رسم نقشه تخمین و نقشه خطای تخمین در سه بعد برای اکسید کلسیم(CaO) داده های معدن سیمان زنجان با روش زمین آماری

منوچهر محمدی [۱*]، حمیدآقابابائی [۲]، عنایت الله خجسته [۳]، احمدمودبی [۴]، محمدجعفرمحمدزاده [۵]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی سهندتبریز

۲- استادیار ، دانشگاه صنعتی سهند تبریز

۳ – مربی ، دانشگاه صنعتی سهند تبریز

۴ – مربی ، سیمان فارس ،سیمان خاش ، سیمان زنجان

۵ - استادیار ، دانشگاه صنعتی سهند تبریز

E-mail:mohammadi_gmbh@yahoo.com

چکیده

کاستن خطای ارزیابی ذخایر معدنی تاثیر بسزایی در آینده کاری و اقتصادی یک معدن دارد.در ارزیابی ذخایر معدنی به روشهای سنتی علاوه بردقت پایین تخمین ، بدست آوردن توزیع خطای محاسبات غیرعملی است، در صورتیکه در روشهای تخمین زمین آماری ، با استفاده از مدلسازی تغییرات ،دقت تخمین ها افزایش وخطا به حداقل رسیده و تابع توزیع خطا در بخشهای مختلف معدن ، قابل محاسبه خواهد بود . در این مقوله با استفاده از روشهای زمین آماری ،مقدار کمیت اکسید کلسیم بصورت فضایی درکل معدن (اعم از نقاط نمونه برداری شده یا نمونه برداری نشده) طی بررسیهای آماری کلاسیک ، اعمال تبدیلهای مناسب ، محاسبه تغییرپذیری داده ها ، مدلسازی تغییرات و درنهایت محاسبه تخمین ها و خطای مربوط به تخمین هربلوک درمعدن مورد بررسی قرار گرفته و نقشه های مربوطه ترسیم گردیده است .

واژه های کلیدی:واریوگرام،کریجینگ،دامنه تأثیر،ساختارفضایی،مدل رازش،ناهمسانگردی

* تبریز – شهر جدید سهند – پردیس دانشگاه صنعتی سهند تبریز - دانشکده معدن – منوچهر محمدی

۱- مقدمه

بدلیل اثرات نامطوب خطای تخمین در افزایش ریسک سرمایه گذاری ، لازم است دقیق ترین تخمین ذخیره که بتواند حداقل خطای تخمین را تضمین کند به کار گرفته شود و خطای تخمین در هر نقطه از نهشته مواد معدنی باید معلوم باشد هیچ یک از روشهای تخمین ذخیره نمی تواند انجام چنین امری را ممکن سازد زیرا اساس همه روشهای سنتی را آمار کلاسیک تشکیل میدهد . در این روشها امکان محاسبه خطای تخمین بصورت کلی آن ، یعنی محاسبه میانگین خطای کلی تخمین های انجام شده امکان پذیر است ولی امکان اینکه بتوانیم به توزیع خطای تخمین دست یابیم نمی باشد . زمین آمار بر خلاف آمار کلاسیک امکان محاسبه خطای تخمین را برای کوچکترین واحد (سلول) در اختیار می گذارد . لذا امکان دستیابی به تابع توزیع خطا نیز فراهم می گردد . اگر عیار نهشته مواد معدنی ساختار فضایی قوی داشته باشد بعبارت دیگر اگر بین مقادیر مختلف یک کمیت در جامعه نمونه ها و فاصله و جهت قرارگیری نمونه ها نسبت به هم ارتباط قوی برقرار گردد این ارتباط فضایی (فاصله ای و جهتی) بین مقادیر یک کمیت ممکن است در قالب های ریاضی قابل بیان باشد به این قالبهای ریاضی ساختار فضایی گفته می شود . پس در صورت ساختاردار بودن داده ها این روش می تواند بسیار مفید واقع گردد.

بنابراین در صورتی می توان داده ها را با زمین آمار بررسی کرد که داده ها ساختار فضایی از خود بروز دهند . پس ابتدا به بررسی وجود یا عدم وجود ساختار فضایی بین داده ها می پردازیم و در صورت وجود ساختار فضایی تحلیل داده ها انجام می گیرد . قابل ذکر هست که نمونه های مجاور تا فاصله معین در قالب ساختار فضایی به هم وابسته هستند . به اینصورت که میزان تشابه بین مقادیر مربوط به نمونه های تزدیکتر بیشتر است لذا، در زمین آمار هر نمونه تا یک فاصله معین با نمونه های اطراف خود ارتباط فضایی دارد که این فاصله معین دامنه تاثیر نامیده می شود که یکی از پارامترهای با اهمیت در تحلیل داده هاست . مسلما در فواصل بیش از این مقدار تخمینگر های زمین آماری کارایی ندارند .

قابلیت مهم زمین آمار این هست که با استفاده از داده های یک کمیت در مختصات معلوم مقدار همان کمیت را در نقطه ای با مختصات معلوم دیگر ، واقع در درون دامنه ای که ساختار فضایی حاکم است، می توان تخمین زد که این عمل با هیچ روش دیگری ممکن نیست .

۲- اطلاعات موجود از منطقه

۲-۱- موقعیت جغرافیایی

منطقه مورد مطالعه در استان زنجان ، ۸۵ کیلومتری جنوب شرقی زنجان و ۵ کیلومتری غرب خدابنده (قیدار) و در جنوب غربی روستای زرند واقع است این محدوده داخل نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ زمین شناسی خدابنده – سلطانیه با طول $45^{\circ}30'$ تا 49° شرقی و عرض 36° تا $36^{\circ}30'$ شمالی می باشد. و مساحتی معادل ۶ کیلومتر مربع را می پوشاند .

