

ساختار مدیریت پروژه اکتشافی در تفکیک آنومالی با روش‌های هندسه فضایی در قالب روش شبکه‌ای *GERT* - مطالعه موردی نهشته *Cu-Au* پورفیری دالی شمالی

فرشاد دارابی گلستان^{۱*}، سیدرضا قوامی ریابی^۲، اردشیر هزارخانی^۳، رضا خالوکاکایی^۴، سیدحمید سکاکی^۵، هوشنگ اسدی هارونی^۶

۱- دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

۲- دانشیار، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود

۳- استاد، دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

۴- استاد، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود

۵- استاد مدعو، دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

۶- استادیار، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی اصفهان

(دریافت: آذر ۱۳۹۳، پذیرش: خرداد ۱۳۹۵)

چکیده

در این مقاله از روش شبکه ارزیابی گرافیکی و بازنگری تکنیکی (*GERT*) جهت مدیریت پروژه اکتشافی در فعالیت‌های مختلف روش‌های تفکیک آنومالی و ایجاد الگویی مناسب با ترکیب دو روش هندسه فضایی فراکتالی و آماره فضایی *U* استفاده شده است. به همین دلیل در کارهای معدنی به وفور شبکه‌بندی *GERT* مورد استفاده قرار می‌گیرد و منجر به افزایش دقت فرآیند می‌شود. بنابراین احتمالی بودن انجام یا عدم انجام تعدادی از فعالیت‌ها در روش فراکتالی و با احتمال برگزیدن یکی از روش‌های فراکتالی و یا آماره *U* متناسب با پروژه اکتشافی و همچنین تکرارپذیر بودن یک مجموعه فعالیت‌ها در آماره فضایی *U* را تنها می‌توان با شبکه‌بندی *GERT* تفسیر نمود. شبکه حاصل از تلفیق این دو روش در نهشته مس-طلا دالی شمالی اجرا و نتایج مشابه‌ای را حاصل نمود و میزان همپوشانی این دو روش موقعیت آنومالی را با دقت هرچه بیشتر مشخص نمود. با اجرای گام به گام فعالیت‌های احتمالی در هر دو روش، طلا و مس نتایج بسیار نزدیک به هم نشان می‌دهند که حاکی از قدرت و دقت بالای این دو روش در شناسایی آنومالی‌ها می‌باشد. روش فرکتال مقادیر 560ppb برای طلا و 1700ppm برای مس را بعنوان آنومالی مشخص نمود اما روش آماره *U* این مقادیر را به ترتیب $1/47$ (حدوداً برابر 50ppb) و $1/45$ (حدوداً برابر 1650ppm) نشان داد که با رسم آنها همپوشانی و انطباق خوبی مشاهده گشت.

کلید واژه‌ها

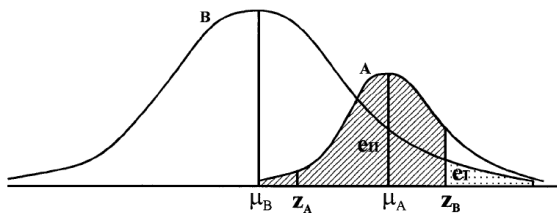
مدیریت پروژه اکتشافی، روش شبکه‌بندی *GERT*، آماره فضایی *U*، هندسه فراکتالی، نهشته *Cu-Au* دالی شمالی

ارجاع به این مقاله:

دارابی گلستان، ف.، قوامی ریابی، ر.، هزارخانی، الف.، خالوکاکایی، ر.، سکاکی، ح.، اسدی هارونی، ه.، (۱۳۹۵)، ساختار مدیریت پروژه اکتشافی در تفکیک آنومالی با روش‌های هندسه فضایی در قالب روش شبکه‌ای *GERT* - مطالعه موردی نهشته *Cu-Au* پورفیری دالی شمالی، روش‌های تحلیلی و عددی در مهندسی معدن، ۶(۱۱)، ۱-۱۰.

۱- مقدمه

حد آستانه‌ای است، به طوری که بتوان نمونه‌ها را بر اساس مقادیر عنصر، کلاسه بندی کرد. نمونه‌های با مقادیر بزرگتر از z (میزان مشخصی از غلظت) به عنوان جامعه آنومالی و مقادیر کوچکتر از z به عنوان جامعه زمینه معرفی می‌شوند. مطابق شکل ۱ اگر z_A حد پایین آنومالی و z_B حد بالای زمینه باشد، می‌توان نمونه‌های با مقادیر کمتر از z_A را جزء زمینه و نمونه‌های بیشتر از z_B را جزء آنومالی در نظر گرفت. اگر دو جامعه A و B هم پوشانی داشته باشند، در این صورت دو مقدار متفاوت z_A و z_B حاصل می‌شود ($z_A < z_B$) و نمونه‌های مابین این دو مقدار به طور یقین کلاسه بندی نمی‌شوند، زیرا این نمونه‌ها می‌توانند به هر دو جامعه آنومالی و زمینه متعلق باشند [۸].



شکل ۱: توزیع فراوانی دو جامعه آنومالی (A) و زمینه (B) [۸، ۹]

همانگونه که در شکل ۱ ملاحظه می‌شود با دو نوع خطا در طبقه بندی می‌توانیم مواجه باشیم. این دو نوع خطا به طور معکوسی با هم ارتباط دارند، نوع اول (e_I) وقتی اتفاق می‌افتد که نمونه با مقدار زمینه، جزء زمینه حساب نشود و نوع دوم (e_{II}) وقتی اتفاق می‌افتد که نمونه با مقدار آنومالی به عنوان زمینه به حساب آید. این دو نوع خطا معکوس هم هستند، یعنی اگر یک نوع خطا با تغییر حد آستانه‌ای کوچک شود، دیگری بزرگ می‌شود. در بعضی مواقع کمینه کردن یکی از خطاها موجب حصول پاسخ بهینه است ولی در مواقع دیگر بهتر است کل خطا (یعنی مجموع خطاهای نوع اول و دوم) را حداقل کرد [۸، ۱۰-۱۲]. روش‌های مختلفی برای جداسازی و تشخیص مناطق آنومال از زمینه وجود دارد که از روش‌های آماری ساده (براساس پارامترهای آماری تابع توزیع) تا روش‌های پیچیده فراکتالی (براساس ساختار فضایی داده‌ها) تغییر می‌کنند. روش‌هایی نظیر کریجینگ [۱۳]، آماره فضایی U و روش فراکتال [۱۰-۱۲، ۱۴] گونه‌هایی از آنالیز فضایی هستند که متناسب با مدل توزیع و ساختار ایجاد شده و غالباً بدون

