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 فعالیت های مختلف روش های 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 یا 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 آنومالی ها می باشد. روش فرکتال مقادیر *۵۶۰ppb* برای طلا و *۱۷۰۰ppm* برای مس را بعنوان آنومالی مشخص نمود اما روش آماره *U* این مقادیر را به ترتیب ۱/۴۷ (حدوداً برابر *۵۰۰ppb*) و ۱/۴۵ (حدوداً برابر *۱۶۵۰ppm*) نشان داد که با رسم آنها همپوشانی و انطباق خوبی مشاهده گشت.

کلید واژه ها

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

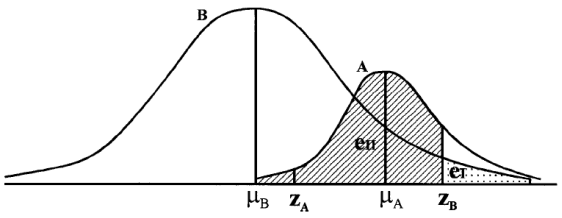
ارجاع به این مقاله:
دارابی گلستان، ف.، قوامی ریابی، ر.، هزارخانی، الف.، خالوکاکایی، ر.، سکاکی، ح.، اسدی هارونی، هـ.، (۱۳۹۵)، ساختار مدیریت پروژه اکتشافی در تفکیک آنومالی با روش‌های هندسه فضایی در قالب روش شبکه‌ای *GERT* – مطالعه موردی نهشته *Cu-Au* پورفیری دالی شمالی، روش‌های تحلیلی و عددی در مهندسی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

* عهده دار مکاتبات: *pooyan@aut.ac.ir*

۱- مقدمه

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 ($GERT$[1]) 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 احتمالی‌اند، کاربرد روش $GERT$ بیشتر است[۳، ۴]. از این رو برای رسیدن به هدف نهایی لازم است که همه ی فعالیت هایی که در شبکه قرار دارند، اجرا شوند. بنابراین شبکه‌های $PERT$ و CPM قابلیت پذیرش در فعالیت‌های احتمالی را ندارند[۵]، از این‌رو 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 نهشته های کانساری غالباً یک کاهش تدریجی در غلظت بعضی عناصر دیده می شود، این روند تغییرات تا آنجا ادامه می یابد 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 آستانه ای معرفی می‌شود. به مقادیر بیشتر از حد آستانه‌ای، آنومالی گفته می‌شود[۶]. یک آنومالی ژئوشیمیایی به عنوان منطقه‌ای معرفی می شود که تمرکز عنصر مورد مطالعه بزرگتر از مقدار آستانه خاصی باشد[۷]. اگر توزیع فراوانی غلظت داده های خام یا مقادیر تخمین زده شده توسط روش های 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 ویژگی های فضایی متفاوت هستند. هدف از به کارگیری روش‌های جداسازی آنومالی‌ها، تعریف حد آستانه‌ای است، به طوری که بتوان نمونه‌ها را بر اساس مقادیر عنصر، کلاسه بندی کرد. نمونه های با مقادیر بزرگتر از z (میزان مشخصی از غلظت) به عنوان جامعه آنومالی و مقادیر کوچکتر از z به عنوان جامعه زمینه معرفی می شوند. 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 نمونه های 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 کلاسه‌بندی 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 شکل۱ ملاحظه می‌شود با دو نوع خطا در طبقه بندی می توانیم مواجه باشیم. این دو نوع خطا به طور معکوسی با هم ارتباط دارند، نوع اول (e_I) وقتی اتفاق می افتد که نمونه با مقدار زمینه، جزء زمینه حساب نشود و نوع دوم (e_{II}) وقتی اتفاق می افتد 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. روش هایی نظیر کریجینگ[۱۳]، آماره فضایی U و روش فراکتال[۱۰-۱۲، ۱۴] گونه هایی از آنالیز فضایی هستند که متناسب با مدل توزیع و ساختار ایجاد شده و غالباً بدون