کمترین ارتفاع این محدوده ۱۹۷۳,۵ و بیشترین ارتفاع ۲۲۷۶,۵ متر نسبت به سطح دریا می باشد .

۲-۲- زمین شناسی عمومی منطقه مورد مطالعه بصورت خیلی کلی :

استان زنجان در محدوده چندین رشته کوه موازی با روند شمال غرب – جنوب شرقی قرار گرفته است . منطقه قیدار – زرند – نصرت آباد در فاصله ۸۵-۵۰ کیلومتری جنوب – جنوب شرقی شهر زنجان واقع شده اند که از نظر تامین مواد اولیه سیمان ، دور نمای مثبتی را دارا هستند . مواد اولیه تشکیل دهنده مناطق ذکر شده عبارتند از سنگ آهک (سازند قم) ، مارن ، شیل و آلوویم رسی و آهکی .

قدیمترین بیرون زدگی در منطقه خدابنده مربوط به دوره کرتاسه و جدیدترین آنها مربوط به دوره پلیوسن و کواترنری می باشد .

۳- نمونه برداری و آنالیزنمونه ها:

۳- ۱- میخ کوبی ، بتن ریزی ، کدگذاری ۹۱ نقطه در رئوس شبکه ای به ابعاد 250×250 و تهیه توپوگرافی منطقه که توپوگرافی منطقه در شکل (۱) نشان داده شده است .

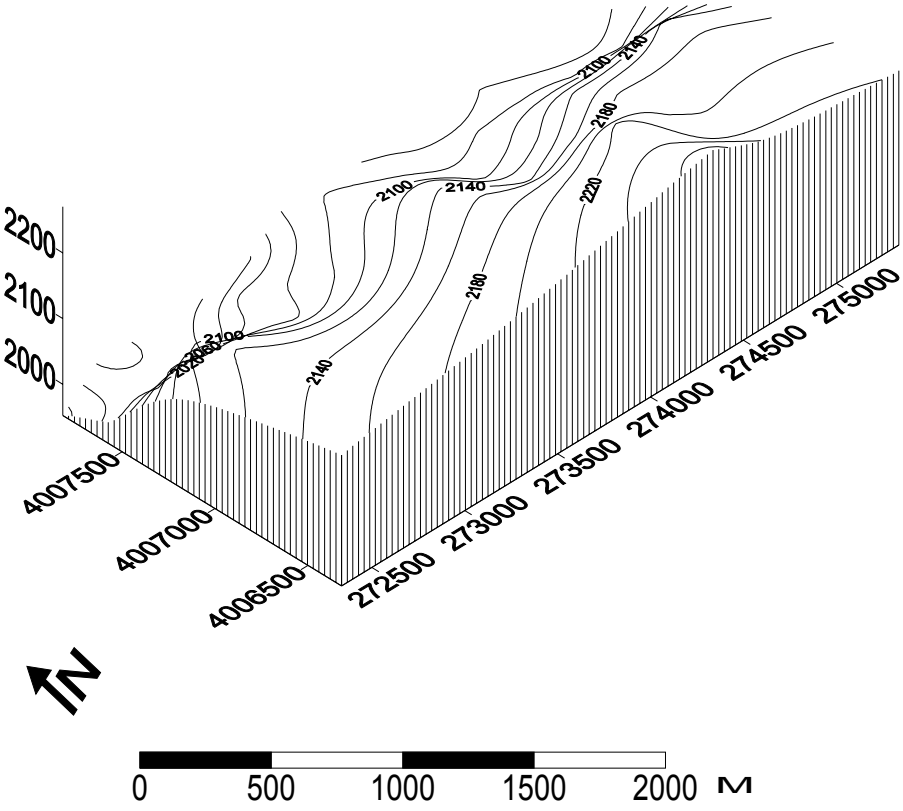
۳- ۲- انجام عملیات حفر چاههای اکتشافی در امتداد پروفیل اکتشافی شاخص به فواصل ۲۵۰ متر از یکدیگر با عمق حدود ۲۱ متر و قطر ۳ اینچ در رئوس نقاط قابل دسترسی از شبکه فوق الذکر که موقعیت گمانه ها در شکل (۲) نشان داده شده است .

۳- ۳- نمونه برداری منظم از پودرچال دریل واگن در افق های ۳ متری حداکثر تا عمق ۲۱ متری بطوریکه از۴۵ گمانه حفر شده ۲۷۶ نمونه و همچنین ۴ نمونه سطحی از ذخایر سنگ آهک کوه قیدار مجموعا ۲۸۰نمونه .

