

تعیین نقاط حفاری اندیس مس چاه فیروزه با استفاده از منطق فازی در محیط GIS

امیر عادل سرچشمه^{۱*}، محمد کریمی^۲، عباس بحرودی^۱، غلامرضا الیاسی^۱

^۱ گروه مهندسی اکتشاف معدن، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه تهران

^۲ گروه GIS، دانشکده نقشه برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

*مسئول مکاتبات - آدرس الکترونیکی: adeli_amir@yahoo.com

(دریافت: ۸۷/۸/۲۲؛ پذیرش: ۸۷/۴/۲۸)

چکیده

در رویارویی با رشد شتابزده داده‌های مکانی رقومی در علوم زمین، وجود سامانه اطلاعات جغرافیایی بسیار ضروری به نظر می‌رسد. استفاده از GIS ضمن آنکه می‌تواند در ساماندهی اطلاعات مربوط به مطالعات اکتشاف ذخایر معدنی مورد استفاده قرار گیرد، توانایی آن را دارد که تهیه و تلفیق لایه‌های اطلاعاتی مختلف را در قالب مدل‌های گوناگون، با سرعت و دقت بیشتری انجام داده و به عنوان پشتیبانی برای تصمیم‌گیری‌های مکانی مورد استفاده قرار گیرد. در این مقاله نقشه پتانسیل معدنی اندیس چاه‌فیروزه به منظور تعیین نقاط حفاری تهیه شده است. لایه‌های مورد استفاده شامل لایه‌های تیپ سنگ شناسی، ساختار، دگرسانی، نشانه‌های کانی‌سازی، زون ناهنجاری شارژابیلیته و مقاومت ظاهری و فاکتور فلزی و آنومالی عناصر مس، مولیبدن، طلا و ادیتو مس و مولیبدن می‌باشند. پس از آماده‌سازی اطلاعات و تهیه نقشه‌های فاکتور و وزندی آنها، این نقشه‌ها در قالب یک شبکه استنتاجی تلفیق شدند. استفاده تلفیقی از عملگرهای منطق فازی و همپوشانی شاخص در شبکه استنتاجی ضمن مرتفع نمودن نقایص موجود در سایر مدل‌ها، امکان ترکیب قابل انعطاف‌تر نقشه‌های فاکتور را فراهم نموده است. در نقشه پتانسیل معدنی تهیه شده، مناطق مستعد کانی‌سازی از نظر وجود کانی‌سازی مس پرفیری در نواحی مرکزی منطقه مورد مطالعه و با گسترش شمالی-جنوبی تعیین شد. در نهایت با انطباق ۲۴ گمانه اکتشافی حفر شده با نقشه‌های پتانسیل معدنی نهایی، میزان تطابق نتایج بر اساس دو نوع کلاسه‌بندی نقشه پتانسیل معدنی برابر ۷۲/۷۳ و ۷۴/۴۲ درصد محاسبه و انجام عملیات حفاری جدید در مناطق مستعد مشخص شده بر روی این نقشه‌ها توصیه شد. ضمناً در صورت انجام این مطالعات قبل از انجام عملیات حفاری و تنها با فرض عدم حفر گمانه‌های اکتشافی در مناطق دارای وضعیت ضعیف یا خیلی ضعیف، با استفاده از نقشه‌های سه و پنج کلاسه بترتیب ۵۴/۲ و ۶۶/۷ درصد از گمانه‌ها حفاری نشده و در حدود ۸۰۰ میلیون تومان در هزینه‌های حفاری صرفه‌جویی به عمل می‌آمد.

واژگان کلیدی: سامانه اطلاعات جغرافیایی، نقشه پتانسیل معدنی، منطق فازی، چاه‌فیروزه

مقدمه

وسیع اطلاعات، تهیه صحیح و دقیق نقشه پتانسیل معدنی را با مشکل مواجه ساخته است.

سیستم اطلاعات جغرافیایی دارای قابلیت‌های مختلفی از جمله امکان ذخیره‌سازی، نمایش، بازیابی، پردازش، تلفیق و تبادل اطلاعات مکان مرجع می‌باشد. این سیستم می‌تواند بعنوان علم و فناوری بهینه در جهت ساماندهی، پردازش، تحلیل و تلفیق نتایج مطالعات زمین‌شناسی، ژئوشیمی و ژئوفیزیک به منظور شناسایی و ارزیابی پتانسیل‌های معدنی مختلف از جمله مس مورد استفاده قرار گیرد (Bonham-Carter 1994).

امروزه استفاده از GIS به منظور تهیه نقشه پتانسیل معدنی توسط دانشمندان علوم زمین متداول گردیده است. به عنوان مثال کرانزا و هال منطق فازی را به منظور تهیه نقشه پتانسیل معدنی در ذخایر

در ایران با توجه به وسعت زیاد کشور و گستردگی مناطق پتانسیل‌دار ذخایر معدنی (وجود کمربند ولکانیکی ارومیه - دختر) و لزوم شناسایی و مدیریت صحیح این ذخایر، استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی دارای اهمیت بسیار بالایی می‌باشد. داده‌های گردآوری شده از مطالعات انجام شده، حجم عظیمی از اطلاعات را بدست می‌دهند که تا زمانی که به درستی سازماندهی نشوند، نتایج مفید و قابل اطمینانی را نشان نمی‌دهند. تهیه نقشه پتانسیل معدنی با استفاده از روشهای سنتی و متداول بسیار دشوار و در بعضی مواقع ناممکن می‌باشد. وجود حجم عظیم نقشه‌ها از منابع مختلف، در مقیاسها و فرمت‌های متفاوت و با سلاقی فردی گوناگون و عدم وجود راهکارهای مناسب در تلفیق حجم

اطلاعاتی، نقشه پتانسیل معدنی را تهیه می‌نمایند. از دیدگاه مهندسی، نقشه پتانسیل معدنی نقشه‌ای می‌باشد که بر روی آن نواحی موجود در یک منطقه مورد بررسی از نظر اولویت پتانسیل معدنی طبقه بندی شده‌اند. مراحل اصلی تهیه نقشه پتانسیل معدنی را می‌توان شامل موارد تعیین فاکتورهای تشخیص کانی‌سازی، آماده‌سازی اطلاعات، تهیه نقشه‌های فاکتور و تلفیق نقشه‌ها و ارزیابی نتایج دانست (Bonham-Carter 1994; Karimi et al. 2008).

معرفی مدل‌های تلفیق

مدل‌های تلفیق که معمولاً در GIS به منظور اکتشاف ذخایر معدنی بکار گرفته شده‌اند، شامل مدل‌های بولین، وزن‌های نشانگر، همپوشانی شاخص، منطق فازی و شبکه عصبی می‌باشند. به دلیل اتکای روش وزن‌های نشانگر بر وجود ذخایر معدنی شناخته شده، این روش یکی از مناسبترین روش‌ها در تهیه نقشه پتانسیل معدنی در مطالعات پی‌چوبی اولیه بوده و در مطالعات نیمه تفصیلی و تفصیلی دارای اهمیت و کاربرد کمتری می‌باشد و به همین دلیل در این مطالعه مورد استفاده قرار نگرفته است. آگتربرگ (Agterberg 1992, Agterberg 1990)، بونهام-کارت (Bonham-Carter 1994)، بولنز (Boleneus et al. 2001)، اسدی و هال (Asadi & Hale 2001; Asadi 2000) این روش را به منظور تهیه نقشه پتانسیل معدنی در مطالعات پی‌چوبی اولیه بکار گرفته‌اند.

شبکه‌های عصبی توانایی زیادی در حل مسائل پیچیده‌ای دارند که عوامل متعددی در فرایند و نتیجه آن تاثیر می‌گذارند. در ارزیابی روش فوق می‌توان گفت که این روش نیاز به داده‌های آموزشی دارد و فقط در مناطقی قابل استفاده است که متغیرهای واکنشی نظیر پراکندگی ذخایر معدنی شناخته شده و یا چاه‌های اکتشافی وجود داشته باشند. بنابراین روش شبکه‌های عصبی در مطالعات تفصیلی کمتر استفاده می‌گردد. براون و پوروال اقدام به تهیه نقشه پتانسیل معدنی با استفاده از شبکه‌های عصبی نموده‌اند (Brown et al. 2000; Porwal 2006).

استفاده تلفیقی از عملگرهای منطق فازی و همپوشانی شاخص در شبکه استنتاجی ضمن مرتفع نمودن نقایص موجود در سایر مدل‌ها، امکان ترکیب قابل انعطاف‌تر نقشه‌های فاکتور را فراهم نموده و در این مقاله نیز به کار گرفته شده است. در ادامه دو مدل فوق به صورت اختصار ارائه می‌گردد.

مدل همپوشانی شاخص: در این روش فاکتورهای تشخیص کانی‌سازی بسته به اهمیت آنها وزندار و مطابق با یک الگوی هدفمند با یکدیگر ترکیب می‌شوند. در مطالعات اکتشافی که معمولاً نقشه‌های معیار، نقشه‌های چند کلاسه می‌باشند، به منظور تلفیق نقشه‌ها از رابطه (۱) استفاده می‌شود.

طلای اپی ترمال در ناحیه باگیو در کشور فیلیپین، بکار برده‌اند. در این تحقیق فاکتورهای موثر در کانی‌سازی با ۴ نوع ترکیب آزمایشی عملگر فازی با یکدیگر ترکیب و نقشه پتانسیل معدنی تهیه گردید. درصد تطابق با ذخایر تایید شده در ۴ ترکیب مذکور بترتیب برابر با ۷۷/۸، ۷۷/۸، ۷۷/۸ و ۷۶/۲ می‌باشد (Carranza & Hale 2001; Carranza 2002). به عنوان نمونه دیگر بونهام-کارت و همکاران به منظور تهیه نقشه‌های پتانسیل معدنی در بخشی از سرزمین مگوما در جنوب شرقی نواسکوشیا عوامل اصلی مدل مفهومی ذخیره معدنی را بررسی و فاکتورهای تشخیص کانی‌سازی را تعیین نموده‌اند. داده‌ها بر اساس وزنی که بایستی به هر فاکتور داده می‌شد، وزندهی و نقشه پتانسیل معدنی با استفاده از مدل‌های بولین، وزن‌های دو تایی، همپوشانی شاخص و منطق فازی تهیه گردیده است (Bonham-Carter 1994). تعدادی از محققین دیگر نظیر رایت و کارتر (Wright & Carter 1996)، پوروال (Porwal et al. 2003)، موخوپادزی (Mukhopadhyay et al. 2002)، آن و همکاران (An et al. 1991)، کریمی و همکاران (Karimi et al. 2008). نیز روش منطق فازی را به منظور تهیه نقشه پتانسیل معدنی به کار برده‌اند.

