

# ارائه روش‌شناسی تعیین نقاط حفاری اندیس مس نوچون با استفاده از منطق فازی در GIS

غلامرضا الیاسی<sup>۱\*</sup>، محمد کریمی<sup>۲</sup>، عباس بحرودی<sup>۱</sup> و امیر عادل سرچشمه<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup> گروه مهندسی اکتشاف معدن، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه تهران، تهران، ایران  
<sup>۲</sup> گروه GIS، دانشکده نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۸۷/۰۷/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۸/۰۱/۳۱

## چکیده

حجم زیاد نقشه‌ها از منابع مختلف، در مقیاس‌ها و قالب‌های متفاوت و با سلیقه‌های فردی گوناگون و عدم وجود راه‌کارهای مناسب در تلفیق حجم وسیع اطلاعات، تهیه نقشه پتانسیل معدنی را با مشکل مواجه ساخته است. استفاده از علم و فناوری سامانه اطلاعات جغرافیایی، افزون‌بر آن که 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 فضایی مورد استفاده قرار گیرد. در این مقاله، نقشه پتانسیل معدنی اندیس مس نوچون به منظور تعیین نقاط حفاری تهیه شده است. لایه‌های مورد استفاده شامل لایه‌های تپ سنگ‌شناسی، ساختار، دگرسانی، نشانه‌های کانی‌سازی، زون بی‌هنجاری قابلیت شارژپذیری (شارژاییته) مقاومت ظاهری، فاکتور فلزی، بی‌هنجاری عناصر مس و مولیبدن، ادیتو مس و مولیبدن هستند. پس از آماده‌سازی اطلاعات و تهیه نقشه‌های فاکتور و وزن‌دهی آنها، این نقشه‌ها در قالب یک شبکه استنتاجی تلفیق شدند. استفاده تلفیقی از عملگرهای منطق فازی و همپوشانی شاخص در شبکه استنتاجی افزون‌بر مرتفع نمودن نقایص موجود در دیگر مدل‌ها، امکان ترکیب قابل انعطاف‌تر نقشه‌های فاکتور را فراهم ساخته است. با توجه به نقشه پتانسیل معدنی تهیه شده، محتمل‌ترین منطقه از نظر وجود کانی‌سازی مس پورفیری در بخش شمال‌خاوری محدوده مورد مطالعه تعیین شد. در پایان با انطباق گمانه‌های اکتشافی با نقشه‌های پتانسیل معدنی نهایی، میزان تطابق نتایج بر اساس دو نوع کلاسه‌بندی نقشه پتانسیل معدنی به ترتیب برابر ۶۴/۵۲ و ۶۳/۱۶ درصد برآورد شد. گفتنی است در صورت انجام این مطالعات، پیش از انجام عملیات حفاری و تنها با فرض عدم حفر گمانه‌های اکتشافی در مناطق دارای وضعیت ضعیف یا خیلی ضعیف، ۲۶ درصد از گمانه‌ها حفاری نشده و حدود ۲۰۰ میلیون تومان در هزینه‌های حفاری صرفه‌جویی خواهد شد.

## کلیدواژه‌ها: سامانه اطلاعات جغرافیایی، نقشه پتانسیل معدنی، منطق فازی، نوچون

\*نویسنده مسئول: غلامرضا الیاسی

## ۱- مقدمه

که باید به هر فاکتور داده می‌شد، وزن‌دهی و نقشه پتانسیل معدنی با استفاده از مدل‌های بولین، وزن‌های دوتایی، همپوشانی شاخص و منطق فازی تهیه شده است (Carter, 1994). عده‌ای از پژوهشگران دیگر مانند Carranza & Hale (2001); Carranza & Hale (2002); Porwal et al. (2003); Porwal (2006); Mukhopadhyay et al. (1996); Karimi et al. (2008); An et al. (1991) نیز روش منطق فازی را به منظور تهیه نقشه پتانسیل معدنی به کار برده‌اند. در این مقاله سعی شده تا با استفاده از وزن‌دهی به لایه‌های اطلاعاتی و شواهد کانی‌سازی موجود در اندیس مس نوچون و به کارگیری روش تلفیقی منطق فازی و همپوشانی شاخص، نقشه پتانسیل معدنی این اندیس در مقیاس تفصیلی و به منظور تعیین نقاط حفاری تهیه شود.

## ۲- تهیه نقشه پتانسیل معدنی

اکتشاف معدن، فعالیتی چند مرحله‌ای است که در مقیاس کوچک شروع و به مقیاس بزرگ منتهی می‌شود و سرانجام با انتخاب محل‌هایی به عنوان هدف برای حفاری به منظور دستیابی به ذخایر معدنی پایان می‌پذیرد (Carter, 1994). هدف نهایی GIS فراهم کردن پشتیبانی، برای تصمیم‌گیری‌های فضایی است. در فرایند تصمیم‌گیری فضایی باید چندین نوع از داده‌های فضایی همراه با هم در نظر گرفته شوند (Malczewski, 1999; Carter, 1994). تهیه نقشه پتانسیل معدنی، با هدف تعیین نقاط حفاری نیز به عنوان یک تصمیم‌گیری چند معیاری، مستلزم در نظر گرفتن همزمان چندین نوع نشانگر فضایی برای ذخایر معدنی مانند زمین‌شناسی، ساختار، ویژگی‌های ژئوشیمیایی و ژئوفیزیکی منطقه و همچنین محل، موقعیت و نوع اکتشافات معدنی گذشته است. هر یک از نشانگرهای یاد شده در قالب یک لایه اطلاعاتی در پیکره GIS به کار می‌روند. مدیر اکتشاف می‌تواند از GIS به منظور تلفیق داده‌ها و تهیه نقشه پتانسیل معدنی برای

با توجه به وسعت زیاد ایران و گستردگی مناطق پتانسیل دار ذخایر معدنی (وجود کمریند آتشفشانی ارومیه - دختر) و لزوم شناسایی و مدیریت درست این ذخایر، استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی دارای اهمیت بسیار بالایی است. با توجه به افزایش روزافزون داده‌ها و اطلاعات زمین مرجع و نیز تنوع و ارزش متفاوت آنها در بررسی‌های اکتشافی، دیگر روش‌های کلاسیک به تنهایی قادر به تجزیه و تحلیل منابع اطلاعاتی نیستند (Carter, 1994). امروزه GIS تحول‌انکار ناپذیری را در عرصه بررسی‌های ذخایر معدنی ایجاد نموده و سازماندهی و مدیریت داده‌های معدنی و اکتشافی را متحول ساخته است. استفاده از علم و فناوری GIS افزون‌بر ساماندهی اطلاعات مربوط به بررسی‌های اکتشاف ذخایر معدنی مورد استفاده، توانایی آن را دارد که تهیه و تلفیق لایه‌های مختلف اطلاعاتی را در چهارچوب مدل‌های مختلف، با سرعت و دقت بیشتری انجام دهد (Carter, 1994).

امروزه استفاده از GIS به منظور تهیه نقشه پتانسیل معدنی توسط دانشمندان علوم‌زمین رایج شده است. برای مثال سازمان زمین‌شناسی کانادا یک پروژه پژوهشی در زمینه اکتشافات فلزی گرانبها، با تمرکز بر روی ذخایر سولفید توده‌ای (ماسیو سولفاید) با منشأ آتشفشانی در کمریند شیست سبز ناحیه اسنولیک انجام داده است. در این پروژه در راستای تهیه نقشه پتانسیل معدنی پس از پردازش داده‌ها، نقشه فاکتورهای تشخیص کانی‌سازی وزن‌دهی و با استفاده از منطق فازی، ترکیب شدند. بر اساس نتایج این پروژه، همه ذخایر شناخته شده، در مناطق پتانسیل دار وجود داشتند (Wright & Carter, 1996). برای نمونه Bonham-Carter (1998) به منظور تهیه نقشه‌های پتانسیل معدنی در بخشی از سرزمین مگوما (Meguma) در جنوب خاوری نواسکوشیا (Nova Scotia) عوامل اصلی مدل مفهومی ذخیره معدنی را مورد بررسی قرار داده و فاکتورهای تشخیص کانی‌سازی را تعیین نموده‌اند. داده‌ها بر اساس وزنی

مختصر معرفی شده‌اند (Carter, 1994; An et al., 1991). در روابط ارائه شده  $n$  عامل کنترل‌کننده کانی‌سازی ترکیب می‌شوند و  $W_i$  بیانگر وزن لایه  $i$  ام است. در عمل ممکن است تعداد متنوعی از عملگرهای فازی در تهیه نقشه پتانسیل معدنی استفاده شوند. بنابراین به جای ترکیب همه نقشه‌ها با یک عملگر خاص مانند  $\gamma$ ، بهتر است 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. 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 هستند.

