دانشکده مهندسی معدن و متالورژی

گروه مهندسی اکتشاف معدن

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشدمهندسی معدن

مدلسازی زمین آماری کانسار سرب و روی کوشک

اساتید راهنما:

دکتر فرهاد محمد تراب

دکتر علیرضا یار احمدی

استاد مشاور: دکتر سید حسین مجتهد زاده

پژوهش و نگارش: علی میرعالی

بسم الله الرحمن الرحيم

تقدیم به:

خانواده ام

تشکر و قدردانی:

برخود فرض می دانم از زحمات جناب آقای دکتر محمد تراب به دلیل هدایت و راهنمایی‌های مفید و مستمر و صبر و حوصله ای که در طول این پایان نامه درپاسخ به سوالات بنده داشتند، تشکر و قدرد دانی کنم. از جناب آقای دکتر یار احمدی نیزکه مشوق اصلی بنده در انجام این کار بودند قدردانی صمیمانه می نمایم. اغراق نیست اگر بگویم درس زمین آمار ایشان دردوره کارشناسی ارشد بهترین و آموزنده ترین درس دوره تحصیلات دانشگاهی اینجانب بوده است. هم چنین از جناب آقای دکتر مجتهد زاده و سایر اساتید دانشکده معدن که افتخار شاگردی ایشان نصیب بنده بوده کمال تشکر و سپاسگذاری را دارم.

چکیده:

این پایان نامه به بررسی نقش زمین آمار در مدلسازی و تخمین ذخیره کانسار کوشک می پردازد.کانسار کوشک که هم اکنون به عنوان معدن سرب و روی از آن استخراج صورت می گیرد از سه بخش کوشک قدیم، زردو و پهنو تشکیل شده است و کانه های اصلی آن گالن و اسفالریت می باشد. در ابتدا پایگاه داده از اطلاعات موجود از گمانه ها ساخته شد و از ۴۳۷ گمانه موجود تعداد ۱۳ گمانه بدلیل خارج بودن از محدوده مورد بررسی و یا نا کامل بودن اطلاعات کنار گذاشته شدند. به بخش های ماسیو سولفید و پیریت که در لاگ های لیتولوژی ماده معدنی محسوب می شوند کد ۱ و به بقیه لیتولوژی ها کد ۰ اختصاص یافت. همچنین از مجموع عیار سرب و روی که به اختصار آنرا عیار می نامیم در گمانه های باقیمانده با بازه ۲ متری کمپوزیت تهیه شده و بررسی‌های آماری و نهایتا تبدیل به روش امتیاز نرمال روی آنها انجام شد.

از واریوگرافی شاخص سه بعدی به منظور شناخت پیوستگی شکل هندسی ماده معدنی در فضای فیزیکی و از واریوگرافی سه بعدی عیار روی صفحه اصلی کانسار و صفحه نرمال آن استفاده شد و بهترین واریوگرام و بیضوی انیزوتروپی برای هر یک بدست آمد. در ابتدا از روش شبیه سازی متوالی شاخص مقید، مدل هندسی زمین شناسی تولید گردید و سپس مدل عیاری بر اساس پارامترهای بهینهء حاصل از آنالیز حساسیت به روش کریجینگ معمولی، درمحدوده مدل زمین شناسی ساخته شد. بر اساس همبستگی عیار و دانسیته به هر بلوک یک مقدار دانسیته نسبت داده شد و سپس بر اساس عیار حدهای مختلف میزان ذخیره و عیار متوسط محاسبه و منحنی عیار – تناژ ترسیم شد. نتایج نشان می دهد که کانسار کوشک دارای حدودا ۱۳۰۷۲۰۰۰ تن ماده معدنی با عیار متوسط 6/917(مجموع سرب و روی) می باشد.

