بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

مدل سازی نرو فازی در ژئوشیمی معادن به منظور شناسایی ناهنجاری های ژئوشیمیایی

مقدمه

روشهای اکتشاف ژئوشیمیایی سنتی مبتنی بر آنالیز آماری چند متغیره ، فلز سنجی ، پهنه بندی ژئوشیمیایی عمودی و معیارهای انجمنهای ژئوشیمیایی میدان طبیعی است که دارای کاستیهای متعددی هستند از جمله عدم وجود یک رویکرد کلی ژئواستاتیک برای جدا کردن ناهنجاریها از پس زمینه.

این کاستی ها باعث می شود فرآیند تفسیر وقت گیر و پر هزینه شود. به نظر می رسد تئوری مجموعه فازی ، منطق فازی و تکنیک های شبکه عصبی برای برنامه های ژئوشیمی معمولی معدن مناسب هستند. نتایج حاصل از استفاده از تکنیک پیشنهادی در یک سناریوی واقعی ، با مقایسه نتایج حاصل از استفاده از تحلیل آماری چند متغیره ، پیشرفتهای چشمگیر را نشان می دهد.

از نظر محاسباتی ، روش معرفی شده ، بدون حفاری اکتشافی ، تمایز بین کانی سازی کور و منطقه کانی سازی پراکنده را ممکن می سازد. روش ارائه شده در این مطالعه تحقیق با آزمایش آن بر روی پروژه های ژئوشیمیایی مختلف معدن واقع شده است.

مدل سازی

انواع مدل‌سازی برای تفکیک آنومالی‌های نوع اقتصادی از غیر اقتصادی شامل مدل‌های جزء به کل، کل به جزء و ترکیبی از این دو مدل می‌باشد.

در مدل‌سازی جزء به کل از طریق مطالعه یک گروه از مجموعه داده‌های تجربی و مشاهده‌ای، شواهد یا الگوهای خاص به دست آمده به صورت مدل ارائه می‌شود.

در روش کل به جزء از مدل تولید شده بر اساس تعمیم الگوهای مشاهده شده در یک مجموعه از داده‌ها برای پیش‌بینی استفاده می‌شود. در واقع در این روش، مدل به دست آمده از روش جزء به کل برای پیش‌بینی به کار می‌رود.

تئوری فازی

مغز انسان پدیده های جهان واقعی را با کلمات و عباراتی زبانی نظیر خوب، بد، دوره نزدیک، کوتاه، متوسط، بلند، قوی، ضعیف که مرزهای روشن و دقیقی نداشته، تعریف می کند. منطق فازی تکنیکی است که با استفاده از مقادیر زبانی و دانش فرد خبره، سیستمی را که نیازمند ریاضیات پیچیده و پیشرفته است مدل سازی می کند.

تئوری مجموعه فازی توسعه یافته مجموعه کلاسیک است و به بازه بسته [۱و۰] تبدیل می کند. مجموعه های فازی، مجموعه هایی هستند که عضویت بعضی یا تمام اعضای آن کاملا روشن و مشخص نیست و عناصر آن به طور نسبی عضو مجموعه هستند. وقتی کارشناس می گوید این مکان از گسل دور است»، مکان با درجه عضویت خاصی (بین صفر و یک عضو مجموعه مناطق دور از گسل است. درجه عضویت صفر یعنی مکان در این مجموعه هیچ عضویتی ندارد. مثلا اگر مکان در فاصله ۵۰۰ کیلومتری گسل باشد درجه عضویت آن در مجموعه مناطق نزدیک به گسل، بنا به تعریف ما صفر است. درجه عضویت یک، یعنی مکان صددرصد عضو مجموعه است. مثلا مناطق با فاصله ۱۰ متری گسل، بنا به تعریف ما دارای درجه عضویت یک هستند. مجموعه نقاط نزدیک به نشانه های معدنی، مجموعه نقاط دارای عیار مس بالا و نقاط دور از سنگ میزبان نمونه هایی از مجموعهای فازی هستند.

مجموعه های فازی

مجموعه فازی Aدر حالت گسسته بودن به صورت قراردادی (جمع و تقسیم و انتگرال در آنها معنی ریاضی ندارند.)، به شکل زیر نمایش داده می شود:

$$A = \{\frac{\mu_A(x_1)}{x_1} + \frac{\mu_A(x_2)}{x_2} + \ldots + \frac{\mu_A(x_n)}{x_n}\}$$

که μ(x1) درجه عضویت x1 در مجموعه A می باشد و μ تابع عضویت فازی است. شکل خلاصه تر این عبارت به صورت رابطه زیر در حالتی که U گسسته و رابطه بعد آن در حالتی که U پیوسته باشد، است:

$$A = \sum_{i=1}^{n} \frac{\mu_A(x_i)}{x_i}$$

$$A = \int_{x \in U} \frac{\mu_A(x)}{x}$$

تئوری فازی

هیچ روش قطعی برای تعیین توابع عضویت وجود ندارد و تعیین درجات عضویت کاملا وابسته به مسئله و مقوله مورد بحث است. به طور کلی توابع عضویت از دو طریق زیر تعیین می گردند :

۱- استفاده از دانش کارشناسی: در این روش کارشناسان و افراد خبره در حوزه تخصص مورد نظر، توابع عضویت مورد مناسب را مشخص می کنند. زمانی که داده ها و مشاهدات موجود کافی و دقیق نباشند و یا داده ها بیانگر واقعیت نباشند، مناسب است.

۲- استفاده از داده های موجود: در این روش ساختار کلی و اغلب نوع توابع عضویت در ابتدای کار مشخص می شوند و سپس پارامترهای توابع توسط داده های جمع آوری شده تنظیم می گردند. هرچند در این روش تابع عضویت براساس مشاهدات و تطبیقهای عینی تعیین می شود، ممکن است قضاوت افراد مختلف درباره میزان تطابق متفاوت باشد. زمانی که جنبه ذهنی و شخصی مسئله پنهان است و در عوض داده های موجود دقیق و کافی اند، این روش توصیه می شود.

عملگرهای فازی

عملگر AND فازی معادل عملگر AND بولین در تئوری مجموعه های کلاسیک است و به صورت زیر تعریف می شود(عملگر اشتراک فازی)

$$W_{Combination} = min(\mu_A(x), \mu_B(x), \mu_C(x), \dots)$$

عملگرOR فازی معادل عملگر OR بولین در تئوری مجموعه های کلاسیک به صورت زیر است(عملگر اجتماع فازی)

$$W_{Combination} = \max(\mu_A(x), \mu_B(x), \mu_C(x), \dots)$$

یکی از عملگرهای مهم منطق فازی، عملگر ضرب جبری فازی است که با استفاده از ترکیب لایه ها صورت می گیرد. این عملگر تاثیر کاهشی دارد به عبارت دیگر عوامل یکدیگر را تضعیف می کنند.

$$\mu_{combination} = \prod_{i=1}^{n} \mu_i$$

عملگرهای فازی

در عملگر جمع فازی نتیجه بزرگتر یا مساوی بزرگترین مقدار عضویت فازی در لایه می باشد. در نتیجه تعداد پیکسل بیشتری در کلاس خیلی خوب قرار می گیرند.

$$\mu_{combination} = 1 - (\prod_{i=1}^{n}(1 - \mu_i))$$

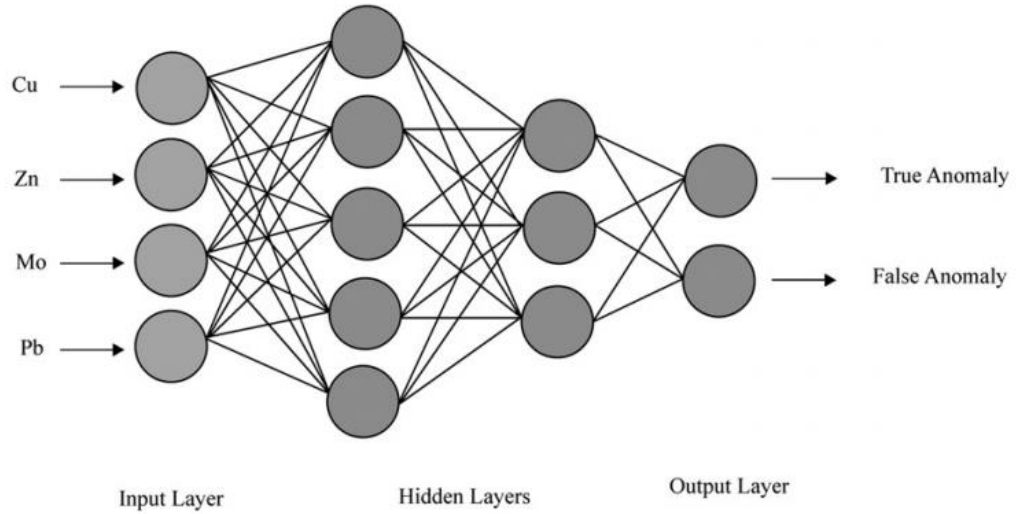
برای تعدیل حساسیت خیلی بالای عملگر ضرب فازی و حساسیت خیلی کم عملگر جمع فازی، عملگر گامای فازی معرفی شد. که حد فاصل بین این دو عملگر می باشد. گاما در این عبارت عددی بین ۰ تا ۱ است و هرچه به ۱ نزدیک شود به سمت جمع فازی و هرچه به ۰ نزدیک شود به ضرب فازی نزدیک می شود. پس تعیین مقدار گاما در فرآیند تاثیر گذار است.

$$\mu_{combination} = (1 - \prod_{i=1}^{n}(1 - \mu_i))^{\gamma}(\prod_{i=1}^{n}\mu_i)^{1-\gamma}$$

شبکه عصبی

شبکه های عصبی توانایی زیادی در حل مسائل پیچیده ای دارند که عوامل متعددی در فرآیند و نتیجه آن تأثیر می گذارند. اصول فیزیکی و شیمیایی حاکم بر تشکیل انباشته های معدنی به وسیله متغیرهای متعدد و مرتبطی کنترل می شود، در نتیجه یکی از کاربردهای شبکه عصبی می تواند در زمینه تهیه نقشه پتانسیل معدنی باشد.