#### ۴- مطالعه موردی

اندیس مس نوچون در نزدیکی روستای نوچون و در دامنه‌های جنوب خاوری کوه منظر قرار دارد. این اندیس در چهار کیلومتری جنوب‌باختری معدن مس سرچشمه، حدود ۱۰ کیلومتری شمال خاوری پاریز و ۶۰ کیلومتری شمال شهر سیرجان واقع در استان کرمان، قرار دارد (برگه ۱:۱۰۰,۰۰۰ پاریز) (Yugoslavia report, 1972). نقشه زمین‌شناسی و موقعیت جغرافیایی اندیس مس نوچون در شکل ۱ ارائه شده است. بررسی‌های زمین‌شناسی اندیس نوچون در طی سال‌های ۱۳۴۹ تا ۱۳۵۰ توسط یوگوسلاوها انجام شده است. نتایج این بررسی‌ها به صورت نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۵۰,۰۰۰ است. ناحیه پیرامون اندیس نوچون، شامل یک مجموعه (کمپلکس) آتشفشانی- رسوبی است که چندین توده پولوتونیک و نیمه‌ژرف آتشفشانی با سن‌های گوناگون و ترکیب‌های متفاوت گرانیته، دیوریت پورفیریت و ریوداسیت در آنها نفوذ کرده‌اند. این سنگ‌های نفوذی، دگرسانی‌های همبری آشکاری را در ولکانیک‌های ائوسن پدید آورده‌اند و دگرسانی‌های گرمایی با شدت‌های متفاوت، بر روی ناحیه‌ای به نسبت وسیع توسعه یافته‌اند. نهشته‌های کواترنری نیز شامل آبرفت و نهشته‌های تالوس، بر روی بخش‌های وسیعی از این ناحیه گسترده شده‌اند. توالی توف‌ها و آندزیت‌های ائوسن، قدیمی‌ترین و گسترده‌ترین انواع سنگی موجود در ناحیه بوده و بخش‌های مرکزی، شمالی و شمال‌خاوری ناحیه نوچون را می‌پوشانند. کم و بیش بر روی کل ناحیه، این سنگ‌ها در معرض دگرگونی همبری قرار گرفته‌اند (Yugoslavia report, 1972). ریوداسیت‌ها، تعداد زیادی استوک و دایک‌های کوچک را در درون زون سنگ‌هایی که به صورت گرمایی دگرسان شده‌اند، تشکیل می‌دهند. آنها در درون زونی به وسعت  $7 \times 1/5$  کیلومتر مربع واقع می‌شوند که در جهت شمال‌خاوری- جنوب‌باختری کشیده شده است. بیشتر توده‌های ریوداسیتی به ظاهر در امتداد برخی ساختارهای از پیش موجود، در این جهت کشیده شده‌اند. اگرچه بیشتر توده‌های ریوداسیت در بخش شمال خاور ناحیه دیده می‌شوند، اما ممکن است که در بخش جنوب‌باختری ناحیه نیز، توده‌های مشابهی در زیر پوشش آبرفتی وجود داشته باشند (Yugoslavia report, 1972).

بر پایه ریخت‌شناسی کلی و همبری‌های زمین‌شناسی، می‌توان نتیجه گرفت که عامل ساختاری عمده، زمین‌ساخت‌های نوع گسلی است. گسل‌ها بویژه در جهت ENE-WSW در ناحیه فراوان و دارای اهمیت هستند. سنگ‌های قرار گرفته در میان این گسل‌ها به شدت خرد و جابه‌جا شده‌اند و کانال‌هایی را ایجاد کرده‌اند که محلول‌های گرمایی با عبور از درون آنها، باعث دگرسانی سنگ‌های اطراف شده‌اند. گسل خوردگی ثانویه WNW-ESE، گودال ساختاری را به دو بخش تقسیم کرده و بلوک خاوری نسبت به بلوک باختری، به سوی جنوب خاوری جابه‌جا شده است (Yugoslavia report, 1972). دگرسانی‌های شدید بیشتر در درون توده‌های نفوذی ریوداسیتی گسترده شده‌اند و جهت توده‌های ریوداسیتی و بیشتر دگرسانی‌های گرمایی شدید، به رابطه آنها با ساختارهای متمایل به شمال خاوری- جنوب‌باختری اشاره می‌کند.

تصمیم‌گیری در مورد اولویت‌های اکتشافی آینده استفاده کند (Carter, 1994). مراحل اصلی تهیه نقشه پتانسیل معدنی را می‌توان شامل موارد تعیین فاکتورهای تشخیص کانی‌سازی، آماده‌سازی اطلاعات، تهیه نقشه‌های فاکتور، تلفیق نقشه‌ها و ارزیابی نتایج دانست (Karimi et al., 2008a; Carter, 1994). در نهایت مناطق موجود بر روی نقشه پتانسیل با توجه به معیارهای موجود از نظر پتانسیل معدنی اولویت‌بندی می‌شوند.

#### ۳- معرفی مدل‌های تلفیق

مدل‌های تلفیق که به طور معمول در GIS به منظور اکتشاف ذخایر معدنی به کار گرفته شده است، شامل مدل‌های بولین، وزن‌های نشانگر، همپوشانی شاخص، منطق فازی و شبکه عصبی هستند. به دلیل اتکای روش وزن‌های نشانگر بر وجود ذخایر معدنی شناخته شده، این روش یکی از مناسب‌ترین روش‌ها در تهیه نقشه پتانسیل معدنی در بررسی‌های پی‌جویی اولیه بوده و در بررسی‌های نیمه تفصیلی و تفصیلی دارای اهمیت و کاربرد کمتری است و به همین دلیل در این بررسی مورد استفاده قرار نگرفته است. (Agterberg & Carter (1990); Agterberg (1992); Boleneus et al. (2001); Asadi (2000); Asadi & Hale (1999) این روش را به منظور تهیه نقشه پتانسیل معدنی در بررسی‌های پی‌جویی اولیه به کار گرفته‌اند.

شبکه‌های عصبی توانایی زیادی در حل مسائل پیچیده‌ای دارند که عوامل متعددی در فرایند و نتیجه آن تأثیر می‌گذارند.

در ارزیابی روش یاد شده، می‌توان گفت که این روش نیاز به داده‌های آموزشی داشته و تنها در مناطقی قابل استفاده است که متغیرهای واکنشی مانند پراکنندگی ذخایر معدنی شناخته شده و یا چاه‌های اکتشافی وجود داشته باشند. بنابراین روش شبکه‌های عصبی در بررسی‌های تفصیلی کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرد. (Brown et al. (2000) و Porwal (2006) اقدام به تهیه نقشه پتانسیل معدنی با استفاده از شبکه‌های عصبی نموده‌اند. استفاده تلفیقی از عملگرهای منطق فازی و همپوشانی شاخص در شبکه استنتاجی افزون‌بر مرتفع نمودن نقایص موجود در دیگر مدل‌ها، امکان ترکیب قابل انعطاف‌تر نقشه‌های فاکتور را فراهم نموده و در این نوشتار نیز به کار گرفته شده است. در ادامه دو مدل یادشده به صورت اختصار ارائه می‌شود.

#### ۳-۱. مدل همپوشانی شاخص

در این روش فاکتورها بسته به اهمیت آنها وزن‌دار و مطابق با یک الگوی هدفمند با یکدیگر ترکیب می‌شوند. در بررسی‌های اکتشافی که به طور معمول نقشه‌های معیار، نقشه‌های چند کلاسه هستند، به منظور تلفیق نقشه‌ها از رابطه (۱) استفاده می‌شود.

$$\bar{S} = \frac{\sum_{i=1}^n S_{ij} W_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad (\text{رابطه ۱})$$

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

#### ۳-۲. منطق فازی

در نظریه کلاسیک مجموعه‌ها، عضویت یک عنصر در یک مجموعه به عنوان صفر و یا یک تعریف می‌شود. در نظریه فازی مجموعه‌ها، مجموعه فازی به عنوان یک زیر مجموعه از عناصری تعریف می‌شود که درجه عضویتشان در مجموعه بین صفر و یک است (Zadeh, 1965). مقادیر عضویت فازی مانند وزن‌های موجود در روش همپوشانی شاخص، می‌توانند بر اساس قضاوت ذهنی درباره اهمیت نسبی نقشه‌ها و کلاس‌های موجود در هر نقشه و یا بر اساس داده‌ها تعیین شوند. به منظور تلفیق داده‌های اکتشافی ذخایر معدنی، پنج عملگر فازی مفید تشخیص داده شده است که در جدول ۱ به صورت

اقدام به تعیین فاکتورهای مؤثر در رخداد کانی سازی شد. مدل مفهومی ذخایر معدنی که بیانگر ویژگی های متداول یک گروه از ذخایر معدنی است، به منظور تهیه و تدارک چارچوب نظری برای هدایت بررسی های پتانسیل یابی معدنی به کمک GIS دارای اهمیت است. این مدل در انتخاب فاکتورهای تشخیص کانی سازی و مدل سازی داده ها مفید و ضروری است. با توجه به نتایج بررسی های یادشده فاکتورهای تشخیص کانی سازی اندیس نوچون شامل زون منشأ حرارت و سنگ میزبان، گسل ها، دگرسانی گرمایی، نشانه های کانی سازی، توزیع میزان عیار عنصر مس، توزیع میزان عیار عنصر مولیبدن، توزیع میزان ادیتو عناصر مس و مولیبدن، توزیع میزان قابلیت شارژ پذیری، توزیع میزان مقاومت ظاهری و توزیع میزان فاکتور فلزی است.

#### ۴-۲. آماده سازی اطلاعات

در این مرحله همه لایه های اطلاعاتی مشخص شده در مرحله تعیین فاکتورهای تشخیص کانی سازی جمع آوری و رقومی شدند. لایه های اطلاعاتی آماده سازی شده شامل نوع سنگ شناسی، گسل، دگرسانی، نشانه های کانی سازی، نقاط برداشت ژئوشیمی، منحنی هم عیار عنصر مس، بی هنجاری عنصر مس، منحنی هم عیار عنصر مولیبدن، بی هنجاری عنصر مولیبدن، منحنی قابلیت شارژ پذیری، زون بی هنجاری قابلیت شارژ پذیری، منحنی مقاومت ظاهری و زون بی هنجاری مقاومت ظاهری هستند.

