J. of Nuclear Sci. and Tech.
No. 31, pp. 29-34, 2004
Archive of SID

مجله علوم و فنون هسته‌ای
شماره ۳۱، صفحات ۳۴-۲۹، ۱۳۸۳

ارزیابی نمونه‌برداری از گمانه منطقهٔ اکتشافی اورانیوم خشومی به روش زمین آماری

نوروزعلی نوروزی*، محمدتقی طهماسب نظامی، داود جمالی، یوسف قنبری، محمدرضا قادری
امور اکتشاف و استخراج، سازمان انرژی اتمی ایران، صندوق پستی: ۱۳۳۹- ۱٤۱۵۵، تهران ـ ایران

چکیده: هدف این مطالعه ارزیابی فواصل نمونه‌برداری از مغزهٔ گمانه‌های حفرشده در منطقه اکتشافی اورانیوم خشومی است. برای این منظور، پس از گردآوری اطلاعات دربارهٔ تجزیه و تحلیل‌های شیمیایی نمونه‌های برداشت شده، به بررسی این موضوع پرداخته شد که آیا با انتخاب فاصلهٔ نمونه‌های برداشت شده از مغزه‌ها، می توان با کمترین خطای ممکن، اطلاعات کمّی و کیفی از طول گمانه بدست آورد؟ برای پاسخگوئی به این پرسش از روش زمین آماری استفاده شد. در این روش ابتدا به رسم نمودارهای متغیّر (واریوگرام‌های) تجربی بطور جداگانه برای منطقه‌های پرعیار و کم عیار پرداخته شد. با توجّه به شکل واریوگرام‌های تجربی، واریوگرام کروی به این واریوگرم‌ها برازش گشتند. در این مطالعه صحّت پارامترهای مدل کروی به وسیلهٔ کریجینگ جک- نایف و آمارهای مربوط به آن بررسی شدند. از این بررسی‌ها نتیجه گرفته شد که شعاع تأثیر واریوگرام‌ها بیشتر از فاصلهٔ نمونه‌برداری بوده است، بنابراین، فاصلهٔ نمونه‌برداری انجام گرفته مناسب بوده است و حتی می توان آنرا بیشتر از این هم انتخاب کرد.

واژه‌های کلیدی: نمونه‌برداری، گمانه (چاههای آزمایشی)، اکتشاف، اورانیوم، کریجینگ، مدل کروی، داده‌های آماری

Evaluation of Sampling from Borehole of Khoshomi Uranium Exploration Area with Geostatistics

N.A. Norouzi*, M.T. Tahmaseb Nezami, D. Jamali, Y. Ghanbari, M.R. Ghaderi
Exploration and Mining Division, AEOI, P.O. Box: 14155 -1339, Tehran-Iran

Abstract: The goal of this study is to evaluate the core sampling intervals of the boreholes drilled in the Khoshomi uranium exploration area, located in the central part of Iran. According to the geochemical data analysis, a question has been arisen that whether the selected intervals could give us a reliable quantitative and qualitative information throughout the borehole within a minimum possible error. For giving an answere to this question, the geostatistics method has been applied. For applying the method, initially various variograms for the low and high grade zones have been obtained. Regarding to our experimental variograms, they were fitted to a spherical variogram. By the use of Jack–knife kriging and the related statistics the validity of parameters of the spherical model have been examined. In the present study, it has been concluded that the effective radius of the variograms are more than sampling interval and this interval is considered to be suitable and even it could be selected more than the one appeared in the above study.

Keywords*: *sampling, boreholes, exploration, uranium, kriging, spherical model, statistical data

* e-mail: norouzali@yahoo.com
تاریخ پذیرش مقاله: ۸۳/۱/۲٦ تاریخ دریافت مقاله: ۸۲/۱۰/۱٦

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

هدف از نمونه‌گیری از تودهٔ معدنی آگاهی از مشخّصات کمّی و کیفی کانسار با حداقل خطای ممکن است. فاصلهٔ نمونه‌برداری باید طوری انتخاب شود که نمونه‌های تهیّه شده نماینده کامل ماده معدنی، یا حداقل قسمتی از آن باشد تا بتوان بر اساس اطلاعات حاصل از آنها دربارهٔ کانسار قضاوت کرد [۱].

