

## ارائه یک الگوریتم جدید به منظور بسط روش درون‌یابی وزن‌دهی عکس فاصله در منطقه حراران

مریم محمدی‌زاده<sup>۱</sup>، فرهاد محمدتراب<sup>۲</sup>

۱- دانشجوی دکتری، دانشکده‌ی مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه یزد

۲- استادیار، دانشکده‌ی مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه یزد

(دریافت: دی ۱۳۹۳ پذیرش: مهر ۱۳۹۴)

### چکیده

روش وزن‌دهی عکس فاصله یک درون‌یابی متداول، آسان، قابل‌فهم و سریع در بسیاری از شاخه‌های علوم زمین است و دستور اجرای آن در بیشتر نرم‌افزارهای معدنی مرتبط با تخمین تعبیه شده است، تلاش در جهت ارتقاء صحت و دقت آن می‌تواند کاربرد این روش را فراگیرتر کند و فرآیند درون‌یابی را قابل‌اعتمادتر گرداند. در این مقاله، ساختار فضایی عناصر مختلف حاصل از تجزیه نمونه‌های سنگی مرتبط با پتانسیل‌یابی کانه‌زایی مس پورفیری در منطقه حراران به کمک واریوگرام مطالعه شده و براساس پارامترهای واریوگرام معیاری برای محاسبه مقدار توان عکس فاصله پیشنهاد شده است، به منظور اعتبارسنجی، درون‌یابی وزن‌دهی عکس فاصله بر روی داده‌های ژئوشیمیایی و به ازای مقادیر مختلف توان عکس فاصله (مقادیر متداول توان و توان محاسبه شده بر اساس واریوگرام) پیاده‌سازی گردیده است و درصد خطا و مجذور میانگین مربعات خطای درون‌یابی محاسبه شده است. درون‌یابی در محیط متلب کدنویسی شده و نتایج حاصله برای عناصر مختلف ارائه و با توجه به ویژگی‌های هر عنصر تحلیل شده است. براساس نتایج حاصل، شیب بخش خطی واریوگرام کروی معیاری از مقدار توان عکس فاصله ( $a$ ) است به طوری که مقدار آن برای عناصر با ساختار فضایی نسبتاً پیوسته برابر با مقادیر متداول  $a$  (۱، ۲ و ۳) است و روش وزن‌دهی عکس فاصله برای درون‌یابی این عناصر قابل‌کاربرد است.

### واژگان کلیدی

درون‌یابی، وزن‌دهی عکس فاصله، توان عکس فاصله، شکل، درصد خطای درون‌یابی

### ارجاع به این مقاله:

محمدی‌زاده، م.، محمدتراب، ف.، (۱۳۹۴)، ارائه یک الگوریتم جدید به منظور بسط روش درون‌یابی وزن‌دهی عکس فاصله در منطقه حراران، روش‌های تحلیلی و عددی در مهندسی معدن، ۵(۹)، ۳۹-۵۰.

[http://dx.medra.org/10.17383/S2251-6565\(15\)940914-X](http://dx.medra.org/10.17383/S2251-6565(15)940914-X)

## ۱- مقدمه

در بسیاری از مقالات ارائه شده در زمینه روش وزن دهی عکس فاصله، درون یابی روی داده های مختلف در شاخه های مختلف علوم زمین پیاده سازی شده و نتایج حاصل با روش های دیگر از جمله روش های زمین آماری مقایسه گردیده است. در بیشتر مقالات کار شده روش های زمین آماری بر روش وزن دهی عکس فاصله برتری داشته اند [۲، ۵-۷]. روش های زمین آماری علی رغم فرضیات مورد نیاز اولیه (نرمال بودن، عدم وجود روند، ایزوتروپ بودن و داشتن ساختار فضایی) و محاسبات به نسبت پیچیده تر به خصوص در مطالعات سه بعدی، دقت و صحت بیشتری دارند [۸، ۹] و علاوه بر ترسیم نقشه توزیع متغیر، در تخمین ذخیره کانسارها نیز مورد استفاده قرار می گیرند در حالی که درون یابی وزن دهی عکس فاصله تنها در ترسیم نقشه توزیع متغیر مورد مطالعه کاربرد دارد. در میان روش های درون یابی موجود، تنها روش های زمین آماری واریانس خطای تخمین هر نقطه تخمینی را محاسبه می کنند [۱۰-۱۴]. اساس درون یابی زمین آماری، پارامترهای واریوگرام (ابزار قدرتمند بررسی ساختار فضایی) است که علی رغم حساسیت نتایج به این پارامترها، از جمله عوامل دقیق تر بودن نتایج حاصل هستند. روش های زمین آماری متداول تر از روش وزن دهی عکس فاصله هستند [۴].

در سال ۲۰۰۸ وانگ و لو<sup>۱</sup> طی مقاله ای، یکی از دلایل کمتر بودن صحت روش وزن دهی عکس فاصله را ثابت بودن مقادیر توان برای کل نقاط مجهول در منطقه مورد مطالعه معرفی کردند [۱] و مقدار توان عکس فاصله را براساس توزیع نقاط معلوم حول نقطه مجهول محاسبه کردند، فرضیه اساسی این مطالعه این بود که برای درون یابی نقطه مجهولی که چگالی نقاط معلوم در اطراف آن نسبت به سایر نقاط مجهول بالاتر است نیازی به توان بزرگ نیست و همه نقاط معلوم وزن بزرگی در درون یابی خواهند داشت زیرا به نقطه مجهول نزدیک هستند. براساس نتایج به دست آمده علی رغم صحیح بودن فرضیه مورد بررسی، تغییرات درصد خطای درون یابی فاحش نبوده و تنها در حد یک یا دو درصد بوده است [۱].

چنگ<sup>۲</sup> در سال ۱۹۹۹ نقش مقیاس اندازه گیری در درون یابی را تحت عنوان روش های درون یابی مولتی فرکتالی مطرح کردند، به عقیده ایشان، برخی از متغیرها

تکنیک وزن دهی عکس فاصله یک روش درون یابی فضایی غیر احتمالی است [۱]. سادگی و قابل فهم بودن، محاسبات آسان و سریع، اجرا شدن توسط بسیاری از نرم افزارهای متداول علوم زمین (از جمله *Surpac*, *GIS*, *Datamine* و *R*) و عدم نیاز به پیش پردازش داده ها و فرضیات اولیه فاکتورهایی هستند که این درون یابی را در علوم زمین متداول کرده است.