#### ۴-۳. تهیه نقشه های فاکتور تشخیص کانی سازی

نقشه پتانسیل معدنی، از تلفیق لایه های اطلاعاتی با توجه به نحوه تأثیر و ارزش لایه ها تهیه می شود. لایه های اطلاعاتی و به طور کلی اطلاعات، از ارزش یکسانی برخوردار نبوده و میزان تأثیر گذاری لایه های اطلاعاتی در پاسخ نهایی، یکسان نیست. به همین منظور، لازم است با انجام یک سری پردازش ها مانند ایجاد بافر و کلاسه بندی مجدد، نقشه یا نقشه های فاکتور هر لایه اطلاعاتی تهیه شود. با توجه به تنوع تأثیر و ارزش دهی لایه های اطلاعاتی مختلف، پردازش های مورد نیاز به منظور تهیه نقشه های فاکتور متفاوت است (Carter, 1994). در تهیه نقشه های فاکتور یک کانسار خاص، افزون بر استفاده از مدل مفهومی زمین شناسی و کانی سازی ذخیره معدنی مربوطه، نیاز به وارد نمودن دانش کارشناسی در تعیین نحوه تأثیر و ارزش اطلاعات است. در این راستا با برگزاری جلسه های کارشناسی مختلف با کارشناسان شرکت ملی صنایع مس ایران و تشریح عوامل مؤثر در هر یک از فاکتورها، وزن مربوط به آنها مشخص شد. در ادامه عوامل مؤثر در وزن دهی فاکتورهای کانی سازی تشریح شده است. وزن مربوط به هر یک از فاکتورها در جدول ۲ و نقشه های مربوطه به هر یک از این فاکتورها در شکل های ۲ تا ۱۱ ارائه شده است.

– **زون منشأ حرارت و سنگ میزبان (A):** با توجه به بررسی ویژگی های زمین شناسی، ریوداسیت ها به عنوان سنگ میزبان و زون منشأ حرارت درونی شناخته شدند. همچنین به علت حضور کانی سازی در مناطق مجاور با ریوداسیت ها (توف آندزیت ها و نهشته های دلوویال) که به عنوان سنگ دربرگیرنده مطرح می شوند، ۴ بافر ۲۵ متری در این نواحی در نظر گرفته شد. در حقیقت دلوویال ها به منظور تشکیل کانی سازی محیط مساعدی نیستند و وزن های اختصاص یافته به این بافرها، متعلق به سنگ هایی است که در بخش زیرین این نهشته ها قرار دارند. دیگر سنگ های منطقه (گرانیت و دیوریت پورفیریت)، در کانی سازی نقشی نداشته و برای این نوع سنگ ها کمترین وزن (۰/۰۱) در نظر گرفته شده است.

– **نقشه فاکتور گسل ها (B):** با توجه به بررسی ویژگی های زمین شناسی، برای محدوده بین گسل های شمال خاوری – جنوب باختری به دلایل خردشدگی فراوان و در نتیجه سهولت گردش محلول های گرمایی، جدایش مرز سنگ های دگرسان شده و نبود دگرسانی ها در خارج این محدوده وزن مساوی و برای دیگر بخش ها، کمترین وزن (۰/۰۱) در نظر گرفته شده است.

– **نقشه فاکتور دگرسانی گرمایی (C):** با توجه به بررسی ویژگی های زمین شناسی و

با توجه به انواع سنگ هایی که در معرض دگرسانی های گرمایی قرار گرفته اند و همچنین پراکندگی مکانی آنها، ممکن است این گونه استنباط شود که توده های ریوداسیت، به احتمال زیاد محلول های گرمایی را رها کرده و آنها نیز دگرسانی ها را در ریوداسیت ها و سنگ های اطراف پدید آورده اند. دگرسانی های گرمایی، در آندزیت های هورنفلسی شده و توف ها، مشابه ریوداسیت ها گسترده می شود. گرانیت ها و دیوریت پورفیریت ها سالم و دگرسان نشده هستند. در نقشه تهیه شده توسط یوگوسلاواها، دگرسانی ها بر اساس شدت بر روی نقشه زمین شناسی به صورت ضعیف و شدید مشخص شده اند (Yugoslavia report, 1972). کانی سازی مس، به طور عمده به صورت ورقه ها و رگچه های آزریت و مالاکیت به همراه کمی کالکوپیریت در رگچه های کوارتز، در چندین مکان در درون رخنمون سنگ های دگرسان شده دیده می شود. سطوحی که در آنها کانی سازی شدید رخ داده است، به نسبت کوچک و در حدود چند ده متر مربع هستند (Yugoslavia report, 1972). بررسی های ژئوشیمیایی تفصیلی اندیس نوچون همانند بررسی های زمین شناسی در طی سال های ۱۳۴۹ تا ۱۳۵۰ توسط یوگوسلاواها انجام شده است. بررسی های ژئوشیمیایی تفصیلی، ناحیه ای در حدود ۳/۱ کیلومتر مربع را تحت پوشش قرار داده است. پروفیل ها در فواصل ۲۰۰ متری قرار گرفته و نمونه ها با فاصله ۲۵ متری جمع آوری شده اند. در مجموع ۶۳۰ نمونه خاکی جمع آوری و به منظور تعیین مقادیر عناصر مس، مولیبدن، سرب و روی تجزیه شده اند (Yugoslavia report, 1972). نتایج بررسی ژئوشیمیایی تفصیلی، به وجود بی هنجاری های توسعه یافته تمامی عناصر تجزیه شده، بر روی نواحی به نسبت وسیعی اشاره می کند. بویژه از مهم ترین آنها، بی هنجاری ها مس و مولیبدن هستند که ممکن است نشان دهنده حضور کانی سازی پراکنده و با اهمیت مس باشند (Yugoslavia report, 1972). با توجه به بررسی های به عمل آمده و انطباق مناسب بین دو عنصر مس و مولیبدن و همزاد بودن آنها، معیار ژئوشیمی به دوزیر معیار تک عنصری و چند عنصری تقسیم شد. در زیر معیار تک عنصری مس به عنوان عنصر اصلی و مولیبدن به عنوان عنصری که دارای بیشترین همبستگی با مس است، انتخاب شد. همچنین در زیر معیار چند عنصری نقشه اندیس های ادیتو مس و مولیبدن تهیه شد.

بررسی های ژئوفیزیکی اندیس نوچون نیز در طی سال های ۱۳۴۹ تا ۱۳۵۰ توسط یوگوسلاواها انجام شده است و دو روش پلاریزاسیون القایی و مقاومت الکتریکی در بررسی های تفصیلی و نیمه تفصیلی به کار رفته اند. این بررسی ها به منظور تعیین وجود کانی سازی سولفیدی در سطوح ژرف تر و به منظور مشخص کردن زون کانی سازی سولفیدی و در صورت امکان تعیین محل توده های سولفیدی انجام شده است (Yugoslavia report, 1972). در این بررسی ها، آرایه الکترو دگرادیان (مستطیلی) با الکترودهای جریان با فاصله ۱۶۰۰ متر به کار گرفته شده است. در بررسی های تفصیلی، پروفیل ها با فاصله ۱۰۰ متر و فاصله ایستگاه های ۲۰ متری بوده اند. همچنین با استفاده از رابطه (۲) میزان فاکتور فلزی نقاط محاسبه و با استفاده از این پارامتر، نقشه رستری (raster) فاکتور فلزی تهیه شد.

$$MF = 2000 \times (CH/R_s) \quad (\text{رابطه } ۲)$$

در این رابطه منظور از  $MF$  و  $Rs, CH$  به ترتیب مقدار قابلیت شارژ پذیری (شارژبیلیته)، مقاومت ظاهری و فاکتور فلزی نقاط برداشت ژئوالکتریکی است. با تطابق سه نقشه یادشده با یکدیگر، معلوم شد که بی هنجاری فاکتور فلزی همپوشانی نسبتاً خوبی با بی هنجاری های مقدار قابلیت شارژ پذیری و مقاومت ظاهری دارا است. با توجه به اطلاعات ژئوفیزیکی موجود، در این بررسی از نقشه های منفرد (قابلیت شارژ پذیری و مقاومت ظاهری) و نیز نقشه های ترکیبی (فاکتور فلزی) استفاده شده است.

#### ۴-۱. تعیین فاکتورهای تشخیص کانی سازی در منطقه نوچون

در این مرحله با توجه به مدل مفهومی ذخیره مورد نظر و استفاده از دانش کارشناسی

بزرگ‌ترین وزن هر فاکتور که نسبت به دیگر اوزان هر فاکتور اصلی (فاکتور زمین‌شناسی، فاکتور ژئوشیمی، فاکتور ژئوفیزیکی) بهنجار شده، در شکل ۱۲ آمده است. پارامترهای موجود در شبکه استنتاجی یادشده در جدول ۳ معرفی شده‌اند. با استفاده از شبکه استنتاجی یادشده و وزن‌های نمایش داده شده در جدول ۲، نقشه پتانسیل معدنی اندیس نوچون تهیه شد. روال تهیه نقشه پتانسیل معدنی در شکل‌های ۱۳ تا ۱۸ به صورت مختصر نمایش داده شده است.

در ادامه به منظور ارزیابی نتایج، از داده‌های گمانه‌های اکتشافی استفاده شد. در اندیس نوچون، پس از انجام بررسی‌های اکتشافی ۲۱ گمانه اکتشافی حفاری شده است که اطلاعات مربوط به ۱۹ گمانه در اختیار قرار گرفته است (Almasi, 2007). پس از آماده‌سازی اطلاعات مربوط به این گمانه‌ها در محیط GIS به منظور ارزیابی نتایج حفاری، نیمرخ تغییرات میزان عیار مس نسبت به ژرفا برای هر گمانه رسم شد. نیمرخ‌های یادشده در شکل ۱۹ ارائه شده‌اند. با توجه به تغییرات میزان عیار مس در هر یک از گمانه‌ها و نیز بررسی مقادیر بیشینه و کمینه و همچنین میانگین 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 بسیار خوب، خوب، متوسط، ضعیف و یا خیلی ضعیف به هر یک از گمانه‌ها نسبت داده شد.