در طراحی عمل نمونه‌برداری، به منظور رسیدن به سطح اعتماد موردنظر، نیاز به داشتن اطّلاعات کافی در زمینه تغییرپذیری در واحد نمونه‌برداری دارد. بنابراین بدون اطّلاع از طبیعت تغییرپذیری‌ها مشکل بتوان به طراحی نمونه‌برداری پرداخت. از طرفی کسب داده‌های اوّلیه و شناخت تغییرپذیری آنها خود نیاز به برداشت نمونه دارد. از این رو باید با تکیه بر مشاهدات و تغییرپذیری‌های ماکروسکوپی در مقیاس واحد نمونه‌برداری، برای برداشت نخستین نمونه‌ها به طراحی اوّلیه پرداخت، سپس با استفاده از داده‌های حاصل و برآورد مقدار تغییرپذیری و شناخت توزیع فضایی نمونه‌های مختلف به طراحی مرحلهٔ بعد اندیشید. این ترتیب باید تا اندازه‌ای ادامه یابد که نتایج حاصل از یک مرحلهٔ نمونه‌برداری معیّن، مؤیّد صحت و دقّت آن در محدودهٔ موردنظر باشد. بنابراین اساس، طرّاحی نمونه‌برداری بهینه برپایهٔ مرحله‌ای است به طوری که دستاوردهای هر مرحله، رهنمودی برای طرّاحی مناسب‌تر در مرحلهٔ بعد خواهند بود. در هر مرحله نسبت به مرحلهٔ قبل، طرّاحی دقیقتر به انجام می‌رسد و جزئیات بیشتری از تغییرپذیری مرحلهٔ نمونه‌برداری آشکار می‌گردد، به ویژه که توزیع فضایی متغیّر مربوط به واحد نمونه‌برداری معمولاً در مراحل آغازین به طور بایسته مشخص نمی‌شود، ولی معمولاً با تکرار نمونه‌برداری می‌توان به ساختار مناسبی دست یافت. روش‌هایی که بر مبنای توزیع فضایی متغیّر مربوط بنا شده‌اند نسبت به روش‌های متداول از امکانات بیشتری برخوردارند [۱].

برای دستیابی به اهداف پیش‌گفته، شناخت ساختار فضایی متغیّر مربوط در واحد نمونه‌برداری از اهمّیت خاصی برخودار است. این شناخت معمولاً به وسیلهٔ بررسی‌های زمین آماری حاصل می‌شود. در عمل با بکارگیری روش زمین آماری می‌توان از ساختار فضائی[۱] داده‌ها برای برآوردهای دقیق‌تر بهره برد [۱ و۲].

در «زمین آمار» معمولاً ساختار داده‌ها و همبستگی آنها به وسیلهٔ تغییرنما بررسی و توصیف می‌شود. یکی از پارامترهای تغییرنما که نقش کلیدی در طراحی نمونه‌برداری دارد شعاع تأثیر است. هر ساختار فضایی دارای درجه همبستگی بالا، از طریق بزرگی شعاع تأثیر تغییرنما و همچنین نسبت اثر قطعه‌ای[۲] به سقف[۳] مشخّص می‌شود. بدیهی است تخمین دقیقتر برای متغیّرهایی امکانپذیر است که از ساختار فضایی بالا برخوردار باشند. در چنین حالتی حتی با یک شبکه نمونه‌برداری کم چگال هم می‌توان اطلاعاتی کافی در مورد کانسار بدست آورد [۱ و ۳]. چنانچه اندازهٔ نهایی شعاع تأثیر کوچکتر از مقدار بکار برده شده در طرّاحی باشد. در این حالت باید شبکهٔ نمونه‌برداری از چگالی بالاتری برخوردار باشد.

