طراحی شبکه اکتشاف بهینه کانسارآهن و منگنز شمس‌آباد اراک

مهندس رضا احمدی[۱]، امیر خیرآبادی[۲]

۱- کارشناس ارشد مهندسی معدن (عضو هیئت علمی) - دانشگاه علم و صنعت ایران

۲- دانشجوی رشته مهندسی اکتشاف معدن - دانشگاه علم و صنعت ایران (واحد اراک)

E-mail:R_Ahmadi@iustarak.ac.ir

چکیده

یکی از نیازهای اساسی در تمامی مراحل عملیات اکتشافی تعیین موقعیت دقیق و بهینه کارهای اکتشافی است. به طورکلی نحوه قرارگرفتن کارهای اکتشافی را شبکه اکتشاف می‌گویند. شبکه های اکتشافی انواعی دارند که انتخاب نوع شبکه به شرایط و خصوصیات زمین شناسی کانسار بستگی دارد. در مطالعه حاضر به عنوان یک مورد عملی طراحی نوع و ابعاد شبکه اکتشاف برای کانسار آهن و منگنز شمس آباد اراک صورت گرفته است.

با توجه به شرایط زمین شناسی کانسار (کانسار لایه ای بوده و ماده معدنی به صورت عدسی هایی در میان آهکهای ضخیم لایه قرار گرفته است) و نوع و میزان اطلاعات اکتشافی موجود (نتایج برداشتهای ژئوفیزیکی، داده های عیارسنجی ترانشه ها و تعداد معدودی گمانه عمیق) طراحی شبکه کانسار با استفاده از دو روش تحلیلی و زمین آماری انجام شده است.

با استفاده از روش تحلیلی که یک روش مبتنی بر آمار کلاسیک است و برای به دست آوردن یک ایده کلی و تعیین یک شبکه برداشت اولیه مورد استفاده قرار می گیرد یک شبکه مستطیلی به ابعاد ۱۳۰×۱۵۰ متر تعیین گردید. استفاده از روش زمین آماری و ترسیم واریوگرامهای امتدادی شبکه اکتشافی مستطیل شکلی با ابعاد۲۳۰×۳۵ متر را نتیجه داد که با ابعاد شبکه بدست آمده از روش تحلیلی بسیار متفاوت است و یقیناً روش زمین آماری با در نظر گرفتن همبستگی فاصله ای و توزیع فضایی داده‌ها و درنتیجه میزان خطای کمتر، دقیقتر بوده و نتایج آن به واقعیت نزدیکتر است.

واژه های کلیدی: شبکه اکتشاف، کانسار، نمونه گیری، روش تحلیلی، واریوگرام، زمین آمار.

مقدمه

در بسیاری از موارد مشخصات کانسار در قسمتهای مختلف آن متفاوت است. بدیهی است نمی‌توان از تمام نقاط کانسار اطلاعات به دست آورد بلکه بایستی بر مبنای اطلاعاتی که در نقاط محدودی از کانسار در دست است درباره مشخصات کمی و کیفی آن قضاوت‌کرد. برای اینکه اطلاع صحیحی از مشخصات کانسار به

دست آوریم بایستی نقاط اطلاعاتی را (که شامل ترانشه‌ها، گمانه‌ها، تونلها و سایرکارهای اکتشافی است) در تمام سطح کانسار به طور یکنواخت گسترش دهیم. یکی از نیازهای اساسی در تمامی مراحل عملیات اکتشافی که به منظور مشخص کردن محل توده کانسار صورت می‌پذیرد، تعیین محل دقیق نیمرخهای اکتشافی و یا نمونه ها می‌باشد. به طورکلی نحوه قرارگرفتن کارهای اکتشافی را شبکه اکتشاف می‌گویند. انواع شبکه اکتشافی وجود دارد که انتخاب نوع شبکه به شرایط و خصوصیات زمین شناسی کانسار بستگی دارد. مهمترین عامل موثر در انتخاب چگالی شبکه نیز، تغییرات خواص کانسار است و بدین ترتیب هر چقدر شکل و خواص کیفی کانسار متغیرتر باشد به شبکه انبوهتری احتیاج خواهد بود. در مراحل ابتدایی طراحی شبکه اکتشاف بر اساس کانسارهای مشابه صورت می‌گیرد[۱].

در مطالعه حاضر به عنوان یک مورد عملی طراحی نوع و ابعاد شبکه اکتشاف در مرحله اکتشافات نیمه تفصیلی برای کانسار آهن و منگنز شمس آباد اراک انجام می شود.

موقعیت جغرافیایی و راههای دسترسی به معدن

معدن شمس‌آباد در فاصله ۳۲ کیلومتری جنوب اراک و در مختصات جغرافیایی ´۴۷°۳۳ شمالی و ´۴۲°۴۹ شرقی واقع شده است. معدن از طریق یک راه آسفالته به طول ۴۱ کیلومتر به اراک متصل است و از طریق یک جاده خاکی به روستای ورچه خمین می رسد.