روش‌های معمول برای برنامه‌ریزی پروژه‌ها، شامل نمودارهای گانت، روش مسیر بحرانی (CPM) روش ارزیابی و بازنگری پروژه‌ها (PERT) و روش گرافیکی ارزیابی و بازنگری پروژه‌ها (GERT) هستند [۱]. با توجه به نوع فعالیت‌های یک پروژه، روش مناسب انتخاب می‌شود. برای پروژه‌هایی که فعالیت‌های معین با زمان‌های معین دارند، روش CPM کاربرد دارد، بنابراین در شبکه‌های CPM عوامل زمانی معین و غیر قابل تغییر در نظر گرفته می‌شوند [۲]. برای پروژه‌هایی که فعالیت‌های معین دارند اما زمان فعالیت احتمالی است، روش PERT مناسب‌تر است و پروژه‌هایی که دارای فعالیت‌های احتمالی اند، کاربرد روش GERT بیشتر است [۳، ۴]. از این رو برای رسیدن به هدف نهایی لازم است که همه‌ی فعالیت‌هایی که در شبکه قرار دارند، اجرا شوند. بنابراین شبکه‌های PERT و CPM قابلیت پذیرش در فعالیت‌های احتمالی را ندارند [۵]. از این رو روش GERT برای برنامه‌ریزی شبکه‌هایی که دارای فعالیت‌های احتمالی هستند، ابداع شد [۴]. روش‌های تفکیک آنومالی آماره فضایی U و هندسه فراکتالی با روش GERT می‌توانند شبکه شده و جهت تفکیک آنومالی از زمینه به کار روند.

جدایش آنومالی از زمینه یکی از مهم‌ترین و عمده‌ترین مراحل در اکتشافات ژئوشیمیایی است. در اطراف نهشته‌های کانساری غالباً یک کاهش تدریجی در غلظت بعضی عناصر دیده می‌شود، این روند تغییرات تا آنجا ادامه می‌یابد که تقریباً به حد ثابتی برسد. این حد ثابت مقدار زمینه است. حد بالایی تغییرات مقدار زمینه به عنوان حداقل مقدار آنومالی یا اصطلاحاً حد آستانه‌ای معرفی می‌شود. به مقادیر بیشتر از حد آستانه‌ای، آنومالی گفته می‌شود [۶]. یک آنومالی ژئوشیمیایی به عنوان منطقه‌ای معرفی می‌شود که تمرکز عنصر مورد مطالعه بزرگتر از مقدار آستانه خاصی باشد [۷]. اگر توزیع فراوانی غلظت داده‌های خام یا مقادیر تخمین زده شده توسط روش‌های مختلف (آماره فضایی U ، کریجینگ و ...) در نظر گرفته شود، آنومالی (A) و زمینه (B) دو جامعه مجزا هستند که از نظر محتوای عنصر و ویژگی‌های فضایی متفاوت هستند. هدف از به کارگیری روش‌های جداسازی آنومالی‌ها، تعریف

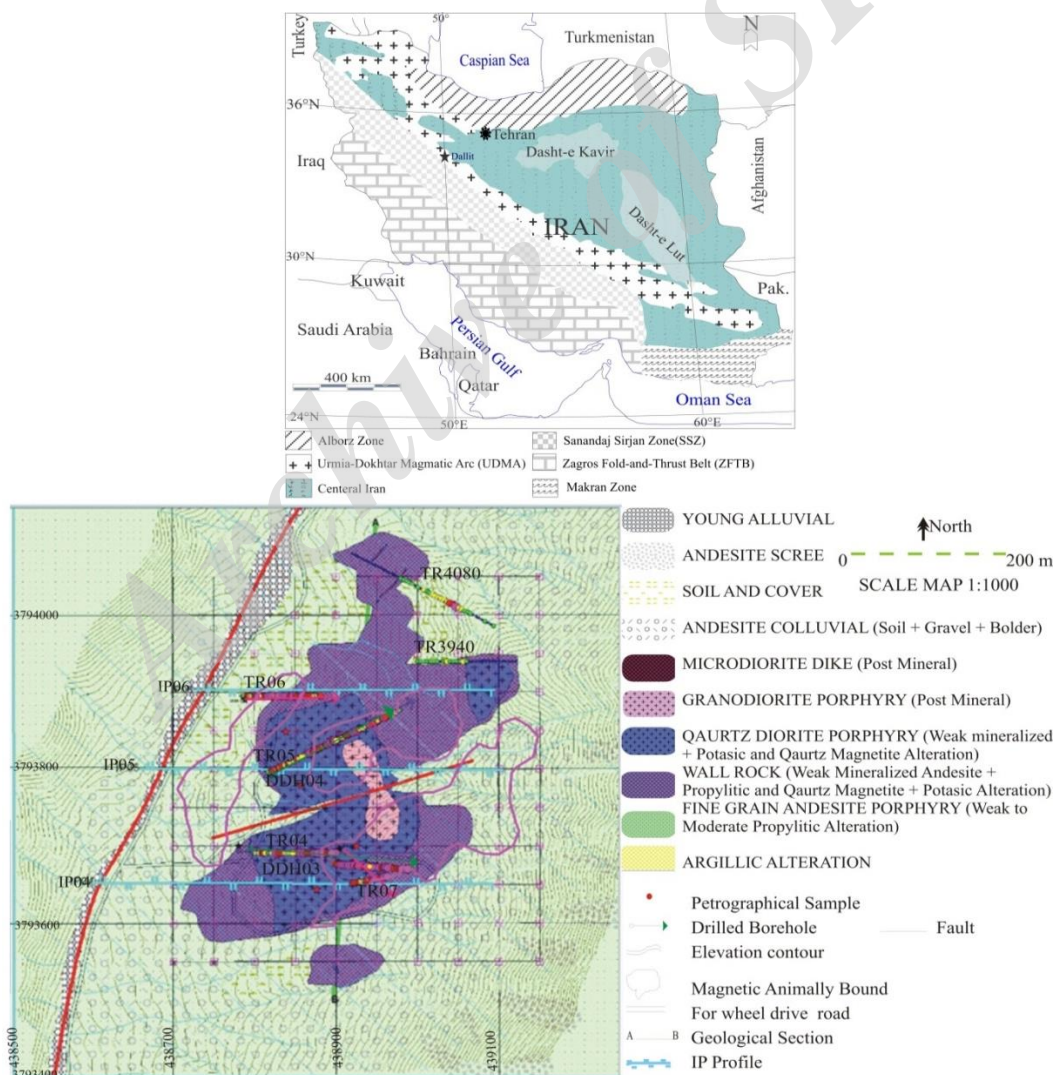
نظر شخصی به کار می روند و تفکیک آنومالی از زمینه را به خوبی انجام می دهند.

