

تلفیق لایه‌های اطلاعاتی ژئوالکتریک با استفاده از روش فازی به منظور انتخاب بهترین

نقطه حفاری: بررسی موردی منطقه همیج

محمد شاهی فردوس^{۱*}، محمد بیچارانلو حسن^۲ و راشد پورمیرزائی^۳

^۱ دانشجوی دکتری اکتشاف معدن، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد اکتشاف معدن، دانشگاه صنعتی سهند، تبریز، ایران

^۳ دانشجوی دکتری، دانشگاه صنعتی سهند، تبریز، ایران

(دریافت: ۹۱/۱۲/۷، پذیرش نهایی: ۹۲/۱۱/۱۵)

چکیده

اندیس معدنی همیج در مرحله پی‌جویی با استفاده از مطالعات دورسنجی و زمین‌شناسی اقتصادی به منزله منطقه مستعد کانسار مس پورفیری مشخص شده است. داده‌های مقاومت ویژه و قطبش القایی اندیس معدنی همیج با استفاده از آرایش دوقطبی-دوقطبی برداشت شده است تا به کمک آن بتوان بهترین نقطه حفاری را پیشنهاد داد. یکی از روش‌های تلفیق لایه‌های اطلاعاتی، روش دانش‌مبنای فازی می‌باشد که روشی نظارتی است. در این تحقیق ابتدا مدل‌سازی وارون داده‌های مقاومت ویژه ظاهری و قطبش القایی برای یک نیم‌رخ براساس روش گاوسی-نیوتن و نیوتن انجام پذیرفت. سپس مدل‌های حاصله و لایه اطلاعاتی ساختاری به روش دانش‌مبنای فازی در محیط GIS تلفیق شدند. به منظور تلفیق لایه‌های اطلاعاتی از تابع‌های عضویت بزرگ و کوچک استفاده گردید. بهترین نیم‌رخ برای شروع این کار براساس همبستگی اسپریمین انتخاب شد. در نهایت براساس نقشه‌ی نهایی حاصل از مدل‌سازی فازی، بهترین محل حفاری به منظور اکتشاف مس پورفیری پیشنهاد شده است. استفاده از این نوع تلفیق در انتخاب بهینه نقاط حفاری به منظور اکتشاف مس پورفیری، بسیار حائز اهمیت است و می‌توان در اکتشافات آن را مورد توجه قرار داد.

واژه‌های کلیدی: مقاومت ویژه، قطبش القایی، مس پورفیری، روش نظارتی، مدل‌سازی فازی

Integration of Geoelectrical information layers by fuzzy method to choose the best point for drilling: a case study Hamyj, Birjand

Shahi Ferdows, M.¹, Bicharanlo Hasan, M.² and Poormirzaee, R.³

¹Ph.D. Student of Mining Exploration, Amir Kabir University, Tehran, Iran

²M.Sc. Student of Mining Exploration, Sahand University of Technology, Tabriz, Iran

³Ph.D. Student of Mining Exploration, Sahand University of technology, Tabriz, Iran

(Received: 25 Feb 2013, Accepted: 04 Feb 2014)

Summary

Resistivity and induced polarization methods are used in exploration of porphyry metals for years. The resistivity method is used in the study of horizontal and vertical discontinuities in the electrical properties of the ground. The induced polarization method makes use of the capacitive action of the subsurface to locate zones where conductive minerals are disseminated within their host rocks. The simplicity of the equipment, the lower cost of the survey compared to the other methods and the abundance of interpretation methods make it a popular method. There are many methods to interpret resistivity and induced polarization data. Inversion method is one of the most popular methods. This method was reported as early as the 1930s. Visual and analytical methods are used for the interpretations which are used for simple structure such as faults. These methods require a certain degree of symmetry and are suitable only for simple geological

situations. Complex resistivity distributions cannot be solved by analytical methods and must numerical techniques be used. But these data alone cannot determine the location of anomalies precisely. One of the main concerns of interpreters is the selection of optimum drilling points by the results of surveys. The selection of optimum drilling point have an important impact on the reduction the cost and risk, The selection of these points can be done by integration of geoelectrical and structural data. By the progress of the computer science, many methods for processing of geophysical data were also developed. These methods include fuzzy, neural networks and genetic algorithms methods. Fuzzy method is based on following steps: 1-layer fuzzy information, 2- fuzzy inference, 3- deterministic output. Fuzzy layers of information are done by membership function, and there are different kinds of membership functions.

In this study resistivity and induced polarization data have been collected using dipole-dipole array in mining index of Hamyj mine located in Birjand. Hamyj mine index that is the result of remote sensing and economic geology surveys show promising mineralization in this mine. This area comprises of volcanic rocks as andesit, dasite, volcanic breccia, metamorphic tuff. The dasit extensions in the study area are more frequent. For in detail study and modeling of the mineralization the geoelectrical study with Electrode spacing of 20m has been used. Then inversion of geoelectrical data for a profile based on Gaussian- Newton and Newton's methods were carried out. In this study, the models have been integrated based on knowledge-driven fuzzy logic method in a GIS environment. The best profile was chosen based on the Spriman correlation. Because the resistivity and induced polarization have negative correlation, so the profile 3 was selected as the best profile by highest negative correlation. Results of inverse modeling show that in this profile the resistivity of the left and right side of this profile are different. This difference in resistivity represents the chalcopryrite in the study area. The boundary of the difference is an attribute to a fault that is located 230m from the left side. Also induced polarization data have shown a high value of chalcopryrite. In fact the fault existence in the mentioned location was approved by geological surveys. The effect of layers information of resistivity and induced polarization a decision, fuzzy functions were selected for them. Also a large membership function was used for the induced polarization. Also, small membership function was used for resistivity data. For faults in this study a 5 meters distance as buffer zone was applied. The fuzzy gamma operator was also used. This operator is a combination of multiplication and addition operator. The value of fuzzy gamma operator was selected 0.85 for the integration of layers information. The result of the fuzzy map, was converted to binary map and on this map, decision maker could easily select the optimum area. Finally, based on the results of the fuzzy modeling, the best point for drilling was proposed. Using this type of integration in order to determine the best drilling points in for porphyry copper exploration, appears to be a trusty method. Based on the fuzzy modeling for the study area the best drilling point was chosen near the fault in the study area. The results show that the optimum exploration borehole location is the point that is located at a distance 240m from the left side of the profile. Also in this study the maximum depth of drilling was calculated 50m. The applied fuzzy method in this surveyed profile with 400m length and proposed a 60m length as a promising mineralization area with high confidence. Also, in this method expert viewpoint could be applied in the procedure of integration. This method has high flexibility in integration of also information layers and could simultaneously use several information layers. This technique has simple mathematical relationship. By the results of this study this method can be used for other geophysical data.

