

# تأثیر وزن قواعد سیستم استنتاج فازی ممدانی در دقت خروجی نقشه پتانسیل معدنی طلای اپی ترمال: منطقه تکاب

حجت‌الله محبوبی<sup>۱</sup>، عباس علیمحمدی<sup>۲\*</sup>، محمد شریفی کیا<sup>۳</sup>

- ۱- کارشناس ارشد سنجش از دور و GSI، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
- ۲- استادیار گروه نقشه برداری، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران
- ۳- استادیار گروه سنجش از دور و GSI، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

پذیرش: ۸۹ / ۷ / ۲۴

دریافت: ۸۹ / ۳ / ۲۶

## چکیده

وزن قواعد از جمله مواردی است که در ساخت مدل سیستم استنتاج فازی اهمیت به‌سزایی دارد، با این وجود در بسیاری از تحقیقات از اعمال آن صرف‌نظر می‌شود. در این تحقیق تأثیر وزن قواعد سیستم استنتاج فازی در تهیه نقشه پتانسیل معدنی طلای اپی ترمال در منطقه تکاب مورد بررسی قرار گرفت. در مدل سیستم استنتاج فازی، نخست یک الگوی هدفمند براساس نوع ماده معدنی مورد نظر طراحی شد و عوامل تأثیرگذار شامل اطلاعات زمین‌شناسی، آنومالی‌های ژئوشیمیایی، اطلاعات ژئوفیزیکی، آلتراسیون‌های حاصل از پردازش تصاویر ماهواره‌ای مورد بررسی قرار گرفتند. در مرحله بعد وزن و اهمیت عوامل و قواعد تعیین شد. در نهایت این عوامل ترکیب‌شده و نقشه خروجی به دست آمد. معمولاً در تحقیقاتی که در زمینه سیستم استنتاج فازی صورت می‌گیرد، نقش وزن قواعد در نظر گرفته نمی‌شود. این تحقیق نشان داد که وزن قواعد موجب تدریجی شدن مرز بین سطوح کانی‌زایی شده و آن را واقعی‌تر نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: سیستم استنتاج فازی، وزن قواعد فازی، آلتراسیون، طلای اپی ترمال.

## ۱- مقدمه

اکتشاف ذخایر معدنی<sup>۲</sup> یک فعالیت چند مرحله‌ای است که از محدوده‌ای بزرگ آغاز می‌شود و به پهنه‌ای کوچک محدود می‌شود و سرانجام به انتخاب محل‌هایی به‌عنوان هدف برای حفاری

E-mail: Alimoh\_abb@yahoo.com

\* نویسنده مسئول مقاله:

2. Mineral exploration



به منظور دست‌یافتن به ذخایر معدنی پایان می‌پذیرد (Bonham-Carter, 1994: 12). بهره‌گیری از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی<sup>۱</sup> در اکتشافات معدنی برای استفاده هم‌زمان از داده‌های مختلف مانند ژئوفیزیک، ژئوشیمی، دورسنجی، زمین‌شناسی و تصمیم‌گیری بر مبنای اطلاعات اکتشافی مورد نیاز، باعث کاهش هزینه، خطرپذیری سرمایه‌گذاری و زمان اکتشافی شده و با مدلسازی اکتشافی راهی به سوی کشف کانسارهای پنهان می‌گشاید.

سیستم‌های فازی، سیستم‌های مبتنی بر دانش هستند. قلب یک سیستم فازی، یک پایگاه دانش بوده که از قواعد اگر-آن‌گاه<sup>۲</sup> فازی تشکیل شده است. یک قاعده اگر-آن‌گاه فازی، عبارتی است که بعضی کلمات آن به وسیله توابع تعلق پیوسته مشخص شده‌اند (وانگ، ۱۹۹۷: ۲۲).

یک سیستم استنتاج فازی از سه بخش تشکیل می‌شود، بخش اول آن بخش فازی‌ساز است که داده‌های عددی را به داده‌های فازی تبدیل می‌کند. بخش دوم که به آن موتور استنتاج گفته می‌شود، مغز یک مدل فازی است که شامل پایگاه داده‌های ذخیره شده و قوانین اگر-آن‌گاه می‌شود. این بخش شماری از شبکه‌های موازی یا متوالی درست می‌کند که با استفاده از عملگرهای فازی مجموعه‌های فازی را ترکیب می‌کند و بخش نهایی آن قطعی‌ساز است که داده‌های فازی را به داده‌های عددی تبدیل کرده و خروجی نهایی را ارائه می‌دهد. سیستم استنتاج فازی دارای روش‌های متفاوتی است که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به روش ممدانی و TSK اشاره کرد. تفاوت این دو روش در قسمت "نتیجه" دیده می‌شود که نتیجه در روش ممدانی، یک قضیه و در روش TSK، تابعی خطی است.

در این مدل، ابتدا یک الگوی هدفمند براساس نوع ماده معدنی مورد نظر طراحی می‌شود و عوامل تأثیرگذار مورد بررسی قرار می‌گیرد. این عوامل می‌توانند شامل اطلاعات زمین‌شناسی، آنومالی‌های ژئوشیمیایی، اطلاعات ژئوفیزیکی، آلتراسیون‌های حاصل از پردازش تصاویر ماهواره‌ای باشند (رحیمی، ۱۳۸۰: ۳). در مرحله بعد وزن و اهمیت عوامل تعیین می‌شود. در نهایت این عوامل با استفاده از مدل‌های سیستم استنتاج فازی ترکیب شده و نقشه خروجی به دست می‌آید.

1. Geographical Information Systems  
2. If - Then

منطقه تکاب منطقه‌ای نیمه‌خشک و کوهستانی است که در شمال غربی کشور قرار دارد. این منطقه یکی از مهم‌ترین مناطق کانی‌ساز طلا در ایران است که دو معدن طلای شناخته شده (آق‌دره و زره شوران)، بزرگ‌ترین معدن سرب و روی ایران (انگوران)، معدن سرب و روی علمکندی، معدن بزرگ مس (بایچه باغ) و نشانه‌هایی از فعالیت‌های معدنی قدیمی برای طلا، آنتیمون و سنگ ساختمانی در آن دیده می‌شود (Asadi, 2000: 3).

وزن‌دهی به قواعد اهمیت هر یک از قواعد را نسبت به دیگری نشان می‌دهد ولی اهمیت آن در بسیاری از تحقیقات مورد استفاده قرار نگرفته و قواعد فازی بدون توجه به آن تعیین شده‌اند (Ishibuchi, 2005: 2). در این تحقیق سعی شده است اهمیت وزن‌دهی به قواعد مورد بررسی قرار گیرد.

وزن‌ها تأثیر مهمی در اجرای سیستم‌های قاعده مبنای فازی دارند (Ishibuchi, 2005: 3). انواع گوناگونی از قواعد فازی برای مسائل طبقه‌بندی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. کوردون (۱۹۹۹) سه نوع از قواعد فازی را مورد بررسی قرار داد: اولی دارای یک نتیجه و بدون استفاده از وزن بود، دومی یک نتیجه داشت و از وزن استفاده کرده بود و سومی دارای کلاس‌های متعددی از نتیجه با وزن بود (Cordon, 1999: 5).