معیار وزن دهی در درون یابی مورد بحث، فاصله جفت نمونه ها است بدین صورت که نمونه های نزدیک به نقطه مجهول نسبت به نمونه های دورتر وزن بیشتری می گیرند. بسیاری از مطالعات نشان داده اند که ارتباط فضایی مقادیر جفت نمونه ها یک رابطه کاهشی ساده بر حسب فاصله نیست بنابراین یک توان برای عکس فاصله در نظر گرفته شده است، مقادیر متداول نسبت داده شده به توان، برابر با ۱، ۲، ۳ و در مواردی ۴ و ۵ است [۱]. درون یابی وزن دهی عکس فاصله براساس روابط (۱) و (۲) انجام می شود [۲]:

$$z^* = \sum_{i=1}^n w_i \cdot z_i \quad (1)$$

$$w_i = \frac{\left(\frac{1}{d_i}\right)^a}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{d_i}\right)^a} \quad (2)$$

که در آن، مقدار هر نقطه مجهول ( $z^*$ ) براساس ترکیب خطی از نقاط معلوم ( $z_i$ ) واقع در همسایگی آن و وزن دادن به نقاط شرکت کننده در درون یابی ( $w_i$ ) بر حسب فاصله ( $d_i$ ) و توان عکس فاصله ( $a$ ) محاسبه می شود.

باتوجه به روابط ذکر شده، توان و فاصله دو پارامتر اصلی درون یابی وزن دهی عکس فاصله هستند، مقدار توان به نوع متغیر مورد مطالعه بستگی دارد [۳] و فاصله جفت نمونه ها تابع چگالی نمونه برداری است که به دلایل اقتصادی نمی تواند از حد معینی بیشتر شود، چگالی پایین و توزیع نمونه برداری منظم، انعطاف پذیری و دقت این روش را کمتر می کند [۴].

بنابراین حتی در فواصل کوچک، اختلاف مقادیر جفت نمونه‌ها زیاد است و بهتر است تأثیر نقاط اطراف در درون‌یابی کمتر شود و تا حد امکان تأثیر نقاط دورتر ناچیز گردد. بنابر مباحث فوق، پیشنهاد می‌شود در درون‌یابی عکس فاصله برای عناصر با ساختار فضایی قوی‌تر (شیب ملایم‌تر) مقدار توان، کوچکتر در نظر گرفته شود به طوری که اگر برای عنصری شیب واریوگرام به صفر بسیار نزدیک شد مقدار توان را برابر صفر قرار داد و نقطه مجهول را با یک میانگین‌گیری ساده از نقاط معلوم، درون‌یابی کرد. همچنین برای عناصر با ساختار فضایی ضعیف‌تر (شیب تندتر) مقدار توان، بزرگتر در نظر گرفته شود تا وزن‌ها کاهش یابد و تأثیر نقاط دورتر بسیار کمتر از نقاط نزدیک‌تر شود.

بنابراین پیشنهاد می‌شود مقدار توان عکس فاصله (a) به کمک پارامترهای واریوگرام و روابط (۳) تا (۵) محاسبه گردد:

$$m = \frac{c}{\frac{2r}{3}} \quad (3)$$

$$r = \tan^{-1}(m) \quad (4)$$

$$a = 100 \times r \quad (5)$$

در روابط فوق،  $m$  برابر شیب بخش خطی واریوگرام کروی است که به کمک واریانس فضایی ( $C = S - C_0$ ) و شعاع همبستگی فضایی ( $r$ ) محاسبه می‌شود، مقدار  $a$  برحسب درجه و معرف زاویه شیب است. این مقدار در ۱۰۰ ضرب می‌شود تا مقادیر زاویه شیب که برای داده‌های ژئوشیمیایی کوچک هستند (به علت تغییرات کوچک مقدار عنصر طی فواصل بزرگ برحسب متر) بزرگ شوند و به مقادیر متداول توان عکس فاصله (واقع در بازه ۵-۱) نزدیک گردند. ضریب ۱۰۰ با توجه به مقادیر به دست آمده برای  $a$  و به طور تجربی در نظر گرفته شده است.

به منظور اعتبارسنجی روش پیشنهاد شده، الگوریتم موجود بر روی بخشی از داده‌های ژئوشیمیایی منطقه حراران پیاده گردیده است. عناصر مورد مطالعه شامل آلومینیم، آهن، تیتانیوم، استرانسیم، فسفر، اسکاندیم، سدیم، کلسیم، سرب، لیتیم، منیزیم، نئوبیم، کبالت، تنگستن، قلع، منگنز، باریم، زیرکنیم، پتاسیم، اورانیوم، تلوریم، آنتیموان، روبیدیم، سرب، آرسنیک، نیکل، کروم، سزیم، روی، مس،

علاوه بر ساختار فضایی دارای ویژگی تکینگی نیز هستند و لازم است این ویژگی در رابطه درون‌یابی اعمال گردد. متغیر تکین<sup>۳</sup> متغیری است که مقدار آن با تغییر مقیاس اندازه‌گیری تغییر می‌کند، شیب این تغییر به کمک شکل تمام لگاریتم توزیع فرکتالی عیار-مقیاس قابل محاسبه است [۱۵، ۱۶]. نقشه‌های توزیع متغیر حاصل از درون‌یابی مولتی‌فرکتالی وزن‌دهی عکس فاصله<sup>۴</sup> از سایر روش‌های درون‌یابی حتی روش‌های زمین‌آماري نیز بهتر بوده است بدین دلیل که به خوبی توانسته است مناطق زمینه را از مناطق آنومال‌های محلی تفکیک کند و فیلتر مناسبی به شمار آید [۱۷-۲۰].

توان عکس فاصله می‌تواند معرف شیب تغییر مقدار متغیر برحسب فاصله در نظر گرفته شود بنابراین با ساختار فضایی متغیر در ارتباط و برای متغیرهای مختلف، متفاوت است بدین معنی که برای عناصر با پیوستگی فضایی بیشتر لازم است مقدار توان، کوچکتر در نظر گرفته شود. از آنجا که واریوگرام بهترین ابزار برای بررسی تغییرپذیری است پارامترهای واریوگرام، می‌تواند معیار مناسبی برای محاسبه توان عکس فاصله باشد.

در این مقاله براساس پارامترهای واریوگرام برای عناصر مختلف، مقدار توان عکس فاصله محاسبه گردیده است، سپس درون‌یابی وزن‌دهی عکس فاصله برای هر عنصر و به ازای مقادیر مختلف توان اجرا شده و نتایج مورد تحلیل قرار گرفته است.

## ۲- تئوری و روش کار

مقدار توان عکس فاصله، معرف شدت یا شیب سیر افزایشی اختلاف مقادیر جفت نمونه‌ها برحسب افزایش فاصله است، سیر تغییر اختلاف جفت نمونه‌ها برحسب فاصله، به ساختار فضایی متغیر مربوط است و واریوگرام ابزار قدرتمندی است که این ساختار فضایی را کمی‌سازی می‌کند. شیب بخش خطی واریوگرام تئوری (واریوگرام کروی) معیاری از پیوستگی فضایی متغیر است هرچه این شیب ملایم‌تر باشد پیوستگی فضایی متغیر بیشتر است در نتیجه در فواصل مختلف، اختلاف مقادیر جفت نمونه‌ها به هم نزدیک است. در این شرایط بهتر است تأثیر همه نقاط (دور و نزدیک) در درون‌یابی زیادتر شود، در حالی که هرچه شیب تندتر باشد پیوستگی فضایی متغیر کمتر است

$$PE = \left( \frac{RMSE}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n O_i} \right) \times 100 \quad (7)$$

