



دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

گروه اکتشاف معدن

بررسی معیارهای رده‌بندی ذخایر معدنی و امکان ارائه یک معیار جدید از
طریق مطالعه مدل مصنوعی - مطالعه موردی: کانسار مس سونگون

دانشجو:

مجتبی باوندسوادکوهی

استاد راهنما:

دکتر محمد کنشلو

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

تیرماه ۱۳۹۲

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

شماره: ۲۶۹۲۱۱۲۵-۲
تاریخ: ۹۲/۶/۱۷
ویرایش:

باسمه تعالی



فرم صورت جلسه دفاع از پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) نتیجه ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای مهندس مجتبی باوند سواد کوهی رشته مهندسی معدن، گرایش اکتشاف تحت عنوان بررسی معیارهای رده بندی ذخایر معدنی و امکان ارائه یک معیار جدید از طریق مطالعه مدل مصنوعی - مطالعه موردی: کانسار مس سونگون که در تاریخ ۱۳۹۲/۰۴/۱۶ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

<input type="checkbox"/> مردود	<input type="checkbox"/> دفاع مجدد	<input checked="" type="checkbox"/> قبول (با درجه: بسیار خوب - امتیاز (۱۸۷/۵))
--------------------------------	------------------------------------	--

۱- عالی (۲۰-۱۹)

۲- بسیار خوب (۱۸۹۹-۱۸)

۳- خوب (۱۶-۱۷/۹۹)

۴- قابل قبول (۱۵/۹۹-۱۴)

۵- نمره کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول

عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنما	محمد کشلو		
۳- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی	علیرضا عرب امیری		
۴- استاد ممتحن	رضا خالو کاکایی		
۵- استاد ممتحن	بهزاد تخم چی		

رئیس دانشکده:



تقدیم به:

پدر و مادر عزیزتر از جانم که سایه مهربانی، ایثار و صبرشان، همیشه سایه سار زندگیم

بوده است.

برادر و خواهرم که یار و یاورم بوده اند

آموزگارانی که برایم زندگی، بودن و انسان بودن را معنا کردند

همه کسانی که لحظه ای بعد انسانی و وجدانی خود را فراموش نمی کنند و بر آستان

کران سنگ انسانیت سرفرودمی آورند

تمام آزاد مردانی که نیک می اندیشند و عقل و منطق را پیشه خود نموده اند،

آنان که خود، عین حقیقت اند

تشکر و قدردانی

اثر پیش رو نتیجه بیش از دو سال مطالعات و تحقیقات بی وقفه اینجانب است که در قالب این پایان نامه به ثمر نشست. بر خود لازم می دانم از استاد بسیار عزیز و گرانمایه ام جناب آقای دکتر محمد کنشلو که به عنوان استاد راهنمای اینجانب در تمام مراحل این اثر با صبر و حوصله فراوان مرا یاری نموده اند و از هیچ کمکی در این مدت دریغ ننموده اند، صمیمانه کمال تشکر و قدردانی را داشته باشم. رهنمودهای بسیار ارزشمند ایشان، در تمام زمینه ها مخصوصا در مراحل مختلف این پایان نامه همواره راهگشای مشکلات پیش رو بوده است. از تمام دوستان محترم مخصوصا آقای مهندس نصراله نصیری که در مبحث کدنویسی در نرم افزار متلب از هیچ کمکی به بنده دریغ ننموده است و سرکار خانم فاطمه محمدی که در مراحل تدوین پایان نامه مرا یاری نمودند، تشکر می نمایم. از جناب آقایان دکتر رضا خالوکاکائی و دکتر بهزاد تخم چی که داوری این پایان نامه را بر عهده داشتند، صمیمانه سپاسگزارم. در پایان از تمامی خوانندگان محترم هم ضمن تشکر از انتخاب این اثر برای مطالعه، خواهشمندم انتقادات و پیشنهادات سازنده خود را از اینجانب دریغ ننموده و اینجانب را در ارتقای هر چه بیشتر این اثر، از طریق مکاتبه با رایانامه به آدرس: mojtababavand@yahoo.com، یاری نمایند.

مجتبی باوندسوادکوهی

تیر ۱۳۹۲

تعهد نامه

اینجانب **مجتبی باوند سوادکوهی** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی معدن گرایش اکتشاف از دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه کارشناسی ارشد تحت عنوان: **بررسی معیارهای رده‌بندی ذخایر معدنی و امکان ارائه یک معیار جدید از طریق مطالعه مدل مصنوعی - مطالعه موردی: کانسار مس سونگون** تحت راهنمایی آقای **دکتر محمد کنشلو، متعهد می‌شوم:**

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تا کنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام «دانشگاه صنعتی شاهرود» و یا «Shahrood University of Technology» به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تاثیرگذار بوده‌اند، در مقالات مستخرج از این پایان نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت‌های آنها) استفاده شده است، ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است، اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاقی انسانی رعایت شده است.

تاریخ ۱۳۹۲/۶/۱۷

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده) مربوط به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

چکیده

کلاس‌بندی منابع و ذخایر معدنی و تعریف آنها تقریباً از سال ۱۹۷۰ بعنوان یک موضوع جدی در صنعت معدن مورد توجه قرار گرفته است. تاکنون در دنیا کدهای مختلفی (SME, UNFC, JORC) و SAMREC) برای گزارش‌نویسی منابع و ذخایر معدنی ارائه شده است. با وجود تلاش‌هایی که در راستای هماهنگ‌سازی این کدها شده است، ولی همچنان معیار ثابتی برای کلاس‌بندی منابع و ذخایر معدنی وجود ندارد. به دلیل خاص بودن هر ذخیره، دستیابی به یک معیار یکسان برای کلاس‌بندی تمام منابع و ذخایر معدنی، تقریباً غیر ممکن به نظر می‌رسد. در عمل معیارهایی کیفی (سنتی) و کمی (زمین آماری) برای کلاس‌بندی منابع و ذخایر پیشنهاد شده‌اند. معیارهای کیفی کلاس‌بندی بیشتر دست‌خوش قضاوت‌های شخصی می‌شود. در این پایان‌نامه ضمن معرفی معیارهای زمین آماری کلاس‌بندی منابع و ذخایر معدنی به مقایسه این معیارها و بررسی نقاط ضعف و قوت هر کدام از این معیارها در یک مدل مصنوعی شبیه‌سازی شده پرداخته می‌شود. تعیین حدود آستانه‌ای مناسب کلاس‌بندی معیارها یکی از مسائل مهمی به شمار می‌رود که در این پایان‌نامه به آن پرداخته شده است. و راهکار جدیدی برای تعیین حدود آستانه‌ای معیارهای کلاس‌بندی براساس خطای نسبی واقعی تخمین و براساس زونهای بیشتر شناخته شده‌ی شده کانسار پیشنهاد شده است. کلاس‌بندی منابع و ذخایر معدنی به شدت به اندازه واحد استخراج انتخابی^۱ (بلوک) وابسته است. بنابراین موضوع مهم دیگری که در این پایان‌نامه به آن پرداخته شد، حساسیت معیارهای زمین آماری نسبت به تغییر ابعاد بلوک است. در یک مطالعه بر روی مدل مصنوعی حساسیت معیارهای کلاس‌بندی در مقابل تغییر ابعاد بلوک مقایسه شده است و معیارهایی که در مقابل تغییر ابعاد بلوک مقاوم‌تر هستند مشخص شده است. در فصل آخر مطالعه موردی بر روی کانسار

¹ Selective Mining Unit

مس سونگون انجام شده است. زونهای مختلف ماده معدنی (لیچ، سولفید و هیپوژن) جداگانه مطالعه و تخمین زده شده‌اند. حدود معیارها براساس اطلاعات چالهای حفاری بخش استخراجی محاسبه شده و برای کل کانسار به کار گرفته شده‌اند. تمام مراحل تخمین و کلاسه‌بندی مدل مصنوعی و کانسار مس سونگون با استفاده از کدهای برنامه نویسی تهیه شده در نرم افزار MATLAB® انجام شده است.

کلمات کلیدی: کلاسه‌بندی منابع و ذخایر، زمین آمار، معیارهای کلاسه‌بندی، کمی‌سازی عدم قطعیت، کانسار مس سونگون.

لیست مقالات مستخرج از این پایان نامه

۱. باوندسوادکوهی.م، کنشلوم.م، ۱۳۹۱، معرفی و مقایسه معیارهای زمین آماری کلاسه‌بندی منابع و

ذخایر معدنی، سی و یکمین گردهمایی علوم زمین،تهران

۲. باوندسوادکوهی.م، کنشلوم.م، ۱۳۹۱، عوامل موثر در سرمایه گذاری پروژه های معدنی، فصل نامه

سنگ و معدن، شماره ۲۶، ص ۵۲

فهرست مطالب

فصل اول سیستم‌های گزارش‌نویسی منابع و ذخایر	۱
۱-۱ مقدمه	۲
۲-۱ مروری بر کلاهداری بر-ایکس	۳
۳-۱ ایجاد استانداردهای گزارش‌نویسی	۶
۱-۳-۱ تاریخچه و تحول سیستم‌های گزارش‌نویسی	۷
۲-۳-۱ کلاسه‌بندی متداول ذخایر معدنی در ایران	۱۰
۳-۳-۱ اشکالات سیستم کلاسه‌بندی در ایران	۱۱
۴-۱ بیان اهداف و ضرورت انجام تحقیق	۱۱
فصل دوم معرفی و مقایسه معیارهای کلاسه‌بندی	۱۴
۱-۲ مقدمه	۱۵
۲-۲ معیارهای کلاسه‌بندی منابع و ذخایر معدنی	۱۶
۱-۲-۲ معیار کیفی چگالی شبکه حفاری	۱۶
۲-۲-۲ معیارهای کمی کلاسه‌بندی منابع و ذخایر معدنی	۱۷
۱-۲-۲-۲ فاصله واریوگرام	۱۸
۲-۲-۲-۲ انحراف معیار نسبی کریجینگ	۱۹
۳-۲-۲-۲ معیار کارایی بلوک	۲۱

- ۲۲ شاخص کلارک ۴-۲-۲-۲
- ۲۳ شیب رگرسیون خطی ۵-۲-۲-۲
- ۲۴ شاخص تغییرپذیری نسبی (RVI) ۶-۲-۲-۲
- ۲۸ انحراف معیار درونیابی ۷-۲-۲-۲
- ۳۰ ضریب همبستگی ۸-۲-۲-۲
- ۳۰ وزن میانگین ۹-۲-۲-۲
- ۳۱ مقایسه معیارهای کلاسه‌بندی منابع و ذخایر معدنی و نتیجه‌گیری ۳-۲
- ۳۳ فصل سوم الگوریتم‌های تخمین و کلاسه‌بندی ۳-۳
- ۳۴ ۱-۳ مقدمه ۳-۳
- ۳۵ ۲-۳ الگوریتم‌های تخمین ۳-۳
- ۳۵ ۱-۲-۳ الگوریتم بیضوی جستجو (بیضی‌گون) به منظور تعیین نقاط همسایگی بلوک ۳-۳
- ۳۷ ۲-۲-۳ محاسبه واریانس داخل بلوک (واریانس پراکندگی) ۳-۳
- ۳۸ ۳-۲-۳ الگوریتم محاسبه واریانس نقاط همسایگی بلوک نسبت به هم ۳-۳
- ۳۹ ۴-۲-۳ الگوریتم محاسبه واریانس نقاط همسایگی نسبت به بلوک ۳-۳
- ۴۰ ۵-۲-۳ الگوریتم تصحیح اوزان منفی نقاط همسایگی بلوک ۳-۳
- ۴۱ ۶-۲-۳ محاسبه عیار تخمینی بلوک و واریانس کریجینگ ۳-۳
- ۴۱ ۳-۳ الگوریتم‌های محاسبه معیارهای کلاسه‌بندی ۳-۳
- ۴۲ ۱-۳-۳ الگوریتم محاسبه معیار انحراف معیار درونیابی ۳-۳

- ۴۳ ۲-۳-۳ الگوریتم محاسبه معیار شاخص تغییرپذیری نسبی
- ۴۵ ۴-۳ نتیجه‌گیری
- ۴۶ فصل چهارم مقایسه معیارهای کلاسه‌بندی بر روی مدل مصنوعی
- ۴۷ ۱-۴ مقدمه
- ۴۷ ۲-۴ ایجاد مدل مصنوعی
- ۵۰ ۳-۴ تعیین حدود آستانه‌ای کلاسه‌ها با استفاده از یک روش جدید
- ۵۲ ۱-۳-۴ بررسی کیفیت کلاسه‌بندی معیارهای کلاسه‌بندی در مدل مصنوعی
- ۵۶ ۹-۳-۴ مقایسه کیفیت کلاسه‌بندی معیارهای کلاسه‌بندی در مدل مصنوعی
- ۵۷ ۴-۴ مقایسه تاثیر اندازه بلوک در کیفیت کلاسه‌بندی معیارهای بلوک‌های شبیه سازی شده
- ۶۱ ۵-۴ بحث و نتیجه‌گیری
- ۶۳ فصل پنجم کلاسه‌بندی کانسار مس سونگون
- ۶۴ ۱-۵ مقدمه
- ۶۴ ۲-۵ موقعیت جغرافیایی کانسار مس سونگون
- ۶۵ ۳-۵ معرفی داده‌های مورد استفاده از کانسار مس سونگون
- ۶۷ ۴-۵ تعیین حدود آستانه‌ای معیارهای کلاسه‌بندی با استفاده از داده‌های چال‌های آتشیاری
- ۷۲ ۱-۴-۵ جمع‌بندی و نتیجه‌گیری تعیین حدود معیارهای کلاسه‌بندی
- ۷۲ ۵-۵ تخمین و کلاسه‌بندی کانسار مس سونگون
- ۷۷ ۱-۵-۵ تخمین و کلاسه‌بندی زون لیچینگ، سولفیدی و هیپوزن

۷۹	۶-۵ بحث و نتیجه‌گیری
۸۱	فصل ششم نتیجه‌گیری و پیشنهادات
۸۲	۱-۶ نتیجه‌گیری
۸۵	۲-۶ پیشنهادات
۸۸	منابع و ماخذ
۹۰	منابع فارسی
۹۱	Abstract

فهرست جدول‌ها

۱۷	جدول ۱-۲ مثال‌هایی عملی از کلاسه‌بندی منابع بر مبنای چگالی شبکه حفاری
۲۱	جدول ۲-۲ حدود پیشنهادی دیل، دیوید و ولمر برای کلاسه‌بندی منابع و ذخایر
۲۱	جدول ۲-۳ حدود پیشنهادی بلکول برای کلاسه‌بندی منابع و ذخایر
۲۲	جدول ۲-۴ حدود پیشنهادی کلاسه‌بندی منابع و ذخایر را بر اساس کارایی بلوک
۲۳	جدول ۲-۵ کلاسه‌بندی منابع و ذخایر با استفاده از شاخص کلارک
۲۴	جدول ۲-۶ حدود پیشنهادی شیب رگرسیون برای کلاسه‌بندی منابع و ذخایر
۲۶	جدول ۲-۷ کلاسه‌بندی ذخایر با استفاده از معیار شاخص تغییرپذیری نسبی
۲۸	جدول ۲-۸ کلاسه‌بندی منابع با استفاده از شاخص کلاسه‌بندی منابع
۲۹	جدول ۲-۹ کلاسه‌بندی پیشنهادی منابع و ذخایر با استفاده از انحراف معیار درونیابی
۳۰	جدول ۲-۱۰ حدود پیشنهادی ضریب همبستگی برای کلاسه‌بندی منابع و ذخایر معدنی
۳۱	جدول ۲-۱۱ حدود پیشنهادی وزن میانگین برای کلاسه‌بندی منابع و ذخایر معدنی
۴۹	جدول ۴-۱ نتایج حاصل از واریوگرافی داده‌های تصادفی در مدل مصنوعی

- جدول ۴-۲ حدود پیشنهادی امری برای کلاسه‌بندی منابع و ذخایر براساس خطای نسبی تخمین ۵۱
- جدول ۴-۳ حدود آستانه‌ای معیارهای کلاسه‌بندی در مدل مصنوعی ۵۳
- جدول ۴-۴ مقایسه کیفیت کلاسه‌بندی معیارهای کلاسه‌بندی ۵۶
- جدول ۴-۵ ضریب همبستگی و شیب معیارهای کلاسه‌بندی بلوک‌های ۴۰×۴۰ در مقابل بلوک‌های ۲۰×۲۰. ۶۱
- جدول ۵-۱ نتایج واریوگرافی چال‌های آتشفشانی کانسار مس سونگون ۶۸
- جدول ۵-۲ حدود آستانه‌ای معیارهای کلاسه‌بندی کانسار مس سونگون ۶۹
- جدول ۵-۳ نتایج حاصل از واریوگرافی زون لیچینگ کانسار مس سونگون ۷۳
- جدول ۵-۴ نتایج حاصل از واریوگرافی زون سولفیدی کانسار مس سونگون ۷۳
- جدول ۵-۵ نتایج حاصل از واریوگرافی زون هیپوژن کانسار مس سونگون ۷۳
- جدول ۵-۶ نتایج حاصل از اعتبارسنجی زونهای مختلف کانسار مس سونگون ۷۷
- جدول ۵-۷ نتایج حاصل از کلاسه‌بندی هر یک از معیارهای کلاسه‌بندی کانسار مس سونگون ۷۸
- جدول ۵-۸ نتایج حاصل از تخمین و کلاسه‌بندی زون‌های لیچینگ، سولفیدی و هیپوژن کانسار مس سونگون .. ۷۸

فهرست شکل‌ها

- شکل ۲-۱ حدود آستانه‌ای کلاسه‌بندی براساس معیار فاصله واریوگرام ۱۹
- شکل ۲-۲ کلاسه‌بندی بلوک تخمینی براساس معیار فاصله واریوگرام، بلوک در کلاسه اندازه‌گیری شده (الف)، بلوک در کلاسه نشان داده شده (ب)، بلوک در کلاسه استنباطی (ج) ۱۹
- شکل ۳-۱ نحوه دوران بیضی‌گون و زوایای دوران ۳۶
- شکل ۳-۲ تعیین نقاط همسایگی بلوک با استفاده از بیضوی جستجو ۳۷
- شکل ۳-۳ نحوه محاسبه واریانس داخل بلوک ۳۸
- شکل ۳-۴ نحوه محاسبه واریانس نقاط همسایگی بلوک نسبت به هم ۳۹
- شکل ۳-۵ نحوه محاسبه واریانس نقطه نسب به بلوک ۴۰
- شکل ۳-۶ نحوه محاسبه معیار انحراف معیار درونیابی ۴۲
- شکل ۳-۷ نحوه محاسبه معیار شاخص تغییرپذیری نسبی ۴۴

- شکل ۴-۱ شبکه نقطه‌ای شبیه سازی شده ۴۰۰ در ۴۰۰ با استفاده از نرم افزار SGeMS[®] ۴۸..
- شکل ۴-۲ نمونه برداری ۵۰ داده تصادفی معلوم از شبکه شبیه سازی شده ۴۹
- شکل ۴-۳ واریوگرام تجربی و مدل برازش داده شده داده‌های تصادفی مدل مصنوعی ۴۹
- شکل ۴-۴ تعیین حدود آستانه‌ای کلاسه‌بندی با استفاده از بیشترین تعداد بلوک در نواحی مشترک خطای نسبی واقعی تخمین و معیارهای کلاسه‌بندی منابع و ذخایر ۵۲
- شکل ۴-۵ کلاسه‌بندی و تعیین حدود آستانه‌ای معیارهای مختلف: انحراف معیار نسبی کریجینگ (الف)، کارایی بلوک (ب)، انحراف معیار درونیایی (ج)، شاخص کلارک (د) ۵۴
- شکل ۴-۶ کلاسه‌بندی و تعیین حدود آستانه‌ای معیارهای مختلف: شاخص تغییرپذیری نسبی (الف)، ب- شیب رگرسیون (ب)، ضریب همبستگی (ب)، وزن میانگین (د) ۵۵
- شکل ۴-۷ انحراف معیار نسبی کریجینگ (الف)، کارایی بلوک (ب)، انحراف معیار درونیایی (ج) و شاخص کلارک (د) بلوک‌های با اندازه ۴۰×۴۰ در مقابل بلوک‌های ۲۰×۲۰ ۵۹
- شکل ۴-۸ شاخص تغییرپذیری نسبی (الف)، شیب رگرسیون (ب)، ضریب همبستگی (ج) و وزن میانگین (د) بلوک‌های با اندازه ۴۰×۴۰ در مقابل بلوک‌های ۲۰×۲۰ ۶۰
- شکل ۵-۱ مختصات محل قرارگیری: چال‌های آتشیاری (الف) ، گمانه‌های حفاری (ب) ، گمانه‌های حفاری (ج) ۶۶
- شکل ۵-۲ واریوگرام تجربی و مدل برازش یافته داده‌های چال‌های آتشیاری کانسار مس سونگون ۶۸
- شکل ۵-۳ حدود آستانه‌ای معیارهای مختلف: انحراف معیار نسبی کریجینگ (الف) ، کارایی بلوک (ب)، انحراف معیار درونیایی (ج)، شاخص کلارک (د) ۷۰
- شکل ۵-۴ حدود آستانه‌ای معیارهای مختلف: شاخص تغییرپذیری نسبی (الف)، حدود آستانه‌ای شیب رگرسیون (ب)، حدود آستانه‌ای ضریب همبستگی (ج)، حدود آستانه‌ای وزن میانگین (د) ۷۱
- شکل ۵-۵ واریوگرام تجربی و مدل برازش شده کروی در زون لیچینگ، واریوگرافی در راستای: ۴۵ درجه (الف)، ۱۳۵ درجه (ب)، قائم (ج) ۷۴

شکل ۵-۶ واریوگرام تجربی و مدل برازش شده کروی در زون سولفیدی، واریوگرافی در راستای: ۴۵ درجه (الف)،

۱۳۵ درجه (ب)، قائم (ج)..... ۷۵

شکل ۵-۷ واریوگرام تجربی و مدل برازش شده کروی در زون هیپوژن، واریوگرافی در راستای: ۰ درجه (الف)، ۹۰

درجه (ب)، قائم (ج)..... ۷۶

شکل ۵-۸ کلاسه‌بندی نهایی کانسار مس سونگون با استفاده از معیارهای کلاسه‌بندی تعیین شده..... ۷۹

فصل اول

سیستم‌های گزارش نویسی منابع و ذخایر

۱-۱ مقدمه

هدف از این فصل بیان ضرورت استفاده از استانداردهای گزارش‌نویسی منابع و ذخایر معدنی در تهیه گزارش‌های معدنی است. بررسی‌ها و مطالعات اکتشافی انجام شده در ایران وجود منابع و ذخایر معدنی عظیمی را با تنوع بیش از ۶۰ نوع ماده معدنی به اثبات رسانده است. از طرفی، در راستای برنامه‌های توسعه‌ای دولت در بخش معادن کشور نیاز به یک سیستم کلاسه‌بندی یکسان و مورد قبول شرکت‌های معدنی، موسسات مالی، سرمایه‌گذاران و مجامع بین‌المللی است که براساس آن بتوان منابع و ذخایر معدنی را با توجه به عوامل مورد نیاز بازار جهانی کلاسه‌بندی کرد. برای تحقق این امر، شیوه‌های مختلفی توسط متخصصین، انجمن‌های تخصصی و موسسات معدنی در مقیاس‌های ملی و بین‌المللی ارائه شده است. از آنجا که تاکنون در ایران دستورالعمل مدونی در این زمینه وجود نداشته است لذا در گزارش‌های معدنی، از سیستم‌های مختلف و معیارهای گوناگون برای کلاسه‌بندی ذخایر استفاده می‌شود که این امر استفاده از آنها را با مشکل مواجه ساخته است.

حتی در تمامی استانداردهای بین‌المللی گزارش‌نویسی دنیا معیار مشخص و ثابتی برای کلاسه‌بندی منابع و ذخایر معدنی ارائه نشده است و مسئولیت نهایی کلاسه‌بندی را بر عهده شخص صلاحیت‌دار قرار داده‌اند. علت این امر تا حدودی روشن است. هر منبع یا ذخیره معدنی خصوصیات خاص زمین‌شناسی خود را دارد. بنابراین ارائه یک معیار ثابت کلاسه‌بندی که بتوان تمامی منابع و ذخایر معدنی را با حدود مشخصه آن معیار کلاسه‌بندی کرد، امری بعید به نظر می‌رسد [۱]. در این پایان نامه ضمن معرفی معیارهای مهم کلاسه‌بندی منابع و ذخایر معدنی به مقایسه و بررسی هر کدام از معیارهای پرداخته می‌شود. در پایان معیار جدیدی برای تعیین حدود آستانه‌ای کلاسه‌بندی ارائه شده است.

در ادامه به یکی از کلاهبرداری‌های بزرگ تاریخ معدنکاری دنیا پرداخته می‌شود. راه نفوذ کلاهبرداران در این کلاهبرداری معدنی فقدان سیستم استاندارد گزارش‌نویسی منابع و ذخایر معدنی و شخص صلاحیت دار بوده است.

