فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی
سال ۹ (۱۳۹۲)، شماره ۱: ۵۱-۴۳
www.appliedgeology.ir
دانشگاه آزاد اسلامی
واحد زاهدان

اکتشاف ذخایر طلای هیدروترمال با استفاده از انواع عملگرهای فازی در محیط GIS در منطقه تربت حیدریه

حسین شاهی*[۱] و ابوالقاسم کامکار رومانی[۲]

۱) دانشجوی دکترای مهندسی اکتشاف معدن، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، Hssn.shahi@Gmail.com،

۲) دانشیار، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، kamkarr@yahoo.com

*) عهده‌دار مکاتبات

دریافت: ۹۱/٤/۸؛ دریافت اصلاح شده: ۹۲/۲/۱۲؛ پذیرش: ۹۲/۲/۱٤؛ قابل دسترس در تارنما: ۹۲/۵/۳۱

چکیده

یکی از روش‌های تهیه نقشه پتانسیل معدنی به کمک سیستم اطلاعات جغرافیایی (Geography information system, GIS)، استفاده از روش منطق فازی است. منطق فازی، یکی از روش‌های متکی بر دانش است. به کمک این روش، به‌ویژه در مواردی که اندیس‌های معدنی و کانی‌سازی محدود باشند، بر اساس نظر کارشناس و با اختصاص ضرایب و وزن‌های منطقی به لایه‌های اطلاعاتی، می‌توان به نتایج قابل قبولی دست یافت. در این پژوهش، به منظور تهیه نقشه پتانسیل معدنی مطلوب طلای هیدروترمال در منطقه تربت حیدریه در استان خراسان رضوی، از روش منطق فازی بر روی داده‌های آلتراسیونی حاصل از تصاویر ماهواره ای، ژئوفیزیک هوایی، زمین شناسی، ساختاری و ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه‌ای استفاده شد. در ادامه، مناطق احتمالی کانی‌زایی به ترتیب اولویت بر روی نقشه مشخص شدند. وجود اندیس ها و رگه های اصلی کانی سازی منطقه در این محدوده ها، نشان دهنده‌ی کارآمد بودن این روش است. در نهایت، نتایج حاصل از ۵ عملگر روش فازی نیز با یکدیگر مقایسه شدند.

واژه‌های کلیدی: منطق فازی، پتانسیل معدنی، سیستم اطلاعات جغرافیایی، روش های متکی بر دانش.

۱- مقدمه

کشور ایران با توجه به موقعیت و ساختار زمین شناسی خاصی که دارد، از پتانسیل معدنی نسبتاً خوبی برخوردار است. تنوع مواد معدنی کشف شده در گذشته، این مسأله را تأیید می‌نماید. تربت حیدریه یکی از مناطق دارای پتانسیل کانی سازی طلا و مس می باشد که در امتداد شرقی زون تکنار قرار گرفته و از جنوب به گسل درونه (کویر بزرگ) و از شمال به گسل ریوش محدود می‌شود.

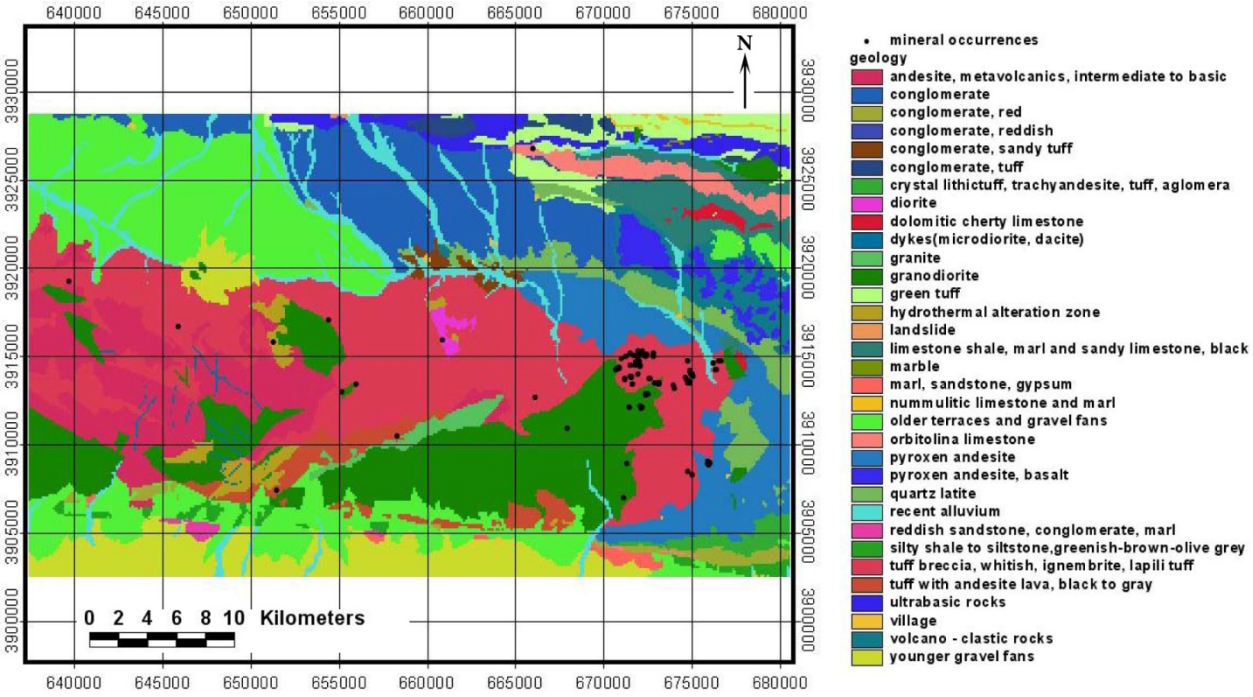
در این مطالعه، به منظور شناسایی مناطق پتانسیل دار طلا، از روش فازی به عنوان یکی از روش های دانش محور در محیط جی‌آی‌اس (GIS) استفاده شد روش فازی در زمینه های بسیاری مورد استفاده قرار گرفته است (Carranza & Hale 2001, Cheng & Agterberg 1999, Porwal et al. 2006, Topçu & Sarıdemir 2008).