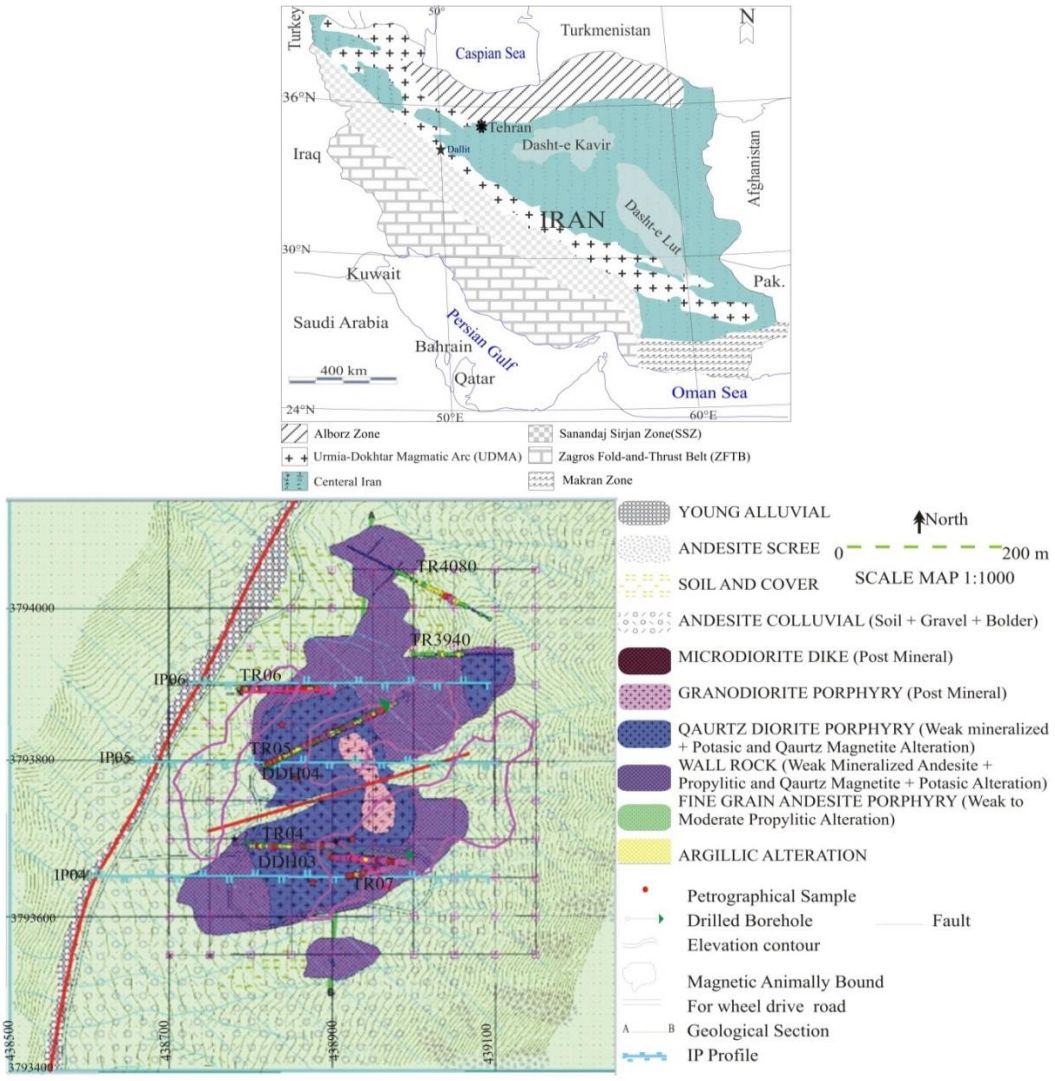
نظر شخصی به کار می روند و تفکیک آنومالی از زمینه را به خوبی انجام می‌دهند.

