

## تلفیق لایه‌های اطلاعاتی مس در منطقه نیسیان به کمک سیستم استنتاجگر فازی (FIS)

سمانه برک<sup>۱</sup>، عباس بحرودی<sup>۲\*</sup>، گلناز جوزانی کهن<sup>۳</sup>

۱- کارشناس ارشد مهندسی اکتشاف معدن، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه تهران samaneh\_barak@ut.ac.ir

۲- دانشیار دانشکده مهندسی معدن، دکترای زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه تهران bahroudi@ut.ac.ir

۳- استادیار دانشکده مهندسی معدن، دکترای مهندسی اکتشاف معدن، دانشگاه تهران gjkohan@ut.ac.ir

(دریافت ۱۸ اردیبهشت ۱۳۹۶، پذیرش ۲ بهمن ۱۳۹۶)

### چکیده

پردازش داده‌های اکتشافی با کمک فن آوری‌های جدید منجر به کسب نتایج مطلوب و کارآمد در زمینه اکتشاف کانسارهای پنهان می‌شود. در این پژوهش مدل‌سازی رایانه‌ای سیستم استنتاجگر فازی (Fuzzy Inference System) با ارایه روشی با رویکرد شبیه‌سازی افکار انسانی برای اکتشاف کانسار مس-مولیبدن پورفیری در منطقه نیسیان استفاده شده است. این سیستم سه مرحله فازی‌سازی، موتور سیستم استنتاجگر فازی و غیرفازی‌سازی دارد، به طوری که از متغیرهایی با ماهیت زبانی به جای متغیرهای با ماهیت عددی استفاده می‌کند که این امر باعث بهبود در نحوه تصمیم‌گیری برای اکتشاف کانسارها می‌شود. ورودی‌های این سیستم نقشه‌های فاکتور زمین‌شناسی، دگرسانی، ژئوشیمیایی و ژئوفیزیکی است. در لایه دگرسانی از تصاویر سنجنده استر استفاده شد. در لایه ژئوشیمیایی از نمونه‌های خاک برجا استفاده شد که برای تهیه آن از روش‌های آماری تک متغیره و چند متغیره استفاده شد که نتیجه آن دو عنصر مس و مولیبدن تأثیرگذارترین عناصر شناسایی شده و برای جداسازی آنومالی از زمینه از روش فرکتال عیار-تعداد استفاده شد و با تلفیق دو لایه مس و مولیبدن لایه ژئوشیمیایی به دست آمد. لایه ژئوفیزیکی شامل داده‌های مغناطیسی سنجی بود که با اعمال انواع فیلترهای مختلف نقشه سیگنال تحلیلی به عنوان لایه ژئوفیزیکی انتخاب شد. خروجی سیستم استنتاجگر فازی پس از تحلیل چهار لایه در موتور سیستم استنتاجگر فازی شامل نقشه پتانسیل معدنی بوده که پس از مقایسه با ۳۳ حلقه گمانه حفر شده در منطقه و به کمک کلاس‌بندی ۵ کلاسه، گویای ۷۰/۶ درصد انطباق است.

### واژگان کلیدی

سیستم استنتاجگر فازی، ArcGIS، نیسیان، مس-مولیبدن پورفیری، ایران مرکزی

## ۱- مقدمه

شده است، محققان نگوین و آشورت (۱۹۸۵) در دانش مربوط به سیستم‌های سنگی از این الگوریتم استفاده کرده‌اند [۱]. همچنین محققان زیادی به صورت موفقیت‌آمیز از این سیستم در مطالعات زمین‌شناسی و اکتشافی خود بهره برده‌اند [۶-۲].

طبق گفته اونسا و همکاران در سال ۲۰۱۴، روش سیستم استنتاجگر فازی در اکتشافات معدنی قابل استفاده است [۷]. پورووال و همکاران (۲۰۰۴) از سیستم استنتاجگر فازی برای مدلسازی روش‌های پیشگو استفاده کرده‌اند [۸]. طبق گفته جنگ (۱۹۹۳) سیستم استنتاجگر فازی یک سیستم هیبریدی است که برای تخمین پارامترها از شبکه‌های عصبی قابل تطبیق استفاده می‌کند. گرچه سیستم بیان شده بر روی پایه‌های روش سیستم‌های معدنی طراحی نشده است، ولی ابزار و تکنیک‌های توصیف شده توسط آن‌ها می‌تواند به راحتی با روش‌های سیستم‌های معدنی سازگار شود [۹]. اخیراً نویسندگان متعددی در تلاش بوده‌اند که از روش شبکه استنتاجگر فازی برای مدلسازی رابطه‌های متقابل بین مولفه‌های سیستم‌های معدنی در چارچوب راهبرد این سیستم‌ها استفاده کنند. این سیستم توانایی مدلسازی ماهیت غیرقطعی داده‌های اکتشافی را دارد و همچنین این سیستم در به کارگیری دانش کارشناسی و انعطاف دادن به انواع ذخایر معدنی در قالبی یکپارچه، مفید است. در تحقیقات انجام شده برای تهیه نقشه پتانسیل معدنی، اغلب منطق فازی در قالب وزن‌دهی و نرمال‌سازی نقشه فاکتور و یا تعریف یک تابع عضویت برای هر نقشه فاکتور و به کارگیری عملگرهای فازی برای تلفیق نقشه‌های فاکتور استفاده شده است [۱۰، ۱۱]. پورووال و همکاران (۲۰۰۴) در مدل شبکه عصبی-فازی، از سیستم استنتاجگر تاکاگی سوگنو با دو ورودی و دو تابع عضویت فازی برای هر ورودی به کار گرفته‌اند. این افراد مدل خود را بر روی منطقه آراوالی (غرب هند) اعمال کردند که این مدل توانسته است بیش از ۹۰ درصد ذخایر را به درستی پیش‌بینی کند [۸]. محبوبی (۱۳۸۹) از تاثیر وزن قواعد سیستم استنتاج فازی ممدانی در دقت خروجی نقشه پتانسیل معدنی طلای اپی-ترمال در منطقه تکاب استفاده کرده است [۱۲]. در تحقیقی

اکتشاف یک فعالیت چند مرحله‌ای است که در مقیاس کوچک آغاز شده و به مقیاس بزرگ تبدیل می‌شود و سرانجام به انتخاب محل‌هایی به عنوان هدف حفاری به منظور دست یافتن به ذخایر معدنی پایان می‌پذیرد ولی انتخاب نقاط حفاری کاری بسیار پر مخاطره بوده و ریسک کاری بالایی دارد، در نتیجه انتخاب این نقاط باید با دقت بالایی انجام گیرد. اگر قبل از شروع کار برنامه‌ای جامع و کامل از مراحل اکتشاف تهیه شود، شانس موفقیت اکتشافی بالا می‌رود. در این راستا مهندسان اکتشاف با به کارگیری انواع داده‌ها و نقشه‌هایی که در دسترس است و همچنین با استفاده از قابلیت‌های سامانه اطلاعات جغرافیایی و دانش کارشناسان با تجربه در تلاش‌اند بهترین مدل اکتشافی را که در بردارنده مناطق پرتانسیل باشد، ارائه دهند، از سویی مطالعات و بررسی‌های انجام شده، نشان می‌دهد که اصول فیزیکی و شیمیایی حاکم بر نهشته‌های معدنی بسیار پیچیده‌تر از آن است که بتوان با یک مدلسازی ریاضی به نتایج مطلوب دست یافت. روش‌های گوناگون داده مبنای دانش مبنای برای مدلسازی نهشته‌های معدنی به کار گرفته می‌شود. ولی این مدل‌ها توانایی مدلسازی کامل ماهیت غیر قطعی این نهشته‌ها را در یک قالب منسجم ندارند و در نتیجه باعث افزایش هزینه‌ها در اکتشافات می‌شوند. در این زمینه روش خوبی برای استنتاج کردن درجه عضویت فازی استفاده شده که تابع عضویت فازی است. از این رو در این پژوهش از سیستم استنتاجگر فازی تعریف شده در نرم‌افزار MATLAB برای تلفیق نقشه‌ها استفاده شده است. با توجه به قابلیت‌های یک سیستم استنتاجگر فازی امید است که این سیستم قابلیت ارائه یک روش جامع و کامل برای مدلسازی یک نهشته معدنی و همچنین قابلیت از بین بردن ضعف‌های مدل‌های تلفیقی مرسوم را داشته باشد. این مدل منطقی با استفاده از داده‌های کیفی و متغیرهای زبانی در تهیه نقشه پتانسیل معدنی نسبت به روش‌های تلفیق مرسوم که از داده‌های کمی و کیفی به صورت ترکیبی استفاده می‌کنند، تهیه نقشه پتانسیل معدنی را آسان و قابل فهم‌تر می‌کند. الگوریتم سیستم استنتاجگر ممدانی و سوگنو در مقالات و تحقیقات بسیاری در زمین‌شناسی و مهندسی معدن استفاده

را در نقشه پتانسیل معدنی نشان می‌دهد. با این حال روش‌های اکتشافی دیگر حضور کانسار در منطقه را رد کرده بودند. نتایج بدست آمده از حفاری‌ها حضور کانسار در منطقه را به تثبیت رساند [۱۵]. مطالعات زمین‌شناسی، ژئوفیزیکی، ژئوشیمی و دگرسانی مختلفی توسط افراد و شرکت‌ها بر روی محدوده مورد مطالعه انجام شد که حاکی از حضور کانی‌سازی مس-مولیبدن پورفیری در منطقه است [۱۶-۲۰].