قابلیت های عمده شبکه های عصبی در اکتشاف معادن عبارتند از : کلاسه بندی الگوهای مکانی، آنالیز آنها و انتخاب اتوماتیک فاکتورهای موثر.



شبکه عصبی مصنوعی، یک پردازشگر تشکیل شده از واحدهای کوچک است که به طور موازی ساختار یافته است. این پردازشگر با استفاده از داده های نمونه، آموزش داده میشود و سپس با تعمیم دانش بدست آمده، خروجی قابل قبولی برای ورودی هایی که قبلا وارد سیستم نشده اند، ارائه می دهد.

شبکه عصبی

روش کلی به کارگیری شبکه عصبی در تهیه نقشه پتانسیل معدنی شامل مراحل زیر است :

۱- آماده سازی لایه های ورودی شامل تهیه کلیه نقشه ها و اطلاعات مربوط به عوامل موثر در شکل گیری ذخیره های معدنی

۲- ایجاد مجموعه داده های آموزشی و نرمال سازی آن ها. تجربه نشان داده است که بهترین نتیجه زمانی اتفاق می افتد که تعداد داده های آموزشی مربوط به نقاط با ذخیره معدنی و نقاط عاری از ذخیره، مساوی باشند. داده های آموزشی به سه دسته تقسیم می شوند. دسته اول برای آموزش شبکه، دسته دوم برای توقف آموزش شبکه به منظور جلوگیری از امر بیش برازش مدل و دسته سوم برای تست کارایی شبکه به کار می رود.

۳- آموزش شبکه که در طی آن وزن ها بر اساس منحنی خطای آموزش تعدیل شده و در هر مرحله از آموزش الگوها شناسایی می شوند. شرط توقف آموزش شبکه بر اساس منحنی خطای مجموعه نقاط تست است.

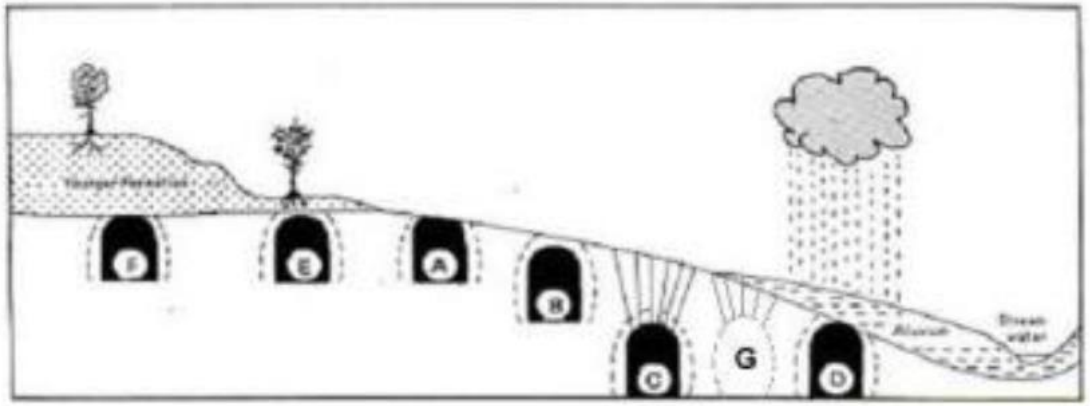
۴- پس از انتخاب ساختار ایده ال شبکه از لحاظ تعداد نرون های لایه پنهان، خروجی به صورت نقشه ای نشانه گذاری شده بر مبنای وجود ذخایر معدنی ارائه می شود.

نقشه برداری ژئوشیمیایی

طیف وسیعی از مواد شامل رسوبات آبراهه‌ای، خاک‌ها و آب‌ها جهت نقشه‌برداری ژئوشیمیایی در مقیاس ناحیه‌ای استفاده می‌شود.

رسوبات آبراهه‌ای حاصل تخریب فیزیکوشیمیایی لیتولوژی های موجود، کانی‌سازی، زون‌های آلتراسیونی و احتمالا آلودگی در منطقه مورد بررسی است. تحلیل نمونه‌های رسوبات آبراهه‌ای می‌تواند همبستگی‌های ژئوشیمیایی مختلفی را نشان دهد و یک الگوی اکتشافی مورد قبول را به دست دهد که برخی از آنها به عنوان نشانه ژئوشیمیایی سطحی برای یک نوع ذخیره معدنی، مورد توجه قرار می‌گیرد.

انواع آنومالی ها



- آنومالی کانی سازی پنهان
- آنومالی کانی سازی روباز
- آنومالی زون کانی سازی پراکنده

در حالت A که ماده معدنی در سطح رخنمون دارد، با کمک روشهای سنتی تهیه نقشه های زمین شناسی و پتانسیل مطلوب قابل تشخیص است. در حالت B ذخیره در عمق کمی از سطح زمین واقع شده است. در این حالت روش های سنتی مثل آلتراسیون به صورت احتمالی قادر به کشف ذخیره هستند. زمانی که ذخیره در عمقی از زمین قرار گرفته شده باشد و با سنگ دربرگیرنده(C)، رسوبات آبراهه ای(D)، پوشش گیاهی(E) و یا رسوبات آبرفتی بر روی آن باشد(F)، پوشیده شده باشد، به وسیله روش های ژئوشیمیایی قابل تشخیص است.

انواع آنومالی ها

آنومالی های مختلف نیازمند ارزیابی در اکتشافات ژئوشیمیایی، عبارتند از آنومالی کانی سازی پنهان(BM) آنومالی روباز (OM) و آنومالی زون کانی سازی پراکنده(ZDM) در کشور ما اکتشاف ذخایر معدنی بیشتر محدود به آنومالی های روباز بوده است و آنومالی های عمقی به دلیل پنهان بودن مشکلاتی در ارزیابی اکتشافی دارند، لذا این نوع ذخایر کمتر مورد توجه قرار گرفته اند. بنابراین ارزیابی آنومالی های ژئوشیمیایی گام مهمی در بهینه سازی عملیات اکتشاف محسوب می گردد.

میدان‌های ژئوشیمیایی دربرگیرنده نهشته‌های کانساری و هاله‌های وابسته به آنها هستند و ابعاد این هاله‌ها همیشه بزرگتر از خود کانسار است، در نتیجه احتمال کشف این میدان‌ها از احتمال کشف کانسار و نهشته‌ها بیشتر است.

تجزیه و تحلیل و تشخیص یک میدان ژئوشیمیایی در دو بخش متمرکز می‌شود.

۱) بخش مفید ← آشکارسازی به صورت آنومالی ژئوشیمیایی

۲) بخش مزاحم ← نویز مرتبط با غلظت عناصر سنگ دربرگیرنده

هاله اولیه و عناصر ردیاب

هاله اولیه ذخایر معدنی اولین بار توسط سافرونوف در سال ۱۹۳۶ تعریف شد (سافرونوف، ۱۹۳۶). هاله‌های ژئوشیمیایی اولیه زون‌هایی هستند که ذخایر فلزی یا توده‌های معدنی را دربرگرفته‌اند و در واکنش بین سنگ میزبان و سیالات معدنی از چند عنصر شیمیایی تهی یا غنی شده‌اند.

یکی از جنبه‌های مهم هاله‌های ژئوشیمیایی تشخیص حد آستانه عناصر ردیاب است.

عنصر ردیاب به عنصر نسبتا متحرکی گفته می‌شود که ارتباط ژنتیکی نزدیکی با عنصر یا عناصر مورد اکتشاف داشته و به آسانی قابل تشخیص باشد.

عناصر ردیاب ممکن است در ساختارهای اصلی کانی آشکار شوند (مثل سرب در گالن) یا به فرم محلول جامد در کانی باشند مثل نقره در گالن.

روش زونالیته ژئوشیمیایی

زون‌بندی هاله ژئوشیمیایی یک طبیعت فضایی و مفهوم جهتی است که می‌تواند با سه پارامتر بعد (فضا)، جهت و غلظت عنصر تعریف شود.

ژئوشیمی معادن، شاخه جدیدی از ژئوشیمی کاربردی محسوب می‌گردد که فرآیندهای ژئوشیمیایی را از لحظه تشکیل ماده معدنی تا جدیدترین فرآیندهای ثانویه (مهاجرت عناصر ناشی از عملکردهای ساخت بشر) مطالعه می‌کند.

در ژئوشیمی اکتشافی قابل اطمینان‌ترین ملاک برای تشخیص هاله‌های اولیه فوق کانساری، سطح فرسایش نهشته و عمق احتمالی آن از طریق منطقه‌بندی اندیس‌های کانسار است. منطقه بندی عنصری برای محاسبه شاخص زونالیته به کار می‌رود. شاخص زونالیته از نسبت غلظت عناصر معرف در قسمت‌های بالایی کانسار به غلظت این عناصر در قسمت‌های پایینی کانسار به دست می‌آید

با توجه به احتمال وجود ذخایر مس پوفیری در مناطق مورد مطالعه، عناصر سرب و روی به عنوان فوق کانساری و مس، مولیبدن و نقره به عنوان عناصر تحت کانساری در نظر گرفته شدند.