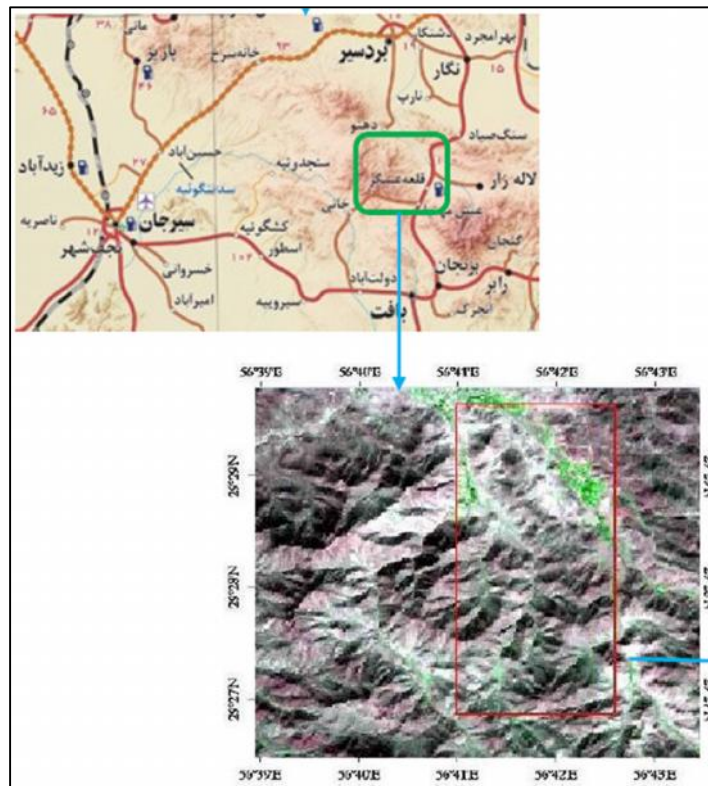
که در آن  $P_i$  معرف مقدار تخمینی برای هر نقطه،  $O_i$  مقدار مشاهده‌ای در هر نقطه و  $n$  تعداد نمونه‌ها است.

### ۳- وضعیت زمین‌شناسی و بررسی ساختار مسیر

منطقه حراران بخشی از ناحیه قلعه عسگر با طول جغرافیایی "۵۶° ۳۹' ۳۰" تا "۴۳° ۰۰' ۵۶" و عرض جغرافیایی "۲۹° ۲۶' ۳۰" تا "۲۹° ۲۹' ۳۰" است که در استان کرمان در شمال شرق شهرستان بافت واقع شده است (شکل ۱) [۲۲].

مولیبدن، وانادیم و نقره هستند. مطالعات آماری و واریوگرافی ۳۳ عنصر فوق در محیط نرم افزار دیتامین انجام و مقدار  $a$  برای هر عنصر محاسبه شده، درون‌یابی وزن‌دهی عکس فاصله در محیط متلب کدنویسی و روی عناصر مختلف و به ازای مقادیر متفاوت  $a$  (مقدار محاسبه شده براساس واریوگرام و مقادیر ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵) اجرا گردیده، سپس با انجام اعتبارسنجی متقابل (مقایسه نتیجه تخمین با مقدار واقعی آن)، مقادیر خطا یعنی درصد خطا<sup>۵</sup> و مجذور میانگین مربعات خطا<sup>۶</sup> محاسبه شده و نتایج به دست آمده مورد تحلیل قرار گرفته است. مقادیر خطا با استفاده از روابط (۶) و (۷) محاسبه می‌شوند [۲۱]:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2} \quad (6)$$



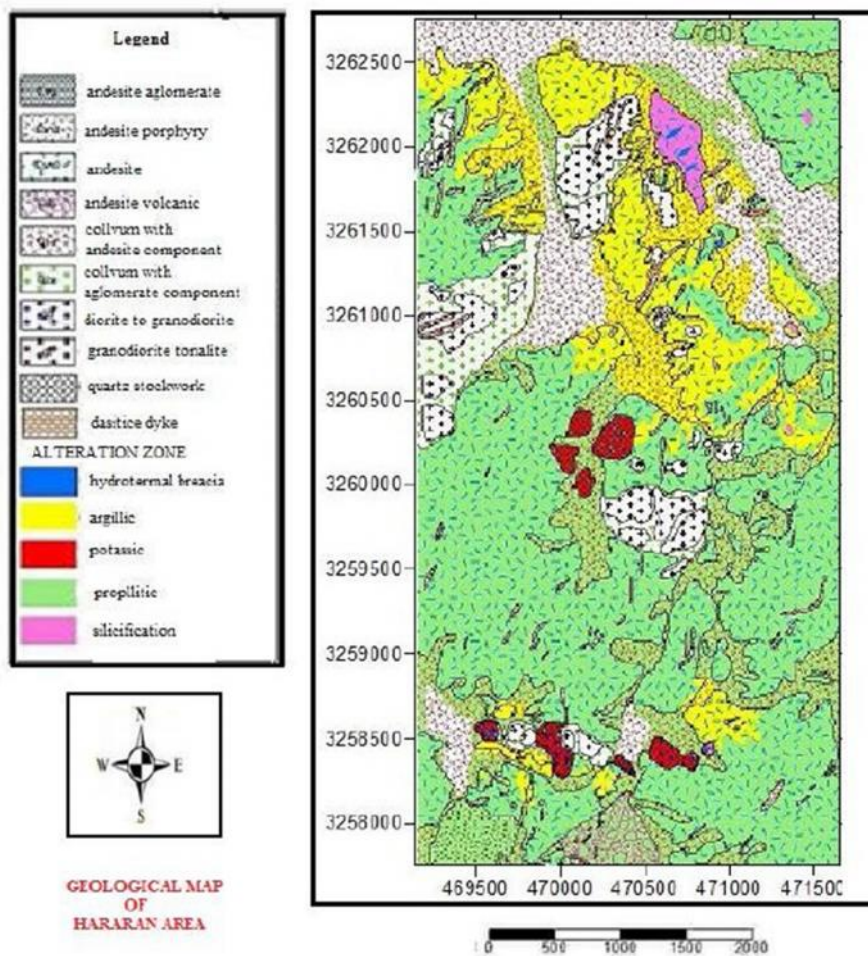
شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه حراران [۲۲]

جنوبی را سنگ‌های آندزیتی و آندزیتی برشی شده پوشش می‌دهند. دگرسانی‌های پروپلیتیک تقریباً بیشتر بخش‌های منطقه را دربرگرفته است، دگرسانی پتاسیک تنها در نواحی

بخش‌های شمالی این منطقه را بیشتر رسوبات کوارتزنی و در برخی قسمت‌ها رخنمون‌های از توده نفوذی با ترکیب سنگ‌شناسی دیوریت تا گرانودیوریت و نواحی

تعدادی دایک با امتداد شمال شرق- جنوب غرب نیز در نواحی جنوبی وجود دارند (شکل ۲) [۲۲].

مرکزی و جنوبی، رخنمون‌های کوچکی دارد و دگرسانی آرژیلیک و سیلیسی در بخش‌های شمالی دیده می‌شود.