کلید واژه ها: سرب و روی کوشک، زمین آمار، تخمین ذخیره، واریوگرافی، شبیه سازی متوالی شاخص، کریجینگ معمولی.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل۱ فصل اول: مقدمه ۱

۱-۱. پیشگفتار: ۲

۱-۲. بیان مسئله: ۳

۱-۳. اهداف تحقیق ۴

۱-۴. بیان روش ۵

فصل۲ فصل دوم: مفاهیم و روشها ۶

۲-۱. مقدمه ۷

۲-۲. متغیر ناحیه ای ۷

۲-۳. واریوگرافی ۸

۲-۳-۱. پارامترهای مشخصه واریوگرام ۹

۲-۴. پایایی ۱۳

۲-۵. کریجینگ ۱۵

۲-۶. منحنی عیار- تناژ ۱۷

۲-۷. شبیه سازی زمین آماری ۱۷

فصل۳ فصل سوم:معرفی کانسار کوشک ۲۲

۳-۱. معرفی کانسار کوشک ۲۳

۳-۲. تاریخچه کانسار کوشک ۲۴

۳-۳. ژئومورفولوژی ۲۵

۳-۴. زمین‌شناسی عمومی منطقه ۲۶

۳-۵. زمین شناسی کانسار ۲۶

۳-۶. منشا کانسار کوشک ۲۷

۳-۷. شکل و پاراژنز: ۲۸

۳-۸. کانی‌شناسی کانسنگ ۲۹

فصل۴ فصل چهارم: مدلسازی و تخمین ذخیره ۳۲
۴-۱. مقدمه ۳۳
۴-۲. ساخت پایگاه داده ها و ارزیابی وضعیت داده های موجود ۳۳
۴-۳. کمپوزیت سازی ۳۷
۴-۴. تبدیل توزیع داده ها ۴۱
۴-۵. آنالیز ساختاری ۴۳
۴-۵-۱. واریوگرافی داده های زمین شناسی ۴۳
۴-۶. واریوگرافی داده های عیار ۴۶
۴-۷. انیزوتروپی ۴۸
۴-۸. اعتبارسنجی واریوگرام ۵۰
۴-۹. مدلسازی ۵۱
۴-۹-۱. مدلسازی زمین شناسی: تخمین مرز کانسنگ و باطله ۵۱
۴-۱۰. مدلسازی عیار ۵۵
۴-۱۱. آنالیز حساسیت ۵۸
۴-۱۲. ارزیابی مدل ۶۴
۴-۱۳. دانسیته ۶۵
۴-۱۴. تخمین ذخیره ۶۶
۴-۱۵. منحنی عیار – تناژ ۶۷
۴-۱۶. کلاسه بندی ذخیره ۶۸

فصل۵ فصل پنجم:بررسی و تجزیه و تحلیل نتایج ۶۹
۵-۱. نتیجه گیری: ۷۰
۵-۲. پیشنهادات: ۷۱

فهرست اشکال

عنوان صفحه

فصل۱ :مقدمه ۱

فصل۲: مفاهیم و روشها ۶

شکل۲-۱. واریوگرام تجربی و مدل تئوریک برازش شده به آن ۱۰

شکل۲-۲. اشکال مختلف واریو گرام شامل (الف)گوسی (ب)خطی بدون اثر قطعه ای (ج) خطی با اثر قطعه ای (د) سقف دار کروی و نمایی (ه) اثر قطعه ای خالص (و) تناوبی ۱۱

شکل۲-۳. حالات نقض فرضیات پایایی – متغیری با میانگین و واریانس غیر ثابت (راست بالا)- متغیری با میانگین ثابت و واریانس غیر ثابت(چپ بالا) ۱۴

شکل۲-۴. دو روش اصلی احتمالاتی برای مدلسازی سه بعدی زمین شناسی- مبتنی برشیء (تصویرسمت راست)- مبتنی بر پیکسل(تصویر سمت چپ) ۱۹

