دانشکده مهندسی معدن و متالورژی
گروه مهندسی اکتشاف

پایان نامه کارشناسی ارشد

مدل سازی و ارزیابی ذخیره معدن سنگ آهن سه چاهون (آنومالی ۱۱) به روش زمین آمار

اساتید راهنما:

دکتر فرهاد محمد تراب

دکتر امیرحسین کوهساری

استاد مشاور:

دکتر سید حسین مجتهد زاده

پژوهش و نگارش: سمیه بشر

شماره دانشجویی: ۸۹۰۱۴۶۴

بهمن ۱۳۹۱

تقدیر و تشکر:

به مصداق آیه «من لم یشکر المخلوق لم یشکر الخالق»

بسی شایسته است از استاد فرهیخته و فرزانه جناب آقای دکتر فرهاد محمدتراب که با کرامت خود راهگشای اینجانب در تهیه

این پروژه بودند، تقدیر و تشکر نمایم.

همچنین لازم می دانم از زحمات سرکار خانم سارا کسمایی که مرا در انجام هرچه بهتر این پروژه یاری نمودند کمال تشکر را

داشته باشم.

چکیده

کانسار سنگ آهن سه چاهون مشتمل بر دو آنومالی ۱۰ (X) و ۱۱(XI) می باشد. آنومالی ۱۱ سه چاهون خود از دو بخش جنوبی و شمالی تشکیل شده است که تأمین کننده ی اصلی خوراک خط سه چاهون و کارخانه ی فراوری چغارت می باشد. امروزه علاوه بر تخمین های زمین آماری که خود شامل روش های مختلفی می باشد (کریجینگ ساده، کریجینگ معمولی، کریجینگ شاخص و ...)، از روش شبیه سازی زمین آماری نیز به طور گسترده در مدل سازی ذخایر معدنی استفاده می شود. باتوجه به وضعیت توزیع ماده ی معدنی در کانسار آنومالی ۱۱ جنوبی معدن سه چاهون و کم عیار بودن کانسنگ استخراجی آن، ارزیابی ذخیره قبلی انجام شده دراین کانسار ازخطای تخمین مناسبی برخوردار نبوده، لذا هدف از انجام این پروژه تخمین ذخیره آنومالی ۱۱ با استفاده از تکنیک های جدید زمین آماری با توجه به داده های اکتشافی و اطلاعات چالهای آتشباری این معدن می باشد تا مدل هندسی ذخیره ارائه شده اصلاح و تعدیل گردد. در این راستا با ارزیابی داده های آهن بخش جنوبی آنومالی XI معدن سه چاهون، به بررسی چگونگی تغییر پذیری عیار در دو بخش پرعیار و کم عیار کانسار پرداخته شده و همچنین نقش شبیه سازی زمین آماری در تعیین روند تغییرات عیار در جهات مختلف مورد ارزیابی قرار گرفته است. همچنین ذخیره کانسار به دو روش کریجینگ معمولی و شبیه سازی گاوسی ترتیبی محاسبه و با یکدیگر مقایسه شده است. بر این اساس ذخیره کانسار به روش کریجینگ در دو بخش پرعیار و کم عیار به ترتیب ۱۳,۵۶۰,۰۰۰تن با عیار ۵۵/۷۵ درصد و ۵۹,۵۲۰,۰۰۰ تن با عیار ۲۶/۴۵ درصد بدست آمده که در مقایسه به روش شبیه سازی برابر ۱۴,۵۰۰,۰۰۰ تن با عیار ۵۶/۲۴ درصد مربوط به بخش پرعیار و ۵۸,۹۰۰,۰۰۰ تن با عیار ۲۶/۸۸ درصد مربوط به بخش کم عیار بوده است. عیار حد منظور شده در محاسبات ۲۰ درصد می باشد. مطالعات حاصل از این تحقیق نشان می دهد که هر دو روش با خطایی کمتر از ۷ درصد میزان ذخیره مشابه ای را برای این کانسار تأیید می نمایند.

