مراحل تخمین ذخیره در معادن فلزی به روش کریجینگ بلوکی

****

علی خدایی*،کارشناس ارشد مهندسی معدن، مربی سازمان آموزش فنی و حرفه ای آذربایجان شرقی، khodaeiamir91@gmail.com
ابوالفضل رنجبر، دانشجوی دکترای سیستم اطلاعات مکانی دانشگاه تهران،عضو هیات علمی دانشگاه تبریز،abranjbar@tabrizu.ac.ir

****

چکیده :

در روشهای تخمین ذخیره زمین آماری به شیوه کریجینگ بلوکی ابتدا ساختار فضایی داده ها مورد بررسی قرار می گیرد سپس در نهایت مراحل تخمین صورت می پذیرد.در این مقاله مراحل تخمین مورد تشریح قرار میگیرد و پارامتر ها بر اساس مطالعه موردی معدن مس مسجد داغی استخراج شده است. تعیین فضای تخمین، تعداد حداقل و حداکثر نقاط مورد استفاده در تخمین،شعاع جستجو،تعیین ابعاد بلوکهای تخمینی،تعیین صحت تخمین های صورت گرفته و تعیین تناژ کانسارمراحل تخمین می باشد. نرم افزار مورد استفاده، Win GSlip بوده و تعداد بلوکها ۵۷۷۵۰، عیار میانگین ۰/۱۶۱ درصد، ابعاد بلوکها ۱۰*۲۵*۲۵متر، تناژ ماده معدنی ۹۵٦٤٨٤۳۷۵ و مقدار ماده معدنی ۱۵۳۹۹۳۹۸٤/۳۷۵ تن برآورد شده است.

کلید واژه ها:زمین آمار،کریجینگ بلوکی،ساختار فضایی، مسجدداغی،Win GSlip

Steps of metal mines reserve estimation by block kriging method

Abstract:

In the methods of geostatistics reserve estimation in the kriging block method, the spatial structure of the data to be studied, firstly; then the estimation steps are carried out, finally. In this study, the estimation stages are described and the parameters were obtained based on the case study of masjed-daghi copper mine. The estimation steps include the space estimation determination, the number of minimum and maximum used points in the estimation, the search radius, the determination of the estimation blocks sizes, the determination of the estimations validation, and the determination of the ore deposits tonnage. The used software was Win GSlip, and the number of blocks was 57750, the average cutie was % 0.161, the blocks sizes were 25*25*10, the mineral tonnage was 956484375 tons, and the mineral weights were estimated 153993984.375 tons.

Keywords : Geostatistics, Block Kriging, Spatial Structure, Masjed-daghi, Win GSlip

****

مقدمه :

بعد از طی مراحل مختلف اکتشافی و اثبات وجود یک ذخیره اقتصادی قابل استخراج،یکی از مهمترین مراحل جهت برنامه ریزی کلی معدن،تخمین ذخیره می باشد.درتخمین ذخیره به روش زمین آمار علاوه بر مقدار یک کمیت معین در یک نمونه، ساختار فضایی نمونه نیز مورد توجه قرار می گیرد. در مرحله بررسی ساختار فضایی، پارامترهای مورد نیاز مرحله تخمین نظیر طول و آزیموت قطرهای بزرگ و کوچک بیضوی ناهمسانگردی، شعاع جستجو، اثر قطعه ای و سقف بدست می آید. معدن مس مسجدداغی با مساحتی در حدود ۸ کیلومترمربع در ۳۵ کیلومتری شرق جلفا و ۵ کیلومتری غرب سیه رود و در حاشیه رود مرزی ارس قرار دارد و از نظر تقسیمات کشوری جزو استان آذربایجان شرقی می باشد. مهمترین رخداد پلوتونیکی ناحیه که غالب کانی سازی های فلزی نیز در ارتباط با آن می باشد، توده نفوذی قره داغ با وسعتی در حدود ۱۵۰۰ کیلومترمربع (۶۰۰کیلومترمربع در خاک ارمنستان، ۶۰۰کیلومترمربع در خاک ایران و ۳۰۰ کیلومترمربع در خاک نخجوان) می باشد. کانی سازی های متعددی (مس، طلا و مولیبدن پورفیری) در ارتباط با این باتولیت در آنسوی رود ارس در کشور ارمنستان و آذربایجان شناخته شده و در حال بهره برداری است.اطلاعات ارائه شده از طرف صنایع ملی مس ایران شامل مشخصات ۳٤ گمانه می باشد که عیار متوسط برای هر پنجاه متر عمق، برای ۳۱ گمانه(که ۱۲ گمانه به صورت مایل حفر شده است) محاسبه گردیده است.پارامترهای بدست آمده از بررسی ساختار فضایی بشرح زیر است:[۲]

