

# روش تحلیل سلسله مراتبی فازی در سامانه اطلاعات مکانی به منظور تعیین نقاط بهینه حفاری در کانسار مس پرفیری نیسیان

حجت شیرمرد<sup>۱</sup>

عباس بحرودی<sup>۲</sup>

امیر عادل<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت مقاله: ۹۳/۱۰/۲۹

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۳/۱۲/۲۳

\*\*\*\*\*

## چکیده

به دلیل پرهزینه و زمان بر بودن عملیات حفاری و نیز ریسک بالای آن در اکتشاف مواد معدنی این مرحله از اهمیت به سزایی برخوردار است. به منظور تعیین نقاط بهینه حفاری، تهیه نقشه پتانسیل معدنی با استفاده از سامانه اطلاعات مکانی برای تلفیق کلیه فاکتورهای اکتشافی امری ضروری می باشد. روش های مختلفی برای تهیه نقشه پتانسیل یابی تاکنون توسعه یافته است. یکی از موثرترین آنها با توجه به طبیعت پدیده های زمین شناسی و معدنی؛ روش سلسله مراتبی در ترکیب با منطق فازی است. در این تحقیق از روش ترکیبی متشکل از سلسله مراتبی و فازی که تحت عنوان سلسله مراتبی فازی (AHP Fuzzy) بهره گرفته شده است. در این بررسی از فناوری سامانه اطلاعات مکانی به عنوان یکی از مؤثرترین ابزارها برای مدیریت داده و اطلاعات اکتشافی برای تلفیق داده های مختلف جهت تهیه نقشه پتانسیل معدنی بهره گرفته شده است. در این پژوهش؛ کانسار مس پرفیری نیسیان به عنوان مطالعه موردی استفاده شده است. زیرا این کانسار در استان اصفهان در کمربند ولکانیکی ارومیه-دختر کشور؛ در حال مطالعه اکتشافی بوده و بعلا پیچیدگی های زمین شناسی و معدنی؛ تعیین بهینه محل های حفاری جهت مطالعات تفصیلی از حساسیت قابل توجهی برخوردار است. به منظور تهیه نقشه فاکتور زمین شناسی؛ ژئوشیمی از داده های موجود بهره گرفته شده است. برای محاسبه وزن لایه های اکتشافی از فرآیند سلسله مراتبی فازی استفاده می شود. در راستای اجرای دقیق از متخصصان زمین شناسی و ژئوشیمی بهره گرفته می شود. در فرآیند تلفیق لایه های اطلاعاتی حاصله از عملگرهای فازی استفاده می شود. برای ارزیابی و اعتبارسنجی نقشه پتانسیل معدنی حاصله؛ از گمانه های اکتشافی استفاده می شود. مقایسه نقشه پتانسیل تولید شده با گمانه ها نشانگر انطباق معنادار و مثبت بین آنها است. در این راستا نقاط پیشنهادی برای حفاری های مورد نیاز ارائه شده است.

واژه های کلیدی: سامانه اطلاعات مکانی؛ حفاری؛ تلفیق داده؛ کانسار مس؛ سلسله مراتبی فازی، اکتشاف.

\*\*\*\*\*

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد؛ گروه مهندسی اکتشاف معدن، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه تهران hodjat.shirmard@gmail.com

۲- عضو هیئت علمی گروه اکتشاف؛ دانشکده مهندسی معدن؛ پردیس دانشکده های فنی؛ دانشگاه تهران bahroudi@ut.ac.ir

۳- دانشجوی دکتری اکتشاف معدن؛ دانشگاه سانتیاگو؛ شیلی adeli@ut.ac.ir

## ۱- مقدمه

بر نظرات کارشناسان است مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این سری از روش‌ها؛ تعیین اهمیت نقشه‌های شاهد براساس دانش و تجربه کارشناسی استوار است. برخی از متداول‌ترین روش‌های دانش مبنا عبارتند از: روش‌های منطق بولین (Bonham-Carter, 1994) هم پوشانی شاخص (Carter, 1994) دمپستر شفر (Moon, 1990) و روش منطق فازی (Chung and Moon, 1990; An et al., 1991) در سال‌های اخیر استفاده از روش‌های فوق در تهیه نقشه‌های پتانسیل معدنی در کشور رو به گسترش بوده و هر روزه روش‌های جدیدتری در این زمینه مورد استفاده قرار می‌گیرند.

با توجه به پیچیدگی‌های زمین‌شناسی و نیز کانیزائی در کشور؛ استفاده از روش‌های تلفیق در پتانسیل معدنی توانسته کمک شایانی به کاهش ریسک در مطالعات اکتشافی بنماید. نمونه‌ای از پیچیدگی‌های مورد اشاره را می‌توان در محدوده اکتشافی نیسیان واقع در استان اصفهان عنوان نمود. در این محدوده خردشدگی شدید و نیز پیچیدگی‌های فضایی کانیزائی باعث شده تا تعیین نقاط حفاری برای اکتشاف تقضیلی با ابهامات فراوانی همراه باشد.

در این پژوهش هدف تهیه نقشه پتانسیل معدنی برای محدوده اکتشافی نیسیان به عنوان یک راه حل برای کاهش ریسک اکتشاف با استفاده از داده‌های حاصل از مطالعات زمین‌شناسی، آتراسیون و ژئوشیمی می‌باشد. نقشه‌های فاکتورهای مؤثر در کانی‌سازی با استفاده از سامانه اطلاعات مکانی تهیه شدند. فرآیند تحلیل سلسله مراتب فازی به منظور محاسبه وزن‌های هرکدام از فاکتورها استفاده شده است. ۳ متخصص در زمینه زمین‌شناسی و ۳ متخصص در زمینه ژئوشیمی به منظور انجام این فرآیند مورد استفاده قرار گرفتند.