۲-۱ مروری بر کلاهبرداری بر-ایکس^۲

ضرورت دستیابی به اطلاعات صحیح، دقیق و در عین حال شفاف از خصوصیات منابع و ذخایر معدنی، بر کسی پوشیده نیست. این اطلاعات در قالب گزارش‌های معدنی تهیه و در اختیار سرمایه‌گذاران، شرکت‌های تجاری، شرکت‌های معدنی و ... قرار داده می‌شود. کارهای اکتشافی مانند دیگر کارهای صنعتی پس از اتمام هر مرحله از کار اکتشافی نیازمند گزارشی جامع و کامل از کارهای انجام شده و نتایج حاصل از آنها است. در صنعت معدن به دلیل ریسک پذیری بالای کارهای معدنی گزارش‌های معدنی بایستی در یک سطح اعتماد مناسبی تهیه شود. نکته‌ای که در تنظیم گزارش‌های معدنی حائز اهمیت است، توجه به جنبه سرمایه‌گذاری در تهیه گزارش‌های معدنی است. بدیهی است چنانچه گزارش‌های معدنی از دقت و صحت کافی برخوردار نباشد، فضای بی‌اعتمادی بزرگی بین سرمایه‌گذاران و بخش معدن به وجود می‌آید. تاریخ معدنکاری مملو از کلاهبرداری‌های بزرگ و کوچکی است که در نقاط مختلف جهان و طی ادوار مختلف رخ داده است. به طور یقین می‌توان یکی از نقاط نفوذ کلاهبرداران را ضعف گزارش‌نویسی منبع یا ذخیره دانست.

تاثیر چشمگیر کلاهبرداری بر-ایکس در کاهش ارزش معاملات بورس و متعاقب آن، بی‌اعتمادی بزرگ بین سرمایه‌گذاران و بخش صنعت از عواقب این کلاهبرداری بود. به همین دلیل ماجرای

² Bre-X

کلاهبرداری بر-ایکس در اندونزی به عنوان یک رسوایی^۳ در تاریخ معدنکاری دنیا یاد می‌شود. در ادامه به جزئیات ماجرای بر-ایکس و نقش کلیدی این کلاهبرداری در تسریع ایجاد استانداردهای بین‌المللی گزارش‌نویسی و هماهنگ‌سازی کدهای گزارش‌نویسی پرداخته می‌شود.

بر-ایکس یک شرکت کانادایی بود که توسط دیوید والش^۴ در ۱۹۸۹ تاسیس شد. در اواخر ۱۹۹۳ دیوید والش با زمین‌شناسی تماس گرفت، تا در مورد پتانسیل‌های معدنی موجود برای فعالیت‌های معدنی شرکت مشورت کند. زمین‌شناس - جان فلدرهوف^۵ - چندین گزینه را به والش پیشنهاد داد. یکی از پیشنهادات منطقه‌ای به نام بوسانگ^۶ در کالیمانتان^۷ اندونزی بود.

دیوید والش به ذخیره بوسانگ علاقمند شد، و بر-ایکس در ۱ می ۱۹۹۳ آقای فلدرهوف را به عنوان مدیرکل هزینه‌های اکتشافی بر-ایکس در اندونزی انتخاب کرد. مدت کوتاهی بعد از آن، مدیر پروژه که یک زمین‌شناس فیلیپینی (میشل دگیوزمن^۸) بود، منابع بالقوه‌ی زون مرکزی بوسانگ را ۲ میلیون اونس طلا تخمین زد. بعد از اولین تخمین آقای دگیوزمن، و با حفاری زون جنوب شرقی، میزان ذخیره طلا در بوسانگ رو به افزایش رفت، تا این‌که در تخمین نهایی بیش از ۳۰ میلیون اونس طلا در سال برآورد شد. در نتیجه این خبر ارزش سهام شرکت بر-ایکس افزایش یافت. در پایان جولای ۱۹۹۵ ارزش هر سهم در

³ Scandal

⁴ David Walsh

⁵ John Felderhof

⁶ Busang

⁷ Kalimantan

⁸ Michael De Guzman

معاملات تجاری از حدود ۱ دلار ۱۴/۸۷ دلار رسید. در مارس ۱۹۹۷ برخی تحلیل‌ها از امکان وجود ۲۰۰ میلیون اونس طلا در بوسانگ خبر دادند.

همان‌طور که انتظار می‌رفت، بر-ایکس توجه شرکت‌های بزرگ معدنی را جلب کرد و چندین شرکت مایل به سرمایه‌گذاری در این ذخیره بسیار غنی شدند. در ۱۷ فوریه ۱۹۹۷ رسماً بین شرکت فریپورت^۹ و بر-ایکس قراردادی بسته شد. سپس، کارشناسان شرکت فریپورت به سایت مورد نظر رفتند تا حفاری‌های خود را شروع کنند.

در مارس ۱۹۹۷ فریپورت در راستای برنامه‌های اکتشافی خود چندین چاه حفاری در بوسانگ حفر کرد، نتایج این حفاری‌ها مقدار ناچیز طلا را نشان می‌داد. کم‌کم تفاوت‌ها بین نتایج حفاری‌های بر-ایکس و فریپورت آشکارتر شد. چاه‌های حفاری که به فاصله کمتر از ۱/۵ متر توسط دو شرکت حفر شده بودند، نتایج کاملاً متفاوتی را ارائه می‌کردند، به طوری که بر-ایکس ۴/۳۹ گرم طلا در هر تن و فریپورت ۰/۰۱ گرم طلا در هر تن گزارش کرده بودند.

در ۲۶ مارس ۱۹۹۷ فریپورت خبر این تفاوت‌ها را اعلام کرد. بعد از این اتفاقات خرید و فروش سهام شرکت بر-ایکس به طور موقت، متوقف شد. بسیاری بعد از شنیدن وجود تفاوت‌های فیزیکی که امکان آلودگی نمونه‌ها را تأیید می‌کرد، عکس‌العمل شدیدی نشان دادند. تحقیقات نشان می‌دهد حدود ۲۵ هزار یا ۳۰ هزار نمونه در بوسانگ دست‌کاری شده بود، با توجه به اینکه این کار در مدت سه سال و نیم به طول انجامیده بود از نظر طول مدت و میزان در تاریخ معدنکاری دنیا بی‌سابقه بوده است.

^۹ Freeport

هنگامی که خرید و فروش سهام از سر گرفته شد، قیمت هر سهم بر-ایکس از ۱۵/۲۰ دلار به ۲/۵۰ دلار رسید. ۸ میلیون سهم و در حدود ۳ هزار معامله تحت تاثیر این خبر قرار گرفت. بسیاری از سرمایه‌داران با دستپاچگی تلاش زیادی برای فروش سهام خود کردند، در حالی که ارزش کل سهام بر-ایکس قبل از این افشاگری به بیش از ۶ میلیارد دلار رسیده بود، که در اواخر مارس ۱۹۹۷ ارزش این شرکت به ۶۰۰ میلیون دلار تنزل پیدا کرد. با این حال مدیر عامل بر-ایکس، آقای والش ادعا کرد که بررسی‌های مجدد می‌تواند وجود طلا را در بوسانگ تایید کند.

شرکتی به نام استراتکنا^{۱۰}، توسط بر-ایکس به کار گرفته شد تا بعد از شرکت فریپورت کار حفاری را در بوسانگ ادامه دهد این شرکت نیز نتوانست نتایجی مشابه با بر-ایکس به دست آورد. سپس در ۴ می ۱۹۹۷ شرکت استراتکنا مانند فریپورت پس از آزمایش بر روی مغزه‌های حفاری اعلام کرد که عملاً هیچ طلائی وجود ندارد و مغزه‌های حفاری بوسانگ دستکاری شده بوده‌اند. بعد از دو روز از انتشار خبر شرکت استراتکنا، سهام بر-ایکس به ۸۰ سنت در هر سهم نزول کرد و در روزهای بعد به نزول خود ادامه داد تا اینکه شرکت کانادایی بر-ایکس ورشکسته شد [۲].

۳-۱ ایجاد استانداردهای گزارش‌نویسی

سرمایه‌گذاران بیمناک از اینکه سرنوشتی مشابه سرمایه‌گذاران بر-ایکس برایشان اتفاق بیفتد، از سرمایه‌گذاری در شرکت‌های معدنی امتناع کردند. این اتفاق زنگ هشدار برای شرکت‌های بزرگ معدنی در دنیا به حساب می‌آمد. برای جلب اعتماد سرمایه‌گذاران و دولت‌ها در امر سرمایه‌گذاری و جلوگیری از تکرار ماجراهایی مشابه بر-ایکس راه‌حلهای بین‌المللی توسط انجمن‌ها و موسسات بزرگ معدنی دنیا

¹⁰ Strathcona

پیشنهاد شد [۳]. در این جلسات ضرورت ایجاد استانداردها، کدها و دستورالعمل‌های گزارش‌نویسی در منابع، ذخایر معدنی و نتایج اکتشافی به خصوص لزوم نیاز به شخص یا اشخاص صلاحیت‌دار^{۱۱} برای تایید و ضمانت گزارش‌های معدنی و استفاده از تعاریف و استانداردهای مشخص، به طور جدی مورد توجه قرار گرفت. به طوری که در سال ۱۹۹۷ که مصادف با وقوع بر-ایکس بود اولین نشست در راستای هماهنگ ساز کدهای بین‌المللی گزارش‌نویسی دنیا در دنور برگزار شد. در سال ۱۹۹۸ نیز در راستای هماهنگ سازی کدهای گزارش‌نویسی در ژنو جلسه‌ای تشکیل شد [۴].

۱-۳-۱ تاریخچه و تحول سیستم‌های گزارش‌نویسی

همان‌طور که اشاره شد تا سال ۱۹۸۹ میلادی پیشرفت‌های چشمگیری در راستای ایجاد استانداردهای بین‌المللی برای کلاسه‌بندی و گزارش‌نویسی منابع و ذخایر معدنی دیده نشده بود. اولین حرکت مهم در این زمینه در ۱۹۸۹ و با انتشار کد استرالیایی گزارش‌نویسی منابع و ذخایر معدنی (کد JORC^{۱۲}) بود. در ایالات متحده در ۱۹۹۱ انجمن معدن و متالورژی و اکتشاف^{۱۳} (SME) یک راهنما برای گزارش‌نویسی اطلاعات اکتشافی، منابع، و ذخایر منتشر کرد. همچنین در سال ۱۹۹۱ موسسه معدن و متالورژی انگلیس^{۱۴} (IMM)، استانداردهای گزارش‌نویسی منابع و ذخایر معدنی خود را مورد بازبینی و تجدید نظر قرار داد. راهنمای گزارش‌نویسی ایالات متحده و همچنین بازبینی و تجدید نظر استانداردهای گزارش‌نویسی انگلیس هر دو، بر مبنای کد استرالیایی JORC در ۱۹۸۹ بنا شده بود [۵].

¹¹ Competent Person

¹² Joint Ore Reserves Committee

¹³ Society for Mining, Metallurgy, and Exploration

¹⁴ Institution of Mining and Metallurgy

به طور مستقل، از سال ۱۹۹۲، کمیسیون اقتصادی سازمان ملل اروپا^{۱۵} (UN-ECE)، شروع به تهیه دستورالعملی بین‌المللی برای کلاسه‌بندی منابع و ذخایر معدنی و سوخت‌های جامد کرد. این دستورالعمل چهارچوب بین‌المللی سازمان ملل متحد^{۱۶} (UNFC) نام گرفت.

در سال ۱۹۹۴ انجمن موسسه معدن و متالورژی^{۱۷} (CMMI)، با نمایندگانی از معدن و متالورژی استرالیا^{۱۸} (AusIMM)، موسسه معدن، متالورژی و نفت کانادا^{۱۹} (CIM)، موسسه معدن و متالورژی آفریقای جنوبی^{۲۰} (SAIMM) و موسسه معدن و متالورژی انگلیس (IMM)، کار گروهی بین‌المللی برای استانداردسازی تعاریف منابع و ذخایر معدنی تاسیس کردند. این کار گروه اکنون با نام کمیته مرکب استانداردهای بین‌المللی گزارش‌نویسی ذخایر^{۲۱} (CRIRSCO) شناخته شده است [۶].

در سال ۱۹۹۷، جلسه‌ای در دنور^{۲۲} بین کشورهای عضو کار گروه CMMI تشکیل شد که به پیمان دنور مشهور شد. از نتایج مهم و قابل ذکر این جلسه می‌توان به ارائه تعاریفی برای دو کلاسه بزرگ، منابع معدنی و ذخایر معدنی، و زیر شاخه‌های، اندازه‌گیری شده، نشان داده شده و استنباطی برای منابع

¹⁵ United Nations Economic Commission for Europe

¹⁶ United National Framework Classification

¹⁷ Council of Mining and Metallurgical Institutions

¹⁸ Australian Institute of Mining and Metallurgy

¹⁹ Canadian Institute of Mining, Metallurgy & Petroleum

²⁰ South African Institute of Mining and Metallurgy

²¹ Combined Reserves International Reporting Standards Committee

²² Denver

معدنی و زیر شاخه‌های قطعی و احتمالی برای ذخایر معدنی اشاره کرد. در همین سال چارچوب بین‌المللی سازمان ملل متحد منتشر شد.

در راستای هماهنگ سازی سیستم‌های گزارش‌نویسی دنیا، کار گروه CMMI و UNFC در ۱۹۹۸ در ژنو^{۲۳} جلسه‌ای تشکیل دادند و توافق کردند استانداردهای گزارش‌نویسی CMMI را در کلاس‌هایی که با UNFC مشترک است با یکدیگر ادغام کنند [۷].

پیمان دنور و نشست ژنو، که از مهم‌ترین اقدامات در جهت ارائه استانداردهای گزارش‌نویسی و هماهنگ سازی تعاریف کلاس‌ها بود. هماهنگ سازی تعاریف و استانداردهای گزارش‌نویسی ابتدا در ۱۹۹۹ درکد JORC و سپس، در کدهای مشابه چهار کشور دیگر شرکت‌کننده، آفریقای جنوبی، کانادا، ایالات متحده و انگلیس گنجانده شد [۵].

در راستای هماهنگ سازی مابین سیستم‌های گزارش‌نویسی در دنیا، در فوریه ۲۰۰۱، مدیران اوراق بهادار کانادا^{۲۴} (CSA) سند ملی ۴۳-۱۰۱ (NI 43-101) را تحت عنوان "استانداردهای بازگویی پروژه‌های معدنی" منتشر کردند. این استانداردها نیازمند هماهنگ سازی با تعاریف منابع و ذخایر موسسه معدن، متالورژی و نفت کانادا (CIM) و شخص صلاحیت‌دار برای ارزیابی منابع و ذخایر بود [۸].

در سال ۲۰۰۶ کارگروه CMMI رسماً به نام CRIRSCO تغییر نام داد و اولین چهارچوب گزارش‌نویسی را تحت عنوان چهارچوب‌های گزارش‌نویسی CRIRSCO منتشر کرد. تاکنون ابتکار عمل CRIRSCO در جهت هماهنگ سازی سیستم‌ها و کدهای گزارش‌نویسی در دنیا موفقیت آمیز بوده است. این کمیته مرکب به فعالیت‌های خود در جهت استانداردسازی هر چه بیشتر تعاریف بین‌المللی منابع و ذخایر معدنی

²³ Geneva

²⁴ Canadian Securities Administrators

همچنان ادامه می‌دهد [۶]. علاقمندان برای اطلاع از جزئیات بیشتر در مورد استانداردسازی سیستم‌های بین‌المللی منابع و ذخایر معدنی و تاریخچه و تحول این سیستم‌ها می‌توانند به سمینار کارشناسی ارشد اینجانب با موضوع "بررسی استانداردهای بین‌المللی گزارش‌نویسی و معیارهای زمین‌آماري کلاسه‌بندی منابع و ذخایر معدنی" مراجعه نمایند.

۱-۳-۲ کلاسه‌بندی متداول ذخایر معدنی در ایران

از آنجا که اولین معادن بزرگ ایران (از قبیل معادن زغال سنگ و آهن) توسط کارشناسان روسی اکتشاف شده‌اند، لذا تقسیم بندی ذخایر براساس کلاسه‌بندی روسی در ایران رواج بسیار دارد. به این ترتیب ذخایر به گروه‌های زیر تقسیم می‌شوند:

۱- ذخایر قطعی یا ذخایر گروه A

۲- ذخایر احتمالی یا ذخایر گروه B

۳- ذخایر ممکن یا ذخایر گروه C

به دنبال فعال شدن معدنکاری مس در ایران و فعالیت شرکت‌های اروپایی در سال‌های اخیر، کلاسه‌بندی بر مبنای سیستم JORC بنا شده نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد.

امروزه اکثر شرکت‌های مشاور زمین‌شناسی و معدنی به علت جامع و کاربردی بودن این سیستم از سیستم گزارش‌نویسی JORC استفاده می‌کنند.

از به کارگیری تقسیم بندی UNFC در مورد ذخایر ایران گزارش خاصی در دسترس نیست. هر چند که مراحل چهارگانه این تقسیم بندی در برخی از موسسات داخلی نظیر سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی ایران و شرکت تهیه و تولید مواد معدنی ایران مورد استفاده قرار گرفته است [۱۸].

۳-۳-۱ اشکالات سیستم کلاسه‌بندی در ایران

همان‌طور که اشاره شده سیستم کلاسه‌بندی روسی و اخیراً سیستم JORC در کلاسه‌بندی منابع و ذخایر معدنی در ایران استفاده می‌شود. استفاده از این سیستم‌های کلاسه‌بندی خالی از اشکال نیست. در ادامه به نقاط ضعف این سیستم‌های کلاسه‌بندی مورد استفاده در ایران اشاره می‌شود.

- سیستم روسی جامعیت ندارد و کاربرد آن برای تیپ‌های کانساری مختلف محدود است.
- علی‌غم هماهنگ سازی‌های صورت گرفته در تعاریف و کلاسه‌های سیستم روسی با سیستم‌های متداول کلاسه‌بندی بین‌المللی، سیستم کلاسه‌بندی روسی در مجامع بین‌المللی اعتبار لازم را ندارد.
- با وجود جامعیت و اعتبار بین‌المللی سیستم کلاسه‌بندی JORC، این سیستم کلاسه‌بندی معیار کمی مشخص و ثابتی برای کلاسه‌بندی منابع و ذخایر معدنی ارائه نکرده است و مسئولیت نهایی کلاسه‌بندی را بر عهده شخص صلاحیت دار گذاشته است [۱۸].

۴-۱ بیان اهداف و ضرورت انجام تحقیق

شاید بتوان نقطه ضعف مشترک تمامی کدهای بین‌المللی دنیا را در نداشتن معیار و روش کمی مشخص برای کلاسه‌بندی منابع و ذخایر دانست. البته این نقطه ضعف تا حدودی توجیه پذیر است. هر منبع و یا ذخیره معدنی خصوصیات زمین‌شناسی مشخص خود را دارد. بنابراین ارائه معیار کمی و به خصوص حدود آستانه‌ای معینی که با استفاده از آن بتوان منابع و ذخایر معدنی مختلف را کلاسه‌بندی کرد، بعید به نظر می‌رسد. به همین دلیل سیستم‌های بزرگ کلاسه‌بندی بین‌المللی مسئولیت نهایی کلاسه‌بندی منابع و ذخایر را بر عهده شخص صلاحیت دار قرار دادند. مساله اینجاست که استفاده

دلخواهانه شخص صلاحیت دار از معیارهای کلاسه‌بندی و در نتیجه قضاوت‌های شخصی دلخواهانه می‌تواند منجر به نتایج دور از واقعیت در کلاسه‌بندی منابع و ذخایر شود. به همین دلیل ضروریست ابتدا معیارهای کلاسه‌بندی منابع و ذخایر دنیا مشخص شود. سپس نقاط ضعف و قوت هر کدام از این معیارها تعیین شود و در نهایت یک یا چند معیار که از عملکرد بهتری در کلاسه‌بندی برخوردارند تعیین شود. تعیین حدود آستانه‌ای کلاسه‌های منبع یا ذخیره مورد بررسی مساله بسیار مهمی است که باید با توجه منبع یا ذخیره مشابه، که قبلا در آن حدود آستانه‌ای کلاسه‌ها مشخص شده و مورد آزمایی قرار گرفته است، انجام شود.

به طور اهداف اصلی انجام این پایان‌نامه را می‌توان در موارد زیر خلاصه کرد:

- ۱- بیان اهمیت و ضرورت استفاده از یک سیستم استاندارد گزارش‌نویسی منابع و ذخایر معدنی
- ۲- معرفی و مقایسه معیارهای کلاسه‌بندی منابع و ذخایر معدنی
- ۳- مقایسه کیفیت کلاسه‌بندی معیارهای زمین آماری کلاسه‌بندی در یک مدل مصنوعی
- ۴- تعیین یک معیار برای مشخص نمودن حدود آستانه‌ای کلاسه‌بندی معیارهای زمین آماری
- ۵- بررسی موردی کلاسه‌بندی در یک کانسار با استفاده از معیارهای زمین آماری

در پایان هر مرحله از کارهای معدنی، گزارش جامعی از کارهای انجام شده و نتایج آن تهیه می‌شود. گزارش معدنی ممکن است مورد استفاده گروه‌های مختلفی مانند سرمایه‌گذاران، شرکت‌های تجاری، بانک‌ها، شرکت‌های معدنی و ... قرار گیرد. به منظور جلب اعتماد گروه‌های مختلف استفاده کننده از گزارش‌های معدنی، ضروریست گزارش‌های معدنی در یک سطح اعتماد نسبتا بالا تهیه شود. هم چنین با جهانی شدن صنعت معدن داشتن زبانی مشترک برای تهیه گزارش‌های معدنی ضروری است. استفاده از چارچوبی که حداقل استانداردهای تهیه گزارش معدنی را معرفی کند تحت عنوان استانداردهای

گزارش‌نویسی منابع و ذخایر معدنی ارائه شده است. جنبه‌های مهمی از جمله جنبه مادی، صلاحیت و شفافیت در تهیه استانداردهای گزارش‌نویسی مورد تاکید جدی قرار گرفته است. استانداردهای گزارش‌نویسی لزوم وجود شخص صلاحیت دار برای تهیه گزارش معدنی را ضروری دانسته است و مسئولیت نهایی تهیه و تایید گزارش معدنی را بر عهده شخص صلاحیت دار قرار داده است.

گزارش معدنی در مراحل پایانی اکتشاف شامل تخمین و کلاسه‌بندی منبع و یا ذخیره معدنی است. تقریباً تمامی استانداردهای گزارش‌نویسی روش‌های زمین آماری را روش‌های قدرتمندی برای تخمین ذخیره معرفی کرده‌اند ولی از روش کلاسه‌بندی منبع و یا ذخیره حرفی به میان نیاورده‌اند. استانداردهای گزارش‌نویسی با توجه به ویژگی‌های منحرف‌فرد هر منبع و یا ذخیره معدنی روش کلاسه‌بندی را بر عهده شخص صلاحیت دار قرار داده‌اند. بنابراین شخص صلاحیت دار با استفاده از یک استاندارد گزارش‌نویسی و یک معیار مناسب مسئولیت کلاسه‌بندی منبع و یا ذخیره معدنی را بر عهده دارد. معیارهای مختلفی تاکنون جهت کلاسه‌بندی منابع و ذخایر معدنی ارائه شده است. بسیاری از این معیارهای کیفی بوده و بیشتر دستخوش قضاوت‌های شخصی شخص صلاحیت دار می‌شود. در مقابل معیارهای کمی که بیشتر آنها بر مبنای زمین آمار بنا شده‌اند وجود دارند. معیارهای کمی پارامترهای مختلف منبع و ذخیره را برای کلاسه‌بندی منبع و ذخیره معدنی در نظر می‌گیرند بنابراین کمتر دستخوش قضاوت‌های شخصی دلخواهانه شخص صلاحیت دار می‌شوند. بنابر این ضروریست معیارهای مناسب کلاسه‌بندی منابع و ذخایر معدنی مشخص شود. در این پایان نامه تمامی معیارهای موجود کلاسه‌بندی منابع و ذخایر معدنی معرفی و مقایسه شده‌اند. همچنین کیفیت کلاسه‌بندی هرکدام از معیارهای کلاسه‌بندی در یک مدل مصنوعی مورد راست آزمایی قرار گرفته است.