در این پژوهش پس از انجام مطالعات اکتشافی مختلف بر روی محدوده مورد مطالعه نقشه‌های فاکتور زمین‌شناسی، ژئوفیزیکی، ژئوشیمی و دگرسانی تهیه شد. این نقشه‌ها به عنوان ورودی وارد سیستم استنتاجگر فازی شده و پس از تحلیل در موتور استنتاجگر فازی نقشه پتانسیل معدنی محدوده را در اختیار قرار می‌دهند.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- مفهوم سیستم استنتاجگر فازی

استنتاج‌های فازی فرآیند فرمول‌بندی کردن مسیری برای دستیابی به خروجی بر اساس یک ورودی و با استفاده از منطق فازی است. این سیستم در مراحل بعد پایه‌ای برای کمک به اخذ تصمیم‌ها و تشخیص الگوها خواهد بود. هنگام استفاده از یک سیستم استنتاج فازی، تمامی مفاهیم اولیه منطق فازی به کار گرفته می‌شود که از آن جمله می‌توان به مفاهیم مجموعه‌های فازی، توابع عضویت، عملگرهای فازی و در نهایت قوانین اگر-آنگاه اشاره کرد.

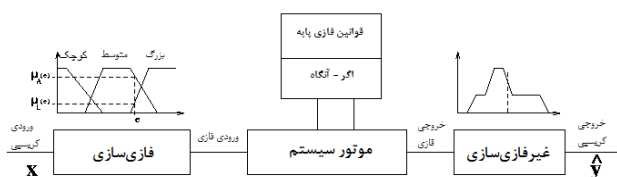
در واقع مزیت این سیستم نسبت به حالت منطق فازی مرسوم در مقالات و پژوهش‌های علمی این است که مرز بین سازندها به حالت صفر و یک نیست و به حالت شیب‌دار تغییر می‌کند یعنی مرز سازندها را در بازه صفر و یک قرار می‌گیرد و وزن‌های واقعی‌تر به سازندها می‌دهد.

مهندسان معدن سعی در اتخاذ فن‌آوری‌های جدید برای جمع‌آوری و پردازش اطلاعات اکتشافی داشته‌اند به گونه‌ای که پس از پردازش در داده به وسیله مفاهیم‌های انسانی تحلیل شده و نتیجه مطلوب را به همراه داشته باشد.

دیگر از سیستم استنتاجگر فازی برای وزن‌دهی به نقشه‌های فاکتور استفاده شده است. هدف این پژوهش اصلاح و بهبود عملکرد روش‌های مبتنی بر منطق فازی برای تهیه نقشه پتانسیل معدنی است تا به این وسیله بر کارایی آن‌ها افزوده شود. به این منظور، در تهیه نقشه‌های فاکتور زمین‌شناسی، اثر دقت هندسی نقشه‌ها و نیز ارزش‌دهی به سلول‌های تصویر رستر به صورت پیوسته بر مبنای فاصله از عارضه‌ها در در دستور کار قرار گرفته است. همچنین برای تولید نقشه‌های فاکتور ژئوشیمیایی و ژئوفیزیکی از مفهوم سیستم‌های استنتاج فازی بهره گرفته شده و مناسب‌ترین ترکیب برای ساختمان این سیستم‌ها تعیین شده است. در ادامه نیز یک موتور استنتاج برای تلفیق نقشه‌های فاکتور پیشنهاد شده است. نقشه‌های تولید شده با استفاده از این مدل مطابقت بسیار مناسبی با نتایج حاصل از گمانه‌های اکتشافی دارند، به گونه‌ای که در حالت سه‌کلاسه تا ۸۷/۱ درصد و در حالت پنج کلاسه تا ۸۰/۷ درصد با نتایج حفاری سازگارند. این نقشه‌ها هیچ‌گاه مطلوبیت گمانه‌ای را با بیش از یک کلاس اختلاف پیش‌بینی نمی‌کنند، بنابراین چنانچه این مطالعات پیش از انجام عملیات حفاری انجام می‌شد و تنها با فرض اجتناب از حفر چاه‌ها در مناطقی با مطلوبیت ضعیف و خیلی ضعیف، امکان صرف نظر کردن از حفر حدود ۴۰ درصد از گمانه‌ها وجود داشت. در مرحله پایانی کار نیز به بررسی حساسیت مدل پرداخته شده تا تاثیرگذارترین عوامل در عملکرد آن تعیین شوند [۱۳]. علائی مقدم (۱۳۹۰) بر روی طراحی و ارزیابی سیستم استنتاجگر فازی برای تهیه نقشه پتانسیل معدنی تحقیقاتی ارایه کرده است. در این تحقیق دو مدل با استفاده از سیستم استنتاجگر فازی ارایه و در اندیس مس چاه فیروزه، پیاده‌سازی شده است. نقشه‌های فاکتور در دو مرحله با یکدیگر تلفیق شدند. در تلفیق مرحله اول نقشه‌های فاکتور با عملگرهای فازی و در تلفیق مرحله دوم نقشه‌های حاصل از تلفیق مرحله اول با استفاده از سیستم استنتاجگر فازی تلفیق شدند، میزان تطابق برای ارزیابی ۳ کلاسه و ۵ کلاسه به ترتیب ۶۰/۲۷ و ۶۵/۵۸ درصد است [۱۴]. پوروال و همکاران (۲۰۱۵) سیستم استنتاجگر فازی را برای تهیه نقشه پتانسیل معدنی اورانیوم مواد معدنی در منطقه موجود بوده است که روندی از شمال‌غرب تا جنوب‌شرق و همین‌طور روندی غربی تا شرقی

### ۳-۲- فازی سازی نقشه‌های فاکتور

طبق این فرآیند نقشه‌ها از حالت کریسپی خارج شده و به حالتی با متغیرهای زبانی تبدیل می‌شوند، در این مرحله داده‌ها به منظور فازی سازی باید بی‌واحد و استاندارد شوند یعنی باید عملیات نرمال سازی (مجموعه فازی را نرمال گویند اگر و فقط اگر بزرگترین مقدار عضویت فازی آن برابر با یک باشد). روی داده‌ها انجام گیرد، در واقع دامنه متغیرها به دامنه صفر و یک تغییر می‌یابد که این کار به سهولت به کمک نرم افزار ArcGIS انجام می‌شود، طرح گرافیکی سیستم استنتاجگر فازی در شکل ۱ نمایش داده شده است.



شکل ۱- طرح گرافیکی سیستم استنتاجگر فازی

در این مرحله متغیرهای زبانی به کمک توابع عضویت فازی تعریف می‌شوند، انتخاب شکل تابع عضویت مناسب بسیار مهم بوده و تاثیر بالایی در نتیجه نهایی می‌گذارد، توابع عضویت مرسوم دوزنقه، مثلثی و گوسی‌اند که دو مورد اول حالت خطی دارند [۲۱، ۲۲]. این توابع قابلیت بهینه شدن به کمک ANFIS را دارند. به عنوان مثال فاکتور ژئوشیمیایی به کمک تابع عضویت دوزنقه در سه گروه پتانسیل قوی، ضعیف و متوسط تقسیم‌بندی می‌شود. در این مرحله علاوه بر تعریف توابع عضویت برای نقشه‌های فاکتور ورودی یک تابع عضویت برای نقشه خروجی ایجاد می‌شود [۸].