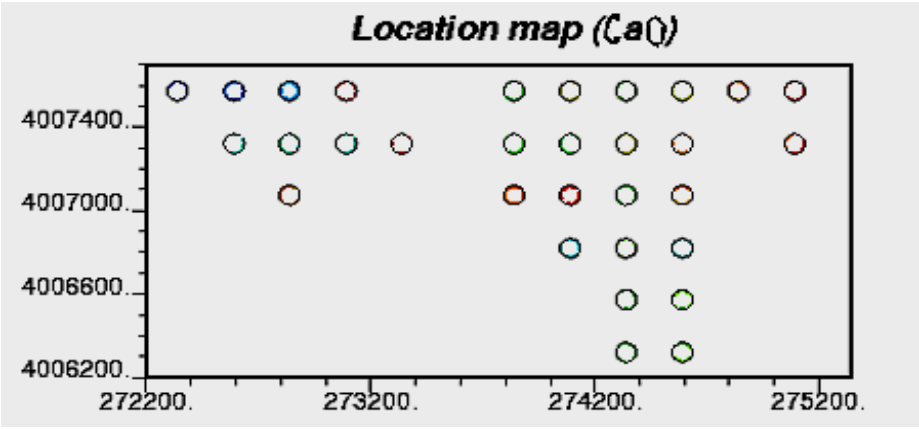
۳- ۴- انجام برداشت های صحرایی توپوگرافی در محدوده ذخیره به میزان حدود ۶۰۰ هکتار با مقیاس ۱/۲۰۰۰ .

۳- ۵- آماده سازی نمونه ها جهت آنالیز در آزمایشگاه .

۳- ۶- آنالیز کامل (ده اکسیدی) ۴۷ نمونه انتخابی از مجموع ۲۸۰ نمونه اخذ شده و تعیین درصدهای CaO ، MgO،Clباقیمانده نمونه ها به تعداد ۲۳۳ نمونه توسط دستگاه آنالیز شیمیایی XRF .



شکل ۱ - توپوگرافی سه بعدی محدوده



شکل ۲ - موقعیت گمانه های حفرشده در محدوده همراه با عیار متوسط کل عمق

۴-تحلیل آماری داده های اکسید کلسیم(CaO)

۴-۱-بررسی نرمال بودن داده ها:

مرحله اول در تحلیل آماری بررسی نرمال بودن یا نبودن داده ها است اگر داده ها وضعیت نرمال نداشته باشند ، استفاده از روشهای کریجینگ ، صحیح نبوده ، باعث ایجاد خطای سیستماتیک می شوند

بررسی نرمال یا غیر نرمال بودن را می توان به چند صورت ذکر شده در ذیل انجام داد.

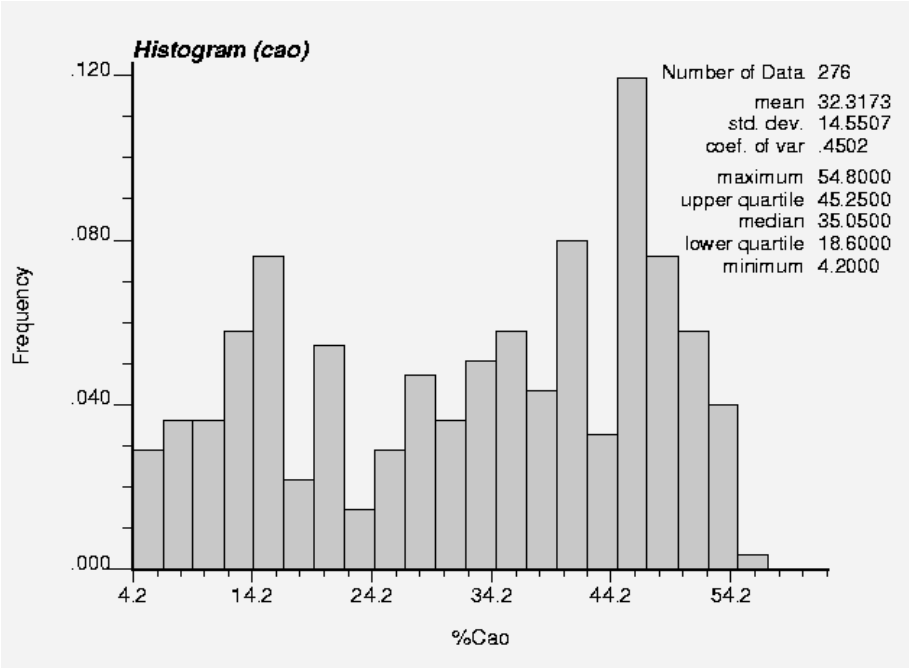
a – روش ترسیمی b – روش استفاده از آزمون χ^2

c – روش استفاده از هیستوگرام فراوانی داده ها d - تابع توزیع تجمعی داده ها

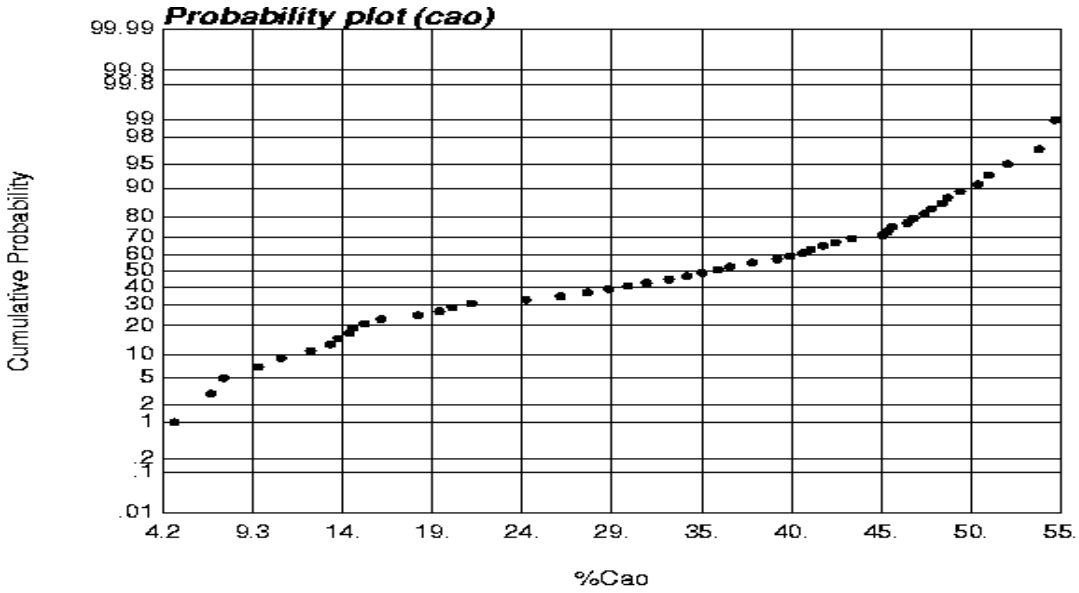
ما با استفاده از روشهای هیستوگرام فراوانی داده ها و تابع توزیع تجمعی داده ها ، داده ها را مورد بررسی قراردادیم که در زیر به آن می پردازیم .