پروال، کرانز و هال (۲۰۰۴) با استفاده از روش ANFIS که از سیستم استنتاج فازی استفاده می‌کردند، توانستند نقشه پتانسیل معدنی فلز پایه را در آراوالی هند تهیه کنند. با این کار آن‌ها توانستند ناحیه جستجو برای این ماده معدنی را به ۹/۷۵ درصد منطقه محدود و ۹۶ درصد معادن شناخته شده فلز پایه را شناسایی کنند.

جمشید خرمی (۱۳۸۲) از مدل فازی برای ارزیابی عملکرد شبکه آبیاری مارون استفاده کرد. او در تحقیق خود، در همه قواعد از وزن‌دهی استفاده کرد و به نتایج مطلوبی دست پیدا کرد.

زارسی (۱۳۸۶) در تحقیق خود، سیستم استنتاج فازی را در تحلیل پایداری شیب‌ها به کار برد. برای این کار او ۱۵ عامل از جمله زاویه و ارتفاع شیب، نوع و میزان تراکم پوشش گیاهی، نفوذپذیری و ضخامت خاک پوشاننده شیب و ... را به عنوان عوامل مؤثر بر شیب به کار برد. برای تلفیق نظرات متفاوت کارشناسان از مفهوم تشابه استفاده کرد. در این تحقیق از تابع



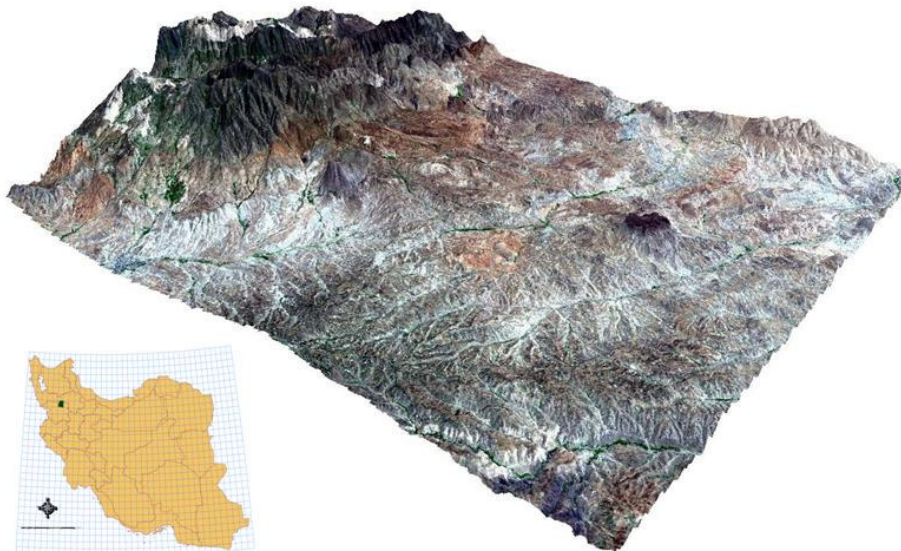
عضویت دوزنقه‌ای برای فازی‌سازی استفاده و ۲۱۸ قاعده در بخش پایگاه قواعد به‌کار برده شد و به این نتیجه رسید که عوامل ساختاری توده سنگ ناپایداری سنگ را کنترل می‌کنند. در همه این تحقیقات از وزن‌دهی در تعیین قواعد فازی استفاده شده و نتایج مطلوبی از آن‌ها حاصل شده است. در این تحقیق نیز اقدام به تهیه نقشه پتانسیل معدنی با استفاده از سیستم استنتاج فازی در منطقه تکاب شده و به نقش وزن قواعد در دقت خروجی سیستم استنتاج فازی پرداخته شده است.

## ۲- داده و روش تحقیق

### ۲-۱- ویژگی‌های زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

منطقه تکاب منطقه‌ای نیمه‌خشک است که در شمال غربی ایران قرار دارد. این منطقه کوهستانی بوده و از لحاظ دسترسی برای عبور دشوار است. همچنین منطقه‌ای مستعد از لحاظ کانی‌زایی طلاست (Moore et al, 2007: 1). در این منطقه بسیاری از نشانه‌های معدنی شناخته شده طلا، سرب و روی، مس و آنتیموان وجود دارد که نشان‌دهنده قابلیت مناسب کانی‌سازی آن است (مقصودی، ۱۳۸۴: ۱۲۷). منطقه از نظر ساختاری در محل برخورد زون‌های البرز آذربایجان و سنندج- سیرجان قرار گرفته است. سنگ‌های منطقه بیش‌تر از دگرگونه‌های پرکامبرین شامل شیست و مرمر، مقدار کمی آمفیبولیت و گنایس، سنگ‌های شیلی، اسلیتی و افیلیتی کرتاسه، مارن و آهک سازند قم و کنگلومرا و ماسه سنگ پلیوسن تشکیل شده است که در این میان گستره مارن‌های قم و کنگلومرای پلیوسن بیش‌تر بوده که مناطقی با مورفولوژیبه نسبت هموار به صورت تپه ماهور را تشکیل می‌دهند. دگرگونه‌های پرکامبرین نیز بلندی‌ها و مناطق دارای توپوگرافی خشن را تشکیل داده‌اند.

در این میان توده‌های نفوذ عمیق و نیمه عمیق متعددی واحدهای چینه‌شناسی مربوط به ائوسن و الیگوسن منطقه را قطع کرده‌اند (کره ای و همکاران، ۱۳۸۱: ۲). برخورداری منطقه از چنین ساختاری، عامل شکل‌گیری انواع مختلف مواد معدنی بوده که از ارزش اقتصادی قابل توجهی برخوردارند. شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه

## ۲-۲- سیستم‌های فازی

در نظریه کلاسیک مجموعه‌ها، عضویت یک عضو در یک مجموعه به صورت صفر و یا یک تعریف می‌شود. در نظریه فازی مجموعه‌ها، مجموعه فازی به عنوان زیر مجموعه‌ای از عناصری تعریف می‌شود که درجه عضویت آن در مجموعه بین صفر و یک است (Zadeh, 1965: 24). سیستم‌های فازی، سیستم‌های مبتنی بر دانش یا قواعد می‌باشند. قلب یک سیستم فازی یک پایگاه دانش بوده که از قواعد اگر - آن‌گاه فازی تشکیل شده است. یک قاعده اگر - آن‌گاه فازی، یک عبارت اگر - آن‌گاه بوده که کلمات فازی آن به وسیله توابع عضویت پیوسته مشخص شده‌اند. به عنوان مثال عبارت فازی زیر را در نظر بگیرید:

اگر سرعت اتومبیل بالاست، آن‌گاه نیروی کم‌تری به پدال گاز وارد کنید.