زمین شناسی عمومی منطقه

منطقه مورد مطالعه در ناحیه معدنی و فلززایی اصفهان - ملایر بر روی کمربند سنندج – سیرجان قرار گرفته و درگوشه شمال غرب ورقه ۱:۲۵۰۰۰۰ گلپایگان واقع می‌شود که شیلها و ماسه سنگهای ژوراسیک به همراه مجموعه رسوبات کرتاسه شامل ماسه سنگ و کنگلومرا، آهکهای اربیتولین‌دار، مارن، شیلها و آهکهای مارنی رخنمون دارند و ماده معدنی در داخل آهکهای اربیتولین‌دار کرتاسه گزارش شده‌است[۲]. از نظر سنگ شناسی کلیه سنگهای موجود در منطقه شامل ماسه‌سنگهای ژوراسیک، کنگلومرا و ماسه‌سنگهای کرتاسه تحتانی، آهکهای مارنی، آهکهای ماسه‌ای، آهکهای با طبقه بندی ضخیم (که برخی از عدسیهای ماده معدنی در آن قرار دارد)، آهکهای متبلور دولومیتی (غنی از اکسیدهای آهن)، آهکهای لایه نازک، شیل و مارن کرتاسه زیرین و آهکهای اربیتولین‌دار فوقانی می باشد. سنگهای‌کربناته درونگیر بطور عمده ازکانیهای کلسیت، دولومیت وکوارتز تشکیل شده‌اند وکانیهای رسی، هماتیت، اکسیدهای‌منگنز، پیریت و گالن نیز

حضور دارند. ترکیب کانی‌شناسی عدسیهای معدنی شامل گوتیت، هماتیت، لیمونیت، پیرولوزیت، کریپتوملان و پسیلوملان است.

کانی‌سازی آهن در محور اصفهان - ملایر از نوع رسوبی - ولکانوژنیک است و منگنز همراه با رسوبات پلاژیک مربوط به افیولیتهای کرتاسه پیشین در محور سنندج – اسفندقه می‌باشد[۳]. بنابراین در مجموع کانسار آهن منگنز دار شمس‌آباد را می توان یک نهشته استراتی باند رسوبی دانست[۲].

بررسی منابع

شرکت تأمین منگنز فولاد ایران در سال ۱۳۶۹ اقدام به انجام اکتشافات مقدماتی در این منطقه نموده است. این اکتشافات شامل برداشتهای ژئوفیزیکی مغناطیس سنجی و گرانی سنجی در راستای ۳۱ نیمرخ اکتشافی با آزیموت ۳۳ درجه با فواصل ۱۰۰ متری می‌باشد که نتایج آن به صورت نقشه‌های مغناطیس سنجی و گرانی سنجی در مقیاس ۱:۵۰۰۰ موجود است.

علاوه بر برداشتهای ژئوفیزیکی بر روی تعدادی از این نیمرخها که ماده معدنی رخنمون دارد، ترانشه حفر شده و از ترانشه‌ها به فواصل ۴ متری نمونه گیری به عمل آمده است. این نمونه‌ها برای عناصر Fe، P، S و Mn مورد تجزیه شیمیایی قرار گرفته اند.

اکتشافات عمیق انجام شده توسط شرکت تأمین منگنز فولاد ایران شامل انتخاب ۲۷ نقطه برای گمانه‌زنی است که از این تعداد فقط تعداد ۱۲ گمانه حفاری شده و به فواصل ۴ متری نمونه گیری شده است ولی تنها مغزه‌های ۶ گمانه برای Fe، P، Mn، SiO_2، CaO و Pb تجزیه شیمیایی شده اند.

روشها

برای تعیین نوع، ابعاد و چگالی شبکه اکتشاف کانسار آهن و منگنز شمس آباد اراک می توان از دو روش آمار کلاسیک و زمین آمار استفاده کرد.

روش کلاسیک

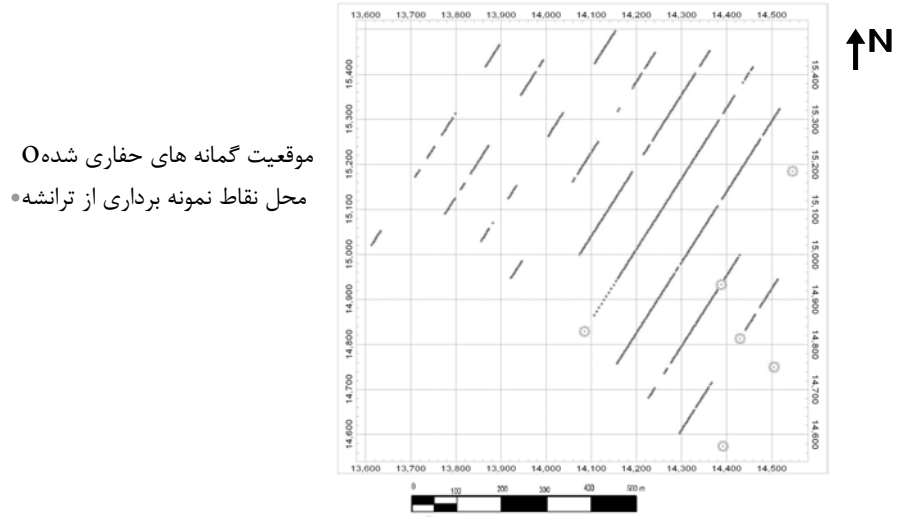
برای به دست آوردن یک ایده کلی و تعیین یک شبکه برداشت اولیه از روش مبتنی بر آمار کلاسیک استفاده می شود. برای این منظور از داده ها و نتایج اکتشافات مراحل قبل (تعداد ۷۸۱ نمونه حاصل از حفر ۹ ترانشه با آزیموت ۳۳ درجه در جهت عمود بر امتداد تقریبی ماده معدنی و داده‌های عیار سنجی ضخامت ۴ متر اول