با وزندهی نقشه‌های فاکتور با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی در سامانه اطلاعات مکانی، نقاط بهینه حفاری در مکان‌های با امتیاز بالا تعیین شدند که منجر به کاهش هزینه و کاهش زمان در عملیات اکتشافی محدود نیسیان شده است.

از آنجائی که عملیات حفاری یکی از پرهزینه‌ترین بخش‌های مطالعات اکتشافی بوده و زمان قابل توجهی را بخود اختصاص می‌دهد؛ لذا تعیین نقاط بهینه حفاری به منظور کاهش ریسک عملیات اکتشاف تفصیلی یکی از نیازهای اساسی در هر محدوده خاص محسوب می‌شود. برای غلبه بر این مشکل؛ تهیه نقشه پتانسیل معدنی و مدلسازی آن با استفاده از داده‌های موجود گامی تعیین‌کننده است. برای تولید نقشه پتانسیل معدنی تشخیص فاکتورهای مؤثر بر کانی‌سازی و نیز انتخاب یک روش تلفیق، دو مرحله مهم و حساس می‌باشند. در این مسیر در اختیار داشتن فناوری مناسب برای مدیریت داده‌ها و اطلاعات اکتشافی می‌تواند در سرعت تولید و دقیق نقشه پتانسیل معدنی نقش کلیدی را ایفاء نماید. بطوری که بدون چنین فناوری تعیین مکان‌های مناسب جهت حفاری دشوار خواهد بود. (Porwal, 2006) تاکنون روش‌های مختلفی برای تهیه نقشه پتانسیل معدنی توسعه داده شده است. بطورکلی این روش‌ها را می‌توان به دو گروه اصلی طبقه‌بندی کرد:

(۱) روش‌های داده-مبنا (۲) روش‌های دانش-مبنا (Bonham-Carter, 1994; Pan and Harris, 2000; Carranza, 2008). در روش داده-مبنا، ذخایر معدنی شناخته شده در منطقه مورد نظر به عنوان نقاط آموزش برای ایجاد روابط مکانی با ویژگی‌های اکتشافی مشخص استفاده می‌شود. روابط فضایی بین داده‌های ورودی و نقاط آموزشی به منظور تعیین اهمیت هر یک از نقشه‌های شاهد مورد استفاده قرار می‌گیرد و در نهایت با تلفیق نقشه‌ها، نقشه پتانسیل معدنی تهیه می‌شود. (Nykänen and Salmirinne, 2007; Carranza, 2009). به عنوان مثال روش اوزان شاهد. (Bonham-Carter et al, 1989) رگرسیون لجستیکی (Agterberg and Bonham-Carter, 1999). شبکه عصبی (Singer and Kouda, 1996; Porwal et al, 2003, 2004) مواردی از روش‌های داده مبنا متداول هستند. هنگامی که داده‌های اکتشافی مورد نیاز دارای محدودیت بوده و قابل توجه نمی‌باشند؛ از روش دانش مبنا که مبتنی

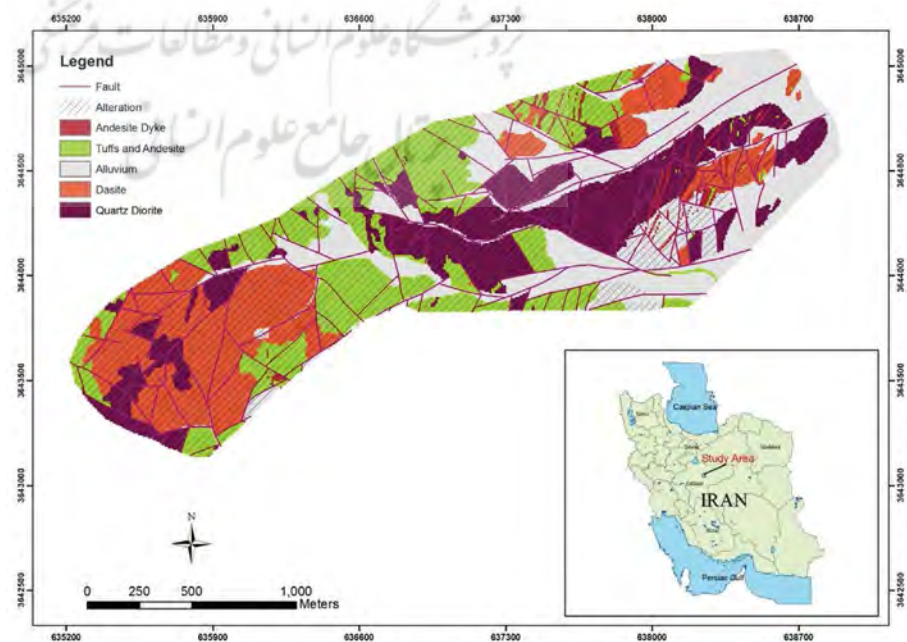
کانی‌سازی مس در سطح زمین با وجود مالاکیت، آزوریت (اندک) و نئوتوسیت، به ویژه در بخش شرقی و مرکزی محدوده اکتشافی خودنمایی می‌کند. شواهد غیرمستقیم کانی‌سازی شامل تمرکز و یا آغشتگی اکسید-هیدرووکسیدهای آهن، جاروسیت، برش‌ها و رگه-رگچه‌های کوارتز-تورمالین، کوارتز-مگنتیت و همین‌طور دگرسانی وسیع به ویژه از نوع فلیک است (گزارش زمین شناسی زرناب، ۱۳۱۹).