به‌طور خلاصه نقطه شروع ساخت یک سیستم فازی به دست‌آوردن مجموعه‌ای از قواعد اگر - آن‌گاه فازی از دانش افراد خبره یا دانش میدانی مورد بررسی می‌باشد. مرحله بعدی ترکیب این قواعد در یک سیستم واحد است. سیستم‌های فازی مختلف از اصول و روش‌های متفاوتی



برای ترکیب این قواعد استفاده می‌کنند. در کتاب‌ها و مقالات معمولاً از سه نوع سیستم فازی استفاده شده است (وانگ، ۱۹۹۷: ۲۳).

الف- سیستم فازی خالص

ب- سیستم فازی تاکاجی - سوگنو و کانگ<sup>۱</sup> (TSK)

ج- سیستم های فازی ساز و قطعی ساز (ممدانی)

## ۲-۳- مراحل پیاده‌سازی سیستم استنتاج فازی ممدانی

### ۲-۳-۱- فازی سازی

یک فازی‌ساز تابع تبدیل داده‌های عددی ورودی را به داده‌های فازی در خود دارد. فازی‌سازی روند مهمی در مدلسازی فازی است، به دلیل این‌که این اعداد در مدل پخش می‌شوند و خروجی نهایی را منجر می‌شوند. فازی‌سازی به وسیله یک تابع عضویت انجام می‌شود که این تابع می‌تواند هم از دانش مقدماتی از یک سیستم و هم به وسیله استفاده از داده‌های ورودی استخراج شود.

### ۲-۳-۱-۱- ورودی‌های مدل

کانی‌سازی اپی‌ترمال در سراسر منطقه تکاب پراکنده هستند. معیار شناخت خصوصیات آن‌ها سنگ میزبان، همراه با سنگ‌های آتشفشانی و پلوتونیک، آلتراسیون گرمایی و ساختارهای زمین‌شناسی است (Asadi, 2000: 3). در این تحقیق برای تهیه نقشه پتانسیل معدنی، فاکتورهای آلتراسیون، ژئوشیمیایی، سنگ میزبان، توده نیمه عمیق، گسل، منشأ گرمایی و سنگ میزبان انتخاب شدند که نحوه آماده‌سازی و تشکیل توابع عضویت فازی آن‌ها در ذیل آمده است. فاکتور ژئوشیمیایی: گاهی وجود اطلاعات ژئوشیمی قبلی بر مبنای اکتشاف ژئوشیمیایی ناحیه‌ای در یک مقیاس کوچک، کمک بزرگی به اکتشاف یک پتانسیل معدنی در یک ناحیه مشخص می‌کند (کریم‌پور و دیگران، ۱۳۸۴). در تعیین تابع عضویت فازی از چهار زیرکلاس آنومالی قطعی، آنومالی ممکن، حد آستانه و مقدار زمینه استفاده شد.

1. Takagi – Sugeno and Kang

فاکتور آلتراسیون: آلتراسیون منطقه از تصویر سنجنده ASTER استخراج شد. مهم‌ترین آلتراسیون‌های منطقه که آلتراسیون‌های آرژیلیک و سیلیسی بودند (Asadi, 2000: 3) با استفاده از روش کروس‌تا بارز شدند. برای تعیین تابع عضویت فازی برای این فاکتور، شعاع ۴۰۰ متری به عنوان فاصله مؤثر کانی‌زایی در نظر گرفته شد، این فاصله به فواصل کوچک‌تری تقسیم‌بندی شد و به هر کدام از فواصل به‌وسیله کارشناسان وزن‌هایی اختصاص داده شد و برپایه این وزن‌ها توابع عضویت فازی تعیین شدند.

فاکتور سنگ میزبان: پس از استخراج انواع سنگ‌های میزبان از روی نقشه زمین‌شناسی، فاصله کل منطقه از این فاکتور محاسبه شد. برای تعیین تابع عضویت این فاکتور، زیرکلاس‌هایی با فاصله ۳۵۰ متری به عنوان فاصله مؤثر تعیین شد؛ این فاصله به فواصل کوچک‌تری تقسیم‌بندی شد و کارشناسان با توجه به درجه اهمیت هر کدام از زیرکلاس‌ها، وزن آن‌ها را مشخص کردند. در مرحله بعد از روی این وزن‌ها، تابع عضویت فازی فاکتور سنگ میزبان تهیه شد.

فاکتور توده نیمه عمیق: برای فاکتور توده نیمه‌عمیق نیز مشابه سنگ میزبان عمل شد، فاصله ۴۵۰ متری به عنوان فاصله مؤثر برای این فاکتور انتخاب شد و توابع فازی استخراج شده به مدل سیستم استنتاج فازی معرفی شد.

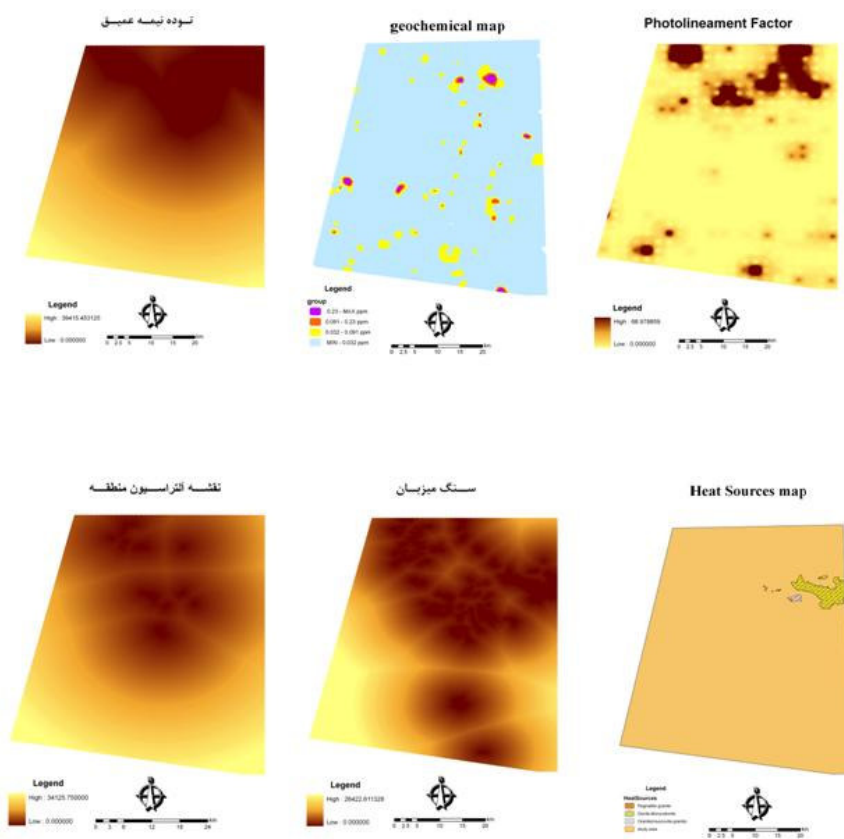
فاکتور منشأ حرارت: این فاکتور نیز از نقشه زمین‌شناسی منطقه استخراج شد. بعد از استخراج، هر کدام از سنگ‌های معرف آن به‌عنوان زیرکلاسی برای فاکتور منشأ حرارت معرفی شدند و تابع عضویت این فاکتور با استفاده از وزن‌های اختصاص داده شده به هر کدام از زیرکلاس‌ها تعیین شده و به عنوان تابع عضویت فازی فاکتور منشأ حرارت به سیستم استنتاج فازی معرفی شد.

