

برآورد شبکه اکتشافی زغال سنگ با استفاده از عدم قطعیت زمین شناختی و تحلیل تأثیر حضور گسل (منطقه پروژه III طیس)

امید اصغری^۱، ناصر مدنی اصفهانی^۲

۱- استادیار دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه تهران

۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی اکتشاف معدن، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۰/۱/۱۷ تاریخ تصویب: ۱۳۹۰/۶/۱۷

چکیده

روش های شبیه سازی زمین آماری بعنوان یک ابزار قوی برای برآورد توزیع فضایی عدم قطعیت زمین شناختی در اکتشاف معادن شناخته شده است. استفاده از این روش در صنعت معدنکاری فلزی به فراوانی متداول و در معدنکاری زغال کم بوده است. کانسار زغال سنگ پروژه III طیس در قسمت شرق ایران مرکزی واقع شده و دارای پنج لایه به نام های C₁, C₂, B₁, B₂, D می باشد که از این میان لایه C₁ بعلت داشتن ساختمانی ساده، ضخامت متوسط نسبتاً بالا، خاکستر پایین و همچنین ضریب عدم تداوم صفر و داشتن مقام نخست از لحاظ کیفی در قیاس با لایه های دیگر بعنوان مهم ترین لایه موثر در تحلیل شبکه حفاری انتخاب گردید. بطوری که این لایه به تنهایی می تواند منعکس کننده مشخصات کانسار پروژه III باشد. در این پژوهش ابتدا به منظور بدست آوردن مدل توزیع انباشتگی زغال و گسل های موجود در منطقه از روش شبیه سازی گوسی متوالی (SGS) استفاده شد. سپس مقدار عدم قطعیت زمین شناختی انباشتگی جهت طبقه بندی منابع زغال سنگ با استفاده از نقشه خطا بدست آمد. در ادامه تعداد گمانه های بهینه در ناحیه با توجه به سطح اعتماد ۹۵٪ تعیین گردید. از آن جایی که عدم قطعیت زمین شناختی گسل تأثیر بسزایی در تخمین منبع زغال سنگ دارد و در مطالعات قبلی تخمین منابع و ذخایر معدنی زغال سنگ نیز نادیده گرفته شده است، این معیار با توجه به نقشه های احتمال حضور گسل تعیین گردید و مناطقی که احتمال حضور گسل در آن ها ۱۰۰٪ می باشد به علت برخورداری از عدم قطعیت بالا جهت تخمین منبع زغال سنگ، از ناحیه تخمین زده شده جدا گردید. در نهایت این روش به دلیل کارایی بالا می تواند در تحلیل های مهندسی جهت تخمین منابع و تحلیل شبکه های اکتشافی زغال سنگ استفاده شود.

واژگان کلیدی: شبیه سازی زمین آماری، عدم قطعیت، گسل، تخمین منبع معدنی، پروژه III

مقدمه

تولید معادن می نماید [10]. گزارش هایی که طبق مقررات استاندارد جورک (JORC) نوشته می شوند نیازمند تخمین بر اساس عدم قطعیت زمین شناختی هستند. عدم قطعیت زمین شناختی بعنوان یک عامل

اکتشاف، طراحی معدن، ارزیابی های اقتصادی و پیش بینی تولید زغال سنگ به شدت وابسته به تخمین منابع و ذخایر آن است که کمک زیادی به سرمایه گذاران در برنامه ریزی های اکتشافی، توسعه و

گسل و عدم قطعیت مربوط به آن در تخمین منبع زغالی پروژه III طبس پرداخته شده است.

مشخصات منطقه مورد مطالعه

منطقه زغال دار پروژه در قسمت شرقی ایران مرکزی در شهرستان طبس از توابع استان یزد قرار گرفته است. منطقه پروژه III در محدوده طول جغرافیایی ۵۶-۵۷ درجه تا ۴۴-۵۶ شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲-۵۹ تا ۴۸-۳۲ شمالی واقع شده است (شکل ۱). مرز شمالی منطقه پروژه III بیرون زدگی لایه های زغالی بطول ۸/۵ کیلومتر با پستی و بلندی نسبتاً آرام است. این منطقه از طرف جنوب پس از ارتفاعات مربوط به سازند آب حاجی و آهک بادامو به دشت هموار رسوبات بغمشاء محصور می گردد. مرز غربی بوسیله دو گسل از منطقه پروژه II و منطقه پروژه II جنوبی مشخص می شود و مرز شرقی آن را نیز دو گسل در بر گرفته است [۳].

لایه C1: در (۱۸-۳۰) متری بالای لایه B2 قرار گرفته است. لایه زغالی است با ساختمان ساده و ثابت که با ضخامت متوسط (۰/۹۲) متر، در ردیف لایه های زغالی نازک لایه و با خاکستر متوسط (۱۸/۸٪) جای می گیرد. ضریب عدم تداوم آن صفر بوده و از لحاظ کیفی مقام نخست را دارا است. بنابراین در این مقاله به دلیل اهمیت لایه C1، تجزیه و تحلیل بر روی آن انجام شده است.

بسیار مهم در تخمین، طبقه بندی و ارزیابی های اقتصادی ذخیره نقش بسزایی دارد. همچنین تخمین نادرست از عدم قطعیت زمین شناختی شامل نادیده گرفتن عدم قطعیت حضور گسل نقش مهمی در ارزیابی پروژه های معدن کاری دارد. روش های شبیه سازی زمین آماری به طور گسترده ای در چند سال گذشته در تعیین عدم قطعیت زمین شناختی معادن فلزی استفاده گردیده ولی استفاده از آن در صنعت معدنکاری زغال سنگ محدود بوده است [4,11]. تعیین عدم قطعیت حضور گسل در لایه های زغالی با استفاده از روش شبیه سازی زمین آماری می تواند در طراحی معادن و تعیین روش استخراج و چگونگی آن کمک کند، لذا می تواند عدم قطعیت معدن کاری زغال را کاهش دهد [4]. همچنین از این روش ها جهت برآورد محل باز شدن دهانه ورودی معدن استفاده شده است [5]. مدل سازی زمین شناختی عدم قطعیت گسل می تواند به عنوان یک عامل کلیدی در طرح توسعه و معدنکاری جبهه کار طولانی (Long wall) معادن زغال بکار رود [4]. برآورد عدم قطعیت گسل و ارتباط آن با انباشتگی زغال تاثیر بسیار زیادی بر روی میزان زغال برآورد شده می گذارد و به نوعی طراحی توسعه معادن و معدن کاری معادن زغال را تحت شعاع خود قرار می دهد. در یک شبکه حفاری اکتشافی، مناطقی که دارای فاصله داری زیاد گمانه ها از یکدیگر است، محل هایی هستند که ممکن است میزان برآورد تخمینی کمتر از مقدار پیش بینی شده باشد که این مناطق می توانند همان نقاط هدف برای حفاری های جدید باشد. اما عامل مهم دیگر که این مناطق را تحت تأثیر قرار می دهد حضور گسل است که در این مقاله با استفاده از شبیه سازی زمین آماری گوسی متوالی به تجزیه و تحلیل حضور



شکل ۱- تصویر ماهواره ای معدن پروده III طَبَس، نقطه A چین خوردگی کاملاً در شکل مشهود