کلمات کلیدی: شبیه سازی گاوسی ترتیبی (SGS)، کریجینگ معمولی، سه چاهون، کانسار آهن، تحقق، زمین آمار

فهرست مطالب

مقدمه..... ۱

فصل اول: کلیات

۱-۱- تفاوت آمار کلاسیک و زمین آمار ۵

۱-۲- مفاهیم اساسی زمین آمار ۵

۱-۲-۱- متغیر ناحیه ای ۵

۱-۲-۲- تابع توزیع احتمال(PDF) ۷

۱-۲-۳- فرضیات پایایی ۷

۱-۲-۴- واریوگرام ۸

۱-۲-۴-۱- اثر قطعه ای ۱۰

۱-۲-۴-۲- دامنه تأثیر (شعاع تأثیر) ۱۱

۱-۲-۴-۳- سقف واریوگرام ۱۱

۱-۲-۴-۴- ناهمسانگردی ۱۲

۱-۲-۵- کوواریوگرام ۱۳

۱-۲-۳- تخمین زمین آماری ۱۳

۱-۲-۳-۱- روش کریجینگ ۱۴

۱-۲-۳-۱-۱- معادلات کریجینگ ۱۴

۱-۲-۳-۱-۲- انواع کریجینگ بر اساس حجم پایه ۱۶

۱-۲-۳-۱-۳- ویژگی های کریجینگ ۱۷

۱-۳- تکنیک های شبیه سازی شرطی ۱۷

۱-۳-۱- تعریف ۱۸

۱-۳-۲- ویژگی های متمایز ۱۹

۱-۳-۲-۱- تغییر پذیری نمونه ۱۹

۱-۳-۲-۲- رابطهٔ فضایی نمونه ۲۲

۱-۳-۲-۳- تعیین عدم قطعیت ۲۵
۱-۳-۳- روش شبیه سازی شرطی ترتیبی ۲۹

فصل دوم: معرفی کانسار سه چاهون

۲-۱- موقعیت جغرافیایی کانسار ۴۰
۲-۲- زمین‌شناسی ناحیه‌ای ۴۲
۲-۳- زمین‌شناسی کانسار سه چاهون ۴۲
۲-۴- معرفی ذخیره و توده‌های معدنی کانسار سه چاهون (منطقهٔ آنومالی ***XI***) ۴۵
۲-۴-۱- کیفیت سنگ آهن کانسار سه چاهون ۴۷
۲-۵- جمع آوری داده ها و ساخت بانک اطلاعاتی ۵۴
۲-۵-۱- داده های آنومالی ***XI*** ۵۵

فصل سوم: تخمین به روش زمین آماری

۳-۱- بررسی پارامترهای آماری ۵۷
۳-۱-۱- هیستوگرام داده های آهن آنومالی **XI** جنوبی ۵۸
۳-۲- واریوگرافی ۶۰
۳-۲-۱- رسم واریوگرام برای ذخیرهٔ آهن پرعیار ۶۱
۳-۲-۲- رسم واریوگرام برای ذخیرهٔ آهن کم عیار ۶۳
۳-۳- تخمین به روش زمین آمار ۶۵
۳-۳-۱- مدل‌سازی ذخیرهٔ آهن بخش جنوبی آنومالی **XI** معدن سه چاهون ۶۵
۳-۳-۱-۱- ساخت مدل بلوکی ذخیرهٔ آهن آنومالی **XI** معدن سه چاهون ۶۶
۳-۳-۱-۱-الف- تهیه مدل اولیه ۶۶

۳-۳-۱-۱- ب - محدود کردن مدل ۶۷
۳-۳-۱-۱-ج- مشخصات هر بلوک ۶۹
۳-۳-۱-۱-د- تخمین پارامترهای هر بلوک ۶۹
۳-۳-۱-۱- و- کلاسه‌بندی عیارها ۶۹
۳-۳-۱-۱- ه- خطای نسبی تخمین کریجینگ (**RSD**) ۷۱
۳-۳-۱-۱-ی- گزارش‌گیری از ذخیره ۷۲

فصل چهارم: تخمین ذخیره به روش شبیه سازی

۴-۱- شبیه سازی ۷۶
۴-۱-۱- پارامترهای عمومی شبیه سازی ۷۶
۴-۱-۱-الف- شبکه بندی منطقهٔ مورد نظر ۷۶
۴-۱-۱-ب- داده های سخت ورودی و قابل دسترس ۷۶
۴-۱-۱-ج-واریوگرام ۷۸
۴-۱-۲- شبیه سازی گاوسی ترتیبی بخش پرعیار آهن ۸۱
۴-۱-۲-۱- اعتبار سنجی نتایج شبیه سازی گاوسی ترتیب بخش پرعیار آهن معدن سه چاهون (بخش جنوبی آنومالی XI) ۸۱
۴-۱-۳- شبیه سازی گاوسی ترتیبی بخش کم عیار آهن ۸۴
۴-۱-۳-۱- اعتبار سنجی نتایج شبیه سازی گاوسی ترتیبی بخش کم عیار معدن سه چاهون (آنومالی XI) ۸۴

فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات ۸۸

منابع و مآخذ ۹۱

فهرست اشکال و نمودارها:

شکل ۱-۱- نمودار شماتیکی برای محاسبه واریوگرام با استفاده از زوج نمونه هایی که به فاصله معینی از هم قرار دارند ۹

شکل ۱-۲- واریوگرام مربوط به یک معدن آهن بر اساس الف) نمونه های قدیم(با دقت کمتر) ب) نمونه های جدید(با دقت بیشتر) ۱۱

شکل ۱- ۳- رابطهٔ واریوگرام و کوواریوگرام ۱۳

شکل ۱-۴- مقایسه بین توزیع داده های نمونه برداری و تخمین های کریجینگ برای تخلخل در یک سنگ مخزن نفتی ۲۱

شکل ۱-۵- مقایسهٔ بین توزیع داده های نمونه برداری و تحقق شبیه سازی شرطی برای تخلخل در یک سنگ مخزن نفتی ۲۱

شکل ۱-۶- مقایسهٔ بین مدل واریوگرام داده های ورودی و واریوگرام تخمین های کریجینگ برای تخلخل درون یک سنگ مخزن نفتی ۲۳

شکل ۱-۷- همسایگی جستجو برای تکنیک شبیه سازی ترتیبی ۲۴

شکل ۱-۸- مقایسه بین مدل واریوگرام داده های ورودی و واریوگرام تحقق شبیه سازی شرطی برای تخلخل درون یک سنگ مخزن نفتی ۲۵

شکل ۱-۹- شش تحقق هم احتمال تولید شده با شبیه سازی ترتیبی برای تخلخل درون یک سنگ مخزن نفتی ۲۷

شکل ۱-۱۰- مقایسه تخمین های کریجینگ و تحقق شبیه سازی شرطی برای تخلخل درون یک سنگ مخزن نفتی ۲۸

شکل ۱-۱۱- تبدیل گاوسی یک متغیر پیوسته ۳۱

شکل ۱-۱۲- تبدیل گاوسی یک متغیر گسسته ۳۱

شکل ۱-۱۳- عدم قطعیت در $\vec{u}_0$ ۳۵

شکل ۱-۱۴- انتخاب یک نمونه در یک تبدیل گاوسی ۳۶

شکل ۱-۱۵- تبدیل برگردان از فضای گاوسی برای یک متغیر پیوسته ۳۶

شکل ۱-۱۶- تبدیل برگردان از فضای گاوسی برای یک متغیرگسسته ۳۷
شکل ۲-۱- نقشه زمین شناسی منطقه معدنی بافق- ساغند به همراه موقعیت معدن سه چاهون و سایر آنومالی‌های منطقه ۴۱
شکل ۲-۲- نمایی از معدن سه چاهون ۴۱
شکل ۲-۳- نقشه‌ی زمین شناسی منطقه معدنی سه چاهون دربرگیرنده آنومالی X وXI..... ۴۴
شکل ۲-۴- مقطع عرضی آنومالی‌های X وXI معدن سه چاهون ۴۵
شکل ۲-۵- ترادف پاراژنتیکی کانی‌های اصلی و کانی‌های آلتراسیون موجود در کانی‌سازی سه چاهون ۴۸
شکل ۲-۶- تصاویر میکروسکوپی مقاطع صیقلی از کانسنگ سه چاهون ۵۰
شکل ۲-۷- نقشه پروفیل‌های اکتشافی و موقعیت گمانه‌ها در آنومالی XI جنوبی و شمالی ۵۶
شکل ۳-۱- هیستوگرام و پارامترهای آماری کل داده‌های آنومالی XI جنوبی برای عنصر آهن ۵۹
شکل ۳-۲- هیستوگرام داده‌های آنومالی XI جنوبی برای عنصر آهن (بخش پر عیار) ۵۹
شکل ۳-۳- هیستوگرام داده‌های آنومالی XI جنوبی برای عنصر آهن (بخش کم عیار)..... ۶۰
شکل۳-۴- واریوگرام در راستای جهت اصلی برای آهن پرعیار ۶۱
شکل۳-۵- واریوگرام در راستای جهت اصلی برای آهن کم عیار ۶۳
شکل ۳-۶- مدل بلوکی اولیه کلی معدن سه چاهون (آنومالی XI)، بدست آمده از نرم‌افزار$Surpac$ ۶۷
شکل ۳-۷- محدوده مشخص شده بخش پرعیار آهن توسط فایل DTM ۶۷
شکل ۳-۸-مدل بلوکی محدود شده توسط مرزهای بخش پرعیار آهن ۶۸
شکل ۳-۹- محدوده مشخص شده بخش کم عیار آهن توسط فایل DTM..... ۶۸
شکل ۳-۱۰-مدل بلوکی محدود شده توسط مرزهای بخش کم عیار آهن ۶۸
شکل ۳-۱۱- طبقه بندی عیاری آهن پرعیار آنومالی XI معدن سه چاهون ۷۰
شکل ۳-۱۲- طبقه بندی عیاری بخش کم عیار آهن معدن سه چاهون آنومالی XI ۷۰

