بررسي ناهمسانگردي كانسار سنگ آهن چغارت با استفاده از تکنيک مولفه هاي اصلي

آزاده مشکين فر[۱] عليرضا شيوايي [۲]; فرامرز اسلامبول نساج[۳]
۱-شرکت مهندسين مشاور کاوشگران m; meshkinfar@yahoo.co
۲-شرکت مهندسين مشاور کاوشگران; ashivaie@yahoo.com
۳-شرکت مهندسين مشاور کاوشگران; fnassaj@yahoo.com

چکيده

بررسي ناهمسانگردي يک کانسار قبل از تخمين ذخيره آن از مراحل اجتناب ناپذير بوده و عدم توجه به آن سبب پايين آمدن دقت تخمين خواهد بود. از آنجايي که مراحل بدست آوردن بيضوي ناهمسانگردي بسيار وقت گير و مشکل است، استفاده از تکنيک مولفه‌هاي اصلي يک راه حل صحيح براي بدست آوردن حدود جهات ناهمسانگردي است.

در اين روش هر دو نقطه در فضا با برداري به هم وصل شده و بزرگي اين نقاط متناسب با کواريانس بين آنها در نظر گرفته مي‌شود. اگر اين بردارها در مبدا مختصات قرار گيرند، ابري از نقاط در فضا تشکيل خواهد شد که در حالت کلي در جهت خاصي کشيدگي دارد و حدود جهات ناهمسانگردي را نشان مي‌دهد. در اين حالت مي توان يک بيضوي با محور بزرگ هم امتداد با بيشترين کشيدگي به ابر موردنظر برازش داد. براي اين منظور از روش تکنيک مولفه هاي اصلي استفاده مي‌شود که در آن بردارهاي ويژه امتدادهاي مورد نياز و مقادير ويژه طول محورهاي بيضوي را مشخص خواهند کرد.

در اين مقاله ضمن مرور اين روش و بررسي مشکلات موجود جهت استفاده از آن، ناهمسانگردي کانسار سنگ آهن چغارت مورد بررسي قرار گرفته است.

کلمات کلیدی: تکنیک مولفه های اصلی، تخمین ذخیره، کریجینگ، کانسار آهن چغارت

Anisotropy Definition Of Choghart Iron Ore With The Use Of Principal Component Technique

Azadeh Meshkinfar, Alireza Shivaie, Faramarz Eslambol Nassaj

Abstract

Anisotropy definition of an ore body is one the unavoidable steps before recourse estimation and its affect in any kriging exercise is well known. The process of finding anisotropy factors is so difficult and time-consuming, so that the use of principal component technique is one way to obtain the direction of anisotropy.
In this method, the vector defining the spatial positions of the two values in a data pair is positioned with the head value at the origin and the corresponding adjusted coordinates. The covariance value is then placed at the latter position. In the case of a three dimensional variable, the collection of all such covariance positions will form a cloud of points centered around the origin and with each point labeled with the relevant covariance. To achieve the anisotropy direction and the length of ellipsoid axes, the principal component technique will be used.
In this paper, the method and the problems which faced with them have been reviewed and the Choghart Iron ore anisotropy has been investigated as a case study.

Keywords: **Principal Component technique, Recourse estimation, Kriging, Choghart Iron Ore**

مقدمه

معدن سنگ آهن چغارت يكي از بزرگترين معادن سنگ آهن ايران با تناژ كلي بالغ بر ۱۹۰ ميليون تن مي‌باشد. كاني‌هاي اصلي اين كانسار عبارتند از:

- كانه‌هاي منيتيتي
- كانه‌هاي مارتيت ـ منيتيت
- كانه‌هاي آپاتيت ـ منيتيت
- كانه‌هاي منيتيت ـ آپاتيت
- كانه‌هاي پيريت ـ منيتيت

سه كانه اول و بخصوص كانه هاي منيتيتي در كانسار چغارت از فراوانترين كانه‌ها مي‌باشند.