شکل۲-۵. مراحل تبدیل یک متغیر گسسته به متغیری با مقادیر ۰و۱ ..... ۱۹

شکل۲-۶. ارتباط شبیه سازی زمین آماری شرطی و غیر شرطی با کریجینگ ۲۱

فصل۳:معرفی کانسار کوشک ۲۲

شکل۳-۱. موقعیت جغرافیایی کانسارکوشک ۲۳

شکل۳-۲. اشکال مختلف حضور پیریت در شیل های کوشک (A)یوهدرال (B) کروی (C) برشی (D) اسکلتی(مهرابی ۱۳۷۰) ۳۰

شکل۳-۳. دانه گالن که در اثر مراحل بعدی کانی سازی خرد شده و با پیریت جایگزین شده است(مهرابی ۱۳۷۰) ۳۱

فصل۴: مدلسازی و تخمین ذخیره ۳۲

شکل۴-۱. نمای سه بعدی از وضعیت گمانه های بکار رفته در پایگاه داده- قرمز(ماسیو سولفید و پیریت)- آبی(دولومیت و میکرودیوزیت و دیا باز و ...) ۳۵

شکل۴-۲. نمای سه بعدی از وضعیت گمانه های بکار رفته در پایگاه داده با کد عیار-

قرمز(بخش عیار سنجی شده)- آبی (بدون عیار گیری)..... ۳۵
شکل۴-۳. زاویه حفر گمانه ها نسبت به افق- در جهت بالا با علامت مثبت و در جهت پایین با علامت منفی..... ۳۶
شکل۴-۴. آزیموت گمانه ها..... ۳۶
شکل۴-۵. هیستوگرام داده های عیار سرب و روی کمپوزیت های ۲ متری در بخش ماده معدنی ۳۸
شکل۴-۶. هیستوگرام داده های عیار سرب و روی در کمپوزیت های ۲ متری در بخش باطله..... ۴۰
شکل۴-۷. هیستوگرام ماده معدنی و باطله حاصله از لاگ های زمین شناسی..... ۴۱
شکل۴-۸. نمای سه بعدی از گمانه ها – بخش روشن تر معرف عیار بالا تر است . این بخش به صورت لایه ای در کمر پایین..... ۴۲
شکل۴-۹. داده های عیار کمپوزیت شده بعد از نرمال سازی ۴۲
شکل۴-۱۰. واریوگرام جهتی داده‌های زمین شناسی برای تعیین فضای تخمین (محور بزرگ بیضوی انیزوتروپی)..... ۴۴
شکل۴-۱۱. واریوگرام جهتی داده‌های ز مین شناسی برای تعیین فضای تخمین(محوردوم بیضوی آنیزوتروپی) ۴۴
شکل۴-۱۲. واریوگرام جهتی داده‌های زمین شناسی برای تعیین فضای تخمین(محورسوم بیضوی انیزوتروپی)..... ۴۵
شکل۴-۱۳. برهم نهی سه واریوگرام جهتی داده های زمین شناسی در جهات حداکثر، متوسط و حداقل..... ۴۵
شکل۴-۱۴. واریوگرام جهتی داده‌های عیارمجموع سرب و روی برای تخمین عیار (محور بزرگ بیضوی آنیزوتروپی)..... ۴۶
شکل۴-۱۵. واریوگرام جهتی داده‌های عیارمجموع سرب و روی برای تخمین عیار (محور متوسط بیضوی آنیزوتروپی)..... ۴۷
شکل۴-۱۶. واریوگرام جهتی داده‌های عیارمجموع سرب و روی برای تخمین عیار (محور کوچک بیضوی آنیزوتروپی) ۴۷
شکل۴-۱۷. بر هم نهی سه واریو گرام جهتی داده های عیار مجموع سرب و روی – انیزوپروپی هندسی به وضوح دیده می شود..... ۴۸
شکل۴-۱۸. صفحه اصلی و محور اصلی واریوگرام عیار(شیب -۶۵ و آزیموت ۲۸۰)۴۹
شکل۴-۱۹. صفحه واریوگرام دوم عیار که نرمال بر صفحه اول است.(شیب -۹۰ و آزیموت ۱۰) ۴۹