به منظور ایجاد یک نگرش کلی از دو روش آماره فضایی U و روش فراکتال به موازات یکدیگر و هدایت پروژه اکتشافی، به طوری که کمترین میزان اتلاف هزینه و کار صورت گیرد، این روش ها در پروژه اکتشاف مس- طلا در نهشته دالی شمالی به روش گرت شبکه شده است. هدف از این مطالعه، مشخص نمودن روش های مختلف تفکیک آنومالی در پروژه ها به دنبال ایجاد الگویی مناسب جهت تفکیک آنومالی از زمینه به صورت بهینه است.

۲- روش شناسی

۱-۲- منطقه مورد مطالعه و نمونه برداری

قوس ماگمایی ارومیه- دختر ($UDMA$) یک قوس ماگمایی خطی را شامل می شود که بالغ بر 1700 Km از آتشفشان سهند در شمال غرب تا آتشفشان بزمان در جنوب شرق ایران را در بر می گیرد. سنگ های آذرین دیوریت، گرانودیوریت و گرانیتوئیدها به سن میوسن در $UDMA$ به وفور یافت می شوند. سنگ های ولکانیکی شامل آندزیت، داسیت و پیروکلاست های به سن الیگومیوسن هستند. مس- طلای پورفیری دالی در سنگ های کالک آلکان و سنگ های ساب ولکانیکی در قوس ماگماتیکی ارومیه- دختر ($UDMA$) که با ماگماتیسم نئوتیتیس در ایران مرکزی همراه بوده جایگزین گردیده است در شکل ۲ موقعیت منطقه دالی بر روی این کمربند و نقشه زمین شناسی دالی شمالی نشان داده شده است [۱۵، ۱۶].



شکل ۲: مرزهای قوس آتشفشانی ارومیه- دختر ($UDMA$) ایران به عنوان یک کمربند دربرگیرنده نهشته های مس پورفیری در ایران و نقشه زمین شناسی دالی شمالی

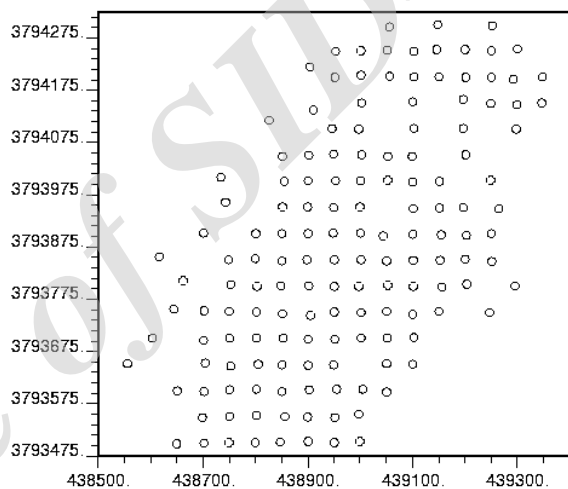
هزینه‌های زیادی را به خود اختصاص می‌دهند، داشتن برنامه زمان‌بندی دقیق و مناسب و به کار بردن روش‌های معتبر و کارآمد می‌تواند در کاهش هزینه‌های اکتشافی موثر باشد. تهیه‌ی نمودارهای شبکه‌ی پروژه می‌تواند مواردی را آشکار کند که در آنها باید فعالیت تقسیم شود یا به منظور ترسیم روابط منطقی صحیح، تعریف مجدد شود [۱۹]. با ترسیم شبکه و تعیین میزان حجم کار و زمان مورد نیاز برای انجام فعالیت، می‌توان مسیر بحرانی را مشخص کرد و با آگاهی هرچه بیشتر فعالیت‌ها را به انجام رساند. به عنوان مثال در مرحله نمونه برداری و آنالیز نمونه‌ها، در صورتی که جواب آنالیزها رضایت بخش باشد، فعالیت بعدی (مثلاً ارزیابی ذخیره) انجام می‌گیرد ولی در صورت عدم تایید نتایج، باید آنالیزها مجدداً تکرار گردند، یا در طراحی و روش نمونه برداری تجدید نظر شده و یا از ادامه فعالیت اکتشافی دست کشیده شود [۲۰].

بعضی از شبکه‌ها دارای فعالیت معین هستند، به این معنی که پس از برنامه‌ریزی و در زمان اجرای عملیات، مشخص است که چه فعالیت‌هایی باید انجام گیرند تا پروژه به نتیجه برسد. بعضی از پروژه‌ها فعالیت‌های تعریف شده‌ای دارند که نباید به طور کامل اجرا شوند یا بعضی از فعالیت‌های آنها به صورت نیمه کاره و برخی از آنها بیش از یکبار اجرا می‌شوند [۴].

جهت ترسیم شبکه جدایش آنومالی از زمینه با دو روش هندسه فراکتالی و آماره فضایی U روش $GERT$ بکار برده شده است. در این شبکه فعالیت اولیه نمونه برداری است و در مراحل بعد نمودار دو شاخه اصلی می‌گردد که در شاخه بالایی آماره فضایی U و در شاخه پایینی هندسه فراکتالی بصورت مجموعه‌ای از فعالیت‌ها تعریف شده‌اند که در بخش بحث بطور کامل تشریح خواهند شد. با اجرای آنالیز آماره فضایی U و مشخص نمودن مقدار U^* به هر نمونه آنالیز تکمیل می‌شود و هیستوگرام این مقادیر ترسیم می‌شود و مقادیر بیشتر از صفر بع عنوان آنومالی شناخته می‌شوند. اما در شاخه پایینی مشاهده می‌شود که برای انجام روش هندسه فرکتالی، در صورتی که نمونه‌ها در یک شبکه منظم قرار نداشته باشند، باید یک تخمین شبکه جدید با روش کریجینگ و با توجه به واریوگرام‌های جهتی پنجره بیضوی جستجو در راستای بیشترین شعاع تأثیر صورت گیرد تا داده‌ها منظم شوند. در ادامه با کلاسه‌بندی

یکی از روش‌های اکتشافی برای پی بردن به مشخصات کانسار، نمونه برداری از آن است. نمونه برداری اکتشافی با توجه به نوع کانسار و هدف مطالعات می‌تواند از محیط سنگ، خاک، آب، رسوب آبراهه‌ای، گیاه و حتی گاز انجام گیرد. بررسی نمونه‌های خاک یکی از مهمترین عملیات جهت اطمینان از وجود یا عدم وجود آنومالی در هر منطقه ای است. در منطقه مورد مطالعه (دالی شمالی) ۱۶۵ نمونه خاک برداشت شده مورد بررسی قرار گرفته (شکل ۳) و روش‌های تفکیک آنومالی بر روی آنها اعمال گردیده است و منطقه آنومال معرفی شده است.