فصل دوم

معرفی و مقایسه معیارهای کلاس بندی

۲-۱ مقدمه

هدف از این فصل معرفی و مقایسه معیارهای کیفی و کمی کلاسه‌بندی منابع و ذخایر معدنی است. معیارهای کلاسه‌بندی منابع و ذخایر معدنی قسمت جدایی‌ناپذیری از گزارش‌نویسی منابع و ذخایر معدنی هستند. در واقع معیارها ابزارهای کیفی و یا کمی کلاسه‌بندی هستند. در مراحل انتهایی کار اکتشافی گزارش‌نویسی ذخایر معدنی شامل تخمین و در نهایت کلاسه‌بندی منبع و یا ذخیره معدنی می‌شود. یعنی گزارشی جامع که شامل اطلاعات کاملی از خصوصیات ماده معدنی از جمله کیفیت و کمیت ماده معدنی باشد. هیچکدام از استانداردهای بین‌المللی گزارش‌نویسی علی‌رغم ایجاد یک چارچوب استاندارد و مشخص، معیار و یا معیارهای ثابتی برای کلاسه‌بندی منابع و ذخایر ارائه نکرده‌اند. در نتیجه در بیشتر گزارش‌های معدنی، بیان اینکه از کدام معیار برای کلاسه‌بندی منبع استفاده شده است دیده نمی‌شود. دلیل این امر تا حدودی روشن است، هر ذخیره معدنی خصوصیات زمین‌شناسی خاص خود را داراست و باید با توجه به معیاری که برای کلاسه‌بندی آن نوع ذخیره کارایی دارد کلاسه‌بندی شود. از طرفی معمولاً مهندسان برای کلاسه‌بندی منابع و ذخایر از معیاری استفاده می‌کنند که حداًامکان ساده بوده و یا اینکه قبلاً از آن معیار استفاده کرده باشند [۱]. به طور کلی دو نوع معیار برای کلاسه‌بندی منابع و ذخایر مورد استفاده قرار می‌گیرد، معیارهای کیفی و کمی. معیارهای کیفی بیشتر دستخوش قضاوت‌های شخصی، شخص یا اشخاص صلاحیت‌دار می‌شود و ممکن است منبع و یا ذخیره‌ای به اشتباه در کلاسه‌ای غیر واقعی کلاسه‌بندی شود. معیارهای کمی کلاسه‌بندی بر مبنای زمین‌آمار بنا شده‌اند و فضای کمتری برای قضاوت‌های شخصی در آن نسبت به معیارهای کیفی وجود دارد. در این فصل به بررسی و مقایسه معیارهای کلاسه‌بندی منابع و ذخایر منابع پرداخته شده است [۹].

۲-۲ معیارهای کلاسه‌بندی منابع و ذخایر معدنی

۱-۲-۲ معیار کیفی چگالی شبکه حفاری

در بین معیارهای کیفی کلاسه‌بندی منابع و ذخایر معدنی تنها به بررسی معیار چگالی شبکه حفاری که از کاربرد بیشتری نسبت به دیگر معیارهای کیفی کلاسه‌بندی برخوردار است، پرداخته می‌شود. معیار چگالی شبکه حفاری، معیاری پرکاربرد در روش کلاسه‌بندی کیفی منابع و ذخایر معدنی به شمار می‌رود. این معیار تنها از فواصل شبکه حفاری برای کلاسه‌بندی منابع و ذخایر بهره می‌گیرد. در واقع حدود کلاسه‌بندی منابع و ذخایر برای معیار چگالی شبکه حفاری با توجه به نوع ذخیره انتخاب می‌شود و به شدت به نوع ذخیره وابسته است. کلاسه‌های مختلف اندازه‌گیری شده^۱، نشان داده شده^۲ و استنباطی^۳ را می‌توان برای این معیار کیفی و با توجه به فواصل شبکه حفاری برای منابع معدنی در نظر گرفت. در جدول ۱-۲ لیست برخی مثال‌های عملی از معادن مختلف و تیپ‌های مختلف ذخیره برای کلاسه‌بندی با استفاده از معیار چگالی شبکه حفاری آورده شده است [۹].

¹ Measured

² Indicated

³ Inferred

جدول ۱-۲ مثال‌هایی عملی از کلاسه‌بندی منابع بر مبنای چگالی شبکه حفاری

ابعاد شبکه حفاری برای کلاسه‌های مختلف منابع (متر)			نوع ذخیره
منبع استنباطی	منبع نشان داده شده	منبع اندازه‌گیری شده	
۵۰۰ در ۵۰۰	۳۵۰ در ۳۵۰	۲۵۰ در ۲۵۰	ذخایر زغال ویتبانک آفریقای جنوبی
۱۰۰ در ۱۰۰	۵۰ در ۵۰	۲۵ در ۲۵	ذخایر طلای غرب استرالیا
۲۰۰-۱۰۰ در ۲۰۰-۱۰۰	۵۰ در ۵۰	۲۵ در ۲۵	ذخایر نیکل لاتریتی تیپیک
پیوستگی زمین‌شناسی	۸۰ در ۴۰۰	۴۰ در ۲۰۰	ذخایر کانی سنگین غرب استرالیا

معیار چگالی شبکه حفاری به دلیل اینکه تنها نوع کانسار را ملاکی برای تعیین حدود کلاسه‌بندی قرار می‌دهد معیار مناسبی نیست. پارامترهای موثری مانند شبکه داده، ساختار فضایی داده‌ها، هندسه هدف، ناهمسانگردی و تغییرات محلی برای تعیین کلاسه مناسب منابع معدنی پارامترهای اثرگذاری هستند که معیار چگالی شبکه حفاری تنها از یک پارامتر یعنی شبکه داده برای کلاسه‌بندی استفاده می‌کند. بنابراین نمی‌توان این معیار کیفی را معیار مناسبی برای کلاسه‌بندی منابع و ذخایر معدنی معرفی کرد.

۲-۲-۲ معیارهای کمی کلاسه‌بندی منابع و ذخایر معدنی

همانطور که اشاره شد معیارهای کیفی به دلیل اینکه از تعداد کمی پارامتر برای کلاسه‌بندی استفاده می‌کنند، نمی‌تواند به تنهایی معیارهای قدرتمندی برای کلاسه‌بندی منابع و ذخایر معدنی به شمار رود. در مقابل معیارهای کمی کلاسه‌بندی منابع و ذخایر که بر مبنای زمین آمار شکل گرفته است تا حدودی زیادی این مشکل را رفع کرده است. معیارهای کمی بر مبنای زمین آمار از تعداد کافی پارامتر برای کلاسه‌بندی منابع و ذخایر استفاده می‌کند. در واقع معیارهای کمی کلاسه‌بندی ابزارهای قدرتمند و

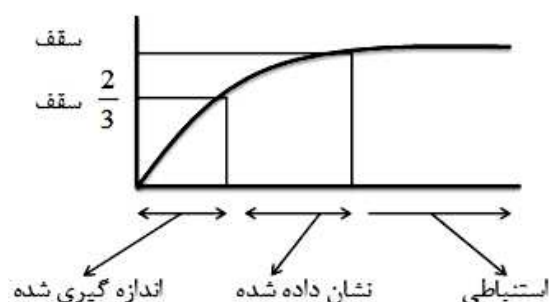
موثری برای کلاسه‌بندی منابع و ذخایر بدست می‌دهند که براساس دقت تخمین منابع و ذخایر را کلاسه‌بندی می‌کند.

معیارهای کمی کلاسه‌بندی شامل معیار فاصله واریوگرام، انحراف معیار نسبی کریجینگ، شاخص تغییرپذیری منابع، کارایی بلوک، شاخص کلارک، شیب رگرسیون خطی، ضریب همبستگی، وزن میانگین و انحراف معیار درونیایی می‌شود [۹] و [۱۰]. در ادامه به شرح هر کدام از این معیارها و بررسی نقاط ضعف و قوت آنها پرداخته می‌شود.

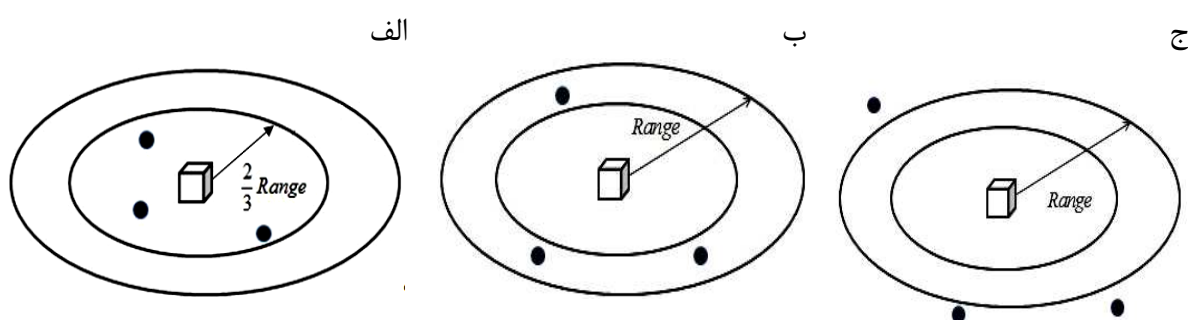
۲-۲-۱-۲ فاصله واریوگرام^۴

به طور معمول دو روش برای کلاسه‌بندی با استفاده از واریوگرام وجود دارد. در این روش‌ها کلاسه‌ها بر مبنای تقسیم‌بندی‌های قضاوتی از دامنه واریوگرام انتخاب می‌شوند. اولین روش بر اساس دامنه واریوگرام است. به عنوان مثال تمام بلوک‌های تخمین زده شده با نمونه‌های داخل دامنه تاثیر واریوگرام در کلاسه اندازه‌گیری شده و تمام بلوک‌های تخمینی با نمونه‌های خارج از دامنه تاثیر واریوگرام در کلاسه نشان‌داده شده قرار می‌گیرند. روش دوم کلاسه‌بندی با استفاده از فاصله دو-سوم سقف واریوگرام است. به عنوان مثال، تمام بلوک‌های تخمین زده شده با نمونه‌های داخل دو-سوم دامنه تاثیر واریوگرام در کلاسه اندازه‌گیری شده و تمام بلوک‌های تخمینی با نمونه‌های خارج از دو-سوم دامنه تاثیر واریوگرام در کلاسه نشان‌داده شده قرار می‌گیرند. همچنین تمام بلوک‌های تخمینی با استفاده از نمونه‌های خارج از دامنه تاثیر واریوگرام در کلاسه استنباطی قرار می‌گیرند. شکل ۱-۲ کلاسه‌بندی با استفاده از معیار فاصله واریوگرام نشان می‌دهد [۹].

⁴ Variogram Distance



شکل ۱-۲ حدود آستانه‌های کلاسه‌بندی براساس معیار فاصله واریوگرام



شکل ۲-۲ کلاسه‌بندی بلوک تخمینی براساس معیار فاصله واریوگرام، بلوک در کلاسه اندازه‌گیری شده (الف)، بلوک در کلاسه نشان داده شده (ب)، بلوک در کلاسه استنباطی (ج)

۲-۲-۲-۲ انحراف معیار نسبی کریجینگ^۵

واریانس کریجینگ حاصل از تخمین منابع و ذخایر می‌تواند معیاری قدرتمند برای کلاسه‌بندی باشد. واریانس کریجینگ در بیشتر معیارهای کمی کلاسه‌بندی منابع و ذخایر به عنوان ابزاری برای کلاسه‌بندی بکار رفته است. بسیاری از معیارها از جمله انحراف معیار نسبی کریجینگ، شاخص تغییرپذیری منابع، شاخص کلارک و شیب رگرسیون همگی به طور مستقیم و یا غیر مستقیم از واریانس

⁵ Relative Kriging Standard Deviation

کریجینگ حاصل از تخمین منابع برای کلاسه‌بندی استفاده می‌کنند. در این بین معیار انحراف معیار نسبی کریجینگ که دیل و دیوید^۶ در ۱۹۸۲، ولمر^۷ در ۱۹۸۳ و بلکول^۸ در ۱۹۹۸ معرفی کرده‌اند مستقیماً از واریانس کریجینگ برای کلاسه‌بندی استفاده می‌کنند. فرمول ۱-۲ معیار انحراف معیار نسبی کریجینگ را نشان می‌دهد [۱۱] و [۱۲].

$$RKSD = \frac{\sigma_{OK}}{Z^*(x_0)} \quad 1-2$$

که در این روابط $RKSD$ انحراف معیار نسبی کرگینگ، σ_{OK} انحراف معیار کریجینگ، $Z^*(x_0)$ عیار تخمینی است.

واریانس کریجینگ مستقیماً از مقدار محلی داده‌ها برای تخمین بلوک استفاده نمی‌کند و تنها ارتباط واریانس کریجینگ و مقدار داده‌ها از طریق واریوگرام است. به همین دلیل واریانس کریجینگ در بازتاب تغییرات محلی معیار قدرتمندی به شمار نمی‌رود. با وجود اینکه واریانس کریجینگ همواره به عنوان روشی خوب برای ارزیابی ساختار فضایی بکار رفته و تقریباً تمامی پارامترهای تخمین را در نظر می‌گیرد، ولی همچنان در بیان تغییرات محلی ناموفق است [۱۳].

در جدول ۲-۲ حدود پیشنهادی دیل و دیوید و ولمر برای کلاسه‌بندی منابع و ذخایر نشان داده شده است [۹].

⁶ Diel and David

⁷ Welmer

⁸ Blackwell

جدول ۲-۲ حدود پیشنهادی دیل، دیوید و ولمر برای کلاسه‌بندی منابع و ذخایر

منبع استنباطی (%)	منبع نشان داده شده (%)	منبع اندازه‌گیری شده		معیار	نویسنده
		احتمالی (%)	قطعی (%)		
±۶۰	±۴۰	±۲۰	±۱۰	خطا	دیل و دیوید (۱۹۸۲)
۲۰-۴۰	۴۰-۶۰	۶۰-۸۰	>۸۰	حدود اطمینان	
±۵۰	±۴۰	±۲۰	±۱۰	خطا	ولمر (۱۹۸۳)
۹۰	۹۰	۹۰	۹۰	حدود اطمینان	

حدود پیشنهادی بلکول برای کلاسه‌بندی منابع و ذخایر طبق جدول ۲-۳ است [۱۲].

جدول ۳-۲ حدود پیشنهادی بلکول برای کلاسه‌بندی منابع و ذخایر

منبع استنباطی	منبع نشان داده شده	منبع اندازه‌گیری شده	معیار	نویسنده
بزرگتر از ۰/۵	بین ۰/۳ تا ۱/۵	کوچک‌تر از ۱/۳	خطا	بلکول (۱۹۹۸)

۳-۲-۲-۲ معیار کارایی بلوک^۹

کریگ^{۱۰} در سال ۱۹۹۶ معیاری را به نام کارایی بلوک برای کارایی تخمین بلوک و کلاسه‌بندی منابع و ذخایر معدنی معرفی کرد. معیار کارایی بلوک براساس واریانس کریجینگ و واریانس بین بلوکی بنا شده است. رابطه ۲-۲ معیار کارایی بلوک کریگ را نشان می‌دهد [۱۴].

$$Block\ Efficiency = \frac{BV - KV}{BV} \quad ۲-۲$$

در این رابطه BV واریانس بین بلوکی و KV واریانس کریجینگ است.

^۹ Block Efficiency

^{۱۰} Krige

جدول ۲-۴ کلاسه‌بندی پیشنهادی منابع و ذخایر را بر اساس کارایی بلوک نشان می‌دهد [۹].

جدول ۲-۴ حدود پیشنهادی کلاسه‌بندی منابع و ذخایر را بر اساس کارایی بلوک

منبع استنباطی	منبع نشان داده شده	منبع اندازه‌گیری شده	معیار	نویسنده
$0/3 >$	بین $0/3$ تا $1/5$	$0/5 <$	کارایی بلوک	کریگ (۱۹۹۶)

هنگامی که واریانس کریجینگ از واریانس بین بلوکی بیشتر شود کارایی بلوک منفی می‌شود که در این صورت تخمین کاملاً بی‌ارزش است و معیار کارایی بلوک هیچ کلاسه‌ای را به بلوک‌های با کارایی بلوک منفی نسبت نمی‌دهد [۱۴].

۲-۲-۲-۴ شاخص کلارک^{۱۱}

ایزابیل کلارک^{۱۲} معیاری را تحت عنوان شاخص کلارک براساس تفاضل واریانس کل مقادیر از واریانس داخل بلوک برای کلاسه‌بندی منابع و ذخایر معدنی معرفی کرد. این معیار به بلوک‌هایی که واریانس کریجینگ آنها بیشتر از تفاضل واریانس کل از واریانس داخل بلوک است اجازه نمی‌دهد در کلاسه اندازه‌گیری شده قرار بگیرند. به همین صورت برای بلوک‌های که واریانس کریجینگ آنها از تفاضل واریانس کل از واریانس داخل بلوک هستند و تخمین بلوک با استفاده از نمونه‌های داخل دامنه واریوگرام صورت گیرد کلاسه نشان داده شده را نسبت می‌دهد و در نهایت اگر واریانس کریجینگ بزرگتر از تفاضل

¹¹ Clark Index

¹² Isobel Clark

واریانس کل از واریانس داخل بلوک بوده و تخمین با استفاده از نمونه‌های خارج از دامنه واریوگرام ولی در محدود زمین شناسی کانسار انجام پذیرد، کلاسه استنباطی را نسبت می‌دهد. جدول ۲-۵ به طور خلاصه کلاسه‌بندی با استفاده از شاخص کلارک را نشان می‌دهد [۹].

جدول ۲-۵ کلاسه‌بندی منابع و ذخایر با استفاده از شاخص کلارک

(واریانس داخل بلوک - واریانس نمونه) < واریانس کریجینگ	منبع اندازه‌گیری شده	شاخص کلارک
(واریانس داخل بلوک - واریانس نمونه) > واریانس کریجینگ	منبع نشان داده شده	
اما تخمین با استفاده از نمونه‌های داخل دامنه واریوگرام	منبع استنباطی	
تخمین با استفاده از نمونه‌های خارج از دامنه واریوگرام اما در داخل محدوده زمین‌شناسی کانی‌سازی شده		

ذکر این نکته ضروریست در معیار کلارک ممکن است در کلاسه‌های نشان داده شده و استنباطی با شاخص کلارک منفی مواجه شویم.

۲-۲-۲-۵ شیب رگرسیون خطی^{۱۳}

این معیار که توسط سینکلر^{۱۴} ارائه شده است یک آزمایش نظری است که در سایه خطی فرض کردن شیب مقادیر واقعی نسبت به مقادیر تخمینی بنا شده است و برای ارزیابی کیفیت تخمین بکار می‌رود. هنگامی که مقادیر تخمینی دقیقاً با مقادیر واقعی برابر باشند به طور ایده‌آل شیب رگرسیون

¹³ Liner Regression Slope

¹⁴ Sinclair

مقادیر واقعی بلوک (Z_v) بر حسب مقادیر تخمینی (Z_v^*) خطی و برابر یک است. رابطه ۲-۳ شیب رگرسیون خطی را نشان می‌دهد [۱۵].

$$p = \frac{\sigma^2 - \sigma_k^2 - \mu}{\sigma^2 - \sigma_k^2 - 2\mu} \quad 3-2$$

در روابط فوق σ^2 واریانس کل، σ_k^2 واریانس خطای تخمین کریجینگ، و μ ضریب لاگرانژ در کریجینگ عادی است. حدود پیشنهادی شیب رگرسیون برای کلاسه‌بندی منابع و ذخایر طبق جدول ۲-۶ است [۹].

جدول ۲-۶ حدود پیشنهادی شیب رگرسیون برای کلاسه‌بندی منابع و ذخایر

منبع استنباطی	منبع نشان‌داده شده	منبع اندازه‌گیری شده	معیار	نویسنده
کوچک‌تر از ۱/۸۵	بین ۰/۱۸۵ تا ۰/۹۵	بزرگتر از ۱/۹۵	شیب رگرسیون	سینکلر

۲-۲-۲-۶ شاخص تغییرپذیری نسبی^{۱۵} (RVI)

می‌دانیم محاسبه واریانس کریجینگ برای تخمین نقطه‌ای یا بلوکی ذاتا مستقل از مقدار عددی داده‌هاست. به همین دلیل واریانس کریجینگ همیشه نمی‌تواند بازتاب دقیقی از تغییرات محلی باشد. در واقع واریانس کریجینگ به طور مستقیم به محاسبه عدم قطعیت نمی‌پردازد و تنها به عنوان یک واسطه جهت یافتن اوزان بهینه بکار می‌رود. اریک^{۱۶} (۱۹۹۶) روشی برای اندازه‌گیری عدم قطعیت در تخمین ارائه

¹⁵ Relative Variability Index

¹⁶ Arik

کرد که بر مبنای محاسبه واریانس ترکیبی^{۱۷} بنا شده بود. این واریانس، ترکیبی از واریانس کریجینگ و واریانس میانگین وزن دار عیار بلوک است. واریانس ترکیبی طبق رابطه ۴-۲ محاسبه می‌شود [۱۶].

$$\sigma_w^2 = \sum_1^n w_i^2 * [Z^*(V) - Z_i]^2 \quad (n > 1) \quad 4-2$$

n تعداد نمونه استفاده شده برای تخمین، و w_i وزن اختصاص داده شده به هر داده، $Z^*(V)$ عیار تخمینی بلوک و Z_i مقدار عیار متناظر با هر داده است.

واریانس ترکیبی از رابطه ۵-۲ محاسبه می‌شود.

$$\sigma_{cv}^2 = \sqrt{(\sigma_k^2 * \sigma_w^2)} \quad 5-2$$

به طوری که σ_k^2 واریانس کریجینگ تخمین بلوک و σ_w^2 واریانس میانگین وزن دار عیار بلوک است.

برای کلاسه‌بندی ذخایر معدنی به بخش‌های قطعی، احتمالی و ممکن از عبارت شاخص تغییرپذیری نسبی طبق رابطه ۶-۲ استفاده می‌شود.

$$RVI = \frac{\sigma_{cv}}{m_k} \quad (m_k > 0) \quad 6-2$$

به طوری که σ_{cv} ریشه دوم واریانس ترکیبی و m_k عیار بلوک تخمینی با استفاده از تخمین کریجینگ بدست آمده است.

¹⁷ Combined Variance

اریک برای تعیین حدود کلاسه‌بندی خود از مقدار میانه هیستوگرام شاخص تغییرپذیری نسبی و دو برابر میانه هیستوگرام شاخص تغییرپذیری نسبی استفاده کرد. کلاسه‌بندی ذخایر با استفاده از معیار شاخص تغییرپذیری نسبی در جدول ۷-۲ آورده شده است [۱۶].

جدول ۷-۲ کلاسه‌بندی ذخایر با استفاده از معیار شاخص تغییرپذیری نسبی

مقدار شاخص تغییرپذیری برای هر بلوک کوچکتر و یا مساوی میانه شاخص تغییرپذیری است	ذخیره قطعی	شاخص تغییرپذیری نسبی
مقدار شاخص تغییرپذیری برای هر بلوک بزرگتر از میانه و کوچکتر از دو برابر مقدار میانه شاخص تغییرپذیری است.	ذخیره احتمالی	
مقدار شاخص تغییرپذیری برای هر بلوک بزرگتر و یا مساوی با دو برابر مقدار میانه شاخص تغییرپذیری است.	ذخیره ممکن	

اریک در سال ۲۰۰۲ معیار دیگری را بنام شاخص کلاسه‌بندی منابع^{۱۸} (RCI) که مشابه معیار شاخص تغییرپذیری نسبی او بود، ارائه کرد. در معیار جدید اریک، گزینه‌های بیشتری برای کلاسه‌بندی ذخایر معدنی در نظر گرفته شده است و به نوعی معیار اول او تکمیل گردید.

کلاسه‌بندی منابع به کلاسه‌های اندازه‌گیری شده، نشان داده شده و استنباطی با استفاده از شاخص کلاسه‌بندی منابع طبق رابطه ۷-۲ پیشنهاد شده است [۱].

$$RCI = \sqrt{(\sigma_{CV}/m_k)} * C \quad 7-2$$

به طوری که σ_{CV} ریشه دوم واریانس ترکیبی، m_k عیار بلوک تخمینی توسط کریجینگ و C فاکتور کالیبراسیون است.

¹⁸ Resource Classification Index

فاکتور کالیبراسیون بستگی به این دارد که چه پارامترهایی در محاسبه شاخص کلاسه‌بندی منابع دخیل می‌شود. ترکیب این فاکتور اختیاری است و دیگر عوامل در صورتیکه مناسب باشد، می‌توانند به آن اضافه شوند. فاکتور کالیبراسیون پیشنهادی اریک طبق رابطه ۸-۲ است.

$$C = \exp^d / (\exp^n * \exp^q * \exp^t) \quad 8-2$$

بالانویس‌ها در عبارت فوق عبارتند از:

d = نسبت فاصله نزدیک‌ترین نمونه از مرکز بلوک به فاصله‌ای که برای مشخص کردن کلاسه‌های نشان داده شده/استنباطی، یا اندازه‌گیری شده/نشان داده استفاده می‌شود.

n = نسبت تعداد کامپوزیت‌های استفاده شده برای تخمین بلوک به تعداد کل کامپوزیت‌های قرار گرفته شده در دامنه تاثیر واریوگرام.

q = نسبت تعداد متوسط نقاط در هر ربع یا برش هشت قسمتی در تخمین بلوک به ۴ یا هشت.

t = نسبت تعداد گمانه حفاری الماسه استفاده شده برای تخمین بلوک به تعداد کامپوزیت‌های استفاده شده برای تخمین بلوک (فرض بر این است اگر از انواع دیگر حفاری استفاده شود مشکل کیفیت داده بوجود می‌آید).

حدود کلاسه‌بندی پیشنهادی شاخص کلاسه‌بندی منابع طبق جدول ۸-۲ می‌باشد [۱].