این مقاله در نظر دارد تا با استفاده از پردازش و ارزش‌گذاری لایه‌های اطلاعاتی سنگ‌شناسی، دگرسانی، ساختار، نشانه‌های کانی‌سازی، ژئوشیمی و ژئوفیزیک تهیه شده در محدوده اندیس مس چاه‌فیروزه و بکارگیری روش تلفیقی منطق فازی و همپوشانی شاخص، متدولوژی تهیه نقشه پتانسیل معدنی را در راستای تعیین نقاط حفاری در محیط GIS ارائه نماید.

تهیه نقشه پتانسیل معدنی

در مسائل تصمیم‌گیری مکانی، اغلب لازم است تعداد زیادی از گزینه‌های ممکن را بر مبنای معیارهای چندگانه ارزیابی کرد. تصمیم‌گیری چند معیاری با در نظر گرفتن تمامی معیارها جهت پیدا کردن یک گزینه غالب در میان گزینه‌های دیگر، پیچیده‌تر از تصمیم‌گیری تک‌معیاری است. برخی از گزینه‌ها ممکن است با توجه به برخی معیارها مناسب به نظر برسند، در حالی که برخی دیگر می‌توانند بر اساس معیارهای دیگر با اهمیت تلقی شوند (Malczewski 1999). در زمینه مسائل معدنی استفاده از تصمیم‌گیری چند معیاری، در بهبود نتایج حاصل تاثیر قابل ملاحظه‌ای داشته است. امروزه استفاده از معیارهای چندگانه در تهیه نقشه‌های پتانسیل معدنی بسیار متداول گشته است. مهندسین اکتشاف معدن بسته به مقیاس مطالعه انجام شده از معیارهای مختلفی جهت تهیه نقشه پتانسیل معدنی استفاده می‌نمایند (Bonham-Carter 1994).

محققین علوم زمین با توجه به معیارهای موجود اقدام به تهیه لایه‌های اطلاعاتی نموده و سپس با وزندهی و تلفیق لایه‌های

(رابطه ۱)

$$\bar{S} = \frac{\sum_i^n S_{ij} W_i}{\sum_i^n W_i}$$

در این رابطه \bar{S} امتیاز محاسبه شده برای موضوع یا عارضه، W_i وزن i امین نقشه‌ی ورودی و S_{ij} امتیاز i امین کلاس از i امین نقشه است. نقطه ضعف این روش ماهیت افزوده خطی آن می‌باشد (Bonham-Carter 1994).

منطق فازی: در نظریه کلاسیک مجموعه‌ها، عضویت یک عنصر در یک مجموعه بعنوان صفر و یا یک تعریف می‌شود. در نظریه فازی مجموعه‌ها، مجموعه فازی بعنوان زیرمجموعه‌ای از عناصری تعریف می‌شود که درجه عضویتشان در مجموعه بین صفر و یک می‌باشد (Zadeh 1965). مقدارهای عضویت فازی می‌توانند بر اساس قضاوت ذهنی درباره اهمیت نسبی نقشه‌ها و کلاس‌های موجود در هر نقشه و یا بر اساس داده‌ها تعیین گردد. به منظور تلفیق داده‌های اکتشافی ذخایر معدنی، پنج عملگر فازی توسط آن و همکارانش مفید تشخیص داده شده است که در جدول (۱) به صورت مختصر معرفی شده‌اند (An et al. 1991; Bonham-Carter 1994).

در روابط فوق n فاکتور کنترل‌کننده کانی‌سازی ترکیب می‌شوند و μ_i بیانگر وزن لایه i ام می‌باشد. در عمل ممکن است تعداد متنوعی از عملگرهای فازی در تهیه نقشه پتانسیل معدنی استفاده شوند. بنابراین بجای ترکیب همه نقشه‌ها با یک عملگر خاص مانند γ ، ممکن است بهتر باشد که با توجه به ماهیت فاکتورهای تشخیص کانی‌سازی و اثرات آنها بر روی یکدیگر از عملگر مناسب در هر مرحله از فرایند تلفیق نقشه‌ها استفاده نمود (Bonham-Carter 1994). با توجه به ویژگی‌های هر یک از مدل‌های بررسی‌شده، دو مدل همپوشانی شاخص و منطق فازی به منظور تهیه نقشه پتانسیل معدنی در راستای تعیین نقاط حفاری بهینه در مرحله تفصیلی مناسب می‌باشند.

مطالعه موردی

منطقه معدنی چاه فیروزه (کهنوکرها) در فاصله ۳۵ کیلومتری شهر بابک و در استان کرمان واقع شده است. این منطقه تقریباً در بخش مرکزی نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰,۰۰۰ انار و در شمال باختری نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰,۰۰۰ شهر بابک واقع شده است. نقشه زمین‌شناسی و دگرسانی آن در مقیاس ۱:۱۰۰۰ و به وسعت ۳/۸ کیلومترمربع در سال ۱۳۸۵ تهیه شده است (حاج ملا علی ۱۳۸۵). موقعیت جغرافیایی و نقشه زمین‌شناسی این اندیس در شکل ۱ نمایش داده شده است. این محدوده در بخش جنوب شرقی کمربند ولکانیکی ارومیه - دختر واقع شده است. با توجه به پتانسیل قوی کانی‌سازی مس در این زون و قرارگیری کانسارهای بزرگ مس پرفیری مانند سرچشمه، میدوک، دره زار و سونگون ضرورت پی‌جویی و اکتشاف در این زون کاملاً منطقی است (حاج ملا علی ۱۳۸۵).

کالبد زمین‌شناسی منطقه از یک پیکره ولکانوپلوتونیسیم سازمان یافته که در آن سنگ‌های ولکانیکی متعلق به ائوسن و ماگماتیسیم به پی آمد رخداد پیرنه و زمان الیگوسن مربوط است. عامل کانی‌سازی سیالات وابسته به تنش‌های ماگماتیسیم پیرنه و تشدید کننده آن تنش‌های تکتونیکی همزمان است. تقریباً در بخش مرکزی ناحیه و با راستای شمالی-جنوبی، توده‌های داسیت پرفیر به درون سنگهای ولکانیکی هجوم برده و آنها را آتره کرده‌اند. در پایانه جنوبی و شرقی منطقه نهشته‌های ولکانیکی جوان و رسوبات عهد حاضر، سنگ‌های مورد سخن را می‌پوشاند. کانی‌سازی بیشتر در سنگ‌های داسیت پرفیر واقع در بخش مرکزی و در راستای شمالی-جنوبی که متأثر از گسل‌ها بوده، صورت گرفته است (حاج ملا علی ۱۳۸۵). نکته قابل توجه در این

جدول ۱- معرفی عملگرهای فازی مفید در تهیه نقشه پتانسیل معدنی

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

گردید و با استفاده از این پارامتر، نقشه رستری فاکتور فلزی نیز تهیه گردید.

رابطه (۲) $MF=2000*(CH/RS)$

در این رابطه منظور از CH، RS و MF به ترتیب مقدار شارژ ایلیتیته، مقاومت ظاهری و فاکتور فلزی نقاط برداشت ژئوالکتریکی می‌باشد. با توجه به اطلاعات ژئوفیزیکی موجود در این قسمت، از نقشه‌های منفرد (شارژ ایلیتیته و مقاومت ظاهری) و همچنین از نقشه‌های ترکیبی (فاکتور فلزی) استفاده شده است.

۱- تعیین فاکتورهای تشخیص کانی‌سازی در منطقه چاه‌فیروزه

در این مرحله با توجه به مدل مفهومی ذخیره مورد نظر و استفاده از دانش کارشناسی اقدام به تعیین فاکتورهای موثر در رخداد کانی‌سازی اندیس چاه‌فیروزه شد. هر یک از این فاکتورها در مرحله تهیه نقشه‌های فاکتور تشخیص کانی‌سازی معرفی گردیده است.

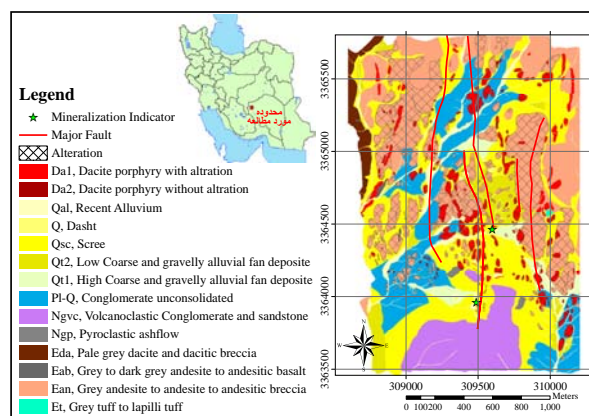
۲- آماده سازی اطلاعات

در این مرحله کلیه لایه‌های اطلاعاتی مورد نظر که در مرحله تعیین فاکتورهای تشخیص کانی‌سازی تعیین گردیدند، جمع‌آوری و آماده‌سازی شدند. لایه‌های اطلاعاتی آماده‌سازی شده شامل تیپ سنگ‌شناسی، گسل، دگرسانی، نشانه‌های کانی‌سازی، نقاط برداشت ژئوشیمی، منحنی هم عیار عنصر مس، منحنی هم عیار عنصر مولیبدن، آنومالی عنصر مولیبدن، منحنی هم عیار عنصر طلا، آنومالی عنصر طلا، منحنی شارژ ایلیتیته، زون ناهنجاری شارژ ایلیتیته، منحنی مقاومت ظاهری و زون ناهنجاری مقاومت ظاهری می‌باشد.

