

# ارزیابی هاله‌های لیتوژئوشیمیایی اولیه و ثانویه کانی‌سازی دالی شمالی و تلفیق آنها با سایر اطلاعات اکتشافی به منظور هدایت عملیات اکتشافی

رضا قوامی‌ریابی<sup>\*</sup>، فرشاد دارابی‌گلستان<sup>۲</sup>، رضا فالوگاکایی<sup>۳</sup> و هوشنگ اسدی‌هارونی<sup>۴</sup>

(۱) استادیار دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، rghavami2@yahoo.com

(۲) کارشناس سازمان نظام مهندسی معدن استان کرمانشاه، farshad\_darabi@yahoo.com

(۳) استاد دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، r\_kakaie@yahoo.com

(۴) استادیار دانشکده معدن، دانشگاه صنعتی اصفهان، asadi@dorsapl.com

<sup>\*</sup> عهددار مکاتبات

دریافت: ۹۰/۴/۳؛ دریافت اصلاح شده: ۹۰/۱۱/۵؛ پذیرش: ۹۰/۱۱/۸؛ قابل دسترس در تارنما: ۹۱/۱/۳۱

## چکیده

منطقه دالی، اولین اندیس پورفیری Au-Cu کمر بند ولکانیکی ارومیه- دختر در ایران می‌باشد که با توجه به پتانسیل معدنی مطالعات اکتشافی بیشتری را نیاز دارد. بر اساس نتایج نمونه‌برداری‌های سیستماتیک انجام شده در خاک، حفر ترانشه‌ها و گمانه‌های اکتشافی و تفسیر و تحلیل‌های ژئوشیمیایی - آماری داده‌های حاصل، می‌توان به کنترل حفاری‌ها و هدایت عملیات اکتشافی اقدام نمود. تحلیل ژئوشیمیایی - آماری ۱۶۵ نمونه خاک با استفاده از روش هندسه فرکتال در منطقه دالی شمالی منجر به تفکیک مناطق آنومال Au و Cu گردیده که منطقه آنومال انطباق مناسبی را با سنگ‌های کوارتز دیوریت پورفیری (QDP) داشته است. با بررسی اطلاعات ژئوشیمیایی ترانشه‌های TR04 و TR05، مشخص گردید که در سنگ‌های QDP، نسبت‌های اکتشافی  $\frac{Fe \times K}{Zn \times Mg}$  و  $\frac{Ba \times K}{Ca \times Zn}$  متناسب با تغییر غلظت‌های Au و Cu در ترانشه‌ها (محیط هیپوژن) عکس‌العمل نشان داده و می‌تواند بعنوان راهنمای مناسب اکتشافی در این سنگ‌ها محسوب شود. ترانشه‌های مذکور، سنگ‌های QDP و مخصوصاً کنتاکت آن با آندزیت‌ها را بعنوان منطقه آنومال نشان داده و بررسی نمونه گمانه‌های هم آزیموت با ترانشه‌ها نیز این مسئله را تأیید کرده است. بر اساس نتایج مطالعات ژئوشیمیایی به هدایت برداشت‌های ژئوفیزیکی به منظور تجسم زیر سطحی کاملتر از مناطق کانی‌سازی پرداخته و سپس حفاری اکتشافی پیشنهاد شده است. با توجه به بررسی‌های انجام شده و ارزیابی نتایج حفاری‌های اولیه، گمانه‌های بعدی در محدوده نزدیک به کنتاکت سنگ‌های کوارتز دیوریت پورفیری با آندزیت‌ها پیشنهاد گردیده‌اند.

**واژه‌های کلیدی:** تفکیک آنومالی، هندسه فرکتال، نسبت اکتشافی.

## ۱- مقدمه

آلکان تشکیل می‌شوند (Cooke et al. 2005, Richards 2005). در

مناطق فرورانش جزایر قوسی یک سیستم پورفیری Au-Cu و در منطقه فرورانش حاشیه قاره‌ای یک سیستم Cu-Mo پورفیری را

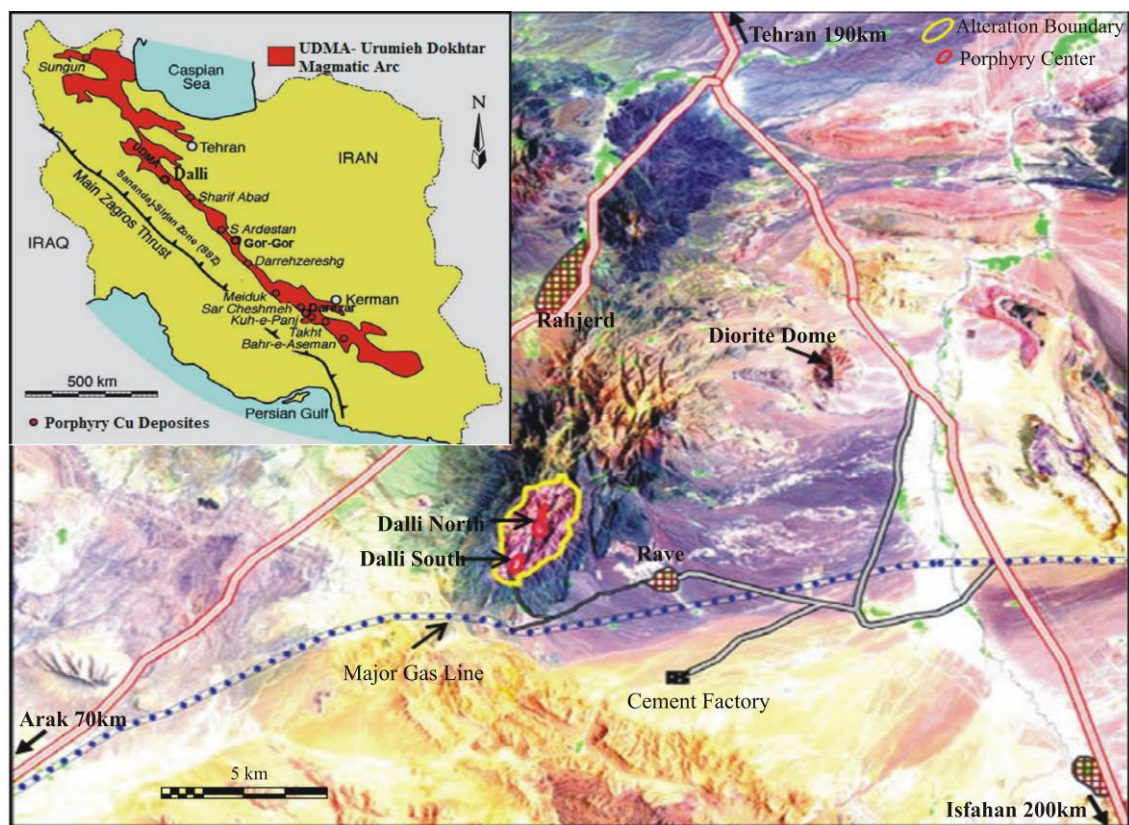
به لحاظ تکنیکی، بسیاری از ذخایر طلا- مس (Au-Cu) پورفیری دنیا در مناطق فرورانش همراه با سری‌های ماگمایی کالکوالکان و