شکل۴-۲۰. هیستوگرام داده های کریجینگ در مرحله اعتبار سنجی متقابل ۵۰
شکل۴-۲۱. هیستوگرام خطاها در مرحله اعتبار سنجی متقابل ۵۱
شکل۴-۲۲. تصویرافق ۹۴۰ معدن – ترسیم دستی از داده های گمانه و تونل که رنگ قرمز معرف ماده معدنی و رنگ سیاه معرف باطله است(تصویر راست) - تصویر حاصل از شبیه سازی با استفاده از اطلاعات گمانه ها که رنگ از قرمز معرف فضای ماده معدنی و رنگ آبی معرف باطله است. توالی رنگی حد واسط از قرمز به آبی بیانگر کاهش احتمال حضور ماده معدنی است..... ۵۴
شکل۴-۲۳. - نمای سه بعدی توده ماده معدنی که فضای تخمین را هم مشخص می‌نماید..... ۵۵
شکل۴-۲۴. مدل بلوکی عیار توالی رنگی از آبی به قرمز معرف افزایش عیار است. دید مایل و از بالا..... ۵۶
شکل۴-۲۵. مدل بلوکی عیار توالی رنگی از آبی به قرمز معرف افزایش عیار است. دید مایل و از پایین..... ۵۷
شکل۴-۲۶. هیستوگرام عیار تخمینی بلوک ها ۵۷
شکل۴-۲۷. - نمودار تغییرات کارایی کریجینگ و شیب رگرسیون بر اساس ابعاد بلوک(بالا) و تعداد نقاط تفکیک(پایین) ۶۰
شکل۴-۲۸. نمودار تغییرات کارایی کریجینگ و شیب رگرسیون بر اساس حداکثر نمونه شرکت کننده در تخمین..... ۶۱
شکل۴-۲۹. نمودار تغییرات کارایی کریجینگ و شیب رگرسیون بر اساس حداقل تعداد نمونه شرکت کننده در تخمین ۶۱
شکل۴-۳۰. نمودار تغییرات کارایی کریجینگ و شیب رگرسیون بر اساس حداکثر شعاع جستجوی افقی(تصویر بالا)و حداکثر شعاع حستجوی قائم(تصویر پایین)..۶۲
شکل۴-۳۱. آنالیز روند داده های اولیه(کمپوزیت ۲ متری) و داده های تخمینی در بلوک ها در افق..... ۶۴
شکل۴-۳۲. آنالیز روند داده های اولیه(کمپوزیت ۲ متری) و داده های تخمینی در بلوک ها درراستای شرق ۶۵
شکل۴-۳۳. منحنی عیارحد – تناژ - عیار میانگین ۶۷

فهرست جداول

جدول۴-۱. مشخصات گمانه ها ی حفر شده در کانسار کوشک..... ۳۴
جدول۴-۲. مشخصات آماری مجموع عیار سرب و روی در بخش ماده معدنی ۳۹
جدول۴-۳. پارامترهای بیضوی انیزوتروپی ۴۸
جدول۴-۴. نتیجه آزمون اعتبار سنجی متقابل از واریوگرام جهت اصلی عیار..... ۵۰
جدول۴-۵. مشخصات مدل بلوکی..... ۵۳
جدول۴-۶. مشخصات آماری عیارهای تخمینی در بلوک ها ۵۸
جدول۴-۷. پارامترهای حاصل از تخمین برای بلوک معرف. همانطور که دیده می شود با جایگزینی پارامترهای بهینه کارایی کریجینگ و شیب رگرسیون به یک بسیار نزیک شده اند..... ۶۳
جدول۴-۸. پارامترهای بهینه حاصل از آنالیز حساسیت..... ۶۳
جدول۴-۹. توزیع چگالی کانسگ کوشک به عنوان تابعی از عیار سرب و روی ... ۶۵
جدول۴-۱۰. میزان ذخیره بر حسب حجم تناژ و عیار ۶۶
جدول۴-۱۱. کلاسه بندی ذخیره بر اساس خطا ی نسبی تخمین هر بلوک ۶۸

فصل اول: مقدمه

۱-۱. پیشگفتار:

صنعت معدنکاری همچون دیگر صنایع، با منبع و ارزش اقتصادی پروژه های آتی و یا ارزیابی اقتصادی و فنی پروژه های جاری سر و کار دارد. این امر در گرو طراحی فنی و اقتصادی صحیح این پروژه هاست و نقطه شروع چنین کاری تعیین مشخصات فیزیکی و شیمیایی نهشته معدنی است.