۳- تهیه نقشه‌های فاکتور

از نقطه نظر اکتشاف یک نوع ذخیره معدنی خاص، نحوه تاثیر و ارزش لایه‌های اطلاعاتی آماده‌سازی شده، متفاوت می‌باشد. نقشه پتانسیل معدنی از تلفیق لایه‌های اطلاعاتی با توجه به نحوه تاثیر و ارزش لایه‌ها تهیه می‌شود. به همین منظور لازم است با انجام یکسری پردازش‌ها (ایجاد بافر، کلاسه‌بندی مجدد، تولید نقشه‌های مجاورت و غیره)، نقشه یا نقشه‌های فاکتور هر لایه اطلاعاتی تهیه گردد. با توجه به تنوع تاثیر و ارزش‌دهی لایه‌های اطلاعاتی مختلف، پردازش‌های مورد نیاز برای تهیه نقشه‌های فاکتور متفاوت است (Bonham-Carter 1994).

در تهیه نقشه‌های فاکتور یک کانسار خاص، علاوه بر استفاده از مدل مفهومی زمین‌شناسی و کانی‌سازی ذخیره معدنی مربوطه، نیاز به وارد نمودن دانش کارشناسی در تعیین نحوه تاثیر و ارزش اطلاعات می‌باشد. در این راستا با برگزاری جلسات کارشناسی مختلف با کارشناسان شرکت ملی صنایع مس ایران و تشریح عوامل موثر در هر



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و نقشه زمین‌شناسی اندیس چاه فیروزه.

منطقه ارتباط قوی کانی‌سازی با گسل‌های اصلی موجود است که فرضیه رگه‌ای بودن چاه‌فیروزه را افزایش می‌دهد. لازم به توضیح است که همچنان بین رگه‌ای و یا پرفیری بودن اندیس چاه‌فیروزه بحث وجود دارد (حاج ملا علی ۱۳۸۵). در اکتشافات ژئوشیمیایی اندیس چاه‌فیروزه که در سال ۱۳۸۴ و در محدوده‌ای به وسعت ۱/۲ کیلومترمربع صورت گرفته است، کارشناسان امور اکتشافات و مهندسی توسعه شرکت ملی صنایع مس ایران شبکه نمونه‌برداری به ابعاد ۱۰۰m×۱۰۰m را طراحی و اقدام به نمونه برداری از خاک نموده‌اند. سپس نقشه‌های توزیع عناصر Cu، Mo، Au، Pb و Zn در محدوده اندیس چاه‌فیروزه رسم و محدوده‌های آنومالی احتمالی و قطعی برای هر یک مشخص گردید (اصفهان‌پور و همکاران ۱۳۸۴).

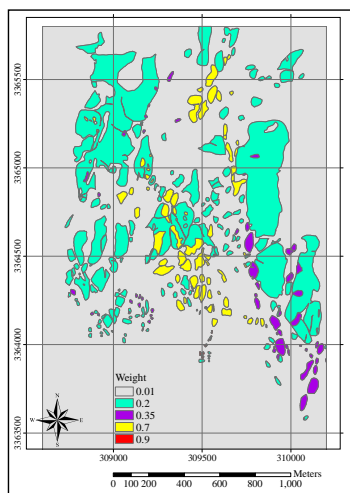
با توجه به بررسی‌های به عمل آمده و انطباق مناسب عنصر مس با عنصرهای مولیبدن و طلا، معیار ژئوشیمی به دو زیر معیار تک عنصری و چند عنصری تقسیم شد. در زیر معیار تک عنصری مس به عنوان عنصر اصلی و دو عنصر مولیبدن و طلا به عنوان عناصری که بیشترین همبستگی را با مس دارا می‌باشند انتخاب گردیدند. همچنین در زیر معیار چند عنصری اقدام به تهیه نقشه اندیس ادیتو (هاله مرکب) مس و مولیبدن گردید.

مطالعات ژئوفیزیکی این کانسار، شامل برداشت به روش ژئوالکتریک می‌باشد که در سال ۱۳۸۴ صورت گرفته است. این مطالعات جهت تعیین وجود کانی‌سازی سولفیدی در سطوح عمیق تر و در صورت امکان تعیین محل توده‌های سولفیدی و همچنین تمرکز کانی‌های سولفیدی انجام شده است. در برداشتهای ژئوالکتریک پارامترهای شارژ ایلیتیته و مقاومت ظاهری به روش آرایش مستطیلی (Rectangle) اندازه‌گیری شده است و الکترودهای جریان با فاصله ۱۲۰۰ متر و الکترودهای پتانسیل با فاصله ۲۰ متر به کار گرفته شده‌اند (اسکوئی ۱۳۸۴). همچنین با استفاده از رابطه (۲) میزان فاکتور فلزی نقاط محاسبه

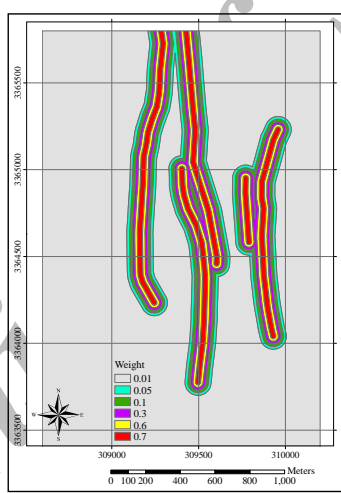
یک از فاکتورها، وزن مربوط به هر یک از فاکتورها مشخص گردید. در ادامه عوامل موثر در وزندهی فاکتورهای کانی‌سازی تشریح شده است. وزن مربوط به هر یک از فاکتورها در جدول (۲) و نقشه‌های مربوط به این فاکتورها در شکل‌های (۲ تا ۱۲) ارائه شده است.

جدول ۲- وزن‌های اولیه و نهایی مورد استفاده در تهیه نقشه پتانسیل معدنی اندیس چاه‌فیروزه

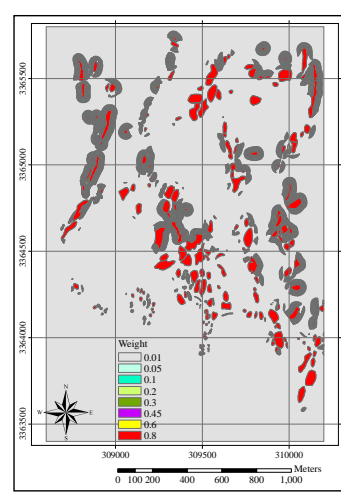
| وزن نهایی | وزن اولیه | نشانه معدنی محلی | وزن نهایی | وزن اولیه | دگرسانی | وزن نهایی | وزن اولیه | گسل اصلی | وزن نهایی | وزن اولیه | زون منشأ حرارت و سنگ میزبان |
|-----------|-----------|---|-----------|-----------|-----------------|-----------|-----------|--------------------|-----------|-----------|-----------------------------|
| ۰/۲۸۶ | ۰/۹ | بافر ۱۵ متری | ۰/۲۵۴ | ۰/۹ | پتانسیک | ۰/۲۲۲ | ۰/۷ | بافر ۱۵ متری | ۰/۲۳۸ | ۰/۸ | داسیت پرفیری آتزه شده |
| ۰/۳۲۲ | ۰/۷ | بافر ۳۰ متری | ۰/۱۹۸ | ۰/۷ | فیلیک شدید | ۰/۱۹۰ | ۰/۶ | بافر ۳۰ متری | ۰/۱۷۹ | ۰/۶ | بافر ۵ متری |
| ۰/۱۵۹ | ۰/۵ | بافر ۴۵ متری | ۰/۰۹۹ | ۰/۳۵ | فیلیک ضعیف | ۰/۰۹۵ | ۰/۳ | بافر ۴۵ متری | ۰/۱۳۴ | ۰/۴۵ | بافر ۱۰ متری |
| ۰/۰۶۴ | ۰/۲ | بافر ۶۰ متری | ۰/۰۵۷ | ۰/۲ | پروپیلیتی شدید | ۰/۰۳۲ | ۰/۱ | بافر ۶۰ متری | ۰/۰۸۹ | ۰/۳ | بافر ۱۵ متری |
| | | | ۰/۰۵۷ | ۰/۲ | پروپیلیتی ضعیف | ۰/۰۱۶ | ۰/۰۵ | بافر ۷۵ متری | ۰/۰۵۹ | ۰/۲ | بافر ۲۰ متری |
| | | | | | | | | | ۰/۰۳۰ | ۰/۱ | بافر ۲۵ متری |
| | | | | | | | | | ۰/۰۱۵ | ۰/۰۵ | بافر ۳۰ متری |
| وزن نهایی | وزن اولیه | توزیع ادیتو(هاله مرکب) عناصر مس و مولیبدن | وزن نهایی | وزن اولیه | توزیع عنصر طلا | وزن نهایی | وزن اولیه | توزیع عنصر مولیبدن | وزن نهایی | وزن اولیه | توزیع عنصر مس |
| ۰/۵۰۰ | ۰/۹ | آنومالی قطعی | ۰/۳۱۱ | ۰/۷ | آنومالی قطعی | ۰/۳۱۱ | ۰/۷ | آنومالی قطعی | ۰/۳۲۸ | ۰/۸۵ | آنومالی قطعی |
| ۰/۴۴۴ | ۰/۸ | آنومالی احتمالی | ۰/۲۲۲ | ۰/۵ | آنومالی احتمالی | ۰/۲۲۲ | ۰/۵ | آنومالی احتمالی | ۰/۳۲۴ | ۰/۷۵ | آنومالی احتمالی |
| ۰/۱۹۴ | ۰/۳۵ | آنومالی ممکن | ۰/۰۸۹ | ۰/۲ | آنومالی ممکن | ۰/۰۸۹ | ۰/۲ | آنومالی ممکن | ۰/۱۳۴ | ۰/۳ | آنومالی ممکن |
| وزن نهایی | وزن اولیه | فاکتور فازی | وزن نهایی | وزن اولیه | مقاومت ظاهری | وزن نهایی | وزن اولیه | شارژیابلیته | وزن نهایی | وزن اولیه | مقاومت ظاهری |
| ۰/۵۰۰ | ۰/۸ | آنومالی قطعی | ۰/۲۵ | ۰/۲۵ | آنومالی قطعی | ۰/۲۵ | ۰/۲۵ | آنومالی قطعی | ۰/۷۵ | ۰/۷۵ | آنومالی قطعی |
| ۰/۳۴۴ | ۰/۵۵ | آنومالی احتمالی | ۰/۱۵ | ۰/۱۵ | آنومالی احتمالی | ۰/۱۵ | ۰/۱۵ | آنومالی احتمالی | ۰/۵ | ۰/۵ | آنومالی احتمالی |
| ۰/۱۵۶ | ۰/۲۵ | آنومالی ممکن | ۰/۰۵ | ۰/۰۵ | آنومالی ممکن | ۰/۰۵ | ۰/۰۵ | آنومالی ممکن | ۰/۲ | ۰/۲ | آنومالی ممکن |



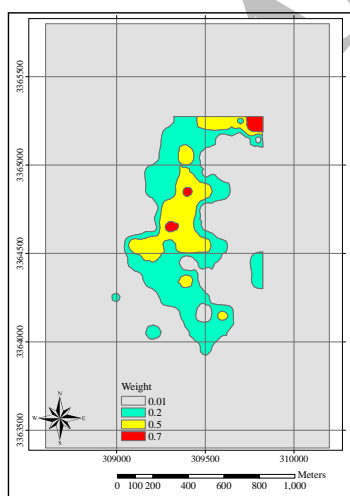
شکل ۲- نقشه فاکتور زون منشأ حرارت و سنگ میزبان.



