**توزیع فضایی عیار عناصر Au – Ag در منطقه قزل اوزن خلخال با روش زمین‌آماری**

میثم یزدانی1\*، مصطفی ناظری2، محمد پارساصدر3

1. کارشناسی ارشد مهندسی معدن دانشگاه صنعتی امیرکبیر، مرکز تحقیقات کاربردی و خودکفایی قرارگاه سازندگی خاتم الانبیاء(ص) meysamyazdani@aut.ac.ir
2. دکتری زمین‌شناسی اقتصادی، مدیریت تحقیقات و نخبگان مرکز تحقیقات کاربردی و خودکفایی قرارگاه سازندگی خاتم الانبیاء(ص)
3. دکتری مهندسی معدن دانشگاه صنعتی امیرکبیر، مرکز تحقیقات کاربردی و خودکفایی قرارگاه سازندگی خاتم الانبیاء(ص) m.parsasadr@aut.ac.ir

**چکیده:**

هدف از این مطالعه تعیین و ارزیابی تغییرات فضایی عناصر طلا و نقره با استفاده از روش‌های زمین‌آماری بوده است. این مطالعه در منطقه قزل اوزن خلخال، برای 95 نمونه لیتوژئوشیمایی انجام شده است. ابتدا داده‌هاي سنسورد جایگزین شدند و سپس مقادیر خارج از ردیف داده‌ها با استفاده از نمودار باکس پلات و نمودار Q-Q-Plot شناسایی و با روش دورفل کاهش یافتند و در نهایت داده‌ها با تبدیل لگاریتمی و لگاریتمی سه متغیره نرمال و سپس تجزیه‌وتحلیل زمین‌آماری بر روی داده‌های نرمال انجام شد. مطالعات واریوگرافی نشان داد مدل کروی بهترین مدل برازش داده شده و دامنه وابستگي مكاني برای هر دو عنصر تقریباً 2500 متر است. در نهایت نقشه‌های تخمین و واریانس تخمین کریجینگ با استفاده از روش زمین‌آماری کریجینگ نقطه‌ای با مدل کروی در محیط نرم‌افزار GS+ تهیه شد. ارزيابي نتايج با محاسبه مجذور ميانگين مربعات خطا (RMSE) و ميانگين خطا (MAE) نشان‌دهنده دقت قابل قبول مدل واریوگرام می‌باشد. با بررسی نقشه‌های تخمین کریجینگ و واریانس تخمین کریجینگ، توزیع عیار طلا و نقره مشخص و مناطق عیار بالا معرفی شدند.

کلیدواژه: زمین‌آمار، داده‌های سنسورد، کریجینگ، مدل کروی

**Spatial distribution of gold and silver elements concentration in Ghezel Ozen region by using geostatistical methods**

Meysam Yazdani, Mostafa Nazeri, Mohammad Parsasadr

**Abstract**

The purpose of this study was to determine and evaluate of spatial distribution of gold and silver elements concentration by using geostatistical methods. This study was carried out in Ghezel Ozen area for 95 samples of lithogeochemicals. At first, Sensor data was replaced and then values the outlier's data were identified using the box-Plot and Q-Q-Plot charts and reduced by the Doerffel method; Finally, the data were normalized using logarithmic transformations, and then the geostatistical analysis was used. Variogram studies showed that the spherical model is the best fitted model, and the spatial correlation range for the two elements of Au and Ag are approximately 2500 m. Finally, the estimation and estimation variance maps of the studied elements were prepared by using ordinary kriging geostatistical method with the spherical model on the GS+ software. Evaluating the results by calculating the root mean square error (RMSE) and calculating the mean absolute error (MAE) indicates the acceptable accuracy of variogram model. By studying the kriging estimation and kriging estimation variance maps, the anomal regions were introduced for the elements of Au and Ag in the case study.

Keywords: geostatistics, Sensor data, kriging, Spherical Model.