روش زونالیته ژئوشیمیایی

برای محاسبه شاخص زونالیته، سالووف (۱۹۸۷) استفاده از تولید سطحی و بئوس و گریگوریان (۱۹۷۷) استفاده از شاخص کانی‌سازی را برای حذف پارامترهای سین‌ژنتیک هاله‌ها پیشنهاد کردند، تا بخش مطلوب از بخش نامطلوب جدا شود و قدرت آشکارسازی آنومالی‌ها افزایش یابد. در یک شبکه نمونه برداری سیستماتیک تولید خطی در طول یک پروفیل و تولید سطحی محاسبه می‌شود.

$$M = \Delta x(\sum_{x=1}^{n} C_x - nC_0)$$

$$P = 2l \sum_{i=1}^{m} M_i$$

در این روابط P و M به ترتیب تولید خطی و تولید سطحی، Δx فاصله بین نمونه‌ها در طول پروفیل، Cx غلظت هر نمونه آنومال، n تعداد نمونه‌های آنومال، Co غلظت زمینه، 2l فاصله بین دو پروفیل و m تعداد پروفیل‌ها است.

روش زونالیته ژئوشیمیایی

سپس شاخص زونالیته از نسبت تولید سطحی عناصر فوق کانساری به تولید سطحی عناصر تحت کانساری برای هر آنومالی با کمک فرمول های زیر به دست می‌آید. با توجه به احتمال وجود ذخایر مس پوفیری در مناطق مورد مطالعه، عناصر سرب و روی به عنوان فوق کانساری و مس، مولیبدن و نقره به عنوان عناصر تحت کانساری در نظر گرفته شدند.

$$K_{p1} = \frac{P(Pb) \cdot P(Zn)}{P(Cu) \cdot P(Mo)}$$

$$K_{p2} = \frac{P(Pb) \cdot P(Zn)}{P(Cu) \cdot P(Ag)}$$

روش زونالیته ژئوشیمیایی

برای به دست آوردن شاخص زونالیته با روش ارائه شده توسط گریگوریان یک ضریب برای هر عنصر در شاخص زونالیته ضرب می‌شود. این ضریب به عنوان ضریب کانی‌سازی شناخته می‌شود. اگر کل نمونه‌های یک زون برابر و تعداد نمونه‌های آنومال برابر در نظر گرفته شود، نسبت بین این دو مقدار به عنوان ضریب کانی‌سازی شناخته می‌شود که بدین صورت است

$$\eta(\alpha) = \frac{\eta_a(\alpha)_{ore}}{\eta_a(\alpha)}$$

این ضریب برابر با مقدار نمونه‌های آنومال مربوط به هر عنصر در هر کدام از زون‌ها نسبت به تعداد نمونه‌های موجود در زون تفکیک شده می‌باشد. مقدار ضریب کانی‌سازی برای هر عنصر باید در میانگین غلظت آن عنصر (AC) در هر آنومالی ضرب می‌شود و در فرمول شاخص زونالیته قرار می‌گیرد

$$Kc_1 = \frac{\eta(\alpha)_{pb} * \overline{CA}_{Pb} * \eta(\alpha)_{zn} * \overline{CA}_{Zn}}{\eta(\alpha)_{Cu} * \overline{CA}_{Cu} * \eta(\alpha)_{Mo} * \overline{CA}_{Mo}}$$

$$Kc_2 = \frac{\eta(\alpha)_{pb} * \overline{CA}_{Pb} * \eta(\alpha)_{zn} * \overline{CA}_{Zn}}{\eta(\alpha)_{Cu} * \overline{CA}_{Cu} * \eta(\alpha)_{Ag} * \overline{CA}_{Ag}}$$

روش زونالیته ژئوشیمیایی

برای محاسبه شاخص زونالیته بر اساس دو روش ذکر شده نخست باید میزان زمینه و حد آستانه آنومالی عناصر مورد بررسی (Cu,Mo,Ag,Pb, Zn) محاسبه شود.

جهت محاسبه مقدار زمینه ، حد آستانه آنومالی و انحراف معیار از فرمول های زیر استفاده می‌شود.

$$logC_A = log\overline{C_x} + ts_{log}$$

$$C_A = \overline{C_x}\varepsilon^t$$

که در آن CA غلظت آنومال، Cx = C0 برابر میانگین هندسی مقادیر غلظت در منطقه خارج آنومالی می‌باشد. Slog لگاریتم خطا است که مقدار آن از فرمول زیر به دست می‌آید:

$$\varepsilon = antilogs_{log} = antilog\left(\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}(logC_i - log\overline{C_x})}{N-1}}\right.$$

اگر هدف آشکارسازی آنومالی‌های قوی باشد t برابر ۳ در نظر گرفته می‌شود، ولی برای آشکارسازی آنومالی‌های ضعیف‌تر از فرمول زیر به دست می‌آید. m مقداری بین ۱تا ۹ است و برابر با تعداد نقاطی است که غلظت بیشتر از Cx دارند. در صورتی‌که این تعداد بیشتر از ۹ باشد، مقدار mبرابر ۹ در نظر گرفته می‌شود.

$$C_A = \overline{C_x}\varepsilon^{\frac{3}{\sqrt{m}}}$$

روش زونالیته ژئوشیمیایی

به وسیله محاسبه مقادیر تولید سطحی و شاخص زونالیته، سطح از فرسایش از مدل ارائه شده توسط ضیایی(۱۹۹۶)، مدل شاخص زونالیته قائم برای ذخایر مس پورفیری بر پایه ذخایر مس پورفیری استاندارد در قزاقستان، بلغارستان، ارمنستان و ایران بدست می آید.

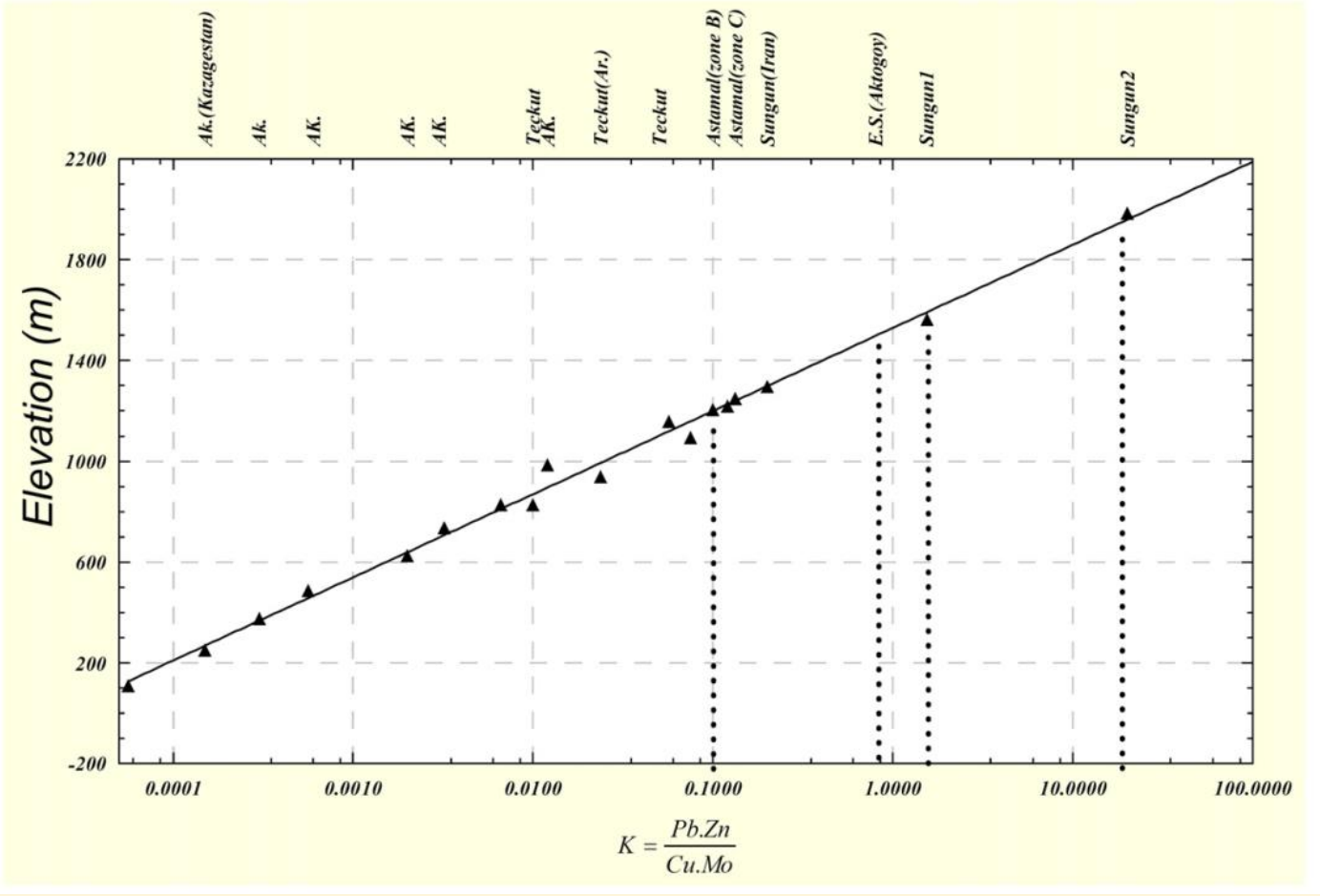
با توجه به شاخص سالاووف و تولید سطحی عناصر، مقادیر بالای شاخص زونالیته، وجود ماده معدنی در عمق را نشان می‌دهد و مقدار پایین آن نشان دهنده این است که ماده معدنی فرسایش یافته است.