۲- داده‌ها

در این بررسی، داده‌ها مربوط به تجزیه و تحلیل شیمیایی اورانیوم کانسار خشومی است که از نمونه‌های مغزهٔ یک چاه قائم در کانسار اورانیوم بدست آمده است. با توجّه به تجربه‌های گذشته، فواصل نمونه‌برداری، در منطقه‌هایی با پرتوزایی زیاد وکم، که با اندازه‌گیری پرتوهای گامای طبیعی توده‌های معدنی درون چاه مشخص شده است به ترتیب ۲۵ سانتی‌متر و ۵۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد.

تعداد کلّ نمونه‌های برداشت شده از مغزه‌های اورانیوم منطقهٔ پر عیار ۱۰۱ نمونه بوده است. میانگین عیار اورانیوم ۲۲۷ ppm و واریانس آن ۹٤۲۷٤ و ضریب تغییرات آن ۱/۳۵ است (جدول۱). نمودار ستونی عیار اورانیوم که در شکل ۱ نشان داده شده است توزیعی با چولگی مثبت را نشان می‌دهد.

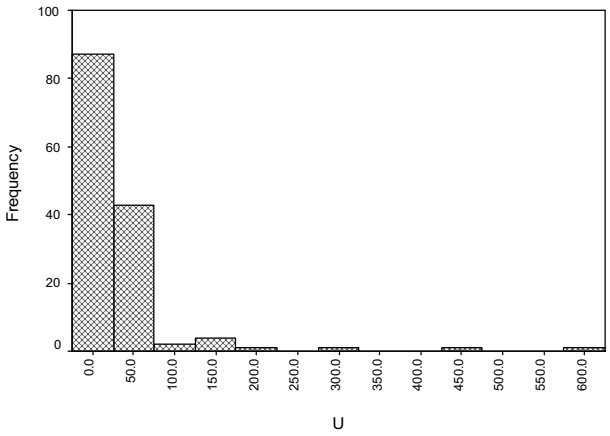
تعداد نمونه‌های آنالیز شده از مغزه‌های منطقهٔ کم عیار اورانیوم ۱٤۰ نمونه، میانگین عیار اورانیوم ۳۷ ppm، واریانس آن در این منطقه ۵۰۱٤ و ضریب تغییرات[٤] آن ۱/۹ می‌باشد (جدول۱). هیستوگرام عیار اورانیوم در شکل ۲ توزیعی لگاریتمی با چولگی مثبت را نشان می دهد.

جدول۱ - پارامترهای آماری اورانیوم در هر یک از منطقه‌ها

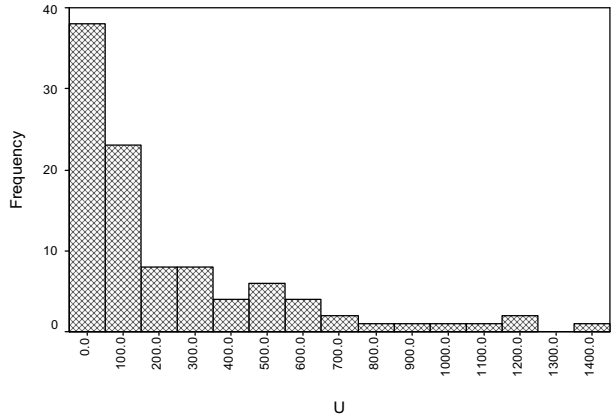
نوع منطقه	میانگین	میانه	انحراف‌معیار	ضریب‌تغییرات	چولگی
پرعیار	۲۲۷	۸۰	۳۰۷	۱/۳۵	۱/۹٦
کم‌عیار	۳۷	۱۸/۵	۷۰/۸۰	۱/۹	۵/٤

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱- نمودار ستونی عیار اورانیوم در منطقه پر عیار