پراخته شده است. بر اساس مجموعه اطلاعات لیتوژئوشیمیایی اولیه و ثانویه اقدام به برداشت‌های ژئوفیزیکی گردید. در ادامه بر اساس مجموعه اطلاعات بدست آمده، به هدایت گمانه‌های اکتشافی اقدام شده است.

## ۲- موقعیت زمین‌شناسی منطقه

منطقه مورد مطالعه، اولین اندیس طلا-مس (Au-Cu) پورفیری استان مرکزی (۷۰ کیلومتری اراک) بوده که در نزدیکی تقاطع جاده اراک با بزرگراه تهران-اصفهان واقع شده است (تصویر ۱). این منطقه در طول جغرافیایی  $50^{\circ} 19' E$  و عرض جغرافیایی  $34^{\circ} 16' N$  واقع شده که مساحت بیش از  $400m \times 300m$  را در بر می‌گیرد. قوس ماگماتیکی ارومیه-دختر (UDMA: Urmieh Dokhtar Magmatic Arc) میزبان تعدادی از انواع نهشته‌های مس پورفیری ایران می‌باشد که با ماگماتیسم نئوتیس در ایران مرکزی همراه بوده است (Hou et al. 2009, Shafiei et al. 2004). کمر بند مس پورفیری در مرز غربی بلوک مرکزی ایران واقع گردیده و در برگیرنده کمر بند آتشفشانی سهند-بزمان با سنگ‌های نفوذی کالک‌آلکان (استوک‌ها) است (Stocklin 1974, Hezarkhani 2006a,b, Zarasvandi et al. 2007). این کمر بند، به عنوان کمر بند آتشفشانی ایران مرکزی معرفی شده است (Zarasvandi et al. 2005, Shahabpour 2005).

می‌توان انتظار داشت. و هر دو ذخیره همراه با فرورانش صفحات اقیانوسی بوجود می‌آیند (Cooke et al. 2007). نهشته‌های پورفیری Au-Cu دارای مقدار بالایی مگنتیت در زون دگرسانی پتاسیم، دگرسانی آرژیلیک پیشرفته و یک همپوشانی مناسب نسبت به سیستم Cu-Mo می‌باشد (Qu et al. 2007, Hou et al. 2009, Yang et al. 2009). تشکیل نهشته‌های مس پورفیری طلا دار به لحاظ تکنیکی بیشتر محدود به مناطق صفحات همگرا می‌باشد (Richard et al. 2009). کمر بند ارومیه-دختر شامل سنگ‌های آتشفشانی-نفوذی آلکان و کالک-آلکان تیپ I بوده که مرتبط با زون فرورانش کوهزایی آلپی است (Pourhosseini 1981). ذخایر مهم مس-طلا پورفیری ایران مرتبط با استوک‌های کالک آلکان کمر بند آتشفشانی-نفوذی سهند-بزمان (بخشی از کمر بند ولکانیکی ارومیه-دختر) بوده (Hou et al. 2004) و نهشته دالی یکی از این ذخایر می‌تواند محسوب گردد. نهشته دالی به دو منطقه دالی شمالی و جنوبی تفکیک می‌گردد که در این تحقیق مطالعه بر روی منطقه دالی شمالی می‌باشد. در این مقاله در منطقه دالی شمالی جهت تفکیک مناطق با اهمیت اکتشافی، از روش هندسه فرکتال کمک گرفته شده که بر اساس بررسی تغییر بعد فرکتالی حد آستانه آنومالی تعیین گردیده است (Cheng et al. 2002, Hassani et al. 2009, Wang et al. 2010). در مناطق آنومال از طریق حفر ترانشه‌ها به مطالعات لیتوژئوشیمیایی اولیه



تصویر ۱- نقشه موقعیت منطقه دالی (Asadi Haroni 2008)

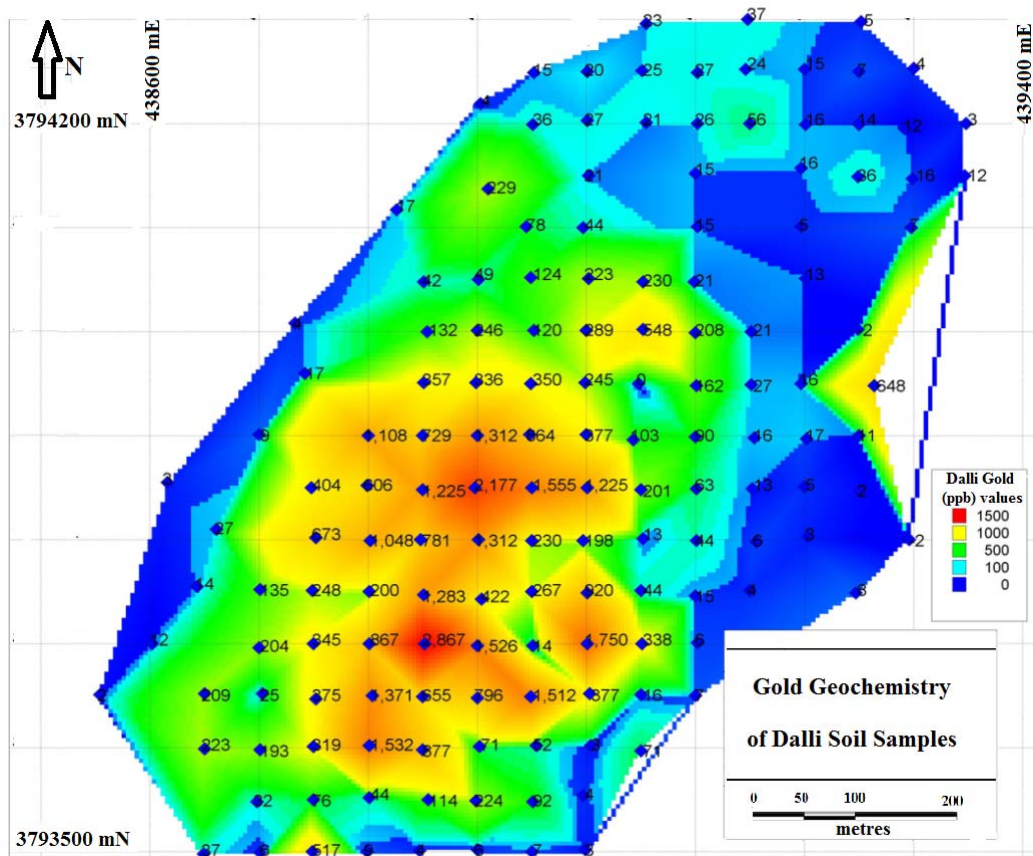
تغییرات غلظت، برای داده‌های جانشین شده و ریوگرام در آزمون‌های مختلف رسم شد. ریوگرام در راستای آزمون  $30^\circ$  با بیشترین پیوستگی و حداقل تغییرات، راستای تشکیل آنومالی و آزمون  $120^\circ$  عمود بر راستای آنومالی تعیین گردید (تصویر ۳a).