تعداد ۶ نمونه حاصل از حفر ۶ گمانه به عنوان داده‌های سطحی) استفاده می گردد که موقعیت حفر کارهای اکتشافی مذکور در شکل ۱ نشان داده شده است.

بررسی و مطالعه نقشه برداشتهای ژئوفیزیکی مغناطیس سنجی و گرانی سنجی نشان می دهد که امتداد ماده معدنی شمال غربی – جنوب شرقی (آزیموت ۱۲۳ درجه) و شیب ماده معدنی به سمت شمال شرقی (آزیموت ۳۳ درجه) می باشد.

پردازش اولیه داده‌ها

آماره‌های مختصر برای داده های دو عنصر آهن و منگنز (عناصر اصلی و باارزش معدن) در جدول ۱ خلاصه شده است.



شکل ۱: نقشه پراکندگی موقعیت حفر کارهای اکتشافی (ترانشه و گمانه) و محل نقاط نمونه برداری.

جدول ۱: آماره‌های مختصر برای داده‌های عیار سنجی دو عنصر آهن و منگنز.

پارامتر عنصر	تعداد نمونه	میانگین	میانه	مد	انحراف معیار	واریانس	درصد ضریب تغییرات	چولگی	کشیدگی	حداقل	حداکثر
آهن	۷۷۹	۳۳/۸۹	۳۷/۰۸	۴۵/۲	۱۱/۴۲	۱۳۰/۴۸	۳۳/۷۰	-۰/۷۴۵	-۰/۴۴۵	۴/۹۷	۵۴/۸۲
منگنز	۷۸۱	۲/۵۰	۲/۴۳	۲/۲۷	۰/۹۸	۰/۹۶	۳۹/۱۴	۱/۳۵	۵/۶۱	۰/۰۸	۹/۲۸

تعیین ابعاد شبکه

از میان روشهای کلاسیک تعیین چگالی شبکه با توجه به شرایط موجود کانسار مناسبترین روش، روش تحلیلی می باشد. ابتدا باید مساحت سطح کانسار را تعیین نموده سپس مقدار ضریب تغییرات کل کانسار را با استفاده از داده های جدول ۱ محاسبه نمود. با این اطلاعات و درنظرگرفتن حداکثرخطای مجاز ۱۵٪ در محاسبه میانگین کانسار در سطح اعتماد ۹۵٪ با استفاده از رابطه (۱) می‌توان تعداد کار اکتشافی مورد نیاز برای اکتشاف محدوده کانسار را بدست‌آورد[۴]. با تقسیم مساحت کانسار بر تعداد کار اکتشافی، چگالی شبکه اکتشاف بدست می‌آید که نتایج محاسبات در جدول ۲ خلاصه شده است.

$$n=\left(\frac{Z\times CV}{p}\right)^2 \qquad (۱)$$

که در این رابطه p خطای محاسبه مقدار متوسط یک کمیت است که از طریق مشاهدات و اندازه‌گیریهای مختلف محاسبه شده است، z یک فاکتور اطمینان (سطح اعتماد در تابع توزیع نرمال)، cv ضریب تغییرات و n تعداد نمونه مورد نیاز و یا تعداد دهانه های اکتشافی می باشد.

برای محاسبه ابعاد شبکه اکتشاف، آماره‌های مختصر (میانگین، انحراف معیار و ضریب تغییرات) برای داده های هر نیمرخ اکتشافی را به صورت جداگانه تعیین کرده و سپس میانگین ریاضی ضریب تغییرات تمام نیمرخها محاسبه می شود تا ضریب تغییرات کل کانسار در راستای نیمرخها (آزیموت ۳۳ درجه، شیب ماده معدنی) بدست‌آید. همین عمل برای داده های ۵۲ نیمرخ (با آزیموت ۱۲۳ درجه و با فاصله ۱۰ متر از یکدیگر) عمود بر راستای نیمرخهای اولیه و در جهت امتداد ماده معدنی انجام می‌گیرد. با استفاده از ضریب تغییرات که در دو راستای مختلف بدست آمده است می توان ابعاد شبکه را محاسبه نمود که نتایج محاسبات مربوطه در جدول ۳ خلاصه شده است.

جدول ۲: نتایج محاسبات مربوط به تعیین چگالی شبکه اکتشافی به روش تحلیلی.

پارامتر	آهن	منگنز	واحد اندازه گیری
درصد ضریب تغییرات	۳۳/۷۰	۳۹/۱۴	-
مساحت کانسار	۵۰۰۰۰۰	۵۰۰۰۰۰	مترمربع
تعداد کار اکتشافی	۱۹/۳۹	۲۶/۱۶	واحد
چگالی	۲۵۷۸۵	۱۹۱۱۴	مترمربع بر واحد

جدول ۳: محاسبات مربوط به تعیین ابعاد شبکه کانسار به روش تحلیلی.