هر دو توده نفوذی- نیمه عمیق در محدوده نیسیان دارای بافت پورفیری و به ندرت دانه‌ای نیمه‌شکل‌دار هستند. توده کوارتزدیوریتی با وجود فنوکریست‌های پلاژیوکلاز، بیوتیت، کوارتز، کمتر هورنبلند و به ندرت کلینوپیروکسن در زمینه‌ای ریزدانه متشکل از کوارتز-فلدسپار مشخص می‌شود. توده داسیت پورفیری با وجود فنوکریست‌های فراوان کوارتز گرد تا تحلیل رفته، پلاژیوکلاز، بیوتیت و کمتر آمفیبول در زمینه‌ای ریزدانه غنی از کوارتز-فلدسپار شناخته می‌شود. تفاوت عمده این دو توده، وجود فنوکریست کوارتز بیشتر، پلاژیوکلاز کمتر، بافت دانه ریزتر در داسیت است. همچنین به‌طور کلی، شدت آلتراسیون در توده داسیتی در مقایسه با توده کوارتزدیوریتی بیشتر است (گزارش زمین شناسی زرناب، ۱۳۱۹).

## ۲- زمین‌شناسی منطقه مورد بررسی

محدوده نیسیان به وسعت تقریبی ۵/۲ کیلومترمربع در منطقه‌ای نیمه‌کوهستانی با توپوگرافی نسبتاً ملایم قرار دارد. کانسار نیسیان یک دگرسانی نسبتاً بزرگ را در میانه کمربند ساختاری ارومیه- دختر و حاشیه رخنمون‌های نسبتاً مرتفع این زون تشکیل داده است (گزارش زمین شناسی زرناب، ۱۳۱۹). این محدوده به‌طور عمده شامل واحدهای سنگی آذرآواری- آتشفشانی پالئوسن - ائوسن با ترکیب غالب آندزیت، کوارتزآندزیت، تراکی آندزیت، توف و کمتر بازالت است که مورد نفوذ و تهاجم توده‌های پورفیری با ترکیب غالب کوارتزدیوریت و داسیت به سن اولیگومیوسن قرار گرفته‌اند. تنه اصلی کانسار مس پورفیری نیسیان توده نفوذی- نیمه‌عمیق کوارتزدیوریتی- گرانودیوریتی محسوب می‌شود (نگاره ۱). واحدهای سنگی مذکور جملگی با تأخیر به وسیله دایک‌های عقیم پرشیب با ترکیب آندزیتی تا داسیتی قطع شده‌اند. مشاهدات صحرایی نشان می‌دهد که ابتدا توده کوارتزدیوریتی- گرانودیوریتی و سپس توده داسیتی با فاصله زمانی نزدیک تزریق شده‌اند و همراه و در ادامه این رخدادها، دگرسانی و کانی‌سازی مس رخ داده است (گزارش زمین شناسی زرناب، ۱۳۱۹).

نگاره ۱: نقشه زمین‌شناسی و موقعیت جغرافیایی محدوده نیسیان



### ۳- فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی

وقتی تصمیم‌گیرنده با یک مسأله غیر قطعی و پیچیده مواجه می‌شود و قضاوت‌های مقایسه‌ای خود را به صورت نسبت‌های غیر قطعی مانند «حدوداً دو برابر مهم‌تر» و «بین دو تا چهار برابر کم‌اهمیت‌تر» بیان می‌کند، گام‌های AHP استاندارد و به خصوص، رویکرد اولویت‌بندی بردار ویژه نمی‌توانند به عنوان روش‌های درست در نظر گرفته شوند. (Celik, 2009) در سال ۱۹۹۶، یک محقق چینی به نام «یونگ چانگ»، روش تحلیل توسعه‌ای<sup>۲</sup> را ارائه کرد. در این روش شناسی، اعداد فازی مثلثی<sup>۳</sup> همه عناصر را در ماتریس قضاوت قرار دارد. بردارهای وزن این روش، به علت سادگی محاسباتش، در اکثر تحقیقات به کار می‌رود. روش تحلیل سلسله مراتب فازی که توسط چانگ (۱۹۹۶) پیشنهاد شد در این مقاله به کار گرفته می‌شود.

مراحل اجرای این روش با تبعیت از مقاله چاپ شده توسط کریمی (۲۰۱۱) به صورت زیر می‌باشد.  
 فرض کنید  $\tilde{A} = \{\tilde{M}_{ij}\}$  یک ماتریس مقایسه زوجی فازی می‌باشد که به صورت رابطه (۱) معرفی می‌شود:

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} 1 & \tilde{M}_{12} & \dots & \tilde{M}_{1n} \\ \tilde{M}_{21} & 1 & \dots & \tilde{M}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{M}_{n1} & \tilde{M}_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

آنگاه رابطه  $\tilde{M}_{ij} = 1/\tilde{M}_{ji}$  برقرار خواهد بود.

حال برای حل مدل در هر یک از سطرهای ماتریس مقایسات زوجی، ارزش  $S_k$  که خود یک عدد فازی مثلثی است؛ به صورت رابطه (۲) محاسبه می‌شود:

$$S_k = \sum_{l=1}^n M_{lj} * \left[ \sum_{l=1}^m \sum_{l=1}^n M_{ll} \right]^{-1} \quad (2)$$

که در آن، k بیانگر شماره سطر و i و j، به ترتیب، نشان‌دهنده گزینه‌ها و شاخص‌ها هستند. در این روش، پس از محاسبه  $S_k$ ها درجه بزرگی آنها را نسبت به هم باید به

دگرسانی فیلک بیشترین گسترش را در سطح و عمق به خود اختصاص داده و تقریباً در تمامی گمانه‌ها شناسایی شده است. این دگرسانی با فراوانی سرسیت، کوارتز، پیریت و گاه کلریت و کلسیت مشخص می‌شود و در مواردی بوسیله دگرسانی ضعیف تا متوسط آرژیلیک اورپرینت<sup>۱</sup> شده است. دگرسانی پتاسیک که اغلب با بیوتیت ثانوی و گاه رگچه‌های حاوی انهدریت و کوارتز - مگنتیتی مشخص می‌شود، از لحاظ گسترش بعد از فیلک قرار دارد و از سطح تا عمق با پارائز کمی متفاوت یافت می‌شود.  
 در این نوع دگرسانی رگچه‌های فلدسپار پتاسیک (ارتوز) شناسایی نشد.