روش های زمین آماری می تواند به میزان قابل ملاحظه ای در شناخت عیار، تناژ و رده بندی صحیح ذخیره کانساربه طراح کمک کند. منشأ چنین امری در قابلیت های ذاتی این روش ها همچون ناااریب بودن خطای تخمین، ارائه واریانس تخمین، توجه به تداوم و پیوستگی ماهیت فضایی داده ها است.

یکی از بهترین منابع تفسیر زمین شناسی کانسار داده های حاصل از نمونه گیری زیر سطحی است که از گمانه های حفاری شده به دست می آید. به منظور دست یابی به مدل صحیح و بهینه کانسار، ارائه توصیف زمین شناسی دقیقی از کانسار قبل از انجام هر تخمینی ضروری است. داده هایی که در این راستا مورد استفاده قرار می گیرند از گمانه هایی بدست می آید که به دلایل اقتصادی به فواصل اغلب دور از هم حفاری می شوند. لذا اطلاعاتی که حاصل می شوند، نمی تواند به صورت خام معرّف کل کانسار باشد. علاوه براین، اغلب پدیده های زمین شناسی از پیچیدگی بسیار زیادی برخوردارند و می توان تفسیرهای متفاوتی از یک گروه اطلاعات به دست آورد. به عبارتی دیگر این نمونه ها با هم ارتباط دارند؛ اما عدم قطعیت و احتمالات زیادی درباره این ارتباط وجود دارد. متغیرهایی در این نمونه ها که اصولا زمین آمار با آنها سروکار دارد به نام متغیر هایی ناحیه ای نامیده می شوند. این متغیرها به بخشی از فضای هندسی تعلق دارند. متغیرهای ناحیه ای می توانند پیوسته یا گسسته باشند نمونه ای از متغیر های پیوسته لاگ لیتولوژی و نمونه ای دیگر عیار و یا تخلخل است.

می توان گفت زمین آمار مانند چاقویی دو لبه عمل می کند که به کار گیری نادرست آن اشتباهات فاحش و بسیار حساسی را در معدن کاری وارد می کند. از طرف دیگر در صورت

استفادهٔ صحیح و به جا در بهینه سازی مشخصات کانسار مورد بررسی بسیار مفید خواهد بود. در کنار این مسائل باید گفت که نادیده گرفتن پارامترها و قیود زمین شناسی حتی در صورت مدلسازی هر چند صحیح عیار می تواند باعث خطای تخمین بیش از حد گردد.

به طور خلاصه هدف اصلی زمین آمار، شناسایی ساختار های فضایی در زمانی است که تنها داده های اندکی از کل ساختار موجود است، چیزی که در زمین شناسی امر معمولی به شمار آمده و اختلاف کلیدی آن با آمار کلاسیک در منظور کردن مکان نمونه گیری در محاسبات می باشد. در جایی که پیوستگی فضایی بین داده ها موجود نباشد و پراکندگی آماری کاملاً تصادفی باشد کاربرد زمین آمار مفید نخواهد بود.

۱-۲. بیان مسئله:

روش متداول در ساخت مدل (های) عیاری داخل ساختن تمام داده های مربوط به عنصر مربوطه، در امر مدل سازی و قبل از آن ساخت مدل زمین شناسی به شکل دستی و بر اساس تفسیر کارشناس زمین شناسی بر مبنای مقاطع حاصل از گمانه های مربوطه است(پوپوف[1] ۱۹۶۶).