در شکل (۳) هیستوگرام داده ها ی خام مربوط به CaO نشان داده شده است با توجه به شماتیک هیستوگرام و بالا بودن انحراف معیار ، به این نتیجه می رسیم که داده های خام نرمال نیست .

همچنین تابع توزیع تجمعی داده ها ، که در شکل (۴) نمایش داده شده است غیر خطی بودن این نمودار غیر نرمال بودن داده های مورد نظر را می رساند.



شکل۳ – هیستوگرام داده های خام اکسید کلسیم



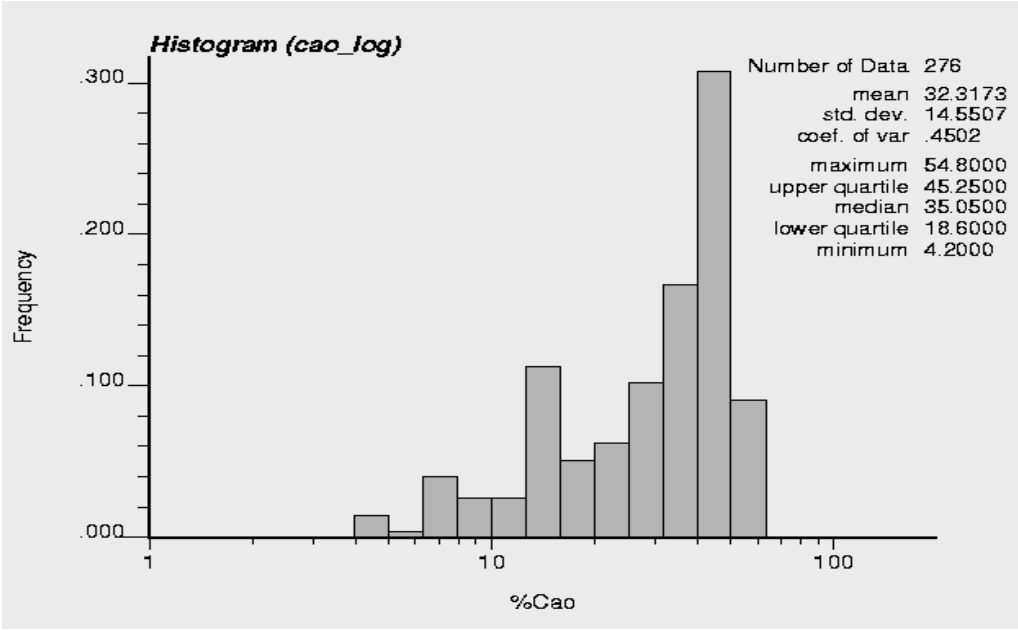
شکل۴ - تابع توزیع تجمعی داده های خام اکسید کلسیم

تا اینجا به این نتیجه رسیدیم که داده های خام نرمال نبوده و در رسم واریوگرام نمی توان از آنها استفاده نمود لذا مرحله بعدی نرمال سازی است .

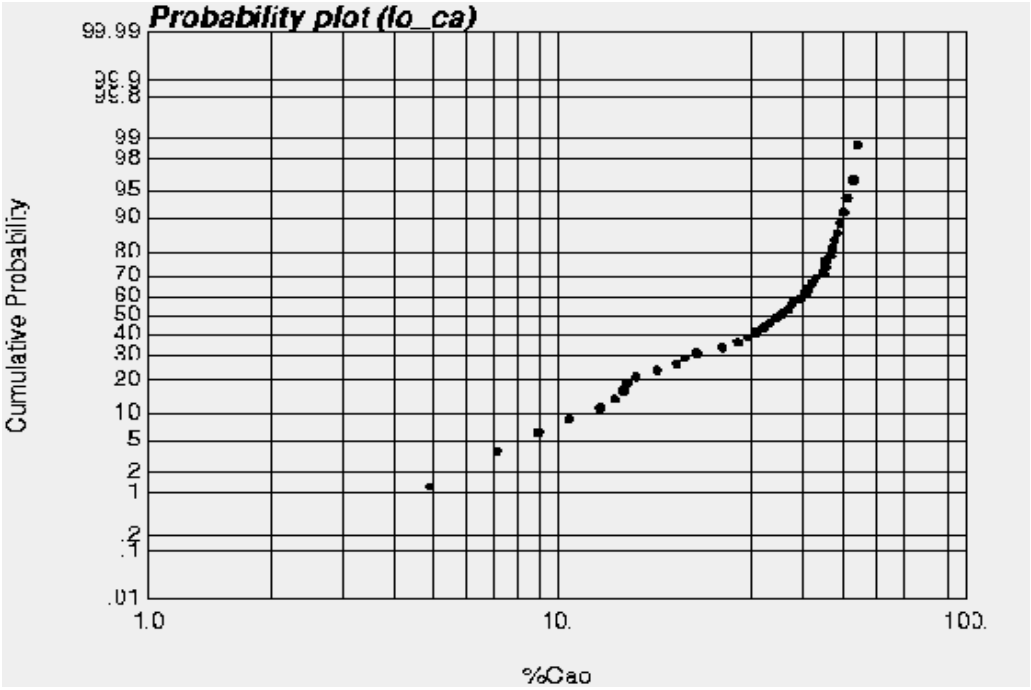
روشهای مختلفی برای تبدیل توزیع داده ها به توزیع نرمال ، وجود دارد که از آنها می توان به روش تبدیل لگاریتمی ، تبدیل چند جمله ای هرمیتی و روش امتیازهای نرمال (normal score) اشاره نمود .