طول قطر بزرگ بیضوی(متر): ٤٦۰

طول قطر کوچک بیضوی(متر): ۲۰۰

آزیموت قطر بزرگ بیضوی(درجه): ۱۳۵

آزیموت قطر کوچک بیضوی(درجه): ٤۵

اثر قطعه ای: ۰/۳

****

بحث:

۱- پارامترهای تخمین

۱-۱- تعیین فضای تخمین

به منظور کنترل فرآیند تخمین لازم است فضایی بنام فضای تخمین تعریف گردد که بخش عمده این فضا را کانسنگ تشکیل میدهد. بدلیل اینکه یکی از خصوصیات کریجینگ هموار سازی تغییرات است بنابراین اگر همه داده ها، یعنی اعم از کانسنگ و باطله، در تخمین نهایی بکار رود بدلیل خاصیت هموارسازی، داده های باطله موجب کاهش عیار بلوکهای کانسار و داده های کانسنگ موجب افزایش عیار بلوکها می شود. بنابراین نتیجه آن تخمین بیشینه تناژ و تخمین کمینه عیار می باشد و در نهایت رابطه عیار – تناژ را از حالت واقعی خارج می سازد.بنابراین در یک محدوده مناسب، باطله باید به حداقل مقدار ممکن رسیده باشد. در تعیین مرزهای چنین محدوده ای، عیار کنترل کننده اصلی است ولی در مواردی که داده های عیار سنجی کافی نباشد، داده های زمین شناسی مانند همبری واحدهای سنگی، گسلها و دیگر عوامل زمین ساختمانی می توانند در تعیین مرزها مفید واقع شوند.[۱]تعیین فضای تخمین به دو لحاظ حائز اهمیت است:

۱-۱-۱- محدود کردن کانسار از اطراف:

در قسمت های داخلی کانسار عمل درونیابی و در قسمت های خارج از محدوده کانسار عمل برون یابی انجام می شود. با توجه به عدم توانایی روش های تخمین در ارائه نتایج مناسب برای عمل برون یابی، باید محدوده درون یابی را به نحو مناسب انتخاب کرد.

۱-۱-۲- محدود کردن فضای تخمین درون کانسار:

روش هایی مثل کریجینگ، عیار منطقه کم عیار را بدلیل میانگین گیری با قسمت های پرعیار، بالاتر از قسمت های واقعی نشان می دهد و برعکس، قسمت های پر عیار در اثر میانگین گیری با مقادیر کم عیار، کمتر از قسمت های واقعی تخمین زده می شوند. بنابراین در مواقعی که در محدوده کانسار روندی مشاهده شود، مثلا همه گمانه های اطراف وجود باطله را تائید کنند، می توان باطله مورد نظر را از فضای تخمین حذف کرد تا در اثر میانگین گیری در حین تخمین، قسمت هایی از چنین فضایی به عنوان کانسنگ معرفی نشوند. از طرفی، عدم حذف چنین فضایی ممکن است به اشتباه باعث تبدیل فضای کانسنگ به باطله شود.[۱]در این پروژه با توجه به گمانه ها و با استفاده از اطلاعات حاصل از گمانه هایی که ماده معدنی را قطع کرده اند فضای اولیه ای تعیین شد. سپس با توجه به موقعیت مکانی گمانه ها و با استفاده از تغییرات تدریجی کانسار، فضای تخمین تعیین گردید که حجم کانسار را نشان می دهد.[۲]

۱-۲- تعداد حداقل و حداکثر نقاط مورد استفاده در تخمین:

معیار اعتبار تخمین، تعداد نقاطی است که در تخمین یک بلوک شرکت می کنند. هرچه تعداد این نقاط در محدوده مجاز بیشتر باشد، اعتبار تخمین بیشتر است زیرا تعداد زیادی داده با موقعیت های مختلف در تخمین شرکت می کنند و در آن تاثیر می گذارند. هرچه تعداد این نقاط در تخمین کمتر باشد، احتمال اینکه مقدار تخمینی تحت تاثیر نوسانات تصادفی قرار گیرد، بیشتر می شود. محدودیت حداقل تعداد نقاط شرکت کننده در تخمین بدان معنی است که اگر در محدوده جستجو کمتر از آن تعداد داده وجود داشته باشد، بلوک مفروض تخمین نخواهد خورد. بدیهی است این محدودیت ممکن است موجب کاهش تعداد نقاط تخمین، شود. بنابراین باید بین بالا بردن اعتبار تخمین که نیاز به مشارکت تعداد زیادی داده در تخمین دارد و به حداکثر رساندن مساحت محدوده تخمین زده شده که در شرایط حداقل نقاط شرکت کننده در تخمین حاصل می شود، بهینه سازی انجام گیرد.[۱]از طرف دیگر اگر حداکثر نقاط داده ای شرکت کننده در تخمین یک بلوک را با n نمایش دهیم، آنگاه در صورتی که داخل محدوده جستجو تعداد n نمونه یا کمتر قرار گیرد، کل نقاط در تخمین شرکت خواهند کرد. اما اگر تعداد نقاط واقع در محدوده جستجو بیشتر از n باشد، نزدیکترین n داده به بلوک مورد تخمین، در تخمین آن بلوک شرکت می کنند. برای تعیین مقدار n هیچ قائده کلی وجود ندارد و این مقدار بر اساس تجربه و سعی و خطا تعیین می شود. با توجه به مطالب گفته شده، تعداد حداقل و حداکثر نقاط شرکت کننده در تخمین بلوک در این مطالعه، به ترتیب ٦ و ١٨ می باشد که بر اساس سعی و خطا بدست آمده است.[۲]