در مرحله بعد به منظور ارزیابی نقشه‌های پتانسیل معدنی، از انطباق مقادیر پیکسل‌های نقشه یادشده در موقعیت مکانی گمانه‌های اکتشافی با نتایج حفاری آن گمانه‌ها استفاده شد. به این ترتیب با توجه به روش‌های کلاسه‌بندی موجود، هر نقشه پتانسیل معدنی به کلاس‌های مختلفی تفکیک شد. سپس مقادیر پیکسل‌های مربوط به گمانه‌های اکتشافی در نقشه پتانسیل معدنی استخراج و با توجه به مقادیر پیکسل‌های هر گمانه، کلاس آن گمانه تعیین شد. به عبارت دیگر از نقطه نظر نقشه پتانسیل معدنی رده هر گمانه با توجه به مقادیر هر پیکسل در یکی از کلاس‌های تعریف شده تعیین و کلاس تعیین شده برای هر چاه با وضعیت هر گمانه مقایسه شد. نتایج ارزیابی یاد شده در جدول ۴ ارائه شده است. همچنین نقشه‌های انطباق گمانه‌های اکتشافی با نقشه پتانسیل معدنی اندیس نوچون که به صورت سه کلاسه و پنج کلاسه با استفاده از روش Manual رده‌بندی شده است، در شکل‌های ۲۰ تا ۲۵ ارائه شده است.

#### ۵- نتیجه‌گیری

سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) به عنوان ابزاری توانمند در جمع‌آوری، مرتب‌سازی، ذخیره‌سازی، بازیابی، پردازش و تحلیل داده‌های فضایی است. از آن‌جا که سامانه‌های اطلاعات مکانی، دارای توانمندی‌های فراوان در حمایت از تصمیم‌گیری هستند، دارای کاربردهای وسیعی در عرصه‌های مختلف برنامه‌ریزی، مدیریت و تصمیم‌گیری بوده و روز به روز بر حوزه‌های کاربردی آنها افزوده می‌شود. این سامانه می‌تواند به عنوان علم و فناوری بهینه به منظور ساماندهی، پردازش، تحلیل و تلفیق نتایج حاصل از بررسی‌های زمین‌شناسی، ژئوشیمی و ژئوفیزیکی به منظور شناسایی و ارزیابی پتانسیل‌های معدنی مس مورد استفاده قرار گیرد.

با تکیه بر بررسی‌های انجام شده استفاده تلفیقی از عملگرهای منطق فازی و مدل همپوشانی شاخص افزون‌بر مرتفع نمودن نقایص موجود در دیگر مدل‌ها، امکان ترکیب قابل انعطاف‌تر نقشه‌های فاکتور را فراهم می‌سازد. همچنین استفاده از مدل تلفیقی یادشده تعیین بهینه نقاط حفاری در بررسی‌های تفصیلی را امکان‌پذیر می‌نماید. با توجه به نقشه پتانسیل معدنی تهیه شده در این مقاله، مناطق پتانسیل دار از نظر وجود کانی‌سازی مس پورفیری در بخش شمال خاوری منطقه مورد بررسی، بر روی نقشه نهایی مشخص شده است.

عدم تفکیک دگرسانی‌ها در نقشه زمین‌شناسی، وزن مربوط به دگرسانی گرمایی شدید، نسبت به ضعیف ۳ برابر در نظر گرفته شد.

– **نقشه فاکتور نشانه‌های کانی‌سازی (D):** با توجه به بررسی ویژگی‌های زمین‌شناسی، این فاکتور به عنوان یکی از فاکتورهای مؤثر شناخته شده و به منظور نمایش نحوه تأثیر این نشانه‌ها ۴ بافر ۱۵ متری با وزن‌های متفاوت پیرامون آنها در نظر گرفته شد.

– **نقشه فاکتور عیار مس (E):** با توجه به اطلاعات موجود، مقادیر آستانه مربوط به بی‌هنجاری‌های قطعی، احتمالی و ممکن، تعیین و وزن‌دهی شدند. مقادیر موجود در میان پربندهای ۳۰۰ تا ۶۰۰ ppm به عنوان بی‌هنجاری ممکن و مقادیر موجود در بین پربندهای ۶۰۰ تا ۱۲۰۰ ppm به عنوان بی‌هنجاری احتمالی و مقادیر بالای ۱۲۰۰ ppm به عنوان بی‌هنجاری قطعی مشخص شدند. برای دیگر مناطق، کمترین مقدار وزن (۰/۰۱) در نظر گرفته شد.

– **نقشه فاکتور عیار مولیبدن (F):** با توجه به اطلاعات موجود، مقادیر آستانه مربوط به بی‌هنجاری‌های قطعی، احتمالی و ممکن تعیین و وزن‌دهی شدند. مقادیر موجود در میان پربندهای ۲۰ تا ۴۰ ppm به عنوان بی‌هنجاری ممکن، مقادیر ۴۰ تا ۸۰ ppm به عنوان بی‌هنجاری احتمالی و مقادیر ۸۰ ppm و بالای آن به عنوان بی‌هنجاری قطعی مشخص شدند. برای دیگر مناطق کمترین مقدار وزن (۰/۰۱) در نظر گرفته شد.

– **نقشه فاکتور اندیس‌های اادیئو (G):** به منظور تعیین محدوده بی‌هنجاری اندیس‌های اادیئو این دو عنصر (CuZScore+MoZScore) باید در ابتدا مقدار این پارامتر را برای تمام نقاط با استفاده از رابطه (۳) محاسبه نمود.

$$\text{CuZScore} + \text{MoZScore} = \text{رابطه (۳)}$$

$$(\text{Ln}(\text{cu}) - \overline{\text{Ln}(\text{cu})}) / \sigma(\text{Ln}(\text{cu})) + (\text{Ln}(\text{Mo}) - \overline{\text{Ln}(\text{Mo})}) / \sigma(\text{Ln}(\text{Mo}))$$

در رابطه بالا منظور از  $\sigma(\text{Ln}(\text{Cu}))$  و  $\sigma(\text{Ln}(\text{Mo}))$ ، میانگین لگاریتم نبری میزان عیار مس و مولیبدن و انحراف معیار لگاریتم نبری میزان عیار مس و مولیبدن است. با توجه به اطلاعات موجود، مقادیر آستانه مربوط به بی‌هنجاری‌های قطعی، احتمالی و ممکن تعیین و وزن‌دهی شد. برای دیگر مناطق کمترین وزن (۰/۰۱) در نظر گرفته شد.

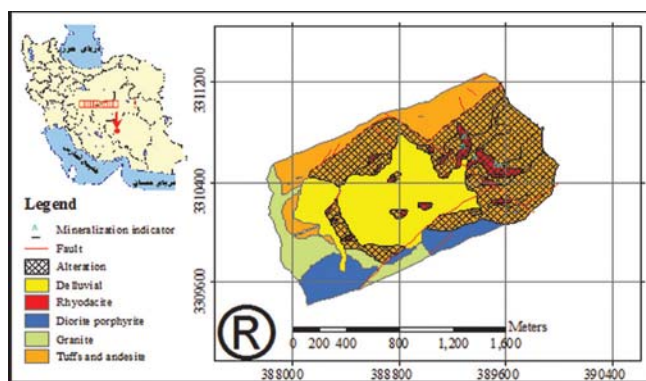
– **نقشه فاکتور قابلیت شارژپذیری (H):** با توجه به بررسی ویژگی‌های ژئوفیزیکی، پربندهای موجود بین ۴۰ تا ۵۰ میلی‌ثانیه به عنوان بی‌هنجاری ممکن، مقادیر ۵۰ تا ۶۰ میلی‌ثانیه به عنوان بی‌هنجاری احتمالی و مقادیر ۶۰ و بالای آن به عنوان بی‌هنجاری قطعی در نظر گرفته شده‌اند. برای دیگر مناطق کمترین وزن (۰/۰۱) در نظر گرفته شد.

– **فاکتور مقاومت ظاهری (I):** با توجه به بررسی ویژگی‌های ژئوفیزیکی، از بین مقادیر مقاومت ویژه موجود سه کلاسه بی‌هنجاری ممکن، احتمالی و قطعی تفکیک شد. بنابراین تقسیم‌بندی مقادیر ۵۰ تا ۳۵ اهم‌متر به عنوان بی‌هنجاری ممکن، مقادیر ۳۵ تا ۲۵ اهم‌متر به عنوان بی‌هنجاری احتمالی و مقادیر ۲۵ اهم‌متر و کمتر از آن به عنوان بی‌هنجاری قطعی در نظر گرفته شدند.

– **نقشه فاکتور فاکتور فلزی (J):** با توجه به اطلاعات موجود، مقادیر آستانه مربوط به بی‌هنجاری‌های قطعی، احتمالی و ممکن تعیین و وزن‌دهی شد. مقادیر موجود در بین پربندهای ۱۱۵۰ تا ۲۱۰۱ به عنوان بی‌هنجاری ممکن، مقادیر ۲۱۰۱ تا ۳۰۵۲ به عنوان بی‌هنجاری احتمالی و مقادیر ۳۰۵۲ و بالای آن به عنوان بی‌هنجاری قطعی مشخص شدند. برای دیگر مناطق کمترین مقدار وزن (۰/۰۱) در نظر گرفته شد.

