۶۶۲/۱۲۵۵۱ - ۳۹۶۷۷/۸۸۲۸۱	۷	
	۳۹۶۷۷/۸۸۲۸۲ - ۳۹۶۹۳/۳۵۱۵۶	۸	
	۳۹۶۹۳/۳۵۱۵۷ - ۳۹۷۰۸/۸۷۵	۹	
	۳۹۷۰۸/۸۷۵۰۱ - ۳۹۷۲۶/۸۸۲۸۱	۵	
	۳۹۷۲۶/۸۸۲۸۲ - ۳۹۷۵۵/۲۶۱۷۲	۴	
	۳۹۷۷۵/۲۶۱۷۳ - ۳۹۷۸۷/۰۳۱۲۵	۳	
	۳۹۷۸۷/۰۳۱۲۶ - ۳۹۸۱۹/۶۹۱۴۱	۲	
	۳۹۸۱۹/۶۹۱۴۲ - ۳۹۸۶۲/۳۹۰۶۳	۱	

پدیده زمین شناسی و آثار دگرسانی رامند دارد. در واقع مناطق پتانسیل دار به صورت عمده در واحد سنگ میزبان (سنگ های آذرین ریوداسیتی و ریولیتی، توف ریوداسیتی، توف بلورین و گدازه های جریان ریوداسیتی) و بر روی مناطق دگرسانی گرمایی اصلی قرار گرفته اند که در نتیجه این موارد، احتمال کانه زایی در این مناطق بسیار است.

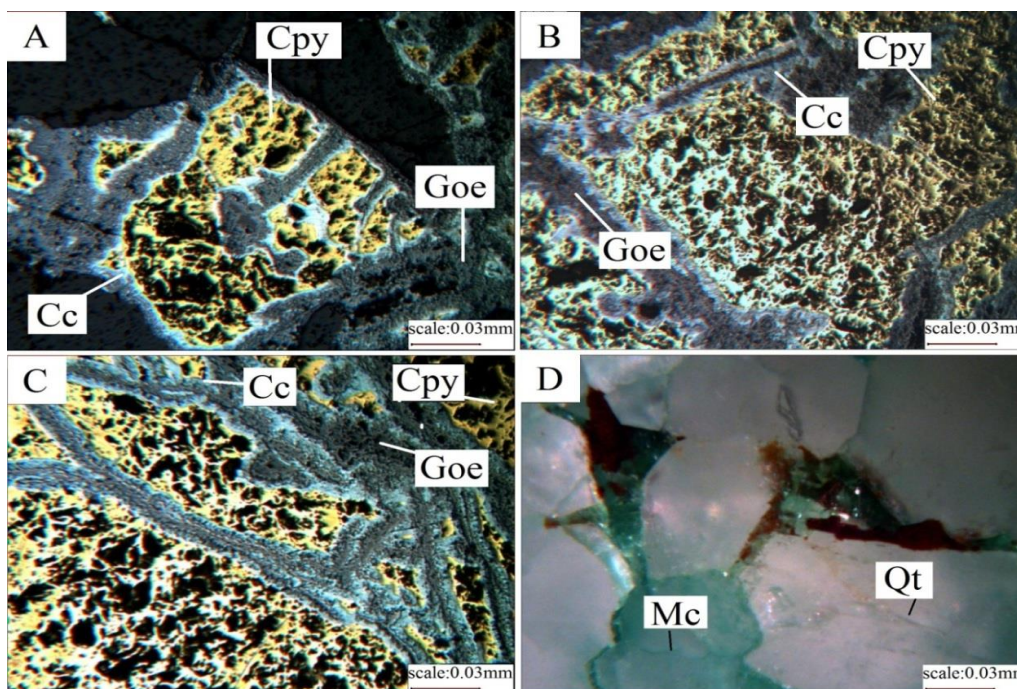
مناطق امیدبخش = (لایه واحدهای زمین شناسی * ۹) + (لایه دگرسانی های گرمایی * ۸) + (لایه گسل های مشاهده شده در نقشه زمین شناسی * ۸) + (لایه تغییرات شدت میدان مغناطیسی * ۷) + (لایه خطواره های گسلی شناسایی شده از روش دورسنجی * ۶) + (لایه خطواره های گسلی مستخرج از داده های مغناطیس هوابرد * ۵) / ۴۳ از نقطه نظر آماری، پیش داوری به عمل آمده در (شکل ۱۳) موجب معرفی مناطق امیدبخش در فاصله اطمینان بالا گردیده که تطابق مکانی مطلوبی با