۱-۳- شعاع جستجو

می دانیم که با افزایش فاصله نقاط از یکدیگر ارتباط فضایی ضعیف تر می شود و در نهایت از بین می رود بنابراین نقاطی که فاصله آنها از نقطه مورد تخمین از فاصله مشخصی موسوم به شعاع تاثیر بیشتر شود. عملا بر روی نقطه تخمین بی اثرند و نیازی به ورود آنها در فرایند تخمین نیست حداکثر فاصله ای که نقاط واقع در آن در تخمین شرکت داده میشود شعاع جستجو نامیده می شود.انتخاب نامناسب شعاع جستجو کاهش اعتبار تخمین ها را در پی دارد زیرا اگر شعاع جستجو به طورغیر واقع بینانه ای در نظر گرفته شود نقاطی که ارتباط فضایی با نقطه مورد تخمین ندارند در تخمین آن شرکت میکنند .از طرفی انتخاب شعاع جستجوی کوچک باعث میشود تا نقاط شرکت کننده در تخمین یک بلوک کم شود و در نتیجه اعتبار تخمین کاهش می یابد.در صورت وجود ناهمسانگردی مقدار شعاع جستجو در جهات مختلف متفاوت خواهد بود. در این حالتشعاع جستجو در جهات مختلف بر اساس بیضی و بیضوی ناهمسانگردی که از روی شعاع تاثیر ازواریوگرام جهتی حاصل میشود تعیین خواهد شد.معمولا از شعاع تاثیر به عنوان معیاری برای تعیین شعاع جستجو استفاده می کنند. بسته به شرایط آگاهی از ذخیره ممکن است شعاع جستجو معادل یا کمتر از شعاع تاثیر تعیین شود.[۱]

۱-٤- تعیین ابعاد بلوکهای تخمینی

در پروژه های معدنی طراحی و برنامه ریزی بر مبنای مدل بلوکی صورت می گیرد. اغلب روشهای پیشنهادی برای انتخاب ابعاد بلوک با توجه به شرایط یک کانسار خاص ارائه شده اند. برخی از محققان نشان داده اند که انتخاب بلوکهای بزرگ باعث بهبود نتایج و همچنین کاهش زمان محاسبات می شود.هرچند بلوکهای کوچک تحلیل دقیقتری از مرز کانسار و باطله ارائه می دهد اما هزینه استخراج این بلوکها باعث شده تا در اکثر مواقع

انتخاب بلوکهای بزرگتر انجام پذیرد. یکی از متداول ترین روشهایی که امروزه برای انتخاب بلوک به کار میرود روش لزج و گروسمن است. در این روش ارتفاع بلوک بر اساس پله و دو بعد دیگر با استفاده از شیب پایدار سنگ و فاصله گمانه های اکتشافی تعیین می شود.[۱]

آلبرت معتقد است که برای بلوکهای کوچک خطای تخمین عیار بیشتر می شود و قابلیت اعتماد به مدل بلوکی اقتصادی که در بهینه سازی کاواک مورد استفاده قرار می گیرد کاهش می یابد. افزایش اختلاف بین مقادیر تخمینی و مقادیر واقعی مشکل آفرین است.به عنوان قاعده کلی ابعاد افقی بلوک ها نباید از یک چهارم ابعاد شبکه حفاری کوچک تر باشد. برای بلوک هایی که ابعاد آنها به طور قابل ملاحظه ای کوچکتر از این فاصله باشد بر آوردها دقت کافی ندارند و بر مبنای آنها نمی توان یک مدل مطمئن عیار یا در آمد را برای طراحی کاواک بهینه ارائه داد.در مطالعه مربوط به مس مسجدداغی، با توجه به اینکه فاصله اکثر نمونه ها در راستای افقی برابر با ۱۰۰ متر می باشد ابعاد بلوک ها در راستای افقی برابر با ۲۵ متر انتخاب گردید تا تمامی بخش ها مورد پوشش واقع شوند. اما تعیین ابعاد بلوک ها در راستای قائم نیازمند دقت بیشتری می باشد.[۲] نقشه های تخمین و واریانس تخمین که بوسیله نرم افزار Win g slip محاسبه شده است[۳]در قالب اشکال(۱-۱) تا (۱-٤)نشان داده می شوند.[۲]