فاکتور گسل: برای آنالیز گسل در منطقه از فاکتور خطوارگی<sup>۱</sup> استفاده شد. فاکتور خطوارگی ترکیبی است از تعداد، طول، جهت و تقاطع خطواره‌ها در شبکه‌هایی که به‌وسیله کاربر تعریف می‌شود (Hardcastle, 1995: 4). برای تعیین تابع عضویت گسل، نخست نقشه خطواره‌ها به پنج زیرکلاس تقسیم شدند که در آن فاکتور خطوارگی کوچک‌تر از ۲ به عنوان

1. Photolineament factor

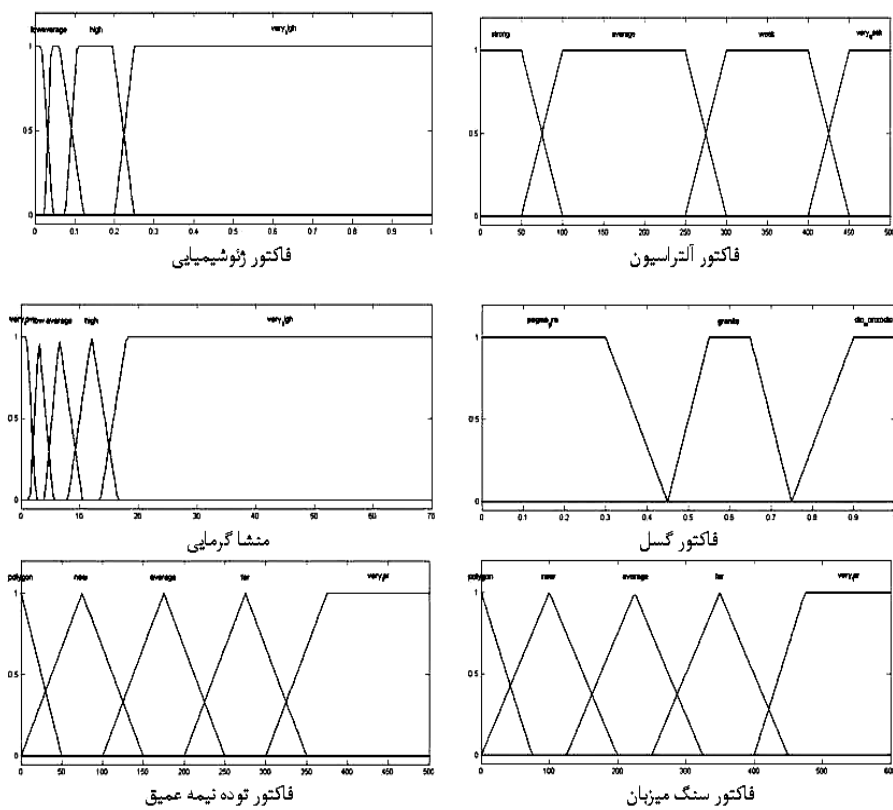


خطوارگی خیلی ضعیف، ۲-۴، ضعیف، ۴-۹، متوسط، ۹-۱۵، قوی و ۱۵ به بالا فاکتور خطوارگی خیلی قوی در نظر گرفته شد. در مرحله بعد از کارشناسان خواسته شد تا به هر کدام از زیرکلاس‌ها وزنی اختصاص دهند. توابع عضویت فازی از روی این وزن‌ها تعیین شدند و به عنوان تابع عضویت فازی ورودی فاکتور گسل مورد استفاده قرار گرفتند. شکل ۲ ورودی‌های مدل استنتاج فازی ممدانی و شکل ۳ توابع عضویت فازی فاکتورهای ورودی را نشان می‌دهد.



شکل ۲ ورودی‌های مدل استنتاج فازی ممدانی

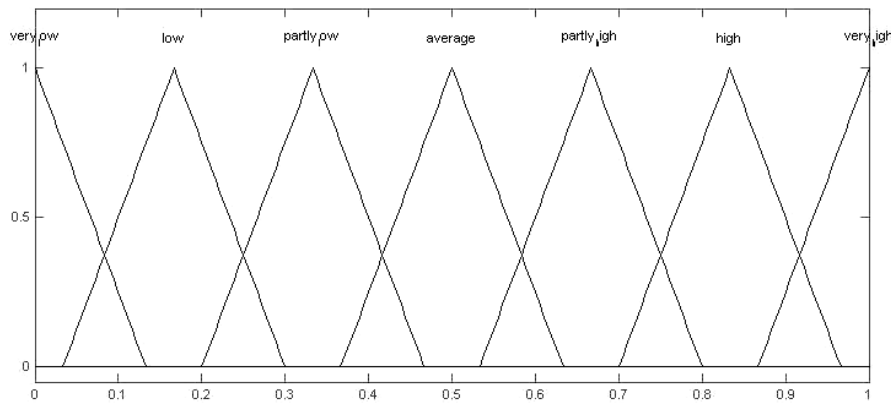




شکل ۳ توابع عضویت فازی فاکتورهای ورودی

### ۲-۳-۱-۲- خروجی مدل

بعد از مشخص شدن توابع عضویت ورودی، تابع عضویت خروجی نیز لازم بود تعیین شود تا براساس آن نتیجه هر قاعده بیان شود. خروجی این روش به ۷ بازه بین صفر و یک تعلق گردید که عبارت بودند از خیلی کم، کم، نسبتاً کم، متوسط، نسبتاً زیاد، زیاد، خیلی زیاد. شکل ۴ توابع عضویت فازی خروجی را نشان می‌دهد.