# مقدمه

زمین‌آمار برای اولین بار برای بررسی و محاسبه ذخایر کانسنگ مورد استفاده قرار گرفت و در حال حاضر به‌طور گسترده‌ای در خاک، آب‌شناسی، بوم‌شناسی، و زمینه‌های دیگر استفاده می‌شود (Passarella et al. 2002; Abu-El-Shar and Rihani 2007; Christakos, 2000). روش‌های زمین‌آماری می‌تواند ابزار مفید، قابل‌اعتماد و مؤثری برای افزایش تعداد نقاط اندازه‌گیری در نقاطی که نمونه نداریم و تجزیه‌وتحلیل واریوگرام برای بررسی رابطه ساختاری ارائه دهد(Rakhmatullaev et al. 2010; Uyan and Cay, 2013). درون‌یابی کریجینگ به‌عنوان درون‌یابی مطلوب است و به‌طور گسترده مورداستفاده قرار می‌گیرد (Nikroo et al. 2010;Rabah et al. 2011; Choi et al. 2012; Triki et al. 2013 ).

تخمين زمین‌آماری شامل دو مرحله است: مرحله اول شناخت و مدل‌سازی ساختار مكاني متغير ناحیه‌ای است كه به‌وسیله آناليز واريوگرام قابل بررسي است و مرحله دوم تخمين متغير موردنظر به‌وسیله توابع زمین‌آماری از جمله كريجينگ (كه مقادير متغيرها را با استفاده از داده‌های موجود همان متغير تخمين می‌زند) می‌باشد (Hassani pak, 1998).

امروزه به‌طور وسیعی از روش‌های مختلف زمین‌آماری برای پیش‌بینی تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی استفاده می‌شود (مهدیان، 1385). نظری و همکاران (1385)، از تکنیک زمین‌آمار در بررسی تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی در دشت بالارود استفاده کرد. نتایج این محققین نشان داد که مدل کروی بهترین مدل جهت برازش بر روی واریوگرام تجربی متغیرهای شوری، کلر و سولفات می‌باشد(نطری زاده و همکاران، 1385). دیگوستینو و همکاران (1998)، به بررسی تغییرات زمانی و مکانی نیترات به کمک روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ در آب‌های زیرزمینی پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که روش کوکریجینگ باعث افزایش دقت در تخمین غلظت نیترات شده است (D'Agostino et al. 1998). فینک و همکاران (2004)، از کریجینگ ساده برای تخمین تغییرات سطح آب در کشور هلند استفاده نموده و آن را روشی مناسب برای پایش و تهیه نقشه سطح آب زیرزمینی معرفی کردند (Finke et al. 2004).

# معرفی منطقه مورد مطالعه

منطقه موردمطالعه در این پروژه شامل چهار منطقه کهل دشت، برندق، منامین و مندجین کمر مجموعاً به مساحت حدود 160 کیلومتر مربع در پهنه قزل‌اوزن است. وسعت محدوده اکتشافی کهل دشت 38.5 کیلومترمربع، محدوده برندق 61.5 کیلومتر مربع، محدوده منامین 26 کیلومتر مربع و محدوده مندجین کمر 34 کیلومتر مربع می‌باشد. اين محدوده سراسر مرز جنوبی استان اردبیل را دربر می‌گیرد و با استان آذربایجان شرقی در غرب و استان زنجان در جنوب هم‌مرز است و در انتهاي شمال باختري رشته‌کوه‌های طارم و باختر رشته‌کوه‌های طالش در شمال باختري كشور واقع است. ساختار زمين‌شناسي منطقه مشابه زون البرز باختري - آذربايجان است، به‌طوری‌که رديفي از سنگ‌های توفي - توفيتي رسوبي با ميان‌لايه‌هايي از سنگ‌های گدازه‌اي با ستبراي بيش از سه هزار متر طي دوره ائوسن را در برمی‌گیرد. در دوره ائوسن پلتفرم آذربايجان مانند ديگر نقاط ايران درنتیجه جنبش‌های كششي شاهد فعالیت‌های ولكانيكي بوده، به‌طوری‌که در امتداد بازشدگي گسل ميانه- اردبيل يك خط آتش‌فشانی به ‌طول200 كيلومتر به وجود آمده است.