از مشخصات این ریوگرام‌ها جهت تخمین به روش کریجینگ استفاده شد. شبکه نمونه‌برداری با فاصله ۵۰ متر، به یک شبکه چگالتر با ابعاد شبکه  $25m \times 25m$  تبدیل گشته و هر شبکه توسط روش کریجینگ تخمین زده شد. شعاع تاثیر جهت تخمین با استفاده از نمونه‌های همجوار ۲۰۰ متر در نظر گرفته شد تا با توجه به نمونه‌های موجود در این فاصله تخمین صورت گیرد. در شبکه‌های تخمین یافته شده، اختلافات غلظت برای نمونه‌ها کمتر شده و مقادیر نسبت داده شده به هر شبکه دارای یک پیوستگی بیشتر و بازه کوچکتر (مینیمم بزرگتر و ماکسیمم کوچکتر) نسبت به حالت واقعی خود می باشد. در نظر گرفتن شعاع تاثیر ۲۰۰ متر و تشکیل شبکه‌هایی با اندازه یک‌چهارم حالت اولیه در منطقه، باعث بوجود آمدن ۱۱۱۶ شبکه با مقدار تخمین زده شده می‌شود. برای محاسبه و تعیین مقادیر زمینه، آستانه و آنومالی، روش‌های گوناگونی وجود دارد، که همگی بر پایه ی پیش فرض نرمال بودن داده‌ها قرار دارند (کهرازه و همکاران ۱۳۸۹).

سنگ‌های منطقه از هورنبلند بیوتیت کوارتز دیوریت در تپه دالی شمالی تا هورنبلند بیوتیت دیوریت در تپه دالی جنوبی تغییر می‌کند. زمین شناسی منطقه بیانگر آن است که چینه‌های آتشفشانی میوسن پسین و رخنمون سنگ‌های آتشفشانی (آمفیبول آندزیت پورفیری، داسیت) و پیروکلاستیک‌ها در راستای شمال شرقی - جنوب غربی در طول بیشتر از ۳۰ کیلومتر گسترش یافته‌اند (Asadi Haroni 2008). در این تحقیق مطالعات بر روی منطقه دالی شمالی می‌باشد.

### ۳- بررسی نمونه‌های خاک و ترانشه و نتایج گمانه‌ها

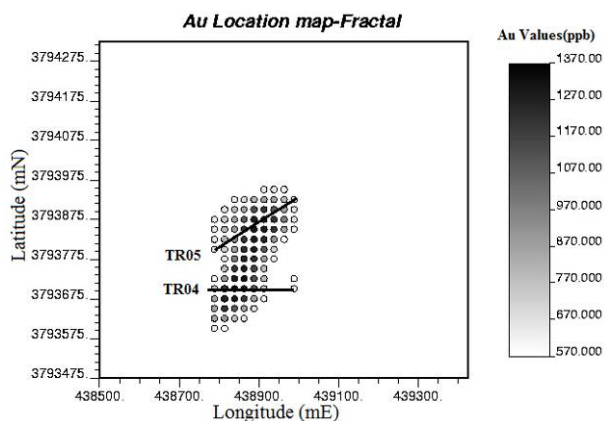
در منطقه دالی شمالی، ۱۶۵ نمونه سیستماتیک از خاک برداشت گردید. این نمونه‌برداری با حد فاصل ۵۰ متر (شبکه‌ای  $50m \times 50m$ ) برداشت شده است (تصویر ۲). روش آنالیز غلظت‌ها ICP-MS بوده که برای ۴۵ عنصر در آزمایشگاه آمدل استرالیا انجام شده‌است. در این روش غلظت‌های بالا قابل اندازه‌گیری بوده و عناصر با مقدار ناچیز نیز در اکثر مواقع ثبت می‌شوند (Graham et al. 2004). آستانه دقت برای عناصر اصلی ۰/۰۱ می‌باشد (جعفریان و همکاران ۱۳۸۸). بنابراین برای غلظت‌های بالا نیازی به جایگذاری وجود ندارد اما برای نمونه‌ها و عناصر زیر حد قابل ثبت دستگاه، نصف حد قابل ثبت جایگزین گردیده است. برای ارزیابی همسانگردی و تعیین حداکثر