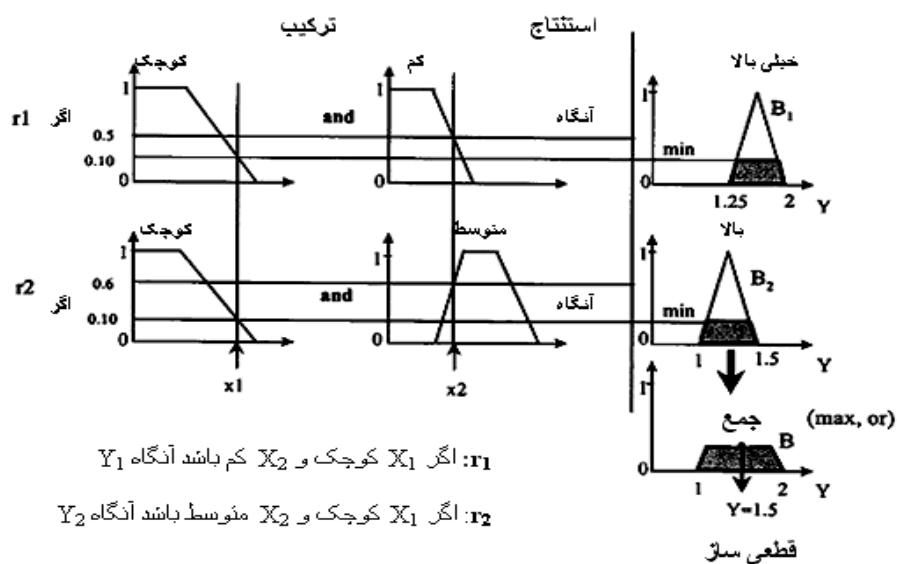


شکل ۴ تابع عضویت فازی خروجی

### ۲-۳-۲- تعریف قواعد فازی

در مرحله دوم پایگاه قواعد ایجاد می‌شود. در این مرحله مدلسازی به کمک ابزارهای ریاضی (مثلاً معادلات دیفرانسیل) در سیستم‌هایی که به‌طور کامل شناسایی نشده‌اند، در اغلب مواقع نتایج قابل قبولی ندارد. در مقابل، یک منطق استنتاج فازی بدون پرداختن به آنالیز کیفی و دقیق یک سیستم و تنها با بهره‌گیری از قوانین شرطی، مدلی را معرفی می‌کند که برای آنالیز کیفی سیستم کافی است. در این مدل رفتار سیستم به‌وسیله قواعد اگر - آنگاه توصیف می‌شود. با توجه به شرایط موجود با مقادیر اختصاص یافته به هر یک از متغیرها و نیز براساس قواعد بیان‌کننده سیستم، رفتار آن مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

به‌طور کلی می‌توان گفت که در مرحله استنتاج فازی از روی متغیرهای زبانی ورودی، قواعد سیستم و توابع عضویت (مقادیر فازی)، متغیرهای زبانی خروجی استخراج می‌شوند. در روش ممدانی برای استنتاج فازی روش‌های "ماکزیمم - ضرب" و "مینیمم - ماکزیمم" به‌وسیله ممدانی پیشنهاد شده است که در این‌جا از روش "مینیمم - ماکزیمم" استفاده شده است. شکل ۵ نمایی شماتیک از مکانیزم استنتاج فازی مدل ممدانی با استفاده از دو قاعده را نشان می‌دهد.



شکل ۵. نمایی شماتیک از مکانیزم استنتاج فازی مدل مددانی با دو قاعده

تعیین وزن متغیرهای ورودی: در این بخش، وزن هر کدام از عوامل تعیین شده و وزن قواعد فازی از راه وزن‌های تعیین شده برای هر عامل تعیین شد. برای وزن‌دهی داده‌ها در این تحقیق از روش AHP<sup>۱</sup> (فرایند تحلیل سلسله مراتبی) استفاده شد. جدول ۱ نتیجه وزن‌دهی به هر کدام از فاکتورها را نشان می‌دهد.

جدول ۱. نتیجه وزن‌دهی به فاکتورها به‌وسیله کارشناسان

| فاکتورها       | نتایج |
|----------------|-------|
| آلتراسیون      | ۰/۳۵۲ |
| ژئوشیمیایی     | ۰/۲۵۳ |
| گسل            | ۰/۱۰۴ |
| منشأ حرارت     | ۰/۱۰۹ |
| سنگ میزبان     | ۰/۰۹۷ |
| توده نیمه عمیق | ۰/۰۸۶ |



وزن‌های استخراج شده در این مرحله به دو صورت در ساخت مدل فازی مورد استفاده قرار گرفتند که یکی در زمان ساخت قواعد فازی و دیگری زمان وزن‌دهی به آن‌ها بود. پس از تعیین توابع ورودی و خروجی فازی قواعد فازی تعیین شدند. قواعد تعیین شده مهم‌ترین و مفیدترین قواعد فازی هستند که کارشناسان مربوطه با کمک گرفتن از دانش و تجربیات پیشین و با توجه به آشنایی قبلی با منطقه مورد مطالعه و نوع ماده معدنی به بیان آن‌ها پرداخته‌اند. در مجموع ۴۶ قاعده برای سیستم استنتاج فازی تعیین شد که در جدول ۲ نمونه‌ای از این قواعد آمده است.

جدول ۲ نمونه‌ای از قواعد فازی تعریف شده برای مدل

| ردیف | $X_{11}$ | $X_{12}$ | $X_{13}$ | $X_{14}$ | $X_{15}$ | $X_{16}$ | خروجی |
|------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-------|
| ۱    | ۱        | -        | ۱        | -        | -        | -        | ۱     |
| ۲    | ۱        | -        | ۱        | -        | -        | ۱        | ۲     |
| ۳    | ۲        | -        | ۲        | -        | -        | ۱        | ۳     |
| ۴    | ۳        | ۳،۲،۱    | ۳        | ۱        | ۱        | ۳        | ۵     |
| ۵    | ۴        | ۳،۲،۱    | -        | ۱        | ۱        | ۲        | ۵     |

در این جدول اعداد متغیرهای زبانی در بازه‌ای بین ۱ تا ۷ نشان داده است که عدد ۱ خیلی کم و عدد ۷ خیلی زیاد و سایر اعداد متغیرهای بین این‌ها می‌باشند و  $X$ ها فاکتورهای استفاده شده در این تحقیق هستند.

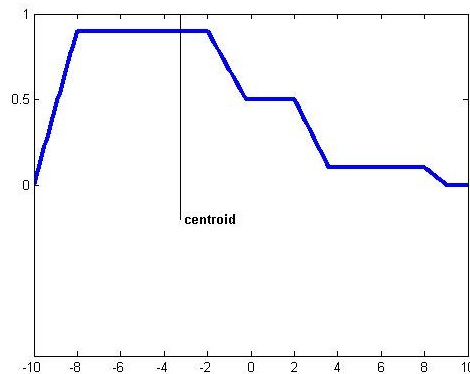
### ۲-۳-۳- قطعی سازی

یک قطعی‌ساز مجموعه ترکیبی فازی را به مجموعه کلاسیک باز می‌گرداند که نتیجه مدل‌سازی را سرعت می‌بخشد. قطعی‌ساز می‌تواند یک تابع ریاضی یا یک مقدار آستانه فازی باشد که به طور ذهنی یا عینی تعریف شده است. مهم‌ترین معیار این است که تغییری کوچک در ورودی‌های مدل فازی نباید باعث تغییری اساسی در نتیجه شود (Porwal, 2003: 180).