عمده‌ترين پديده آلتراسيون در حاشيه دو طرف رودخانه قزل‌اوزن به‌ويژه در نواحي روستاهاي جيزوان، تريستان، نیمهیل، گاو، کمر، مندجين، شمس‌آباد و کجل به وجود آمده‌اند. آلتراسيون از نوع کائولینیتی‌شدن، سيلیسی‌شدن، پیریتی‌شدن، سريسیتی‌شدن، آرژيليک، پروپيليتيک و کلريتي همراه با مقادير قابل‌توجهی گوگرد است. در حاشيه دو طرف رودخانه قزل‌اوزن حداقل 5 زون آلتراسيون گسترش چشمگيري دارند که اين زون‌ها عبارت‌اند از: پهنه دگرساني کجل- شمس‌آباد، پهنه دگرساني مندجين، پهنه دگرساني گاو- کمر، پهنه دگرسان نیمهیل و بالأخره پهنه دگرساني جيزوان. محدوده‌های اکتشافی موردمطالعه بر روی قسمتی از نقشه‌‌های زمین‌شناسی هشتجین و ماسوله در مقیاس 1:100000 واقع‌شده‌اند. در شکل1 جانمایی محدوده‌های موردمطالعه بر روی نقشه‌ی مذکور نشان داده‌شده است.

# روش تحقیق

در این تحقیق از داده‌های مربوط به 95 نمونه لیتوژئوشیمیایی براشت شده در منطقه قزل اوزن که با استفاده از دستگاه ICP-MS مورد آنالیز قرار گرفتند استفاده شد. در ابتدا پارامترهای آماری توسط نرم‌افزار SPSS 22 مورد محاسبه قرار گرفت و سپس برای مشخص کردن مناطق عیار بالای طلا – نقره از روش زمین‌آمار و با استفاده از تخمین‌گر کریجینگ نقطه‌ای توسط نرم‌افزار GS+ انجام شد.

## زمین آمار

زمین‌آمار می‌تواند به عنوان مجموعه‌ای از تکنیک‌ها یا ابزار مورد استفاده برای تخمین یا پیش‌بینی عیار یک فاصله یا زمان توزیع متغیر تعریف شود. برای تجزیه‌وتحلیل داده‌های نمونه، توسعه مدل‌های واریوگرام و تولید نقشه‌های کریگ شده استفاده می‌شود (Nijmeijer et al. 2001; Meli’i et al. 2013; Njandjock Nouck et al. 2013). کریجینگ معمولی (بهترین تخمین گر نااریب خطی)، به دلیل مجذور میانگین خطای صفر آن، به صورت وسیعی در زمین‌آمار در تخمین بهینه از متغیرهایی در زمین‌شناسی، آب‌شناسی، علوم محیط‌زیست و جاهای دیگر که در آن درون‌یابی فضایی از داده‌های مورد نیاز است استفاده می‌شود. کریجینگ دارای دو وظیفه اصلی: برای تعیین کمیت ساختار فضایی داده‌ها و تخمین نقاط داده هایی که مجهول هستند. برای پیش‌بینی مقدار نامعلوم در یک نقطه داده شده با استفاده از مناسب‌ترین مدل واریوگرام کریجینگ، یک تنظیم فضایی خوبی از داده‌ها و مقادیر اندازه‌گیری شده در اطراف نقطه تخمین می‌زند(Sarangi et al. 2005).



شکل1: موقعیت پهنه قزل‌اوزن بر روی نقشه‌های 1:100000 ماسوله و هشتجین

در زمین‌آمار، تجزیه‌وتحلیل ساختار تغییرات مکانی متغیرها با استفاده از واریوگرام صورت می‌گیرد. واریوگرام، تغییرات فاصله‌ای یا ساختار تغییرپذیری یک متغیر خاص را نشان داده و از ابزارهای اساسی زمین‌آمار جهت بررسی تغییرات مکانی می‌باشد.

انواع کریجینگ شامل: کریجینگ ساده، کریجینگ معمولی، کریجینگ بلوک، کریجینگ مشترک و کریجینگ منفصل. در این مطالعه از کریجینگ نقطه‌ای استفاده شد، کریجینگ نقطه‌ای برای درون‌یابی و تجزیه‌وتحلیل فضایی عناصر مورد استفاده قرار گرفت.

به سادگی، شبه واریوگرام توسط معادله ‏(1) محاسبه می شود.



برای متغیرهای گسسته، این تابع را می‌توان به صورت معادله ‏(2) بیان کرد.



که در آن مقدار متغیر Z در نقطه است، و تعداد جفت نقاط که به‌وسیله فاصله h از هم جدا شده است می‌باشد. واریوگرام تجربی به دست آمده با یک مدل نظری تنظیم شده است. کریجینگ درنتیجه امکان تخمین مقدار یک پارامتر در معادله ‏(3) است.