#### ۴-۴. تلفیق نقشه‌ها و ارزیابی نتایج

به منظور تهیه نقشه پتانسیل معدنی در مرحله تفصیلی باید نقشه‌های فاکتور را مطابق با شبکه استنتاجی مناسبی با هم تلفیق نمود. در شبکه استنتاجی مورد استفاده به تناسب از مدل‌های همپوشانی شاخص و عملگرهای مختلف منطق فازی استفاده شده است. شبکه استنتاجی مورد استفاده در تهیه نقشه پتانسیل معدنی اندیس نوچون به همراه

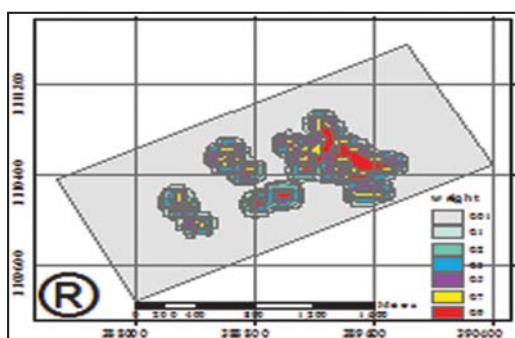


شکل ۱- نقشه زمین شناسی و موقعیت جغرافیایی اندیس مس نوچون

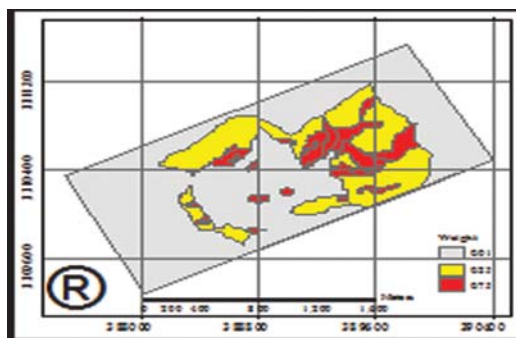
در نهایت با انطباق گمانه‌های اکتشافی حفر شده با نقشه‌های پتانسیل معدنی نهایی، میزان تطابق در پیش‌بینی نتایج گمانه‌های موجود برآورد شد. بر این اساس در دسته‌بندی سه کلاسه نتایج حاصل از روش Manual با گامای ۰/۸۷ بیشترین تطابق به میزان ۶۴/۵۲ درصد و در دسته‌بندی پنج کلاسه نیز نتایج حاصل از روش Manual با گامای ۰/۸۷ بیشترین تطابق به میزان ۶۳/۱۶ 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. گفتنی است در صورت انجام این بررسی‌ها پیش از انجام عملیات حفاری و تنها با فرض عدم حفر گمانه‌های اکتشافی در مناطق دارای وضعیت ضعیف یا خیلی ضعیف، ۲۶ درصد از گمانه‌ها حفر نمی‌شد. با توجه به بررسی‌های صورت گرفته در این پژوهش، با به کارگیری GIS و منطق فازی در تعیین نقاط حفاری دست کم از حفاری ۱۳۰۰ متر گمانه اکتشافی ممانعت به عمل آمده و حدود ۲۰۰ میلیون تومان در هزینه‌های حفاری صرفه‌جویی به عمل می‌آمد.

### سپاسگزاری

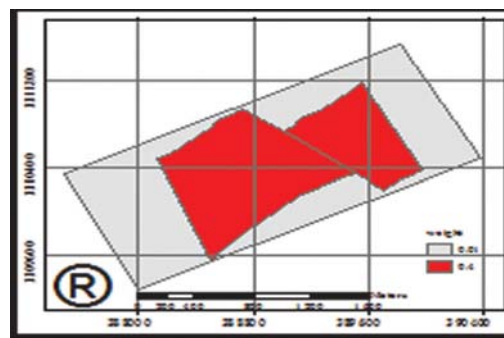
نگارندگان این مقاله، بر خود لازم می‌دانند تا از همکاری مدیریت و کارشناسان محترم امور اکتشافات و مهندسی توسعه شرکت ملی صنایع مس ایران، به دلیل در اختیار قرار دادن داده‌های مورد نیاز و همچنین همکاری در تشکیل جلسه‌های کارشناسی تشکر و قدردانی نمایند.