### ۳-۳- ساخت موتور سیستم استنتاجگر فازی

پس از عملیات فازی سازی، نقشه‌ها وارد موتور سیستم استنتاجگر فازی می‌شوند، در این مرحله یک پایگاه اگر-آنگاه فازی برای نقشه‌ها تشکیل می‌شود، این قوانین بر اساس دانش کارشناسی تعریف شده و قابلیت به روزسازی و تغییر را دارند. این قوانین باید تمام نظریات و دانسته‌های مهندس مکتشف را پوشش دهند. به عنوان مثال اگر منطقه از نظر زمین‌شناسی، دگرسانی و ژئوفیزیکی ضعیف و از لحاظ

نرم افزارهای کامپیوتری قادر به اجرای این مفهوم‌های ذهنی نیست، به ویژه زمانی که مبهم بوده و نوفه‌هایی را به همراه داشته باشند. از سویی دیگر ذهن انسان توانایی پردازش داده‌هایی با حجم زیاد را ندارد و به سرعتی که کامپیوترها پردازش می‌کنند، عمل نمی‌کند، از این رو بهترین روش برای اکتشاف کانسارهای همراه با نوفه‌های فراوان و پیچیده استفاده از سیستم هوش مصنوعی است. سیستم استنتاجگر فازی راهکاری را به کمک نرم‌افزار قدرتمند MATLAB برای حل این مهم ارائه می‌دهد. این سیستم یک روش دانش محور بوده که قادر به شبیه‌سازی تخصص انسان برای ارائه نتیجه مطلوب است.

مهم‌ترین مزیت استفاده از FIS این است که سیستم با استفاده از زبان طبیعی و مقادیر زبانی ساخته می‌شود، بنابراین مهندس مکتشف می‌تواند به صورت مستقیم مقادیر را درک کند. این کار سیستم را شفاف‌تر می‌کند. هر مدل FIS به راحتی توسط مهندس مکتشف برای در برگیری ایده‌های جدید و متغیرهای جدید قابلیت به روز شدن دارد. روش FIS به صورت موثری در دو منطقه سبز<sup>۱</sup> و قهوه‌ای<sup>۲</sup> قابلیت استفاده را دارد، زیرا نیازمند مثال‌های شناخته شده کانی‌زایی به عنوان داده آموزش یافته ندارد.

### ۳- مراحل تهیه نقشه پتانسیل معدنی به کمک سیستم استنتاجگر فازی

#### ۳-۱- تهیه نقشه‌های فاکتور

در این مرحله مدل مفهومی کانسار مورد مطالعه شناسایی شده و فاکتورهای تشخیص کانی‌سازی تعیین می‌شوند که نتیجه آن تهیه لایه‌ها (نقشه‌های فاکتور) برای تلفیق به کمک نرم‌افزار ArcGIS است. این لایه‌ها در واقع همان ورودی‌های سیستم استنتاجگر فازی است. این نقشه برای فراخوانی در MATLAB و سهولت در تلفیق در یک چارچوب مشخص و در پیکسل‌های یکسان تهیه می‌شود.

## ۴- محدوده مورد مطالعه

محدوده مس پورفیری نیسان در قسمت شمال شرقی ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ کوهپایه و در عرض جغرافیایی  $32^{\circ}55'3''$  تا  $52^{\circ}29'8''$  و طول جغرافیایی  $52^{\circ}26'48''$  تا  $52^{\circ}29'8''$  واقع شده است. از نظر تقسیمات کشوری در استان اصفهان و بخش کوهپایه (فاصله تقریبی ۱۰۰ کیلومتری شمال شرق) قرار می‌گیرد [۲۳، ۲۴، ۲۵]. نقشه زمین‌شناسی در مقیاس ۱:۱۰۰۰ و به وسعت ۵ کیلومترمربع تهیه شده است که در شکل ۲ نمایش داده شده است. این محدوده در میانه کمر بند مس‌دار ارومیه- دختر واقع می‌شود و به عنوان یک محدوده پتانسیل‌دار از نظر مس پورفیری مطرح است که دارای معادن مهم مس- مولیبدن پورفیری سرچشمه و میدوک است [۲۶، ۲۷]. ترکیب این توده‌های نفوذی از دیوریت تا کوارتز دیوریت در تغییر است که طبق شکل ۲، عمده سنگ‌های مرکزی و شرقی محدوده از کوارتز دیوریت و عمده سنگ‌های بخش غربی از داسیت و توف تشکیل شده است [۲۸، ۲۹]. در قسمت‌های بالایی الیگومیوسن نفوذ توده‌های کم‌عمق تا ساب‌ولکانیک با ترکیب داسیت پورفیری در واحدهای سنگی قبلی نفوذ کرده است که به نظر می‌رسد سیالات ناشی از همین توده‌های آبدار منجر به توسعه دگرسانی‌های وسیع و متنوعی در واحدهای مذکور، همچنین واحدهای قدیمی‌تر آنها شده است. دایک‌ها به عنوان جوان‌ترین فاز فعالیت ماگمایی در این محدوده نیز جای‌گیری و نفوذ دایک‌های آندزیتی در محدوده انجام شده است که بیشتر در قسمت شمال شرقی محدوده نیسان دیده می‌شود. روند اصلی گسل‌ها شمال غرب- جنوب شرق است که در شکل ۳، رز دیاگرام آن دیده می‌شود [۱۹].

ژئوشیمی در حد متوسط باشد، آنگاه منطقه از لحاظ پتانسیل معدنی ضعیف است.

می‌توان تعداد این قوانین را به کمک رابطه ۱ بدست آورد:

$$(1) \quad m^n: \text{تعداد قوانین}$$

که در آن:

$m$  تعداد متغیر زبانی

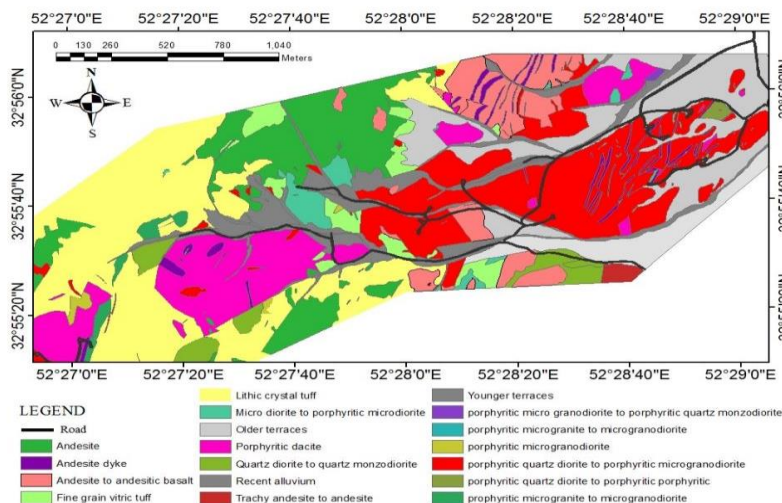
$n$  تعداد ورودی‌های سیستم استنتاجگر فازی (تعداد نقشه‌های فاکتور)

در واقع تعداد قوانین اگر- آنگاه فازی با افزایش تعداد نقشه‌های ورودی افزایش می‌یابد، برای کاهش در تعداد قوانین می‌توان تلفیق را دو مرحله انجام داد، مرحله اول با روش‌های تلفیق مرسوم و مرحله بعدی که شامل تلفیق به کمک سیستم استنتاجگر فازی است، خروجی‌های مرحله قبلی باشد.

در این مرحله یک سیستم فازی نیز برای تلفیق تعریف می‌شود، دو سیستم فازی مهم که در علوم و مقالات استفاده شده و معمولاً با هم مقایسه می‌شوند نوع ممدانی و سوگنو است، در روش ممدانی دو وضعیت ماکزیمم- مینیمم و ماکزیمم- ضرب تعریف می‌شود که در این مقاله از روش ممدانی ماکزیمم- مینیمم استفاده شده است.

## ۴-۳- غیر فازی سازی

در این مرحله نقشه تلفیق شده نهایی از حالت فازی خارج شده و به حالت کریسپی تبدیل می‌شود، در واقع به یک عدد حقیقی تبدیل می‌شود که قابل درک و فهم باشد. برای انجام این کار روش‌های متعددی مانند روش مرکز ثقل، میانگین وزن‌دار، بیش‌ترین میانه، مرکز جمیع و مرکز بزرگترین سطوح ارایه می‌شود که در این مقاله از روش مرکز ثقل استفاده شده است.



شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی محدوده مورد مطالعه در مقیاس ۱:۱۰۰۰

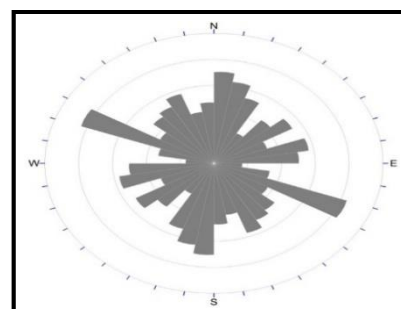
است، این نقشه‌ها پس از بررسی‌ها و تلفیق‌های اولیه تهیه شده‌اند، برای تسهیل در فراخوانی نقشه‌های فاکتور با نرم‌افزار MATLAB همه نقشه‌ها در یک چارچوب  $289 \times 734$  پیکسل قرار گرفته‌اند و هر یک از پیکسل‌ها به صورت  $5 \times 5$  متری تعریف می‌شوند (شکل ۵).