که در آن مقدار تخمین زده شده در ، یک اندازه‌گیری در است و مقدار وزن است.

برای هر پارامتر، مدل‌های واریوگرام مختلفی مورد آزمایش قرار گرفتند. معیارهای اعتبارسنجی متقابل ما را قادر به انتخاب مدل با کمترین ریشه مربع میانگین (RMS) درون‌یابی خطا می‌کند (Njandjock Nouck et al. 2013).

آمار توصیفی داده‌ها به منظور بررسی چگونگی توزیع آن‌ها و دستیابی به خلاصه‌ای از اطلاعات آماری داده‌ها مورد نظر صورت گرفت. توزیع فراوانی داده‌ها به لحاظ تأثیری که روی تخمین به روش‌های زمین‌آماری دارد، دارای اهمیت زیادی است. به منظور انجام تحلیل‌های زمین‌آماری بایستی نمونه‌ها از توزیع نرمال تبعیت کنند.

# یافته‌ها

## پیش‌پردازش و نرمال‌سازی داده‌ها

پیش‌پردازش روي داده‌هاي منطقه مورد مطالعه انجام شد که شامل جایگزینی داده‌هاي سنسورد و مقادیر خارج از ردیف بود (حسنی پاک و شرف‌الدین، 1380). مقادیر خارج از ردیف با دو روش نمودار جعبه‌اي عناصر و نمودار Q-Q-Plot آن‌ها، مشخص شدند و سپس با روش محاسباتی و نمودار دورفل[[1]](#footnote-1) در سطح اعتماد 95٪ جانشین شده‌اند (حسنی پاک و شرف‌الدین، 1380). برای استفاده از روش دورفل ابتدا کد این روش در نرم‌افزار متلب[[2]](#footnote-2) نوشته شد سپس از آن استفاده و مقادیر خارج از ردیف کاهش یافتند. نمودار جعبه‌ای نقره قبل و بعد از استفاده از روش دورفل در شکل 2 و شکل 3 نشان داده شده است.

نمودار فراوانی و نمودار P-P عناصر رسم شد (شکل 4 تا شکل 11) و پارامترهای آماری آنها مورد بررسی قرار گرفتند و در نهایت توزیع آن‌ها مشخص شدند که Au و Ag از خود توزیع نرمال نشان نمی‌دهند و باید با یک تبدیل به توزیع نرمال تبدیل شوند که در این مقاله از تبدیل لگاریتمی و تبدیل لگاریتمی سه متغیره استفاده شد. با اجرای تیدیل لگاریتمی هیچ یک از عناصر Au و Ag نرمال نشدند ولی در نهایت با اعمال تبدیل لگاریتمی سه متغیره نرمال شدند.

|  |  |
| --- | --- |
| شکل 2: نمودار جعبه‌اي متغیرAg بعد از استفاده از روش دورفل | شکل 3: نمودار جعبه‌اي متغیر Ag قبل از استفاده از روش دورفل |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| شکل 4: نمودار فراوانی متغیر Au بر روي داده‌هاي خام | شکل 5: نمودار فراوانی متغیر Au بعد از تبدیل لگاریتمی سه متغیره | شکل 6: نمودار P-P متغیر Au بر روي داده‌هاي خام |
| شکل 7: نمودار P-P متغیر Au بعد از تبدیل کاکس و باکس | شکل 8: نمودار فراوانی متغیر Ag بر روي داده‌هاي خام | شکل 9: نمودار فراوانی متغیر Ag بعد از تبدیل لگاریتمی سه متغیره | |
| شکل 10: نمودار P-P متغیر Ag بر روي داده‌هاي خام | شکل 11: نمودار P-P متغیر Ag بعد از تبدیل لگاریتمی سه متغیره |  |

و همچنین آزمون ناپارامتری کولوموگرف - اسمیرونف[[3]](#footnote-3) نیز با دقت بالایی به تعیین نرمال بودن جامعه کمک می‌کنند. در آزمون ناپارامتری کولوموگرف اسمیرونف اگر مقدار Asymp. Sig. (2-tailed) مشخص شده در جدول بالاتر از 0.05 باشد توزیع جامعه از توزیع نرمال تبعیت می‌کند (StatSoft, 2007). که نتیجه این آزمون برای داده‌ها قبل و بعد از نرمال‌سازی در جدول 1 آورده شده است که نشان می‌دهد داده‌ها به خوبی نرمال گردیدند. نمودار فراوانی و نمودار P-P عناصر قبل از تبدیل و پس از تبدیل از شکل 4 تا شکل 11 نشان داده شده است. همان‌طور که از شکل پیداست، نمودار فراوانی پس از تبدیل به توزیع نرمال تبدیل شده است.

