

ارزیابی عملکرد مدل منطبق بر GIS در تحلیل‌های مکانی به منظور اکتشافات معدنی

غلامرضا الیاسی^{۱*}، عباس بحرودی^۱، امیر عادل سرچشمه^۱، محمد کریمی^۲، جمشید حسن زاده^۳

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

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

^۳ گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه تهران

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

(دریافت: ۸۷/۱۲/۲۰؛ پذیرش: ۸۹/۷/۲۱)

چکیده

در ایران با توجه به وسعت زیاد کشور و گستردگی مناطق پتانسیل دار ذخایر معدنی (وجود کربند ولکانیکی ارومیه - دختر) و لزوم شناسایی و مدیریت صحیح این ذخایر، استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی دارای اهمیت بسیار بالایی می باشد. استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی ضمن آنکه می تواند 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 مدل های 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 در مقیاس تفصیلی تهیه شده است. مراحل اصلی تهیه نقشه پتانسیل معدنی شامل موارد شناسایی معیارهای تشخیص کانی سازی، سازماندهی و آماده سازی اطلاعات، وزندهی و تهیه نقشه های معیار، تلفیق نقشه‌های معیار و ارزیابی نتایج می باشد. لایه های مورد استفاده در مطالعه شامل لایه های تیپ سنگ شناسی، گسل، آلتراسیون، نشانه های کانی سازی، زون ناهنجاری شارژابیلیته و مقاومت ظاهری و فاکتور فلزی و آنومالی عناصر مس و مولیبدن و ادیتو مس و مولیبدن می باشند. نقشه های معیار با استفاده از دانش کارشناسی، وزندهی و در قالب یک شبکه استنتاجی و با استفاده از مدل همپوشانی شاخص وزندار تلفیق شده اند. با توجه به نقشه پتانسیل معدنی تهیه شده، محتملترین منطقه به لحاظ وجود کانی سازی مس پرفیری در قسمت شمال شرقی محدوده مورد مطالعه بر روی نقشه نهایی تعیین شد. در نهایت با انطباق گمانه های اکتشافی با نقشه پتانسیل معدنی نهایی، میزان تطابق نتایج بر اساس دو نوع کلاسه بندی نقشه پتانسیل معدنی به ترتیب برابر ۶۱/۲۹ و ۵۹/۶۵ درصد محاسبه شد. ضمناً در صورت انجام این مطالعات پیش از عملیات حفاری و تنها با فرض عدم حفاری چاه در مناطق دارای وضعیت ضعیف یا خیلی ضعیف، در حدود ۲۴ درصد از کل مجموعه چاه‌ها حفاری مغزه گیری نشده و به میزان زیادی در هزینه‌های حفاری صرفه‌جویی به عمل می آمد.

واژه های کلیدی: سامانه اطلاعات جغرافیایی، نقشه پتانسیل معدنی، همپوشانی شاخص وزندار، نوچون

مقدمه

GIS ضمن آنکه می تواند در پردازش و تجزیه و تحلیل لایه های مجزایی از داده های فضایی مورد استفاده قرار گیرد، توانایی آن را دارد که تهیه و تلفیق لایه‌های اطلاعاتی را در قالب مدل های مختلف، با سرعت و دقت بیشتری انجام دهد و به عنوان پشتیبانی برای تصمیم‌گیری های معدنی مورد استفاده قرار گیرد (Malczewski, 1999).

امروزه استفاده از GIS به منظور تهیه نقشه پتانسیل معدنی توسط دانشمندان علوم زمین متداول شده است. به عنوان مثال باسب موخوپاژایای و همکاران (۱۹۹۶) در کانسار مس سینگبوم با استفاده از مدلسازی GIS بر پایه دانش کارشناسی، فاکتورهای تشخیص کانی‌سازی را انتخاب، ارزیابی و ترکیب نموده‌اند. نقشه های فاکتور بر

پیش از گسترش فراگیر GIS اکثر دانشمندان علوم زمین که با مجموعه داده‌های مکانی مختلف کار می‌کردند، انتخاب، ارزیابی و ترکیب شواهد ذخایر معدنی را بر روی میزهای سبک و مجهز به سیستم روشنایی انجام می‌دادند. در این دوره آنها نقشه‌های گوناگون را در قالب لایه های اطلاعاتی به طور فیزیکی بر روی هم قرار می‌دادند تا روابط مشترک میان آنومالی‌ها را تعیین کنند. در سال های اخیر GIS تحول چشم گیری را در بسیاری از رشته های کاربردی بخصوص در زمینه اکتشاف معدن ایجاد نموده و سازماندهی و مدیریت داده‌های معدنی و اکتشافی را متحول ساخته است. استفاده از علم و فن آوری

شناسی، عملیات ژئوفیزیکی تفصیلی و نیز بررسی های تفصیلی ژئوشیمیایی تحت پوشش قرار گرفته است (Yugoslavia report 1972).

مطالعات زمین شناسی

مطالعات زمین شناسی این اندیس در طی سال های ۱۳۴۹ تا ۱۳۵۰ توسط یوگوسلاوها انجام شده است. نتایج این مطالعات به صورت نقشه زمین شناسی با مقیاس ۱:۵۰۰۰ می باشد. ناحیه پیرامون اندیس، شامل یک کمپلکس آتشفشانی- رسوبی می باشد که چندین توده پولوتونیک و نیمه عمیق ولکانیک با سن های گوناگون و ترکیب های متفاوت گرانیت، دیوریت پورفیریت و ریوداسیت در آن نفوذ کرده اند. این سنگ های نفوذی آلتراسیون های دگرگونی همبری واضحی را در ولکانیک های ائوسن پدید آورده و آلتراسیون های هیدروترمال با شدت های متفاوت، بر روی ناحیه ای نسبتاً وسیع توسعه یافته اند (Yugoslavia report 1972).

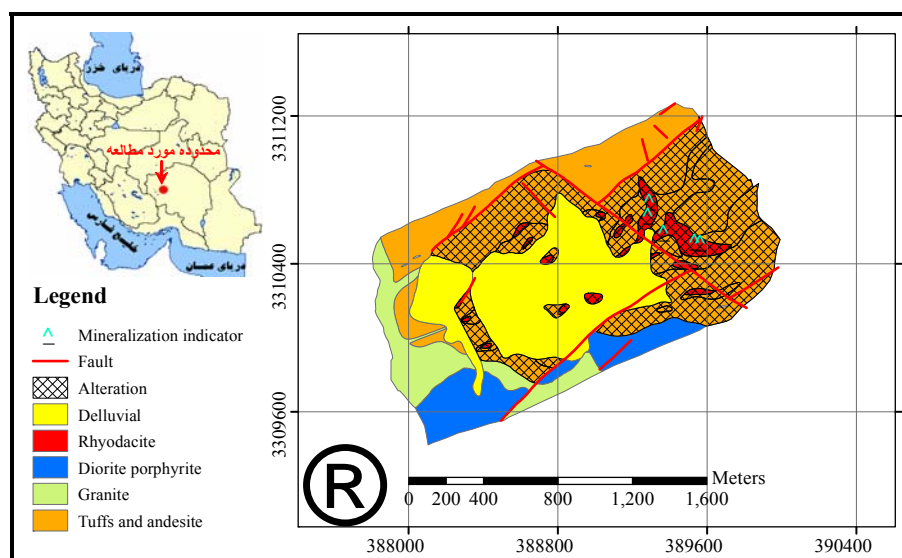
رسوبات کواترنری شامل آبرفت و نهشته های تالوس نیز بر روی قسمت های وسیعی از این ناحیه گسترده شده اند. توالی توف ها و آندزیت های ائوسن، قدیمی ترین و گسترده ترین تیپ های سنگی موجود در ناحیه می باشند. تقریباً در سراسر منطقه این سنگ ها در معرض دگرگونی همبری قرار گرفته اند. گرانیت ها در قسمت جنوب و جنوب شرقی نوچون مشاهده می شوند و عموماً دایک ها و استوک های کوچکی را تشکیل می دهند که به صورت همساز یا نا همساز در کمپلکس رسوبی- ولکانیک جای گرفته اند. همچنین برونزدهای دیوریت پورفیریت در قسمت جنوبی نوچون توسعه یافته اند (Yugoslavia report 1972).