آغاز استخراج اين معدن به ۳۵ سال پيش بر مي‌گردد و بر اساس آخرين مطالعات انجام شده ميزان ذخيره باقيمانده با كسر مقادير استخراج شده، بالغ بر۹۰ ميليون تن و متوسط عيار عناصر آهن و فسفر به ترتيب برابر ۵٤/۹۷، ۰/٤۳ درصد مي‌باشد.

داده‌هاي مورد استفاده در مطالعه حاضر عبارتند از نمونه هاي بدست آمده از عمليات حفاري اكتشافي مقدماتي تا تكميلي كه مجموعاً شامل ۱۵۲حلقه گمانه با متراژ كلي بالغ بر ۲۰,۰۰۰ متر مي‌باشد.

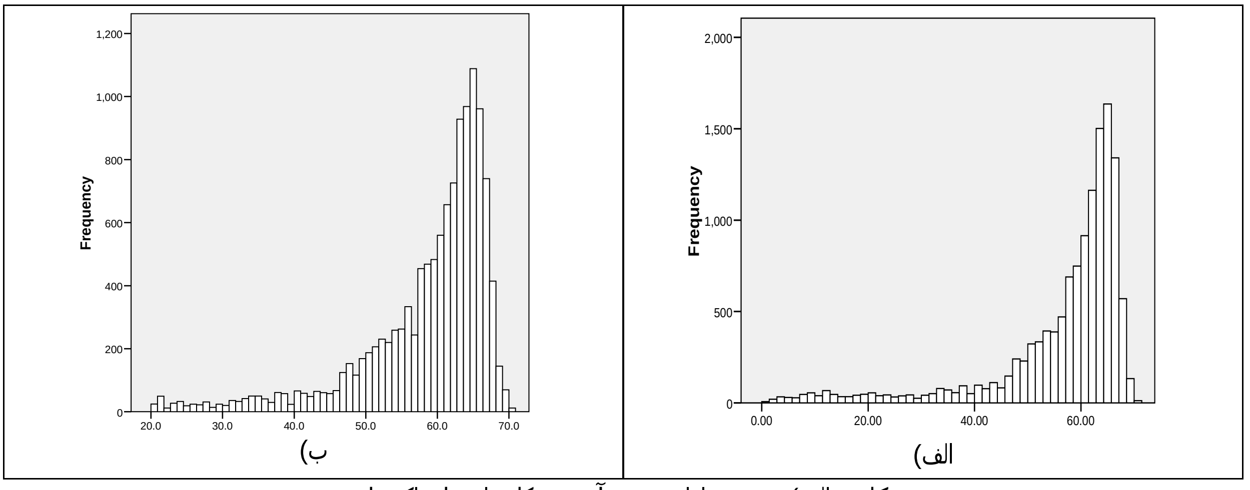
۱- مطالعات پايه

۱-۱- محاسبات آمار كلاسيك

پس از پردازشهاي اوليه، جهت تعيين نوع توزيع، ميانگين و ساير پارامترهاي آماري براي هر یک از عناصر Fe، P با استفاده از نرم افزار SPSS 15 و بر اساس داده هاي كليه گمانه هاي اكتشافي، بررسيهايي به شرح زير انجام شده است:

- عنصر آهن

در شكل ۱ هيستوگرام عنصر آهن ترسيم شده است. بر اساس نتايج محاسبات آماري نوع توزيع براي كليه نمونه‌ها از نوع لگاريتمي مي‌باشد. همچنين در نمودار شماره ۲ هيستوگرام عنصر آهن با عيار حد ۲۰% ترسيم شده است. متوسط آهن در اين حالت برابر ۵۸/۶۱ % مي‌باشد.