جدول 1: نتایج آزمون ناپارامتری کولوموگرف – اسمیرونف قبل و بعد از تبدیل لگاریتمی سه متغیره

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test** |  | **Kolmogorov-Smirnov Z** | **Asymp. Sig. (2-tailed)** |
| **Au** | 0.363 | 0.000 |
| **Ag** | 0.163 | 0.000 |
| **Ln(3\*Au+8.5)** | 3.047 | 0.055 |
| **Ln(Ag+0.15)** | 0.955 | 0.322 |

## تجزیه‌وتحلیل زمین‌آماری

اولين گام در استفاده از روش‌های زمین‌آماری بررسي وجود ساختار مكاني در بين داده‌ها توسط آناليز واريوگرام می‌باشد. شرط استفاده از اين آناليز، نرمال بودن داده‌ها است که داده‌ها را در بخش قبلی نرمال کرده‌ایم. به منظور پيوستگي مكاني يك متغير به‌وسیله واريوگرام لازم است تا مجموع مربع تفاضل زوج نقاطي كه به فاصله معلوم h از يكديگر قرار دارند محاسبه و در مقابل h ترسيم گردد (Hassani pak, 1998). اجزاي يك واريوگرام عبارتند از: 1) دامنه تأثیر: فاصله‌ای كه در آن واريوگرام به حد ثابتي می‌رسد و به حالت خط افقي نزديك مي‌شود. اين دامنه محدوده‌ای را مشخص می‌کند كه می‌توان از داده‌هاي موجود در آن براي تخمين مقدار متغير مجهول استفاده كرد و در خارج از اين فاصله ديگر پيوستگي مكاني وجود ندارد و نمونه‌ها به صورت مستقل عمل می‌کنند. 2) حد آستانه: به مقدار ثابتي كه واريوگرام در دامنه تأثیر به آن می‌رسد حد آستانه گفته می‌شود. اين مقدار برابر واريانس كل نمونه‌هایی است كه در محاسبه واريوگرام بكار رفته‌اند. 3) اثر قطعه‌ای (واريانس بدون ساختار): مقدار واريوگرام در مبدأ مختصات يعني به ازا h=0 را اثر قطعه‌ای می‌نامند كه جزء تصادفي يا غير ساختار دار متغير را نشان می‌دهد و در حالت ایده‌ال بايد صفر باشد. اما بيشتر مواقع بزرگ‌تر از صفر است. واريوگرام بر اساس مقادير زوج نقاطي كه در يك راستا و يك فاصله مشخص از يكديگر قرار گرفته‌اند ترسيم می‌گردد. روش‌های مختلفي براي برآورد متغيرهايي كه تغييرات زماني و مكاني دارند، وجود دارد. در اين تحقيق از روش كريجينگ ساده استفاده شد. كريجينگ تخمين‌گري است كه مقادير يك متغير را در نقاط نمونه‌برداری نشده به‌صورت تركيبي خطي از مقادير همان متغير در نقاط اطراف آن در نظر می‌گیرد و براي برآورد نقاط ناشناخته به هر يك از نمونه‌ها، وزني نسبت می‌دهد. روش كريجينگ بهترين تخمين‌گر نااريب خطي با كمترين مقدار واريانس مي‌باشد. در اینجا تجزیه‌وتحلیل‌های زمین‌آماری با استفاده از نرم‌افزار GS+ انجام شده است.

تغييرنماهاي عناصر مورد مطالعه در شکل 12 و شکل 13 و پارامترهاي آن‌ها در جدول 2 نشان داده شده است. همان‌طور كه در شکل نشان داده شده است ساختار كروي به عنوان بهترين مدل برازش داده شده براي داده‌ها می‌باشد. هر دو عنصر Au و Ag تا فاصله‌ای تقریبا 2500 متري ساختار وابسته به مكان را نشان می‌دهند. طبق نظر جياچون و همكاران اين امر می‌تواند ناشي از يكسان بودن منشأ اين عناصر در منطقه مورد مطالعه باشد (Jiachun et al. 2006).