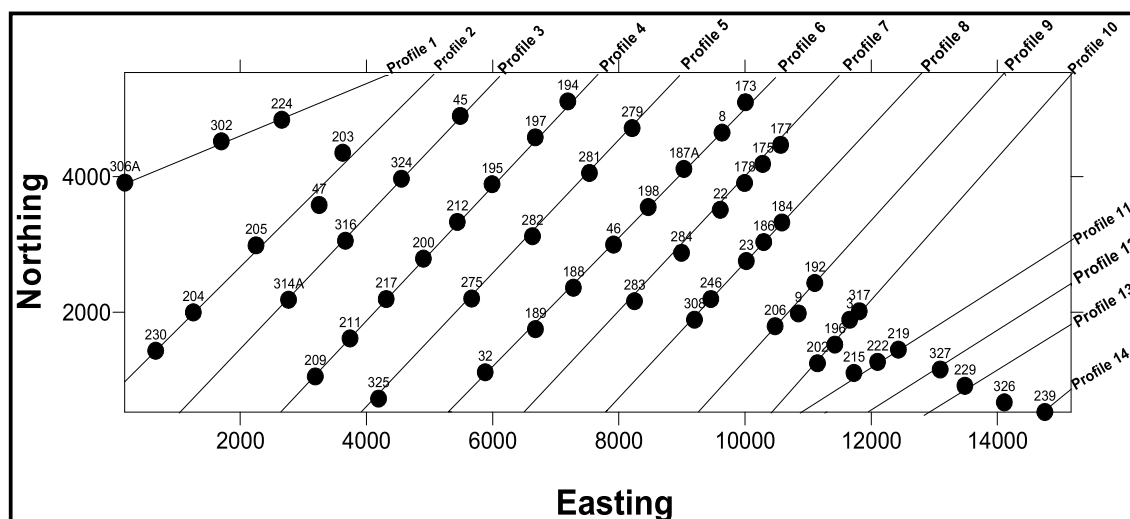
شبکه حفاری

محل چاه‌های حفاری بر اساس شبکه اکتشافی پیاده شده تعریف شده بر روی ۱۴ پروفیل عمود بر لایه انتخاب شده است (شکل ۲) [۳].
طراحی شبکه حفاری با توجه مرحله اکتشاف مقدماتی صورت گرفته است.

عملیات حفاری با حفر ۵۸ حلقه گمانه در لایه C_1 منطقه پروده III طَبَس آغاز شده و کلیه اطلاعات آن ثبت گردیده است.

شرایط حفاری از لحاظ زمین شناسی با توجه به شیب کم طبقات و یکنواخت بودن جنس آن‌ها مشکل خاصی نداشته است و عموماً اعماق پیش‌بینی شده برای لایه‌های زغالی دقیق بوده است.

مقدار انحراف چاهها از حالت قائم غالباً کم و یا بدون انحراف بوده است.



شکل ۲- شبکه حفاری پیاده شده، ۱۴ پروفیل به گونه ای طراحی شده است که کل منطقه را پوشش دهد و در بعضی مناطق فاصله گمانه ها از یکدیگر بسیار کم می باشد (مختصات ها محلی هستند)

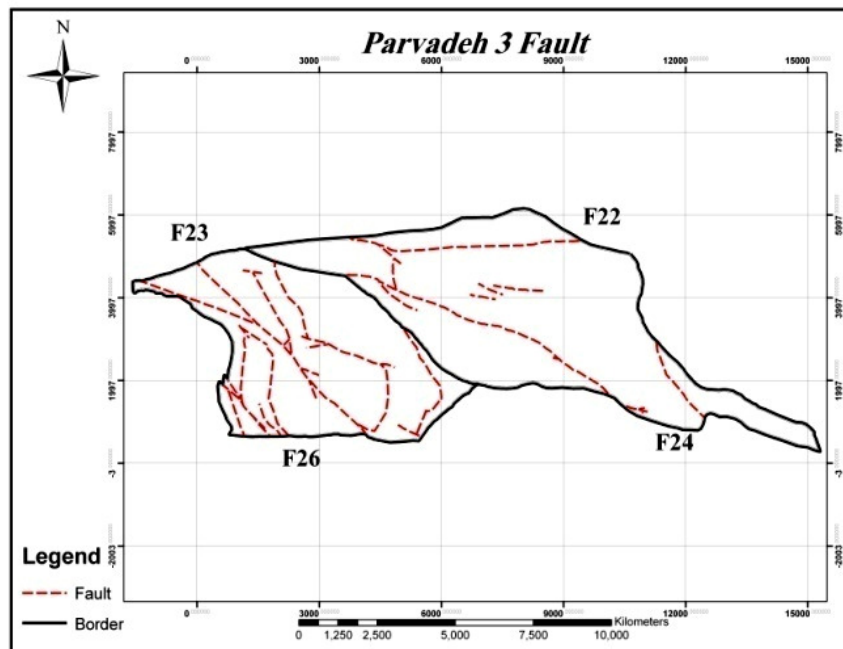
بررسی دو بعدی گسل ها

گسل ها در منطقه پروده III از جمله مهم ترین ساختارهای منطقه می باشد. از نظر امتداد و مکانیسم می توان گسل های ناحیه را به گروه های مختلف تقسیم نمود که برخی از آن ها را بررسی می نمایم [15]. اصلی ترین و مهم ترین گروه گسل ها در ناحیه که نقش اساس در تکامل ساختاری پروده و پیدایش رخنمون های زغال سنگی داشته اند دارای راستای شرقی - غربی بوده و بصورت تقریباً موازی تا بخش های جنوبی ناحیه نیز دیده می شوند. از مهم ترین این گسل ها به ترتیب از شمال به جنوب می توان گسل رستم (گسل چشمه رستم یا گسل چشمه نیز نامیده می شود)، گسل زنوگان، گسل قوری چای، گسل تخت نادر و گسل قدیر را نام برد. گسل رستم با طول نزدیک به ۱۸۰ کیلومتر مرز شمالی ناحیه زغال دار پروده را از دشت آبرفتی طبس مشخص می نماید. از نظر روند می توان این گسل را به دو

قطعه مختلف تقسیم نمود که قطعه اول در بخش شمال ناحیه دارای راستای شرقی - غربی بوده و در حاشیه شرقی دشت مثلث شکل طبس توسط گستره ای به پهنای ۱۰ کیلومتر از بازالت های سیاه رنگ کوآترنری پوشیده شده است. به نظر می رسد که گسل در آن سوی بازالت ها نیز ادامه داشته است و با یک انحنای ملایم به سمت جنوب به گسل نایبند می پیوندد. گسل رستم یال شمالی تاقدیس های بزرگ ناحیه را بریده و در راستای آن چشمه های آبگرم تراورتن ساز متعددی بوجود آمده است. بررسی های صحرایی و مطالعات تصاویر ماهواره ای شواهد فراوانی از حرکت های متفاوت در راستای این گسل که نشان دهنده پیچیده بودن تاریخچه فعالیت آن می باشد را نشان داده است. ولی آن چه مسلم است وجود یک مؤلفه حرکت معکوس با رانندگی بر روی گسل می باشد که موجب برپایی و فرازگیری ناحیه و نیز تشکیل تاقدیس ها در فرادیاره آن شده است.

شرق- جنوب غرب و حرکت راستگرد و راستای شمال غرب- جنوب شرق با حرکت چپ گرد (بصورت مزدوج با زاویه حدود ۵۷ درجه) و نیز گسل های نرمال شرقی- غربی شده است. این سیستم تنش موجب ایجاد چینهای با راستای شمالی- جنوبی در ناحیه پروده و نیز گسل های راندگی با امتداد جنوبی و در برخی نواحی بویژه بخش های غربی قوری چای شده است. سیستم تنش جدید با راستای N15-20E سبب ایجاد و توسعه گسلهای اصلی ناحیه با امتداد شرقی- غربی (با حرکت معکوس و چپگرد) شده است. این راستای تنش در حال حاضر نیز فعال بوده و تحلیل دینامیکی زمین لرزه سال ۱۳۵۷ طیس گلشن و پس لرزه های آن نیز عملکرد و فعالیت آن ها را نشان داده است. لازم به ذکر است سیستم تنش موجود در ناحیه مطابق با الگوی تنش در سایر نواحی شرقی ایران مرکزی است [14].