اساس وزنی که به صورت تجربی به هر فاکتور داده شده است، وزندهی و در چندین مرحله به روش همپوشانی شاخص ترکیب و نقشه پتانسیل معدنی این کانسار تهیه شده است (Mukhopadhyay *et al.* 1996). تعدادی از محققین دیگر نیز نظیر رایت و کارتر (Wright & Carter 1996)، کرانزا (Carranza 2002)، پوروال (Porwal *et al.* 2003)، المنصف (El Monsef *et al.* 2004) و سزار (Cesar *et al.* 2002) نیز روش همپوشانی شاخص را به منظور تهیه نقشه پتانسیل معدنی به کار برده اند.

این مقاله در نظر دارد تا با استفاده از وزندهی به لایه های اطلاعاتی و شواهد کانی سازی موجود در اندیس مس نوچون و بکارگیری روش تلفیقی همپوشانی شاخص وزندار، متدلوژی تهیه نقشه پتانسیل معدنی این اندیس را در مقیاس تفصیلی و به منظور تعیین نقاط حفاری ارائه نماید.

معرفی منطقه مورد مطالعه و منابع اطلاعاتی موجود

اندیس مس نوچون در نزدیکی روستای نوچون و در دامنه های جنوب شرقی کوه منظر واقع شده است. این اندیس در چهار کیلومتری جنوب غربی معدن مس سرچشمه، در حدود ۱۰ کیلومتری شمال شرقی پاریز و در ۶۰ کیلومتری شمال شهر سیرجان واقع در استان کرمان قرار دارد (برگه پاریز ۱:۱۰۰.۰۰۰). نقشه زمین شناسی و همچنین موقعیت جغرافیایی این اندیس در شکل (۱) ارائه شده است. اندیس نوچون در سال ۱۳۴۹ و در طی نمونه برداری رسوب آبراهه ژئوشیمیایی شناسایی شده است. متعاقباً ناحیه توسط مطالعات زمین



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

کوآرتزری در بخش مرکزی و جنوب غربی ناحیه وجود داشته باشد. کانی سازی مس، در سطح زمین عمدتاً به صورت ورقه ها و رگچه های آزوریت و مالاکیت به همراه کمی کالکوپیریت در داخل رگچه های کوآرتز در چندین مکان در داخل رخنمون سنگ های دگرسان شده مشاهده می شود. مناطقی که در آن ها کانی سازی شدید رخ داده است، نسبتاً کوچک و در حدود چند ده متر مربع می باشند. موقعیت قرارگیری آلتراسیون های هیدروترمال، گسل ها و نشانه های کانی سازی مس بر روی شکل (۱) ارائه شده است (Yugoslavia report 1972).

مطالعات ژئوفیزیکی

بررسی های ژئوفیزیکی اندیس نوچون نیز در طی سال های ۱۳۴۹ تا ۱۳۵۰ توسط یوگوسلاو ها انجام شده است. این بررسی ها به منظور تعیین وجود کانی سازی سولفیدی در سطوح عمیق تر و مشخص نمودن زون کانی سازی سولفیدی و همچنین تمرکز کانی های سولفیدی انجام شده است. روش های پلاریزاسیون القائی و مقاومت الکتریکی در بررسی های تفصیلی به کار رفته اند. در این بررسی ها، آرایه الکتروستاتیکی 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. به طور کلی، زون های با بیشترین تمرکز سولفیدی در امتداد و پیرامون زون سنگ های دگرسان شده یافت شده اند (Yugoslavia report 1972). همچنین با استفاده از رابطه (۱) میزان فاکتور فلزی نقاط محاسبه و با استفاده از آن، نقشه فاکتور فلزی نیز تهیه شد.

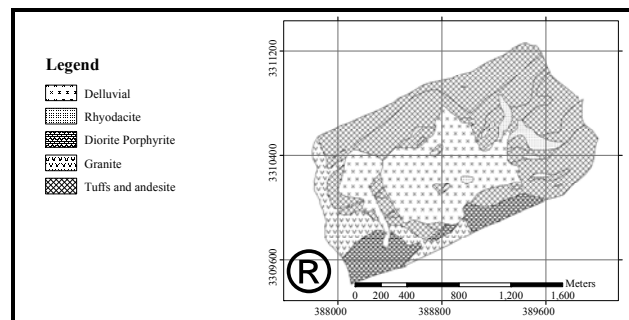
$$MF=2000 \times (CH/RS) \quad \text{رابطه (۱)}$$

در رابطه (۱) منظور از MF و Rs , CH به ترتیب مقدار شارژ ابیلیته، مقاومت ظاهری و فاکتور فلزی نقاط برداشت ژئوالکتریکی می باشد. با توجه به اطلاعات ژئوفیزیکی موجود، در این قسمت از نقشه های منفرد شارژ ابیلیته و مقاومت ظاهری و همچنین از نقشه ترکیبی فاکتور فلزی استفاده شده است.

مطالعات ژئوشیمیایی

مطالعات ژئوشیمیایی تفصیلی اندیس مس نوچون نیز همانند مطالعات زمین شناسی و ژئوفیزیکی در طی سال های ۱۳۴۹ تا ۱۳۵۰ توسط یوگوسلاوها انجام شده است. مطالعات 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 جهت تعیین مقادیر عناصر مس، مولیبدن، سرب و روی آنالیز شده اند (Yugoslavia

report 1972). نقشه تیپ سنگ شناسی اندیس مس نوچون در شکل (۲) ارائه شده است.



شکل ۲: نقشه تیپ سنگ شناسی اندیس مس نوچون

بر پایه مورفولوژی کلی و همبری های زمین شناسی می توان نتیجه گرفت که فاکتور ساختاری عمده، تکتونیک های نوع گسلی است. گسل ها به ویژه در جهت $ENE - WSW$ در ناحیه فراوان و دارای اهمیت می باشند. سنگ های قرار گرفته در میان این گسل ها به شدت خرد و جابجا شده اند و کانال هایی را ایجاد کرده اند که محلول-های هیدروترمال با گذار از درون آنها باعث دگرسانی سنگ های اطراف شده اند. گسل خوردگی ثانویه $WNW - ESE$ ، گودال ساختاری را به دو قسمت تقسیم کرده و بلوک شرقی نسبت به بلوک غربی به سمت جنوب شرقی جابجا شده است. گسل های دیگر کوچک و کم اهمیت بوده و گسل بزرگ ذکر شده را همراهی می کنند (Yugoslavia report 1972).

آلتراسیون های شدید در منطقه، اغلب در داخل توده های نفوذی ریوداسیتی توسعه یافته اند و جهت توده های ریوداسیتی و اکثر آلتراسیون های هیدروترمال شدید، به رابطه آنها با ساختار های متمایل به شمال شرقی- جنوب غربی اشاره می کند. توده های سنگی دگرسان شده وسیعی در شمال شرقی ناحیه قابل مشاهده است. اگر چه ممکن است آلتراسیون های شدید مشابهی نیز در زیر نهشته های

(report 1972).