جدول 2 : نتایج برازش مدل کروی در واریوگرام‌ها

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| متغیر | مدل | اثر قطعه‌ای (Co) | آستانه (C+Co) | دامنه تأثیر (متر) | ضریب همبستگی R2 |
| **Au** | کروی | 0.062 | 0.087 | 2460 | 0.862 |
| **Ag** | کروی | 0.038 | 0.12 | 2632 | 0.931 |

|  |  |
| --- | --- |
| Au- Variogram  شکل 12: تغييرنماي Au در منطقه مورد مطالعه | Ag-Variogram  شکل 13: تغييرنماي Ag در منطقه مورد مطالعه |

## ارزيابي صحت

در اين بررسي براي ارزيابي صحت واریوگرافی از روش ارزيابي متقابل (Cross Validation) استفاده شده است. در اين روش همه داده‌های اوليه، يك به يك و به ترتيب از محاسبات خارج شده و دوباره با استفاده از مدل واريوگرام و ساير داده‌ها برآورد می‌شوند. سپس از مجموع تفاضل مقادير اوليه با مقادير برآورد شده براي ارزيابي صحت واریوگرافی استفاده مي‌شود. در نهايت با محاسبه دو آماره ميانگين خطا (MAE) و خطاي برآورد (RMSE) درباره اعتبارسنجی مدل واریوگرام قضاوت می‌شود. مقادير اين پارامترها هرچه به عدد صفر نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده تخمين بهتر مدل مورد استفاده در ارزيابي مقادير مجهول پارامتر مورد استفاده می‌باشد (Webster and Oliver, 2000).

در این تحقیق با سعی و خطا مناسب‌ترین الگوی متغیرهای مورد مطالعه تعیین گردید. معیارهای کنترل اعتبار واریوگرام‌های مورد مطالعه در جدول 3 خلاصه شده است. مقادیر میانگین خطای مطلق نزدیک به صفر بوده و بیانگر صحت بالای مدل واریوگرام است، همچنین پایین بودن میانگین مجذور خطا نیز بیانگر دقت قابل قبول واریوگرافی می‌باشد. لذا می‌توان اظهار نمود که نتایج کنترل اعتبار واریوگرام بیانگر مناسب بودن پارامترهای مدل‌های برازش داده شده بر واریوگرام‌های تجربی می‌باشد.

جدول 3: پارامترهای کنترل اعتبار واریوگرامها در منطقه مورد مطالعه

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **متغیر** | **RMSE** | **MAE** |
| **Au** | 0.278 | 0.004 |
| **Ag** | 0.327 | 0.002 |

## تهیه نقشه کریجینگ

پهنه‌بندی و تهيه نقشه‌های غلظت عناصر، يكي از مراحل مهم و اوليه در راستاي تصمیم‌گیری براي جداسازي يا تعيين محدوده‌های مناسب می‌باشد. از تخمين‌گر كريجينگ نقطه‌ای بر اساس تغييرنماهاي همسانگرد براي تخمين مقادير هر يك از متغیرهای مورد مطالعه در نقاط نمونه‌برداري نشده استفاده گرديد. پارامترهاي كريجينگ بر اساس نتايج حاصل از اعتبارسنجي دو طرفه بهینه‌سازی شدند.

نقشه‌های كريجينگ طلا و نقره با نرم‌افزار GS+ رسم و در شکل 14 و شکل 16 نمايش داده شده‌اند. همان‌گونه كه ملاحظه می‌شود، توزيع مكاني تمامي متغيرها پيوسته و وابسته به موقعيت جغرافيايي نقاط نمونه‌برداری می‌باشد. و همچنین نقشه‌های واریانس تخمین کریجینگ در شکل 15 و شکل 17 نشان داده شده است که با توجه به شکل در مناطقی که نمونه‌برداری شده است کمترین واریانس تخمین کریجینگ را داریم.