۲- تعیین صحت تخمین های صورت گرفته

برای سنجش صحت تخمین های صورت گرفته، می توان به ۳ طریق زیر عمل کرد:

۲-۱- استفاده از نمودار پراکندگی

در این نمودار، یکی از محورها مقادیر واقعی و محور دیگر مقادیر تخمین زده شده می باشد و با استفاده از این نمودار میتوان ضریب همبستگی مابین مقادیر واقعی و مقادیر تخمینی را بدست آورد و از روی ضریب همبستگی، در میزان صحت تخمین، بحث نمود.

در نمودار(۲-۱) نمودار پراکندگی فلز مس در معدن مورد مطالعه نشان داده شده است. چنانچه مشاهده می شود میزان همبستگی برابر۸۰/۸ درصد می باشد که عدد قابل قبولی بوده و نشان از صحت بالای عملیات تخمین می باشد.

۲-۲- استفاده از نمودار Q-Q

این نمودار برای مقایسه مقادیر اولیه و مقادیر تخمین زده شده بکار میرود و نشان دهنده شباهت ها و تفاوت های دو گروه از داده ها می باشد. در شرایط ایده آل، توزیع داده ها بر روی یک خط با زاویه ٤٥ درجه می باشد.

نمودار Q-Q برای فلز مس در نمودار(۲-۲) آورده شده است که قابل قبول می باشد.

۲-۳- استفاده از هیستوگرام خطا

با ترسیم هیستوگرام اختلاف ما بین مقایر واقعی و مقایر تخمینی می توان به خطی بودن تخمین پی برد، زیرا مقادیر دو گروه داده به صورت قرینه و در گروه های برابر از یکدیگر کم می شوندیعنی هرچه شکل رسم شده به حالت توزیع نرمال (زنگوله ای)، نزدیک باشد در آنصورت میزان صحت کار افزایش می یابد.

شکل هبستوگرام خطا رسم شده(شکل ۲-۱)، نشان از میزان صحت کار در مطالعه صورت گرفته،می باشد

با توجه به شکل (۱-۵) پارامترهای آماری داده های تخمین زده شده بشرح زیر است:

میانگین = ۰/۱٦۱ و انحراف معیار = ۰/۳٤۳

۳- تعیین تناژ کانسار

تخمین گر کریجینگ برای تمامی بلوکهای طراحی شده، عیار را محاسبه می کند. اما پس از تخمین و با توجه به مدل تخمین، بسیاری از بلوکها در بیضوی جستجوی خود، مقداری را برای محاسبه و تخمین پیدا نمی کنند و بهمین دلیل تعداد بلوک های تخمین زده شده کمتر از تعداد کل بلوک ها می باشد. و در نهایت با در نظر گرفتن

ابعاد شبکه تخمین، حجم محاسبه می گردد. و از روی بلوک نهایی عیار متوسط فلز مورد نظر بدست می آید.[۱]

طبق محاسبات انجام گرفته در این مطالعه، تعداد بلوک نهایی و عیار متوسط مس بترتیب ۵۷۷۵۰ بلوک و۰/۱۶۱ درصد می باشد.برای تعیین حجم کل بترتیب زیر عمل می نماییم:

ابعاد بلوک * تعدادکل بلوک ها = حجم کل

حجم کل=۵۷۷۵۰*۱۰*۲۵*۲۵=۳۶۰۹۳۷۵۰۰

با توجه به اینکه چگالی متوسط سنگ معدنی فلز مس طبق گزارشات صنایع ملی مس۲/۶۵ تن بر مترمکعب می باشد بنابراین تناژ کل فلز مس از رابطه زیر بدست می آید:

عیار متوسط * چگالی * حجم = تناژ فلز

تناژ=۳۶۰۹۳۷۵۰۰*۲/۶۵*۰/۱۶۱=۱۵۳۹۹۳۹۸۴/۳۷۵

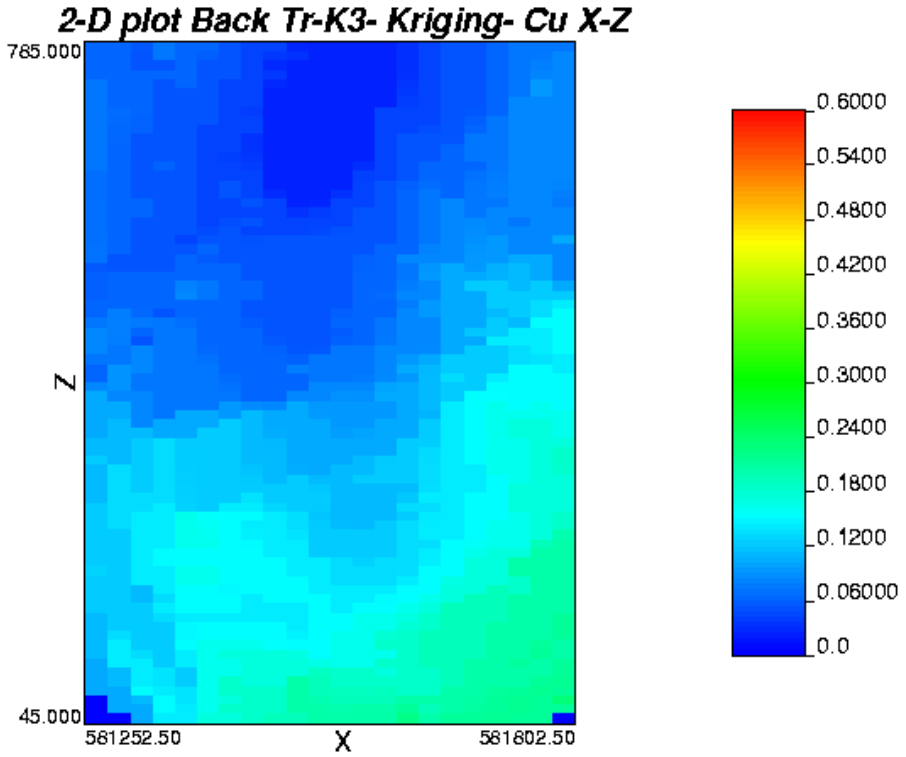
تناژ ماده معدنی =۹۵۶۴۸۴۳۷۵

نتیجه گیری :

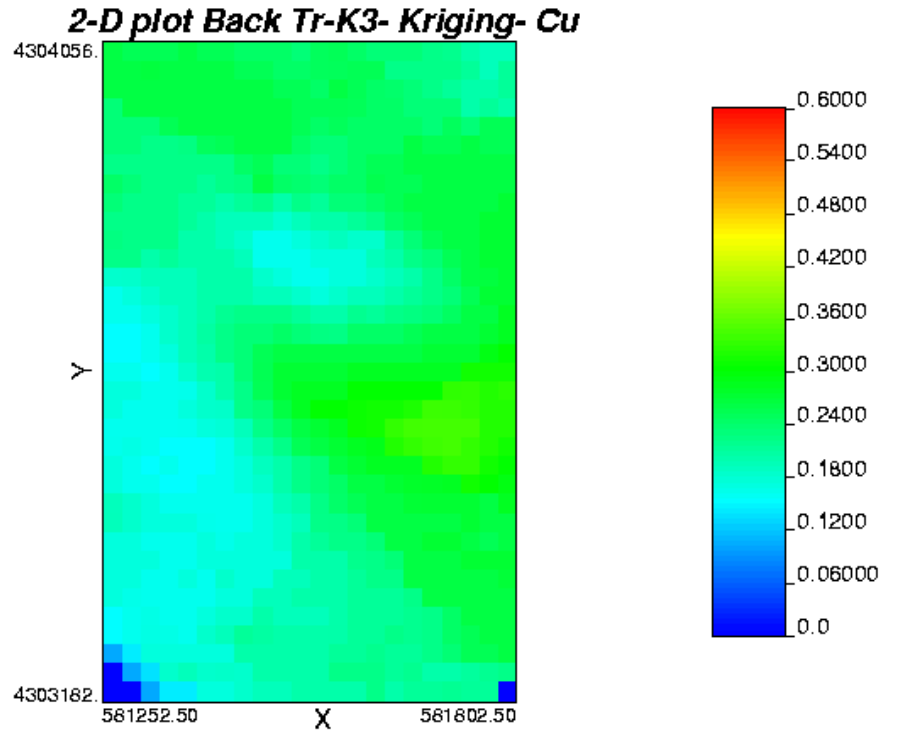
۱- بدلیل خاصیت هموار سازی کریجینگ و جلوگیری از تخمین بیشینه تناژ و تخمین کمینه عیار، تعیین فضای تخمین از اهمیت بالایی برخوردار است.
۲- انتخاب نامناسب شعاع جستجو کاهش اعتبار تخمین ها را در پی دارد.
۳- در تعیین ابعاد بلوکها، به عنوان قاعده کلی ابعاد افقی بلوکها نباید از یک چهارم ابعاد شبکه حفاری کوچک تر باشد.