در شکل (۵) هیستوگرام داده های لگاریتمی نشان داده شده است ، بدلیل شماتیک نا متقارن (دارای چولگی به چپ) و انحراف معیار زیاد داده های این تبدیل نرمال نبوده و نمی توان به آنها اعتماد نمود .

در شکل (۶) تابع توزیع تجمعی داده های لگاریتمی هم بدلیل غیر خطی بودن ، کارساز نبودن این روش نرمال سازی را می رساند .



شکل۵ – هیستوگرام داده های لگاریتمی اکسید کلسیم

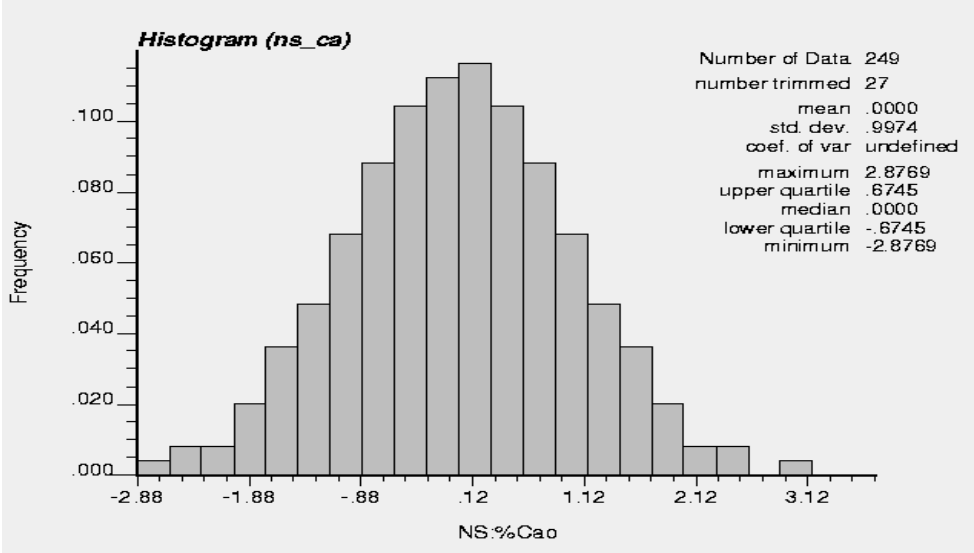


شکل۶ - تابع توزیع تجمعی داده های لگاریتمی اکسید کلسیم

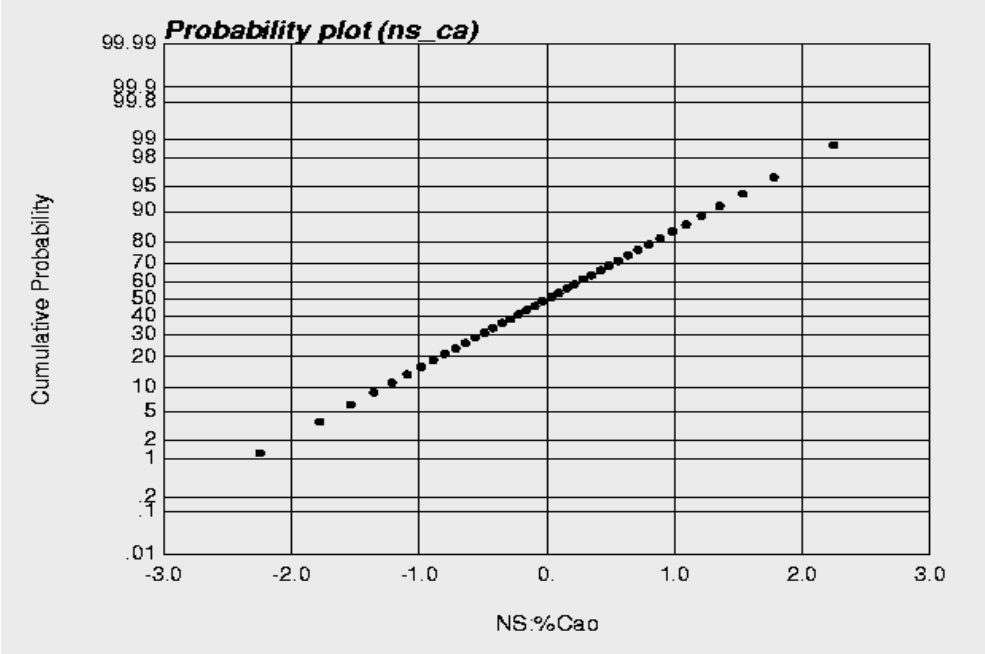
لگاریتم داده ها به دلیل نرمال نبودن جهت استفاده در مراحل بعدی تحلیل مورد قبول نمی باشد ، در ادامه ، تبدیل دیگری را مورد آزمایش قرار می دهیم .