Location map



شکل ۳: شبکه نمونه برداری و نقشه پراکندگی نمونه‌های برداشت شده در منطقه دالی شمالی [۱۷]

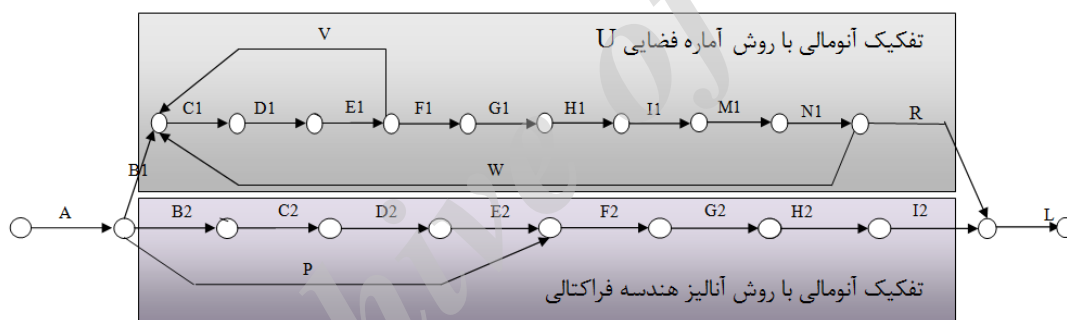
۲-۲- مدیریت پروژه اکتشافی

پروژه شامل مجموعه‌ای از فعالیت‌ها است که باید در زمان معین با هزینه معین و کیفیت تعیین شده اجرا شود. به منظور رسیدن به هدف پروژه (خدمات، طرح‌ها، برنامه‌ها و ...) باید منابع و امکانات (نیروی انسانی، ماشین آلات، مصالح، بودجه، برنامه‌ها، سیاست‌ها و ...) به طور صحیح و مناسب به کار گرفته شوند. این امر بدون مدیریت و کنترل بر اجرای فعالیت‌ها امکان پذیر نخواهد بود. در یک پروژه اکتشافی معدنی همانند جداسازی آنومالی از زمینه فعالیت‌های متعددی پیش روی ما قرار دارند. این فعالیت‌ها با توجه به اینکه در چه مرحله از اکتشاف هستییم (پی جویی، ناحیه‌ای و تفضیلی) و چه نوع کانساری را مورد اکتشاف قرار می‌دهیم و چه اهدافی مورد نظر ما است، باید تعریف شوند [۱۸]. از آنجا که پروژه‌های اکتشافی،

را در اختیار داشت، برای مثال از میان چندین خروجی فقط یکی از آنها عملی می شود ولی در شبکه های PERT عامل زمان توام با احتمال به کار گرفته می شود [۲۱، ۲، ۱]. در شبکه CPM لازم است تا تمام فعالیت های ورودی تکمیل شوند تا فعالیت خروجی قابل شروع شدن باشد، اما در شبکه GERT تکمیل شدن یکی از فعالیت های ورودی کافی است. همچنین در شبکه GERT می تواند بین فعالیت ها، رابطه حلقه ای یا سیکلی وجود داشته باشد که چنین موردی در شبکه CPM مجاز نیست. با وجود حلقه در این نوع از شبکه ها، فعالیت ها می توانند چندین بار تکرار شوند [۲۰]. فعالیت های CI, DI, EI و V در روش آماره فضایی U حلقه ای ایجاد می کنند که ممکن است به تعداد فراوان تکرار شود، همچنین در اندازه های بزرگتر CI, DI, EI, FI, GI, HI, II, MI, NI و W نیز ممکن است بسیار تکرارپذیر باشد تا نتایج منطقی حاصل شود.

داده های منظم شده و مشخص نمودن فراوانی تجمعی هر کلاس، مساحت تحت پوشش هر کلاس مشخص شود (در شبکه های منظم مساحت شبکه ها یکسان است). سپس با لگاریتم گیری از مقدار میانگین هر کلاس و مساحت هر کلاس، آنها در یک نمودار ترسیم شده و در بیشتر موارد با جدا نمودن جوامع موجود در نمودار لگاریتمی، جامعه آخر به عنوان آنومالی معرفی می شوند.

برای ترسیم شبکه، روش های مختلفی به کار برده می شود که مهم ترین آنها CPM, PERT و GERT است. روش GERT، برای پروژه هایی که دارای فعالیت هایی هستند که اجرا یا عدم اجرای آنها به شکل احتمالی است و در شروع پروژه قابل پیش بینی نیستند، بکار می رود [۲۰] که این حالت در روش فراکتالی ممکن است فعالیت های در شبکه CPM، تمام خروجی های یک رویداد الزاماً باید اجرا شوند، اما در یک شبکه می توان خروجی های احتمالی



شکل ۴: مدیریت و ترسیم شبکه مراحل برنامه ریزی جدایش زمینه از آنومالی با دو روش آماره فضایی U و هندسه فضایی فراکتالی. A- فعالیت نمونه برداری، L- جدایش زمینه از آنومالی در هر روش.