اصلی و مولیبدن به عنوان عنصری که بیشترین همبستگی با مس را دارا می باشد انتخاب شد. همچنین در زیر معیار چند عنصری نقشه اندیس های ادیپتو مس و مولیبدن تهیه گردید.

روش کار

متدولوژی تعیین نقاط حفاری

یکی از کاربردهای متداول GIS در زمینه اکتشافات معدنی، تهیه نقشه پتانسیل می باشد. تهیه نقشه پتانسیل معدنی روند تحلیلی بسیار پیچیده‌ای است که نیازمند توجه همزمان به نقش فاکتورهای متعدد می‌باشد. عملیاتی که به منظور تهیه نقشه‌های پتانسیل معدنی انجام می‌شود، در بسیاری از جهات مشابه عملیات به کار گرفته شده برای کاربردهای متنوع GIS نظیر جستجو برای سایر انواع منابع زمین‌شناسی، ارزیابی خطرات و بررسی‌های انتخاب سایت بوده و مستلزم در نظر گرفتن همزمان چندین نوع نشانگر فضایی از منابع مختلف می باشد.

هدف نهایی GIS فراهم کردن پشتیبانی برای تصمیم‌گیری‌های فضایی است. در فرایند تصمیم‌گیری فضایی باید چندین نوع از داده‌های فضایی توأم در نظر گرفته شوند (Malczewski 1999). در مطالعات اکتشاف ذخایر معدنی نقشه‌های متعددی که هر کدام بیانگر خصوصیات خاصی از محدوده مورد مطالعه می‌باشند، تهیه می‌شود. با استفاده از وزندهی و تلفیق نقشه‌های فوق، نقشه پتانسیل معدنی تهیه می‌شود. تهیه نقشه پتانسیل معدنی فرایندی در جهت جداسازی و تفکیک مناطق دارای پتانسیل معدنی از سایر نواحی موجود در یک منطقه می باشد. مناطق موجود بر روی نقشه پتانسیل با توجه به معیارهایی نظیر زمین‌شناسی، ژئوفیزیک و ژئوشیمی، از نظر دارا بودن پتانسیل معدنی اولویت بندی می شوند.

تهیه نقشه پتانسیل معدنی در مقیاس تفصیلی با هدف تعیین نقاط حفاری انجام می شود. مراحل اصلی تهیه نقشه پتانسیل معدنی به منظور تعیین نقاط حفاری را می توان شامل موارد شناسایی و تعیین معیارهای تشخیص کانی سازی، سازماندهی و آماده سازی اطلاعات، وزندهی و تهیه نقشه های معیار، تلفیق نقشه‌های معیار در یک شبکه استنتاجی مناسب و ارزیابی نتایج دانست (Karimi et al. 2008a; Karimi et al. 2008b).

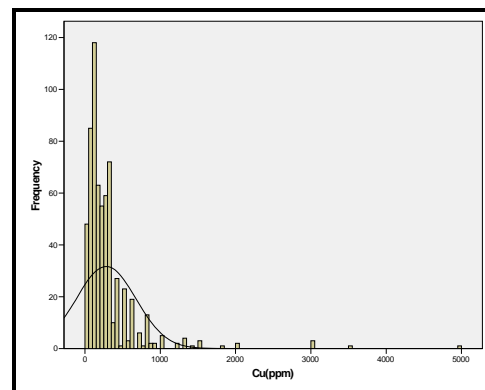
مدل همپوشانی شاخص

مدل های تلفیق که معمولاً در GIS به منظور اکتشاف ذخایر معدنی بکار گرفته شده‌اند، شامل مدل های داده مینا و دانش مینا می باشند. مدل های وزن های نشانگر، رگرسیون لجستیک و شبکه عصبی جز مدل های داده مینا بوده و به نحوی از خود داده ها استفاده می کنند.

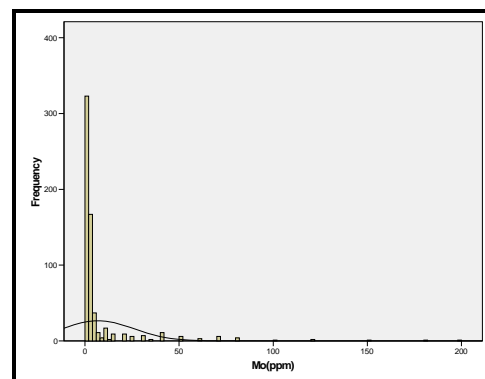
هیستوگرام توزیع فراوانی عناصر مس و مولیبدن به ترتیب در شکل- های (۳) و (۴) و پارامترهای آماری مربوط به عناصر آنالیز شده در جدول (۱) ارائه شده است. نتایج بررسی های ژئوشیمیایی تفصیلی به وجود آنومالی های توسعه یافته تمامی عناصر آنالیز شده بر روی نواحی نسبتاً وسیعی اشاره می کند. بخصوص از مهمترین آنها آنومالی های مس و مولیبدن می باشد که ممکن است نشاندهنده حضور کانی- سازی پراکنده و با اهمیت مس باشند (Yugoslavia report 1972).

جدول ۱: پارامترهای آماری مربوط به عناصر آنالیز شده

عناصر مقادیر آماری	Cu (ppm)	Mo (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
کمینه	۱۰	۱	۰	۱۰۰
بیشینه	۵۰۰۰	۲۰۰	۱۳۵۰۰	۸۰۰۰
میانگین حسابی	۲۸۱	۷	۲۹۹	۶۹۴
انحراف معیار	۳۹۶	۱۹	۸۴۷	۷۲۳



شکل ۳: هیستوگرام توزیع فراوانی عنصر مس



شکل ۴: هیستوگرام توزیع فراوانی عنصر مولیبدن

با توجه به بررسی های به عمل آمده و انطباق مناسب بین دو عنصر مس و مولیبدن، معیار ژئوشیمی به دو زیر معیار تک عنصری و چند عنصری تقسیم شد. در زیر معیار تک عنصری، مس به عنوان عنصر

در این رابطه \bar{S} امتیاز محاسبه شده برای پلیگون یا پیکسل، W_i وزن i امین نقشه‌ی ورودی و S_{ij} امتیاز j امین کلاس از i امین نقشه است (Cesar et al. 2002).

تعیین نقاط حفاری اندیس مس نوچون

۱- شناسایی و تعیین معیارهای تشخیص کانی‌سازی در اندیس نوچون

در این مرحله با توجه به مدل مفهومی ذخیره معدنی مورد نظر (مدل مفهومی ذخایر مس پورفیری) و استفاده از دانش کارشناسی اقدام به تعیین فاکتورهای موثر در رخداد کانی‌سازی شده است. مدل مفهومی ذخیره معدنی بیانگر ویژگی‌های معمول و متداول یک گروه از ذخایر معدنی بوده و به منظور تهیه و تدارک چارچوب نظری برای هدایت مطالعات پتانسیل‌یابی معدنی به کمک GIS دارای اهمیت می‌باشد (Hodgson 1990). این مدل در انتخاب معیارهای تشخیص کانی‌سازی و مدل‌سازی داده‌ها مفید می‌باشد. با توجه به نتایج بررسی‌های فوق معیارهای تشخیص کانی‌سازی اندیس نوچون شامل معیارهای زون منشأ حرارت و سنگ میزبان، گسل، آلتراسیون هیدروترمال، نشانه‌های کانی‌سازی، توزیع میزان عیار عنصر مس، توزیع میزان عیار عنصر مولیبدن، توزیع میزان ادیپتو عنصر مس و مولیبدن، توزیع میزان شارژآبیلیته، توزیع میزان مقاومت ظاهری و توزیع میزان فاکتور فلزی می‌باشد.