شکل ۳-۱۳- پراکندگی RSD برای بخش پرعیار آهن بخش جنوبی آنومالی XI معدن سه چاهون ۷۲
شکل ۳-۱۴- پراکندگی RSD برای بخش کم عیار آهن بخش جنوبی آنومالی XI معدن سه چاهون ۷۲
شکل ۴-۱- داده های شرطی سازی آهن برای بخش پر عیار آنومالی XI معدن سه چاهون ... ۷۷
شکل ۴-۲- داده های شرطی سازی آهن برای بخش کم عیار آنومالی XI معدن سه چاهون . ۷۷
شکل ۴-۳- هیستوگرام داده های تبدیل شده به توزیع نرمال استاندارد (بخش پرعیار) ۷۸
شکل ۴-۴- هیستوگرام داده های تبدیل شده به توزیع نرمال استاندارد (بخش کم عیار) ۷۸
شکل ۴-۵- بلوک های شبیه سازی شدهٔ آهن پرعیار سطح ۱۶۰۰ در چهار تحقق (۱، ۳، ۸۰ و ۹۸) ۸۱
شکل ۴-۶- هیستوگرام و توزیع آماری داده های خام اولیه و تحقق های ۱، ۳، ۸۰ و ۹۸ (بخش پر عیار آهن) ۸۲
شکل ۴-۷- واریوگرام داده های آهن پرعیار حاصل از تحقق های ۱، ۳، ۸۰ و ۹۸ ..... ۸۳
شکل ۴-۸- بلوک های شبیه سازی شدهٔ آهن کم عیار سطح ۱۶۰۰ در چهار تحقق (۷، ۱۲، ۱۹ و ۲۲) ۸۴
شکل ۴-۹- هیستوگرام و توزیع آماری تحقق های ۷، ۱۲، ۱۹ و ۲۲ (بخش کم عیار آهن) ۸۵
شکل ۴-۱۰- واریوگرام داده های حاصل از تحقق های ۷، ۱۲، ۱۹ و ۲۲ (بخش کم عیار آهن) ۸۶

فهرست جداول

جدول ۲-۱- ترکیب کانی‌شناسی *تیپ‌های مختلاف کانسنگ* سه‌چاهون ۵۱

جدول ۲-۲- میانگین ترکیب شیمیایی سنگ‌ها در نمونه‌های کلی منطقه آنومالی XI..... ۵۳

جدول ۳-۱- پارامترهای آماری هیستوگرام آنومالی XI جنوبی..... ۶۰

جدول ۳-۲- پارامترهای واریوگرام برازش شده برای داده های آهن(بخش پرعیار) ۶۲

جدول ۳-۳- گزارش اعتبارسنجی واریوگرام برای داده‌های آهن پرعیار ۶۲

جدول ۳-۴- پارامترهای واریوگرام برازش شده برای داده های آهن(بخش کم عیار) ۶۴

جدول ۳-۵- گزارش اعتبارسنجی واریوگرام برای داده‌های آهن کم عیار ۶۴

جدول ۳-۶- مشخصات هندسی مدل بلوکی آنومالی XI معدن سه چاهون.....۶۶

جدول ۳-۷- گزارش نهایی ذخیره آهن پرعیار بخش جنوبی آنومالی XI معدن سه چاهون..... ۷۳