اگر بر داده های خام مورد نظر ، تبدیل امتیازهای نرمال (ns) را اعمال کنیم و هیستوگرام و تابع توزیع تجمعی مربوط به داده های نرمال شده را بدست بیاوریم می توانیم بر موثر واقع شدن این روش قضاوت کنیم .

شکل (۷) یک هیستوگرام نرمال با انحراف معیار ناچیز را نشان می دهد و همچنین تابع توزیع تجمعی در شکل (۸) نرمال بودن داده های تبدیل شده با روش امتیازهای نرمال را تائید می کند .



شکل۷ – هیستوگرام داده های تبدیلی اکسید کلسیم با روش امتیازهای نرمال



شکل۸ – تابع توزیع تجمعی داده های تبدیل شده اکسید کلسیم با روش امتیازهای نرمال

تا اینجا به این نتیجه رسیدیم که داده های خام ما نرمال نبوده و می بایست تبدیلی بر روی داده های خام جهت نرمال سازی إعمال گردد و با اعمال روش امتیازهای نرمال به خواسته موردنظر رسیدیم . پس در رسم واریوگرام ، محاسبه تخمین و خطای تخمین از داده های نرمال شده استفاده می کنیم و در آخر ، داده های تخمین زده شده و داده های خطای تخمین مربوط به تخمین های صورت گرفته را با معکوس تبدیل امتیازهای نرمال معکوس می کنیم تا داده های تخمینی در رنج داده های خام واقع گردد.

۴-۲- رسم واریوگرام تجربی :

سمیواریوگرام که بسیاری از مؤلفین آن را واریوگرام نامیده اند . و در این مقوله نیز آنرا واریوگرام می نامیم ، در واقع تغییر پذیری فضایی متغیر ناحیه ای را نمایش می دهد . واریوگرام تجربی به صورت زیر محاسبه می شود:

$$\gamma^*(h)=\frac{\sum[z(x)-z(x+h)]^2}{2n} \qquad (۱)$$

n تعداد جفت نمونه های بکار رفته در محاسبه تغییرات متغیر z در موقعیت x است که فاصله هر جفت نمونه مذکور با بردار h مشخص می شود. [۲]

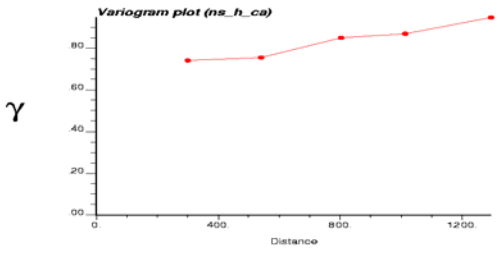
در صورت وجود ناهمسانگردی، یعنی متفاوت بودن رفتار واریوگرام در جهات مختلتف ، باید یک تلرانس نیز برای زاویه قائل بود .و همچنین این عمل در دو بعد بررسی می گردد .

ناهمسانگردی به تغییرات دامنه تاثیر و یا سقف واریوگرام در جهات مختلف اطلاق می شود و همین واریوگرام ابزار بسیارسودمندی برای تشخیص ناهمگنی هایی است که موجب بروز ناهمسانگردی می شود.برای این منظورابتدا واریوگرام در جهات مختلف رسم می شود و سپس واریوگرام های متعلق به جهات مختلف باهم مقایسه می شوند . بطور کلی می توان دو نوع ناهمسانگردی شامل ناهمسانگردی هندسی وناهمسانگردی منطقه ای تعریف کرد .[۱]

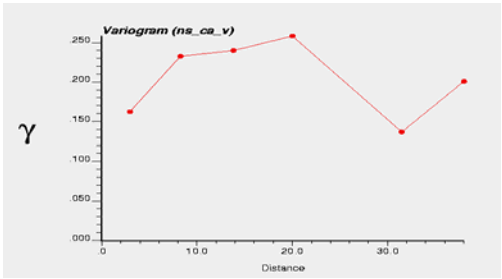
در حالتی که واریوگرامهای رسم شده برای کمیت معینی مانند عیار ، در محیط خاصی مانند کانسار ، در جهات مختلف دارای سقف یکسان ولی دامنه های تاثیر متفاوتی باشند برای آن کمیت در آن محیط ناهمسانگردی هندسی وجود خواهد داشت . ابتدا باید واریوگرام های زیادی در جهات مختلف رسم کرده و سپس با دامنه تاثیر آنها یک نمودار رز تشکیل داد. بیضی برازش شده به این دیاگرام ناهمسانگردی ، دامنه تاثیر را به عنوان تابعی از جهت نشان خواهد داد که این بیضی را بیضی ناهمسانگردی می نامند. بدیهی است در یک محیط سه بعدی به جای بیضی ناهمسانگردی ممکن است بیضوی ناهمسانگردی حاصل شود [۱].

اگر واریوگرام های رسم شده در جهات مختلف دارای دامنه تاثیر یکسان ولی سقف متفاوتی باشند برای آن محیط ناهمسانگردی منطقه ای وجود خواهد داشت که در محیط سه بعدی به آن بیضوی ناهمسانگردی منطقه ای می گویند.