تجربه اجرای عملیات اکتشافی و بررسی ارتباط و وابستگی بین ذخایر معدنی شناخته شده و الگوهای زمین شناسی در نواحی که در آن ها اکتشاف در حد خوب و متوسط صورت گرفته، به عنوان اساس روش دانش محور در تهیه مدل پتانسیل معدنی می باشد (Carranza 2008) در این مطالعه نتایج داده‌های ژئوفیزیک هوایی، زمین شناسی، اطلاعات ساختاری، ژئوشیمیایی و دورسنجی، با استفاده از روش فازی

با یکدیگر تلفیق گردیده و مناطق احتمالی کانی‌زایی به ترتیب اولویت مشخص شدند. در مناطق دارای اولویت اکتشافی مدل سازی شده، رگه‌ها و زونهای کانی سازی قابل توجهی قرار گرفته که بیانگر توانمند بودن روش فازی برای شناسایی مناطق دارای پتانسیل معدنی است.

۲- زمین شناسی منطقه

منطقه مورد مطالعه در زون تکنار قرار گرفته است. این زون در شمال گسل درونه بصورت یک بلوک گوه‌ای شکل بالا آمده و باعث برونزد سنگ‌های پالئوزوییک، مزوزوییک و سنوزوییک شده است. واحدهای سنگی زون تکنار تفاوتهای رخساره‌ای و ساختمانی را نسبت به نواحی مجاور نشان می‌دهند. این زون بوسیله دو گسل اصلی درونه در جنوب و ریوش (تکنار) در شمال محدود شده است. هر دو گسل دارای روند تقریبا خاوری ـ باختری با فعالیت تکتونیکی امتداد لغز می‌باشند. در بخش شرقی زون تکنار و محدوده بین دو گسل درونه و تکنار، فعالیتهای ولکانیکی ترشیری با توف خاکستری تیره و گاه ایگنیمبریتی شروع شده و با گدازه‌های سیاه رنگ با ترکیب آندزیتی همراه می‌شوند. بر روی این واحد، ضخامت زیادی از توف‌های برش سفید رنگ، برشهای ولکانیکی، توف‌های ماسه‌ای خاکستری‌رنگ، ایگنیمبریت و لاپیلی توف قرار گرفته است. همزمان با فعالیت توفی، گدازه‌هایی با ترکیب آندزیتی وجود دارند که توسط همان واحد پوشیده می‌شوند. در شرق نقشه تربت حیدریه، این مجموعه با کمی اختلاف در رخساره سنگی، توسط کنگلومرایی بصورت ناپیوستگی دگر شیب بر روی رسوبات کرتاسه قرار گرفته است. آخرین محصول فعالیتهای آتشفشانی مربوط به این زمان، پیروکسن، آندزیت، آلکالی بازالت و تراکی آندزیت با بافت پورفیری و گلومرو پورفیری می‌باشند (کانی‌های پیروکسن و اولیوین نیز در آن یافت می‌شود). این کانی‌ها در زمینه‌ای از پلاژیوکلاز و فلدسپات آلکالی قرار گرفته‌اند. ماگماتیسم بعد از ائوسن در زون تکنار غالباً با نفوذ توده‌های گرانودیوریت و دیوریت در داخل سنگهای ولکانیکی و آذرآواری پالئوژن در شمال و مرکز ناحیه فیض‌آباد مشخص می‌شود (حیدری ۱۳۹۰). در تصویر ۱، نقشه زمین شناسی منطقه ارائه شده است.



تصویر ۱- نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه تربت حیدریه (حیدری ۱۳۹۰)

۳- آشنایی با روش منطق فازی

روش های تلفیق نقشه‌های مختلف اکتشافی (به منظور تهیه نقشه امید بخش معدنی)، به دو گروه اصلی متکی بر دانش و متکی بر داده تقسیم می شوند. روش منطق فازی یکی از روش‌ها ی متکی بر دانش می باشد. مزیت این روش ها تلفیق دانش و تخصص یک زمین‌شناس اکتشافی در فرایند مدلسازی است (Harris et al. 2001). بر اساس تئوری مجموعه فازی، بازه‌ای از مقادیر ما بین صفر و یک می‌توانند برای بیان درجه یا میزان ارزش اعضای یک مجموعه مورد استفاده قرار گیرند (Novriadi et al. 2006, Tangestani 2009, de Gruijter et al. 2011).

بدین ترتیب، مقدار صفر به معنای عدم عضویت کامل و مقدار یک به معنای عضویت کامل اعضای مجموعه می‌باشد (An et al. 1991). سایر اعضای مجموعه نیز می‌توانند مقادیری را بین صفر تا یک و بر اساس درجه قطعیت عضویتشان به مجموعه و به خود اختصاص دهند. بنابراین، مقادیر عضویت گنگ بایستی در محدوده ۰ تا ۱ باشند. البته، هیچ مانع و محدودیتی در رابطه با انتخاب مقادیر عضویت گنگ وجود نداشته و این مقادیر تنها برای انعکاس میزان عضویت اعضای یک مجموعه و بر اساس قضاوت ذهنی کارشناس انتخاب می‌گردند. بنابراین در بحث اکتشافات معدنی می‌توان گفت که مقادیر عضویت برای نشان دادن اهمیت نسبی هر نقشه و هر کلاس از یک نقشه منفرد، بکار می‌روند. مقادیر اختصاص یافته به هر عضو یک مجموعه را توابع عضویت فازی مشخص می‌نمایند. شکل این توابع لزوماً خطی نبوده و می‌توانند هر شکل تجزیه‌ای یا اختیاری را متناسب با مشکل مورد نظر داشته باشند (بونهام-کارتر ۱۳۷۹). لایه‌های تولید شده اکتشافی در GIS در بخش تئوری فازی، در نقش مجموعه‌های فازی ظاهر شده و توسط عملگرهای فازی با یکدیگر ترکیب می‌شوند. با داشتن دو یا چند نقشه با توابع عضویت گنگ، می‌توان عملگرهای متنوعی را برای ترکیب مقادیر عضویت بکار گرفت. شبکه استنتاج فازی با استفاده از عملگرهایی مانند "و" ، "یا" ، ضرب و جمع جبری، ترکیب ضرب و جمع ، عملگر منطقی گامای فازی و روش میانگین وزنی مرتب شده فازی، ایجاد می شود (Fallah-Ghalhary et al. 2009، متکان و همکاران ۱۳۸۸). آن و همکاران (An et al. 1999)، پان و هریس (Pan & Harris 2000) و بونهام-کارتر (۱۳۷۹) درباره ۵ عملگری که برای ترکیب مجموعه داده‌های اکتشافی سودمند می‌باشند بحث نموده و روش کار این عملگرها را به شرح زیر بیان نمودند.