دگرسانی پتاسیک تا حدودی تحت تأثیر دگرسانی فیلک قرار گرفته و کنترل لیتولوژیکی در توسعه آن نقش زیادی نشان می‌دهد؛ به طوری که گسترش و حجم اصلی آن مربوط به سنگ‌های آتشفشانی با ترکیب آندزیتی است. دگرسانی پروپیلیتی (شامل کلریتی، کلریتی-کلسیتی) گسترش و شدت نسبتاً کمی در محدوده کانی‌سازی اصلی داشته و بیشتر در سنگ‌های آتشفشانی- آذرآواری دربرگیرنده به ویژه در حاشیه توده‌های نفوذی توسعه دارد.

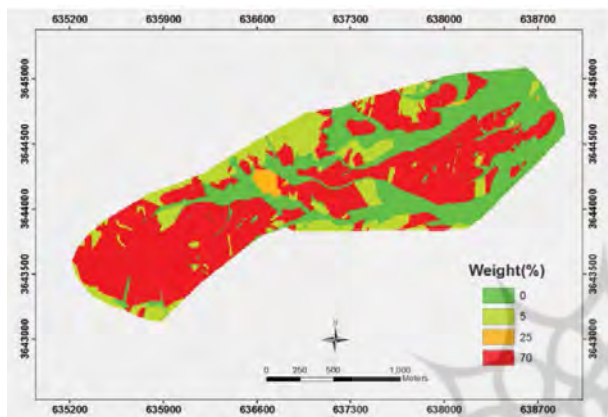
دگرسانی آرژیلیک در سطح زمین و بخش‌های کم عمق برخی از گمانه‌ها قابل تشخیص بوده و به نظر می‌رسد اغلب دارای خاستگاه سوپرژن است. این دگرسانی در سطح و عمق کم در برخی قسمت‌ها با حضور رگچه‌های حاوی ژاروسیت مشخص می‌شود. کانی‌سازی مس در نسیان بیشتر در زون‌های برشی و رگه- رگچه‌های پراکنده و در عین حال پرشیب تمرکز یافته و کمتر به شکل افشان<sup>۲</sup> و استوک‌ورک رخ داده است.

این ویژگی سبب شده تا عیارهای غیرعادی مس حتی تا حدود ۹ درصد وزنی در بازه‌های قابل توجه در برخی گمانه‌ها ثبت شود. گسترش و پیوستگی جانبی این زون‌های پرعیار برخلاف گسترش عمقی آنها معمولاً محدود و نامنظم است.

3- Extent Analysis Method  
 4- Triangular Fuzzy Numbers

1- Overprint  
 2- Disseminated

فازی مجموعه‌ها، مجموعه‌ها زیر مجموعه‌ای از عناصری می‌باشند که درجه عضویشان در آن مجموعه بین صفر تا یک متغیر است. (Zadeh 1965) این مقادیر می‌توانند بر اساس قضاوت ذهنی کارشناسان تعیین شوند. (Carter, 1994; An et al., 1991) در جدول شماره ۱، پنج عملگر کاربردی به منظور تلفیق لایه‌های اکتشافی به صورت مختصر آورده شده است.



نگاره ۳: نقشه فاکتور دگرسانی

### ۵- اجرای روش

#### تعیین فاکتورهای تشخیص کانی‌سازی

فاکتورهای مؤثر در شکل‌گیری ماده معدنی مس در محدوده اکتشافی نسیان با در نظر گرفتن مدل مفهومی ذخایر مس پرفیری، دانش کارشناسی و نیز نوع داده‌های موجود به منظور تهیه نقشه پتانسیل معدنی تعیین شدند. در این مقاله با استفاده از نتایج مطالعات زمین‌شناسی، نقشه فاکتورهای لایه‌های تیپ سنگ‌شناسی (نگاره ۲)، دگرسانی (نگاره ۳)، برش هیدروترمال (نگاره ۴)، استوکورک (نگاره ۵) و گوسان (نگاره ۶) به عنوان فاکتورهای اکتشافی از منظر مطالعات زمین‌شناسی انتخاب شدند.

از منظر مطالعات ژئوشیمی و برداشت ۲۵۰۰ نمونه به منظور آنالیز ICP دولایه عیار عنصر مس و فاکتور ۵ از آنالیز فاکتوری که بر روی داده‌های شاخص غنی‌شدگی انجام شده، به عنوان فاکتورهای مؤثر در تشخیص کانی‌سازی انتخاب شدند. روش آنالیز فاکتوری یکی از روش‌های

دست آورد. به طور کلی، اگر  $M_1$  و  $M_2$  دو عدد فازی مثلثی باشند، درجه بزرگی  $M_1$  بر  $M_2$  به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\begin{cases} V(M_1 \geq M_2) = 1 & \dots \dots \dots M_1 \geq M_2 \\ V(M_1 \geq M_2) = hgt(M_1 \cap M_2) \end{cases}$$