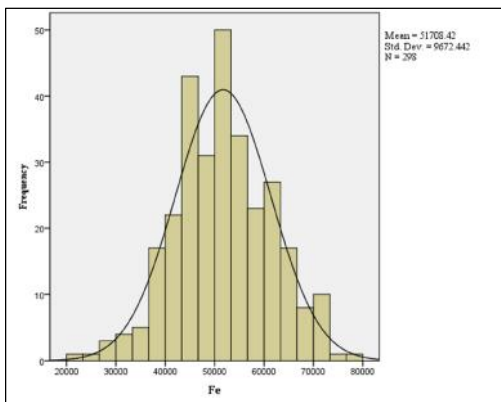
شکل ۲: نقشه زمین شناسی منطقه حراران [۲۲]

گواه آن است که مقادیر خارج ردیف در واقع مقادیر آنومالی هستند [۲۲].

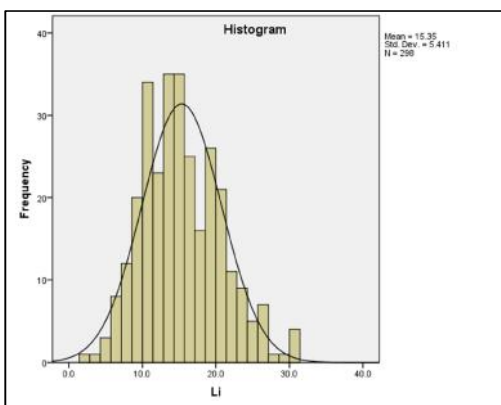
#### ۴- بحث

به منظور بررسی توزیع داده‌ها، پارامترهای آماری عناصر شامل میانگین، انحراف معیار و چولگی محاسبه و در جدول ۱ گنجانده شده است. هیستوگرام هر یک از عناصر برحسب قسمت در میلیون<sup>۷</sup> ترسیم گردیده است. به عنوان نمونه، هیستوگرام برخی از عناصر در شکل‌های ۳ تا ۶ نشان داده شده است.

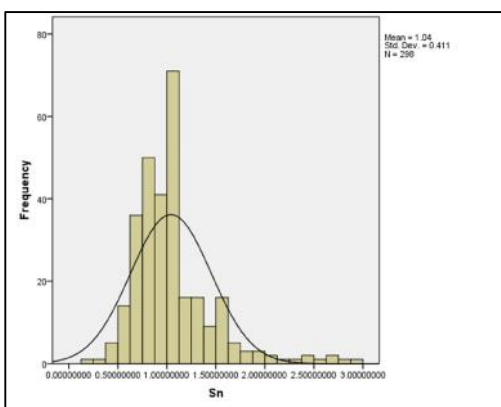
با هدف اکتشاف کانه‌زایی مس پرفیری تعداد ۶۰۷ نمونه سنگی در یک شبکه منظم به منظور مطالعات لیتوژئوشیمیایی توسط شرکت کاوشگران گستره کویر برداشت شده و برای ۴۵ عنصر مورد آنالیز قرار گرفته است. در مطالعه حاضر از نتایج آنالیز ۲۹۸ نمونه که در یک شبکه مربعی با ابعاد ۲۰۰×۲۰۰ قرار گرفته‌اند استفاده شده است. مطالعات انجام شده روی منطقه نشان داده است که نواحی شمالی (در ارتباط با دگرسانی آرژیلیک و سیلیسی) و قسمت‌های از نواحی جنوبی و مرکزی (منطبق بر دگرسانی پتاسیک) مناطق امیدبخش برای کانه‌زایی مس هستند. در این مناطق اکثر عناصر رفتار غیرعادی داشته‌اند. مطالعه مقادیر خارج ردیف و پیاده‌سازی آن‌ها روی نقشه



شکل ۳: هیستوگرام عنصر آهن



شکل ۴: هیستوگرام عنصر لیتیم



شکل ۵: هیستوگرام عنصر قلع

از آنجا که بازه مقادیر عناصر مختلف، متفاوت است به منظور فراهم کردن امکان مقایسه، از استاندارد سازی داده‌ها استفاده، تبدیل Z روی داده‌ها انجام شده و شکل روی مقادیر تبدیل یافته ترسیم گردیده است. با این حال درون‌یابی روی مقادیر اولیه اجرا شده است و داده‌ها

جدول ۱: پارامترهای آماری عناصر مورد مطالعه

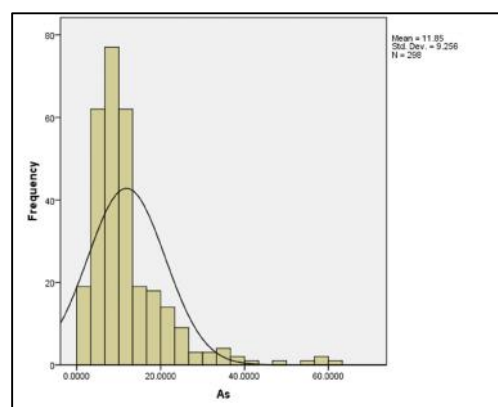
عناصر	میانگین (ppm)	انحراف معیار	چولگی
Sc	۱۷/۳	۴/۸	۰/۲۶
V	۱۴۹	۴۳/۳	۰/۳۵
Ti	۴۱۳۱/۱	۹۹۲/۱	۰/۴۷
Fe	۵۱۷۰۸/۴	۹۶۵۶/۲	-۰/۰۱
Li	۱۵/۳	۵/۴	۰/۴۲
P	۵۹۵/۹	۱۵۹/۳	۰/۷۹
Ce	۲۰/۴	۵/۹	۱/۰۷
Nb	۲/۵	۰/۸	۱/۱۱
Sb	۲/۶	۱/۶	۰/۸۵
K	۹۷۳۳/۱	۵۳۵۰/۱	۱/۲۴
Zr	۲۹/۶	۱۷/۶	۱/۰۲
Rb	۲۲/۷	۱۶/۱	۱/۴۳
Ba	۲۸۶/۳	۱۴۳	۱/۲۱
Mn	۱۱۲۹/۸	۵۳۶/۸	۲/۲۴
Tl	۰/۳	۰/۲	۱/۹۱
U	۰/۵	۰/۳	۱/۶۰
Sn	۱	۰/۴	۱/۸۰
As	۱۱/۸	۹/۲	۲/۴۳
Ni	۵/۹	۴/۲	۳/۱۷
W	۱/۱	۰/۴	۱/۰۷
Mo	۰/۹	۱/۲	۳/۹۸
Ag	۰/۳	۰/۴	۴/۵۹
Pb	۱۹/۵	۱۵/۸	۳/۱۵
Zn	۹۴/۸	۸۴/۷	۵/۲۴
Cs	۱/۸	۱/۶	۳/۱۶
Cr	۵	۳/۳	۱/۶۲
Cu	۸۱/۵	۸۸/۴	۴/۲۵
Sr	۳۳۹	۸۹/۱	-۰/۴۸
Al	۸۷۶۰۱/۳	۱۰۰۱۰/۲	-۰/۳۴
Ca	۴۰۰۷۱/۶	۱۲۹۱۸/۱	-۰/۹۳
Mg	۱۶۵۱۶/۳	۵۴۳۶/۶	-۰/۲۹
Na	۲۵۱۰۹/۶	۷۲۹۳/۷	-۰/۲۴
Co	۱۵/۵	۵/۸	-۰/۳۱

در بین عناصر مورد مطالعه، عناصر *Fe-Na-Sc-Mg* - نرمال با چولگی بین ۱ و ۱-، عناصر *Co-Al-V-Li-Ti-Sr-P-Sb-Ca* توزیع نزدیک به نرمال با چولگی بین ۱ و ۱-، عناصر *Zr-Ce-W-Nb* - کوچکتر از ۲ و بقیه عناصر توزیع غیرنرمال با چولگی بزرگتر از ۲ دارند.