#### ۵-۱- نقشه فاکتور زمین‌شناسی

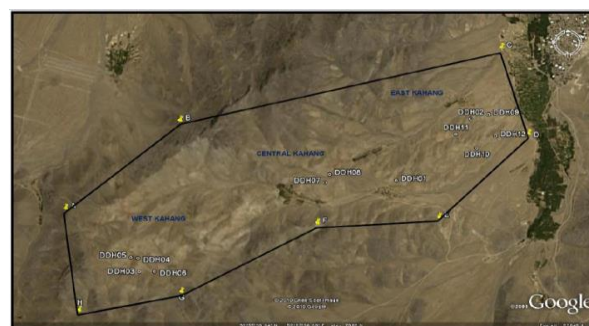
نقشه زمین‌شناسی منطقه حاصل تلفیق نقشه‌های تکتونیکی و سنگ‌شناسی منطقه به کمک عملگر گاما با ارزش  $0.85$  است که در نقشه سنگ‌شناسی منطقه سنگ‌های گرانودیوریتی و مونزونیتی تاثیرگذارترین سنگ‌ها محسوب شدند. در نقشه تکتونیکی منطقه گسل‌های شمال‌شرق-جنوب‌غرب برجسته شده و بافرینگ گسل‌ها نیز مورد بررسی قرار گرفت، به گونه‌ای که فاصله‌های نزدیک به گسل‌ها مورد اهمیت قرار گرفتند، همچنین در این نقشه تقاطع گسل‌ها نیز مورد توجه قرار گرفت (شکل ۵-الف).

#### ۵-۲- نقشه فاکتور دگرسانی

کانسار مس-مولیبدن پورفیری شامل چهار نوع دگرسانی شاخص پتاسیک، فلیک، آرژلیک و پروپلیتیک است که برای مناطق فلیک و آرژلیک از نتایج پردازش‌های تصویر پایه (ترکیب رنگی کاذب، نسبت باندی، آنالیز مولفه‌های



شکل ۳- رز دیاگرام گسل‌های منطقه



شکل ۴- موقعیت محدوده برداشت شده بر روی عکس ماهواره‌ای

#### ۵- آماده‌سازی نقشه‌های فاکتور

نقشه‌های فاکتور آماده‌سازی شده برای تلفیق، شامل نقشه‌های زمین‌شناسی، دگرسانی، ژئوشیمیایی و ژئوفیزیکی

دلیل بارسازی مرز آنومالی‌های منطقه برای تلفیق مورد استفاده قرار گرفت، با توجه به تجربه در استفاده از این روش در پی‌جویی ذخایر مس پورفیری مقادیر بالای مغناطیس در ارتباط با سنگ‌های غیردگرسان شده است و به لحاظ مکانی همبستگی قابل توجهی با کانی‌سازی ندارد. همچنین مقادیر پایین مغناطیس نیز منطبق بر رسوبات منطقه‌ای است، در نتیجه مقادیر متوسط مغناطیس به لحاظ مکانی در ارتباط با کانی‌سازی است، بنابراین به مناطقی با مغناطیس متوسط بیشترین اهمیت تعلق گرفت (شکل ۵-د).

#### ۶- فازی‌سازی نقشه‌های فاکتور

فازی‌سازی نقشه‌های فاکتور در سیستم استنتاجگر فازی نیازمند تعریف توابع عضویت فازی مناسب‌اند. تعداد توابع ورودی، نوع تابع عضویت مورد استفاده و دامنه مورد استفاده برای هر تابع با بررسی‌های زمین‌شناسی، دگرسانی، ژئوشیمیایی و ژئوفیزیکی منطقه مورد مطالعه تعیین می‌شوند. طبق این فرآیند نقشه‌ها از حالت کریسپی خارج شده و به حالتی با متغیرهای زبانی تبدیل می‌شوند. نقشه‌های فاکتور ورودی به کمک تابع عضویت دوزنقه در سه گروه پتانسیل قوی، ضعیف و متوسط تقسیم‌بندی شده‌اند و یک تابع عضویت دوزنقه در هفت گروه پتانسیل خیلی قوی، قوی، بالاتر از متوسط، متوسط، پایین‌تر از متوسط، ضعیف و خیلی ضعیف تعریف شده است، تقسیم‌بندی و تعیین دامنه‌ها برای هر یک از توابع عضویت بر اساس شناخت از منطقه و مشورت با کارشناس مربوطه انجام شده و طبق این فرآیند عملیات فازی‌سازی بر روی نقشه‌ها انجام شده است. این توابع عضویت در شکل ۶ نمایش داده شده‌اند.

اصلی) و طیف‌پایه (نقشه‌برداری زاویه طیفی،  $SFF^2$ ) و همچنین برای دگرسانی پروپیلیتیک از نتایج پردازش طیف پایه استفاده شد که مبنای این انتخاب، میزان انطباق نتایج روش‌های مختلف با واحدهای سنگی منطقه، همچنین برای دگرسانی پتاسیک از نتایج حاصل از مطالعات زمین‌شناسی استفاده شده است. به منظور ارزش‌گذاری به مناطق مختلف دگرسانی، با توجه به موقعیت فضایی این مناطق در کانسارهای پورفیری بیشترین وزن به دگرسانی پتاسیک و به همین ترتیب، دگرسانی‌های فیلیک، آرژیلیک و پروپیلیتیک در رتبه‌های بعدی قرار می‌گیرند (شکل ۵-ب).

#### ۳-۵- نقشه فاکتور ژئوشیمیایی

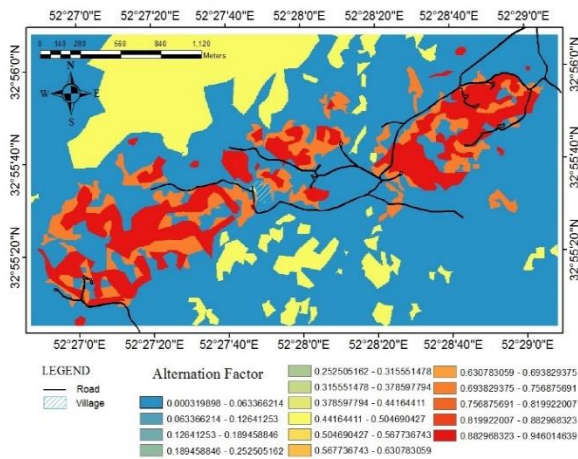
پس از بررسی‌های آنالیز تک‌متغیره و چندمتغیره دو عنصر مس و مولیبدن بالاترین همبستگی را در جدول همبستگی پیرسون به نمایش گذاشتند و با توجه به رابطه خوبی که در دندوگرام منطقه داشته و همچنین با توجه به قرارگیری در یک گروه پاراژنزی نتیجه حاکی از رابطه بالای این دو عنصر در منطقه بوده و احتمال حضور کانسار مس-مولیبدن پورفیری را در منطقه افزایش می‌دهند. بنابراین برای تهیه لایه ژئوشیمی از تلفیق این دو نقشه استفاده شده است. برای جداسازی مناطق آنومال از روش فرکتال عیار-تعداد استفاده شد، در نهایت برای تلفیق این دو نقشه از عملگر OR استفاده شد که دلیل این امر اهمیت حضور هر دو عنصر در این نوع کانسارها است زیرا این عملگر باعث پررنگ‌تر شدن کوچکترین نشانه با اهمیت برای تشکیل کانسار است (شکل ۵-ج).