(۳) و در غیر این صورت:

$$hgt(M_1 \cap M_2) = \frac{u_1 - l_2}{(u_1 - l_2) + (m_2 - m_1)} \quad (4)$$

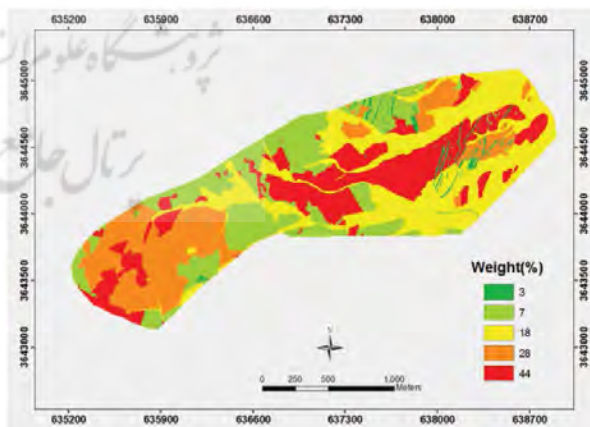
برای محاسبه وزن شاخص‌ها در ماتریس مقایسات زوجی به صورت زیر عمل شده است:

$$W'(X_i) = \min\{V(S_i \geq S_k)\} \dots \dots \dots k = 1, 2, \dots, n, k \neq i \quad (5)$$

بنابراین، بردار وزن شاخص‌ها به صورت زیر خواهد بود:

$$W' = [W'(X_1), W'(X_2), \dots, W'(X_n)] \quad (6)$$

که همان بردار ضرایب نابهنجار AHP فازی است. براساس رابطه  $W_i = \frac{W'_i}{\sum W}$  اوزان بهنجار شده شاخص‌ها به دست می‌آید.



نگاره ۲: نقشه فاکتور تیپ سنگ‌شناسی

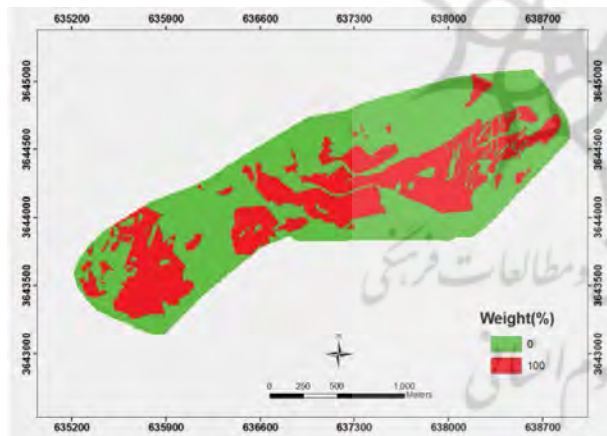
### ۴- معرفی مدل تلفیق منطق فازی

در نظریه کلاسیک مجموعه‌ها مقدار عضویت یک عنصر در یک مجموعه ۰ یا ۱ می‌باشد، در حالی که در نظریه

جدول ۱- عملگرهای فازی مورد استفاده در تهیه نقشه پتانسیل معدنی. بونهام کارتر (۱۹۹۴)، نیکان و سلمیرینه (۲۰۰۷)

عملگر	رابطه عملگر	ویژگی های عملگر	کاربرد
Fuzzy AND	$\mu_{Combination} = MIN(\mu_A, \mu_B, \mu_C, \dots)$	عملگری کاهش و تولید مقادیر عضویت فازی کوچکتر	زمانی که چند شاهد برای اثبات یک فرضیه لازم باشد
Fuzzy OR	$\mu_{Combination} = MAX(\mu_A, \mu_B, \mu_C, \dots)$	عملگری افزایشی و تولید مقادیر عضویت فازی بزرگتر	زمانی که یک شاهد برای اثبات یک فرضیه کافی باشد
Fuzzy Product	$\mu_{Combination} = \prod_{i=1}^n \mu_i$	دارای اثر کاهش	زمانی که چند شاهد برای اثبات یک فرضیه لازم باشد
Fuzzy Sum	$\mu_{Combination} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - \mu_i)$	دارای اثر افزایشی	زمانی که یک شاهد برای اثبات یک فرضیه کافی باشد
Fuzzy Gamma	$\mu_{Combination} = (Fuzzy\ Sum)^\gamma \times (Fuzzy\ Product)^{1-\gamma}$	و ترکیبی از روش فازی sum و product	بستگی به انتخاب مقدار گاما می تواند اثر افزایشی و یا کاهش داشته باشد

مولیدن در فاکتور ۵ قرار گرفتند.

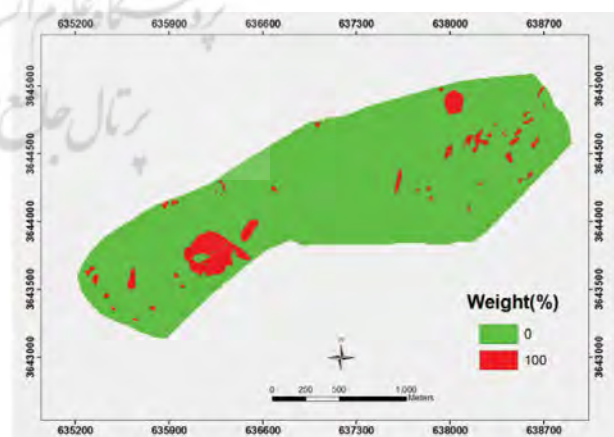


نگاره ۵: نقشه فاکتور استوک ورک

با توجه به ویژگی های زمین شناسی و سنگ شناسی کوارتز دیوریت به عنوان سنگ میزبان با کانی سازی بسیار خوب و نیز داسیت با کانی سازی نسبتاً خوب شناخته و وزن بیشتری به آنها تعلق می گیرد.