تصویر ۲- نقشه موقعیت نمونه‌برداری سیستماتیک و موقعیت آنومالی Au در خاک

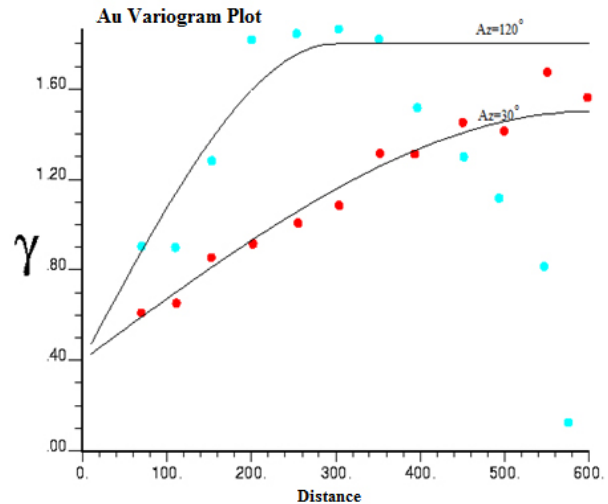


محدوده آنومال مشخص شده با استفاده از روش فرکتالی در تصویر ۵ نشان داده شده است. بر اساس شبکه‌بندی جدید  $250m \times 250m$  و مقدار حد جدایش آنومالی از زمینه  $560 \text{ ppb}$ ، محدوده با غلظت بالای  $560 \text{ ppb}$  به عنوان محدوده آنومال بررسی می‌گردد. با توجه به عیار بالای جامعه سوم، تعداد کم نمونه‌های آنومال و حساسیت بالا برای این عنصر جهت مشخص نمودن منطقه آنومال، این جامعه جزئی از جامعه دوم معرفی گشته و حد جدایش جامعه دوم بعنوان حد آستانه آنومالی ( $560 \text{ ppb}$ ) معرفی گشته است. محدوده آنومال مشخص شده با استفاده از روش فرکتالی در تصویر ۵ نشان داده شده است. بر اساس شبکه‌بندی جدید  $250m \times 250m$  و مقدار حد جدایش آنومالی از زمینه  $560 \text{ ppb}$ ، محدوده با غلظت بالای  $560 \text{ ppb}$  به عنوان محدوده آنومال بررسی می‌گردد.



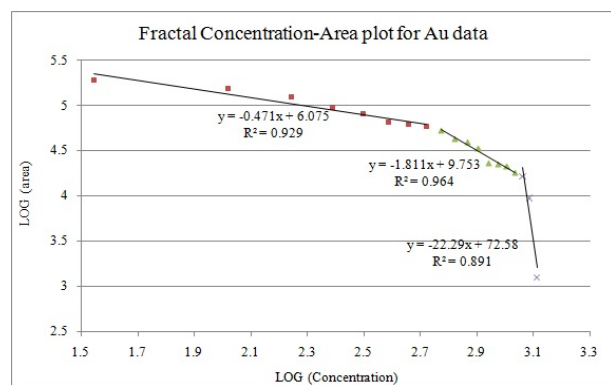
تصویر ۵- مناطق آنومال Au بر اساس روش فرکتالی (غلظت بالای  $560 \text{ ppb}$ ) به‌مراه موقعیت ترانشه TR05 و TR04

بر اساس نتایج برداشت شده از نمونه‌های خاک و مکان آنومالی‌ها، اقدام به حفر ترانشه‌هایی در منطقه گردید. مهمترین این ترانشه‌ها TR05 و TR04 بوده که بر روی آنومالی مشخص شده به روش فرکتالی (تصویر ۵) واقع شده‌اند و به منظور چک کردن عیارهای بالای Au و Cu حفر گردیده‌اند. تغییرات غلظت عناصر Au و Cu در این دو ترانشه در تصاویر ۶ و ۷ رسم شده است. بر این اساس محدوده کانی‌سازی شده که از بالاترین تمرکز غلظت‌ها برخوردار می‌باشد مشخص گردیده است. در زیر هر ترانشه مقطع تغییرات لیتولوژیکی و تیپ و شدت دگرسانی‌ها به‌مراه محدوده گسترش آنها تعیین گردیده است. ترانشه TR04 در زون کانی‌سازی شده برای عنصر Au متوسط عیار  $1/3 \text{ ppm}$  و برای عنصر Cu، عیار  $2200 \text{ ppm}$  را نشان داده است (تصویر ۶). در ترانشه TR05 این مقادیر به ترتیب  $1 \text{ ppm}$  و  $1800 \text{ ppm}$  در زون کانی‌سازی شده تعیین گردیده است (تصویر ۷). با توجه به تصاویر ۶ و ۷، تمرکز غلظت‌ها در محدوده با شدت دگرسانی



تصویر ۳- وریوگرام عنصر طلا برای آزمایشات‌های در امتداد موقعیت آنومالی و عمود بر آن

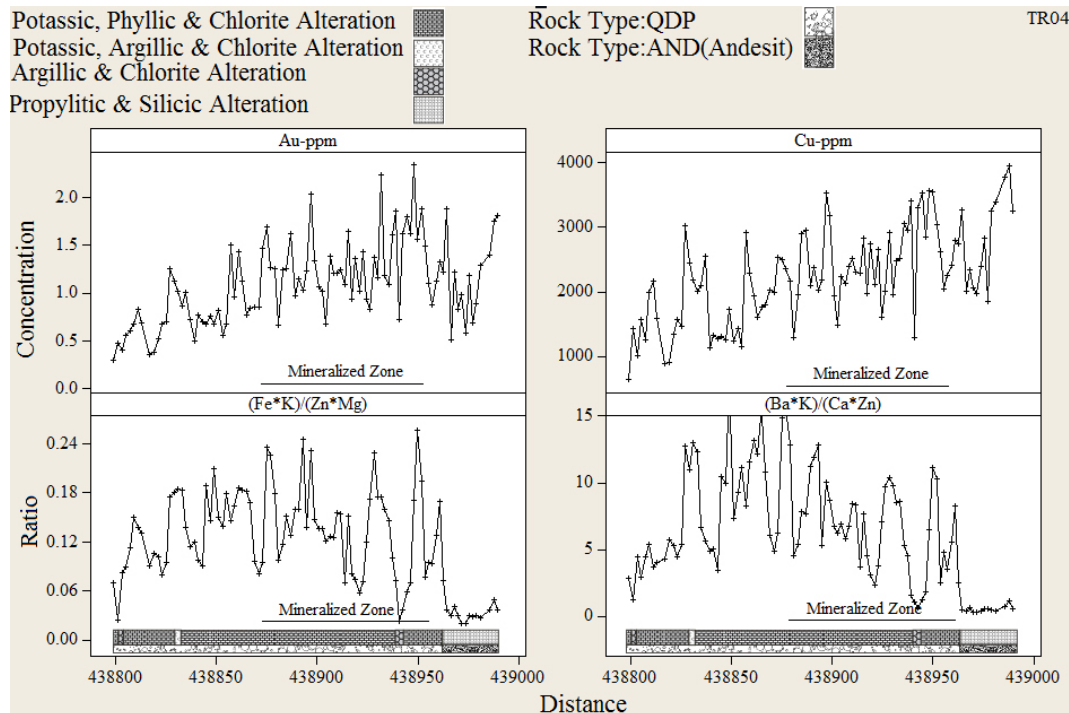
در این پژوهش، جهت جدا نمودن منطقه آنومال از زمینه برای عنصر طلا، از روش هندسه فراکتال استفاده گردید. با کلاس‌بندی داده‌ها و محاسبه فراوانی هر کلاس، در نهایت دو ستون داده تمام لگاریتمی (غلظت-مساحت) بدست آمد که در یک نمودار رسم گردیدند. این روش فرکتالی، به روش عیار-مساحت یا غلظت-مساحت معروف می‌باشد (Cheng et al. 1994, Cheng et al. 2002). با به‌کار گرفتن داده‌های تخمین زده شده، نمودار فرکتالی برای عنصر طلا، مطابق تصویر ۴ بدست آمد. این نمودار سه جامعه آماری متفاوت را نشان داد که جامعه سوم با حد جدایش  $1120 \text{ ppb}$  تنها ۲۳ شبکه از ۱۱۱۶ شبکه آنومالی را تخمین می‌زند. با توجه به عیار بالای جامعه سوم، تعداد کم نمونه‌های آنومال و حساسیت بالا برای این عنصر جهت مشخص نمودن منطقه آنومال، این جامعه جزئی از جامعه دوم معرفی گشته و حد جدایش جامعه دوم بعنوان حد آستانه آنومالی ( $560 \text{ ppb}$ ) معرفی گشته است.