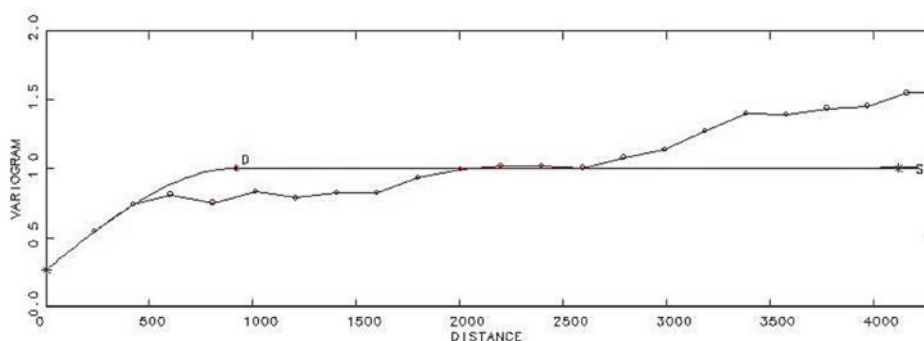
براساس شکل‌های ترسیم شده، شیب واریوگرام عناصر با چولگی بالاتر، بیشتر از عناصر با چولگی پایین‌تر است. شکل‌های ۷ تا ۱۰ به ترتیب واریوگرام غلظت عناصر  $Li$ - $Ag$  و  $Ce$ - $As$  را نشان می‌دهد که مقادیر  $a$  محاسبه شده برای آن‌ها برابر ۵، ۲/۹، ۳/۳ و ۳۱ است.

مقادیر محاسبه شده  $a$  برای عناصر مختلف برحسب واریوگرام متناظر، در شکل ۱۱ خلاصه شده است. براساس شکل، مقدار  $a$  برای عناصر  $Ag$  و  $V$  بسیار بزرگ است (۲۸ و ۳۱) در واقع این دو عنصر، ساختار فضایی بسیار ضعیفی نشان می‌دهند، مقدار  $a$  برای عناصر  $Cu$ - $Zn$ - $Mo$ - $As$  و  $Cr$  نیز به نسبت بزرگ است و بقیه عناصر، متناظر با ساختار فضایی‌شان مقدار  $a$  کوچکتر (کوچکتر از ۴/۵) دارند.

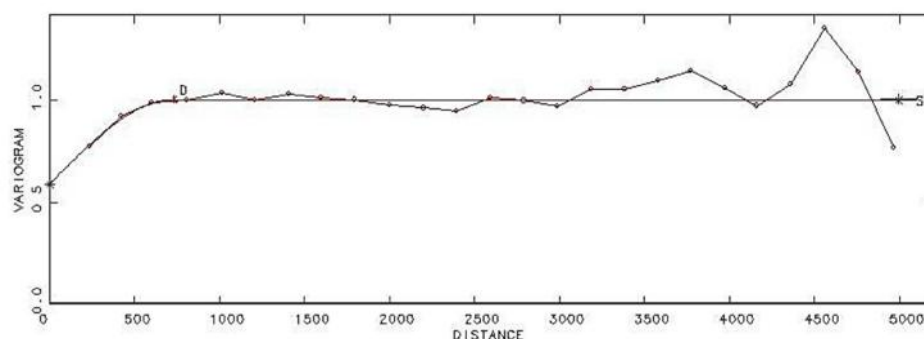
نرمال‌سازی نشده‌اند. لازم به یادآوری است که استانداردهای توزیع متغیر را تغییر نمی‌دهد.



شکل ۶: هیستوگرام عنصر آرسنیک



شکل ۷: شکل غیرجهتی عنصر  $As$

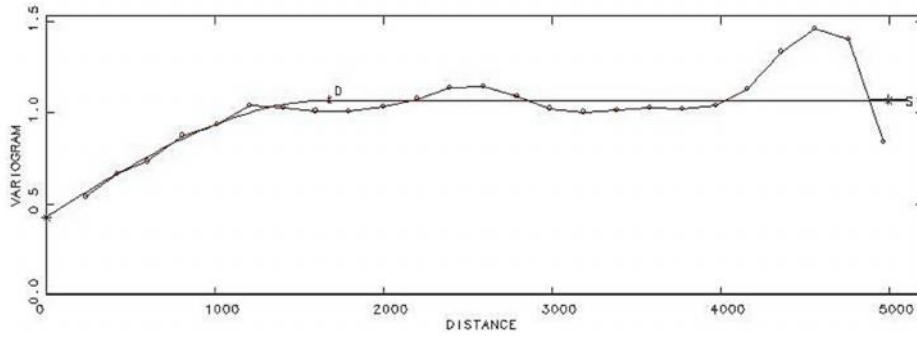


شکل ۸: شکل غیرجهتی عنصر  $Ce$

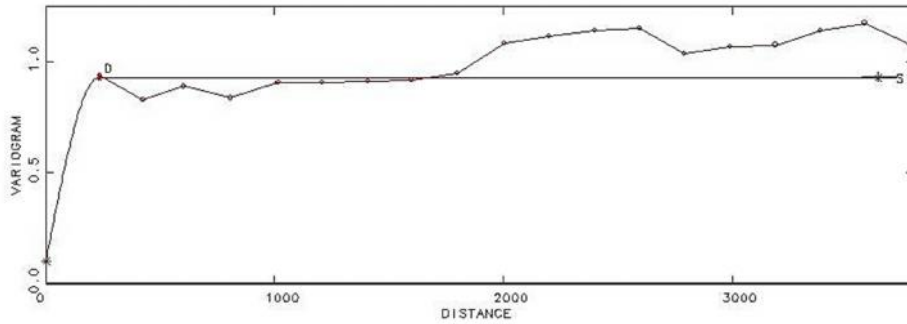
متداول‌ترین مقادیر مناسب برای  $a$  برابر ۲ و ۳ هستند. عدم انطباق مقدار محاسبه‌ای با بهترین مقدار  $a$  مربوط به عناصر با چولگی بالا و ساختار فضایی ضعیف است، در واقع برای درون‌یابی این عناصر، روش عکس توان فاصله انتخاب مناسبی نیست و درصد خطای درون‌یابی به ازای تمام مقادیر  $a$  بالا (بالای ۶۰ درصد) است.

