

## تعیین پتانسیل کانی سازی بورات در جنوب سبزوار با استفاده از GIS و RS

مهدی بمانی

دانشجوی دکتری مهندسی اکتشاف معدن، دانشگاه یزد

سیدحسین مجتهدزاده

استادیار دانشکده مهندسی معدن و متالورژی دانشگاه یزد

امیرحسین کوهساری

دانشیار دانشکده مهندسی معدن دانشگاه یزد

تاریخ دریافت: ۹۲/۸/۱۹ تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۲/۲

bemanimahdi@gmail.com

### چکیده

کانی های بورات معمولاً به صورت نهشته در پلایاها یا رسوب کرده در اطراف چشمه های زمین گرمایی یافت می شوند. خصوصیات انعکاس بالای این کانی ها امکان تشخیص آنها توسط روش های سنجش از دور را فراهم می آورد. هدف از این مطالعه تعیین نقاط امید بخش و محل های احتمالی نهشته های بوراکس در جنوب سبزوار به کمک مطالعات دورسنجی و تلفیق داده های اکتشافی است. منطقه مورد مطالعه در ۵۰ کیلومتری جنوب سبزوار واقع شده است، که محدوده ای به مساحت تقریبی ۶۰۰ کیلومتر مربع را تحت پوشش قرار می دهد. در این منطقه اثراتی از کانی های بورات دیده شده است. در این مطالعه تصویر ETM+7 منطقه مورد استفاده قرار گرفت. بعد از انجام تصحیحات هندسی با استفاده از ضریب شاخص بهینه ترکیب باندی کاذب مناسب مشخص شد. همچنین با تعیین گسل های منطقه نوع گسل ها و واحدهای تخییری اطراف گسل ها که مناسب برای کانی سازی هستند نیز مشخص شدند. لایه های اطلاعاتی ذکر شده و نیز نقشه زمین شناسی منطقه به روش تحلیل سلسله مراتبی وزن دهی شده و در محیط GIS به روش منطق فازی و همپوشانی شاخص تلفیق شده اند و در نهایت مناطق امید بخش جهت انجام مطالعات تفصیلی تر شناسایی گردید. روش منطق فازی به نسبت روش همپوشانی شاخص از انعطاف بالاتری برخوردار بوده و با توجه به وسعت محدوده مورد نظر جهت ادامه فرآیندهای اکتشافی، می توان وسعت های مختلفی را در سطح اعتمادهای متفاوت پیشنهاد نمود.

**کلمات کلیدی:** بورات، سبزوار، تحلیل سلسله مراتبی، منطق فازی، همپوشانی شاخص

### مقدمه

می باشد، بدین منظور با وزن دهی به لایه های اطلاعاتی از قبیل داده های دورسنجی، زمین شناسی و گسل های منطقه به روش تحلیل سلسله مراتبی Analytical Hierarchy Process (AHP) و تلفیق این لایه ها با استفاده از روش منطق فازی (Fuzzy Logic) و همپوشانی شاخص (Index Overlay)، مناطق امیدبخش جهت کانی سازی بورات ها مشخص و معرفی گردیده اند.

**پی جوئی بورات ها با استفاده از روش های دورسنجی، مروری**

**بر مطالعات انجام شده**

مشخصه های انعکاسی بالای کانی های بوراته آنها را برای تشخیص مکان هایی، که نهشته های پلایایی یا ته نشین شده های حاصل از چشمه های داغ تولید شده از تبخیر سیالات زمین گرمایی وجود دارند، با روش های دورسنجی مناسب می کند. تشکیل نهشته های بوراته کواترنری از آبهای گرم غنی از بور زمان زیادی طول می کشد. بور موجود در این آبها ممکن است از لیچینگ سنگ های اطرافشان به دست آمده اند و یا ناشی از سیالات ماگماتیک باشند. مهمترین نقاط حاوی ذخایر بوراکس در دنیا عبارتند از: غرب ایالات متحده، ترکیه، چین، نپال، هند و منطقه ی پونا Puna در کوه های آند (Krattl et al, 2006).

بورات ها معمولاً نهشته های پلایایی یا ته نشین شده حاصل از چشمه های داغ زمین گرمایی می باشند. این نهشته ها اغلب در ارتباط با ماگماتیسم و فعالیت های تکتونیکی تشکیل می شوند (Krattl et al, 2006). اغلب کانی های بوراته با چشم غیر مسلح همانند دیگر کانی های تبخیری دیده شده و قابل تشخیص نیستند ولی به علت مشخصه های انعکاسی بالای کانی های بوراته، روش های دورسنجی می تواند با موفقیت برای تشخیص محل تشکیل آنها بکار روند (بمانی، ۱۳۸۹). بورات ها را می توان با استفاده از انرژی انعکاسی خورشیدی و در طول موج های مرئی، مادون قرمز نزدیک و طول موج مادون قرمز کوتاه ( $2.5-4 \mu\text{m}$ ) از دیگر کانی های تبخیری متمایز کرده و آنها را به صورت سیستماتیک به نقشه درآورد (Krattl et al, 2006). در گذشته های نه چندان دور که قدمت آن شاید به بیش از ۵۰ سال پیش باز گردد در منطقه ای به نام محمدآباد عربان در ناحیه ای به نام پشت قرمز و توناکار آثار و شواهدی از استحصال و فرآوری بوراکس به چشم خورده است که به نظر می رسد به نوعی با کانسار بوراکس در پیوند باشد، که این امر موجب شد تا انگیزه پی جوئی کانی سازی بورات در این ناحیه برنامه ریزی و مورد پیگیری قرار گیرد (بمانی، ۱۳۹۰). موضوع این مقاله مطالعه امکان وجود کانی سازی بورات در جنوب سبزوار با استفاده از روش های مختلف RS در محیط GIS

کالیبره کردن انعکاسات با یک صفحه سفید که تمام طول موج‌های اندازه‌گیری شده را تشخیص می‌دهد، انجام می‌شود. هنگامی که آشکارساز نوری در فاصله‌ی ۱-۰/۰۵ متری زمین قرار می‌گیرد، طول موج واقعی در صفحه‌ی کامپیوتر نشان داده می‌شود (شکل ۲) (Krattl et al. 2006). همچنین آنها ثابت کرده‌اند که استفاده از تصاویر ماهواره‌ای استر جهت به نقشه درآوردن کانی‌های بورات مفید است. این موضوع در نقاط مختلفی در غرب نوادا (Columbus, Teels, Rhodes, Marshes) با مشاهدات صحرائی ثابت شده است که استفاده از مشخصه‌های انعکاسی تصاویر استر در طول موج  $2/5-0/4 \mu\text{m}$  می‌تواند راهنمای مفیدی باشد (Krattl et al. 2006).

در این مطالعه از فاکتور OIF و ترکیب بانندی کاذب و نسبت بانندی جهت مطالعات دورسنجی استفاده شده است. به منظور تلفیق لایه‌های اطلاعاتی نیز جهت وزن دهی به لایه‌های اطلاعاتی از روش AHP و جهت تلفیق از روش‌های منطق فازی و همپوشانی شاخص استفاده شده است.

### زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

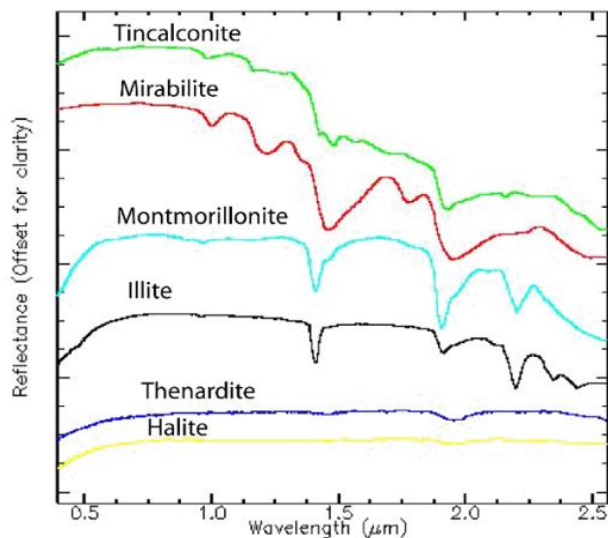
منطقه مورد مطالعه در ۵۰ کیلومتری جنوب سبزوار واقع شده است، که محدوده‌ای به مساحت تقریبی ۶۰۰ کیلومتر مربع را تحت پوشش قرار می‌دهد. قسمتی از محدوده‌ی مورد مطالعه در نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ دارین (وحدتی دانشمند و ندیم، ۱۳۷۷). و قسمتی از آن در نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ (ششتمد (جعفریان و جلالی، ۱۳۷۷) در زون سبزوار که بخشی از زون ساختاری بزرگ ایران مرکزی است، قرار دارد (شکل ۳). در نگاهی وسیعتر این ناحیه بین دو گسل بزرگ درونه (در جنوب) و گسل بینالود (در شمال) واقع شده است. زون سبزوار از شمال با زون بینالود و از جنوب با زون بلوک لوت در ارتباط است. این ارتباطات تکتونیکی و گسله هستند. در جنوب ناحیه ششتمد، زون تکنار بصورت یک هورست گوه‌ای شکل بین دو گسل درونه و تکنار قرار گرفته است. شکل ساختاری منطقه ششتمد بدون شک تحت تاثیر گسل‌هایی مانند درونه و تکنار قرار گرفته است (افتخارنژاد، ۱۳۵۵). اکثر گسل‌های مهم منطقه به طور کلی به موازات گسل درونه که در این منطقه وجود دارد قرار گرفته‌اند (وحدتی دانشمند و ندیم، ۱۳۷۷).

اغلب گسل‌ها و شکستگی‌های منطقه دارای دوره فعالیت به نسبت جدید می‌باشند و منطقه از نظر زمین‌ساختی فعال بوده و تکان‌ها و زمین‌لرزه‌های خفیف مکرر در طول سال در برخی روستاهای مجاور گسل‌های بخش میانی نقشه قابل ذکر می‌باشد.