۳-۱- عملگر گنگ AND

این عملگر از رابطه ۱، برای انجام عمل تلفیق استفاده می‌نماید.

$$\mu_{Combine}=Min(\mu_A, \mu_B, \mu_C, \ldots)$$ رابطه (۱)

در این رابطه $\mu_A, \mu_B, \mu_C, \ldots$ به ترتیب مقادیر عضویت گنگ برای نقشه‌های A ، B ، C و ... در یک موقعیت بخصوص از هر نقشه می‌باشند. واضح است که استفاده از این عملگر منجر به تولید نقشه خروجی با کوچکترین مقدار عضویت گنگ در هر موقعیت می‌گردد. به بیان دیگر، استفاده از این عملگر با تمایل به ایجاد مقادیر کوچک، به پدید آمدن تخمینی محافظه کارانه کمک خواهد نمود. عملگر گنگ AND، در شرایطی که دو یا چند قسمت از مدارک یا شواهد برای اثبات فرضیه‌ای باید با هم وجود داشته باشند، کارایی داشته و مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۳-۲- عملگر گنگ OR

عملگر گنگ OR به صورت رابطه ۲ بیان می‌شود.

$$\mu_{Combine}=Max(\mu_A, \mu_B, \mu_C, \ldots)$$ رابطه (۲)

با استفاده از این عملگر، مقادیر عضویت خروجی توسط مقدارهای حداکثر عضویت گنگ نقشه‌ها در هر موقعیت کنترل می‌شوند. با به کارگیری این عملگر، مقدار عضویت ترکیب شده در هر محل تنها توسط مناسب‌ترین نقشه‌های نشانگر محدود می‌شود. زمانی که شاخص‌های موردنظر کانی زایی کمیاب بوده و حضور هر نشانگر مثبت می‌تواند برای اظهار مطلوبیت مفید و کافی باشد، برای تهیه نقشه‌های پتانسل معدنی، می‌توان از عملگر ترکیبی گنگ OR، استفاده نمود.

۳-۳- ضرب جبری گنگ

نتیجه عمل تلفیق توسط دو عملگر گنگ AND و گنگ OR، فقط متأثر از یکی از نقشه‌های مورد استفاده برای انجام عمل تلفیق می‌باشد، درحالی‌که عملگرهایی که در ادامه معرفی خواهند شد، اثرات کلیه شواهد بکار رفته برای تلفیق را در نظر گرفته و نقشه خروجی مختلط تولید می‌نمایند.

حاصلضرب جبری گنگ به صورت رابطه ۳، بیان می‌شود.

$$\mu_{Combine} = \prod_{i=1}^{n} \mu_i$$ رابطه (۳)

در این رابطه، μ_i تابع عضویت گنگ برای iامین نقشه و $i= 1, 2, 3, \ldots, n$ تعداد نقشه‌هایی است که باید با یکدیگر ترکیب گردند. مقادیر عضویت گنگ ترکیب شده با این عملگر، به مقادیر بسیار کوچک میل نموده و خروجی همواره کوچکتر یا مساوی کوچکترین مقدار عضویت خواهد بود. بنابراین، می‌توان گفت که این عملگر دارای اثر کاهشی است.

۳-۴- جمع جبری گنگ

این عملگر مکمل حاصلضرب جبری گنگ بوده و به صورت رابطه ٤، بیان می‌شود.

$$\mu_{Combine} = 1 - \prod_{i=1}^{n}(1 - \mu_i)$$ رابطه (٤)

بر خلاف حاصلضرب جبری گنگ، این عملگر دارای اثر افزایشی است و نتیجه آن همیشه بزرگتر یا مساوی بزرگترین مقدار عضویت گنگ خواهد بود. بدین ترتیب که دو قسمت از شواهد که هر دو تأیید کننده فرضیه واحدی می‌باشند، یکدیگر را تقویت می‌نمایند. باید توجه داشت که اگرچه حاصلضرب جبری گنگ واقعاً عمل ضرب جبری است، ولی در مقابل جمع جبری گنگ یک جمع جبری نخواهد بود.

۳-۵- عملگر گاما

عملگر گاما برحسب دو عملگر ضرب و جمع جبری گنگ بوده و به صورت رابطه ۵، بیان می‌شود.

$$\mu_{Combine} = (\prod_{i=1}^{n} \mu_i^{1-\gamma}) \times (1 - \prod_{i=1}^{n}(1-\mu_i)^{\gamma}) \quad \text{رابطه(۵)}$$

در این رابطه، γ پارامتری در محدوده (۰,۱) است. درصورتی‌که مقدار γ برابر با یک انتخاب گردد، نتیجه ترکیب همان جمع جبری گنگ بوده و در صورتی که صفر باشد حاصل، ضرب جبری گنگ خواهد بود. بدون شک، انتخاب صحیح و آگاهانه γ، در خروجی مقادیری را ارائه می‌دهد تا سازگاری قابل انعطافی مابین گرایشات افزایشی جمع جبری گنگ و اثرات کاهشی حاصل ضرب جبری گنگ ایجاد گردد.

اثرات افزایشی مقادیر بزرگ γ، تصمیم‌گیری ذهنی مهندسان اکتشافی را به بهترین شکل منعکس می‌نمایند.

۴- بحث

۴-۱- نحوه کلاس‌بندی لایه‌های مورد استفاده جهت تلفیق و امتیازدهی به هر کلاس

برای تهیه نقشه پتانسل مطلوب، ابتدا وزن دهی به کمک روش فازی بر روی لایه های آلتراسیون (حاصل از تصاویر ماهواره ای)، ژئوفیزیک هوایی، زمین شناسی، ساختاری و ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه‌ای به شرح زیر انجام گرفت.

۴-۱-۱- آلتراسیون؛ برای طبقه‌بندی لایه دورسنجی

در این پژوهش برای طبقه‌بندی لایه دورسنجی، از انواع آلتراسیون-های شناسایی شده در منطقه استفاده شد. بنابراین، مناطق آلتراسیونی ، پروپلیتیک، آرژیلیک و اکسیدهای آهن با استفاده از روش‌های دورسنجی بر روی عکس های ماهواره ای استر شناسایی شده و به صورت لایه های مجزا همراه با بافرهای ۱۰۰ متری تحت امتیازدهی فازی قرار گرفتند. (جداول ۱ ، ۲ و ۳).