|  |
| --- |
| Au-Map Image  شکل 14 : نقشه‌ي كريجينگ Au در منطقه مورد مطالعه |
| Au-SD-Map Image  شکل 15: نقشه‌ي واریانس تخمین كريجينگ Au در منطقه مورد مطالعه |
| Ag-Map Image  شکل 16 : نقشه‌ي كريجينگ Ag در منطقه مورد مطالعه |
| Ag-SD-Map Image  شکل 17: نقشه‌ي واریانس تخمین كريجينگ Ag در منطقه مورد مطالعه |

# نتایج

مطالعات زمین‌آماری نشان داد که متغیرها وابستگی مکانی برابر در حدود 2500 متر دارند که اين امر می‌تواند ناشي از يكسان بودن منشأ طلا و نقره در منطقه مورد مطالعه باشد که نشان می‌دهد طلا با نقره رابطه‌ی مستقیمی دارد. تغييرنماهاي تجربي با استفاده از مدل كروي مدل‌سازی شدند. نقشه‌هاي واریانس تخمين كريجينگ در مورد متغیرهای مورد مطالعه نشان داد كه در حاشيه منطقه و فواصل بين نمونه‌ها بيشترين واریانس تخمين وجود دارد. نقشه‌های کریجینگ دو عنصر طلا و نقره در مناطق مختلف تقریباً مشابه هم می‌باشند.

* نقشه کرجینگ طلا نشان داده در شرق و جنوب غرب منطقه مورد مطالعه عیار عنصر طلا بالا می باشد (شکل 14) و با توجه به نقشه واریانس تخمین کریجینگ در می‌یابیم (شکل 15) که در منطقه شرقی نتایج تخمین کریجینگ به خوبی درست است و واریانس نخمین در این منطقه پایین می‌باشد و نشان‌دهنده‌ی تأیید این آنومالی‌ در شرق است ولی در قسمت جنوب غربی واریانس تخمین بالا و نیز آنومالی تأیید نمی‌گردد.
* با توجه به نقشه کریجینگ نقره در می یابیم (شکل 16) که عیار نقره در مناطقی که عیار طلا بالا می‌باشد بالا است با این تفاوت که نقره در منطقه‌ی کوچکتری آنومال است و در قسمت‌های جنوب شرق و غرب منطقه مورد مطالعه آنومالی نشان داده است ولی با توجه به نقشه واریانس تخمین کریجینگ نقره در میابیم (شکل 17) که در منطقه جنوب شرقی و تا حدودی شمال غربی واریانس نخمین کریجینگ پایین می‌باشد و نشان‌دهنده‌ی تأیید این آنومالی‌ در جنوب شرق و تا حدودی شمال غرب است ولی در قسمت غربی واریانس تخمین بالا و نیز آنومالی تأیید نمی‌گردد و نتیجه می گیریم که نقره هم در همان منطقه جنوب شرق عیار بالا است.
* در نهایت با توجه به نقشه های تخمین و واریانس تخمین کریجینگ طلا و نقره در می‌یابیم در قسمت شرق به جنوب شرقی منطقه مورد مطالعه هر دو عنصر آنومال هستند و واریانس تخمین در این مناطق بسیار پایین است که نشان دهنده تایید نتایج تخمین است.