در دریاچه بزرگی در غرب ایالات متحده، بعضی از سیالات زمین‌گرمایی به پوسته‌های سطحی کانی‌های تبخیری بورات مربوط می‌شوند. چنانچه بتوان این بورات‌ها را مشخص کرده و به نقشه درآورد می‌توان از آنها به عنوان ابزاری جهت اکتشاف زمین‌گرمایی‌ها استفاده کرد. طیف‌های مختلف دورسنجی ابزار مناسبی برای تعیین محل کانی‌های بوراته که هموژن هستند و به طور وسیع در سطح گسترده‌اند، ارائه می‌دهد.

اغلب کانی‌های بوراته با چشم غیر مسلح همانند دیگر تبخیری‌ها ظاهر شده و به نظر می‌رسند. به هر حال بورات‌ها را می‌توان با استفاده از انرژی انعکاسی خورشیدی و در طول موج‌های مرئی، مادون قرمز نزدیک و طول موج مادون قرمز کوتاه ( $2/5-0/4 \mu\text{m}$ ) از دیگر کانی‌های تبخیری متمایز کرده و آنها را به صورت سیستماتیک به نقشه درآورد (Krattl et al., 2006). یون‌های هیدروکسیل و مولکول‌های آب به خاطر قابلیت جذب بالای کانی‌های بورات، در ساختار بورات‌ها دیده می‌شوند. از همین مشخصه و از طریق مشخصه‌های انعکاس آنها می‌توان جهت تشخیص بورات‌ها از کانی‌های تبخیری کویری (پالیا) مانند تناردیت ( $\text{NaSO}_4$ )، هالیت ( $\text{NaCl}$ )، کلسیت ( $\text{CaCO}_3$ )، و رس‌های معمولی استفاده کرد. بورات‌ها در طول موج‌های پایین و در محدوده‌ی VNIR دارای انعکاس بالایی می‌باشند که این انعکاس در طول موج‌های  $1/9-1/4 \mu\text{m}$  به شدت پایین آمده و بعد در طول موج‌های  $2/5-2 \mu\text{m}$  کاهشی نه شدید از خود نشان می‌دهند (شکل ۱). اگرچه تعدادی از کانی‌های تبخیری غیر بوراته رفتاری مشابه را نشان می‌دهند، اما این مشخصه به عنوان ابزاری برای شناسایی بورات‌ها مفید است (Krattl et al., 2006).

نوشته‌های محدودی از روش‌های آشکارسازی بورات‌ها بوسیله‌ی داده‌های دورسنجی منتشر شده است. (Stearns, Crowley, 1993) (et al., 1999) در به نقشه درآوردن نهشته‌های بوراته ترشیری، از داده‌های AVIRIS (که در محدوده‌ی طیفی مرئی و مادون قرمز قرار دارد) استفاده کرده‌اند. آنها با استفاده از ۲۲۴ باند پیوسته و باریک در محدوده‌ی  $2/5-0/4 \mu\text{m}$  قابلیت تهیه‌ی نقشه‌های فراوانی برای کانی‌های هیدروبوراسیت ( $\text{CaMgB}_6\text{O}_{11} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ )، پنیوتیست ( $\text{MgB}_2\text{O}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ )، ریواداویت ( $\text{Na}_6\text{MgB}_{24}\text{O}_{44} \cdot 22\text{H}_2\text{O}$ )، کلمانیت ( $\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) و اولکسیت ( $\text{NaCaB}_5\text{O}_6(\text{OH}) \cdot 6.5\text{H}_2\text{O}$ ) را ایجاد کردند (Crowley, Crowley 1993, Stearns et al. 1999). (et al. 2000) نتایج مشابهی از تصاویر MODIS/ASTER در منطقه فرناس کریک (Furnace Creek) بدست آورده‌اند. (Khalili and Safaei, 2002) نیز از فاکتور شاخص بهینه Optimum Index Factor (OIF) تصاویر لندست برای تولید یک نقشه‌ی شماتیک از پوسته‌های تبخیری اولکسیت در ایران استفاده کرده‌اند. همچنین پردازش تصاویر ماهواره‌ای یکی از مهم‌ترین تکنیک‌های تعیین گسل‌ها حتی در بیابان‌ها و کویرها می‌باشند. در کویر ابرکوه توزیع متفاوت واحدهای تبخیری کلاستیک با تعیین چند گسل تشخیص داده شده‌اند. در این منطقه اولکسیت اولین کانی بود که مشخص شد. Mark, Chris Krattl, Wendy Calvin و Coolbaugh (Analytical ASD از Spectral Devices) استفاده کرده‌اند. باندهای طیفی ۲۱۵۱ نمونه‌ی ASD، طول موج‌های VNIR و SWIR نور مرئی را تحت پوشش قرار می‌دهند.



شکل ۱. مقایسه‌ی طیف تینکالکونیت  $(Na_2B_4O_5(OH)_4 \cdot 3H_2O)$  با طیف کانی‌هایی که معمولاً در سطوح پلایاها وجود دارند (Krattl et al. 2006)



شکل ۲. طیف سنج ASD به کار برده شده در چاه‌های نمک. هم تینکالکونیت و هم هالیت در عکس به عنوان پوسته‌های تبخیری شورهای دیده می‌شوند (Krattl et al. 2006)

نام برد. تاکدیس‌های مهم منطقه نیز تاکدیس دو چاهی و تاکدیس نامگذاری نشده بین دو تاکدیس دولت آباد و چاه تلخ در گوشه جنوب شرقی نقشه که کم و بیش با آنها هم محور است می‌باشند (جعفریان و جلالی، ۱۳۷۷). نقشه نشان دهنده‌ی موقعیت ساختاری منطقه مورد مطالعه و همچنین نقشه زمین شناسی منطقه به ترتیب در شکل‌های (۳) و (۴) نشان داده شده‌اند.

مهمترین واحد‌های سنگ شناسی منطقه مورد مطالعه واحدهای کرتاسه، انوسن و میوسن می‌باشند. با توجه به نقشه زمین شناسی (شکل ۴) مهمترین واحدهای مربوط به دوره کرتاسه در منطقه شامل نهشته‌های مربوط به بخش رسوبی سری افیولیتی، تناوب توف و آندزیت، سنگ آهک‌های خاکستری روشن تا صورتی، سنگ آهک، مارن‌های خاکستری و

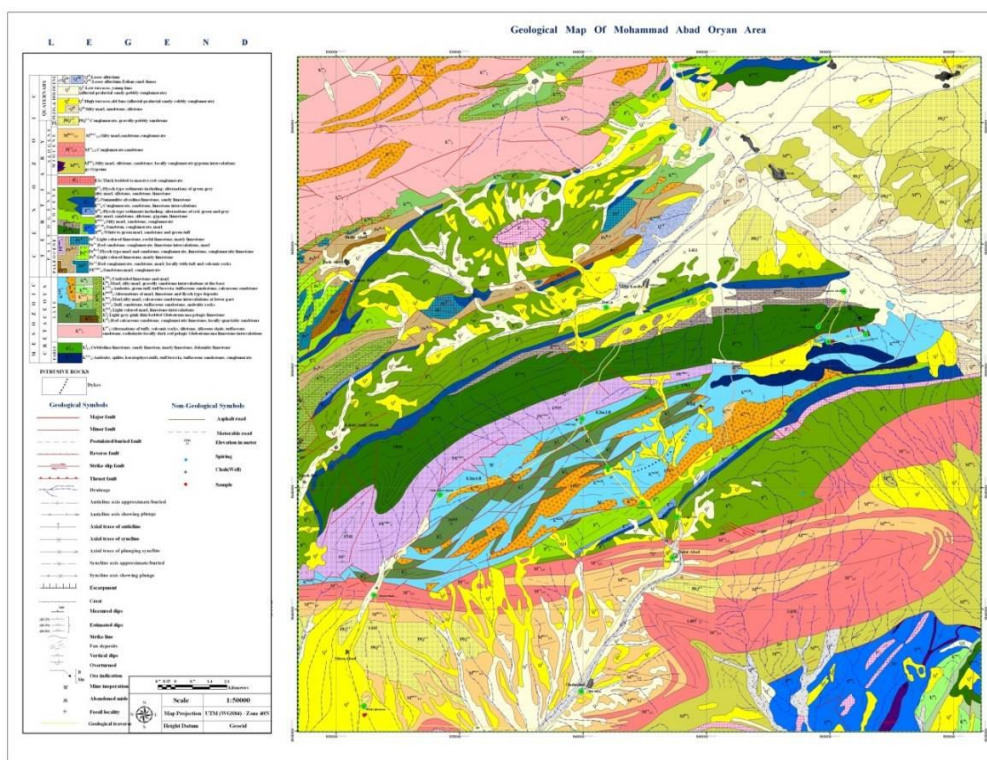
گسل‌های مهم موجود در محدوده دارین گسل‌های مظفرآباد-گرآب، دولت آباد-چاه شن و گسل معکوس شمال مهرکرد-جنوب ذوالفرخ می‌باشند (وحدتی دانشمند و ندیم، ۱۳۷۷). چین خوردگی‌های متعددی به شکل تاکدیس و ناودیس در محدوده قابل مشاهده هستند که نیروهای فشارنده به وجودآورنده گسل‌های منطقه سبب چین خوردگی آنها نیز شده است. بر حسب نقاط مختلف درجات چین خوردگی‌ها از ملایم تا متوسط، شدید و خیلی شدید و حتی به صورت برگشته در محدوده دیده می‌شوند. ولیکن میانگین چین خوردگی در حد شدید تا خیلی شدید می‌باشد. چندین ساختمان تاکدیس و ناودیس بزرگ در ناحیه دیده می‌شود که از جمله ناودیس‌های منطقه می‌توان ناودیس دولت آباد، ناودیس چاه تلخ، ناودیس مهرکرد - تپه بید، ناودیس کوه قلعه دختر و ناودیس ذوالفرخ را

مهمترین واحدهای دوره میوسن را نیز مارن های قهوه ای گچدار و تناوبی از مارنهای قرمز- قهوه‌ای با ماسه سنگ‌های قرمز و لایه‌های گچی تشکیل می‌دهند (بمانی و همکاران، ۱۳۹۱).