۲- سازماندهی و آماده سازی اطلاعات

در این مرحله کلیه لایه‌های اطلاعاتی مشخص شده در مرحله قبل جمع‌آوری، رقمی و آماده‌سازی شدند. لایه‌های اطلاعاتی آماده‌سازی شده شامل تیپ سنگ‌شناسی، گسل، آلتراسیون، نشانه‌های کانی‌سازی، نقاط برداشت ژئوشیمی، منحنی هم عیار عنصر مس، آنومالی عنصر مس، منحنی هم عیار عنصر مولیبدن، آنومالی عنصر مولیبدن، منحنی شارژآبیلیته، زون ناهنجاری شارژآبیلیته، منحنی مقاومت ظاهری و زون ناهنجاری مقاومت ظاهری می‌باشد.

۳- وزندهی و تهیه نقشه‌های معیار

لایه‌های اطلاعاتی و به طور کلی اطلاعات، از ارزش یکسانی برخوردار نبوده و میزان تأثیر گذاری لایه‌های اطلاعاتی در پاسخ نهایی، یکسان نیست. با توجه به این مسائل، باید پیش از انجام عملیات تلفیقی بر روی اطلاعات، مرحله ارزش گذاری آنها انجام گیرد که از آن به عنوان وزندهی به اطلاعات یاد می‌شود. 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 نظیر ایجاد بافر و

این مدل‌ها در مواردی که پاسخ‌هایی از مسئله مورد نظر نظیر نهشته‌های کانی‌سازی و یا چاه‌های حفاری موجود باشد، به کار می‌روند. کرانزا (Carranza 2004)، تلمو و همکاران (Telmo et al. 2006)، بولنیس (Boleneus et al. 2001)، کرانزا و هال (Carranza & Hale 2001)، اکتبرگ (Agterberg 1992)، هاسمر و لیمیشو (Hosmer & Lemeshow 2000) و براون و همکاران (Brown et al. 2000) از این مدل‌ها به منظور تهیه نقشه پتانسیل معدنی استفاده نموده‌اند.

در مواقعی که عملیات اکتشافی الزاماً در ناحیه‌ای انجام شود که قبلاً در آن ناحیه فعالیت‌های اکتشافی صورت نگرفته است و ذخایر معدنی از تیپ مشابه وجود نداشته باشد، در این صورت به منظور تهیه نقشه پتانسیل معدنی ناگزیر به استفاده از قضاوت‌های کارشناسی و به کارگیری روش‌های دانش مبنا می‌باشیم. مدل‌های بولین، همپوشانی شاخص وزندار و منطق فازی جز مدل‌های دانش مبنا می‌باشند. سزار (Cesar et al. 2002)، آن و همکاران (An et al. 1991)، کرانزا و هال (Carranza & Hale 2001) و پوروال و همکاران (Porwal et al. 2003; Porwal 2006) نیز از مدل‌های دانش مبنا به منظور تهیه نقشه پتانسیل معدنی استفاده نموده‌اند.

ساده‌ترین و شناخته شده‌ترین مدل GIS بر اساس عملیات منطقی بولین می‌باشد. این روش دارای نقایصی از جمله ارزش برابر کلیه فاکتورهای ورودی، عدم امکان استفاده از الگوی هدفمند جهت تلفیق نقشه‌ها، تلفیق فاکتورها در یک مرحله و عدم توانایی در اولویت‌بندی مناطق انتخاب شده در نقشه خروجی می‌باشد.

همپوشانی شاخص امکان ترکیب قابل انعطاف‌تر نقشه‌های فاکتور را در مقایسه با عملیات منطقی بولین فراهم می‌سازد و نقایص موجود در روش بولین را برطرف می‌نماید. در این روش فاکتورهای تشخیص کانی‌سازی بسته به اهمیت آنها از نقطه نظر مدل مفهومی ذخیره معدنی، داده‌ها و یا دانش کارشناسی، وزندار می‌شوند و مطابق با یک الگوی هدفمند با یکدیگر ترکیب می‌شوند. ساده‌ترین نوع وزن‌دار کردن فاکتورها حالتی است که نقشه‌های ورودی باینری باشند و هر نقشه یک عامل وزنی منفرد را داشته باشد. با این حال وقتی نقشه‌های چند کلاسه استفاده می‌شوند، به هر کلاس از هر نقشه یک وزن متفاوت منتسب می‌شود. در روش همپوشانی شاخص وزندار به منظور تلفیق نقشه‌های فاکتور از رابطه (۲) استفاده می‌شود.

$$\bar{S} = \frac{\sum_i^n S_{ij} W_i}{\sum_i^n W_i} \quad \text{رابطه (۲)}$$

وزندهی شدند. مقادیر موجود در میان پربندهای ۳۰۰ تا ۶۰۰ ppm به عنوان آنومالی ممکن و مقادیر موجود در میان پربندهای ۶۰۰ تا ۱۲۰۰ ppm به عنوان آنومالی احتمالی و مقادیر بالای ۱۲۰۰ ppm به عنوان آنومالی قطعی مشخص گردیدند. برای سایر مناطق حداقل مقدار وزن (۰/۰۱) در نظر گرفته شد.

نقشه معیار عیار مولیبدن (Mo): با توجه به اطلاعات موجود مقادیر آستانه مربوط به آنومالی های قطعی، احتمالی و ممکن تعیین و وزندهی شدند. مقادیر موجود در میان پربندهای ۲۰ تا ۴۰ ppm به عنوان آنومالی ممکن، مقادیر ۴۰ تا ۸۰ ppm به عنوان آنومالی احتمالی و مقادیر ۸۰ ppm و بالای آن به عنوان آنومالی قطعی مشخص گردیدند. برای سایر مناطق حداقل مقدار وزن (۰/۰۱) در نظر گرفته شد.

نقشه معیار اندیس های ادیتو (AI Cu & Mo): به منظور تعیین محدوده آنومالی اندیس های ادیتو این دو عنصر (CuZScore+MoZScore) بایستی در ابتدا مقدار این پارامتر را برای تمام نقاط با استفاده از رابطه (۳) محاسبه نمود.

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

$$\frac{(\text{Ln}(\text{Cu}) - \overline{\text{Ln}(\text{Cu}))}{\delta(\text{Ln}(\text{Cu}))} + \frac{(\text{Ln}(\text{Mo}) - \overline{\text{Ln}(\text{Mo}))}{\delta(\text{Ln}(\text{Mo}))}$$

در رابطه فوق منظور از Cu, Mo, $\overline{\text{Ln}(\text{Cu})}$, $\overline{\text{Ln}(\text{Mo})}$ و $\sigma(\text{Ln}(\text{Mo}))$ بترتیب بیانگر میزان عیار مس و مولیبدن، میانگین لگاریتم نپری میزان عیار مس و مولیبدن و انحراف معیار لگاریتم نپری میزان عیار مس و مولیبدن می باشد. با توجه به اطلاعات موجود مقادیر آستانه مربوط به آنومالی های قطعی، احتمالی و ممکن تعیین و وزندهی شدند. برای سایر مناطق وزن حداقل (۰/۰۱) در نظر گرفته شد.

نقشه معیار شارژ ابلیت (Ch): با توجه به بررسی ویژگی های ژئوفیزیکی، پربندهای موجود بین ۴۰ تا ۵۰ میلی ثانیه به عنوان آنومالی ممکن، مقادیر ۵۰ تا ۶۰ میلی ثانیه به عنوان آنومالی احتمالی و مقادیر ۶۰ و بالای آن به عنوان آنومالی قطعی در نظر گرفته شده اند. برای سایر مناطق حداقل وزن (۰/۰۱) در نظر گرفته شد.