شکل ۲- نمودار ستونی عیار اورانیوم در منطقهٔ کم عیار

۳- تحلیل تغییرنما

تئوری زمین آمار بر اساس مشاهداتی که تغییرپذیری مقادیری مانند عیار و ضخامت کانسار که ساختار فضائی معینی دارند پایه‌گذاری شده است. عیارهای z(x) و z(x+h) در نقاط x و x+h به هم وابسته‌اند، این وابستگی به بردار h که دو نقطه را از هم جدا می‌کند بستگی دارد و با افزایش |h| کاهش می‌یابد و در خارج از یک فاصلهٔ مشخّص، دو مقدار زیاد به هم وابسته نیستند، هر چند تغییرپذیری ممکن است از یک جهت به جهت دیگر متفاوت باشد. ساختار تغییرپذیری فضائی ممکن است پشت یک بی‌نظمی محلی تشخیص داده شود [۴].

در زمین آمار، این متغیّرها به عنوان متغیّرهای ناحیه‌ای در نظر گرفته می‌شوند. مقدار متغیّر ناحیه‌ای z(x) در هر نقطه از فضا را می‌توان به صورت دو مؤلّفه جزمی و تصادفی بیان کرد. بنابراین می‌توان نوشت:

$$Z(x)= m(x)+ \zeta(x) \qquad (۱)$$

که در آن Z(x) مقدار متغیر ناحیه ای[۵] در نقطه ای با مختصات x و m(x) (مؤلّفه جزمی متغیر ناحیه‌ای) وζ(x) (مؤلّفه تصادفی) آن است. تغییرات مؤلّفه تصادفی یک متغیّر ناحیه‌ای در فضای n بعدی طوری است که قالب (h) پیدا می‌کند، یعنی نشاندهندهٔ نوعی پیوستگی است [۴].

هر کانسار را می‌توان وضعیّت تحقق یافتهٔ یک میدان تصادفی با تعداد بیشماری وضعیّت محتمل درنظر گرفت. برآورد ساختار یک میدان تصادفی، که فقط دستیابی به نمونه‌هایی از یک حالت تحقق یافته (نمونه‌هایی از یک کانسار معیّن) امکان‌پذیر است، کار بسیار دشواری است که فقط بر اساس فرض‌هایی که موجب ساده‌سازی قضیه گردند انجام می‌گیرد. به کمک چنین فرض‌هایی، که اصطلاحاً «فرضیات پایایی»[۶] نامیده می‌شوند، می‌توان با نمونه‌برداری از یک کانسار به عنوان وضعیّت تحقق‌یافتهٔ یک میدان تصادفی، مشخّصات تابع تصادفی (متغیّر ناحیه‌ای) را تخمین زد [۵].

در زمین آمار، تغییرپذیری فضایی متغیّر ناحیه‌ای معمولاً بوسیله تابع تغییرنمای (۲) مشخص می‌شود:

$$2\gamma(h) = \mathrm{var}\sum_{i=1}[z(x) - z(x+h)]^2 \qquad (۲)$$

که در آن h بردار جدایش، $\gamma(h)$ مقدار تغییرنما و z(x) متغیّر تصادفی تعریف شده در نقطهٔ x است. تغییرنما با استفاده از تمام اطلاعات موجود، پیوستگی و ناهمسانگردی (آنیزوتروپی) منطقه تأثیر را به صورت کمّی بیان می‌کند. با استفاده از تغییرنما و به وسیلهٔ تخمین‌گر کریجینگ، عیار نقطهٔ مجهول با استفاده از اطلاعات نقاط مجاور آن تخمین زده می‌شود [۶].

$$\mathrm{Z}^{*}_{\mathrm{v}} = \sum_{\mathrm{i}} \lambda_{\mathrm{i}} \mathrm{z}(\mathrm{v}_{\mathrm{i}}) \qquad (۳)$$