روش‌های مختلفی برای قطعی‌سازی در مدل ممدانی وجود دارد که در این تحقیق از قطعی‌ساز مرکز ثقل استفاده شده است. فرض می‌کنیم  $C_K$  خروجی یک فرایند فازی باشد که از اجتماع  $K$  مجموعه فازی بر اساس رابطه زیر به دست آمده است.

$$C_k = \bigcup_{h=1}^k C_h = C$$

برای این‌که بتوانیم یک عدد کلاسیک را (که در اینجا با  $Z^\circ$  نشان داده می‌شود) به این خروجی تخصیص دهیم، روش‌های متعددی پیشنهاد می‌شود. روش مرکز ثقل که رایج‌ترین روش تبدیل کمیت فازی به کمیت کلاسیک است، از رابطه زیر برای قطعی‌سازی استفاده می‌کند. در شکل ۶ عملکرد قطعی‌ساز مرکز ثقل را نشان می‌دهد. برای مثال: اگر  $x$ ،  $A$  است و  $y$ ،  $B$  است آن‌گاه  $z$ ،  $C$  است.



$$Z^\circ = \frac{\int \mu_C(Z)z dz}{\int \mu_C(Z) dz}$$

شکل ۶ عملکرد قطعی‌ساز مرکز ثقل

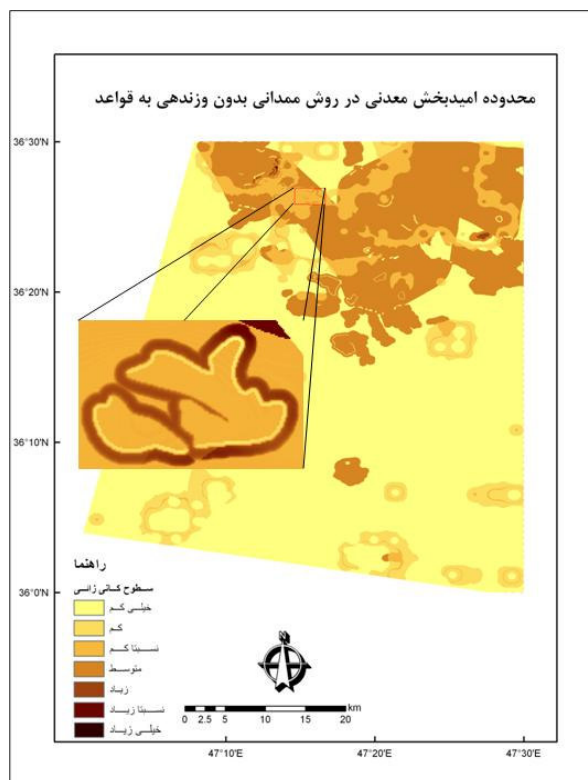
روش‌های متنوعی برای قطعی‌سازی پیشنهاد می‌شود، اما در عمل تفاوت کمی باهم دارند. برای انتخاب قطعی‌ساز در مدل ممدانی از بهترین و مناسب‌ترین و در عین حال پرکاربردترین آن‌ها، یعنی قطعی‌ساز مرکز ثقل استفاده شد.



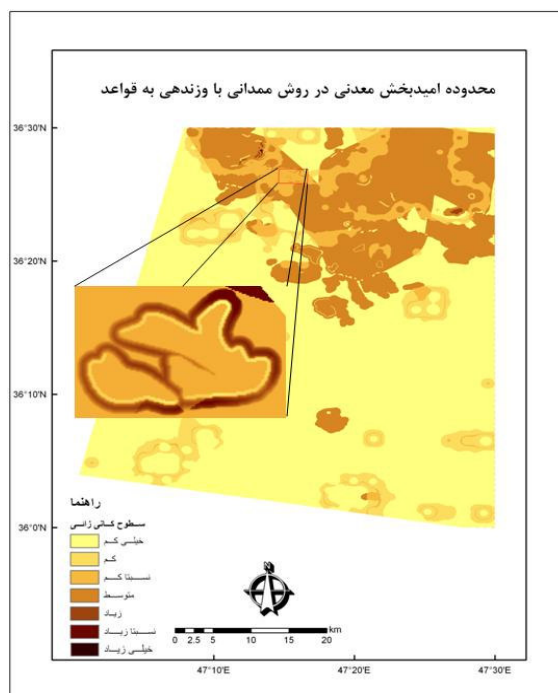
## ۲-۴- اجرای مدل

### ۲-۴-۱- اجرای مدل ممدانی بدون وزندهی به قواعد

پس از تعیین توابع عضویت ورودی برای تمامی فاکتورها و همچنین تابع عضویت خروجی مدل و فازی‌سازی آن‌ها لازم بود قواعد فازی آن نیز تعیین شود. برای این کار قواعد مذکور بر پایه مهم‌ترین و مفیدترین آن‌ها تعیین شدند و کارشناسان مربوطه با کمک گرفتن از دانش و تجربیات پیشین و با توجه به آشنایی قبلی با منطقه مورد مطالعه و نوع ماده معدنی به بیان آن‌ها پرداختند. در این تحقیق در مجموع ۴۶ قاعده تعیین شد ولی به هیچ یک از آن‌ها وزنی اطلاق نشد. شکل ۷ نقشه پتانسیل معدنی تهیه شده با استفاده از این روش را نشان می‌دهد.



شکل ۷ نقشه پتانسیل معدنی با استفاده از مدل ممدانی بدون وزندهی به قواعد



شکل ۸ نقشه پتانسیل معدنی به‌دست آمده از مدل ممدانی با قواعد وزن‌دار

#### ۲-۴-۲- اجرای مدل ممدانی با وزندهی به قواعد

در این بخش از تحقیق برای ارزیابی تأثیر وزن قواعد در مدل از کارشناسان خواسته شد تا اولویت هر کدام از فاکتورها را تعیین کنند. پس از تعیین اولویت فاکتورها، این نظرات با استفاده از روش AHP تلفیق شدند و وزن نهایی هر کدام از آنها به دست آمد. در مرحله تعیین قواعد از این وزن‌ها برای تعیین وزن قواعد استفاده شد. روش کار به این صورت بود که برای وزندهی به قواعد در این روش از حداقل وزن فاکتورهای به کار رفته در هر قاعده به عنوان وزن آن قاعده استفاده شد. به دلیل این که در همه قواعد از عملگر AND استفاده شده بود، حداقل وزن‌ها برای کم کردن خطرپذیری در آن قاعده به کار گرفته شد. شکل ۸ نقشه پتانسیل معدنی به‌دست آمده از طریق این روش را نشان می‌دهد.



### ۳- یافته‌ها

پس از اجرای مدل برای هر کدام از مدل‌ها، محدوده‌های هم‌پوشانی مدل‌های وزن‌دار و بدون وزن مورد بررسی قرار گرفت. جدول ۳ مناطق هم‌پوشانی این دو روش را نشان می‌دهد. همان‌گونه که این جدول نشان می‌دهد، تشابه زیادی بین مدل بدون وزن و مدل وزن‌دار مشاهده می‌شود و اختلاف آن‌ها محدود به مرزها می‌شود که بعضی بخش‌های آن در یک سطح پایین‌تر یا یک سطح بالاتر قرار گرفته و تغییر تدریجی را بین دو مرز نشان می‌دهد.