خصوصیات نشان داده شده در مورد گسل زنوگان و قوری چای نیز مشاهده می شود. به طور کلی می توان حرکت امتداد لغز راستگرد (قدیمی) و امتداد چپ لغز (جدید) همراه با مؤلفه معکوس برای این گروه از گسل ها شناسایی نمود. دو گروه از گسل های امتداد لغز با روندها و حرکات متفاوت نیز قابل شناسایی هستند. گروه اول با داشتن امتداد شمال شرق- جنوب غرب حرکت امتداد لغز راستگرد (F23, F26) و گروه دوم با امتداد شمال غرب- جنوب شرق حرکت امتداد لغز چپگرد را نشان می دهند (F22, F24). از نظر فراوانی گروه اول دارای اهمیت بیشتری در منطقه می باشد. تحلیل دینامیکی گسل ها، ایجاد و توسعه آن ها را در دو سیستم تنش متفاوت نشان می دهند. سیستم تنش قدیمی با راستای کم و بیش شرقی- غربی موجب ایجاد دو گروه گسل امتداد لغز با راستای شمال



شکل ۳- نقشه گسل های منطقه پروده III طیس، در قسمت های غربی تمرکز مناطق گسله زیاده تر بوده است که راستای تقریبی شمال غربی - جنوب شرقی به منطقه داده است

مدل سازی زمین آماری

واریوگرام ابزاری است که همبستگی فضایی بین داده ها را نشان می دهد و پایه ای جهت بررسی های زمین آماری است. در واقع واریوگرام، همبستگی فضایی یک متغیر را توسط تابعی از فاصله بین دو نقطه نشان می دهد [۱].

انباشتگی زغال حاصلضرب دو پارامتر ضخامت در درصد زغالخیزی است که برای کانسارهای با هندسه صفحه ای مانند زغال جهت تخمین منابع آن بسیار کاربرد دارد [۱].

شبیه سازی زمین آماری شرطی مجموعه ای از مقادیر را مطابق معیارهای زیر تولید می کند [9]:

۱- این روش مقادیر واقعی را در کلیه نقاط برداشت شده حفظ می کند.

۲- تصاویر تولید شده دارای توزیع فضایی مشابهی نسبت به مقادیر اولیه نظیر واریوگرام ها هستند.

۳- تصاویر تولید شده دارای توزیع مشابهی نسبت به مقادیر اولیه نظیر هیستوگرام ها هستند.

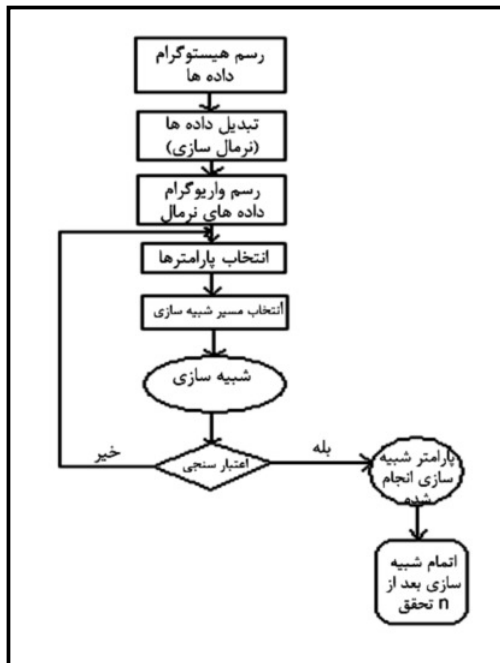
مجموعه ای از مقادیری که مطابق با معیارهای ذکر شده در بالا باشد شبیه سازی شرطی نامیده می شود.

در این مقاله به منظور بررسی همبستگی فضایی بین داده های انباشتگی زغال و گسل موجود در منطقه، از روش شبیه سازی شرطی گوسی استفاده شده است. به عبارت دیگر مقدار انباشتگی زغال و گسل در یک نقطه با مقدارش در یک نقطه دیگر از طریق شبیه سازی گوسی مرتبط گردیده است. شبیه سازی زمین آماری روشی است که تصویری واقعی از تغییرپذیری فضایی را برای متغیر مورد نظر تولید می کند. همچنین در روش های شرطی بر خلاف همه روش های تخمین مبتنی بر میانگین متحرک، به عنوان

الگوریتمی برای تعدیل اثر هموارسازی چنین روش هایی در نظر گرفته می شود، زیرا روش های تخمینی مبتنی بر میانگین متحرک به طور غیر واقع بینانه ای نوسانات را هموار می کند.

از میان روش های شبیه سازی، روش شبیه سازی شرطی علاوه بر حفظ واریوگرام داده های واقعی (تحقق یافته)، محل نقاط اندازه گیری شده در فضا را نیز حفظ میکند در حالیکه شبیه سازی غیرشرطی قادر به حفظ نقاط نمونه برداری شده نمی باشد [۲].

در تمام روش های شبیه سازی گوسی فرض بر نرمال بودن داده های اولیه به عنوان اصل اساسی است. به عبارت دیگر، جامعه داده ها باید قابل تبدیل به نرمال استاندارد باشند. الگوریتم شبیه سازی به صورت زیر است که نمودار آن را می توان در شکل ۴ مشاهده کرد.

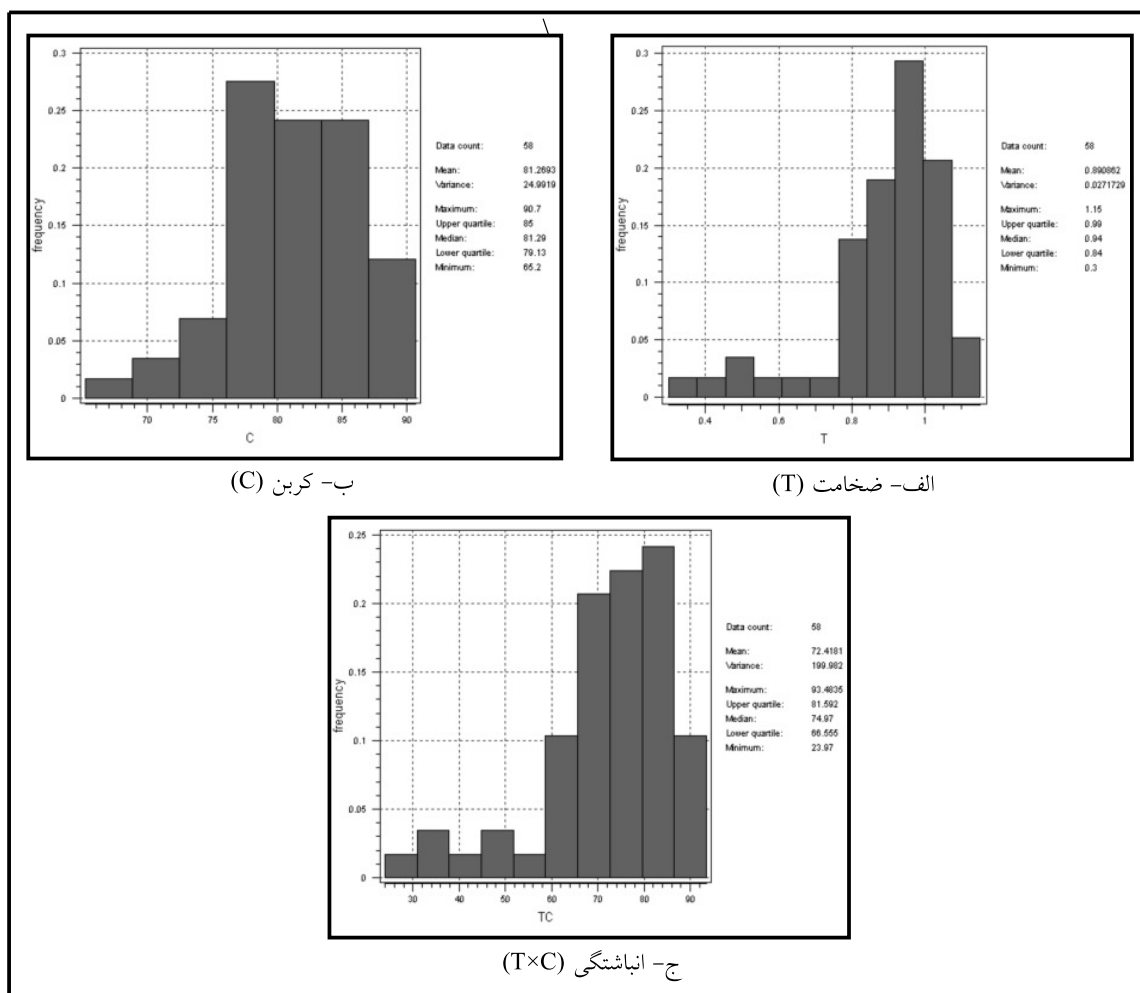


شکل ۴- الگوریتم شبیه سازی گوسی متوالی [۲]