Erosional surface		Vertical section	$Vz_1 = \frac{Zn * Pb}{Cu * Mo}$	$Vz_2 = \frac{Zn * Pb}{Cu * Ag}$	$Vz_3 = \frac{Zn * Pb * Bi}{Cu * Mo * Ag}$
Supra-ore	I		>5	>100	>1
Upper- ore	II		5-0.5	100-10	1-0.1
Ore	III		0.5-0.05	10-1	0.1-0.01
Ore	IV		0.05-0.005	1-0.1	0.01-0.001
Lower ore	V		0.005-.0005	0.1-0.01	0.001-0.0001
Sub-ore	VI		<0.0005	<0.01	<0.0001
		Contrast Vz(I)/Vz(VI)	10000	10000	10000

Orebody enclosing rocks primary halo ground surface

روش زونالیته ژئوشیمیایی

همچنین با توجه به شاخص کانی سازی گریگوریان برای عناصر فوق و تحت کانسار، می توان سطح از فرسایش کانی سازی را توسط نمودار زیر بدست آورد. مقادیر بالای شاخص زونالیته، وجود ماده معدنی در عمق را نشان می‌دهد و مقدار پایین آن نشان دهنده این است که ماده معدنی فرسایش یافته است.



روش زونالیته ژئوشیمیایی

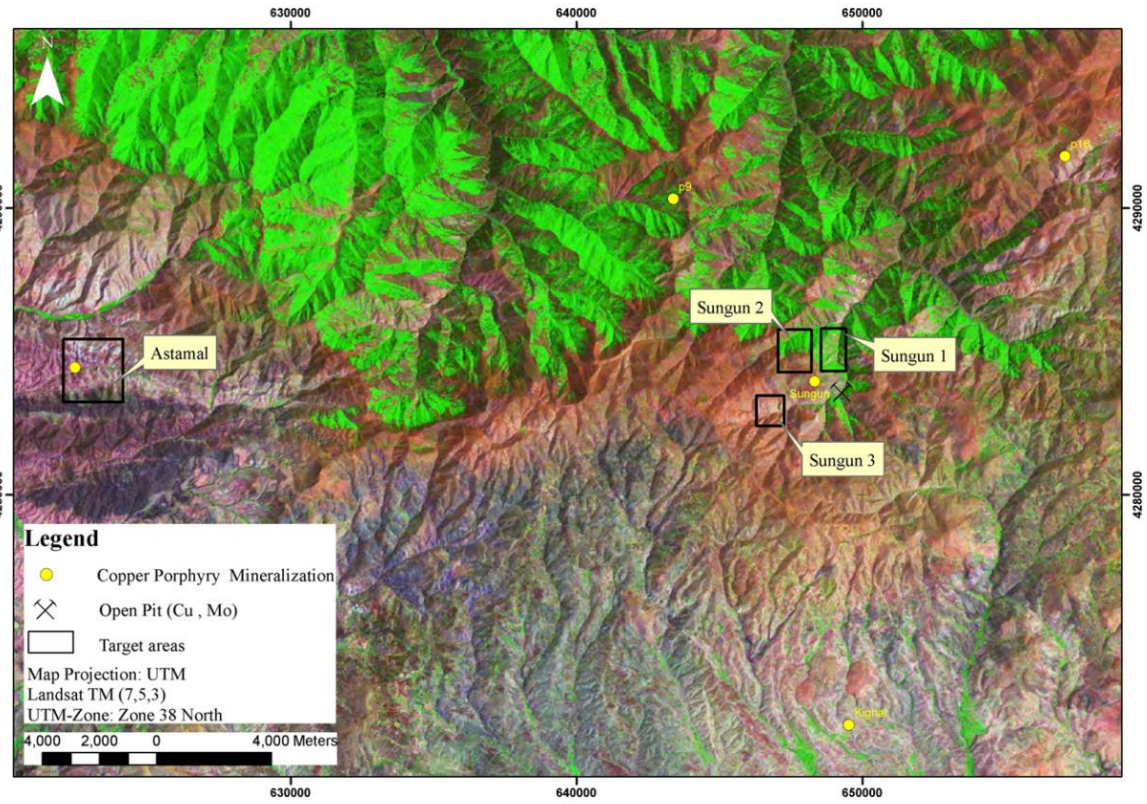
روشهای اکتشاف ژئوشیمیایی سنتی مبتنی بر آنالیز آماری چند متغیره ، فلز سنجی ، پهنه بندی ژئوشیمیایی عمودی و معیارهای انجمنهای ژئوشیمیایی میدان طبیعی است که دارای کاستیهای متعددی هستند از جمله عدم وجود یک رویکرد کلی ژئواستاتیک برای جدا کردن ناهنجاریها از پس زمینه.

این کاستی ها باعث می شود فرآیند تفسیر وقت گیر و پر هزینه شود. به نظر می رسد تئوری مجموعه فازی ، منطق فازی و تکنیک های شبکه عصبی برای برنامه های ژئوشیمی معمولی معدن مناسب هستند. نتایج حاصل از استفاده از تکنیک پیشنهادی در یک سناریوی واقعی ، با مقایسه نتایج حاصل از استفاده از تحلیل آماری چند متغیره ، پیشرفتهای چشمگیر را نشان می دهد.

از نظر محاسباتی ، روش معرفی شده ، بدون حفاری اکتشافی ، تمایز بین کانی سازی کور و منطقه کانی سازی پراکنده را ممکن می سازد. روش ارائه شده در این مطالعه تحقیق با آزمایش آن بر روی پروژه های ژئوشیمیایی مختلف معدن واقع شده است.

معرفی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در شمال غربی ایران و ۷۵ کیلومتری شمال غربی اهر (روستای سونگون و آستامال) واقع شده است. سونگون بزرگترین معدن مس روباز در ایران است. اکتشافات از سال ۱۹۷۹ تا ۱۹۹۳ نشان می دهد که ذخیره سونگون در حدود ۹۹۵ میلیون تن مس با عیار ۰/۶۶۱٪ و مولیبدن با عیار۲۴۰ppm است. ذخیره احتمالی حدود ۱۷۰۰ میلیون تن است.



معرفی منطقه مورد مطالعه

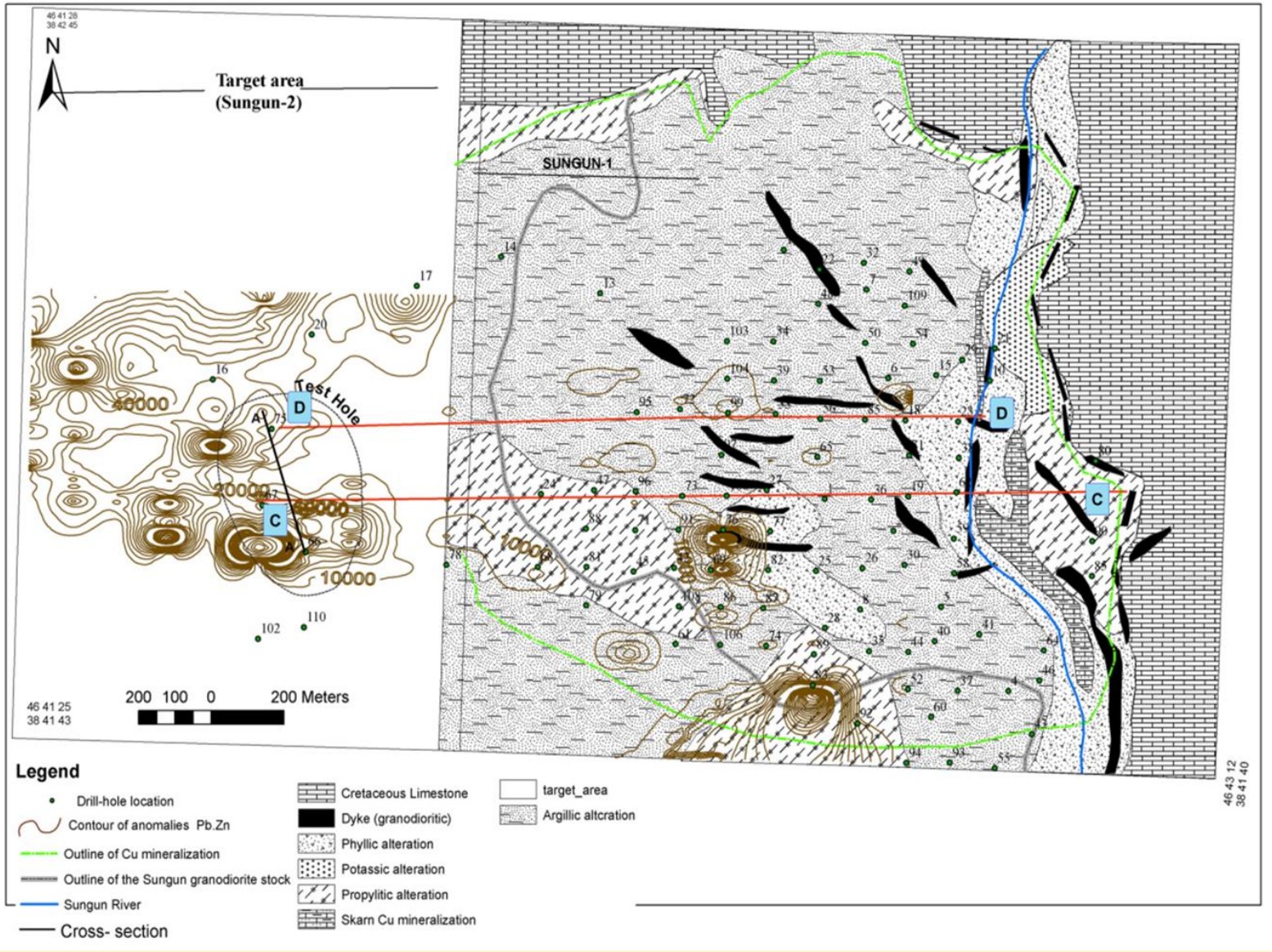
پورفیری های سونگون از نظر سن الیگومیوسن هستند. کانسار مس پورفیری سونگون یکی از دو کانسار اصلی مس در ارتباط با سنگهای نفوذی کالک قلیایی در کمربند آتشفشانی سهند – بزمان است.