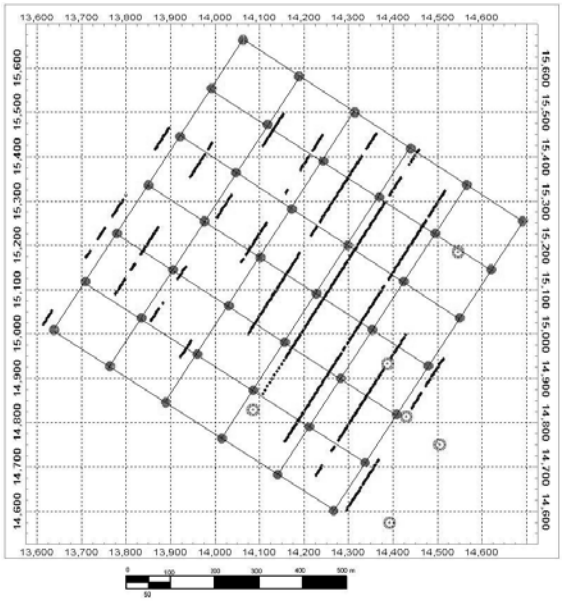
پارامتر اندازه گیری	آهن	منگنز
درصد ضریب تغیرات در جهت امتداد ماده معدنی (CV_1)	۳۱/۴۸	۳۳/۸۸
درصد ضریب تغییرات در جهت شیب ماده معدنی (CV_2)	۳۴/۳۳	۳۸/۸۲
نسبت (CV_2)/(CV_1)	۱/۰۹۱	۱/۱۴۶
چگالی شبکه	۲۵۷۸۵	۱۹۱۱۴
عرض شبکه بر حسب متر (در راستای شیب)	۱۵۴	۱۲۹
طول شبکه بر حسب متر (در راستای امتداد)	۱۶۸	۱۴۸

داده های جدول ۳ نشان می دهد که ابعاد شبکه اکتشافی برای داده‌های آهن ۱۵۴×۱۶۸ متر و برای داده‌های منگنز ۱۲۹×۱۴۸ متر بدست می آید که ابعاد شبکه نهایی با تلفیق کلیه اطلاعات باید ۱۳۰×۱۵۰ متر طراحی شود (شکل ۲).

روش زمین آماری

در آمار کلاسیک این واقعیت که احتمال تشابه مقدار یک کمیت در دو نمونه نزدیک به هم بیشتر است تا در دو نمونه دور از هم، در نظر گرفته نمی‌شود به عبارت دیگر توزیع فضایی داده‌ها مد نظر قرار نمی‌گیرد و تحلیلها مستقل از مکان و توزیع فضایی نمونه‌ها صورت می‌پذیرد[۵].

زمین‌آمار به بررسی آن دسته از متغیرها می‌پردازد که ساختار فضایی از خود بروز می‌دهند یعنی ابتدا وجود یا عدم وجود ساختار فضایی بین داده‌ها مورد بررسی قرار گرفته و در صورت وجود ساختار فضایی (همبستگی فاصله‌ای و جهتی) تحلیل داده ها انجام می‌گیرد.



شکل ۲: شبکه اکتشاف نهایی تعیین شده به روش تحلیلی (نقاط توپر موقعیت پیشنهادی کارهای اکتشافی می باشد).

واریوگرافی (تجزیه و تحلیل ساختار فضایی)

برای دستیابی به نحوه توزیع ساختار فضایی منطقه، آگاهی از میزان تداوم کانی سازی و همسانگرد (ایزوتروپ) یا ناهمسانگرد (انیزوتروپ) بودن منطقه، ترسیم واریوگرام در امتدادهای مختلف (واریوگرامهای جهتی) ضروری است که برای این منظور از نرم‌افزارهای زمین‌آماری GEOEAS و GS+ استفاده شده است. واریوگرام ابزار بسیار سودمندی برای تشخیص همسانگردی یا ناهمسانگردی کانسار می‌باشد و شناخت ناهمسانگردی از جهت طراحی شبکه اکتشاف بهینه بسیار بااهمیت است.