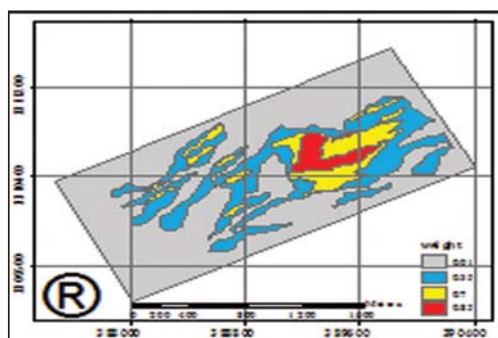
شکل ۲- نقشه فاکتور سنگ میزبان



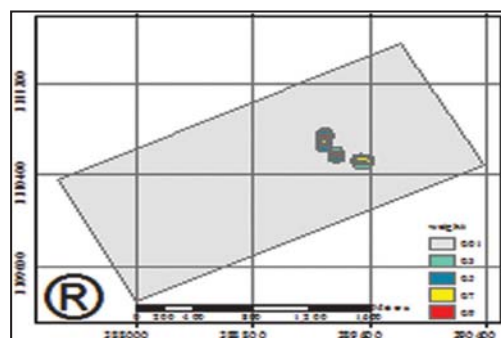
شکل ۴- نقشه فاکتور دگرسانی



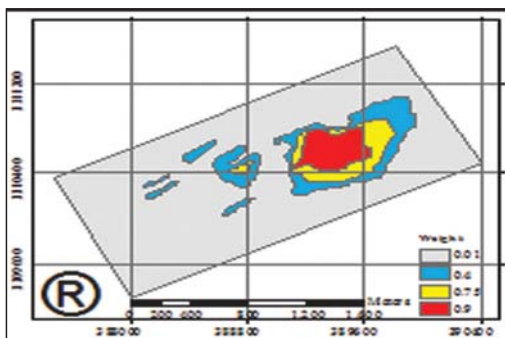
شکل ۳- نقشه فاکتور گسل‌های اصلی



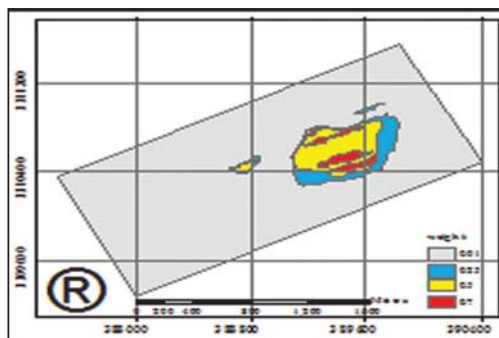
شکل ۶- نقشه فاکتور عیار مس



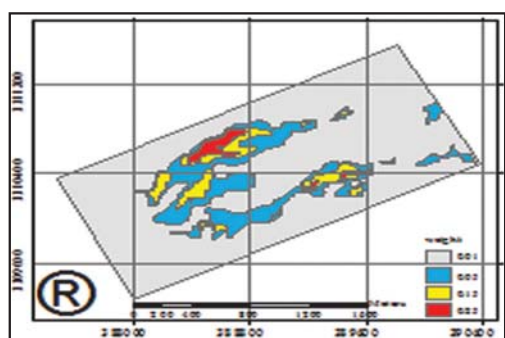
شکل ۵- نقشه فاکتور نشانه‌های کانی‌سازی



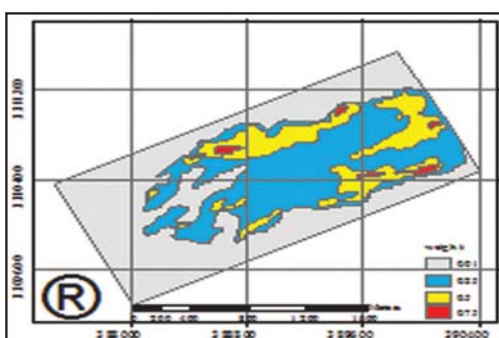
شکل ۸- نقشه فاکتور اندیس های ادیتو



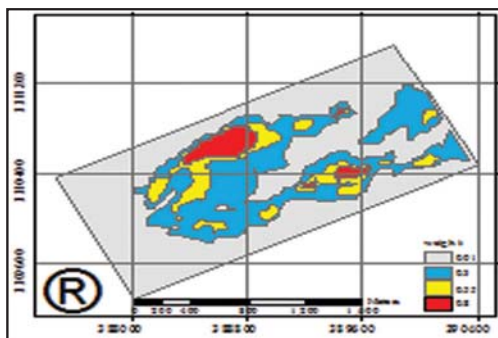
شکل ۷- نقشه فاکتور عیار مولیبدن



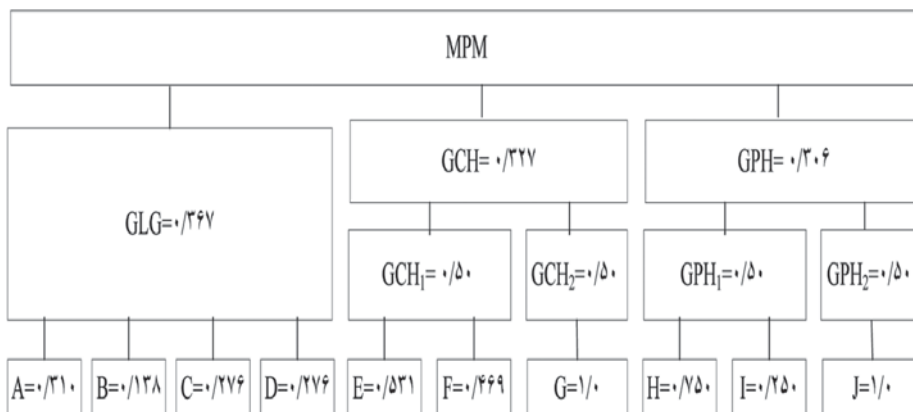
شکل ۱۰- نقشه فاکتور مقاومت ظاهری



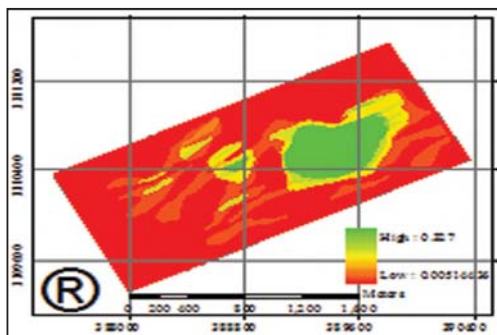
شکل ۹- نقشه فاکتور قابل شارژ



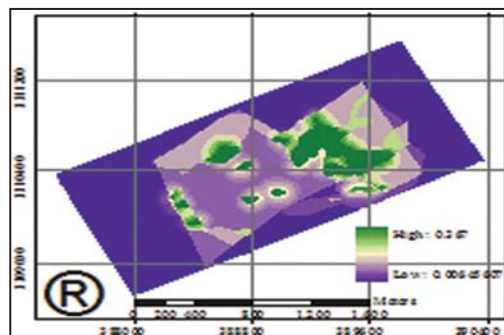
شکل ۱۱- نقشه فاکتور فازی



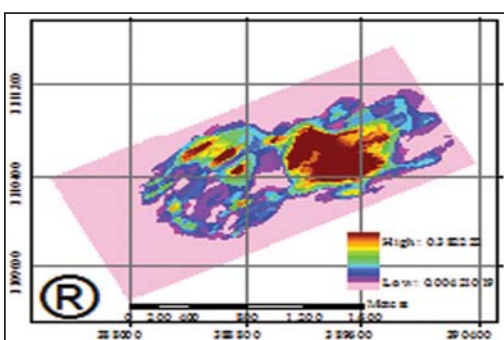
شکل ۱۲- شبکه استنتاجی و وزن های بهنجار شده مورد استفاده در تهیه نقشه پتانسیل معدنی اندیس مس نوچون



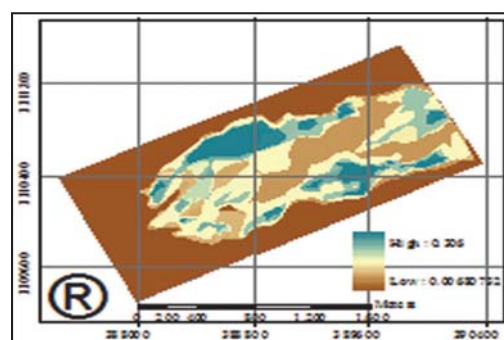
شکل ۱۴- نقشه پتانسیل معدنی ژئوشیمی



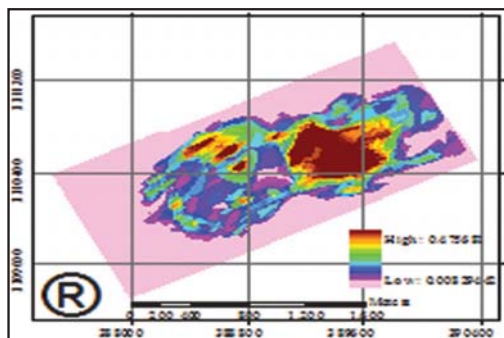
شکل ۱۳- نقشه پتانسیل زمین شناسی  $G=0/88$



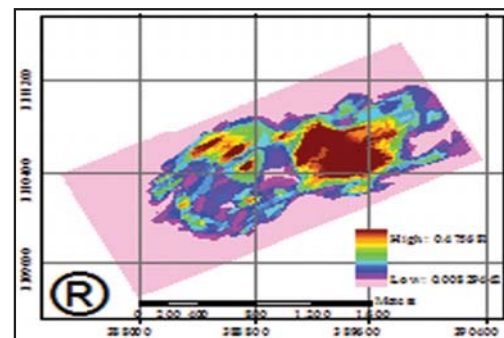
شکل ۱۶- نقشه پتانسیل معدنی  $G=0/87$



شکل ۱۵- نقشه پتانسیل معدنی ژئوفیزیک



شکل ۱۸- نقشه پتانسیل معدنی  $G=0/93$



شکل ۱۷- نقشه پتانسیل معدنی  $G=0/90$

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

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

جدول ۲- وزن های اولیه و نهایی مورد استفاده در تهیه نقشه پتانسیل معدنی اندیس نوچون

وزن نهایی	وزن اولیه	ادیتو مس و مولیدن	وزن نهایی	وزن اولیه	توزیع عنصر مولیدن	وزن نهایی	وزن اولیه	توزیع عنصر مس	وزن نهایی	وزن اولیه	نشانه معدنی محلی	وزن نهایی	وزن اولیه	سنگ مریزان
۰/۵	۰/۹	بی هنجاری قطعی	۰/۴۶۹	۰/۷	بی هنجاری قطعی	۰/۵۳۱	۰/۸۵	بی هنجاری قطعی	۰/۲۷۶	۰/۹	بافر ۱۵ متری	۰/۳۱۰	۰/۹	ریوداسیت
۰/۴۱۶	۰/۷۵	بی هنجاری احتمالی	۰/۳۳۵	۰/۵	بی هنجاری احتمالی	۰/۴۳۷	۰/۷	بی هنجاری احتمالی	۰/۲۱۴	۰/۷	بافر ۳۰ متری	۰/۲۴۱	۰/۷	RT بافر ۲۵ متری
۰/۲۲۲	۰/۴	بی هنجاری ممکن	۰/۱۶۷	۰/۲۵	بی هنجاری ممکن	۰/۲۱۷	۰/۳۵	بی هنجاری ممکن	۰/۱۵۳	۰/۵	بافر ۴۵ متری	۰/۱۷۲	۰/۵	RT بافر ۵۰ متری
وزن نهایی	وزن اولیه	فاکتور فلزی	وزن نهایی	وزن اولیه	مقاومت ظاهری	وزن نهایی	وزن اولیه	شارژیابلیته (قابلیت شارژپذیری)	وزن نهایی	وزن اولیه	بافر ۶۰ متری	۰/۱۰۳	۰/۳	RT بافر ۷۵ متری
۰/۵	۰/۸	بی هنجاری قطعی	۰/۲۵	۰/۲۵	بی هنجاری قطعی	۰/۷۵	۰/۷۵	بی هنجاری قطعی	وزن نهایی	وزن اولیه	گسل	۰/۰۳۴	۰/۱	RT بافر ۱۰۰ متری
۰/۳۴۴	۰/۵۵	بی هنجاری احتمالی	۰/۱۵	۰/۱۵	بی هنجاری احتمالی	۰/۵	۰/۵	بی هنجاری احتمالی	۰/۱۳۸	۰/۴	محدوده بین گسل ها	۰/۱۰۳	۰/۳	RD بافر ۲۵ متری
۰/۱۸۷	۰/۳	بی هنجاری ممکن	۰/۰۵	۰/۰۵	بی هنجاری ممکن	۰/۲۵	۰/۲۵	بی هنجاری ممکن				۰/۰۶۹	۰/۲	RD بافر ۷۵ متری
												۰/۰۳۴	۰/۱	RD بافر ۱۰۰ متری
تذکر: در قسمت مربوط به سنگ مریزان و زون منشأ حرارت منظور از RT و RD به ترتیب ریوداسیت های مجاور توف آندزیت و ریوداسیت های مجاور دامنه ای است.														
														وزن نهایی
														وزن اولیه
														دگرسانی
														شدید
														ضعیف