در سال ۱۹۹۲، سونگون۲ برای دمپ باطله انتخاب شده بود اما بر اساس مطالعات زونالیته در سال ۱۹۹۴، سونگون۲ به عنوان کانی سازی پنهان و در عمق معرفی گردید و سرانجام با مطالعات آنومالی های پنهان در سونگون۱ و سونگون۲، کل محدوده به عنوان یک کانسار پنهان معرفی گردید.

اطلاعات غلظت عناصر مورد بررسی در سونگون و آستامال

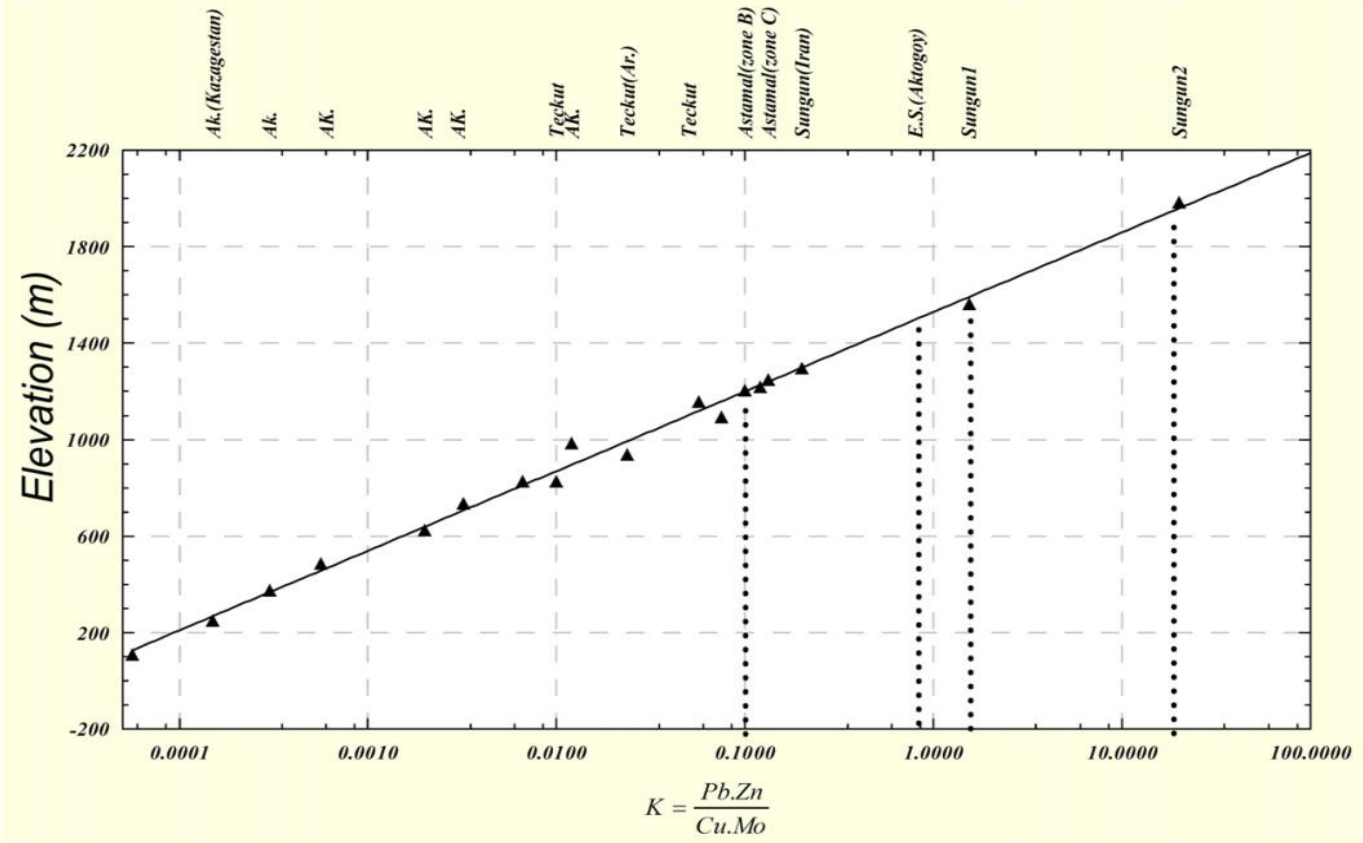
Element	Cu (ppm)	Mo (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Geothermal parameters	Sample size	Area sampling (Km^2km^2)
Sungun area	36	1.48	23.2	65	Background values	2900	5
	42	2.3	31	74	Threshold values		
	6500	500	9100	3900	C_{max}		
Astamal area	39	2.2	19	64	Background values	920	1
	71	4.9	31	94	Threshold values		
	1460	49	1220	3950	C_{max}		
	26	1.2	15	56	Clark Beus and Grigorian, (1977)		