Keyword: Resistivity, Induced polarization, Porphyry metals, Knowledge-DrivenFuzzy, Fuzzy Modeling, Inversion

۱ مقدمه

مدل بهینه انتخاب و در غیر این صورت دوباره با استفاده از روش وارون‌سازی، مدل جدیدی انتخاب می‌شود. این روند تا یافتن بهترین مدل با کمترین خطا ادامه می‌یابد (اسمیت و وزوف، ۱۹۸۴). معادله (۱)، روش تکرار شونده گاوسی- نیوتن را برای محاسبه مقاومت ویژه حقیقی نشان می‌دهد:

$$(J_i^T J_i + \alpha_i C^T C) p_i = J_i^T g_i - \alpha_i C^T C R_{i-1} \quad (1)$$

که در آن، i نشان‌دهنده شماره تکرار، J ماتریس ژاکوبی مشتقات جزئی، α فاکتور میرایی، C یک ماتریس صافی، p بردار آشفته‌گی پارامترهای مدل، g اختلاف لگاریتمی بین مقاومت ویژه ظاهری اندازه‌گیری شده و محاسباتی و R بردار لگاریتمی اختلاف بین مقاومت ویژه حقیقی است (لوک و دالین، ۲۰۰۲). معادله (۲)، روش تکرار شونده نیوتن را برای وارون‌سازی داده‌های قطبش القایی ظاهری نشان می‌دهد:

$$(J^T W_d^T W_d J + \mu W_m^T W_m + \lambda X^{-2} + \lambda Y^{-2}) \Delta m = -J^T W_d^T W_d (d - d^{obs}) - \mu W_m^T W_m (m - m_0) + \lambda (X^{-1} - Y^{-1}) e \quad (2)$$

که در آن، m قطبش واقعی، J ماتریس ژاکوبی، μ پارامتری است که حدزمینه را بین مدل و تابع غیرمتجانس کنترل می‌کند که به آن پارامتر منظم‌سازی گفته می‌شود، λ پارامتر مانع، x ماتریس قطری پارامترهای مدل و e ماتریس واحد ستونی است. W ، مربوط به وزن است و عکس انحراف معیار داده‌ها و پارامترهای مدل در نظر گرفته می‌شود (لی و اولدنبرگ، ۲۰۰۰).

۱-۲ روش تلفیق فازی

اولین بار در اواسط دهه ۱۹۶۰ کار بر روی سامانه اطلاعات جغرافیایی در امریکا آغاز شد. نظریه فازی اولین بار در ۱۹۶۵ از سوی پروفیسور عسگرزاده استاد دانشگاه برکلی امریکا مطرح شد و سپس بسیاری از دانشمندان از جمله

در اکتشافات مواد معدنی در مناطق گوناگون همواره بحث بر سر اهمیت لایه‌های اطلاعاتی وجود داشته است. در مورد اکتشاف مواد فلزی پورفیری، لایه‌های مقاومت ویژه و قطبش القایی حاوی اطلاعات مفیدی به منظور تعیین بی‌هنجاری‌های این فلزات است ولی هیچ‌یک از این لایه‌ها به تنهایی قادر به تشخیص محل این بی‌هنجاری‌ها نیستند. از این رو با استفاده از تلفیق این لایه‌های اطلاعاتی در محیط GIS می‌توان به نحو مطلوب‌تری از مدل‌های مقاومت ویژه حقیقی و قطبش القایی حقیقی استفاده کرد. استفاده از روش عرضه شده در انتخاب نقطه بهینه حفاری، در این تحقیق هدف اصلی است که می‌تواند در کاهش مخاطره اکتشافات مورد توجه قرار گیرد.

۱-۱ وارون‌سازی داده‌های ژئوالکترونیک

به نمایش ساده و ایده‌آل از یک واقعیت فیزیکی، مدل اطلاق می‌شود. معمولاً به منظور مدل‌سازی از دو روش وارون و مستقیم استفاده می‌شود که داده‌های مقاومت ویژه و قطبش القایی از این مسئله مستثنی نیستند. هدف نهایی بررسی‌های ژئوفیزیکی، تعیین ساختار زیرسطحی براساس داده‌های برداشتی است که این کار از راه حل مسئله وارون صورت می‌گیرد (اسمیت و وزوف، ۱۹۸۴).