جدول ۲-۸ کلاسه‌بندی منابع با استفاده از شاخص کلاسه‌بندی منابع

مقدار شاخص تغییرپذیری برای هر بلوک کوچک‌تر و یا مساوی ۵۰ درصد	اندازه‌گیری شده	شاخص کلاسه‌بندی منابع
مقدار شاخص تغییرپذیری برای هر بلوک بزرگتر ۵۰ درصد و کوچک‌تر ۹۵ درصد	نشان داده شده	
مقدار شاخص تغییرپذیری برای هر بلوک بزرگتر ۹۵ درصد	استنباطی	

۲-۲-۲-۷ انحراف معیار درونیابی^{۱۹}

یاماموتو^{۲۰} در سال ۱۹۹۹ پیشنهاد داد از عبارتی که او آن را واریانس درونیابی^{۲۱} نامید برای محاسبه سطح اعتماد محلی بلوک و در نهایت برای کلاسه‌بندی منابع و ذخایر استفاده شود. معیار یاماموتو مشابه معیار اریک بود با این تفاوت که اریک از توان دوم اوزان کریجینگ استفاده کرده بود ولی یاماموتو از توان اول اوزان کریجینگ برای محاسبه واریانس کریجینگ استفاده کرد. معیار پیشنهادی یاماموتو مانند معیار اریک مستقیماً از مقدار محلی داده‌ها برای محاسبه واریانس درونیابی استفاده می‌کند بنابر این معیار نسبتاً قدرتمندی در اندازه‌گیری عدم قطعیت محلی به شمار می‌رود. یاماموتو ابتدا روابطی برای محاسبه انحراف معیار درونیابی در تخمین نقطه‌ای ارائه کرد و سپس آن را برای تخمین بلوک تعمیم داد. شایان ذکر است اگر چه معیار انحراف معیار درونیابی تقریباً تمامی پارامترهای موثر در تخمین و محاسبه عدم قطعیت تخمین را در نظر می‌گیرد از لحاظ حجم محاسبات یکی از پیچیده‌ترین معیارها به شمار می‌رود [۱۳].

رابطه ۲-۹ و ۲-۱۰ به ترتیب واریانس درونیابی در تخمین نقطه‌ای و بلوکی را نشان می‌دهد.

¹⁹ Interpolation Standard Deviation

²⁰ Yamamoto

²¹ Interpolation Variance

$$s_o^2 = \sum_{i=1}^n \lambda_i [z(x_i) - z^*(x_o)]^2 \quad 9-2$$

$$S_V^2 = \frac{1}{nV} \sum_i S_i^2 + \frac{1}{nV} \sum_i [Z_V^* - Z^*(x^{(i)})]^2 \quad 10-2$$

به طوری که در رابطه ۹-۲ λ_i ها اوزان کربجینگ معمولی (OK) و $z(x_i)$ مقادیر شرکت کننده در تخمین نقطه‌ای می‌باشند. در رابطه ۱۰-۲ S_i^2 ، واریانس درونیابی برای نقطه $x^{(i)}$ ، $Z^*(x^{(i)})$ تخمین (OK) برای نقطه Z_V^* ، $x^{(i)}$ عیار تخمینی بلوک و nV تعداد ریز بلوک که در تخمین بلوک بکار می‌رود.

خطای محاسبه شده با استفاده از انحراف معیار درونیابی طبق رابطه ۱۱-۲ است [۱۳].

$$Error = \frac{S_V \cdot t}{Z^*(x_o) \cdot \sqrt{nV}} \quad 11-2$$

در این رابطه S_V انحراف معیار درونیابی تخمین بلوک، t مقدار نرمالایز شده تابع استیودنت در یک سطح اعتماد خاص، $Z^*(x_o)$ عیار تخمینی بلوک و nV تعداد ریز بلوک که در تخمین بلوک است.

جدول ۹-۲ کلاسه‌بندی پیشنهادی منابع و ذخایر را با استفاده از انحراف معیار درونیابی نشان

می‌دهد [۹].

جدول ۹-۲ کلاسه‌بندی پیشنهادی منابع و ذخایر با استفاده از انحراف معیار درونیابی

منبع استنباطی (%)	منبع نشان‌داده شده (%)	منبع اندازه‌گیری شده		معیار	نویسنده
		ذخیره احتمالی (%)	ذخیره قطعی (%)		
۵۰ <	±۲۰-۵۰	± ۲۰		خطا	یاماموتو (۱۹۹۹)
۹۰ <	۹۰ <	۹۰ <		حدود اطمینان	

۲-۲-۲-۸ ضریب همبستگی^{۲۲}

معیار دیگری که برای کلاسه‌بندی منابع و ذخایر بکار می‌رود معیار ضریب همبستگی است. این معیار طبق رابطه ۲-۱۲ تعریف می‌شود [۱۰].

$$\rho = \frac{\sigma^2 - \sigma_k^2 + \mu}{\sqrt{\sigma^2(\sigma^2 - \sigma_k^2 + 2\mu)}} \quad ۲-۱۲$$

در این رابطه ρ ضریب همبستگی، σ^2 واریانس کل، σ_k^2 واریانس خطای تخمین کریجینگ، و μ ضریب لاگرانژ در کریجینگ عادی است.

حدود پیشنهادی ضریب همبستگی برای کلاسه‌بندی منابع و ذخایر معدنی طبق جدول ۲-۱۰ است [۱۰].

جدول ۲-۱۰ حدود پیشنهادی ضریب همبستگی برای کلاسه‌بندی منابع و ذخایر معدنی

معیار	منبع اندازه‌گیری شده	منبع نشان داده شده	منبع استنباطی
ضریب همبستگی	بزرگتر از ۰/۹	بین ۰/۵ تا ۰/۷	کمتر از ۰/۵

۲-۲-۲-۹ وزن میانگین^{۲۳}

معیار دیگری که برای کلاسه‌بندی منابع و ذخایر مورد استفاده قرار می‌گیرد معیار وزن میانگین است. این معیار طبق رابطه ۲-۱۳ تعریف می‌شود [۱۰].

$$\lambda_m = 1 - \sum \lambda_i^{SK} \quad ۲-۱۳$$

در این رابطه λ_m وزن میانگین و λ^{SK} اوزان کریجینگ ساده است.

²² Coefficient Correlation

²³ Weight of Mean

حدود پیشنهادی وزن میانگین برای کلاسه‌بندی منابع و ذخایر طبق جدول ۲-۱۱ است [۱۰].

جدول ۲-۱۱ حدود پیشنهادی وزن میانگین برای کلاسه‌بندی منابع و ذخایر معدنی

منبع استنباطی	منبع نشان داده شده	منبع اندازه‌گیری شده	معیار
بیشتر از ۵۰٪	بین ۲۵٪ تا ۵٪	کمتر از ۱۵٪	وزن میانگین

۲-۳ مقایسه معیارهای کلاسه‌بندی منابع و ذخایر معدنی و نتیجه‌گیری

در بین معیارهای زمین‌آماري هیچ کدام نوع کانسار را در کلاسه‌بندی منابع و ذخایر در نظر نمی‌گیرند، یعنی به کانسار خاصی مختص نشده‌اند. شاید بتوان تنها برتری معیار کیفی کلاسه‌بندی بر مبنای چگالی شبکه حفاری را در نظر گرفتن نوع کانسار برای تعیین حدود آستانه‌ای کلاسه‌های منابع دانست. در بین معیارهای زمین‌آماري کلاسه‌بندی معیارهایی که از اوزان کریجینگ برای تخمین استفاده می‌کنند مانند انحراف معیار نسبی کریجینگ، کاری بلوک، انحراف معیار درونیایی، شاخص تغییرپذیری نسبی، شاخص کلارک و شیب رگرسیون خطی، ضریب همبستگی و وزن میانگین به نوعی ساختار فضایی متغیر مورد بررسی، هندسه هدف، هندسه نقاط معلوم و ناهمسانگري را در کلاسه‌بندی لحاظ می‌کنند. معیار انحراف معیار درونیایی و معیار شاخص تغییرپذیری نسبی تغییرات محلی متغیر را در کلاسه‌بندی منبع در نظر می‌گیرد.

در جدول ۲-۶ به طور خلاصه معیارهای کلاسه‌بندی منابع و ذخایر معدنی آورده شده و پارامترهایی که هر کدام از این معیارها برای کلاسه‌بندی در نظر می‌گیرند بررسی شده است و سهولت محاسبه آنها به طور نسبی از بسیار آسان تا بسیار پیچیده قرار داده شده است.

جدول ۱-۲ مقایسه معیارهای کلاسه‌بندی منابع و ذخایر معدنی

پارامتر / معیار	ساختار فضایی	شبکه داده	هندسه هدف	ناهمسانگردی	تغییرات محلی	سهولت بکارگیری معیار
چگالی شبکه	-	فاصله بین نقاط حفاری	-	-	-	بسیار آسان
دامنه واریوگرام	واریوگرام	فاصله نقاط حفاری و هدف	-	-	-	آسان
انحراف معیار نسبی کریجینگ	واریوگرام	واریوگرام	واریانس کریجینگ	واریوگرام	-	نسبتاً آسان
شیب رگرسیون خطی	واریوگرام	واریوگرام	واریانس کریجینگ	واریوگرام	-	نسبتاً آسان
شاخص کلارک	واریوگرام	واریوگرام	واریانس کریجینگ	واریوگرام	-	نسبتاً آسان
شاخص تغییرپذیری نسبی	واریوگرام	واریوگرام	واریانس کریجینگ	واریوگرام	واریانس ترکیبی	نسبتاً پیچیده
انحراف معیار درونیایی	واریوگرام	واریوگرام	واریانس درونیایی	واریوگرام	واریانس درونیایی	بسیار پیچیده
ضریب همبستگی	واریوگرام	واریوگرام	واریانس کریجینگ	واریوگرام	-	نسبتاً آسان
وزن میانگین	واریوگرام	واریوگرام	واریانس کریجینگ	واریوگرام	-	نسبتاً آسان

(-) در کلاسه‌بندی پارامتر مورد نظر در نظر گرفته نمی‌شود.

فصل سوم

الگوریتم‌های تشخیص و کلاس‌بندی

۳-۱ مقدمه

هدف از این فصل شرح الگوریتم‌های تخمین و کلاسه‌بندی کدهای برنامه‌نویسی است. در این پایان‌نامه به منظور تخمین و کلاسه‌بندی مدل مصنوعی و مطالعه موردی کانسار مس سونگون کدهای برنامه‌نویسی نوشته شده است. کدهای تخمین و کلاسه‌بندی با استفاده از الگوریتم‌های متعدد که از نظر پیچیده‌گی در سطح نسبتاً بالایی قرار دارند نوشته شده است. در ابتدا این کدهای در فضای دو بعدی نوشته شد. سپس به منظور مطالعه موردی کانسار مس سونگون به فضای سه بعدی توسعه داده شد. لازم به ذکر است مراحل تهیه کدهای تخمین و کلاسه‌بندی در فضای سه بعدی از پیچیده‌گی‌های بسیار بالایی برخوردار است.

فایل ورودی کدهای نوشته شده از دو فایل Microsoft Office Excel تشکیل شده است. فایل ورودی اول مربوط به مختصات نقاط هدف یا همان مراکز بلوک است. مختصات نقاط هدف (مراکز بلوک) نیز توسط کدهای برنامه‌نویسی جداگانه با توجه به محدوده تخمین تعیین شده است. فایل ورودی دوم برنامه داده‌های با مختصات و عیار مشخص است. پس از اجرای برنامه، نتایج تخمین و کلاسه‌بندی در یک فایل Microsoft Office Excel ذخیره می‌شود. بدیهی است با توجه به پیچیدگی‌های ذاتی مباحث زمین‌آماري، مفاهیم و اصطلاحات بیان شده در این الگوریتم‌ها نیازمند دانش نسبتاً بالای زمین‌آماري می‌باشد. لذا اگر خواننده از مفاهیم و اصطلاحات عنوان شده از قبیل واریانس داخل بلوک (واریانس پراکندگی)، واریانس نقطه نسبت به بلوک و... اطلاعات کافی نداشته باشد، ممکن است در درک و استفاده هر چه بهتر از مطالب عنوان شده با مشکل مواجه شود. البته سعی شده با ارائه شکل‌ها و مثال‌هایی مفاهیم مربوطه تا حد امکان ساده و روان توضیح داده شده است. در ادامه جزئیات الگوریتم‌های تخمین و کلاسه‌بندی بیان می‌شود.

۲-۳ الگوریتم‌های تخمین

در الگوریتم تخمین بلوکی به روش کریجینگ عادی^۱ (OK) قبل از هر چیز باید نقاط همسایگی اطراف بلوک مشخص شود. سپس با استفاده از معادلات کریجینگ عادی، عیار تخمینی و واریانس کریجینگ تخمین بلوک محاسبه شود. معادلات کریجینگ عادی در رابطه ۱-۳ نشان داده شده است. در این رابطه A ماتریس واریانس بین نقاط همسایگی، X ماتریس اوزان بهینه کریجینگ و B ماتریس واریانس بین نقاط و بلوک است. در واقع هدف از حل این معادله یافتن اوزان بهینه کریجینگ نقاط همسایگی هر بلوک است. در ادامه الگوریتم‌هایی که برای حل این معادلات لازم است شرح داده شده است.

$$\begin{matrix} & A & X & B & & \\ & & & & & 1-3 \\ \left[\begin{array}{cccccc} \gamma_{11} & \gamma_{12} & \gamma_{13} & \dots & \gamma_{1N} & 1 \\ \gamma_{21} & \gamma_{22} & \gamma_{23} & \dots & \gamma_{2N} & 1 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \dots & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \dots & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \dots & \cdot & \cdot \\ \gamma_{N1} & \gamma_{N2} & \gamma_{N3} & \dots & \gamma_{NN} & \cdot \\ 1 & 1 & 1 & \dots & 1 & 0 \end{array} \right] & \left[\begin{array}{c} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \lambda_N \\ \mu \end{array} \right] & = & \left[\begin{array}{c} \bar{\gamma}(v_1, V) \\ \bar{\gamma}(v_2, V) \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \bar{\gamma}(v_N, V) \\ 1 \end{array} \right]
 \end{matrix}$$

۱-۲-۳ الگوریتم بیضوی جستجو (بیضی‌گون) به منظور تعیین نقاط همسایگی

بلوک

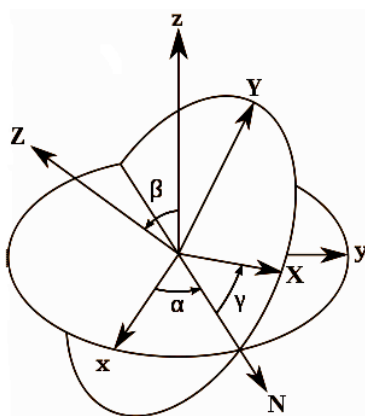
گام اول در تخمین هر بلوک یافتن نقاط همسایگی بلوک است. چنانچه کانسار تحت مطالعه ناهمسانگرد باشد به منظور تعیین نقاط همسایگی از یک بیضی‌گون برای تعیین نقاط همسایگی بلوک استفاده می‌شود. شعاع‌ها و زوایای بیضوی جستجوی کانسار تحت مطالعه با توجه به نتایج حاصل از

¹ Ordinary Kriging

واریوگرافی و اعتبارسنجی مشخص می‌شود. هر بیضی‌گون در فضا با استفاده از سه شعاع و سه زاویه منحصر بفرد می‌شود. به منظور قرار دادن بیضوی جستجو در یک راستای مشخص می‌توان از سه ماتریس تبدیل استفاده کرد. این ماتریس‌ها هر بیضی‌گون را با توجه سه شعاع بیضی‌گون و سه زاویه در فضا دوران می‌دهد تا در راستای مورد نظر قرار دهد. در رابطه ۲-۳ ماتریس‌های دوران بیضی‌گون آورده شده است. در شکل ۱-۳ نحوه دوران بیضی‌گون و زوایای دوران مربوط به آن نشان داده شده است.

$$R(\alpha, \beta, \gamma) = \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 \\ -\sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \beta & -\sin \beta \\ 0 & \sin \beta & \cos \beta \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \cos \gamma & -\sin \gamma & 0 \\ \sin \gamma & \cos \gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad 2-3$$

در این ماتریس‌ها α ، β و γ زوایای دوران بیضی‌گون هستند.

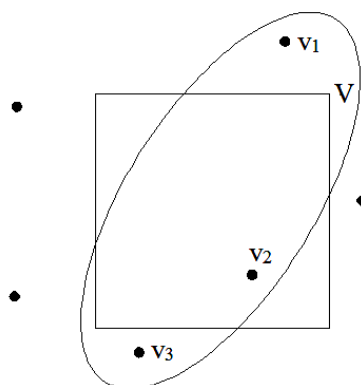


شکل ۱-۳ نحوه دوران بیضی‌گون و زوایای دوران

پس از دوران بیضوی جستجو در راستای مورد نظر، مرکز بیضوی جستجوی دوران یافته در مرکز تک تک بلوک‌ها قرار می‌گیرد. سپس با استفاده از معادله بیضی‌گون در فضا که در رابطه ۳-۳ نشان داده

شده است، نقاط همسایگی هر بلوک مشخص می‌شود. تعیین نقاط همسایگی اطراف بلوک با استفاده از بیضوی جستجو در شکل ۲-۳ نشان داده شده است.

$$\left(\frac{x-x_o}{r_x}\right)^2 - \left(\frac{y-y_o}{r_y}\right)^2 - \left(\frac{z-z_o}{r_z}\right)^2 = 1 \quad 3-3$$



شکل ۲-۳ تعیین نقاط همسایگی بلوک با استفاده از بیضوی جستجو

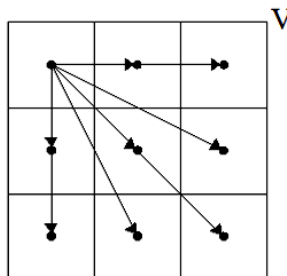
۲-۲-۳ محاسبه واریانس داخل بلوک (واریانس پراکندگی)

گام دوم در الگوریتم تخمین، محاسبه واریانس داخل بلوک (پراکندگی)، است. برای محاسبه واریانس داخل بلوک، بلوک در سه راستای طول، عرض و ارتفاع به ریز بلوک‌هایی تقسیم می‌شود. کد برنامه طوری طراحی شده است که می‌توان تعداد و نسبت ریز بلوک‌ها را در سه راستا تغییر داد. سپس فاصله مرکز هر کدام از ریز بلوک‌ها تا بقیه ریز بلوک‌ها محاسبه می‌شود. به طور مثال اگر بلوکی به صورت ۱۰ در ۱۰ در ۱۰ ریز شود، تعداد ۱۰۰۰ ریز بلوک حاصل می‌شود. حال بایستی فاصله مراکز این ریز بلوک‌ها را از خودشان و ۹۹۹ ریز بلوک دیگر محاسبه کرد. در نهایت به یک ماتریس فاصله ۱۰۰۰ در ۱۰۰۰ می‌رسیم. سپس با استفاده از رابطه ۳-۴ مقدار واریانس را برای ۱ میلیون فاصله محاسبه می‌کنیم.

مدل استفاده شده به منظور محاسبه واریانس یک مدل کروی است. در پایان میانگین ۱ میلیون داده واریانس را حساب می‌کنیم. مقدار بدست آمده واریانس داخل بلوک (پراکندگی) است. به منظور دستیابی به مقدار صحیح واریانس داخل بلوک، تعداد ریز بلوک‌ها را از یک مقدار اولیه در سه راستا افزایش داده می‌شود. افزایش تعداد ریز بلوک‌ها تا جایی که مقدار واریانس داخل بلوک در یک سطح دقت مناسب، به مقدار ثابت برسد، ادامه پیدا می‌کند. در شکل ۳-۳ نحوه محاسبه واریانس داخل بلوک نشان داده شده است.

$$\gamma(h) = \begin{cases} \left[1.5 \times \left(\frac{h}{a}\right) - 0.5 \times \left(\frac{h}{a}\right)^3 \right] \times C & h < a \\ C & h \geq a \end{cases} \quad 4-3$$

در این رابطه h فاصله، C مقدار سقف واریوگرام و a دامنه واریوگرام است.

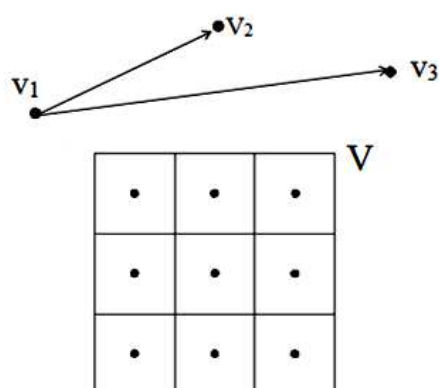


شکل ۳-۳ نحوه محاسبه واریانس داخل بلوک

۳-۲-۳ الگوریتم محاسبه واریانس نقاط همسایگی بلوک نسبت به هم

پس از تعیین نقاط همسایگی هر بلوک و محاسبه واریانس داخل بلوک، واریانس نقاط همسایگی بلوک نسبت به هم محاسبه می‌شود. اولین گام در این بخش محاسبه فاصله هر نقطه همسایگی نسبت به

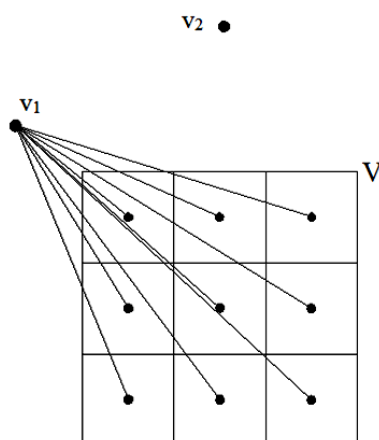
بقیه نقاط همسایگی است. سپس این فواصل در رابطه ۳-۴ قرار می‌گیرد تا واریانس نقاط همسایگی نسبت به هم محاسبه شود. در این مرحله ماتریس A از رابطه ۳-۱ مشخص می‌شود.



شکل ۳-۴ نحوه محاسبه واریانس نقاط همسایگی بلوک نسبت به هم

۳-۲-۴ الگوریتم محاسبه واریانس نقاط همسایگی نسبت به بلوک

گام بعدی در الگوریتم تخمین، محاسبه واریانس نقاط همسایگی نسبت به بلوک است. برای این منظور فاصله تک تک نقاط همسایگی تا مرکز تمام ریز بلوک‌ها محاسبه می‌شود. سپس این فواصل در رابطه ۳-۴ قرار می‌گیرد. برای محاسبه واریانس یک نقطه همسایگی نسبت به بلوک، از میانگین واریانس نقطه همسایگی نسبت به تمام ریز بلوک‌های تشکیل دهنده بلوک استفاده می‌شود. در این بخش ماتریس B رابطه ۳-۱ مشخص می‌شود. در شکل ۳-۴ نحوه محاسبه واریانس نقطه نسبت به بلوک نشان داده شده است.



شکل ۳-۵ نحوه محاسبه واریانس نقطه نسب به بلوک

۳-۲-۵ الگوریتم تصحیح اوزان منفی نقاط همسایگی بلوک

پس از محاسبه ماتریس‌های A و B از رابطه ۳-۱، ماتریس X محاسبه می‌شود. ماتریس X ، اوزان بهینه کریجینگ نقاط همسایگی است. ممکن است پس از حل معادلات کریجینگ عادی (OK)، با اوزان منفی کریجینگ مواجه شویم. بنابراین قبل از محاسبه عیار و واریانس کریجینگ، باید اوزان منفی کریجینگ تصحیح شود. چند روش برای تصحیح اوزان منفی کریجینگ وجود دارد. روشی که برای تصحیح اوزان منفی در این کد استفاده شده است طبق رابطه ۳-۵ است.

$$c = \min(\lambda_i) \quad 5-3$$

$$\text{if } c < 0$$

$$\tau_i = \frac{\lambda_i + c}{\sum (\lambda_i + c)}$$

در این رابطه λ_i اوزان کریجینگ و τ_i اوزان تصحیح شده کریجینگ است.

۳-۲-۶ محاسبه عیار تخمینی بلوک و واریانس کریجینگ

پس از محاسبه و تصحیح اوزان بهینه کریجینگ (در صورت وجود اوزان منفی)، اکنون می‌توان مقدار عیار تخمینی هر بلوک را محاسبه کرد. مقدار عیار تخمینی بلوک از حاصل ضرب اوزان کریجینگ هر یک از نقاط همسایگی بلوک در عیار متناظر نقاط همسایگی بلوک بدست می‌آید. سپس به منظور محاسبه واریانس کریجینگ تخمین بلوک، از رابطه ۳-۶ استفاده شده است.

$$\sigma_{OK}^2 = X^T B - \bar{\gamma}(V, V) \quad ۳-۶$$

که در این رابطه X^T ترانهاده ماتریس اوزان بهینه کریجینگ، B ماتریس واریانس نقاط نسبت به بلوک و $\bar{\gamma}(V, V)$ واریانس داخل بلوک است.

۳-۳ الگوریتم‌های محاسبه معیارهای کلاسه‌بندی

به غیر از دو معیار انحراف معیار درونیابی و معیار شاخص تغییرپذیری نسبی بقیه معیارها مستقیماً از نتایج حاصل از الگوریتم‌های تخمین (واریانس کریجینگ و واریانس داخل بلوک و ...) به منظور محاسبه معیارها استفاده می‌کنند. از همین رو محاسبه معیارهای انحراف معیار نسبی کریجینگ، کارایی بلوک، شاخص کلارک، شیب رگرسیون، ضریب همبستگی و وزن میانگین، از پیچیدگی خاصی برخوردار نیستند. به همین دلیل در این قسمت تنها به شرح الگوریتم‌های مربوط به محاسبه معیارهای انحراف معیار درونیابی و شاخص تغییرپذیری نسبی پرداخته می‌شود.