مقدار  $a$  ایی که به ازای آن درون‌یابی کمترین خطا را نشان می‌دهد به عنوان بهترین  $a$  انتخاب گردیده و با مقدار محاسبه شده  $a$  از روی پارامترهای واریوگرام، مقایسه شده است، این دو مقدار برای عناصر با ساختار فضایی قوی سازگاری خوبی نشان می‌دهند، این مقادیر در شکل ۱۲ نمایش داده شده‌اند. شکل ۱۲ این نکته را تایید می‌کند که

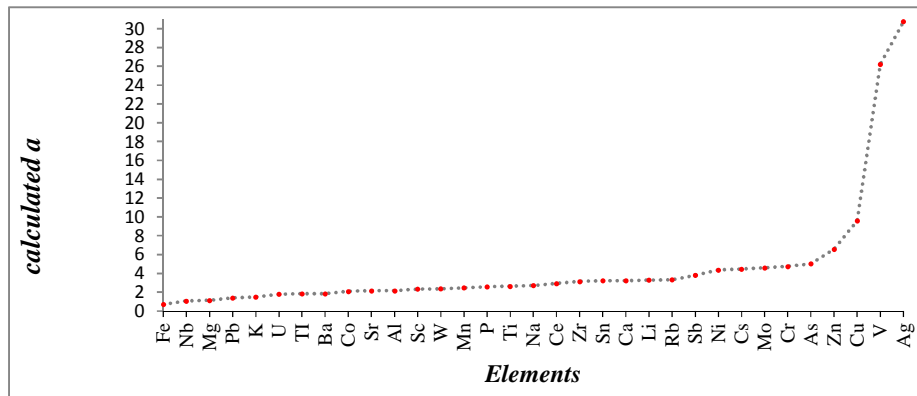




شکل ۹: شکل غیرجهتی عنصر  $Li$



شکل ۱۰: شکل غیرجهتی عنصر  $Ag$



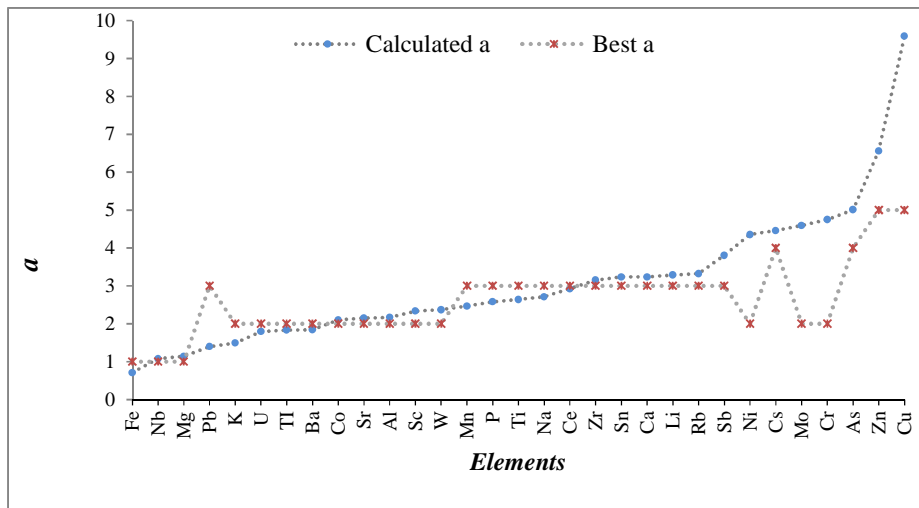
شکل ۱۱: مقادیر محاسبه شده  $a$  برای عناصر مختلف

دهم یا چند درصد تغییر می‌کند، شکل‌های ۱۵ تا ۱۷ گویای این موضوع هستند، همچنین اختلاف مقادیر مجذور میانگین مربعات خطا برای عناصری که مقادیرشان کوچک است تنها در حد دهم یا چند واحد و برای عناصر با مقادیر بزرگ در حد چند ده یا چند صد واحد است، مقادیر مجذور میانگین مربعات خطا مذکور نیز در شکل‌های ۱۵ تا ۱۷ نمایش داده شده است.

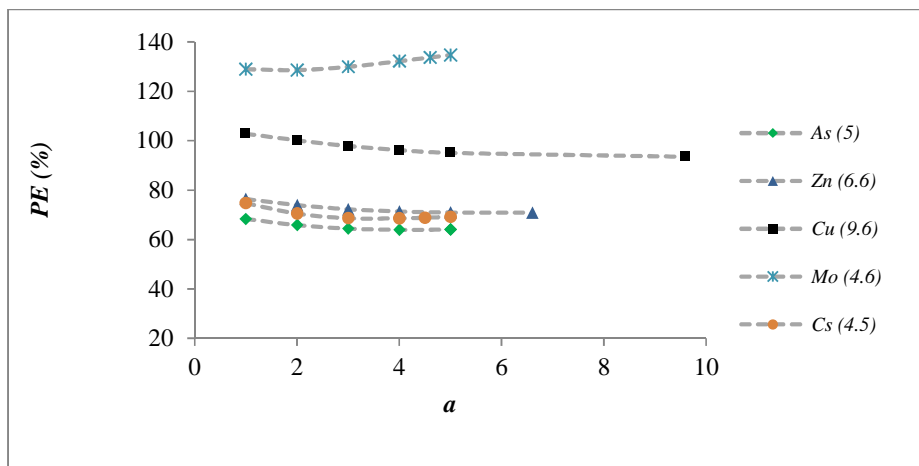
درصد خطای درون‌یابی، برای عناصر با ساختار فضایی قوی ( $a$  به نسبت کوچکتر) بسیار کمتر از عناصر با ساختار فضایی ضعیف است. بنابراین روش وزن‌دهی عکس فاصله برای عناصر با ساختار فضایی قوی روش درون‌یابی مناسبی است. مقادیر درصد خطا برای عناصر با ساختار فضایی ضعیف و قوی به ترتیب در شکل‌های ۱۳ و ۱۴ نشان داده شده است.