در این حالت مدل زمین شناسی یا از ابتدا در یک نرم افزار طراحی می شود و یا اینکه از ترسیمات کاغذی رقومی شده و سپس درون نرم افزار شکل نهایی آن ساخته می شود. مزیت این روش، دخالت دادن تفسیر فرد زمین شناس است که ممکن است سالها در آن پروژه فعالیت کرده و دید نسبتاً خوبی از کانسار داشته باشد. معایب این روش زمان بر بودن ساخت مدل و انتخاب و به کارگیری فرضیات ابتدایی اکتشاف مثل اصل تداوم روندهای زمین شناسی بین گمانه ها و همچنین داخل شدن سلایق فردی در ساخت مدل و صرف نظر کردن از پیوستگی و ارتباط فضایی کلی بین پارامترهای فضایی زمین شناسی بر اساس معیار های کمی (واریوگرافی) در مدل است.

[1] popof

بدین ترتیب مهمترین موضوعی که در این پایان نامه به آن پرداخته می شود ارزیابی کارایی روشهای زمین آماری در تخمین ذخیره کانسار سرب و روی کوشک و سپس ارائه بیانی کمی از ویژگیهای ذخیره است.

در این تحقیق با وجود در دسترس بودن لاگ های زمین شناسی گمانه های معدن مزبور مدل زمین شناسی کاملی از آن وجود نداشت تا بتوان از آن در محدود کردن فضای تخمین استفاده کرد. محدود کردن فضای تخمین همانگونه که در بخش قبل به اختصار به آن اشاره شد مانع فرآیند هموار سازی کریجینگ در ساخت شکل کلی کانسار شده و باعث می شود در کنار دستیابی به یک میانگین دقیق و صحیح از کل کانسار، شکل کلی کانسار و ابعاد آن نیز نسبتاً دقیق باشد. برای مدلسازی زمین شناسی نیز از روش های زمین آمار کمک گرفته می شود. یکی از پر کاربردترین روشهای زمین آماری، روش شبیه سازی شاخص متوالی مقید (شرطی)[1] است که نتایج قابل قبولی را در مدلسازی به دست داده است(شیفرت و ینسن[2]۱۹۹۹). مدلسازی عیاری اغلب توسط روش های کریجینگ که یک شاخه از روش های زمین آماری هستند، انجام می شود. انتخاب این روش بستگی به ارضای شرایط پایایی در پیوستگی فضایی داده ها دارد. این روش ها در ارائه مدل عیاری و تخمین ذخیره روشهایی متداول محسوب می شوند. چند مثال از کاربرد این روش ها عبارتند از کریج[3] (۱۹۸۵) و دوتر[4] و همکارانش (۱۹۹۷).

۱-۳. اهداف تحقیق

هدف این تحقیق تخمین ذخیره کانسار کوشک است. در این راستا نقش زمین آماردر تخمین ذخیره و مدل حاوی اطلاعات فیزیکی بدست آمده از این روش ها بررسی و ارزیابی می

[1] Sequential indicator simulation
[2] Seifertand & Jensen
3 Krige
4 Dutter

شود. یکی از اهداف دیگر این پایان نامه ارائه چـارچوبی بـرای رونـد صـحیح مدلسـازی و تخمـین ذخیره است که بتواند به بهترین تخمین منتهی شود. بطور کلی در این تحقیق سعی می شـود بـه سوالات زیر پاسخ داده شود:

- اندازه و گسترش فضایی کانسارچیست؟
- شکل کانسار چگونه است؟
- میزان غنای کانسار از نظر عیار سرب و روی چگونه است؟
- گسترش فضایی دانسیته بلوک های کانسار چگونه است؟
- سطح اعتماد تخمین برای بلوک ها چقدر است؟