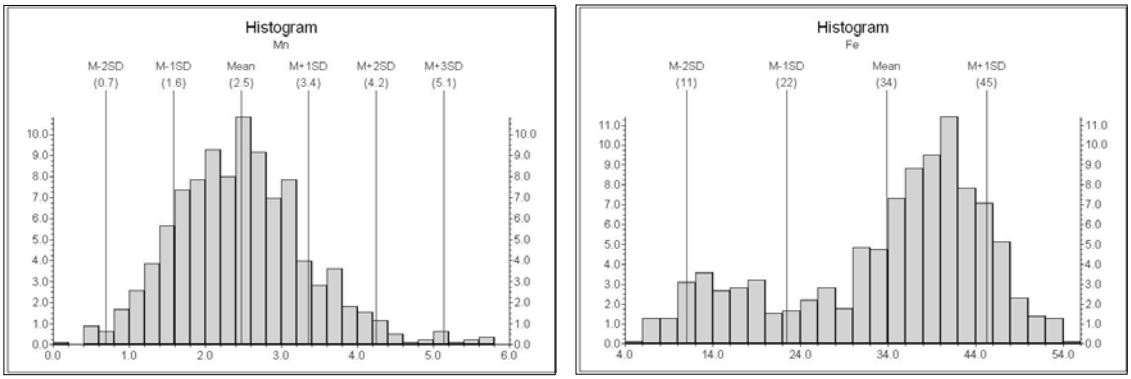
پردازش کلاسیک داده ها

قبل از ترسیم واریوگرام بایستی نحوه توزیع داده ها (نرمال بودن یا نبودن تابع توزیع) مشخص شود. برای این منظور علاوه بر آماره های مختصر (جدول ۱) به ترسیم هیستوگرام و تابع توزیع احتمال تجمعی برای داده های آهن و منگنز احتیاج است. شکل ۳ هیستوگرام داده های دو عنصر آهن و منگنز را نشان می دهد. همچنین تابع توزیع احتمال تجمعی برای این سری داده نیز در شکل ۴ نشان داده شده است. با دقت در اشکال ۳ و ۴ درمی یابید که توزیع داده های منگنز از نوع نرمال است زیرا هیستوگرام آن به صورت

زنگوله ای شکل بوده و نمودار تابع توزیع احتمال تجمعی آن نیز خطی است ضمن آنکه داده های آهن در این اشکال دو جامعه آماری نرمال مجزا را نشان می دهند که مربوط به بخشهای کم عیار و پرعیار می باشند.

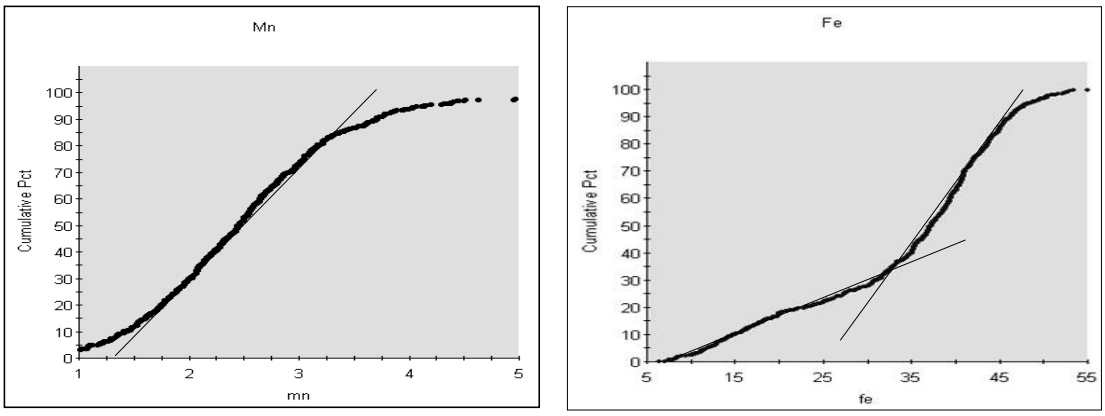
مدلسازی

شکلهای ۵ و ۶ واریوگرامهای ترسیم شده در جهات مختلف برای داده های آهن و منگنز را نشان می دهند. این اشکال نشان می دهند که در راستای ۳۳ درجه مدل نمایی بهترین مدل انطباق یافته بر داده های آهن و منگنز می باشد و در راستای ۱۲۳ درجه مدل کروی بهترین انطباق را بر داده های منگنز دارد ضمن آنکه



الف ب

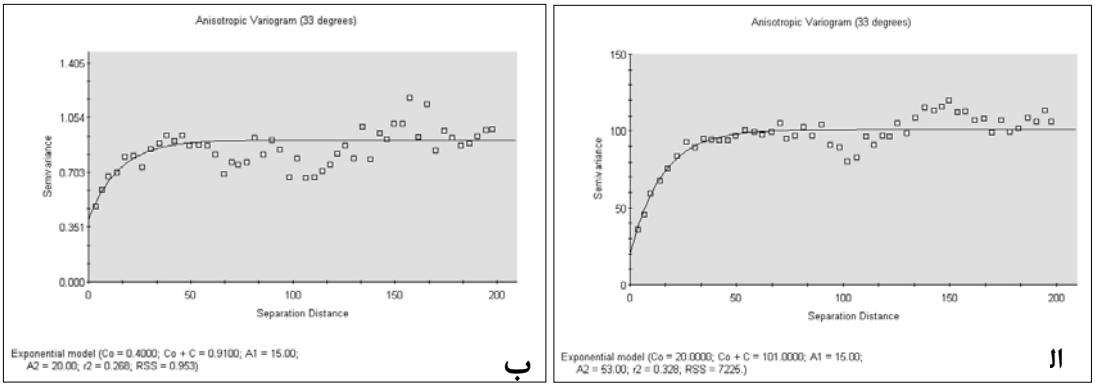
شکل ۳: هیستوگرام داده‌های عیار سنجی الف- آهن، ب- منگنز.