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 روش‌ها در پروژه اکتشاف مس- طلا در نهشته دالی شمالی به روش گرت شبکه شده است. هدف از این مطالعه، مشخص نمودن روش‌های مختلف تفکیک آنومالی در پروژه ها به دنبال ایجاد الگویی مناسب جهت تفکیک آنومالی از زمینه به صورت بهینه است.

۲- روش‌شناسی

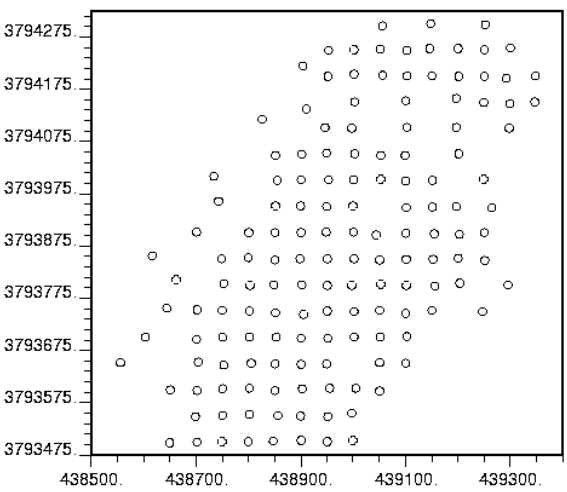
۲-۱- منطقه مورد مطالعه و نمونه‌برداری

قوس ماگمایی ارومیه- دختر (*UDMA*) یک قوس ماگمایی خطی را شامل می شود که بالغ بر ۱۷۰۰ *Km* از آتشفشان سهند در شمال‌غرب تا آتشفشان بزمان در جنوب‌شرق ایران را در بر می‌گیرد. سنگ‌های آذرین دیوریت، گرانودیوریت و گرانیتوئیدها به سن میوسن در *UDMA* به وفور یافت می شوند. سنگ های ولکانیکی شامل آندزیت، داسیت و پیروکلاست‌های به سن الیگومیوسن هستند. مس- طلای پورفیری دالی در سنگ های کالک آلکالن و سنگ های ساب ولکانیکی در قوس ماگماتیکی ارومیه- دختر *(UDMA)* که با ماگماتیسم نئوتیتیس در ایران مرکزی همراه بوده جایگزین گردیده است در شکل۲ موقعیت منطقه دالی بر روی این کمربند و نقشه زمین‌شناسی 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 زمین‌شناسی دالی شمالی

یکی از روش های اکتشافی برای پی بردن به مشخصات کانسار، نمونه برداری از آن است. نمونه برداری اکتشافی با توجه به نوع کانسار و هدف مطالعات می تواند از محیط سنگ، خاک، آب، رسوب آبراهه ای، گیاه و حتی گاز انجام گیرد. بررسی نمونه های 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.