دگرسانی فیلک مهم ترین زون دگرسانی در سطح محدوده است که در بین دگرسانی پروپلیتیک محصور شده است. در درون این دگرسانی به طور موضعی زون های

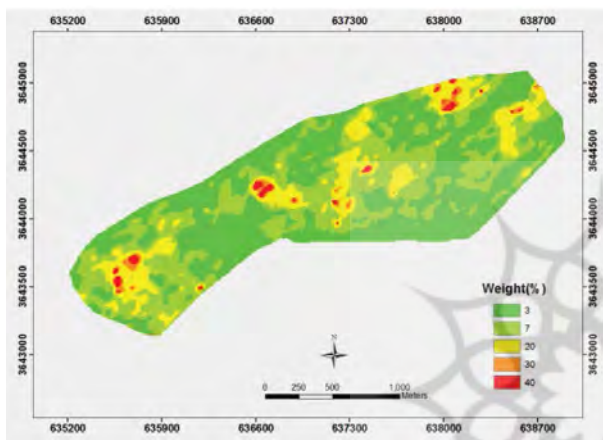
آماری چندمتغیره است که قادر به آشکار سازی الگوها، درون مجموعه ای از متغیرها است که اصول آن گروه بندی داده های با همبستگی بالا تحت عنوان یک فاکتور می باشد، این روش آماری چند متغیره توسط هارولد هتلینگ (۱۹۳۳) با مقاله معروف خود درباره تحلیل مؤلفه های اصلی توسعه یافت و پایه ای برای تحلیل فاکتوری بنا نهاد.



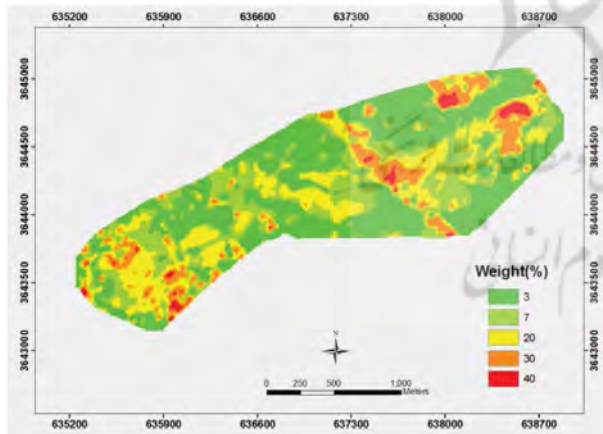
نگاره ۴: نقشه فاکتور برش

در این مقاله آنالیز فاکتوری بر روی داده های شاخص غنی شدگی انجام گرفته شد که در نهایت دو عنصر مس و

می‌باشند که می‌توان این محل‌ها را به عنوان هسته‌های فعال‌تر سیالات کانه‌دار محسوب کرد، بنابراین یکی از فاکتورهای مهم نقشه برش‌های منطقه می‌باشد. با توجه به اینکه کلاهیک اکسید آهنی در منطقه در برخی از قسمت‌ها مرتبط با کانسیزاسی مس می‌باشد، نقشه کلاهیک اکسید آهنی نیز به عنوان یکی از معیارهای مؤثر بر شناخت محل کانسیزاسی تهیه شده است.



نگاره ۸: نقشه فاکتور عیار مس



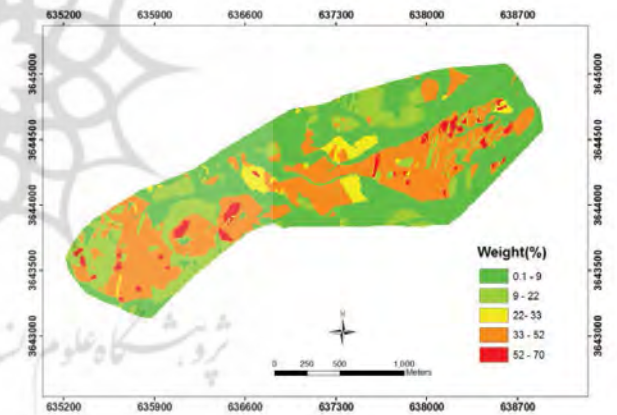
نگاره ۹: نقشه فاکتور آنالیز فاکتوری

در مجموع با توجه به شواهد زمین‌شناسی و میانگین‌گیری از وزن‌های اختصاص داده شده توسط کارشناسان و نیز محاسبه وزن‌ها با روش تحلیل سلسله مراتبی فازی (جدول ۲)، نقشه‌های فاکتور زمین‌شناسی آماده و در نهایت با تلفیق این نقشه‌ها به روش عملگر فازی And، نقشه پتانسیل

دگرسانی فلیک تورمالین‌دار ( $\pm$ فلوئورین) دیده می‌شود که با زون‌های برشی همراه هستند. بنابراین بیشترین وزن به دگرسانی فلیک اختصاص می‌یابد.



نگاره ۶: نقشه فاکتور گوسان



نگاره ۷: نقشه پتانسیل معدنی زمین‌شناسی

از لحاظ ساختاری به نظر می‌رسد که گسل‌های اصلی که روند شمال غرب-جنوب شرق دارند از عوامل اصلی کنترل‌کننده‌های کانسیزاسی باشند ولی با توجه به اینکه گسل‌های جوان در این محدوده بسیار زیاد بوده و همچنان نیز وضعیت فعالی دارند یافتن ارتباط مکانی بین کانسیزاسی و گسل‌های منطقه بسیار دشوار خواهد بود. لیکن با توجه به اینکه حجم اصلی کانسیزاسی در ارتباط با زون‌هایی است که برشی هستند و دارای تورمالین (به عنوان سیمان برش) می‌باشند که در برخی مکان‌ها مرتبط با استوک ورک‌ها