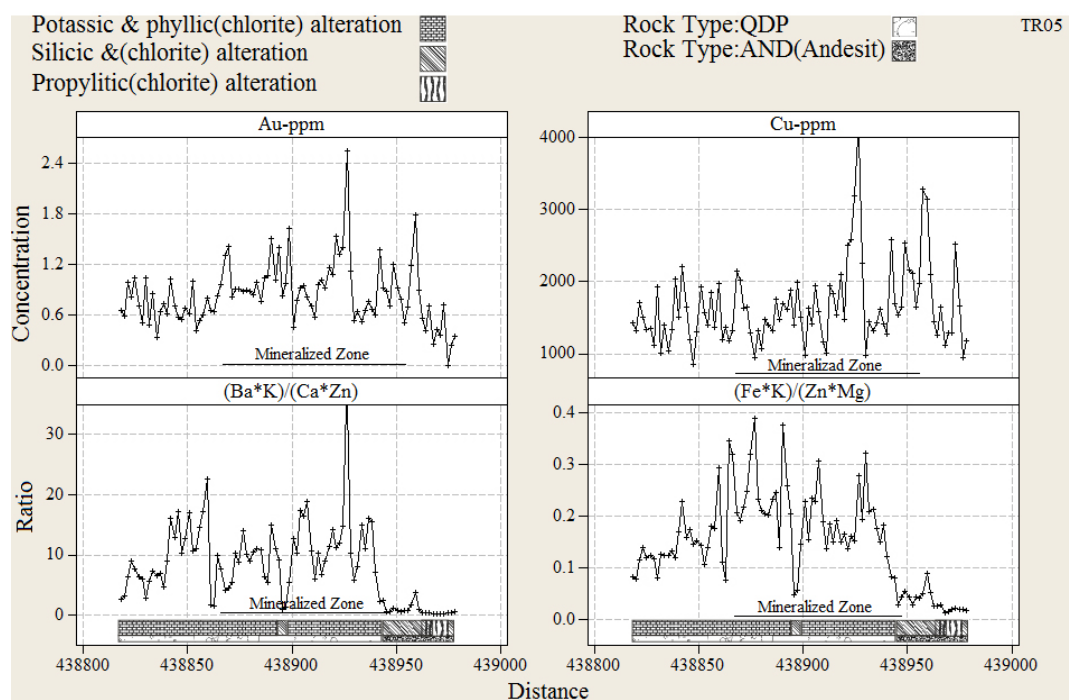
تصویر ۴- مدل فرکتالی غلظت - مساحت عنصر Au برحسب  $560 \text{ ppb}$  و  $1120 \text{ ppb}$

در ترانشه TR04 نسبت  $\frac{Ba.K}{Ca.Zn}$  در خارج از محدوده با غلظت بالای Cu-Au و البته در سنگ‌های QDP از شدت بالاتر و عکس العمل شدیدتر برخوردار می‌باشد. این در حالی است که نسبت  $\frac{Fe.K}{Zn.Mg}$  در محدوده کانی‌سازی شده از عکس‌العمل واضحتری برخوردار می‌باشد.

بالای پتاسیک (متوسط فیلیک تا ضعیف کلریتی) و در درون واحدهای سنگی کوارتز دیوریت پورفیری صورت گرفته است. علاوه بر بررسی تغییرات Au و Cu در این دو ترانشه و ارزیابی صورت گرفته از عکس‌العمل‌های ژئوشیمیایی سایر عناصر، به بررسی تغییرات دو نسبت  $\frac{Ba.K}{Ca.Zn}$  و  $\frac{Fe.K}{Zn.Mg}$  نیز پرداخته شده است.