# منابع

1. حسنی پاک علی‌اصغر - شرف‌الدین محمد، 1380، تحلیل داده‌های اکتشافی(جدایش زمینه از آنومالی، آمار و احتمال مهندسی،تخمین ذخیره)، انتشارات دانشگاه تهران.
2. مهدیان، محمدحسین، 1385، کاربرد زمین‌آمار در خاکشناسی، کارگاه آموزشی کاربرد زمین‌آمار در خاکشناسی اولین همایش خاک، توسعه پایدار و محیط‌زیست 17-18 آبان ماه 1385، دانشگاه تهران.
3. نطری زاده، فرزاد. ارشادیان، بهناز و زند وکیلی، کامران، 1385، بررسی تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی دشت بالارود در استان خوزستان، اولین همایش منطقه‌ای بهره‌برداری بهینه از منابع آب حوزه‌های کارون و زاینده‌رود، دانشگاه شهرکرد، ص 1240-1236.
4. Abu-El-Shar,W. I., & Rihani, J. F. (2007). Application of the high performance computing techniques of parflow simulator to model groundwater flow at Azraq basin. Water Resources Management, 21(2), 409–425.
5. Choi, W., Galasinski, U., Cho, S., & Hwang, C. (2012). A spatiotemporal analysis of groundwater level changes in relation to urban growth and groundwater recharge potential for Waukesha County, Wisconsin. Geographical Analysis, 44, 219–234.
6. Christakos, G. (2000). Modern spatiotemporal geostatistics. USA: Oxford University Press.
7. D'Agostino, V., Greene, E. A., Passarella, G., & Vurro, M. (1998). Spatial and temporal study of nitrate concentration in groundwater by means of coregionalization. Environmental geology, 36(3-4), 285-295.‏
8. Finke, P. A., Brus, D. J., Bierkens, M. F. P., Hoogland, T., Knotters, M., & De Vries, F. (2004). Mapping groundwater dynamics using multiple sources of exhaustive high resolution data. Geoderma, 123(1), 23-39.‏
9. Hassani pak, A.(1998). Geostatistic. Tehran University Press, 314p.
10. Jiachun S., Hazian W., Jianming X., Jinjun W., Xingmei L., Haiping Z., and Shunlan J. (2006). Spatial distribution of heavy metals in soil: A case study of Changing, China. Environ ment al Geology Geol, 10:245-264.
11. Meli’i JL, Bisso D, Njandjock Nouck P, Mbarga TN, Mbanga AF, Manguelle-Dicoum E (2013) Water table control using ordinary kriging in the Southern part of Cameroon. J Appl Sci 13(3):393–400
12. Nijmeijer R, Haas A, Dost R, Budde P (2001) Ilwis 3.0 Academic User’s guide. ITC, Enschede, The Netherlands. Njandjock Nouck P, Kenfack C, Diab DA, Njeudjang K, Meli’i LJ, Kamseu R (2013) A Geostatical reinterpretation of gravity surveys in the Yagoua, Cameroon region, Geofisica International, 52(4):365–373
13. Nikroo, L., Kompani-Zare,M., Sepaskhah, A. R., & Shamsi, S. R. F. (2010). Groundwater depth and elevation interpolation by kriging methods in Mohr Basin of Fars province in Iran. Environmental Monitoring and Assessment, 166, 387–407. doi:10.1007/s10661-009-1010-x.
14. Njandjock Nouck P, Yene AQ, Amougou L, Lissom P, Mbida Y (2013) Geoelctrical prospection of aquifers in Eseka region, Centre-Cameroon. J Emerg Trends Eng Appl Sci (Jeteas) 4(3):471–477
15. Passarella, G., Vurro,M., Dagostino, V., Giuliano, G., & Barcelona, M. J. (2002). A probabilistic methodology to assess the risk of groundwater quality degradation. Environmental Monitoring and Assessment, 79(1), 57–74.
16. Rabah, F. K. J., Ghabayen, S. M., & Salha, A. A. (2011). Effect of GIS interpolation techniques on the accuracy of the spatial representation of groundwater monitoring data in Gaza strip. Journal of Environmental Science and Technology, 4(6),579-589..
17. Rakhmatullaev, S., Marache, A., Huneau, F., Coustumer, P. L., Bakiev, M., Le, P., et al. (2010). Geostatistical approach for the assessment of the water reservoir capacity in arid regions: a case study of the Akdarya reservoir. Uzbekistan Environment Earth Science. doi:10.1007/s12665-010-0711-3.
18. Sarangi A, Madramootoo CA, Enright P, Chandrasekharan H (2005) Prediction of spatial variability of phosphorous over the St-Esprit watershed. Water Air Soil Pollut 48(3):943
19. StatSoft, I. (2007). Electronic statistics textbook. Tulsa, OK: StatSoft.‏
20. Triki, I., Trabelsi, N., Hentati, I., & Zairi,M. (2013). Groundwater levels time series sensitivity to pluviometry and air temperature: a geostatistical approach to Sfax region, Tunisia. Environmental Monitoring and Assessment. doi:10.1007/ s10661-013-3477-8.
21. Uyan,M., & Cay, T. (2013). Spatial analyses of groundwater level differences using geostatistical modeling. Environmental and Ecological Statistics. doi:10.1007/s10651-013-0238-3.
22. Webster, R. and Oliver, M.A. 2000. Geostatistics for environmental scientists. Wiley press, 271p.

1. Doerffel [↑](#footnote-ref-1)
2. Matlab [↑](#footnote-ref-2)
3. Kolmogorov- Smirnov [↑](#footnote-ref-3)