روش حل گاوسی- نیوتن و نیوتن دو روش کاربردی در مورد حل مسائل وارون غیر خطی، برای داده‌های مقاومت ویژه ظاهری و بارپذیری ظاهری است (ترتولا، ۲۰۰۵). هدف ما در این روش همانند روش‌های دیگر وارون‌سازی، یافتن پارامترهای مدلی است که بهترین انطباق را با داده‌ها داشته باشد و این کار با حداقل کردن خطا در نرم دو صورت می‌گیرد. وارون‌سازی با حدس یک مدل اولیه آغاز و سپس مدل انتخابی با استفاده از روش مستقیم آزمون می‌شود. اگر اختلاف بین داده‌های مشاهداتی و اندازه‌گیری شده کم باشد این مدل به منزله

در معادله (۳) f_1 میانه داده‌ها، f_2 پراکندگی مقادیر عضویت اطراف میانه و x مقدار عددی هر پیکسل است. در این مدل کمترین مقدار ورودی بیشترین مقدار عضویت را به خود اختصاص می‌دهد (رینز و همکاران، ۲۰۱۰). معادله (۴) نیز نشان‌دهنده رابطه تابع عضویت کوچک است:

$$\mu = \frac{1}{1 + \frac{x-f_1}{f_2}} \quad (4)$$

متغیرهای معادله (۴) مشابه پارامترهای تابع بزرگ تعریف می‌شوند (رینز و همکاران، ۲۰۱۰).

مرحله استنتاج فازی، وظیفه فیلتر کردن نوفه داده‌ها و ایجاد یک مجموعه فازی مرکب با استفاده از تلفیق مقادیر عضویت فازی را به عهده دارد. تلفیق مقادیر عضویت، از راه مجموعه‌ای از عملگرهای فازی روی مقادیر عضویت انجام می‌شود. می‌توان برای استنتاج فازی از شبیه‌سازی فرایند تصمیم‌گیری انسان الگوبرداری کرد. در این مرحله از عملگرهایی مانند and یا or استفاده می‌شود (بونهام، ۱۹۹۴).

خروجی مرحله استنتاج فازی که شامل یک یا چند عدد فازی است در مرحله قطعی‌سازی داده‌ها به یک عدد حقیقی تبدیل می‌شود. این تبدیل را می‌تواند با یک تابع ریاضی یا یک تعریف آستانه مقادیر فازی عملی ساخت. مهم‌ترین معیار در این مرحله این است که کوچک‌ترین تغییرات در ورودی مدل فازی نباید باعث یک تغییر قابل توجه در خروجی مدل فازی شود (پروال و همکاران، ۲۰۰۳).

۲ روش بررسی

معدن همیج در اطراف شهرستان بیرجند در استان خراسان جنوبی قرار دارد. در شکل ۱ راه دسترسی به منطقه مورد بررسی آورده شده است. به لحاظ زمین‌شناسی، رخنمون‌های سنگی قابل مشاهده، اغلب از نوع آتشفشانی

زیمرمن در سال ۱۹۹۱ آن را مورد توجه قرار دادند و پس از آن به صورت یک نظریه کاربردی برای علوم گوناگون مطرح شد. روش فازی بیشتر برای تلفیق لایه‌های اطلاعاتی ژئوفیزیکی، ژئوشیمیایی، دورسنجی و زمین‌شناسی به کار می‌رود. آن و همکاران (۱۹۹۱) از نقشه‌های ژئوفیزیکی و ژئوشیمیایی برای مدل‌سازی فازی به منظور اکتشاف ذخایر آهن استفاده کردند. همچنین گتینگ و بولتمن (۱۹۹۳) با استفاده از نظریه فازی، نقشه پتانسیل ذخایر کوارتز رگه‌ای را تهیه کردند (بونهام، ۱۹۹۴).

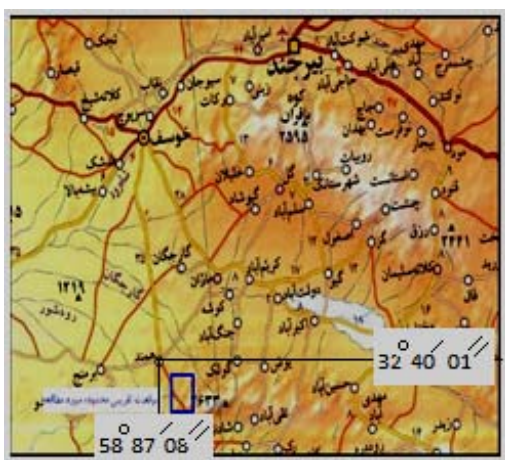
در بررسی مجموعه‌ها در ریاضیات کلاسیک، عضویت یک عضو در یک مجموعه به صورت ۰ و ۱ تعریف می‌شود، به عبارتی حالت بینابینی برای تعلق یک عضو به یک مجموعه در این روش وجود ندارد. پدیده‌ها در جهان واقعی می‌توانند به صورت قطعی به یک مجموعه متعلق نباشند بنابراین پدیده‌های جهان واقعی را نمی‌توان با استفاده از ریاضیات کلاسیک بیان کرد (کاینز، ۲۰۰۶).

به صورت کلی مدل‌سازی فازی شامل سه مرحله است: الف- فازی‌سازی داده‌ها ب- استنتاج فازی ج- قطعی‌سازی خروجی‌ها (پروال و همکاران، ۲۰۰۳).