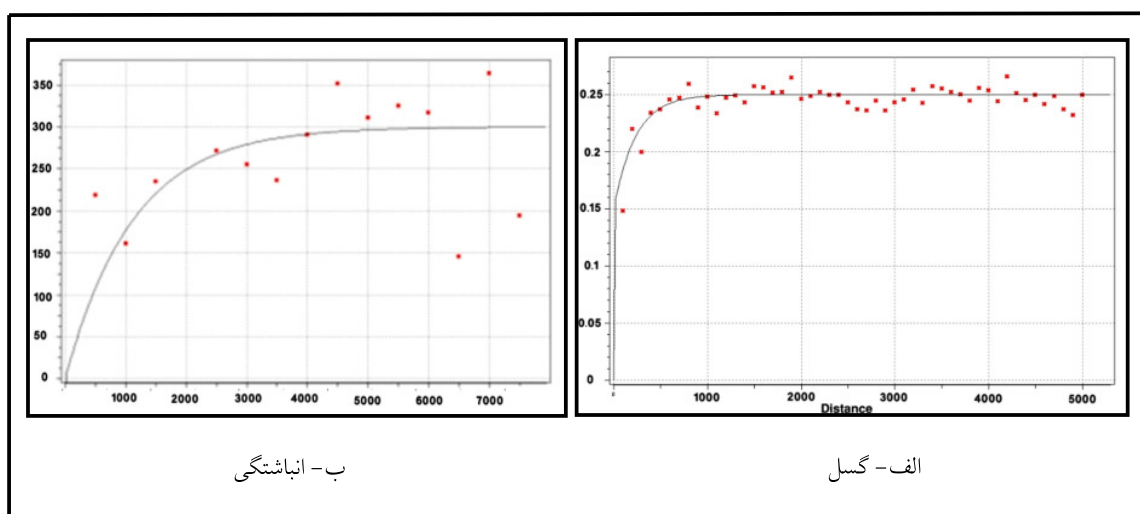
با توجه به نتایج بدست آمده از مدل‌های واریوگرام‌های جهتی مشخص شد که محدوده مورد مطالعه برای متغیر انباشتگی و گسل به سبب تفاوت در دامنه تأثیر واریوگرام در جهات مختلف دارای ناهمسان گردی است. نکته جالب توجه این که گسل‌های منطقه در راستای ۱۳۵ درجه دارای بیشترین دامنه تأثیر بوده و این موضوع راستای اصلی شمال شرقی - جنوب غربی بودن گسل‌های منطقه پروده III طبس را نیز مشخص می‌نماید. نتایج در مدل‌های ۱ و ۲ آورده شده است.

شبیه‌سازی زمین‌آماری مقدار انباشتگی زغال و گسل با توجه به این که داده‌های حاصل متعلق به طول متفاوتی از مغزه‌ها بوده، لازم است تا این طول‌ها مساوی شده و دارای ارزش طولی یکسان شوند (ایجاد فضای هم-احتمال)، بنابراین برای بردن آن به فضای هم احتمال مقدار متغیر کرین در ضخامت ضرب شده است و مقدار انباشتگی به دست آمد. بررسی‌های آماری انجام شده بر روی این داده‌ها نشان دادند که توزیع انباشتگی زغال در این کانسار غیر نرمال با چولگی منفی بوده است. شکل ۵ هیستوگرام فراوانی مقادیر خام انباشتگی زغال را نشان می‌دهد.

در مورد گسل نیز ابتدا گسل‌های منطقه با استفاده از برداشت‌های زمین‌شناسی ثبت گردید، سپس نقشه حاصله مورد بررسی قرار گرفت. به این ترتیب که مناطق حضور گسل ارزش‌گذاری گردید. مناطقی که گسل حضور دارد ارزش ۱ و مناطقی که فاقد گسل می‌باشند ارزش صفر داده شد، برای گسل نیز کلیه محاسبات زمین‌آماری و شبیه‌سازی روی آن انجام گرفت تا بتوان تأثیر آن را در تخمین منبع معدنی زغال مورد تجزیه و تحلیل قرار داد. در این قسمت به منظور بررسی ساختار فضایی متغیر انباشتگی زغال کانسار پروده III طبس و آگاهی از میزان تداوم زغال‌خیزی و همسان‌گرد و یا ناهمسان‌گرد بودن منطقه، و هم‌چنین بررسی ساختار منطقه‌ای گسل‌ها و تعیین امتداد اصلی گسل‌ها، واریوگرام‌های کلی و جهتی در امتدادهای مختلف مورد بررسی قرار گرفتند. واریوگرام غیر جهتی انباشتگی و گسل در شکل‌های ۶ و ۷ آمده است.



شکل ۵- هیستوگرام فراوانی مقادیر خام انباشتگی، ضخامت، کربن زغال. این هیستوگرام دارای چولگی منفی بوده که در کانسارهای زغالسنگ با درجه زغال خیزی بالا امری بدیهی است



شکل ۶- واریوگرام غیر جهتی گسل و انباشتگی همراه با مدل برازش شده کروی

مدل ۲- مدل های واریوگرام منطبق بر واریوگرام های امتداد های اصلی بیضی ناهمسانگردی متغیر انباشتگی

امتداد ۴۵ درجه:

$$\gamma(h) = 0.1 \left(\frac{3h}{2 \times 2700} - \frac{h^3}{2(2700)^3} \right) + 0.15 \quad h \leq 2700$$

$$\gamma(h) = 0.85 + 0.1 \quad h > 2700$$

امتداد ۱۳۵ درجه:

$$\gamma(h) = 0.8 \left(\frac{3h}{2 \times 2300} - \frac{h^3}{2(2300)^3} \right) + 0.1 \quad h \leq 2300$$

$$\gamma(h) = 0.8 + 0.1 \quad h > 2300$$

مدل ۱- مدل های واریوگرام منطبق بر واریوگرام های امتداد های اصلی بیضی ناهمسانگردی گسل

امتداد ۳۰ درجه:

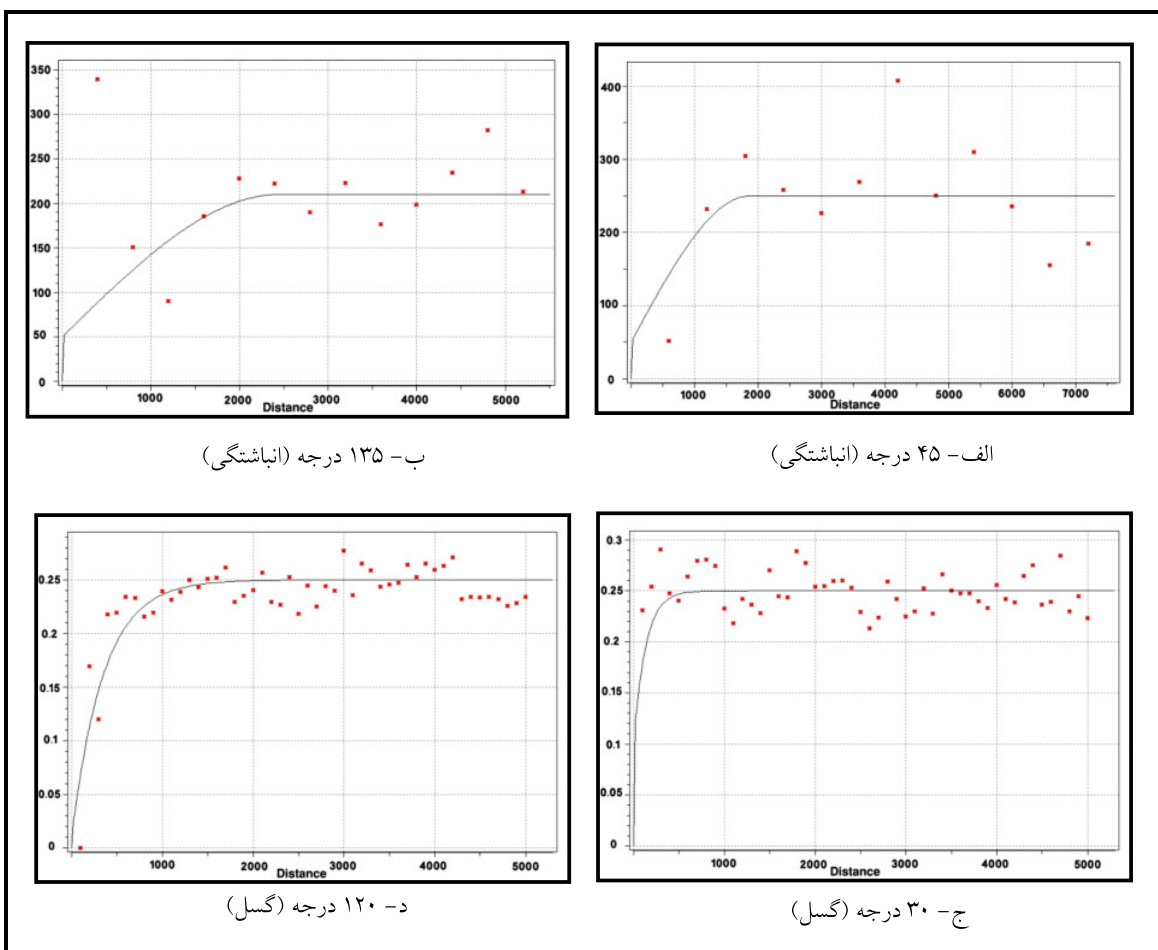
$$\gamma(h) = 0.1 \left(\frac{3h}{200} - \frac{h^3}{2(100)^3} \right) + 0.15 \quad h \leq 100$$

$$\gamma(h) = 0.1 + 0.15 \quad h > 100$$

امتداد ۱۲۰ درجه:

$$\gamma(h) = 0.24 \left(\frac{3h}{2 \times 1050} - \frac{h^3}{2(1050)^3} \right) + 0.01 \quad h \leq 1050$$

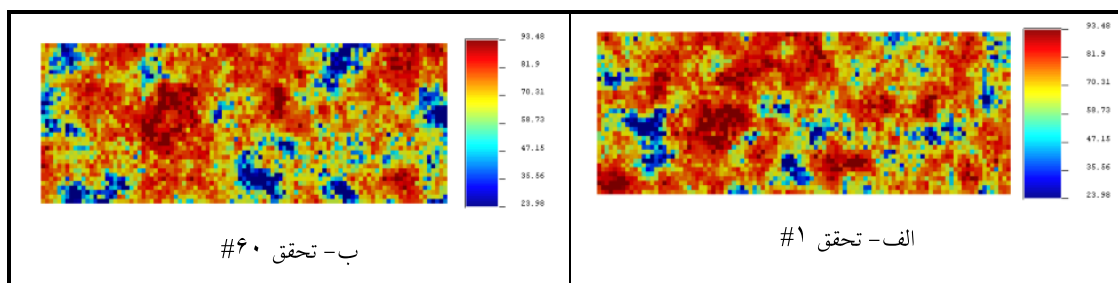
$$\gamma(h) = 0.24 + 0.01 \quad h > 1050$$



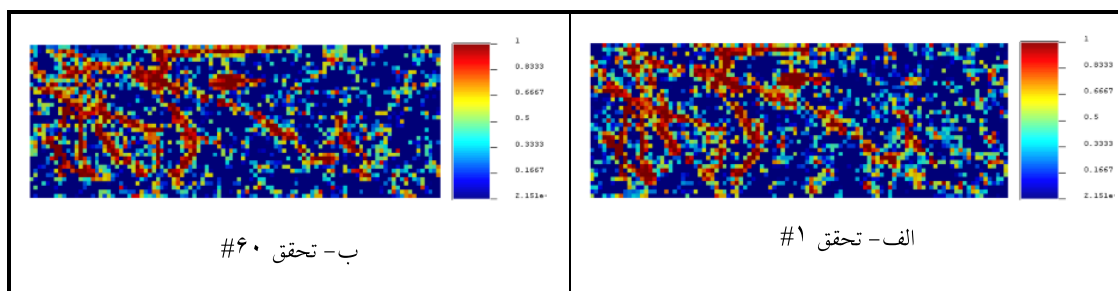
شکل ۷- واریوگرام های جهتی در امتداد های ناهمسانگردی

محدوده فضای تخمین بدست آمده است. در واقع پس از انجام عملیات شبیه سازی برای هر بلوک ۱۰۰ مقدار تخمینی بدست آورده شد، بر خلاف روش های قطعیت پذیر، روش شبیه سازی زمین آماری این قابلیت را به کاربر می دهد تا مدل های احتمال پذیر جامع تری از توزیع مربوطه در کانسار را ایجاد نماید (شکل های ۹ و ۱۰).

از آن جا که الگوریتم شبیه سازی گوسی قابلیت ایجاد نتایج مختلف را دارد، به منظور بررسی میزان تغییر پذیری در منطقه مورد مطالعه توسط نرم افزار SGeMS، با توجه به اینکه میانگین فاصله گمانه ها از یکدیگر ۵۰۰ تا ۶۰۰ متر است لذا ۱۰۰ نتیجه مختلف از وضعیت مقدار انباشتگی و گسل در نقاط مختلف کانسار برای هر بلوک ۱۵۰ × ۱۵۰ متر مربعی در



شکل ۸- نتایج شبیه سازی از بالا به پائین مربوط به تحقق های ۱ و ۶۰ برای انباشتگی، شبیه سازی بلوک ها بر اساس مدل واریوگرام است



شکل ۹- نتایج شبیه سازی از بالا به پائین مربوط به تحقق های ۱ و ۶۰ برای گسل، نتایج شبیه سازی به خوبی گسل ها را باز تولید نموده اند

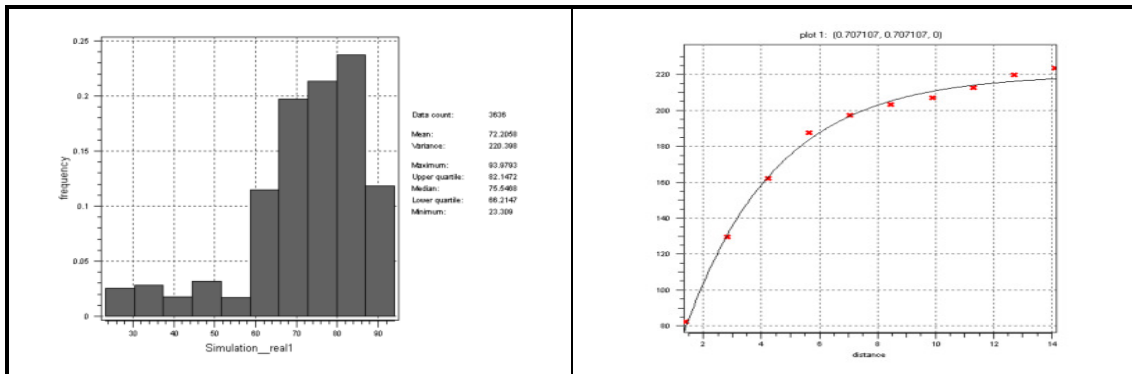
اعتبارسنجی نتایج شبیه سازی

نتایج شبیه سازی زمانی قابل قبول هستند که بتوانند شباهت معین جامعه (هیستوگرام و واریوگرام) را دوباره تولید کنند، لذا هیستوگرام ها و واریوگرام های ۱۰۰ حالت تحقق یافته محاسبه شدند که در این جا هیستوگرام تحقق های ۱ و ۶۰ مربوط به انباشتگی آورده شده است (شکل ۱۱).