۱-۴. بیان روش

۱. هر فرایند تخمین با ساخت پایگاه داده هـا بـر مبنـای فیلـدهای داده هـای خـام و محاسباتی شروع می شود.
۲. ارزیابی کیفیت داده ها، تعیین شکل تـابع، توزیـع پارامترهـای عیـار ، چگـالی و ...، بررسی گمانه ها از نظر موقعیت فضایی و تغییرات هندسی، طول حفـاری، و آمـاده سازی اطلاعات که شامل جدایش جوامع هموژن آماری وکمپوزیت سازی و ... است.
۳. ارزیابی ساختارهای فضایی بوسیله واریوگرافی و شناسایی گسترش فضایی داده هـا از نظر ایزوتروپی، اعتبار سنجی متقابل پارامترهای واریوگرام.
۴. مدلسازی زمین شناسی برای مقید کردن فضای تخمین.
۵. ساخت مدل بلوکی و تصمیم گیری راجع به پامترهای مورد نیاز برای تخمین.
۶. انجام کریجینگ در مدل بلوکی مقید به مدل زمین شناسی، آنالیز حساسیت نتـایج به تغییر پارامترهای دخیل در تخمین مثل اندازه ابعاد بلوک و ارزیابی صحت مدل.
۷. تخمین تناژ نهایی و ترسیم منحنی تناژ - عیار در کنار ترسیم مدل بلوکی نهایی و ترسیم بلوک های استخراجی در افق های مختلف.

فصل دوم: مفاهیم و روشها

۲-۱. مقدمه

زمین آمار به مجموعه ای از روش ها اطلاق می شود که در آن میزان یک پارامتر اندازه گیری نشده با اتکا به ساختار فضایی داده ها توسط نقاط دیگر تخمین زده می شود.این روشها مزیتشان را نسبت به روش عکس فاصله یا نزدیک ترین نقطه در جهت ارزیابی ذخیره اغلب معادن به اثبات رسانیده اند(آرمسترانگ[1]، ۱۹۹۸). زمین آمار براساس مفهوم متغیرهای ناحیه ای که توسط (ماترون[2]۱۹۶۳) معرفی گشته بنا نهاده شده است. وی براساس کار تجربی دانیل کریج که یک مهندس معدن در افریقای جنوبی بوده و در سال ۱۹۵۱ پایان نامه کارشناسی ارشد خود را در این زمینه ارائه نمود یک روش تخمین جدید برای عیار متوسط بلوک های معدنی معرفی کرد. مبانی زمین آمار در کتاب های بسیاری از جمله ارمسترانگ (۱۹۹۸)، ژورنل و هوژبرگت[3] (۱۹۷۸)، گوارتز[4](۱۹۹۷) چیل و دلفینر[5](۱۹۹۹) معرفی و تبین شده است.

۲-۲. متغیر ناحیه ای

عیار را نمی توان یک متغیرکاملا تصادفی فرض کرد بلکه می توان گفت متغیری با یک جنبهٔ تصادفی است. دلیل این امر همبستگی دو نمونهٔ مجاور در اغلب موارد است. بدیهی است که دو نمونهٔ مجاور از یک زون پر عیار هرچند عیار برابری ممکن است نداشته باشند ولی هر دو عیار بالایی خواهند داشت. همین مسئله در زون کم عیار هم انتظار می رود. این واقعیت نشان می دهد که این نوع داده ها به نوعی ماهیت فضایی و مکانی دارند. این ماهیت مکانی قلب مفهوم متغیرهای ناحیه ای را تشکیل می دهد.

1 Armstrong
2 Matheron
3 Journel and Huijbregts
4 Goovaerts
5 Chilès & Delfiner

یک متغیر ناحیه ای مشخصات زیر را دارد:

متغیر به بخشی خاصی از فضا تعلق دارد و تغییراتش در میدان هندسی قابل تعریف و تعین است این میدان هندسی می تواند یک گمانه یا یک واحد چینه شناسی باشد.

متغیر به خصوصیات هندسی وابسته است؛ یعنی خصوصیاتی مثل شکل هندسی، اندازه، و جهت و نمونه در متغیر موثرند.

متغیر ممکن است در تغیرات فضایی اش پیوستگی داشته باشند یا برعکس.