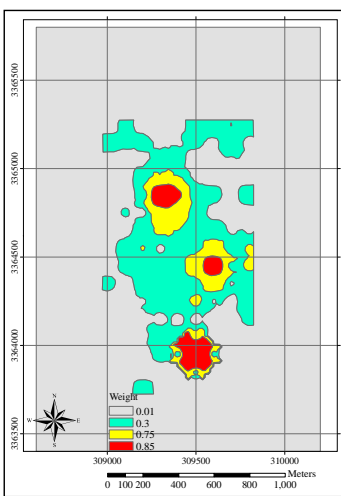
شکل ۳- نقشه فاکتور گسل‌های اصلی.



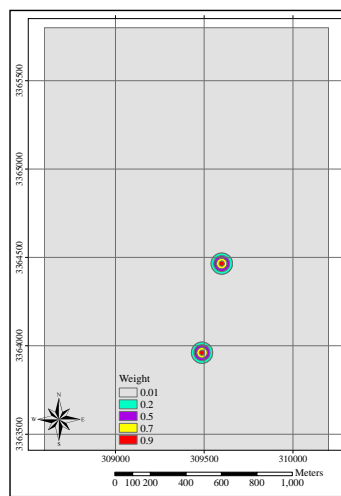
شکل ۴- نقشه فاکتور دگرسانی.



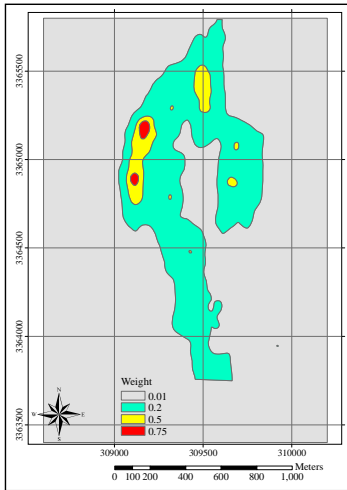
شکل ۵- نقشه فاکتور عیار مولیبدن.



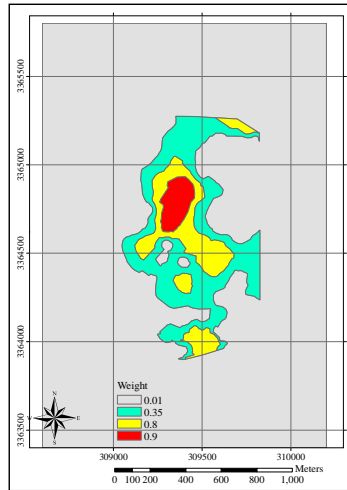
شکل ۶- نقشه فاکتور عیار مس.



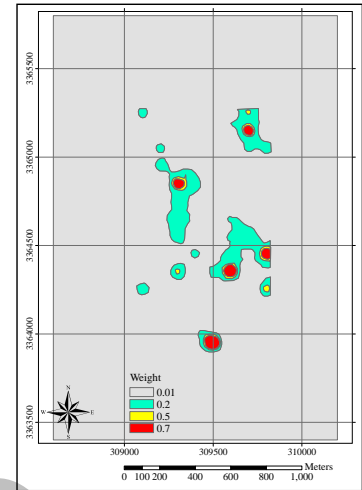
شکل ۷- نقشه فاکتور نشانه‌های معدنی محلی.



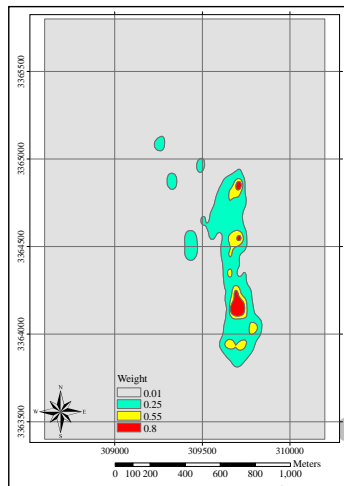
شکل ۱۰- نقشه فاکتور شماره بارش



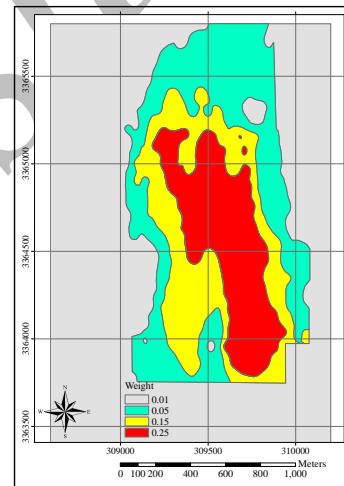
شکل ۹- نقشه فاکتور اندیس ادیتو (هاله مرکب).



۸- نقشه فاکتور عیار طلا.



شکل ۱۲- نقشه فاکتور فاکتور فلزی.



شکل ۱۱- نقشه فاکتور مقاومت ظاهری.

تشکیل شده‌اند و در کانی‌سازی نقش نداشته‌اند و برای آنها وزن حداقل (۰/۰۱) در نظر گرفته شده است.

نقشه فاکتور گسل‌های اصلی (B): با توجه به بررسی ویژگی‌های زمین‌شناسی، مشخص است که مهمترین فاکتور ساختاری مرتبط با کانی‌سازی در این منطقه، گسل‌ها هستند. گسل‌های این منطقه به دو دسته گسل‌های اصلی و فرعی تقسیم می‌شوند. گسل‌های اصلی منطقه دارای راستای شمالی- جنوبی تا شمال غربی- جنوب شرقی هستند که دارای گسترش زیاد و تراکم کم هستند. گسل‌های فرعی منطقه دارای امتدادی عمود بر گسل‌های اصلی منطقه هستند و همچنین جوانتر می‌باشند و دارای گسترش کم و تراکم زیاد می‌باشند. کانی‌سازی در کانسار چاه‌فیروزه در راستای شمالی- جنوبی صورت گرفته است و ارتباط تنگاتنگی بین گسل‌های اصلی منطقه و کانی‌سازی وجود دارد و در واقع مسبب کانی‌سازی سیالات وابسته به تنش‌های ماگماتیسم و تشدید کننده آن تنش‌های تکتونیکی همزمان بوده است. اما گسل‌های

نقشه فاکتور زون منشأ حرارت و سنگ میزبان (A): با توجه به بررسی ویژگی‌های زمین‌شناسی، داسیت پرفیری آلتره شده زون منشأ حرارت بوده و کانی‌سازی در آن صورت گرفته و به عنوان سنگ میزبان در نظر گرفته شده است. سنگ‌های ولکانیکی که توده داسیت پرفیری به درون آنها نفوذ کرده، به عنوان سنگ دیواره در نظر گرفته شده‌اند. سنگ دیواره شامل آندزیت تا آندزیت برشی و آندزیت تا آندزیت بازالت و توف می‌باشد. به دلیل آنکه این سنگها به تنهایی در کانی‌سازی تأثیری ندارند و تنها در مناطقی اهمیت دارند که با داسیت پرفیری آلتره شده همبندی دارند و در نتیجه این مجاورت امکان کانی‌سازی در آنها افزایش یافته است، در اطراف داسیت پرفیری آلتره شده ۶ بافر ۵ متری در نظر گرفته شده است. این بافرها تنها در مناطقی که در اطراف سنگ میزبان، سنگ دیواره مورد نظر وجود داشته باشد در نظر گرفته شده است. دیگر سنگ‌های منطقه (ولکانو کلاستیک و پیروکلاستیک نئوزن، کنگومرا و آبرفت کواترنری)، پس از کانی‌سازی

آنومالی‌های ممکن، احتمالی و قطعی تعیین و وزندهی شدند. ضمناً برای سایر مناطق وزن حداقل (۰/۰۱) در نظر گرفته شد.

نقشه فاکتور عیار طلا (G): با توجه به بررسی ویژگی‌های ژئوشیمی، طلا به عنوان عنصری که همبستگی بالایی با عنصر مس دارد، به عنوان یکی از فاکتورهای موثر شناخته شد. با توجه به اطلاعات موجود و نظرات کارشناسی، مقادیر موجود در میان پربندهای ۱۳ ppbt تا ۲۲ و ۲۲ ppbt تا ۴۰ و مقادیر بالای ۴۰ ppb به ترتیب بعنوان آنومالی‌های ممکن، احتمالی و قطعی تعیین و وزندهی شدند. ضمناً برای سایر مناطق وزن حداقل (۰/۰۱) در نظر گرفته شد.

نقشه فاکتور اندیس ادیتو (هاله مرکب) مس و مولیبدن (H): با توجه به بررسی ویژگی‌های ژئوشیمی، دو عنصر مس و مولیبدن با هم انطباق مناسبی داشته و هم‌رنز می‌باشند. در این راستا تهیه نقشه هاله مرکب جمعی (اندیس ادیتو) دو عنصر، به عنوان فاکتور چند عنصری در دستور کار قرار گرفت. جهت تعیین محدوده آنومالی اندیس ادیتو این دو عنصر (CuZScore+MoZScore) باید در ابتدا مقدار پارامتر فوق را برای تمام نقاط با استفاده از رابطه ۳ محاسبه نمود.