ارتباط نسبی- نمایی بین مساحت های $A(\rho)$ با مقدار عیار المان های بیشتر از ρ و مقادیر عیار ρ را نشان می دهد (رابطه ۱)؛

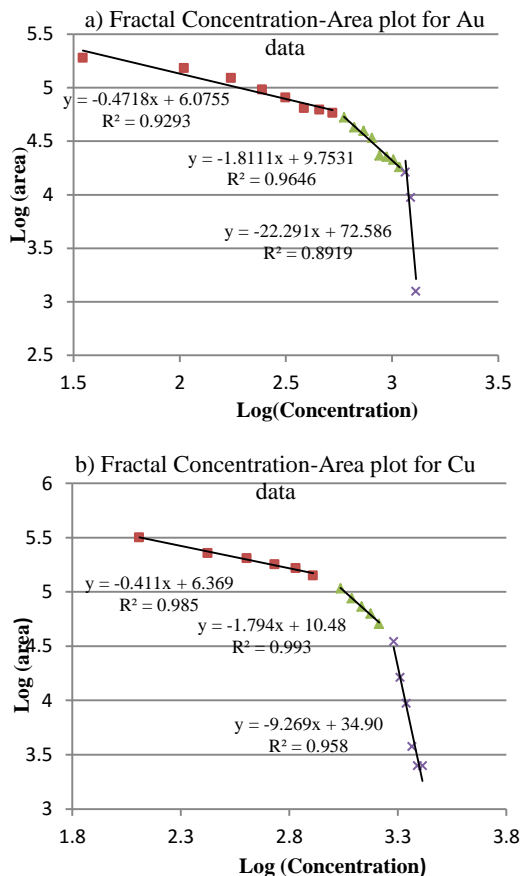
$$A(\rho) \propto C\rho^{-\alpha} \quad (1)$$

که در آن C یک مقدار ثابت و α توانی است که ممکن است چندین مقدار برای دامنه های متفاوت از مقادیر عیار ژئوشیمیایی در نمودار عیار- مساحت را مشخص کند [۱۰]. به طور کلی فعالیت های صورت گرفته در انجام روش هندسه فراکتالی و تخمین اولیه بصورت شکل ۴ و با تعریف مراحل زیر هستند:

۳- بحث

۳-۱- روش هندسه فراکتالی

کاربرد این روش در شناسایی جوامع آنومالی از جوامع زمینه است. روش های آنالیز فراکتالی شامل عیار- مساحت، عیار- محیط، عیار- فاصله و روش طیف توان است. در اینجا نمودار تمام لگاریتمی مقادیر عیار در مقابل مساحت استفاده می شود. چنگ و همکارانش^۲ در سال ۱۹۹۶ روش فراکتالی غلظت- مساحت را ابداع و در ادامه توسط چانگ جیانگ و همکارانش^۳ در سال ۲۰۰۳ جهت جدایش آنومالی ژئوشیمیایی به کار گرفته شد [۱۷]. این نمودارها



شکل ۵: *a*- نمودار فراکتال عیار- مساحت عنصر *Au* و *b*- عنصر *Cu*

۲-۳- روش آماره فضایی *U*

روش آماره فضایی *U* نوعی روش میانگین‌گیری متحرک است، با این ویژگی که در هر نقطه خاص ابعاد پنجره‌ای که داخل آن میانگین‌گیری صورت می‌گیرد، تغییر داده می‌شود. بنابراین برای هر نقطه خاص، تعدادی از مقادیر برای آماره *U* آن نقطه از روی نقاط اطراف آن محاسبه می‌شود [۱۱]. بدین ترتیب ارتباط فضایی نقاط در این روش کاملاً در نظر گرفته می‌شود [۱۷]. یک پنجره ثابت نمی‌تواند گونه‌های مختلف موجود زمین‌شناسی با مقیاس‌های مختلف را در بر گیرد. از این رو روش‌های پنجره متحرک با یک مقدار ثابت پنجره نمی‌تواند بهترین نتیجه را به دست بدهد. این اشکال با به کار بردن پنجره‌های متحرک بهینه و با شکل و اندازه مختلف رفع می‌شود [۲۳]. اگر α_i موقعیت *i* امین نمونه در نقطه مورد مطالعه و x_i کمیت مورد نظر در این مختصات باشد، دایره‌ای به مرکز این نقطه و شعاع همسایگی ($0 \leq r \leq r_{max}$) در نظر گرفته و $k(\alpha_i, r)$ نامیده می‌شود (شکل ۶).

B2- اگر نمونه برداری نامنظم باشد تحلیل‌های آماری مقدماتی صورت گیرد

C2- تعیین مقدار فاکتورهای موثر در *Lag* ها و ترسیم واریوگرام آزمون‌های مختلف و معرفی امتداد کانی‌سازی

D2- مدل کردن واریوگرام در امتداد کانی‌سازی

E2- تخمین یک شبکه‌بندی منظم نمونه برداری

P- اگر شبکه نمونه برداری اولیه منظم باشد به ترسیم نمودار فرکتالی و تحلیل‌های آماری پرداخته شود

F2- کلاسه‌بندی و مشخص نمودن فراوانی تجمعی هر کلاس

G2- محاسبه مساحت تحت پوشش نمونه‌های هر کلاس

H2- لگاریتم‌گیری از نماینده غلظت و مساحت هر کلاس در ستون‌های جداگانه

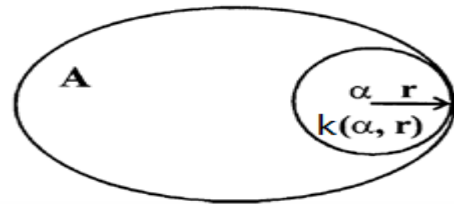
I2- ترسیم نمودار لگاریتمی

در صورتی که نمونه برداری منظم نباشد *B2* تا *E2* صورت می‌گیرد اما در صورت منظم بودن شبکه نمونه برداری، فعالیت *P* صورت گرفته و فعالیت‌های *F2* تا *I2* صورت می‌گیرد و نمودار فرکتالی ترسیم می‌شود. محور قائم این نمودار لگاریتم مساحت و محور افقی لگاریتم غلظت است. نمودار به دست آمده یک نمودار نمایی است که با برازش خطوطی مستقیم بر آن که ضریب همبستگی حداقل ۹۰٪ داشته باشند، جوامع آماری مختلف مشخص می‌شود [۲۲]. در این مورد عنصر طلا و مس سه جامعه مختلف را نشان می‌دهند که در شکل ۵ مشاهده می‌شود. نقاط شکست خطوط نشان دهنده تغییر جامعه است که به این صورت می‌توان حد آستانه جوامع را تعیین کرد. نقطه حاصل از تقاطع دو خط انتهایی که شیب بیشتری دارند به عنوان حد آستانه‌ای تفکیک جوامع آنومالی از زمینه در نظر گرفته می‌شود. مشاهده می‌شود به ترتیب سه جامعه آماری در دو نقطه معادل 560 ppb و 1120 ppb برای عنصر طلا (شکل ۵-*a*) و نقاط $95.0/5 \text{ ppm}$ و $1772/5 \text{ ppm}$ برای عنصر مس به عنوان نقاط جدایش جوامع، از هم جدا می‌شوند (شکل ۵-*b*).

W- در صورتی که هنوز نمونه ای برای تخمین وجود داشته باشد، آنها نیز محاسبه شوند
R- در صورتی که نمونه ها خاتمه یابند، هیستوگرام آنها ترسیم شود.