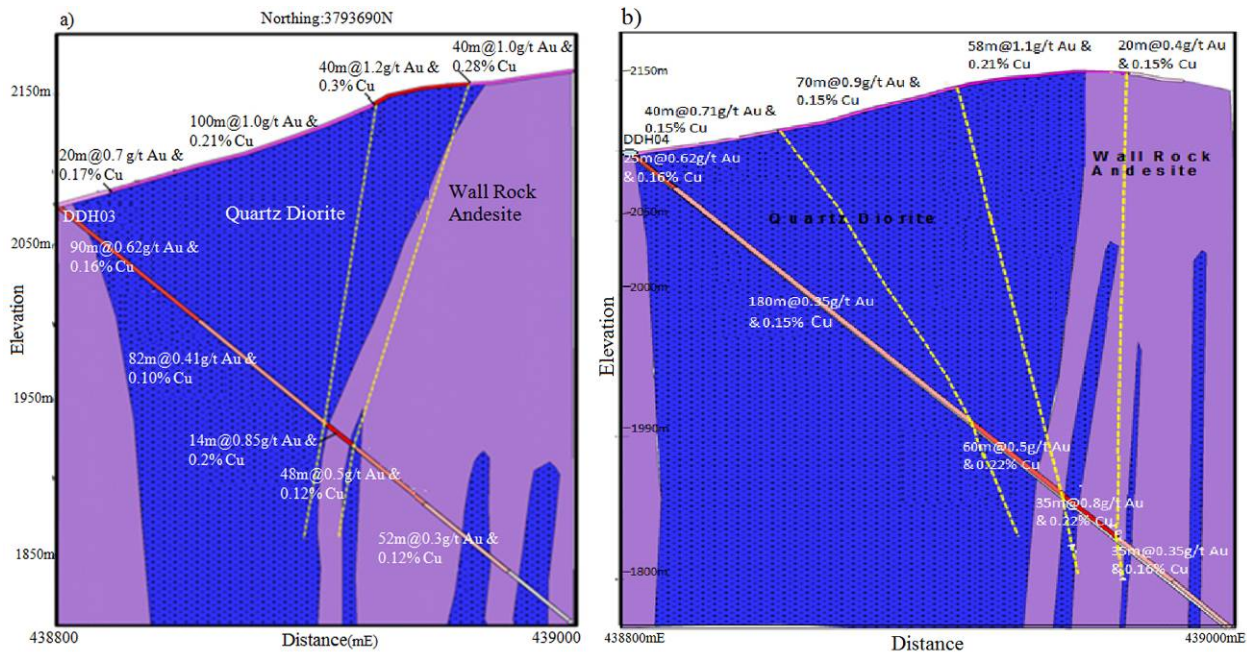
تصویر ۶- روند تغییرات Au و Cu در ترانشه TR04 و نسبت‌های  $\frac{Ba.K}{Ca.Zn}$  و  $\frac{Fe.K}{Zn.Mg}$



تصویر ۷- روند تغییرات Au و Cu در ترانشه TR04 و نسبت‌های  $\frac{Ba.K}{Ca.Zn}$  و  $\frac{Fe.K}{Zn.Mg}$

QDP و آندزیتی (AND) از عیارهای بالاتری برخوردار می‌باشند. در ترانشه TR04 در مرز کنتاکت سنگ‌های QDP و AND، در یک فاصله ۴۰ متری، متوسط عیار طلا به ۱/۲g/t و مس به ۰/۳ درصد می‌رسد که افزایش قابل توجهی نسبت به دیگر بخش‌های ترانشه نشان می‌دهد (تصویر ۸-ا). در ترانشه TR05 کنتاکت این سنگ‌ها در یک طول ۵۸ متری متوسط عیار طلا ۱/۱ g/t و مس ۰/۲۱ درصد را نشان می‌دهد (تصویر ۸-ا).

در ترانشه TR05 (تصویر ۷) هر دو نسبت  $\frac{Ba.K}{Ca.Zn}$  و  $\frac{Fe.K}{Zn.Mg}$  محدود و عیارهای بالاتر و عکس‌العمل شدیدتری برخوردار می‌باشند. تغییرات لیتولوژیکی و میانگین عیارهای بدست آمده از ترانشه‌ها و گمانه‌ها در تصویر ۸ آورده شده است همانگونه که ملاحظه می‌شود محیط لیتوژوشیمیایی سنگ‌های QDP بالاترین عیارهای Au و Cu را نشان می‌دهند. این بررسی‌ها بیانگر این واقعیت می‌باشند که Au و Cu در سنگ‌های QDP و مخصوصاً در کنتاکت سنگ‌های