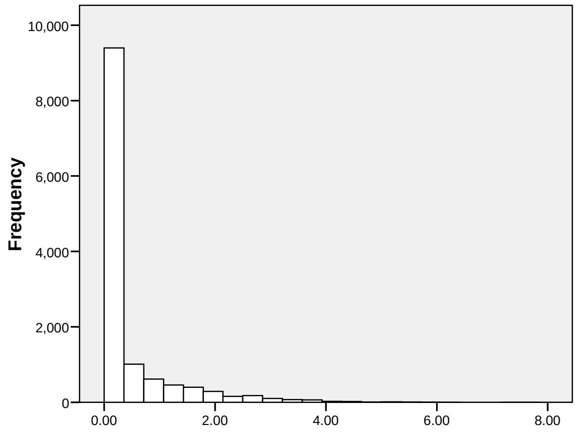


شكل۱- الف) توزيع فراواني عنصرآهن در كل داده‌هاي اكتشافي
ب- توزيع فراواني عنصر آهن در داده‌هاي بالاتر از عيار حد

- عنصر فسفر

در شكل ۲ هيستوگرام (توزيع فراواني) عنصرفسفر ترسيم شده است. نوع توزيع براي كليه نمونه‌ها از نوع نمايي با تابع مشخصه زير مي‌باشد:

F(x) =1/0.66 *exp (-x/0.66)



شكل۲- توزيع فراواني عنصرفسفر در كل داده‌هاي اكتشافي

۱-۲- تصحيح مقادير خارج از رديف

يكي از عمليات پيش از تخمين، شناسايي مقادير خارج از رديف و تصميم گيري در مورد نحوه به كارگيري آنهاست. زيرا وجود مقادير خارج از رديف در داده‌ها باعث افزايش شديد خطاي تخمين مي‌شود. در مطالعه حاضر، حد بالاي عنصر آهن برابر ۶۸% و حد بالاي عنصر فسفر برابر ۰/۲/۱۵ درصد در نظر گرفته شده است.

۱-۳- تحقيق در روندهاي احتمالي

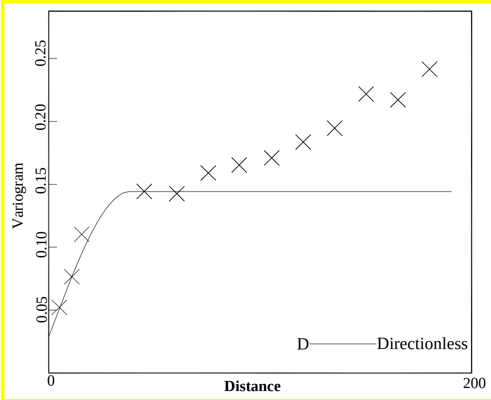
جهت بررسي روندهاي احتمالي عناصر آهن و فسفر، دياگرام پراكندگي عيار اين متغيرها نسبت به مولفه‌هاي مختصاتي رسم شده‌اند. نتايج مطالعات حاكي از آن است كه اين متغيرها نسبت به عمق، تغييرات سيستماتيكي به عنوان روند قابل قبول و بارز از خود نشان نمي‌دهند.

۱-۴- منظم سازي

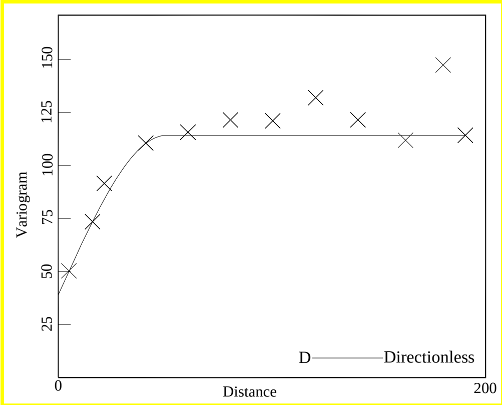
قبل از انجام عمليات تخمين لازم است كه فضاي تخمين را هم احتمال ساخت. به اين منظور كامپوزيت هايي در امتداد گمانه ها و با ترازهاي مختلف ساخته شد و در نهايت كامپوزيت ۵ متري براي عناصر آهن و فسفر انتخاب گرديد.