شکل ۱۳. نقشه پتانسیل مطلوب مینرالی بر روش شاخص همپوشانی از پتانسیل‌های کانه‌زایی نوع گرمایی در منطقه رامند (اولویت‌های کانی‌زایی: رنگ قرمز= بسیار مطلوب، رنگ نارنجی= مطلوب، رنگ سبز= مطلوبیت در حد متوسط، رنگ بنفش= مطلوبیت کم، رنگ آبی= مطلوبیت بسیار کم، رنگ تیره= بدون مطلوبیت)

پیدایش کانی‌های رسی و سیلیسی شدن سنگ میزبان (در امتداد رگه‌ها و رگچه‌ها) همراه بوده و احتمال غنی‌شدگی درون‌زاد در خلال فرآیندهای پسا‌ماگمایی وجود دارد.

(شکل ۱۴) (زیر بخش‌های A, B, C, D)، مقاطع میکروسکوپی یک نمونه کانه‌دار از مجموعه نمونه‌های دگرسان شده از منطقه رامند را نشان می‌دهد. آثار فلزات پایه (همیافتی گوتیت، کالکوسیت و کالکوپیریت) در رخنمون‌های دگرسانی این منطقه مشهود است. سازوکار دگرسانی با



شکل ۱۴. مقاطع میکروسکوپی آثار کانه‌زایی فلزات پایه (مس و آهن) در رخنمون‌های دگرسان شده منطقه رامند، A, B, C: نیکول موازی، میدان دید ۰/۰۳ میلی‌متر، بزرگنمایی ۲۰۰ برابر، D: نیکول عمودی، میدان دید ۰/۰۳ میلی‌متر، بزرگنمایی ۲۰۰ برابر. (Whitney and Evans, 2010). Mc = مالاکیت، Goe = گوتیت، Cc = کالکوسیت، Cpy = کالکوپیریت، Qt = کوارتز، Mc = مالاکیت.

است که استفاده جداگانه آنها، تصمیم‌گیری برای تعیین نقاط پتانسیل را دشوار می‌نماید. بنابراین مطابق روش ارائه شده در این تحقیق، می‌بایست از الگوریتم‌هایی استفاده نمود که ضمن برخورداری از توان لازم برای تلفیق لایه‌های نشانگر (به روش محاسباتی و زمین ریاضی)، امکان مدیریت بهینه و موثر داده‌ها را در کمترین زمان و با بیشترین دقت فراهم نمایند. در این پژوهش با استفاده از روش شاخص همپوشانی و با تاکید بر وزن دهی نشانگرهای ژئوفیزیکی، زمین‌شناسی و زمین‌ساختی و بدون نیاز به ساده‌سازی آنها (در کمترین زمان ممکن)، قابلیت تلفیق داده‌ها با استفاده از روش شاخص همپوشانی Arc-GIS فراهم شده است. جنبه کاربردی این روش، سازگاری آن با شرایط طبیعی (ملاحظات زمین‌شناختی) منطقه مورد مطالعه می‌باشد که فاصله اطمینان بیشتری را برای دستیابی به پتانسیل‌های معدنی منطقه به دست داده است. بدین ترتیب از وزن‌ها و امتیازات لازم برای طبقه‌بندی داده‌های مکانی و درج اولویت‌های اکتشافی منطقه مورد نظر استفاده گردیده که نتیجه آن در (شکل ۱۳) ملاحظه می‌شود. تولید نقشه پیش دآوری منطقه رامند با استفاده از روش شاخص همپوشانی (در محیط GIS)، موجب شناسایی پتانسیل‌های معدنی به صورت دقیق و جزئی شده و نمونه‌برداری از واحدهای دگرسانی گرمایی را تسهیل نموده است (به طور خاص سه اولویت اول مشخص شده در) شکل ۱۳) برای انجام مطالعات بعدی معرفی شده‌اند). لذا روش ارائه شده در این تحقیق دارای نتایج کاربردی در امر اکتشاف ذخایر معدنی رامند است. نقشه پیش دآوری منطقه، موجب شناسایی سریع و مطمئن نواحی امیدبخش معدنی شده و نقش موثری در کاهش هزینه‌های مالی و صرفه جویی در زمان داشته است. (تسریع مراحل اکتشاف و افزایش دقت در شناسایی نواحی امید بخش معدنی).