۳-۳-۱ الگوریتم محاسبه معیار انحراف معیار درونیابی

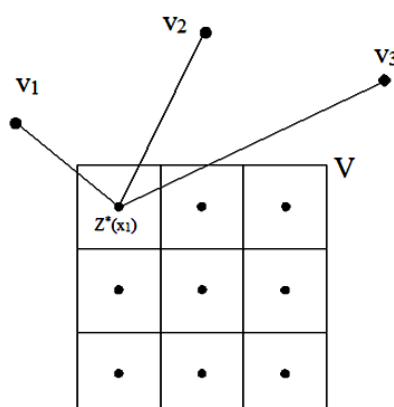
معیار انحراف معیار درونیابی از لحاظ محاسبه یک از پیچیده‌ترین معیارها به شمار می‌رود. مراحل الگوریتم نویسی این معیار به طور خلاصه در ادامه آورده شده است.

۱- تخمین ریز بلوک‌های تشکیل دهنده بلوک با استفاده از کریجینگ عادی

۲- محاسبه واریانس درونیابی مربوط به تخمین هر ریز بلوک

۳- محاسبه عیار میانگین تخمینی ریز بلوک‌ها

۴- محاسبه واریانس درونیابی بلوک



شکل ۳-۶ نحوه محاسبه معیار انحراف معیار درونیابی

نحوه محاسبه معیار انحراف معیار درونیابی در شکل ۳-۶ نشان داده شده است. در این مثال ابتدا عیار تخمینی ۹ ریز بلوک با استفاده از کریجینگ عادی محاسبه می‌شود. پس از محاسبه عیار تخمینی، واریانس درونیابی تخمین هر ریز بلوک طبق رابطه ۳-۷ محاسبه می‌شود.

$$S_j^2 = \sum_{i=1}^3 \lambda_{ij} [z(x_i) - z^*(x_j)]^2 \quad 7-3$$

سپس میانگین عیار تخمینی ریز بلوک‌ها طبق رابطه ۳-۸ محاسبه می‌شود.

$$z^*(x_o) = \frac{1}{9} \sum_{j=1}^9 z^*(x_j) \quad 8-3$$

در نهایت طبق رابطه ۳-۹ واریانس درونیایی بلوک محاسبه می‌شود.

$$S_v^2 = \frac{1}{9} \sum_{j=1}^9 s_j^2 + \frac{1}{9} \sum_{j=1}^9 [z_v^* - z^*(x_j)]^2 \quad 9-3$$

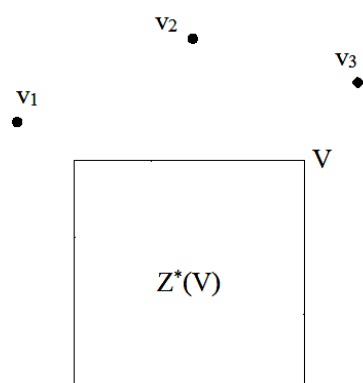
در این رابطه z_v^* عیار تخمینی بلوک با استفاده از کریجینگ عادی است.

سپس با توجه مقدار واریانس درونیایی، انحراف معیار درونیایی محاسبه می‌شود. نمادهای استفاده شده برای محاسبه انحراف معیار درونیایی در فصل دوم به طور کامل شرح داده شده است.

۳-۳-۲ الگوریتم محاسبه معیار شاخص تغییرپذیری نسبی

گام اول در محاسبه شاخص تغییرپذیری نسب، محاسبه واریانس میانگین وزن‌دار عیار بلوک است.

به عنوان مثال برای محاسبه واریانس میانگین وزن‌دار عیار بلوک شکل ۳-۷ از رابطه ۳-۱۰ محاسبه می‌شود.



شکل ۳-۷ نحوه محاسبه معیار شاخص تغییرپذیری نسبی

$$\sigma_w^2 = \sum_1^3 w_i^2 * [Z^*(V) - Z_i]^2 \quad 10-3$$

وزن اختصاص داده شده به هر داده، $Z^*(V)$ عیار تخمینی بلوک با استفاده از کریجینگ عادی و Z_i مقدار عیار متناظر با هر داده است. عیار تخمینی بلوک و وزن اختصاص داده شده به هر داده در قسمت تخمین بلوک قبلا محاسبه شده است.

گام بعدی محاسبه واریانس ترکیبی بلوک است. واریانس ترکیبی از رابطه ۳-۱۱ محاسبه می‌شود.

$$\sigma_{cv}^2 = \sqrt{(\sigma_k^2 * \sigma_w^2)} \quad 11-3$$

σ_k^2 واریانس کریجینگ تخمین بلوک و σ_w^2 واریانس میانگین وزن دار عیار بلوک است. واریانس کریجینگ بلوک در قسمت تخمین بلوک با توجه به الگوریتم‌های تخمین محاسبه شده است.

۳-۴ نتیجه‌گیری

در این فصل الگوریتم‌های تخمین و کلاسه‌بندی کدهای برنامه نویسی این پایان‌نامه بیان شده است. همان‌طور که نشان داده شد مراحل مختلف کد نویسی الگوریتم‌های تخمین و کلاسه‌بندی از پیچیده‌گی نسبتاً بالایی مخصوصاً در فضای سه بعدی برخوردار است. این الگوریتم‌ها به منظور افزایش سرعت اجرای برنامه، بارها مورد بازبینی و ویرایش قرار گرفته است. الگوریتم‌های برنامه نویسی از نظر تعداد ساختارهای واریوگرام طوری طراحی شده است که به راحتی می‌توان از آن برای کانسار یا مدل مصنوعی‌های دیگر با تعداد ساختار مختلف استفاده کرد. مدل واریوگرام استفاده شده در الگوریتم تخمین این پایان‌نامه مدل کروی است. الگوریتم‌های تخمین طوری طراحی شده است که می‌توان از آن برای انواع مدل‌های دیگر واریوگرام استفاده کرد.

فصل چهارم

مقایسه معیارهای کلاس بندی بر روی

مدل مصنوعی

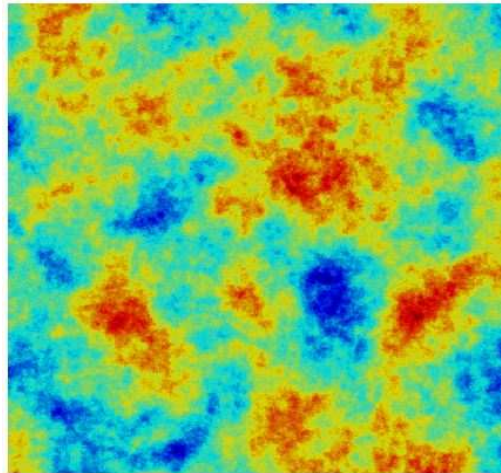
۴-۱ مقدمه

هدف از این فصل بررسی کارایی معیارهای مختلف کلاسه‌بندی معرفی شده است، برای امکان مقایسه نتایج با واقعیت، این کار با استفاده از یک مدل مصنوعی انجام می‌شود، سپس حساسیت هر کدام از این معیارهای کلاسه‌بندی نسبت به تغییر ابعاد بلوک بررسی می‌شود. تحقیقات انجام شده در این فصل را می‌توان به دو بخش اصلی تقسیم کرد. بخش اول شامل ایجاد و ارزیابی معیارها در یک مدل مصنوعی با استفاده از نرم افزار SGeMS[®] است. در بخش دوم با تغییر ابعاد بلوک‌های شبیه سازی شده حساسیت هر کدام از معیارهای کلاسه‌بندی نسبت به تغییر ابعاد بلوک مقایسه می‌شود.

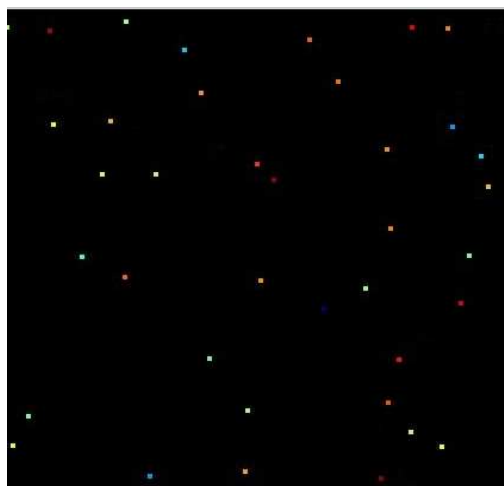
۴-۲ ایجاد مدل مصنوعی

ابتدا با استفاده از نرم افزار SGeMS[®] یک شبکه‌ی نقطه‌ای 400×400 (مانند شبکه چالهای آتشفشایی) شبیه سازی شده و در نتیجه ۱۶۰ هزار داده از این شبیه‌سازی حاصل شده است. به منظور تخمین و تعیین معیارهای کلاسه‌بندی، این شبکه به بلوک‌هایی با ابعاد 40×40 تقسیم می‌شود (بلوک‌هایی را فرض کنید که درون آنها اطلاعات تعداد زیادی چال آتشفشایی موجود است). سپس تعداد ۵۰ نمونه (داده) به عنوان داده معلوم به طور تصادفی از این شبکه برداشت شده است. شبکه نقطه‌ای شبیه سازی شده و برداشت ۵۰ داده معلوم تصادفی به ترتیب در شکل ۴-۱ و ۴-۲ نشان داده شده است. با تعیین پارامترهای زمین‌آماري نمونه‌های برداشت شده، فرآیند تخمین و تعیین معیارهای کلاسه‌بندی برای بلوک‌های شبیه‌سازی شده انجام شده است. نتایج حاصل از واریوگرافی ۵۰ داده تصادفی و مدل برازش داده شده کروی در شکل ۴-۳ و جدول ۴-۱ نشان داده شده است. با در دست داشتن مقادیر واقعی و تخمینی هر بلوک، هر کدام از معیارهای کلاسه‌بندی در بوته راست آزمایی قرار گرفته‌اند. لازم به

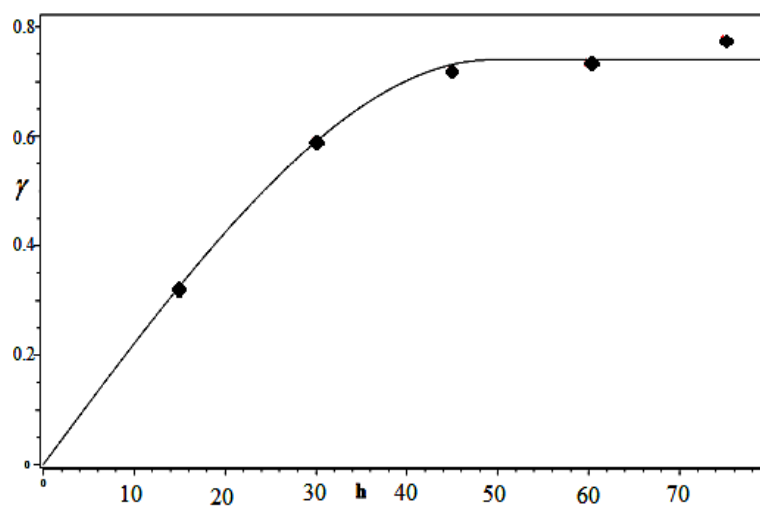
ذکر است تخمین کریجینگ و محاسبه هر کدام از معیارهای کلاسه‌بندی در فضای دو بعدی، با استفاده از کدی که توسط نگارنده در محیط MATLAB[®] نوشته شده، انجام شده است. این کد سپس برای تخمین‌های سه بعدی بسط داده شده است که نتایج به دست آمده بر روی کانسار مس سونگون نیز با کد توسعه داده شده به دست آمده‌اند.



شکل ۴-۱ شبکه نقطه‌ای شبیه‌سازی شده ۴۰۰ در ۴۰۰ با استفاده از نرم افزار SGeMS[®]



شکل ۴-۲ نمونه برداری ۵۰ داده تصادفی معلوم از شبکه شبیه سازی شده



شکل ۴-۳ واریوگرام تجربی و مدل برازش داده شده داده‌های تصادفی مدل مصنوعی

جدول ۴-۱ نتایج حاصل از واریوگرافی داده‌های تصادفی در مدل مصنوعی

۱	تعداد ساختار
۴۹/۵	دامنه (متر)
۰/۷۴	سقف

۳-۴ تعیین حدود آستانه‌ای کلاسه‌ها با استفاده از یک روش جدید

در منابع مختلف اشاره شده است که مقادیر آستانه‌ای هر یک از معیارها می‌بایست با توجه به کانسار تحت مطالعه تعیین شود. از این رو رهیافت یا روش خاصی در این پایان نامه برای تعیین حدود آستانه‌ای مناسب کلاسه‌بندی انواع ذخیره ارائه شده است. این رهیافت بر مبنای مقایسه معیارهای کلاسه‌بندی در مقابل خطای نسبی واقعی تخمین است. به دلیل اینکه خطای نسبی واقعی تخمین از اختلاف عیار واقعی و تخمینی بلوک بدست می‌آید، بلوک‌ها را به درستی کلاسه‌بندی می‌کند. خطای نسبی واقعی تخمین طبق رابطه ۴-۱ محاسبه می‌شود.

$$\text{Relative Error} = \frac{|Z - Z^*|}{Z} \quad ۴-۱$$

در این رابطه Z عیار واقعی بلوک، Z^* عیار تخمینی بلوک است. مشکلی که وجود دارد این است که عیار واقعی تا قبل از استخراج یا حداقل داشتن نمونه‌های چالهای آتشیاری (با دقت مناسبی) مشخص نیست. اما در بخشهایی از کانسار که اکتشاف حین استخراج انجام شده است قابل محاسبه است. بنابراین نتایج حدود سایر معیارهای کلاسه‌بندی که، از افق‌های بالاتر و یا انجام مطالعات مشابه بر روی کانسارهایی که در یک تیپ قرار دارند، به دست آمده است، می‌تواند به عنوان معیاری راهنما برای بخش‌های پایین‌تر استفاده شود.

حدودی که برای کلاسه‌بندی در این پایان نامه برای خطای نسبی واقعی تخمین استفاده شده،

حدود پیشنهادی امری^۱ (۲۰۰۴) است. این حدود در جدول ۴-۲ نشان داده شده است [۱۷].

^۱ Emery

جدول ۴-۲ حدود پیشنهادی امری برای کلاسه‌بندی منابع و ذخایر براساس خطای نسبی تخمین

منبع استنباطی	منبع نشان‌داده شده	منبع اندازه‌گیری شده	معیار
بزرگتر از ۰/۳۵	بین ۰/۱۵ تا ۰/۳۵	کوچک‌تر از ۰/۱۵	خطای نسبی تخمین

با مقایسه معیار خطای نسبی واقعی تخمین با دیگر معیارهای کلاسه‌بندی، می‌توان ارزیابی منطقی از کیفیت و حدود آستانه‌ای مناسب آنها به دست آورد. حدود مناسب کلاسه‌بندی هر معیار به‌گونه‌ای تعیین می‌شود که بیشترین تعداد بلوک در نواحی مشترک کلاسه‌بندی واقع شوند. این نواحی مشترک در شکل ۴-۴ نشان داده شده است. این بدان معناست که سعی می‌شود، حدود به‌گونه‌ای تعیین شود که معیار مورد نظر بیشترین تطابق را با معیار خطای نسبی داشته باشد. البته می‌توان الگوهای دیگری را نیز برای محاسبه این میزان تطابق به کار گرفت، که از ذکر و بررسی آنها خودداری شده است. شایان ذکر است تعیین حدود آستانه‌ای کلاسه‌های مختلف در این پایان‌نامه برای تمامی معیارهای کلاسه‌بندی نیز با استفاده از کدنویسی در محیط MATLAB[®] انجام شده است.



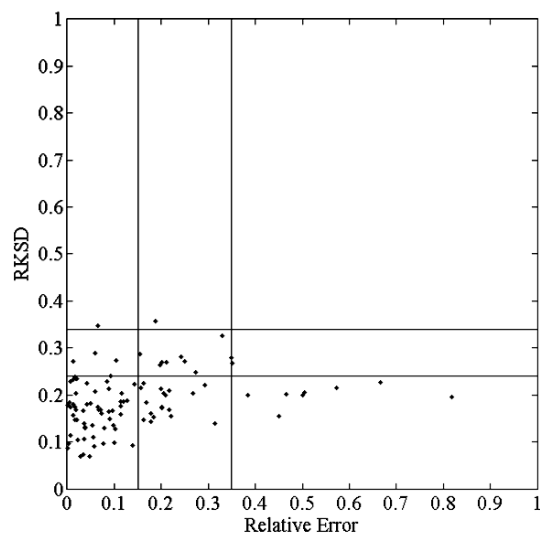
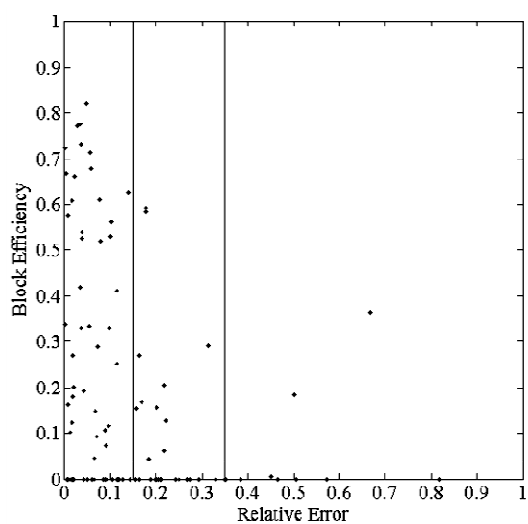
شکل ۴-۴ تعیین حدود آستانه‌های کلاسه‌بندی با استفاده از بیشترین تعداد بلوک در نواحی مشترک خطای نسبی واقعی تخمین و معیارهای کلاسه‌بندی منابع و ذخایر

۴-۳-۱ بررسی کیفیت کلاسه‌بندی معیارهای کلاسه‌بندی در مدل مصنوعی

برای کلاسه‌بندی بلوک‌های شبیه سازی شده از میانگین ۱۶۰۰ داده شبیه سازی در داخل هر بلوک به عنوان عیار واقعی هر بلوک استفاده شده است. در شکل ۴-۵ و ۴-۶ به ترتیب معیارهای انحراف معیار نسبی کریجینگ، کارایی بلوک، انحراف معیار درونیایی، شاخص کلارک، شاخص تغییرپذیری نسبی، شیب رگرسیون، ضریب همبستگی و وزن میانگین در مقابل خطای نسبی واقعی تخمین رسم شده است. خطوط عمودی در این شکل‌ها حدود پیشنهادی امری (۲۰۰۴) برای کلاسه‌بندی براساس خطای نسبی واقعی تخمین است. خطوط افقی حدود آستانه‌های معیارهای کلاسه‌بندی براساس بیشینه کردن تعداد بلوک واقع در نواحی مشترک است، که توسط کد برنامه نویسی MATLAB® بدست آمده است.

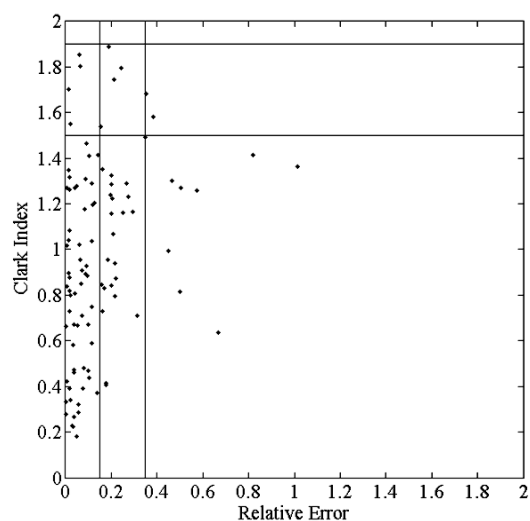
جدول ۴-۳ حدود آستانه‌ای معیارهای کلاس‌بندی در مدل مصنوعی

معیار	منبع اندازه‌گیری شده	منبع نشان‌داده شده	منبع استنباطی
انحراف معیار نسبی کریجینگ	کوچک‌تر از ۰/۲۴	بین ۰/۲۴ تا ۰/۳۴	بزرگتر از ۰/۳۴
کارایی بلوک	بزرگتر از ۰/۰۴	-	-
انحراف معیار درونیابی	کوچک‌تر از ۰/۰۶	بین ۰/۰۶ تا ۰/۱	بزرگتر از ۰/۱
شاخص کلارک	کوچک‌تر از ۱/۵	بین ۱/۵ تا ۱/۹	بزرگتر از ۱/۹
شاخص تغییرپذیری نسبی	کوچک‌تر از ۰/۱۸	بین ۰/۱۸ تا ۰/۲۸	بزرگتر از ۰/۲۸
شیب رگرسیون	بزرگتر از ۰/۷۷	بین ۰/۷۷ تا ۰/۷	کوچک‌تر از ۰/۷
ضریب همبستگی	بزرگتر از ۰/۶۶	بین ۰/۶۶ تا ۰/۶۳	کوچک‌تر از ۰/۶۳
وزن میانگین	بزرگتر از ۰/۲۶-	بین ۰/۲۶- تا ۰/۳۲-	کوچک‌تر از ۰/۳۲-

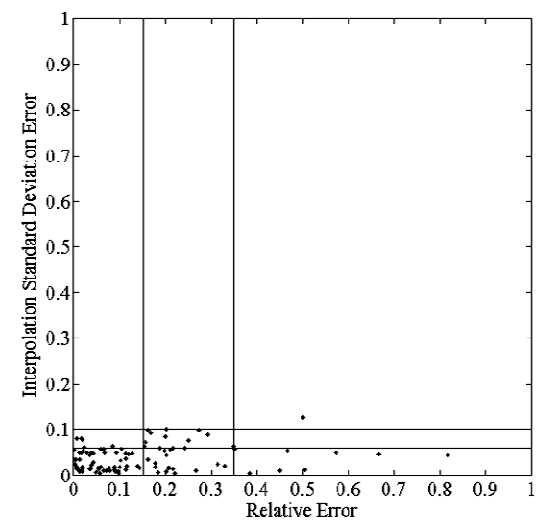


ب

الف

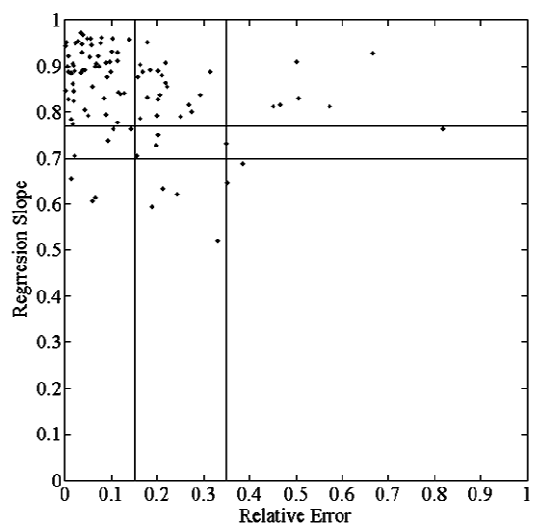


د

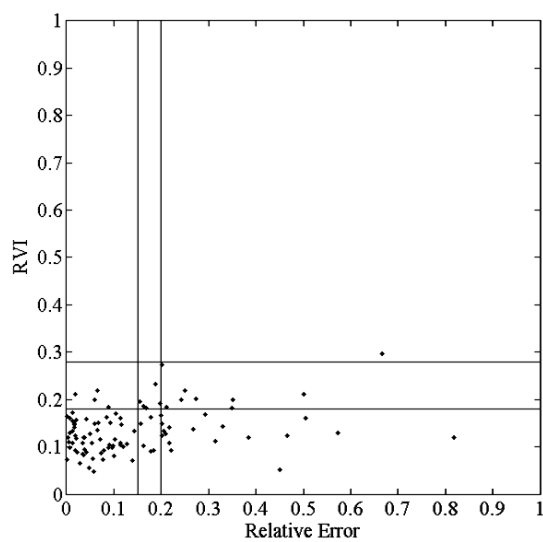


ج

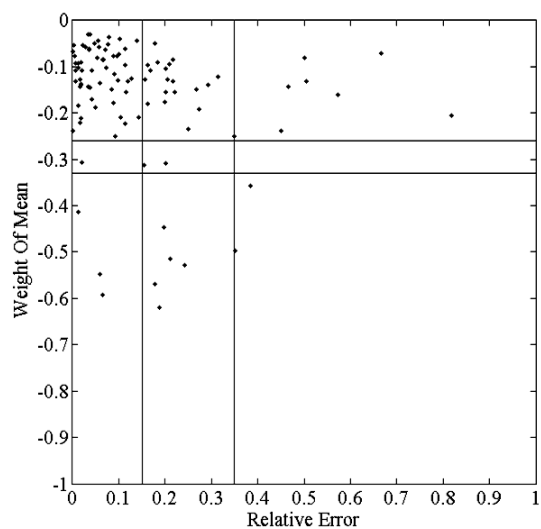
شکل ۴-۵ کلاسه‌بندی و تعیین حدود آستانه‌ای معیارهای مختلف: انحراف معیار نسبی کریجینگ (الف)، کارایی بلوک (ب)، انحراف معیار درونیایی (ج)، شاخص کلارک (د)



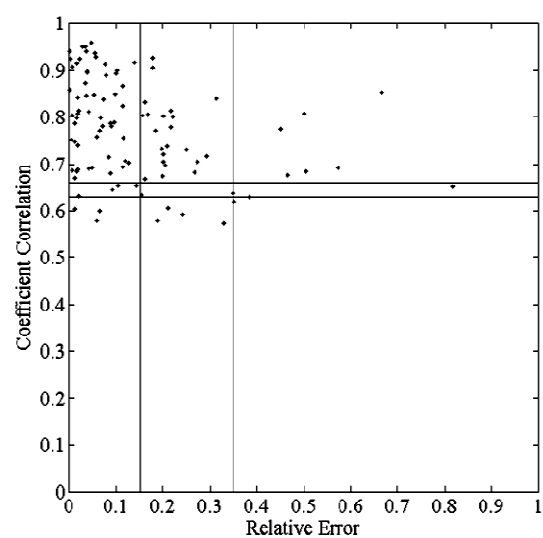
ب



الف



د



ج

شکل ۴-۶ کلاسه‌بندی و تعیین حدود آستانه‌ای معیارهای مختلف: شاخص تغییرپذیری نسبی (الف)، ب- شیب رگرسیون (ب)، ضریب همبستگی (ب)، وزن میانگین (د)

چنانچه در شکل ۴-۵ ب دیده می‌شود، در معیار کارایی بلوک به دلیل اینکه بلوک‌هایی که در کلاسه اندازه‌گیری شده قرار گرفته‌اند مقادیر بسیار متفاوتی دارند و تفکیکی بین آنها و سایر کلاسه‌ها نمی‌توان قائل شد، از این رو نمی‌توان حدود آستانه‌ای مناسبی را برای تعیین مرز بین کلاسه نشان داده شده و استنباطی ارائه داد. حدود آستانه‌ای معیارها در جدول ۴-۳ نشان داده شده است.