مارن آهکی، رخساره‌های آذرآواری و سنگ‌های آتشفشانی می‌باشند. از مهمترین واحدهای دوره ائوسن می‌توان به مارن، توف، ماسه سنگ شبه فلیشی، میکروکنگلومرا تا کنگلومرا و آهک ضخیم لایه اشاره کرد.



شکل ۳. موقعیت محدوده‌ی مورد مطالعه در زون سبزوار (آقباتی ۱۳۸۳)



شکل ۴. نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه، به دست آمده از نقشه‌ی زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ دارین و نقشه‌ی زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ ششم

آنها را در محیط GIS به سه کلاس تقسیم کرده و به هر کلاس با توجه به میزان ارتباط آن با کانی سازی بوراکس وزن هایی که از روش تحلیل سلسله مراتبی بدست آمده‌اند، اختصاص داده شده است. تصاویر نسبت باندی ذکر شده به همراه نقشه‌های رستری کلاس بندی شده‌ی آنها در شکل‌های (۵) و (۶) ارائه شده‌اند. در تصاویر نسبتی، مناطقی که به رنگ روشن وجود دارند، مناطقی هستند که در آنها پتانسیل کانی سازی بورات‌ها وجود دارد.

### انجام مطالعات دورسنجی در منطقه مورد مطالعه

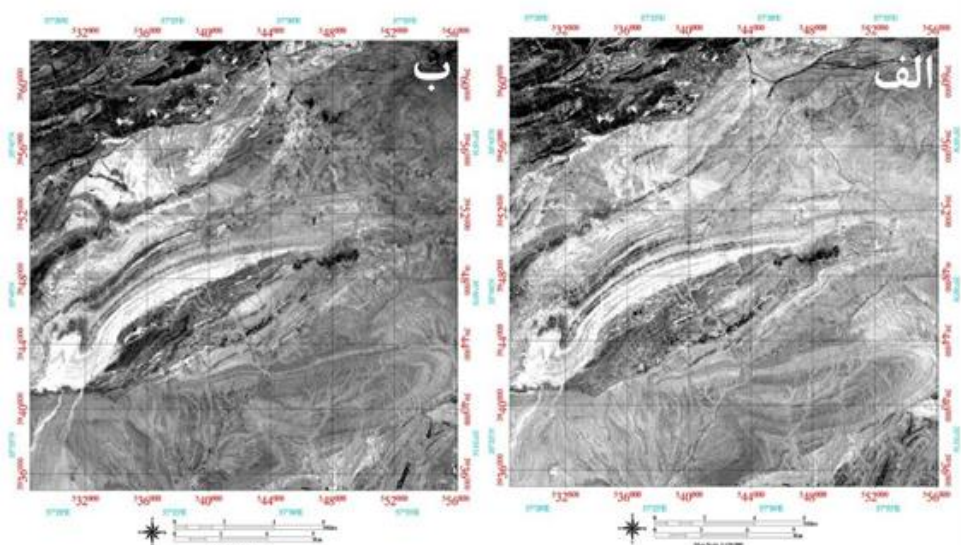
تصویر مورد استفاده در این مطالعه تصویر ETM+7 با ردیف (Row) و مسیر (Path) به ترتیب ۳۵ و ۱۶۰ می‌باشد که بعد از تصحیح هندسی، محدوده‌ی مورد نظر جهت انجام آنالیزهای بعدی از آن جدا شد. با توجه به مطالب ذکر شده و طول موج مربوط به باندهای مختلف ماهواره لندست ETM+7، نسبت باندی‌های ۷/۲ و ۷/۴ نسبت باندی‌های مناسبی جهت تشخیص کانی‌های بوراته می‌باشند، که از این دو نسبت تصویری در کار تلفیق استفاده شده است. بعد از تهیه نقشه‌های رستری از این تصاویر،

چون تخمین OIF بر اساس مقدار واریانس کل و همبستگی بین ترکیب باندهای مختلف است، ترکیب سه باند با ضریب OIF بالاتر معمولاً بیشترین اطلاعات را از داده‌های تکراری بدست می‌دهد (Khalili and Safaei, 2002). بهترین ترکیب باندهای به ترتیب (۳، ۵، ۷)، (۳، ۷، ۸) و (۵، ۳، ۸) تعیین شد، که در بررسی چشمی این تصاویر، تصویر با ترکیب رنگی کاذب ۷۵۳ مناسب تر تشخیص داده شد. تصویر مربوط به این ترکیب باندهای به همراه تصویر رستری کلاس بندی شده‌ی آن در شکل‌های (۷-الف و ۸-ب) آورده شده است. در تصاویر ماهواره‌ای لندست ETM+7 معمولاً ترکیب باندهای کاذب ۷۴۲، واحدهای زمین شناسی یک منطقه را به خوبی تفکیک کرده و نشان می‌دهد. از اینرو در این مطالعه از این ترکیب باندهای جهت تلفیق استفاده شده است، که تصویر مربوط به این ترکیب باندهای به همراه تصویر رستری وزن دهی شده‌ی آن به ترتیب در شکل‌های (۷-ب و ۸-ب) آورده شده است.

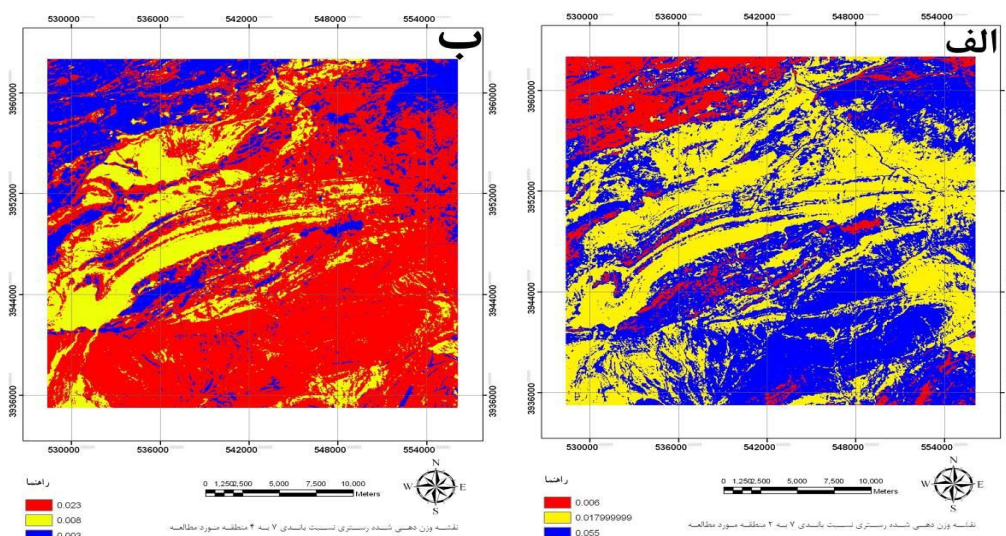
در این مطالعه به منظور انتخاب باندهای مختلف برای ایجاد یک تصویر با روش ترکیب باندهای کاذب و جدایش واحدهای تبخیری کلاستیک و واحدهای چینه شناسی مختلف از فاکتور OIF استفاده شده است. بدین منظور داده‌های آماری باندهای تصویر ETM+7 منطقه (به جز باند ۶) مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۱). بیشترین انحراف معیار به ترتیب برای باندهای ۳، ۵ و ۷ به دست آمد، البته باند ۸ نیز انحراف معیار بالایی دارد. بالا بودن انحراف معیار برای هر باند، جدایش بهتر واحدها را از روی تصاویر رنگی کاذب نتیجه می‌دهد. مقدار فاکتور OIF با توجه به فرمول زیر محاسبه می‌شود.

$$OIF = \frac{\sum_{k=1}^3 S_k}{\sum_{k=1}^3 Abs(r_{ij})} \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن  $S_k$  انحراف معیار باند  $k$  و  $r_{ij}$  ضریب همبستگی بین هر دو باند است.



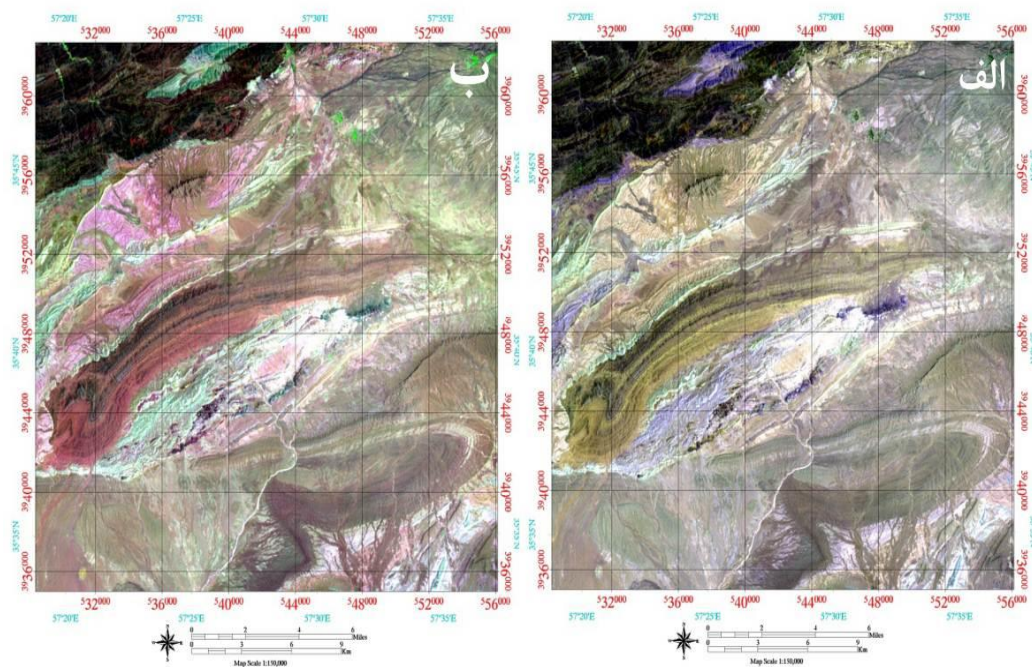
شکل ۵. تصویر نسبت باندهای جهت تشخیص مناطق کانی سازی بور: (الف) نسبت باندهای ۷/۲، (ب) نسبت باندهای ۷/۴