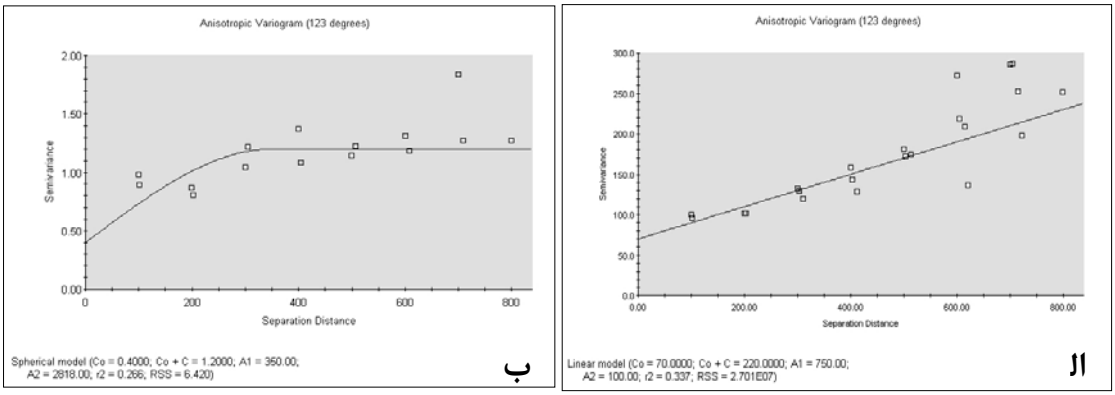
ب الف

شکل ۴: تابع توزیع احتمال تجمعی داده‌های عیار سنجی الف- آهن، ب- منگنز.

هیچ مدل سقف داری بر داده های آهن منطبق نشده و مدل واریوگرام این داده ها از نوع خطی است. ویژگیهای واریوگرامهای تئوری منطبق شده بر واریوگرامهای تجربی داده های عیارسنجی آهن و منگنز به ترتیب در جداول ۴ و ۵ خلاصه شده است. واریوگرامهای ترسیم شده در جهات مختلف نشان می دهند که بیشترین تغییرپذیری در راستای با آزیموت ۳۳ درجه یعنی جهت شیب ماده معدنی (راستای نیمرخهای اکتشافی) و کمترین تغییرپذیری در راستای با آزیموت ۱۲۳ درجه یعنی منطبق بر امتداد ماده معدنی (جهت عمود بر راستای نیمرخهای اکتشافی) است.



شکل ۵: واریوگرامهای ترسیم شده برای داده های الف- آهن، ب- منگنز در راستای شیب ماده معدنی (۳۳ درجه).



شکل ۶: واریوگرامهای ترسیم شده برای داده های الف- آهن، ب- منگنز در راستای امتداد ماده معدنی (۱۲۳ درجه).

جدول۴: ویژگیهای واریوگرامهای امتدادی داده های آهن.

جهت	مدل	اثر قطعه ای	سقف	شعاع تاثیر (متر)
۳۳°	کروی	۳۰	۹۶	۳۷
۳۳°	گوسی	۳۸	۹۶	۳۰
۳۳°	نمایی	۲۰	۱۰۱	۱۵
۱۲۳°	خطی	۷۰	-	-

جدول۵: ویژگیهای واریوگرامهای امتدادی داده های منگنز.

جهت	مدل	اثر قطعه ای	سقف	شعاع تاثیر (متر)
۳۳°	کروی	۰/۴۵	۰/۹	۳۵
۳۳°	گوسی	۰/۵۰	۰/۸۹	۳۰
۳۳°	نمایی	۰/۴۰	۰/۹۱	۱۵
۱۲۳°	کروی	۰/۴۰	۱/۲۰	۳۵۰
۱۲۳°	گوسی	۰/۶۰	۱/۲۰	۳۵۰
۱۲۳°	نمایی	۰/۴۸	۱/۳۰	۱۹۰

صحت سنجی واریوگرام

در مطالعات زمین‌آماری بایستی صحت تمام فرضیات ازجمله مدلهای واریوگرام به گونه‌ای کنترل گردد. علاوه‌براین انتخاب مدل واریوگرام، عملی بحرانی است و بخاطر اینکه شکل دقیق واریوگرام هرگز معلوم نیست، مدل فقط بعنوان تقریبی از تابع آن واریوگرام کمک می‌کند بنابراین بایستی اعتبار آن حتماً کنترل شود. کنترل‌اعتبار درواقع تخمین هر نقطه نمونه‌برداری‌شده در یک ناحیه با استفاده از مقادیر نمونه‌های همسایه (بدون درنظر گرفتن مقدار خود آن نمونه)، با روش کریجینگ می‌باشد. به‌منظور آگاهی از اینکه آیا مدل واریوگرام فرضی و پارامترهای تجسس همسایگی در تخمین کریجینگ، بدرستی تغییرات فاصله‌ای مقادیر اندازه‌گیری‌شده نمونه‌ها را لحاظ می‌کنند، مقادیر تخمینی با مقادیر واقعی مقایسه می‌شوند.