جدول ۳-۸- گزارش نهایی ذخیره آهن کم عیار بخش جنوبی آنومالی XI معدن سه چاهون... ۷۴

جدول ۴-۱- مشخصات شبکه بندی مورد استفاده در شبیه سازی ۷۶

جدول ۴-۲- مشخصات لازم واریوگرام برای مقادیر تبدیل یافتهٔ آهن برای هر دو بخش پرعیار و کم عیار..... ۷۹

جدول ۴-۳- مشخصات بیضوی جستجو برای شبیه سازی گاوسی ترتیبی..... ۸۰

جدول ۴-۴- نتیجه اعتبار سنجی بخش پر عیار آهن معدن سه چاهون (بخش جنوبی آنومالی XI) از طریق مقایسه کریجینگ معمولی و SGS..... ۸۳

جدول ۴-۵- نتیجه اعتبار سنجی بخش کم عیار آهن معدن سه چاهون (بخش جنوبی آنومالی XI) از طریق مقایسه کریجینگ معمولی و SGS..... ۸۶

جدول ۵-۱- نتیجه اعتبار سنجی بخش پر عیار آهن معدن سه چاهون (بخش جنوبی آنومالی XI) از طریق مقایسه کریجینگ معمولی و SGS..... ۸۹

جدول ۵-۲- نتیجه اعتبار سنجی بخش کم عیار آهن معدن سه چاهون (بخش جنوبی آنومالی XI) از طریق مقایسه کریجینگ معمولی و SGS..... ۸۹

مقدمه

امروزه با توجه به پیشرفت در امر محاسبه ذخیره و اهمیت اقتصادی بودن معادن از لحاظ حجم ذخیره، اهمیت دو چندانی به روش‌های محاسبه ذخیره داده شده است. بررسی ذخیره یک معدن، پارامترهای مهمی را به دنبال خود خواهد داشت، مانند اقتصادی بودن معدن، چگونگی طراحی معدن و مواردی از این دست که باعث تحول و کارکرد متناسب با ذخیره خواهد شد، بنابراین ارزیابی ذخیره هر معدن یکی از ضروریات طراحی و برنامه‌ریزی تولید به شمار می‌رود و شامل دو مدل هندسی و کیفی می‌باشد. در تخمین مدل کیفی می‌توان از روش‌های کلاسیک و زمین‌آماری استفاده نمود. هر کدام از این روش‌ها دارای ویژگی و مراحل عملیاتی خاص خود می-باشند. اما روش‌های زمین‌آماری دارای مزیت‌های بیشتری نسبت به روش‌های کلاسیک می‌باشد [۱].

به طور کلی، تخمین زمین آماری فرایندی است که طی آن می توان مقدار یک کمیت را در نقاط دیگری با مختصات معلوم بدست آورد. این تخمین گر زمین آماری به افتخار یکی از پیشگامان علم زمین آمار بنام د.جی.کریگ[1]، کریجینگ نام گذاری شده است. کریجینگ یک روش تخمین است که بر منطق میانگین متحرک وزن دار استوار است که بهترین تخمین گر خطی نااریب است [۲].

اگر چه روش های مختلف زمین آماری (کریجینگ) قادر هستند پارامترها را با حداقل خطای تخمین محاسبه نمایند ولی نتایج تخمین، تغییرات کمتری نسبت به داده های اصلی (داده های اندازه گیری شده) دارند و میزان این تغییرات نیز به تعداد نمونه ها بستگی دارد. چنانچه تعداد نمونه ها افزایش یابد، تغییرات تخمین به تغییرات داده های اصلی نزدیک می شود. به عبارت دیگر نتایج تخمین با هموارسازی همراه خواهند بود [۳].

در زمین آمار به منظور غلبه بر مشکل مذکور و نمایش صحیح تغییرات واقعی پارامترهای مورد مطالعه از شبیه سازی استفاده می کنند. در این روش، برای متغیر مورد مطالعه در هر محل خاص از راه شبیه سازی تصادفی، باید مقادیر زیادی تولید کرد که همگی آنها دارای احتمال وقوع

[1] D.J Krige

یکسان باشند. به عبارت دیگر، برای هر محل یک توزیع به دست می آید که از این طریق می توان در موضوعاتی که احتیاج به در نظر گرفتن تمامی جوانب است، همانند بهره برداری از معادن و مخازن هیدروکربوری، حالات گوناگون موضوع مورد بررسی را در نظر داشت تا در مراحل بررسی فنی و اقتصادی و امکان سنجی در معادن و یا تعیین بهترین محل برای حفر چاه های اکتشافی و بهره برداری از مخازن، با دقت بیشتری عمل کرد [۳].