که در آن z^*_v عیار تخمینی، λ_i وزن یا اهمّیت کمیّت وابسته به نمونه iام و $z(v_i)$ عیار نمونه iام است. اوزان کریجینگ طوری حساب می‌شوند که اولاً تخمین نااریب[۷] باشد، ثانیاً واریانس برآورد[۸] مینیموم باشد. با اِعمال این شرایط معادلهٔ کریجینگ به صورت زیر در می‌آید:

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^{n}\lambda_i\bar{\gamma}(v_i,v_j) - \mu = \bar{\gamma}(v_j,v) & j=1,2,..,n \\ \sum_{j=1}^{n}\lambda_j = 1 \end{cases} \qquad (۴)$$

www.SID.ir

Archive of SID

که در آن $\bar{\gamma}(v_j, v)$ مقدار میانگین تابع تغییرنما بین محلّ مورد تخمین v و نقطه v_j، $\bar{\gamma}(v_i, v_j)$ مقدار متوسّط تغییرنما بین نقاط v_i و v_j، و μ ضریب لاگرانژ می‌باشد.

یکی از مزیّت‌های معادلهٔ کریجینگ این است که واریانس برآورد را که واریانس کریجینگ σ_k^2 نامیده شده است، بدست می‌دهد [۶].

$$\sigma_k^2 = \sum \lambda_i \bar{\gamma}(v_i, v) + \mu - \bar{\gamma}(v_i, v) \qquad (۵)$$

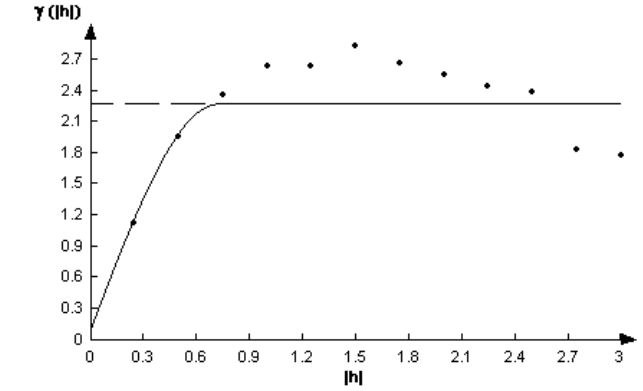
۳-۱ منطقهٔ پرعیار اورانیوم

برای تبیین ارتباط فضائی اورانیوم در منطقه‌های پرعیار و کم‌عیار، ابتدا تغییرنمای تجربی منطقهٔ پرعیار اورانیوم حساب شد (شکل ۳). این تغییرنما «دامنهٔ تأثیر» را حدود ۰/۷۴ متر نشان می‌دهد. با توجّه به شکل تغییرنمای تجربی، مدل کروی به تغییرنما برازش شد. پارامترهای تغییرنما، که سبب کمّی شدن فاکتورهای زمین شناختی می‌شوند در جدول ۲ درج شده‌اند.