۴-۳-۹ مقایسه کیفیت کلاسه‌بندی معیارهای کلاسه‌بندی در مدل مصنوعی

پس از تعیین حدود آستانه‌ای هر کدام از معیارها توسط کد برنامه‌نویسی نوشته شده و تعیین تعداد بلوک‌هایی که به درستی در کلاسه واقعی خود کلاسه‌بندی شده‌اند (نواحی هاشور زده شکل ۴-۴)، می‌توان برآوردی قابل قبولی از میزان دقت و صحت هر کدام از این معیارها در کلاسه‌بندی صحیح بلوک‌های شبیه‌سازی شده انجام داد. در جدول ۴-۴ درصد بلوک‌هایی که هر کدام از معیارها به درستی کلاسه‌بندی کرده‌اند نشان داده شده است. تمامی معیارها تقریباً تعداد مشابهی بلوک را به درستی کلاسه‌بندی کرده‌اند. البته در معیار کارایی بلوک به دلایلی که قبلاً گفته شد این تعداد کمتر است.

جدول ۴-۴ مقایسه کیفیت کلاسه‌بندی معیارهای کلاسه‌بندی

معیار کلاسه‌بندی	بلوک‌هایی که به درستی کلاسه‌بندی شده‌اند (%)
انحراف معیار نسبی کریجینگ	۵۱
کارایی بلوک	۳۵
انحراف معیار درونیایی	۵۳
شاخص کلارک	۵۰
شاخص تغییرپذیری منبع	۵۴
شیب رگرسیون	۵۶
ضریب همبستگی	۵۵
وزن میانگین	۵۲

۴-۴ مقایسه تاثیر اندازه بلوک در کیفیت کلاسه‌بندی معیارهای بلوک‌های

شبیه سازی شده

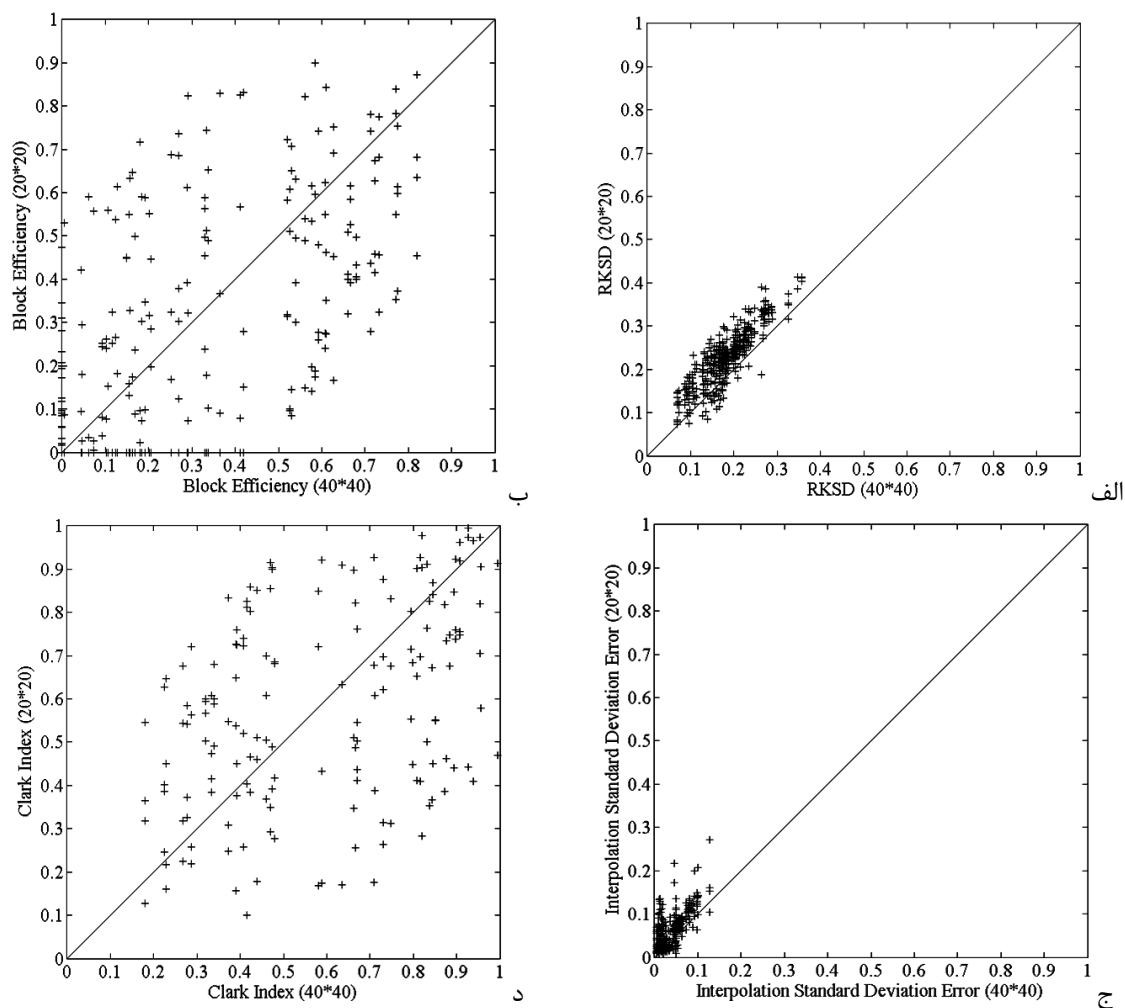
مفهوم عدم قطعیت در کلاسه‌بندی منابع و ذخایر معدنی تنها به میزان اطلاعات همسایگی بلوک بستگی ندارد، بلکه به حجم بلوک تخمینی، وابسته است. کلاسه‌بندی منابع و ذخایر معدنی به شدت به اندازه واحد استخراج انتخابی^۲ (بلوک) وابسته است. معمولاً اندازه پیش‌بینی شده واحد استخراج انتخابی ممکن است به طور قابل ملاحظه‌ای کوچک‌تر از اندازه بلوک تخمینی باشد. هنگامی اندازه بلوک افزایش یابد، در نتیجه‌ی اثر پایه^۳، واریانس کریجینگ بلوک کاهش می‌یابد، بنابراین ممکن است میزان منابع اندازه‌گیری شده افزایش یابد. یعنی مساله اینجاست که بلوک‌هایی که در کلاسه خاصی از منبع یا ذخیره قرار می‌گیرند خود از بلوک‌های کوچک‌تری تشکیل شده‌اند که هر کدام کلاسه خاص خود را دارند. نزدیکی کلاسه‌های هر کدام از بلوک‌های کوچک نسبت به هم و همچنین نسبت به بلوک بزرگ، ملاک مهمی برای توانمندی معیار کلاسه‌بندی است. بنابراین یک معیار کلاسه‌بندی قوی، معیاری است که در صورت تغییر اندازه بلوک، میزان تغییر در کلاسه‌های بلوک‌ها را به حداقل برساند.

برای بررسی حساسیت معیارهای کلاسه‌بندی نسبت به تغییر اندازه بلوک، بلوک‌های شبیه‌سازی شده به یک-چهارم بلوک اولیه تقسیم شده‌اند. سپس معیارهای کلاسه‌بندی بلوک‌های جدید کوچک تعیین شده است و حساسیت هر کدام از معیارها نسبت به تغییر اندازه بلوک بررسی شده است.

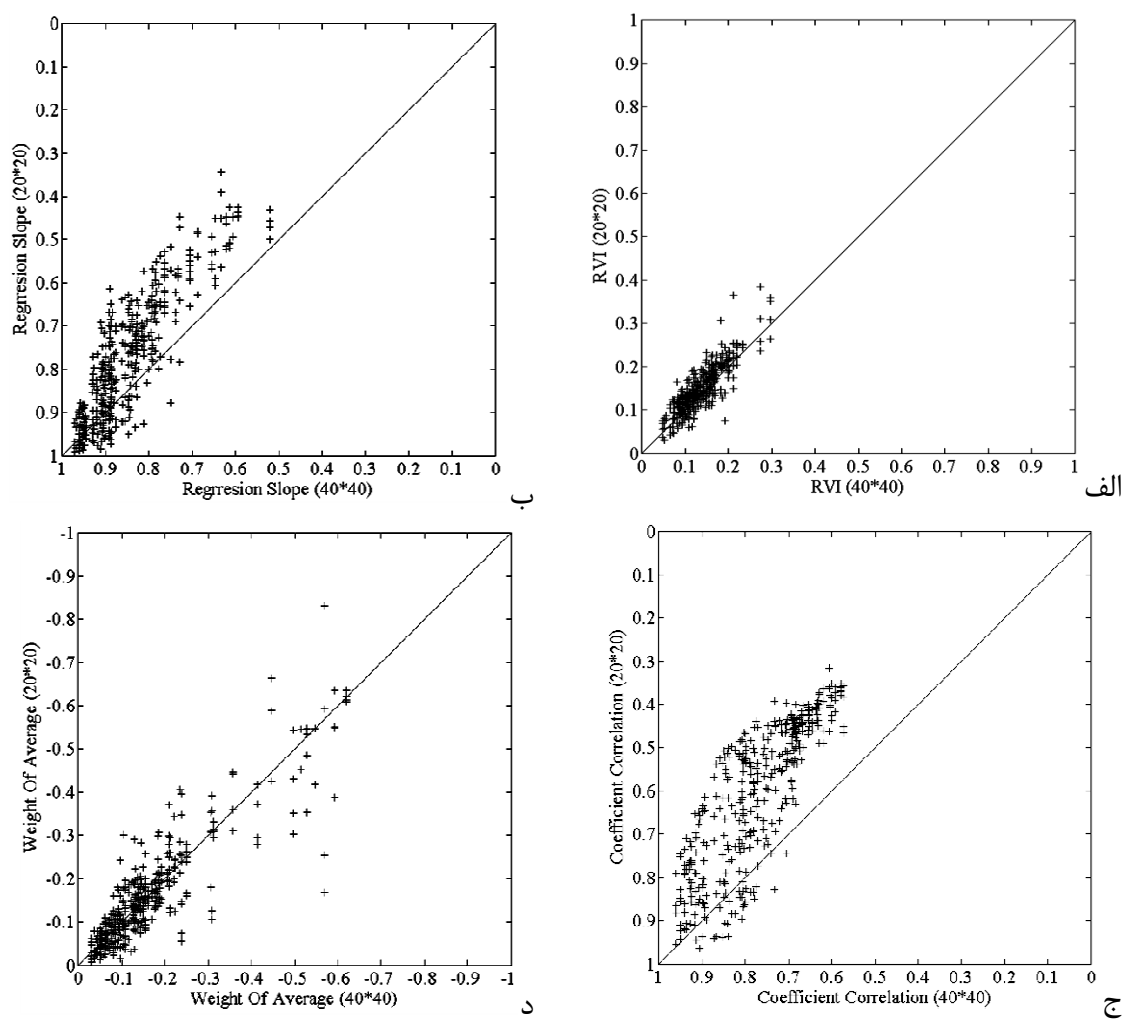
² Selective Mining Unit

³ Support Effect

در شکل ۴-۷ و ۴-۸ معیارهای کلاسه‌بندی منابع و ذخایر معدنی برای بلوک‌های با ابعاد 40×40 در مقابل بلوک‌های با ابعاد 20×20 رسم شده است. دو نکته در تعیین کارایی و قابلیت معیارهای کلاسه‌بندی منابع و ذخایر معدنی نسبت به تغییر اندازه بلوک مهم است: نکته اول میزان همبستگی معیارهای کلاسه‌بندی هر کدام از ریز بلوک‌های تشکیل دهنده بلوک بزرگ است و نکته دوم میزان ارتباط کلاسه هر کدام از ریز بلوک‌ها با کلاسه بلوک بزرگ است. برای تعیین کارایی و قابلیت معیارهای کلاسه‌بندی نسبت به تغییر اندازه بلوک دو تست آماری انجام شده است. اولین آماره تعیین ضریب همبستگی پیرسون معیارهای کلاسه‌بندی بلوک‌های 40×40 در مقابل بلوک‌های 20×20 است، که نمایانگر میزان همبستگی معیارهای کلاسه‌بندی هر کدام از ریز بلوک‌های تشکیل دهنده بلوک بزرگ است. دومین آماره تعیین شیب معیارهای کلاسه‌بندی بلوک‌های 40×40 در مقابل بلوک‌های 20×20 است که نشان دهنده میزان ارتباط کلاسه هر کدام از ریز بلوک‌ها با کلاسه بلوک بزرگ است. در جدول ۴-۵ ضریب همبستگی پیرسون و شیب خط معیارهای کلاسه‌بندی بلوک‌های 40×40 در مقابل بلوک‌های 20×20 آورده شده است.



شکل ۴-۷ انحراف معیار نسبی کریجینگ (الف)، کارایی بلوک (ب)، انحراف معیار درونیابی (ج) و شاخص کلارک (د) بلوک‌های با اندازه ۴۰×۴۰ در مقابل بلوک‌های ۲۰×۲۰



شکل ۴-۸ شاخص تغییرپذیری نسبی (الف)، شیب رگرسیون (ب)، ضریب همبستگی (ج) و وزن میانگین (د) بلوک‌های با اندازه 40×40 در مقابل بلوک‌های 20×20

جدول ۴-۵ ضریب همبستگی و شیب معیارهای کلاسه‌بندی بلوک‌های ۴۰×۴۰ در مقابل بلوک‌های ۲۰×۲۰

شیب	ضریب همبستگی پیرسون	معیار
۰/۹۹	۰/۸۷	انحراف معیار نسبی کریجینگ
۰/۷۲	۰/۷۲	کارایی بلوک
۱/۰۵	۰/۷۱	انحراف معیار درونیایی
۰/۶۹	۰/۸۲	شاخص کلارک
۰/۹۸	۰/۸۶	شاخص تغییرپذیری منبع
۱/۳۶	۰/۸۷	شیب رگرسیون
۱/۳۲	۰/۸۲	ضریب همبستگی
۰/۹۰	۰/۸۹	وزن میانگین

۴-۵ بحث و نتیجه‌گیری

همان‌طور که در شکل‌های ۴-۷ و ۴-۸ نشان داده شده است، تقریباً همه معیارهای کلاسه‌بندی بین مقدار معیار در بلوک‌های با اندازه بزرگتر و مقدار آن در بلوک‌های کوچک‌تر تشکیل دهنده آنها، همبستگی نشان می‌دهند. حدود معناداری دو دامنه ضریب همبستگی در این تعداد در سطوح اعتماد ۹۵ و ۹۹ درصد به ترتیب برابر ۰/۱۹۵ و ۰/۲۵۴ است. بنابراین تمامی ضرایب همبستگی به دست آمده معنادار هستند. برخی معیارها در این بین از کارایی و قابلیت بیشتر و برخی از معیارها از قابلیت کمتری نسبت به تغییر ابعاد بلوک برخوردارند. همان‌طور که در جدول ۴-۵ مشخص است در بین معیارهای کلاسه‌بندی به ترتیب، معیارهای انحراف معیار نسبی کریجینگ، شاخص تغییرپذیری نسبی و انحراف معیار درونیایی بیشترین میزان ارتباط کلاسه هر کدام از ریز بلوک‌ها با کلاسه بلوک بزرگ را دارند. معیار کارایی بلوک و شاخص کلارک نشان داده‌اند که نسبت به معیارهای دیگر کلاسه‌بندی، در مقابل تغییر اندازه بلوک معیار قابل اعتمادی نیستند. پراکندگی در بین کلاسه‌های بلوک‌های کوچک‌تر که ریز بلوک‌های تشکیل دهنده بلوک بزرگ هستند، در این دو معیار نیز کاملاً مشهود است. معیار انحراف معیار

درونیایی علی‌رغم همبستگی بسیار خوب کلاسه هر کدام از ریز بلوک‌ها با کلاسه بلوک بزرگ، نشان می‌دهد که ممکن است ریز بلوک‌های تشکیل دهنده بلوک بزرگ از نظر کلاسه هیچ ارتباطی با کلاسه بلوک بزرگ نداشته باشد. البته این حساسیت در معیار انحراف معیار درونیایی در کلاسه‌های بالاتر (اندازه‌گیری شده و نشان داده شده)، شدت بیشتری دارد. معیارهای شیب رگرسیون، ضریب همبستگی و وزن میانگین تقریباً نسبت به تغییر ابعاد بلوک رفتار مشابه‌ای از خود نشان می‌دهند و معیارهای متوسطی از نظر کارایی و کیفیت نسبت به تغییر اندازه بلوک هستند. معیار وزن میانگین در بین معیارهای کلاسه‌بندی بیشترین میزان همبستگی در ریز بلوک‌های تشکیل دهنده بلوک بزرگ را دارد.

فصل پنجم

کلاسہ بندی کانسار مس سونگون

۵-۱ مقدمه

هدف از این فصل بررسی موردی تعیین حدود آستانه‌ای معیارهای کلاسه‌بندی و به‌کارگیری آن در کلاسه‌بندی یکی از ذخایر مس کشور با استفاده از روش پیشنهادی در این پایان‌نامه است. ذخیره مورد بررسی در این فصل مربوط به کانسار مس سونگون است. حدود آستانه‌ای معیارهای کلاسه‌بندی برای کانسار سونگون با استفاده از داده‌های چال‌های آتشیاری^۱ کانسار مس سونگون تعیین می‌شود. سپس با استفاده از داده‌های مربوط به گمانه‌های اکتشافی^۲ تخمین و کلاسه‌بندی کانسار مس سونگون انجام می‌شود.

۵-۲ موقعیت جغرافیایی کانسار مس سونگون

کانسار مس سونگون در استان آذربایجان شرقی و در مختصات ۲۶ درجه و ۴۳ درجه طول جغرافیایی و ۳۸ درجه و ۴۳ دقیقه عرض جغرافیایی قرار گرفته است. راه اصلی دسترسی کانسار از طریق جاده آسفالت تبریز- ورزقان- سونگون است. فاصله کانسار سونگون تا شهر تبریز حدود ۱۳۰ کیلومتر

است [۱۹].

^۱ Blast holes

^۲ Boreholes

۵-۳ معرفی داده‌های مورد استفاده از کانسار مس سونگون

داده‌های مورد استفاده در این فصل شامل دو بخش است. بخش اول شامل داده‌های چال‌های آتشیاری و بخش دوم شامل داده‌ای گمانه‌های حفاری است. تعداد ۳۵۶۷۶ داده از چال‌های آتشیاری از کانسار مس سونگون و تعداد ۳۱۰۶۹ داده از گمانه‌های حفاری در فایل Microsoft Office Excel در اختیار است. به دلیل وجود زون‌های مختلف در کانسار مس سونگون کارهای آماری مربوط به آماده‌سازی داده‌ها به صورت مجزا صورت گرفته است. به طور خلاصه آماده‌سازی داده‌ها شامل موارد زیر است:

۱- جداسازی زون‌های مختلف کانسار مس سونگون که شامل زون‌های لیچینگ، هیپوژن و سولفیدی است

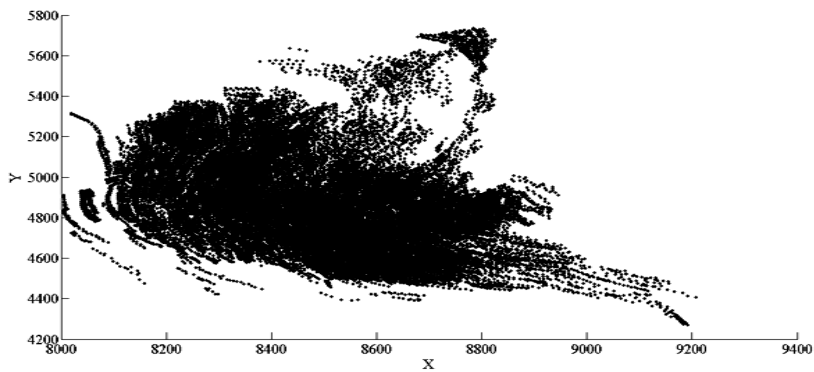
۲- آماده‌سازی (حذف گمانه‌های بدون عیار) و مرتب کردن شماره گمانه‌ها جهت انجام کامپوزیت

۳- تهیه کامپوزیت‌های ۲/۵ متری از داده‌های گمانه‌های اکتشافی در زون‌های مختلف

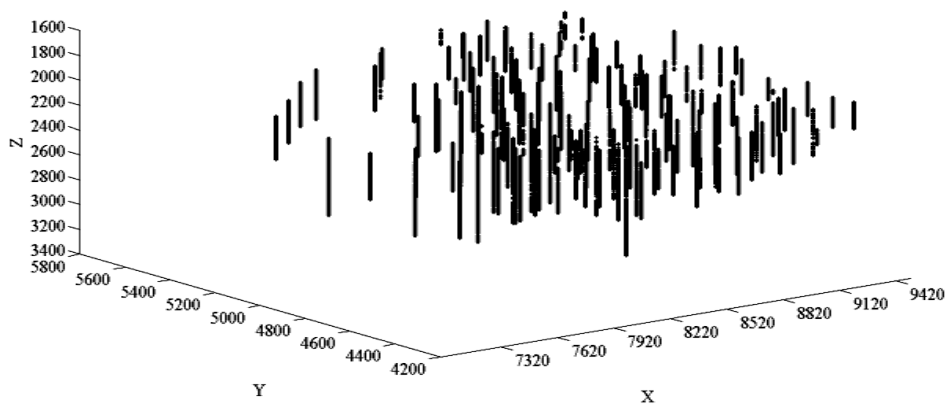
۴- حذف عیارهای صفر از داده‌های کامپوزیت شده

شکل ۵-۱ محل قرارگیری چال‌های آتشیاری و گمانه‌های حفاری کانسار مس سونگون را نشان

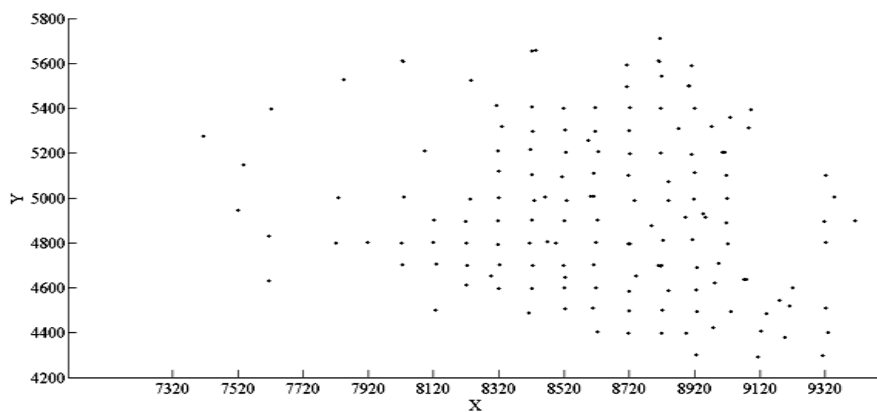
می‌دهد.



الف



ب.