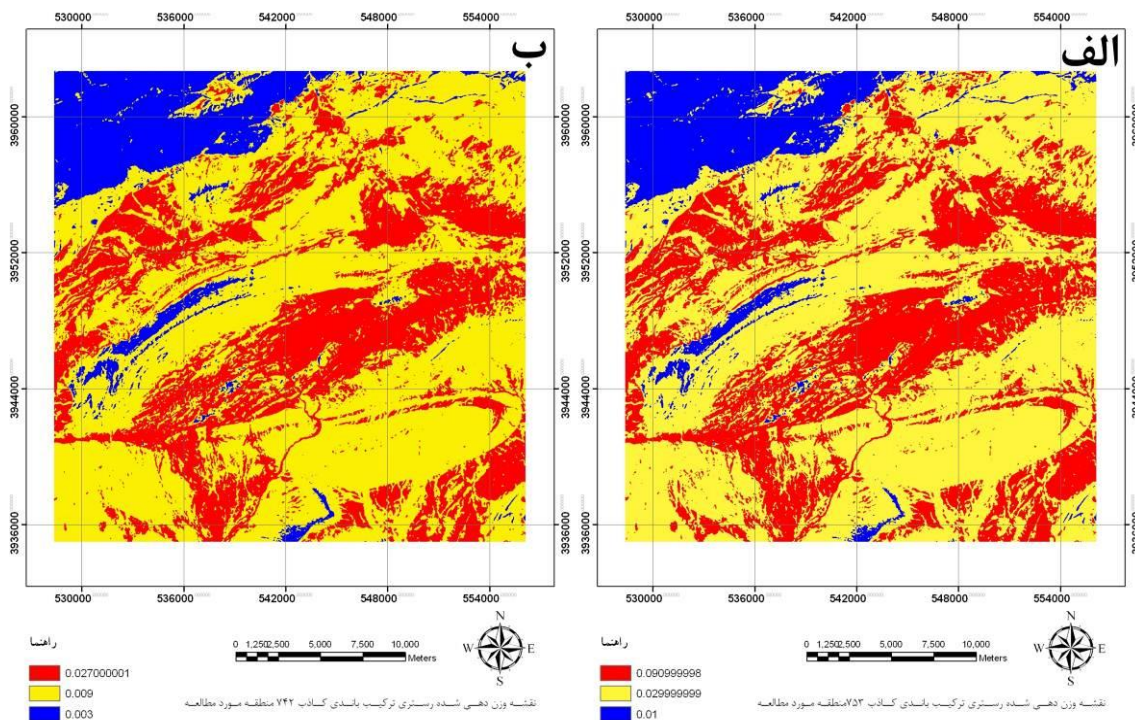
شکل ۶. نقشه وزن دهی شده رستری نسبت باندهای منطقه مورد مطالعه: (الف) نسبت باندهای ۷/۲، (ب) نسبت باندهای ۷/۴

جدول ۱. مقادیر OIF برای ترکیب باندی های مختلف

فاکتور شاخص بهینه (OIF)	$\sum_{k=1}^3 Abs(r_j)$	$\sum_{k=1}^3 S_k$	ترکیب باندی	فاکتور شاخص بهینه (OIF)	$\sum_{k=1}^3 Abs(r_j)$	$\sum_{k=1}^3 S_k$	ترکیب باندی
۱۴/۵۱۳	۲/۷۳۷	۳۹/۷۲۲	۷،۵،۴	۱۴/۰۱۰	۲/۵۵۵	۳۵/۷۹۶	۸،۷،۱
۱۳/۴۷۶	۲/۲۵۵	۳۴/۳۷۵	۷،۴،۱	۱۴/۱۶۸	۲/۶۵۵	۳۷/۷۶۴	۸،۷،۲
۱۳/۵۷۱	۲/۶۷۸	۳۶/۳۴۳	۷،۴،۲	۱۵/۵۷۹	۲/۶۹۳	۴۱/۹۵۵	۸،۷،۳
۱۴/۸۲۵	۲/۷۳۴	۴۰/۵۳۴	۷،۴،۳	۱۴/۴۵۶	۲/۶۶۰	۳۸/۴۵۱	۸،۷،۴
۱۴/۳۵۱	۲/۶۳۹	۳۷/۸۷۹	۷،۳،۱	۱۵/۲۲۶	۲/۷۰۲	۴۱/۱۴۳	۸،۷،۵
۱۴/۴۷۶	۲/۷۵۳	۳۹/۸۴۷	۷،۳،۲	۱۴/۱۲۲	۲/۵۷۷	۳۶/۳۹۶	۸،۵،۱
۱۲/۴۵۴	۲/۷۰۵	۳۳/۶۸۸	۷،۲،۱	۱۴/۲۳۹	۲/۶۹۴	۳۸/۳۶۴	۸،۵،۲
۱۳/۴۹۳	۲/۵۹۵	۳۴/۹۷۵	۵،۴،۱	۱۵/۵۵۶	۲/۷۳۶	۴۲/۵۵۵	۸،۵،۳
۱۳/۵۵۳	۲/۷۲۶	۳۶/۹۴۳	۵،۴،۲	۱۴/۳۳۵	۲/۷۲۴	۳۹/۰۵۱	۸،۵،۴
۱۴/۷۱۴	۲/۷۹۶	۴۱/۱۳۴	۵،۴،۳	۱۲/۶۹۱	۲/۶۵۶	۳۳/۷۰۳	۸،۴،۱
۱۴/۴۷۱	۲/۶۵۹	۳۸/۴۷۹	۵،۳،۱	۱۲/۸۹۳	۲/۷۶۷	۳۵/۶۷۲	۸،۴،۲
۱۴/۵۵۶	۲/۷۷۹	۴۰/۴۴۷	۵،۳،۲	۱۳/۹۵۰	۲/۸۵۷	۳۹/۸۶۲	۸،۴،۳
۱۲/۶۴۹	۲/۷۱۱	۳۴/۲۸۸	۵،۲،۱	۱۳/۶۷۳	۲/۷۲۱	۳۷/۲۰۷	۸،۳،۱
۱۳/۰۵۰	۲/۷۴۲	۳۵/۷۸۶	۴،۳،۱	۱۳/۹۰۰	۲/۸۱۸	۳۹/۱۷۶	۸،۳،۲
۱۳/۲۱۹	۲/۸۵۶	۳۷/۷۵۵	۴،۳،۲	۱۱/۹۹۶	۲/۷۵۲	۳۳/۰۱۷	۸،۲،۱
۱۱/۵۱۲	۲/۷۴۵	۳۱/۵۹۶	۴،۲،۱	۱۴/۰۸۵	۲/۶۳۲	۳۷/۰۶۷	۷،۵،۱
۱۲/۳۰۸	۲/۸۵۲	۳۵/۱۰۰	۳،۲،۱	۱۴/۱۱۹	۲/۷۶۵	۳۹/۰۳۶	۷،۵،۲
				۱۵/۵۹۷	۲/۷۷۱	۴۳/۲۲۶	۷،۵،۳



شکل ۷. الف) ترکیب باندی ۷۵۳ منطقه، ب) ترکیب باندی ۷۴۲ منطقه



شکل ۸. نقشه وزن دهی شده رستری ترکیب باندی کاذب منطقه مورد مطالعه: الف (۷۵۳، ب) ۷۴۲

نهبشته‌های بوراته و فعالیت‌های زمین گرمایی معمولاً در ارتباط نزدیک با گسل ها و شکستگی های ناشی از فعالیت‌های تکتونیکی و همچنین ماگماتیسم رخ می‌دهند (Khalili and Safaei, 2002). بنابراین با مشخص کردن گسل‌های منطقه می‌توان واحدهای تبخیری منطقه در زون گسله و دیگر مناطق امیدبخش کانی سازی بورات‌ها را تعیین کرد. گسل های منطقه با توجه به گسل های شناخته شده در نقشه های زمین شناسی دارین و ششتمد و همچنین با استفاده از تصاویر ماهواره ای لندست و گوگل ارث و با استفاده از استخراج خط واره ها در مطالعات دورسنجی به دست آمده‌اند. در شکل (۹-ب) لایه وزن‌دهی شده مربوط به گسل‌های منطقه آورده شده است که با توجه به این نقشه کانی سازی را می‌توان در ارتباط با دو گسل اصلی نقشه با روند شمال غرب-جنوب شرق واقع در قسمت شرق نقشه دانست. برای گسل ها با فاصله ۲۰۰ متر در نظر گرفته شده است. گسل های موجود در منطقه با توجه به تأثیر گذاری در امر کانی سازی بورات ها به سه دسته گسل های تراستی (رانده)، گسل های معکوس و سایر گسل ها تقسیم شده‌اند. این گسل ها با توجه به روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) با یکدیگر مقایسه زوجی شده و وزن اختصاص یافته به هر نوع گسل با استفاده از این روش بدست آمده است. بعد از وزن دهی به گسل های منطقه، نقشه رستری وزن دهی شده آن تهیه شد که در شکل ۹-ب نشان داده شده است.