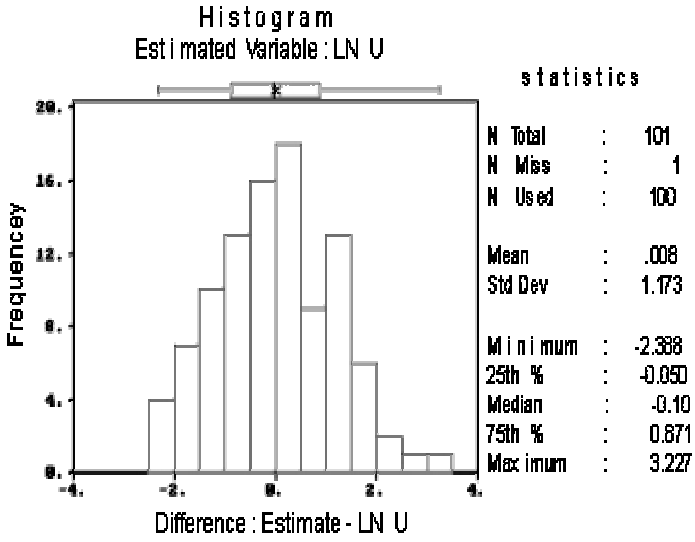
برای پی‌بردن به صحت این پارامترها، از روش پس- برآورد[۹] استفاده شده است. در این روش، مقادیر هر گمانه یا محل نمونه را پس از حذف مقدار مشاهده شده به وسیلهٔ کریجینگ، با استفاده از مقادیر تمام نقاطی که در مجاورت مکان جستجوی نقطهٔ برآورد قرار دارند برگزیده‌ایم، با این شرایط که مدل تغییرنمای تجربی برای داده‌ها مناسب باشد، توزیع خطای برآورد نرمال با میانگین صفر و واریانس می‌نیموم باشد، بعلاوه برای شرط ناااریبی، خط رگرسیون، داده‌های برآوردی با داده‌های واقعی باید نزدیک به ۴۵ درجه و عرض از مبدأ آن صفر باشد. توزیع خطای برآورد و پراکندگی داده‌های واقعی به همراه داده‌های تخمینی در شکل‌های ۴ و ۵ نشان داده شده است. همچنین معادله رگرسیون و همبستگی مقادیر برآوردی و واقعی در شکل ۵ نشان داده شده است. شکلهای ۴ و ۵ را می‌توان به عنوان مدل انتخابی صحیح در نظر گرفت.

جدول۲- پارامترهای تغییرنما در منطقه کم عیار و پر عیار اورانیوم

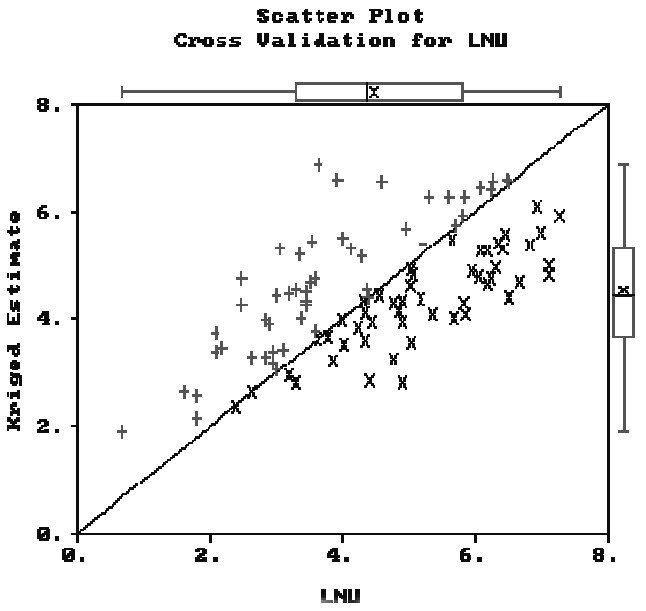
	دامنه	سیل	اثر قطعه‌ای	نسبت قطعه‌ای
در منطقهٔ پرعیار	۷۴Cm	۲/۲۶	۰/۱۶	۱۳
درمنطقهٔ کم‌عیار	۲۰۰ Cm	۰/۸۵	۰/۱۶	۴