****

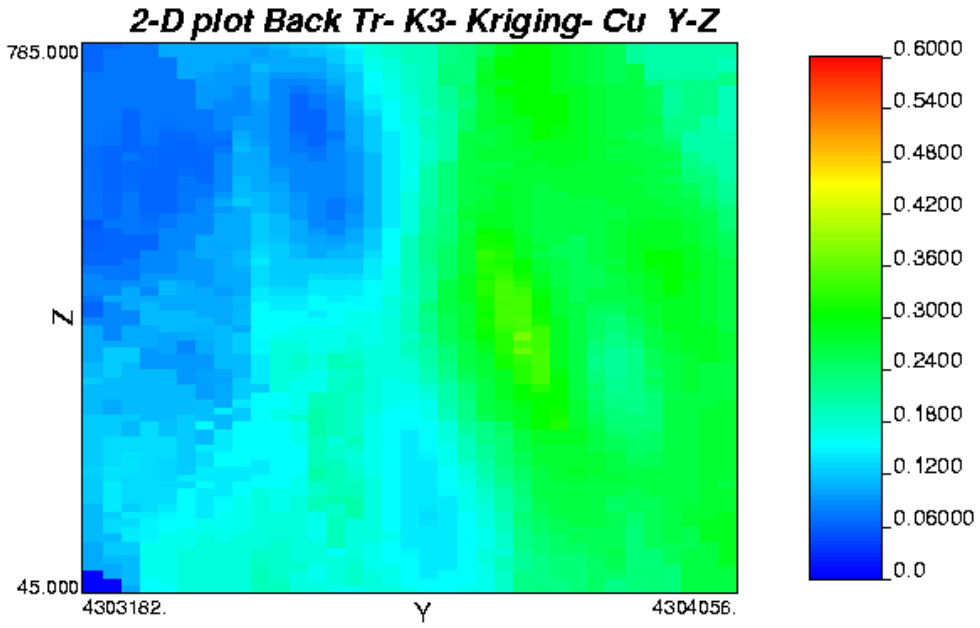
جداول و اشکال :