نقشه معیار مقاومت ظاهری (Rs): با توجه به بررسی ویژگی های ژئوفیزیکی، از بین مقادیر مقاومت ویژه موجود سه کلاس آنومالی تفکیک گردید. بنا بر این تقسیم بندی، مقادیر ۵۰ تا ۳۵ اهم متر به عنوان آنومالی ممکن، مقادیر ۳۵ تا ۲۵ اهم متر به عنوان آنومالی احتمالی و مقادیر ۲۵ اهم متر و کمتر از آن به عنوان آنومالی قطعی در نظر گرفته شدند.

نقشه معیار فاکتور فلزی (MF): با توجه به اطلاعات موجود، مقادیر آستانه مربوط به آنومالی های قطعی، احتمالی و ممکن تعیین و وزندهی شدند. مقادیر موجود در میان پربندهای ۱۱۵۰ تا ۲۱۰۱ به عنوان آنومالی ممکن، مقادیر ۲۱۰۱ تا ۳۰۵۲ به عنوان آنومالی

کلاس بندی مجدد، نقشه یا نقشه های معیار هر لایه اطلاعاتی تهیه شود.

در تهیه نقشه های معیار یک کانسار خاص علاوه بر استفاده از مدل مفهومی زمین شناسی و کانی سازی ذخیره معدنی مربوطه، نیاز به وارد نمودن دانش کارشناسی در تعیین نحوه تاثیر و ارزش اطلاعات می باشد. در این راستا با برگزاری جلسات کارشناسی مختلف با کارشناسان شرکت ملی صنایع مس ایران، وزن مربوط به هر یک از معیارها مشخص شده است. در ادامه عوامل موثر در وزندهی معیارهای تشخیص کانی سازی تشریح شده است. وزن مربوط به هر یک از معیارها در جدول (۲) و نقشه های مربوط به هر یک از این معیارها در شکل های (۵) تا (۱۴) ارائه شده است.

نقشه معیار زون منشأ حرارت و سنگ میزبان (HS & HR): با توجه به بررسی ویژگی های زمین شناسی، ریوداسیت ها به عنوان سنگ میزبان و زون منشأ حرارت داخلی 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 با وزن های متفاوت در این نواحی در نظر گرفته شد. در حقیقت دلوویال ها جهت تشکیل کانی سازی محیط مساعدی نبوده و وزن های اختصاص یافته به این بافرها، متعلق به سنگ هایی است که در بخش زیرین این رسوبات قرار دارند. دیگر سنگ های منطقه (گرانیت ها و دیوریت پورفیریت ها)، در کانی سازی نقشی نداشته و برای این تیپ سنگ ها وزن حداقل (۰/۰۱) در نظر گرفته شده است.

نقشه معیار گسل های اصلی (F): با توجه به بررسی ویژگی های زمین شناسی، برای محدوده مابین گسل های شمال شرقی- جنوب غربی به دلایل خرد شدگی فراوان و سهولت گردش محلول های هیدروترمال، جدایش مرز سنگ های دگرسان شده و عدم وجود دگرسانی ها در خارج این محدوده وزن مساوی و برای سایر نواحی وزن حداقل (۰/۰۱) در نظر گرفته شد.

نقشه معیار آلتراسیون هیدروترمال (Alt): با توجه به بررسی ویژگی های زمین شناسی و عدم تفکیک آلتراسیون ها در نقشه زمین شناسی، وزن مربوط به آلتراسیون هیدروترمال شدید نسبت به ضعیف سه برابر لحاظ شده است.

نقشه معیار نشانه های کانی سازی (MIn): با توجه به بررسی ویژگی های زمین شناسی، این فاکتور به عنوان یکی از فاکتورهای موثر شناخته شده و به منظور نمایش نحوه تاثیر این نشانه ها ۴ بافر ۱۵ متری با وزنه های متفاوت پیرامون آنها در نظر گرفته شد.

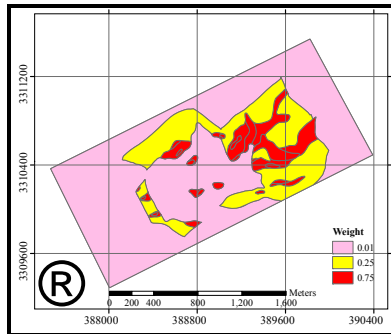
نقشه معیار عیار مس (Cu): با توجه به اطلاعات موجود مقادیر آستانه مربوط به آنومالی های قطعی، احتمالی و ممکن تعیین و

احتمالی و مقادیر ۳۰۵۲ و بالای آن به عنوان آنومالی قطعی مشخص شد. گردیدند. برای سایر مناطق حداقل مقدار وزن (۰/۱) در نظر گرفته

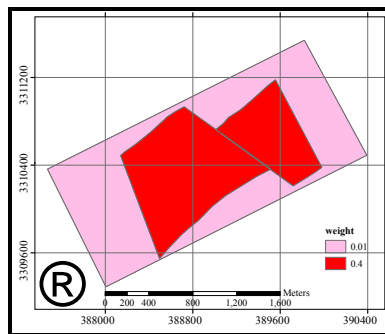
جدول ۲: وزن های اولیه و نهایی مورد استفاده در تهیه نقشه پتانسیل معدنی اندیس نوچون

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 میزبان و وزن منشا حرارت*
۰/۹	۰/۹	آنومالی قطعی	۰/۷۵	۰/۷	آنومالی قطعی	۰/۸۵	۰/۸۵	آنومالی قطعی	۰/۸	۰/۹	بافر ۱۵ متری	۰/۹	۰/۹	ریوداسیت
۰/۷۵	۰/۷۵	آنومالی احتمالی	۰/۵۴	۰/۵	آنومالی احتمالی	۰/۷	۰/۷	آنومالی احتمالی	۰/۶۲	۰/۷	بافر ۳۰ متری	۰/۷	۰/۷	بافر ۲۵ متری RT
۰/۴	۰/۴	آنومالی ممکن	۰/۲۷	۰/۲۵	آنومالی ممکن	۰/۳۵	۰/۳۵	آنومالی ممکن	۰/۴۴	۰/۵	بافر ۴۵ متری	۰/۵	۰/۵	بافر ۵۰ متری RT
وزن نهایی	وزن اولیه	فاکتور فلزی	وزن نهایی	وزن اولیه	مقاومت ظاهری	وزن نهایی	وزن اولیه	شارژیابلیته	وزن نهایی	وزن اولیه	التراسیون	وزن نهایی	وزن اولیه	بافر ۷۵ متری RT
۰/۸	۰/۸	آنومالی قطعی	۰/۲۵	۰/۲۵	آنومالی قطعی	۰/۷۵	۰/۷۵	آنومالی قطعی	وزن نهایی	وزن اولیه	التراسیون	وزن نهایی	وزن اولیه	بافر ۱۰۰ متری RT
۰/۵۵	۰/۵۵	آنومالی احتمالی	۰/۱۵	۰/۱۵	آنومالی احتمالی	۰/۵	۰/۵	آنومالی احتمالی	۰/۸	۰/۷۵	شدید	۰/۳	۰/۳	بافر ۵۰ متری RD
۰/۳	۰/۳	آنومالی ممکن	۰/۰۵	۰/۰۵	آنومالی ممکن	۰/۲۵	۰/۲۵	آنومالی ممکن	۰/۲۷	۰/۲۵	ضعیف	۰/۲	۰/۲	بافر ۷۵ متری RD
														بافر ۱۰۰ متری RD
														گسل
														محدوده مابین گسلها

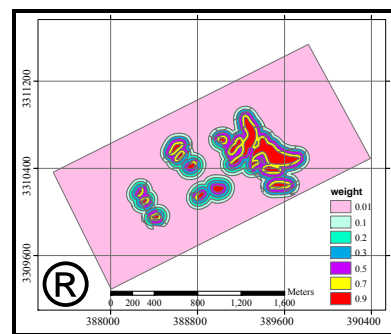
* در قسمت مربوط به سنگ میزبان و وزن منشا حرارت منظور از RT و RD به ترتیب ریوداسیت های مجاور توف آندزیت و ریوداسیت های مجاور دلوپال می باشد.