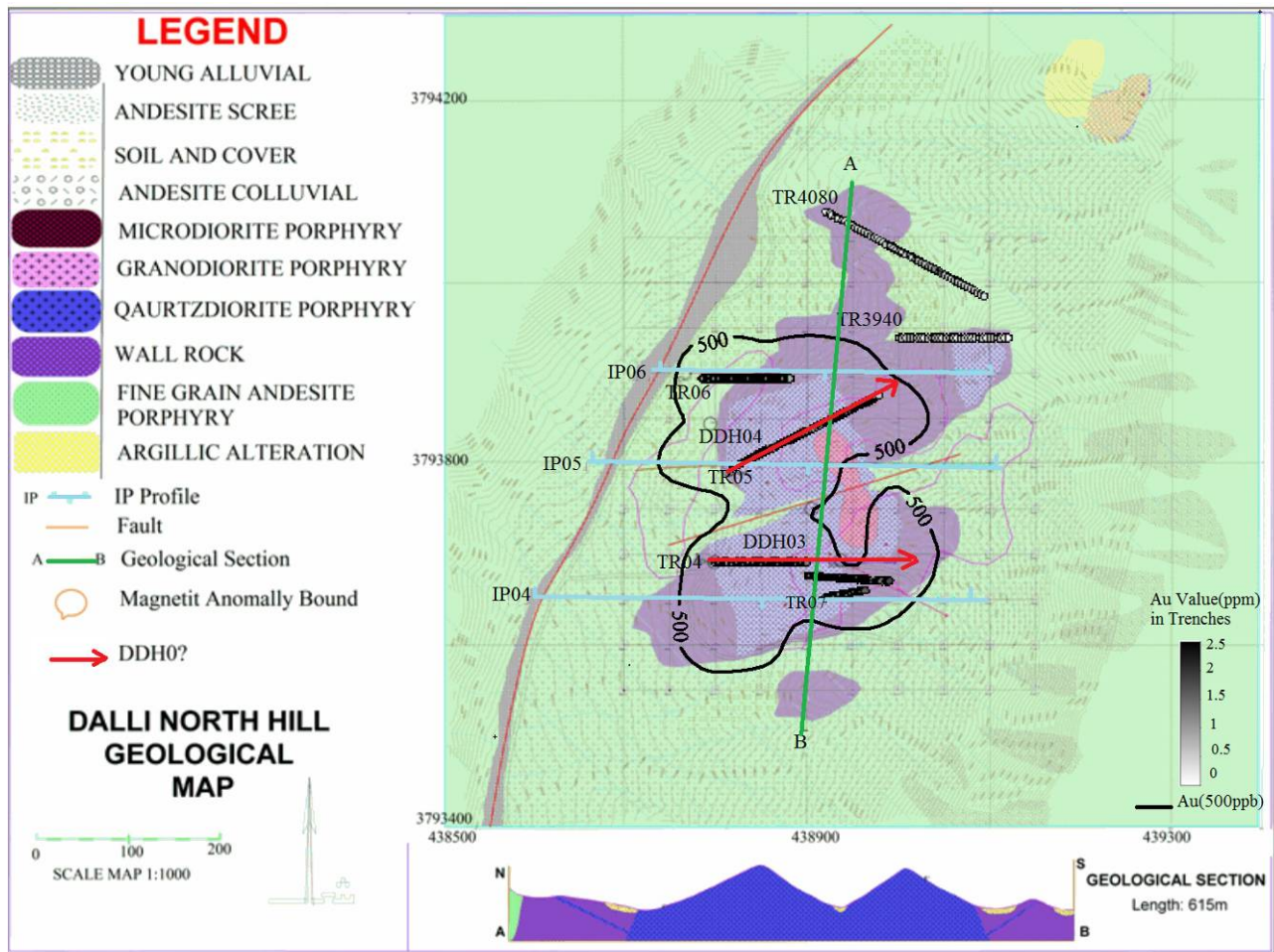


تصویر ۸- مقطع عرضی زمین‌شناسی (a) ترانشه TR04 و گمانه هم آزیموت آن (DDH03) و (b) ترانشه TR05 و گمانه هم آزیموت آن (DDH04)

غلظت‌های ترانشه و گمانه هم آزیموت آن (مشابه تصویر ۸ و محدوده کنتاکت سنگ‌های QDP و AND مشخص شده با خطوط منقطع) که انطباق بالایی بر هم دارند هم پیشنهاد می‌گردد که اطلاعات بدست آمده را کامل خواهند نمود. بررسی بیشتر در رابطه با این موضوع، پیشنهادات خوبی را در زمینه حفاری‌های آتی ارائه می‌نماید. برداشت‌های مغناطیس‌شدگی در منطقه مورد مطالعه بیانگر آن است که بیشترین مقادیر مغناطیسی شدن برای نمونه‌های خاک در مرز کنتاکت سنگ‌های QDP با ANDها می‌باشد (محدوده خطوط بسته صورتی رنگ تصویر ۹). وجود پیریت و کالکوپیریت فراوان در سنگ‌های پورفیری با غلظت‌های بالای Au و Cu و بالا بودن درصد مگنتیت و هماتیت نمونه‌ها، سبب گردید تا به منظور ارزیابی وضعیت پیوستگی مناطق کانی‌سازی و تجسم بهتری از زیر سطح، عملیات ژئوفیزیکی پلاریزاسیون القایی، رزیستیویته (IP/RS) و مغناطیس‌سنجی اجرا گردد. همچنین بر این اساس عملیات حفرگمانه‌های دیگر با تکیه بر نتایج مطالعات لیتوژوشیمیایی اولیه و ثانویه صورت گیرد.

گمانه‌های DDH04 و DDH03 در منطقه دالی شمالی به‌نحوی طراحی شده‌اند که تکمیل‌کننده نتایج خاک و مخصوصاً ترانشه‌ها باشند. در این میان گمانه‌های DDH04 و DDH03 به ترتیب در امتداد آزیموت ترانشه‌های TR04 و TR05 حفاری گردیده‌اند (تصویر ۸). این گمانه‌ها همخوانی بسیار خوبی را از نظر تغییرات غلظت عنصری با ترانشه‌های هم آزیموت خود نشان می‌دهند بطوری که این گمانه‌ها در کنتاکت سنگ‌های QDP و AND بیشترین غلظت خود را نشان می‌دهند. با در نظر گرفتن مقاطع عرضی برای گمانه‌های DDH04 و DDH03 به‌همراه ترانشه‌های هم آزیموت آنها، این نتیجه حاصل می‌شود که یک پیوستگی قائم به ترتیب بین گمانه‌های DDH04 و DDH03 و ترانشه‌های TR04 و TR05 وجود دارد. همچنین هر قسمت از گمانه‌ها را می‌توان متناظر با طول مشخصی از ترانشه نسبت داد که از نظر عیار Au و Cu و همچنین موقعیت سنگ میزبان QDP و یا AND با هم همخوانی مناسبی دارند. جهت اثبات نتایج بدست آمده، گمانه‌های دیگری در محدوده در برگیرنده بیشترین





تصویر ۹- نقشه زمین‌شناسی، محدوده آنومالی طلا در خاک، محدوده آنومالی مغناطیسی، موقعیت ترانشه‌ها و گمانه‌های حفر شده و پروفیل‌های IP/RS پیشنهادی

در تصویر ۹، موقعیت گمانه‌های حفاری شده و برداشت‌های آتی ژئوفیزیکی (IP) و ترانشه‌های مختلف حفر شده جهت کسب اطلاعات تکمیلی تحت الارضی نمایش داده شده است. بیشترین غلظت برای ترانشه‌های TR04, TR05, TR06 و TR07 می‌باشد که در داخل محدوده آنومال خاک (غلظت بالای ۵۰۰ppb) برداشت شده‌اند.

دو ترانشه TR3940 و TR4080 که در خارج از محدوده ۵۰۰ppb واقع هستند، غلظت‌های کمتری را نشان دادند.

در تصویر ۹، موقعیت گمانه‌های حفاری شده و برداشت‌های آتی ژئوفیزیکی (IP) و ترانشه‌های مختلف حفر شده جهت کسب اطلاعات تکمیلی تحت الارضی نمایش داده شده است. بیشترین غلظت برای ترانشه‌های TR04, TR05, TR06 و TR07 می‌باشد که در داخل محدوده آنومال خاک (غلظت بالای ۵۰۰ppb) برداشت شده‌اند.

دو ترانشه TR3940 و TR4080 که در خارج از محدوده ۵۰۰ppb واقع هستند، غلظت‌های کمتری را نشان دادند.

#### ۴- نتیجه‌گیری

محدوده‌های آنومال مشخص شده به روش فرکتالی بر روی داده‌های خاک، انطباق مناسبی با سنگ‌های QDP و تا حد کمتری با سنگ میزبان AND دارند.

ترانشه‌های متعددی در مناطق آنومال حفر گردید که غلظت‌های بالایی را در این مناطق مشخص نموده و این مناطق در کنتاکت بین

#### تشکر و قدردانی

از شرکت درسا پرداز که داده‌های حاصل از آنالیز نمونه‌ها را در اختیار ما قرار دادند کمال قدردانی و تشکر را داریم.