#### ۴-۵- نقشه فاکتور ژئوفیزیکی

با مقایسه نتایج انواع فیلترهای اعمال شده بر روی داده‌های ژئومغناطیسی محدوده مورد مطالعه، نقشه سیگنال تحلیلی به

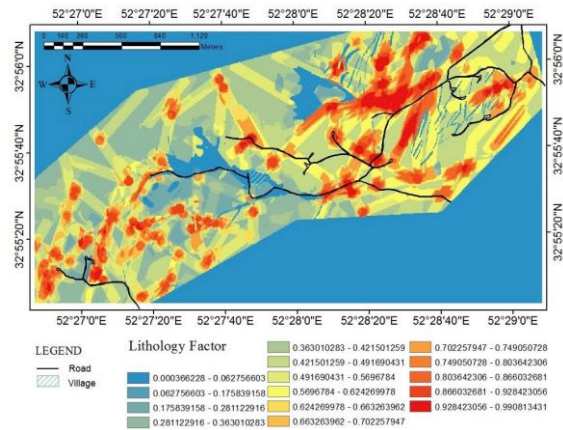


الف



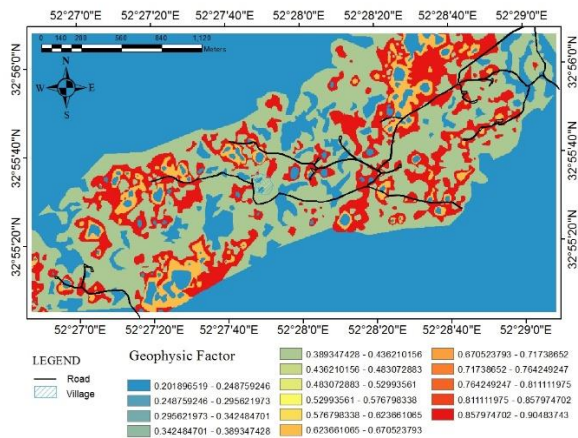
نقشه فاکتور دگرسانی

ب



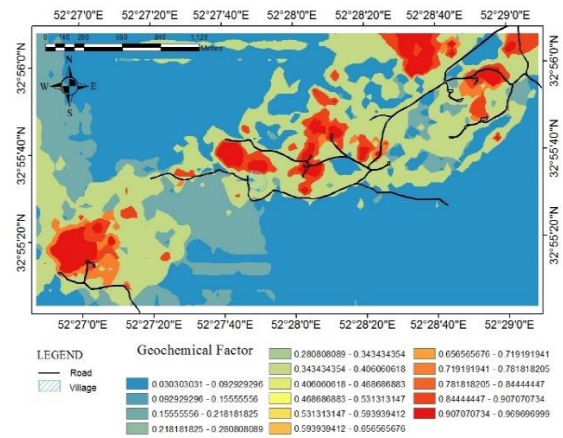
نقشه فاکتور زمین‌شناسی

ج



نقشه فاکتور ژئوفیزیکی

د



نقشه فاکتور ژئوشیمیایی

شکل ۵- نقشه‌های فاکتور تهیه شده در محدوده اکتشافی نیسیان

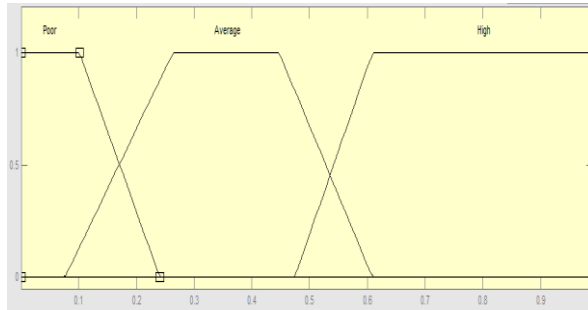
است، در این سیستم مقدمه و نتیجه هر دو به صورت فازی است.

این سیستم قوانین را بر روی ارزش پیکسل‌ها اعمال می‌کند، در واقع طبق این الگوریتم بر روی هر چهار پیکسل مشابه از لحاظ مکانی در چهار نقشه مختلف عملیات انجام می‌گیرد، اگر پیکسلی ارزش ۰/۴۹۵ در نقشه زمین‌شناسی، ۰/۴۹۹ در نقشه ژئوشیمیایی، ۰/۵۵۳ در نقشه ژئوفیزیکی و ۰/۵ در نقشه دگرسانی باشد، ارزش پیکسل تلفیق شده ۰/۶۶۵ است. طبق الگوریتم (شکل ۷) ۲۸ قانون از ۸۱ قانون آن نمایش داده شده است.

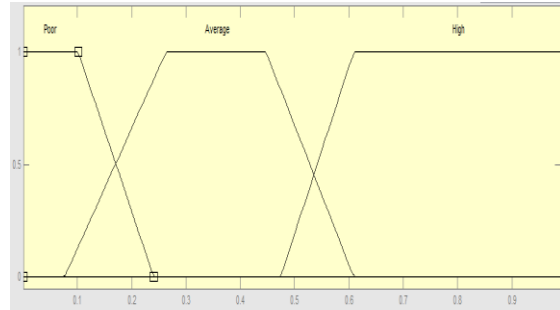
## ۷- موتور سیستم استنتاجگر فازی

پس از عملیات فازی‌سازی، نقشه‌ها وارد موتور سیستم استنتاجگر فازی می‌شوند، در این مرحله یک پایگاه اگر-آنگاه فازی برای نقشه‌ها تشکیل می‌شود، این قوانین بر اساس دانش کارشناسی تعریف شده‌اند، همچنین بر اساس رابطه ۱، تعداد قوانین اگر-آنگاه فازی ۸۱ مورد بوده که نمونه‌های از آن در جدول ۲ ارایه شده است. در این مقاله تمامی قوانین تعریف شده دارای ارزش یکسان و دارای وزن یک‌اند. در این تحقیق سیستم ممدانی به لحاظ سادگی، موثر بودن و کاربرد گسترده آن در مقالات علمی به عنوان موتور استنتاجگر استفاده شده