متغیر میتواند در زمینه تغییرات فضایی انیزوتروپی داشته باشد. یعنی در بعضی جهات متغیر پذیری بیشتری نشان دهد که معمولا جهات عمود بر هم هستند.

می توان گفت هر پارامتری از یک ذخیره معدنی که تفاضل ان در دو نقطه از فضا بستگی به فاصله آن دو نقطه دارد (به عبارت دیگر این تفاضل قالب فاصله ای (h) داشته باشد) را می توان به عنوان یک متغیر ناحیه ای در نظر گرفت و کلیه مطالعات زمین آماری را با فرض مهیا بودن شرایط پایایی و توزیع نرمال داده ها بر روی آن انجام داد.

۲-۳. واریوگرافی

همانطور که اشاره شد ، اساس مطالعات زمین آماری بر شناخت و تعیین ساختار فضایی بین داده ها استوار است . وسیله ای که بر اساس آن ساختار فضایی بین داده ها را می توان مورد بررسی قرار داد، ترسیم واریوگرام تجربی یا تغییر نما می باشد. با ترسیم واریوگرام تجربی تغییرات توأم فاصله و عیار نمونه ها به طور همزمان نمایش داده می شود. در این روش تغییر پذیری را تابعی از واریانس بین نقاط نمونه برداری با فاصله معین (h) ازیکدیگر فرض می نمائیم و مقدار این تغییر پذیری را بر اساس رابطه ذیل محاسبه می کنیم :

$$\gamma^*(h)=\frac{1}{2\mathrm{N}(h)}\sum[\mathrm{Z}(\mathrm{X}+h)-z(X)]^2$$

که در این رابطه مقدار واریوگرام تخمینی، (N(hتعداد جفت نمونه های به کار رفته در

محاسبات به ازای فاصله معین h و z مقدار عیار کمیت مورد اندازه گیری است .

همانطور که در رابطه فوق مشاهده می گردد برای محاسبه بایستی تغییرات عیار بین جفت نمونه های مختلف با فاصله h از یکدیگر را تعیین نمود. لذا در بررسی های زمین آماری ابتدا بایستی کلیه جفت نمونه های ممکن را بر اساس نمونه های موجود بدست آورد که تعداد آن برابر $n(n-1)/2$ می باشد در این رابطه n تعداد نمونه ای برداشت شده در محیط نمونه برداری است.

بر اساس رابطه فوق ، هر چه تعداد نمونه های برداشت شده بیشتر باشد تعداد جفت نمونه های بیشتری نیز بدست خواهد آمد و واریوگرام بر اساس تعداد جفت بیشتری محاسبه شده و در نتیجه مقدار واریوگرام تخمینی از اعتبار بیشتری برخوردار خواهد بود. بر عکس در صورتیکه تعداد نمونه های برداشت شده کم باشد، تعداد جفت نمونه های ساخته شده محدود بوده و بدست آوردن واریوگرامی که بتواند ساختار فضایی موجود را بخوبی آشکار سازد بسیار مشکل و در برخی موارد غیر ممکن است.

۲-۳-۱. پارامترهای مشخصه واریوگرام

در ترسیم واریوگرام ابتدا مقدار را به ازای مقادیر مختلف h (طول گام) محاسبه نموده و سپس مقدار واریوگرام تخمینی به ازای فواصل مختلف h در یک نمودار ترسیم می گردد. در شکل ذیل یک واریوگرام تجربی بهمراه پارامترهای معرف مدل برازش شده به واریوگرام تجربی مشاهده می گردد. در این شکل ، خط پر ترسیم شده معرف مدل برازش شده به نقاط واریوگرام است که با پارامترهای ذیل مشخص می شود

اثر قطعه ای : (Nugget effect) که مقدار عرض از مبدأ مدل برازش شده می باشد و بیانگر تغییرات عیار در فاصله $h = o$ است و به لحاظ فیزیکی می تواند بیانگر تغییرات تصادفی، خطای نمونه برداری ، خطای آنالیز و یا تغییر پذیری ذاتی بالای کمیت مورد مطالعه در محیط نمونه برداری باشد.