به منظور فازی‌سازی داده‌ها برای تبدیل متغیرهای زبانی به متغیرهای حقیقی معمولاً از تابع‌های عضویت استفاده می‌شود. به عبارت دیگر برای تبدیل داده‌های ورودی به مقادیر فازی، تابع‌های عضویت فازی مورد استفاده قرار می‌گیرند. تابع‌های عضویت فازی را می‌توان از راه دانش متخصصان تعیین کرد که به آن روش دانش‌مبنای فازی می‌گویند، و یا از داده‌های موردی استفاده شود که به آن روش داده-مبنای فازی اطلاق می‌شود. از مهم‌ترین تابع‌های عضویت، می‌توان به تابع عضویت بزرگ و کوچک اشاره کرد (پروال و همکاران، ۲۰۰۳). معادله (۳)، نشان‌دهنده رابطه تابع عضویت بزرگ است:

$$\mu = \frac{1}{1 + \frac{x-f_1}{f_2}} \quad (3)$$

دستگاه مورد استفاده در برداشت داده‌ها، Syscal R2 ساخت شرکت IRIS فرانسه است. امتداد نیم‌رخ‌های برداشتی تقریباً عمود بر امتداد گسل‌ها و دسته درزه‌های موجود در منطقه انتخاب شده است. طول هر نیم‌رخ با توجه به تجهیزات و شرایط زمین‌شناسی امتداد یافته است. در شکل ۳ نیم‌رخ‌های برداشت، نمایش داده شده است. داده‌های برداشتی تا عمق ۶۰ متری برای بررسی انتخاب شده‌اند.

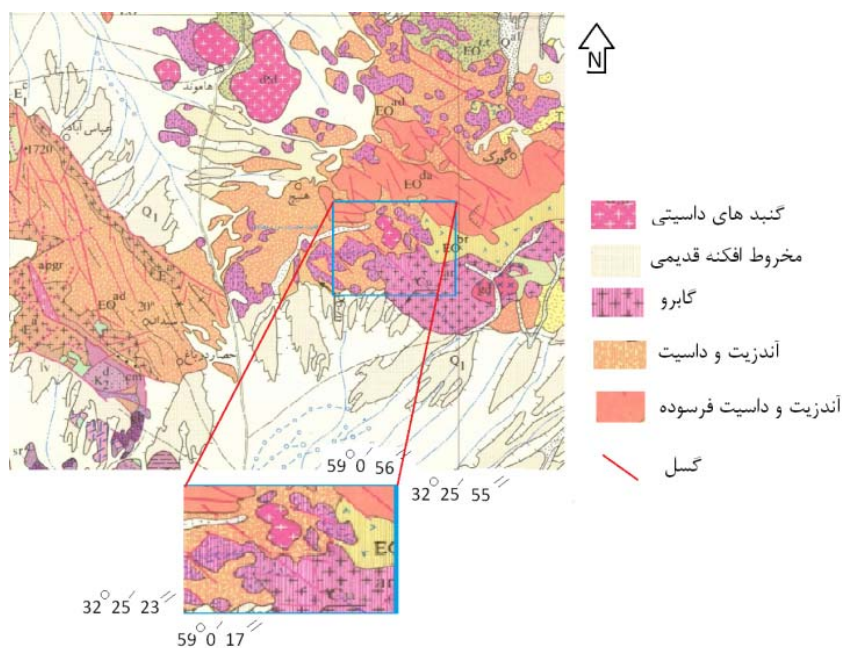


شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه.

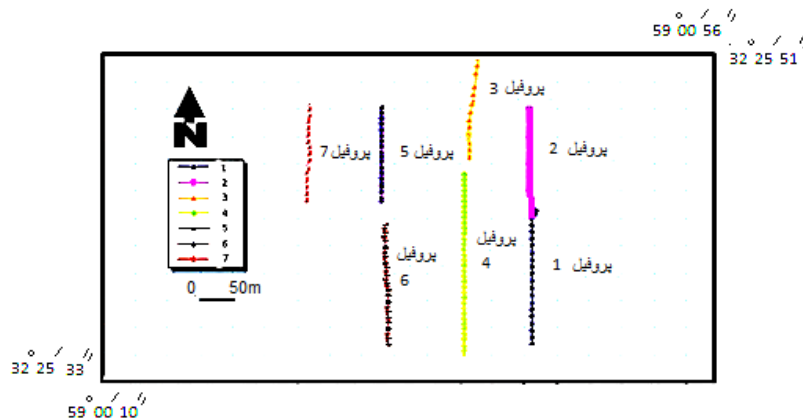
و شامل داسیت، پیروکسن آندزیت، آندزیت و توف‌های دگرسان شده است که گسترش داسیت در مقایسه با دیگر رخساره‌های سنگی بیشتر است. به‌طور کلی می‌توان چندین رخساره را در این منطقه محل، مشخص کرد. توده‌ها و سنگ‌های آذرین که بیشتر شامل آندزیت و داسیت هستند و سنگ‌ها و ساختارهای حاصل از دگرگونی که شامل فیلیت‌های سبز و خاکستری رنگ هستند. این فیلیت‌ها از دگرگونی درجه کم توف‌ها به‌وجود آمده‌اند و دارای شیستوزیته هستند. در شکل ۲، نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد بررسی آورده شده است (نقشه زمین‌شناسی بیرجند).

۲-۱ واریاسیون داده‌های ژئوالکترونیک منطقه

این بررسی برای اکتشاف نیمه تفضیلی اندیس معدنی و بهینه کردن نقاط حفاری به سبب محدود بودن بودجه، درحکم یک راهبرد بهینه، پیشنهاد شده است. برداشت ژئوفیزیکی روی هفت نیم‌رخ با کمترین فاصله الکترودی ۲۰ متر با آرایش دوقطبی دوقطبی صورت گرفته است.



شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی منطقه بر گرفته از نقشه ۱:۸۰۰۰۰۰.



شکل ۳. نحوه قرار گیری نیمرخ های برداشت.

جدول ۱. ضریب همبستگی بین IP و RS در هر نیمرخ برداشتی.