۱-۵- واريوگرافي غير جهتي

جهت تخمين عيار مي‌بايست واريوگرافي غير جهتي ترسيم و پس از برازش مدل مناسب، پارامترهاي بدست آمده در تخمين ذخيره كانسار استفاده گردند. در شكل ۳ واريوگرام عناصر آهن و فسفر نشان داده شده است. همچنين در جدول ۱ پارامترهاي حاصل از برازش مدل كروي به واريوگرامهاي تجربي، ارائه شده است.



الف)



ب)

شکل۳- الف) واريوگرام غير جهتي عنصر آهن
ب) واريوگرام غير جهتي عنصر فسفر

جدول۱- پارامترهاي مدلهاي برازش شده به واريوگرامهاي تجربي

Variable	Direction	Model		
		Nugget	Range	C Value
Fe	Non-Directional	39.00	51.50	81.60
P	Non-Directional	0.027	37.400	0.114

۱-۶- بررسي ناهمسانگردي

روش معمول جهت محاسبه ناهمسانگردي يک کانسار، محاسبه دقيق آزيموت، شيب و پلانژ ماده معدني است و مي‌بايست هريک از آنها به ترتيب با اختلاف زواياي بسيار کوچک بررسي و هر يک از پارامترهاي مذکور در بهترين شرايط با برازش مدل مناسب به واريوگرام حاصله، انتخاب گردند. از مهمترين نکات منفي موجود در اين روش، امکان ايجاد خطا در محاسبات و نيز افزايش زمان انجام مطالعات مي‌باشد. به همين جهت در موارد بسياري محاسبه آنيزوتروپي کانسار، تنها به بررسي يک يا دو جهت اصلي افقي و قائم محدود و ادامه کار با فرض همسانگرد بودن ماده معدني انجام مي‌پذيرد.

به همين دليل، در مطالعه حاضر، به منظور يافتن جهات اصلي ناهمسانگردي، از تکنيک مولفه هاي اصلي ارائه شده توسط دکتر کريگ در سال ۱۹۹۹ استفاده شده است.

۲- مفهوم ابر کواريانس

پايه مطالعات زمين آماري، پذيرش مفهوم متغيرهايي با مختصات مشخص که داراي ساختار فضايي هستند، مي‌باشد. اين ساختار فضايي به طور معمول از طريق مدل کردن تعدادي واريوگرام بر روي جفت نقطه هايي با فاصله مشخص که برداري را تشکيل مي‌دهند، بدست مي‌آيد. اين بردارها داراي يک ابتدا (head) و يک انتها(tail) هستند. در اين روش ابتداي کليه بردارها به مرکز منتقل و کواريانس ابتدا و انتهاي آن بدست مي‌آيد. بزرگي اين بردارها متناسب با کواريانس آنها خواهد بود. به اين ترتيب ابري در حول مرکز بوجود مي‌آيد که جهت آن، جهات تقريبي ناهمسانگردي را نشان مي‌دهد. در صورتي که ابر مذکور داراي کشيدگي نباشد، همسانگردي کانسار تائيد و در غير اين صورت کانسار مذکور ناهمسانگرد بوده و مي‌بايست طول محورهاي اصلي و جهات ناهمسانگردي آن تعيين گردد. متد تکنيک مولفه هاي اصلي، امکان محاسبه پارامترهاي مذکور را با

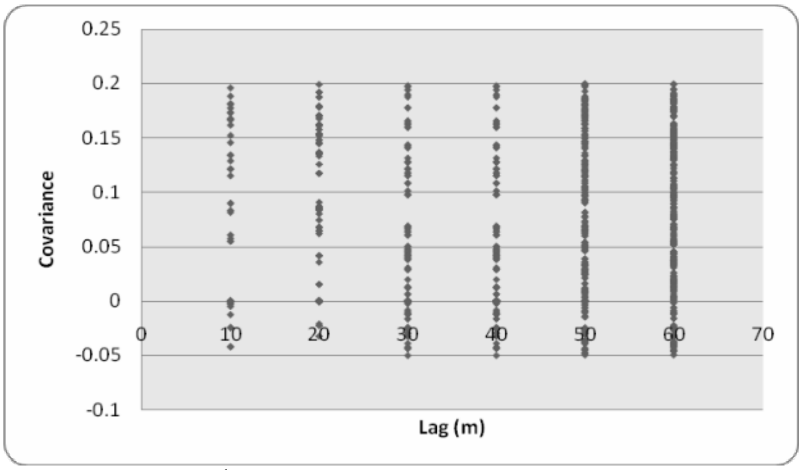
دقتي بيشتر و خطايي كمتر امكـان پـذير مـي‌كنـد. لازم بـه ذكـر اسـت كـه جهـات بدسـت آمـده از ايـن روش تنهـا حـدود ناهمسانگردي را مشخص مي‌كنند و مي‌توان با استفاده از واريوگرام جهتي مبتني بر روش فوق با آزمون هاي كمتري به وجـود ناهمسانگردي احتمالي پي برد[۱].