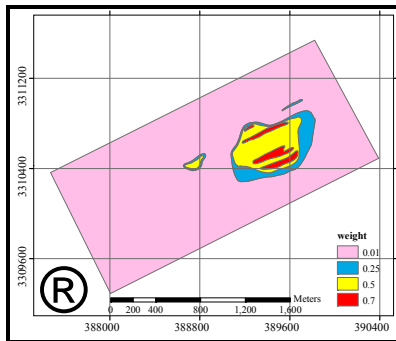
شکل ۷ - نقشه معیار آلتراسیون



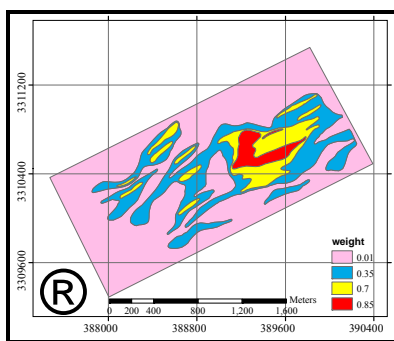
شکل ۶ - نقشه معیار گسل های اصلی



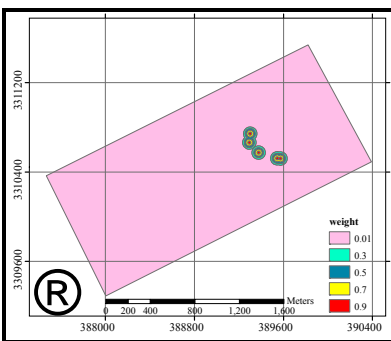
شکل ۵ - نقشه معیار سنگ میزبان



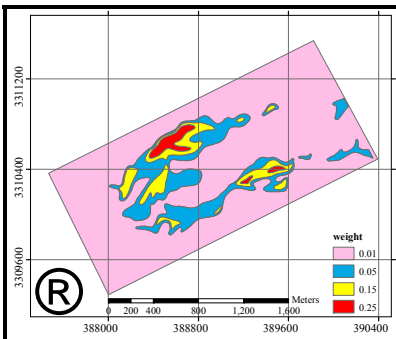
شکل ۱۰ - نقشه معیار عیار مولیدن



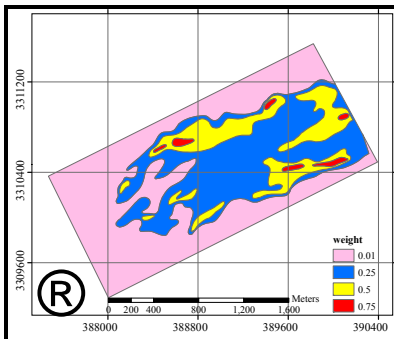
شکل ۹ - نقشه معیار عیار مس



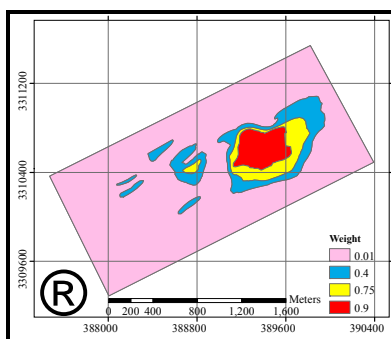
شکل ۸ - نقشه معیار نشانه های کانی سازی



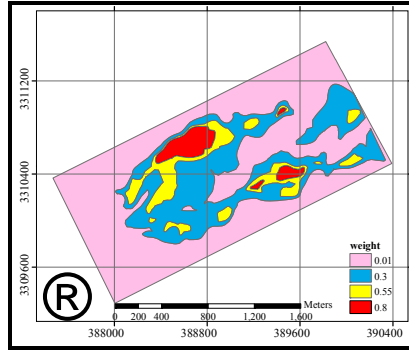
شکل ۱۳ - نقشه معیار مقاوم ظاهری



شکل ۱۲ - نقشه معیار شارژیابلیته



شکل ۱۱ - نقشه معیار اندیس های ادیتو

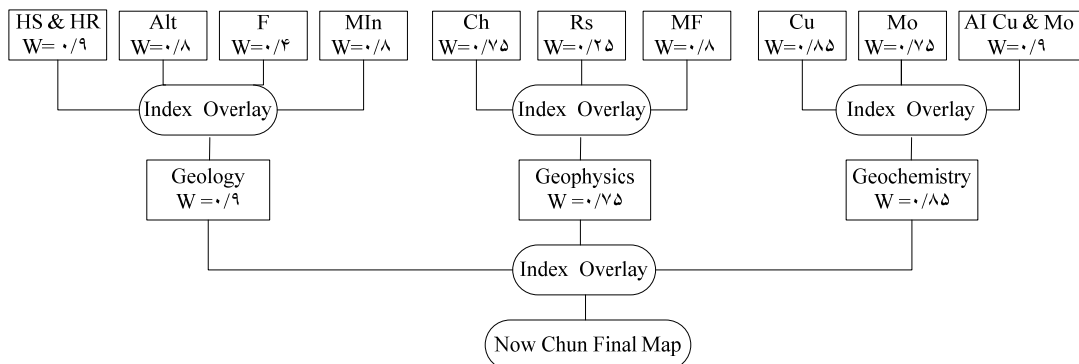


شکل ۱۴- نقشه معیار فاکتورفلزی

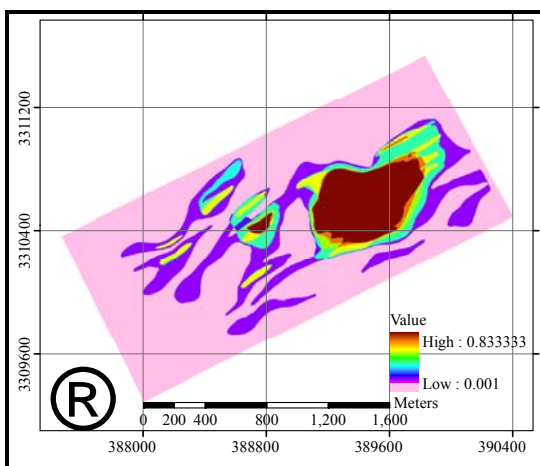
۴- تلفیق نقشه‌های معیار در شبکه استنتاجی مناسب

به منظور تهیه نقشه پتانسیل معدنی در مرحله تفصیلی بایستی نقشه های فاکتور را مطابق با شبکه استنتاجی مناسبی با هم تلفیق نمود. در شبکه استنتاجی مورد استفاده از مدل همپوشانی شاخص وزندار استفاده شده است. با توجه به درجه اهمیت هر یک از فاکتورهای زمین شناسی، ژئوشیمی و ژئوفیزیک، وزن لایه های مورد استفاده برای هر یک از این فاکتورها در مدل همپوشانی شاخص وزندار به ترتیب

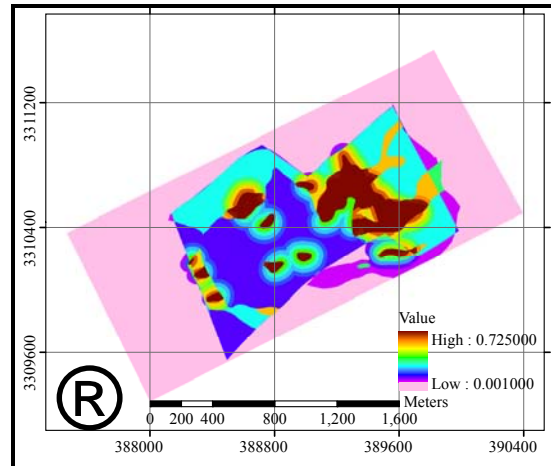
۰/۸۵، ۰/۷۵ و ۰/۷۵ در نظر گرفته شده است. شبکه استنتاجی مورد استفاده در تهیه نقشه پتانسیل معدنی اندیس نوچون به همراه بزرگترین وزن هر معیار در شکل (۱۵) ارائه شده است. همچنین نقشه های معیار زمین شناسی، ژئوشیمی و ژئوفیزیک تهیه شده با استفاده از مدل همپوشانی شاخص وزندار در شکل های (۱۶) تا (۱۸) ارائه شده است. در نهایت نقشه پتانسیل معدنی نهایی اندیس نوچون تهیه و در شکل (۱۹) آورده شده است.