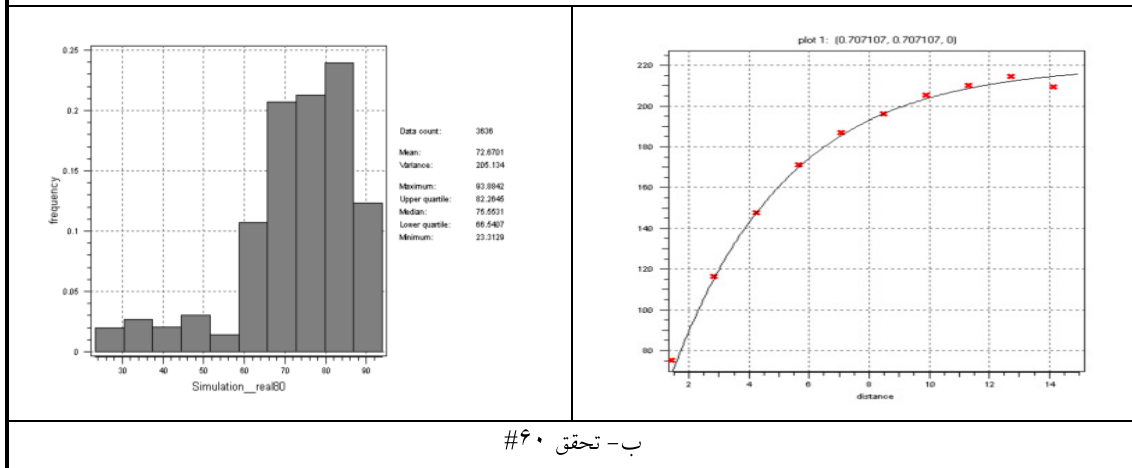
همان طور که مشاهده می شود تحقق ها قادر به بازسازی هیستوگرام های اصلی کانسار بوده اند

(مدل ۳). مقایسه واریوگرام های تحقق ها با مدل برازش شده به داده های اولیه نشان می دهد که تحقق ها به خوبی قادر به تولید مجدد پارامترهای زمین آماری منطقه بوده و دارای اعتبار می باشند (شکل های ۱۱ و ۱۲ و جدول ۱). چرا که تغییرات هر یک از اعداد سقف، اثر قطعه ای و دامنه تاثیر کمتر از ۱۰٪ بدست آمده است. لذا تمامی آن ها معتبر بوده و می توان از آن ها در تحلیل های بعدی استفاده نمود.

برآورد شبکه اکتشافی زغال سنگ با استفاده از عدم قطعیت زمین شناختی....

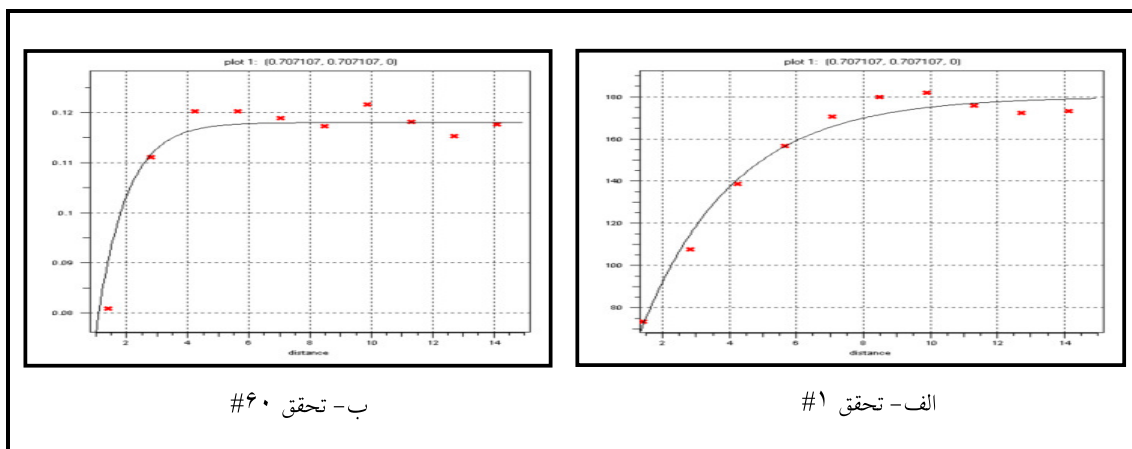


الف- تحقق #۱



ب- تحقق #۶۰

شکل ۱۰- هیستوگرامها و واریوگرامهای تحققهای ۱ و ۶۰ انباشتگی از بالا به پائین که به خوبی قادر به تولید هیستوگرام و واریوگرام اولیه بوده‌اند



ب- تحقق #۶۰

الف- تحقق #۱

شکل ۱۱- واریوگرام تحققهای او ۶۰ گسل، واریوگرام اولیه را به خوبی تولید نموده است

می تواند رسم و یک برآورد کلی از منطقه حاصل نماید [۱]. لذا این نقشه با میانگین گیری بین ۱۰۰ تحقق حاصل شده است که بسیار شبیه نقشه حاصل از کریجینگ می باشد. در شکل ۱۳ و ۱۴ نقشه E-TYPE مربوط به مقادیر انباشتگی و گسل آورده شده است.

جدول ۱- مقایسه هیستوگرام های تحقق های او ۶۰ و مقادیر انباشتگی اولیه، تغییرات کمتر از ۱۰٪ می باشد

هستوگرام	میانگین	واریانس
تحقق ۱	۷۲/۲	۲۲۰/۲۰۹
تحقق ۶۰	۷۳/۰۱	۱۹۹/۹۸
متغیر انباشتگی	۷۲/۴۱	۱۹۴/۱۶

مدل ۳: مقایسه واریوگرام های تحقق های ۱، ۲۰، ۴۰ و ۶۰ و مقادیر انباشتگی اولیه، تغییرات کمتر از ۱۰٪ می باشد.

$$\gamma(h) = 0.75 \left(\frac{3h}{2 \times 1200} - \frac{h^3}{2(1200)^3} \right) + 0.05 \quad h \leq 1200$$

$$\gamma(h) = 0.75 + 0.05 \quad h > 1200$$

تحقق ۶۰:

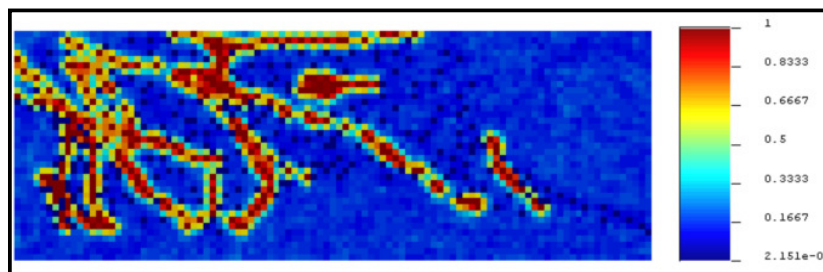
$$\gamma(h) = 0.95 \left(\frac{3h}{2 \times 1150} - \frac{h^3}{2(1150)^3} \right) + 0.05 \quad h \leq 1150$$

متغیر انباشتگی اولیه:

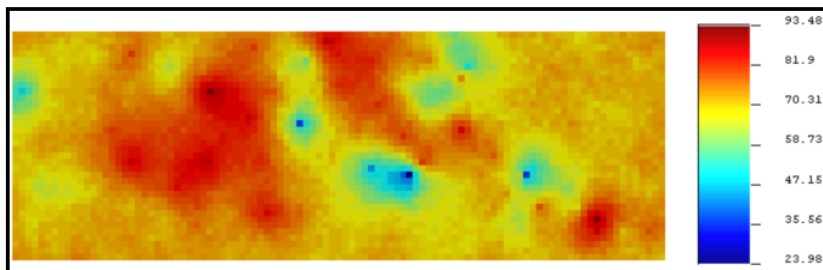
$$\gamma(h) = 0.87 \left(\frac{3h}{2 \times 1300} - \frac{h^3}{2(1300)^3} \right) + 0.01 \quad h \leq 1300$$

$$\gamma(h) = 0.87 + 0.01 \quad h > 1300$$

پس از بدست آوردن تحقق ها و اعتبارسنجی نتایج آن ها برای اینکه بتوان روی یک نقشه بجای ۱۰۰ نقشه عملیات شبیه سازی را انجام داد، و از آنجائی که نقشه E-TYPE (میانگین) بعنوان یک نقشه میانگین



شکل ۱۲- نقشه E-TYPE مربوط به ۱۰۰ حالت شبیه سازی شده برای گسل، نقشه حاصل محل گسل ها را به خوبی نمایان می کند



شکل ۱۳- نقشه E-TYPE مربوط به ۱۰۰ حالت شبیه سازی شده برای انباشتگی، مناطقی که دارای انباشتگی بالا می باشند با رنگ قرمز نشان داده شده است

شده در مرحله ۳ و مقایسه آن با نهشته شبیه سازی شده در مرحله ۲ خطای نسبی بلوک j به طریق زیر محاسبه می گردد:

$$\varepsilon_{ij} = \frac{|V_{sij} - V_{ej}|}{V_{sij}} \quad (i=1 \dots n; j=1 \dots m)$$

ε_{ij} : خطای نسبی بلوک j با بلوک متناظر شبیه سازی شده i

V_{sij} : مقدار بلوک شبیه سازی شده i از بلوک j
 V_{ej} : مقدار تخمینی بلوک j با استفاده از روش های متداول مثل کریجینگ

n : تعداد کلی نهشته های شبیه سازی شده
 m : تعداد بلوک ها در کل منطقه مورد مطالعه
 محاسبه کلیه مراحل بالا را برای همه حالت های شبیه سازی شده (۱۰۰ تحقق).

برآورد عدم قطعیت جهت برآورد انباشتگی زغال

در این مقاله از روش ارائه شده در بالا جهت تخمین خطای نسبی استفاده گردید بدین منظور مقدار انباشتگی زغال شبیه سازی شده و نقشه E-TYPE آن نیز طبق شکل ۱۰ تهیه گردید و یک نقشه کریجینگ حاصل و مقدار خطای نسبی با استفاده از فرمول ۱ محاسبه گردید (شکل ۱۵). این شکل توزیع فضایی خطای نسبی همراه با مدل زغال تخمین زده شده با استفاده از روش کریجینگ را نشان می دهد. لازم به ذکر است که سطح اطمینان برای خطای نسبی ارائه شده ۹۵٪ است که بالاترین سطح اعتماد در صنعت معدن کاری است. خطای نسبی محاسبه گردیده علاوه بر انعکاس فاصله داری گمانه ها از یکدیگر، مقدار تغییر پذیری بر جای زغال را نیز نشان می دهد. برای مثال در شکل ۱۵، مقدار خطای نسبی در قسمت های قرمز رنگ بالا است. اما در قسمت های سبز رنگ این مقدار کمتر از ۵٪ بوده

تخمین منبع معدنی زغال بر اساس استاندارد جورک با نگرش ویژه بر معیار عدم قطعیت گسل

گزارشاتی که بر اساس استاندارد جورک نوشته می شود نیاز به سطح اعتماد زمین شناختی دارد که عدم قطعیت زمین شناسی نامیده می شود.

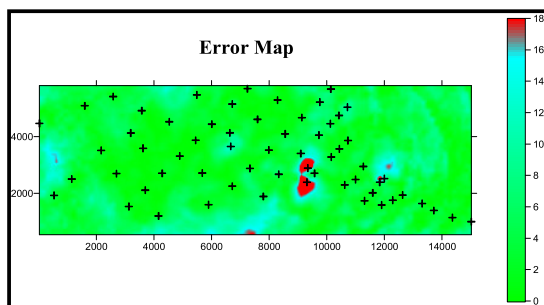
شرکت ها و افراد ذی صلاحشان نیاز دارند تا اطمینان حاصل کنند که محاسبات منبع معدنی و طبقه بندی آن ها منطبق با مقررات کد جورک از لحاظ شفافیت، مواد و کیفیت است [4,11]. روش های سنتی طبقه بندی منبع معدنی از معیار موضوعی (Subjective Criteria) برای تعیین محدوده های منبع معدنی استفاده می نمایند [4]. چگونگی استفاده از روش شبیه سازی زمین آماری به منظور محاسبه خطای درگیر در سطح اعتماد مورد نظر در تخمین منبع معدنی در ادامه آورده شده است.

برآورد عدم قطعیت زمین شناختی با استفاده از روش های مرسوم

روش ارائه شده برای برآورد ریسک از روش شبیه سازی زمین آماری به منظور تولید چندین مدل منبع معدنی زغال با استفاده از کلیه داده های گمانه ها استفاده می کند. روش کار به این ترتیب است [12]:

تولید یک مدل نهشته ای از زغال با کیفیت بالا (نهشته واقعی) با استفاده از روش شبیه سازی زمین آماری بر اساس اطلاعات زمین شناسی بلوک سازی مجدد نقاط در مدل نهشته زغال شبیه سازی شده برای بلوک بندی با سایر مشابه استفاده شده در مدل لایه ای تخمین زده شده استفاده از یک روش مرسوم مانند کریجینگ جهت تولید یک مدل از لایه ی زغالی تخمین زده شده بر اساس داده های اکتشافی لایه زغال در اندازه بلوک مورد نظر محاسبه خطای نسبی هر بلوک در نهشته تخمین زده

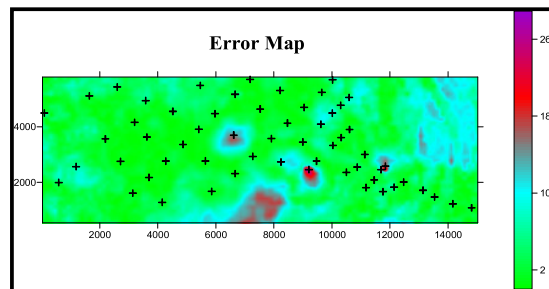
شبکه حفاری تخمین منبع زغالی بر اساس منبع زغالی اندازه گیری شده می باشد. همان طور که در شکل ۱۶ دیده می شود با افزایش تعداد ۳ گمانه به محدوده های مورد نظر نقاطی که دارای منبع زغالی کمتر از رده اندازه گیری شده بودند دارای رده اندازه گیری شدند چون تخمین منبع زغالی اندازه گیری شده مورد نیاز می باشد و میانگین خطا در این مرحله باید کمتر از ۵٪ باشد [۱۲]، پس می توان با همان تعداد ۳ گمانه به منبع زغالی مورد نظر در کل منطقه دست یافت و نیازی به حفر ۴ گمانه و یا ۵ گمانه نمی باشد.



شکل ۱۵- نقشه خطای نسبی (سمت چپ) و نمودار خطا (سمت راست)، خطای انباشتگی همراه با تعداد گمانه های مختلف

که به دلیل تراکم گمانه ها تغییرپذیری کم متغیر انباشتگی را به شدت نشان می دهد.

بر این اساس این نواحی، نیاز حفاری اکتشافی بیشتری دارد یعنی در ناحیه قرمز رنگ نشان داده شده تمرکز گمانه های پیشنهادی باید بیشتر باشند.



شکل ۱۴- نقشه خطای نسبی جهت تخمین منبع زغال سنگ، مناطق قرمز رنگ دارای رده پایین تر از رده اندازه گیری شده می باشند

توسعه مدل برای بهینه سازی فاصله گمانه ها

روش بیان شده در بالا نیز می تواند جهت بهینه سازی فاصله گمانه ها از یکدیگر استفاده شود.