واریوگرام بدست آمده بر داده های نرمال در دو حالت افقی و عمودی در یک جهت خاص در اشکال (۹) و (۱۰) مشاهده می گردد.



شکل ۹ – واریوگرام افقی اکسید کلسیم

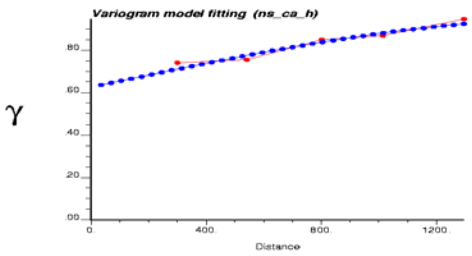


شکل ۱۰ – واریوگرام قائم اکسید کلسیم

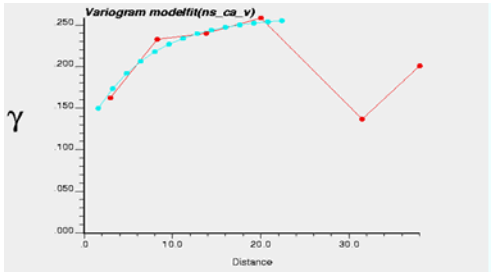
داده های مورد بررسی در حالتهای افقی و عمودی همسانگرد بوده یعنی در این ابعاد دایره همسانگرد داشتیم اما برای محیط سه بعدی ناهمسانگردی دوبعد نسبت به مشاهده شد که نسبت شعاع در دو بعد در تخمین دخیل گردید.

۴-۳- برازش مدل :

برای کاربردی کردن واریوگرام رسم شده ، برآن مدلی برازش می شود ، مهمترین موارد این مدلها عبارتند از مدل خطی، مدل کروی، مدل نمایی،مدل گوسی که با توجه به واریوگرام تجربی یکی از آنها را برای برازش انتخاب می کنیم مدل برازش شده به واریوگرام تجربی افقی شکل (۹) در شکل (۱۱) باخط نقطه دار (بصورت منحنی وار) نشان داده شده است



شکل۱۱ – مدل برازشی بر واریوگرم افقی



شکل۱۲ – مدل برازشی بر واریوگرام قائم

همانطور که ملاحظه می فرمائید این مدل از نوع خطی است و مدل برازش شده بر واریوگرام تجربی عمودی شکل (۱۰) درشکل (۱۲) باخط نقطه دار(بصورت منحنی وار) نشان داده شده است این مدل از نوع کروی می باشد حال از پارامترهای بدست آمده از این مرحله در کریجینگ استفاده خواهیم کرد .

۴- ۴- کریجینگ :

کریجینگ یک روش تخمین است که بر منطق " میانگین متحرک وزن دار " استوار می باشد و در مورد آن می توان گفت که بهترین تخمینگر خطی نا اریب است . [۱]

کریجینگ یک میانگین متحرک وزن دار است . این تخمینگر بصورت زیر تعریف می شود :

$$z_v^* = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i z_{v_i} \qquad (۲)$$

که در آن z_v^* عیار تخمینی ، λ_i وزن یا اهمیت کمیت وابسته به نمونه i ام و z_{v_i} عیار نمونه i ام است [۱]

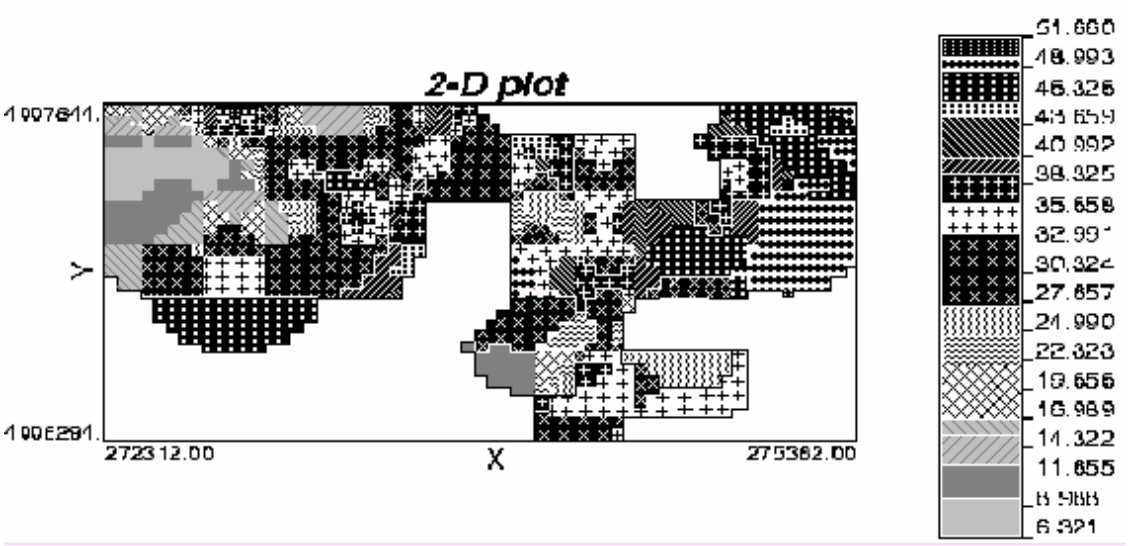
بامحاسبات آماری وبادرنظرگرفتن شکل ماتریسی معادلات کریجینگ،معادله واریانس تخمین بشکل ماتریسی ،بصورت زیر حاصل خواهد شد .