شماره نیمرخ	خط ۱	خط ۲	خط ۳	خط ۴	خط ۵	خط ۶	خط ۷
ضریب همبستگی	۰/۱۸۱۱	۰/۰۶۳۸	-۰/۱۶۴۸	۰/۱۵۴۲	۰/۳۶۱۷	۰/۵۱۲۲	۰/۱۳۲۵

همبستگی در نیمرخ شماره ۳ منفی است، این نیمرخ برای تفسیر انتخاب شد. جهت نیمرخ تقریباً شمالی- جنوبی است.

وارون سازی داده های مقاومت ویژه ظاهری و بارپذیری ظاهری در نیمرخ شماره ۳، با استفاده از روش وارون سازی تکرار شونده گاوسی- نیوتن و در نرم افزار Res2divn، انجام می شود. در شکل ۴ مقاومت ویژه حقیقی نمایش داده شده است. با توجه به شکل ۴ مقاومت ویژه حقیقی سمت راست تا حدودی از مقاومت ویژه سمت چپ کمتر است. با توجه به این موضوع می توان مرز جدایش این دو مقاومت ویژه را درحکم یک گسل در نظر گرفت. در شکل ۵ بارپذیری حقیقی برای نیمرخ شماره ۳ آورده شده است. با توجه به شکل ۵ میزان بارپذیری حقیقی حالت یکنواختی را در زیر نیمرخ دارد.

در مورد کانی های سولفیدی مانند کالکوپیریت، میزان مقاومت ویژه و بارپذیری رابطه معکوس با یکدیگر دارد یعنی با افزایش بارپذیری، مقاومت ویژه کاهش می یابد. این موضوع بر یک همبستگی منفی بین میزان بارپذیری و مقاومت ویژه در مورد کانی های سولفیدی اشاره دارد. بنابراین اگر همبستگی این دو با یکدیگر منفی باشد احتمال کانی زایی سولفیدی افزایش می یابد. از آنجا که توزیع مقاومت ویژه ظاهری و بارپذیری غیرنرمال است میزان ضریب همبستگی ناپارامتری اسپریمن بین مقاومت ویژه ظاهری و بارپذیری ظاهری برای هر نیمرخ محاسبه شد تا ملاکی برای انتخاب یکی از نیمرخ ها برای تفسیر باشد. در اینجا نیمرخی انتخاب می شود که دارای ضریب همبستگی منفی است زیرا در این صورت با افزایش بارپذیری، مقاومت ویژه کاهش می یابد. میزان همبستگی اسپریمن برای هر نیمرخ با استفاده از نرم افزار Spss محاسبه شد که در جدول ۱ نمایش داده شده است. با توجه به مطالب گفته شده به سبب آنکه ضریب

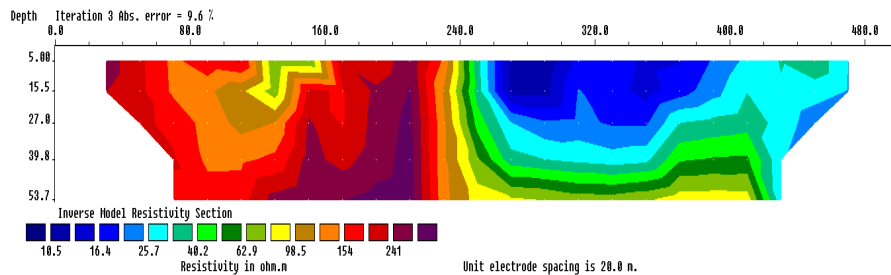
۲-۲ تلفیق فازی لایه‌های اطلاعاتی منطقه

شناخت تأثیر هم‌زمان بین سه لایه اطلاعاتی، بدون داشتن یک ابزار مناسب، کاری تقریباً غیرممکن و دشوار است، بنابراین نیاز به ابزاری است که بتواند این لایه‌های اطلاعاتی را به درستی با یکدیگر تلفیق کند، استفاده از روش‌های قدیمی مانند رنگ‌بندی و مانند آن را کنار بگذارد و پایه علمی قوی داشته باشد.

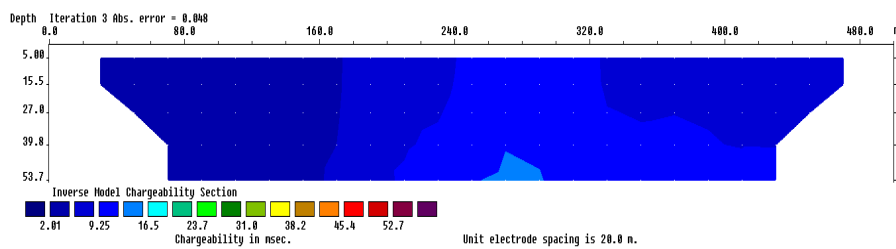
پس از آماده‌سازی داده‌های حاصل از وارون‌سازی مقاومت ویژه ظاهری و بارپذیری ظاهری با استفاده از روش تلفیق دانش‌مبنای فازی می‌توان تأثیر هم‌زمان این

پارامترها را برای انتخاب نقطه بهینه حفاری لحاظ کرد. همان‌طور که اشاره شد اولین مرحله برای استفاده از این روش، فازی‌سازی داده‌ها است. در این مرحله هر یک از لایه‌ها با توجه به تأثیری که بر تصمیم‌گیری دارند با تابع‌های گوناگون، فازی می‌شوند. از آنجا که زیاد بودن مقدار بارپذیری، عاملی مثبت برای کانه‌زایی مس است، لذا فازی‌سازی این لایه با استفاده از تابع عضویت بزرگ صورت گرفت.