جدول ۱- نحوه امتیازدهی فازی به نقشه آلتراسیون آرژیلیک و بافرهای ۱۰۰ متری

امتیاز فازی فاصله از آلتراسیون آرژیلیک (متر)	
۰/۵	۰ – ۱۰۰
۰/٤	۱۰۰ – ۲۰۰
۰/۳	۲۰۰ – ۳۰۰
۰/۲۵	۳۰۰ – ٤۰۰
۰/٦	منطقه آلتراسیون
۰/۲	سایر مناطق

جدول ۲- نحوه امتیازدهی فازی به نقشه آلتراسیون پروپلیتیک و بافرهای ۱۰۰ متری

امتیاز فازی فاصله ازآلتراسیون پروپلیتیک (متر)	
۰/٤	۰ – ۱۰۰
۰/۳۵	۱۰۰ – ۲۰۰
۰/۳۵	۲۰۰ – ۳۰۰
۰/۳۵	۳۰۰ – ٤۰۰
۰/٤	منطقه آلتراسیون
۰/۲	سایر مناطق

جدول ۳- نحوه امتیازدهی فازی به نقشه آلتراسیون اکسید آهن و بافرهای ۱۰۰ متری

امتیاز فازی فاصله ازآلتراسیون اکسید آهن(متر)	
۰/٦	۰ – ۱۰۰
۰/۵	۱۰۰ – ۲۰۰
۰/٤	۲۰۰ – ۳۰۰
۰/٤	۳۰۰ – ٤۰۰
۰/۷	منطقه آلتراسیون
۰/۲	سایر مناطق

۴-۱-۲- مغناطیس هوایی

برای ارزیابی ویژگیهای ژئومغناطیسی منطقه، از نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰۰ مغناطیس هوایی استفاده شد. پس از پردازش و تفسیر نقشه، ساختارهای عمقی و بخش‌های با شدت مغناطیس بالا در منطقه شناسایی شدند. بررسی‌ها نشان می‌دهد که کمربند گرانودیوریت و پیروکسن آندزیت بازالت با شدت‌های بالای مغناطیسی انطباق دارند، که با توجه به بررسی‌های انجام شده و گسترش گرانودیوریت‌ها، شدت مغناطیسی بالا را می‌توان به این سنگ ها نسبت داد.

با اعمال فیلترهای مختلف، مشخص شد که این ناهنجاری مغناطیسی در عمق نیز ادامه دارد. با در نظرگرفتن سنگهای خروجی اطراف، می‌توان نتیجه گرفت که توده گرانیتوئیدی در عمق وسعت زیاد و در سطح رخنمون کمی دارد. شدت میدان مغناطیسی در منطقه به ۵ ناحیه تقسیم شده و وزن دهی فازی بر روی آن انجام گردید (جدول ٤).

۴-۱-۳- ژئوشیمی

در این مطالعه، از نتایج نمونه برداری های ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه‌ای استفاده شد.آنومالی‌های ژئوشیمیایی مربوط به عنصر طلا در این نمونه ها جهت وزن دهی، به ٤ کلاس تقسیم شدند. (جدول ۵).

جدول ٤- نحوه امتیازدهی فازی به نقشه شدت میدان مغناطیسی

امتیاز فازی شدت میدان مغناطیسی (nt)	
٠/٣	> ٤٠٢٦٥
٠/٤	٤٠٢٤٠ – ٤٠٢٦٥
٠/٥	٣٩٨٥٠ – ٤٠٢٤٠
٠/٢	٣٩٨٠٠ – ٣٩٨٥٠
٠/١	٣٩٨٠٠ >

جدول ٥- نحوه امتیازدهی فازی به نقشه آنومالی ژئوشیمیایی عنصر طلا

امتیاز فازی عیار طلا(ppm)	
٠/١	٢/٥ >
٠/٤	٢/٥– ٥
٠/٦	٥ – ١٠
٠/٧	١٠<

٤-١-٤- لیتولوژی

با توجه به نوع لیتولوژی اندیس های کانی سازی و نوع تیپ کانی سازی محدوده‌ی مورد مطالعه، سنگ‌های منطقه به ٤ نوع سنگ های ولکانیکی، پلوتونیکی، رسوبی و دگرگونی تقسیم شدند. وزن دهی لایه زمین شناسی نیز بر این اساس انجام شد (جدول ٦).

٤-١-٥- گسل‌ها

نقشه مربوط به گسل ها با استفاده از نقشه زمین شناسی ١:١٠٠٠٠٠ منطقه تهیه شد. محدوده ٨٠٠ متری از اطراف گسل‌های اصلی منطقه با بافرزنی به فواصل ٢٠٠ متر به ٤ کلاس تقسیم شد. در ادامه، با امتیازدهی به صورت فازی، لایه اطلاعاتی مربوط به گسل‌ها ساخته شد. در جدول ٧، نحوه امتیاز دهی به این لایه‌ها ارائه شده است.

جدول ٦- نحوه امتیازدهی فازی به نقشه زمین شناسی و انواع لیتولوژی ها

امتیاز فازی	لیتولوژی
٠/٦	سنگهای ولکانیکی
٠/٤	سنگهای پلوتونیک
٠/١	سنگهای رسوبی و دگرگونی

جدول ٧- نحوه امتیازدهی فازی به نقشه گسل های منطقه

امتیاز فازی	فاصله از گسل
٠/٦	٠ – ٢٠٠
٠/٥	٢٠٠ – ٤٠٠
٠/٤	٤٠٠ – ٦٠٠
٠/٣	٦٠٠ – ٨٠٠
٠/١	سایر مناطق

٤-٢- تلفیق لایه‌های وزن دار شده جهت تهیه نقشه پتانسیل مطلوب کانی سازی با استفاده از عملگرهای مختلف فازی

پس از امتیازدهی به نقشه‌های اکتشافی، این لایه‌ها توسط عملگرهای مختلف فازی با یکدیگر تلفیق و نقشه پتانسیل مطلوب حاصل از آنها تعیین گردید.

٤-٢-١- عملگر گنگ AND

استفاده از این عملگر منجر به تولید نقشه خروجی با کوچکترین مقدار عضویت گنگ در هر موقعیت می‌شود (تصویر ٢). به عبارت دیگر، استفاده از این عملگر با تمایل به ایجاد مقادیر کوچک، به پدید آمدن تخمینی محافظه کارانه کمک می کند.