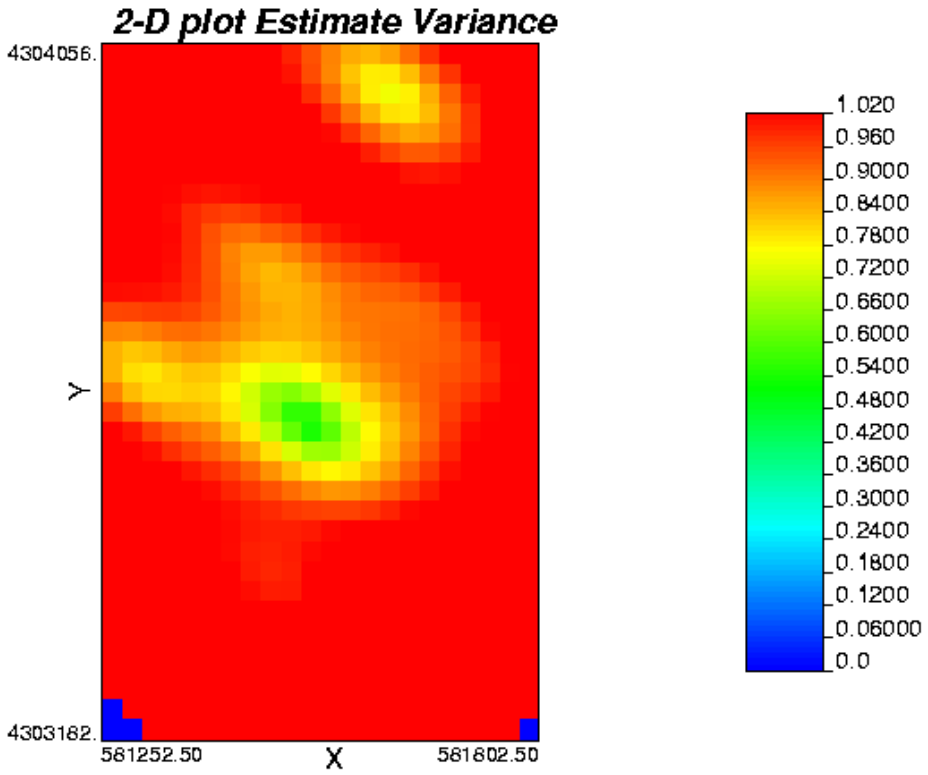
شکل ۱-۱- صفحه تخمین مس در مقطع X-Y



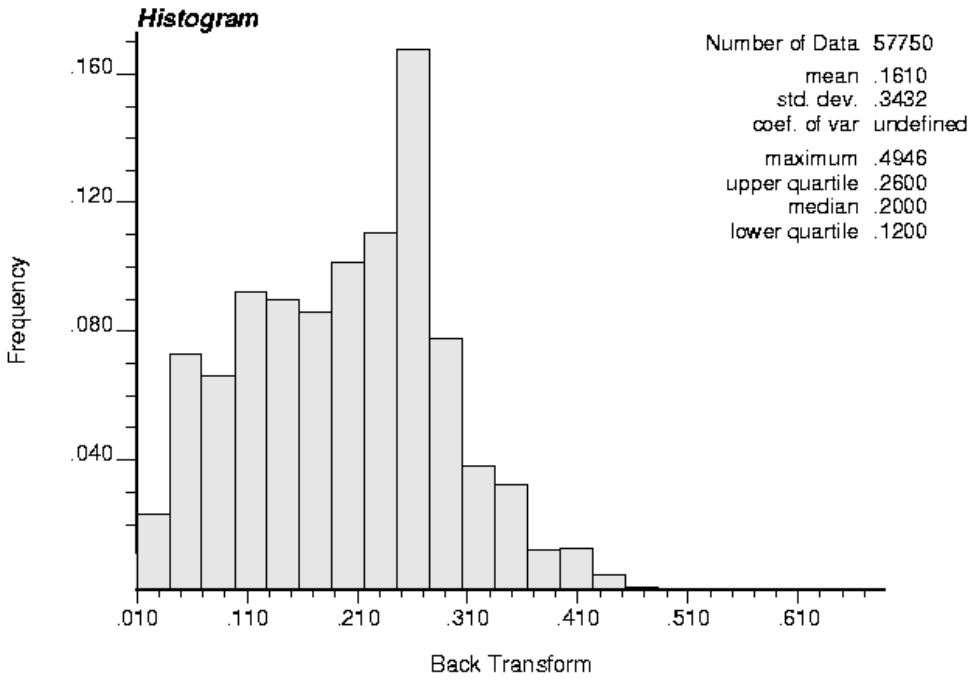
شکل ۱-۲- صفحه تخمین مس در مقطع X-Z



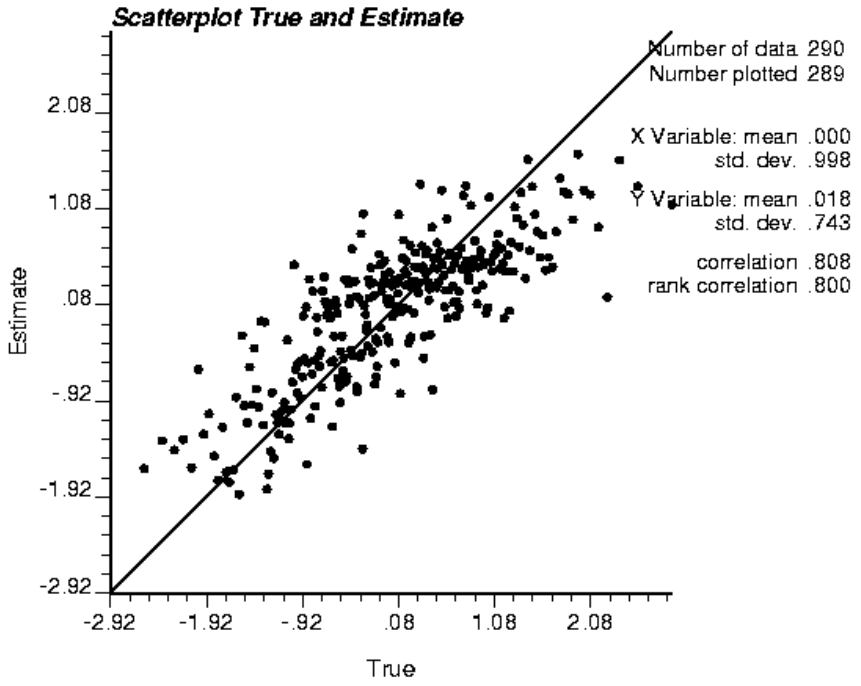
شکل ۱-۳- صفحه تخمین مس در مقطع Y-Z



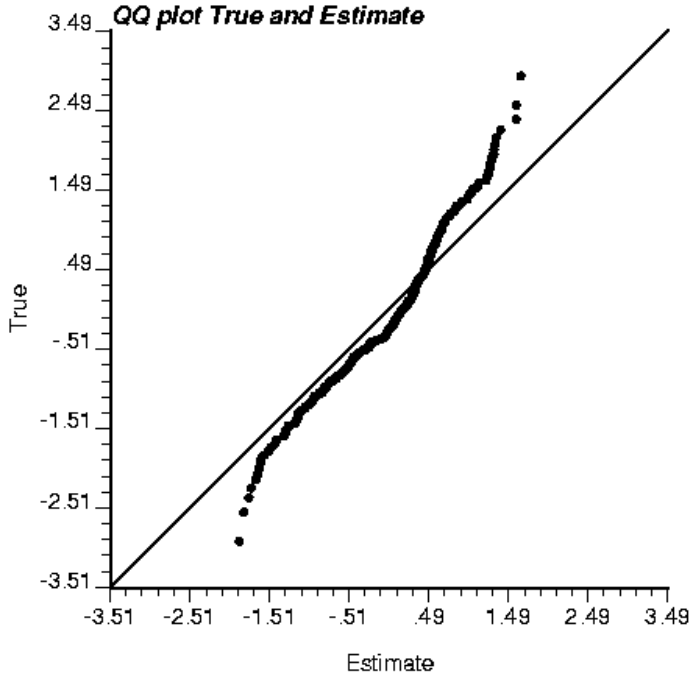
شکل ۱-۴- صفحه واریانس تخمین در مقطع X-Y



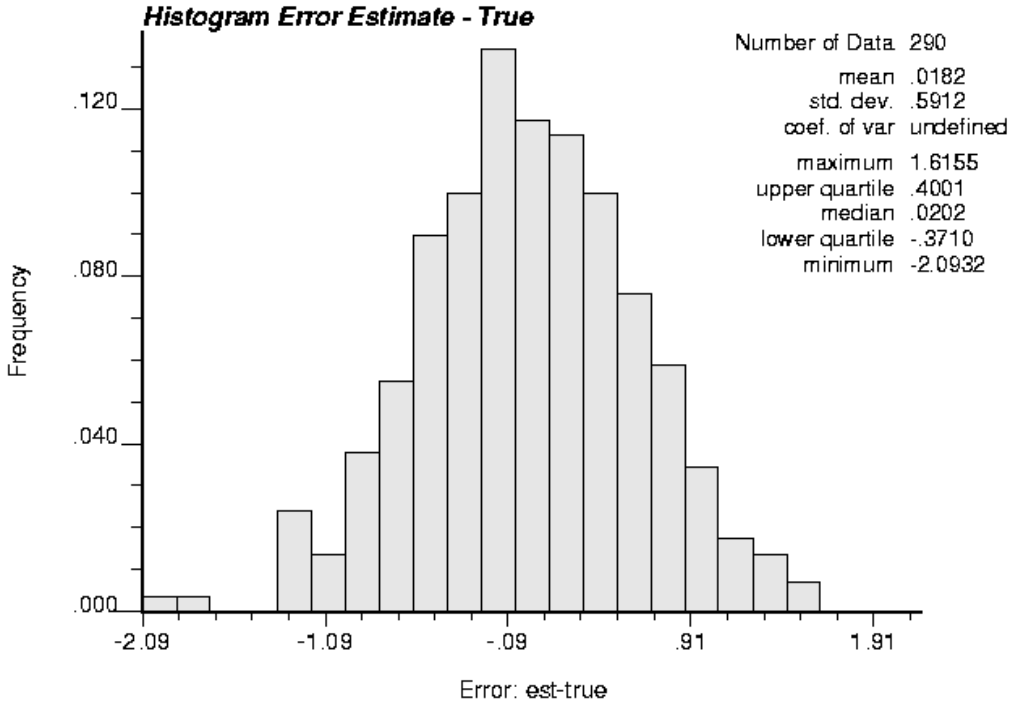
شکل ۱-۵- هیستوگرام داده های تخمین زده شده مس



نمودار ۲-۱- نمودار همبستگی مقادیر واقعی و مقادیر تخمینی



نمودار ۲-۲- نمودار Q-Q مابین مقادیر واقعی و تخمینی



شکل ۲-۱- هیستوگرام اختلاف مقادیر واقعی و مقادیر تخمینی

منابع فارسي :

۱-حسنی پاک، ع.ا.، ۱۳۸۰، " زمین آمار "، نوبت چاپ، (۵۰– ۲۶۰)، ناشر، انتشارات دانشگاه تهران
۲- خدایی، ع.، ۱۳۹۱، "تخمین ذخیره معدن مس مسجدداغی به روش زمین آمار"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی سهند تبریز، سهند تبریز

****

3) Wing slib Guide, Manual, 1999, www.statios.com/Wing slib