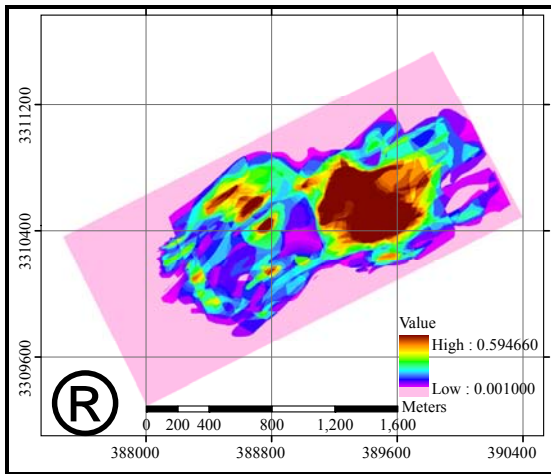
شکل ۱۵- شبکه استنتاجی و وزن های نهایی مورد استفاده در تهیه نقشه پتانسیل معدنی اندیس نوچون



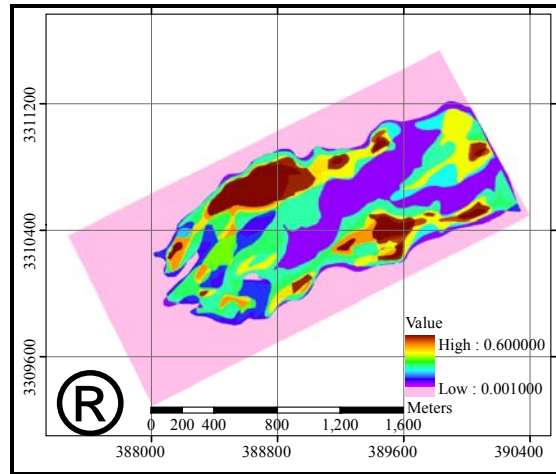
شکل ۱۷- نقشه معیار ژئوشیمی اندیس نوچون



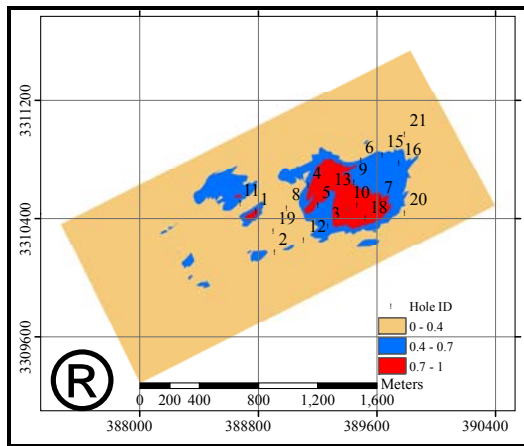
شکل ۱۶- نقشه معیار زمین شناسی اندیس نوچون



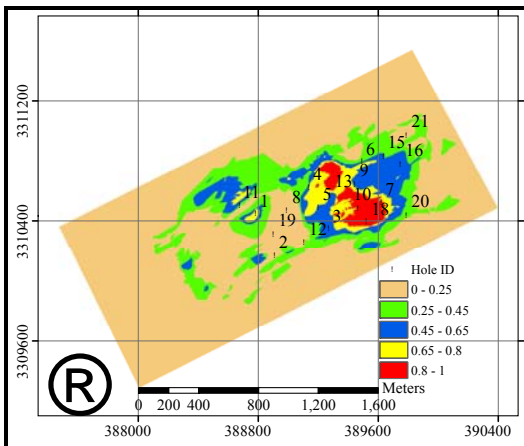
شکل ۱۹- نقشه نهایی پتانسیل معدنی اندیس نوچون



شکل ۱۸- نقشه معیار ژئوفیزیک اندیس نوچون



شکل ۲۰- انطباق گمانه‌ها با نقشه پتانسیل معدنی کلاسه‌بندی شده با روش Manual سه کلاسه



شکل ۲۱- انطباق گمانه‌ها با نقشه پتانسیل معدنی کلاسه‌بندی شده با روش Manual پنج کلاسه

۵- ارزیابی نتایج

پس از انجام مطالعات اکتشافی در اندیس نوچون ۲۱ گمانه اکتشافی حفاری شده که اطلاعات مربوط به ۱۹ گمانه در اختیار قرار گرفته و جهت ارزیابی نتایج از آنها استفاده شده است (الماسی ۱۳۸۶). اطلاعات مربوط به این گمانه‌ها در محیط GIS آماده‌سازی و پروفیل تغییرات میزان عیار مس، در عمق هر گمانه ترسیم گردید. با توجه به تغییرات عیار مس و نیز بررسی مقادیر ماکزیموم و مینیموم و همچنین متوسط عیار مس در هر گمانه، هر یک از این گمانه‌ها 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. با توجه به روش‌های کلاسه‌بندی موجود، هر نقشه پتانسیل معدنی به صورت سه و پنج کلاسه تفکیک گردید. در ادامه به منظور ارزیابی نقشه‌های پتانسیل معدنی، از انطباق مقادیر پیکسل‌های نقشه‌های مذکور در موقعیت مکانی گمانه‌های اکتشافی با نتایج حفاری آن گمانه‌ها استفاده شد. کلاس تعیین شده برای هر چاه با وضعیت هر گمانه مقایسه و نتایج آن در جدول (۳) ارائه شده است. همچنین انطباق گمانه‌های اکتشافی حفر شده با نقشه پتانسیل معدنی اندیس نوچون که با استفاده از روش Manual سه و پنج کلاسه دسته‌بندی شده است، به ترتیب در شکل‌های (۲۰) و (۲۱) ارائه شده است.