در این روش تخمین کریجینگ که به نام کریجینگ جک‌نایف نامیده می‌شود هر نقطه معلوم با استفاده ازنمونه‌های همسایگی اطراف آن نمونه تخمین زده می‌شود بعبارت دیگر هر مقدار معلومی را با فرض اینکه مقدار آن مجهول است تخمین می‌زنیم سپس برای مجموعه‌ای از n نقطه $\{Z(x_i), i = 1,2,\ldots,n\}$ می‌توان مجموعه‌ای از نقاط تخمینی $\{Z^*(x_i), i = 1,2,\ldots,n\}$ را همراه با واریانس تخمین مربوطه $\{\sigma_k^2(x_i), i = 1,2,\ldots,n\}$ بدست آورد. در کنترل‌اعتبار واریوگرام با استفاده از روش کریجینگ جک‌نایف می‌توان پارامترهای واریوگرام را بدست آورد. برای این‌منظور هر دفعه یکی از نقاط با مقدار معلوم حذف شده و سپس مقدار آن داده به روش کریجینگ تخمین زده می‌شود. خطای تخمین‌های کریجینگ باید میانگین صفر داشته و با خطاهای تخمینی تئوریک برابر باشد. خطای جک-نایف که اختلاف بین مقادیر اندازه‌گیری‌شده (تجربی) و مقادیر تخمین‌زده‌شده به روش کریجینگ در همان نقاط می‌باشد با رابطه ۲ تعریف می‌شود.

$$R_{jk} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left[Z(x_i) - Z^*(x_i)\right] \qquad (۲)$$

که در این رابطه $Z^*(x_i)$ مقدار تخمین‌زده‌شده و $Z(x_i)$ مقدار اندازه‌گیری‌شده برای یک نقطه معین است.

واریانس خطای جک‌نایف با رابطه ۳ محاسبه می‌شود[۶].

$$V_{jk} = \frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}\left[Z(x_i) - Z^*(x_i)\right]^2 \qquad (۳)$$

واریانس خطای جک‌نایف دقت تخمین به روش کریجینگ را منعکس می‌کند این مقدار باید حتماً کمتر از واریانس بین داده‌های اصلی بوده و تاحدممکن کوچک باشد (حداقل باشد). اگر خطای جک‌نایف در نقطه i با خطای کریجینگ در همان نقطه هم‌خوانی نزدیکی داشته باشد در این حالت پارامترهای واریوگرام با دقت کافی تخمین زده شده است[۷]. با انجام چنین محاسباتی، میانگین خطای کاهش‌یافته که بصورت زیر تعریف می‌شود باید نزدیک به صفر باشد.

$$R_e = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left[Z(x_i) - Z^*(x_i)\right] \Big/ \sigma_k(x_i) \qquad (۴)$$

پارامتر عددی دیگری که در کنترل اعتبار واریوگرام مورد استفاده قرار می‌گیرد مجموع مربعات خطا[1](RSS) می‌باشد. مزیت پارامتر RSS این است که در RSS مقدار عددی و ساختار همبستگی در محاسبه دخالت دارند. مقدار RSS با رابطه ۵ محاسبه می‌شود[۸ و ۹].

$$RSS = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left[Z(x_i) - Z^*(x_i)\right]^2 \qquad (۵)$$

در جداول ۶ و ۷ واریوگرامهای مختلف ترسیم شده در جهات مختلف به ترتیب برای داده های آهن و منگنز اعتبارسنجی شده است. در این جداول r^2 ضریب رگرسیون[2] می باشد.

جدول۶: اعتبارسنجی واریوگرامهای امتدادی داده های آهن.

جهت	مدل	RSS	r^2
۳۳°	کروی	۹۶۲۸	۰/۱۹
۳۳°	گوسی	۹۶۲۹	۰/۱۸۹
۳۳°	نمایی	۷۲۲۵	۰/۳۲۸
۱۲۳°	خطی	۲۷۰۱۰۰۰۰	۰/۳۳۷

جدول۷: اعتبارسنجی واریوگرامهای امتدادی داده های منگنز.

جهت	مدل	RSS	r^2
۳۳°	کروی	۰/۹۵	۰/۰۸۲
۳۳°	گوسی	۳/۱۹۴	۰/۲۹۵
۳۳°	نمایی	۰/۹۵۳	۰/۲۶۸
۱۲۳°	کروی	۶/۴۲	۰/۲۶۶
۱۲۳°	گوسی	۶/۰۱۸	۰/۰۹۷
۱۲۳°	نمایی	۷/۸۹۳	۰/۱۲۹