### تهیه لایه های اطلاعاتی زمین شناسی و گسل ها

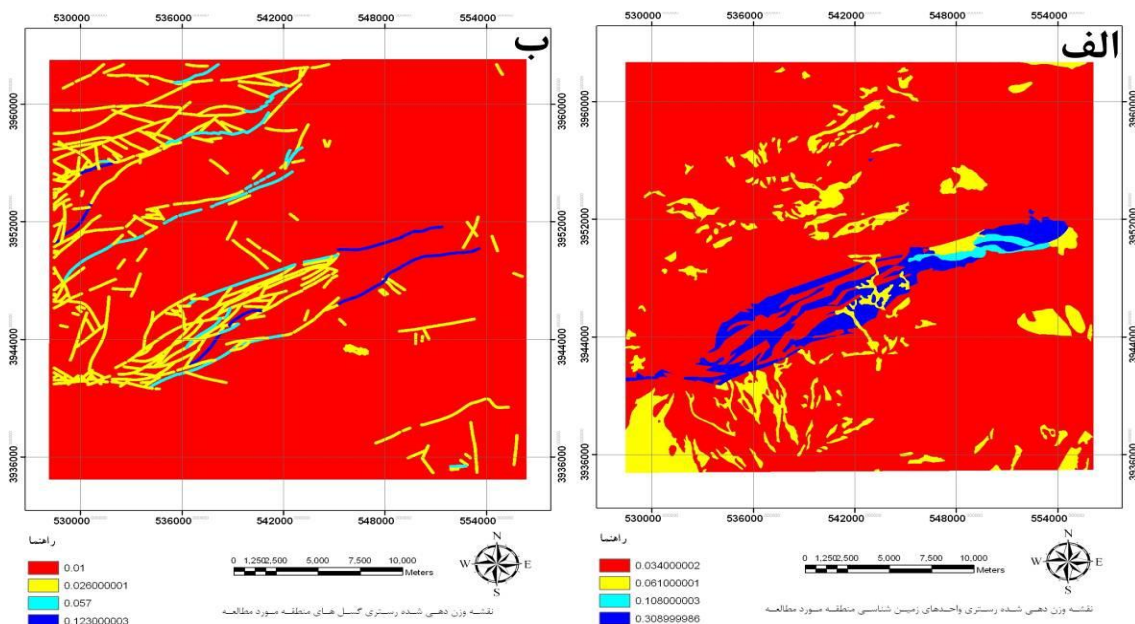
با توجه به اینکه زمین شناسی، مخصوصاً نوع سنگ‌ها و نیز گسل‌ها می‌تواند نقش قابل توجهی در تشکیل بورات‌ها داشته باشد، تهیه لایه های اطلاعاتی آنها جهت کاربرد در مرحله تلفیق در این مطالعه از اهمیت به سزایی برخوردار است. مراحل و چگونگی تهیه آنها ذیلاً شرح داده می‌شود.

#### تهیه لایه زمین شناسی منطقه

لایه زمین شناسی منطقه با وزن دهی به واحدهای مختلف زمین شناسی با توجه به هدف مورد اکتشاف تهیه می‌شود. در مطالعه حاضر لازم بود واحدهایی که معمولاً دربرگیرنده کانی‌سازی بورات‌ها هستند و در امر کانی سازی بورات‌ها نقش مؤثرتری دارند وزن بیشتری داده شوند. بدین منظور به ترتیب به واحدهای  $K_2^{m,l,f}$  متشکل از تناوب‌های مارن، سنگ آهک و نهبشته‌های شبه فلیشی و  $K_1^{v,t,c}$  شامل آندزیت، اسپلیت، کراتوفیر، توف ها، توف برش، ماسه سنگ توفی، کنگلومرا و  $Q^1$  تشکیل شده از پادگانه‌های مرتفع و مخروط افکنه‌های قدیمی (کنگلومرای ماسه‌ای-پاره سنگی آبرفتی-سیلابی)، نسبت به سایر واحدهای منطقه بیشترین وزن داده شده است (شکل ۹-الف). جهت محاسبه مقدار عددی وزن اختصاص یافته به هر واحد از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) استفاده شده است که در آن بعد از مقایسه های زوجی و با توجه به سایر سطوح و سایر لایه های اطلاعاتی، وزن هر واحد بدست آمده است (۶-۱).

#### تهیه لایه گسل‌های منطقه

در تیپ کانی سازی زمین گرمایی یکی از پارامترهای مهم جهت تشخیص مناطق امیدبخش کانی سازی بورات‌ها، گسل‌ها می‌باشند.



شکل ۹. نقشه وزن دهی شده رستری الف) واحدهای زمین شناسی و ب) گسل های منطقه مورد مطالعه

### اجرای روش تحلیل سلسله مراتبی جهت وزن دهی به لایه های اطلاعاتی منطقه

یک روش اساسی جهت آزمون روش AHP مقایسه‌های دوتایی می‌باشد. این روش از پیچیدگی مدل به طور قابل توجهی می‌کاهد، زیرا تنها دو مؤلفه در یک زمان بررسی می‌گردند. این روش در سه مرحله انجام می‌گردد: الف) تهیه ماتریس مقایسه در هر سلسله مراتب، که از بالا آغاز شده و به پایین ادامه می‌یابد. ب) محاسبه وزن‌های هر عنصر سلسله مراتب. ج) تخمین نسبت توافق.

اولین مرحله در روش AHP تجزیه نمودن مسأله تصمیم‌گیری به سلسله مراتب است که شامل مهمترین عناصر مسأله تصمیم‌گیری می‌باشد. در ایجاد یک سلسله مراتب، سطح بالا، هدف نهایی یک تصمیم‌گیر است. سپس سلسله مراتب از کلی به جزئی‌تر تا اینکه به سطحی از صفات برسد، پایین می‌آید. این سطحی است که در مقابل آن گزینه‌های تصمیم‌گیری پایین‌ترین سطح سلسله مراتب ارزیابی می‌شود. هر سطح باید به سطح بالاتر قبلی متصل شود. بطور مثال یکی از ساختارهای سلسله‌مراتبی شامل چهار سطح است: هدف اصلی، اهداف، صفات و گزینه‌ها. گزینه‌ها در یک پایگاه داده GIS ارائه می‌شوند. هر لایه شامل مقادیر صفاتی است که به گزینه‌ها تخصیص داده شده و هر گزینه (مثلا پلیگون) مرتبط با عناصر سطح بالایی (یعنی صفات) می‌باشد. مفهوم صفت، روش AHP را به روشهای GIS متصل می‌نماید (پرهیزکار و غفاری، ۱۳۸۵). هدف نهایی در این پژوهش تعیین مناطق با پتانسیل کانی سازی بورتا می‌باشد. با توجه به اطلاعات موجود جهت رسیدن به این هدف از لایه‌های اطلاعاتی زمین شناسی، گسل‌های منطقه و لایه‌های استنتاج شده از مطالعات دورسنجی استفاده شده است. با توجه به هدف ذکر شده و لایه‌های اطلاعاتی موجود و همچنین زیر لایه‌های مربوط به آنها، سلسله مراتبی که در (شکل ۱۰) نشان داده شده است شکل گرفت.

### وزن دهی به لایه های اطلاعاتی

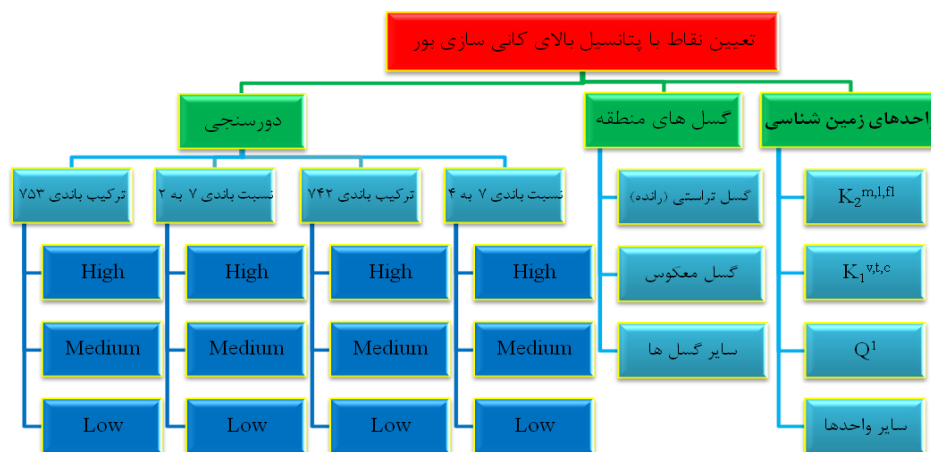
تلفیق لایه‌های اطلاعاتی در هر مدل بدون در نظر گرفتن ارزش هر یک از لایه‌های اطلاعاتی و واحدهای مربوط به آنها نمی‌تواند نتایج درستی را در بر داشته باشد. به منظور ارزش گذاری و وزن دادن به لایه های اطلاعاتی در این مطالعه از روش AHP استفاده شده است. تکنیک پردازش تحلیلی سلسله مراتبی (AHP) در اواخر دهه هفتاد میلادی توسط توماس ال ساعتی ابداع و پیشنهاد شد. این روش مبتنی بر مقایسه زوجی و دو به دوی گزینه‌ها و معیارها در یک ساختار سلسله مراتبی و همچنین محاسبه ارزش نسبی گزینه‌های موجود می‌باشد. سادگی، کارایی، قابلیت استناد و اعتمادپذیری این روش موجب توجه به آن در تمامی دستگاه‌ها و همچنین علمی شد که به نوعی با تصمیم‌گیری سر و کار داشتند (Saaty, 1980).

در روش AHP بعد از تجزیه نمودن مسأله تصمیم‌گیری به سلسله مراتب از روش مقایسه دوتایی استفاده می‌شود. جهت انجام این روش، ابتدا تک تک معیارهای مورد بررسی را مقایسه نموده و میزان اهمیت نسبی هر جفت نسبت با توجه به امتیاز بندی بین ۱ تا ۹ اختصاص داده و در یک ماتریس وارد می‌شود. پس از آن وزن‌ها و نسبت توافق (Consistency Ratio) را محاسبه نموده، چنانچه این نسبت کمتر از ۰/۱ باشد، مقایسه‌های انجام شده را پذیرفته و وزن‌های محاسبه شده، استخراج می‌گردند. در صورتی که نسبت توافق از ۰/۱ بیشتر باشد، با اعمال تغییراتی در ماتریس مقایسه دوتایی آن را برای حد قابل قبول تنظیم می‌کنیم. در این مطالعه عملیات محاسبه وزن‌ها و محاسبه نسبت توافق در نرم افزار Expert Choice 11 انجام گرفته است.