٤-٢-٢- عملگر گنگ OR

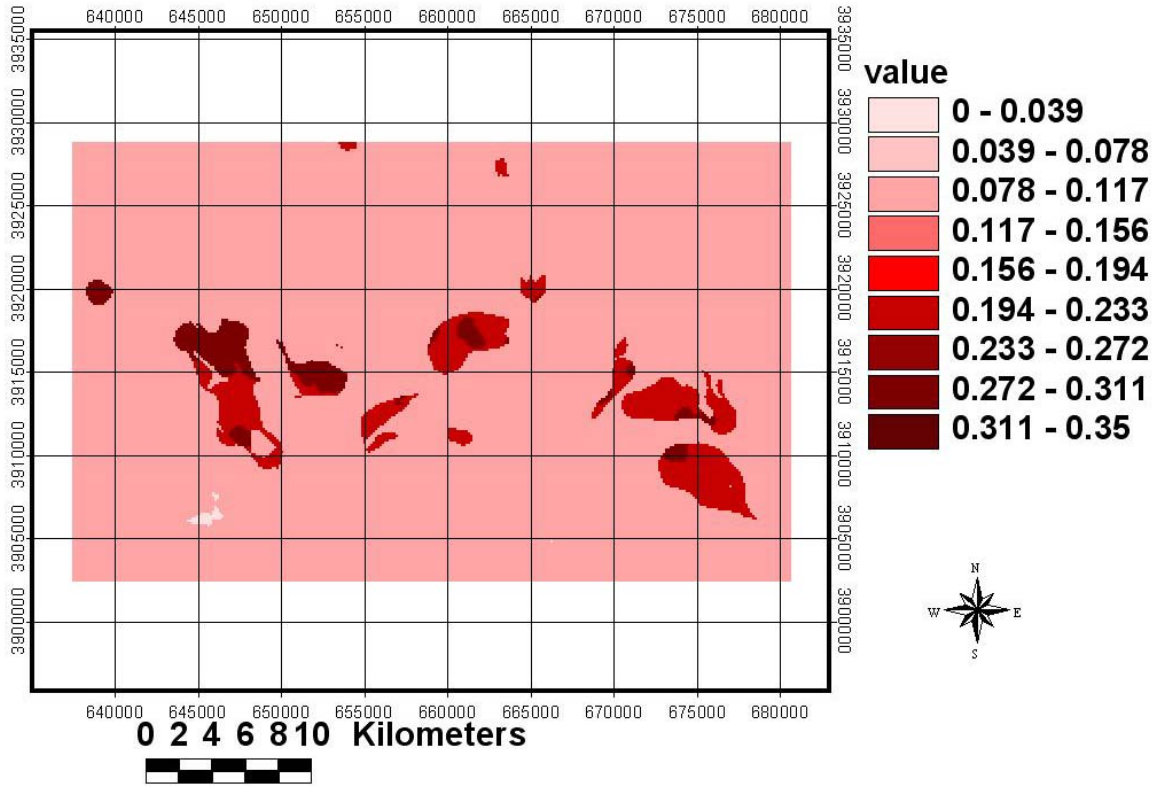
در این عملگر، مقادیر عضویت خروجی توسط مقادیر حداکثر عضویت گنگ نقشه‌ها در هر موقعیت کنترل می‌شوند (تصویر ٣). بنابراین مقدار عضویت ترکیب شده در هر محل تنها توسط مناسب-ترین نقشه‌های نشانگر محدود می‌شود.

٤-٢-٣- ضرب جبری گنگ

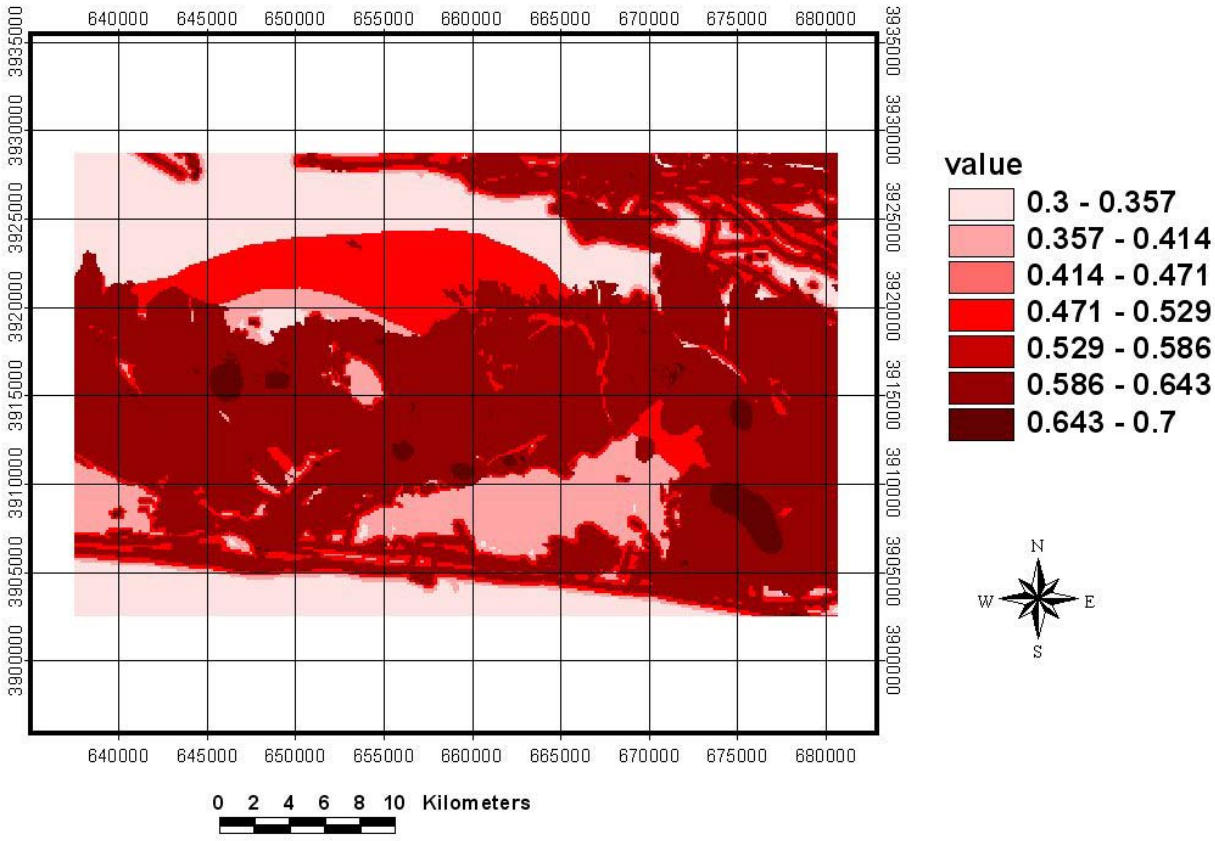
با توجه به اینکه مقادیر عضویت گنگ ترکیب شده با این عملگر به مقادیر بسیار کوچک میل می کند، خروجی همواره کوچکتر یا مساوی کوچکترین مقدار عضویت خواهد بود (تصویر ٤).