ج

شکل ۵-۱ مختصات محل قرارگیری: چال های آتشیاری (الف) ، گمانه های حفاری (ب) ، گمانه های حفاری (ج)

۴-۵ تعیین حدود آستانه‌ای معیارهای کلاسه‌بندی با استفاده از داده‌های

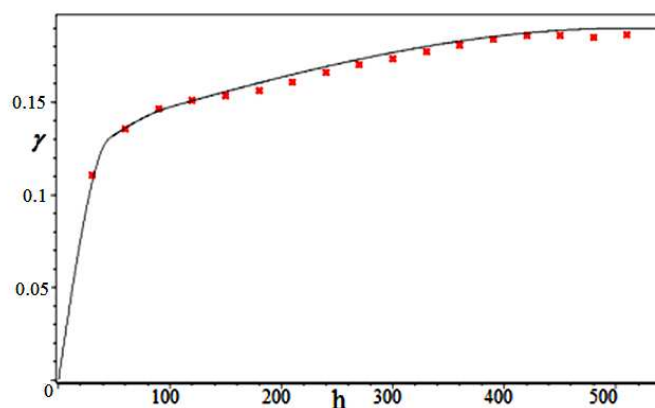
چال‌های آتشفشانی

برای تعیین حدود آستانه‌ای معیارهای کلاسه‌بندی کانسار و کلاسه‌بندی با استفاده از روش پیشنهادی در این پایان نامه خطای نسبی واقعی تخمین برای بلوک‌ها باید محاسبه شود. همان‌طور که قبلاً ذکر شد برای محاسبه خطای نسبی واقعی تخمین مقدار واقعی بلوک‌های تخمینی باید موجود باشد. در این مطالعه موردی برای تعیین مقدار واقعی بلوک‌های بخشی از کانسار، از میانگین داده‌های چال‌های آتشفشانی داخل هر بلوک استخراجی به عنوان عیار واقعی هر بلوک استفاده شده است.

با استفاده از ۳۵۶۷۶ داده چال‌های حفاری معدن مس سونگون و بلوک‌بندی محدوده به بلوک‌هایی با ابعاد ۱۰۰ متر در ۱۰۰ متر و ارتفاع ۱۲/۵ متر، میانگین عیار واقعی هر بلوک تعیین می‌شود. برای تخمین بلوک‌ها تعداد ۸۹ نمونه از محدوده به صورت منظم در یک شبکه ۱۰۰ متر در ۱۰۰ متر برداشت می‌شود. سپس به منظور تخمین و تعیین پارامترهای آماری داده‌های برداشت شده واریوگرافی بر روی این داده‌ها صورت می‌گیرد. واریوگرافی چال‌های آتشفشانی کانسار مس سونگون به صورت واریوگرافی تمام جهتی با استفاده از نرم افزار SGeMS® انجام شده است.

نتایج حاصل از واریوگرافی چال‌های آتشفشانی کانسار سونگون و واریوگرام تجربی مدل برازش یافته کروی به ترتیب در جدول ۵-۱ و شکل ۵-۲ نشان داده شده است. تخمین و کلاسه‌بندی بلوک‌ها با استفاده از داده‌های چال‌های آتشفشانی به منظور محاسبه خطای نسبی واقعی تخمین انجام می‌گیرد. تمامی مراحل نمونه‌برداری از داده‌های چال‌های آتشفشانی، میانگین‌گیری از بلوک‌ها برای تعیین عیار

واقعی، بلوک‌بندی محدوده و تخمین بلوک‌ها با استفاده از کدنویسی‌های متعدد در برنامه MATLAB® انجام گرفته است.



شکل ۵-۲ واریوگرام تجربی و مدل برازش یافته داده‌های چال‌های آتشیاری کانسار مس سونگون

جدول ۵-۱ نتایج واریوگرافی چال‌های آتشیاری کانسار مس سونگون

ساختر سوم	ساختر دوم	ساختر اول	ساختر
۰/۰۶	۰/۰۲	۰/۱۱	مقدار سقف
۵۱۰	۱۰۲	۴۵	دامنه (متر)

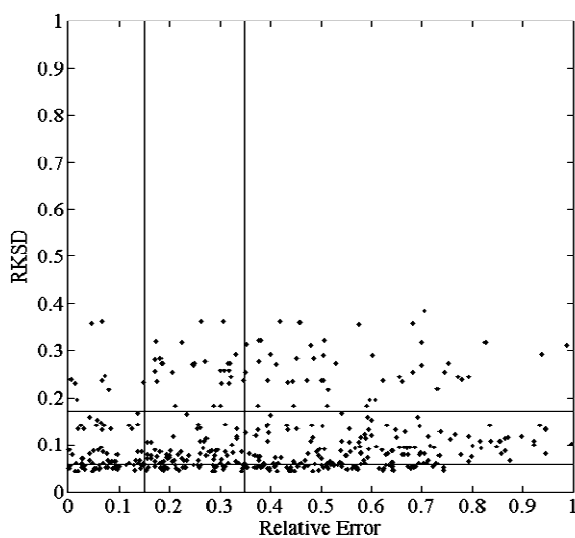
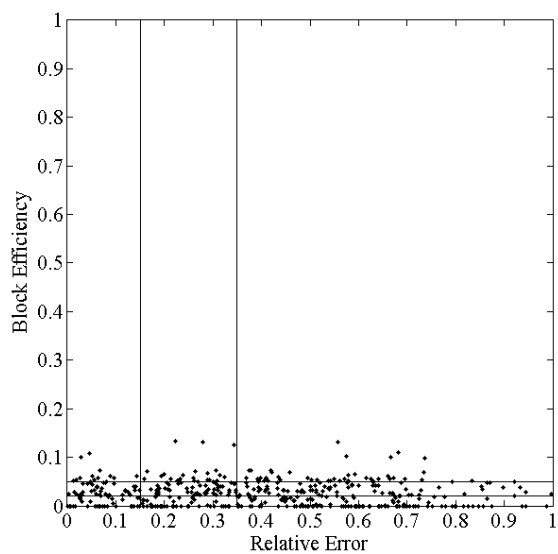
حال پس از محاسبه مقدار تخمینی بلوک‌ها می‌توان به محاسبه مقدار خطای نسبی واقعی هر بلوک پرداخت. خطای نسبی واقعی هر بلوک بر مبنای میانگین عیار نمونه‌های داخل هر بلوک انجام گرفته است. سپس تعیین حدود آستانه‌ای هر کدام از معیارهای کلاسه‌بندی با استفاده از روش پیشنهادی در این پایان نامه و مانند فصل سوم انجام شده است.

حدود آستانه‌ای معیارهای کلاسه‌بندی کانسار مس سونگون در جدول ۵-۲ نشان داده شده است.

جدول ۵-۲ حدود آستانه‌ای معیارهای کلاس‌بندی کانسار مس سونگون

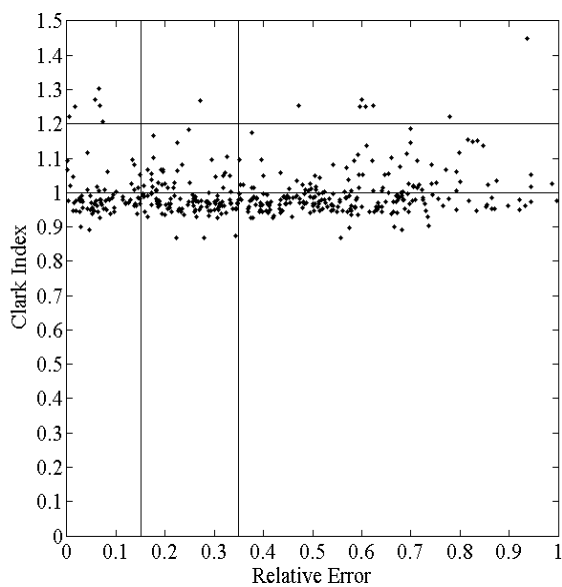
معیار	منبع اندازه‌گیری شده	منبع نشان‌داده شده	منبع استنباطی
انحراف معیار نسبی کریجینگ	کوچک‌تر ۰/۰۶	بین ۰/۰۶ تا ۰/۱۷	بزرگتر از ۰/۱۷
کارایی بلوک	بزرگتر از ۰/۰۵	بین ۰/۰۲ تا ۰/۰۵	کوچک‌تر ۰/۰۲
انحراف معیار درونیابی	کوچک‌تر ۰/۱	بین ۰/۱ تا ۰/۲۲	بزرگتر از ۰/۲۲
شاخص کلارک	کوچک‌تر ۱	بین ۱ تا ۱/۲	بزرگتر از ۱/۲
شاخص تغییرپذیری نسبی	کوچک‌تر ۰/۴	بین ۰/۴ تا ۰/۶	بزرگتر از ۰/۶
شیب رگرسیون	بزرگتر از ۰/۹۷	بین ۰/۹۷ تا ۰/۹۵	کوچک‌تر ۰/۹۵
ضریب همبستگی	بزرگتر از ۰/۹	بین ۰/۸۸ تا ۰/۹	کوچک‌تر ۰/۸۸
وزن میانگین	بزرگتر از ۰/۰۲۶-	بین ۰/۰۲۶- تا ۰/۵-	کوچک‌تر ۰/۵-

در شکل‌های ۳-۵ و ۴-۵ حدود آستانه‌ای معیارهای کلاس‌بندی کانسار مس سونگون برای انحراف معیار نسبی کریجینگ، کارایی بلوک، انحراف معیار درونیابی، شاخص کلارک، شاخص تغییرپذیری نسبی، شیب رگرسیون، ضریب همبستگی و وزن میانگین نشان داده شده است. تعیین حدود آستانه‌ای معیارهای کلاس‌بندی کانسار مس سونگون مانند تعیین حدود آستانه‌ای معیارهای کلاس‌بندی مدل مصنوعی که در فصل سوم به تفصیل در مورد آن بحث شد، انجام شده است.

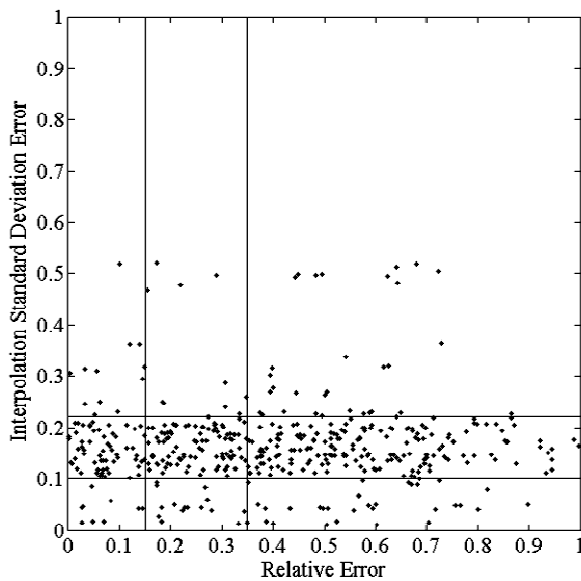


الف

ب

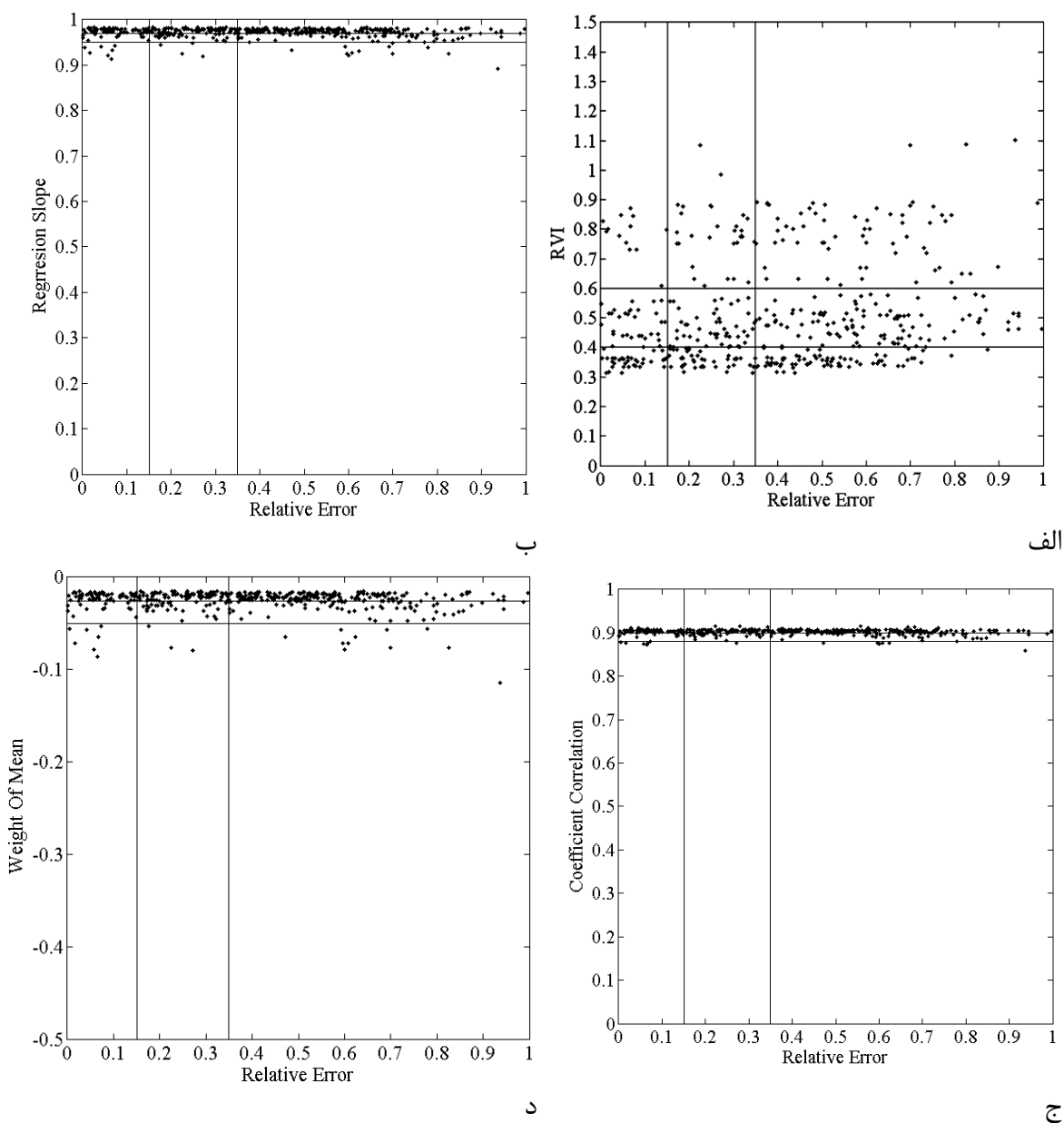


ج



د

شکل ۵-۳ حدود آستانه‌ای معیارهای مختلف: انحراف معیار نسبی کریجینگ (الف)، کارایی بلوک (ب)، انحراف معیار درونیایی (ج)، شاخص کلارک (د)



شکل ۴-۵ حدود آستانه‌های معیارهای مختلف: شاخص تغییرپذیری نسبی (الف)، حدود آستانه‌های شیب رگرسیون (ب)، حدود آستانه‌های ضریب همبستگی (ج)، حدود آستانه‌های وزن میانگین (د)

۵-۴-۱ جمع‌بندی و نتیجه‌گیری تعیین حدود معیارهای کلاسه‌بندی

با استفاده از داده‌های چال‌های آتشیاری کانسار مس سونگون، حدود آستانه‌ای مناسب برای هر معیار کلاسه‌بندی مشخص شده است. تعیین حدود مناسب برای هر معیار با استفاده از کد برنامه‌نویسی MATLAB® و با همان استراتژی استفاده شده در فصل چهارم، انجام شده است. در بخش بعدی با استفاده از حدود آستانه‌ای تعیین شده برای هر کدام از معیارهای کلاسه‌بندی به تخمین و کلاسه‌بندی کانسار مس سونگون پرداخته می‌شود.

۵-۵ تخمین و کلاسه‌بندی کانسار مس سونگون

در بخش قبل حدود آستانه‌ای هر کدام از معیارهای کلاسه‌بندی کانسار مس سونگون تعیین شد. کانسار مس سونگون از سه زون لیچینگ، سولفیدی و هیپوزن تشکیل شده است. در این قسمت به تخمین و کلاسه‌بندی زون‌ها مختلف کانسار سونگون با استفاده از تعداد ۳۱۰۶۹ داده از ۱۵۱ گمانه اکتشافی پرداخته می‌شود. در این قسمت امکان تعریف حدود معیار جداگانه، برای هر یک از زونها با توجه به محدودیت دسترسی به عیار واقعی امکان پذیر نیست و از این رو حدود آستانه‌ای به دست آمده برای هر سه زون به کار گرفته خواهند شد.

در مختصات محلی کانسار مس سونگون، گمانه‌های اکتشافی در محدوده‌ای قرار دارند که در راستای محور X از ۷۰۰۰ تا ۹۵۰۰ متر و در راستای محور Y از ۴۲۰۰ تا ۵۸۰۰ متر و در راستای Z از ۱۶۰۰ تا ۳۴۰۰ متر گسترش یافته است. گمانه‌های حفاری تقریباً در یک شبکه منظم ۱۰۰ متر در ۱۰۰ متر برداشت شده است. تعیین پارامترهای تخمین و کلاسه‌بندی این کانسار در سه بخش مجزا (زون‌های لیچینگ، سولفیدی و هیپوزن) انجام گردید. پس از تفکیک داده‌های گمانه‌های اکتشافی و آماده‌سازی

اولیه داده‌ها، به منظور واریوگرافی داده‌ها، کامپوزیت‌های ۲/۵ متری از داده‌های اکتشافی تهیه شده است. واریوگرافی گمانه‌های اکتشافی با استفاده از نرم افزار WinGslib® انجام گرفته است. سپس برازش مدل در نرم افزار Microsoft Office Excel انجام شده است. تصاویر واریوگرام‌های تجربی و مدل برازش شده کروی زون‌های مختلف در شکل‌های ۴-۴ تا ۶-۴ نشان داده شده است. واریوگرافی هر سه زون در جهات ۰، ۴۵، ۹۰ و ۱۳۵ درجه انجام شده است. نتایج حاصل از واریوگرافی زون‌های لیچینگ، سولفیدی و هیپوژن کانسار سونگون به ترتیب در جدول ۵-۵ تا ۷-۵ نشان داده شده است.

جدول ۵-۳ نتایج حاصل از واریوگرافی زون لیچینگ کانسار مس سونگون

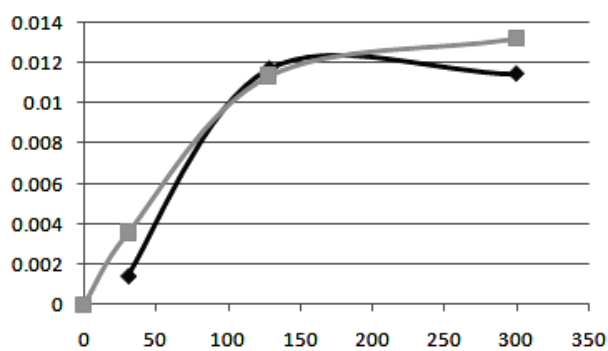
جهت واریوگرافی	ساختار اول	ساختار دوم	ساختار سوم
۴۵ درجه	۱۴۰	۶۵۰	۸۰۰۰۰
۱۳۵ درجه	۵۰۰	۴۰۰	۳۰۰
قائم	۱۰	۸	۴۰۰
مقدار سقف	۰/۰۱	۰/۰۰۵	۰/۰۳

جدول ۵-۴ نتایج حاصل از واریوگرافی زون سولفیدی کانسار مس سونگون

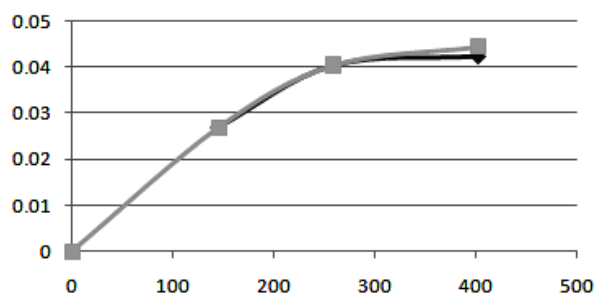
جهت واریوگرافی	ساختار اول	ساختار دوم	ساختار سوم
۴۵ درجه	۱۶۰	۲۰۰	۶۰۰۰
۱۳۵ درجه	۸۰	۳۰	۴۵۰
قائم	۷	۶۰	۵۰۰
مقدار سقف	۰/۰۶	۰/۰۸	۰/۱

جدول ۵-۵ نتایج حاصل از واریوگرافی زون هیپوژن کانسار مس سونگون

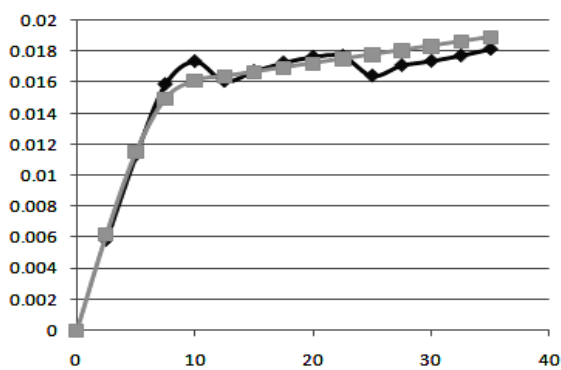
جهت واریوگرافی	ساختار اول	ساختار دوم	ساختار سوم
۰ درجه	۵	۸۰	۲۰۰
۹۰ درجه	۵	۸	۱۱۰
قائم	۱۰	۴۰	۳۵۰
مقدار سقف	۰/۰۱	۰/۰۴	۰/۰۲



الف

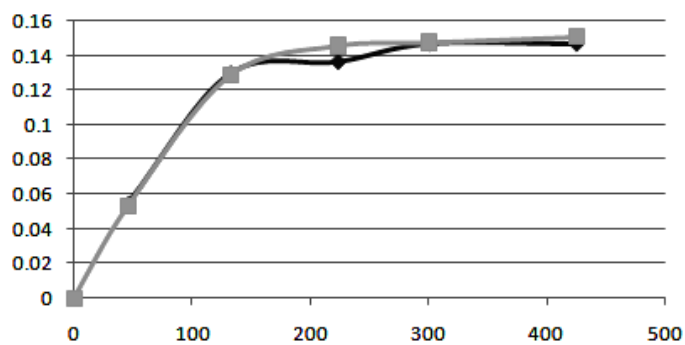


ب

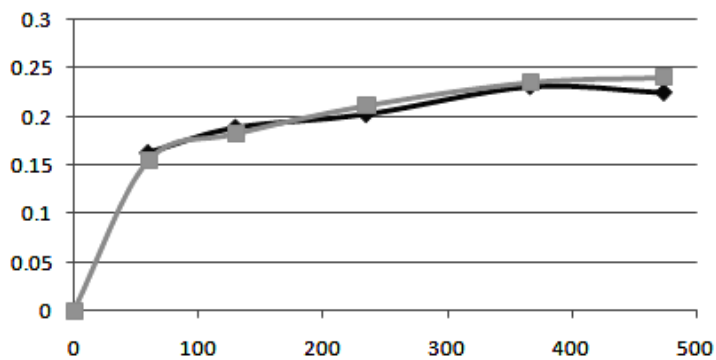


ج

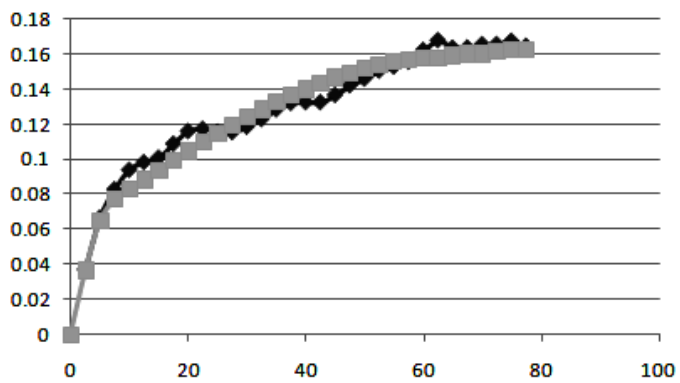
شکل ۵-۵- واریوگرام تجربی و مدل برازش شده کروی در زون لیچینگ، واریوگرافی در راستای: ۴۵ درجه (الف)، ۱۳۵ درجه (ب)، قائم (ج)



الف

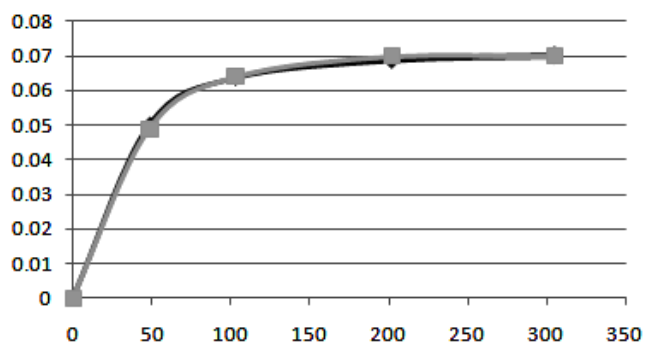


ب

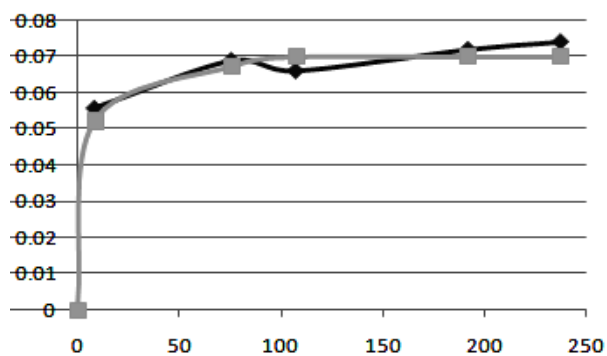


ج

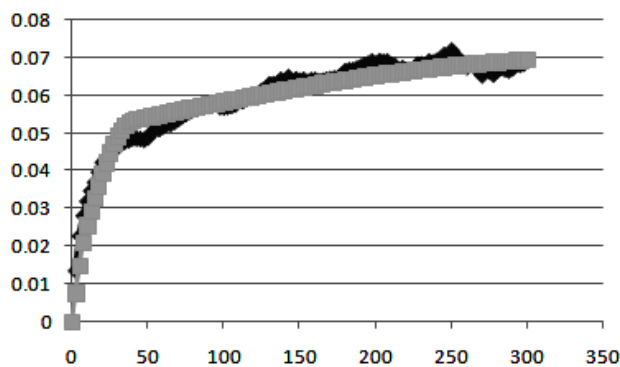
شکل ۵-۶ واریوگرام تجربی و مدل برازش شده کروی در زون سولفیدی، واریوگرافی در راستای: ۴۵ درجه (الف)، ۱۳۵ درجه (ب)، قائم (ج)



الف



ب



ج

شکل ۵-۷ واریوگرام تجربی و مدل برازش شده کروی در زون هیپوزن، واریوگرافی در راستای: ۰ درجه (الف)، ۹۰ درجه (ب)، قائم (ج)

به منظور تعیین شعاع جستجوی مناسب تخمین، اعتبارسنجی^۳ نتایج حاصل از واریوگرافی با استفاده از نرم افزار WinGslib® انجام شده است. چهار پارامتر به منظور اعتبارسنجی مورد ارزیابی قرار گرفته شد. این پارامترها شامل میانگین خطای تخمین، واریانس خطا، ضریب همبستگی بین عیار واقعی و تخمینی و شیب رگرسیون بین مقادیر واقعی و تخمینی بوده است. نتایج حاصل از اعتبارسنجی زون‌های مختلف در جدول ۵-۶ نشان داده است.