وزن واحدها در هر لایه اطلاعاتی با استناد به منابع مختلف در مکان‌یابی و اعمال نظر کارشناسی بدست آمد. مقایسه زوجی در اولین سطح از نمودار سلسله مراتبی انجام شده و نتایج آن در (جدول ۲) آورده شده است. با توجه به بررسی‌ها و مطالعات زمین شناسی و اینکه از منطقه یک نقشه زمین شناسی دقیقی تهیه شده است، لایه زمین شناسی از اهمیت بیشتری نسبت به لایه‌های دورسنجی و گسل‌های منطقه برخوردار

بوده و اهمیت آن دو برابر بقیه برآورد شد. در مقایسه بین گسل‌های منطقه با لایه‌های دورسنجی با توجه به ارتباط مستقیم گسل‌ها با کانی سازی بورات‌ها و اینکه لایه‌های دورسنجی یک منطقه وسیعی را به عنوان پتانسیل کانی سازی بورات‌ها نشان دادند، به لایه گسل‌های منطقه دوبرابر واحدهای دورسنجی اهمیت داده شد.



شکل ۱۰. نمودار سلسله مراتبی لایه‌های اطلاعاتی بکار رفته در تحقیق حاضر

جدول ۲. مقایسه زوجی اولین سطح از نمودار سلسله مراتبی

دورسنجی	گسل	زمین شناسی	پتانسیل کانی سازی
۲	۲	۱	زمین شناسی
۲	۱	۱/۲	گسل
۱	۱/۲	۱/۲	دورسنجی

در سطحی پائین تر واحدهای زمین شناسی منطقه با یکدیگر به صورت زوجی مقایسه شدند. با توجه به واحدهایی که معمولاً دربرگیرنده کانی‌سازی بورات‌ها هستند، به ترتیب به واحدهای  $K_2^{m,l,f}$  حاوی تناوب‌های مارن، سنگ آهک و نهشته‌های شبه فلیشی و  $K_1^{v,t,c}$  شامل آندزیت، اسپلیت، کراتوفیر، توف‌ها، توف‌برش، ماسه سنگ توفی، کنگلومرا

و  $Q^1$  متشکل از پادگانه‌های مرتفع، مخروط افکنه‌های قدیمی (کنگلومرای ماسه‌ای-پاره سنگی آبرفتی-سیلابی) بیشترین وزن داده شده است. سایر واحدها نیز از اهمیت کمتری برخوردار بودند. مقایسه‌های زوجی مربوط به واحدهای زمین شناسی در (جدول ۳) آورده شده است.

جدول ۳. مقایسه زوجی واحدهای زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

سایر واحدها	$Q^1$	$K_1^{v,t,c}$	$K_2^{m,l,f}$	واحدهای زمین شناسی
۹	۵	۳	۱	$K_2^{m,l,f}$
۳	۲	۱	۱/۳	$K_1^{v,t,c}$
۲	۱	۱/۲	۱/۵	$Q^1$
۱	۱/۲	۱/۵	۱/۹	سایر واحدها

یکی از پارامترهای مهم جهت تشخیص مناطق امیدبخش کانی سازی بورات‌ها، گسل‌ها می‌باشند. همان‌طور که گفته شد نهشته‌های بوراته و فعالیت‌های ژئوترمالی معمولاً در ارتباط نزدیک با گسل‌ها و شکستگی‌های ناشی از فعالیت‌های تکتونیکی و همچنین ماگماتیسم رخ می‌دهند (Khalili and Safaei, 2002). بنابراین با مشخص کردن گسل‌های منطقه می‌توان واحدهای تبخیری منطقه و مناطق امیدبخش کانی سازی بورات‌ها را تعیین کرد. در اینجا گسل‌های منطقه در سه گروه گسل‌های تراستی، معکوس و سایر گسل‌ها قرار گرفتند، که با توجه به تاثیر آنها در امر کانی سازی بورات‌ها با یکدیگر به صورت زوجی مقایسه شدند و نتیجه‌ی این مقایسه زوجی در (جدول ۴) آورده شده است.

نتیجه‌ی این مقایسه زوجی در (جدول ۴) آورده شده است.

جدول ۴. مقایسه زوجی گسل‌های منطقه مورد مطالعه

گسل‌های منطقه	گسل تراستی (رانده)	گسل معکوس	سایر گسل‌ها
گسل تراستی (رانده)	۱	۲	۵
گسل معکوس	۱/۲	۱	۲
سایر گسل‌ها	۱/۵	۱/۲	۱

در بخش مطالعات دورسنجی صورت گرفته، از روش‌های نسبت باندی و ترکیب باندی کاذب استفاده شده است. با توجه به طول موج مربوط به باندهای مختلف ماهواره لندست ETM+7، نسبت های باندی ۷/۲ و ۷/۴ مناسب جهت تشخیص کانی‌های بوراته می‌باشند. در روش ترکیب باندی کاذب از فاکتور OIF استفاده شد، و بهترین ترکیب باندی مناسب تصویر ۷۵۳ تعیین شد. همچنین از آنجایی که ترکیب باندی ۷۴۲ معمولا

واحدهای زمین شناسی را به خوبی نشان می‌دهد، از این ترکیب باندی نیز در تلفیق استفاده شد، که نتایج حاصل از مقایسه زوجی این تصاویر در (جدول ۵) آورده شده است. در این مطالعه هر یک از تصاویر دورسنجی به سه کلاس تقسیم شده است، و کلاس‌ها با توجه به میزان ارتباطشان به کانی سازی بورات‌ها با هم مقایسه زوجی شدند که نتایج این مقایسات زوجی در (جدول ۶) آورده شده است.

جدول ۵. مقایسه زوجی تصاویر حاصل از مطالعات دورسنجی

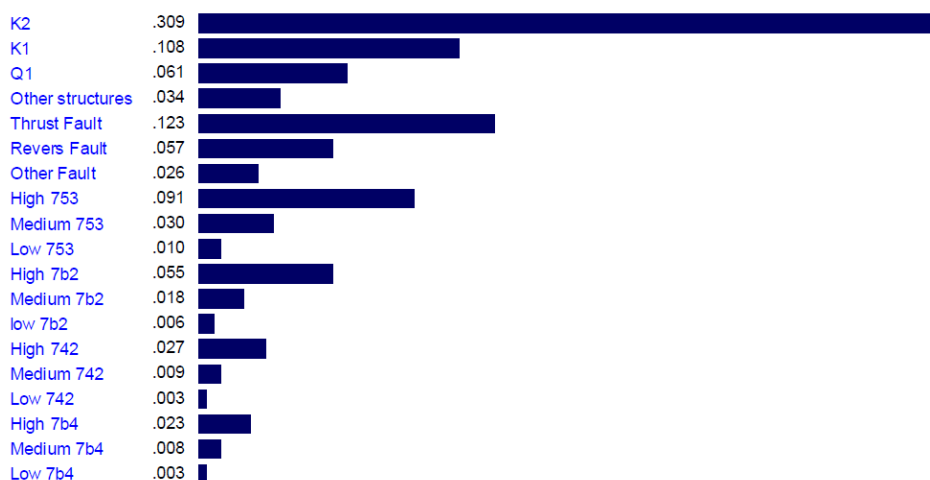
دورسنجی	ترکیب باندی ۷۵۳	نسبت باندی ۷ به ۲	ترکیب باندی ۷۴۲	نسبت باندی ۷ به ۴
ترکیب باندی ۷۵۳	۱	۲	۴	۳
نسبت باندی ۷ به ۲	۱/۲	۱	۳	۲
ترکیب باندی ۷۴۲	۱/۴	۱/۳	۱	۲
نسبت باندی ۷ به ۴	۱/۳	۱/۲	۱/۲	۱

جدول ۶. مقایسه زوجی کلاس‌های مختلف تصاویر ماهواره‌ای

دورسنجی	بالا	متوسط	پایین
بالا	۱	۳	۹
متوسط	۱/۳	۱	۳
پایین	۱/۹	۱/۳	۱

از مقایسه‌های زوجی ذکر شده استفاده شده و این مقایسه‌ها وارد نرم افزار Expert Choice 11 شده و وزن مربوط به هر لایه با استفاده از روش AHP به دست آمده است که نتیجه آن در (شکل ۱۱) آورده شده

است. شایان ذکر است نسبت CR در این مطالعه عدد ۰/۰۳ به دست آمد که نشان دهنده قابل قبول بودن نتیجه می باشد.



شکل ۱۱. ضرایب به دست آمده از روش AHP

### مدلهای ریاضی ترکیب لایه ها

مدل یک موضوع یا یک مفهوم است که برای نمایش پدیده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد و در اصل مقیاس کوچکی از واقعیت است و بصورتی تبدیل شده است که قابل فهم برای ما باشد (لی و همکاران ۱۳۸۵). یک مدل ممکن است دارای اهداف خاص مثل پیش‌بینی، پهنه بندی، مکان یابی و... باشد. معمولاً هر چه عوامل بیشتری در ارائه یک مدل دخیل باشند دقت مدل بالاتر خواهد بود و همچنین بر پیچیدگی مدل هم افزوده خواهد شد (نخعی و همکاران ۱۳۹۲). بهترین مدل، مدلی است که با کمترین تعداد عامل، بهترین نتیجه را ارائه نماید (آل شیخ ۱۳۸۰). مدل‌های تلفیق که معمولاً در GIS به منظور اکتشاف ذخایر معدنی بکار گرفته شده‌اند، شامل مدل‌های دانش مبنا و داده مبنا می‌باشند. مدل‌های بولین، همپوشانی شاخص و منطق فازی جزء مدل‌های دانش مبنا بوده و مدل‌های وزن‌های نشانگر، رگرسیون لجستیک و شبکه عصبی نیز داده مبنا می‌باشند که این مدل‌ها در موارد متعددی به منظور تهیه نقشه پتانسیل معدنی بکار رفته‌اند (Telmo et al., 2006, Carranza 2004, Carranza and Hale 2001, Hosmer and Lemeshow 2000, Brown et al. 2000). در این مطالعه جهت تلفیق از مدل‌های دانش مبنا منطق فازی و همپوشانی شاخص، استفاده شده است. در پتانسیل یابی کانی سازی بورات‌ها، در این مطالعه از واحدهای زمین شناسی، گسل‌های منطقه و مطالعات دورسنجی استفاده شده است، چنانکه جمعاً نوزده زیرلایه به کار گرفته شده است.