٤-٢-٤- جمع جبری گنگ

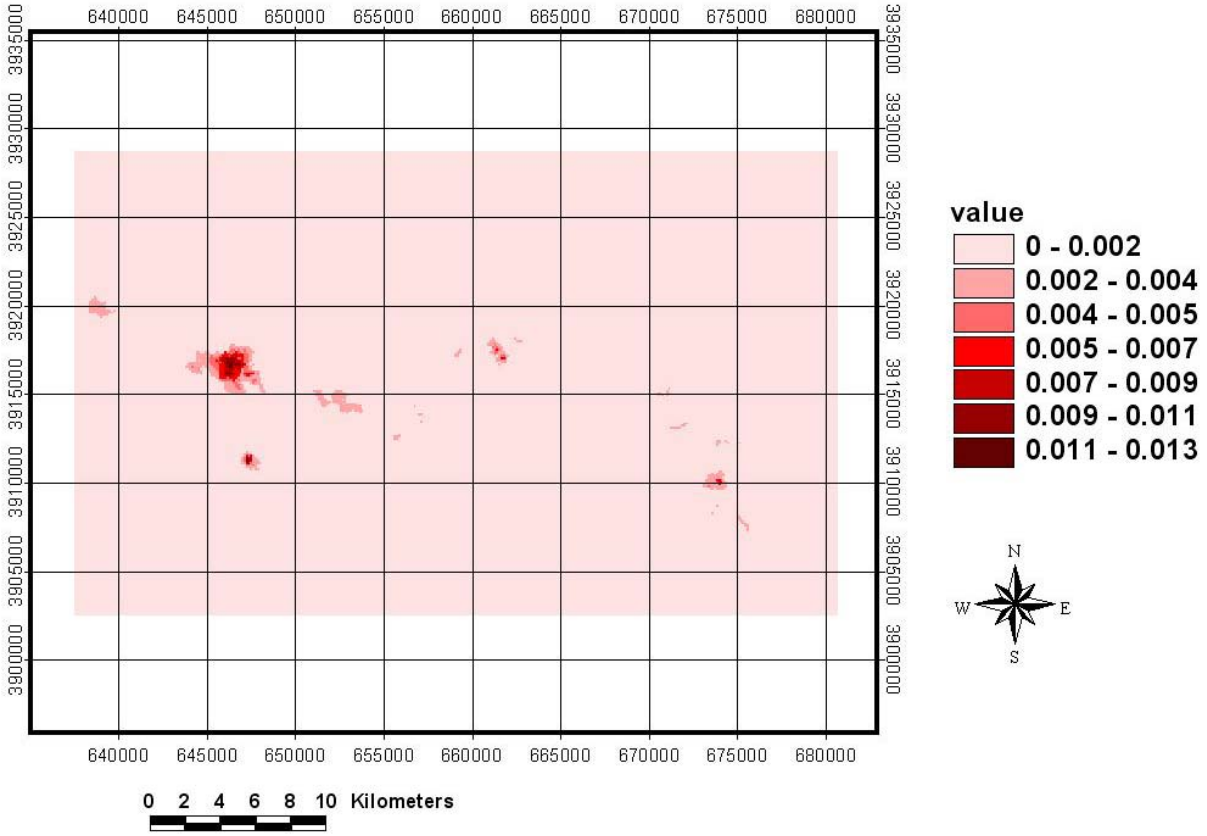
نتیجه حاصل از این عملگر همیشه بزرگتر یا مساوی بزرگترین مقدار عضویت گنگ خواهد بود. دو قسمت از شواهد که هر دو تأیید کننده فرضیه واحدی می‌باشند، در طی فرایند تلفیق یکدیگر را تقویت می-نمایند (تصویر ٥).



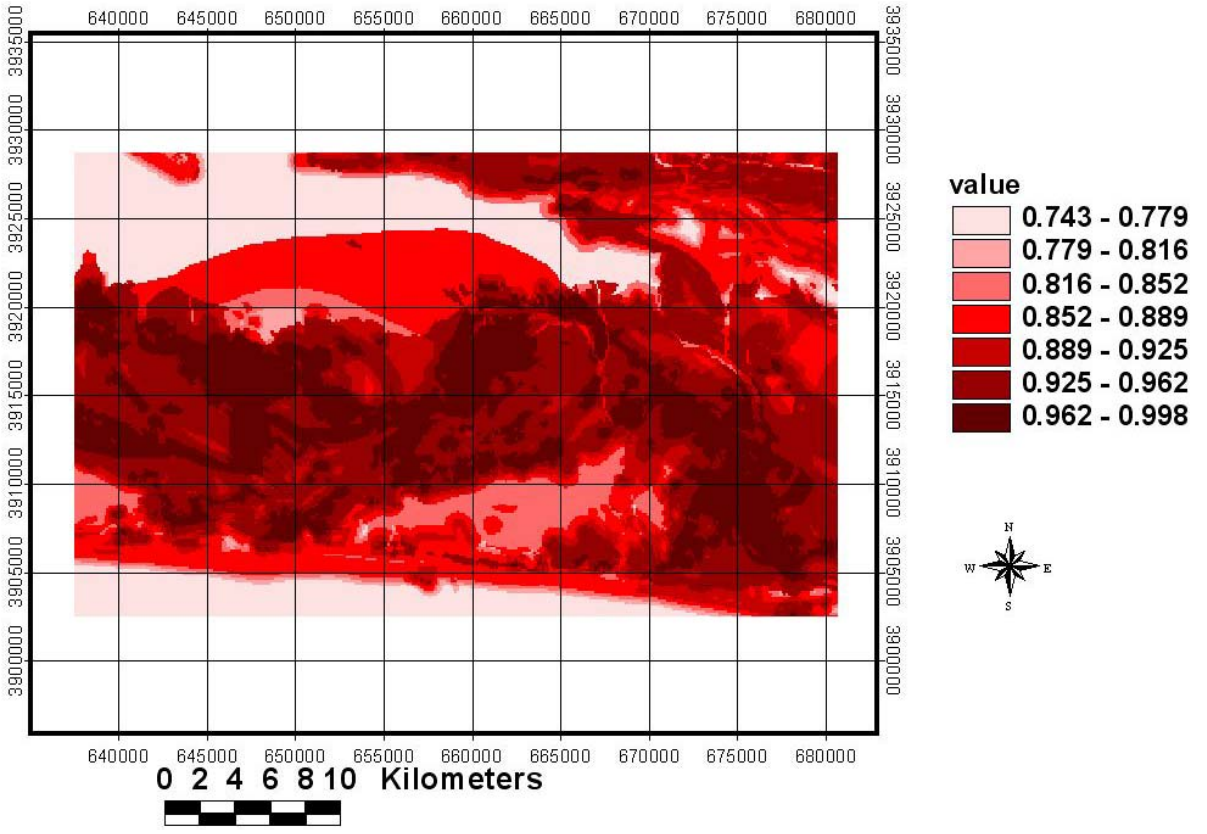
تصویر ۲- نقشه پتانسیل مطلوب کانی سازی طلا با استفاده از عملگر AND