رابطه (۳)

$$\text{CuZScore} + \text{MoZScore} = \frac{(\text{Ln}(\text{Cu}) - \overline{\text{Ln}(\text{Cu}))}{\sigma(\text{Ln}(\text{Cu}))} + \frac{(\text{Ln}(\text{Mo}) - \overline{\text{Ln}(\text{Mo}))}{\sigma(\text{Ln}(\text{Mo}))}$$
 در رابطه فوق منظور از Cu, Mo, Ln(Cu), Ln(Mo), $\sigma(\text{Ln}(\text{Cu}))$ و $\sigma(\text{Ln}(\text{Mo}))$ بترتیب میزان عیار مس و مولیبدن، میانگین لگاریتم نپری میزان عیار مس و مولیبدن و انحراف معیار لگاریتم نپری میزان عیار مس و مولیبدن می‌باشد.

پس از ترسیم نقشه اندیس ادیتو دو عنصر فوق و مقایسه با نقشه آنومالی‌های عناصر مس و مولیبدن، دیده شد که همخوانی بسیار مناسبی بین این نقشه‌های آنومالی وجود دارد. با توجه به اطلاعات موجود و نظرات کارشناسی، مقادیر آستانه مربوط به آنومالی‌های قطعی، احتمالی و ممکن تعیین و وزندهی شد و برای سایر مناطق وزن حداقل (۰/۰۱) در نظر گرفته شد.

نقشه فاکتور شارژابیلیته (I): با توجه به بررسی ویژگی‌های ژئوفیزیک و همچنین توجه به اطلاعات موجود و نظرات کارشناسی، مقادیر موجود در میان پربندهای ۳۵ تا ۴۵ mv/v و ۴۵ تا ۵۰ mv/v مقادیر بالای ۵۰ mv/v به ترتیب بعنوان آنومالی‌های ممکن، احتمالی و قطعی تعیین و وزندهی شدند. ضمناً برای سایر مناطق وزن حداقل (۰/۰۱) در نظر گرفته شد.

نقشه فاکتور مقاومت ظاهری (J): با توجه به بررسی ویژگی‌های ژئوفیزیک و همچنین توجه به اطلاعات موجود و نظرات کارشناسی، مقادیر موجود در میان پربندهای ۵۰ تا ۱۰۰ ohm.m و ۲۵ تا ۵۰ ohm.m مقادیر کمتر از ۲۵ ohm.m به ترتیب بعنوان آنومالی‌های ممکن، احتمالی و قطعی تعیین و وزندهی شدند. ضمناً برای سایر

فرعی جوانتر بوده و ارتباط معناداری بین آنها و کانی‌سازی وجود ندارد. با توجه به نظرات کارشناسی، گسل‌های اصلی به عنوان فاکتور مهم ساختاری تشخیص داده شده‌اند و ۵ بافر ۱۵ متری در اطراف آنها در نظر گرفته شده است. اما برای گسل‌های فرعی با توجه به ارتباط ضعیف آنها با کانی‌سازی، وزن حداقل (۰/۰۱) در نظر گرفته شده است.

نقشه فاکتور دگرسانی (C): با توجه به بررسی ویژگی‌های زمین‌شناسی، دگرسانی‌های با اهمیت و مرتبط با کانی‌سازی در سطح نقشه شامل دگرسانی‌های فلیک و پروپیلیتی و به مقدار بسیار کم، دگرسانی پتاسیک می‌شود. در توده نفوذی داسیت پرفیری دگرسانی‌های فلیک و پتاسیک و در قسمت‌های بسیار کوچکی از آن نیز دگرسانی پروپیلیتی شدید دیده می‌شود و سنگ‌های آندزیتی ائوسن (درونگیر) عمدتاً دچار دگرسانی پروپیلیتی شده‌اند. در واقع دگرسانی‌های پتاسیک و فلیک در بخش مرکزی و دگرسانی پروپیلیتی معمولاً در حاشیه است. این دگرسانی‌ها در بخش مرکزی پیشرفته و شدید و با فاصله‌گیری از منطقه کانی‌دار، ضعیف و کم اهمیت می‌گردد. با توجه به اهمیت انواع دگرسانی در کانی‌سازی مس پرفیری و نظرات کارشناسی و نحوه گستردگی انواع دگرسانی‌ها، وزن‌هایی مطابق جدول ۲ به آنها منتسب گردید.

نقشه فاکتور نشانه‌های کانی‌سازی (D): با توجه به بررسی ویژگی‌های زمین‌شناسی، این فاکتور به عنوان یکی از فاکتورهای موثر شناخته شد. در دو نقطه از محدوده مورد مطالعه نشانه‌های کانی‌سازی دیده شده است. در یکی از این نقاط کالکوپیریت، پیریت، مالاکیت و آزوریت دیده شده است و در نقطه دیگر مالاکیت و آزوریت دیده شده است. لازم به ذکر است که نقطه اول در نزدیکی معدن متروکه چاه-فیروزه قرار دارد. با توجه به اهمیت فاکتور نشانه‌های کانی‌سازی و نظرات کارشناسی، ۴ بافر ۱۵ متری در اطراف آنها در نظر گرفته شده است.

نقشه فاکتور عیار مس (E): با توجه به بررسی ویژگی‌های ژئوشیمی، عنصر مس به عنوان عنصر اصلی و یکی از فاکتورهای موثر شناخته شد. با توجه به اطلاعات موجود و نظرات کارشناسی، مقادیر موجود در میان پربندهای ۱۵۰ تا ۴۵۰ ppm و ۴۵۰ تا ۱۳۵۰ ppm و مقادیر بالای ۱۳۵۰ ppm به ترتیب بعنوان آنومالی‌های ممکن، احتمالی و قطعی تعیین و وزندهی شدند. ضمناً برای سایر مناطق وزن حداقل (۰/۰۱) در نظر گرفته شد.

نقشه فاکتور عیار مولیبدن (F): با توجه به بررسی ویژگی‌های ژئوشیمی، مولیبدن به عنوان عنصری که همبستگی بالایی با عنصر مس دارد، به عنوان یکی از فاکتورهای موثر شناخته شد. با توجه به اطلاعات موجود و نظرات کارشناسی، مقادیر موجود در میان پربندهای ۳ تا ۳ ppm و ۵ تا ۵ ppm مقادیر بالای ۵ ppm به ترتیب بعنوان

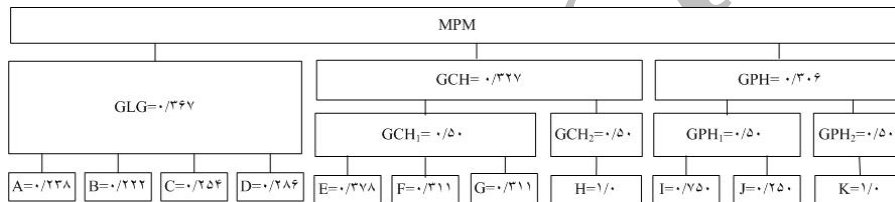
شبکه استنتاجی مورد استفاده به تناسب از مدل‌های همپوشانی شاخص و عملگرهای مختلف منطق فازی استفاده شده است. در شکل (۱۳) شبکه استنتاجی مورد استفاده در تهیه نقشه پتانسیل معدنی اندیس چاه‌فیروزه به همراه بزرگترین وزن هر فاکتور که نسبت به سایر اوزان هر فاکتور اصلی (فاکتور زمین‌شناسی، فاکتور ژئوشیمی، فاکتور ژئوفیزیک) نرمال شده، آمده است. ضمناً پارامترهای موجود در شبکه استنتاجی مذکور در جدول (۳) معرفی شده‌اند. با استفاده از این شبکه استنتاجی و وزن‌های نمایش داده شده در جدول (۲)، نقشه پتانسیل معدنی اندیس چاه‌فیروزه تهیه گردید. روال تهیه نقشه پتانسیل معدنی در شکل‌های (۱۴) تا (۱۹) نمایش داده شده است. به منظور ارزیابی نتایج، استفاده از داده‌های گمانه‌های اکتشافی در دستور کار قرار گرفت. در اندیس چاه‌فیروزه، بعد از انجام مطالعات اکتشافی ۲۶ گمانه

مناطق وزن حداقل (۰/۰۱) در نظر گرفته شد.

نقشه فاکتور فاکتور فلزی (K): با توجه به بررسی ویژگی‌های ژئوفیزیکی، بین محدوده زون ناهنجاری شارژاییلیتیه و محدوده مقاومت ظاهری انطباق نسبتاً خوبی دیده شد که این امر تهیه نقشه فاکتور فلزی را به عنوان یک نقشه ترکیبی مورد تاکید قرار داد. با توجه به اطلاعات موجود و نظرات کارشناسی، مقادیر موجود در میان پربندهای ۴۰۰۰ تا ۵۰۰۰ mhos/m و ۵۰۰۰ تا ۵۵۰۰ mhos/m مقادیر بالای ۵۵۰۰ mhos/m به ترتیب بعنوان آنومالی‌های ممکن، احتمالی و قطعی تعیین و وزندهی شدند. ضمناً برای سایر مناطق وزن حداقل (۰/۰۱) در نظر گرفته شد.

۴- تلفیق نقشه‌ها و ارزیابی نتایج

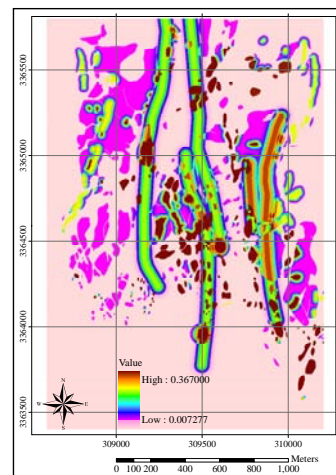
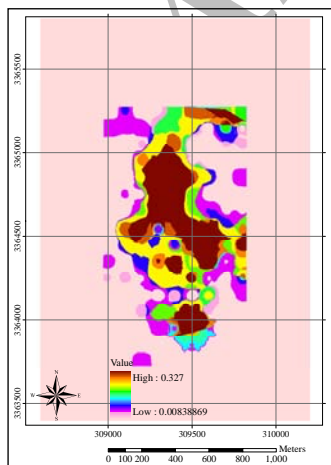
به منظور تهیه نقشه پتانسیل معدنی در مرحله تفصیلی بایستی نقشه‌های فاکتور را مطابق با شبکه استنتاجی مناسبی با هم تلفیق نمود. در



شکل ۱۳- شبکه استنتاجی و وزن‌های نرمال شده مورد استفاده در تهیه نقشه پتانسیل معدنی اندیس چاه‌فیروزه.