مهمترین ویژگی های شبیه سازی های زمین آماری عبارتند از ایجاد گروهی از تصاویری که محدوده ای از وقایع ممکن را نشان میدهد، درصد احتمال پیشامد را محاسبه و همچنین ریسک درهر مرحله از فرایند را تعیین می کند. شبیه سازی های زمین آماری علاوه بر ایجاد دوباره ی هیستوگرام داده ها، تغییر پذیری فضایی داده ها را نیز که معمولاً از طریق یک مدل واریوگرام توصیف می شود، نشان می دهند[۴].

در تکنیک های شبیه سازی، هدف اصلی فقط این نیست که یک عکسی از ذخیرهٔ مادهٔ معدنی بدست آید بلکه از طریق این تکنیک ها میخواهیم واقعیتی را شبیه سازی کنیم که واریانس خطا را به حداقل می رساند [۵].

کلاً قدرت هر تکنیک شبیه سازی شرطی براساس تواناییش در شرطی سازی حداکثر اطلاعات ممکن و همزمان به حداقل رساندن محاسبات مورد نیاز برای شبیه سازی مقادیر ویژگیها و مشخصه ها سنجیده می شود. غالباً این دو در تعارض هستند. در نتیجه بسته به کیفیت و نوع اطلاعاتی که در نظر گرفته می شوند، یک روش شبیه سازی شرطی مناسب انتخاب می شود. آن روش به نوع خاصی از اطلاعات تأکید دارد در حالیکه از انواع دیگر اطلاعات چشم پوشی می کند یا اینکه تأثیر آنها را به حداقل می رساند. در حال حاضر هیچ روشی نداریم که به درستی همهٔ اطلاعات قابل دسترس در مورد یک ذخیرهٔ مادهٔ معدنی را با هم ترکیب و پیوسته کند. در هر صورت ما باید یک روش شبیه سازی شرطی را انتخاب کنیم که نوع اطلاعاتی که برای ما از همه با ارزشترند را در اولویت قرار دهد [۵].

در اینجا با ارزیابی داده های آهن بخش جنوبی آنومالی XI معدن سه چاهون، به بررسی چگونگی تغییر پذیری عیار و ارتباط آماری بین عیار آهن و سایر پارامتر ها پرداخته شده و

همچنین نقش شبیه سازی زمین آماری در تعیین روند تغییرات عیار در جهات مختلف مورد ارزیابی قرار گرفته است.

این سمینار مشتمل بر ۵ فصل می باشد که به ترتیب عبارتند از:

- مفاهیم مقدماتی تکنیک های زمین آماری و شبیه سازی
- معرفی کانسار سه چاهون
- تخمین ذخیره به روش زمین آماری
- تخمین ذخیره به روش شبیه سازی
- نتیجه گیری و پیشنهادات

فصل اول:

کلیات

۱- مفاهیم مقدماتی آماری و زمین آماری

۱-۱- تفاوت آمار کلاسیک و زمین آمار

آمار کلاسیک شاخه ای از آمار است که در آن مقدار کمیت موردنظر در جامعهٔ نمونه ها بدون در نظر گرفتن چگونگی توزیع فضایی داده ها و مستقل از مکان قرار گیری آنها مورد بحث و بررسی قرار می گیرد. در روش های آمار کلاسیک که از مدت ها قبل برای ارزیابی ذخیره به کار می رفته است، فرض می شد که نمونه های گرفته شده از قسمت های مختلف کانسار، مستقل از یکدیگرند. به عبارت دیگر موقعیت نمونه گیری از کانسار بی اهمیت بوده و فقط مقدار یک کمیت معین در یک نمونه مورد تحلیل قرار می گرفته است. این فرضیات صحیح نیست زیرا به عنوان مثال اگر از گمانه های نزدیک به هم، نمونه گیری انجام شود، باید بین آن ها ارتباط مشخصی از نظر کانی سازی دیده شود. اگر چنین ارتباطی دیده نشود، نشان می دهد که یا ماده معدنی تداوم ندارد و یا اینکه فاصله کارهای اکتشافی زیاد است.