تصویر ۳- نقشه پتانسیل مطلوب کانی سازی طلا با استفاده از عملگر OR



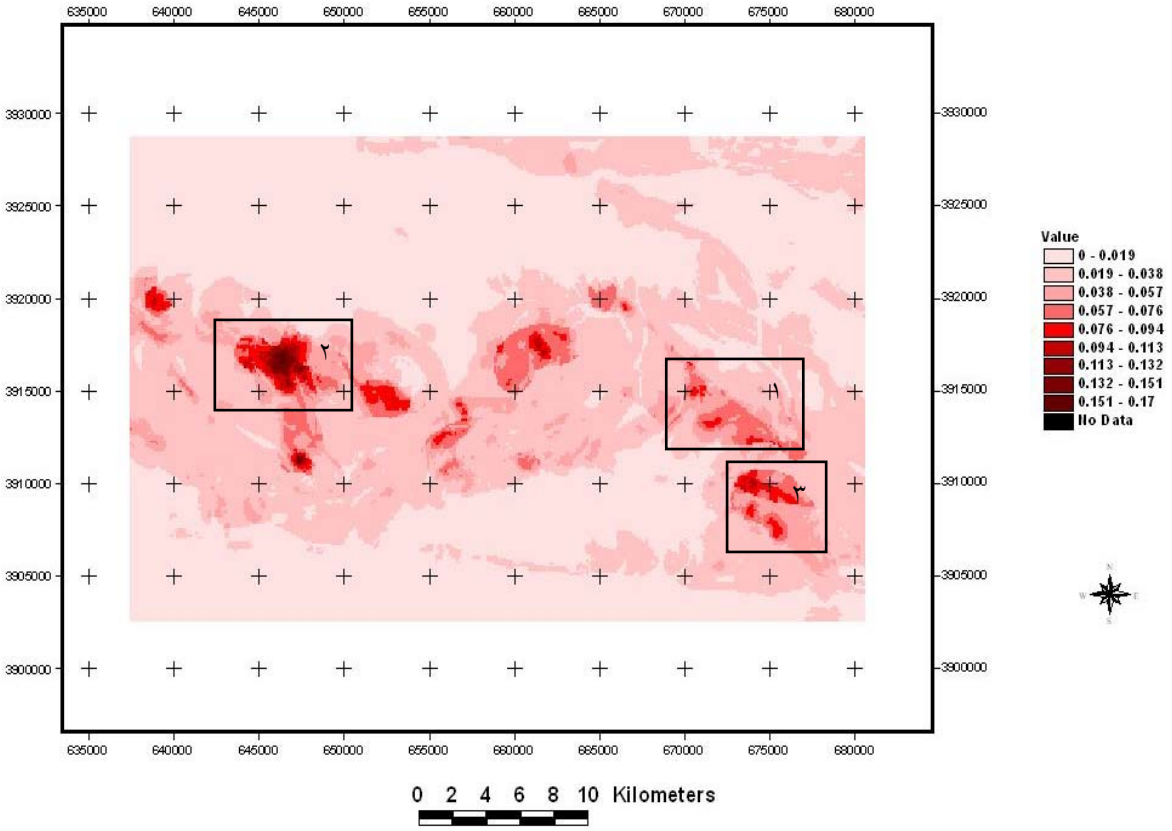
تصویر٤- نقشه پتانسیل مطلوب کانی سازی طلا با استفاده از عملگر ضرب جبری



تصویر٥- نقشه پتانسیل مطلوب کانی سازی طلا با استفاده از عملگر جمع جبری

۴-۲-۵- عملگر گاما

در این مطالعه، از گامای ۰/۶ برای یافتن نقشه پتانسیل مطلوب استفاده شد. با توجه به اندیس های کانی سازی در منطقه، نتیجه حاصل از این عملگر بهتر توانسته مناطق با اهمیت را تقسیم بندی کند (تصویر ٦).



تصویر٦- نقشه پتانسیل مطلوب کانی سازی طلا با استفاده از عملگر گاما

در نهایت، مناطق با احتمالی کانی‌زایی، به ترتیب اولویت بر اساس روش فازی مشخص شدند. بر این اساس، منطقه دارای سه کانی سازی قابل توجه است.

منطقه ۱: در این منطقه (کوه زر)، کانی‌سازی‌های متنوعی از نظر کانی‌شناسی و فاز تشکیل وجود دارند. دو نوع کانی‌سازی هیپوژن طلادار در کانسار طلای کوه زر عبارتند از:

اسپیکولاریت + کوارتز + طلا

اسپیکولاریت + کوارتز + کالکوپیریت $\pm$ پیریت + طلا

بافت کانی‌سازی اغلب بصورت برشی، رگچه‌ای تا شبه استوک ورک و بندرت رگه‌ای ماسیو است. این محدوده با اهمیت ترین منطقه از نظر شدت کانی سازی، عیار و میزان ذخیره می باشد که عیارهای متنوع و بالایی نشان می دهد.

منطقه ۲: در این منطقه (تنورچه)، کانی سازی سولفیدی (پیریت، کالکوپیریت) عمدتا با بافت پراکنده در متن سنگ و در موارد محدودی به صورت رگچه ای در استوک های نفوذی پورفیری و سنگ های اطراف آنها ظاهرشده است. سیستم های رگه ای ورقه ای و رگچه ای نازک نیمه موازی، در مناطق معینی همراه با پدیده لیچینگ اسید مشاهده می شوند. کانی سازی در این رگچه های نازک، کوارتز+اکسیدهای آهن ثانویه، اکسیدهای آهن ثانویه و ... است.

کانی سازی های ثانویه مس شامل مالاکیت و بطور خیلی محدود آزوریت، در غرب و جنوب غرب منطقه در درزه و شکستگیهای سنگهای ولکانیکی همراه با مقادیر ناچیز بقایای کالکوپیریت ریز دانه پراکنده در متن سنگ قابل مشاهده می‌باشند.