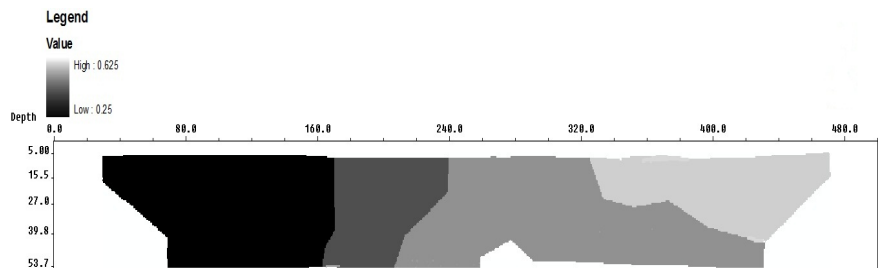
مقطع فازی شده بارپذیری حقیقی در شکل ۶ نمایش داده شده است.



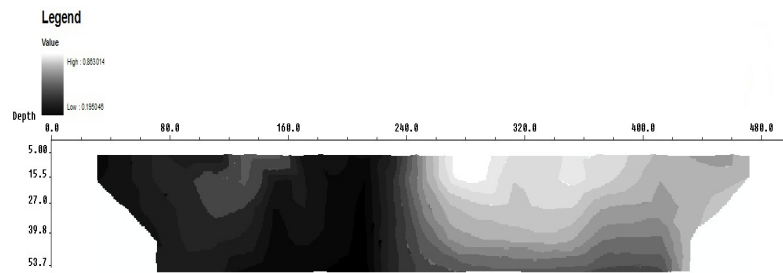
شکل ۴. مدل مقاومت ویژه حقیقی.



شکل ۵. مدل بارپذیری حقیقی.



شکل ۶. مقطع فازی شده بارپذیری حقیقی.



شکل ۷. مقطع فازی شده مقاومت ویژه حقیقی.

مقطع حاوی گسل، بافرهایی به فاصله ۵ متر از آن مدنظر قرار گرفت و مطابق جدول ۲ مقادیر فازی به هر فاصله از گسل نسبت داده شد. در شکل ۸ مقطع فازی سازی شده گسل نمایش داده شده است.

پس از فازی سازی لایه های اطلاعاتی، حال می توان با استفاده از عملگرهای فازی گوناگون این لایه ها را با یکدیگر ترکیب کرد و در نهایت نقاطی که دارای مقدار فازی بالاتری هستند را مشخص ساخت. عملگر فازی گاما ترکیبی از عملگرهای ضرب و جمع فازی است که به صورت معادله (۵) تعریف می شود:

$$\mu_{\text{combination}} = (\text{fuzzy algebraic sum})^\gamma \times (\text{fuzzy algebraic product})^{1-\gamma} \quad (5)$$

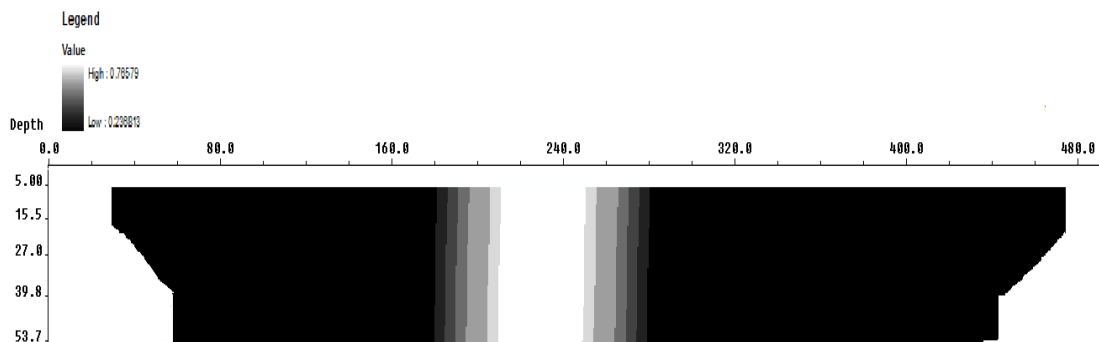
به منظور فازی سازی لایه مقاومت ویژه با توجه به اینکه کم بودن مقاومت ویژه حقیقی عاملی مثبت برای تعیین کانی زایی است لذا این لایه با استفاده از عملگر فازی کوچک، فازی شد.

در شکل ۷ مقطع فازی شده مقاومت ویژه حقیقی نیم رخ نمایش داده شده است.

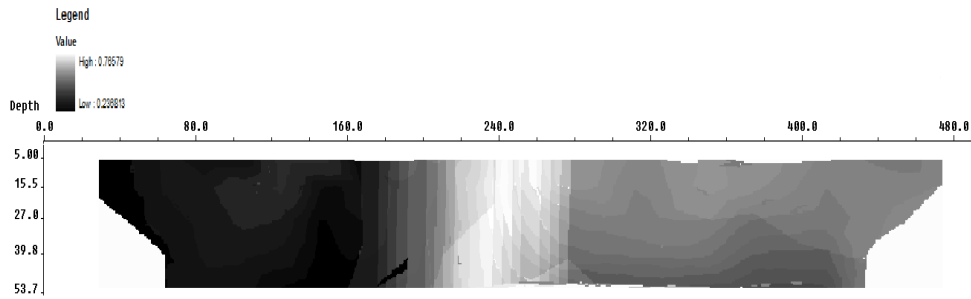
با توجه به مدل مقاومت ویژه حقیقی و، یک گسل واضح در فاصله ۲۳۰ متری از ابتدای نیم رخ وجود دارد. همچنین این گسل با نقشه زمین شناسی تایید می شود. از آنجا که گسل ها مکان مناسبی برای کانی زایی محسوب می شوند، این گسل باید به صورت یک لایه اطلاعاتی مجزا مورد بررسی قرار گیرد. در نهایت برای فازی سازی

جدول ۲. مقادیر فازی مقطع براساس فاصله از گسل.