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

شماره گمانه	وضعیت گمانه ۲ کلاسه	وزن گمانه	وضعیت ۳ کلاسه	ارزیابی	شماره گمانه	وضعیت گمانه ۵ کلاسه	وزن گمانه	وضعیت ۵ کلاسه	ارزیابی
۱	خوب	۰/۷۵۱۹	خوب	۰	۱	خیلی خوب	۰/۷۵۱۹	خوب	-۱
۲	ضعیف	۰/۱۵۰۸	ضعیف	۰	۲	ضعیف	۰/۱۵۰۸	خیلی ضعیف	-۱
۳	ضعیف	۰/۵۰۵۹	متوسط	-۱	۳	ضعیف	۰/۵۰۵۹	متوسط	-۱
۴	متوسط	۰/۷۰۰۶	خوب	-۱	۴	متوسط	۰/۷۰۰۶	خوب	-۱
۵	خوب	۰/۶۰۱۰	متوسط	-۱	۵	خیلی خوب	۰/۶۰۱۰	متوسط	-۲
۶	خوب	۰/۶۳۱۰	متوسط	-۱	۶	خوب	۰/۶۳۱۰	متوسط	-۱
۷	متوسط	۰/۸۳۲۱	خوب	-۱	۷	متوسط	۰/۸۳۲۱	خیلی خوب	-۲
۸	متوسط	۰/۱۵۵۹	ضعیف	-۱	۸	متوسط	۰/۱۵۵۹	خیلی ضعیف	-۲
۹	خوب	۰/۶۴۶۱	متوسط	-۱	۹	خوب	۰/۶۴۶۱	متوسط	-۱
۱۰	متوسط	۰/۹۰۴۸	خوب	-۱	۱۰	خوب	۰/۹۰۴۸	خیلی خوب	-۱
۱۱	متوسط	۰/۲۱۰۶	ضعیف	-۱	۱۱	متوسط	۰/۲۱۰۶	خیلی ضعیف	-۲
۱۲	ضعیف	۰/۲۵۲۸	ضعیف	۰	۱۲	خیلی ضعیف	۰/۲۵۲۸	ضعیف	-۱
۱۳	متوسط	۰/۶۰۱۰	متوسط	۰	۱۳	متوسط	۰/۶۰۱۰	متوسط	۰
۱۵	خوب	۰/۴۴۶۲	متوسط	-۱	۱۵	خوب	۰/۴۴۶۲	ضعیف	-۲
۱۶	متوسط	۰/۵۵۵۳	متوسط	۰	۱۶	متوسط	۰/۵۵۵۳	متوسط	۰
۱۸	ضعیف	۰/۹۲۳۷	خوب	-۲	۱۸	خیلی ضعیف	۰/۹۲۳۷	خیلی خوب	-۴
۱۹	ضعیف	۰/۱۱۹۸	ضعیف	۰	۱۹	ضعیف	۰/۱۱۹۸	خیلی ضعیف	-۱
۲۰	ضعیف	۰/۳۱۹۸	ضعیف	۰	۲۰	خیلی ضعیف	۰/۳۱۹۸	ضعیف	-۱
۲۱	ضعیف	۰/۱۷۹۹	ضعیف	۰	۲۱	خیلی ضعیف	۰/۱۷۹۹	خیلی ضعیف	۰
میزان تطابق		% ۶۱/۲۹			میزان تطابق		% ۵۷/۹		

نهایت با انطباق گمانه های اکتشافی حفر شده با نقشه های پتانسیل معدنی نهایی، میزان تطابق در پیش بینی نتایج گمانه های موجود محاسبه شد. بر این اساس نتایج حاصل از روش کلاسه بندی Manual با دسته بندی های سه و پنج کلاسه بترتیب به میزان ۶۱/۲۹ و ۵۹/۶۵ درصد تطابق را در پیش بینی نتایج گمانه های موجود داشته است و انجام عملیات حفاری جدید تنها در مناطق مطلوب مشخص شده بر روی این نقشه ها توصیه می شود. لازم به ذکر است در صورت انجام این مطالعات پیش از انجام عملیات حفاری و تنها با فرض عدم حفاری چاه در مناطق دارای وضعیت ضعیف یا خیلی ضعیف، در حدود ۲۴ درصد از کل مجموعه چاه ها، حفاری مغزه گیری نشده و به میزان زیادی در هزینه های مربوط به حفاری صرفه جویی به عمل می آمد. در پایان با توجه به نتایج قابل قبول حاصل از این تحقیق توصیه می شود چنین مطالعاتی در دیگر مناطق مشابه و به عنوان راهنمایی جهت انجام عملیات حفاری صورت گیرد.

تشکر و قدردانی

نگارندگان این مقاله بر خود لازم می دانند تا از همکاری مدیریت امور اکتشافات و مهندسی توسعه شرکت ملی صنایع مس ایران بخصوص مهندس نادر صاحب الزمانی و مهندس رضا اصفهانی پور به دلیل در اختیار قرار دادن داده های مورد نیاز و همچنین همکاری در تشکیل جلسات کارشناسی تشکر و قدردانی نمایند.

بحث و نتیجه گیری

سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) به عنوان ابزاری توانمند در جمع آوری، مرتب سازی، ذخیره سازی، بازیابی، پردازش و تحلیل داده های فضایی می باشد. از آنجا که سامانه های اطلاعات مکانی، دارای توانمندی های فراوان در حمایت از تصمیم گیری می باشند، دارای کاربردهای وسیعی در عرصه های مختلف برنامه ریزی، مدیریت و تصمیم گیری بوده و روز به روز بر حوزه های کاربردی آنها افزوده می شود. این سیستم می تواند بعنوان علم و فناوری بهینه در جهت ساماندهی، پردازش، تحلیل و تلفیق نتایج مطالعات زمین شناسی، ژئوشیمی و ژئوفیزیک به منظور شناسایی و ارزیابی پتانسیل های معدنی مس مورد استفاده قرار گیرد.

با توجه به بررسی های انجام شده مدل همپوشانی شاخص امکان ترکیب قابل انعطاف تر نقشه های فاکتور را در مقایسه با عملیات منطقی بولین فراهم می سازد و نقایص موجود در روش بولین از جمله ارزش برابر کلیه فاکتورهای ورودی، عدم امکان استفاده از یک الگوی هدفمند به منظور تلفیق نقشه ها، تلفیق فاکتورها در یک مرحله و عدم توانایی در اولویت بندی مناطق انتخاب شده در نقشه خروجی را برطرف می نماید.

همچنین با توجه به نقشه پتانسیل معدنی تهیه شده در این مقاله، مناطق پتانسیل دار به لحاظ وجود کانی سازی مس پرفیری در شمال شرقی محدوده مورد مطالعه بر روی نقشه نهایی مشخص شده است. در

منابع:

- الماسی ا. ۱۳۸۶: نتایج حفاری‌های انجام شده در منطقه نوچون، شرکت ملی صنایع مس ایران، امور اکتشافات و مهندسی توسعه، شرکت پارس اولنگ.
- 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.
- 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.
- 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. 2004: Weights of evidence modeling of mineral potential: a case study using small number of prospects, Abra, Philippines. *Natural Resources Research*. 13: 173-187.
- Carranza E.J.M. 2002: Geographically-Constrained mineral potential mapping, *PhD Thesis, Delft University of Technology, The Netherlands*, 480 pp.
- Carranza E.J.M. Hale, M. 2001: Logistic regression for geologically constrained mapping of gold potential, Baguio district, Philippines. *Exploration and Mining Geology* .10 (3):165-175.
- Cesar d.e., Araujo C. 2002: Multicriteria Geologic Data Analysis for Mineral Favorability Mapping: Application to a Metal Sulphide Mineralized Area, Ribeira Valley Metallogenic Province, Brazil, *Natural Resources Research*. 11. 1.: 29-43.
- El Monsef H. A. 2004: GIS Analysis System for Investigating Sulphide Mineralization in South Sinai, Egypt, *Surveying and Land information Science*. 64. 4.: 243-251.
- Hodgson C. J. 1990: Use (and abuse) of ore deposit models in mineral exploration, *Geoscience Canada*. 17(2):79-89.
- Hosmer, D.W., Lemeshow S. 2000: Applied Logistic Regression, 2nd edn. John Wiley & Sons, New York, pp. 392.
- 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., & Sahebzamani 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*. 12(1): 1-25.
- Telmo F. P. de Quadros., Koppe J. C., Strieder A. J., Costa J. F. C. L. 2006: Mineral Potential Mapping: A Comparison of Weights-of-Evidence and Fuzzy Methods, *Natural Resources Research*. 15: 1.
- 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.
- Yugoslavia Report On Explorations For Copper In Now Chun Area, 1972. Institute for Geological and Mining Exploration Beograd-Yugoslavia.1-39.