از غرب تا شمال غرب و حاشیه های آن، مجموعه ای از رگه و رگچه‌های سیلیس همراه با غنی شدگی از اکسیدهای آهن ثانویه گسترش یافته است.

منطقه ۳: در این منطقه (قلعه جوق)، کانی‌سازی‌های رگچه‌ای و رگه‌ای عمدتاً در زونهای گسله مشاهده می‌شوند. کانی‌سازی غالباً به

صورت رگه و رگچه‌های سیلیسی با کانی سازی اسپیکولاریت، کالکوپیریت، پیریت و به مقدار کم گالن می‌باشد. در این منطقه کوارتز کانی باطله است. وفور رگچه‌های سیلیسی در واحدهای سنگی، از ویژگیهای بارز این محدوده است که در برخی مناطق نظیر کوه سیانو، زونهای رگچه ای را تشکیل می دهد. بیشتر این رگچه‌ها دارای اسپیکولاریت و کانی‌سازی سولفیدی مس و پیریت هستند. در نمونه هایی که از رگچه های کانی سازی در منطقه قلعه جوق گرفته شده عیار طلا تا ppm ۳۶ نیز مشاهده شده است.

۵- نتیجه‌گیری

در اکتشافات ناحیه‌ای، روش منطق فازی در کنار سیستم اطلاعات جغرافیایی، روشی اساسی جهت تهیه نقشه پتانسیل معدنی می‌باشد. با توجه به ارتباط مستقیم این روش به نظر کارشناس، در مواقعی که اطلاعات در مورد یک کانی‌سازی خاص کافی باشد، استفاده از این روش می‌تواند نتایج قابل قبولی را ارائه دهد. در این مقاله، از ۵ عملگر روش فازی برای تهیه نقشه پتانسیل مطلوب کانی‌زایی طلای هیدروترمال در منطقه تربت حیدریه استفاده شده و مناطق با اهمیت از نظر اکتشافی به ترتیب اولویت مشخص شدند. این مناطق با اندیس ها و رگه های کانی سازی شده در منطقه ارتباط مستقیمی داشته، به طوری که مهمترین و با ارزش ترین کانی سازی‌ها در این مناطق واقع شده اند. از این الگوی تلفیق می توان برای تهیه پتانسیل مطلوب در مناطق با کانی سازی مشابه نیز استفاده نمود و محدوده های با اهمیت را شناسایی کرد. همچنین، استفاده از اطلاعات اکتشافی مختلف شامل آلتراسیون های حاصل از تصاویر ماهواره ای، ژئوفیزیک هوایی، زمین شناسی ، ساختاری و ژئوشیمیایی به طور همزمان و در غالب تلفیق اطلاعات در محیط GIS با روش های مناسب، می تواند اهمیت بسیار بالایی در فرایند اکتشاف داشته و نتایج مطلوبی را ارائه نماید.

مراجع

بونهام-کارتر، گ.، ۱۳۷۹، "سیستمهای اطلاعات جغرافیایی برای دانش پژوهان علوم زمین، مدل سازی به کمک GIS"، *ترجمه گروه اطلاعات زمین مرجع سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، چاپ اول، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ۵۶۲ ص.*

حیدری، ع.، ۱۳۹۰، " گزارش طرح بهره برداری معدن طلای کوه زر تربت حیدریه"، *شرکت صنعتی-معدنی زرمهر، ۱۳۳ ص.*

متکان، ع. ا.، سمیعا، ج.، پورعلی، ح. و صفایی، م.، ۱۳۸۸، "مدلهای منطق فازی و سنجش از دور جهت پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوضه ی آبخیز لاجیم"، *فصلنامه زمین شناسی کاربردی، شماره ٤: ۳۲۵-۳۱۸.*

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 (1): 1-11*

Carrenza, E. J. M., 2008, "Geochemical anomaly and mineral prospectivity mapping in GIS", *Handbook of Exploration and Environmental Geochemistry, Vol. 11, 368 pp.*

Carranza, E. J. M. & Hale, M., 2001, "Geologically constrained fuzzy mapping of gold mineralization potential, Baguio District, Philippines", *Journal of Natural Resources Research, Vol. 10 (2):125–136.*

Cheng, Q. & Agterberg, F. P., 1999, "Fuzzy weights of evidence method and its application in mineral potential mapping", *Journal of Natural Resources Research, Vol. 8 (1): 27–35.*

de Gruijter J. J., Walvoort D. J. J. & Bragato G., 2011, "Application of fuzzy logic to Boolean models for digital soil assessment", *Journal of Geoderma, Vol. 166 (1): 15–33.*

Fallah-Ghalhary, G. A., Mousavi_Baygi, M. & Habibi Nokhanadan, M., 2009, "Annual rainfall forecasting by using Mamdani fuzzy inference system", *Research Journal of Environmental Science, Vol. 3 (4): 400–413.*

Harris, J. R., Wilkinson, L., Heather, K., Fumerton, S., Bernier, M. A. & Ayer, J., 2001,"Application of GIS processing techniques for producing mineral prospectivity maps – A case study: Mesothermal Au in the Swayze Greenstone Belt, Ontatio, Canada", *Journal of Natural Resources Research, Vo1. 10 (2): 91-124.*

Novriadi, H. P. M. & Darijanto, T., 2006, "Applying Fuzzy Logic Method in mineral potential mapping for epithermal gold mineralization in the Island of flores, East Nusa Tenggara using geographical information systems (GIS)", *Proceeding of 9th International Symposium on Mineral Exploration: 62-68.*

Pan, G. C. & Harris, D. P., 2000, "Information synthesis for mineral exploration", *Oxford University Press, New York, 461 pp.*

Porwal, A., Carranza, E. J. M. & Hale, M., 2006, "A hybrid fuzzy weights-of-evidence model for mineral potential mapping", *Jourrnal of Natural Resources Research, Vol. 15 (1): 1–14.*

Tangestani, M., 2009, "A comparative study of Dempster–Shafer and fuzzy models for landslide susceptibility mapping using a GIS: An experience from Zagros Mountains, SW Iran", *Journal of Asian Earth Sciences, Vol. 35 (1): 66–73.*

Topçu, İ. B. & Sarıdemir, M., 2008, "Prediction of mechanical properties of recycled aggregate concretes containing silica fume using artificial neural networks and fuzzy logic", *Journal of Computational Materials Science, Vol. 42 (1): 74–82.*