جدول ۳ مناطق هم‌پوشانی مدل‌های ممدانی وزن‌دار و بدون وزن برحسب هکتار

|             | مدل بی وزن |        |       |       |       |       |       |   |
|-------------|------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|---|
|             | سطح ۱      | سطح ۲  | سطح ۳ | سطح ۴ | سطح ۵ | سطح ۶ | سطح ۷ |   |
| مدل وزن‌دار | سطح ۱      | ۱۳۷۸۰۰ | ۰     | ۰     | ۰     | ۰     | ۰     | ۰ |
|             | سطح ۲      | ۲۴۵    | ۱۵۲۹۵ | ۰/۶۸  | ۰     | ۰     | ۰     | ۰ |
|             | سطح ۳      | ۰      | ۱۰۸۴  | ۱۰۴۵۹ | ۵۰/۱  | ۰     | ۰     | ۰ |
|             | سطح ۴      | ۰      | ۰     | ۴/۴   | ۳۸۹۰۸ | ۰     | ۰     | ۰ |
|             | سطح ۵      | ۰      | ۰     | ۰     | ۲/۱   | ۱۱۷/۵ | ۰     | ۰ |
|             | سطح ۶      | ۰      | ۰     | ۰     | ۰     | ۰/۰۴  | ۱۴/۹  | ۰ |
|             | سطح ۷      | ۰      | ۰     | ۰     | ۰     | ۰     | ۰     | ۰ |

برای مقایسه نتایج نخست جدول اختلاف وزن‌های دو مدل تشکیل شد که در جدول ۴ نشان داده شده است. در تحلیل نتایج، اختلاف وزن مدل‌ها به دو دسته طبقه‌بندی شدند. وزنهایی که بالاتر از وزن‌های مدل بدون وزن بودند در گروه یک و وزن‌های پایین‌تر از آن در گروه دو جای گرفتند.



جدول ۴ وزن مدل‌ها و اختلاف وزن آن‌ها

| فاکتورها       | مدل وزن دار | مدل بدون وزن | اختلاف دو مدل |
|----------------|-------------|--------------|---------------|
| آلتراسیون      | ۰/۳۵۲       | ۰/۱۶۷        | ۰/۱۸۵         |
| ژئوشیمیایی     | ۰/۲۵۳       | ۰/۱۶۷        | ۰/۰۸۶         |
| گسل            | ۰/۱۰۴       | ۰/۱۶۷        | -۰/۰۶۳        |
| منشأ حرارت     | ۰/۱۰۹       | ۰/۱۶۷        | -۰/۰۵۸        |
| سنگ میزبان     | ۰/۰۹۷       | ۰/۱۶۷        | -۰/۰۷         |
| توده نیمه عمیق | ۰/۰۸۶       | ۰/۱۶۷        | -۰/۰۸۱        |

#### ۴- نتیجه‌گیری

نتایجی که با استفاده از قواعد وزن‌دار به دست آمد از لحاظ طبقه‌بندی مناطق امیدبخش به سطوح مختلف با روشی که در آن از وزن قواعد استفاده نشد، مشابه بود. این تشابه چیزی حدود ۹۹/۳ درصد بود. تفاوت عمده آن‌ها در مرزها دیده شد. همان‌طوری که جدول ۳ نشان می‌دهد، تشابه زیادی بین مدل بدون وزن و مدل وزن‌دار مشاهده می‌شود و اختلاف آن‌ها محدود به مرزها می‌شود که در مدل وزن‌دار بعضی بخش‌های آن در یک سطح پایتتر یا یک سطح بالاتر قرار گرفته و تغییر تدریجی را بین دو مرز نشان می‌دهد.

با توجه به این که مرزهای تدریجی به واقعیت نزدیک می‌باشند و این مرزها به صورت فازی تغییر پیدا می‌کنند، یافته‌ها تأییدکننده آن بود که نتایج خروجی مدل ممدانی با قواعد وزن‌دار دقیقتر از قواعد بدون وزن می‌باشد. دلیل نتایج مطلوب‌تر در مدل وزن‌دار، وزن‌دهی به قواعد بود که این وزن‌دهی سبب فازی سازی قواعد شده بود.

هم‌چنین دلیل تفاوت نتایج دو مدل بررسی شد، با توجه به نتایج به دست آمده از جدول اختلاف وزن‌ها، ر مناطقی که گروه یک مقادیر بالا و گروه دو مقادیر پایین نشان می‌دادند و هم‌چنین در مناطقی که گروه یک مقادیر کم‌تر و گروه دو مقادیر بیش‌تری داشتند، مدل بدون وزن ارزش بیش‌تری به خود می‌گرفت و در مناطقی که هر دو گروه مقادیر بالا و یا مقادیر پایینی نشان می‌دادند، مدل وزن‌دار ارزش بیش‌تری نشان می‌داد. شکل ۹ نتایج حاصل از این مقایسه را نشان می‌دهد و جدول ۶ وسعتی را نشان می‌دهد که هر کدام از این مدل‌ها در بر می‌گیرند.

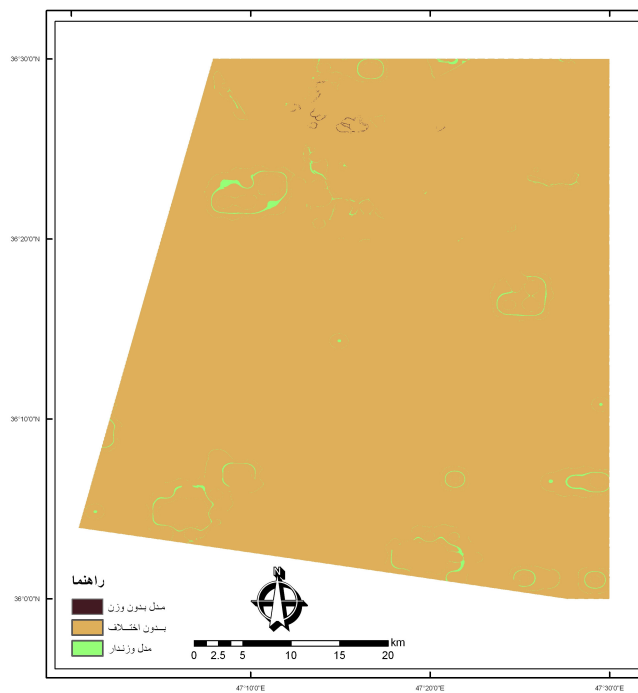


جدول ۵ نتایج مقایسه مدل‌ها

| گروه دو با مقادیر پایین | گروه دو با مقادیر بالا | گروه یک با مقادیر بالا  |
|-------------------------|------------------------|-------------------------|
| مدل وزن‌دار             | بدون اختلاف            | گروه یک با مقادیر بالا  |
| بدون اختلاف             | مدل بدون وزن           | گروه یک با مقادیر پایین |