فاصله بافر از گسل	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۴۵ <
مقدار فازی	۱	۰/۹	۰/۸	۰/۷	۰/۶	۰/۵	۰/۴	۰/۳	۰/۲	۰/۱



شکل ۸. مقطع فازی سازی شده گسل براساس بافرها.



شکل ۹. مقطع فازی‌سازی شده با استفاده از گامای ۰/۸۵.

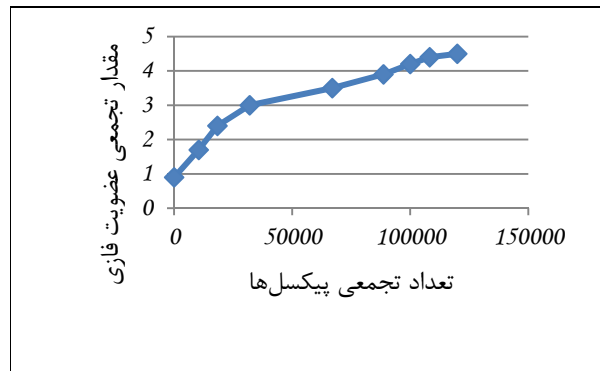
نقشه دوتایی (binary) عرضه شود. قطعی‌سازی نتایج حاصل از استنتاج فازی سبب می‌شود تا کاربر به راحتی بتواند از نتایج فازی استفاده کند. به عبارتی با ترکیب نقشه‌های شواهد با روش فازی نمی‌توان به تفسیری هدفمند برای مشخص کردن مناطق اکتشافی هدف پرداخت و فقط می‌توان نقاطی را که دارای مقادیر عضویت فازی بیشتری هستند با امیدبخشی بیشتر و نقاطی را که دارای مقادیر عضویت کمتری هستند با امیدبخشی کمتر نشان داد. در ادامه یک عملیات گرافیکی برای غیر فازی‌سازی نقشه فازی، به نقشه دوتایی مورد استفاده قرار می‌گیرد (پروال و همکاران، ۲۰۰۳).

برای غیر فازی‌سازی، ابتدا نمودار مقادیر تجمعی عضویت فازی نسبت به مقدار تجمعی تعداد پیکسل‌ها برای گامای ۰/۸۵ رسم شده است.

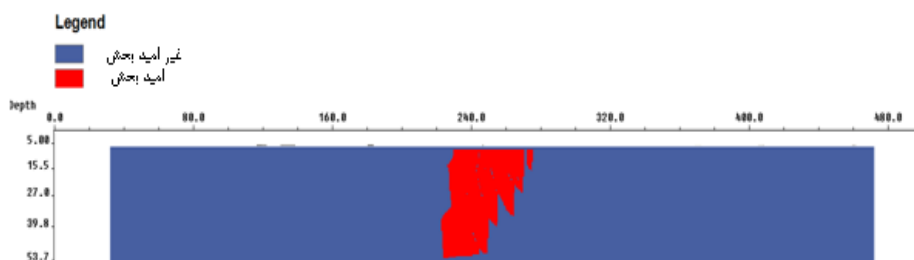
در این رابطه γ یک پارامتر انتخابی در محدوده [۰،۱] است. زمانی که γ برابر ۱ باشد عملگر گاما مانند عملگر جبری جمع عمل می‌کند و زمانی که صفر باشد عملگر گاما مشابه عملگر جبری ضرب عمل می‌کند. انتخابی بودن γ باعث می‌شود که مقادیر خروجی از تابع عضویت دارای یک حالت بینابینی و انعطاف‌پذیری بین افزایشی بودن عملگر جبری جمع فازی و کاهش‌ی بودن عملگر جبری ضرب فازی باشد (مگلهاز و سوزا، ۲۰۱۱).

در این تحقیق از عملگر فازی گاما با مقدار ۰/۸۵ برای تلفیق لایه‌های اطلاعاتی متفاوت استفاده شده است. مقطع فازی شده منطقه با استفاده از گامای ۰/۸۵ در شکل ۹ نمایش داده شده است.

همان‌طور که اشاره شد پس از ترکیب لایه‌های اطلاعاتی متفاوت با استفاده از عملگرهای فازی، سرانجام در مرحله غیر فازی‌سازی باید نقشه فازی به صورت یک



شکل ۱۰. نمودار مورد استفاده جهت غیر فازی‌سازی.



شکل ۱۱. مقطع دوتایی نهایی هدف.

همان‌طور که در شکل ۱۱ مشخص است روش منطق فازی مناطقی را برای حفاری پیشنهاد می‌دهد که روی گسل و در فاصله کمی از آن قرار دارند. گسل واقع شده در منطقه اهمیت زیادی برای مکان کانی‌زایی دارد که منطق فازی نیز آن را تأیید می‌کند و به آن اهمیت می‌دهد.