### تلفیق لایه ها با استفاده از مدل همپوشانی شاخص

در این مدل علاوه بر وزن دهی به هر واحد در لایه‌های اطلاعاتی، به هر لایه اطلاعاتی نیز بر اساس اهمیت خود وزن خاصی داده می‌شود. محدوده وزن دهی به واحدها و لایه‌ها بستگی به نظر محقق دارد، نتیجه‌ی نهایی این مدل که از ابزارهای نیرومند در محیط GIS می‌باشد، ارزش هر پیکسل در نقطه خروجی مجموع ارزش پیکسل‌های لایه‌های ورودی در همان نقطه است که به نسبت ضریب اهمیت آن لایه افزایش یافته‌اند (کی نژاد و همکاران، ۱۳۹۱). در مدل همپوشانی شاخص، وزن‌های بدست

آمده از روش AHP برای لایه‌های اطلاعاتی موجود، استفاده شده و این لایه‌ها مطابق با یک الگوی هدفمند و با استفاده از رابطه (۲) با یکدیگر تلفیق شده‌اند.

$$\bar{S} = \frac{\sum_i^n s_{ij} w_i}{\sum_i^n w_i} \quad \text{رابطه (۲)}$$

در این رابطه  $\bar{S}$  امتیاز محاسبه شده برای موضوع یا عارضه،  $W_i$  وزن آامین نقشه ورودی و  $S_{ij}$  امتیاز آامین کلاس از آامین نقشه است (Bonham-Carter, 1994). در شکل ۱۲- الف و ب نقشه حاصل از تلفیق لایه‌های اطلاعاتی به روش همپوشانی شاخص نشان داده شده است. در این تصویر مناطق با پتانسیل کانی سازی بورات به رنگ آبی تیره و به صورت کمربندی در مرکز نقشه از جنوب غرب منطقه تا شرق منطقه نشان داده شده است.

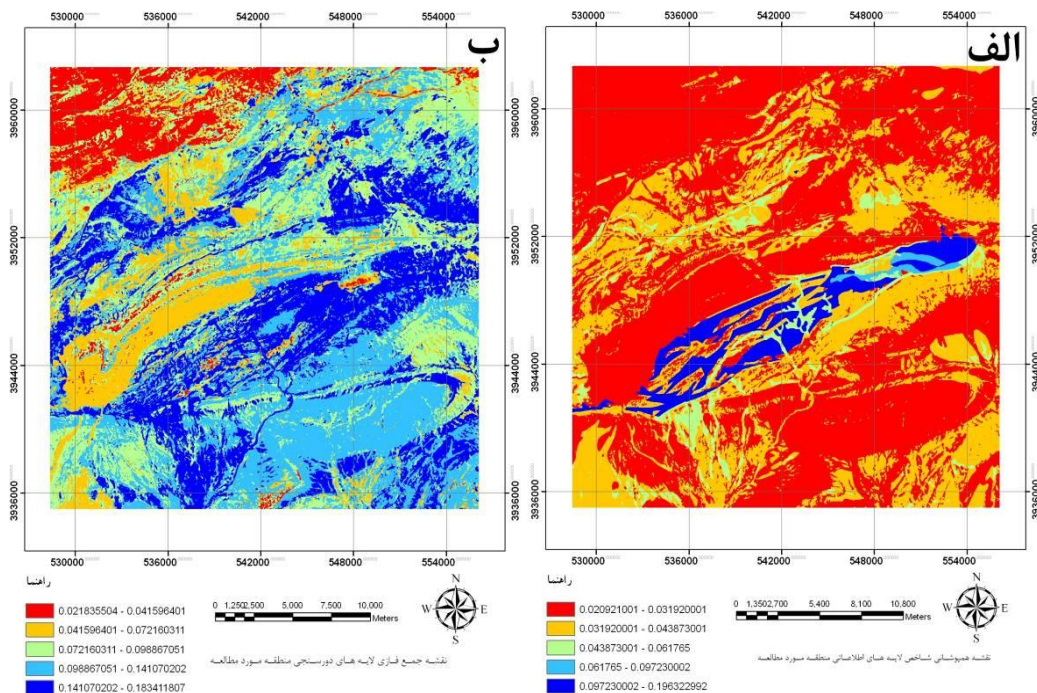
### تلفیق لایه ها با استفاده از مدل منطق فازی

در نظریه فازی مجموعه‌ها، درجه عضویت در مجموعه بین صفر و یک می‌باشد (Bonham-Carter 1994, Zadeh 1965, Zimmerman., 1991). به منظور تلفیق داده‌های اکتشافی، پنج عملگر فازی مفید بوده که در (جدول ۷) به صورت مختصر معرفی شده‌اند (An et al., 1991). در روابط مربوط به این جدول n فاکتور کنترل کننده‌ی کانی سازی، ترکیب می‌شوند و  $\mu$  بیانگر وزن لایه آم می‌باشد.

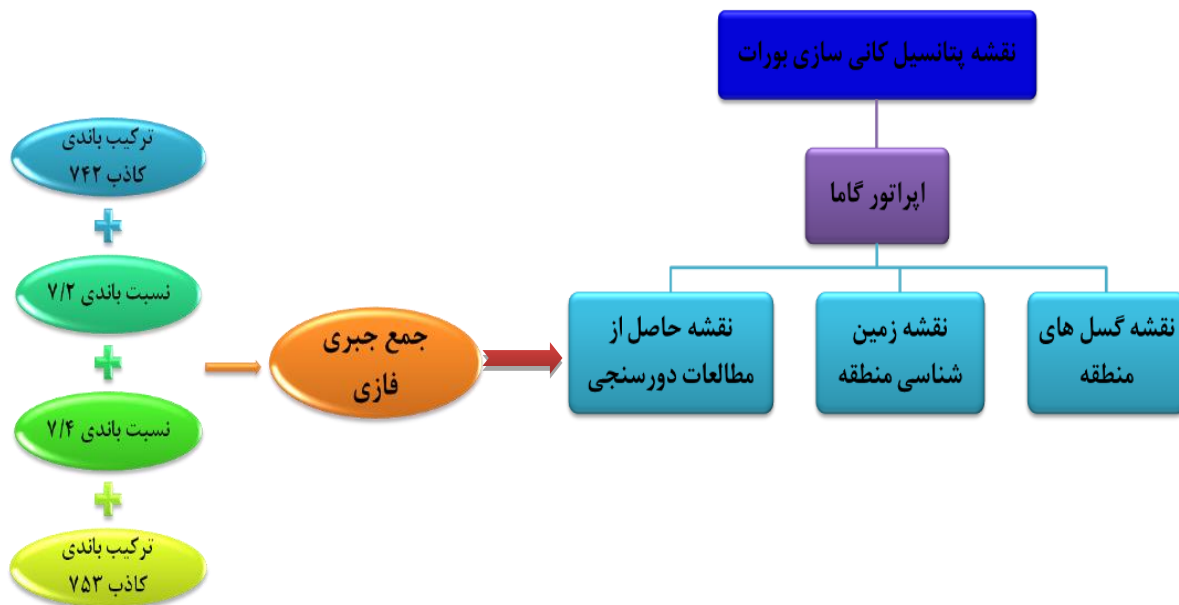
همان طور که گفته شد بعد از آماده سازی لایه‌های اطلاعاتی، توسط روش سلسله مراتبی به لایه‌های اطلاعاتی وزن داده شد. بعد از وزن دهی به لایه‌های اطلاعاتی به روش سلسله مراتبی، تلفیق لایه‌های اطلاعاتی علاوه بر روش همپوشانی شاخص به روش منطق فازی و با استفاده از روابطی که بیان شد و طبق فلوجارت (شکل ۱۳) انجام گرفت. در شکل (۱۲- ب) نقشه لایه وزن‌دهی شده حاصل از جمع جبری فازی نقشه‌های دورسنجی آورده شده است. در نهایت با تلفیق لایه‌های اطلاعاتی با استفاده از اپراتور گاما در روش منطق فازی، نقشه پتانسیل نهایی در دو حالت بدبینانه ( $\gamma = 0/1$ ) (شکل ۱۴- الف) و خوشبینانه ( $\gamma = 0/9$ ) (شکل ۱۴- ب) تهیه گردید. مناطق امیدبخش به رنگ آبی تیره در نقشه‌ها نشان داده شده‌اند.

جدول ۷. معرفی عملگرهای فازی مفید در تهیه نقشه پتانسیل معدنی (An et al., 1991)