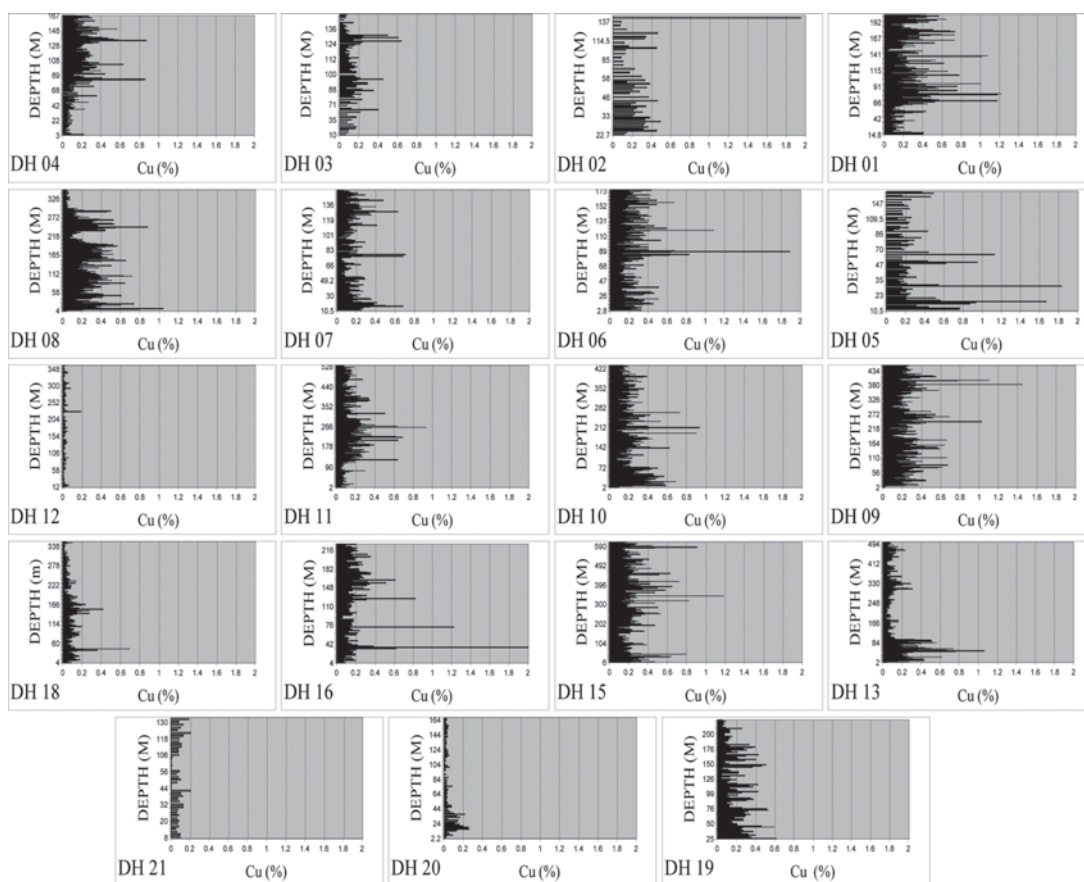
جدول ۳- معرفی پارامترهای موجود در شبکه استنتاجی

GLG	نقشه فاکتور زمین شناسی با استفاده از عملگر فازی گاما
GCH <sub>1</sub>	تلفیق با استفاده از عملگر فازی گاما
GCH <sub>2</sub>	بهنجار شده ادیتو مس و مولیدن
GCH	نقشه فاکتور ژئوشیمی با استفاده از عملگر همپوشانی شاخص
GPH <sub>1</sub>	تلفیق با استفاده از عملگر فازی Sum
GPH <sub>2</sub>	بهنجار شده فاکتور فلزی
GPH	نقشه فاکتور ژئوفیزیک با استفاده از عملگر همپوشانی شاخص
MPM	نقشه پتانسیل معدنی با استفاده از عملگر فازی گاما

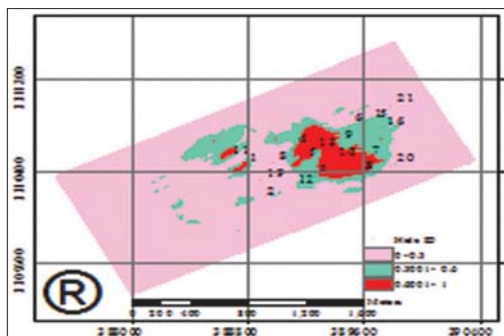
جدول ۴- ارزیابی میزان تطابق در نقشه پتانسیل معدنی تهیه شده با استفاده از روش Manual سه و پنج رده

شماره گمانه	وضعیت گمانه ۳ رده	وضعیت گمانه ۵ رده	Gamma= ۰/۸۷			Gamma= ۰/۹۰			Gamma= ۰/۹۳								
			وزن گمانه	وضعیت ۳ رده	ارزیابی ۳ رده	وضعیت ۵ رده	ارزیابی ۵ رده	وزن گمانه	وضعیت ۳ رده	ارزیابی ۳ رده	وضعیت ۵ رده	ارزیابی ۵ رده					
۱	خوب	خوب	۰/۶۷۸۲	خوب	۰	خوب	-۱	۰/۶۹۴۷	خوب	۰	خوب	-۱	۰/۷۱۱۶	خوب	۰	خوب	-۱
۲	ضعیف	ضعیف	۰/۱۰۱۴	ضعیف	۰	خ ضعیف	-۱	۰/۱۰۹۴۵	ضعیف	۰	خ ضعیف	-۱	۰/۱۰۹۸	ضعیف	۰	خ ضعیف	-۱
۳	ضعیف	ضعیف	۰/۴۲۴۴	متوسط	-۱	متوسط	-۱	۰/۴۹۶۹	متوسط	-۱	متوسط	-۱	۰/۵۲۲۷	متوسط	-۱	متوسط	-۱
۴	متوسط	متوسط	۰/۵۷۸۷	متوسط	۰	متوسط	۰	۰/۶۰۴۳	خوب	-۱	خوب	-۱	۰/۶۳۱۱	خوب	-۱	خوب	-۱
۵	خوب	خوب	۰/۴۲۴۷	متوسط	-۱	متوسط	-۲	۰/۵۰۵۸	متوسط	-۱	متوسط	-۲	۰/۵۳۳۰	متوسط	-۱	متوسط	-۲
۶	خوب	خوب	۰/۴۶۰۱	متوسط	-۱	متوسط	-۱	۰/۴۸۷۴	متوسط	-۱	متوسط	-۱	۰/۵۱۶۳	متوسط	-۱	متوسط	-۱
۷	متوسط	متوسط	۰/۸۰۰۶	خوب	-۱	خ خوب	-۲	۰/۸۱۳۶	خوب	-۱	خ خوب	-۲	۰/۸۲۶۸	خوب	-۱	خ خوب	-۲
۸	متوسط	متوسط	۰/۱۰۱۹	ضعیف	-۱	خ ضعیف	-۲	۰/۱۱۹۱	ضعیف	-۱	خ ضعیف	-۲	۰/۱۲۹۲	ضعیف	-۱	خ ضعیف	-۲
۹	خوب	خوب	۰/۵۳۹۶	متوسط	-۱	متوسط	-۱	۰/۵۶۷۱	متوسط	-۱	متوسط	-۱	۰/۵۹۶۰	متوسط	-۱	متوسط	-۱
۱۰	متوسط	خوب	۰/۸۸۳۶	خوب	-۱	خ خوب	-۱	۰/۸۸۷۳	خوب	-۱	خ خوب	-۱	۰/۸۹۰۹	خوب	-۱	خ خوب	-۱
۱۱	متوسط	متوسط	۰/۱۳۳۸	ضعیف	-۱	خ ضعیف	-۲	۰/۱۵۳۳	ضعیف	-۱	خ ضعیف	-۲	۰/۱۷۹۱	ضعیف	-۱	خ ضعیف	-۲
۱۲	ضعیف	خ ضعیف	۰/۲۲۹۱	ضعیف	۰	خ ضعیف	۰	۰/۲۴۸۰	ضعیف	۰	خ ضعیف	۰	۰/۲۶۸۵	ضعیف	۰	خ ضعیف	-۱
۱۳	متوسط	متوسط	۰/۴۲۴۷	متوسط	۰	متوسط	۰	۰/۵۰۵۸	متوسط	۰	متوسط	۰	۰/۵۳۳۰	متوسط	۰	متوسط	۰
۱۵	خوب	خوب	۰/۳۵۱۶	متوسط	-۱	ضعیف	-۲	۰/۳۷۸۳	متوسط	-۱	ضعیف	-۲	۰/۴۰۷۰	متوسط	-۱	متوسط	-۱
۱۶	متوسط	متوسط	۰/۵۰۲۲	متوسط	۰	متوسط	۰	۰/۵۲۶۷	متوسط	۰	متوسط	۰	۰/۵۵۲۳	متوسط	۰	متوسط	۰
۱۸	ضعیف	خ ضعیف	۰/۹۰۹۰	خوب	-۲	خ خوب	-۴	۰/۹۱۱۱	خوب	-۲	خ خوب	-۴	۰/۹۱۲۱	خوب	-۲	خ خوب	-۴
۱۹	ضعیف	خ ضعیف	۰/۱۰۶۵۰	ضعیف	۰	خ ضعیف	-۱	۰/۱۰۷۵۹	ضعیف	۰	خ ضعیف	-۱	۰/۱۰۸۸۶	ضعیف	۰	خ ضعیف	-۱
۲۰	ضعیف	خ ضعیف	۰/۲۴۵۶	ضعیف	۰	خ ضعیف	۰	۰/۲۶۸۱	ضعیف	۰	خ ضعیف	-۱	۰/۲۹۲۶	ضعیف	۰	خ ضعیف	-۱
۲۱	ضعیف	خ ضعیف	۰/۱۲۰۳	ضعیف	۰	خ ضعیف	۰	۰/۱۲۸۱	ضعیف	۰	خ ضعیف	۰	۰/۱۵۸۶	ضعیف	۰	خ ضعیف	۰
میزان تطابق			۶۴/۵۲%			۶۳/۱۶%		۶۱/۲۹%			۵۹/۶۵%		۶۱/۲۹%			۵۹/۶۵%	

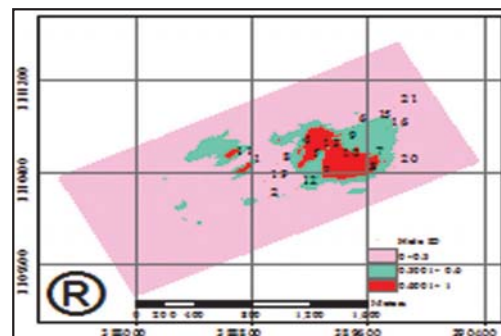




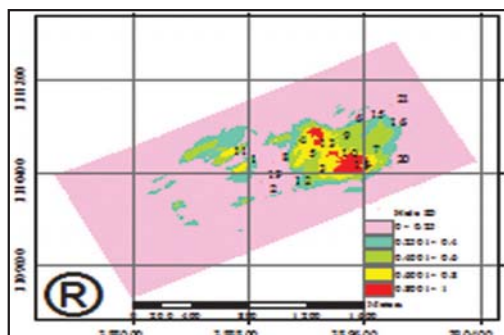
شکل ۱۹- نیمرخ‌های تغییرات عیار مس نسبت به ژرفا در گمانه‌های اکتشافی اندیس مس نوچون