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

۲-۲- مدیریت پروژه اکتشافی

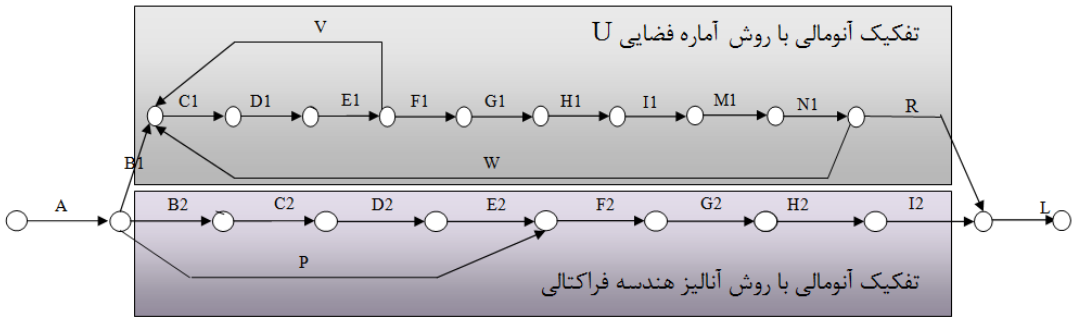
پروژه شامل مجموعه ای از فعالیت ها است که باید در زمان معین با هزینه معین و کیفیت تعیین شده اجرا شود. به منظور رسیدن به هدف پروژه (خدمات، طرح‌ها، برنامه‌ها و ...) باید منابع و امکانات (نیروی انسانی، ماشین آلات، مصالح، بودجه، برنامه ها، سیاست ها و ...) به طور صحیح و مناسب به کار گرفته شوند. این امر بدون 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 هستیم (پی جویی، ناحیه ای و تفضیلی) و چه نوع کانساری را مورد اکتشاف قرار می‌دهیم و چه اهدافی مورد نظر ما است، باید تعریف شوند[۱۸]. ازآنجا که پروژه های اکتشافی، هزینه‌های زیادی را به خود اختصاص می‌دهند، داشتن برنامه زمان‌بندی دقیق و مناسب و به کاربردن 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 فعالیت ها را به انجام رساند. به عنوان مثال در مرحله نمونه‌برداری و آنالیز نمونه‌ها، در صورتی که جواب آنالیزها رضایت بخش باشد، فعالیت بعدی (مثلاً ارزیابی ذخیره) انجام می گیرد 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 شبکه ها دارای فعالیت معین هستند، به این معنی که پس از برنامه‌ریزی و در زمان اجرای عملیات، مشخص است که چه فعالیت هایی 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 فعالیت های 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 پایین 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 می شوند. اما در شاخه پایین مشاهده می‌شود که برای انجام روش هندسه فرکتالی، در صورتی که نمونه ها 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

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 می‌شوند.

برای ترسیم شبکه، روش‌های مختلفی به کار برده می‌شود که مهم‌ترین آنها *CPM*، *PERT* و *GERT* است. روش *GERT* ، برای پروژه‌هایی که دارای فعالیت‌هایی 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 *B2, C2, D2, E2* با فعالیت *P* جایگزین شود (شکل ۴). در شبکه *CPM*، تمام خروجی‌های یک رویداد الزاماً باید اجرا شوند، اما در یک شبکه می توان خروجی های احتمالی را در اختیار داشت، برای مثال از میان چندین خروجی فقط یکی از آنها عملی می‌شود ولی در شبکه‌های *PERT* عامل زمان توام با احتمال به کار گرفته می شود[۱، ۲، ۲۱]. در شبکه *CPM* لازم است تا تمام فعالیت‌های ورودی تکمیل شوند تا فعالیت خروجی قابل شروع شدن باشد، اما در شبکه *GERT* تکمیل شدن یکی از فعالیت‌های ورودی کافی است. همچنین در شبکه *GERT* می‌تواند بین فعالیت‌ها، رابطه حلقه‌ای یا سیکلی وجود داشته باشد که چنین موردی در شبکه *CPM* مجاز نیست. با وجود حلقه در این نوع از شبکه‌ها، فعالیت‌ها می‌توانند چندین بار تکرار شوند[۲۰]. فعالیت‌های *C1, D1, E1* و *V* در روش آماره فضایی *U* حلقه ای ایجاد می کنند که ممکن است به تعداد فراوان تکرار شود، همچنین در اندازه‌ای بزرگتر *C1, D1,* *E1, F1, G1, H1, I1, M1, N1* و *W* نیز ممکن است بسیار تکرارپذیر باشد تا نتایج منطقی حاصل شود.



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 نمونه‌برداری، L- جدایش زمینه از آنومالی در هر روش.