۳- پارامترهاي مورد نياز جهت استفاده در ماتريس PCA ومشكلات موجود در بررسي آن

جهت استفاده از ماتريس ارائه شده توسط دكتر كريگ مي بايست پارامترهاي زير تعيين گردند[۲]:

الف- تعيين طول گام در سه جهت اصلي: بدين منظور مي بايست با ترسيم واريوگرام هاي متعددي در جهات اصلي و برازش بهترين مدل، بهينه ترين طول گام انتخاب گردد. آناليز حساسيت هاي انجام شده حاكي از آن است كه تلرانس هاي كوچک در انتخاب طول گام سبب ايجاد تفاوت فاحشي در نتيجه نخواهد شد.

ب- تعيين كواريانس هر جفت نقطه: در هنگام محاسبه كواريانس‌ها تعدادي مقادير منفي به وجود خواهد آمد. علت ايجاد كواريانس‌هاي منفي زياد بودن طول گامها مي‌باشد، در واقع با افزايش طول گام، شعاع تاثير واريوگرام و كواريوگرام نزديک شده و كواريانس‌هاي منفي بيشتري نمايان خواهند شد. شكل ۴ وضعيت كواريانس‌هاي محاسبه شده در طول گامهاي مختلف را نشان مي‌دهد. به عبارتي با زياد شدن اختلاف مقادير دو نقطه، ارتباط متقابل ميان آنها كاهش يافته و يا از بين خواهد رفت و اين قضيه با منفي شدن كواريانس نمايان مي‌شود. وجود اين مقادير سبب به وجود آمدن يک پيوستگي مجازي و ايجاد خطا خواهد شد. بنابراين در قدم اول، مي‌بايست كليه كواريانس هاي منفي از محاسبات حذف شوند.



شكل۴- وضعيت كواريانس هاي محاسبه شده در طول گامهاي مختلف

ج- تعريف شبكه منظم براي مقادير محاسبه شده كواريانس: ناهمسانگردي كانسار نه تنها به روند كواريانس‌ها بستگي دارد، بلكه به شبكه اوليه نمونه‌ها و فاصله بين آنها نيز بستگي دارد. بدين معني كه ناهمسانگردي داده‌هاي اوليه مي‌تواند سبب القاي ناهمسانگردي مجازی به سيستم باشد. از آنجايي كه داده‌هاي مورد استفاده در مطالعه حاضر، حاصل از گمانه‌هاي اكتشافي بوده و در جهت Z داراي شبكه فشرده‌تر اطلاعات نسبت به جهات ديگر مي‌باشد، مي بايست قبل از انجام هرگونه محاسبات، شبكه منظمي براي كواريانس هاي موجود در نظر گرفته شود.