در زمین آمار، علاوه بر مقدار یک کمیت در یک نمونه، موقعیت فضایی آن نیز مورد توجه است. هم چنین، برای هر نمونه با نمونه های اطراف خود یک ارتباط فضایی، در یک حداکثر فاصله معین تعریف می شود. این فاصله حداکثر، دامنه تأثیر نامیده می شود. زمانی که فاصله نمونه های برداشت شده بیش از دامنه تأثیر باشد، داده های مربوط به یک کمیت نمونه برداری شده، مستقل از موقعیت فضایی خود تغییر می کنند و در این حالت تخمین گرهای زمین آماری، کارایی خود را از دست می دهند. بنابراین در زمین آمار، با استفاده از داده های یک کمیت با مختصات معلوم، می توان مقدار همان کمیت را برای نقطه ای دیگر با مختصات معلوم که درون دامنه تأثیر قرار گرفته است، تخمین زد [۲].

۱-۲- مفاهیم اساسی زمین آمار

۱-۲-۱- متغیر ناحیه ای

در واقع تئوری متغیرهای ناحیه ای، پایه ریاضی زمین آمار را تشکیل می دهد. از آنجا که بسیاری از متغیر های مورد بررسی در معدن و علوم زمین(مانند عیار کانسار، ضخامت یک سازند،

ارتفاع سطح زمین و ...)، ماهیت ناحیه ای دارند و می توان آن ها را در مجموعه متغیرهای ناحیه ای دسته بندی کرد. بنابراین علم زمین آمار در زمینه های نامبرده، بسیار کاربردی است [۷].

برای تعریف متغیر ناحیه ای ابتدا لازم است اصطلاحات میدان تصادفی، تابع تصادفی و متغیر تصادفی تعریف گردند.

الف- متغیر تصادفی: یک متغیر تصادفی متغیری است که هر مقداری که در دامنه عمل خود پیدا می کند با یک احتمال معینی قرین باشد. به عبارت دیگر هر مقداری از آن دارای احتمال رخداد معینی است.

ب- تابع تصادفی: هر تابع تصادفی تابعی است که در آن یک یا چند متغیر تصادفی وجود دارد.

ج- میدان تصادفی: فضایی است که برای تشریح و توجیه توزیع مقادیر در آن به یک یا چند تابع تصادفی نیاز باشد.

مقدار یک متغیر تصادفی که در فضا توزیع شده باشد دو حالت پیدا می کند:

۱- مقدار متغیر تصادفی در هر نقطه از آن فضا تابع مختصات آن نقطه است.

۲- مقدار متغیر تصادفی در هر نقطه از فضا مستقل از مختصات آن نقطه است.

به عبارت دیگر مقدار متغیر تصادفی در حالت اول قالب مختصاتی (x,y,z) دارد و در حالت دوم این قالب را ندارد. در حالت دوم (ب) که مقدار متغیر تصادفی در هر نقطه از فضا مستقل از مختصات است، دو حالت زیر ممکن است پیش آید:

۱- تفاضل مقدار متغیر تصادفی در دو نقطه مختلف از آن فضا، مستقل از فاصله آن دو نقطه است. به عبارت دیگر این تفاضل قالب فاصله ای (h) ندارد.

۲- تفاضل مقدار متغیر تصادفی در دو نقطه مختلف از فضا بستگی به فاصله آن دو نقطه دارد. به عبارت دیگر این تفاضل قالب فاصله ای (h) دارد.

اگر مقدار متغیر تصادفی در فضا طوری باشد که حالت (۲) در مورد آن صادق باشد در این صورت آن متغیر تصادفی را ناحیه ای می گویند.

۱-۲-۲- تابع توزیع احتمال[1] (PDF)

تعریف تابع توزیع (چگالی) احتمال $f(z)$ به صورت مشتق تابع توزیع تجمعی $F(z)$ در صورت وجود می باشد.