براساس نتایج به دست آمده، اختلاف درصد خطا به ازای مقادیر مختلف  $a$  تفاوت فاحشی ندارد و تنها در حد

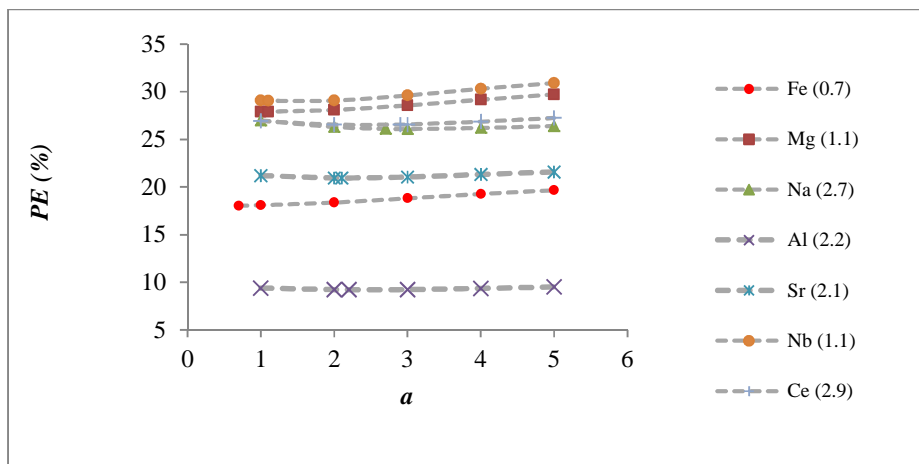




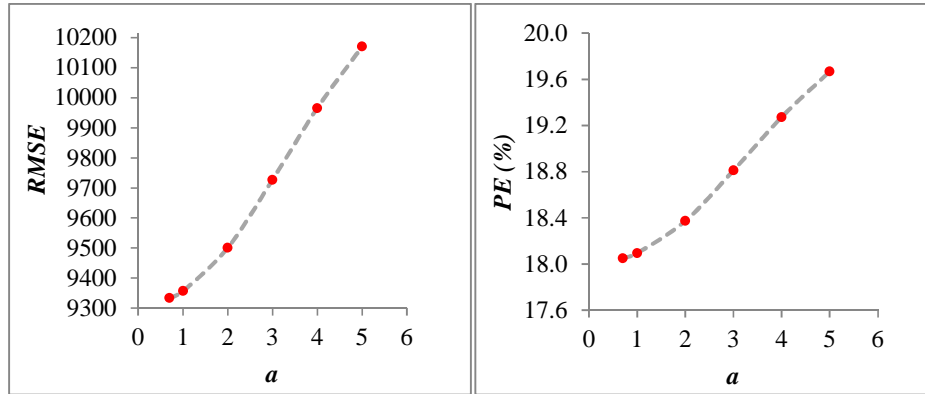
شکل ۱۲: مقایسه مقدار  $a$  محاسبه شده با بهترین مقدار آن برای عناصر مختلف



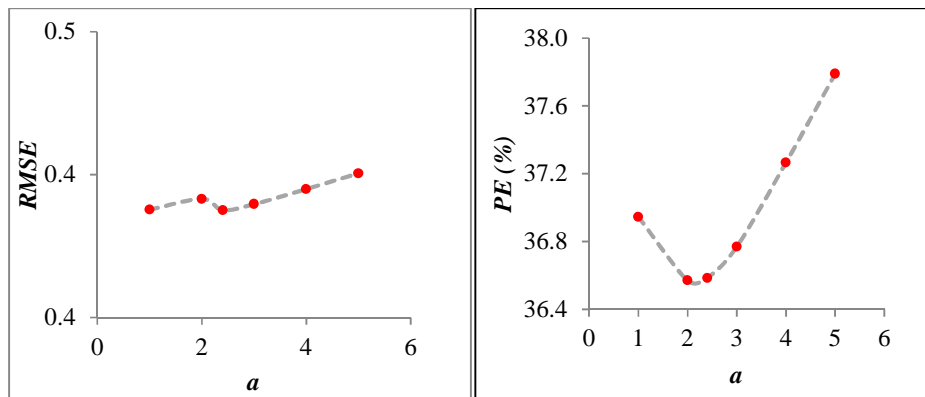
شکل ۱۳: درصد خطای درون‌یابی به ازای مقادیر مختلف  $a$  برای عناصر با ساختار فضایی ضعیف



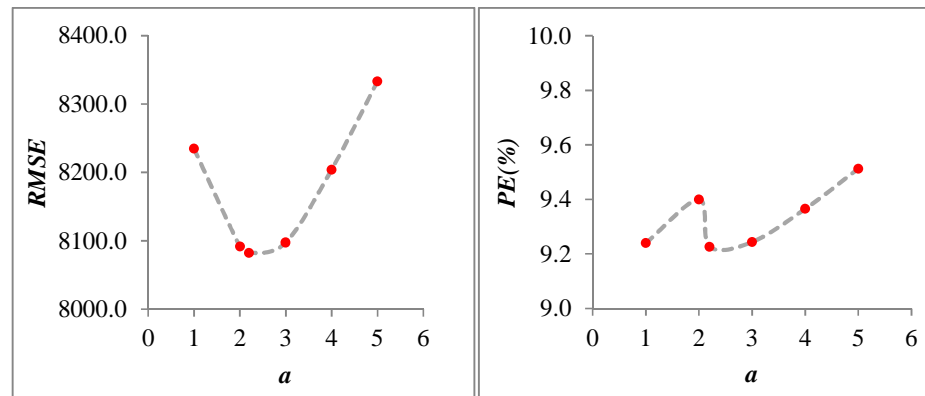
شکل ۱۴: درصد خطای درون‌یابی به ازای مقادیر مختلف  $a$  برای عناصر با ساختار فضایی قوی



شکل ۱۵: مقادیر درصد خطا و مجذور میانگین مربعات خطا درون‌یابی عنصر آهن به ازای مقادیر مختلف  $a$



شکل ۱۶: مقادیر درصد خطا و مجذور میانگین مربعات خطا درون‌یابی درون‌یابی عنصر تنگستن به ازای مقادیر مختلف  $a$



شکل ۱۷: مقادیر درصد خطا و مجذور میانگین مربعات خطا درون‌یابی عنصر آلومینیم به ازای مقادیر مختلف  $a$

### ۵- نتیجه‌گیری

توان عکس فاصله، معرف شیب تغییر متغیر برحسب فاصله است و شیب بخش خطی واریوگرام کروی معیار خوبی برای کمی‌سازی این توان است. مقادیر ۱، ۲ و ۳ بهترین مقادیر توان عکس فاصله برای متغیرهای با توزیع

در فرآیند درون‌یابی، شعاع جستجو برابر با شعاع همسایگی به دست آمده از واریوگرام در نظر گرفته شده است. بزرگ بودن فاصله نمونه‌ها (۲۰۰ متر) و منظم بودن شبکه مانع بررسی الزام یا عدم الزام تعریف شعاع جستجو در فرآیند درون‌یابی به روش مورد مطالعه در این مقاله گردید. لازم است این موضوع روی داده‌هایی با فاصله بین نمونه‌ای کم و شبکه نامنظم مورد بررسی قرار گیرد.