جدول ۵-۶ نتایج حاصل از اعتبارسنجی زونهای مختلف کانسار مس سونگون

زون هیپوژن			زون سولفیدی			زون لیچینگ			راستا
Z	Y	X	Z	Y	X	Z	Y	X	
۲۸۰	۸۸	۱۶۰	۴۸	۲۴	۱۶۰	۶/۴	۳۲۰	۵۲۰	شعاع جستجو

۵-۵-۱ تخمین و کلاسه‌بندی زون لیچینگ، سولفیدی و هیپوژن

پس از تعیین پارامترهای آماری تخمین کانسار مس سونگون، تخمین و کلاسه‌بندی زون‌های مختلف انجام می‌شود. تعداد ۳۷۶۱ داده کامپوزیت شده در زون لیچینگ، ۲۵۳۱ داده کامپوزیت شده در زون سولفیدی و ۱۶۲۲۲ داده کامپوزیت شده در زون هیپوژن کانسار مس سونگون حاصل گردید. بلوک‌بندی به صورت بلوک‌هایی با ابعاد ۱۰۰ متر در ۱۰۰ متر در ۱۲/۵ متر انجام شده است. پس از تخمین و محاسبه معیارهای کلاسه‌بندی کانسار مس سونگون، با توجه به حدود آستانه‌ای مشخص شده برای هر معیار، کلاسه هر بلوک در هر معیار تعیین می‌شود. نتایج حاصل از کلاسه‌بندی هر یک از معیارهای کلاسه‌بندی در زون‌های مختلف کانسار مس سونگون در جدول ۵-۷ نشان داده شده است.

³ Cross Validation

سپس بلوک به کلاسه‌ای که در آن کلاسه با توجه به معیارهای تعیین شده بیشترین فراوانی را دارد، تعلق می‌گیرد. در جدول ۵-۸ نتایج حاصل از تخمین و کلاسه‌بندی نهایی زون‌های مختلف کانسار مس سونگون نشان داده شده است.

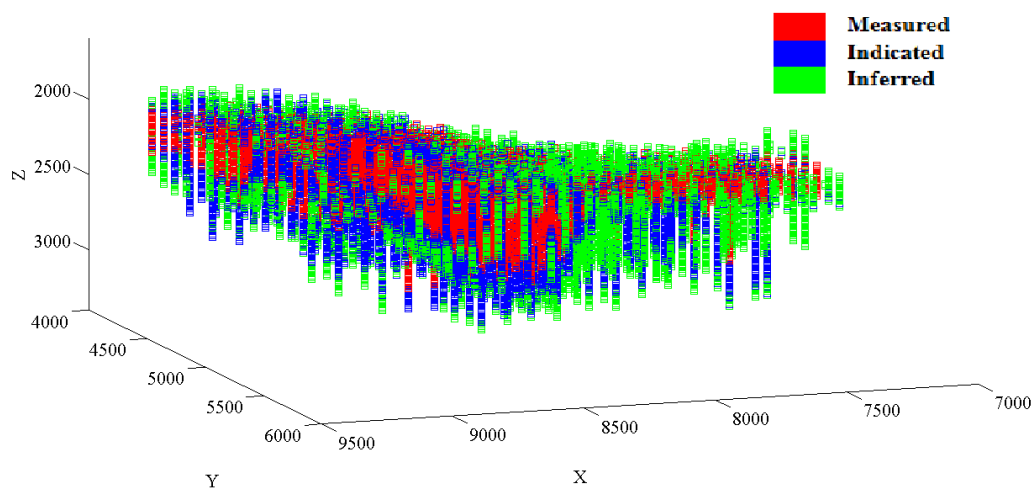
جدول ۵-۷ نتایج حاصل از کلاسه‌بندی هر یک از معیارهای کلاسه‌بندی کانسار مس سونگون

درصد بلوک در هر کلاسه (%)			معیارهای کلاسه‌بندی
استنباطی	نشان داده شده	اندازه‌گیری شده	
۴۲/۷	۲۳/۰	۳۴/۳	انحراف معیار نسبی کریگینگ
۶۱/۷	۱/۷	۳۶/۶	کارایی بلوک
۲/۵	۱۹	۷۸/۵	انحراف معیار درونیابی
۴۹/۸	۱۰/۷	۳۹/۵	شاخص کلارک
۴۱/۲	۹/۵	۴۹/۳	شاخص تغییرپذیری نسبی
۴۷/۱	۶/۵	۴۶/۴	شیب رگرسیون
۳۱/۸	۱۱/۶	۵۶/۶	ضریب همبستگی
۳۲	۳۸/۶	۲۹/۴	وزن میانگین

جدول ۵-۸ نتایج حاصل از تخمین و کلاسه‌بندی زون‌های لیچینگ، سولفیدی و هیپوژن کانسار مس سونگون

کلاسه	تناژ کانسار (تن)	درصد (%)	عیار متوسط (%)
اندازه‌گیری شده	۵۷۸،۱۰۹،۴۰۶	۳۹/۴	۰/۲۱
نشان داده شده	۲۱۶،۰۱۸،۴۳۴	۴۲/۱	۰/۲۵
استنباطی	۵۳۴،۷۹۵،۱۸۹	۱۸/۵	۰/۱۱

در شکل ۵-۸ نتایج حاصل از کلاسه‌بندی کانسار مس سونگون با استفاده از معیارهای تعیین شده نشان داده شده است.



شکل ۵-۸ کلاسه‌بندی نهایی کانسار مس سونگون با استفاده از معیارهای کلاسه‌بندی تعیین شده

۵-۶ بحث و نتیجه‌گیری

در این فصل مراحل تخمین و کلاسه‌بندی کانسار مس سونگون تشریح شد. در ابتدا با استفاده از داده‌های چال‌های آتشفشانی حدود آستانه‌ای مناسب برای هر معیار تعیین شد. به دلیل وجود زون‌های مختلف در این کانسار مراحل تخمین و کلاسه‌بندی هر زون به صورت مجزا انجام شد. سپس تعداد هشت معیار کلاسه‌بندی برای هر بلوک تخمینی محاسبه گردید. هشت معیار مورد بررسی شامل انحراف معیار نسبی کریجینگ، کارایی بلوک، انحراف معیار درونیابی، شاخص کلارک، شاخص تغییرپذیری نسبی، شیب رگرسیون، ضریب همبستگی و وزن میانگین است. در این پایان‌نامه برای کلاسه‌بندی بلوک از تمامی معیارهای موجود کمی زمین آماری استفاده شده است. در نهایت بلوک در کلاسه‌ای که بیشترین فراوانی

را در آن کلاسه دارد، قرار گرفته است. بنابراین کلاسه‌بندی بلوک از سطح اطمینان به مراتب بالاتری نسبت به روش‌هایی که از یک یا چند معیار کلاسه‌بندی استفاده می‌کنند، برخوردار است.

فصل هشتم

نتیجہ گیری و پیشہ اداات

۶-۱ نتیجه‌گیری

موضوع گزارش‌نویسی در صنعت معدن به دلیل ریسک پذیری بالای طرح‌های معدنی و شرایط ویژه سرمایه‌گذاری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بنابراین گزارش‌های معدنی باید از صحت و دقت مناسبی برخوردار باشند. چنانچه فضای بی‌اعتمادی در میان سرمایه‌گذاران و صنعت معدن به وجود آید دیگر نباید انتظار حضور سرمایه‌گذاران در طرح‌های اقتصادی پر ریسک معدنی را داشت. برای حفظ فضای اعتماد بین سرمایه‌گذاران و صنعت باید در قبال سرمایه‌گذاران احساس مسئولیتی وجود داشته باشد تا سرمایه‌گذاران با اطمینان بیشتری حاضر به سرمایه‌گذاری در طرح‌های اقتصادی شوند. اطمینان از سلامت فضایی که سرمایه‌گذار قرار است در آن سرمایه‌گذاری کند موجب دلگرمی و تشویق سرمایه‌گذار برای همکاری در طرح‌های صنعتی می‌شود. بنابراین اطلاعات اکتشافی باید بی‌طرفانه، شفاف با در نظر گرفتن جنبه مادی طرح، توسط اشخاصی که صلاحیت تهیه گزارش معدنی دارند (شخص صلاحیت‌دار)، تهیه شود. هنگامی که خبری از کشف پتانسیل معدنی اعلام می‌شود، نوع ادبیاتی که برای بازگویی خبر استفاده می‌شود، تاثیر بسزایی در اذهان عمومی و بورس اوراق بهادار دارد. نوع ادبیاتی که از طریق رسانه‌ها برای گزارش خبر معدنی استفاده می‌شود بایستی مطابق با استانداردهای بازگویی طرح‌های معدنی باشد. نمونه‌هایی از اخباری نادرست و مبالغه آمیز از یک پتانسیل غیراقتصادی که ثروت‌های بادآورده‌ای را نصیب کلاهبرداران معدنی کرده است، در این پایان نامه آورده شده است.

براساس استانداردهای متعدد بررسی شده، کلاس‌بندی منابع و ذخایر یکی از بخش‌های جدایی‌ناپذیر کدهای گزارش‌نویسی منابع و ذخایر است.

مسئولیت نهایی کلاسه‌بندی منابع و ذخایر بر عهده شخص صلاحیت‌دار است. در واقع شخص صلاحیت‌دار با استفاده از یک یا چند معیار مشخص منبع یا ذخیره مورد بررسی را براساس افزایش سطح اطمینان به ترتیب در یکی از کلاسه‌های استنباطی، نشان داده شده و اندازه‌گیری شده قرار می‌دهد.

برای امکان کمی کردن معیارهای کلاسه‌بندی، هشت معیار زمین آماری در این پایان‌نامه از نظر کارایی انتساب منبع یا ذخیره در کلاسه صحیح مورد بررسی قرار گرفته‌اند. مباحثی که در این پایان‌نامه به آن پرداخته شد، به اختصار شامل بررسی کدها یا استانداردهای بین‌المللی گزارش‌نویسی منابع و ذخایر معدنی، اهمیت بکارگیری استانداردهای بین‌المللی گزارش‌نویسی منابع و ذخایر معدنی، معرفی و مقایسه معیارهای کلاسه‌بندی منابع و ذخایر، مقایسه معیارهای کمی زمین آماری کلاسه‌بندی بر روی یک مدل مصنوعی، تاثیر اندازه بلوک در کلاسه‌بندی منابع یا ذخایر، ارائه معیاری برای تعیین حدود آستانه‌ای معیارهای کلاسه‌بندی و بررسی موردی کلاسه‌بندی کانسار مس سونگون است.

با توجه به اینکه هر معیار پارامترهای مشخصی را در تعیین کلاسه منابع و ذخایر در نظر می‌گیرد، هدف اصلی این پایان‌نامه کلاسه‌بندی منابع و ذخایر با استفاده از تمامی معیارهای موجود کمی زمین آماری کلاسه‌بندی و ارائه معیاری برای تعیین حدود آستانه‌ای معیارهای کلاسه‌بندی بوده است.

نتایجی که در مطالب چهار فصل گذشته ارائه شده است، را می‌توان در موارد زیر خلاصه کرد:

✓ تقریباً تمامی استانداردهای گزارش‌نویسی روش‌های زمین آماری را روش‌های کمی

قدرتمندی برای تخمین و کلاسه‌بندی ذخیره معرفی کرده‌اند ولی معیار ثابتی برای

کلاسه‌بندی منبع و یا ذخیره معرفی نکرده‌اند.

✓ استانداردهای گزارش‌نویسی با توجه به ویژگی‌های منحربفرد هر منبع و یا ذخیره معدنی

معیار کلاسه‌بندی را بر عهده شخص صلاحیت‌دار قرار داده‌اند. بنابراین شخص

صلاحیت‌دار با استفاده از یک استاندارد گزارش‌نویسی و یک معیار مناسب مسئولیت کلاسه‌بندی منبع و یا ذخیره معدنی را بر عهده دارد.

✓ معیارهای مختلفی تاکنون جهت کلاسه‌بندی منابع و ذخایر معدنی ارائه شده است. بسیاری از این معیارهای کیفی بوده و بیشتر دستخوش قضاوت‌های شخصی شخص صلاحیت‌دار می‌شود. در مقابل آنها معیارهای کمی‌ای وجود دارند، که بیشتر آنها بر مبنای زمین آمار بنا شده‌اند. معیارهای کمی زمین آماری پارامترهای مختلف منبع و ذخیره را برای کلاسه‌بندی منبع و ذخیره معدنی در نظر می‌گیرند بنابراین کمتر دستخوش قضاوت‌های شخصی دلخواهانه شخص صلاحیت‌دار می‌شوند.

✓ در یک شبیه‌سازی با استفاده از داده‌های نرمال و بدون اثر قطعه‌ای، معیارهای انحراف معیار نسبی کریجینگ، انحراف معیار درونیابی و شاخص تغییرپذیری نسبی معیارهای مقاوم‌تری نسبت به معیارهای دیگر نسبت به تغییر اندازه بلوک هستند. معیار کارایی بلوک، شاخص کلارک و انحراف معیار درونیابی نسبت به معیارهای دیگر کلاسه‌بندی، در مقابل تغییر اندازه بلوک معیار قابل اعتمادی نیستند. معیار انحراف معیار درونیابی علی‌رغم همبستگی بسیار خوب کلاسه هر کدام از ریز بلوک‌ها با کلاسه بلوک بزرگ، نشان داده است که ممکن است ریز بلوک‌های تشکیل دهنده بلوک بزرگ از نظر کلاسه هیچ ارتباطی با کلاسه بلوک بزرگ نداشته باشد.

✓ در یک شبیه‌سازی با استفاده از داده‌های نرمال و بدون اثر قطعه‌ای تقریباً تمامی معیارها تعداد مشابهی بلوک را به درستی کلاسه‌بندی کرده‌اند. البته در معیار کارایی بلوک به دلیل عدم تعیین حد آستانه‌ای بین کلاسه نشان داده شده و کلاسه استنباطی تعداد بلوک‌هایی که به درستی کلاسه‌بندی شده‌اند کمتر است.

✓ هیچ معیار زمین آماری مشخصی برای یک نوع کانسار خاص پیشنهاد نشده است و از این رو نوع کانسار را در کلاسه‌بندی منابع و ذخایر در نظر نمی‌گیرند. تمامی معیارهای زمین آماری به طور مستقیم و یا غیر مستقیم از اوزان بهینه کریجینگ برای کلاسه‌بندی استفاده می‌کنند. بنابراین انحراف معیار نسبی کریجینگ، کاری بلوک، انحراف معیار درونیابی، شاخص تغییرپذیری نسبی، شاخص کلارک، ضریب همبستگی، شیب رگرسیون خطی و وزن میانگین به نوعی ساختار فضایی متغیر مورد بررسی، هندسه هدف، هندسه نقاط معلوم و ناهمسانگری را در کلاسه‌بندی لحاظ می‌کنند، که بخشی از آنها مبین میزان پیشرفت عملیات اکتشافی و برخی دیگر بیانگر خصوصیات رفتاری کانسار از حیث پیوستگی است.

✓ دو معیار انحراف معیار درونیابی و معیار شاخص تغییرپذیری نسبی، تغییرات محلی متغیر را در کلاسه‌بندی در نظر می‌گیرند.

✓ معیارهای کارایی بلوک، شاخص کلارک، ضریب همبستگی و شیب رگرسیون به شدت به مدل واریوگرام منبع یا ذخیره حساس هستند. به طوری که اگر تعیین پارامترهای آماری واریوگرام به درستی صورت نگیرد، ممکن است منجر به نتایج دور از واقعیت در معیارهای فوق شود.

۲-۶ پیشنهادات

براساس مطالعات انجام شده و نتایجی که از این پایان‌نامه حاصل شده است، موارد زیر جهت بهره‌گیری کیفی و کمی بالاتر از معیارهای کلاسه‌بندی منابع و ذخایر معدنی، پیشنهاد می‌شوند:

❖ با توجه به سرعت فزاینده جهانی شدن صنعت معدن، کشورهای مختلف نیاز ویژه‌ای به داشتن زبانی مشترک در ارائه گزارش‌های معدنی در مناسبات تجاری و سرمایه‌گذاری

داشته‌اند. با توجه اهمیت و نقش کدهای گزارش‌نویسی و کلاسه‌بندی منابع و ذخایر معدنی در مناسبات تجاری، نیاز به آموزش استانداردهای گزارش‌نویسی معتبر دنیا در سطوح دانشگاهی و سپس اجرایی نمودن این استانداردها در صنعت معدن کشور به شدت احساس و پیشنهاد می‌شود.

❖ معمولاً در مقیاس صنعتی داده‌ها از حجم نسبتاً بالایی برخوردار هستند. بنابراین تخمین، تعیین حدود آستانه‌ای معیارهای کلاسه‌بندی و کلاسه‌بندی منابع و ذخایر معدنی با استفاده از کدهای برنامه‌نویسی نرم افزار [®]MATLAB زمان اجرای نسبتاً بالایی را به خود اختصاص خواهد داد. بنابراین منطقی است از زبان‌های دیگر برنامه‌نویسی مانند [®]FORTTRAN یا [®]C که به مراتب از سرعت محاسبات بالاتری برخوردار هستند، برای انجام مراحل تخمین، تعیین حدود آستانه‌ای معیارهای کلاسه‌بندی و کلاسه‌بندی منابع و ذخایر استفاده شود.

❖ با توجه به نتایج حاصل از حدود آستانه‌ای معیارهای کلاسه‌بندی در کانسار مس سونگون، می‌توان ایده‌ی نسبی مناسبی از حدود آستانه‌ای کلاسه‌بندی دیگر کانسارهای مس که از نظر نوع ذخیره با کانسار مس سونگون مشابهت دارند، بدست آورد. از همین رو پیشنهاد می‌شود معیارهای کلاسه‌بندی این پایان‌نامه بر روی کانسار سرچشمه به دلیل سابقه طولانی‌تر معدن بررسی شود و حدود آستانه‌ای بدست آمده با کانسار سونگون مقایسه شود. همچنین می‌توان بررسی معیارهای کلاسه‌بندی و حدود آستانه‌ای را بر روی کانسنگ‌های دیگر نیز بررسی کرد.

❖ همواره تفکیک بلوک‌های تخمینی مشترک در کانسارهایی که از چند زون مختلف تشکیل شده‌اند، یکی از مسائل مهم است. با استفاده از معیارهای کلاسه‌بندی منابع و ذخایر

معدنی شاید تا حدودی بتوان این مشکل را برطرف نمود. پیشنهاد می‌گردد، بلوک‌هایی که مشترکا در زونهای مختلف تخمین خورده‌اند، به زونی تعلق گیرد که در آن زون از کلاسه بالاتری برخوردار است.

منابع و ماخذ

References

1. Arik, A., *Comparison of resource classification methodologies with a new approach*. 2002. 30th APCOM symposium proceedings, Phoenix, Arizona.
2. Groia, J., J. Badley, and A. Jones, *The aftermath Of Bre-x: the industry's reaction to the decision and the lessons we all have learned*. PDAC Conference Toronto Ontario, 2008.
3. Domny.S.C, Noppe.M, and Annels.M, *Errors and uncertainty in mineral resource and ore reserve estimation: the importance of getting it right*. Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum, 2003: p. pp77-98
- .
4. *The resources and reserves committee the bord of the society for mining, matallurgy and exploration,Inc*. A guide for reporting exploration information, mineral resources, and mineral resarves, 1999
- .
5. Mckay, B., I. Lambert, and N. Miskelly, *International harmonisation of classification and reporting of mineral resources*. Submitted for publication in the AusIMM Bulletin, 2001.
6. *International concil on mining and metals International reporting template for the public reporting of exploration results,mineral resources and mineral reserves*, 2006.
7. *United nations economic commission for europe (UN-ECE)*. United nations framework classification for fossil energy and mineral resources, 2009
- .
8. *CIM standing committee on reserve definitions*. CIM definition standards for mineral resources and mineral reserves, 2005
- .
9. Mwasinga.PP, *Approaching resource classification : General practices and the integration of geostatistics*. 2001: p. pp.185-196.
10. Vann.J, Jackson.S, and Bertoli.O, *Quantitative kriging neighbourhood analysis for the mining geologist: A description of the method with worked case examples1*. International Mine Geology Conference, Bendigo, Victoria, Australia, 2003.
11. Diehl.P and David.M, *Geostatistical consepts and algorithms for ore reserve classification*. Mineral exploration research Institute P.O.box 6079 station a montreal H3C 3A7, Canada, 1982.

12. Blackwell, G., *Relative kriging error-A basis for mineral resource classification*. Department of mining engineering, Queens university, Kingston, Ontario, Canada, 1999.
13. Yamamoto, J.K., *Quantification of Uncertainty in ore-reserve estimation: Applications to Chapada copper deposit, state of Goias, Brazil*. 1999
- .
14. Krige, D.J., *A practical analysis of effects of spatial structure and of data available and accessed on conditional biases in ordinary kriging*. International geostatistics congress, Wollongong, Australia, 1996
- .
15. Sinclair, A.J. and Blackwell, G., *Applied mineral inventory estimation*. 2002: p. pp.224-226.
16. Arick, A., *An alternative approach to resource classification*. 1996
- .
17. Emery, X., J.M. Ortiz, and J.J. Rodriguez, *Quantifying uncertainty in mineral resources with classification schemes and conditional simulations*. Department of mining engineering, university of Chile, 2004.

منابع فارسی

۱۸. معاونت نظارت راهبردی دفتر امور فنی. دستورالعمل رده‌بندی ذخایر معدنی. ۱۳۸۷. نشریه شماره ۳۷۹
۱۹. امیری لاریجانی، ر. تخمین ذخیره کانسار مس سونگون با استفاده از نرم افزار DATAMINE و روش شبکه عصبی مصنوعی. دانشگاه صنعتی شاهرود. ۱۳۸۷.

Abstract

Mineral resources/reserves classification and their definition have become a critical subject for mining industry since 1970. Up to now, many classification codes have been published such as JORC, SME, SAMREC and UNFC codes for this issue. Albeit of all efforts made to converge these codes, there is no unique criterion to classify whole ore resource/reserve, which is due to the intrinsic differences among ore deposits. Qualitative (classic) and quantitative (geostatistical) criteria have been proposed to classify ore deposit. Qualitative criteria are more subjective and used in preliminary steps of the deposit evaluation, while in the detailed exploration steps, geostatistical criteria are preferable to be more objective. In this thesis, geostatistical criteria are introduced and a comparison is made among them through a simulated synthetic model to know their weakness and strengths. A crucial point in the application of such criteria is defining the proper thresholds for them. In this thesis a new method is proposed for determination or calibration of threshold of criteria, based on the calculated relative error upon the better known part of deposit. The sensitivity of the geostatistical criteria has been analyzed to change of support, because mineral resources/reserves classifications strongly dependent on selective mining unit. The classification criteria are compared and high-performance criteria which affect less by change of support are introduced. At the last chapter of this thesis a case study performed on Songun copper deposit. Classification of the Songun copper deposit has been done with using the proposed method in this thesis for different defined ores (Leach, Sulfide, and Hypogenous). The optimal threshold has been calculated for each criteria using the blast holes which belong to mined part of Sungon and applied for whole of deposit. It should be mentioned that all the computer codes used for estimation and classification of synthetic model and Songun copper deposit have been done in MATLAB® software.

Keywords: *Resource/Reserve classification, Geostatistics, criteria of classification, Quantification of uncertainty, Songun copper deposit.*



Shahrood university of technology

Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics Engineering

**Investigation of the criteria used to reserves classification
and possibility of intoroducing a new criteria via a synthtic
model-case study: Songun copper deposit**

Mojtaba Bavand Savadkoohi

Supervisors:

Dr. Mohamad Koneshloo

July 2013