$$f(z) = F'(z) = \lim_{dz\to 0} \frac{F(z+dz)-F(z)}{dz} \qquad (۱-۱)$$

که تابع چگالی احتمال $f(z)$ بزرگتر یا مساوی صفر و انتگرال $f(z)$ مساوی تابع توزیع تجمعی (cdf) و همچنین انتگرال $f(z)$ از $-\infty$ تا $+\infty$ مساوی یک می باشد. همانطور که قبلاً ذکر شد علیرغم استفاده دیداری گسترده تر از هیستوگرام یا تابع چگالی احتمال (pdf) در محاسبات از تابع توزیع تجمعی $f(z)$ بسیار بیشتر استفاده میشود. از آنجائی که تابع چگالی احتمال $f(z)$ با هیستوگرام دارای ارتباط می باشد اغلب یک تابع چگالی احتمال پارامتریک (دارای پارامتر های ریاضی) بر یک هیستوگرام تجربی پوشش داده می شود اما با این وجود یک تفاوت مفهومی با اهمیت بین هیستوگرام گسسته و منحنی pdf پیوسته وجود دارد. فراوانی نمونه ها در یک کلاس هیستوگرام می تواند بصورت احتمال قرار گرفتن یک مقدار نمونه در این کلاس تفسیر شود اما نباید $f(z)$ بعنوان احتمال مقدار z در نظر گرفته شود (در واقع $f(z)$ یک مقدار احتمال نیست) بلکه انتگرال $f(z)$ در فاصله یک حد پائین و یک حد بالایی می تواند بعنوان یک احتمال گسسته برای اینکه z داخل این کلاس باشد، تفسیر شود [6].

۱-۲-۳- فرضیات پایایی

هر کانساری را می توان حالت تحقق یافته یک میدان تصادفی با تعدادی تابع تصادفی و بیشمار حالت محتمل قلمداد کرد. تخمین ساختار آماری یک میدان تصادفی که فقط دستیابی به نمونه هایی از یک حالت تحقق یافته آن (یعنی نمونه هایی از یک کانسار) امکان پذیر است کار بسیار مشکلی است و فقط بر اساس فرض هایی که موجب ساده سازی قضیه گردند انجام پذیر می گردد. به کمک چنین فرض هایی که اصطلاحاً فرضیات پایایی نامیده می شود می توان با نمونه برداری از یک کانسار به عنوان حالت تحقق یافته یک میدان تصادفی، مشخصات تابع تصادفی (متغیر ناحیه ای) را تخمین زد [۷].

[1] Probability Density Function

۱-۲-۴- واریوگرام

تابع واریوگرام که در زیر به شرح آن خواهیم پرداخت، دارای چند خصوصیت زمین شناختی است که در ارزیابی ذخیره قابل توجه می باشد. این خصوصیات عبارتند از: دامنه تأثیر، همسانگردی و ...

الف- تعریف واریوگرام:

ساده ترین راه برای مقایسه دو مقدار، مثلاً عیار دو نقطه با مختصات x و x+h ، این است که قدر مطلق اختلاف آن دو یعنی $|Z(x) - Z(x+h)|$ را بررسی کنیم. در واقع این اختلاف چندان اهمیت ندارد و باید بین مقادیر دو نقطه ای که به فاصله h از یکدیگر قرار گرفته اند، اختلاف متوسط را در نظر گرفت. بنابراین باید مقدار متوسط $|Z(x) - Z(x+h)|$ را برای تمام موقعیت های x و x+h محاسبه کنیم ولی چون مقدار متوسط این کمیت به صفر میل می کند، در عمل، مجذور اختلاف را در نظر می گیریم. یعنی داریم:

$$2\gamma(h) = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}[Z(x_i) - Z(x_i+h)]^2 \qquad (۲-۱)$$

و یا

$$2\gamma(h) = \frac{1}{V}\int_{v} [Z(x) - Z(x+h)]^2\, dx \qquad (۳-۱)$$

که در این رابطه، v حجم کانسار V می باشد و این رابطه را واریوگرام ($2\gamma(h)$) می نامیم که یک تابع برداری است. یعنی فاصله و جهت یافتگی این فاصله دارای اهمیت می باشد.

مقدار این تابع نشان می دهد که در امتدادهای گوناگون، متوسط عیارها نسبت به فاصله، چگونه تغییر می کند. برای تخمین مقدار این انتگرال باید از اطلاعات موجود استفاده کنیم. فرض می کنیم که در مجموع، $N(h)$ زوج نمونه که به فاصله h از یکدیگر واقع اند، داشته باشیم. براساس این اطلاعات خواهیم داشت:

$$2\gamma(h) = \frac{1}{N(h)}\sum_{i=1}^{N(h)}[Z(x_i) - Z(x_i+h)]^2 \qquad (۴-۱)$$