$$\mathrm{E}\left[(z_v - z_v^*)^2\right] = \bar{c}(v,v) - \sum_{i=1}^{n} \lambda_i \bar{c}(v,v_i) - \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} \lambda_i \lambda_j \bar{c}(v_i,v_j) \qquad (۳)$$

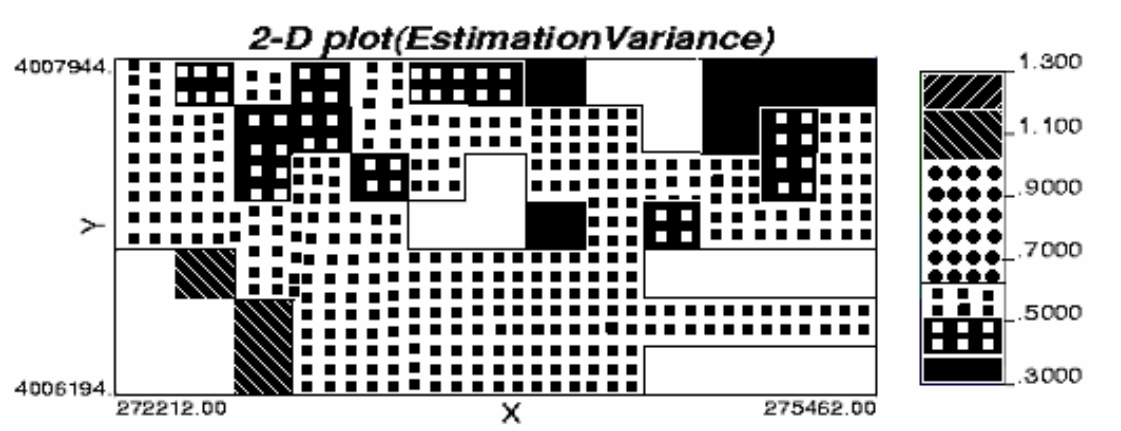
که در آن $\bar{c}(v_i,v_j)$ ضرایب هستند و بقیه پارامترها در فرمول قبلی آمده است .

۵- نتایج

محصول کارهای صحرائی ، آزمایشگاهی و تحلیلهای صورت گرفته ، چندین نقشه هرکدام مربوط به یک امتداد انتخابی در یک بعد از ابعاد سه گانه خواهد بود . ما در اینجا بدلیل محدودیت جا ، نقشه تخمین و نقشه خطای تخمین را ، تنها در یک افق در صفحه xy آورده ایم که نقشه تخمین در شکل (۱۳) و نقشه خطای تخمین در شکل (۱۴) نشان داده شده است .



شکل۱۳ – نقشه تخمین افق اول از صفحه xy



شکل۱۴ – نقشه خطای تخمین مربوط به نقشه تخمین شکل (۱۳)

همانطور که ملاحظه می فرمائید خطای تخمین هر نقطه از نقشه تخمین ، در نظیرمختصاتی آن نقطه در نقشه خطای تخمین نشان داده شده است . با عنایت به نقشه خطای تخمین می بینیم که بیش از ۹۰ درصد از تخمین ها از حداقل خطا بر خوردارند . وبا مقایسه هفت نقشه در آورده شده درصفحه xy ، سیزده نقشه در امتداد صفحه yz و شش نقشه در امتداد صفحه xz به این نتیجه می رسیم که عیاربالای اکسید کلسیم در افق های بالا در قسمت شرقی محدوده ،در افق های وسط در قسمت میانی و در افق های پائین در قسمت غربی محدوده متمرکز می باشد. در ضمن نقشه های موجود از معکوس تبدیل داده های تخمین زده شده رسم شده تا عیار عنصر مورد نظر در رنج داده های خام باشند .

۶ - بحث و نتیجه گیری

اگر بخواهیم به تخمینی با خطای کمتر برسیم باید در تمام مراحل دقت ، اطلاعات و مهارت کافی مدنظر گردد. در شبکه بندی ، شبکه ای انتخاب کنیم که نه هزینه بر باشد و نه آنقدر با فاصله باشد که داده ها فاقد ساختار گردند ، درتهیه ،حفظ و آماده سازی (کانه آرایی) نمونه ها نکات لازم را باید مدنظر قرار دهیم وهمچنین در تحلیل آماری که مهمترین و اساسی ترین مرحله هست در امتحان همه روشها دریغ نورزیم و در انجام هر روش تمام پارامترها را در محدوده معینی تغییر داده و نتیجه ها را مقایسه کنیم پس با توجه به نکات فوق، عاملی که مانع نتیجه گیری ویا باعث نتیجه غلط گردد و یا خطا را زیاد کند می تواند در تک تک مراحل فوق الذکر منشا داشته باشد و مهم اینکه در مراحل بعد از ارزیابی هم تاثیر منفی این خطاها بر جای خواهد ماند .

تشکر و قدردانی

در اینجا بر خود لازم میدانیم از زحمات و همکاریهای جناب مهندس موسی زاده مدیر عامل محترم سیمان زنجان کمال تشکر و قدردانی بنمائیم.

مراجع

[۱] حسنی پاک ، علی اصغر ،(۱۳۷۷) ،"زمین آمار " ، چاپ اول ، انتشارات دانشگاه تهران

[2] Goovaerts_Pierre, (1997),"Geostatistics for Natural Resources Evaluation",Published by Oxford University Press.

[3] Micheal Edward Hohn ,(1988) ,"Geostatistics and Petroleum Geology ",second edition ,Kluwer Academic Publishers.