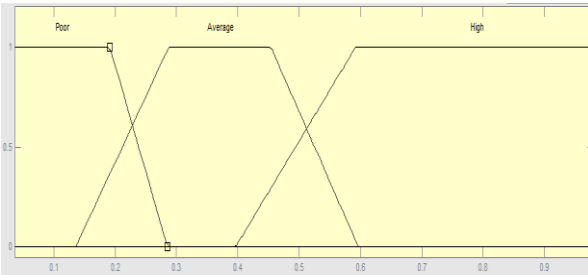




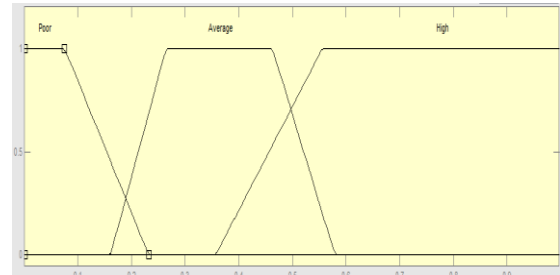
تابع عضویت فاکتور دگرسانی



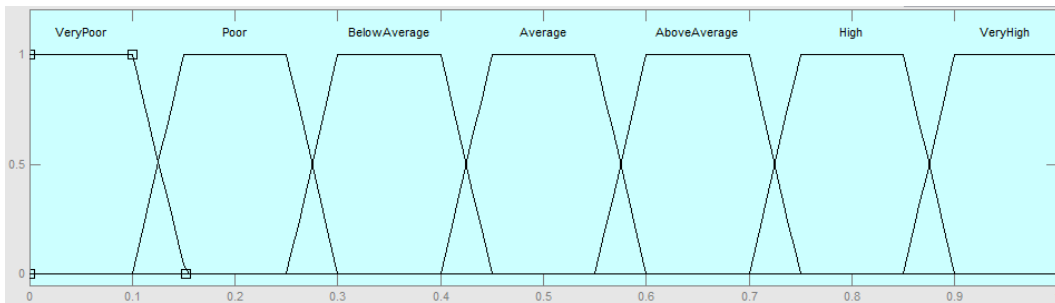
تابع عضویت فاکتور زمین‌شناسی



تابع عضویت فاکتور ژئوفیزیکی



تابع عضویت فاکتور ژئوشیمیایی

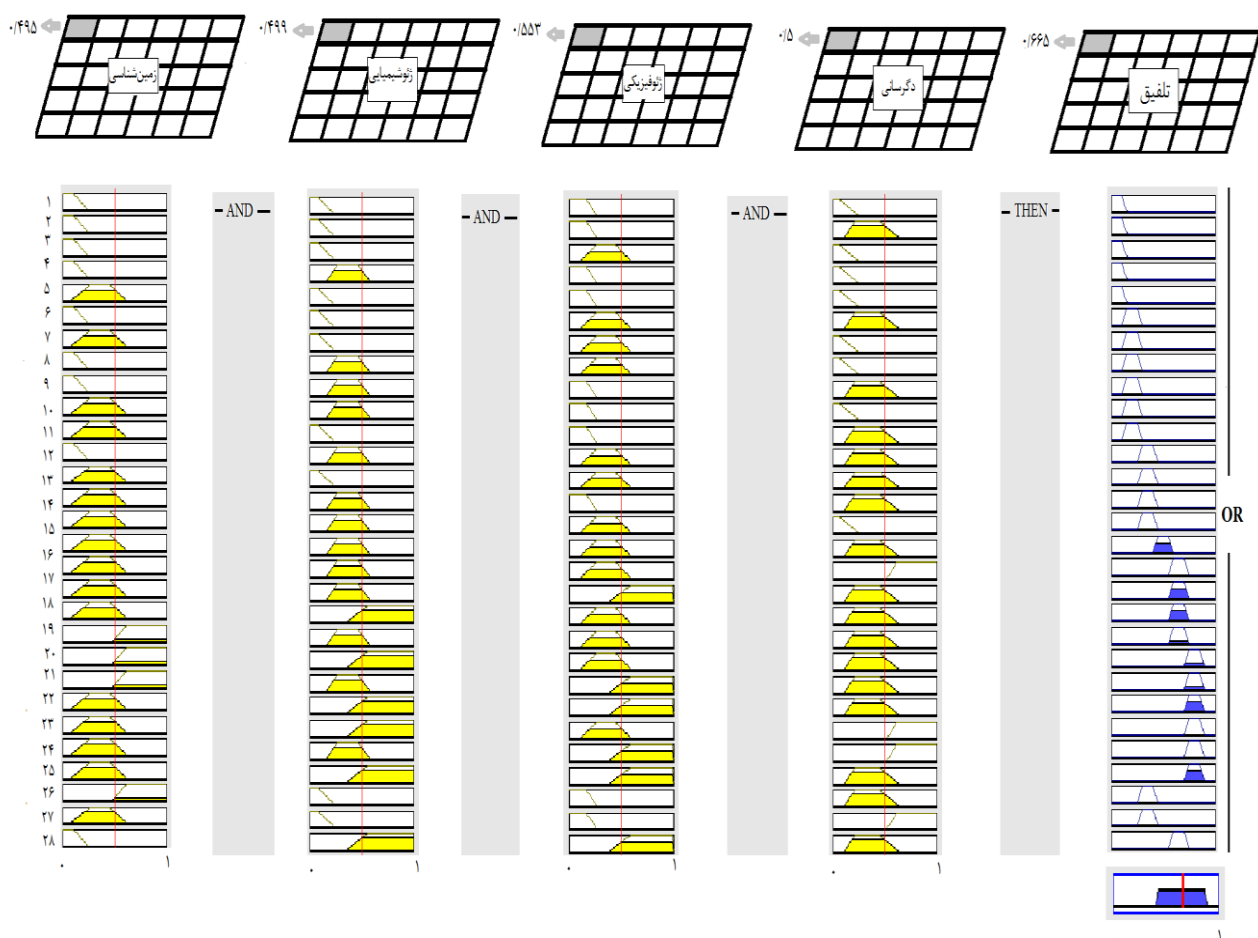


تابع عضویت خروجی (پتانسیل معدنی)

شکل ۶- توابع عضویت فازی تعریف شده برای فازی‌سازی نقشه‌های فاکتور

جدول ۲- نمونه‌هایی از قوانین اگر-آنگاه استفاده شده در سیستم استنتاجگر فازی

قانون	زمین‌شناسی	دگرسانی	ژئوفیزیک	ژئوشیمی	پتانسیل معدنی
۱	ضعیف	ضعیف	ضعیف	ضعیف	خیلی ضعیف
۲	ضعیف	ضعیف	متوسط	متوسط	ضعیف
۳	متوسط	قوی	ضعیف	متوسط	متوسط
۴	ضعیف	متوسط	قوی	قوی	بالا تر از متوسط
۵	قوی	قوی	قوی	متوسط	قوی
۶	قوی	قوی	قوی	قوی	خیلی قوی

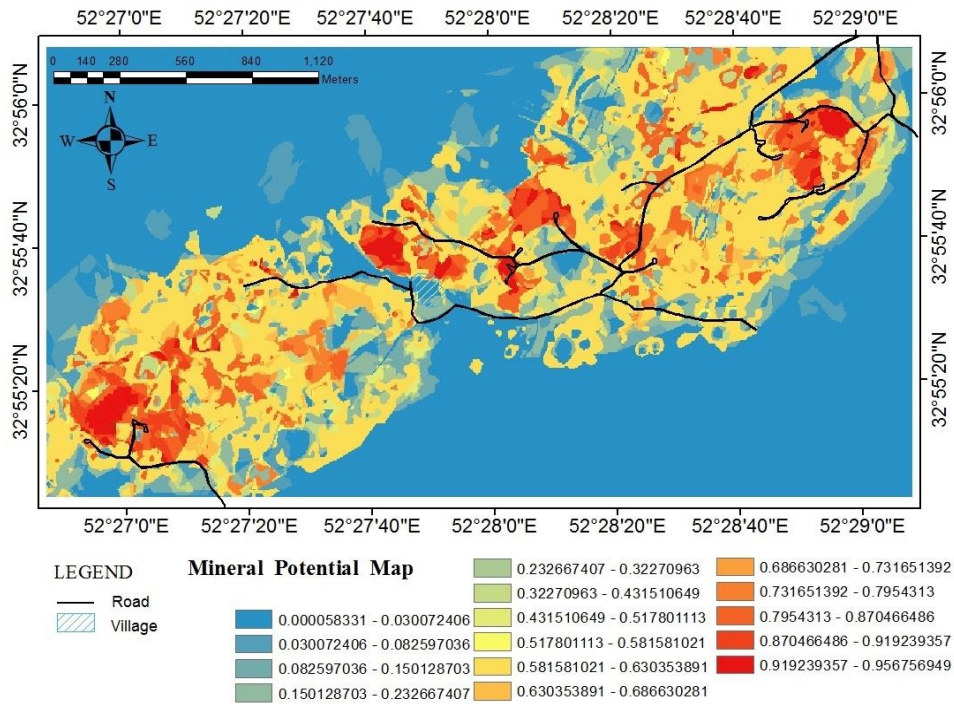


شکل ۷- نحوه تعیین پتانسیل معدنی یک پیکسل به کمک سیستم استنتاجگر فازی

## ۸- غیر فازی سازی

از روش مرکز ثقل به دلیل نتایج بهتر استفاده کرده‌اند [۱۵]. از این رو به منظور غیرفازی‌سازی اعداد فازی در این سیستم از روش مرکز ثقل استفاده شده که ارزش مرکز ثقل پیکسل مورد بررسی همان عدد کرسیبی (غیرفازی) است. این عدد در شکل ۷، ۰/۶۶۵ گزارش شده است. نقشه پتانسیل معدنی نهایی با استفاده از سیستم استنتاجگر فازی در شکل ۸ نمایش داده شده است. با توجه به این نقشه سه منطقه از لحاظ پتانسیل معدنی غنی‌سازی شده‌اند که شامل مناطق شرقی، مرکزی و غربی است.

نتیجه سیستم ممدانی به حالت فازی است که در نتیجه باید از حالت فازی خارج شده و به صورت کرسیبی مورد مطالعه قرار گیرد. روش‌های مختلف فازی‌سازی شامل روش مرکز ثقل، میانگین مراکز، غیرفازی‌ساز ماکزیمم است [۳۰]. در مطالعات مختلف علمی و زمین‌شناسی مانند پورووال و همکاران (۲۰۱۵)



شکل ۸- نقشه پتانسیل معدنی منطقه مورد مطالعه

به مقادیر پیکسل‌های هر گمانه، کلاس آن گمانه تعیین شد. به عبارت دیگر از نقطه نظر نقشه پتانسیل معدنی، کلاس هر گمانه با توجه به مقادیر هر پیکسل در یکی از کلاس‌های مشخص شده، تعیین شد. با توجه به این ارزیابی کلاس تعیین شده برای هر گمانه با وضعیت آن گمانه مقایسه شد. در صورتی که کلاس گمانه با وضعیت موجود گمانه همخوانی داشته باشد، عدد صفر و در غیر این صورت میزان تفاوت وضعیت آن‌ها محاسبه می‌شود. ارزیابی توضیح داده شده در جدول ۳ نمایش داده شده است. با توجه به این جدول میزان تطابق در پیش‌بینی نتایج گمانه‌های موجود ۷۰/۶ درصد محاسبه شده است (شکل ۹). همچنین حضور معدن ظفرقند در محدوده نزدیک به نیسیان نیز دلیلی بر اثبات حضور این کانسار در محدوده است (شکل ۱۰).