نقشه زمین شناسی سونگون

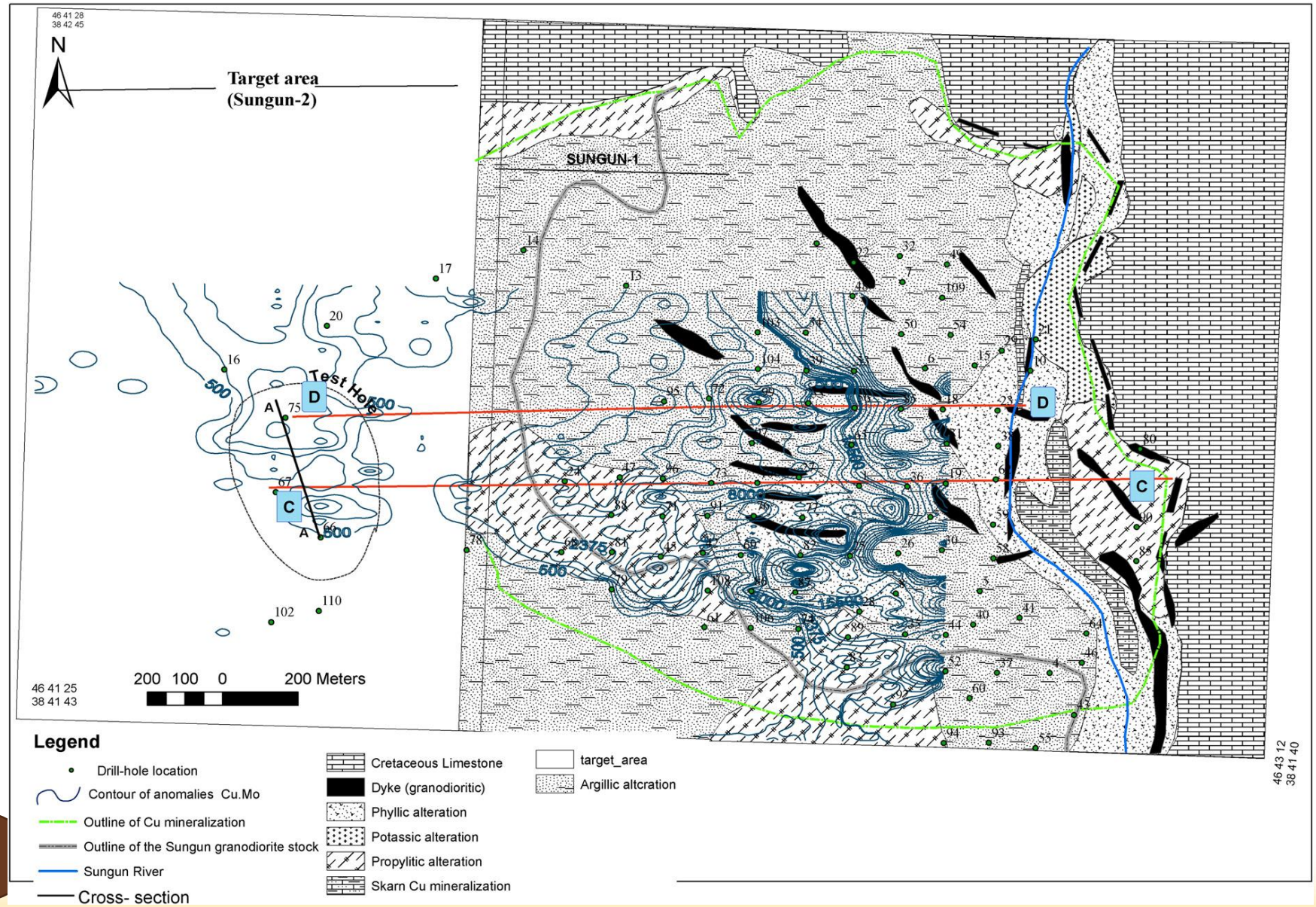


بررسی زونالیته در سونگون۱ و سونگون۲

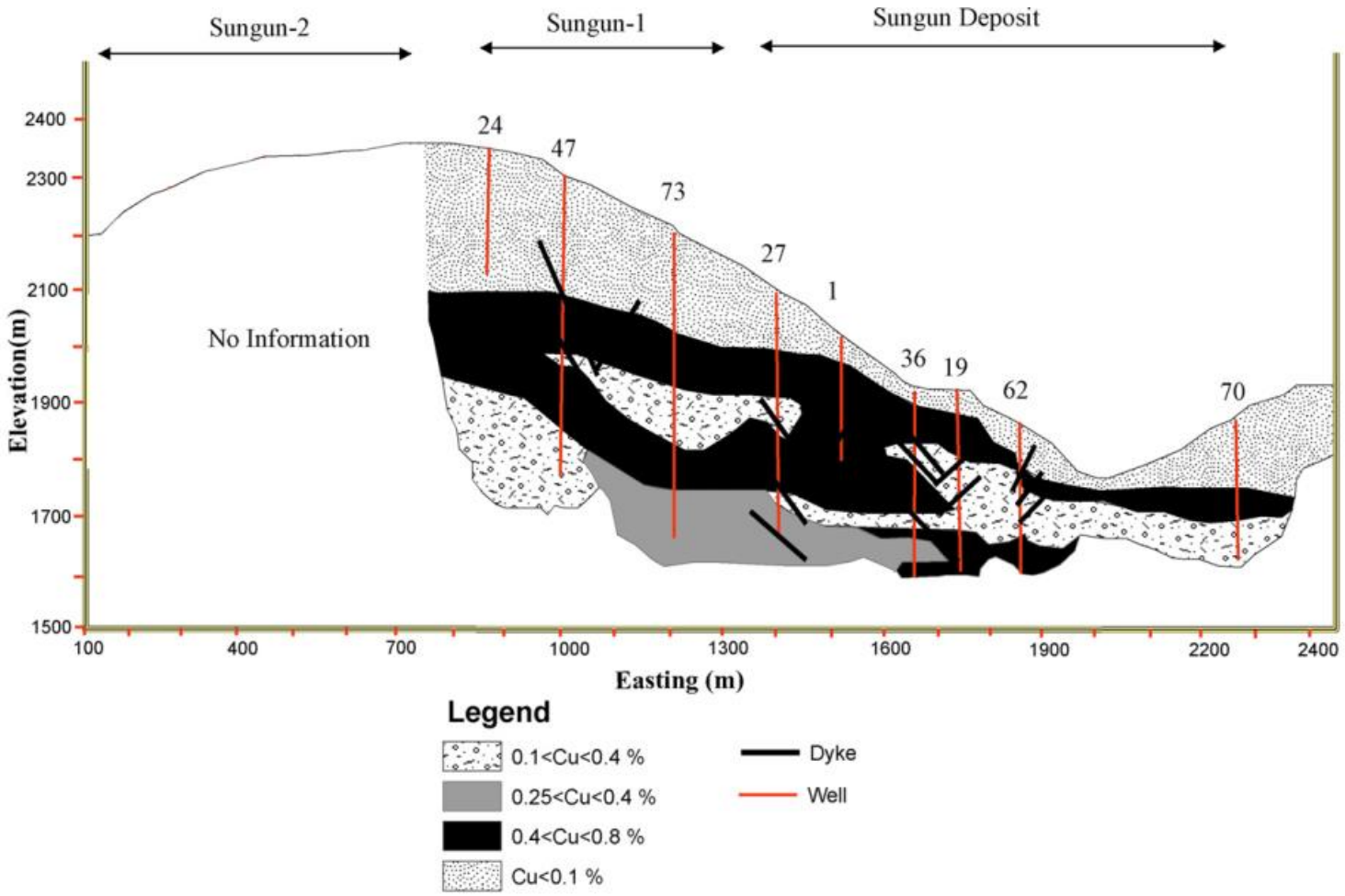
با توجه به شاخص زونالیته سطح فرسایش منطقه سونگون۱ و ۲ بررسی گردید و مناطق با اهمیت کانی سازی پنهان مشخص شد. با توجه به زونالیته و بدون هیچ حفاری، سونگون یک کانسار با کانی سازی پنهان است.
همچنین برای اعتبار سنجی نتایج از حفاری از قبل انجام شده استفاده شده است.



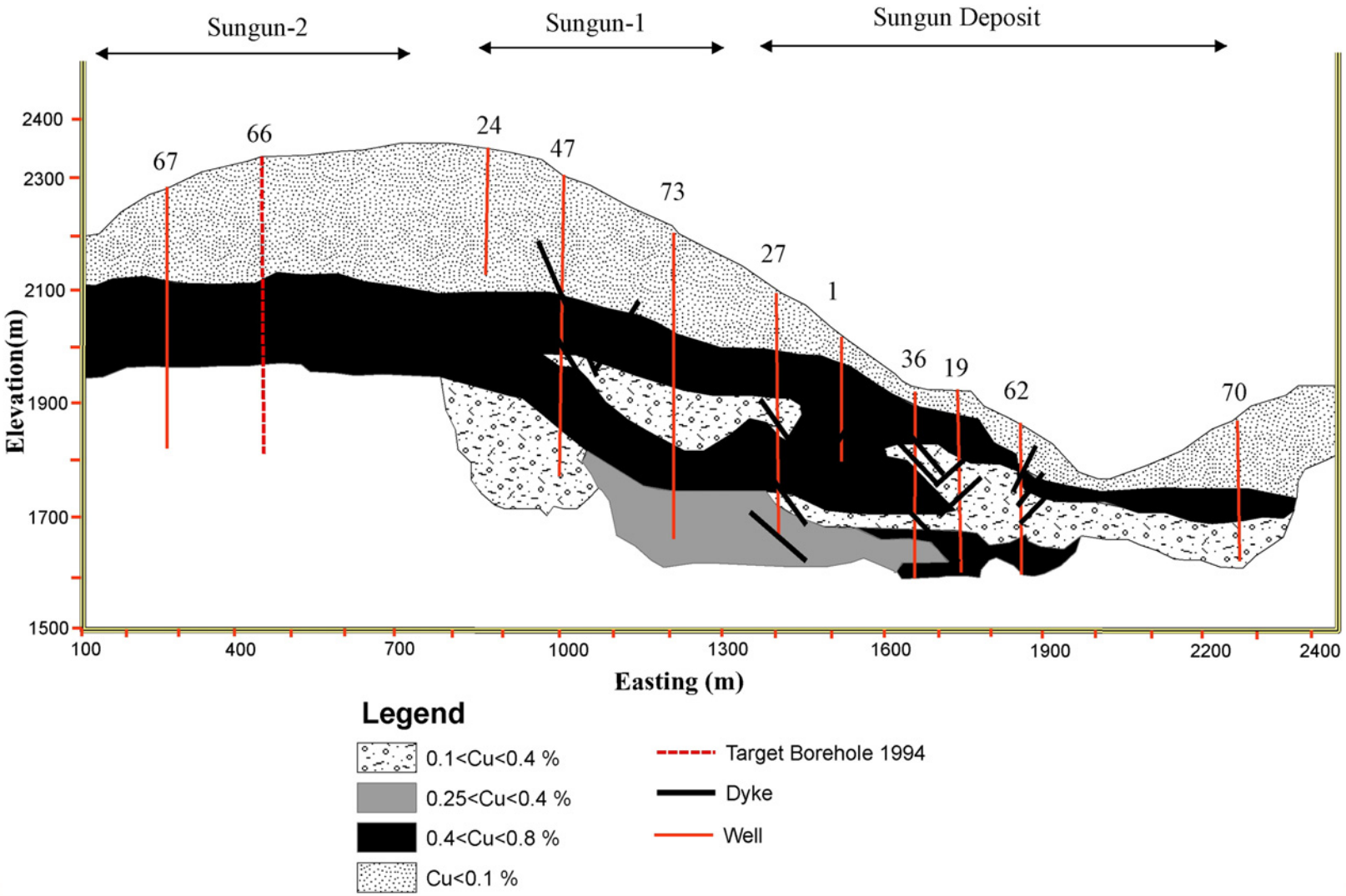
نقشه کانی سازی پنهان در سونگون۱ و سونگون۲