1-Reduced Sums of Squares 2-Regression Coefficient

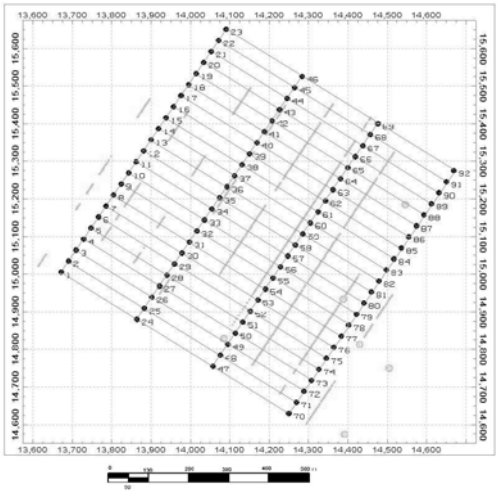
تعیین ابعاد شبکه

واریوگرامهای جهتی (شکلهای ۵ و ۶) و مشخصات آنها (جداول ۴ و ۵) نشان می دهند که کانسار مورد مطالعه، ناهمسانگرد می باشد. با استفاده از مقادیر دامنه های واریوگرامهای امتدادی میزان شعاع تاثیر کارهای اکتشافی (ابعاد شبکه) در راستای ۳۳ درجه حدود ۳۵ متر و در راستای ۱۲۳ درجه حدود ۲۳۰ متر (با توجه به کروی بودن مدل تئوری انطباق یافته بر داده های تجربی۲۳۳/۳ = ۳۵۰ × ۲/۳) بدست می آید (شکل ۷).

نتیجه گیری

برای بدست آوردن یک شبکه اکتشاف بهینه، مرحله نخست، شناخت خصوصیات زمین شناسی کانسار است. از آنجایی که کانسار شمس آباد یک کانسار لایه ای است و ماده معدنی به صورت عدسی هایی متناوباً در میان آهکهای ضخیم لایه قرار گرفته است بنابراین همانطور که انتظار می رفت تغییرات عیار در راستای امتداد لایه کمتر از تغییرات عیار در راستای شیب لایه است.

در روش تحلیلی تعیین شبکه، که یکی از روشهای مبتنی بر آمار کلاسیک می باشد اختلاف در میزان ضریب تغییرات محاسبه شده در دو راستای مختلف باعث شد که شبکه اکتشاف کانسار شکل مستطیلی داشته باشد و ضلع بزرگتر آن در راستای امتداد ماده معدنی قرار گیرد. اگرچه همین نتیجه با استفاده از روش زمین آماری نیز بدست آمد اما ابعاد این شبکه با ابعاد شبکه بدست آمده از روش تحلیلی بسیار متفاوت است و یقیناً روش زمین آماری با در نظر گرفتن توزیع فضایی داده‌ها و داشتن مقدار خطای کمتر، دقیقتر بوده و نتایج نزدیک به واقعیت ایجاد می کند.



شکل ۷: شبکه اکتشاف طراحی شده به روش زمین آماری (نقاط توپر موقعیت پیشنهادی کارهای اکتشافی می باشد).

پیشنهادات

بر اساس مطالعات قبلی و نتایج بدست آمده در مطالعه حاضر پیشنهادات زیر جهت ادامه مطالعات ارائه می گردد.

باتوجه به شبکه اکتشاف بدست آمده از روش زمین آماری، اکتشافات نیمه عمیق (مانند چالهای دریل واگن) در نقاط مشخص شده انجام شود و نتایج حاصل از آن مورد مطالعه قرار گیرد تا در صورت امیدبخش بودن، مراحل بعدی اکتشاف (اکتشافات عمیق) انجام شود. نتایج حاصل از اکتشافات نیمه عمیق در تخمین میزان ذخیره کانسار با دقت زیاد مفید خواهد بود.

تجزیه شیمیایی نمونه های بدست آمده از اکتشافات نیمه عمیق علاوه بر عناصر آهن و منگنز برای عنصر مس و سایر عناصر با ارزش موجود در کانسار به عمل آید.

مطالعات ژئوشیمیایی جامع و کاملی در منطقه صورت گیرد.

مراجع

[۱] مدنی، حسن، (۱۳۷۶)، "اصول پی جوئی، اکتشاف و ارزیابی ذخایر معدنی"، انتشارات خانه فرهنگ.

[۲] فرهادی، ر، (۱۳۷۴)، "مطالعه زمین شناسی، ژئوشیمی، آنالیز رخساره و ژنز کانسار آهن منگنزدار شمس‌آباد اراک"، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس.

[۳] شهاب پور، ج، (۱۳۸۰)، "زمین شناسی اقتصادی"، انتشارات دانشگاه شهید باهنر کرمان.

[۴] احمدی، رضا، (۱۳۸۲)، "درس دیجیتال (الکترونیکی) ارزیابی ذخایر معدنی"، دانشگاه علم و صنعت ایران.

[۵] احمدی، رضا، (۱۳۷۹)، "ارزیابی کانسار تپه‌سرخ با استفاده از تلفیق داده‌های اکتشافی به روش همبستگی زمین‌آماری داده‌ها"، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی اصفهان.

[۶] محلوجی ، ه ، (۱۳۷۶)، شبیه‌سازی سیستمهای گسسته – پیشامد ، مؤسسهٔ انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف.

[۷] حسنی‌پاک ، (۱۳۷۷)، ع ا ، زمین‌آمار (ژئواستاتیستیک) ، انتشارات دانشگاه تهران.

[8] Yates, S.R. and Warrick, A.W , (1987), "Estimating Soil Water Content Using Co-Kriging" , *Soil Science Society of America Journal* , Vol.51 , PP. 23 – 30.

[9] Yates, S.R. and Warrick, A.W , (1986), "Disjunctive Kriging , 2 Examples" , *Water Resources Research* , Vol.22 , No.5 , PP. 623 – 630.