نمونه کانه‌دار (شکل ۱۴) از منطقه مستعدی واقع در مختصات طولی ۴۹ درجه و ۴۴ دقیقه و ۱۵ ثانیه و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۰ دقیقه و ۱۰ ثانیه بدست آمده که بر اساس نتایج این تحقیق و به روش مدل‌سازی شاخص همپوشانی، شناسایی شده است. در واحدهای دگرسانی جنوب رامند (شکل ۱۳)، مناطق مستعدی شناسایی شده‌اند که با توجه به نتایج اولیه بازدیدهای صحرایی، موید وجود رگه‌های سیلیسی- کانه‌دار در زمینه‌ای از کانی‌های رسی، اکسیدهای آهن و کوارتز هستند. بر اساس روش ارائه شده در این تحقیق، آثار جدیدی از دگرسانی گرمایی به‌خصوص در بخش‌های جنوبی رامند شناسایی شده‌اند که با در نظر گرفتن شواهد میکروسکوپی (شکل ۱۴)، اطمینان لازم را برای توجیه اقدامات به عمل آمده و ادامه فعالیت‌های اکتشافی در فاز تفصیلی به دست می‌دهد. حفر ترانشه‌های اکتشافی (با تاکید بر اولویت‌های شکل ۱۳) و برداشت سطحی مولفه‌های ژئوفیزیکی (با تاکید بر تهیه مقاطع ژئوالکتریک)، امکان ارزیابی دقیق‌تر را در نواحی پیش‌بینی شده فراهم می‌نماید.

نتیجه‌گیری

یکی از مراحل مهم اکتشافات معدنی، تجزیه و تحلیل داده‌های مکانی به منظور تولید نقشه پیش دآوری و تصمیم‌گیری در خصوص نحوه ادامه فعالیت‌های مورد نظر است. با افزایش تعداد و تنوع داده‌های مکانی، رهیافت‌های منطقی و محاسباتی جایگزین روش‌های سنتی شده و توجیه فرآیند کانه‌زایی در ذیل دستیابی به الگو اکتشافی نوین و کاربردی میسر می‌گردد. دقت و صحت داده‌های مکانی، موجب تولید مدل‌های زمین ریاضی معتبر می‌شود که با درج ملاحظات زمین‌شناسی، فاصله اطمینان لازم برای ارائه نقشه‌های پیش دآوری تامین گردیده و جنبه‌های کاربردی تحلیل مکانی داده‌ها به روش شاخص همپوشانی را اثبات مینماید. پایگاه داده‌های مکانی رامند شامل یافته‌های زمین‌شناسی، دورسنجی و ژئوفیزیکی