همان طور که در شکل ۱۱ دیده می شود در نقاط قرمز رنگ میانگین خطای نسبی بالا است بنابراین جهت طبقه بندی منبع زغالی مورد نظر اندازه گیری شده، نیاز به حفر چندین گمانه می باشد.

روش کار به این ترتیب است که الگوهای حفاری مختلفی طراحی و کلیه نهشته های شبیه سازی شده قبلی مورد نمونه برداری فرضی قرار گرفتند.

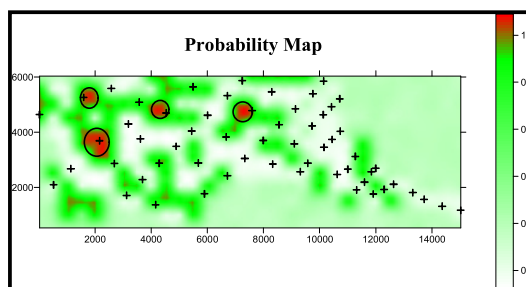
نمونه های فرضی برداشت شده سپس به دیتاهای اولیه اصلی اضافه شدند و دوباره مراحل ۱ تا ۵ برای آن ها تکرار گردید.

سپس خطای نسبی در مرحله (۲ چاه، ۳ چاه و ۴ چاه و ۵ چاه) محاسبه گردید. در این مقاله هدف از طراحی

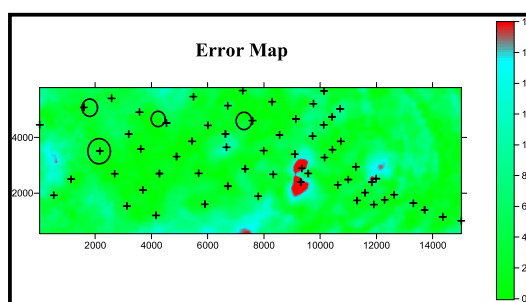
برآورد عدم قطعیت گسل و اثر آن روی طبقه بندی

منبع زغالی مورد نظر

همان طور که در بخش قبل دیده شد، چنانچه ۳ گمانه به کل شبکه اضافه گردد، کل منبع زغالی در محدوده فضای تخمین در حد منبع زغالی اندازه گیری شده طبقه بندی می شود. ریسک گسل از مواردی است که حضور آن را نمی توان نادیده گرفت. بنابراین وجود آن روی طبقه بندی منبع زغالی تأثیر می گذارد. به همین منظور گسل شبیه سازی شده شکل ۱۰ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. همان طور که در شکل دیده می شود با حفر ۳ گمانه پیشنهادی کل منطقه دارای منبع معدنی اندازه گیری شده می شود. (با توجه به خطای کمتر از ۲۰٪) [12]. به هر حال، نواحی قرمز رنگ به دلیل برخورداری از احتمال ۱۰۰٪ باید کاملاً از نواحی اندازه گیری شده جدا گردد [6,7,12] (شکل ۱۷ و ۱۸).



شکل ۱۶- نقشه احتمال گسل (نقاط قرمز رنگ دارای احتمال ۱۰۰٪ می باشد)



شکل ۱۷- نقشه خطای انباشتگی زغال

نتیجه گیری

همان طور که ملاحظه گردید، روش شبیه سازی زمین آماری می تواند در برآورد عدم قطعیت زمین شناختی جهت تخمین منبع زغال سنگ، تعیین تعداد بهینه گمانه ها و ارزیابی ریسک گسل به عنوان یک روش قوی و قابل اعتماد به کار گرفته شود. تعیین عدم قطعیت در میزان انباشتگی زغال و ارزیابی ریسک آن می تواند به شرکت های معدنکاری و اشخاصی که به نوعی با طبقه بندی منبع زغال سنگ در ارتباط هستند کمک شایانی نماید. به علاوه اینکه ریسک زمین شناختی محاسبه شده می تواند تعداد بهینه گمانه ها را جهت رساندن شبکه به منبع زغالی مورد نظر با توجه به سطح اعتماد بالا ۹۵٪ که پرکاربردترین سطح اعتماد در محاسبات زمین آماری است را مشخص نماید.

روش شبیه سازی زمین آماری ارائه شده می تواند به عنوان یک روش شفاف جهت طبقه بندی منبع زغال سنگ و تعیین تعداد نقاط بهینه گمانه ها با سطح اعتماد بالا بکار گرفته شود.

دومین کاربرد روش ارائه شده جهت برآورد ریسک زمین شناختی گسل در منطقه توانست با استفاده از نقشه های احتمال مناطق با ریسک و خطرپذیری بالا را مشخص نماید. برآورد ریسک گسل می تواند به تخمین منبع زغالی کمک کند و آن را تحت شعاع خود قرار دهد.

تقدیر و تشکر

در پایان بر خود لازم می دانیم از شرکت تهیه و تولید مواد معدنی ایران و شرکت زغال سنگ و معدن پروده طبس و جناب آقایان مهندس کریتی و محمدی تشکر و قدردانی نمائیم.

Ore Reserves (The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Melbourne)
11-Li S., Dimitrakopoulos R, Scott J and DDunn. (2004); Quantification of Geological Uncertainty and Risk Using Stochastic Simulation and Applications in the Coal Mining Industry, Ore body Modeling and Strategic Mine Planning, 14, pp 253-260.
12-Shuxing, LI., Dimitrakopoulos, R. (2002); Quantification and assessment of fault uncertainty and risk using stochastic conditional simulations. JOURNAL OF COAL SCIENCE & ENGINEERING. 8, pp 1-11.
13-Berberian M and King G G (1981); Towards a paleogeography and tectonic evaluation of Iran. Cn. J, Earth sci. 18 pp 165-210.

منابع

- ۱- حسینی پاک، ع، شرف الدین، م، (۱۳۸۴)، تحلیل داده‌های اکتشافی، انتشارات دانشگاه تهران، ۹۸۷ ص.
- ۲- مدنی اصفهانی، ن، (۱۳۸۹)، مدل‌سازی توزیع زغال در کانسار پروده III طبس و تحلیل شبکه اکتشافی با استفاده از روش شبیه‌سازی زمین‌آماری و مقایسه با شبکه موجود، بیست و هشتمین گردهمایی علوم زمین، دانشگاه ارومیه، ص ۱۴۷-۱۵۶.
- ۳- واحد اکتشافی طبس، (۱۳۶۹)، گزارش عملیات اکتشاف مقدماتی منطقه پروده III، جلد ۱، ۵۱۷ ص.
- 4-Dimitrakopoulos, R and Li, S. (2001); Quantification of fault uncertainty and risk management in underground long wall coal mining, in Proceedings Geological Hazards (eds: R Doule and J Moloney), 46, pp175-182.
- 5-Dimitrakopoulos, R, in press. Applied risk analysis for ore reserves and strategic mine planning: stochastic simulation and optimization, (Springer – SME: Dordrecht), 350 p
- 6-Dimitrakopoulos, R and Luo, X. (2004); Generalized sequential Gaussian simulation on group size v and screen-effect approximations for large field simulations, Mathematical Geology, 36(5), pp 567-591.
- 7-Dimitrakopoulos, R, Scott, J and Li, S, (2005). Quantification of geological uncertainty and risk assessment in coal resource/reserve classification, ACARP Project C11042 Report, volume I, W H Bryan Mining Geology Research Centre, The University of Queensland, 250 p.
- 8-Dowd, P.A. (1993); Geostatistical simulation, course notes for the MSc. in Mineral Resource and environmental Geostatistics, University of Leeds, 123 p.
- 9-Hakan Basarir, Mustafa Kumral, Celal Karpuz, Levent Tutluoglu, (2010); Geostatistical modeling of spatial variability of SPT data for a borax stockpile site, Engineering Geology. 114: pp 154-163.
- 10-Joint Ore Reserves Committee of The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Australian Institute of Geoscientists and Minerals Council of Australia (JORC) 2004; Australasian Code for Reporting of Exploration Results , Mineral Resources and