جدول ۶ وسعت هر کدام از مناطق برحسب هکتار و درصد آن‌ها

| منطقه           | وسعت منطقه برحسب هکتار | درصد وسعت منطقه |
|-----------------|------------------------|-----------------|
| عدم وجود اختلاف | ۲۰۲۵۹۴                 | ۹۹/۳۲           |
| مدل وزن‌دار     | ۱۳۳۵                   | ۰/۶۵۵           |
| مدل بدون وزن    | ۵۱                     | ۰/۰۲۵           |



شکل ۹ وسعت در برگرفته هر کدام از مدل‌ها

جدول ۶ نشان می‌دهد که در ۹۹/۳ درصد منطقه تغییری مشاهده نمی‌شود. مدل وزن‌دار نسبت به مدل بدون وزن سطح بیش‌تری از منطقه را اشغال کرده است و با توجه به جدول ۵ این موضوع نشان می‌دهد که در این مناطق آلتراسیون دارای مقادیر بالایی بوده و بقیه فاکتورها مقادیر پایینی دارند و مقادیر بالای آلتراسیون نشان‌دهنده این است که مدل وزن‌دار مناطق دارای پتانسیل معدنی را بهتر از مدل بدون وزن پیش‌بینی کرده است. نقشه فاکتورهای ورودی استفاده شده و بررسی‌های میدانی نیز که به‌وسیله همکاران زمین‌شناس انجام گرفت، نشا از صحت این ادعا است.

هم‌چنان که در مقدمه تحقیق نیز اشاره شد در بیش‌تر تحقیقاتی که در آن از سیستم استنتاج فازی استفاده می‌کند قواعد بدون وزن‌دهی به کار برده می‌شدند. در اندک تحقیقاتی که در آن از وزن‌دهی به قواعد استفاده شده بود، نتایج مناسبی به دست آمده بود و نتایج تحقیق با نتایج مطلوبی که کوردون (۱۹۹۹) از وزن‌دهی به قواعد به دست آورده بود، هم‌سان بود. هم‌چنین خرمی (۱۳۸۲) که در تحقیق خود از وزن‌دهی به قواعد استفاده بود به نتایج مناسبی دست‌پیدا کرده بود که نتایج به دست آمده از این تحقیق بیانگر مطلوب بودن استفاده از وزن در ساخت قواعد فازی است. پروال، کرانز و هال (۲۰۰۴) نیز با استفاده از روش ANFIS که از سیستم استنتاج فازی استفاده می‌کردند و در آن از وزن‌دهی به قواعد استفاده شده بود، توانستند نقشه پتانسیل معدنی فلز پایه را در آراوالی هند تهیه کنند. با این کار آن‌ها توانسته بودند به نتایج قابل قبولی برسند و ناحیه جستجو برای این ماده معدنی را به ۹/۷۵ درصد منطقه محدود و ۹۶ درصد معادن شناخته شده فلز پایه را شناسایی کنند. در این تحقیق نیز تأثیر وزن‌دهی به قواعد مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج به‌دست‌آمده از مثبت بدن وزن‌دهی را در اندک تحقیقات قبلی اثبات کرد.

## ۵- منابع

- خرمی ج؛ ارزیابی عملکرد شبکه‌های آبیاری با استفاده از منطق فازی (مطالعه موردی: شبکه آبیاری مارون)؛ پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد مهندسی تأسیسات آبی، دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۸۲.



- رحیمی م.؛ تحلیلهای چند ضابطه‌ای و مدل‌سازی در محیط GIS با هدف توسعه منابع معدنی؛ سازمان زمین شناسی، ۱۳۸۰.
- زارسی آ.؛ بررسی کاربرد منطق فازی در تحلیل پایداری شیبها؛ پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد مهندسی معدن - مکانیک سنگ، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۸۶.
- کره‌ای، م. ت.، مدنی گیوی م.، قریب ف.؛ بررسی‌های دورسنجی به منظور شناسایی پتانسیل مواد معدنی در برکه ۱:۱۰۰۰۰۰ تکاب؛ گزارش وزارت صنایع و معادن، ۱۳۸۱.
- کریم‌پور، م. ح. و همکاران؛ اکتشاف ذخایر معدنی: مدل‌های زمین‌شناسی، ژئوشیمی، ماهواره‌ای و ژئوفیزیکی؛ چ. ۲، مشهد: انتشارات دانشگاه فردوسی، ۱۳۸۴.
- مقصودی ع. و همکاران (.). کانسارها و نشانه‌های معدنی طلا در ایران، تهران: انتشارات آراین زمین، ۱۳۸۴.
- Asadi H. H.; The Zarshuran gold deposit model applied in mineral exploration GIS in Iran, Ph.D Thesis. ITC, The Netherlands, p: 190, 2000.
- Asadi H. H., Hale M.; A predictive GIS model for mapping potential gold and base metal mineralization in Takab area, Iran. Computers & Geosciences, 27: 901-912, 2000.
- Bonham Carter G. F.; Geographical information systems for geoscientists. Modeling with GIS; Pergamon, oxford, 1994.
- Hardcastle K.C.; Photolineament factor: A new computer -aided method for remotely sensing the degree to which bedrock is fractured ; Photogrammetric Engineering and Remote Sensing , 61 : 739 – 747, 1995.
- Ishibuchi H., Yamamoto T., Rule weight specification in fuzzy rule-based classification systems. IEEE Trans. On fuzzy systems, 13(4): 428-435, 2005.

- O. Cordon, M. J. Del Jesus, and Herrera. F. A proposal on reasoning methods in fuzzy rule-based classification systems; *International Journal of Approximate Reasoning*, 20(1): 21-45, 1999.
- Moor F., Rastmanesh H., Asadi H., Modabberi S.; Mapping mineralogical alteration using principal component analysis and matched filter processing in the Takab area, north-west Iran, from ASTER data, *International Journal of Remote Sensing*, 29(10): 2851-2867, 2008.
- Porwal A. K.; Mineral potential mapping with mathematical geological models. Ph.D. thesis, ITC, The Netherlands, Dissertation Number 130, 2006.
- Porwal A., Carranza, E. J. M., Hale. M.; A hybrid neuro-fuzzy model for mineral potential mapping; *Mathematical Geology*, Vol. 36, No. 7, 2004.
- Tangestani M. H., Moor F.; Mapping porphyry copper potential with a fuzzy model, northern Shahr-e-Babak, Iran; *Australian Journal of Earth Science* 50: 311-317, 2003.
- Wang L. X.; A course in fuzzy systems and control; Prentice-Hall International, Inc, 1997.
- Zadeh L. A. Fuzzy sets. *IEEE information and control*, 8. 338-353, 1965.