شکل ۳- تغییرنمای تئوری و تغییرنمای تجربی عیار اورانیوم در منطقهٔ پرعیار



شکل۴- نمودار ستونی خطاهای برآورد در منطقهٔ پرعیار



شکل ۵- نمودار پراکندگی مقادیر برآورد شده با مقادیر واقعی در منطقهٔ پرعیار

+ نمایش پراکندگی مقادیر برآوردشده

× نمایش پراکندگی مقادیر واقعی

www.SID.ir

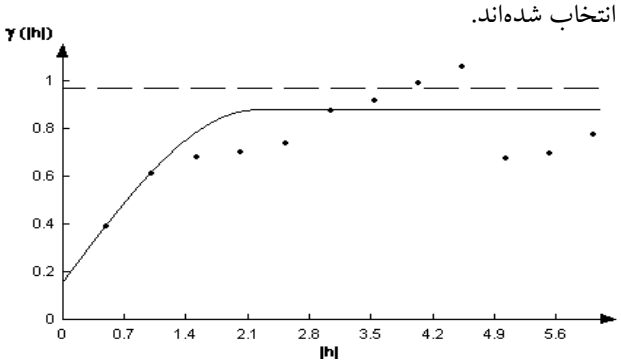
Archive of SID

۳-۲ منطقه کم عیار اورانیوم

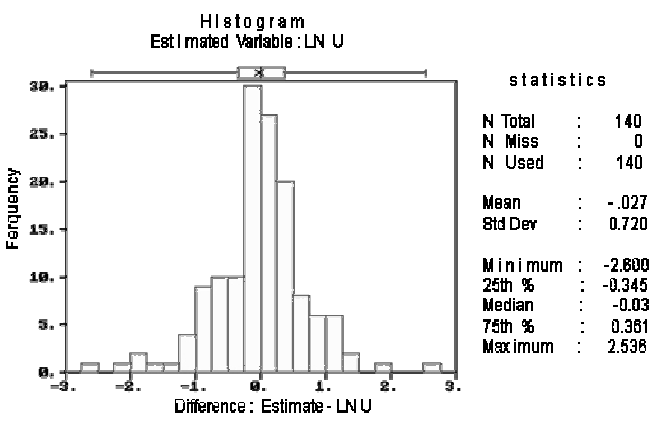
شکل ۶ تغییرنمای تجربی اورانیوم را در منطقهٔ کم‌عیار نشان می دهد. فاصله گام، با درنظرگرفتن فاصلهٔ نمونه‌برداری، ۰/۵ متر انتخاب شده است، به طور کلی دامنهٔ نوسان گام را به اندازهٔ نصف گام در نظر می‌گیرند، ولی با توجّه به اینکه فاصله‌های نمونه‌برداری منظم بوده است این مقدار را می‌توان کوچکتر هم انتخاب کرد، به همین جهت، دامنهٔ نوسان گام ۰/۱۵ متر انتخاب شد. چون در عمل برای توصیف متغیّر ناحیه‌ای، مدلی لازم است که پارامترهای تغییرنما را کمّی نماید، بنابراین با توجّه به شکل تغییرنمای تجربی، مدل کروی که برای آن برازنده بود انتخاب شد.

پارامترهای مدل تغییرنما با استفاده از روش پس - تخمین بررسی شدند، در این روش داده‌ها به تدریج یک به یک حذف می شوند و با استفاده از داده‌های باقیمانده و مدل تغییرنما برآورد می شوند.

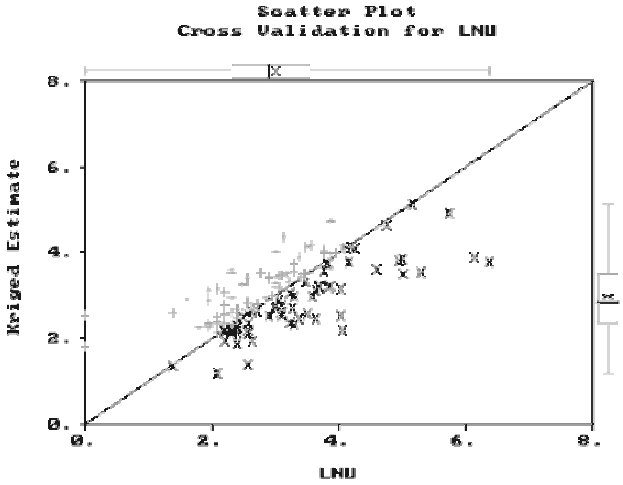
معیارهایی که از آنها برای بررسی صحت پارامترهای تغییرنما استفاده شده در شکلهای۷ و ۸ نشان داده شده است. با توجّه به این شکها ملاحظه می‌شود که پارامترهای تغییرنما با دقت کافی انتخاب شده‌اند.