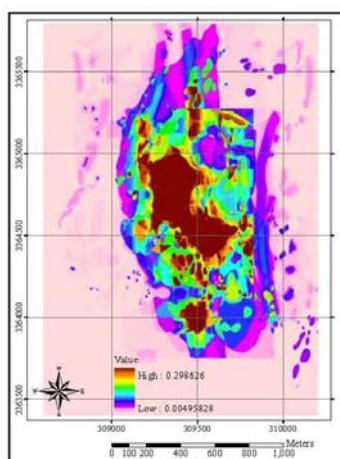
جدول ۳- معرفی پارامترهای موجود در شبکه استنتاجی.

| | |
|------------------|--|
| GLG | نقشه فاکتور زمین شناسی با استفاده از عملگر فازی گاما |
| GCH ₁ | تلفیق با استفاده از عملگر فازی گاما |
| GCH ₂ | نرمال شده ادیتو مس و مولیبدن |
| GCH | نقشه فاکتور ژئوشیمی با استفاده از عملگر همپوشانی شاخص |
| GPH ₁ | تلفیق با استفاده از عملگر فازی Sum |
| GPH ₂ | نرمال شده فاکتور فلزی |
| GPH | نقشه فاکتور ژئوفیزیک با استفاده از عملگر همپوشانی شاخص |
| MPM | نقشه پتانسیل معدنی با استفاده از عملگر فازی گاما |

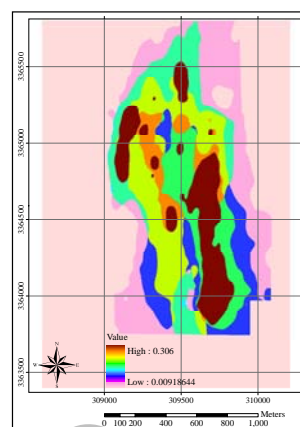


شکل ۱۵- نقشه پتانسیل معدنی ژئوشیمی نرمال شده.

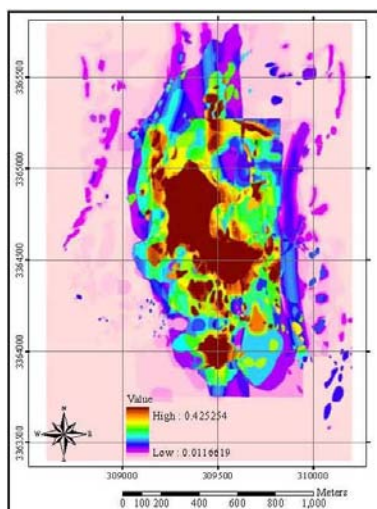
شکل ۱۴- نقشه پتانسیل معدنی زمین‌شناسی نرمال شده عملگر فازی Gamma = ۰/۸۹.



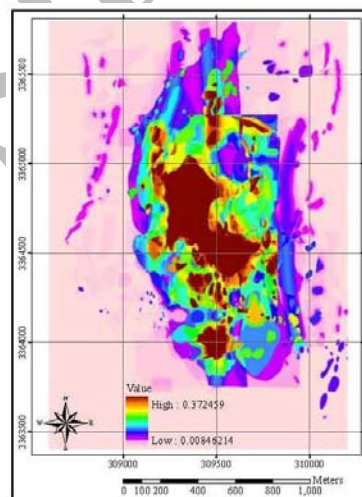
شکل ۱۷- نقشه پتانسیل معدنی با استفاده از عملگر فازی $\text{Gamma} = 0.85$.



شکل ۱۶- نقشه پتانسیل معدنی ژئوفیزیک نرمال شده.



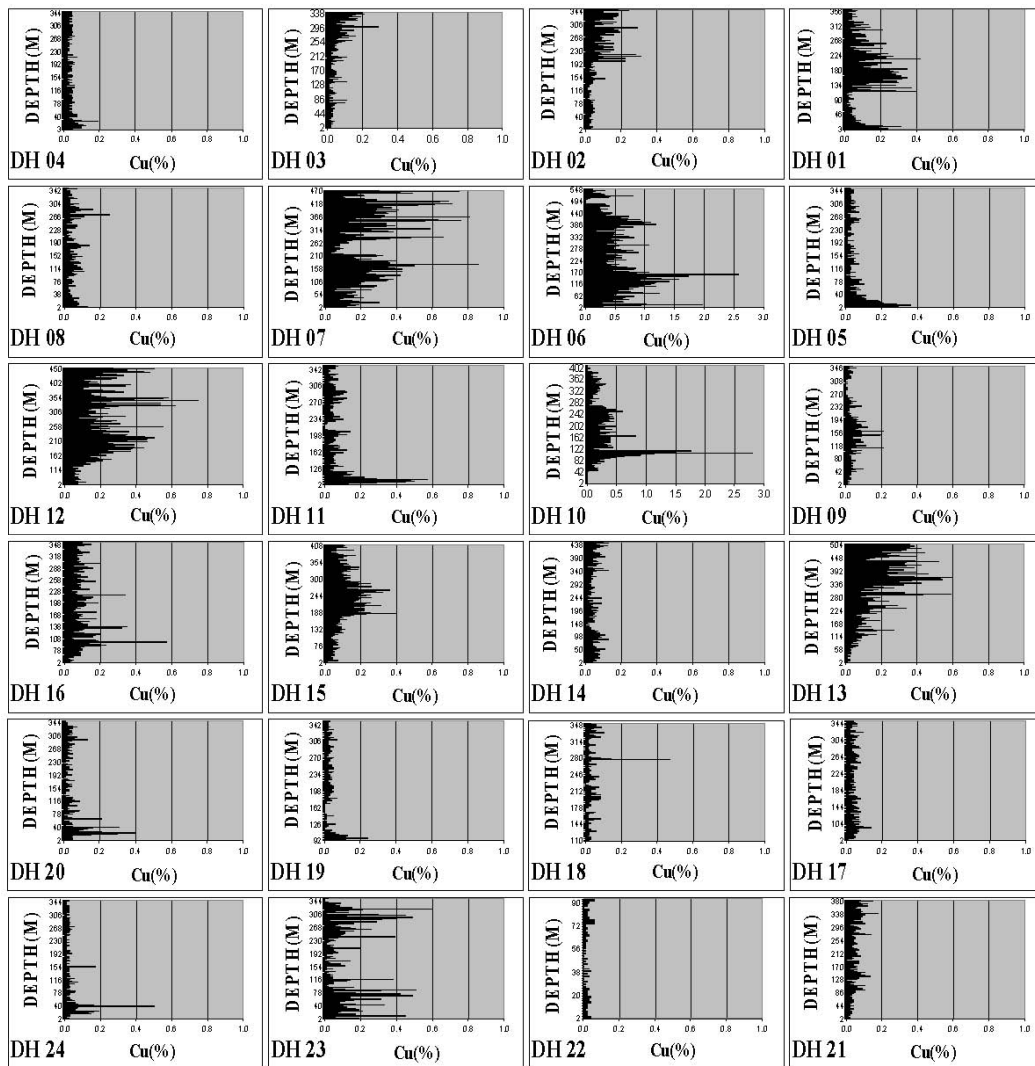
شکل ۱۹- نقشه پتانسیل معدنی با استفاده از عملگر فازی $\text{Gamma} = 0.93$.



شکل ۱۸- نقشه پتانسیل معدنی با استفاده از عملگر فازی $\text{Gamma} = 0.9$.

موقعیت مکانی گمانه‌های اکتشافی با نتایج حفاری آن گمانه‌ها استفاده گردید. بدین ترتیب با توجه به روشهای کلاسه بندی موجود، هر نقشه پتانسیل معدنی به کلاسهای مختلف تفکیک گردید. سپس مقادیر پیکسل‌های مربوط به گمانه‌های اکتشافی در نقشه پتانسیل معدنی استخراج گردید. با توجه به مقادیر پیکسل‌های هر گمانه، کلاس آن گمانه تعیین گردید. به عبارت دیگر از نقطه نظر نقشه پتانسیل معدنی کلاس هر گمانه با توجه به مقادیر هر پیکسل در یکی از کلاسهای تعریف شده تعیین گردید. کلاس تعیین شده برای هر چاه با وضعیت هر گمانه مقایسه گردید. نتایج ارزیابی فوق در جدول (۴) ارائه گردیده است. همچنین انطباق گمانه‌های اکتشافی حفر شده با نقشه پتانسیل معدنی کانسار چاه‌فیروزه که با استفاده از روش Manual و به صورت سه و پنج کلاسه دسته‌بندی شده است، بترتیب در شکل‌های (۲۱) تا (۲۳) و (۲۴) تا (۲۶) ارائه شده است.

اکتشافی حفاری شده است که اطلاعات مربوط به ۲۴ گمانه در اختیار قرار گرفته است (الماسی ۱۳۸۶). در این مرحله اطلاعات مربوط به این گمانه‌ها در محیط GIS آماده‌سازی گردید. به منظور ارزیابی نتایج حفاری، پروفیل تغییرات میزان عیار مس، در عمق هر گمانه ترسیم گردید. پروفیل‌های فوق در شکل (۲۰) نمایش داده شده است. با توجه به تغییرات میزان عیار مس در هر یک از گمانه‌ها و نیز بررسی مقادیر بیشینه و کمینه و همچنین متوسط عیار مس در هر یک از گمانه‌های موجود، هر یک از گمانه‌ها از لحاظ میزان عیار عنصر مس در کلاس معینی قرار گرفتند. در بررسی سه کلاسه یکی از سه وضعیت خوب، متوسط و ضعیف و 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. در این مرحله به منظور ارزیابی نقشه‌های پتانسیل معدنی، از انطباق مقادیر پیکسل‌های نقشه فوق در



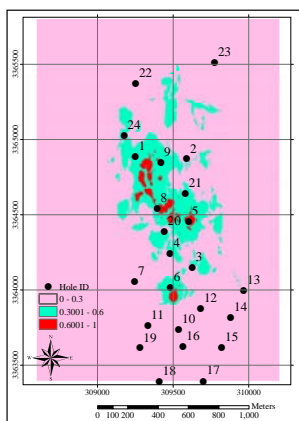
شکل ۲۰- پروفیل تغییرات میزان عیار مس در عمق گمانه‌های اکتشافی اندیس مس چاه‌فیلروزه کرمان (گمانه‌های ۱ تا ۲۴).