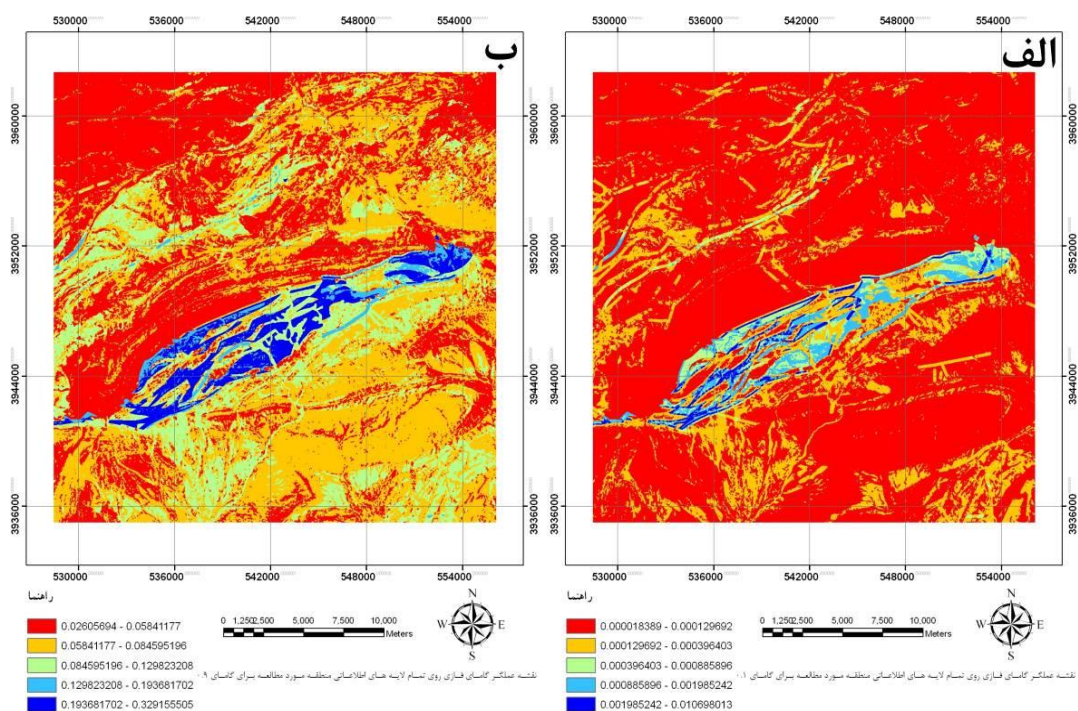
عملگر	رابطه عملگر	
عملگر فازی AND	$\mu_{\text{Combination}} = \text{MIN}(\mu_A, \mu_B, \mu_C, \dots)$	هم ارز عملگر منطقی AND در مجموعه کلاسیک، پدید آمدن تخمینی محافظه کارانه و لزوم وجود دو یا چند شاهد برای اثبات یک فرضیه
عملگر فازی OR	$\mu_{\text{Combination}} = \text{MAX}(\mu_A, \mu_B, \mu_C, \dots)$	هم ارز عملگر منطقی OR در مجموعه کلاسیک، کاربرد در مواردی که فاکتورهای تشخیص کانی سازی کم و حضور هر فاکتور مثبت برای اظهار مطلوبیت کافی باشد.
ضرب فازی	$\mu_{\text{Combination}} = \prod_{i=1}^n \mu_i$	دارای اثر کاهشی و کاربرد در مواردی که دو فاکتور یکدیگر را تضعیف می‌کنند.
جمع فازی	$\mu_{\text{Combination}} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - \mu_i)$	دارای اثر افزایشنده و کاربرد در مواردی که دو یا چند شاهد یک فرضیه را تایید و یکدیگر را تقویت می‌کنند.
گامای فازی	$\mu_{\text{Combination}} = (\text{Fuzzy Sum})^\gamma * (\text{Fuzzy Product})^{1-\gamma}$	$\gamma$ بین عدد صفر تا یک، ایجاد سازگاری قابل انعطاف میان گرایش‌های کاهشی و افزایشی دو عملگر فازی Product و Sum با انتخاب صحیح و آگاهانه $\gamma$



شکل ۱۲. الف) نقشه همپوشانی شاخص لایه‌های اطلاعاتی و ب) نقشه جمع جبری فازی لایه‌های دورسنجی منطقه مورد مطالعه



شکل ۱۳. فلوجارت مراحل تلفیق به روش فازی در محیط GIS



شکل ۱۴. نقشه عملگر گامای فازی روی تمام لایه‌های اطلاعاتی منطقه مورد مطالعه برای گامای الف (۰/۱) و ب (۰/۹)

## نتیجه‌گیری

با توجه به مطالعات دورسنجی انجام شده در منطقه مورد مطالعه بهترین نسبت باندی جهت تشخیص بورت‌ها با توجه به مشخصه‌های انعکاسی آنها نسبت ۷/۲ تشخیص داده شد و همچنین با استفاده از فاکتور OIF بهترین ترکیب باندی کاذب در این منطقه جهت تشخیص بورت‌ها ترکیب باندی ۷۵۳ تعیین شد. در این نسبت باندی و ترکیب باندی کاذب مناطق با پتانسیل کانی‌سازی بورت‌ها با رنگ روشن از دیگر مناطق قابل تشخیص می‌باشند. AHP با ماهیت ساده و در عین حال جامعی که دارد می‌تواند به عنوان ابزاری قوی و کارآمد در تحلیل و برآورد میزان اهمیت روش‌های اکتشافی به کارگرفته شده و در نهایت در تلفیق نتایج مورد استفاده قرار گیرد. با استفاده از تلفیق لایه‌های حاصل از مطالعات دورسنجی، لایه زمین‌شناسی و لایه گسل‌های منطقه، مناطق امیدبخش جهت کانی‌سازی بورت مشخص شدند. لایه‌های اطلاعاتی ذکر شده و نیز

## منابع

- آقا نباتی، ع.، ۱۳۸۳، زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- آل‌شیخ، ع.ا.، ۱۳۸۰، کاربرد GIS در مکان‌یابی عرصه‌های پخش سیلاب، مجله تحقیقات جغرافیایی، مقاله شماره ۵۵۱.
- افتخار نژاد، ج.، ۱۳۵۵، نقشه زمین‌شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ کاشمر، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- بمانی، م.، ۱۳۸۹، معرفی روش‌های پی‌جوئی و اکتشاف کانه‌های بور، سمینار کارشناسی ارشد، دانشگاه یزد، ۹۰ ص.
- بمانی، م.، ۱۳۹۰، پی‌جوئی و اکتشاف بوراکس در جنوب سبزووار با تلفیق روش‌های دورسنجی، برداشت‌های زمینی و مطالعات ژئوشیمیایی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه یزد، ۱۵۹ ص.
- بمانی، م.، مجتهد زاده، س.ح.، کوهساری، ا.ح.، ۱۳۹۱، بررسی زمین‌شناسی، کانی‌شناسی و فرآیند تشکیل رخداد بور محمدآباد عریان (جنوب سبزووار)، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، شماره ۱، ص ۱۷۳-۱۸۶.
- پرهیزکار، ا.، غفاری گیلانده، ع.، ۱۳۸۵، سامانه اطلاعات جغرافیایی و تحلیل تصمیم‌چندمعیاری، انتشارات سمت، تهران.

- جعفریان، م. ب.، جلالی، ع.، ۱۳۷۷، نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ ششتمد، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- کی نژاد، ص.، مختاری، ا.ر.، فتحیان پور، ن.، ایران نژادی، م.ر.، ۱۳۹۱، پتانسیل یابی منابع زمین گرمایی استان آذربایجان شرقی در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ با استفاده از داده های زمین شناسی و اکتشافی در محیط GIS، مجله زمین شناسی کاربردی پیشرفته، شماره ۳، جلد ۱، ص ۱۰۵-۱۱۶.
- لی، ز. و همکاران، ۱۳۸۵، مدل سازی رقومی زمین، ترجمه عزیز، ح.، حاجی میررحیمی، س.م.، ویرایش اول، قم، نشر ماه حرا.
- نخعی، م.، امیری، و.، رحیمی شهربابکی، م.، ۱۳۹۲، ارزیابی پتانسیل آلودگی و آنالیز حساسیت آب زیرزمینی در آبخوان خاتون آباد با استفاده از مدل دراستیک مبتنی بر GIS، مجله زمین شناسی کاربردی پیشرفته، شماره ۸، ص ۱-۱۰.
- وحدتی دانشمند، ف. و ندیم، ه.؛ ۱۳۷۷، نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ دارین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- An, P., Moon, W. M., Rencz, A., 1991, Application of fuzzy set theory for integration of geological, geophysical and remote sensing data, *Canadian Journal of Exploration Geophysics*, Vol: 27, p: 1-11.
- Bonham-Carter, G. F., 1994, Geographic Information system for geocientists: modeling with GIS, *Pergamon Press, Ontario, Canada*.
- Carranza E.J.M. 2004, Weights of evidence modeling of mineral potential: a case study using small number of prospects, Abra, Philippines. *Nat Resoue Res 13*, p: 173-187.
- Carranza E.J.M., Hale, M., 2001, Logestic regression for geologically constrained mapping of gold potential, Baguio district, Philippines. *Exploration and Mining Geology 10 (3)*, p: 165-175.
- Crowley, J. K., 1993, Mapping Playa Evaporite Minerals with AVIRIS Data: a First Report from Death Valley, California, *Remote Sensing of Environment*, Vol: 44, p: 337-356.
- Crowley, J. K., J. C. Mars, and S. J. Hook., 2000, Mapping Evaporate Minerals In The Death Valley Salt Pan Using Modis/Aster Airborne Simulator (Master) Data. Presented At the Fourteenth International Conference On Applied Geologic Remote Sensing, *Las Vegas, Nevada, 6-8 November*.
- Hosmer, D. W., Lemeshow, S., 2000, Applied Logistic Regrassion, and, 2nd edn. *John Wiley and Sons, New York*. p: 1-392.
- Khalili, M., Safaei, H., 2002, Identification Of Clastic-Evaporite Units In Abar-Kuh Playa (Central Iran) by Processing of Satellite Digital Data, *Carbonates and Evaporites*, No. 1, p: 17-24.
- Kratt1, C., Coolbaugh, M., Calvin, W., 2006, Remote Detection of Quaternary Borate Deposits with Aster Satellite Imagery as a Geothermal Exploration Tool, *Grc Transactions*, Vol. 30.
- Saaty, T.L., 1980, The Analytical Hierarchy Process, Planning Priority, Resource Allocation. *RWS Publications, USA*.
- Stearns, S. V., E. van der Horst, G. Swihart., 1-3 March. 1999, Hyperspectral mapping of borate minerals in Death Valley, California. *Thirteenth International Conference on Applied Geologic Remote Sensing, Vancouver, British Columbia, Canada*.
- Telmo, F. P. de Quadros, Koppe J. C., Strieder, A. J., Costa, J. F. C. L., 2006, Mineral Potential Mapping: A Comparison of Weights-of-Evidence and Fuzzy Methods, *Natural Resources Research*, Vol. 15. No. 1.
- Zadeh, L. A., 1965, Fuzzy sets. *IEEE Information and Control*, Vol: 8, p:338-353.
- Zimmerman, H. J., 1991, Fuzzy set theory and its applications (2nd edn.): Kluwer Acad, *Publ., Dordrecht*.