فعالیت های V و W فعالیت هایی احتمالی هستند که به شبکه بندی GERT منجر شده است. بنابراین در هر نقطه نمونه برداری (یا اندازه گیری) باید با $r = 0$ تا $r = r_{max}$ مقادیر U را محاسبه کرد و سپس از این مقادیر حاصل شده، حداکثر مقدار قدر مطلق آنها را انتخاب (به ازای شعاع همسایگی r_0) و به نقطه مورد نظر مقدار U مربوطه را نسبت داد [۱۰]. نمودار فراوانی مقادیر حاصل از آماره U مربوط به طلا و مس در شکل ۷ مشاهده می شود که دو جامعه زمینه و آنومالی از هم تفکیک گشته است و نقطه صفر، مرز تفکیک است و محدوده همپوشانی زمینه و آنومالی که در شکل ۱ نشان داده شد، وجود ندارد و دو خطای e_I و e_{II} که در بخش مقدمه معرفی شد، کمینه شده است. به علت بالا بردن ضریب اطمینان برای مشخص نمودن منطقه آنومال، حد آستانه مقادیر بیشتر از $\bar{U} + S$ (انحراف معیار + میانگین مقادیر U) در نظر گرفته شده است. این مقدار بدون بعد برای طلا عدد ۱/۴۷ و برای مس عدد ۱/۴۵ به دست آمد که در شکل ۷ این محدوده با A نشان داده شده است و طبیعتاً B هم مقدار زمینه آن به حساب می آید. پس با روش آماره فضایی U مقادیر بزرگتر از ۱/۴۵ برای مس آنومال محسوب می شوند، گرچه در این روش مقادیر بیشتر از صفر به عنوان آنومالی و مقادیر کمتر نیز به عنوان زمینه در نظر گرفته می شود اما به دلیل اطمینان بیشتر، مقدار یا انحراف معیار آن عنصر نیز به مقدار میانگین U افزوده می شود و مقادیر بیشتر از آن به عنوان آنومالی معرفی می شود. مقادیر آنومال برای Au در شکل ۸ و برای Cu در شکل ۹ با دو روش فراکتالی (شکل سمت چپ) و آماره U (شکل سمت راست) محاسبه شده است که همپوشانی این دو روش دقت و صحت بالایی بررسی را نشان می دهد.

B



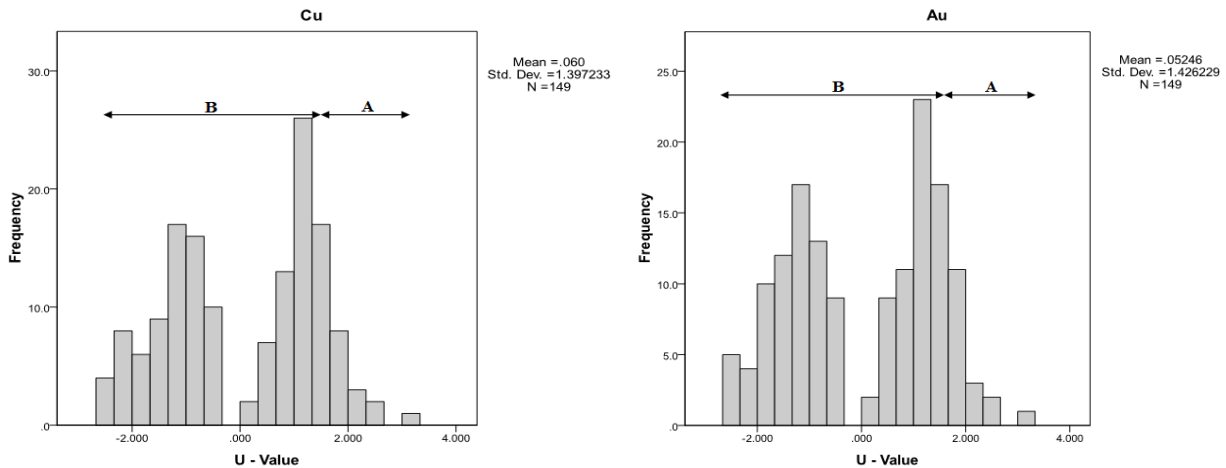
شکل ۶: پنجره متحرک کروی با شعاع متغیر: A منطقه آنومالی و B منطقه زمینه است. همسایگی مدور اطراف نمونه α_i با شعاع r است. نمونه های $k(\alpha, r)$ برای ایجاد $U(r)$ میانگین گیری می شود [۲۳]

مانند همه روش های میانگین وزن دار، نقاط نزدیکتر وزن بیشتری نسبت به نقاط دورتر دارند. رابطه ۲ معیار نزدیکی و دوری نمونه α_j به نمونه α_i واقع در مرکز دایره $k(\alpha, r)$ را به دست می دهد [۲۲]:

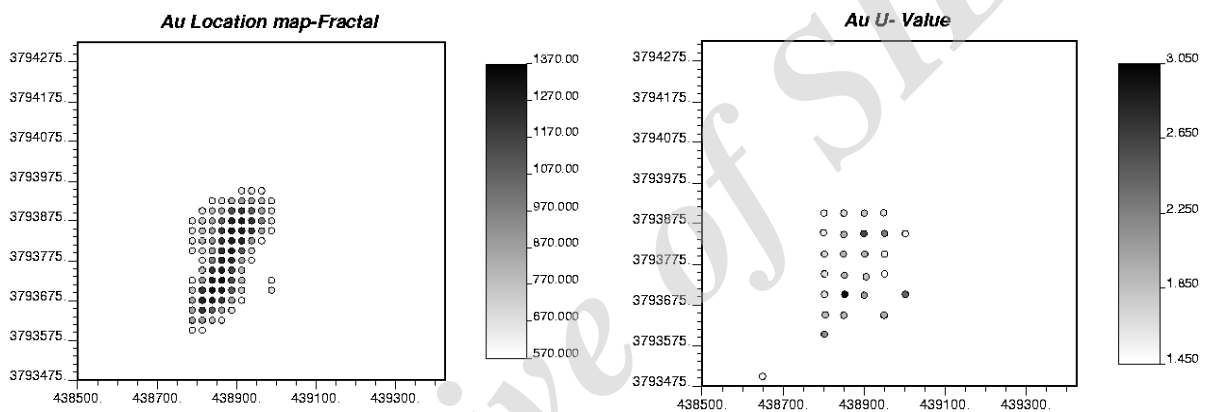
$$\mu_{k(\alpha_i, r)}(\alpha_j) = \frac{r - d(\alpha_i, \alpha_j)}{r} \quad (2)$$