صحت سنجی نتایج زونالیته در سونگون در راستای مقطع c-c

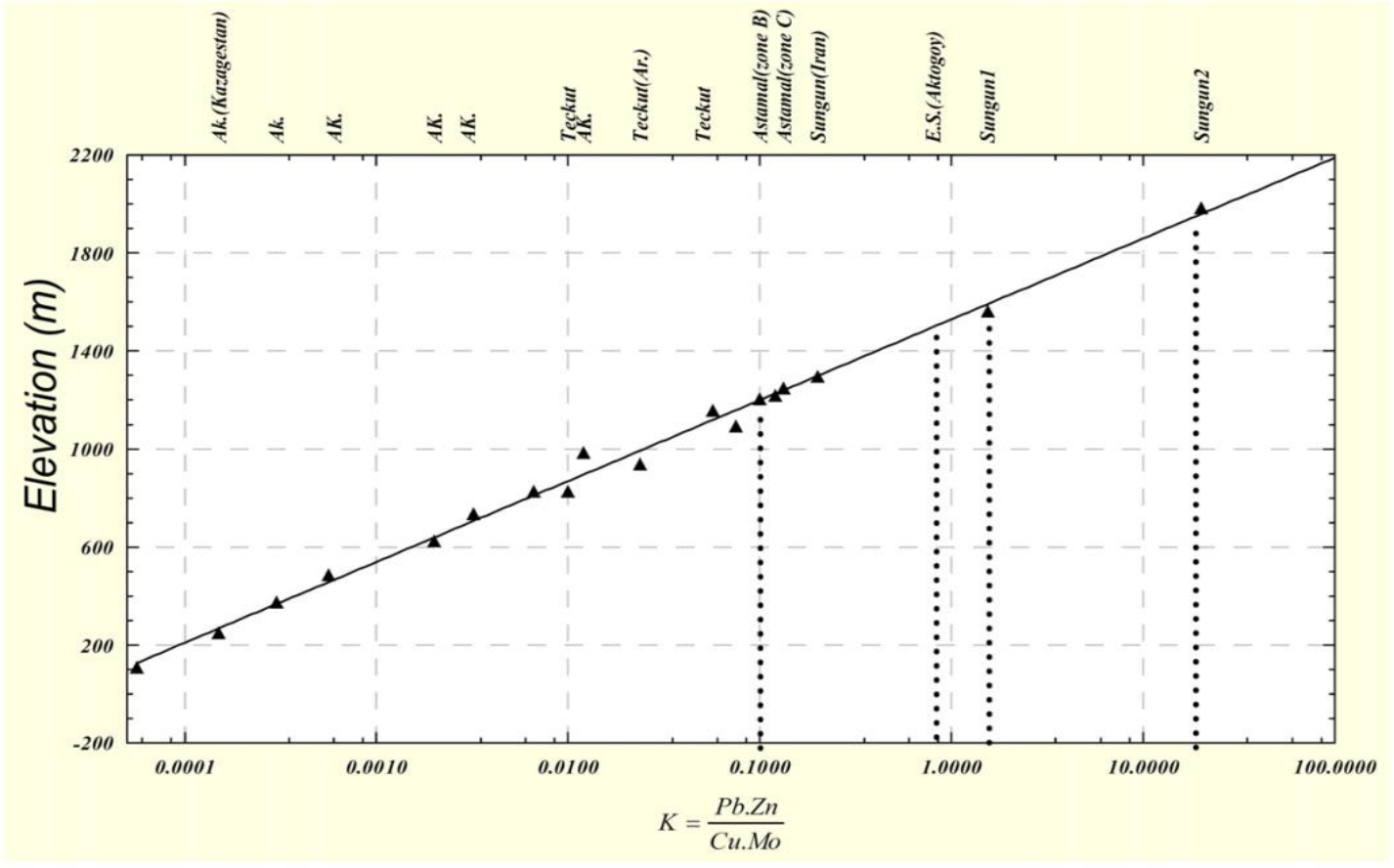


صحت سنجی نتایج زونالیته در سونگون در راستای مقطع c-c

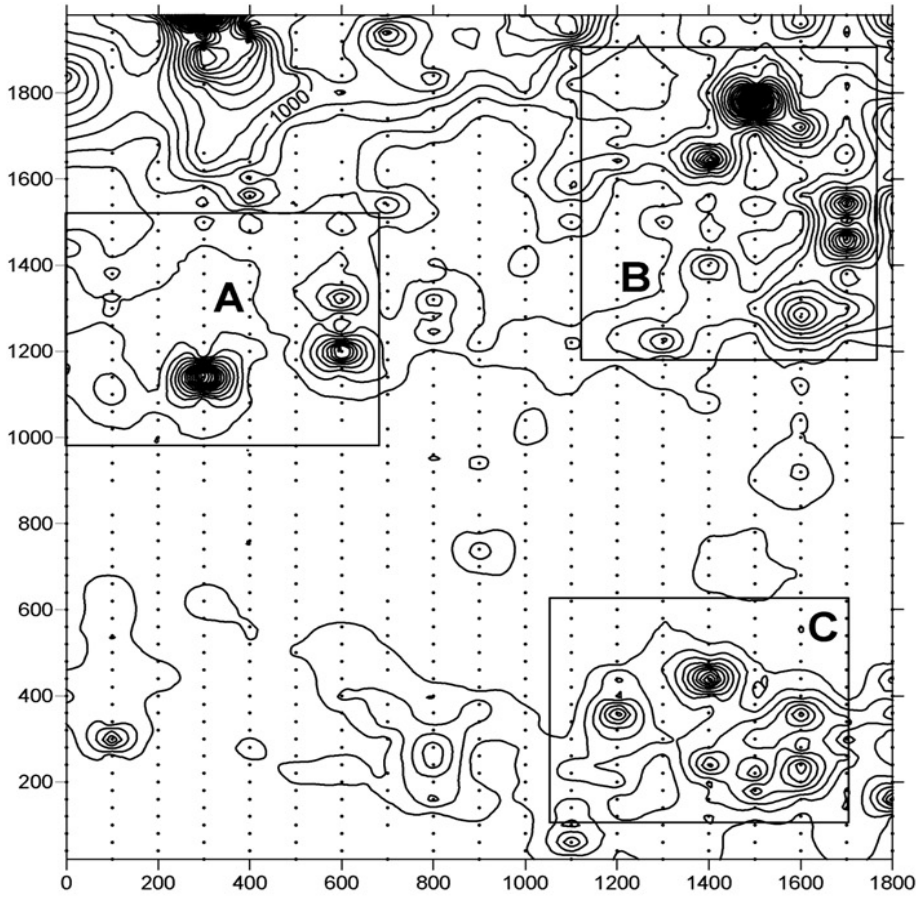


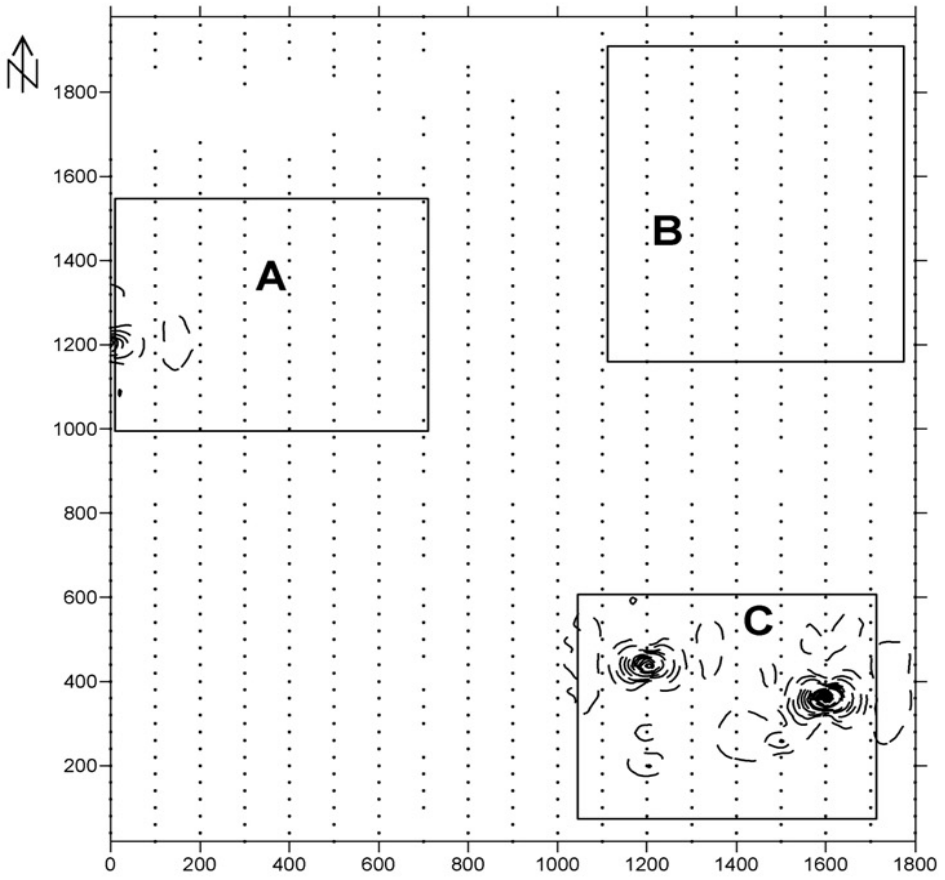
بررسی زونالیته در آستامال

زونالیته در آستامال بررسی گردید و از لحاظ فوق کانسار و تحت کانسار بررسی شده است. در بررسی زونالیته و سطح فرسایش، آستامال زون کانی سازی پراکنده معرفی گردیده است. همچنین صحت این امر توسط حفاری در مناطق معرفی شده، تایید شده است.