تغيير موقعيت مختصاتي كواريانس يک جفت نقطه، با توجه به فرضيات پايايي موجود قابل پذيرش است، زيرا در تمام فرضيات پايايي موجود شرط استقلال مقدار ميانگين كميت مورد نظر در يک فضاي محدود تعريف شده به نام پايه (و وابسته نبودن آن به مختصات) آورده شده است. در واقع در اين فرضيات ذكر مي‌شود كه ميانگين متغير ناحيه اي لازم است قالب h داشته باشد و به مختصات وابسته نباشد. اين فرض مشترک همه فرضيات پايايي است. اختلاف اين فرضيات در درجه استقلال يا عدم استقلال گشتاورهاي مرتبه دوم شامل هم پراش (كواريانس) و پراش (واريانس) از مختصات است. بر اين اساس فرضيات مختلفي شامل فرضيه پايايي مرتبه دوم ، فرضيه ذاتي و فرضيه شبه پايايي بنا شده است.

در فرضيه پايايي مرتبه دوم كواريانس يا كوواريوگرام مستقل از مختصات است ولي قالب فاصله دارد. صدق اين شرط، استقلال واريوگرام را از مختصات و قالب فاصله داشتن آن را نيز تضمين مي‌كند[۳].

۴- تكنيک مولفه اصلي

به منظور انجام آناليز مولفه‌هاي اصلي كافي است مجموعه زير را كه تشكيل يک ماتريس ۳×۳ را می‌دهد، محاسبه كنيم. مقادير x_i، y_i و z_i مولفه‌هاي x و y و z بردار h و مقدار c_i كواريانس جفت نقطه ها بازاء فاصله h است.

$$\begin{bmatrix} \sum c_i x_i^2 & \sum c_i x_i y_i & \sum c_i x_i z_i \\ \sum c_i x_i y_i & \sum c_i y_i^2 & \sum c_i y_i z_i \\ \sum c_i x_i z_i & \sum c_i y_i z_i & \sum c_i z_i^2 \end{bmatrix}$$

پس از محاسبه ماتريس فوق كافي است مقادير ويژه و بردارهاي ويژه اين ماتريس محاسبه شوند. بردارهاي ويژه امتداد محورهاي بيضوي و مقادير ويژه طول هر محور را مشخص مي‌كند.

۵- محاسبه آنيزوتروپي عناصر آهن و فسفر در كانسار سنگ آهن چغارت

به منظور محاسبه ناهمسانگردي عناصر آهن و فسفر، در ابتدا با بررسيهاي مختلف، طول گامها در جهات z,y,x و كواريانس جفت نقطه‌ها محاسبه و ماتريس ارائه شده در بخش ۴ به ترتيب جداول ۲ و ۳ براي عناصر آهن و فسفر بدست آمد.

جدول۲- مقادير اصلي عنصر آهن براي تكنيک مولفه هاي اصلي

14916323650.25	-1433753166.03	219004179.90
-1433753166.03	5867094985.91	39116190.72
219004179.90	39116190.72	1383293548.27

جدول3- مقادير اصلي عنصر فسفر براي تكنيک مولفه هاي اصلي

25184388.54	-13983959.39	368687.73
-13983959.39	9842684.37	-205469.18
368687.73	-205469.18	894328.64

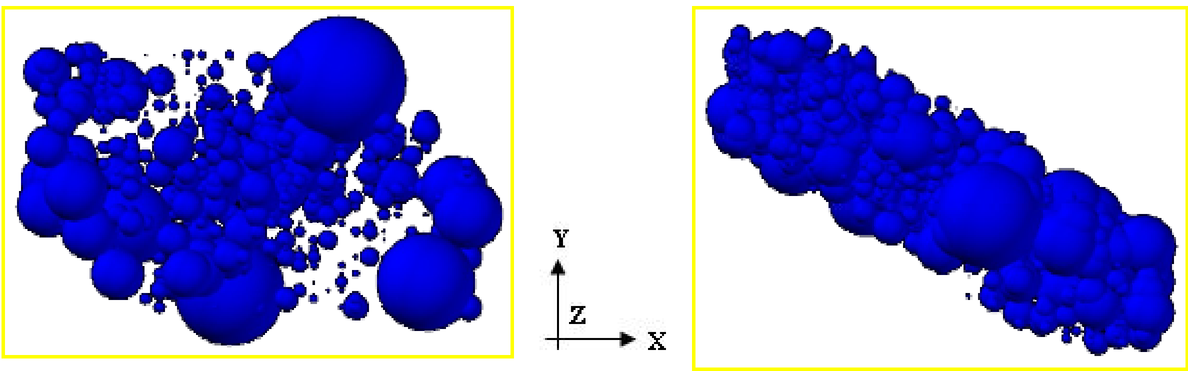
پس از بدست آمدن ماتريس فوق، مي‌بايست مقادير ويژه و بردارهاي ويژه آن محاسبه گردند. بدين منظور از نرم افزاری كه بـه زبان برنامه نويسي فرترن ۹۰، توسط نويسندگان تهيه گرديده، استفاده شده است. براي سادگي مقايسه، طول كـوچكتر محـور بيضوي برابر واحد در نظر گرفته شـده و محورهـاي ديگـر نسـبت بـه آن محاسـبه شـده اسـت. جـدول ۴، مشخصـات جهـات آنيزوتروپي براي عناصر آهن و فسفر را نشان مي‌دهد.