۳ نتیجه‌گیری

با توجه به مطالب بیان شده، یکی از اهداف مهم تفسیر داده‌های ژئوالکتریک انتخاب نقطه بهینه حفاری است تا با هزینه و مخاطره کمتر بتوان برآوردی از محل کانی‌زایی منطقه عرضه کرد. به این منظور پس از انتخاب بهترین نیم‌رخ، داده‌های مقاومت ویژه ظاهری و بارپذیری ظاهری با استفاده از روش‌های گاوسی-نیوتن و نیوتن، وارون‌سازی شد. در نهایت این لایه‌های اطلاعاتی و گسل موجود در نیم‌رخ با استفاده از روش فازی تلفیق شد. مقطع دوتایی نهایی نشان می‌دهد که حفر گمانه در فاصله ۲۴۰ متری از ابتدای نیم‌رخ می‌تواند نتایج قابل‌قبولی برای کانی‌زایی به دست دهد. در این روش حداکثر عمق حفاری نیز تعیین شده و برابر ۵۰ متر است.

همان‌طور که مشاهده می‌شود، با روش فازی، نیم‌رخ با طول تقریباً ۴۰۰ متر مورد بررسی قرار گرفت و طولی حدود ۶۰ متر برای کانی‌زایی با اطمینان زیادی انتخاب شد. نتایج حاصل بیان می‌کند که روش عرضه شده می‌تواند به صورت قابل ملاحظه‌ای به مفسر در تفسیر نتایج

نمودار تجمعی شکل ۱۰ نشان‌دهنده این مطلب است که میزان عضویت تجمعی با افزایش مساحت منطقه افزایش می‌یابد. در شرایط فضایی، منحنی نشان می‌دهد که به تدریج مقدار تجمعی فازی بزرگ‌تر می‌شود و این افزایش با افزایش امیدبخشی تجمعی بدون ارتباط است. مقدار عضویت فازی برای نقطه‌ای که در آن بیشترین کاهش شیب را به صورت بصری مشاهده می‌کنیم آستانه مناسبی برای غیر فازی‌سازی نقشه امیدبخشی است (پروال و همکاران، ۲۰۰۳).

با توجه به شکل ۱۰ می‌توان اولین کاهش بصری شیب را به منزله نقطه غیر فازی‌سازی در نظر گرفت زیرا در واقع تغییر شیب نشان‌دهنده متفاوت بودن این رده با سایر داده‌ها است. با توجه به نمودار بالا مقدار غیر فازی‌سازی برای گامای ۰/۸۵ مقدار عضویت ۰/۶ تعیین شده است. حال براساس مقدار آستانه غیر فازی‌سازی می‌توان مقطع دوتایی هدف را تهیه کرد. شکل ۱۱ نقشه دوتایی هدف را نشان می‌دهد که رنگ آبی نشان‌دهنده مناطق غیر امیدبخش و رنگ سرخ نشان‌دهنده مناطق امیدبخش است. از آنجا که سمت راست گسل دارای سنگ‌هایی با مقاومت ویژه کم است و همچنین بارپذیری در سمت راست گسل بیشتر از طرف چپ آن است از این رو روش فازی بیشتر سمت راست گسل را مورد توجه قرار داده است بنابراین هم‌خوانی مناسبی با مدل‌های وارون دارد. همچنین به علت اهمیت گسل برای مکان کانی‌زایی،

- Arizona, U.S. Geol. Survey, Open file report, 93-392.
- Kainz, W., 2006, Fuzzy logic and GIS, University of Vienna Austria.
- Li, Y. and Oldenburg, D.W., 2000, 3-D inversion of induced polarization data, *Geophysics*, **65**, 1931-1945.
- Lock, A. H. and Dalhin, T., 2002, A comparison of the Gauss- Newton and quasi-Newton methods in resistivity imaging inversion, *Applied Geophysics*, **49**, 149-162.
- Magalhães, L. A. and Souza, C. R., 2011, Targeting of gold deposits in Amazonian exploration frontiers using knowledge-and data-driven spatial modeling of Geophysical, Geochemical, and Geological data, *Surveys in Geophysics*, 31pp.
- Porwal, A., Carranza, E. J. M. and Hale, M., 2003, Knowledge-driven and data-driven fuzzy models for predictive mineral potential mapping, *Natural Resources Research*, **12**, 1-25.
- Raines, L., Sawatzky, L. and Bonham, G. F., 2010, Incorporating expert knowledge: new fuzzy logic tools in ArcGis, *Geo-spatial Information Science*, **12**, 243-250.
- Smith, N. and Vozoff, K., 1984, Two-dimensional dc resistivity inversion for dipole-dipole data. *IEE*, **22**, 21-28.
- Tarantola, A., 2005, Inverse problem theory and methods for model parameter estimation, University of Paris, 358pp.
- کمک کند و در انتخاب نقطه حفاری، مخاطره را کاهش دهد. روش عرضه شده را می‌توان در سایر روش‌های ژئوفیزیکی به‌منظور معرفی نقطه حفاری نیز به کار برد. از دیگر مزیت‌های این روش می‌توان به سادگی روابط ریاضی، استفاده از چندین لایه اطلاعاتی به‌طور هم‌زمان اشاره کرد. همچنین نظر متخصص می‌تواند در حین عمل تلفیق در آن اعمال شود؛ که این کار باعث می‌شود روش فازی انعطاف‌پذیری زیادی داشته باشد.
- مراجع**
- چالچی، ن.، اعتمادی، ن. و افشاریان‌زاده، م.، ۱۳۶۹، نقشه زمین‌شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ بیرجند، سازمان زمین‌شناسی کشور.
- An, P., Moon, W. and Rencz, A., 1991, Application of fuzzy set theory for integration of geological, geophysical and remote sensing data, *Exploration Geophysics*, **27**, 1-11.
- Bonham, G. F., 1994, *Geographic Information Systems for Geoscientists: Modelling with GIS*, Pergamon Press, Ontario Canada.
- Getting, M. E. and Bultman, M. W., 1993, Quantifying favourableness for occurrence of a mineral deposit type an example from