جدول ۲: وزن‌های نهایی محاسبه شده به روش تحلیل سلسله مراتبی فازی

لايه	زیر لايه	وزن
تیپ سنگ شناسی	دایک آندزیتی	3
	رسوبات کواترنری	18
	توف آندزیت	7
	داسیت	28
	کواتز دیوریت	44
دگرسانی	پروپیلیتیک	0
	فیلیک	70
	آرژیلیک	5
	کوارتز سرسیت	25
استوک ورک	دارای استوک ورک	100
	فاقد استوک ورک	0
برش	دارای برش	100
	فاقد برش	0
گوسان	دارای گوسان	100
	فاقد گوسان	0
عنصر مس	$Min - \bar{X}$	3
	$\bar{X} - \bar{X} + S$	7
	$\bar{X} + S - \bar{X} + 2S$	20
	$\bar{X} + 2S - \bar{X} + 3S$	30
	$\bar{X} + 3S - Max$	40
آنالیز فاکتوری	$Min - \bar{X}$	3
	$\bar{X} - \bar{X} + S$	7
	$\bar{X} + S - \bar{X} + 2S$	20
	$\bar{X} + 2S - \bar{X} + 3S$	30
	$\bar{X} + 3S - Max$	40

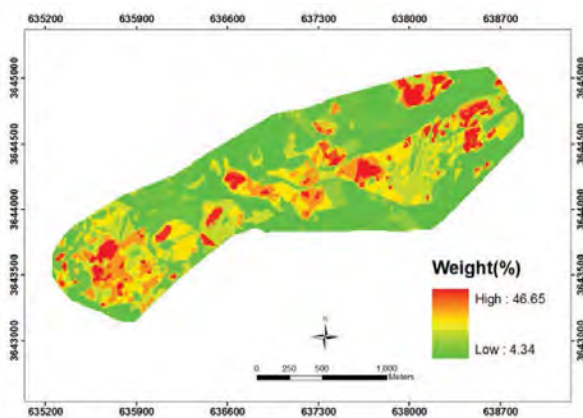
  

معیارها	وزن	لايه ها	وزن
زمین شناسی	0/37	تیپ سنگ شناسی	22
		دگرسانی	2
		استوک ورک	18
		برش	27
		گوسان	13
ژئوشیمی	0/63	عنصر مس	63
		آنالیز فاکتوری	37

برخوردار شده است. در نهایت با تلفیق این دو فاکتور ژئوشیمی به روش عملگر فازی And، نقشه پتانسیل معدنی ژئوشیمی (نگاره ۱۰) تهیه شده است. با وزن‌دهی و تلفیق نقشه پتانسیل معدنی زمین شناسی و نقشه پتانسیل معدنی ژئوشیمی، نقشه پتانسیل معدنی محدوده نسیان تهیه شده است (نگاره ۱۱).

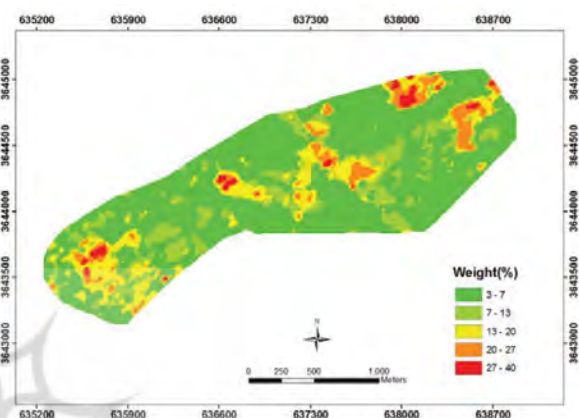
معدنی زمین‌شناسی (نگاره ۷) تهیه شده است. نقشه عنصر مس (نگاره ۸) و نیز نقشه آنالیز فاکتوری (نگاره ۹) بر روی داده‌های شاخص غنی‌شدگی تهیه شدند؛ که باتوجه به نظر کارشناسان در زمینه ژئوشیمی و محاسبه وزن‌ها با روش تحلیل سلسله مراتبی فازی، نقشه آنالیز فاکتوری از وزن بیشتری نسبت به نقشه عنصر مس