۳- بحث

۳-۱- روش هندسه فراکتالی

کاربرد این روش در شناسایی جوامع آنومالی از جوامع زمینه است. روش‌های 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 ۱۹۹۶روش 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 ارتباط نسبی- نمایی بین مساحت‌های $A(\rho)$ با مقدار عیار المان‌های بیشتر از ρ و مقادیر عیار ρ را نشان می‌دهد (رابطه ۱)؛

$$A(\rho) \propto C\rho^{-\alpha} \qquad (۱)$$

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

B2- اگر نمونه‌برداری نامنظم باشد تحلیل‌های آماری مقدماتی صورت گیرد

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

D2- مدل کردن واریوگرام در امتداد کانی‌سازی

E2- تخمین یک شبکه‌بندی منظم نمونه‌برداری

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

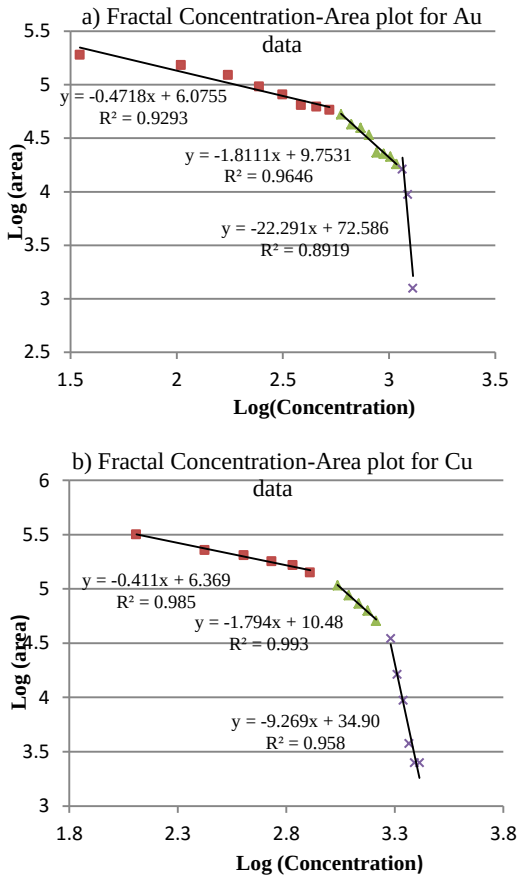
F2- کلاسه‌بندی و مشخص نمودن فراوانی تجمعی هر کلاس

G2- محاسبه مساحت تحت پوشش نمونه‌های هر کلاس

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

I2- ترسیم نمودار لگاریتمی

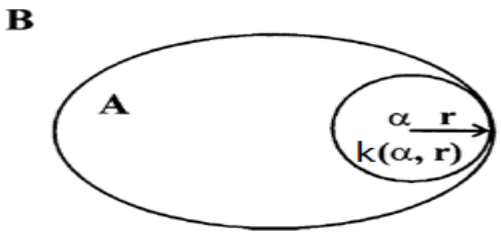
در صورتی که نمونه‌برداری منظم نباشد *B2* تا *E2* صورت می‌گیرد اما در صورت منظم بودن شبکه نمونه‌برداری، فعالیت *P* صورت گرفته و فعالیت‌های *F2* تا *I2* صورت می گیرد و نمودار فراکتالی ترسیم می‌شود. محور قائم این نمودار لگاریتم مساحت و محور افقی لگاریتم غلظت است. نمودار به دست آمده یک نمودار نمایی است که 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 ۵۶۰*ppb* و ۱۱۲۰*ppb* برای عنصر طلا (شکل *a*-۵) و نقاط ۹۵۰/۵ *ppm* و ۱۷۷۲/۵*ppm* برای عنصر مس به عنوان نقاط جدایش جوامع، از هم جدا می‌شوند (شکل *b*-۵).



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

۳-۲- 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 می شود[۱۱]. بدین ترتیب ارتباط فضایی نقاط در این روش کاملاً در نظر گرفته می‌شود[۱۷]. یک پنجره ثابت نمی تواند گونه های مختلف موجود زمین شناسی با مقیاس‌های مختلف را در بر گیرد. از این‌رو روش‌های پنجره متحرک با یک مقدار ثابت پنجره نمی تواند 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($0 \le r \le r_{\max}$) در نظر گرفته و $k(\alpha_i, r)$ نامیده می‌شود (شکل۶).