جدول۴- مشخصات محورهاي آنيزوتروپي براي عنصر آهن و فسفر

Axes Proportion of Fe			Axes Proportion of P		
3.31	2.03	1	6.14	1.33	1
Axes	**Dip**	**Az**	**Axes**	**Dip**	**Az**
First Axis	-0.88	98.78	**First Axis**	0.74	120.63
Second Axis	-0.97	8.77	**Second Axis**	-0.93	30.61
Third Axis	88.69	51.01	**Third Axis**	88.81	69.06

۵-۱- اعتبار سنجي مقادير بدست آمده از ماتريس

به منظور بررسي اعتبار مقادير ويژه و بردارهاي ويژه بدست آمده از ماتريس مذكور، كواريانس جفت نقطه ها در صفحه xy نمايش داده شده است. همانطور كه از شكل ۵ پيداست، حدود جهات اصلي، مشابه نتايج بردارهاي ويژه و مقادير ويژه حاصل از ماتريس مذكور مي‌باشد.



ب) الف)

شكل۵- ابر كواريانس مربوط به داده هاي الف) فسفر و ب) آهن

۶- نتيجه گيري

در اين مقاله به انجام يک مطالعه موردي با استفاده از تكنيک مولفه‌هاي اصلي، ارائه شده توسط دكتر كريگ در سال ۱۹۹۹ پرداخته شده است. نتايج حاصل از اعتبارسنجي بعمل آمده، دقت محاسبات رياضي انجام گرفته در خصوص تعيين مقادير ويژه و بردارهاي ويژه را مورد تاييد قرار مي‌دهد. استفاده از اين تكنيک نه تنها سبب كاهش زمان انجام مطالعات مي‌گردد، بلكه سبب افزايش دقت در يافتن جهات اصلي ناهمسانگردي كه يكي از پارامترهاي بسيار مهم و تاثير گذار در تخمين ذخيره است، مي‌شود.

مهمترين ويژگي اين روش، امكان برازش مدلي مناسب به داده هاي موجود بر اساس ارتباط متقابل جفت نقطه ها و نيز درجه پيوستگي آنها مي‌باشد.

۷- تقدير و تشكر

نويسندگان اين مقاله برخود مي‌دانند از زحمات جناب آقاي مهندس محدعلي رحيمي پور مدير محترم معدن چغارت و نيز جناب آقاي مجيد علوي مدير محترم دفتر طراحي معدن چغارت نهايت قدرداني و تشكر را به عمل آورند.

۸- مراجع

[۱] حسني پاک ، علي اكبر؛ (۱۳۸۰)، تحليل داده هاي اكتشافي؛ انتشارات دانشگاه تهران.

[2] Kriging, D.G; 1999; *the use of principal component technique to define anisotropy details for spatial Structures*, AAMP, Colorado school of mines, pp.557-564.

[3] Journel, A.G, Huijbregts, CH.J; 1978; *Mining Geostatistics* ; Academic press INC.

[4] Clark, Isobel, Harper William; 2000; *Practical geostatistics 2000;* Ecosse North America.