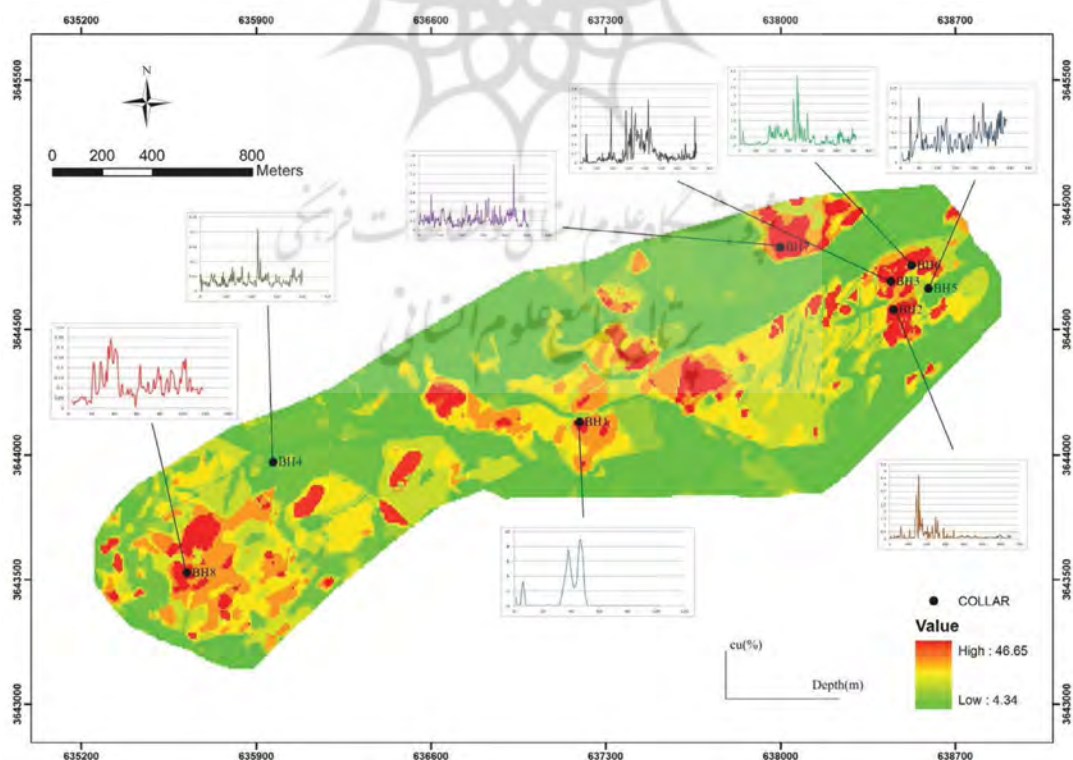
نگاره ۱۱: نقشه پتانسیل معدنی

به منظور ارزیابی نقشه پتانسیل معدنی از نتایج ۸ گمانه که با عمق‌های حداقل ۵۰ و حداکثر ۷۰۰ متر حفر شده است مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به اینکه نتایج آنالیز عیار مس که به طور متوسط از هر ۲ متر یک نمونه عیارسنجی شده است.



نگاره ۱۰: نقشه پتانسیل معدنی ژئوشیمی

**نتیجه گیری**  
 به منظور ارزیابی نقشه پتانسیل معدنی از نتایج ۸ گمانه حفر شده در محدوده استفاده شده است. عمق این گمانه‌ها حداقل ۵۰ و حداکثر ۷۰۰ متر می‌باشد و از هر ۲ متر از مغزه‌های حفاری یک نمونه به منظور عیارسنجی گرفته شده



نگاره ۱۲: ارزیابی نقشه پتانسیل معدنی با عیار مس گمانه‌ها

rules of spatial geoscience data for mineral exploration. *Geoinformat.*, 2, 159-169. Porwal, A., 2006- Mineral Potential Mapping with Mathematical Geological Models, PHD thesis.

9- Duran, O., Aguilo, J., 2008. Computer-aided machine-tool selection based on a Fuzzy-AHP approach. *Expert Systems with Applications* 34, 1787-1794.

10- Hotelling, H., 1933. "Analysis of a Complex of Statistical Variables into Principal Components", *Journal of Educational Psychology*, Vol. 24(7), p. 498-520.

11- Karimi A.R., Mehrdadi N., Hashemian S.J., Nabi-Bidhendi G.R. and Tavakkoli-Moghaddam R.; 2011: Using of the fuzzy TOPSIS and fuzzy AHP methods for wastewater treatment process selection. *Int. J. Acad. Res.*, 3, 780-786.

12- Pan G.C. and Harris D.P., 2000: Information synthesis for mineral exploration. Oxford University Press, New York, NY, USA, 461 pp.

13- Nykänen V. and Salmirinne H., 2007. Prospectivity analysis of gold using regional geophysical and geochemical data from the central Lapland Greenstone belt, Finland. *Geol. Surv. Finland, Special Paper*, 44, 251-269.

14- Moon W.M.; 1990. Integration of geophysical and geological data using evidential belief function. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 28, 711-720.

15- Wang, L., Chu, J., Wu, J., 2007, Selection of optimum maintenance strategies based on a fuzzy analytic hierarchy process. *international journal of production economics* 107, 151-163.

16- Zarnab Consulting Engineers Co. 1989. Geological-alteration study report, scale 1:1000 Tehran, Iran.

است. نتایج آنالیز عیار مس به صورت نمودار در نگاره ۱۲ دیده می شود. پس از انطباق نمودار تغییرات عیار مس بر حسب عمق در گمانه‌ها با نقشه پتانسیل معدنی نتایج قابل قبولی بدست آمد. همانطور که در نگاره ۱۲ دیده می شود، در مناطقی که وزن بالایی دارند عیار مس نیز بالا می باشد، بنابراین در صورتی که حفاری‌ها در مناطق با وزن بالا در نقشه پتانسیل معدنی حفر شوند ریسک عملیات اکتشافی کاهش می یابد و همچنین منجر به کاهش هزینه و زمان در این مرحله ی بسیار مهم از اکتشاف می شود.

### منابع و مآخذ

1- Agterberg F. P. and Bonham-Carter G.F.; 1999: Logistic regression and weights of evidence modeling in mineral exploration. In: *Proc. 28th Int. Symp. App. Comput. Mineral Ind. (APCOM)*, Golden, CO, USA, pp. 483-490.

2- Bonham-Carter G.F.; 1994: Geographic information systems for geoscientists: modelling with GIS. Pergamon Press, Oxford, UK, 398 pp.

3- Bonham-Carter G.F., Agterberg F. P. and Wright D.F., 1989. Weights-of-evidence modelling: a new approach to mapping mineral potential. In: Agterberg F.P. and Bonham-Carter G.F. (eds), *Stat. Appl. Earth Sci., Geol. Surv. Canada*, Paper 89-9, pp. 171-183.

4- Carranza E.J.M.; 2008: Geochemical anomaly and mineral prospectivity mapping in GIS. *Handb. Explor. Environ. Geochem.*, Elsevier, Amsterdam, Netherland, 368pp.

5- Carranza E.J.M., 2009. Controls on mineral deposit occurrence inferred from analysis of their spatial pattern and spatial association with geological features. *Ore Geol. Rev.*, 35, 383-400.

6- Celik, M., Er, I.D., Ozok, A.F., 2009. Application of fuzzy extended AHP methodology on shipping registry selection: The case of Turkish maritime industry. *Expert Systems with Applications* 36, 190-198.

7- Chang D.Y.; 1996: Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. *Eur. J. Oper. Res.*, 95, 649-655.

8- Chung C. F. and Moon W.M., 1990. Combination