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

مانند همه روش‌های میانگین وزن‌دار، 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 می‌دهد[۲۲]:

$$\mu_{k(\alpha_i,r)}(\alpha_i)=\frac{r-d(\alpha_i,\alpha_j)}{r} \qquad (۲)$$

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

B1- آماده‌سازی نمونه‌ها جهت آنالیز آماره U

C1- انتخاب نمونه α_i با مختصات (x_i,y_i)

D1- تعریف دایره‌های با شعاع r_i و مرکز α_i با نمونه‌های α_j

E1- محاسبه $d(\alpha_i,\alpha_j)$

V- اگر $d(\alpha_i,\alpha_j)\le r$ نباشد

F1- اگر $d(\alpha_i,\alpha_j)\le r$ باشد، $\mu_{k(\alpha_i,r)}(\alpha_i)$ محاسبه شود

G1- محاسبه $W_j(r)$

H1- محاسبه σ و μ

I1- محاسبه $\bar{x}(r)$

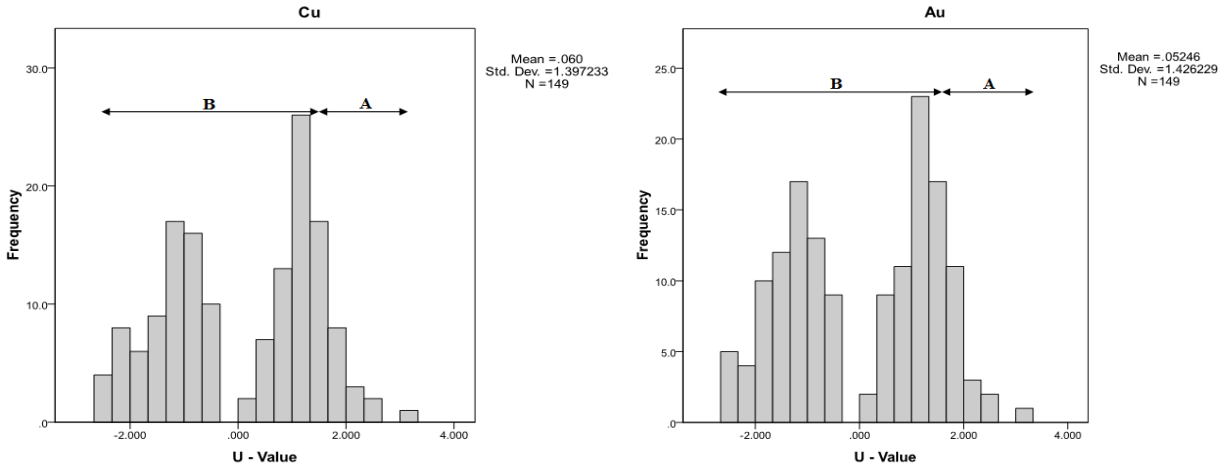
M1- محاسبه $U_i(r)$

N1- به دست آوردن قدر مطلق $U_i(r)$ و انتخاب بزرگترین مقدار آن به عنوان U^*i برای نمونه α_j