که در آن $d(\alpha_i, \alpha_j)$ فاصله بین موقعیت نمونه های α_j و α_i است. بطور کلی روند مراحل این روش از ابتدا تا انتها در شکل ۴ نشان داده شده و با فعالیت های زیر مشخص و به اجرا می رسند:

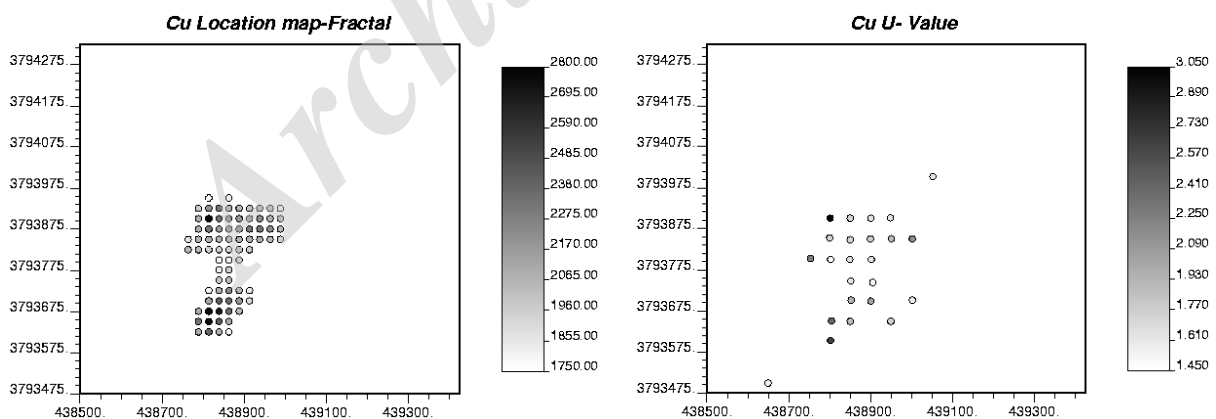
- B1- آماده سازی نمونه ها جهت آنالیز آماره U
- C1- انتخاب نمونه α_i با مختصات (x_i, y_i)
- D1- تعریف دایره های با شعاع r_i و مرکز α_i با نمونه های α_j
- E1- محاسبه $d(\alpha_i, \alpha_j)$
- V- اگر $d(\alpha_i, \alpha_j) \leq r$ نباشد
- F1- اگر $d(\alpha_i, \alpha_j) \leq r$ باشد، $\mu_{k(\alpha_i, r)}(\alpha_j)$ محاسبه شود
- G1- محاسبه $W_j(r)$
- H1- محاسبه σ و μ
- II- محاسبه $\bar{x}(r)$
- M1- محاسبه $U_i(r)$
- N1- به دست آوردن قدر مطلق $U_i(r)$ و انتخاب بزرگترین مقدار آن به عنوان $U^* i$ برای نمونه α_j



شکل ۷: توزیع فراوانی مقادیر U برای عنصر Au (A) جامعه آنومالی ($\bar{U}+S=1/47$)، (B) جامعه زمينه و برای عنصر Cu (A) جامعه آنومالی ($\bar{U}+S=1/45$) معادل $1650 ppm$ (B) جامعه زمينه [17]



شکل ۸: مناطق آنومال Au مشخص شده توسط روش فرکتالی و روش آماره U (مقدار بزرگتر از $\bar{U}+S=1/47$ معادل غلظت بالای $500 ppb$)



شکل ۹: مناطق آنومال Cu مشخص شده توسط روش فرکتالی و روش آماره U (مقدار بزرگتر از $\bar{U}+S=1/45$ معادل $1650 ppm$)

یا به نوعی، وقوع فعالیت‌ها احتمالی در نظر گرفته می‌شود که در پروژه‌های معدنی که همواره با ریسک و احتمال همراه هستند، کارساز خواهد بود. با توجه به نتایج و رویه محاسبات و پردازش در دو روش هندسه فراکتالی و روش آماره فضایی U و با توجه به میزان همپوشانی که در

۴- نتیجه‌گیری

روش $GERT$ این امکان را برای برنامه ریزان پروژه فراهم می‌سازد که از فعالیت‌های غیر قطعی استفاده کنند و

ابتدایی A و فعالیت انتهایی L ، چه به صورت جری و چه به صورت کلی بر اساس روش $GERT$ توصیف می شود. پیشنهاد می شود این نوع بررسی به صورت جامع تر و در سطوح بالا می تواند در بسیاری از فعالیت های کلان معدنی از ابتدا تا انتهای فازهای مختلف و متوالی یک پروژه اکتشافی- معدنی شبیه سازی و اجرا شود. این بررسی تنها شناسایی و تفکیک محدوده آنومال را در بر گرفته است. به کارگیری شبکه $GERT$ در کارهای معدنی و فعالیت های احتمال پذیر جهت به حداقل رساندن اشتباهات و مدیریت مناسب کلیه فعالیت ها توصیه می شود، این کار زمان انجام کار را کمتر و همچنین دقت و کنترل بر انجام فعالیت ها را نیز بیشتر خواهد نمود.

مراجع

- [1] Afsari, M., Hejazi, S.R., Haj-Shirmohammadi, a., (2007). "Application of fuzzy GERT for project scheduling" international project management conference (in Persian).
- [2] Haji-Karimi, A. Haji-Karimi, P. (2010). "construction of the best urban structure of the network model by fuzzy GERT" The First National Conference on Engineering and infrastructure management (in Persian).
- [3] Sadri, M. and Sakkaki, S.H., (2005). "effective method in exploration project management" Iranian Mining Engineering Conference, Tarbiat Modares University, P. 8 (in Persian).
- [4] Haj Shir Mohammadi A. (1998). "Management and project control" Acecr Isfahan University of Technology Publications (SID) (in Persian).
- [5] Michael E. Kuhl, Radhamés A. Tolentino-Peña, 2008. "A dynamic crashing method for project management using simulation-based optimization", Simulation Conference.
- [6] Hasani-Pak A. and Sharaf-al-din, M. (2004). "Exploratory Data Analysis" Tehran University Publications, P. 987 (in Persian).
- [7] Changjiang Li, Tuhua Ma, Junfa Shi. (2003), "Application of a fractal method relating concentrations and distances for separation of geochemical anomalies from background". Journal of Geochemical Exploration 77 ,167-175.
- [8] Cheng Q, Agterberg F.P, Bonham-Carter G.F. (1996), "A spatial analysis method for geochemical anomaly separation", Journal of Geochemical Exploration 56,183- 195.