منابع

- اقلیمی، ب.، مصوری، ف.، مهرپرتو، م.، ۱۳۷۸، نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ دانسفهان(خیارچ)، برگه شماره ۵۹۶۱، سازمان زمین‌شناسی ایران.
- بمانی، م.، مجتهدزاده، س.ح.، کوهساری، ا.ح.، ۱۳۹۵، تعیین پتانسیل کانی‌سازی بورات در جنوب سبزوار با استفاده از RS و GIS، مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، دوره ۶، شماره ۲۰، ص ۶۳-۷۶.
- حسینی پاک، ا.ع.، ۱۳۸۹، اصول اکتشافات ژئوشیمیایی، چاپ هفتم، انتشارات دانشگاه تهران، ۶۱۵ص.
- زمردیان، ح.، حاجب حسینی، ح.، ۱۳۸۷، ژئوفیزیک کاربردی، جلد ۱، انتشارات دانشگاه تهران، ۶۸۹ص.
- سن سلیمانی، ع.، اسدی هارونی، ه.، طباطبایی، س.ح.، ثمری، ح.، ۱۳۸۹، پتانسیل‌یابی مواد معدنی در ورقه یکصد هزارم کهک با استفاده از روش منطق فازی، پنجمین همایش ملی زمین‌شناسی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اسلامشهر.
- عباسی، ث.، یساقی، ع.، ۱۳۹۰، استفاده از تصاویر لندست و داده‌های زمین مغناطیسی در شناسایی خطواره‌های گسلی و تحلیل خاستگاه آنها در ناحیه لرستان، زاگرس چین خورده، نشریه سنجش از دور و GIS ایران، سال سوم، شماره اول، ص ۱۹-۳۳.
- فدوی، پ.، مهرنیا، س.ر.، ۱۳۹۳، استفاده از داده‌های گرانی و مغناطیسی هوابرد برای تشخیص سامانه‌های گسلی- لرزه‌زای پنهان در جنوب تهران (منطقه ایوانکی)، سی و سومین گردهمایی ملی علوم زمین، تهران، ایران.
- کریم‌پور، م.ح.، حیدریان، م.، ر.، ملک‌زاده، ا.، ۱۳۹۰، اکتشاف ذخایر معدنی: مدل‌های زمین‌شناسی، ژئوشیمی، ماهواره‌ای و ژئوفیزیکی، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، چاپ چهارم، ۶۲۲ص.
- مسعودی، ف.، ۱۳۶۹، مطالعه چینه‌شناختی، پتروگرافی و پترولوژی سنگ‌های آتشفشانی جنوب بوئین‌زهر، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت معلم، تهران، ۲۰۷ص.
- مهرنیا، س.ر.، ۱۳۹۴، معرفی نسبت باندی M-ratio و کاربرد آن در تشخیص دگرسانی‌های گرمایی (مطالعه موردی منطقه رامند در جنوب استان قزوین)، نوزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران و نهمین همایش ملی زمین‌شناسی دانشگاه پیام نور، ص ۳۵۰-۳۵۵.
- مهرنیا، س.ر.، ۱۳۹۱، نقش توزیع فرکتالی سیلیس در تغییرات بافتی سامانه‌های اپی ترمال، مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، شماره ۵، ص ۹۹-۸۹.

توکل، ر.، مهرنیا. س.ر.، نطافتی، ن.، شیخ ذکریایی، ج.، ۱۳۹۲، توزیع ژئوفرکتالی سیلیس و ارتباط آن با کانه زایی طلا در محدوده نیکویه (استان قزوین)، مجله زمین شناسی کاربردی پیشرفته، شماره ۸، ص ۳۴-۴۶.

- Bonham Carter. G.F., 1998, Geographic information systems for geoscientists: modeling with GIS, Pergamon Press, Oxford, 398p.
- Crosta. A.P., Moore. J., 1989, Enhancement of Landsat Thematic Mapper imagery for residual soil mapping in SW Minais Gerais State, Brazil; A Prospecting Case History in Greenstone Belt Terrain, Proceedings of the 7th International Conference Applied Geologic Remote Sensing, Environmental Research Institute of Michigan, Ann Arbor, USA, p:1173-1187.
- Ezzati. A., Mehrnia. R., Ajayebi. K., 2014, Detection of Hydrothermal Potential Zones Using Remote Sensing Sattelite Data in Ramand Region, Qazvin Province, Iran, Journal of Tethys, Vol:2, No:2, p: 93-100.
- Harris. J.R., Wilkinson. L., Heather. K., Fumerton. S., Bernier. M.A., Ager. J., Dahn. R., 2001, Application of GIS Processing Techniques for Producing Mineral Prospectivity Maps- A Case Study: Mesothermal Au in the Swayze Greenstone Belt, Ontario, Canada, Natural Resources Research, Vol:10, No:2, p:3-13.
- Hosseinali. F., Alesheikh. A.A., 2008, Weighting Spatial Information in GIS for Copper Mining Exploration, American Journal of Applied Sciences, Vol:5, No:9, p:1187-1198.
- Sabins. F.F., 2002, Remote sensing principle and interpretation, William H. Freeman & Company, New York, 494p.
- Whitney. D.L., Evans. B.W., 2010, Abbreviations for names of rock-forming minerals, American Mineralogist, Vol: 95, No:1, p: 185-187.
- Ziaii. M., Pouyan. A., Ziaei. M., 2009, A Computational Optimized Extended Model for Mineral Potential Mapping Based on Wofe Method, American Journal of Applied Sciences, Vol:6, No:2, p: 200-203.