## مراجع

- G. Rui, Z., Gao, Y. & Zaw, Kh., 2009**, "The Miocene Gangdese porphyry copper belt generated during post-collisional extension in the Tibetan Orogen", *Ore Geology Reviews*, Vol. 36 (1-3): 25–51.
- Pourhosseini, F., 1981**, "Petrogenesis of Iranian plutons: a study of the Natanz and Bazman intrusive complexes ", *Geological Survey of Iran*, Vol. 53, 315 pp.
- Qu, X., Hou, Z., Zaw, K. & Li, Y., 2007**, "Characteristics and genesis of Gangdese porphyry copper deposits in the southern Tibetan Plateau: Preliminary geochemical and geochronological results", *Ore Geology Reviews*, Vol. 31 (1-4): 205–223.
- Richards, J. P., 2005**, "Cumulative Factors in the Generation of Giant Calc-Alkaline Porphyry Cu Deposits", In: Porter, T. M. (ed.), *Super-Porphyry Copper & Gold Deposits: A Global Perspective*, PGC Publishing, Adelaide, Vol. 1: 7–25.
- Shafiei, B., Haschke, M. & Shahabpour, J., 2009**, "Recycling of orogenic arc crust triggers porphyry Cu mineralization in Kerman Cenozoic arc rocks, southeastern Iran", *Mineralium Deposita*, Vol. 44 (3): 265–283.
- Shahabpour, J., 2005**, "Tectonic evolution of the orogenic belt in the region located between Kerman and Neyriz", *Journal of Asian Earth Sciences*, Vol. 24 (4): 405–417.
- Stöcklin, J., 1974**, "Possible ancient continental margins in Iran", In: Burke, C., Drake, C. (Eds.), *Geology of Continental Margins*, Springer-Verlag, New York: 873–877.
- Wang, Q., Deng, J., Liu, H., Yang, L., Wan, L. & Zhang, R., 2010**, "Fractal models for ore reserve estimation", *Ore Geology Reviews*, Vol. 37 (1): 2–14.
- Yang, Z., Hou, Z., White, N. C., Chang, Z., Li, Z. & Song, Y., 2009**, "Geology of the post-collisional porphyry copper-molybdenum deposit at Qulong, Tibet", *Ore Geology Reviews*, Vol. 36 (1-3): 133–159.
- Zarasvandi, A., Liaghat, S. & Zentilli, M., 2005**, "Geology of the Darreh-Zerreshk and Ali-Abad Porphyry Copper Deposits, Central Iran", *International Geology Review*, Vol. 47 (6): 620–646.
- Zarasvandi, A., Liaghat, S., Zentilli, M. & Reynolds, P. H., 2007**, "40Ar/39Ar Geochronology of Alteration and Petrogenesis of Porphyry Copper-Related Granitoids in the Darreh-Zerreshk and Ali-Abad area, Central Iran", *Exploration and Mining Geology*, Vol. 16 (1-2): 11–24.
- جعفریان، ع. ر.، امامی، م. ه. و وثوقی عابدینی، م.، ۱۳۸۸**، "پترولوژی و ژئوشیمی عناصر اصلی مجموعه‌ی بازالتی سلطان میدان"، فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی سال ۵ (۴): ۲۶۷–۲۸۴.
- کهرازه، م. گ.، جعفری، م. ر. و باقری‌فر، ع.، ۱۳۸۹**، "اکتشافات سیستماتیک ژئوشیمی رسوبات آبراه‌های منطقه‌ی شورچاه (جنوب شرق زاهدان)"، فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی سال ۶ (۱): ۴۲–۵۰.
- Asadi Haroni H. 2008**, "First Stage Drilling Report on Dalli Porphyry Cu-Au Prospect, Central Province of Iran", *Technical Report*.
- Cheng, Q. & Li, Q., 2002**, "A fractal concentration–area method for assigning a color palette for image representation", *Computers & Geosciences*, Vol. 28 (4): 567–575.
- Cheng, Q., Agterberg, F. P. & Ballantyne, S. B., 1994**, "The separation of geochemical anomalies from background by fractal methods", *Journal of Geochemical Exploration*, Vol. 51 (2): 109–130.
- Cooke, D. R., Hollings, P. & Walshe, J. L., 2005**, "Giant porphyry deposits: characteristics, distribution, and Tectonic Controls", *Economic Geology*, Vol. 100 (5): 801–818.
- Cooke, D. R., Wilson, A. J., House, M. J., Wolfe, R. C., Walshe, J. L., Lickford, V. & Crawford, A. J. 2007**, "Alkalic porphyry Au-Cu and associated mineral deposits of the Ordovician to Early Silurian Macquarie Arc, New South Wales", *Australian Journal of Earth Sciences*, Vol. 54 (2-3): 445–463.
- Graham, S., Pearson, N., Jackson, S., Griffin, W. & O'Reilly, S. Y. 2004**, "Tracing Cu and Fe from source to porphyry: in situ determination of Cu and Fe isotope ratios in sulfides from the Grasberg Cu<sup>2</sup>Au deposit", *Chemical Geology*, Vol. 207 (3-4): 147–169.
- Hassani, H., Daya, A. A. & Alinia, F., 2009**, "Application of a Fractal Method Relating Power Spectrum and Area for Separation of Geochemical Anomalies from Background", *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, Vol. 3 (4): 3307–3320.
- Hezarkhani, A., 2006a**, "Hydrothermal evolution of the Sar-Cheshmeh porphyry Cu–Mo deposit, Iran: Evidence from fluid inclusions", *Journal of Asian Earth Sciences*, vol. 28 (4-6): 409–422.
- Hezarkhani, A., 2006b**, "Petrology of the intrusive rocks within the Sungun Porphyry Copper Deposit, Azerbaijan, Iran", *Journal of Asian Earth Sciences*, Vol. 27 (3): 326–340.
- Hou, Z.-Q., Gao, Y.-F., Qu, X.-M., Rui, Z.-Y. & Mo, X.-X., 2004**, "Origin of adakitic intrusives generated during mid-Miocene east–west extension in southern Tibet", *Earth and Planetary Science Letters*, Vol. 220 (1–2): 139–155.
- Hou, Z., Yang, Zh., Qu, X., Meng, Zh. Li, Beaudoin,**