خروجی این دو روش مشاهده می شود، هر کدام از این دو روش قدرتمند در جدایش زمینه از آنومالی می توانند نقش تعیین کننده داشته باشند و با توجه به این الگو که در این مقاله ارائه شده است، با انتخاب یکی از دو مسیر ممکن می توان نتیجه مناسب را اتخاذ نمود. مناطقی که به عنوان آنومالی های Au و Cu معرفی شدند، همپوشانی بالایی را نشان می دهند. روش فرکتال مقادیر 560 ppb برای طلا و 1700 ppm برای مس را به عنوان آنومالی مشخص نمود، اما روش آماره U این مقادیر را به ترتیب $1/47$ (حدوداً برابر 50 ppb) و $1/45$ (حدوداً برابر 1650 ppm) نشان داد که با رسم آنها همپوشانی و انطباق خوبی در روش های هندسه فراکتالی و آماره فضایی U مشاهده شد. با توجه به نتایج فراکتال و آماره فضایی U جهت اطمینان کامل از انتخاب محدوده امیدبخش محدوده های با $Cu > 1600\text{ ppm}$ و $Au > 50\text{ ppb}$ به عنوان مناطق آنومال در نظر گرفته شده اند.

خاصیت دارا بودن حلقه و یا سیکل در روش $GERT$ توانایی تکرار فعالیت هایی را دارد که فعالیت های $C1, D1, E1$ و V در روش آماره فضایی U حلقه ای ایجاد می کنند و ممکن است به تعداد فراوان تکرار شود. همچنین در اندازه های بزرگتر، $C1, D1, E1, F1, G1, H1, I1, M1, NI$ و W نیز ممکن است بسیار تکرارپذیر باشد تا نتایج منطقی حاصل شود. همچنین روش $GERT$ ، برای پروژه هایی که دارای فعالیت هایی هستند که اجرا یا عدم اجرای آنها به شکل احتمالی است و در شروع پروژه قابل پیش بینی نیستند، به کار می رود. در روش فراکتالی ممکن است فعالیت های $B2, C2, D2, E2$ با فعالیت P جایگزین شود و یا در کل از همان ابتدا با یک احتمال متناسب با پروژه، یکی از روش های فراکتالی و یا آماره U را انتخاب کرد. هر کدام از این روش ها که با شبکه های به خصوص تعریف شده اند به خوبی با روش $GERT$ هماهنگ هستند و اجتماع این دو روش نیز به موازات هم و به صورت احتمالی از انجام و تحقق شرایط هر کدام از روش های فراکتالی و آماره فضایی U در کل ساختار مطرح می شود. بنابراین هر کدام از این روش ها بر اساس روش شبکه بندی $GERT$ کارایی دارند و روش $GERT$ در درون ساختار شبکه ای آنها نقش اساسی ایفا می نماید؛ یعنی فعالیت های بین فعالیت

- [19] Ebrahimi, M., Bayati, A., Adhami, F. (2014). "PMBOK 5th edition" 978-600-6227-70-2, 616 P (in Persian).
- [20] Aladposh, H. (2004). "Knowledge of project management" 964-91621-5-1, Hami pub. 340 P (in Persian).
- [21] Karimi, G. M. (2001). "A new method of GERT Fuzzy for scheduling research projects" thesis M.S., Department of Industrial Engineering, University of Science and Technology (in Persian).
- [22] Darabi-Golestan, F., Kakai, R., Ghavami-Riabi, R., Asadi-Harooni, H., (2012). "Estimating anomaly and separation from background by fractal geometry at Au-Cu Northern porphyry of Dalli" 15th Geological Society of Iran, Kharazmi University (in Persian).
- [23] Cheng Q. (1999). "Spatial and scaling modelling for geochemical anomaly separation", Journal of Geochemical Exploration 65,175-194.
- [9] Darabi Golestan, F., Hezarkhani, A., Zare M. R. (2014). "Variography and anomaly separations U-235 by using fractal geometry and to determine the dependence of elements by correspondence analyses in Anzali Wetland area" The second National Conference of Geology, Geosciences and Geological Survey of Iran, Shahid Beheshti University.
- [10] Darabi-Golestan, F. (2012). Interpretation of secondary lithochemical data accompany with primary lithochemical investigations to control the drilling plan" thesis M.S., Faculty of Mining Eng., Petroleum and Geophysics, Shahrood University of Technology, p 110-117 (in Persian).
- [11] Seyed-Rahimi N. M.M., (2009). "Geochemical anomaly separation using fractal and U spatial statistics and comparison with probability plots in the Saqez Sheet" thesis M.S., Faculty of Mining Eng., Petroleum and Geophysics, Shahrood University of Technology (in Persian)
- [12] Seyed-Rahimi N. M.M., Ghavami R. Kakai, R., Hezare, M.R. (2010). "The use of U spatial statistic method to separate anomalous gold areas in the Kurdistan region" Twenty-seventh meeting of Earth Sciences and the Geological Society Conference (in Persian).
- [13] Azad, M. R., Koneshloo, M. and Kamkar Rouhani, A., (2014). "Using the factorial Kriging analysis to filter spatial structures in gravity data acquired from Faryab chromite mine area" Journal of Earth and Space Physics 39-4.
- [14] Gumiel, P., Sanderson, D. J., Arias, M., Roberts, S., & Martín-Izard, A. (2010). Analysis of the fractal clustering of ore deposits in the Spanish Iberian Pyrite Belt. *Ore Geology Reviews*, 38(4), 307-318.
- [15] Asadi Haroni H. (2008). "First Stage Drilling Report on Dalli Porphyry Cu-Au Prospect, Central Province of Iran", Technical Report.
- [16] Darabi-Golestan F., Ghavami-Riabi R., Asadi-Harooni H., (2012a). "Alteration, zoning model, and mineralogical structure considering lithochemical investigation in Northern Dalli Cu-Au porphyry", Arab J Geosci.
- [17] Darabi-Golestan F., Ghavami-Riabi R., Khalokakaie R., Asadi-Haroni H., Seyedrahimi-Nyaragh M., (2012b). "Interpretation of lithochemical and geophysical data to identify the buried mineralized area in Cu-Au porphyry of Dalli-Northern Hill", Arab J Geosci.
- [18] Hasani-Pak A. (1993). "Mining Sampling" Tehran University Publications, 510 p (in Persian).

1- Graphical Evaluation and Review Technique
2- Cheng
3- Changjiang