جدول ۴- ارزیابی میزان تطابق در نقشه پتانسیل معدنی تهیه شده با استفاده از روش Manual سه و پنج کلاسه.

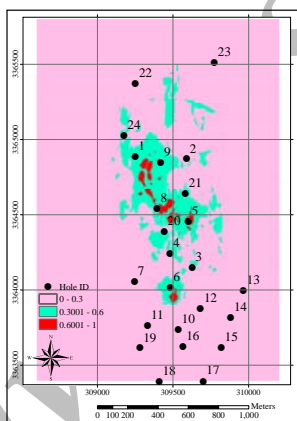
| خ = خیلی | | Gamma = -/۱۵ | | | | | Gamma = -/۱۰ | | | | | Gamma = -/۴ | | | | | |
|-------------|-------------|--------------|-----------|---------------|-----------------|---------------|-----------------|-----------|---------------|-----------------|---------------|-----------------|-----------|---------------|-----------------|---------------|-----------------|
| شماره گمانه | وضعیت گمانه | وضعیت گمانه | وزن گمانه | وضعیت ۳ کلاسه | ارزیابی ۳ کلاسه | وضعیت ۵ کلاسه | ارزیابی ۵ کلاسه | وزن گمانه | وضعیت ۳ کلاسه | ارزیابی ۳ کلاسه | وضعیت ۵ کلاسه | ارزیابی ۵ کلاسه | وزن گمانه | وضعیت ۳ کلاسه | ارزیابی ۳ کلاسه | وضعیت ۵ کلاسه | ارزیابی ۵ کلاسه |
| ۱ | متوسط | ضعیف | ۰/۳۱۴۴ | متوسط | ۰ | ضعیف | ۰ | ۰/۳۶۵۱ | متوسط | ۰ | ضعیف | ۰ | ۰/۳۹۹۷ | متوسط | ۰ | ضعیف | ۰ |
| ۲ | ضعیف | خ | ۰/۲۰۹۱ | ضعیف | ۰ | خ | ضعیف | ۰/۲۴۴۲ | ضعیف | ۰ | خ | ضعیف | ۰/۲۶۸۱ | ضعیف | ۰ | ضعیف | -۱ |
| ۳ | ضعیف | خ | ۰/۱۶۱۱ | ضعیف | ۰ | خ | ضعیف | ۰/۱۹۱۵ | ضعیف | ۰ | خ | ضعیف | ۰/۲۱۲۸ | ضعیف | ۰ | ضعیف | خ |
| ۴ | ضعیف | خ | ۰/۳۱۵۱ | متوسط | -۱ | ضعیف | -۱ | ۰/۲۷۷۲ | ضعیف | ۰ | ضعیف | -۱ | ۰/۳۵۱۳ | متوسط | -۱ | ضعیف | -۱ |
| ۵ | ضعیف | خ | ۰/۵۲۹۹ | متوسط | -۱ | متوسط | -۲ | ۰/۶ | متوسط | -۱ | متوسط | -۲ | ۰/۵۷۷۴ | متوسط | -۱ | متوسط | -۲ |
| ۶ | خوب | خ | ۰/۵۱۴۰ | متوسط | -۱ | متوسط | -۲ | ۰/۴۴۱۵ | متوسط | -۱ | متوسط | -۲ | ۰/۴۶۴۵ | متوسط | -۱ | متوسط | -۲ |
| ۷ | خوب | خوب | ۰/۰۲۳۶ | ضعیف | -۲ | خ | -۳ | ۰/۰۵۴۷ | ضعیف | -۲ | خ | -۳ | ۰/۰۶۲۴ | ضعیف | -۲ | خ | -۳ |
| ۸ | ضعیف | خ | ۰/۲۲۸۹ | ضعیف | ۰ | خ | ضعیف | ۰/۲۶۸۴ | ضعیف | ۰ | ضعیف | -۱ | ۰/۲۹۵۵ | ضعیف | ۰ | ضعیف | -۱ |
| ۹ | ضعیف | خ | ۰/۵۲۵۲ | متوسط | -۱ | متوسط | -۲ | ۰/۵۶۲۹ | متوسط | -۱ | متوسط | -۲ | ۰/۵۸۶۶ | متوسط | -۱ | متوسط | -۲ |
| ۱۰ | خوب | خوب | ۰ | ضعیف | -۲ | خ | -۳ | ۰/۰۰۵۵ | ضعیف | -۲ | خ | -۳ | ۰/۰۰۶۳ | ضعیف | -۲ | خ | -۳ |
| ۱۱ | ضعیف | خ | ۰ | ضعیف | ۰ | خ | ضعیف | ۰/۰۱۰۷ | ضعیف | ۰ | خ | ضعیف | ۰/۰۱۲۶ | ضعیف | ۰ | خ | ضعیف |

ادامه جدول ۴

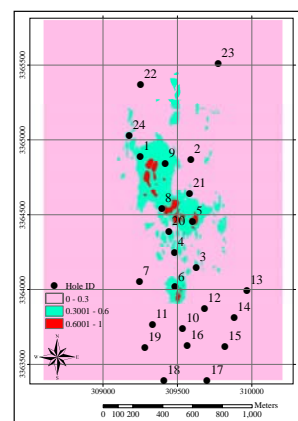
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|-------|--------|--------|---------|---------|--------|---------|--------|---------|----|---------|----|---------|-------|----|--------|----|--|
| ۱۲ | متوسط | متوسط | ۰/۰۹۵۰ | ضعیف | -۱ | خ ضعیف | -۲ | ۰/۱۲۲۵ | ضعیف | -۱ | خ ضعیف | -۲ | ۰/۱۴۶۰ | ضعیف | -۱ | خ ضعیف | -۲ | |
| ۱۳ | متوسط | متوسط | ۰/۰۳۵۴ | ضعیف | -۱ | خ ضعیف | -۲ | ۰/۰۴۴۸ | ضعیف | -۱ | خ ضعیف | -۲ | ۰/۰۵۱۵ | ضعیف | -۱ | خ ضعیف | -۲ | |
| ۱۴ | ضعیف | خ ضعیف | ۰/۰۲۸۶ | ضعیف | ۰ | خ ضعیف | ۰ | ۰/۰۳۷۱ | ضعیف | ۰ | خ ضعیف | ۰ | ۰/۰۴۳۵ | ضعیف | ۰ | خ ضعیف | ۰ | |
| ۱۵ | ضعیف | ضعیف | ۰ | ضعیف | ۰ | خ ضعیف | -۱ | ۰ | ضعیف | ۰ | خ ضعیف | -۱ | ۰ | ضعیف | ۰ | خ ضعیف | -۱ | |
| ۱۶ | ضعیف | خ ضعیف | ۰ | ضعیف | ۰ | خ ضعیف | ۰ | ۰ | ضعیف | ۰ | خ ضعیف | ۰ | ۰ | ضعیف | ۰ | خ ضعیف | ۰ | |
| ۱۷ | ضعیف | خ ضعیف | ۰ | ضعیف | ۰ | خ ضعیف | ۰ | ۰ | ضعیف | ۰ | خ ضعیف | ۰ | ۰ | ضعیف | ۰ | خ ضعیف | ۰ | |
| ۱۸ | ضعیف | خ ضعیف | ۰ | ضعیف | ۰ | خ ضعیف | ۰ | ۰ | ضعیف | ۰ | خ ضعیف | ۰ | ۰ | ضعیف | ۰ | خ ضعیف | ۰ | |
| ۱۹ | ضعیف | خ ضعیف | ۰ | ضعیف | ۰ | خ ضعیف | ۰ | ۰ | ضعیف | ۰ | خ ضعیف | ۰ | ۰ | ضعیف | ۰ | خ ضعیف | ۰ | |
| ۲۰ | ضعیف | خ ضعیف | ۰/۱۷۹۵ | ضعیف | ۰ | خ ضعیف | ۰ | ۰/۲۱۲۴ | ضعیف | ۰ | خ ضعیف | ۰ | ۰/۲۳۵۰ | ضعیف | ۰ | خ ضعیف | ۰ | |
| ۲۱ | ضعیف | خ ضعیف | ۰/۲۷۱۱ | ضعیف | ۰ | ضعیف | -۱ | ۰/۳۰۲۰ | متوسط | -۱ | ضعیف | -۱ | ۰/۳۲۲۷ | متوسط | -۱ | ضعیف | -۱ | |
| ۲۲ | ضعیف | خ ضعیف | ۰/۱۰۱۵ | ضعیف | ۰ | خ ضعیف | ۰ | ۰/۱۴۷۳ | ضعیف | ۰ | خ ضعیف | ۰ | ۰/۱۶۳۹ | ضعیف | ۰ | خ ضعیف | ۰ | |
| ۲۳ | متوسط | متوسط | ۰/۰۰۸۲ | ضعیف | -۱ | خ ضعیف | -۲ | ۰/۰۱۰۷ | ضعیف | -۱ | خ ضعیف | -۲ | ۰/۰۱۲۶ | ضعیف | -۱ | خ ضعیف | -۲ | |
| ۲۴ | ضعیف | خ ضعیف | ۰/۳۶۷۸ | متوسط | -۱ | ضعیف | -۱ | ۰/۴۲۰۶ | متوسط | -۱ | متوسط | -۲ | ۰/۴۵۵۸ | متوسط | -۱ | متوسط | -۲ | |
| میزان تطابق | | | | % ۷۲/۷۲ | % ۷۴/۴۲ | | % ۷۲/۷۲ | | % ۷۰/۹۳ | | % ۷۰/۴۶ | | % ۷۰/۹۳ | | | | | |



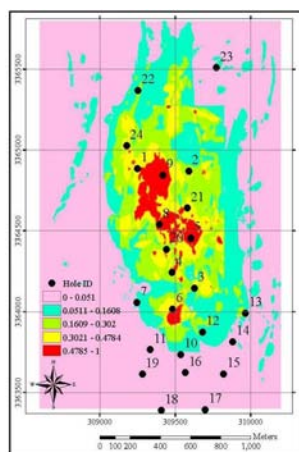
شکل ۲۳- انطباق گمانه‌های اکتشافی با نقشه پتانسیل معدنی (Gamma=۰/۹۳).