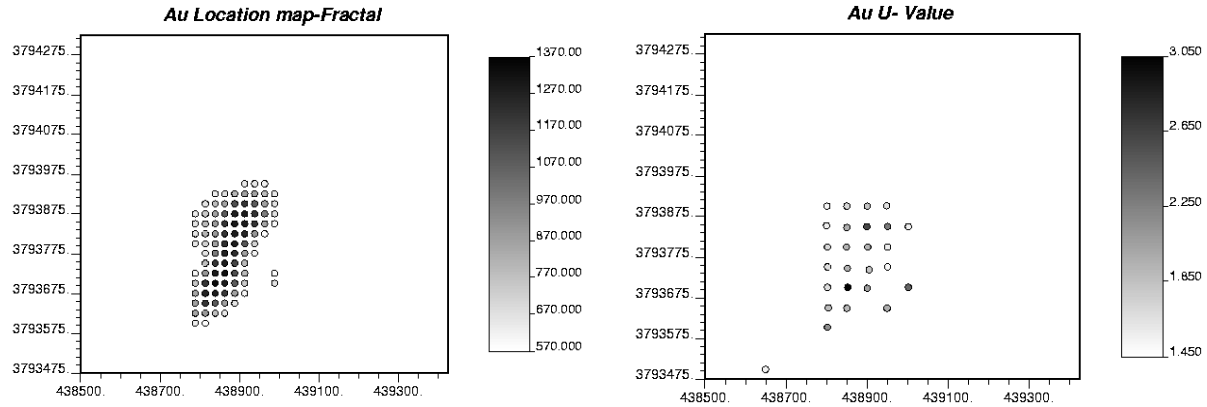
W- در صورتی که هنوز نمونه‌ای برای تخمین وجود داشته باشد، آنها نیز محاسبه شوند

R- در صورتی که نمونه ها خاتمه یابند، هیستوگرام آنها ترسیم شود.

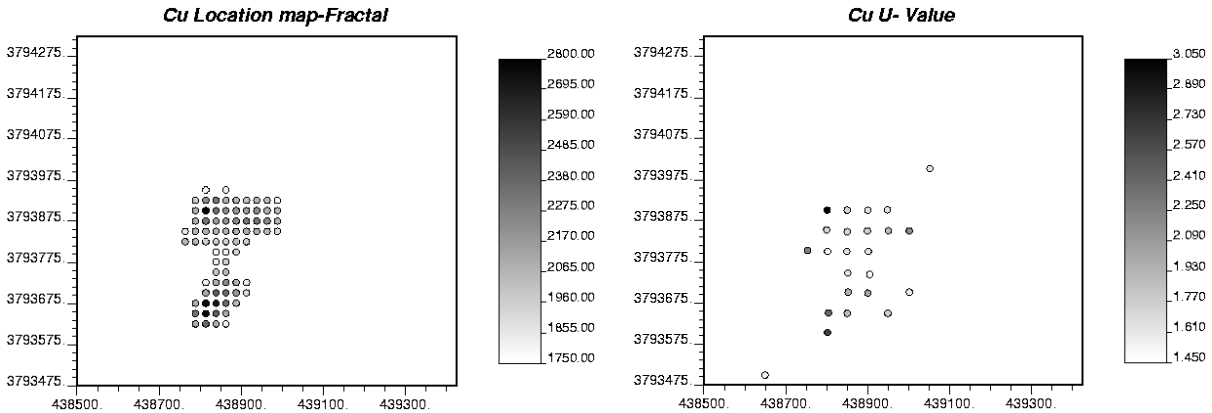
فعالیت‌های V و W فعالیت‌هایی احتمالی هستند که به شبکه‌بندی $GERT$ منجر شده است. بنابراین در هر نقطه نمونه‌برداری (یا اندازه‌گیری) باید با $r=0$ تا $r=r_{\max}$ مقادیر U را محاسبه کرد و سپس از این مقادیر حاصل شده، حداکثر مقدار قدر مطلق آنها را انتخاب (به ازای شعاع همسایگی r_0) و به نقطه مورد نظر مقدار U مربوطه را نسبت داد[۱۰]. نمودار فراوانی مقادیر حاصل از آماره U مربوط به طلا و مس در شکل ۷ مشاهده می‌شود 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 می‌آید. پس با روش آماره فضایی U مقادیر بزرگتر از ۱/۴۵ برای مس آنومال محسوب می‌شوند، 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 می‌شود و مقادیر بیشتر از آن به عنوان آنومالی معرفی می‌شود. 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 بالای بررسی را نشان می‌دهد.