- [7] Creutin, J.D., Obled, C. (1982). Objective analyses and mapping techniques for rainfall fields: an objective comparison. *Water Resources Research*. 18, 413-431
- [9] Goovaerts, P. (2000). Geostatistical approaches for incorporating elevation into the spatial interpolation of rainfall. *Journal of hydrology*. 228(1), 113-129.
- [9] Chaplot, V., et al. (2006) Accuracy of interpolation techniques for the derivation of digital elevation models in relation to landform types and data density. *Geomorphology*, 77, 126-141.
- [10] Matheron, G. (1963). Principles of geostatistics. *Economic Geology*. 58, 1246-1266.
- [11] Star, J. and J.E. Estes. (1990). *Geographic Information Systems: An Introduction*. Prentice Hall.
- [12] Robinson, T.P. and G. Metternicht. (2003). A comparison of inverse distance weighting and ordinary kriging for characterising within-paddock spatial variability of soil properties in Western Australia. *Cartography*. 32(1), 11-24.
- [13] Hassani Pak, A. (1386). *Geostatistic*. Tehran. Tehran university. (In persian).
- [14] Noroozi, Gh. (1385). Modeling and ore estimation of Masjeddaghi gold deposit with geostatistic, Jolfa, Eastren Azarbaijan. *Journal of Mining engineering*. (In Persian)
- [15] CHENG, Q. (1999). Multifractal interpolation. *Proceedings of the Firth Annual Conference of the International Association for Mathematical Geology*, Trondheim, Norway. 1, 245-250.
- [16] Cheng, Q. (1999). Multifractality and spatial statistics. *Computers & Geosciences*. 25, 949-961.
- [17] Fedele, L., Plant, J. A., De Vivo, B. & Lima, A. (2008). The rare earth element distribution over Europe: geogenic and anthropogenic sources. *Geochemistry, Exploration, Environment Analysis*. 8, 3-18.
- [18] Lima, A., et al. (2003). Multifractal IDW interpolation and fractal filtering method in environmental studies: an application on regional stream sediments of (Italy), Campania region. *Applied Geochemistry*. 18(12), 1853-1865.
- [19] Fratini, P., De Vivo, B., Lima, A. & Cicchella, D. (2006). Background and baseline concentration values of human health harmful elements and gamma ray survey in the volcanic soils of Ischia island (Italy). *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*. 6, 325-339.
- [20] Lima, A., Albanese, S. & Cicchella, D. (2005). Geochemical baselines for the radioelements K, U, and Th in the Campania region, Italy: a comparison of stream-sediment geochemistry and gamma-ray surveys. *Applied Geochemistry*. 20, 611-625.
- [21] Johnston K, V.H.J., Krivoruchko K, Lucas N. (2001). *Using ArcGIS Geostatistical Analyst*. Environmental Systems Research. Redlands, USA.

نزدیک به نرمال و دارای ساختار فضایی قوی و مقادیر ۴ و ۵ بهترین مقادیر برای متغیرهای با چولگی بالاتر و ساختار فضایی نسبتاً ضعیف‌تر هستند و چنانچه ساختار فضایی متغیری بسیار ضعیف و به عبارت دیگر مقدار توان محاسبه شده آن برحسب واریوگرام بزرگ باشد، روش وزن‌دهی عکس فاصله، درون‌یاب مناسبی برای آن متغیر نیست. مقدار شیب بخش خطی واریوگرام در موارد دیگری از قبیل تابع  $GET$  (به عنوان توان  $G$ ) نیز قابل کاربرد است. انعطاف پذیری کم روش وزن‌دهی عکس فاصله (تنها تابع دو متغیر  $a$  و  $d$  بودن و محدودیت مقادیر  $a$  و  $d$ ) موجب می‌شود که تدابیر مختلف برای افزایش صحت و دقت آن، چندان موفق نباشند و کاهش درصد خطای درون‌یابی ناشی از آن‌ها برای بیشتر عناصر، تنها در حد دهم یا چند واحد باشد.

## ۶- قدردانی

در اینجا لازم است از خانم مهندس فریناز اعلیمان عضو آزمایشگاه هوش محاسباتی و رباتیک دانشکده کامپیوتر دانشگاه یزد جهت همکاری در برنامه‌نویسی و خانم مهندس سمیه عباس‌زاده دانشجوی دکتری مهندسی اکتشاف معدن دانشگاه یزد جهت همکاری در تدارک داده‌های لیتوژئوشیمیایی منطقه حراران از شرکت کاوشگران گستره کویر تشکر گردد.

## ۷- مراجع

- [1] Lu, G. Y., & Wong, D. W. (2008). An adaptive inverse-distance weighting spatial interpolation technique. *Computers & Geosciences*, 34(9), 1044-1055.
- [2] Burough PA, M.R. (1998). *Creating continuous surfaces from point data*. Oxford University Pres, Oxford, UK.
- [3] Myers, D.E. (1994). Spatial interpolation: an overview. *Geoderma*, 62(1), 17-28.
- [4] Li, J. and A.D. Heap. (2011). A review of comparative studies of spatial interpolation methods in environmental sciences: performance and impact factors. *Ecological Informatics*. 6(3), 228-241.
- [5] Weber, D., Englund, E. (1994). Evaluation and comparison of spatial interpolators II. *Mathematical Geology*. 26, 589-603.
- [6] Wilson, J.P., Gallant, J.C. (2000). *Terrain Analysis. Principles and Applications* Wiley, New York, 479.

[22] Abbaszadeh, S. (1389). Finding potential of copper porphyry mineralization with use of remote sensing and geochemical data, Ghaleh Asgar (Hararan). Shhid Bahonar university of Kerman, (In Persian).

- 
- 1- Wang and Lu
  - 2- Cheng
  - 3- Singulare
  - 4- Multifractal IDW
  - 5- PE
  - 6- RMSE
  - 7- ppm

## A New Algorithm for Developing Inverse-Distance Weighting Interpolation Method in Hararan Region

M. Mohammadizadeh<sup>1\*</sup>, F. Mohammad Torab<sup>2</sup>

1- PhD Student of Mining Engineering, Dept. of Mining and Metallurgy, Yazd University, Iran

2- Assistant Professor, Dept. of Mining and Metallurgy, Yazd University, Iran

\* Corresponding Author: [Mohamadi.maryam35@yahoo.com](mailto:Mohamadi.maryam35@yahoo.com)

(Received: January 2015, Accepted: October 2015)

### Abstract

Inverse-distance weighting method is a simple, easy and understandable interpolation in many branches of earth sciences, and it is embedded in the mining software related to estimation. Efforts to enhance the accuracy and precision of this method can be applied to a wider and reliable interpolation process. In this paper, spatial structure of different elements from analysis of rock samples associated with a porphyry copper deposit is studied using variogram. A criterion based on variogram parameters is suggested for each element to calculate the distance power. In order to validate the method, inverse-distance weighting interpolation of the different elements and different values for the inverse-distance power is implemented (common values and calculated power), error percent and root mean square error of interpolation is calculated and analyzed. Interpolation is coded in MATLAB environment and the results for different elements are demonstrated and analyzed. Based on the results, the slope of the linear part spherical variogram is measured of the amount of inverse-distance power (a) so that the values for the elements with relatively continuous spatial structure equal common values of a (1, 2 and 3) and Inverse distance weighting method is applicable for these elements.

### Keywords

Interpolation, Inverse-Distance Weighting, Inverse- Distance Power, Variogram, Percent Error of Interpolation

### Cite This Paper:

Mohammadizadeh, M., Mohammad Torab, F. (2015). "A New Algorithm for Developing Inverse-Distance Weighting Interpolation Method in Hararan Region." Journal of Analytical and Numerical Methods in Mining Engineering 5(9): 39-50. [http://dx.medra.org/10.17383/S2251-6565\(15\)940914-X](http://dx.medra.org/10.17383/S2251-6565(15)940914-X)