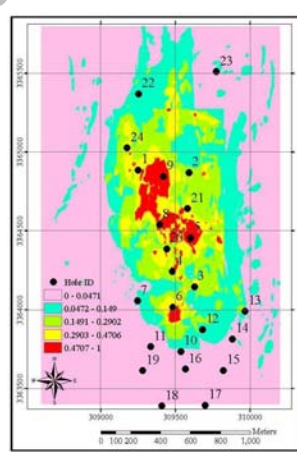
شکل ۲۲- انطباق گمانه‌های اکتشافی با نقشه پتانسیل معدنی (Gamma=۰/۹).



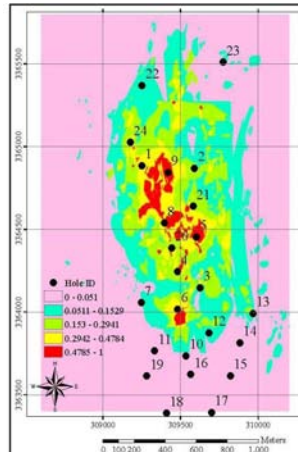
شکل ۲۱- انطباق گمانه‌های اکتشافی با نقشه پتانسیل معدنی (Gamma=۰/۸۵).



شکل ۲۶- انطباق گمانه‌های اکتشافی با نقشه پتانسیل معدنی (Gamma=۰/۹۳).



شکل ۲۵- انطباق گمانه‌های اکتشافی با نقشه پتانسیل معدنی (Gamma=۰/۹).



شکل ۲۴- انطباق گمانه‌های اکتشافی با نقشه پتانسیل معدنی (Gamma=۰/۸۵).

آوری، مرتب سازی، ذخیره سازی، بازیابی، پردازش و تحلیل داده‌های فضایی می‌باشد. از آنجا که سامانه‌های اطلاعات مکانی، دارای

نتیجه گیری و پیشنهادات
سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) به عنوان ابزاری توانمند در جمع-

گامای ۰/۸۵/ بیشترین تطابق به میزان ۷۴/۴۲ درصد را در پیش‌بینی نتایج گمانه‌های موجود داشته است و انجام عملیات حفاری جدید تنها در مناطق مستعد مشخص شده بر روی این نقشه‌ها توصیه می‌شود. ضمناً در صورت انجام این مطالعات قبل از انجام عملیات حفاری و تنها با فرض عدم حفر گمانه‌های اکتشافی در مناطقی که دارای وضعیت ضعیف یا خیلی ضعیف می‌باشند، با استفاده از نقشه‌های سه و پنج کلاسه بترتیب ۵۴/۲ و ۶۶/۷ درصد از گمانه‌ها حفاری نشده بود. با توجه به مطالعات صورت گرفته در این تحقیق، با بکارگیری GIS و منطق فازی در تعیین نقاط حفاری حداقل از حفاری ۵۵۰۰ متر گمانه اکتشافی ممانعت به عمل آمده و حدود ۸۰۰ میلیون تومان در هزینه‌های حفاری صرفه‌جویی به عمل می‌آمد.

تشکر و قدردانی

نگارندگان این مقاله بر خود لازم می‌دانند تا از همکاری مدیریت امور اکتشافات و مهندسی توسعه شرکت ملی صنایع مس ایران به ویژه مهندس نادر صاحب الزمانی و مهندس رضا اصفهانی‌پور به دلیل در اختیار قرار دادن داده‌های مورد نیاز و همچنین همکاری در تشکیل جلسات کارشناسی تشکر و قدردانی نمایند.

توانمندی‌های فراوان در حمایت از تصمیم‌گیری می‌باشند، دارای کاربردهای وسیعی در عرصه‌های مختلف برنامه‌ریزی، مدیریت و تصمیم‌گیری بوده و روز به روز بر حوزه‌های کاربردی آنها افزوده می‌شود. این سیستم می‌تواند بعنوان علم و فناوری بهینه در جهت ساماندهی، پردازش، تحلیل و تلفیق نتایج حاصل از مطالعات زمین‌شناسی، ژئوشیمی و ژئوفیزیک به منظور شناسایی و ارزیابی پتانسیل‌های معدنی مختلف از جمله مس مورد استفاده قرار گیرد. با تکیه بر بررسی‌های انجام شده استفاده تلفیقی از عملگرهای منطق فازی و مدل همپوشانی شاخص ضمن مرتفع نمودن نقایص موجود در سایر مدل‌ها، امکان ترکیب قابل انعطاف‌تر نقشه‌های فاکتور را فراهم می‌سازد. همچنین استفاده از مدل تلفیقی مذکور تعیین بهینه نقاط حفاری در مطالعات تفصیلی را امکان‌پذیر می‌نماید.

با توجه به نقشه پتانسیل معدنی تهیه شده در این تحقیق، مناطق پتانسیل‌دار به لحاظ وجود کانی‌سازی مس پرفیری در نواحی مرکزی منطقه و با گسترش شمالی- جنوبی تعیین شد. در نهایت با انطباق گمانه‌های اکتشافی حفر شده با نقشه‌های پتانسیل معدنی نهایی، میزان تطابق در پیش‌بینی نتایج گمانه‌های موجود محاسبه گردید.

بر این اساس در دسته‌بندی سه کلاسه نتایج حاصل از روش Manual با گام‌های ۰/۸۵ و ۰/۹۰ بیشترین تطابق به میزان ۷۲/۷۳ درصد و در دسته‌بندی پنج کلاسه نیز نتایج حاصل از روش Manual با

منابع:

- اسکوئی ر. ۱۳۸۴: مطالعات ژئوفیزیکی در محدوده چاه‌فیروزه. شرکت ملی صنایع مس ایران، امور اکتشافات و مهندسی توسعه، شرکت صمان کاو. اصفهانی‌پور ر.، تقی‌زاده ح.، ایرانمنش م.ر.، خراسانی ک. ۱۳۸۴: اکتشافات ژئوشیمیایی به روش Soil Sampling در منطقه چاه‌فیروزه. شرکت ملی صنایع مس ایران، امور اکتشافات و مهندسی توسعه.
- الماسی ع. ۱۳۸۶: نتایج حفاری‌های صورت گرفته در منطقه چاه‌فیروزه. شرکت ملی صنایع مس ایران، امور اکتشافات و مهندسی توسعه، شرکت پارس اولنگ.
- حاج ملا علی ا. ۱۳۸۵: گزارش نهایی مطالعات زمین‌شناسی و آلتراسیون محدوده چاه‌فیروزه در مقیاس ۱:۱۰۰۰. شرکت ملی صنایع مس ایران، امور اکتشافات و مهندسی توسعه، مهندسین مشاور کان ایران.
- Agterberg F.P., Bonham-Carter G.F. 1990: Deriving weights of evidence from geoscience contour maps for prediction of discrete events. *Proceedings of the 22nd APCOM Symposium, Berlin, Germany*. 2: 381-395.
- Agterberg F.P. 1992: Combining indicator patterns in weights of evidence modeling for resource estimation. *Nonrenewable Resources*. 1: 39-50.
- 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*. 27: 1-11.
- Asadi H.H. 2000: The Zarshuran gold deposit model applied in mineral exploration GIS in Iran, PhD Thesis. ITC, Netherlands, 190pp.
- Asadi H.H., Hale M. 2001: A predictive GIS model for mapping potential gold and base metal mineralization in Takab area, Iran, *Computer & Geosciences*. 27: 901-912.
- Boleneus D.E., Raines G.L., Causey J.D., Bookstrom A.A., Frost T.P., Hyndman P.C. 2001: Assessment method for epithermal gold deposits in northeast Washington State using weights-of-evidence GIS modeling. USGS Open-File Report 01-501, 52 pp.
- Bonham-Carter G.F. 1994: Geographic information systems for geoscientists: modeling with GIS, Pergamon Press, Ontario,

- Canada.
- Brown W.M., Gedeon T.D., Groves D.I., Barnes R.G. 2000: Artificial neural networks: a new method for mineral prospectivity mapping: *Australian Journal of Earth Sciences*. **47**: 757-770.
- Carranza E.J.M., Hale M. 2001: Geologically constrained fuzzy mapping of gold mineralization potential, Baguio district, Philippines. *Natural Resources Research*. **10**: 125-136.
- Carranza J. 2002: Geographically-Constrained mineral potential mapping, PhD Thesis, Delft University of Technology, The Netherlands. 480 pp.
- Karimi M., Menhaj M.B., Mesgari M.S. 2008: Mineral potential mapping of copper minerals using fuzzy logic in GIS environment, *ISPRS 2008*, Beijing, China.
- Malczewski J. 1999: GIS and multicriteria decision analysis, *John Wiley & Sons INC*. 392 pp.
- Mukhopadhyay B., Hazra N., Kumar Das S., Sengupta S.R. 2002: Mineral potential map by a knowledge driven GIS modeling: an example from Singhbhum Copper Belt, Jharkhad, Proceedings of 5th annual international conference Map India 2002, New Delhi, pp 405-411.
- Porwal A., Carranza E.J.M., Hale M. 2003: Knowledge-driven and data-driven fuzzy models for predictive mineral potential mapping. *Natural Resources Research*. **12**: 1-25.
- Porwal A. 2006: Mineral potential mapping with mathematical geological models. Ph.D. Thesis, University of Utrecht, The Netherlands. **289** pp.
- Wright D.F., Bonham-Carter G.F. 1996: VHMS favorability mapping with GIS-based integration models, Chisel-Andersen Lake area. *Geological Survey of Canada, Bulletin*. **426**: 339-376.
- Zadeh L.A. 1965: Fuzzy sets. *IEEE Information and Control*. **8**: 338-353.

Archive of SID