شکل ۷: توزیع فراوانی مقادیر U برای عنصر Au. A) جامعه آنومالی ($\bar{U}+S=1/47$) ، B) جامعه زمینه و برای عنصر Cu. A) جامعه آنومالی ($\bar{U}+S=1/45$) معادل B ،۱۶۵۰ppm) جامعه زمینه [۱۷]



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 ۵۰۰ppb)



شکل ۹: مناطق آنومال Cu مشخص شده توسط روش فراکتالی و روش آماره U (مقدار بزرگتر از $\bar{U}+S=1/45$ معادل ۱۶۵۰ppm)

۴- نتیجه‌گیری

روش $GERT$ این امکان را برای برنامه ریزان پروژه فراهم می‌سازد که از فعالیت‌های غیر قطعی استفاده کنند و یا به نوعی، وقوع فعالیت‌ها احتمالی در نظر گرفته می‌شود که در پروژه های 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

خروجی این دو روش مشاهده می‌شود، 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 می‌دهند. روش فرکتال مقادیر $۵۶۰ppb$ برای طلا و $۱۷۰۰ppm$ برای مس را به عنوان آنومالی مشخص نمود، اما روش آماره U این مقادیر را به ترتیب ۱/۴۷ (حدوداً برابر $۵۰۰ppb$) و ۱/۴۵ (حدوداً برابر $۱۶۵۰ppm$) 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 محدوده‌های با $Cu>۱۶۰۰ppm$ و $Au>۵۰۰ppb$ به عنوان مناطق آنومال در نظر گرفته شده‌اند.

خاصیت دارا بودن حلقه و یا سیکل در روش $GERT$ توانایی تکرار فعالیت‌هایی را دارد که فعالیت‌های $C1, D1, E1$ و V در روش آماره فضایی U حلقه‌ای ایجاد می‌کنند و ممکن است به تعداد فراوان تکرار شود. همچنین در اندازه‌ای بزرگتر، $C1, D1, E1, F1, G1, H1, I1, M1, N1$ 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 پیش‌بینی نیستند، به کار می‌رود. در روش فراکتالی ممکن است فعالیت‌های $B2, C2, D2, E2$ با فعالیت P جایگزین شود و یا در کل از همان ابتدا با یک احتمال متناسب با پروژه، یکی از روش‌های فراکتالی و یا آماره U را انتخاب کرد. هر کدام از این روش ها که با شبکه‌های به خصوص تعریف شده‌اند 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 می‌شود. بنابراین هر کدام از این روش‌ها بر اساس روش شبکه‌بندی $GERT$ کارآیی دارند و روش $GERT$ در درون ساختار شبکه‌ای آنها نقش اساسی ایفا می‌نماید؛ یعنی فعالیت‌های بین فعالیت ابتدایی A و فعالیت انتهایی L، چه به صورت جریی و چه به صورت کلی بر اساس روش $GERT$ توصیف می‌شود.

پیشنهاد می‌شود این نوع بررسی به صورت جامع‌تر و در سطوح بالا می‌تواند در بسیاری از فعالیت‌های کلان معدنی از ابتدا تا انتهای فازهای مختلف و متوالی یک پروژه اکتشافی- معدنی شبیه‌سازی و اجرا شود. این بررسی تنها شناسایی و تفکیک محدوده آنومال را در بر گرفته است. به کارگیری شبکه $GERT$ در کارهای معدنی و فعالیت‌های احتمال‌پذیر جهت به حداقل رساندن اشتباهات و مدیریت مناسب کلیه فعالیت‌ها توصیه می‌شود، این کار زمان انجام کار را کمتر و همچنین دقت و کنترل بر انجام فعالیت‌ها را نیز بیشتر خواهد نمود.

مراجع

[1] Afsari, M., Hejazi, S.R., Haj-Shirmohammadi, a., (2007). “Aplication 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-aldin, 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.

[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 lithogeochemical data accompany with primary lithogeochemical 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 seperation 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 lithogeochemical 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 lithogeochemical 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).

[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.

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