نقشه کانی سازی پراکنده در آستامال به روش زونالیته



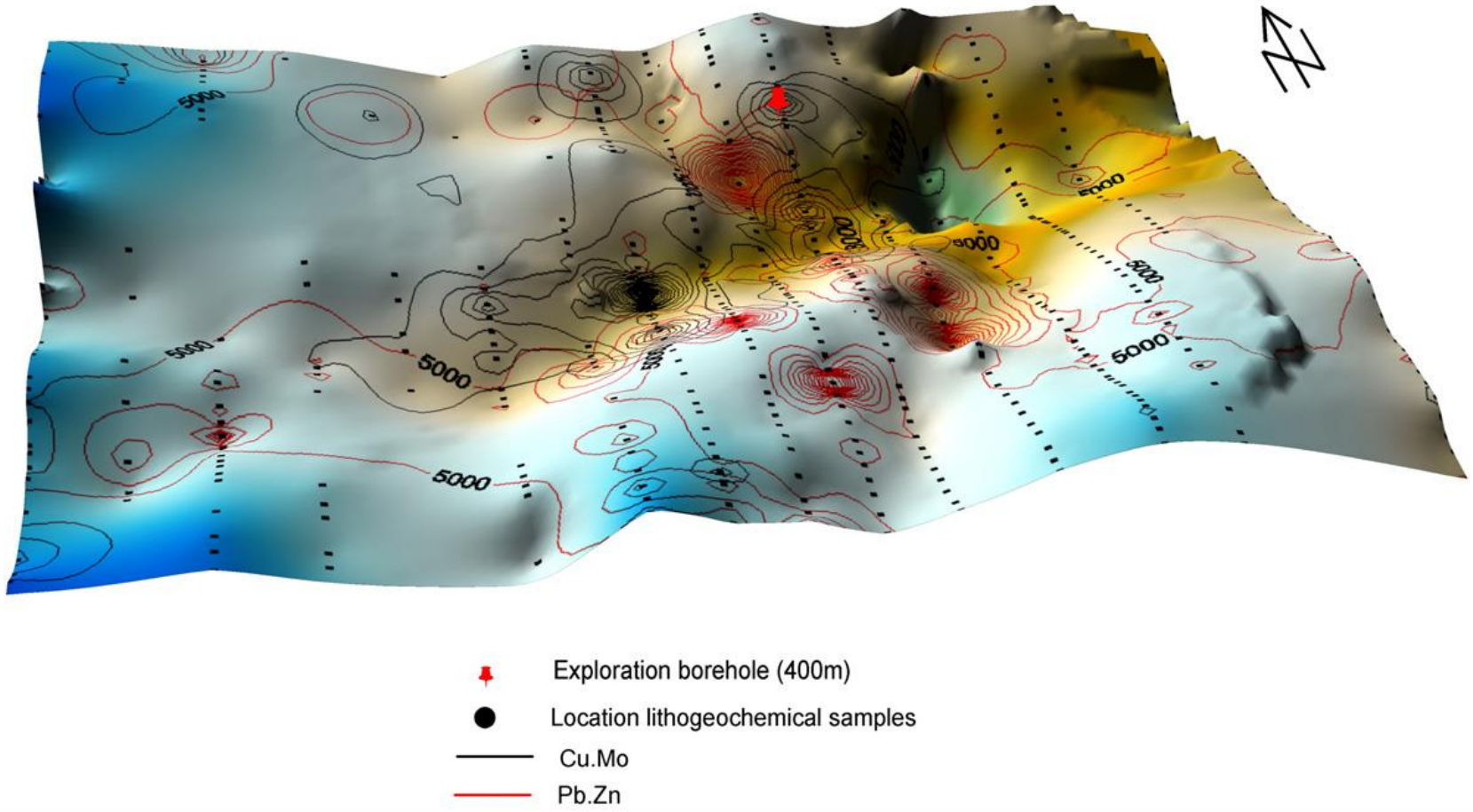


Legend

- Sample location (100*20meter)
- Cu.Mo
- Pb.Zn
- Geochemical anomaly

بررسی زونالیته در سونگون۳

بر اساس نتایج بدست آمده از سونگون۱ و سونگون۲ یک آنومالی مرتبط با کانی سازی در سونگون۳ نمایان شده است



مدل نرو فازی

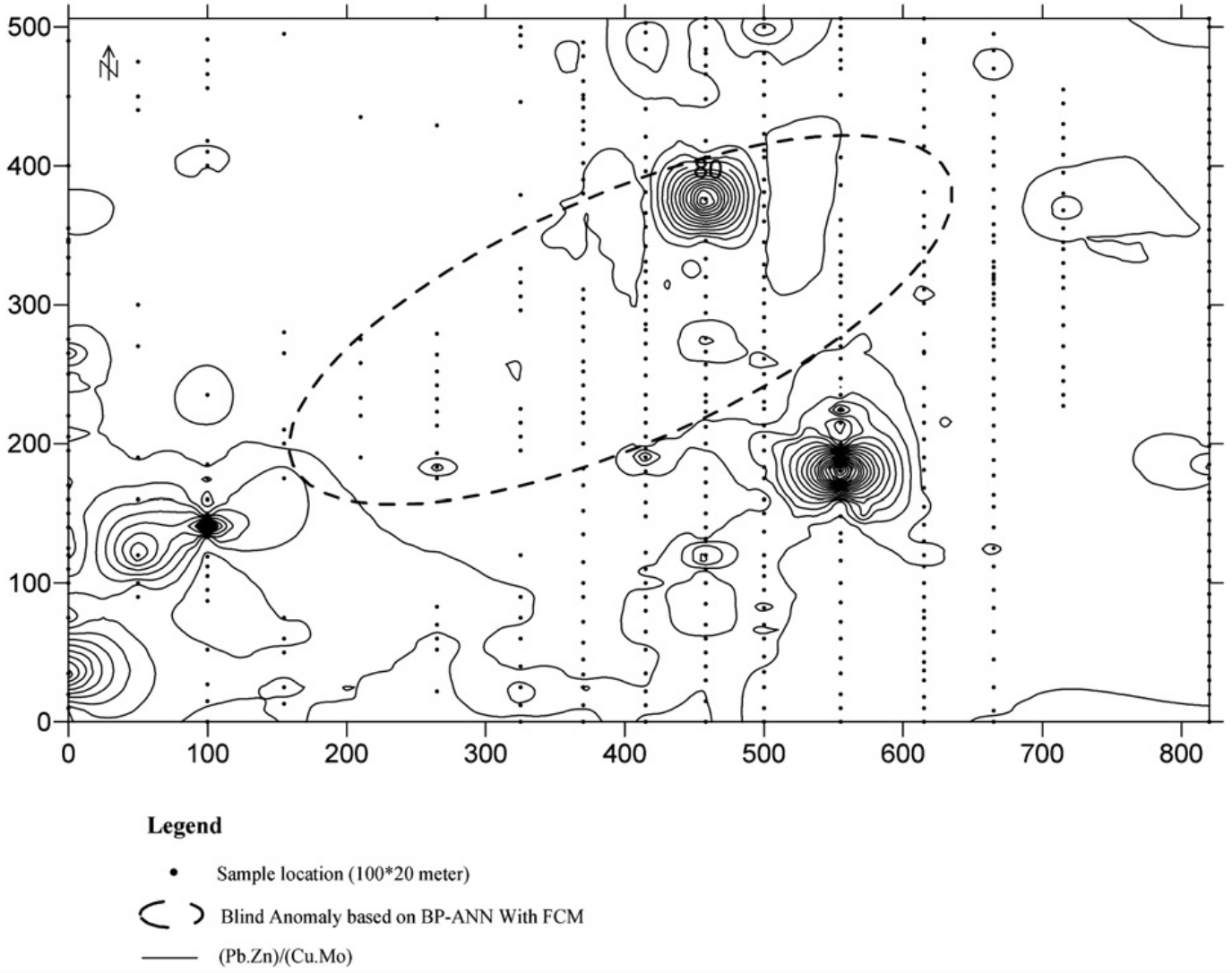
استفاده از روش زونالیته دارای قدرت بالایی در شناسایی مناطق و تفیکیک آنومالی پنهان از پراکنده است. همچنین به وسیله آن سطح از فرسایش تعیین می گردد. اما دارای کاستی هایی در انجام کار مانند جداسازی زمینه، ایجاد کنتور و ارائه نتایج در چند بعد است. به همین دلیل از مدل نرو فازی پیشنهادی استفاده شده است.

تکنیک های عصبی فازی می توانند با دریافت اطلاعات آن ها را یاد گرفته و با توجه به روابط فازی به قواعد فازی با سطح دقت از پیش تعیین شده، تبدیل کنند. با استفاده از روش میانگین c فازی، در مناطق سونگون۳ برای شناسایی کانی سازی پنهان و آستامال برای شناسایی کانی سازی پراکنده استفاده شده است.

در روش میانگین c فازی، اطلاعات به خوشه هایی تقسیم می شوند و سپس ارتباط بین آن ها بررسی می گردد. در این مقاله این شبکه عصبی در ۴ لایه و ترکیبی از روش نرو فازی با شبکه عصبی مصنوعی استفاده شده است.

با توجه به نتایج بدست آمده از این روش، نسبت به روش های سنتی دارای تشخصی و دقت بالاتری بوده و با استفاده از این روش کاستی های آن روش ها کمتر شده است. در این روش به خوبی مناطق آنومالی از غیر آنومال معین شده و بدون حفاری، مناطق کانی سازی پنهان و پراکنده مشخص گردیده است.

نقشه کانی سازی پنهان در سونگون۳ به روش نرو فازی



نقشه کانی سازی پراکنده در آستامال به روش نرو فازی