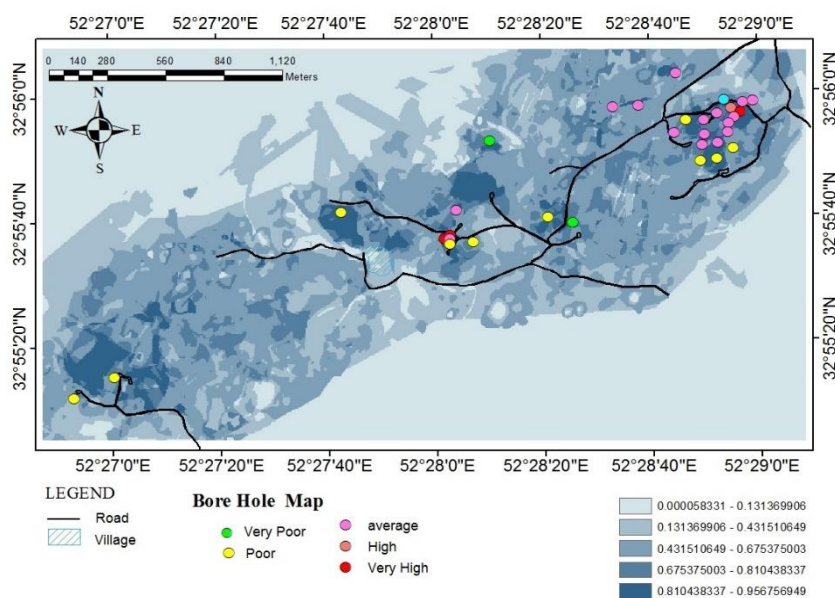
## ۹- ارزیابی نتایج

پس از انجام مطالعات در محدوده اکتشافی نیسیان از اطلاعات ۳۳ حلقه گمانه اکتشافی حفر شده به منظور ارزیابی نتایج بدست آمده استفاده شد، با توجه به اطلاعات در دسترس و میانگین عیار مس در گمانه‌ها وضعیت هر گمانه مشخص و در کلاس خاصی قرار گرفت.

در بررسی پنج کلاسه یکی از پنج وضعیت خیلی خوب، خوب، متوسط، ضعیف و یا خیلی ضعیف به هر یک از گمانه‌ها نسبت داده شد. با توجه به روش کلاس‌بندی جنک<sup>۴</sup>، نقشه پتانسیل معدنی به صورت پنج کلاسه تفکیک شد. در این راستا با توجه

جدول ۳- ارزیابی میزان تطابق در نقشه پتانسیل معدنی تهیه شده با استفاده از روش پنج کلاسه جنگ

شماره گمانه	وضعیت گمانه ۵ کلاسه	وضعیت ۵ کلاسه	امتیاز	شماره گمانه	وضعیت گمانه ۵ کلاسه	وضعیت ۵ کلاسه	امتیاز
۱	متوسط	متوسط	۰	۱۸	متوسط	خیلی خوب	-۲
۲	خوب	خوب	۰	۱۹	ضعیف	متوسط	-۱
۳	خیلی خوب	خیلی خوب	۰	۲۰	خیلی ضعیف	متوسط	-۲
۴	متوسط	متوسط	۰	۲۱	ضعیف	ضعیف	۰
۵	متوسط	متوسط	۰	۲۲	خیلی خوب	خیلی خوب	۰
۶	متوسط	خیلی خوب	-۲	۲۳	خیلی خوب	خیلی خوب	۰
۷	متوسط	خوب	-۱	۲۴	متوسط	خیلی خوب	-۲
۸	متوسط	متوسط	۰	۲۵	ضعیف	خیلی خوب	-۳
۹	ضعیف	متوسط	-۱	۲۶	متوسط	متوسط	۰
۱۰	ضعیف	خیلی خوب	-۳	۲۷	ضعیف	خوب	-۲
۱۱	متوسط	متوسط	۰	۲۸	متوسط	متوسط	۰
۱۲	ضعیف	متوسط	-۱	۲۹	ضعیف	متوسط	-۱
۱۳	متوسط	خوب	-۱	۳۰	ضعیف	ضعیف	۰
۱۴	متوسط	خوب	-۱	۳۱	متوسط	متوسط	۰
۱۵	متوسط	خوب	-۱	۳۲	خیلی ضعیف	متوسط	-۲
۱۶	متوسط	خوب	-۱	۳۳	متوسط	متوسط	۰
۱۷	ضعیف	ضعیف	۰	درصد تطابق			٪ ۷۰٫۶



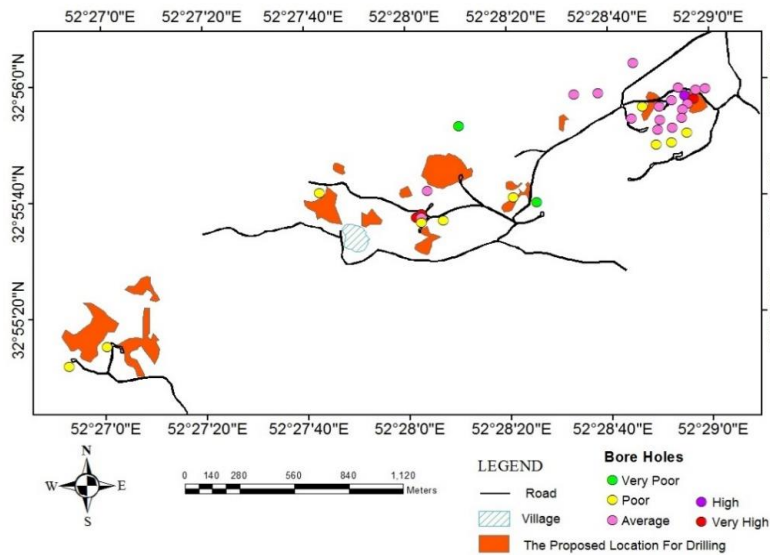
شکل ۹- انطباق گمانه‌های اکتشافی حفر شده با نقشه پتانسیل معدنی پنج کلاسه



شکل ۱۰- فاصله محدوده مورد مطالعه و کانسار مس- مولیبدن پورفیری ظفرقند به منظور راستی آزمایی نتایج

چندین میلیاردی شده است. در ادامه با توجه به نتایج قابل قبول از درصد تطابق حاصل شده به روش سیستم استنتاجگر فازی، نقاطی جدید برای حفاری پیشنهاد می‌شوند که به میزان زیادی باعث صرفه‌جویی در هزینه‌های حفاری خواهد شد، این نقاط در مناطق مطلوب مشخص شده در شکل ۱۱ نمایش داده شده است.

مرحله حفر گمانه‌ها از اساسی‌ترین و پرخرج‌ترین مراحل اکتشافی است که هدف از حفر آن‌ها دسترسی مستقیم به ماده معدنی در عمق است. با توجه به حفاری‌های عمیق ۴۰۰ تا ۷۰۰ متری انجام گرفته در این منطقه نزدیک به ۷۰ درصد گمانه‌ها از لحاظ کانی‌سازی مس- مولیبدن پورفیری عقیم شناخته شده‌اند که این مساله باعث هدر رفت هزینه‌های



شکل ۱۱- مکان‌های پیشنهادی برای حفاری

## ۱۰- نتیجه‌گیری

معدنی که داده‌های اکتشافی قابل توجهی ندارند، فراهم کند. به این ترتیب، این روش به کاهش و بهینه‌سازی هزینه‌های سنگین حفاری‌های اکتشافی کمک شایانی می‌کند و باعث کاهش ریسک مطالعات اکتشافی می‌شود.

## ۱۱- منابع

[1] Nguyen, V. U., & Ashworth, E. (1985, June). Rock mass classification by fuzzy sets. In *Proceedings of the 26th US symposium on rock mechanics, Rapid City* (pp. 937-945).

[2] Sonmez, H., Gokceoglu, C., & Ulusay, R. (2003). An application of fuzzy sets to the geological strength index (GSI) system used in rock engineering. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 16(3), 251-269.

[3] Gokay, M. K. (1998). Fuzzy logic usage in rock mass classifications. *J Chamb Min Eng Turk*, 37(4), 3-11

[4] Aydin, A. (2004). Fuzzy set approaches to classification of rock masses. *Engineering Geology*, 74(3), 227-245.

[5] Acaroglu, O., Ozdemir, L., & Asbury, B. (2008). A fuzzy logic model to predict specific energy requirement for TBM performance prediction. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 23(5), 600-608.

[6] Nefeslioglu, H. A., Gokceoglu, C., & Sonmez, H. (2006). Indirect determination of weighted joint density (wJd) by empirical and fuzzy models: Supren (Eskisehir, Turkey) marbles. *Engineering Geology*, 85(3), 251-269.