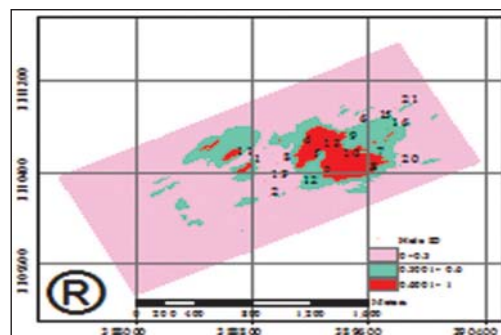
شکل ۲۱- انطباق گمانه‌ها با نقشه پتانسیل معدنی ( $G=0.90$ )



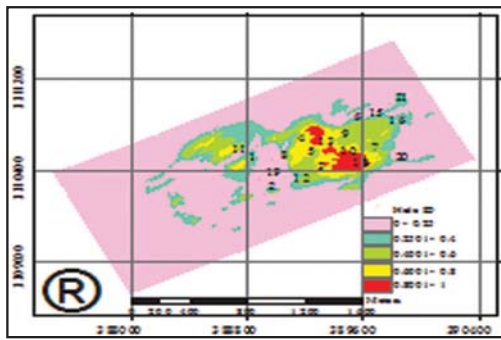
شکل ۲۰- انطباق گمانه‌ها با نقشه پتانسیل معدنی ( $G=0.87$ )



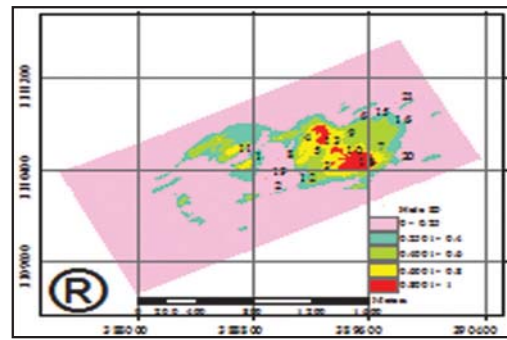
شکل ۲۳- انطباق گمانه‌ها با نقشه پتانسیل معدنی ( $G=0.87$ )



شکل ۲۲- انطباق گمانه‌ها با نقشه پتانسیل معدنی ( $G=0.93$ )



شکل ۲۵- انطباق گمانه‌ها با نقشه پتانسیل معدنی (G=۰/۹۳)



شکل ۲۴- انطباق گمانه‌ها با نقشه پتانسیل معدنی (G=۰/۹۰)

## References

- 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, v.2, p. 381-395.
- Agterberg, F. P., 1992- Combining indicator patterns in weights of evidence modeling for resource estimation. *Nonrenewable Resources*, v.1, p. 39-50.
- Almasi, A., 2007- Results of drilling in Now Chun, National Iranian Copper Industries Company, Exploration management, Pars Olang Company.
- 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*, v. 27, 1-11.
- Asadi, H. H. & Hale, M., 1999- A predictive GIS model for mapping potential gold and base metal mineralization in Takab area, Iran, *Computer & Geosciences*, 9.
- Asadi, H. H., 2000- The Zarshuran gold deposit model applied in mineral exploration GIS in iran, PhD Thesis. ITC, Netherlands, 190pp.
- 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*, v. 47, p. 757-770.
- Carranza, E. J. M., & Hale, M., 2001- Geologically constrained fuzzy mapping of gold mineralization potential, Baguio district, Philippines. *Natural Resources Research*, v. 10(2), p. 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., 2008a- Mineral potential mapping of copper minearls using fuzzy logic in GIS invironment, ISPRS 2008, Beijing, China.
- Karimi, M., Valadan Zoj, M., Ebadi, H. & Saheb zamani, N., 2008b- Preparing of Mineral potential map of copper using GIS, Accepted in *Geoscience Journal*
- Malczewski, J., 1999- *GIS and multicriteria decision analysis*, John Wiley & Sons INC.
- Mukhopadhyay, B., Hazra, N., Sengupta, S. R. & Kumar Das, S., 1996- Mineral potential map by a knowledge driven GIS modeling: an example from Singhbhum Copper Belt, Jharkhad, Geological Survey of India.
- Porwal, A., 2006- Mineral potential mapping with mathematical geological models. Ph.D. Thesis, University of Utrecht, The Netherlands, 289 pp.
- Porwal, A., Carranza, E. J. M. & Hale, M., 2003- Knowledge-driven and data-driven fuzzy models for predictive mineral potential mapping. *Natural Resources Research*, v. 12(1), p. 1-25.
- 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*, v. 426, p.339-376.
- Yugoslavia report, 1972- Report on explorations for copper in Now Chun area. Institute for geological and mining exploration Beograd-Yugoslavia, p.1-39.
- Zadeh, L. A., 1965- Fuzzy sets. *IEEE Information and Control*, v.8, p. 338-353.

\* Corresponding author: A. Nejati Kalateh; E\_mail: nejati\_ali@yahoo.com

## Hydrocarbon Potential Evaluation and Depositional Environment of Sargelu Formation in Masjid-i-Soleiman Oilfield

B. Alizadeh<sup>1\*</sup> & S. H. Hosseini<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Geology, Earth Science Faculty, Shahid Chamran University, Ahwaz, Iran

Received: 2008 July 21

Accepted: 2009 February 02

### Abstract

Sargelu Formation is deeply buried and has limited distribution in Dezful Embayment (limited to the northern part), hence, investigation of petroleum potential of this formation has attracted many petroleum geologists. In this study, hydrocarbon potential of Sargelu Formation in Northern Dezful Embayment is evaluated geochemically. For this purpose 34 drill cuttings from well numbers, 309, 310, 312 and 316 in Masjid-i-Soleiman (MIS) oilfield were selected, and geochemical analyses such as Rock-Eval VI pyrolysis and PY-GC were performed. The results reveal that the formation has "Very Good" hydrocarbon potential because of its high amounts of Total Organic Carbon (TOC). Results were plotted on Van-Krevelen as well as on HI vs.  $T_{max}$  diagrams, and demonstrated mixed Kerogen Type III and IV due to low HI caused by higher thermal maturity, in well numbers 309, 310 and 312. However, the prominent Kerogen type was determined to be of mixed Kerogen type II and III. In all, the organic matter in well No. 316 has a better Kerogen type (mixed type II and III). All the Samples plotted on Smith Diagram have more than 0.1  $S_p/TOC$  ratios and capable of generating hydrocarbon. The  $Pr/nC_{17}$  vs.  $Ph/nC_{18}$  ratio demonstrates marine environment for Sargelu Formation. Pyro and thermograms reveal that normal alkanes are dominated in  $C_{15} - C_{20}$  range, while heavy normal alkanes are missing due to its high thermal maturity. In all it can be concluded that Sargelu Formation in MIS oilfield, due to its paleoenvironment as well as burial depth exclusively has a good quality of organic matter with adequate maturity at the end of oil window and hence is gas-prone.

**Keywords:** Dezful Embayment, Masjid-i-Soleiman Oilfield, Sargelu Formation, Genetic Potential, Depositional Environment, Rock-Eval, Pyrolysis-Gas Chromatography

For Persian Version see pages 173 to 178

\*Corresponding author: B. Alizadeh; E-mail: Alizadeh@scu.ac.ir

## Determination of Drilling Point using Fuzzy Logic in GIS Case Study: Now Chun Copper Prospect

G. R. Elyasi<sup>1\*</sup>, M. Karimi<sup>2</sup>, A. Bahroudi<sup>1</sup> & A. Adeli Sarcheshme<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Exploration of Mining Engineering Dep., Mining Faculty, Tehran University, Tehran, Iran

<sup>2</sup> GIS Department, Survey Faculty, K.N.Toosi University of Technology, Tehran, Iran

Received: 2008 October 12

Accepted: 2009 April 20

### Abstract

Piles of maps from different sources with varying scales and formats and different styles and absence of a proper solution for integrating vast amount of information has resulted in a complexity for preparing mineral potential map. Using GIS not only organizes the information related to mineral exploration but also has the ability to produce and integrate information layers in different models with more precision and speed and supports spatial decision makings. In this article mineral potential map of Now Chun copper prospect has been produced for determination of drilling points. Used layers in this study include rock type, structure, alteration, mineralization indicators, anomaly zone of chargeability and apparent resistivity and metal factor, anomaly of copper and molybdenum and Cu-Mo additive indexes. After information preparation, Factor maps were weighted and integrated in the inference network. Integration use of Fuzzy logic and index overlay operators in inference network can eliminate defects in other models and provide more flexible integration of factor maps. Regarding to produce mineral potential map, mineral potential zones of porphyry copper were located in north-east parts of studied area. Eventually, the degree of correlation between mineral potential map and those operated exploration boreholes have been estimated for two different classes, 63.16% and 64.52%. Comparison between the high potential points indicated by our mineral potential maps with those previous drilled boreholes reveals about 26% discorrelation. It means that if such present study had been done before any drilling operation, it could have saved 200,000\$ just for drilling expenditure.

**Keywords:** GIS, Mineral Potential Map, Fuzzy Logic, Now Chun

For Persian Version see pages 179 to 188

\* Corresponding author: G. R. Elyasi; E\_mail: ghrelyasi@yahoo.com