شکل ۶- تغییرنمای تئوری وتغییرنمای تجربی عیار اورانیوم درمنطقهٔ کم‌عیار



شکل ۷- نمودار ستونی خطاهای تخمین در منطقهٔ کم عیار



شکل۸ - نمودار پراکندگی مقادیر تخمینی با مقادیر واقعی در منطقهٔ کم عیار

۴- بحث و نتیجه‌گیری

در طراحی نمونه‌برداری لازم است که در زمینهٔ نحوهٔ تغییرپذیری واحد نمونه‌برداری اطلاعات کافی در دست داشته باشیم. یکی از ابزارهایی که تغییرپذیری واحد نمونه‌برداری را بدست می‌دهد تغییرنما می‌باشد. مهمترین ویژگی تغییرنما که نقش کلیدی در طراحی نمونه‌برداری دارد شعاع تأثیر تغییرنما است. شعاع تأثیر تغییرنما، فاصله‌ای است که به ازای مقادیر کوچکتر از آن، تغییرات متغیّر همبسته‌اند. این فاصله را شعاع تأثیر تغییرنما نامیده‌اند. به عبارت دیگر شعاع تأثیر تغییرنمای یک متغیّر معیّن در جهت ویژه‌ای از نمونه‌برداری، منعکس‌کنندهٔ میزان پیوستگی فضائی آن متغیّر در همان جهت از واحد نمونه‌برداری است.

نمودار ستونی داده‌ها در هر منطقه نشان می دهد که توزیع داده‌ها لاگ نرمال بوده است. در محاسبه تغییرنما از داده‌های تبدیل یافته استفاده گردید، چرا که اصولاً داده‌هایی که توزیع نرمال ندارند، داده‌های پرت دارند و این داده‌ها شکل تغییرنما و نتیجهٔ محاسبات کریجینگ را تحت‌تأثیر قرار می‌دهند. در هر یک از تغییرنماها مشاهده می‌شود، نقاطی که به هم نزدیکترند، تشابه بیشتری دارند و هر دو تغییرنما به سقف می‌رسند.

با توجّه به شکل تغییرنماها مدل کروی به تغییرنماهای تجربی برازش شد. دامنهٔ تأثیر مدل‌ها در منطقه‌های پرعیار و کم‌عیار به ترتیب برابر ۰/۷۴ و ۲/۱۵ متر و نسبت قطعه‌ای در منطقهٔ پرعیار ۱۳ و در منطقهٔ کم‌عیار ۴ تخمین زده شد. صحت پارامترهای مدل تغییرنما با استفاده از روش پس- تخمین و آماره‌های مربوط بررسی شد.

www.SID.ir

Archive of SID

با توجّه به اینکه شعاع تأثیر تغییرنما در هر منطقه بزرگتر از فاصله نمونه‌برداری بوده است، این فاصله، بدین سبب که امکان دارد معرّف خوبی از کلّ چاه باشد، مناسب به نظر می‌رسد.

پی‌نوشت‌ها:

۱- Spatial Structure
۲- Nugget effect
۳- Sill
۴- Coefficient of variation
۵- Regionalized variable
۶- Stationary hypothesises
۷- Unbiased
۸- Estimation variance
۹- Cross-validation

References:

1. ع.ا.حسنی پاک،" زمین آمار،" انتشارات دانشگاه تهران (۱۳۷۷).
2. C. Sarac, "Geology and ore – reserve estimation at Sivrihisar Sepiolite Mine, Eskisehir,Turkey," Instn.Min.Metall (1997).
3. S. Xue and Z. Jiao, "Optimal sample spacing for gas content measurement in a coal seam: A statistical approach," Mining Science and Technology (1999).
4. M. Armstrong, "Basic linear geostatistics," Springer - Verlag Berlin Heidelberg (1998).
5. D. Michel, "Geostatistics ore reserve estimation," Elsevier Scientific Publishing Co. (1982).
6. E. H. Isaaks, R. M. Srivastava, "An introduction to applied geostatistics," Oxford University Press (New York) (1987).

www.SID.ir