[7] Osna, T., Sezer, E. A., & Akgun, A. (2014). GeoFIS: an integrated tool for the

در این مقاله با استفاده از داده‌های مختلف اکتشافی، نقشه های فاکتور شامل: زمین‌شناسی، دگرسانی، ژئوشیمی و ژئوفیزیک تهیه شد که با استفاده از آن‌ها محدوده معدنی نیسیان از دیدگاه اکتشافات تلفیقی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. برای این منظور لایه‌های اطلاعاتی با استفاده از سیستم استنتاجگر فازی مورد پردازش قرار گرفت و نقشه پتانسیل معدنی از محدوده مورد بررسی تولید شد. بر اساس مطالعات ارایه شده در این تحقیق به نظر می‌رسد که شواهد مناسبی دال بر حضور آنومالی معدنی ارزشمند در قسمت شرق، غرب و مرکز نیسیان وجود داشته باشد. بر اساس اطلاعات بدست آمده و نیز مقایسه با محدوده‌های معدنی که در نزدیکی منطقه مورد مطالعه قرار دارند، بنظر می‌رسد که تمرکزی از کانی‌سازی مس-مولیبدن پورفیری در محدوده نیسیان است. در این مطالعه محدوده‌های مختلف و اولویت‌دار بر روی نقشه پتانسیل معدنی ارایه شده‌اند. در نقشه نهایی ارایه شده، تلاش شده است تا مناطق مناسب برای حفاری‌های اکتشافات تفصیلی پیشنهاد شوند تا بتوان از آن به عنوان ابزاری برای تصمیم‌گیری به منظور طراحی عملیات حفاری بهره گرفت. در این راستا محدوده‌های اولویت‌دار بر اساس میزان مطلوبیت به پنج کلاس‌بندی مختلف تقسیم شده‌اند.

به منظور راستی‌آزمایی نتایج مورد استفاده در این پژوهش تلاش شد تا از اطلاعات مربوط به ۳۳ حلقه گمانه اکتشافی استفاده شود. بررسی‌های انجام شده بر روی نتایج مدل‌سازی اکتشافی و نیز داده‌های زیرسطحی موجود نشان می‌دهد که بیش از ۷۰ درصد انطباق وجود دارد. وجود چنین انطباق نسبتاً بالا بین نتایج ارایه شده در این تحقیق و نیز داده‌های زیرسطحی، نشان می‌دهد که در محدوده اکتشافی نیسیان، سیستم استنتاجگر فازی به عنوان یک روش تلفیقی دانش-مبنا عملکرد موفقیت‌آمیز دارد و می‌توان از آن به عنوان یک روش کارآمد و کم هزینه برای تحلیل داده‌های اکتشافی در نواحی معدنی که ویژگی‌های مشابهی دارند، بهره برد. به کارگیری این روش می‌تواند ضمن تفکیک نواحی پتانسیل‌دار از نواحی غیرمستعد معدنی، چارچوب مناسب و ارزشمندی برای برنامه‌ریزی و طراحی شبکه حفاری در محدوده‌های

- [15] Porwal, A., Das, R. D., Chaudhary, B., Gonzalez-Alvarez, I., & Kreuzer, O. (2015). Fuzzy inference systems for prospectivity modeling of mineral systems and a case-study for prospectivity mapping of surficial Uranium in Yeelirrie Area, Western Australia. *Ore Geology Reviews*.
- [16] Tabatabaei, S. H., & Asadi Haroni, H. (2006). Geochemical characteristics of Gor Gor Cu–Mo porphyry system. In *25th Iranian symposium on geosciences, Geological survey of Iran* (Vol. 160).
- [17] شرکت سامانکاو، ۱۳۸۹، مطالعات ژئوفیزیکی بروش مغناطیس‌سنجی در محدوده کانسار مس پورفیری کهنگ.
- [18] شرکت کاوشگران، ۱۳۸۹، گزارش نهایی اکتشافات ژئوشیمیایی خاک در منطقه کهنگ شرقی در مقیاس ۱:۱۰۰۰.
- [19] شرکت ملی صنایع مس ایران، ۱۳۸۹، گزارش مطالعات زمین‌شناسی و آلتراسیون محدوده کهنگ غربی در مقیاس ۱:۱۰۰۰.
- [20] Harati, H., (2011) . Investigation of geology, alteration, mineralogy and geochemistry of Kahang Cu porphyry deposit (NE of Isfahan). Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran, pp. 197 (*Unpublished PhD thesis*).
- [21] Masters, T., (1993), *Practical Neural Network Recipes in C++*, Morgan Kaufmann Publishers, California, 493 pp.
- [22] Luo, X., Dimitrakopoulos, R., (2003), Data-driven fuzzy analysis in quantitative mineral resource assessment, *Computers & Geosciences*, v. 29, p. 3–13.
- [23] Berberian, F., & Berberian, M. (1981). Tectono-plutonic episodes in Iran. assessment of landslide susceptibility. *Computers & Geosciences*, 66, 20-30.
- [8] Porwal, A., Carranza, E. J. M., & Hale, M. (2004). A hybrid neuro-fuzzy model for mineral potential mapping. *Mathematical Geology*, 36(7), 803-826.
- [9] Jang, J. S. R. (1993). ANFIS: adaptive-network-based fuzzy inference system. *Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions on*, 23(3), 665-685.
- [10] Gonzalez-Alvarez, I., Porwal, A., Beresford, S. W., McCuaig, T. C., & Maier, W. D. (2010). Hydrothermal Ni prospectivity analysis of Tasmania, Australia. *Ore Geology Reviews*, 38(3), 168-183.
- [11] Joly, A., Porwal, A., & McCuaig, T. C. (2012). Exploration targeting for orogenic gold deposits in the Granites-Tanami Orogen: mineral system analysis, targeting model and prospectivity analysis. *Ore Geology Reviews*, 48, 349-383.
- [۱۲] محبوبی، ح.، علیمحمدی، ع.، شریفی‌کیا، م.، ۱۳۸۹، تاثیر وزن قواعد سیستم استنتاج فازی ممدانی در دقت خروجی نقشه پتانسیل معدنی طلای اپی ترمال در منطقه تکاب، همایش ژئوماتیک ۸۹، دوره ۱۴، شماره ۴، صفحات ۲۷۲-۲۵۱.
- [۱۳] سالمی، م.، ۱۳۹۰، "توسعه یک سیستم حامی تصمیم‌گیری مبتنی بر منطق فازی در محیط GIS جهت تهیه نقشه پتانسیل معدنی در اندیس مس نوچون کرمان"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه تهران.
- [۱۴] علائی مقدم، س.، ۱۳۹۰، "طراحی و ارزیابی سیستم استنتاجگر فازی جهت تهیه نقشه پتانسیل معدنی"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.



[30] Klir, G. (1999). Yuan, b. (1995). Fuzzy Sets and Fuzzy Logic, Theory and applications.

*Zagros Hindu Kush Himalaya Geodynamic Evolution*, 5-32.

[24] Alavi, M. (1994). Tectonics of the Zagros orogenic belt of Iran: new data and interpretations. *Tectonophysics*, 229(3-4), 211-238

[25] Yasrebi, A. B., Afzal, P., Wetherelt, A., Foster, P., & Esfahanipour, R. (2013). Correlation between geology and concentration-volume fractal models: significance for Cu and Mo mineralized zones separation in the Kahang porphyry deposit (Central Iran). *Geologica Carpathica*, 64(2), 153-163.

[26] Shahabpour, J. (1994). Post-mineralization breccia dike from the Sar Cheshmeh porphyry copper deposit, Kerman, Iran. *Exploration and Mining geology*, 3(1), 39-43.

[27] Afzal, P., Harati, H., Alghalandis, Y. F., & Yasrebi, A. B. (2013). Application of spectrum–area fractal model to identify of geochemical anomalies based on soil data in Kahang porphyry-type Cu deposit, Iran. *Chemie der Erde-Geochemistry*, 73(4), 533-543.

[28] Afshooni, S. Z., Harooni, H. A., & Esmaili, D. (2011). The microthermometry study of fluid inclusions in quartz veins of Kahang deposit (north eastern of Isfahan). In *2nd National Symposium of Iranian Society of Economic Geology. Lorestan University* (p. 144).

[29] Harati, H., Khakzad, A., Rashidnejad Omran, N., Afzal, P., Hosseini, M., Harati, S., (2013). Determination of alteration's geochemical particulars based on lithochemical data at Kahang Cu porphyry deposit, Central Iran. *Iranian Journal of Earth Sciences* 5, 1-12.

#### پی نوشت

<sup>1</sup>Green filed

<sup>2</sup>Brown filed

<sup>3</sup>Spectral Feature Fitting

<sup>4</sup>Jenk